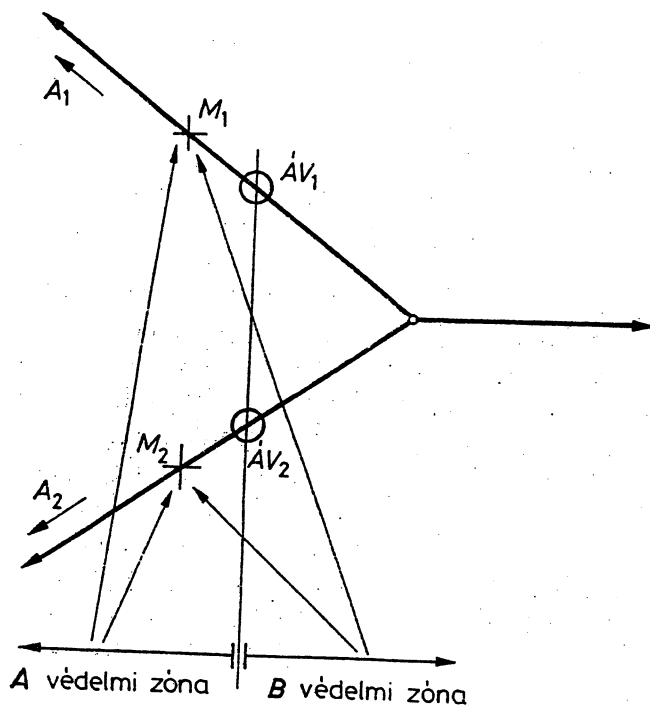


7.90. ábra. Megszakítóberagadási és holsávvzárlati érzékelés irányai



7.91. ábra. Megszakítóberagadási és holsávvzárlati érzékelés és kioldás irányai poligon kapcsolat esetén

után az áramváltón folyik áram, akkor *holsávvzárlat lépett fel*, így *B* irányban szükséges járulékos mögöttes kioldás. Mivel mindkét esetben a hiba detektálási ténye ugyanaz (*A*, ill. *B* védelem kioldása ellenére tartósan, azaz $t > 0,15 \dots 0,35$ s-ig van I_{AV} áram) és az *A* védelem működése esetén a *B* védelmi szakasz, a *B* esetén pedig az *A* védelmi szakasz megszakítóit kell működtetni, tehát helyes, ha mindkét esetben mindkét oldal megszakítóit kikapcsolatják.

Több működtetett megszakító esetén (pl. a 7.91. ábra) is alkalmazható az elv, de csak akkor, ha minden egyes megszakító mellett van áramváltó. Ilyen esetben ugyanis a *B* védelem megszólalásakor aszerint kell a megszakítóberagadási védelmi kioldásokat A_1 , A_2 vagy *B* irányba továbbítani, hogy melyik áramváltó árama maradt meg. Ha a megszakító mellett nincs áramváltó (pl. másfél megszakítós állomáskép középső megszakítója), a készüléken lehetőség van az áramfeltétel kiiktatására, és akkor a beragadási védelem időméréssel oldható meg, a holsávvédelemhez pedig keverő áramváltó szükséges.

A *rendellenes üzemállapot elleni védelem* a megszakító tartós egy- vagy kétfázisú üzeme esetén ad kioldást. A megszakító segédérintkezői által szolgáltatott feltétel mellé érzékeny, zérus sorrendű túláramrelé adhat kiegészítő működési feltételt, amely késleltetéssel (pl. 5 s) önállóan is indít kioldást.

b) Felépítés

A holtív és megszakítóberagadási védelem érzékelőeleme, az előzők szerint, a három fázisba beépített túláramrelé, és a működéshez szükséges további információ az *A* vagy *B* védelem kioldóparancsának a normálisnál hosszabb idejű fennállása. Ha a két információ azonos fázisban lép fel, holtív, ill. megszakítóberagadási védelmi működtetés szükséges. A működtetőparancs vagy körvezetékre kapcsolható, vagy közvetlenül megszakítót működtet.

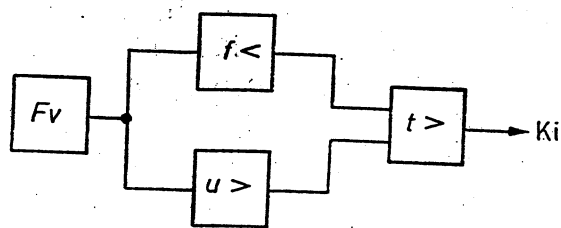
Ha a védelem sorkapcsain kívülről jelenik meg működtetőparancs, akkor ez a szomszédos mezők megszakítóinak beragadását jelzi, és a készülék számára kioldóparancs kiadását kezdeményezi.

A rendellenes üzemiállapot elleni védelem figyel, hogy a megszakító tartósan nincs-e félállásban (egy vagy két fázis kint, a többi bent). Ha a tartós, egy- vagy kétfázisú üzemet érzékelő időrelék lefutnak, a védelem háromfázisú kioldást ad saját, figyelt megszakítójára, és indítja a megszakítóberagadási védelmet. Egyfázisúan kikapcsolt állapot esetére hosszabb, az EVA holtidőt kiváráó késleltetést állítanak be.

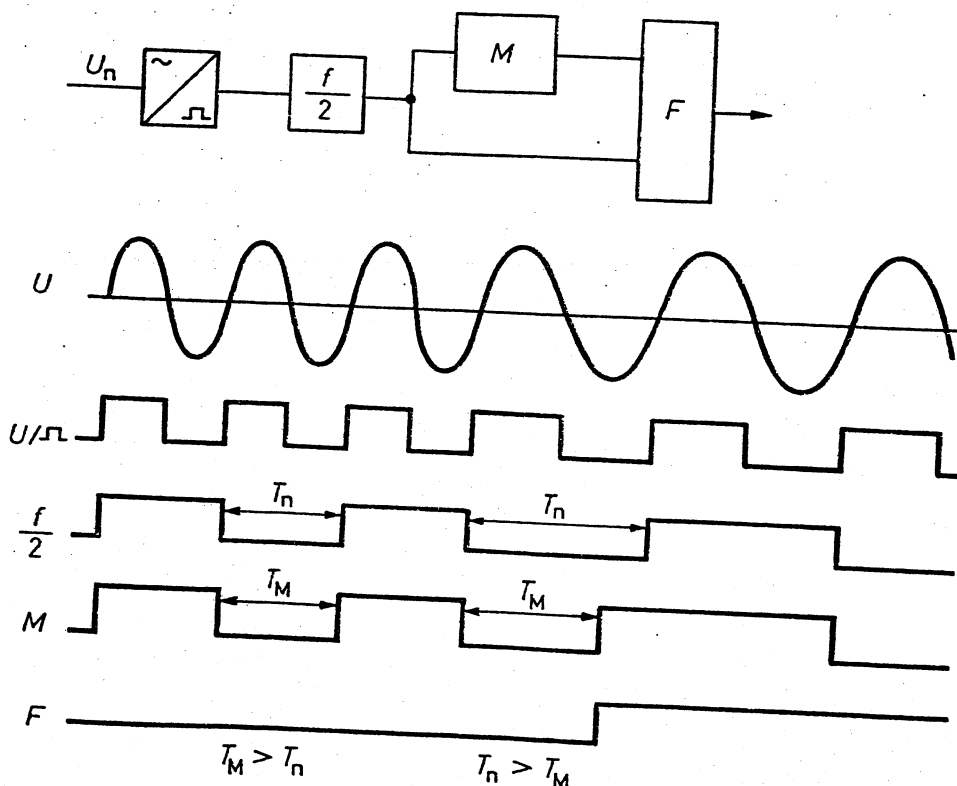
7.3. Speciális és komplex elektronikus védelmek és automatikák

7.3.1. Frekvenciacsökkenési relé (EFR3)

E relé fő felhasználási területe az automatikus, frekvenciafüggő terheléskorlátozás. Jellemzője az igen nagy pontosság és az 1-hez közeli ejtőviszony. Tömbvázlata a 7.92. ábrán látható. Az *FV* feszültségváltó táplálja az $f <$ frekvenciacsökkenési és az $U >$ feszültségnövekedési relét.



7.92. ábra.
Frekvenciarelé tömbvázlata



7.93. ábra.
Frekvenciarelé mérőeleme

Kimeneteik *És* kapcsolaton keresztül az időművet kapcsolják, amely a beállított idő eltelte után kontaktusain keresztül *Ki* parancsot ad.

Mérőelemének a működése a 7.93. ábrán követhető: a feszültséget szinusz/négyszög átalakítón keresztül frekvenciaosztóra kapcsolják. A frekvenciaosztó kimenete egy fázisszög-érzékelő egyik bemenetére csatlakozik, amelynek másik bemenetére az osztó által hajtott nagy pontosságú monostabil multivibrátor van kapcsolva. A multivibrátor T_M ideje határozza meg a megszólalási frekvenciát. Ha a hálózati feszültség periódusideje, T_n nagyobb, mint a beállított T_M idő, akkor a fázisszögrelé megszólal.

7.3.2. Speciális kondenzátorvédelem

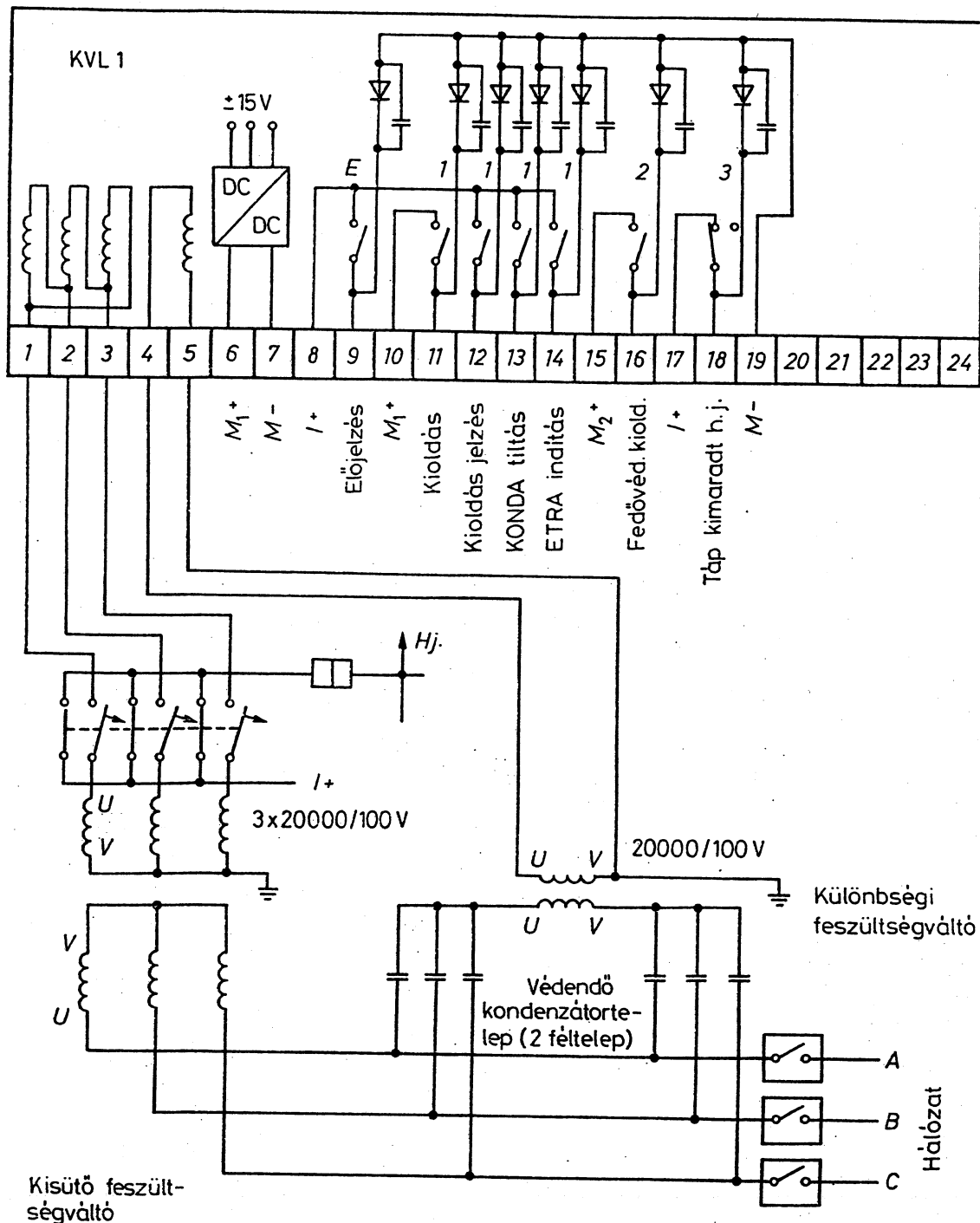
A közép feszültségre telepített fázisjavító, meddőtermelő kondenzátortelemek és a felharmonikuszsűrők kondenzátorai a megfelelő teljesítmény elérése érdekében általában sok, önálló egységből épülnek fel. Egy kondenzátoregység szintén több, sorosan és párhuzamosan kapcsolt elemből (babából) áll. Egy-egy ilyen elem zárlata vagy szakadása az egész telep kapacitását alig befolyásolja, így a felvett áram érzékelésével a hiba nem detektálható, ugyanakkor az ép részek veszélyes feszültséget kaphatnak, és az egész telep láncreakációszerűen tönkremehet. A kondenzátorteleg kettős szimmetrikus felépítésével és speciális védelem beépítésével megbízható érzékelés alakítható ki. Szokásos felépítési mód a két félre osztott csillagkapcsolás és a két félre osztott deltakapcsolás alkalmazása. Az előbbi a két féltelep csillagpontja közötti feszültségkülönbség vagy kiegyenlítőáram érzékelésével, a másik a két fél megfelelő ágáramainak összehasonlításán alapuló védelemmel védhető.

A 7.94. ábra a csillagkapcsolású telep védelmének bekötését szemlélteti. Ideális esetben, ép telep esetén a két csillagpont között nincs feszültségkülönbség. Ha valamelyik kondenzátoregységben zárlat vagy szakadás lép fel, az illető fáziság kapacitása megváltozik, és a csillagpontok között a telepnagyság és a hiba mértékétől függő feszültségkülönbség lép fel. Ez nagy telep esetén csak néhány tized százaléka a fázisfeszültségnek, egy-egy elem szakadása pedig még ennél is kisebb csillagpont-eltolódást okoz.

A két féltelep a gyakorlatban nem válogatható úgy össze, hogy ne legyen valamilyen állandósult aszimmetria. Ez néhány % nagyságú, és bármilyen irányú lehet. A kisütő feszültségváltóról vett két különböző fázisú U_{komp} kompenzálófeszültséggel ez a hiba kiegyenlíthető, és az érzékelő elegendően kis értékre állítható be.

Belső kondenzátormeghibásodás esetén a hibás egység nem javítható, a benne bekövetkező további meghibásodás elkerülésénél adott esetben fontosabb érdek fűződik a kondenzátorteleg üzemtartásához mindaddig, amíg más, ép egységek nem kerülnek veszélybe. Bizonyítható, hogy a legjobban igénybe vett ép egység feszültsége és a csillagpont-eltolódás között a következő összefüggés van: $U_{ép\ max} = 1 + K\Delta U_0$. Itt az $U_{ép\ max}$ és a ΔU_0 a pillanatnyi feszültségre vonatkoztatott relatív érték, K értéke pedig a telepben sorosan és a párhuzamosan kapcsolt egységek számától függ, valamint attól, hogy zárlat vagy szakadás lépett-e fel. Látható, hogy az ép egységekre egy adott megengedett feszültséget feltételezve kisebb üzemi feszültség esetén nagyobb hibafeszültség engedhető meg. Ez a tény indokolja a 7.95. ábrán látható feszültségfüggő karakterisztika alkalmazását.

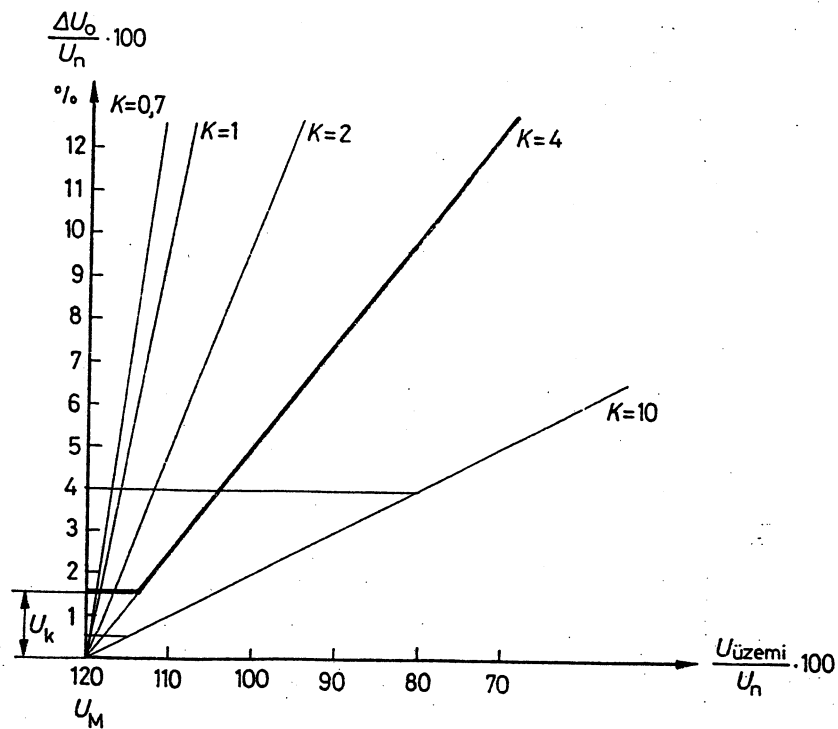
A megfelelően beállított meredekség esetén akkor következik be kioldás, ha a legjobban igénybe vett ép egység feszültsége éppen eléri a megengedett értéket. Ezen az elven működik a KVL 1 típusú védelem, amelynek tömbvázlata a 7.96. ábrán látható. A védelem kétfokozatú: független előjelző és függő karakterisztikájú kioldófokozatot tartalmaz. A csillagpontok közötti természetes aszimmetriából adódó hibafeszültséget két vonali feszültségből előállított kompenzálófeszültséggel lehet kiegyenlíteni. Az *előjelző fokozat* elválasztó erősítőt, 50 Hz-es sávzsűrőt, feszültségérzékelőt (beállítási tartománya 0,2...6,4% fázisfeszültség) és időművet tartalmaz. A kiegyenlítetlenség a *beépített műszeren* leolvasható, vagy a mérőponton oszcilloszkópra vihető. A szűrőre a felharmonikusok zavaró hatásának kiküszöbölése céljából van szükség.



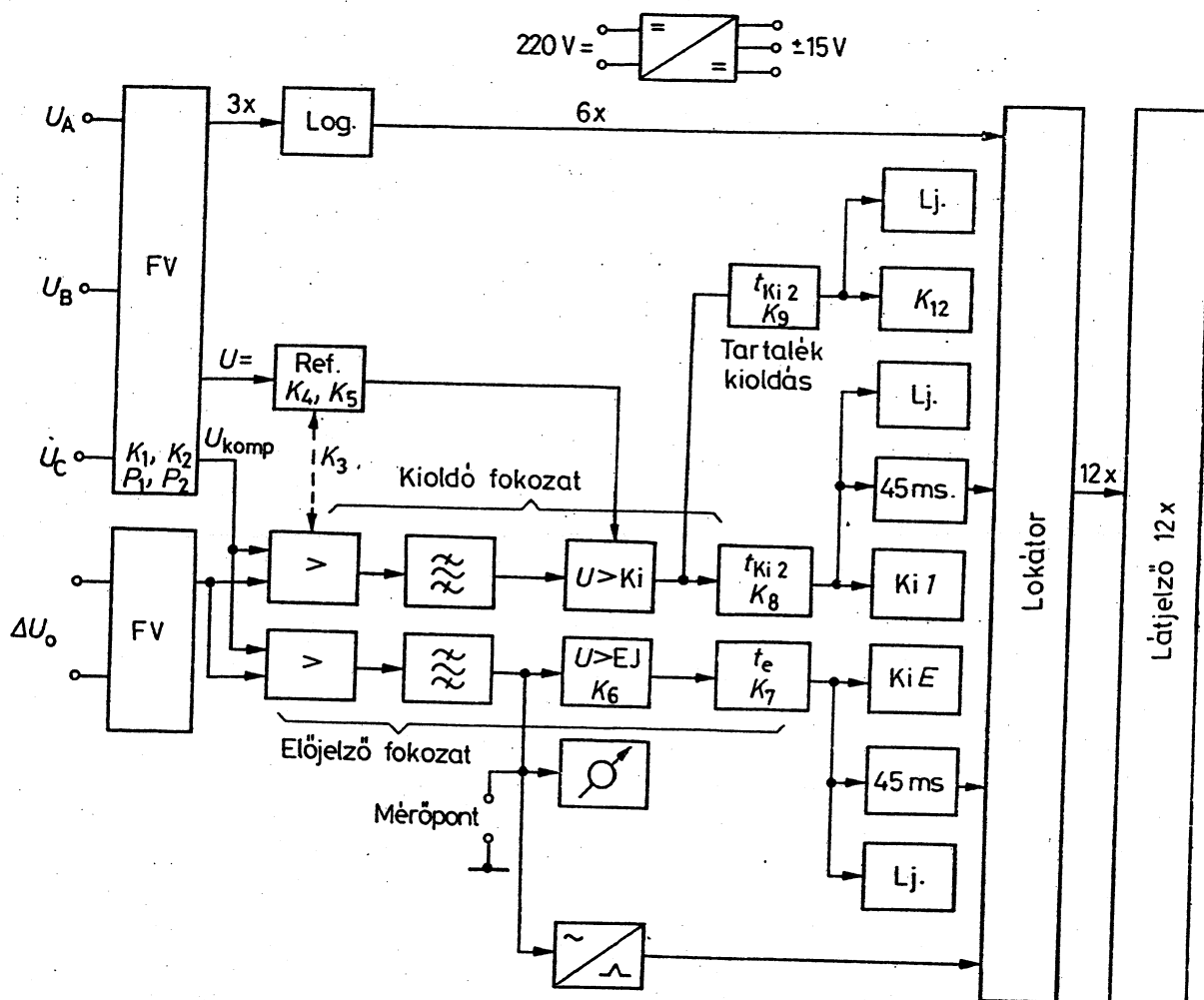
7.94. ábra. Csillagkapcsolású kondenzátortelepek védelmi készülékének csatlakoztatása

Az üzemi feszültség pillanatnyi értékétől függő karakterisztikájú *kioldófokozat* referenciajelét a védelem a három vonali feszültség egyenirányításával állítja elő. A különböző meredekség a változtatható erősítésű közbenső erősítő és a beállított meredekségtől független referenciajel kombinációjával jön létre. Itt is sávszűrő, érzékelő és időmű következik. Egy hosszabb idejű, második tartalék időmű lefutása után a hálózatot tápláló transzformátor kapcsolható ki megszakítóberagadási védelmi jelleggel.

A védelem tartalmaz két hibahelylokátort is, amely az előjelző és a kioldófokozat működésekor megmutatja, hogy melyik féltelep melyik fázisában lépett fel meghibásodás. Erre a különbségi feszültség fázishelyzetének vizsgálatával van lehetőség. A lokátor azt figyeli, hogy



7.95. ábra. A KVL-1 védelem feszültségfüggő kioldási jelleggörbéi



7.96. ábra. A KVL-1 kondenzátorvédelem tömbvázlata

a különbségi feszültség nullaátmenete melyik térhatodba esik. Meg kell jegyezni, hogy pl. az *I.* féltelep *R* fázisában fellépő zárlat és a *II.* féltelep *R* fázisában fellépő szakadás ugyanolyan csillagpont-eltolódást okoz, így azonos kijelzést ad a lokátoron. A kijelző a nagyobb valószínűségű zárlatnak megfelelően van feliratozva.

Belső biztosítókat tartalmazó egységekben a szakadás a tipikus hibajelenség, mert zárlat esetén a hibás elem kikapcsolódik. Ilyenkor a különbségi feszültségváltó polaritását meg kell cserélni a helyes jelzés elérése érdekében. Hogy a telep kikapcsolásakor fellépő tranzienst nullátmenetei ne zavarják meg a lokátort, az csak a kioldóimpulzus megjelenésétől számított 45 ms időtartamig működik.

7.3.3. Elektronikus hibahelytávmérők

Az igen nagy feszültségű (400 kV) hálózatok szabadvezetékeinek zárlathárítási ideje a mai gyors és korszerű védelmi technika és a megszakítók gyors működése mellett 60...80 ms-ra tehető. Ez a rövid zárlathárítási idő hasonlóan gyors működésű hibahelytávmérőket igényel. Alkalmaznak önálló ébresztésű és a távolsági védelmek által ébresztett készülékeket. Az önálló ébresztéssel rendelkező készülékek általában gyorsabbak, tehát előnyösebbek. Mérési elvüket tekintve szinte kizárólag reaktanciát mérnek, ezáltal kiszűrhető a hibahelyi átmeneti ellenállásnak és az ívellenállásnak a hatása. Az érzékelési egyenlet a következők szerint vezethető le. Írható a zárlati áramhurokra:

$$U_z = I_z R + U_i + L_z \frac{dI_z}{dt},$$

ahol U_z a zárlatos fázis feszültsége a védelem, ill. a hibahelytávmérő felszerelési helyén; I_z a zárlatos fázis árama ugyanott; R a zárlati kör ellenállása; U_i az ívfeszültség; L_z a zárlati kör induktivitása.

Az $I_z = 0$ pillanatban $I_z R$ és U_i zérussal egyenlő, így

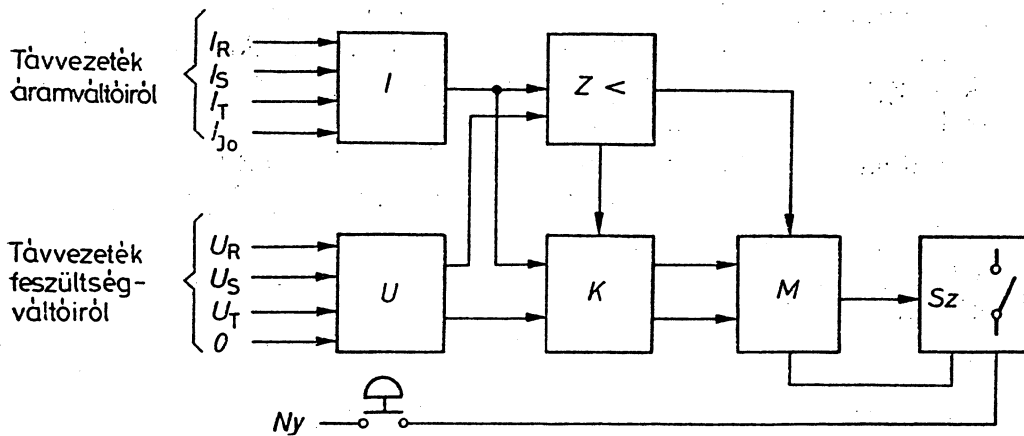
$$U_z = L_z \frac{dI_z}{dt}, \quad \text{tehát} \quad L_z = \frac{U_z}{\frac{dI_z}{dt}}.$$

A megoldás kézenfekvő: az áram nullátmenetében rögzíteni kell a feszültségnek és az áram differenciálhányadosának pillanatértékét, és a kettőt osztani kell. Az eredmény a zárlati távolsággal arányos.

A különböző hibahelytávmérők az áram nullátmenetének kiválasztásában térnek el egymástól. Pl. a Schlumberger cég a zérus sorrendű áram nullátmeneténél, a VEIKI a kevert áram második nullátmeneténél, az English Electric pedig négy, egymás után következő nullátmenetnél mér és azok számtani közepét veszi.

a) A HTX működése

A készülék a távvezeték megfelelő mérőváltóira kapcsolódik (7.97. ábra). A készülékben levő közbenső mérőváltók az elektronika számára megfelelő feszültség szinten állítják elő az árammal és a feszültséggel arányos feszültséget. A $Z <$ ébresztőegységben három impedanciarelé van. Közöttük olyan a logikai kapcsolat, hogy az időben előbb megszólalt relé a másik kettőt reteszeli. Az ébresztés vezérlő kapcsolatban van a K kapcsoló- és az M mérőegységgel. A K kapcsolóegység a három feszültség és a három áram bemenete közül mindig azt a fázist kapcsolja a mérőelemre, amely fázist az ébresztőegység kiválasztotta. Az M mérőegység a zárlati áram differenciálhányadosával és a feszültséggel arányos feszültségeket egymással elosztja, és



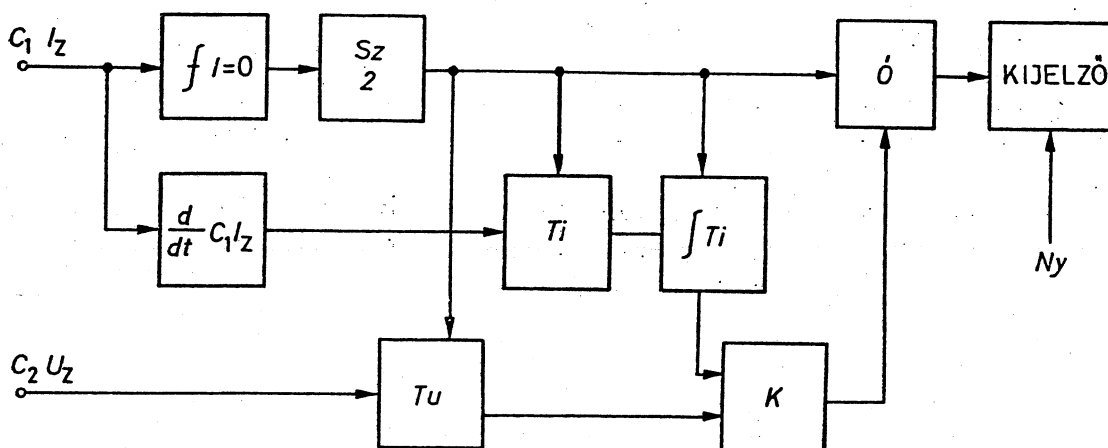
7.97. ábra. A hibahely-táv mérő tömbvázlata

az eredménnyel arányos számú impulzust továbbít az Sz számlálónak. A számláló az eredményt digitálisan kiírja, és a nagyságtól függően három esetet különböztet meg:

- A távolság kisebb mint 30%, ekkor a kiírás mellett kimeneti kontaktust is vezérel (diszkrét érzékelés = közeli zárlat).
- A távolság 30 és 106% közé esik, csak a hibahelytávolság kiírása.
- A távolság 106%-nál nagyobb. A kiírás ekkor 106 % és egy maradó látjelzés.

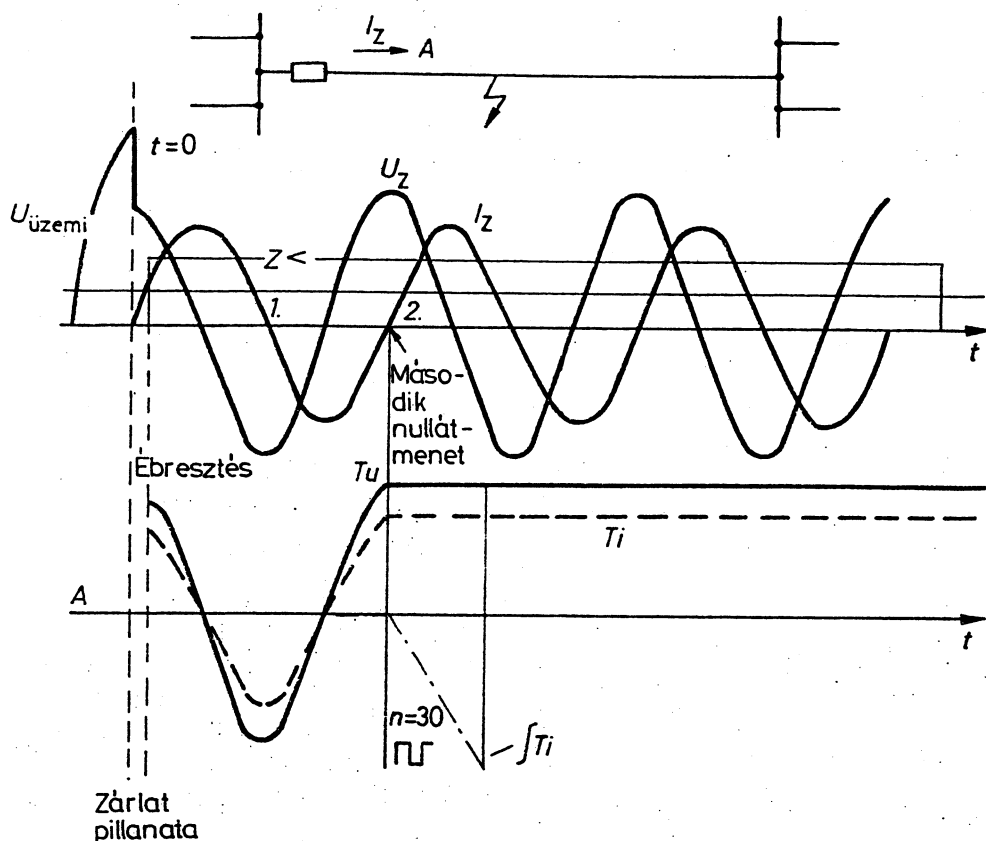
b) A mérőelem

A hibahelytáv mérő elemének tömbvázlata a 7.98. ábrán látható. Az egyik bemenet ($C_1 I_2$) a zárlatos fázis áramával, a másik ($C_2 U_2$) ugyanezen fázis feszültségével arányos feszültséget kap az ébresztésnek megfelelően. Az árammal arányos mennyiség egy differenciátorra kerül, amelynek a kimenetén egy T_i tároló van. Ugyanilyen tárolóra kapcsolódik a zárlati feszültség arányos feszültség is (T_u).



7.98. ábra. Hibahelytáv mérő mérőelem

A tárolók olyanok, hogy a rájuk kapcsolt mennyiségek pillanatértékét pontosan követik, de egy adott pillanatban vezérlésre leválnak róluk és raktározzák az értékét. Ez a pillanat a zárlati áram *második nullátmenetének* pillanata (a második nullátmenetnél már nem jelentkezik a nagyfrekvenciás tranziensek zavaró hatása, azonkívül az áramváltók telítődése sem várható), amelyet az $I = 0$ komparátor és az azt követő ($Sz 2$) számláló határoz meg. Ekkor a számláló indítja még az áramoldali tárolóra kötött integrátort és egy O óragerátort.



7.99. ábra. Hibahelytávmérő működési diagram

Az integrátor kimenete és a feszültségtároló kimenete egy K komparátorhoz csatlakozik. A komparátor az óragenerátort akkor állítja le, amikor a két bemenetének a feszültsége meg-
egyezik. A 7.99. ábrán látható működési diagramról a teljes folyamat jól követhető.

7.3.4. Komplex védelmek, mezőlogikák

Az elektronikus – integrált áramkörös, ill. mikroprocesszoros – védelmek és hálózati auto-
matikák fejlődése szükségszerűen a komplex berendezések megjelenéséhez vezetett. Miután
az egyedi feladatokat ellátó készülékek szinte teljes típusválasztéka kialakult és a gyakorlatban
bevált, kézenfekvő továbblépési lehetőség volt ezeknek olyan közös berendezésbe való össze-
vonása, amelyek összetett védelmi-automatikai feladatok ellátására alkalmasak. A komplex
készülékek az elektronikus védelmek kedvező tulajdonságain kívül az üzemeltetők és a ter-
vezők számára további előnyöket is nyújtanak. Ezek közül említhető a könnyebb szerkezeti
áttekinthetőség és a kisebb helyigény, az egyszerű kezelhetőség, az üzemzavari események és
a működések áttekinthetősége és egyértelmű kiértékelhetősége, a belső logikai információk
közvetlen átadása, bemeneti és kimeneti egységek összevonása stb.

A komplex készülékek első jellegzetes képviselői Magyarországon a középfeszültségű
kábeleágazások és szabadvezetéki leágazások védelmi és automatika funkcióit egyesítő
ETIVA típusjelű berendezések voltak. Csak később jelentek meg a bonyolultabb, még több
elemet tartalmazó komplex berendezések. A külföldi fejlesztési irányok is hasonlóak. Meg-
említhető, hogy világviszonylatban elég gyakori volt a komplex motorvédelmeknek mint
első összevont elektronikus védelemnek a megjelenése.

A) Sugaras középfeszültségű hálózatok leágazásainak komplex védelme és automatikája (a követelményeket l. a 8.5. és a 8.6. alfejezetekben)

Az ETIVA-10 típusjelű berendezéscsalád a 10 kV-os középfeszültségű, hosszan földelt kábelhálózat leágazásaihoz készült. A készülék felépítése az alállomási primer elrendezéstől függ, a 7.100. ábrán láthatók azok a jellegzetes hálózatképek, amelyeket kiszolgál. A 7.100a ábrán az ikerkábeles leágazás közös megszakítóval, közös áramváltón és fojtótekercsen csatlakozik a gyűjtősínre. A közös fojtótekercsre két kábelág egy-egy (T) terhelésszakaszolóval kapcsolható. Az ikerágak közül csak az egyikben van áramváltó a zárlatos kábel kiválasztása céljából. A 7.100b ábrán a közös fojtótekercsre külön-külön megszakítóval és áramváltóval több egyedi leágazás csatlakozik. A c ábra egyedi fojtós leágazást mutat be. A megszakító-nak mindegyik esetben kettős kioldótekercse van.

Az ETIVA-20 készülékcsalád a 20 kV-os középfeszültségű, sugaras, kompenzált hálózatok szabadvezetéki leágazásainak védelmi és automatika feladatkörét látja el. Mindkét ETIVA típus négy fő részből áll: alapvédelem, tartalékvédelem, visszakapcsoló automatika (az ETIVA-10 hibás kábelágot kiválasztó egységgel; az ETIVA-20 zárlatfajtatól függő programozási lehetőséggel), üzemkészésg-ellenőrző.

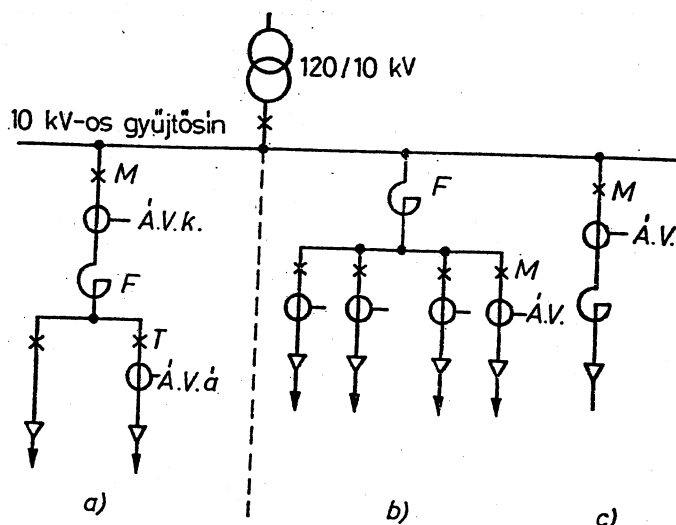
Az *alpvédelem* az ETIVA-10-nél egylépcsős, az ETIVA 20-nál kétlépcsős, kétfázisú, zérus sorrendű áramérzékeléssel kiegészített késleltetett túláramvédelem, amely az áramváltó relémagjára csatlakozik.

A *tartalék védelem* mindkét ETIVA típusnál egylépcsős, zérus sorrendű áramérzékeléssel kiegészített, késleltetett túláramvédelem, amely az áramváltó műszermagjára csatlakozik. Az ETIVA-10 esetén a tartalék védelem kettős késleltetésű a közeli és távoli védelmi tartalékolás céljából. A tartalék védelem reteszeli a visszakapcsoló automatikát, így a kioldás végleges.

A *visszakapcsoló automatika* az 5. fejezet és a 8.5.-8.6. alfejezetek szerint megkísérli a zárlatos leágazás újbóli üzembevételét. A visszakapcsoló automatika háromféle változatban került kifejlesztésre.

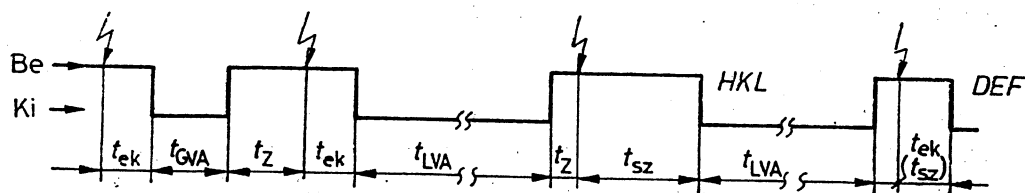
Az ikerkábeles leágazásokhoz háromlépcsős visszakapcsoló automatika – a hibás kábelágot kiválasztó egységgel kiegészítve –, a többi leágazáshoz kétlépcsős, a 20 kV-os szabadvezetéki leágazásokhoz a fázis- és földzárlatokra külön-külön programozható visszakapcsoló automatika telepíthető. A háromlépcsős, a hibás kábelágot kiválasztó egységgel kiegészített visszakapcsoló automatika egy teljes programja példaként a 7.101. ábrán van feltüntetve, ahol

t_{ek} előkésleltetett kioldás (előgyorsítás); t_{sz} az alapvédelem szelektív késleltetése; t_{GVA} a gyors visszakapcsolás holtideje; t_z a zárlat fellépésének ideje visszakapcsolás után; t_{LVA} a lassú visszakapcsolás holtideje; HKL a hibás kábelág kiválasztása; DEF végleges (definitív) kioldás.

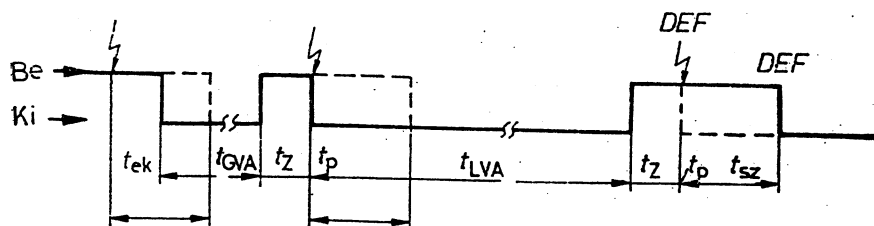


7.100. ábra.

Középfeszültségű kábeléágazások hálózatképei



7.101. ábra. Háromlépcsős visszkapcsolás idődiagramja



7.102. ábra. Kétlépcsős visszkapcsolás idődiagramja

A visszkapcsolási programok tetszőlegesen választhatók ki a hálózaton alkalmazott megszakítóknak és a kívánatos üzemvitelnek megfelelően, emellett választani lehet a végleges kioldás – szelektív, vagy utógyorsított – jellege között is. Kézi zárlatra kapcsolás esetén az automatika feltétel nélküli végleges kioldást ad, szelektív késleltetéssel. Az egyedi és közös fojtótekercsre kapcsolódó kábeleágazáshoz, valamint a szabadvezetékhez alkalmazott visszkapcsoló automatika az előbb ismertetett készülék egyszerűsített változata. A hibás kábelágit kiválasztó egység ez esetben felesleges.

A középfeszültségű szabadvezetéki hálózaton alkalmazott visszkapcsoló automatika egy teljes programja a 7.102. ábrán látható példaként fáziszárlat esetére, ahol t_p pillanatkioldás (gyors fokozat); t_{sz} az alapvédelem szelektív késleltetése (gyors fokozat működésekor = 0 s), a többi értelmezése ua., mint a 7.101. ábrán.

Földzárlat hárítása esetén az automatika működése megegyezik a 7.102. ábrán feltüntetettel. A különbség az, hogy sikertelen lassú visszkapcsolás után a kioldás elmarad, amennyiben földzárlatos üzemet kívánnak tartani. Zárlatra való kézi rákapcsoláskor a működtetést földzárlatnál a végleges kioldás programozása határozza meg, míg fáziszárlatnál végleges kioldásra ad parancsot az automatika. Az *üzemkészség-ellenőrző egység* (ÜKE) folyamatosan figyeli az ETIVA berendezésekhez kapcsolódó külső vezetékhalózati épségét.

Az egység fő funkciói:

- A segédüzemi egyenfeszültségek rendelkezésre állásának, valamint az elektronikus egységek tápfeszültség- és referenciafeszültség-ellátásának ellenőrzése.
- A megszakító működtetőköréi épségének (folytonosságának) figyelése.
- Az alap- és tartalék védelemhez kapcsolódó áramváltókörök ellenőrzése céljából az ellenőrző szerv összehasonlítja a relé – ill. a műszermagról bejövő áramok nagyságát.

Az üzemkészség-ellenőrző egységet kiegészíti egy olyan vizsgálóegység, amely lehetővé teszi a készülékek ellenőrzését és próbáját, mind élesen, mind a kimenőparancsok bénított állapotában.

A vizsgálóegység kialakításánál fontos szempont, hogy a próbák ideje alatt sem maradhat a védendő vezeték védelem nélkül. Ezért a tartalékvédelmi rendszer még az alapvédelem kimenőparancsainak bénított állapotában történő vizsgálatánál is üzemkészségben marad.

B) Alaphálózati távvezetékek mezővédelme és mezőlogikája

A készülék 400, ill. 220 kV-os szabadvezeteki mező valamennyi védelmi automatika és logikai feladatának ellátására készült. (A vele kapcsolatos követelményeket l. a 8.3. alfejezetben). Alkalmos mind két gyűjtősínes, mind másfél megszakító állomási elrendezésre. Típusa: ML-400. Kétféle változata van: az egyiknél sem első-, sem másodrendű alapvédelem nem kerül beépítésre, a másik változat a másodrendű alapvédelmet tartalmazza. A mezővédelem a következő egységekből áll:

másodrendű alapvédelem (HSzV szakaszvédelem vagy ETV távolsági védelem);

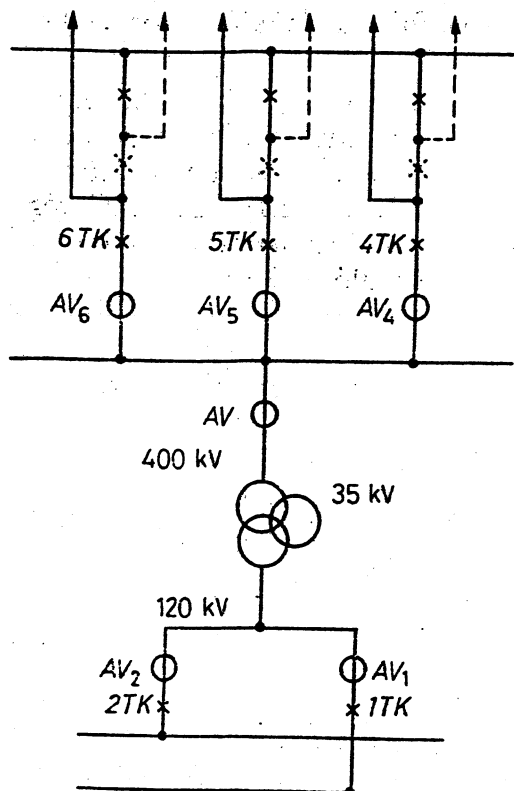
visszakapcsoló automatika (EVA és HVA);

diszkrét érzékelés és a hozzá rendelt logika (l. a 8.3. alfejezetet);

- a holtidő alatt visszatérő feszültség logikája (l. a 8.3. alfejezetet);
- a vivőfrekvenciás szinkronozás és távkioldás logikája (l. a 8.3. alfejezetet);
- feszültségnövekedési védelem (fojtó bekapcsolása ill. távvezeték kikapcsolása);
- feszültségcsökkenési automatika (fojtó kikapcsolása);
- zárlati túláramvédelem (ultragyors működésű);
- hibahely távmérő (HTX);
- bemenő és kimenő áramkörök;
- üzemkésztség-ellenőrző egység (funkcióit l. a 7.3.4. szakasz A) pontjában, kiegészítve a beépített mikroszámítógép üzemkésztségének ellenőrzésével);
- vizsgálóberendezés;
- tápegység.

C) 400/120 kV-os transzformátor mezőlogikája

A berendezés alkalmazására jellemző diszpozíciós példa a 7.103. ábrán látható. A mezőlogika tartalmazza a transzformátormező valamennyi védelmét, üzemzavari automatikáját, az üzemkésztség-ellenőrző áramköröket és a vizsgálórendszert. Ez utóbbi vakpróba jellegű és éles vizsgálati lehetőséget is biztosít.



7.103. ábra.

Alaphálózati (400/120/35 kV-os) transzformátormező

A mezőlogika főbb funkcionális egységei a következők (részletesen l. a 8.3. alfejezetet):

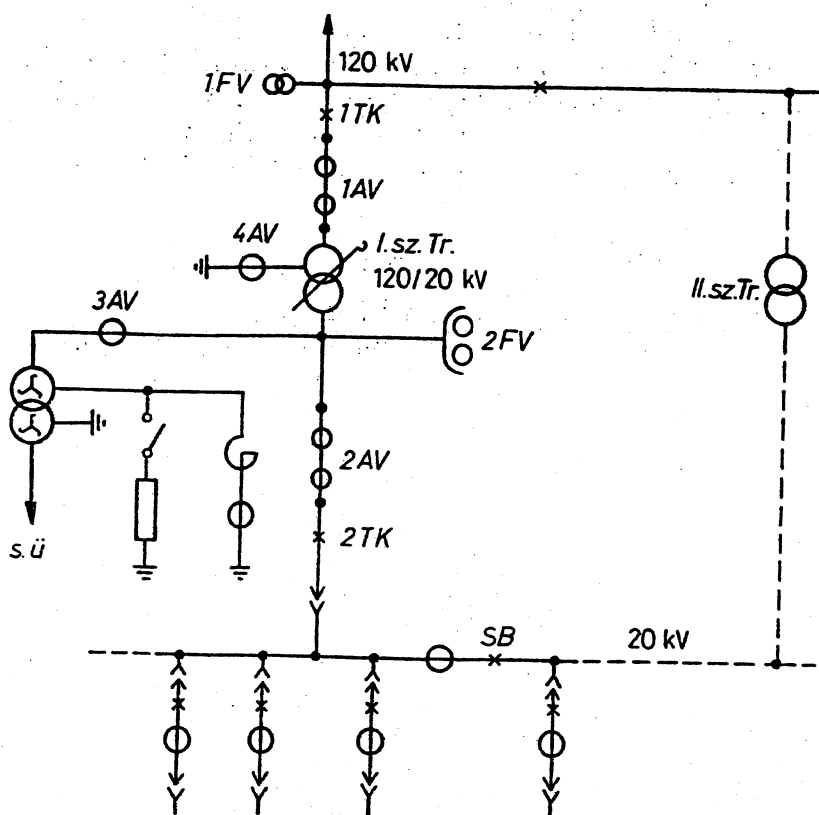
- kettős differenciálvédelem;
- ultragyors túláramvédelem;
- túlterhelésjelzés;
- impedanciavédelem, 400 kV-ra;
- irányított impedanciarelé, áramirányrelével kiegészítve a 120 kV-os villás megszakító csatlakozáshoz;
- zérus sorrendű feszültségrelé a terciér oldalra;
- üzemkésztség-ellenőrzés. (Ez utóbbi a szokásos ellenőrzések mellett a megszakító segédérintkezők helyes állását is ellenőrzi);
- tápegység.

D) 120/20 kV-os transzformátorok komplex védelme és automatikája

A TRV–120/20 típusjelű komplex védelem és automatika a 120 kV-os oldalon megszakítóval rendelkező, T vagy Π csatlakozású 120/20 kV-os transzformátort szolgál ki. Az állomás primer kapcsolása a 7.104. ábrán látható. A 20 kV-os rész szokásosan tokozott.

A berendezés főbb funkcionális egységei a következők (a követelményeket l. a 8.5. alfejezetben):

- differenciálvédelem;
- gázvédelem logikája (öntartás, ill. impulzusnyújtás);
- fokozatkapcsoló gázvédelem logikája;
- hőmérséklet-védelem;
- 120 kV-os késleltetett túláramvédelem;
- 120 kV-os végponti fáziskiválasztó védelem (C védelem) és kétlépcsős visszkapcsoló automatika;



7.104. ábra.
Elosztóhálózati (120/középfeszültség)
transzformátormező

- 20 kV-os, kétfokozatú, késleltetett túláramvédelem;
- a 20 kV-os, egyenáramú gyűjtősínvédelem és a megszakítóberagadási védelem azon egységei, amelyek a transzformátormezőhöz tartoznak;
- közép feszültségű egylépcsős (lassú) visszkapcsoló automatika;
- 20 kV-os földzárlatvédelmi rendszer központi szervei; U_0 -érzékelő, a földzárlati áramnövelő ellenállást vezérlő automatika, az áramnövelő ellenállás termikus védelme, földzárlati fedővédelmi automatika kétlépcsős visszkapcsoló automatikával;
- csillagpontképző transzformátor gázvédelmének logikája és késleltetett túláramvédelme;
- esemény- és állapotvezérlésű transzformátorátkapcsoló automatika;
- frekvenciacsökkenési védelem;
- kioldóegységek, a hibajelző és a zavarító áramkörei;
- vizsgálóegység (üzem közbeni ellenőrzése);
- üzemkészség-ellenőrző rendszer;
- tápegység.

E) 120/10 kV-os transzformátorok komplex védelme és automatikája

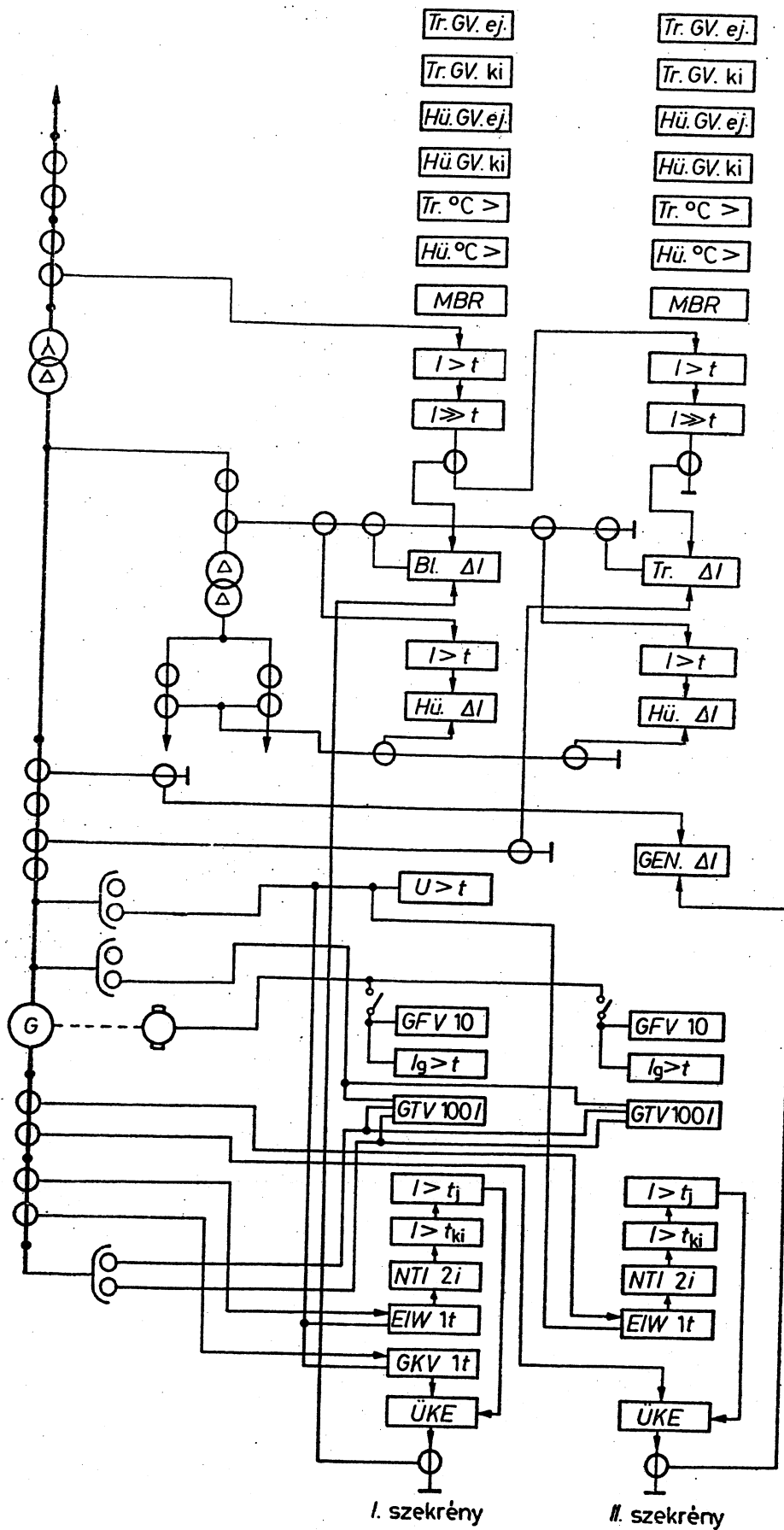
A TRV–120/10 típusjelű berendezés gyűjtősínes csatlakozású 120/10 kV-os transzformátor védelmére szolgál. A 10 kV-os oldal ellenálláson keresztül földelt (hosszúföldelés) csillagpontú kábelhálózathoz csatlakozik. Ennek megfelelően a védelmi és automatika rendszer csak a 120 kV-os logikában és a közép feszültségű földzárlatvédelem kialakításában tér el az előző TRV–120/20 típusú készüléktől (l. még a 8.6. alfejezetet).

F) Generátor – transzformátor blokk védelme

A nagyteljesítményű egységeknél ($S \cong 200$ MVA) a megbízhatóság és az üzem közbeni ellenőrizhetőség követelményének a blokkvédelem úgy tesz eleget, hogy egymástól a lehetőségek szerint maximálisan elválasztott két szekrényből áll, amelyek önállóan is képesek ellátni a blokk védelmét. Ez a felosztás a pillanatműködésű és a létfontosságú védelmek kettőzését, a többi védelemnek pedig a szekrények közötti meggondolt megosztását jelenti. A két szekrény különböző áramváltókra, külön biztosított feszültségváltó-leágazásokra, külön biztosított akkumulátorleágazásokra csatlakozik, a kioldókörök pedig független működtetőtekercekre hatnak.

A szekrények a következő védelmeket tartalmazzák (7.105. ábra):

- főtranszformátor és háziüzemi transzformátor gázvédelmei (az öntartó áramkörök a védelemben vannak, az általános nyugtázástól különválasztott nyomógombbal oldható az öntartás);
- transzformátorok hőmérsékletvédelmei;
- 120 kV-os kétlépcsős túláramvédelem (nem fázisszelektív);
- a blokk differenciálvédelme (TD3, csak az I. szekrényben);
- a főtranszformátor differenciálvédelme (TD3, csak a II. szekrényben);
- a háziüzemi transzformátor differenciálvédelme (TD2);
- a generátor differenciálvédelme (GD2, csak a II. szekrényben);
- az állórész testzárlatvédelme, 50 Hz-es és 150 Hz-es fokozat (GTV 100. I.);
- a forgórész földzárlatvédelme (GFV 10, működési elvől következően egyszerre csak az egyik szekrény védelme kapcsolódhat a forgórészre, ezért üzemszerűen csak az I. szekrény védelme működik, a II. szekrény védelme csak az I. szekrény bénított helyzetében, ill. a tápfeszültség kimaradása esetén kapcsolódik a forgórészre);



7.105. ábra. Generátor--transzformátor blokkvédelem tömbvázlata

- visszteljesítmény-védelem (EIW 1t, egy érzékelővel, két időművel). A rövidebb időzí-tésű fokozat a főgőzszelephez reteszelt. A két szekrény védelmei más áramváltómagra és más fázisra csatlakoznak;
- a forgórész túlterhelés elleni védelme (fejlesztés alatt áll);
- háziüzemi transzformátor egyfokozatú késleltetett túláramvédelme (nem fázisszelek-tív);
- a generátor túlterhelés elleni védelme: kétfokozatú, az egyik jelzésre, a másik kioldásra, nem fázisszelektív);
- negatív sorrendű túláramvédelem (NTI 2i, egy jelző- és egy függő késleltetésű kioldó-fokozattal);
- gerjesztéskimaradás elleni védelem (GKV, csak az I. szekrényben);
- feszültségnövekedési védelem (egyfokozatú, csak az I. szekrényben);
- megszakítóberagadási védelem (egy időműből áll, a két szekrény védelmei kölcsönösen indítják egymást).

A blokkvédelemben emellett a következő egységek vannak:

- üzemkészség-ellenőrző rendszer (a szokványostól eltérő benne az, hogy erőművi berendezésről lévén szó, a szigetelt egyenáramú segédüzem miatt a működtetőkörök folyama-tosságát bonyolultabb kör ellenőrzi);
- vizsgálórendszer.

A kisebb blokkokhoz egyszerűbb komplex védelem készül, ez azonban nem teszi lehetővé a blokk tartós üzemben tartását az alapvédelmek kiesése esetén.

7.4. Mikroprocesszoros védelmek

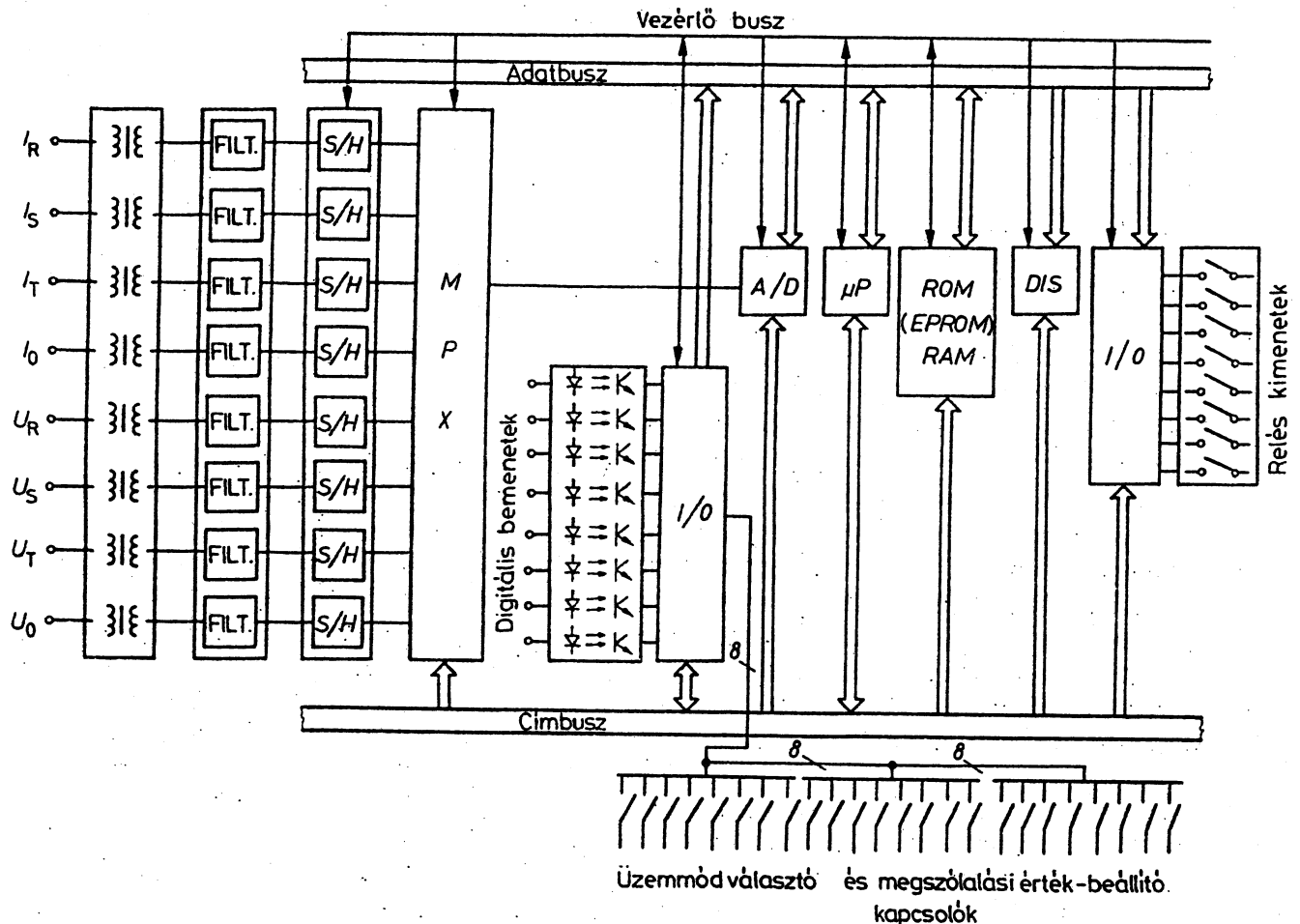
A mikroprocesszor megjelenése reális lehetőséget adott a védelmes feladatok digitális techni-kával történő megoldására. A két fő feladat a megfelelő zavarbiztonságú, méretű és áru hardver kiválasztása és az alkalmas szoftver kidolgozása.

A *hardver* kiválasztása terén két alapvető irányzat lehetséges: egyik az általános célú, olcsó, viszonylag hosszú ideig hozzáférhető áramkörök alkalmazása; a másik pedig a cél-áramkörök kidolgozása.

Az *általános célú áramkörök* választása a fejlesztés során, valamint kisebb darabszám esetén gazdaságos. Előnye az alkatrészek könnyű beszerzésének lehetősége, a velük kapcsola-tos részletes információk rendelkezésre állása, a szinte korlátlan bővíthetőség. Hátránya, hogy sokféle alkatrész szükséges, nagy kiterjedésű, ezért zavarérzékeny felépítés.

A *speciális áramkörök* kidolgozása a fejlesztés igen magas költségei miatt csak nagy da-rabszám esetén kifizetődő, viszont a nagyságrendekkel kisebb méretek miatt zavarérzékeny-ségük összehasonlíthatatlanul jobb a kereskedelemben kapható áramkörökből felépített hard-vernél. A járulékos költségek csökkenése (kiegészítő áramkörök nem kellenek, a szerelési idő kisebb, a kevesebb összekötési pont miatt nő a megbízhatóság stb.) már viszonylag kisebb darabszám esetén is elérheti azt a szintet, ami a céláramkörök javára billenti a mérleget.

Egy általános célú mikroprocesszoros védelem felépítése a 7.106. ábrán látható. Meg-felelő sebességű és szóhosszúságú processzort feltételezve a programok változtatásával ugyanez a hardver tetszőleges védelmi feladat megoldását teszi lehetővé. Az analóg bemenő jelek gal-vanikus leválasztás után szűrőkre jutnak. A szűrőket *mintavevő és tartó* áramkörök (S/H: sample and hold) követik. Ezek feladata az, hogy adott ütemben (pl. 600 Hz) az analóg jel pillanatértékét rögzítsék és tárolják a feldolgozás számára mindaddig, amíg a multiplexer vezérlése szerint az *analóg/digitális* átalakító ciklikusan (időben egymás után) át nem alakítja azokat a digitális jellé. Ezzel a megoldással egyetlen A/D átalakító segítségével az azonos időpontban vett minták tárolhatók a későbbi feldolgozás számára.



7.106. ábra. Egy általános célú mikroprocesszoros védelem felépítése

FILT. analóg előszűrő; S/H mintavevő/tartó áramkör; MPX multiplexer; A/D analóg–digitális átalakító; I/O bemeneti/kimeneti áramkör; μP mikroprocesszor; ROM csak olvasható memória; EPROM törölhető, programozható csak olvasható memória; RAM írható–olvasható memória

Az A/D átalakító szükséges szintfelbontását az adott védelmi feladatban előforduló áram és feszültség értékeinek legkisebb és legnagyobb, még feldolgozandó értéke (átfogás) és a megkívánt pontosság szabja meg. Pl. egy 8-bites átalakítóval, ha az előjelre is szükség van, $2^7 = 128$ szint különböztethető meg. Ez négyszeres átfogás esetén (pl. túláramrelé (1...4) I_n beállítási tartománnyal), 32 szintet és kb. 5% pontosságot jelent. Látható, hogy ilyen feladat éppen megoldható a 8-bites felbontással és egyszerű, 8-bites processzorral is. Kétutas egyenirányítót használva az előjelbit megtakarítható, így kétszeresre bővíthető az alkalmazhatóság határa.

Ha impedanciarelében gondolkodunk, általános az 1...50-es átfogás, az előbbi pontossággal ez legalább 12 bites átalakítót igényel és még az előjelbitre is szükség van. A 12 bites A/D átalakító jelei jól feldolgozhatók 16 bites processzorral, vagy 3 db négybites, ún. „bit-szelet”-processzorral. Végző soron, ha az idő engedné, használható lenne nyolcbites processzor is, amely két szóként dolgozna fel a 12 bitet, de éppen az impedanciareléknél elkerülhetetlen osztási művelet időigénye ezt kizárja.

A mintavétel gyakoriságát az alkalmazott algoritmus határozza meg. Általános a periódusonkénti 8–12–16–20 mintavétel. A 12 minta alkalmazása különösen alkalmas a digitális szűrők realizálására, ezért a gyakorlatban igen sok helyen alkalmazzák. A mintavétel gyakoriságát felülről a feldolgozási sebesség kolátozza, ugyanis két mintavétel között el kell tudni végezni az összes szükséges műveletet, s önellenőrzésre is kell hagyni időt. Az A/D átalakítás után kapott jel már a számítástechnikában megszokott módon kerül feldolgozásra. A pro-

cesszor vezérli a rendszert a vezérlő és cimbuszokon keresztül a csak olvasható (Read Only Memory = ROM) memóriában elhelyezett program alapján. Ha ez a memória programozható (PROM), esetleg törölhető is (EPROM), akkor ezen IC cseréjével ugyanaz a hardver különböző védelmi algoritmusok megvalósítását teszi lehetővé. A 7.106. ábra szerinti felépítés pl. lehet egyszerű túláramvédelem különböző függő és független karakterisztikákkal, esetleg feszültségcsökkenési elemmel kiegészítve is, de ha a sebességi lehetőségek megfelelőek, akár visszakapcsoló automatikával ellátott többlépcsős távolsági védelem is.

Az *egyenáramú digitális bemenő információk* optikai leválasztókon kerülnek a bemeneti (I/O = input/output) egységekre. Ezekben a bemeneteken programmegszakítási lehetőségek is vannak, tehát a bejövő jellel a megfelelő ágra lehet terelni a programot a célnak megfelelően.

A processzor a program szerint különböző beavatkozásokra adhat parancsot a kimeneti áramkörökön (I/O) keresztül. Megfelelő erősítés után ezek a *kimenetek* az elektronikus védelmekben szokásos kimeneti kontaktusokat vezérlik.

A processzor a feldolgozás során a RAM (írható-olvasható) memóriában tárolja a pillanatnyi adatokat. Ezek zavarító jelleggel megőrizhetők, és vagy a védelmen levő digitális kijelzőn (display) olvashatók le, vagy ha az egyedi védelmek az állomási számítógépes rendszerhez csatlakoznak egy másik I/O rendszer segítségével, akkor akár sornyomtatón is megjeleníthetők.

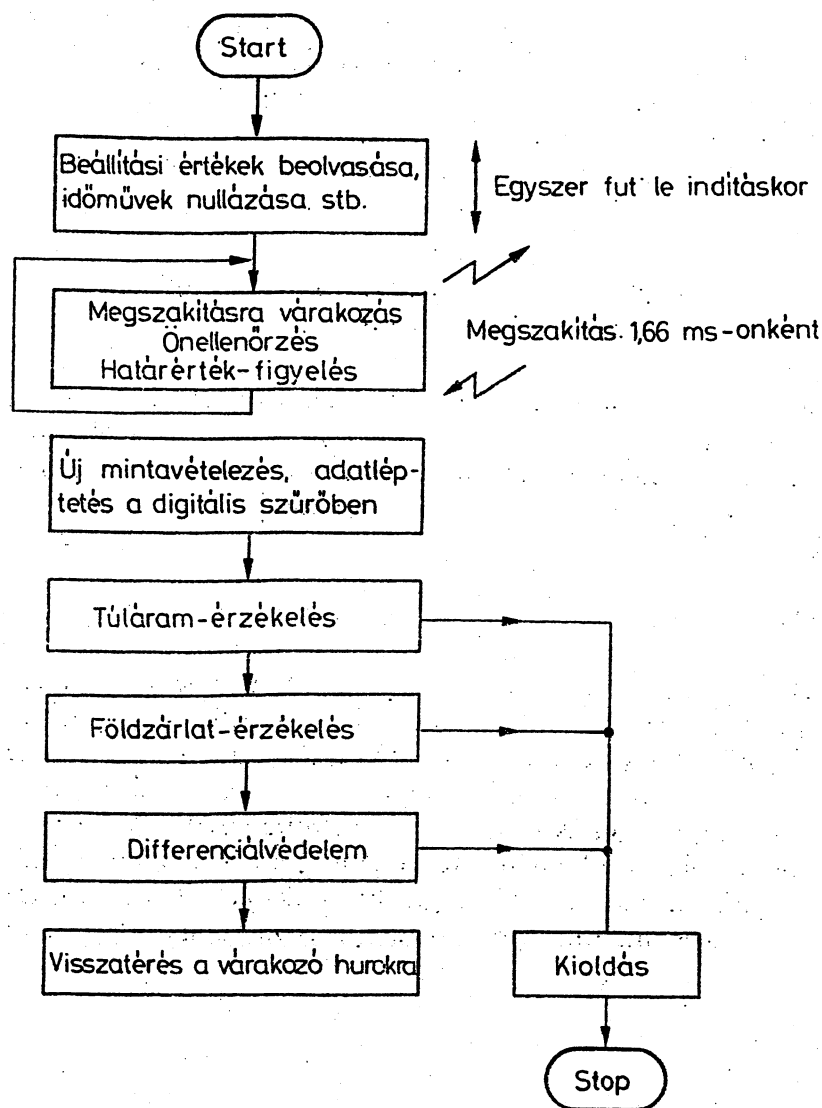
A ma forgalomban levő *mikroprocesszoros motorvédelmek* pl. ellátják a zárlati túláramvédelmi, túlterhelési, földzárlati, negatív sorrendű túláramvédelmi feladatokat, és a kijelzőjükön lehívhatók a pillanatnyi beállítási adatok, az utolsó működés maximális áramadatai, az hogy melyik védelmi algoritmus adta a kioldást, és hogy az időzített fokozatok meddig futottak stb. A beállítási adatok digitális vagy analóg formában vihetők be. Az előbbi módszert a kis mikrokapcsolók sora és a számkerék alkalmazása jellemzi, az utóbbira a stabil feszültségre kötött potencióméterekről levett jelek felhasználása a példa. Ezen utóbbi feszültségeket a processzor a szabad A/D csatornákon keresztül periodikusan olvassa be.

Az egychipes mikroprocesszorok tulajdonképpen átmenetet képeznek általános célú és a céláramkörök között. Tartalmazzák általában az A/D átalakítót a RAM és EPROM tárat, a digitális kimeneti és bemeneti kapukat, valamint az óragenerátort és a késleltető áramkört is. Egyszerű túláramvédelemnél az A/D átalakítóra csak a függő karakterisztikát vezérlő áramjel kapcsolódik, a zárlati túláram és földzárlati érzékelő lehet hagyományos, az elektronikus védelmekben alkalmazott megoldás. Ezek után már csak a kimenet reléi és a tápegység szükségesegek.

A védelmekben felhasznált *algoritmusok* az egyszerű határérték-túllépés figyelésétől a sokféle felharmonikus kiszűrését igénylő differenciálvédelmeken át az impedanciaszámítást is igénylő távolsági védelmekig terjedhet. A távolsági védelem is különböző elveken működhet: megoldhatja a zárlatos kör differenciálegyenletét az R , L értékekkel az áram és feszültség pillanatértékeinek felhasználásával: számolhat feszültség- és áramvektorokkal (fazor) az $R-X$ koordinátarendszerben, de megoldható a feladat a vezeték hullámegyenleteinek alapján is.

A számítógépes védelmek programjának egy jellegzetes *példája* látható transzformátorvédelemre a 7.107. ábrán. Nyugalmi helyzetben a processzor önellenőrző programot futtat, rendszeresen beolvassa a beállítási értékeket, határérték-figyelést végez stb. Határérték-túllépés esetén, amely esetleg lehet impedancia is (akkor állandóan kell számolni ezt is) az önellenőrző program megszakad és a vezérlés a megfelelő védelmi programra terel át. A számítások eredményének megfelelően vagy kioldás következik, vagy visszaáll az alapállapot.

Az *önellenőrzés* két módszere terjedt el. Az egyik csak a program ellenőrzésére szolgál. A processzor ciklikusan összeadja a programot tartalmazó tárrész tartalmát, és ha eltérést talál, hibajelzést ad (esetleg újraindítja önmagát). Ezt a vizsgálatot nevezik „*check sum*”-nak. A másik ellenőrzés félig hardver jellegű. A programot úgy építik fel, hogy bizonyos időközönként átfusson egy adott ponton. Ezzel az átlépéssel újraindítanak egy olyan időművet, amely a leg hosszabb ciklusidő fölé van állítva. Ha a program elakad valahol, lejár ez az időmű, hibajelzést ad és újraindítást. Ezt az áramkört hívják „*Watch Dog*”-nak. Általános programírási szabály, hogy bárhová is kerül a program a futás során (akár egy zavar hatására oda, ahová zavar nélkül soha nem is juthat), legyen kiút, valahogy kerüljön vissza a normál kerékvágásba.



7.107. ábra.
Egy mikroprocesszoros
transzformátorvédelem programjának
felépítése

Szoftverrel sok más ellenőrző funkció is könnyen megvalósítható. Pl. a mérőváltók ellenőrizhetők úgy, hogy a három fázisáram összegének egyeznie kell a zérus sorrendű árammal, az A/D átalakító pedig egy ismert feszültség bemérésével ellenőrizhető. Ez utóbbi szabad multiplexerbemenet esetén még külön költséget sem jelent.

Az állomási folyamatirányító számítógépek elterjedése felveti azt a lehetőséget, hogy bizonyos védelmi funkciókat is erre a központi gépre bizzanak. Ez gazdaságossági szempontból a hetvenes években célszerű lehetett, de a megbízhatósági követelmények már ekkor is ellentmondtak ennek a megoldásnak. A központi gép hibája az összes védelem megszűnését jelentené, valamint a több leágazást egyszerre érintő zárlatok (pl. gyűjtősínzárlatok) esetén sebességi problémák lépnének fel. A hardver árának csökkenése ma már elvezetett az egy védendő leágazás – egy védelem elv alkalmazásához. Ilyen esetekben mindig az összes védelmi és automatika funkciót megvalósító komplex védelemről van szó, tartalék védelem céljaira pedig „hagyományos” elektronikus védelmet alkalmaznak.

A digitális elvű védelmeket tápláló mérőváltók fejlesztésénél az az elképzelés, hogy ezeknek közvetlen digitális kimenetük legyen, és lehetőleg kűszöböljék ki a jelenlegi mérőváltók hibáit (az áramváltó egyenáramú tranziense, kapacitív feszültségváltók lengése stb.). A galvanikus elválasztást a digitális jeleket továbbító üvegszál-optika biztosítani tudja, a vezetékre telepített elektronika táplálása pedig megoldható a vezeték primer energiájának kicsatolásával.

Jelenleg a világ valamennyi jelentős relégégyártó cégének van mikroprocesszoros védelme, és intenzív kutatás folyik ezeknek a gyakorlati bevezetésére, az új típusok kipróbálására.

Először az egyszerűbb, kisebb sebességi igényű védelmek jelentek meg (motorvédelem, függő karakterisztikájú túláramvédelem stb.) azonban ezek szolgáltatásai már jelentősen meghaladták a szokásos elektronikus védelmek szolgáltatásait. A következő lépés rendszerint a differenciálvédelem megvalósítása, itt már nagyobb a sebességi igény, és digitális szűrőkre is szükség van. Ennek sokféle algoritmus alakult ki, általában a megelőző mintavételi értékek különbözően súlyozott rekurzív összegezésén alapulnak. A periódusonkénti minták száma egyértelműen meghatározza a még kiszűrhető felharmonikusok rendszámát.

A jelenlegi fejlesztések nagy területe a távolsági védelem. Az impedanciaszámítás nagyon időigényes, a megkívánt pontosság is nagyobb a szokásosnál, így szinte mindenütt 16–32 bites processzort vagy bitszelet-processzorokat alkalmaznak.

A legjelentősebb eredményeket az Egyesült Államokban és Japánban érték el eddig, ami a számítástechnika fejlettségi szintjével magyarázható. Más országokban általában ott gyorsabb a fejlődés, ahol a hagyományos védelemgyártás nem jelentős, és a fejlesztés kezdetén elkerülhetetlenül drágább védelmeknek nem kell konkurálniuk a meglévő konstrukciókkal.

7.5. Elektronikus védelmek vizsgálata

Az elektronikus védelmeket az állomási és erőművi erősáramú környezetben üzemeltetik. A készülékekben alkalmazott elemek viszont gyengeáramúak, ezért speciális óvintézkedések szükségesek ahhoz, hogy e készülékek a korábbi klasszikus elektromechanikus relékhez képest ne legyenek érzékenyebbek és sérülékenyebbek. Az elektronikus védelmek tervezésénél és kivitelezésénél ezért az erősáramú környezet hatásait messzemenően figyelembe veszik. A galvanikus leválasztás és árnyékolás, a megfelelő táplálás, a bemeneti és kimeneti körök védelme mindmind azt a célt szolgálja, hogy a védelem a várható legszélsőségesebb hatásokat is meghibásodás nélkül elviselje. Ezek a hatások sem téves működést, sem pedig működéselmaradást nem okozhatnak.

7.5.1. Vizsgálati előírások

Az elektronikus védelmek tűrőképességének és üzembiztonságának ellenőrzésére különféle speciális vizsgálatokat írtak elő.

Az *első vizsgálat a készülékek szigetelési szilárdságának ellenőrzése*. Ezt az ismert módon 50 Hz-es, 2000 V effektív értékű feszültséggel kell elvégezni, ahogyan ez már a korábbi mechanikus reléknél is előírás volt, azaz 1 perc alatt 2000 V-ig történő lassú felgerjesztés, 1 percig kell a vizsgált kapcsokon a 2000 V-os feszültséget tartani és 1 perc alatt kell folyamatosan legerjeszteni.

A teljes vizsgálófeszültség hirtelen rákapcsolása olyan ellenőrizhetetlen nagyságú túlfeszültségekkel járhat, amelyek az egyébként megfelelő készülékeket is tönkreteszhetik. A feszültséget a védelem összes kimeneti kapcsai és a földelt reléház, valamint a galvanikusan független kapcsok közé kell kapcsolni.

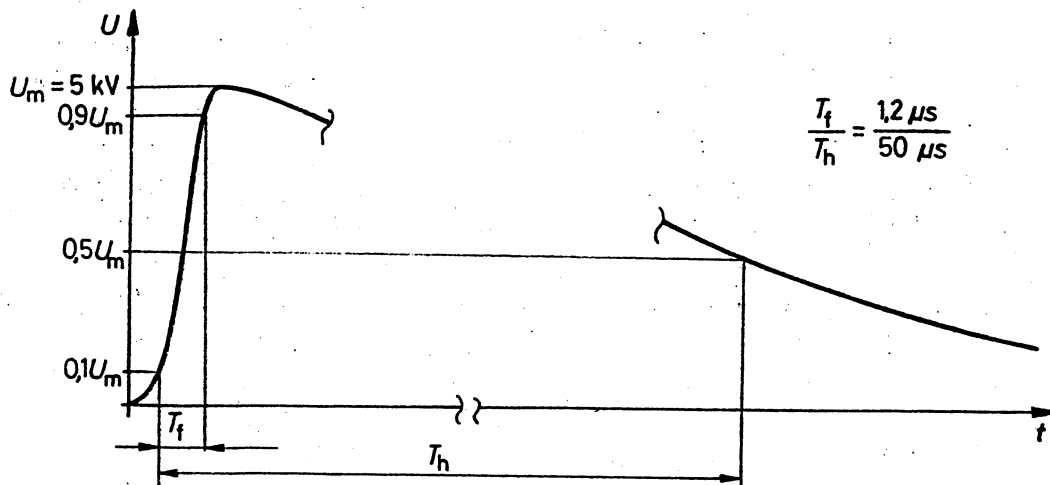
A *második vizsgálat, amely az elektronikus védelmek speciális vizsgálata, az 5000 V csúcsértékű 1,2/50 μ s-os lökőfeszültség-próba*. Ezt az IEC Publication 255-4 Appendix E javasolja, széles körben elvégzett mérési vizsgálatok és üzemi tapasztalatok alapján. A gyakorlatban ugyanis kiderült, hogy a védelmek kapcsára rövid ideig tartó tranziens túlfeszültségek kerülhetnek, amelyeknek viszonylag nagy lehet a csúcsértéke. Az egyenáramú segédüzemi körökben történő kapcsolási műveletek, segédrelék, időrelék, megszakítók, szakaszolók stb. működései normál üzemben és zárlatokkor mind tranziens zavarforrások.

A lökőfeszültség hullámalakja a 7.108. ábrán látható. A lökőfeszültség-forrás belső ellenállása 500 Ω , energiája 0,5 Ws legyen. A vizsgált készülékekre három pozitív és három negatív impulzust kell egymás között min. 5 s kivárással rákapcsolni:

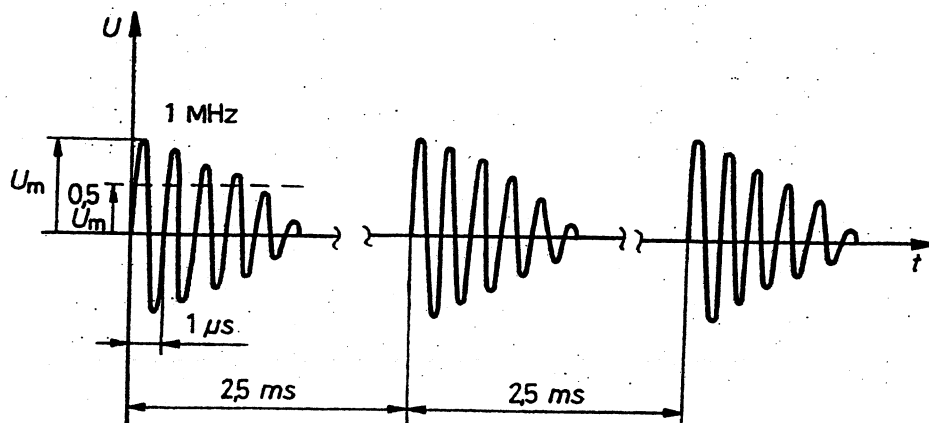
- a) a védelem minden kimeneti kapcsa és a földelt ház közé,
- b) az egymástól galvanikusan független kapcsok közé,
- c) a védelem azonos áramköreinek kapcsai közé.

A lökőfeszültség-próbák alatt a védelmet le kell választani a külső áramkörökről.

Sikeresnek minősítendő a lökőfeszültség-próba, ha utána a vizsgált védelem működőképessége és pontossága változatlan marad. Előfordulhat, hogy a vizsgálat közben a készüléken belül átütés, pl. kapacitív kisülés következik be. Ez nem tekintendő negatív eredménynek – a 2 kV 50 Hz-es szigetelési szilárdsági próbánál viszont annak kell tekinteni –, ha olyan szerkezeti részekenél következik be, hogy ez semmiféle meghibásodást nem okoz, és a védelem működőképes marad.



7.108. ábra. A lökőfeszültség hullámalakja



7.109. ábra. A nagyfrekvenciás zavarfeszültség hullámalakja

A harmadik vizsgálat az ún. nagyfrekvenciás zavartatási próba. Ezt is az IEC 255–4 Appendix E javasolja. Ennek az a célja, hogy nagy zavartatású ipari állomási, erőművi környezetben se működjék helytelenül a védelem, és ezzel bizonyítsa a zavarérzékenységét. A vizsgáló feszültség 1 MHz-es csillapodó rezgések sorozata, amelyeknek ismétlődése 400/s, és maximális amplitúdója 2,5 kV vagy 1 kV, a vizsgálati mód függvényében. A csillapodás mértéke olyan legyen, hogy az 1 MHz-es szinuszhullám csúcsértéke 3...6 periódusidő alatt 50%-ára csökkenjen (7.109. ábra). A feszültségforrás belső impedanciája 200 Ω legyen, a vizsgálati időtartam pedig 2 s. Olyan védelmeknél, amelyeknek minimális megszólalási ideje nagyobb, mint 2 s, ezt az utóbbi időt kell vizsgálati időtartamnak tekinteni.

Az ellenőrzést a védelem bekapcsolt állapotában, a megfelelő bemeneti feszültségek és áramok rákapcsolása mellett kell elvégezni. A védelem fémházát és minden más erre kijelölt kiemeneti kapcsát földelni kell. A zavarfeszültséget rá kell kapcsolni:

- minden egyes független áramkör és a föld közé,
- az egyes független áramkörök közé,
- ugyanazon áramkör bemeneti kapcsai közé.

A zavarvizsgálatok alatt a védelem kétféle működési állapotát kell ellenőrizni. A megszólalási értékek fölötti gerjesztési állapotban nem szabad elejtenie, a megszólalási értékek alatti gerjesztési állapotban pedig nem működhet. Természetesen a vizsgálatok alkalmával meghibásodás nem következhet be.

A negyedik fajta vizsgálat a védelmeket tápláló egyenfeszültségű hálózaton fellépő ellátási zavarokat van hivatva leképezni. Az általában nagyon kiterjedt segédüzemi hálózaton rendszeresen fordulhatnak elő zárlatok, amelyeket olvadóbiztosító vagy kisautomata pillanatműködéssel hárít. A védelem felszerelési helyén ezeknek következtében a névleges tápfeszültség 0 és 100% közötti tartományában változó nagyságú és a milliszekundumos időintervallumban lezajló feszültségugrások léphetnek fel. Ezek a hatások a védelem belső tápegységrendszerétől függően különféle módon jelennek meg az elektronikus áramkörökben. Különböző mértékű és időtartamú tápfeszültség-letörések hatására a védelem felesleges működtetőparancsokat nem adhat ki.

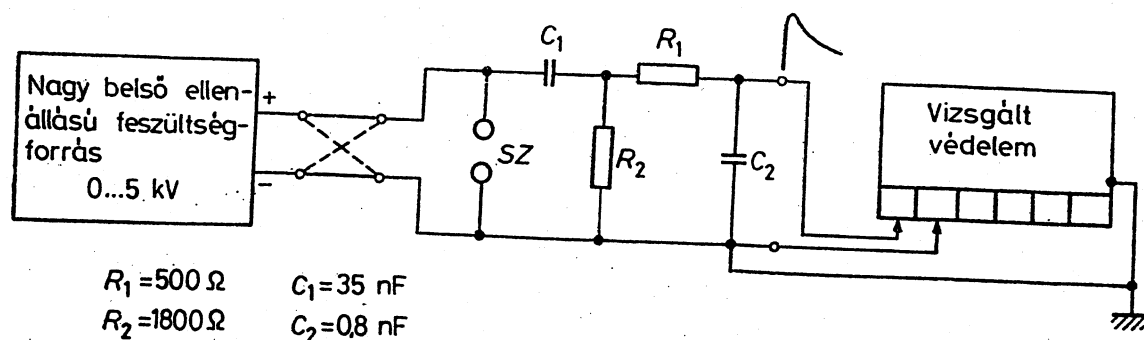
Megjegyzendő, hogy az utolsó három vizsgálati fajta *típusvizsgálatnak* minősül, tehát nem kell a gyárból kikerülő minden egyes készüléken elvégezni.

7.5.2. Vizsgálati eszközök és módszerek

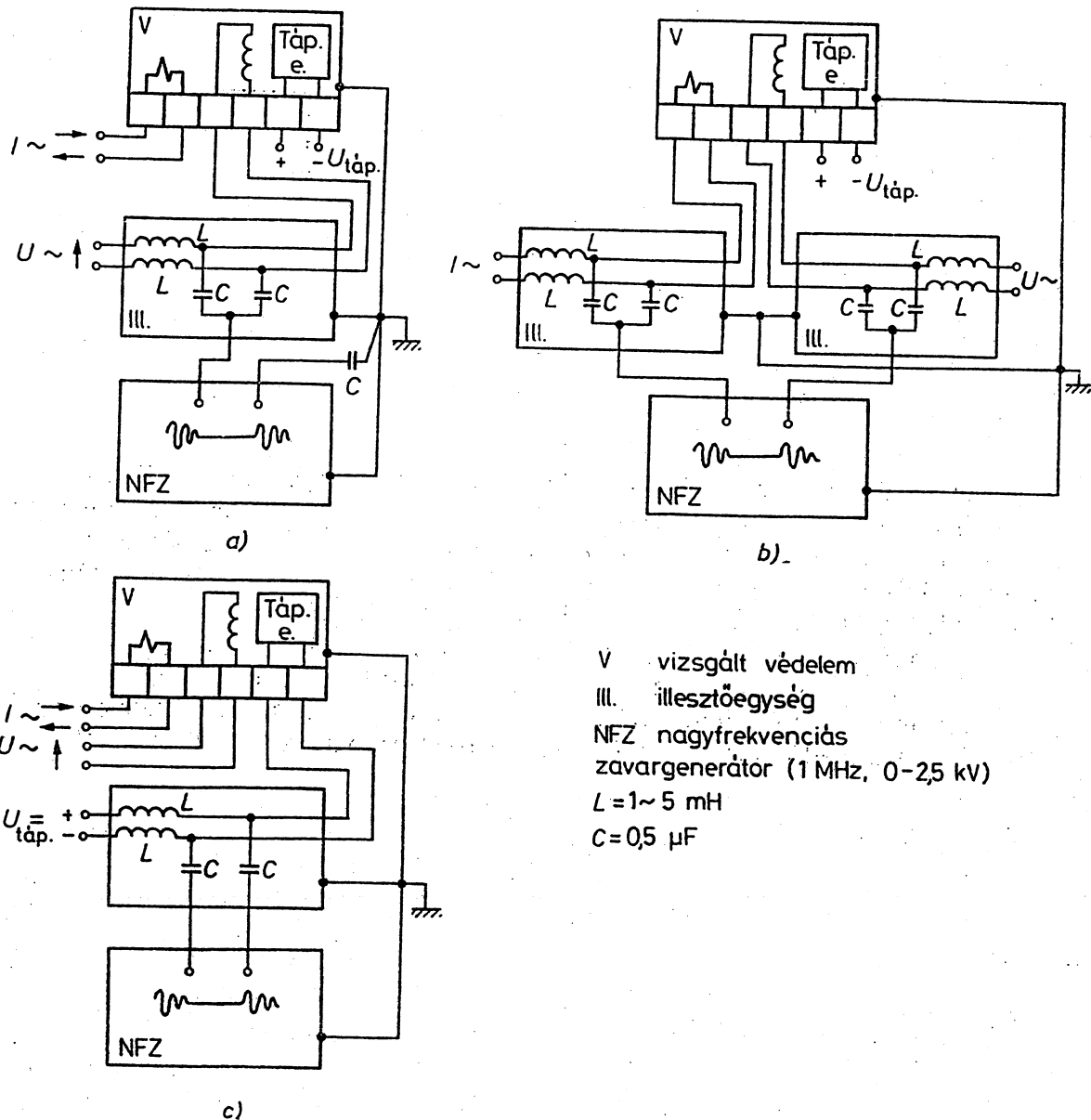
A lökőfeszültség-vizsgálatok elvégzéséhez a 7.110. ábrán levő kapcsolást kell alkalmazni. Az ebbe beépített ellenállásokat és kondenzátorokat úgy méretezték, hogy a 7.108. ábrán látható hullámalak jelenjen meg a *terheletlen* kimenet kapcsain. Az SZ szikraköz beállítása olyan, hogy az előírt 5 kV feszültség megjelenésekor történjen meg az átütés. A vizsgálat elvégezhető úgy, hogy a megfelelő nagyságú egyenfeszültség-forrás feszültségét lassan növelik addig, míg a pontosan beszabályozott szikraköz éppen 5 kV-nál üt át. A másik lehetőség vezérelt szikraköz alkalmazása, amelyet az előre beállított 5 kV-os feszültség fennállásakor külső jellel működtetnek.

Fontos előírás, hogy az impulzusgenerátort a vizsgálandó készülékkel összekötő vezetékek 2 m-nél hosszabbak nem lehetnek.

Az 5 kV-os csúcsfeszültség tehát a kapcsolás üresjárású kimeneti feszültsége. Az elektronikus védelmek bemeneti köreit úgy kell kialakítani, hogy a belső elektronikus áramkörökre ennek a feszültségnek már csak veszélytelen tört része kerüljön.

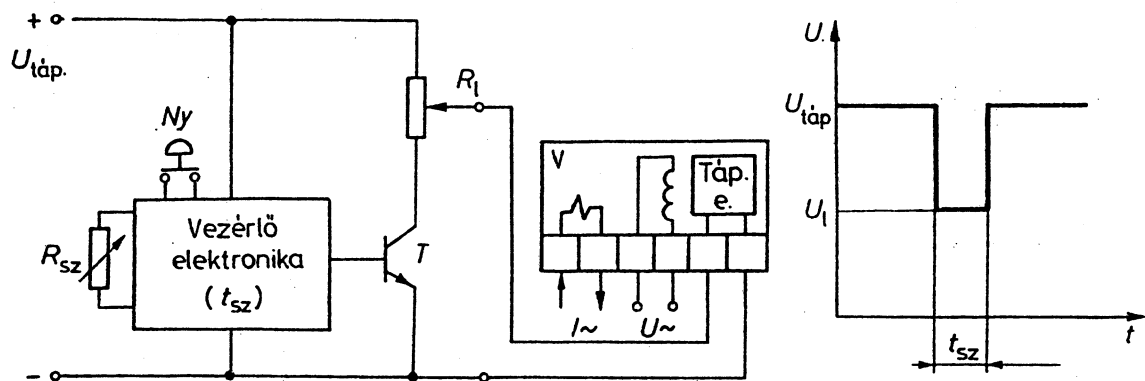


7.110. ábra. A lökőfeszültség-generátor kapcsolása



7.111. ábra. A nagyfrekvenciás zavargenerátor csatlakoztatási módjai

A nagyfrekvenciás zavarvizsgálatok jelének előállításához más, bonyolultabb kapcsolásra van szükség, ezért ezekhez általában speciális célkészülékeket használnak. A legelterjedtebb pl. a svájci Schaffner gyártmányú berendezés, amelyen 0...2500 V + 10% között folyamatosan változtatható a zavarfeszültség amplitúdója, és a hozzá tartozó csatoló-illesztő egység segítségével egyszerűen lehet szuperponálni a vizsgált védelem bármelyik bemenő mennyiségére (feszültség- és áramváltó-körökre, tápfeszültségre stb.) a nagyfrekvenciás zavaró jeleket. A 7.111. ábrán fel van tüntetve a három lehetséges szuperponálási mód. A 7.111a ábrán látható az egyes áramkörök (pl. a rajzon az U váltakozó feszültséget fogadó kapcsok) és a föld közé kapcsolt ún. longitudinális vagy aszimmetrikus betáplálás. A b ábrán látható az egymástól független áramkörök (pl. a rajzon az I áramot és az U feszültséget fogadó kapcsok) közötti longitudinális vagy aszimmetrikus betáplálás. A c ábrán ugyanannak az áramkörnek (pl. a rajzon az $U_{táp}$ egyenfeszültségnek) a kapcsain levő transzverzális vagy szimmetrikus betáplálás van fel tüntetve. Az aszimmetrikus szuperpozíció esetén a vizsgálófeszültség maximális értéke 2,5 kV, a szimmetrikus szuperpozíció esetén pedig 1 kV. A lökőfeszültség-generátorhoz hasonlóan a zavargenerátorra így megadott feszültségek is üresjárású (terheletlen kimeneti kapcsokon mért) feszültségként értendők. A betápláló vezetéknek ennél a vizsgálatosorozatnál sem lehetnek hosszabbak 2 m-nél.



7.112. ábra. Tápfeszültségletörést szimuláló kapcsolás

A 7.112. ábrán feltüntetett kapcsolás segítségével az egyenfeszültségű segédüzemi táphálózat zavarait lehet leképezni. A V jelű vizsgálendő védelem tápfeszültségét az R_1 potenciómétről kapja. Ennek ellenállása olyan, hogy a védelem fogyasztásából adódó feszültségcsökkenés rajta ne legyen több 5%-nál. Normál üzemnek a T nagyteljesítményű és nagyfeszültségű kapcsolótranszisztor lezárt állapota felel meg. A kívánt feszültségletörés mértékét előre be kell állítani az R_1 potencióméteren, 0 és 100% között. A vezérlőelektronika, amely lényegében egy monostabil multivibrátor, az Ny nyomógomb benyomásakor rövid idejű (t_{sz}) nyitóparancsot ad a T tranzisztoroknak. Ennek hatására az ábrán látható U_1 nagyságú feszültségletörés következik be. A t_{sz} szünetidő hossza az R_{sz} ellenállással szabályozható 1 ms...1500 ms tartományban.

8. Védelmek és automatikák rendszerének tervezése

8.1. Egységkapcsolású erőművek védelme

Az erőművi egységteljesítmények növelésével az energiaátalakítás megvalósítása villamos, majd később gőzoldalon is egymástól független ún. blokkokban történik. Egy blokk vagy egység magában foglalja villamos oldalon a generátort, a nagyfeszültségű hálózathoz csatlakoztató (AT) főtranszformátort, távoli állomáson a csatoló nagyfeszültségű távvezeték (gépvezeték, V), ill. a technológiai oldalon a turbinát, hőerőművekben a kazánt vagy gőzgenerátort és atomerőművekben a reaktort is. Szabályozási okokból atomerőművek esetén egy reaktorblokk két független villamos egységen keresztül adhatja ki a termelt villamos energiát a nagyfeszültségű hálózatra (8.1f ábra). Szorosan az egységhez tartozik a blokk háziüzemét villamos energiával ellátó BT segédüzemi transzformátor is.

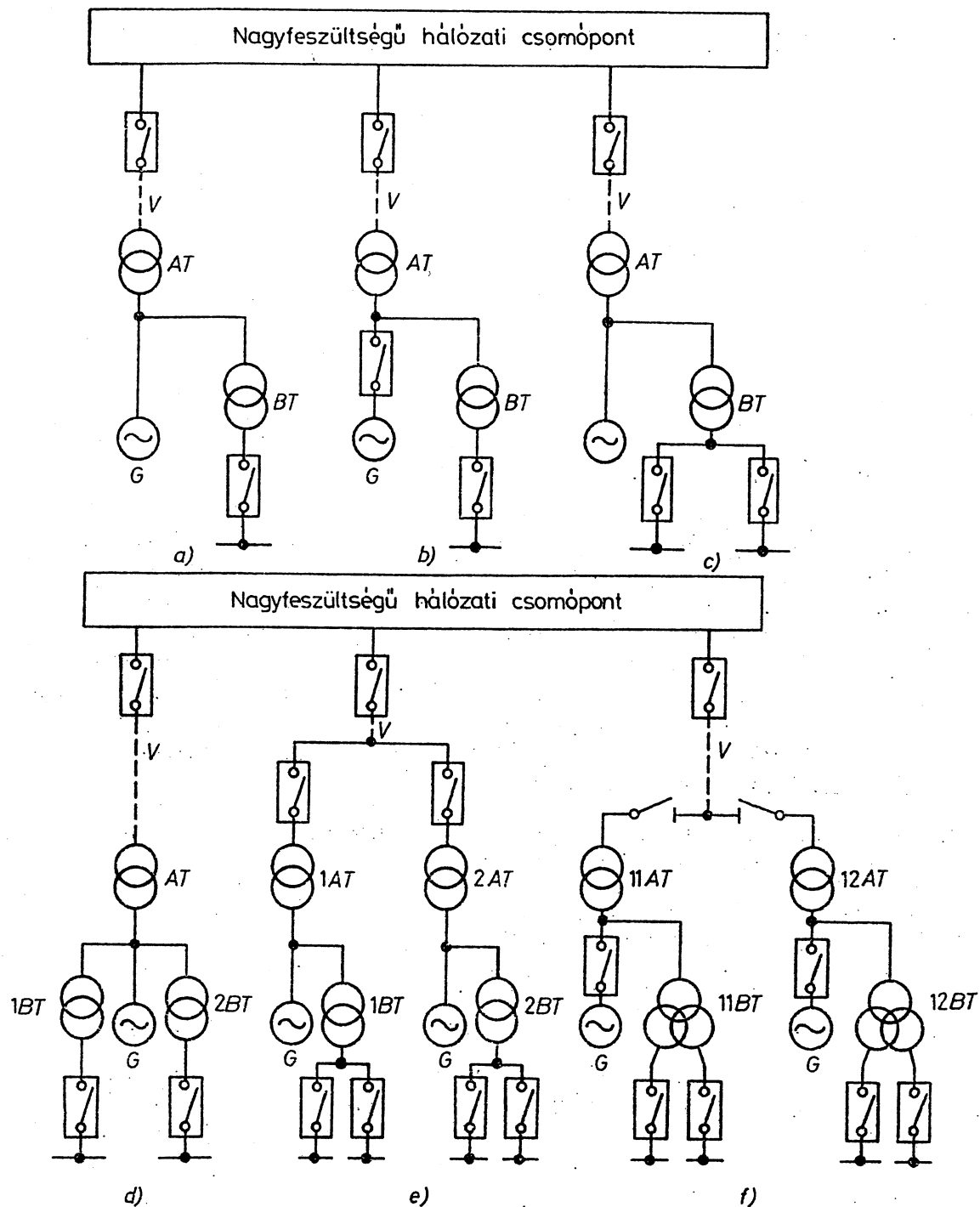
A blokkegységek gyakorlatban kialakult primer kapcsolásait a 8.1. ábra mutatja be. A kapcsolási vázlatok között lényeges különbségek vannak védelmi szempontból:

- gépvezeték léte;
- generátorfeszültségű megszakító alkalmazása (8.1b, f ábra);
- segédüzemi transzformátorok száma, szekunder oldali kialakításuk és csatlakoztatásuk;
- (ikerblokkok esetén) egyedi, nagyfeszültségű megszakító beépítése (8.1e ábra).

A nagyfeszültségű hálózat részben független csomópontjáról táplálható az erőművi segédüzem tartalék transzformátora. E fogyasztói jellegű transzformátor kapcsolása és védelmének kialakítási szempontjai azonosak a hálózat egyéb helyein alkalmazott 120/középfeszültségű transzformátorok védelmi rendszereivel (l. a 8.4.5. alfejezetet).

A forgógépek belsejében keletkező zárlat romboló hatása nagyobb, költségesebben és körülményesebben javíthatók a következmények, mintha a zárlat szabadvezetéken vagy kábelen jön létre. A segédüzemi (tokozott) elosztókban a transzformátorállomásokban megszokottnál nagyobb zárlati teljesítmény miatt nagyobb a zárlati romboló hatás, ezért a védelmi rendszert úgy kell kialakítani, hogy *minden fontos berendezés pillanatműködésű alapszabaddal* és kellő tartalék védelemmel legyen ellátva. Az egyes védelmek között nem maradhat holtsáv.

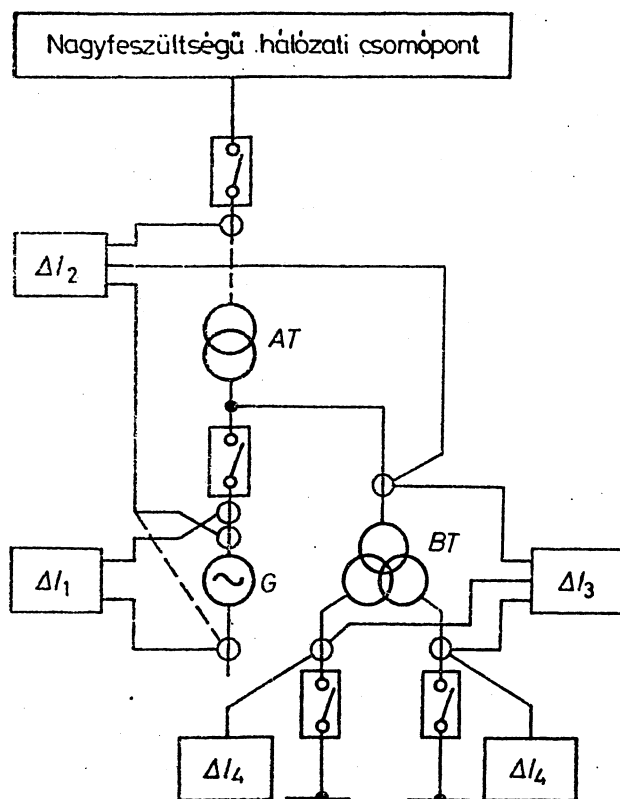
Az egységkapcsolású erőművek villamos berendezéseinek védelmei a működést kiváltó okok alapján tárgyalhatók.



8.1. ábra. Egységkapcsolású erőmű különböző elrendezései
 AT főtranszformátor; BT segédüzemi transzformátor; V gépvezeték; G generátor

8.1.1. Zárlati alapvédelmek

Az egész blokk gyors villamos alapvédelmeként a 8.2. ábra szerint differenciál-, ill. differenciálevlű védelmeket alkalmaznak, holsáv nélkül.



8.2. ábra.
Egységkapcsolás pillanatműködésű
differenciálvédelmei

A) Transzformátorok nem villamos érzékelésű alapvédelmei

A fő- és segédüzemi transzformátorok fontos, a gyártó által beépített alapvédelme a Buchholz-, az olajlökés- és a hőmérséklet-védelem.

A Buchholz-relé felépítése és működése a 6. fejezetben került tárgyalásra, míg a beállítási követelmények, valamint az olajáramlás-relével és a hőmérséklet-védelemmel kapcsolatos tudnivalók a 8.4.5. szakaszban összefoglalóan kerülnek ismertetésre.

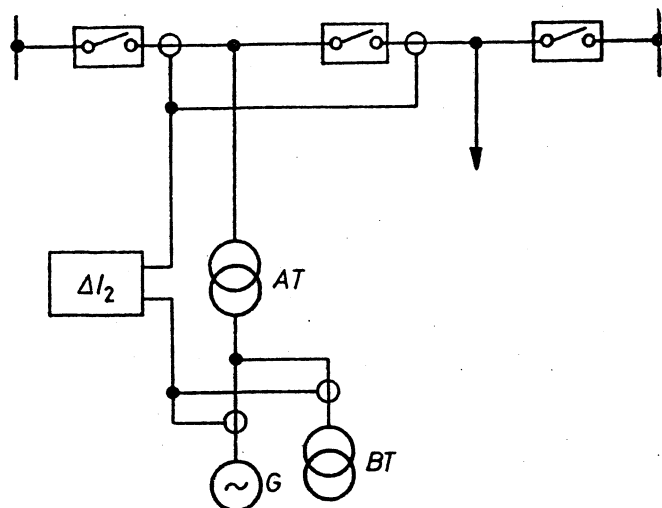
B) Generátor differenciálvédelme (ΔI_1)

A 4.7. alfejezet elvi megfontolása alapján e célra vagy a 6. fejezetben tárgyalt fékezett mechanikus differenciálvédelmeket, vagy a 7. fejezetben bemutatott elektronikus differenciálvédelmeket alkalmazzák. A védelem alapérzékenysége legalább a védendő generátor névleges áramának 25%-a legyen. A differenciálvédelem a generátor 2F és 3F zárlata esetén gyors védelmi működést hoz létre. Megfelelő érzékeny beállítás és egyidejű gyors működés megbízhatóan elektronikus védelemmel érhető el. A generátor differenciálvédelmi működése kikapcsolja a blokk vagy ha van, akkor a generátor megszakítóját és a legerjesztő automatát. Indítani kell a levegőhűtésű generátorok tűzoltó szénsavoltó-berendezését is. Ma már a nagy egységteljesítményű gépeknél erre nincs szükség, mivel 50 MVA-nál nagyobb teljesítményű generátorok hidrogén hűtésűek, így hűtőközegük az égést nem táplálja.

C) Főtranszformátor differenciálvédelme (ΔI_2)

A differenciálvédelem (8.2. ábra) a lezáró áramváltók közti területen fellépő fáziszárlatokat, bizonyos esetekben menetzárlatokat, valamint azon az oldalon, ahol a transzformátor csillagpontja földelt, a földérintéses zárlatokat érzékeli. A védelemnek érzéketlennek kell lennie az átmenő zárlati áramokra (fékezés), és a transzformátor bekapcsolásakor vagy közeli zárlat kikapcsolásakor létrejövő bekapcsolási áramlökésre (reteszelés).

Mivel mindkét feszültség szinten lehetnek leágazások, ezért, ha az áramok közvetlenül nem állnak rendelkezésre, akkor azokat összegző kapcsolásból kell előállítani. Így pl. ha a nagyfeszültségű hálózati csomópont másfél megszakító vagy poligon kapcsolású, akkor a nagyfeszültségű oldali transzformátorági áramerősség a 8.3. ábrának megfelelően, két áramváltóáram összegzésével állítható elő.



8.3. ábra. Áramösszegezők

Ugyanilyen elv szerint kell összegezni a kisebb feszültségű oldal, azaz a generátor és a segédüzemi transzformátor áramát. Ha valamelyik irányban a differenciálvédelem nincs lezárva, akkor a relé beállított érzékenysége függvényében a védelem a külső zárlatra mint túláramvédelem működik, (pl. segédüzemi transzformátor esetében megállítható a túláramérzékelés a segédüzemű transzformátor impedanciájában). Így a védelem segédüzemi transzformátorzárlatra még működhet, de a követő gyűjtősín zárlatára már nem. Ez nem jelent inszelektív működést, de nehezítheti a hibahely behatárolását.

A differenciálvédelemhez közbenső áramváltókat kell alkalmazni:

- a transzformátor kapcsolási csoportjának megfelelő forgatásra;
- az áramok kiegyenlítésére;
- földelt csillagpontú transzformátor esetén a zérus sorrendű áramok kiszűrésére;
- a védelmi karakterisztika illesztésére (a transzformátor névleges terhelési állapotában a védelemnél kb. annak névleges árama folyjék);
- az oldalanként azonos tranziens áramlefolyás biztosítása érdekében.

Az alapbeállítást (fékezés nélküli megszólalási áramot) úgy kell megválasztani, hogy a transzformátor mágnesezőárama a legnagyobb üzemi feszültség esetén se okozzon kioldást. Egyéb adat hiányában a mágnesezőáram a névleges áram 20%-ára vehető fel. Az így adódó értéknél nagyobbat célszerű beállítani, ha a két tápláló oldal lényegesen különbözik, azaz

- a különbözeti védelemnek csak egyik oldalán van közbenső áramváltó;
- a védelmet tápláló áramváltómagon más fogyasztók is vannak, amelyek járulékos terhelést jelentenek;
- a csatlakozóvezetékek hossza lényegesen eltérő;
- a főáramváltók teljesítménye vagy túláramszáma (pontossági határtényezője) nem ugyanakkora.

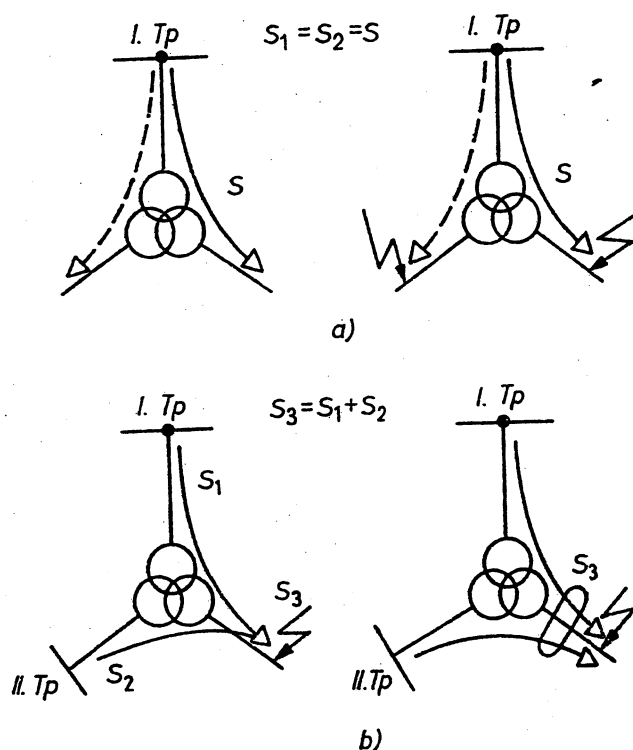
A fékezést úgy kell megválasztani, hogy az üzemszerűen előforduló – a nem teljes kiegyenlítettségéből adódó – hibaáramok ne okozzanak kioldást. Kritikus esetben ellenőrizni kell, hogy az átmenő zárlatra az áramváltó telítődése nem okoz-e kioldást (4.9. alfejezet). A transzformátor bekapcsolási áramlökésére érzéketlen differenciálreléket kell alkalmazni.

Ha az erőmű és a nagyfeszültségű hálózati csomópont nincs azonos telephelyen, akkor a villamos blokk a távvezetékkel bővül. Ebben az esetben a transzformátor és a vezeték egy védelmi egység, és a védelem a 4.7.3. szakaszban ismertetett segédkábeles szakaszvédelem lesz. Ebben az esetben a védelem alapbeállítását és a fékezési meredekséget is nagyobbra kell választani a segédkábel zavaró kapacitív áramai miatt.

D) Segédüzemi transzformátorok differenciálvédelme (ΔI_3)

A védelem feladata és működési feltételei értelemszerűen azonosak a főtranszformátor differenciálvédelmével elmondottakkal. A segédüzemi transzformátorok szabályozós kivitele miatt megnő a differenciálvédelem kiegyenlítetlenségi hibaáram, amelyet a fékezés beállításánál figyelembe kell venni. A kiegyenlítés és beállítás számításának gyakorlati menete tercier tekercselés esetén eltér a kéttekercselésűektől.

Szükséges esetben igaz, hogy a transzformátor egyik tekercse kikapcsolt (az egyik tekercs nem vesz részt a zárlati teljesítmények vezetésében). Ilyenkor mind üzemi, mind zárlati esetben a vezetésben részt vevő tekercseken átvitt teljesítmény – eltérő névleges teljesítményük ellenére – azonos. Ha mindhárom tekercs részt vesz az üzemi, ill. zárlati teljesítmények szállításában, akkor a szuperpozíció értelmében a táplált teljesítmények táplálási irányonként szétbonthatók. Ekkor már adott irányból nézve azonos teljesítmény átvitele történik a 8.4. ábrának megfelelően.



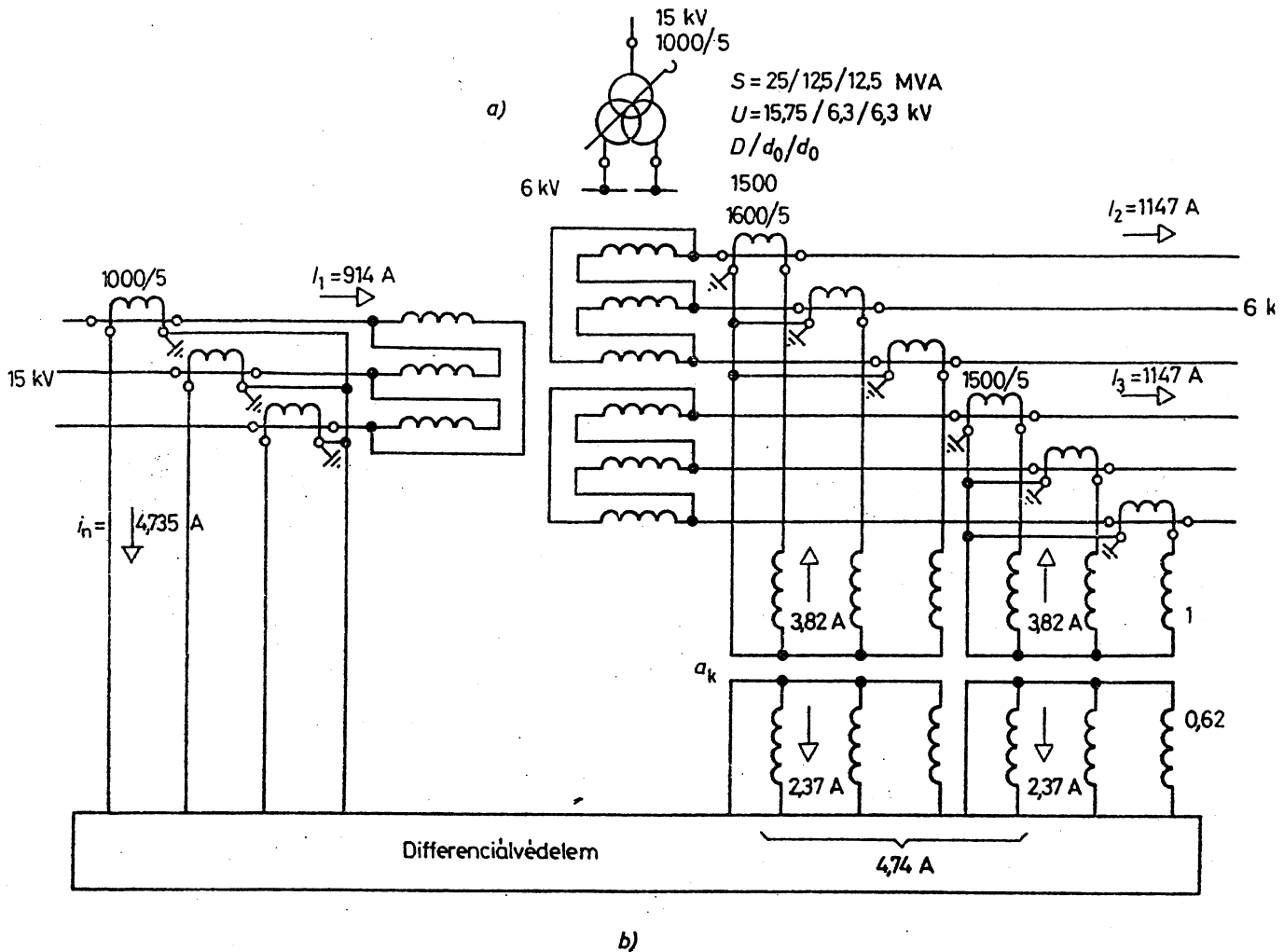
8.4. ábra

Háromtekercselésű transzformátor zárlati viszonyai

a) A zárlatot egy táppont táplálja (kéttekercselésű kapcsolat);

b) kétoldali táplálás a harmadik oldal zárlatára (Tp táppont)

Az elmondottak alapján kimondható, hogy a differenciálvédelem beállítás számításánál nem a tekercsek eltérő névleges teljesítményét kell alapul venni, hanem tekercspáronként azonos teljesítmény átvitelével kell számolni. A számítás alapjául a tápoldali névleges teljesítményt (vagy a tápoldali névleges teljesítmények egyikét) kell választani, és biztosítani kell, hogy a tápoldalon a névleges áram a védelemnél is a névleges áramot hozza létre. A másik két oldal áramát a transzformátor áttétele alapján külön-külön kell meghatározni. A három tekercsoldal így páronként meghatározott primer áramai képezik a differenciálvédelem kiegyenlítés számításának alapját. A kiegyenlítés- és beállítás számítás így a kéttekercselésű transzformátoroknál már megismert elvek alapján végezhető.



8.5. ábra. Háromtekerceslű transzformátor differenciálvédelme

8.1. példa. Tercier segédüzemi transzformátor differenciálvédelmi beállításának számítása (8.5. ábra).
Adatok:

$$S = 25/12,5/12,5 \text{ MVA}, \quad D/d_0/d_0$$

$$U = 15,75/6,3/6,3 \text{ kV}, \quad I = 917/1147/1147 \text{ A.}$$

$S_2 = 25 \text{ MVA}$ átvitt teljesítmény választásával a tekercsek primer áramai:

$$I_1 = 917 \text{ A}, \quad I_2 = 2294 \text{ A}, \quad I_3 = 2294 \text{ A.}$$

A transzformátor fázisforgatást nem végez (0 órás), ezért az áramváltók szekundereit azonos kapcsolásba, pl. csillagkapcsolásba kell kötni.

A szekunder áramok:

$$i_1 = 4,735 \text{ A}, \quad i_2 = 7,647 \text{ A}, \quad i_3 = 7,647 \text{ A.}$$

A szekunder áramok nincsenek összemérhető állapotban, ezért közbenső áramváltót kell alkalmazni. Elfogadva i_1 értékét az $I_n = 5 \text{ A}$ -es differenciálvédelem számára, i_2 és i_3 csökkentése érdekében

$$a_k = \frac{4,735}{7,647} = 0,62$$

áttételű közbenső áramváltót kell alkalmazni.

A kiegyenlített differenciálvédelem kialakítását a 8.5b ábra mutatja.

A védelem beállítása azonos a kéttekercselű transzformátorokéval, de a tercier ág megjelenése miatt a hibaáram szintjét és a fékezés mértékét meg kell emelni.

25 MVA teljesítményfelvétel esetén a transzformátor pl. $2 \times 12,5 \text{ MVA}$ -t ad le. Erre az esetre a kialakuló áramviszonyokat egy fázisra a 8.5b ábra tartalmazza.

E) Segédüzemi gyűjtősínek differenciálvédelme (ΔI_4)

A logikai elvekre épülő egyenáramú különbözeti védelem részletes ismertetésére a 4.8.3. szakaszban, ill. a 8.7. alfejezetben került sor.

F) Generátorok állórész-tekerceselésének menetzárlatvédelme

A menetzárlat a generátor állórészében egyazon fázistekercselés menetei, ill. osztott tekerceselés esetén ugyanazon fázis párhuzamos tekerceseknek menetei között a szigetelés leromlása, átütése miatt jöhet létre. Erre elsősorban olyan generátorok esetében lehet számítani, amelyeknek hornyaiban nagyobb számú rúd van, vagyis a viszonylag nagyobb feszültségű egységeknél. A kiváltó ok legtöbbször külső eredetű túlfeszültség vagy a szigetelés mechanikai sérülése, esetleg a vízhűtés meghibásodása.

A menetzárlat lehetősége más gépeknél sem kizárt. Azoknál a generátoroknál, ahol egy horonyban csak egy vagy két rúd van, a menetzárlat valószínűsége magában a horonyban csekély, mivel az azonos fázis tekerceselemei közötti szigetelés általában ugyanolyan erős, mint a különböző fázisok közötti. Ezeknél a gépeknél a tekercesfejek veszélyeztetettek a közeli zárlatkor vagy hálózati visszakapcsoláskor fellépő nagy, dinamikus erőhatások miatt.

A menetzárlat az állórészben egy vagy több rövidrezárt menet létrejöttét jelenti. Hurkos tekerceselésű gépeknél ez általában csak egy pólusosztást fog körül, hullámos tekerceselésűeknél az egész állórész kerületét. A rövidrezárt menetben az áramerősség igen nagy, nagyobb lehet mint kapocszárlatnál. A fejlődő hő miatt a környezet károsodik, ezáltal a menetzárlat az érintett tekercesrészből kiterjedhet, esetleg a horonyszigetelés is átüt a vastest felé. Az eddigiekből nyilvánvaló, hogy a menetzárlatos állapotot igen gyorsan meg kell szüntetni, hogy a rombolás minél kisebb mértékű legyen.

A menetzárlat-védelmet 100 MVA és ennél nagyobb teljesítményű generátoroknál kell alkalmazni. A generátor-állórész osztott vagy osztatlan tekerceselésétől függően kétféle menetzárlat-védelmi megoldás terjedt el.

a) Osztatlan, fázisonkénti tekerceselésű generátorok menetzárlat-védelme

A menetzárlat bekövetkezte az érintett fázisban az indukált feszültség csökkenését okozza. Ezáltal potenciálkülönbség jön létre a kapocsfeszültség-háromszög súlypontja és a gép tekercesének csillagpontja között. Ez felhasználható a menetzárlat érzékelésére a 8.6. ábra alapján.

A generátor kapocsoldalára csatlakoztatott három feszültségváltón keresztül történik a fázisfeszültségek összegezése. A feszültségváltó primer oldali csillagpontját a generátor teljes feszültségére szigetelt vezeték köti össze a gép csillagpontjával. A feszültségváltó szekunder oldalán levő nyitott deltába $3U_0$ feszültségnövekedést (csillagpont-eltolódást) érzékelő relé van bekötve. Ép üzemben a három fázisfeszültség összege zérus, a nyitott delta kapcsain nem lép fel feszültség. Menetzárlat esetén (az ábrán A fázisban) lecsökkent fázisfeszültség miatt az összeg a hiánynak megfelelő $3U_0$ lesz, ami a relét megszólaltatja. A legnagyobb létrejövő ilyen feszültség egy teljes fázistekercselést érintő menetzárlat esetén a fázisfeszültség.

A nyitott delta kapcsain ép üzemben is megjelenik a generátor lépcsős gerjesztési görbéje miatt a fázisfeszültségekben meglévő zérus sorrendű harmadik harmonikus feszültségek összege. Annak érdekében, hogy a relé beállítása minél érzékenyebb legyen, erre a zavaró feszültségre a relét érzéketleníteni kell. Egyik lehetséges megoldás a 8.6. ábra szerinti aluláteresztő szűrő. Másik megoldás olyan készülék alkalmazása, amely működési elvéből következően érzéketlen a felharmonikusokra (8.7. ábra).

A fázisonkénti kialakítású védelem indukciós relékből áll. A polarizáló feszültség a felharmonikusmentes vonali feszültség. A vonali feszültségből ugyanis a különbségképzés miatt a zérus sorrendű harmadik harmonikus komponensek kiesnek. A másik tekercespárra a nyitott deltából vett zérus sorrendű feszültség kapcsolódik. Az indukciós relék működési elméletéből

8. Védelmek és automatikák rendszerének tervezése

8.1. Egységkapcsolású erőművek védelme

Az erőművi egységteljesítmények növelésével az energiaátalakítás megvalósítása villamos, majd később gőzoldalon is egymástól független ún. blokkokban történik. Egy blokk vagy egység magában foglalja villamos oldalon a generátort, a nagyfeszültségű hálózathoz csatlakoztató (AT) főtranszformátort, távoli állomáson a csatoló nagyfeszültségű távvezeték (gépvezeték, V), ill. a technológiai oldalon a turbinát, hőerőművekben a kazánt vagy gőzgenerátort és atomerőművekben a reaktort is. Szabályozási okokból atomerőművek esetén egy reaktorblokk két független villamos egységen keresztül adhatja ki a termelt villamos energiát a nagyfeszültségű hálózatra (8.1f ábra). Szorosan az egységhez tartozik a blokk háziüzemét villamos energiával ellátó BT segédüzemi transzformátor is.

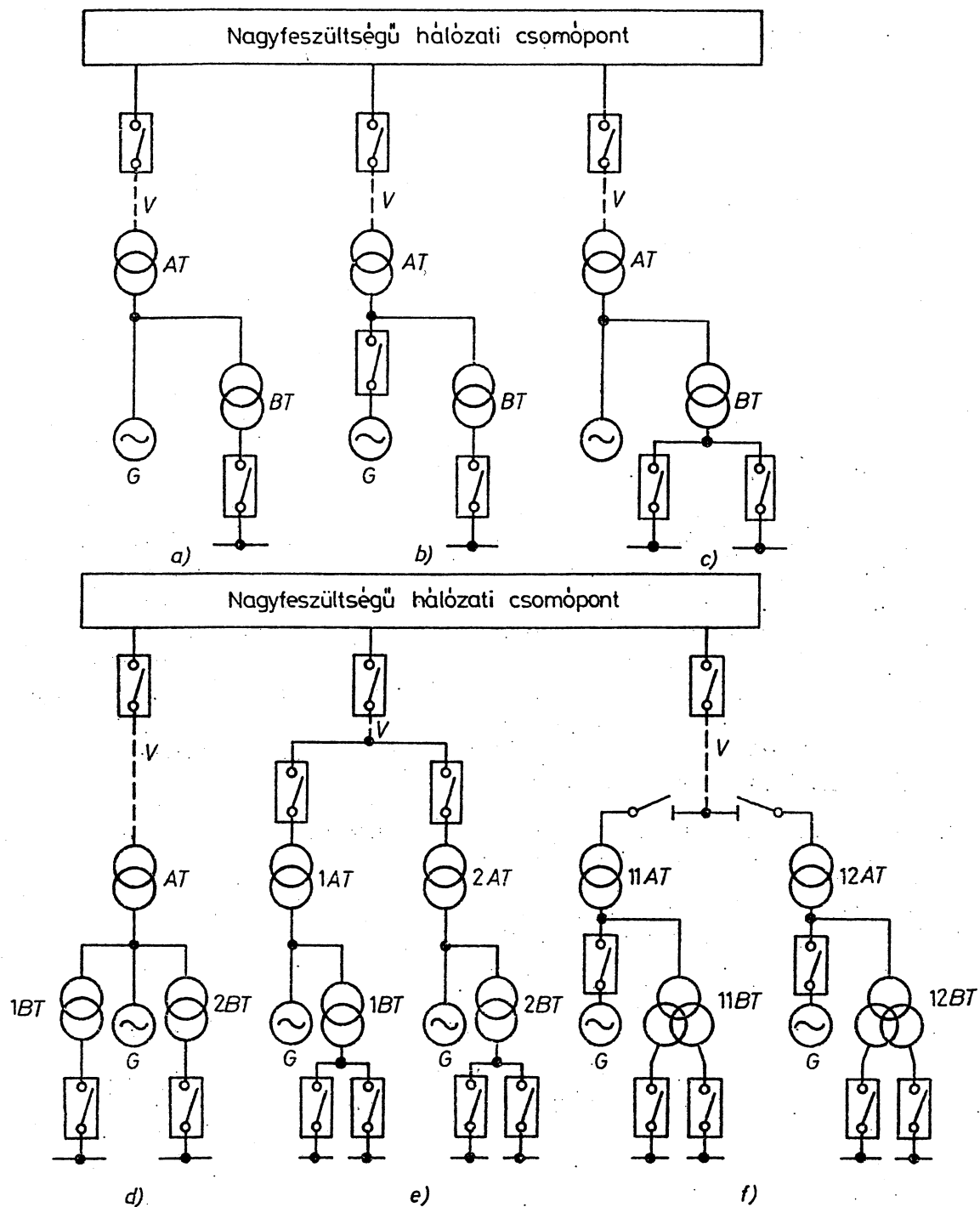
A blokkegységek gyakorlatban kialakult primer kapcsolásait a 8.1. ábra mutatja be. A kapcsolási vázlatok között lényeges különbségek vannak védelmi szempontból:

- gépvezeték léte;
- generátorfeszültségű megszakító alkalmazása (8.1b, f ábra);
- segédüzemi transzformátorok száma, szekunder oldali kialakításuk és csatlakoztatásuk;
- (ikerblokkok esetén) egyedi, nagyfeszültségű megszakító beépítése (8.1e ábra).

A nagyfeszültségű hálózat részben független csomópontjáról táplálható az erőművi segédüzem tartalék transzformátora. E fogyasztói jellegű transzformátor kapcsolása és védelmének kialakítási szempontjai azonosak a hálózat egyéb helyein alkalmazott 120/középfeszültségű transzformátorok védelmi rendszereivel (l. a 8.4.5. alfejezetet).

A forgógépek belsejében keletkező zárlat romboló hatása nagyobb, költségesebben és körülményesebben javíthatók a következmények, mintha a zárlat szabadvezetéken vagy kábelen jön létre. A segédüzemi (tokozott) elosztókban a transzformátorállomásokban megszokottnál nagyobb zárlati teljesítmény miatt nagyobb a zárlati romboló hatás, ezért a védelmi rendszert úgy kell kialakítani, hogy *minden fontos berendezés pillanatműködésű alapvédelemmel* és kellő tartalék védelemmel legyen ellátva. Az egyes védelmek között nem maradhat holtsáv.

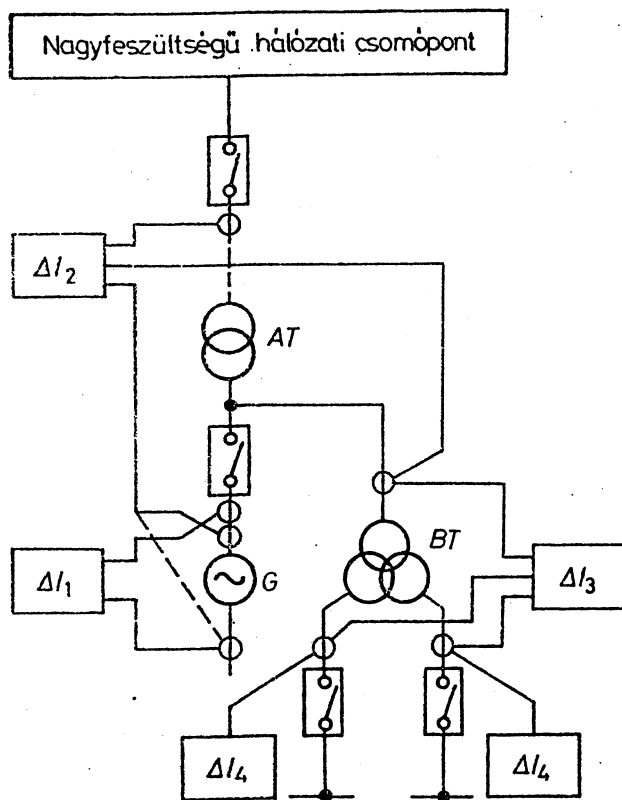
Az egységkapcsolású erőművek villamos berendezéseinek védelmei a működést kiváltó okok alapján tárgyalhatók.



8.1. ábra. Egységkapcsolású erőmű különböző elrendezései
 AT főtranszformátor; BT segédüzemi transzformátor; V gépvezeték; G generátor

8.1.1. Zárleti alapvédelmek

Az egész blokk gyors villamos alapvédelmeként a 8.2. ábra szerint differenciál-, ill. differenciálevlű védelmeket alkalmaznak, holtáv nélkül.



8.2. ábra.
Egységkapcsolás pillanatműködésű
differenciálvédelmei

A) Transzformátorok nem villamos érzékelésű alapvédelmei

A fő- és segédüzemi transzformátorok fontos, a gyártó által beépített alapvédelme a Buchholz-, az olajlökés- és a hőmérséklet-védelem.

A Buchholz-relé felépítése és működése a 6. fejezetben került tárgyalásra, míg a beállítási követelmények, valamint az olajáramlás-relével és a hőmérséklet-védelemmel kapcsolatos tudnivalók a 8.4.5. szakaszban összefoglalóan kerülnek ismertetésre.

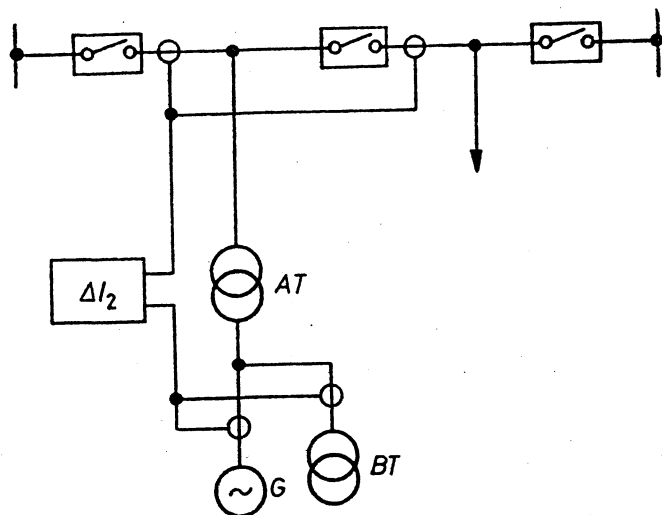
B) Generátor differenciálvédelme (ΔI_1)

A 4.7. alfejezet elvi megfontolása alapján e célra vagy a 6. fejezetben tárgyalt fékezett mechanikus differenciálvédelmeket, vagy a 7. fejezetben bemutatott elektronikus differenciálvédelmeket alkalmazzák. A védelem alapérzékenysége legalább a védendő generátor névleges áramának 25%-a legyen. A differenciálvédelem a generátor 2F és 3F zárlata esetén gyors védelmi működést hoz létre. Megfelelő érzékeny beállítás és egyidejű gyors működés megbízhatóan elektronikus védelemmel érhető el. A generátor differenciálvédelmi működése kikapcsolja a blokk vagy ha van, akkor a generátor megszakítóját és a legerjesztő automatát. Indítani kell a levegőhűtésű generátorok tűzoltó szénsavoltó-berendezését is. Ma már a nagy egységteljesítményű gépeknél erre nincs szükség, mivel 50 MVA-nál nagyobb teljesítményű generátorok hidrogén hűtésűek, így hűtőközegük az égést nem táplálja.

C) Főtranszformátor differenciálvédelme (ΔI_2)

A differenciálvédelem (8.2. ábra) a lezáró áramváltók közti területen fellépő fáziszárlatokat, bizonyos esetekben menetzárlatokat, valamint azon az oldalon, ahol a transzformátor csillagpontja földelt, a földérintéses zárlatokat érzékeli. A védelemnek érzéketlennek kell lennie az átmenő zárlati áramokra (fékezés), és a transzformátor bekapcsolásakor vagy közeli zárlat kikapcsolásakor létrejövő bekapcsolási áramlökésre (reteszelés).

Mivel mindkét feszültségszinten lehetnek leágazások, ezért, ha az áramok közvetlenül nem állnak rendelkezésre, akkor azokat összegző kapcsolásból kell előállítani. Így pl. ha a nagyfeszültségű hálózati csomópont másfél megszakító vagy poligon kapcsolású, akkor a nagyfeszültségű oldali transzformátorági áramerősség a 8.3. ábrának megfelelően, két áramváltóáram összegzésével állítható elő.



8.3. ábra. Áramösszegezesek

Ugyanilyen elv szerint kell összegezni a kisebb feszültségű oldal, azaz a generátor és a segédüzemi transzformátor áramát. Ha valamelyik irányban a differenciálvédelem nincs lezárva, akkor a relé beállított érzékenysége függvényében a védelem a külső zárlatra mint túláramvédelem működik, (pl. segédüzemi transzformátor esetében megállítható a túláramérzékelés a segédüzemű transzformátor impedanciájában). Így a védelem segédüzemi transzformátorzárlatra még működhet, de a követő gyűjtő sín zárlatára már nem. Ez nem jelent inszelektív működést, de nehezítheti a hibahely behatárolását.

A differenciálvédelemhez közbenső áramváltókat kell alkalmazni:

- a transzformátor kapcsolási csoportjának megfelelő forgatásra;
- az áramok kiegyenlítésére;
- földelt csillagpontú transzformátor esetén a zérus sorrendű áramok kiszűrésére;
- a védelmi karakterisztika illesztésére (a transzformátor névleges terhelési állapotában a védelemnél kb. annak névleges árama folyjék);
- az oldalanként azonos tranziens áramlefolyás biztosítása érdekében.

Az alapbeállítást (fékezés nélküli megszólalási áramot) úgy kell megválasztani, hogy a transzformátor mágnesezőárama a legnagyobb üzemi feszültség esetén se okozzon kioldást. Egyéb adat hiányában a mágnesezőáram a névleges áram 20%-ára vehető fel. Az így adódó értéknél nagyobbat célszerű beállítani, ha a két tápláló oldal lényegesen különbözik, azaz

- a különbozati védelemnek csak egyik oldalán van közbenső áramváltó;
- a védelmet tápláló áramváltómagon más fogyasztók is vannak, amelyek járulékos terhelést jelentenek;
- a csatlakozóvezetékek hossza lényegesen eltérő;
- a főáramváltók teljesítménye vagy túláramszáma (pontossági határtényezője) nem ugyanakkora.

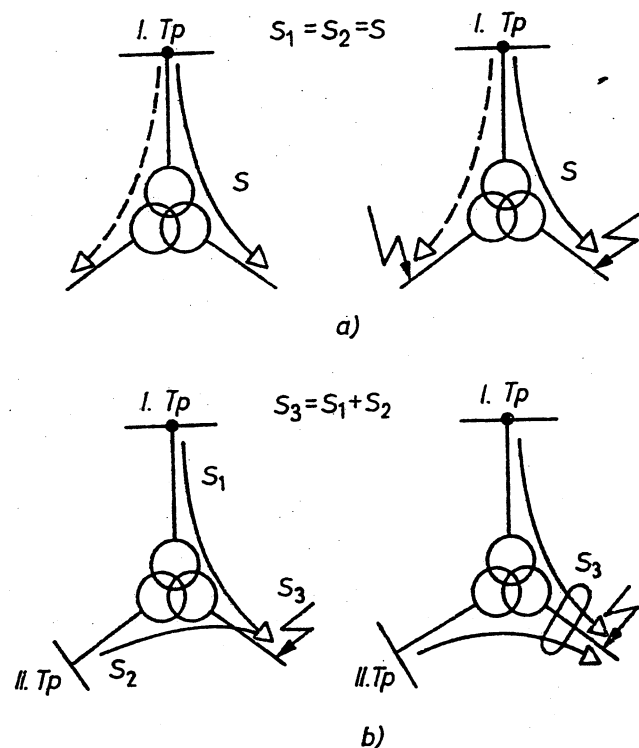
A fékezést úgy kell megválasztani, hogy az üzemszerűen előforduló – a nem teljes kiegyenlítettségéből adódó – hibaáramok ne okozzanak kioldást. Kritikus esetben ellenőrizni kell, hogy az átmenő zárlatra az áramváltó telítődése nem okoz-e kioldást (4.9. alfejezet). A transzformátor bekapcsolási áramlökézésére érzéketlen differenciálreléket kell alkalmazni.

Ha az erőmű és a nagyfeszültségű hálózati csomópont nincs azonos telephelyen, akkor a villamos blokk a távvezetékkel bővül. Ebben az esetben a transzformátor és a vezeték egy védelmi egység, és a védelem a 4.7.3. szakaszban ismertetett segédkábeles szakaszvédelem lesz. Ebben az esetben a védelem alapbeállítását és a fékezési meredekséget is nagyobbra kell választani a segédkábel zavaró kapacitív áramai miatt.

D) Segédüzemi transzformátorok differenciálvédelme (ΔI_3)

A védelem feladata és működési feltételei értelemszerűen azonosak a főtranszformátor differenciálvédelmével elmondottakkal. A segédüzemi transzformátorok szabályozós kivitele miatt megnő a differenciálvédelem kiegyenlítetlenségi hibaáram, amelyet a fékezés beállításánál figyelembe kell venni. A kiegyenlítés és beállítás számításának gyakorlati menete tercier tekercselés esetén eltér a kététekercselésűektől.

Szélsőséges esetben igaz, hogy a transzformátor egyik tekercse kikapcsolt (az egyik tekercs nem vesz részt a zárlati teljesítmények vezetésében). Ilyenkor mind üzemi, mind zárlati esetben a vezetésben részt vevő tekercseken átvitt teljesítmény – eltérő névleges teljesítményük ellenére – azonos. Ha mindhárom tekercs részt vesz az üzemi, ill. zárlati teljesítmények szállításában, akkor a szuperpozíció értelmében a táplált teljesítmények táplálási irányonként szétbonthatók. Ekkor már adott irányból nézve azonos teljesítmény átvitele történik a 8.4. ábrának megfelelően.



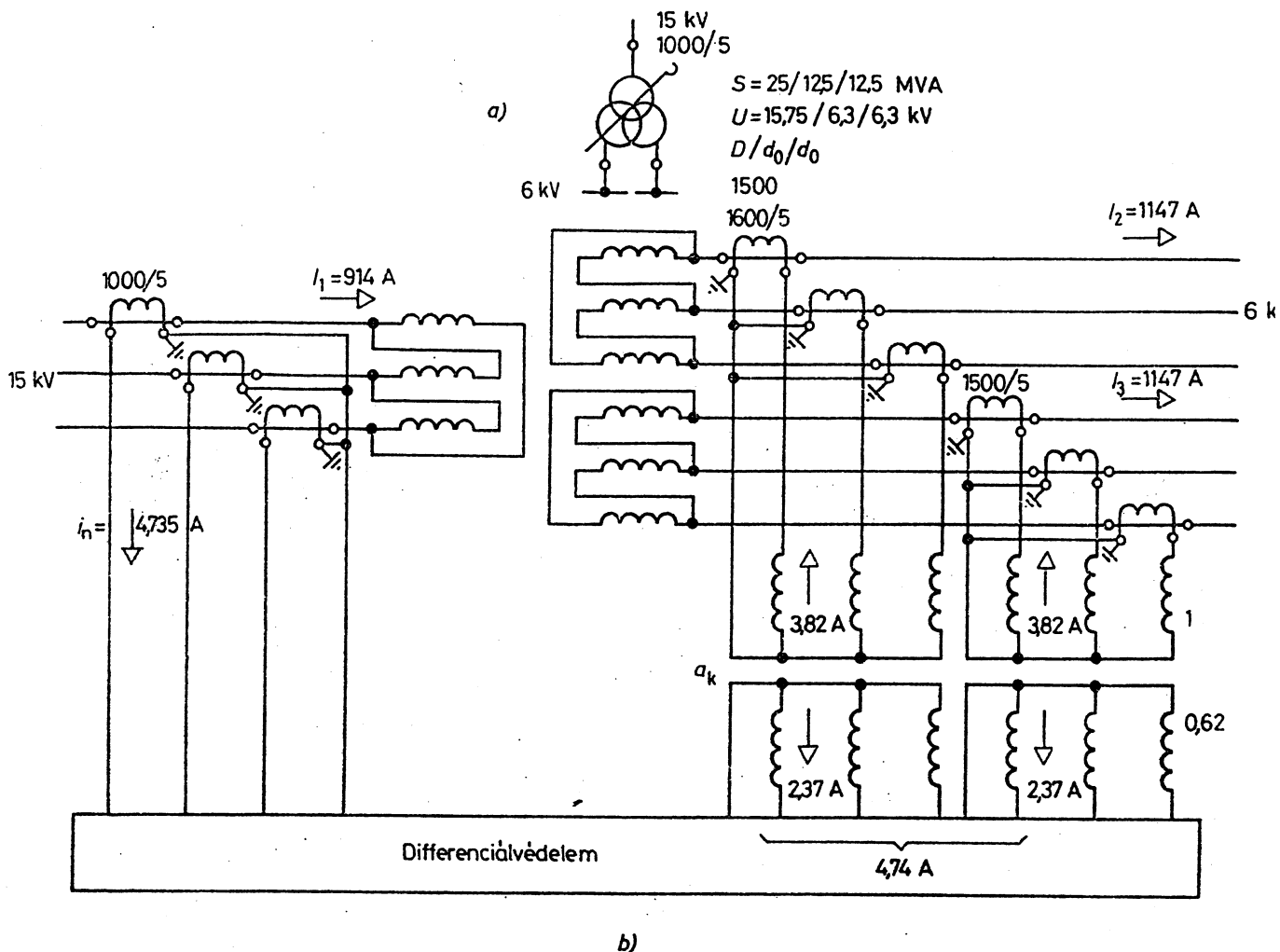
8.4. ábra

Háromtekercselésű transzformátor zárlati viszonyai

a) A zárlatot egy táppont táplálja (kététekercselésű kapcsolat);

b) kétoldali táplálás a harmadik oldal zárlatára (Tp táppont)

Az elmondottak alapján kimondható, hogy a differenciálvédelem beállítászámításánál nem a tekercsek eltérő névleges teljesítményét kell alapul venni, hanem tekercspáronként azonos teljesítmény átvitelével kell számolni. A számítás alapjául a tápoldali névleges teljesítményt (vagy a tápoldali névleges teljesítmények egyikét) kell választani, és biztosítani kell, hogy a tápoldalon a névleges áram a védelemnél is a névleges áramot hozza létre. A másik két oldal áramát a transzformátor áttétele alapján külön-külön kell meghatározni. A három tekercsoldal így páronként meghatározott primer áramai képezik a differenciálvédelem kiegyenlítés számításának alapját. A kiegyenlítés- és beállítászámítás így a kététekercselésű transzformátoroknál már megismert elvek alapján végezhető.



8.5. ábra. Háromtekercselésű transzformátor differenciálvédelme

8.1. példa. Tercier segédüzemi transzformátor differenciálvédelmi beállításának számítása (8.5. ábra).
Adatok:

$$S = 25/12,5/12,5 \text{ MVA}, \quad D/d_0/d_0$$

$$U = 15,75/6,3/6,3 \text{ kV}, \quad I = 917/1147/1147 \text{ A}.$$

$S_a = 25 \text{ MVA}$ átvitt teljesítmény választásával a tekercsek primer áramai:

$$I_1 = 917 \text{ A}, \quad I_2 = 2294 \text{ A}, \quad I_3 = 2294 \text{ A}.$$

A transzformátor fázisforgatást nem végez (0 órás), ezért az áramváltók szekundereit azonos kapcsolásba, pl. csillagkapcsolásba kell kötni.

A szekunder áramok:

$$i_1 = 4,735 \text{ A}, \quad i_2 = 7,647 \text{ A}, \quad i_3 = 7,647 \text{ A}.$$

A szekunder áramok nincsenek összemérhető állapotban, ezért közbenső áramváltót kell alkalmazni. Elfogadva i_1 értékét az $I_n = 5 \text{ A}$ -es differenciálvédelem számára, i_2 és i_3 csökkentése érdekében

$$a_k = \frac{4,735}{7,647} = 0,62$$

áttételű közbenső áramváltót kell alkalmazni.

A kiegyenlített differenciálvédelem kialakítását a 8.5b ábra mutatja.

A védelem beállítása azonos a kéttekercselésű transzformátorokéval, de a tercier ág megjelenése miatt a hibaáram szintjét és a fékezés mértékét meg kell emelni.

25 MVA teljesítményfelvétel esetén a transzformátor pl. $2 \times 12,5 \text{ MVA}$ -t ad le. Erre az esetre a kialakuló áramviszonyokat egy fázisra a 8.5b ábra tartalmazza.

E) Segédüzemi gyűjtősínek differenciálvédelme (ΔI_4)

A logikai elvekre épülő egyenáramú különbözeti védelem részletes ismertetésére a 4.8.3. szakaszban, ill. a 8.7. alfejezetben került sor.

F) Generátorok állórész-tekerceselésének menetzárlatvédelme

A menetzárlat a generátor állórészében egyazon fázistekercselés menetei, ill. osztott tekercselés esetén ugyanazon fázis párhuzamos tekercseinek menetei között a szigetelés leromlása, átütése miatt jöhet létre. Erre elsősorban olyan generátorok esetében lehet számítani, amelyeknek hornyaiban nagyobb számú rúd van, vagyis a viszonylag nagyobb feszültségű egységeknél. A kiváltó ok legtöbbször külső eredetű túlfeszültség vagy a szigetelés mechanikai sérülése, esetleg a vízűtés meghibásodása.

A menetzárlat lehetősége más gépeknél sem kizárt. Azoknál a generátoroknál, ahol egy horonyban csak egy vagy két rúd van, a menetzárlat valószínűsége magában a horonyban csekély, mivel az azonos fázis tekercselei közötti szigetelés általában ugyanolyan erős, mint a különböző fázisok közötti. Ezeknél a gépeknél a tekercsfejek veszélyeztetettek a közeli zárlatok vagy hálózati visszakapcsoláskor fellépő nagy, dinamikus erőhatások miatt.

A menetzárlat az állórészben egy vagy több rövidrezárt menet létrejöttét jelenti. Hurkos tekercselésű gépeknél ez általában csak egy pólusosztást fog körül, hullámos tekercselésűeknél az egész állórész területét. A rövidrezárt menetben az áramerősség igen nagy, nagyobb lehet mint kapocszárlatnál. A fejlődő hó miatt a környezet károsodik, ezáltal a menetzárlat az érintett tekercsrészből kiterjedhet, esetleg a horonyszigetelés is átüt a vastest felé. Az eddigiekből nyilvánvaló, hogy a menetzárlatos állapotot igen gyorsan meg kell szüntetni, hogy a rombolás minél kisebb mértékű legyen.

A menetzárlat-védelmet 100 MVA és ennél nagyobb teljesítményű generátoroknál kell alkalmazni. A generátor-állórész osztott vagy osztatlan tekercselésétől függően kétféle menetzárlat-védelmi megoldás terjedt el.

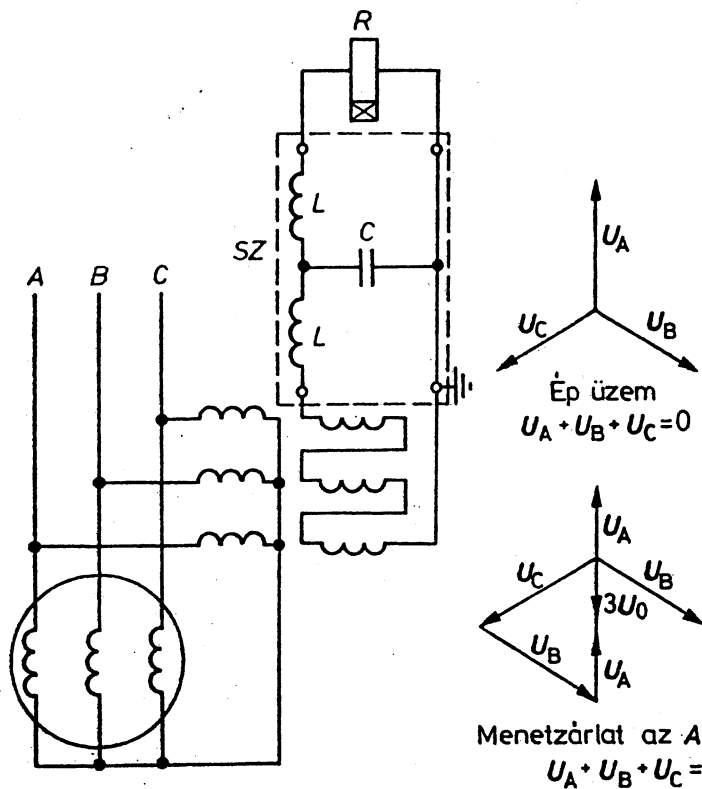
a) Osztatlan, fázisonkénti tekercselésű generátorok menetzárlat-védelme

A menetzárlat bekövetkezte az érintett fázisban az indukált feszültség csökkenését okozza. Ezáltal potenciálkülönbség jön létre a kapocsfeszültség-háromszög súlypontja és a gép tekercsének csillagpontja között. Ez felhasználható a menetzárlat érzékelésére a 8.6. ábra alapján.

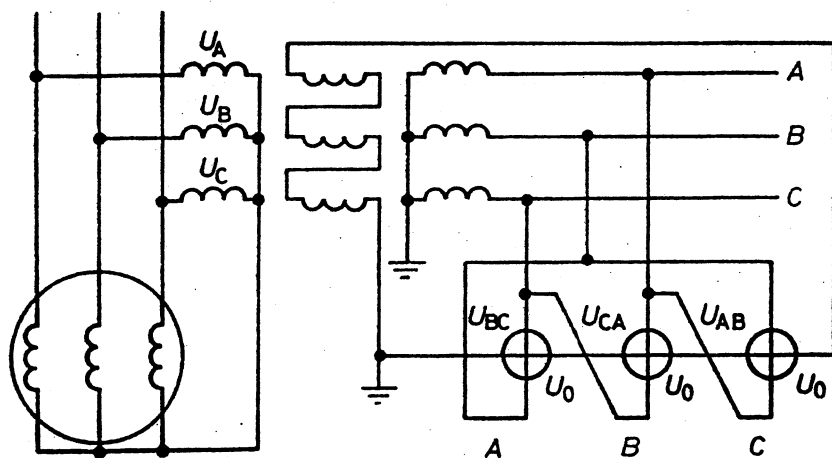
A generátor kapocsoldalára csatlakoztatott három feszültségváltón keresztül történik a fázisfeszültségek összegezése. A feszültségváltó primer oldali csillagpontját a generátor teljes feszültségére szigetelt vezeték köti össze a gép csillagpontjával. A feszültségváltó szekunder oldalán levő nyitott deltába $3U_0$ feszültségnövekedést (csillagpont-eltolódást) érzékelő relé van bekötve. Ép üzemben a három fázisfeszültség összege zérus, a nyitott delta kapcsain nem lép fel feszültség. Menetzárlat esetén (az ábrán A fázisban) lecsökkent fázisfeszültség miatt az összeg a hiánynak megfelelő $3U_0$ lesz, ami a relét megszólaltatja. A legnagyobb létrejövő ilyen feszültség egy teljes fázistekercselést érintő menetzárlat esetén a fázisfeszültség.

A nyitott delta kapcsain ép üzemben is megjelenik a generátor lépcsős gerjesztési görbéje miatt a fázisfeszültségekben meglévő zérus sorrendű harmadik harmonikus feszültségek összege. Annak érdekében, hogy a relé beállítása minél érzékenyebb legyen, erre a zavaró feszültségre a relét érzéketleníteni kell. Egyik lehetséges megoldás a 8.6. ábra szerinti aluláteresztő szűrő. Másik megoldás olyan készülék alkalmazása, amely működési elvéből következően érzéketlen a felharmonikusokra (8.7. ábra).

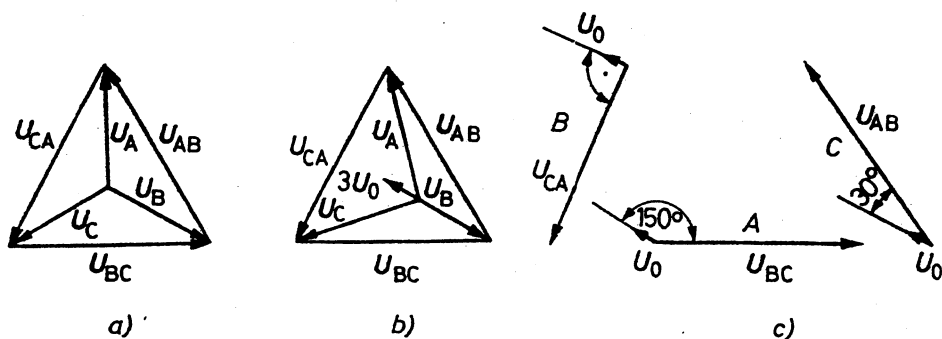
A fázisonkénti kialakítású védelem indukciós relékből áll. A polarizáló feszültség a felharmonikusmentes vonali feszültség. A vonali feszültségből ugyanis a különbségképzés miatt a zérus sorrendű harmadik harmonikus komponensek kiesnek. A másik tekercspárra a nyitott deltából vett zérus sorrendű feszültség kapcsolódik. Az indukciós relék működési elméletéből



8.6. ábra. Osztatlan tekercselésű generátor menetzárlat-védelme
 Sz aluláteresztő szűrő;
 R feszültségnövekedési relé



8.7. ábra. Menetzárlatvédelem vonali feszültség-polarizálással



8.8 ábra. A 8.7. ábra védelmének vektorábrái
 a) ép állapot; b) B fázisú menetzárlat;
 c) az egyes indukciós relék feszültségviszonyai B fázisú menetzárlatra

ismeretes, hogy nyomatókat csak azonos frekvenciájú összetevők hoznak létre, így a védelem csak a mindkét tekercspárra kapcsolt 50 Hz-es feszültségre működik, a harmadik harmonikusra érzéketlen. A fázisonként, külön-külön polarizált indukciós relékből felépített védelemmel lehetőség van a hibás fázis megállapítására is.

A maximális nyomatók elérése, valamint a fáziskiválasztás érdekében az indukciós relét mint $\sin \varphi$ feszültségszorzat-relét használják.

A fázishelyes működés céljából a kialakuló, zérus sorrendű feszültséghez referencia-feszültségként az épen maradó, azaz az érintett fázis feszültségével szemben levő vonali feszültséget választják (8.7. ábra).

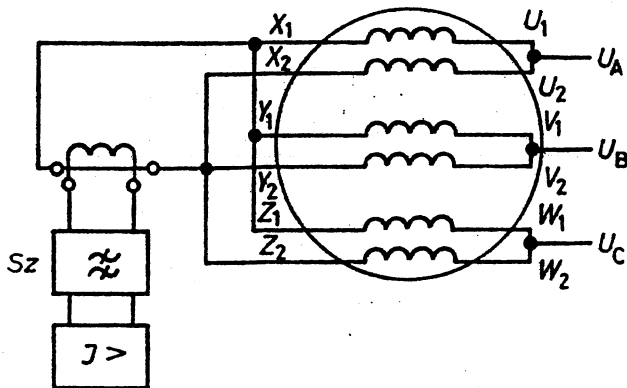
A *B* fázis menetzárlata esetén kialakuló feszültségviszonyokat a 8.8. ábra mutatja. A 8.8c vektorábrán látszik, hogy a *B* indukciós relé maximális nyomatókat szolgáltat, tehát meghúzó, míg az *A* és *C* relé reteszelőnyomatókat fejt ki. Így a *B* relé a *B* fázisú menetzárlat szelektív jelzésére is alkalmas. Természetesen a generátor háromsarkúan kapcsolódik ki, és működik a legerjesztő automata is. Így működik pl. a hazai gyakorlatban alkalmazott BBC gyártmányú, CUW típusú védelem.

A feszültségváltó és a generátor csillagpontjának merev összekötése miatt a menetzárlat-védelmet a hálózaton vagy a gépben bekövetkező földzáratok nem befolyásolják. Ilyenkor a teljes vektorháromszög és mindkét csillagpont azonosan tolódik el, nem keletkezik közöttük potenciálkülönbség.

A védelem szükséges érzékenységét az határozza meg, hogy a generátor állórésztekercsének elrendezéséből adódóan mekkora az a legkisebb menetfeszültség, amely rövidrezáródhat. Ezt a feszültséget, ill. osztott tekercselésű gépekben az ennek megfelelő kiegyenlítő áramot kell a védelemnek biztonsággal érzékelnie. A megszólalási feszültség általában a névleges feszültség 2%-ára vehető, de fölötte kell, hogy legyen az üzem közben fellépő aszimmetriának. A transziens jelenségek okozta aszimmetriák hatása ellen a védelem késleltetésével lehet védekezni. Pl. a gyors gerjesztésváltozás miatt a fázisfeszültségekben rövid idejű aszimmetria léphet fel.

b) Osztott tekercselésű generátorok menetzárlat-védelme

Az osztott tekercselésű generátorok (8.9. ábra) menetzárlata esetén a hibás tekercsfélben bekövetkező feszültségcsökkenést az ép tekercsfél részben kiegyenlíti, így a csillagponteltoló hatás kevésbé jelentkezik. A feszültségérzékelés helyett a tekercsfelek közötti kiegyenlítő áram érzékelése a célszerű.

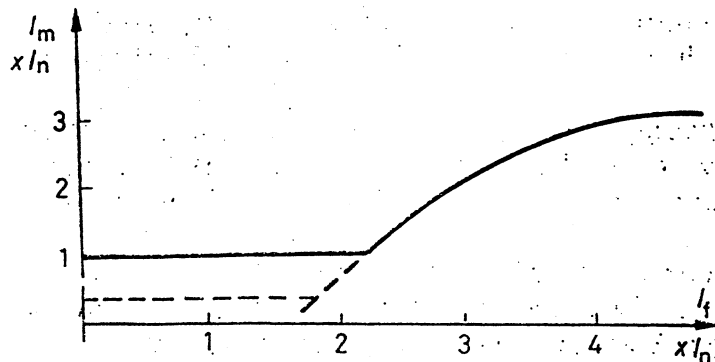


8.9. ábra. Osztott tekercselésű generátor menetzárlat-védelme

Az osztott tekercselés két csillagpontja közé áramrelét iktatunk be (8.9. ábra). Ezen keresztül ép üzemben nem folyik üzemi frekvenciájú áram, csupán a gerjesztési görbe nem szinuszos voltából adódó felharmonikus, elsősorban harmadik harmonikus áram. Ez az áram kisebb gépekben a névleges áram 5%-a körül, nagyobb gépekben a 3%-a vagy az alatt van. Menetzárlat esetén ugyanazon fázis hibás és ép tekercsfele között alapharmonikus kiegyenlítő áram lép fel, amely a relével érzékelhető.

Az áramrelét úgy kell beállítani, hogy a beállított érték az üzem közben fellépő felharmonikus áramnál nagyobb legyen. A felharmonikusokat elnyomó, aluláteresztő szűrő alkalmazásával a relé érzékenysége lényegesen nagyobbra, tehát a beállítási árama kisebbre választható. A hazai gyakorlatban ilyen készülék pl. a szovjet gyártmányú RT-40/F, amely LRC szűrőt és áramrelét tartalmaz.

Az áramrelét úgy kell beállítani, hogy a védelem a legkisebb áramot adó menetzárlatra szólaljon meg. Ez akkor áll elő a gyakorlati esetekben, ha a csillagpontokat összekötő sínezésben a generátor névleges áramának kb. 5%-a folyik. Ennek megfelelően kell megválasztani az áramváltó névleges áttételét és a védelem névleges áramát. A védelem késleltetése legfeljebb 0,3 s legyen.



8.10. ábra.

A 8.9. ábra védelmének karakterisztikája

Nagy áramú külső zárlatok esetén az armatúra-visszahatás miatt a gerjesztési görbe eltorzul, emiatt a fázisfelek között aszimmetria jön létre, és a két csillagpont között kiegyenlítő áram indul. A védelem hibás megszólalása ellen a fázisáramokkal való fékezéssel lehet védekezni. Ilyen megoldású a VEIKI-nek a 7. fejezetben ismertetett GVM típusú elektronikus készüléke, amelynek karakterisztikája a 8.10. ábrán látható. Az I_m áram a menetzárlat-védelmi áramváltó névleges áramára, az I_f fékezőáram a névleges fázisáramra vonatkozik. A karakterisztika olyan, hogy az üzemi áramok tartományában nincs fékezés, azoktól az áramoktól kezdve pedig, ahol már várható a gerjesztési görbe torzulása és a nagyobb kiegyenlítő áramok megjelenése, a fékezés telítődő jelleggel nemlineárisan növekszik.

G) Egységkapcsolású generátor állórészének testzárlatvédelme

Generátorokban az állórész-tekerceslés és a vastest közötti szigetelés leromlása miatt keletkező zárlat szigetelt csillagpont esetén néhány A-es, kis áramú testzárlatot jelent. A testzárlati áram csak a nagy impedanciát jelentő, szórt kapacitásokon keresztül záródik.

A zárlati áram és az azt létrehozó feszültség nagysága a zárlat helyétől függ. Kapocsoldali testzárlat esetén a teljes fázisfeszültség hat, míg a csillagponti zárlat helyén a feszültség zérus. Közbenes pontban a feszültség a csillagponttól mért távolsággal arányos. Ebből következik, hogy a testzárlat bekövetkeztének valószínűsége a csillagponttól a kapocs felé növekszik, a feszültség növekedésének megfelelően. Vízhűtésű gépek testzárlatának valószínűsége a mechanikai okokból bekövetkező vízszivárgás miatt a teljes tekerceslés mentén azonos.

Testzárlat esetén a generátorfeszültségű berendezésrész valamennyi pontjának feszültsége a földhöz képest a hiba helyétől függő nagyságú, U_0 zérus sorrendű feszültséggel eltolódik.

A néhány A-es (max. 10 A) testzárlati áram a vastestben rövid idő alatt nem okoz számottevő rombolást, de ha tartósan fennáll, akkor vaszárlatot, menetzárlatot vagy kettős földzárlatot okozhat. Ezek következtében az állórész súlyosan károsodhat. 100 MVA-nál kisebb teljesítményű generátornál elegendő min. 85%-os, az állórész-tekerceslés csak 85%-án keletkező testzárlatokat érzékelő testzárlatvédelmet alkalmazni. Ilyenkor a generátor csillagpontját

ellenálláson keresztül földelni kell, hogy a maximális testzárlati áram a 3 A értéket meghaladja. A földzárlat során megjelenő zérus sorrendű feszültség mérése az ellenállással párhuzamosan kapcsolt egyfázisú feszültségváltóról vagy a kapcsololdali feszültségváltók szekunder nyitott delta tekercseléséről táplált feszültségrelével lehetséges.

Mivel a zárlati feszültség a testzárlat helyétől függ, a csillagpontközeli zárlatokra ez a védelem érzéketlen lesz. A holtáv csökkentésére a védelem megszólalási feszültségét minél kisebbre kell beállítani. Ennek a zavaró feszültségek szabnak határt.

Jelentősebb nagyságú zavaró feszültséget két hatás hoz létre:

– A nagyfeszültségű hálózat FN zárlatakor létrejövő, zérus sorrendű feszültség a transzformátortekercsek kapacitásán keresztül áttevődik a generátorfeszültségű oldalra. Ennek a feszültségnek a testzárlat-védelemre gyakorolt hatása a csillagpontba iktatott ellenállással csökkenthető. Ha a testzárlatvédelem késleltetése nagyobb, mint a hálózati zárlatvédelemé, erre a hatásra nem kell számítani.

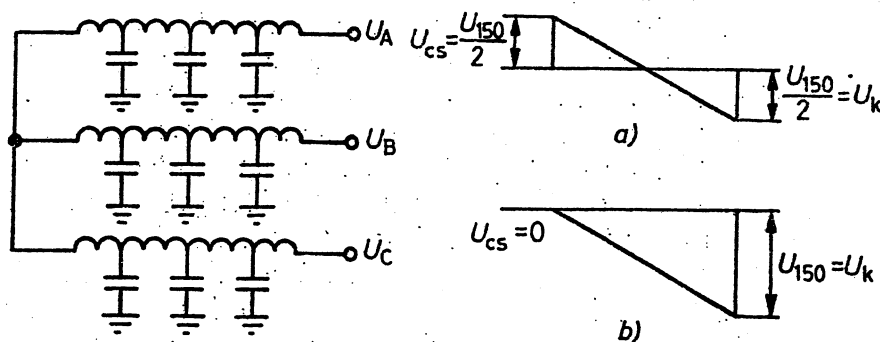
– A generátor nem teljesen szinuszos indukciós görbéje miatt az indukált feszültségnek zérus sorrendű harmadik harmonikus összetevője is van, ami a testzárlatvédelemnél megjelenik. Ez a zavaró feszültség a védelem elé kapcsolt aluláteresztő szűrővel hatástalanítható.

A zérus sorrendű feszültséget érzékelő védelem párhuzamos ellenállással és szűrővel ellátva beállítható úgy, hogy a tekercselés 90...95%-át védje.

A 100 MVA-nál nagyobb teljesítményű és az állórészükön vízhűtésű generátorokat 100%-os testzárlatvédelemmel kell ellátni. Ezt általában kétfokozatú testzárlatvédelemmel oldják meg.

Az első fokozat működési elve az előzőekben leírtakkal egyezik meg.

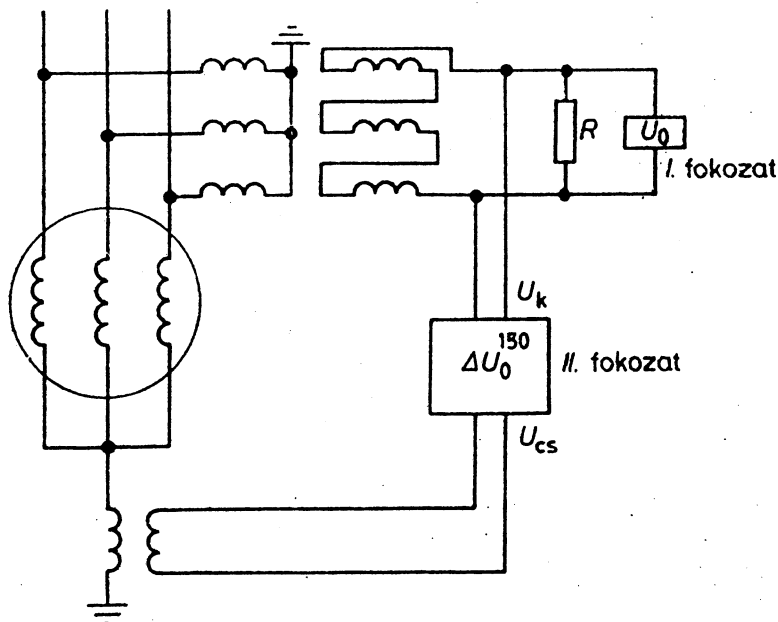
A második fokozat véd a csillagpontközeli testzárlat ellen. Érzékelési elve a harmadik harmonikusok összehasonlításán alapul, azaz a csillagpontban és a kapcsololdalon ép állapotban mérhető harmadik harmonikus feszültségek aránya testzárlat esetén megváltozik. Ép, üresjáratú állapotban az egyedül járó generátor és a test közötti impedanciát az elosztott földkapacitások adják. Ez szimmetrikusan koncentrálható a tekercselés két végére. A csillagponti és kapcsololdali harmadik harmonikus feszültségek kb. azonos nagyságúak, értékük fele a generátor által gerjesztett teljes harmadik harmonikus feszültségnek (8.11. ábra, U_{150}). A csillagpont testzárlata esetén a csillagponti kapacitás rövidre záródik és a teljes harmadik harmonikus feszültség a kapcsololdalra jut.



8.11. ábra. Harmadik harmonikus feszültség eloszlása
a) ép állapot; b) csillagponti földzárlat

Párhuzamosan kapcsolt gép esetén a kapcsololdali kapacitáshoz hozzá kell venni a sínezés és a transzformátor kapacitását is, ami azt okozza, hogy a kétoldali feszültség nem lesz teljesen azonos, a kapcsololdali kisebb.

A testzárlatvédelem két fokozatának a bekötése a 8.12. ábrán követhető. A generátor által termelt harmadik harmonikus a feszültség a terhelőáram nagyságától is függ. Erre a bemutatott összehasonlító kapcsolás elvénél fogva érzéketlen.



8.12. ábra.

A kétfokozatú testzárlatvédelem bekötése

Generátormegszakítós bloknál a megszakító ki-, ill. bekapcsolt helyzetében más a kapacitás megoszlása a tekercselés két vége között. A testzárlatvédelem mérőeleme ilyenkor két érzékenységi fokozatú, köztük az átkapcsolást a generátor megszakítójának segédérintkezője végzi. Így működik a VEIKI gyártmányú GTV 100 típusú testzárlatvédelem, amely különböző típusváltozataival alkalmas a primer diszpozíciós változatok kiszolgálására. Ma már mind a hazai, mind a külföldi gyakorlatban elterjedten használják.

A zérus sorrendű harmadik harmonikus feszültség érzékelésének elvét használja fel a BBC gyár 100%-os állórész-testzárlatvédelme is, ez azonban a hazai gyakorlatban nem szokásos.

100%-os testzárlatvédelem érhető el úgy is, ha a 85%-os testzárlatvédelem mellett a csillagponti testzárlatok megfogására a SIEMENS RCSa típusú védelem érzékelési rendszerét alkalmazzák. A védelem szintén a harmadik harmonikus feszültséget érzékeli, de csak a generátor kapocsoldali feszültségváltójának nyitott delta tekercsén. A mérést egy feszültségrelé végzi szűrőn keresztül, amely csak a 150 Hz-es feszültség-összetevőt engedi át.

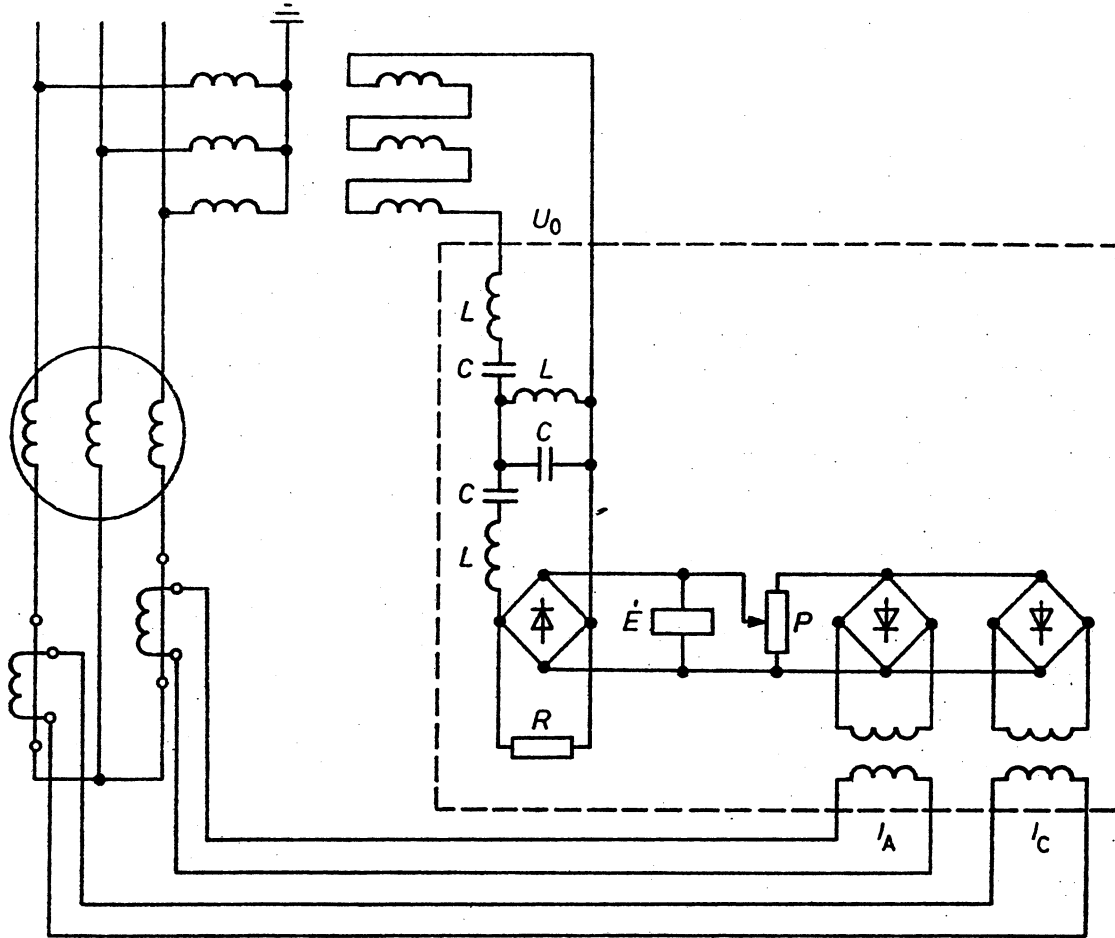
A harmadik harmonikus feszültség eloszlását a generátor ép és csillagponti zárlati állapotában a 8.11. ábra mutatja. A védelem működését a kapocsoldali harmadik harmonikus zérus sorrendű feszültség abszolút értékének megváltozása váltja ki. Mivel a teljes harmadik harmonikus U_{150} feszültség függ a terheléstől, a relét biztonsággal a kapocsoldalon üzemszerűen előforduló legnagyobb harmadik harmonikus feszültség fölé kell beállítani. A feszültségeloszlás pontos ismeretéhez a teljes terhelési tartományra kiterjedő mérést kell üzembehelyezéskor végezni. Mivel a terhelés erősen befolyásolja a harmadik harmonikus feszültséget, a védelem érzékelőkörét a terhelőárammal kompenzálják (8.13. ábra). Csillagpontközeli testzárlat esetén a teljes harmadik harmonikus feszültség a kapocsoldalra jut, ezt a relé érzékeli és megszóal. A védelem külső zárlatokkal szemben érzéketlen, mivel a szekunder névleges terhelőáram fölött az áramkompenzálás nemlineárisává válik (8.14. ábra), így a kioldáshoz igen nagy harmadik harmonikus feszültségre lenne szükség.

Klasszikus megoldású a feszültségsuperponáló és zérus sorrendű áramot mérő testzárlatvédelem. Működési elve a szakirodalomban megtalálható [7]. Az ilyen védelmek a hazai egységkapcsolású erőművek védelmi gyakorlatában nem terjedtek el.

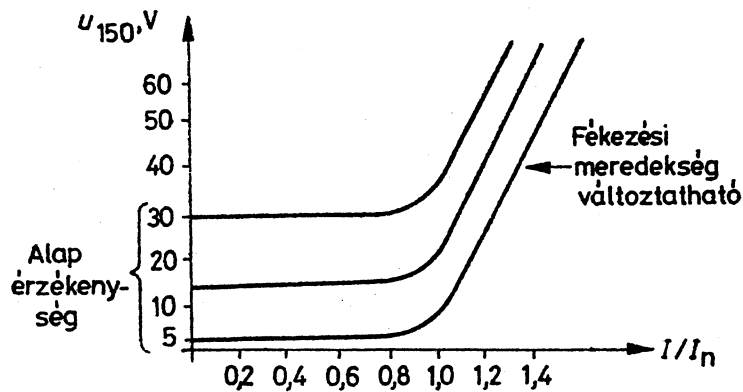
Az állórész-testzárlatvédelmek megszólalásuk esetén különböző működtetéseket váltanak ki. A védelem első fokozata késleltetéssel kikapcsolja az egység főmegszakítóját (generátormegszakító esetén azt), működteti a legerjesztő automatát. A védelem második fokozata választhatóan kétféle működtetést végezhet: vagy csak jelzést ad, vagy az első fokozatával azonos működtetéseket végez.

Ha a testzárlatvédelem mellett az aszimmetriavédelem első (jelző) fokozata is működik, ami súlyos testzárlatra utal, a testzárlatvédelem működtetése késleltetés nélkül következik be.

A védelmek működési elvéből látszik, hogy 100%-os állórész-testzárlatvédelem csak a két fokozattal együttesen érhető el, hiszen az első, 50 Hz-es fokozatnak a csillagpont közelében van holtávja, a második, 150 Hz-es fokozatnak pedig a harmadik harmonikus semleges pontja (kb. a tekercs középpontja) közelében.



8.13. ábra. Kapocsoldali harmadik harmonikus feszültséget érzékelő testzárlatvédelem
 R , L és C elemek 150 Hz-es szűrőkapcsolást képeznek; P beállító ellenállás; E érzékelőrelé;
 I_A , I_C kompenzálás (nemlineáris fékezés)



8.14. ábra.
 A 8.13. ábra védelmének karakterisztikája

H) Generátorok forgórészvédelme

A generátor forgórész-tekerceselésében villamos hibaként testzárlat, valamint menetzárlat fordulhat elő. A testzárlat lehet egyszeres, ill. kettős földzárlat. A generátor üzemében zavart idézhet elő még a mágneses mező torzulása is, amely járulékos hibákra vezethet. A forgórész védelme lehet menetzárlat-védelem, testzárlatvédelem, mezőgörbe-torzulás elleni védelem.

a) Forgórész menetzárlat-védelme

Külön ilyen célú védelmet nem szokás alkalmazni, mivel a menetzárlat a gerjesztőáram csak kismértékű növekedésével jár. A növekedést a *gerjesztőáramot figyelő védelem* az automatikus feszültségszabályozóban érzékeli, vagy a *személyzet mérőműszerről* olvashatja le.

b) Forgórész testzárlatvédelme

Ha a generátornak szigetelt gerjesztési rendszere van, az *első testzárlat* nem okoz veszélyes üzemállapotot, ezért *csak jelezni* szokták. A második testzárlat bekövetkeztével a gerjesztőkör egy részének rövidrezáródása miatt esetleg nagy gerjesztőáram keletkezik, ill. a mágneses aszimmetria miatt a forgórész „berázódhat”. Ezt az állapotot gyorsan meg kell szüntetni, a gépet ki kell kapcsolni.

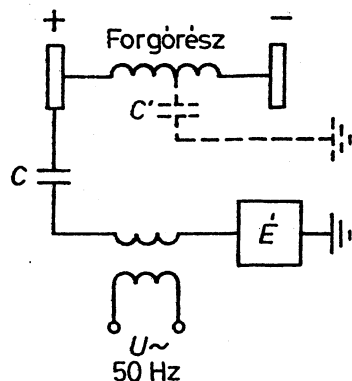
Ha a generátornak közepén földelt gerjesztőtekerce van, természetesen azonnali kikapcsolás szükséges az első testzárlat létrejöttére is, mert ez már kettős testzárlat.

Egyszeres testzárlat elleni védelmek

Érzékelésükre a test és a gerjesztőtekerceselés egyik kapcsa közé – az érzékelő készülék közbeiktatásával – járulékos feszültséget kapcsolnak. A beiktatott feszültség lehet váltakozó, ill. egyenfeszültség (hagyományos testzárlatvédelmek).

– 50 Hz-es váltakozó feszültséget szuperponáló védelem

A forgórész egyenáramú gerjesztőrendszerére kondenzátoros csatolással kisfeszültségű (20...60 V) 50 Hz frekvenciájú váltakozó áramú jelet adnak (8.15. ábra). E váltakozó áramú kör a forgórész ép, testzárlatmentes állapotában nyitott, így az áramkörben levő \dot{E} mérőelem nem működik (C' árama csekély).



8.15. ábra.

Váltakozó feszültséget injektáló forgórész-testzárlatvédelem

A mérőelem megválasztása határozza meg a rendszer hibaellenállás-érzékenységét. Zavarokat okozhat a forgórész egyenáramú köreinek földhöz viszonyított kapacitása (az előbb elhanyagolt C' ; tájékoztató értéke $300 + 500 \mu\text{F}$). Ezen keresztül a váltakozó áramú kör záródik, ami szélsőséges esetben hibás megszólalásra vezethet. A veszélyt fokozzák a generátorról

táplált hálózat zárlattransziens jelenségei, ill. a szükséggerjesztőre való áttérés, mert ilyenkor C' értéke megváltozik; megnő, ill. a kondenzátor áttöltődik. A feszültség, ill. a csatoló-kondenzátor C kapacitásának növelésével a védelem érzékenysége növelhető. Ennek egyrészt az érintésvédelem, másrészt nagyobb gerjesztőfeszültségeknél a kondenzátor mérete szab határt.

A hazai gyakorlatban alkalmazott ilyen készülékek az EAW NDK-beli gyár REG5, a ZPA Trutnov csehszlovák gyár GR típusú, valamint az MVMT OVRAM saját fejlesztésű és gyártású készülékei.

– *Idegen frekvenciájú váltakozó feszültséget szuperponáló védelem*

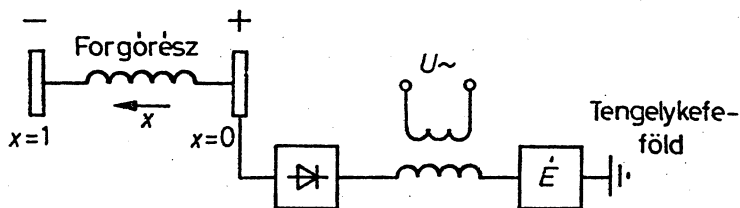
A külföldi gyakorlatban (BBC, Siemens) a kedvezőbb érzékelési viszonyok, a zajvédelem biztosítása érdekében 20 Hz-es váltakozó feszültséget szuperponálnak a forgórészre.

– *Egyenfeszültséget szuperponáló védelem*

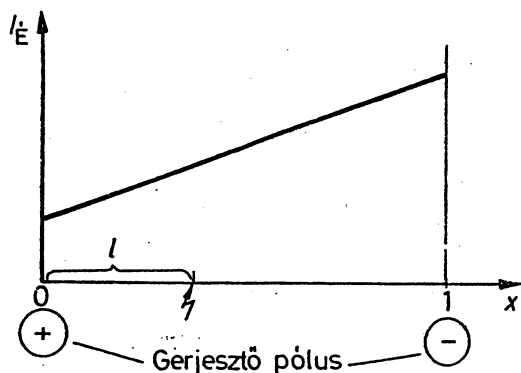
Az egységteljesítmények növekedése magával vonta a gerjesztőfeszültségek szükség szerű növekedését is. A váltakozó áramot szuperponáló módszer leválasztó-, csatoló-kondenzátorának feszültsége a növekvő feszültség-igénybevételnek nem tudott megfelelni, ezért szükség-megoldásként alakult ki az egyenáramot szuperponáló módszer. Üzemben található ilyen védelem, de mátt túlhaladott.

A járulékos egyenfeszültség beiktatásával a holtávmentes érzékelés valósítható meg, és a kapacitásérzékenység gyakorlatilag megszűnik. Az injektáláshoz gyakran váltakozó áramú segéd-feszültséget használnak (8.16. ábra), amelyet egy- vagy kétutasan egyenirányítanak. Ezen az elven működnek a hazai erőművekben alkalmazott MVMT-OVRAM gyártású FTV-1 és FTV-3 védelmek.

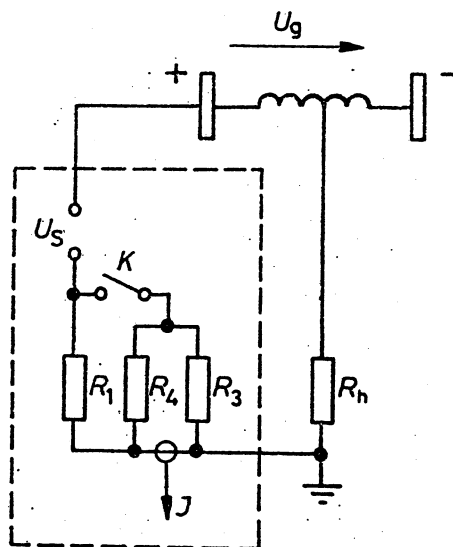
Az egyenfeszültséget szuperponáló védelmek megszólalási érzékenysége a hibahely függvénye (8.17. ábra), ugyanis a szuperponált mérőfeszültség összegződik a gerjesztőfeszültség azon részével, ami a hibahely és a védelem csatlakozási pontja között mérhető.



8.16. ábra. Egyenfeszültségű forgórész-testzárlatvédelem



8.17. ábra. A 8.16. ábra védelmének érzékenységváltozása a gerjesztőtekerccs mentén



8.18. ábra. Elektronikus forgórész-testzárlatvédelem R_h hibahelyi átmeneti ellenállás

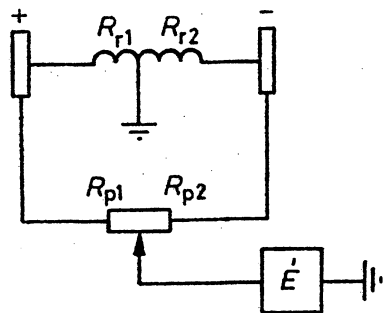
Az egyenfeszültséget szuperponáló védelmeknek ezt az elvi hibáját küszöböli ki az elektronikus védelmi megoldás. A védelem a gerjesztőkört megfelelően megválasztott ellenállásokon (R_1, R_3, R_4) keresztül földeli (8.18. ábra). A K kapcsoló nyitott és zárt helyzetében figyeli a jelölt hely áramát. Ha az ellenállásokat úgy választják meg, hogy $R_4 = R_1$ és $R_3 = R_h$ -val, az érzékelné kívánt maximális hibahelyi átmeneti ellenállással, akkor ha a testzárlat éppen R_h értékénél következik be, a K kapcsoló nyitott és zárt helyzetében mérhető áram értéke azonos. Ha R_h tovább csökken, akkor a kapcsoló nyitott állapotában kisebb az áramerősség, mint annak zárt állapotában, és erre a védelem megszólal. A kapcsolási feladatot elektronika látja el, így a folyamatos mérés biztosítva van. Így működik a VEIKI-ben kifejlesztett GFV típusú testzárlatvédelem.

A forgórész-testzárlatvédelmek megszólalását zavarják a külső hálózati zárlatok. Ami az állórészen váltakozó áramú tranzienszt jelent, az a forgórészen egyenáramú zajként jelenik meg, ami pedig az állórészen egyenáramú összetevőt képez, az a forgórészre váltakozó áramú összetevőként jut át. Ezenkívül nehézséget okozhat a testzárlatvédelmek érzékelésében a fluxus nem szinuszos volta, valamint az üzemszerűen előforduló gyorsrágerjesztés is. A siklócsapágyak között a forgórész az olajfilm kialakulása után sztatikusan feltöltődik, ezért e feltöltődés zavaró hatásainak csökkentése céljából a forgórészt tengelykéfével földelni kell. A sok zavaró körülmény együttes hatása következtében e védelmek gyakran indokolatlanul működnek, ezért célszerű, ha a védelem nem ad kioldást, csak önálló hibajelzést. A forgórész szigetelési állapotát fokozottan ellenőrizni kell.

Egyszeres tartós testzárlat felléptekor tehát dönteni kell, vajon kikapcsolják-e a generátort, vagy tudatosan vállalt kockázat mellett, a kettős testzárlatot érzékelő védelmet élesítve, folytatják az üzemet.

Kettős testzárlat elleni védelmek

A védelem középföldelésű gerjesztőtekercsű generátornál az egyetlen védelem, míg szigetelt generátor-forgórész esetén az egyszeres testzárlat fellépte után kerül élesítésre, ha az előbbiek szerint így döntöttek.



8.19. ábra.
Forgórész kettős testzárlata elleni védelem

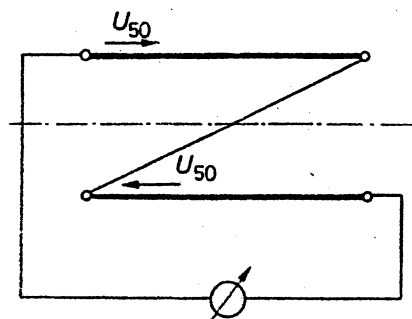
A készülékek jellemzője az egyenáramú Wheatstone-híd kapcsolású érzékelés (8.19. ábra). A híd ágai az első testzárlattal kettéosztott gerjesztőtekercs két fele és a védelemben elhelyezett kiegyenlítő ellenállásrészek (potenciométer). A híd átlójában helyezkedik el az \dot{E} mérőelem. Az első testzárlat megjelenése után a hidat a potenciométerrel ki kell egyenlíteni. A második földzárlat bekövetkeztekor a híd egyensúlya megbomlik, és az \dot{E} mérőelem megszólal. Állandósult üzemben, amikor a híd forgórészén levő tagjainak inductivitása nem játszik szerepet, és a forgórészen nincsenek tranziens váltakozó áramú komponensek, ez a mérési elv megfelelő. A tapasztalatok szerint azonban 2...100 Hz frekvenciatartományban különböző amplitúdójú, váltakozó áramú feszültségkomponensek is vannak a forgórész körben, amelyekre az egyenáramúlag kiegyenlített híd nincs egyensúlyban. Emiatt olyan nagy tranziens hibaáram keletkezhet, amely a mérőelemet megszólaltatja, és a gép feleslegesen kikapcsolódik. Ez a védelem késleltetésével elkerülhető, de így elvesz a mechanikai károsodást megelőző gyorsaság.

Az említett jelenségek értelmében ez a védelem elvi okok miatt nem működik kifogástalanul. Mivel jelenleg sem a nemzetközi, sem a magyar gyakorlatban nem ismeretes korrekt, kettős földzárlat elleni védelem, az újabb tervezésű erőművekben nem is terveznek be ilyen készülékeket, hanem csak egyszeres testzárlatvédelmet, amely az első földzárlatra nagy hibahelyi ellenállás esetén (10...20 k Ω) csak jelzést ad, de kisebb (<5 k Ω) hibahelyi ellenállásra kiold.

A hazai erőművekben az EAW gyártmányú REG6, a szovjet KZR-2 és az MVMT-OVRAM FTV-2 készülékét használják.

c) Mezőgörbe-torzulás elleni védelem

A mezőgörbe állandósult torzulása előállhat villamos hiba (pl. forgórészközi kettős földzárlat) és gépészeti hiba (pl. csapágyelmozdulás, mechanikus kiegyenlítetlenségek) okozta légrés-egyenetlenség következtében. Átmeneti torzulást okozhatnak a gép különböző tranziens jelenségei, pl. zárlatok, terhelésváltozások. Az említett állapotok és jelenségek érzékelésére a generátor állórészébe egymástól 180 villamos fokra – célszerűen a horonyrész alá vagy annak furatába – építenek be két vezetőt. Ezek a vezetők a 8.20. ábrán látható módon összekötve alkotnak egy mérőhurkot. A mérőhurok vezetőiben indukálódó hálózati frekvenciájú feszültség-összetevők kölcsönösen kioltják egymást, de mezőgörbe-torzulás esetén a mérőhurok kimenetén kétszeres hálózati frekvenciájú feszültség mérhető. A mérőhurok a szinkron gép folyamatos állapotfigyelő rendszerének (monitoring) fontos eleme lehet. Kísérleti jelleggel építik be szinkron generátorba üzemi tapasztalatok szerzése céljából. A védelmi elv a VEIKI szolgálati szabadalmát képezi.



8.20. ábra.
Mezőgörbeterorzulás elleni védelem

8.1.2. Zárlati tartalék védelmek

A zárlati alapvédelmek működéselmaradása esetén egy másik védelemnek, a tartalék védelemnek kell működnie.

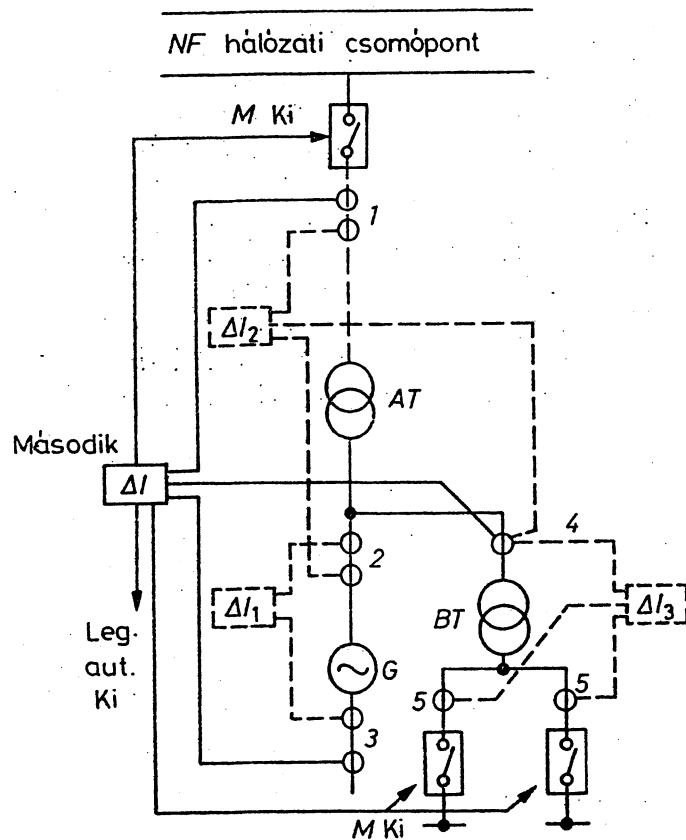
A) Kettős alapvédelem

Egyes főberendezések (generátor, főtranszformátor, gépvezeték) tartalék védelmére nagy értékük és a rendszerben elfoglalt lényeges szerepükből adódóan egymástól független kialakítású, az alapvédelemmel azonos értékű második differenciál- vagy differenciálevlű védelmet létesítenek. A két védelem funkcióját tekintve teljesen egyenértékű lehet, ilyenkor az alap- és tartalék védelmi elnevezés helyett a kettős (elsőrendű és másodrendű) alapvédelem elnevezés használata szokásos.

A második, differenciál- vagy differenciálevlű védelmek táplálása célszerűen olyan, hogy egy differenciálvédelem több főberendezés védelmét is ellátja. A 8.2. ábra egy blokk alapvédelmi

területeit szemlélteti. Ha a transzformátor ΔI_2 differenciálvédelmének áramérzékelési határait a generátor nagyfeszültségű kapcsai helyett a csillagponti áramváltókra helyezik át, akkor teljes blokkdifferenciálvédelem alakul ki. E védelem a főtranszformátor alapvédelmén kívül ellátja a generátor differenciálvív tartalék védelmét is. Ez pl. megoldást jelent a generátor számára akkor, ha nincs generátorfeszültségű megszakító, de nem képvisel második védelmet a főtranszformátor számára (csak pl. a Buchholz-védelem).

100 MVA feletti egységek differenciálvédelmét indokolt megkettőzni mind a generátor-mind a főtranszformátor számára, ezért az e feletti teljesítményeknél a 8.2. ábra alapvédelmi rendszeréhez illeszkedve egy teljes blokkdifferenciálvédelmet (gépvezeték esetén blokkszakaszvédelem) alkalmaznak (8.21. ábra).

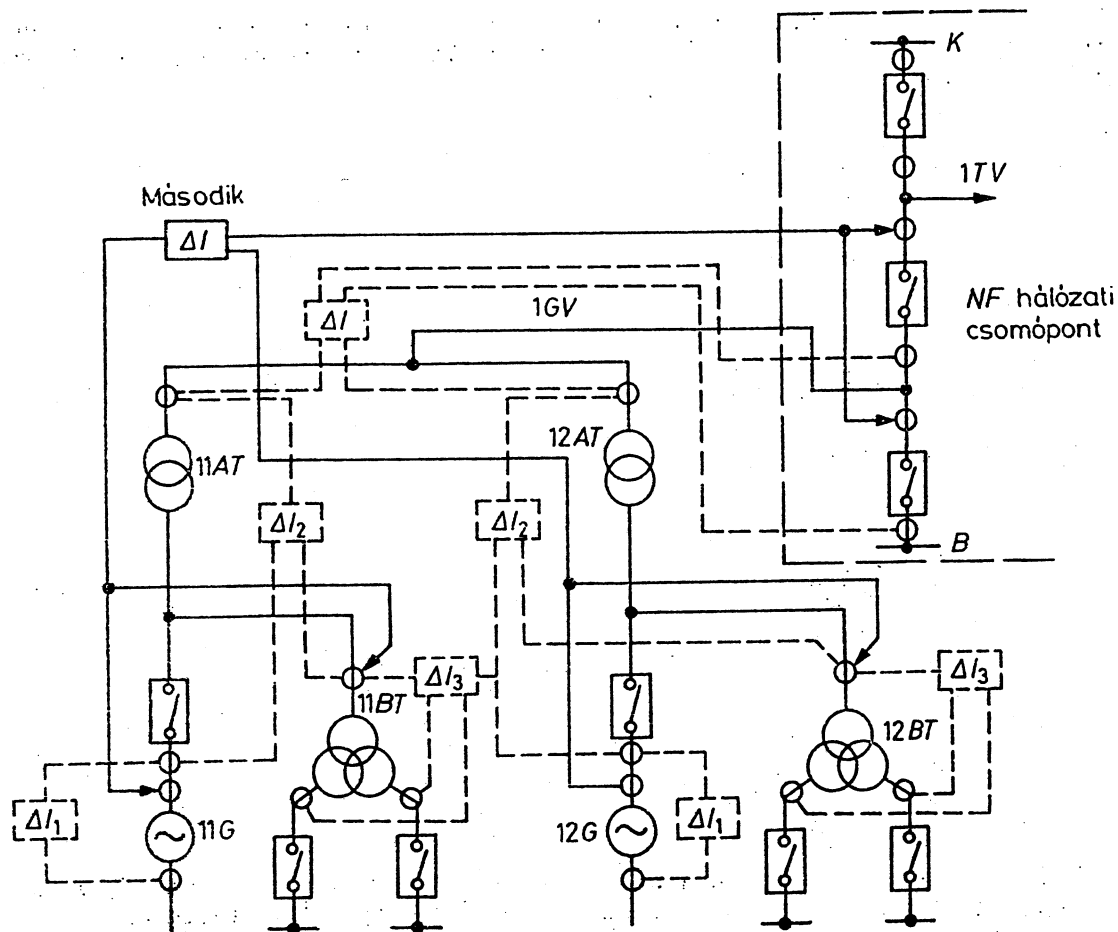


8.21. ábra.
Teljes blokk-differenciálvédelem (második ΔI)

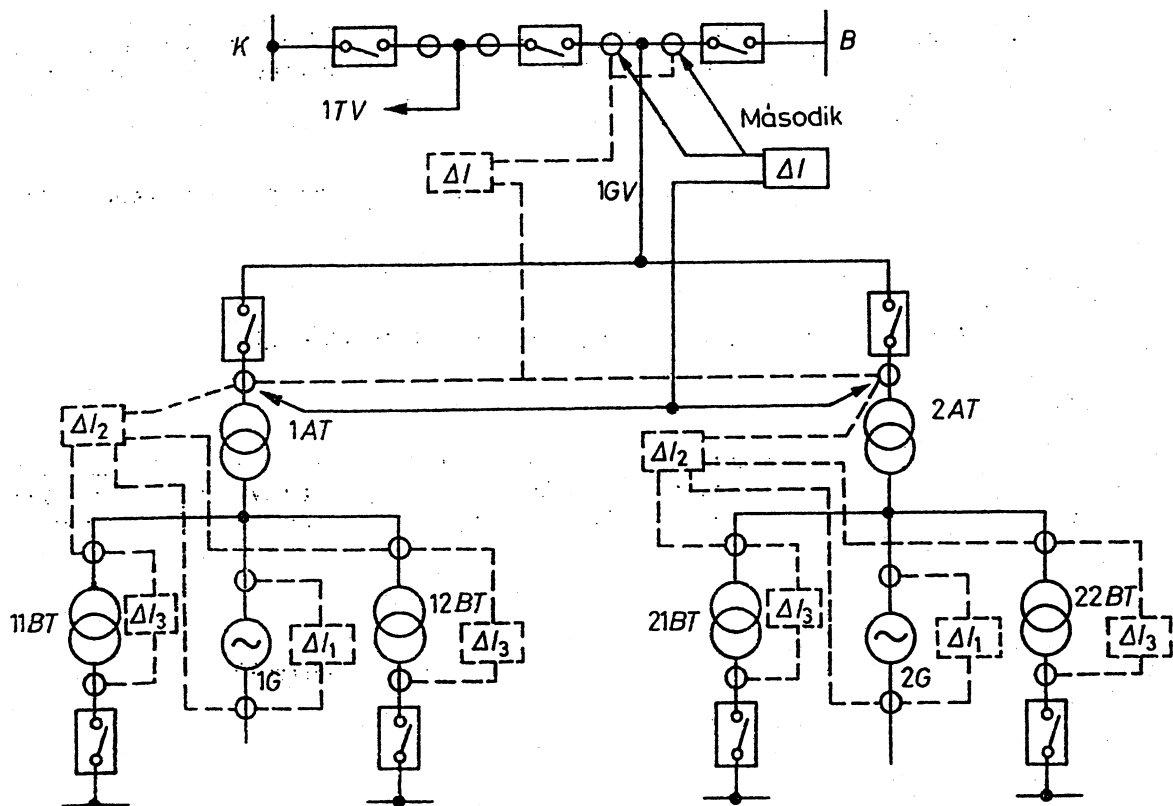
Ha a generátornak van gépészültségű megszakítója, a védelmi területek szétválnak, és a kettős alapvédelem csak külön-külön beépített differenciálvédelemmel valósítható meg (8.22. ábra).

Hasonló a helyzet, ha a villamos blokkok – nagyfeszültségű oldalukon megszakítóval leválaszthatóan – közös gépvezeték-re dolgoznak. Erre az esetre a 8.23. ábra mutatja a kettős alapvédelem alkalmazási lehetőségét.

8.23. ábra.
Alapvédelem kettőzése
külön gépvezeték-megszakítók esetén



8.22. ábra. Alapvédelem kettőzése generátormegszakító után
K nagyfeszültségű hálózati csomópont külső gyűjtősínje; *B* nagyfeszültségű hálózati csomópont belső gyűjtősínje; *1GV* gépvezeték; *1TV* távvezeték



8.2. példa. A példa a 8.21. ábra jelöléseit használva a második differenciálvédelem kiegyenlítési és beállítási feltételeit vizsgálja. Mivel ez a differenciálvédelem a villamos blokkot teljesen befogadja, globális (teljes) differenciálvédelemnek is nevezik.

A főberendezések paraméterei:

220 kV-os gyűjtősín $S_z = 10\,000$ MVA
 AT főtranszformátor $S = 250$ MVA
 $U = 242/15,57$ kV
 $I = 597/9170$ A
 $\varepsilon = 10,5\%$ (Yd 11)

G generátor $S = 259$ MVA
 $U = 15,75$ kV
 $I = 9500$ A
 $X_d = 240\%$
 $X'_d = 24\%$
 $X''_d = 17\%$

BT segédüzemi transzformátor $S = 16$ MVA
 $U = 15,75/6,3$ kV
 $I = 587/1468$ A
 $\varepsilon = 12\%$ (Ddo)

A mérőváltók áttétele
 1. $a_1 = 1200/1$ A
 2. $a_2 = 10\,000/5$ A
 3. $a_3 = 10\,000/5$ A
 4. $a_4 = 1000/5$ A
 5. $a_5 = 1500/5$ A

A globális differenciálvédelem a blokk NF hálózati csomóponti csatlakozásának az áramát (1), a generátor csillagponti áramát (3) és a segédüzemi transzformátor nagyfeszültségű oldali áramát (4) érzékeli. A kiegyenlítés a teljesítményazonosságból kiindulva számítható, a főtranszformátor névleges teljesítményének bázisán.

A 220 kV oldal árama $I_1 = 597$ A (250 MVA). A szekunder áramerősség

$$i_1 = \frac{I_1}{a_1} = \frac{597}{1200} = 0,4975 \text{ A.}$$

A zérus sorrendű áramok kiszűrése és a főtranszformátor fázisforgató hatásának kiküszöbölése érdekében az I áramváltó szekunder oldalán deltakötést alkalmaznak (l. a 4.56. ábrát), amely megnöveli a szekunder áram értékét:

$$i'_1 = \sqrt{3}i_1 = 0,86 \text{ A.}$$

A 15,75 kV-os oldal árama: $I_2 = 9170$ A (250 MVA). A szekunder áramerősség a generátor csillagponti áramváltójánál

$$i_3 = \frac{I_2}{a_3} = \frac{9170}{10\,000} \cdot 5 = 4,585 \text{ A.}$$

A szekunder áramerősség 250 MVA alapon a segédüzemi transzformátor 15,75 kV-os oldalán

$$i_4 = \frac{I_2}{a_4} = \frac{9170}{1000} \cdot 5 = 45,85 \text{ A.}$$

$I_n = 5$ A-es védelem választása esetén a csillagponti áramváltó szekunder árama közvetlenül a védelemre kapcsolható, mivel kicsi az eltérés a védelem névleges árama és a csillagponti áramváltón a névleges terhelésnél mérhető áram között. Erre az árambázisra hozás érdekében a 220 kV-os oldal szekunder áramát közbenső áramváltóval meg kell növelni

$$s_{K13} = \frac{4,588}{0,86} = 5,33/1$$

arányban, a segédüzemi transzformátor 15,75 kV-os szekunder áramát viszont le kell csökkenteni

$$s_{K43} = \frac{45,85}{4,585} = 10/1$$

arányban. Ezzel a védelem kiegyenlítése megvalósul.

A 220 kV-os áramváltó terheléscsökkentése céljából a deltakötést nem a nagyfeszültségű oldal (I) áramváltójának szekunder oldalán célszerű végrehajtani, hanem a relétérben elhelyezett a_{K13} közbenső áramváltón, mert ezzel a védelmet tápláló vezetékek terhelése a főáramváltóra nézve csökken (4.70. ábra).

Felmerül a kérdés, szükséges-e a segédüzemi transzformátor felé a differenciálvédelmet lezárni, azaz kell-e az ún. *harmadik láb*.

8.3. *példa*. A lezárás elhagyása esetén a segédüzemben fellépő zárlatok alkalmával a védelemben kiegyenlítettlen áram lép fel.

Az áramerősség a 6 kV-os oldali 3F zárlat esetén a legnagyobb. Ekkor a transzformátor 15,75 kV-os oldalának árama, a 2. fejezetben elmondottak alapján

$$I_4 = 1,1 \frac{U_f}{j[X_g \otimes (X_{Tr1} + X_m) + X_{Tr2}]}$$

ahol U_f a zárlatot tápláló fázisfeszültség; X_g a generátor tranziens reaktanciája; X_{Tr1} a főtranszformátor reaktanciája X_{Tr2} a segédüzemi transzformátor reaktanciája; X_m a mögöttes hálózat reaktanciája.

A reaktanciák 15 kV-os feszültségszinre vonatkoznak, így

$$U_i = \frac{15}{\sqrt{3}} = 8,7 \text{ kV},$$

$$X_g = \frac{X'_d}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{24}{100} \cdot \frac{15,75^2}{259} = j0,23 \ \Omega,$$

$$X_{Tr1} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{15,75^2}{250} = j0,104 \ \Omega,$$

$$X_{Tr2} = \frac{12}{100} \cdot \frac{15,75^2}{16} = j1,86 \ \Omega.$$

$$X_m = \frac{U_n^2}{S_2} \left(\frac{U_{II}}{U_I} \right)^2 = \frac{220^2}{10\,000} \left(\frac{15,75}{242} \right)^2 = j0,02 \ \Omega.$$

$$I'_4 = \frac{1,1 \cdot 8,7}{j1,94} = j4,93 \text{ kA}.$$

A differenciálvédelem hibaárama abszolút értékben

$$i'_h = \frac{I'_4}{a_4 a_{K43}} = \frac{4930}{200 \cdot 10} = 2,415 \text{ A}.$$

Ez az 5 A-es védelem névleges áramának 48,3%-a.

Ha a védelem kioldási áramsztintjét biztonsággal ennél nagyobb értékre választják, akkor a differenciálvédelem lezárását a segédüzemi transzformátor koncentrált impedanciája biztosítja, de ebben az esetben a védelem részben a segédüzemi transzformátor belső zárlatait is érzékeli. Ez az elhangolás azonban egyértelmű durvítása a védelemnek, ami a generátor-transzformátor gépvezeték zárlataira érzékenységsökkenést jelent. A bekapcsolásbiztos védelmeknél ez a beállítható érzékenység elvesztését jelenti, ezért helyesebb, ha a durvítás helyett a harmadik oldalt is bevonják az áramösszegzésbe, ezzel helyreállítva az érzékelés egyértelmű határait, és így ki lehet használni az érzékeny beállítás lehetőségét.

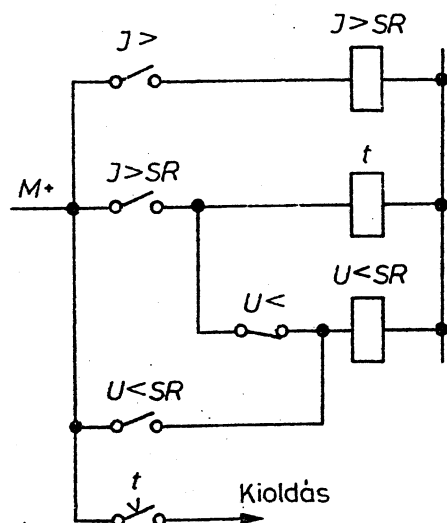
B) Zárlati túláramvédelmek

A generátor késleltetett túláramvédelme tartósan fennálló külső zárlatok távoli tartalékvédelme és a generátoron átfolyó zárlati áram időbeli korlátozója. A túláramelemet mindhárom fázisba be kell építeni. A védelmet célszerű a generátor csillagponti áramváltóiról táplálni, mert akkor működni képes a generátor belső zárlataira is, azaz a generátorra közeli tartalék védelmet nyújt.

Az árambeállítás szokásos értéke a tartalék védelmi terület minél nagyobb kiterjesztése figyelembevételével $1,5 \dots 1,6 I_{n \text{ gen}}$. Ez azonban függ a generátor állandósult rövidzárlati

áramától is. Hagyományos forgógépes gerjesztésű, automatikus feszültség szabályozóval üzemelő gépeknél a védelem késleltetési ideje alatt az áram nem csökken a beállítási érték alá.

Statikus gerjesztőrendszerű generátoroknál a gerjesztési energiát a generátor kapcsaira csatlakozó háromfázisú transzformátor adja egyenirányítón keresztül. Ennek megfelelően a tartós háromfázisú rövidzárlati áram a generátor kapocsfeszültségétől függ. Közeli háromfázisú zárlatnál a feszültség szabályozás ellenére a generátor kapocsfeszültsége olyan kicsi lesz, hogy a zárlati áram a gerjesztés csökkenése miatt igen hamar a túláramvédelem beállítási értéke alá csökken. Ilyenkor olyan különleges, feszültségcsökkenés emlékeztető túláramvédelem alkalmazható, amely feszültségcsökkenés nélkül önállóan túláramreléként működik, de ha a zárlat hatására a feszültség lecsökken, a túláramindításon keresztül meghúzó feszültségcsökkenési relé öntartásba lép és a beállított késleltetés után a túláramrelé visszahúzása ellenére is kioldást ad (8.24. ábra).



8.24. ábra. Feszültségcsökkenési emlékeztető túláramvédelem
 $I >$ túláramrelé; $I > SR$ túláram-segédrelé;
 $U < SR$ feszültségcsökkenési relé segédreléje;
 $U <$ feszültségcsökkenési relé; t időrelé

A zárlati túláramvédelem késleltetését úgy kell megválasztani, hogy nagyobb legyen a táplált hálózat szelektív védelmeinek legnagyobb késleltetésénél. Pl. a hálózati távolsági védelmek végidejénél egy lépcsővel legyen nagyobb a blokktranszformátor túláramvédelmének késleltetése, ennél pedig egy lépcsővel nagyobb a generátoré.

Generátormegszakító elrendezésben, ahol a generátor megszakítójának nyitása után a blokktranszformátor a hónaljtranszformátoron keresztül is el tudja látni a gép háziüzemét, célszerűbb, ha előbb a generátor válik le egy hosszú ideig fennálló külső zárlat esetén.

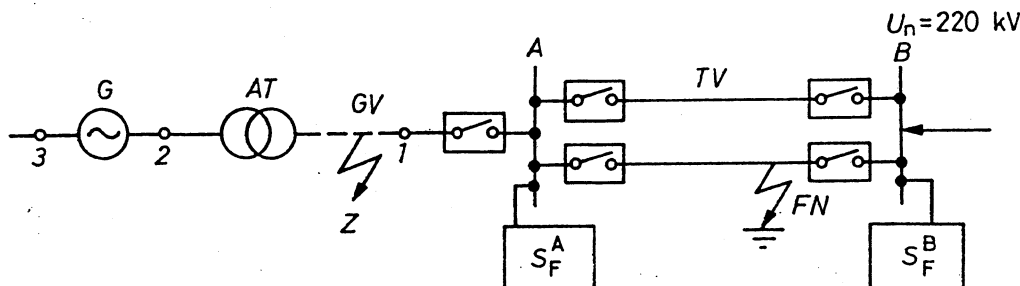
A késleltetés megválasztásához másik fontos szempont a gerjesztéskimaradás elleni védelemhez való koordinálás. Ha az azonos gyűjtősínre csatlakozó blokkok közül gerjesztési hiba miatt valamelyik a gyűjtősínről vesz föl meddő teljesítményt, akkor ezt elsősorban a szomszédos generátorok fedezik. Ez a túláramvédelmek indulását válthatja ki. Lefutásuk (és az üzemzavar kiterjedése) előtt a hibás gépet le kell választani, tehát a túláramvédelem késleltetése nagyobb legyen, mint a gerjesztéskimaradás elleni védelmé.

A főtranszformátor zárlati túláramvédelmét a transzformátor nagyfeszültségű oldali áramváltóról célszerű táplálni. A védelem felszerelési helyén a zárlati teljesítmény iránya kétféle lehet, így a tartalék védelmi feladat is kettős. Hálózati zárlatok esetén a védelem a hálózat felé távoli tartalék védelmi, a főtranszformátor, a generátor és a segédüzemi transzformátor zárlatakor viszont közeli tartalék védelmi feladatot lát el.

A védelem árambeállítása a főtranszformátor névleges áramának 1,5...1,6-szerese lehet. Késleltetése a hálózati védelmekhez való szelektivitás érdekében a távolsági védelmek legnagyobb késleltetésénél egy időlépcsővel nagyobb. Működése esetén csak a nagyfeszültségű megszakítót kapcsolja ki.

C) Ultragyors zárlati túláramvédelem gépvezetékekre

Ultragyors (< 10 ms) működésű, reed-relés érzékelésű túláramvédelmet (l. a 6.4.c. szakaszt) lehet telepíteni vezeték – transzformátor blokk esetén a távvezetékek állomási oldalára, a gépvezeteki zárlatok gyors kikapcsolása céljából. A védelmet a gépvezeték állomási végén levő áramváltók táplálják. A védelem beállítását úgy kell megválasztani, hogy a generátornak gyújtósínzárlatkor keletkező szubtransziens zárlati áramára ne induljon, de gépvezeteki zárlatra a hálózat felől folyó áramra igen. Működése esetén a gépvezeték állomásoldali megszakítóját ki kell kapcsolnia, és működtetnie kell a legerjesztő automatát vagy a gépmegszakítót.



8.25. ábra. Minthálózat a számítási példákhoz

S_F^A az A gyújtósín fogyasztói vételezése; S_F^B a B gyújtósín fogyasztói vételezése

8.4. példa. A 8.25. ábra hálózatát figyelembe véve, a gépvezeték ultragyors túláramvédelmének beállítási feltételei az adatok ismeretében meghatározhatók.

Kiegészítve a 8.2. példa adatait, az ultragyors túláramvédelem beállítási feltételei a következők:

- maximális zárlati állapotban se érjen át a blokktranszformátor szekunder oldalára;
- a nagyfeszültségű A gyújtósín zárlata esetén még maximális generátoráram esetén se működjön.

Számítási feszültségszint: $U_v = 220$ kV. A reaktanciák értéke a 220 kV-os feszültségszintre

$$X_m = \frac{U_v^2}{S_{zm}} = \frac{220^2}{10\,000} = j4,84 \, \Omega,$$

$$X_{Tr1} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{10,5}{100} \cdot \frac{242^2}{250} = j24,6 \, \Omega,$$

$$X_g = \frac{X'_d}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} \cdot \left(\frac{U_I}{U_{II}}\right)^2 = \frac{17}{100} \cdot \frac{242^2}{259} = j38,44 \, \Omega.$$

A gépvezeték hossza 10 km, reaktanciája $X_{GV} = j4 \, \Omega$. A kettős távvezeték hossza 80 km, reaktanciája $X_{TV} = j(32)\Omega$.

A maximális zárlati áram a blokktranszformátor oldalán, 3F zárlat esetén

$$I_z^{3Z} = 1,1 \frac{U_t}{j \left[X_m + \frac{1}{2} X_{TV} + X_{GV} + X_{Tr1} \right]} = 1,1 \frac{127}{j49,44} = -j2,83 \, \text{kA}.$$

Maximális zárlati áram az erőmű felől az A gyújtósín 3F zárlatára:

$$I_{zA}^{3F} = 1,1 \frac{U_t}{j(X_g + X_{Tr1} + X_{GV})} = 1,1 \frac{127}{j67,04} = j2,08 \, \text{kA};$$

FN zárlatára (csak a generátor felől táplálva):

$$I_{zA}^{FN} = 1,08 \frac{3U_t}{j(X_{1er} + X_{2er} + X_{0er})} = -j2,4 \, \text{kA},$$

ahol $X_{1er} = X_{2er} = j67,04 \, \Omega$, $X_{0er} = X_{Tr1} + 3X_{GV} = j36,6 \, \Omega$.

Mivel a hálózat felől táplált transzformátor szekunder oldali zárlata nagyobb zárlati áramot hoz létre, mint az erőmű felől az A gyújtósín zárlata irányába folyó zárlati áram, ezért az UTV árambeállítására ez a mértékadó.

A védelem nem érzékelheti a transzformátor kisebb feszültségű oldali zárlatát, ezért a beállítása szórás figyelembevételével

$$I_{Be} \cong \frac{I_z^{3F}}{1-\varepsilon} = \frac{2,83}{0,8} = 3,54 \text{ kA.}$$

Az I áramváltó 1200/1 A-es áttételének figyelembevételével 3600/3 A, és $t = 0$ s.

D) Leágazási impedanciacsökkenési védelem

A transzformátor nagyfeszültségű oldalára be kell építeni a 4.5. alfejezet b vagy c pontja szerinti egylépcsős impedanciavédelmet a gyűjtősínzárlatok alap- vagy tartalék védelmi érzékelése céljából. A védelem megszólalási impedanciáját úgy kell megválasztani, hogy a védelem a gyűjtősín zárlatát biztosan érzékelje. A szelektivitást a csatlakozó leágazások és a generátor – transzformátor (gépvezeték) blokk alapvédelmeihez késleltetéssel kell biztosítani. Ha a gyűjtősínnek nincs önálló gyűjtősínvédelme, akkor az impedanciavédelem a gyűjtősín alapvédelmét, egyébként közeli tartalék védelmét látja el.

A védelemnek ki kell kapcsolnia a nagyfeszültségű megszakítót, majd ha a zárlat továbbra is fennáll 0,5 s múlva a generátormegszakítót, ill. a legerjesztő automatát.

E) Zérus sorrendű zárlati túláramvédelem

A védelem a nagyfeszültségű gyűjtősín tartalék védelmét biztosítja földérintéses zárlatok esetére. A védelem a blokktranszformátor nagyfeszültségű oldalára kerüljön beépítésre. A védelem áramtól függő karakterisztikájú. Ezt kell a hálózat alap- és tartalék védelmeihez illeszteni úgy, hogy működése ne előzze meg azokét.

A teljes értékű tartalékolás érdekében a VEIKI fejlesztésű AZT₀ típusú, zérus sorrendű autonóm zárlati tartalék védelmet célszerű alkalmazni. (Működési elvét l. a 6.4.d szakaszban.)

F) Fáziszárlati autonóm zárlati tartalék védelem (AZT)

Ha a blokk villamos védelmeit segédenergiával ellátó akkumulátortelep leül, akkor az erőművi blokk védelmi rendszere működésképtelenné válik. A blokk számára külső távoli tartalékolást adó védelmeiktől a betáplálási torzítás miatt nem lehet elvárni, hogy minden esetben adjanak tartalék védelmi funkciókat a blokktranszformátorra, annak kisebb feszültségű oldalára. Így jelentős tartalék védelmi holtáv alakul ki. Hogy ilyen esetben a transzformátor nagymértékű károsodását megelőzzük, autonóm zárlati tartalék védelmet (AZT) célszerű a blokktranszformátor nagyfeszültségű oldalára telepíteni. A védelem a kioldóenergiát a zárlati áramból állítja elő (6.4.d szakasz), amellyel az egyenáramtól független kioldást képes létrehozni.

A védelem függő karakterisztikájú, amelyet a hálózati és blokkvédelmek karakterisztikáihoz illeszteni kell. A védelem indulási áramértékét úgy kell megválasztani, hogy a blokktranszformátor kisebb feszültségű oldali minimális zárlati áramaira induljon.

8.1.3. Generátorok termikus igénybevételei és védelmei

A megengedett hőmérsékleti határ túllépése a gép belső veszteségeinek túlterhelés okozta megnövekedése és a hűtési rendszer hibája miatt jöhet létre. *Túlterhelést* okozhat az állórész-, ill. a forgórészáram megnövekedése, valamint a forgórész felületén létrejövő örvényáramok aszimmetrikus terheléskor, aszinkron járás esetén vagy az egyenirányítók okozta felharmonikusok miatt.

A generátor üzeme során bekövetkező *hűtőrendszeri hibák* védelmével nem foglalkozunk.

A) Generátorok túlterhelésvédelme

A *hőmérséklet ellenőrzésének* alapvető eleme a generátorba beépített érzékelőrendszer, amely alkalmas a generátor hőállapotának megítélésére függetlenül attól, hogy a melegedést a hűtőrendszer hibája vagy villamos ok hozza-e létre.

Az állórész áramának növekedése elleni védelemre *jelzési célú túláramérzékelést* alkalmaznak. A szimmetrikus jelleg miatt az áramérzékelő elemet elegendő egy fázisba beépíteni. Beállítása a generátor névleges áramának 1,2...1,5-szerese lehet. A késleltetés ideje nagyobb legyen azoknak a zárlatoknak a legnagyobb háritási idejénél, amelyekre ez a védelem indul. Ezzel elkerülhető, hogy a kezelőszemélyzetet zavaró, fölösleges jelzés keletkezzék.

A folyamatos túlterhelés növeli a tekercs hőmérsékletét, a szigetelés károsodhat. A kezelőnek intézkednie kell a túlterhelés megszüntetésére.

B) Generátorok negatív sorrendű áramainak érzékelése és védelmük

Aszimmetrikus terheléskor a generátorok állórész-tekercselésében negatív sorrendű áram jelenik meg. Ennek hatására a hengeres forgórész felületén örvényáramok jönnek létre, amelyek helyi túlmelegedést okoznak a hornyok élein és a tekercsvég lezáró gyűrűin. A csillapító-tekercseléssel ellátott generátoroknál az örvényáramok elsősorban ebben a tekercselésben keletkeznek.

Negatív sorrendű áramok zárlatok, aszimmetrikus terhelés és sántaüzem esetén jönnek létre. A zárlati nagyságú áramok gyors kikapcsolása a zárlatvédelem feladata. Az üzemi áramok nagyságrendjére eső aszimmetriák érzékelése a *negatív sorrendű túláramvédelem* feladata.

A szinkron generátorok melegejlődését az

$$\int_0^t i_2^2 dt \leq K$$

egyenlettel lehet meghatározni, ahol i_2 a névleges áramra vonatkoztatott negatív sorrendű áram; t a mért időtartam, s ; K állandó, a gép melegedési karakterisztikájától, vagyis a gép típusától és az alkalmazott hűtés módjától függ, s .

A generátort gyártó vállalat általában a tartósan megengedhető negatív sorrendű áramot és K értékét adja meg. Ennek hiányában a tartósan megengedhető negatív sorrendű áram 4...20%-ra, a K pedig 8...30 közötti értékre vehető. A kisebb szám a nagyobb turbó gépekre vonatkozik.

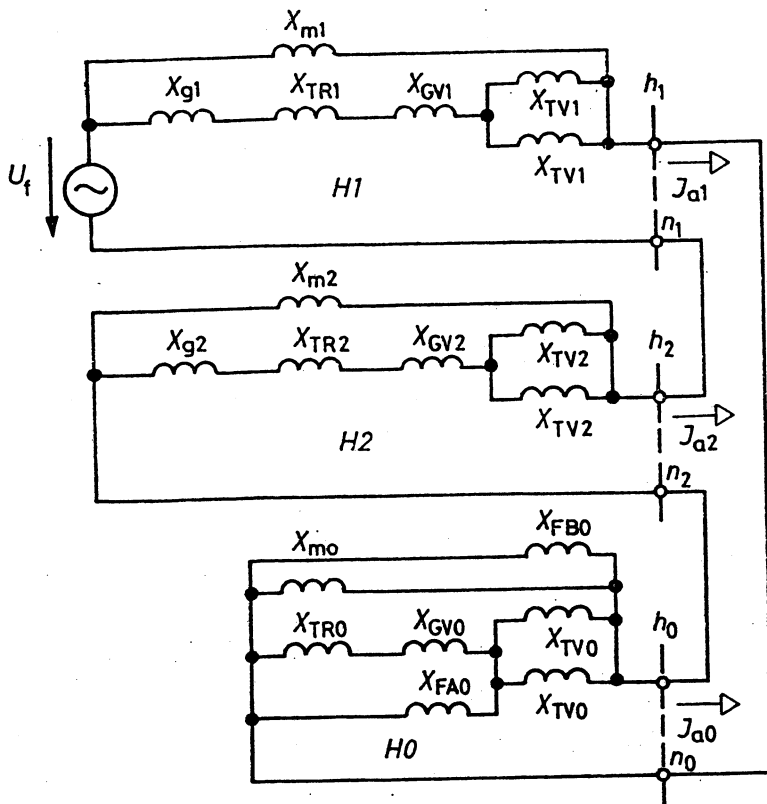
Különböző, egymást követő aszimmetrikus hibák melegítő hatása a forgórészben a hűtés figyelembevételével összegződik. A nagy generátorokhoz célszerű olyan hőmásvédelmet választani, amely a hűtést és a melegedést is leképezi. Ennek beállításához szükséges a forgórész-felület hűtési időállandójának ismerete. Ez gyári adat hiányában 30...150 s közt vehető fel.

Az 50 MVA-nál nagyobb teljesítményű generátorokhoz aszimmetriavédelmet kell létesíteni, különösen akkor, ha a csatlakozó hálózat sántaüzemére számítani kell (hatásosan földelt hálózaton).

A védelem pl. 5%-os negatív sorrendű áram elérésekor jelzést ad. A kioldófokozat 10...12% körül indul, és a védelem érzékelési módjától és a védett generátor jellemzőitől függő karakterisztikával kioldást indít.

Hőmás leképezést valósít meg a hazai fejlesztésű VEIKI gyártmányú NTI-2 típusú, negatív sorrendű túláramvédelem. Alkalmazzák a magyar erőművekben a Siemens RG82 védelmet (Schieflastschutz) is.

8.5. példa. A 8.25. ábra mintahálózatát használva, a példa a generátor negatív sorrendű áramának alakulását mutatja be a jelölt zárlati hely FN zárlatára, valamint a blokkegység sántaüzemére.



8.26. ábra.
A mintahálózat helyettesítő ábrája
FN-zárlathoz

FN zárlatára érvényes helyettesítést a 8.26. ábrán láthatunk. A pozitív sorrendű helyettesítő reaktanciák ismertek a 8.2., ill. 8.3. példából. A generátor transziens reaktanciája 220 kV-os feszültség szinten

$$X'_{g1} = j54,26 \Omega.$$

Az egyes elemek pozitív és negatív sorrendű reaktanciája azonos, kivéve a generátorét, amelynek szubtransziens reaktanciája, egyben negatív sorrendű reaktanciája

$$X''_{g2} = j38,44 \Omega.$$

Az egyes elemek zérus sorrendű reaktanciája:

$$X_{TV0} = 3X_{TV1} = j96 \Omega, \quad X_{Tr0} = X_{Tr1} = j24,6 \Omega,$$

$$X_{GV0} = 3X_{GV1} = j12 \Omega, \quad X_{m0} \approx 0,7X_{m1} = j3,4 \Omega.$$

A fogyasztói terület zérus sorrendű reaktanciái (feltételezés)

$$X_{F0}^A = j80 \Omega, \quad X_{F0}^B = j50 \Omega.$$

Az eredő sorrendi reaktanciák

$$X_{1er} = j4,623 \Omega,$$

$$X_{2er} = j4,573 \Omega,$$

$$X_{0er} = j2,95 \Omega.$$

A hibahelyen folyó szimmetrikus áramösszetevők

$$I_{a1} = I_{a2} = I_{a0} = 1,08 \frac{U_t}{j(X_{1er} + X_{2er} + X_{0er})} = 1,08 \frac{127}{j12,146} = -j11,3 \text{ kA}.$$

A generátor negatív sorrendű árama az áramosztás alapján 220 kV-os feszültség szinten:

$$I_{2g}^{220} = -j622 \text{ A}.$$

A generátornál mérhető negatív sorrendű áram abszolút értéke

$$I_{2g} = 9562 \text{ A}, \quad i_{2g} = \frac{9562}{9500} = 1,006 \text{ kA}.$$

Ez nagy érték, a generátor névleges áramának 100,6%-át jelenti. Ez azonban a vezetékek alapvédelmi működése esetén csak kb. 0,1...0,15 s ideig hat, amely nem veszélyezteti a generátort.

Ha a vezeték a védelem egyfázisúan kapcsolja ki, akkor az érintett távvezeték sántaüzeme jön létre. Ez mint aszimmetrikus állapot, szintén negatív sorrendű áramösszetevőt hoz létre, ez azonban lényegesen kisebb, mint a zárlat során kialakuló negatív sorrendű áramösszetevő. Sikeres védelmi visszakapcsolás után max. 1...2 s holtidő után a szimmetria helyreáll. Sikertelen visszakapcsolás után a tényleges kapcsolási és terhelési állapottól függően kell eldönteni azt, hogy végleges háromsarkú kikapcsolást valósítanak-e meg a védelmek, vagy a negatív sorrendű áram olyan kicsi, hogy korlátozott ideig sántaüzem is lehetséges a távvezetékben. Erőművi csomópontokhoz csatlakozó távvezeték esetén, különösen ha minimális állapotban kevés a kooperációs vezeték száma, a sántaüzem veszélyeztetheti a generátorokat a negatív sorrendű áramnak a generátorra jutó nagyobb része miatt.

A generátorokra az a legkedvezőtlenebb, ha a sántaüzem a saját villamos egységében – pl. a nagyfeszültségű megszakító rendelkezése, annak egyfázisú kikapcsolt állapota miatt – jön létre.

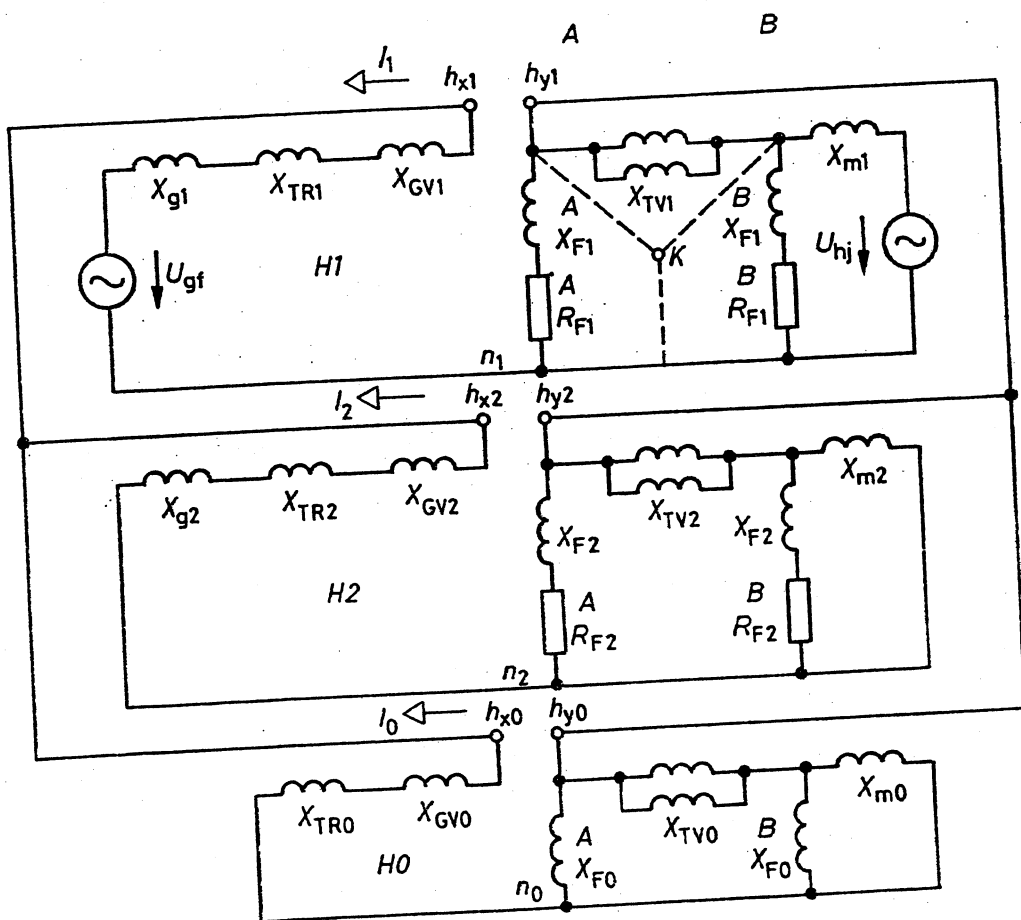
8.6. példa. A számítás a szakirodalom ([17]) útmutatása és a szimmetrikus összetevők alapján történhet. Feltételezve, hogy az A gyűjtősínről $S_{F1}^A = (200 + j120)$ MVA, a B gyűjtősínről $S_{F1}^B = (800 + j600)$ MVA teljesítményvétel történik, a helyettesítő fogyasztói impedanciák értéke (zömmel motorikus fogyasztókat feltételezve):

$$Z_{F1}^A = (187,4 + j140,6) \Omega, \quad Z_{F2}^A = (69,09 + j124,31) \Omega,$$

$$Z_{F1}^B = (46,85 + j35,14) \Omega, \quad Z_{F2}^B = (12,07 + j27,16) \Omega.$$

A gépvezeték egyfázisú szakadására az egyfázisú helyettesítő kapcsolást a 8.27. ábra mutatja be.

A szakadási helyre $(h_{x0} - h_{y0})$ az eredő zérus sorrendű reaktancia $X_{0er} = j67,8 \Omega$, az eredő negatív sorrendű impedancia pedig $Z_{2er} = (1,35 + j18,39)\Omega$.



8.27. ábra. A mintahálózat helyettesítő ábrája sántaüzemhez

Δ/Y átalakítás után (8.27. ábra szaggatott jelölése) az eredő impedancia értéke a virtuális K pontig
– a generátor felől nézve:

$$Z_{er\ g} = (0,96 + j104,43) \Omega;$$

– a hálózat felől nézve:

$$Z_{er\ h} = (0,535 + j17,2) \Omega;$$

– a keresztági impedancia:

$$Z_k = 37,34 + j25,77 \Omega.$$

A helyettesítő hálózat redukált eredő impedanciája

$$Z_{er} = (37,755 + j40,53) \Omega.$$

A fogyasztók felvett pozitív sorrendű árama

$$I_{F1} = 1,1 \frac{U_1}{Z_{er}} = (1,72 - j1,846) \text{ kA.}$$

A generátor felől folyó pozitív sorrendű áram az áramosztás alapján

$$I_1 = (0,238 - j0,2658) \text{ kA.}$$

A generátor felől folyó negatív sorrendű áram pedig:

$$I_2 = (-0,19 + j0,2) \text{ kA.}$$

a 8.27. ábrán felvett pozitív iránynak megfelelően. (A tényleges áramirány ezzel ellentétes.)

A generátor negatív sorrendű áramának abszolút értéke a generátor feszültség szintjén

$$I_{2g} = 4250 \text{ A}, \quad i_{2g} = \frac{4250}{9500} = 0,447 \text{ A,}$$

ami a generátor névleges áramának 44,7%-a. Ez a generátor számára veszélyeztetést jelent. $K = 8$ s esetén a megengedhető idő: $8/0,447^2 = 40$ s. Emiatt nem engedélyezhető a sántaüzem a generátornál, ill. az erőművek közelében.

C) Generátor forgórészének túlterhelésvédelme

A generátorok forgórésze az állandó üzemre és a gyorsrágerjesztéskor fellépő rövid idejű, néhány s-os túlterhelésre van méretezve. Ennél nagyobb túlterhelés a viszonylag kis termikus időállandók miatt rövid idő alatt is káros túlmelegedést okozhat. A korszerű generátor-feszültség-szabályozók el vannak látva gerjesztőáram-korlátozó körrel. A korlátozó kör hibája esetén, valamint kézi gerjesztéses üzemmódban előállhat túlterhelő gerjesztőáram, amely szükségessé teszi védelem működését.

A forgórész-túlterhelésvédelem a gerjesztőáramot érzékeli, és ha ez egy meghatározott értéket túllép, a beállított késleltetés után kikapcsolja a gépet. Az áram- és időbeállítást a generátort gyártó vállalat előírásainak és a feszültség-szabályozó korlátozóköre beállításának figyelembevételével kell meghatározni.

A valóságos melegedési folyamat leképezésére függő karakterisztikájú védelem alkalmazása célszerű.

A gerjesztőáram érzékelésének lehetőségei:

- A gerjesztő egyenáram érzékelése egyenáramú áramváltóval (transzduktorral) és egyenáramú túláramrelével.
- A gerjesztőárammal arányos feszültség érzékelése söntről.
- A gerjesztőárammal arányos gerjesztőfeszültség érzékelése.
- Tirisztoros gerjesztésű gépnél a váltakozó áramú oldalon a gerjesztőáram érzékelése.

Hazai gyakorlatban a gerjesztőfeszültséget érzékelő egyenfeszültségű feszültségnövekedési relé adja a forgórész túlterhelésvédelmét. A szokásos késleltetési idő 15 s körüli érték.

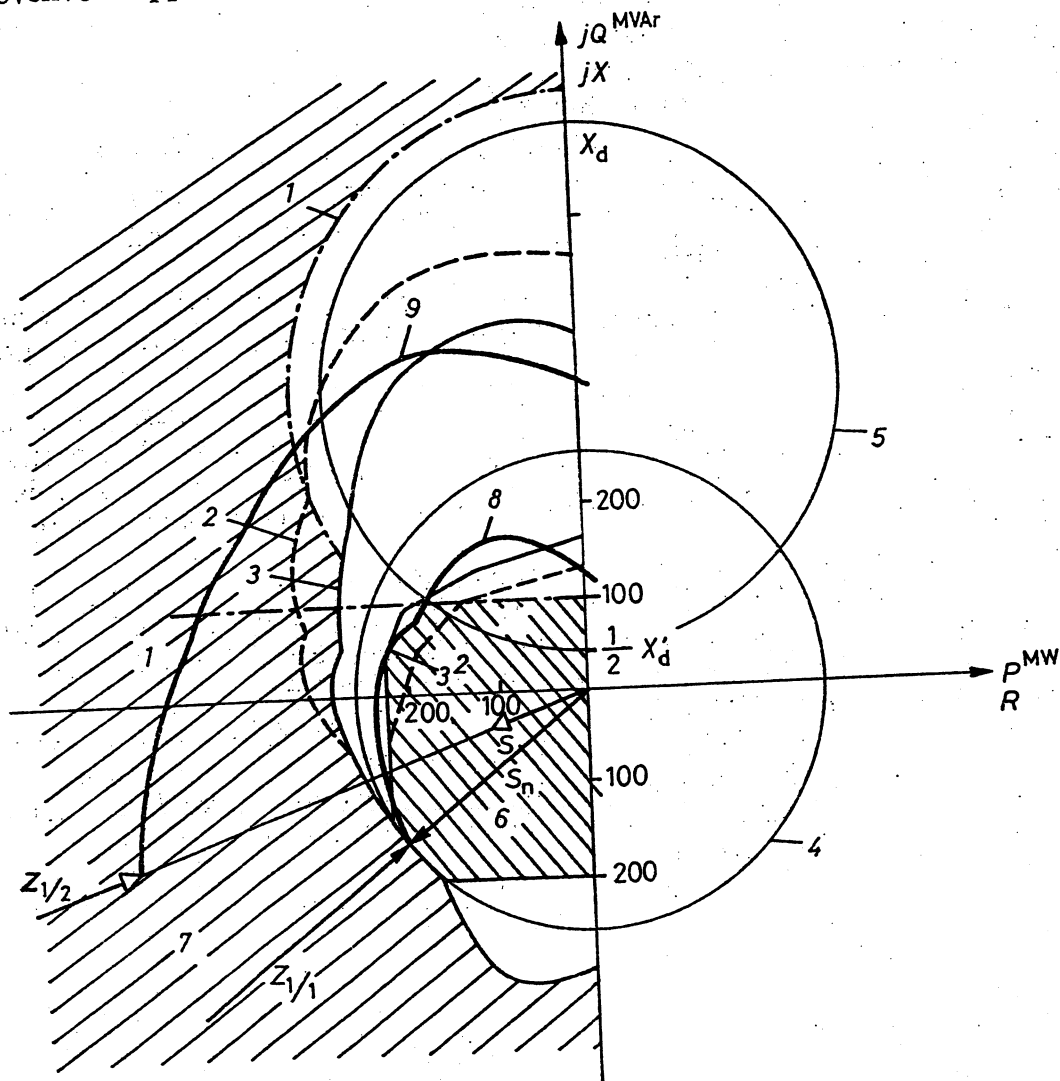
8.1.4. A generátor villamos és mechanikai környezetének rendellenességeit és káros hatásait megakadályozó védelmek

A) Generátor gerjesztéskimaradás elleni védelme

E védelmet minden 50 MVA feletti teljesítményű gépnél alkalmazni kell.

A hálózatra csatlakozó, más szinkron gépekkel paralel járó szinkron gép meddő teljesítményének irányát és nagyságát a gép gerjesztése határozza meg. Ha a gép elveszti gerjesztését, akkor a szükséges mágnesezőteljesítményt a hálózatról fogja fölvenni. Ez azt jelenti, hogy a gép a hálózat felől nézve induktív reaktanciaként viselkedik.

Ha a gép kapocsfeszültségének és kiadott áramának hányadosát tekintjük a hálózat impedanciájának, akkor most a hálózat kapacitív reaktanciaként viselkedik. Amíg a gép szinkron fut tovább, a hálózat felől nézve terhelési reaktancia, mégpedig a kiadott hatásos teljesítménytől függően az X_d hosszirányú szinkron reaktancia és az $X_q \approx X'_d/2$ keresztirányú reaktancia. Ha a gép a szinkronizmusból kiesik, akkor ez a reaktanciaérték csökken, és egyre növekvő szlippel a tranzienst reaktanciához közelít.



8.28. ábra. Gerjesztéskimaradási védelem karakterisztikái
 1 stabilitási határ (-----); 2 aszinkronüzem határa, vízűtés nélküli állórész árnyékolótárcsával (.....); 3 aszinkron üzem határa, vízűtésű állórész, árnyékolótárcsával (—); 4 szinkron gép kördiagramja; 5 eltolt mho-karakterisztikájú védelem; 6 üzemi teljesítmények tartománya ($P-Q$ diagram); 7 üzemi teljesítmények tartománya ($R-X$ diagram); 8 gerjesztéskimaradás hatása a gép impedanciájára teljes terhelésnél; 9 gerjesztéskimaradás hatása a gép impedanciájára félterhelésnél

A gép időállóan által meghatározott lefutású gerjesztéskimaradás folyamatát a 8.28. ábra mutatja. A generátor üzemi impedanciája az előzetes állandósult terhelési állapotból indulva aszinkron üzem esetén kilép az üzemi tartományból, és lassan a szlipnek megfelelő sebességgel áthalad a negatív X tengelyen a hossz- és keresztirányú reaktanciát összekötő képzetes tengelyszakaszon. A szinkron gépek gerjesztéskimaradása egyrészt magára a gépre, másrészt a környezetére veszélyes, mert:

- az állórészáram veszélyes mértékben megnő;
- a gép kiesik a szinkronizmusból, és aszinkron generátorként üzemel (ami teljesítménylengésekkel jár), vagy a gép megfut (ha a gőzbeömlés változatlan);
- a meddő teljesítményt a többi generátor adja, amelyek a megnövekedett áram miatt feleslegesen kikapcsolódhatnak.

A gerjesztéskimaradás elleni védelem működését elsősorban a gerjesztés kiesése, csökkenő irányú változása váltja ki. Ennek oka lehet: a gerjesztési rendszer hibája, az automatikus feszültség szabályozó hibája, az automatikusról kézi gerjesztésre való áttéréskor nem megfelelő fokozatra állítás, nem a stabil üzemre történő kézi gerjesztésszabályozás, ill. a terhelésváltozások nem megfelelő követése kézi gerjesztés esetén.

További működését okozhatja a védelemnek a nagy kapacitív terhelés által előidézett öngerjedése, valamint a generátor szinkron üzemből történő kiesése (aszinkron járás).

A gerjesztés kimaradásakor a generátor meddő teljesítményt vesz föl a hálózathoz, a védelem akkor működik, ha a meddő teljesítmény a generátor felé irányul. Egyszerű $\sin \varphi$ irányrelével (l. a 6. és a 7. fejezetben) ez érzékelhető. A védelem működését csak bizonyos áram elérése esetén engedélyezik (soros túláramfeltétel).

Olyan készüléket is lehet alkalmazni, amelyen a teljesítmény nagysága állítható. Erre alkalmas a VEIKI gyártmányú EIWI típus, amely fázisáramra és ugyanazon fázisfeszültségre kapcsolás esetén meddő teljesítményre érzékeny.

A gerjesztéskimaradás és az aszinkron üzem kapacitív impedanciacsökkenési relével is érzékelhető. A védelem karakterisztikáját az $R-jX$ síkon a 8.28. ábra mutatja. A képzetes tengely és a karakterisztika R tengelyhez közelebbi metszéspontjának szokásos beállítási értéke turbógenerátoroknál a gép tranzienz reaktanciájának fele, a távolabbi metszéspontnak pedig a szinkron reaktanciát választják.

A metszéspontok és ezzel a karakterisztika a fölvetett meddő teljesítménnyel is kifejezhető. A védelem a generátor kapcsolási áram- és feszültségváltójára csatlakozik, és akkor szólal meg, ha a mért impedancia a körön belül esik. A karakterisztika nem érinti az origót, hogy a gépközeli, elsősorban kétfázisú zárlatok ne okozzanak felesleges működést.

A védelem megszólalása után általában két időfokozat következik. Az elsőnek a késleltetése kb. 2 s, és a turbina gyorszárlóját működteti. Ennek hatására működik a visszteljesítményvédelem, és kb. 1 s múlva kikapcsolja a gépet. Ha a megszakító valamilyen okból nem kapcsolódna ki, a gerjesztéskimaradási védelem második időfokozata (4...5 s) teljes gépkikapcsolást végez. A második fokozat idejét az azonos gyűjtősínre csatlakozó generátorok túláramvédelmének idejénél legalább egy szelektív időlépcsővel alacsonyabbra kell beállítani, hogy először a túláramot okozó gép kapcsolódjon ki.

Ha a gerjesztési hibát aszinkron üzem követi, a generátor impedanciavektora hamarabb átlendülhet a védelem kör karakterisztikáján, mint ahogy az első fokozat késleltetése lejár, így kioldás nem tud bekövetkezni. Ennek elkerülésére a védelem megszólalásakor egy ejtészakleltetésű időrelét is működtet, amely kb. 1 s-mal megnyújtja az impulzust. Ha ez alatt az idő alatt újabb megszólalás következik be, az első fokozat ideje tovább tud futni.

A hazai gyakorlatban a 200 MVA-nál nagyobb teljesítményű generátorokhoz a kapacitív impedanciacsökkenést érzékelő, BBC gyártmányú PUM21+YP/WUX 101 készüléket alkalmazták.

B) Generátor állórészének feszültségnövekedési védelme

E védelem 200 MVA-nál nagyobb teljesítményű generátorokhoz szükséges. A generátor, egyben a blokk feszültségének veszélyes növekedése csak a hálózattól független üzemben állhat elő. Kiválthatja a feszültségszabályozó – gerjesztő rendszer hibája, amely előállhat a párhuzamos kapcsolást előkészítő műveletek során, valamint a gépegység kikapcsolását követően.

Ha a generátor megszakítója a gépet teljes terhelés és névleges teljesítménytényező mellett leválasztja a hálózatról, a kapocsfeszültség szükségszerű növekedését normál esetben a gyors működésű automatikus feszültségszabályozó (AFSZ) korlátozza. Ha az AFSZ hibás, vagy ha kézi gerjesztésszabályozás van, vagy ha erre kapcsolódik át a szabályozás, jelentős a feszültségnövekedés. Ez tovább növekedhet a gép egyidejű túlfordulata miatt, amit az esetleg nem kellően gyors turbinaszabályozás okoz. Vízerművi generátorok feszültsége kedvezőtlen körülmények esetén 50...100%-kal növekedhet.

A jó mágneses minőségű géptranszformátornak viszonylag éles, jól meghatározott telítési szintje van $(1,2...1,35)U_n$ könyökponti feszültséggel, ezért a feszültségnövekedési védelem cél szerű beállítása $(1,15...1,3)U_n$, rövid idejű (0,3...1,0 s) késleltetéssel. A késleltetést össze kell hangolni az AFSZ működésével, a megfelelő értéket mérésekkel lehet megállapítani. A védelem leírt feszültségbeállítása tartalékvédelmet is létesít abban az esetben, ha a turbina saját túlfordulatvédelme valamilyen okból működésképtelenné válik. Feszültségnövekedési védelem céljára frekvenciafüggetlen feszültségnövekedési relét kell választani, nehogy a fordulatszám növekedésével a védelem működésképtelenné váljon.

A védelem működésekor kikapcsolja a gépet, a turbina gyorsáróját és működteti a generátor legerjesztő automatáját.

C) Generátor visszteljesítmény-védelme

Normál üzemben a gép hatásos teljesítményt ad a hálózatba. Ha a hajtás valamilyen okból megszűnik, de a gép hálózaton marad és motorként forog, a hajtógép károsodhat. A gőzturbina turbinaházában maradó gőz komprimálása nagymértékű túlmelegedést okozhat, dízelmotorban pedig robbanás következhet be. Ennek a veszélyes üzemállapotnak az érzékelésére és megszüntetésére alkalmazzák a visszteljesítmény-védelmet.

Gépnagyságtól függően egy- (50...100 MW) vagy kétfokozatú (100 MW felett) védelmet építenek ki. Ha két fokozat van, akkor az első működésekor rövid (1...2 s) késleltetéssel adja a kikapcsolási parancsot. A végrehajtás feltétele ilyenkor az, hogy a turbina főgőzszelepei, ill. a gyorsárók és felfogó szelepek lezárjanak.

Két fokozat esetén a második fokozat az elsőnek a tartaléka. Ha csak egy fokozat van, akkor a visszteljesítmény-védelem második fokozatnak megfelelően működik. Ez a lépcső az elsőnél hosszabb 6...12 s késleltetéssel, de a főgőzszelep reteszelve *nélkül* működik. Működésére általában akkor kerül sor, ha a hajtó turbina nyomatéka gyorsáró működtetése nélkül szűnik meg, ill. ha valamilyen okból az első fokozat feltételánca nem épül föl.

Párhuzamos kapcsoláskor előfordulhat, hogy a gép a hálózattól vesz föl hatásos teljesítményt. Hogy ilyenkor ez a védelem ne kapcsolja ki a gépet, a szinkronozás idejére a szinkronkapcsoló a kioldást reteszeli. Ezt bármelyik gőzlezáró szelep lezáródása feloldja.

A második fokozatot célszerű időintegrátorral összekötni, ugyanis a póluszög $\delta = 0^\circ$ közelében a gép hatásos teljesítmény-lengéseinek rövid idejű visszteljesítmény-lökéseket keltenek. Mivel a főgőzszelep nyitott, ezeket az első fokozat nem érzékeli, a második fokozat ideje pedig általában túl hosszú ehhez. Ezenkívül, az esetleg nem teljesen lezáródó gőzszelepeken a turbinába jutó szivárgó gőz is a forgórész olyan mechanikai lengéseit válthatja ki, amelyek a visszteljesítmény-védelmet csak impulzusszerűen ébreszti. Az integrátor feladata ezeknek a rövid idejű lökéseknek az összegzése, és a beállított idő elérése esetén a kioldóparancs kiadása.

A védelmet úgy kell beállítani, hogy biztosan érzékelje a generátor motoros üzemiállapotában a hálózatról fölvevett teljesítményt. Tájékoztató értéke a generátor névleges teljesítményére vonatkoztatva a hajtógép szerint:

gőzturbina: 1...3%, vízturbina: 3%,
 dízelmotor: 25%, gázturbina: 5...10%
 (tengelyhelyezkedéstől függően).

Visszteljesítmény-védelem céljára teljesítmény-irányrelét alkalmaznak.

Fontos követelmény a teljesítmény-irányreléktől a nagy érzékenység és a kis holtidő. Az érzékelést nehezítik a mérőváltók kis áramok közelében jelentkező szöghibái is.

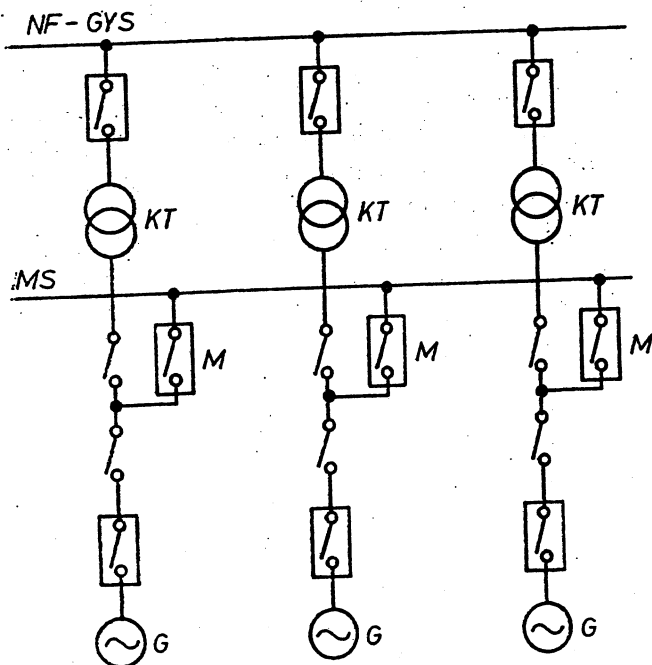
A magyar energiarendszerben 200 MVA alatti teljesítményeknél mechanikus, indukciós elvű (1. a 6. fejezetet) teljesítmény-irányrelét alkalmaznak visszteljesítmény érzékelésére (M-W, EAW-RRZG, BBC-PM2 g 90 stb.). 200 MVA felett elektronikus érzékelésű visszteljesítmény-védelmeket alkalmaznak (1. a 7. fejezetet). Ennek egyik változata a VEIKI fejlesztésű EIW 1t típusú védelem.

D) Generátor frekvencianövekedési védelme

Ha a turbina mechanikus túlfordulatvédelmének működése bizonytalan, ill. gyakran előfordulhat a gépegység hálózati leszakadása, akkor célszerű villamos érzékelésű túlfordulat-védelmet, azaz frekvencianövekedési védelmet beépíteni, tartalék védelmi jelleggel. A védelem működése a gőzturbinás hajtás a gőzgyors-záróját működteti, vízturbinák esetében pedig a vízbeömlés zárását kezdeményezi.

8.1.5. Megkerülősínes erőművek járulékos védelmi kérdései

Megkerülősínes erőmű a gyűjtősínes és a blokk-kapcsolású generátorok között átmeneti megoldásként kialakult villamos kapcsolási elrendezés, amelyet a 8.29. ábra szemléltet. A generátor-feszültségű oldalon bármelyik generátor bármelyik transzformátorral összeköthető, de egy időben csak egy ilyen kapcsolat hozható létre. Ezt a kapcsolási kialakítást hazánkban is alkalmazták.



8.29. ábra. Megkerülősínes erőművi elrendezés
 NF-GYS nagyfeszültségű gyűjtősín; MS
 megkerülősín; KT transzformátor; G generátor;
 M megszakító (vagy szakaszoló)

A védelmi rendszert úgy kell kialakítani, hogy bármely lehetséges üzemállapotban megfelelő alap- és tartalék védelem legyen. Azokat a kapcsolási elrendezéseket, amelyek védelmi-
leg nem szolgálhatók ki, nem szabad megengedni. A megkerülősínes üzem megkívánja a kioldó-
körök átkapcsolását. A védelmi rendszer kialakítása az egységkapcsolású erőművekre elmon-
dottak alapján történik.

A generátorfeszültségű sínezés alapvédelmére a differenciálvédelmi átkapcsolások elkerü-
lése céljából impedanciacsökkenési védelmet építenek be. A védelmet a generátor áramváltói és
feszültségváltói táplálják. A védelem nem érhet át a főtranszformátor nagyfeszültségű oldalára.
Természetesen így a segédüzemi transzformátor utáni zárlatokat sem érzékeli.

8.1.6. Egységkapcsolású erőművek komplex blokkvédelme

Az elektronikus védelmek megjelenése lehetővé tette olyan, gyárilag előre összeépített blokkvé-
delem, automatika logikai áramkörök komplex alkalmazását, amely készülék az összes védel-
mi feladatot képes ellátni. Ez a szokásos elrendezésű, relétáblára szerelt, egyedi készülékekből
és a hozzájuk szükséges összekötésekből, működtető segédrelékből stb. álló, bonyolult védelmi
rendszer helyett a gép nagyságától és így a szükséges védelmi elemek számától függően egy
egységben előreszerelt, komplex berendezés. Előnye az, hogy egyrészt kisebb a helyigénye,
másképp a gyári szerelésnek és kipróbálásnak köszönhetően a helyszínen viszonylag csekély
szerelési munkát igényel. Ennek megfelelően az üzembhelyezés is lényegesen egyszerűbb, mi-
vel gyakorlatilag csak a mérőváltó csatlakozásokat, az egyéb helyekről jövő információk fogá-
dását és a kiadott parancsok és jelzések csatlakozásait kell ellenőrizni, és funkciópróbákat tar-
tani.

Az egy szekrényben, egymáshoz közel elhelyezett készülékek zavarok elleni védelmét az
összekötő vezetékek rövidege és az árnyékoló, földelhető fémház egyszerűbbé teszi.

A blokkvédelmek az univerzális alkalmazhatóság érdekében nem fixen huzalozott műkö-
dőkörökkel készülnek, hanem egy programozható mátrixon keresztül határozható meg az,
hogy melyik védelem milyen funkciót indítson.

A komplex blokkvédelem nem egyedi készülékek egymás mellé tevését jelenti. Az egyes
védelmeknek közös a tápfeszültség-ellátása, a jelzések és próbagombok egy helyre vannak ösz-
szegyűjtve, közösek a kimeneti és a parancsadó relék stb. A komplex védelem kialakításánál
figyelembe kell venni, hogy az ne csak az egyedi készülékek összességének feleljen meg, hanem
az összeépítésből származó előnyöket is használja ki.

A komplex védelemben lehetőséget kell teremteni az egyes elemek üzem közbeni levá-
lasztására és ellenőrzésére, hibakeresésre, az esetleg szükséges elemcserék elvégzésére úgy, hogy
ezalatt a primer berendezés védelme kellő biztonságu maradjon. Ehhez megfelelő bontó- és
vizsgálókapcsoló vagy sorkapocsrendszer szükséges, amelyen a kérdéses elemet az áram- és
feszültségváltó körökről a kioldókörökről és más külső csatlakozásról le lehet választani.

A blokkvédelem alkalmas saját üzemkészségének automatikus ellenőrzésére is. Vannak
olyan komplex védelmek is (pl. BBC GSX5), ahol automatikus, programozható vizsgálóbe-
rendezés figyeli az egyes védelmek működőképességét, a megszólalási értéket, és minderről
naplót is készít.

Számítógépes blokkirányítás vagy teljes erőművi irányítás esetén a blokkvédelem és a
számítógép kétirányú irányítástechnikai kapcsolata is biztosítható.

A magyar erőművekben a VEIKI-ben kifejlesztett és gyártott elektronikus védelmekből
felépülő EGBV típusú blokkvédelmek kerültek üzembe. A védelmi rendszer felépítése a blokk
teljesítményéhez és a primer diszpozícióhoz illeszkedik.

A nagy egységteljesítményű blokkok védelme a megbízhatóság és az üzem közbeni ellen-
őrzés igényének úgy tesz eleget, hogy két védelmi alrendszer van, amelyek a lehetőségek szerint
el vannak választva egymástól, és egyenként is képesek ellátni a blokk védelmét. A védelmek
csoportosítása olyan, hogy a pillanatműködésű és az igen fontos védelmek mindkét alrendszer-
ben megvannak, a többi védelem kellő megfontolással meg van osztva.

A kisebb egységteljesítményű blokkokhoz alkalmas védelemben az egyes elemek tartalékolása nincsen meg az előbbi módon. A komplex védelem vizsgálatára üzem közben általában nincs szükség, a felosztásnak azt kell biztosítani, hogy a gép ne maradjon védelem nélkül szekrényen belüli hiba esetén se.

8.2. Gyűjtősínes erőművek védelme

Gyűjtősínes erőművi elrendezésnél a generátorok közvetlenül a gyűjtősínre kapcsolódnak. A kooperációs kapcsolatot a transzformátor biztosítja a nagyfeszültségű hálózattal. A gyűjtősínről ágaznak le a segédüzemi transzformátorok és esetleg a nagyfogyasztók is. A kooperációs transzformátor védelmeit a segédüzemi transzformátorok védelmével együtt tárgyaljuk a 8.7. alfejezetben. Ez a fejezet a közvetlenül gyűjtősínre dolgozó generátorok védelmeit mutatja be.

8.2.1. Zárlati alapvédelmek

A) Generátor differenciálvédelme

Differenciálvédelmet a szabvány szerint az 1 MVA-nél nagyobb teljesítményű, 1 kV-nál nagyobb feszültségű generátorokhoz kell létesíteni. A beállítási elvek és követelmények azonosak a 8.1.1. szakaszban a generátorok differenciálvédelmére elmondottakkal.

B) Késleltetés nélküli túláramvédelem

Ilyen védelmet a differenciálvédelemmel el nem látott generátorokhoz alapvédelmi célból kell létesíteni. A védelmet a kapcsololdali áramváltók táplálják. A védelemnek biztonsággal működni kell a generátor kapcsolzárataira a hálózati táplálás hatására, de nem működhet sem a gyűjtősín, sem az egyéb leágazások zárataira, a generátortól folyó szubtranzien্স zárati áram hatására.

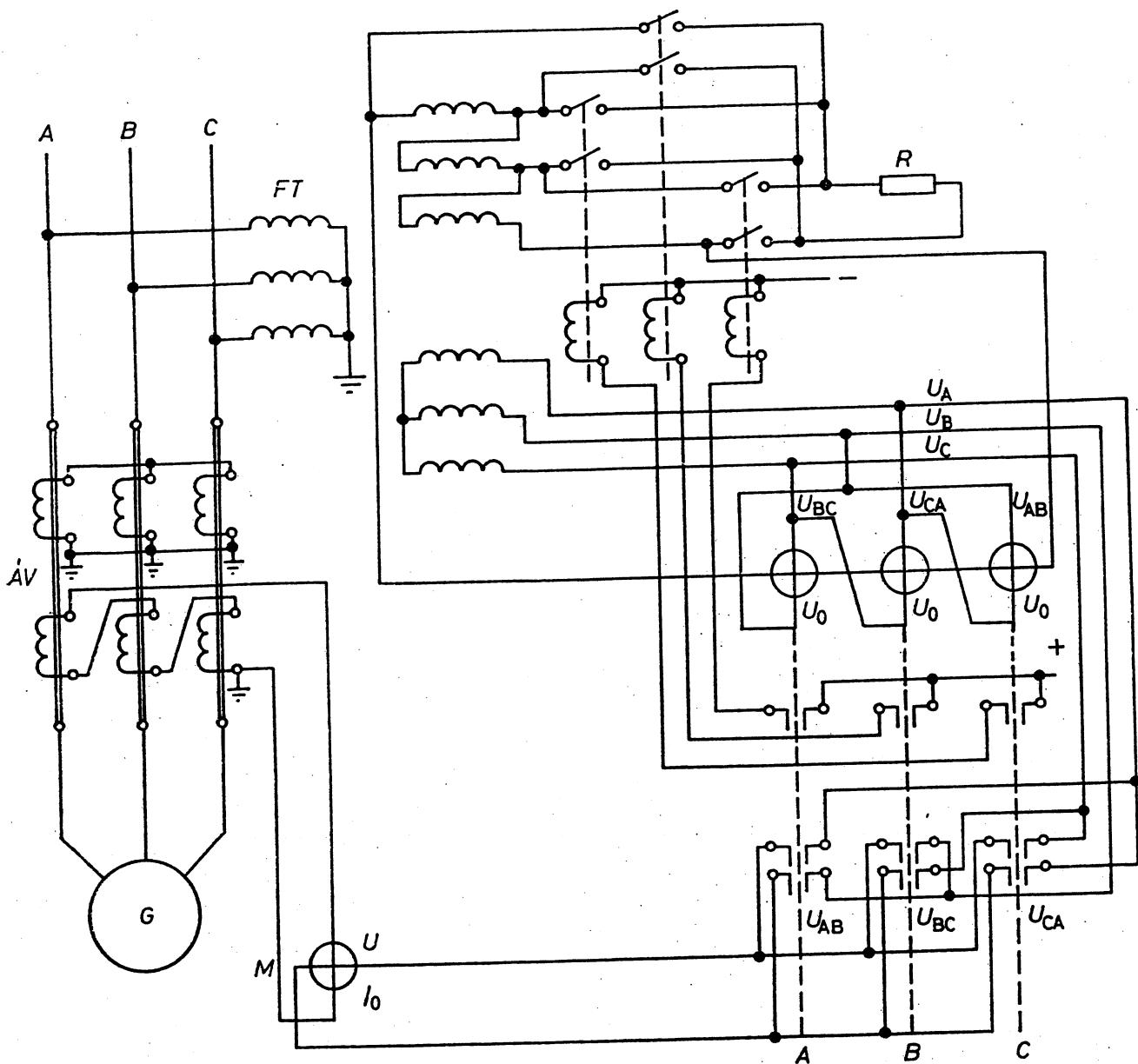
C) Generátor állórészének testzárlatvédelme

A generátorok állórész-testzáratait önálló, szelektív testzárlatvédelemnek kell érzékelnie. A gyűjtősínes generátorok testzárlatvédelmi klasszikus lehetőségeit a szakirodalom részletesen tárgyalja ([7]).

Kis generátorteljesítmény esetén, ha nincs szükség szelektív testzárlatvédelemre, akkor a testzárlat zérus sorrendű feszültség mérésével is érzékelhető. A védelem működése esetén csak jelzést ad.

Nagyobb teljesítmények esetén szelektív testzárlatvédelem szükséges. Ilyenkor követelmény az, hogy a védelem biztosan érzékelje az állórész-tekerceselés 85%-án keletkező testzárásokat, de ne működjön az átmeneti jelenségek hatására. Ha a testzárlati áram meghaladja a 3 A-t, a védelem a zérus sorrendű áram- vagy teljesítményirány alapján érzékelhet. E követelményeket kielégíti az indukciós érzékelési elvű magyar M – F relé is, amelyet ma már az elektronikus érzékelési elvű VEIKI fejlesztésű EFV relé vált le.

Kis kiterjedésű gyűjtősínek esetén a földzárlati áram alig haladja meg a 3 A-t, ezért áramnövelő ellenállást kell beiktatni. Ezeket és az alkalmazott védelmeket a szakirodalom részletesen tárgyalja [7].



8.30. ábra. Testzárlatvédelem áramnövelő ellenállással
FT földelőtranszformátor; *ÁV* speciális I_0 szűrő áramváltó; *M* mérőrelé; *R* ellenállás

Érdekes mérési, érzékelési elvet valósít meg a BBC mechanikus relékből felépített rendszere (8.30. ábra). A testzárlatos fázist indukciós teljesítmény-irányrelék választják ki (l. a 8.1.1. szakaszban a 8.7. és 8.8. ábrát). A testzárlatos fázis ismeretében egy áramnövelő ellenállás iktatódik be az *FT* földelőtranszformátor szekunder tekercsére. A testzárlatos fázis függvényében az ellenállást mindig a soron levő ép fázis feszültségére kapcsolják. Az így létrejött áram, amennyiben a hiba a generátorban van, átfolyik a speciális, nagy érzékenyséű szűrő áramváltón, amelyik szekunderén csak a zérus sorrendű áramerősséggel arányos áramot adja. Ez az áram az *M* mérőrelé (indukciós teljesítmény-irányrelé) egyik tekercsére jut, amelynek polarizáló feszültségét testzárlat esetén mindig az épen maradó, a hibás fázis feszültségét követő vonali feszültség adja.

A védelem 0,5 s késleltetéssel szelektív kioldási parancsot ad a megszakítónak, legerjeszti a generátort, és szükség esetén indítja a szénsavoltó berendezést.

Az ellenállás bekapcsolási időtartamát külön időrelé szabályozza. A maximális bentartási idő 2,0 s. Rövidzárlatok esetére a védelem felesleges működését túláram-reteszelés akadályozza meg.

Nagy kiterjedésű *ipari gyűjtősínek* esetén, ahol a kapacitív földzárlati áram nagy, valamint a szelektív védelmi kiválasztás érdekében a hálózatot ellenálláson keresztül rövid időre vagy tartósan földelik, a generátorokat minden esetben célszerű szigetelőtranszformátorral leválasztani a kiterjedt ipari hálózatról. Ebben az esetben a testzárlatvédelmi megoldás a blokkkapcsolású generátorokéval azonos lehet.

D) Generátor forgórészének testzárlatvédelme

Szigetelt forgórészű generátornál minden esetben szükség van testzárlatvédelemre (l. a 8.1.1. pontot), földelt forgórész esetén viszont a kettős földzárlatokat érzékelő megoldások alkalmazhatók.

8.2.2. Zárlati tartalék védelmek

A) Késleltetett zárlati túláramvédelem

Ez a védelem minden esetben szükséges. Kis generátorok esetén, ahol nincs differenciálvédelem, ott ez a 8.2.1b második lépcsője és alapvédelmi feladatai is lehetnek. Ilyenkor a kapcsolási áramváltócsoport táplálja.

Differenciálvédelemmel ellátott generátoroknál a védelmet a csillagponti áramváltóval táplálják, ekkor tartalék védelmi feladatokat lát el. Beállításának és késleltetésének elve azonos a 8.1.2. szakaszban elmondottakkal.

B) Feszültséggel reteszelt túláramvédelem

Kis teljesítményű generátorok külső zárlatra gyorsan legerjednek az armatúreakció lemagnező hatása miatt. Ha a legerjedés olyan gyors, hogy a szelektivitás miatt 4...6 s körül megválasztott késleltetési időn belül az $1,5...2,0 I_n$ -re beállított, a 8.2.2. szakaszban leírt túláramvédelem visszaejt, akkor olyan kis értékre kell beállítani, hogy a zárlati áramra semmiképpen ne ejtsen vissza (ez $0,8...1,25 I_n$), és a terhelési áramra való megszólalás megakadályozására a generátor kapocsfeszültségével reteszelni kell, mert a zárlat mindig jelentős feszültségletöréssel jár. A feszültség- és áramrelé beállítása egy meghatározott érzékelési távolságot jelent.

C) Impedanciacsökkenési védelem

A védelem a generátor tartalék védelmét és a gyűjtősín gyors alapvédelmét látja el. Feladata a gyűjtősínzárlatok biztos érzékelése, de nem nyúlhat túl a leágazásokon.

A szelektív működés érdekében a védelem késleltetése 0,5 s.

8.2.3. Generátorok termikus igénybevételei és védelmeik

E védelmek nem különböznek a 8.1.3. szakaszban a blokkkapcsolásra bemutatott védelmektől.

8.2.4. Generátor villamos és mechanikai környezetének rendellenességeit érzékelő védelmek

Ezen védelmek nem különböznek a 8.1.4. szakaszban a blokkkapcsolásra bemutatott védelmektől.

8.1. táblázat

Különböző hálózati kapcsolatú generátorok védelmi ellátottsága

A védelem típusa	Generátorteljesítmény, MVA						
	< 1	2,5...15	15...25	25...50	50...100	100...200	200...
I. differenciálvédelem		x ²	x	x	x	x	x
II. differenciálvédelem ⁶					x	x	x
Menetzárlatvédelem			x ³	x ³	x ³	x	x
Állórész testzárlatvédelme I.		x	x	x	x	x	x
Állórész testzárlatvédelme II.						x	x
Forgórész testzárlatvédelme I.		x	x	x	x	x	x
Forgórész testzárlatvédelme II. ¹		x ¹	x	x	x	x	x
Túláramvédelem	x	x	x	x	x	x	x
Túlterhelésvédelem	x	x	x	x	x	x	x
Negatív sorrendű túláramvédelem		x	x	x	x	x	x
Forgórész túlterhelésvédelme							x
Gerjesztéskimaradás elleni védelem		x			x	x	x
Állórész feszültségnövekedés elleni védelme							x
Visszeljesítményvédelem I.		x	x ⁵	x ⁵	x ⁵	x ⁵	x ⁵
Visszeljesítményvédelem II.						x ⁵	x ⁵
Frekvencianövekedési védelem ¹				x	x	x	x
Impedanciacsökkenési védelem (KF) ⁴		x	x	x	x		

A táblázat a következő oldalon folytatódik

A védelem típusa		Generátorteljesítmény, MVA						
		< 1	2,5...15	15...25	25...50	50...100	100...200	200...
Főtranszformátor	Buchholz-védelem		x	x	x	x	x	x
	Hőmérséklet-védelem		x	x	x	x	x	x
	Transzformátor differenciálvédelme			x	x	x	x	x
	Globális differenciálvédelem ¹		x	x	x	x	x ⁶	x ⁶
	Zárlati túláramvédelem		x	x	x	x	x	x
	Impedanciacsökkenési védelem (NF) ⁸		x	x	x	x	x	x
	Zérus sorrendű zárlati túláramvédelem ⁷			x	x	x	x	x
	Autonom zárlati túláramvédelem			x	x	x	x	x

← Gyűjtősínre kapcsolt generátor

← Egységkapcsolású generátor

← Megkerülősínes erőmű

- Megjegyzés:**
- ¹ Egyedi vizsgálat alapján
 - ² Ha a transzformátor differenciálvédelme nem fogja be
 - ³ Osztott tekercselés esetén mindig, egyébként csak ajánlott
 - ⁴ Primer kialakítástól függően
 - ⁵ Az értékek MW-ban értendők
 - ⁶ Közös lehet a generátorra és transzformátorra
 - ⁷ Hatásosan földelt csillagpontú hálózati csatlakozás esetén
 - ⁸ Gyűjtősínvédelmi kialakítással összhangban

A generátorok védelmi ellátottságáról ad áttekintést teljesítménymagyság függvényében a 8.1. táblázat, mind egységkapcsolású, mind megkerülősínes, mind gyűjtősínre kapcsolt generátor esetére.

8.3. A 400...220 kV-os alaphálózatok védelmei és automatikái

A hazai és a nemzetközi alaphálózatok csillagpontja hatásosan földelt. Ez azt jelenti, hogy a hálózat minden pontjára teljesülnek a mérésponti impedanciákból számítható összefüggések:

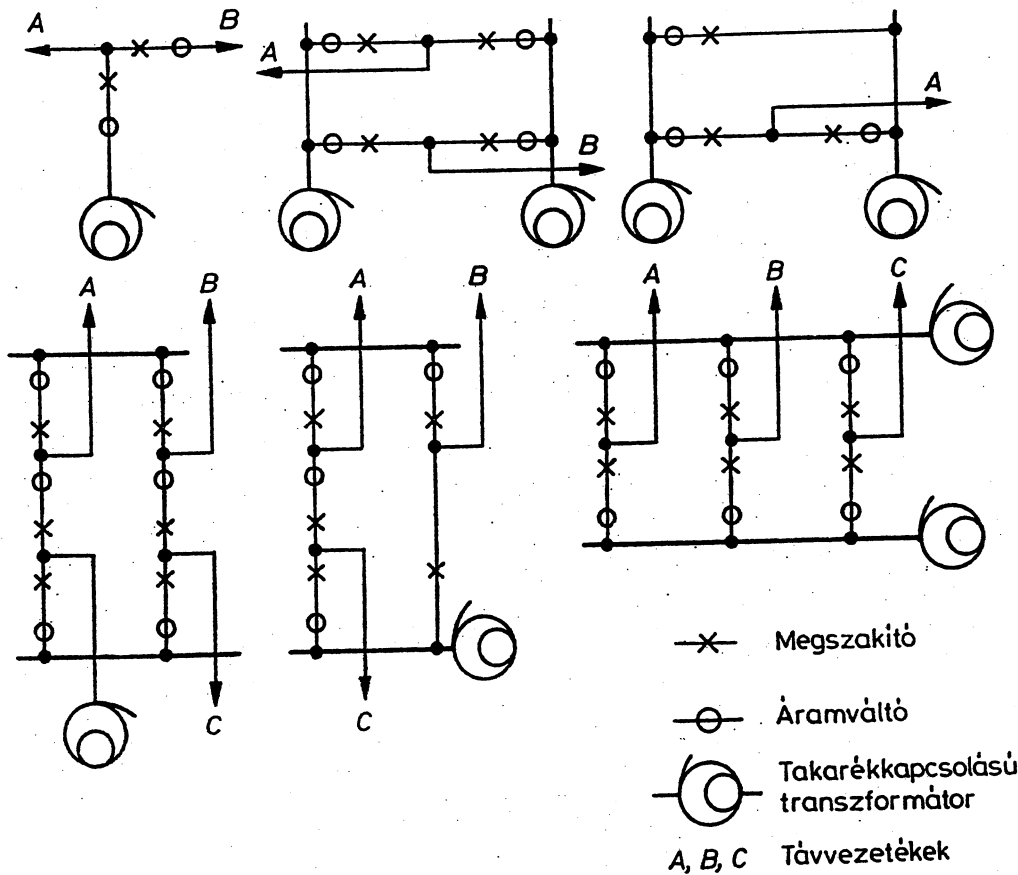
$$\frac{X_0}{X_1} \cong 3 \quad \frac{R_0}{R_1} \cong 1,$$

és így FN zárlatkor az ép fázisok feszültsége csak korlátozott mértékben növekszik:

$$U_{\text{épt}}/U_{\text{nf}} \cong 0,8 \cdot \sqrt{3}.$$

A hatásosan földelt csillagpontú hálózatokon az FN földzárlat rövidzárlat, a megszakítók ezért általában fázisonként működtethetők, és a védelmek fáziskiválasztására alkalmasak, hogy így a zárlatok több, mint 90%-át kitevő FN zárlatok fogyasztói zavart sem okozó, egyfázisú kikapcsolással háríthatók legyenek. Kevés az olyan rendszer (pl. az angol 380 kV-os alaphálózat), ahol háromfázisú hajtású megszakítókat alkalmaznak.

Az alaphálózaton az állomások hagyományos gyűjtősínes kialakítása mellett főleg az ún. poligon kapcsolásokat alkalmazzák. A leggyakoribb megoldások a 8.31. ábrán láthatók.



8.31. ábra. Jellegzetes alaphálózati állomásképek

Ezek a kapcsolások azért terjedtek el, mert egy-egy leágazásnak egymást tartalékoló két megszakítója van. A nagyfokú üzemviteli előnyök mellett hátrány, hogy e kapcsolások szekunder irányítási rendszere nagyon bonyolult.

A távvezeteki zárlatok automatikus hárítását gyors visszkapcsoló automatikarendszer támogatja. Általában EVA (egyfázisú) és HVA (háromfázisú) gyorsvisszkapcsoló automatikát alkalmaznak.

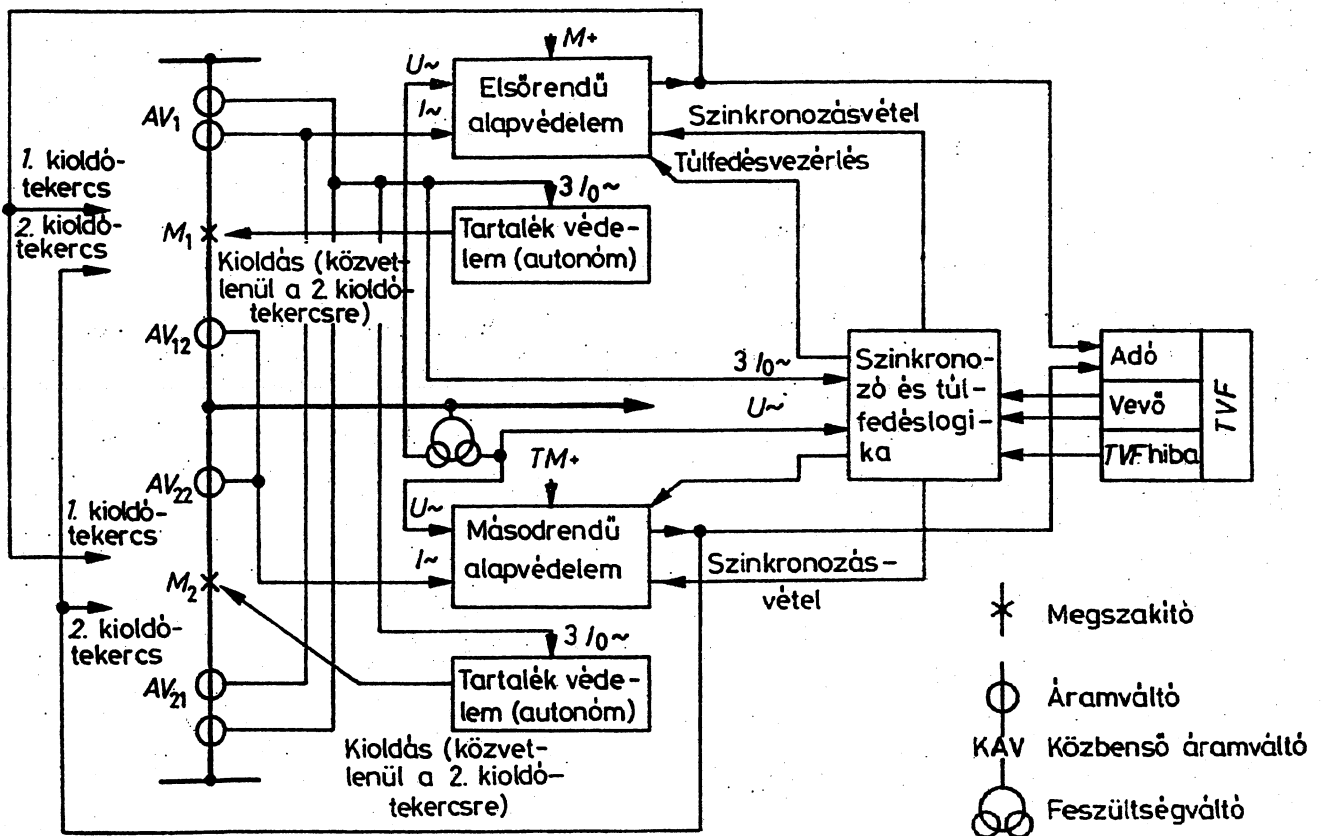
Az alaphálózatok védelmi rendszerére a 3.4.1. szakaszban ismertetett alapvédelmi kettőzéstől adódó nagyfokú üzembiztonság a jellemző. Az alapvédelmek közül legalább az egyiknek (az elsőrendűnek) a működési ideje 20 ms-nál, a másiknak 40 ms-nál kisebbnek kell lenni. A teljes zárlathárítási idő, figyelembe véve a korszerű megszakítók működési idejét, nem haladhatja meg a 80 ms-ot. A két alapvédelem két mérőváltóról vagy mérőváltómagról, két akkumulátortelepről van ellátva és külön-külön kioldótekeresztet működtet. A hazai gyakorlatban takarékosági okokból egyszerre csak egy akkumulátortelep üzemel, a két alapvédelem ezért külön biztosított egyenáramú ellátást kap.

8.3.1. Távvezetékek zárlatvédelmi rendszere

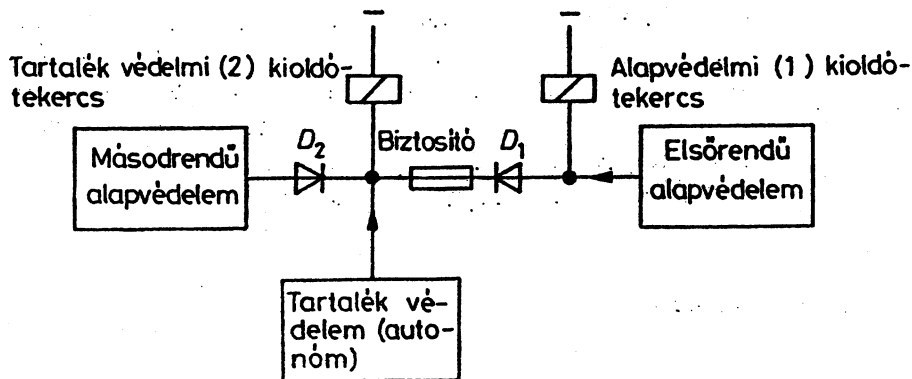
Alapvédelemként vagy szakaszvédelmet, vagy minden zárlatot érzékelő távolsági védelmet alkalmaznak. A szovjet és gyakran az amerikai gyakorlatban a földzárlatot irányított, többlépcsős, zérus sorrendű túláramvédelemmel érzékelik. A fázisok közötti zárlatokat ekkor távolsági védelem hárítja. Erre azért van szükség, mert a szovjet távvezetékek vasbeton oszloppal, szigetelt védővezetővel, vagy védővezető nélkül épülnek. Ezeknél, valamint a sziklás talaj miatt pl. a kanadai távvezetékeknél FN zárlatkor *szélsőségesen nagy a földelési ellenállás*, amit távolsági védelemmel csak bizonytalanul lehet érzékelni. A távolsági védelmek a 4.6.6. szakaszban ismertetett védelemszinkronozással üzemelnek. A védelemszinkronozás, ill. a szakaszvédelemhez szükséges információátvitel TVF (angol PLC: Power Line Carrier) távvezeteki vivőfrekvenciás összeköttetéssel van megoldva. A hazai gyakorlatban megkülönböztetünk rövid és hosszú távvezetékeket:

- A rövid, 12Ω -nál kisebb fázisimpedanciájú távvezetékeknél az elsőrendű alapvédelem szakaszvédelem, a másodrendű alapvédelem távolsági védelem. A távolsági védelmek kioldásengedélyező szinkronozó logikával vannak gyorsítva (l. a 4.6.6. szakaszt).
- A hosszú, 12Ω -nál nagyobb fázisimpedanciájú távvezetékeknél mind az elsőrendű, mind a másodrendű alapvédelem távolsági védelem. A védelmeket ébresztés-ellenőrzött szinkronozás gyorsítja. Ezenkívül mindkét típusnál függő késleltetésű, egyenáramtól független, tehát autonóm, zérus sorrendű túláramvédelmet alkalmaznak tartalék védelemként.

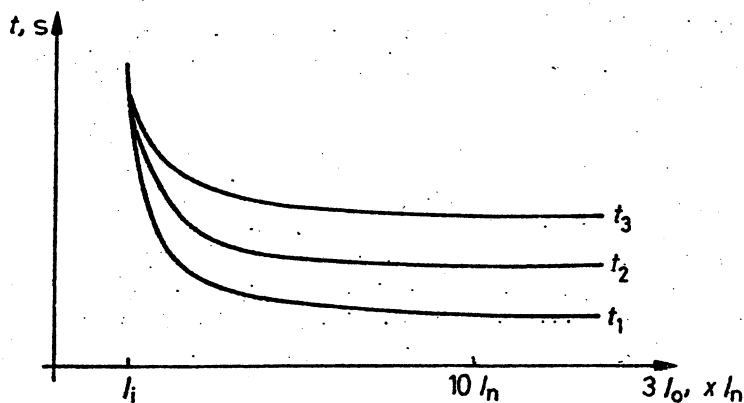
Egy hazai, hosszú távvezeték védelmi rendszerét a 8.32. ábra mutatja be. M_1 és M_2 SF₆ oltóközegű és szigetelésű megszakító. Mindkét oldalukon egy-egy áramváltó van. Az áramváltók kiosztása miatt létrejövő átlapolás jóvoltából a védelmek holtsáv nélkül érzékelik az egész primer kapcsolást. Mindkét alapvédelem önálló váltakozó áramú ellátást és külön biztosított AM+, ill. TM+ egyenáramú segéd feszültséget kap. A kioldás is szétválasztott, külön-külön kioldótekercsre hat. Az első, ill. a másodrendű alapvédelem és a tartalék védelem szétválasztását a 8.33. ábra mutatja. Az elsőrendű alapvédelem a D_1 diódán és a biztosítón keresztül mindkét



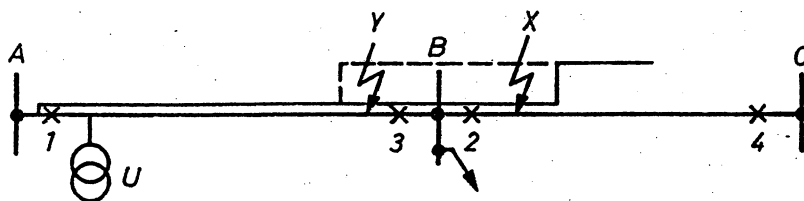
8.32. ábra. Alaphálózati hosszú távvezeték védelmi rendszere



8.33. ábra. Alap- és tartalék védelmi kioldókörök szétválasztása



8.34. ábra. A tartalék védelem karakterisztikája



8.35. ábra. A távolsági védelmek túlfedő karakterisztikája

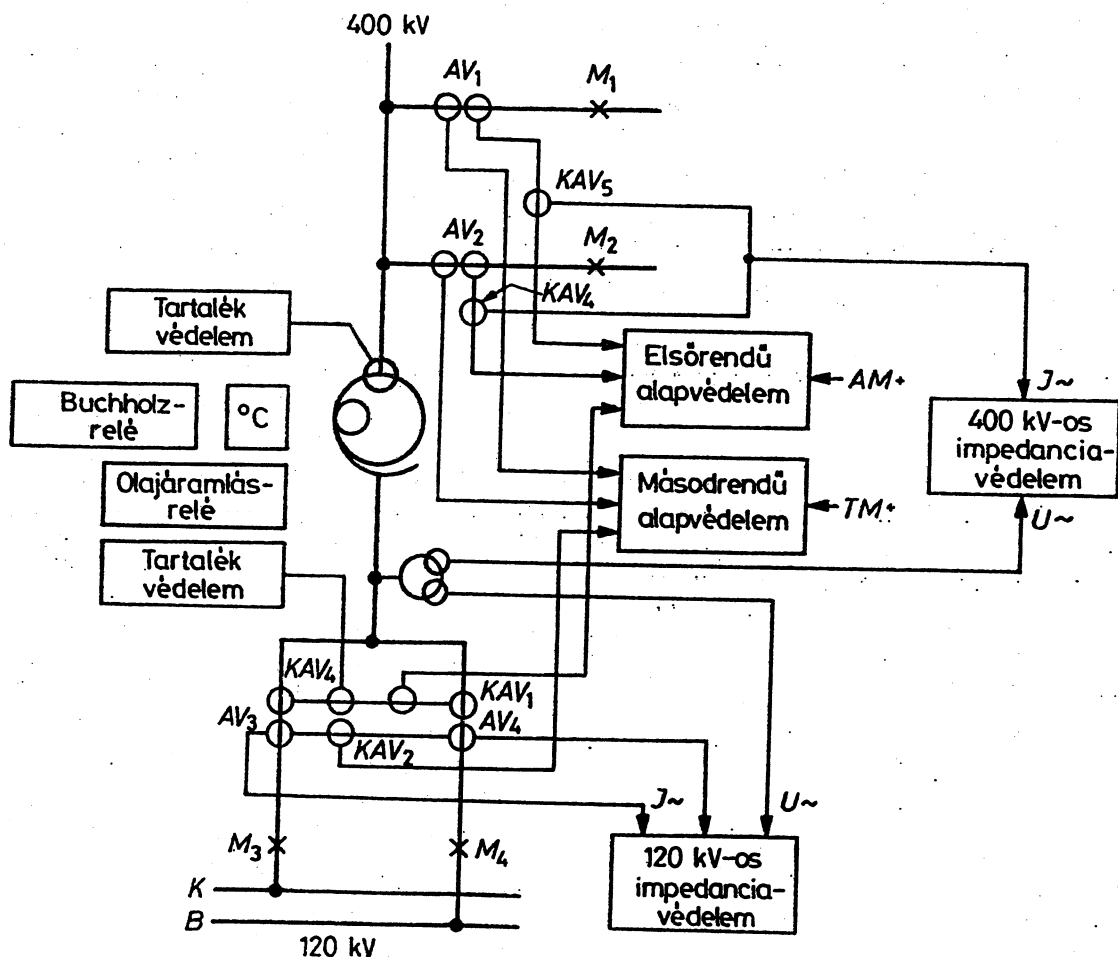
kioldótekerccset működteti. A tartalék kioldótekerccs zárata esetén a biztosító leválasztja az ép alapterccset. A másodrendű alapvédelem a D_2 diódán keresztül csak a tartalék kioldótekerccset működteti. Az autonóm tartalék védelem diódán keresztül van leválasztva a nagy kiterjedésű alapvédelmi köröktől. Megszakítónként egy-egy összegzett áramot érzékelő tartalék védelmet alkalmaznak. Gyakran előfordul, hogy nem biztosítható külön-külön áramváltómag az elsőrendű, a másodrendű alapvédelem, a tartalék védelem és a mérések számára. A megoldás ilyenkor az, hogy a tartalék védelem és a nem elszámolási mérés az áramváltó egyik magjáról közösen van táplálva. A tartalék védelmek korlátoltan függő karakterisztikáját (l. a 4.3.7. szakaszt) a 8.34. ábrán láthatjuk. A távolsági védelmeket ébresztés-ellenőrzött szinkronozás gyorsítja. A TVF hibája esetén szerephez jut a túlfedés logikai kapcsolása. Ennek elvi működését a 8.35. ábrán láthatjuk. A TVF hibája esetén a védelmeket túlfedésre kapcsolja a logikai vezérlés. Ez feltételezi az automatikus gyors visszakapcsolást. X helyen fellépő zárlatkor az 1, 2 és 4 megszakítók kikapcsolódnak. Mivel az AB távvezeték ép, az 1 megszakítónál az U feszültség a B állomás felől azonnal megjelenik. Ennek hatására 1 holtidő nélkül bekapcsolható, egyidejűleg a túlfedést szelektív karakterisztikára kell visszahúzni. Ha Y helyen lép fel zárlat, akkor csak az 1, és a 3 megszakító kapcsolódik ki. Az 1 megszakítónál az U feszültség a holtidő alatt is zérus marad, és ezen információ hatására 1 normál holtidővel kapcsolhat vissza, valamint a védelem a visszakapcsolás után is túlfedéses, tehát pillanatműködésű kioldást adhat.

Erőművi csomópontokon és fontos kooperációs állomásokon ezen túlmenően az állomásközi zárlatok mérésére az ún. diszkrét érzékelőt alkalmazzák. A diszkrét érzékelő a távvezeték első 20...40%-ban (kevesebb, mint 50%) fellépő zárlatok esetén a gyors visszakapcsolást mindaddig nem engedélyezi, amíg a túlóldalról a sikeres gyorsvisszakapcsolást jelző, ép feszültség meg nem jelenik. Ezzel megakadályozható, hogy egy esetleges maradó zárlatra a *transziens stabilitás* szempontjából kritikus állomás két igénybevételnek legyen kitéve.

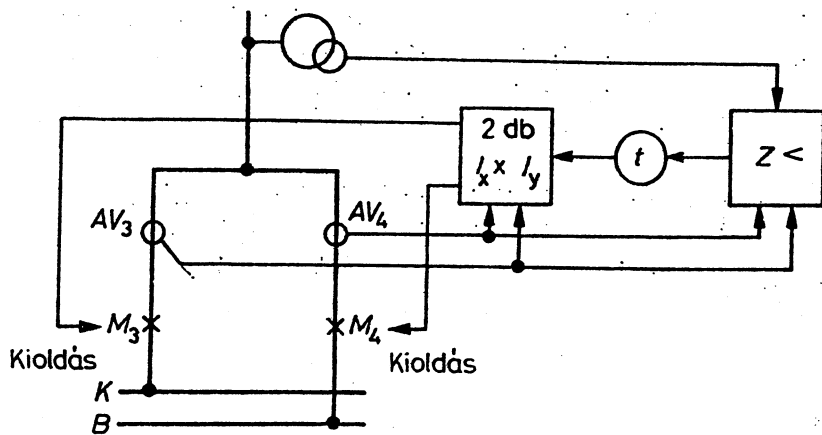
8.3.2. Transzformátorok zárlatvédelmi rendszere

Az alaphálózati transzformátorok booster transzformátorok lehetnek, mivel mindkét oldali hálózat földelt. Csillagpontjuk közvetlenül vagy fojtótekercsen keresztül földelt. Alapvédelemként kettős differenciálvédelmet alkalmaznak. Ezen túlmenően a transzformátor belső hibáit Buchholz-relé, ill. olajáramlás-relé érzékeli. A transzformátor veszélyes túlterhelését többfokozatú, közvetlen érzékelésű hőmérséklet-védelem akadályozza meg. Tartalék védelemként függő késleltetésű háromfázisú autonóm túláramvédelmet (AZT) alkalmaznak mindkét feszültség szinten.

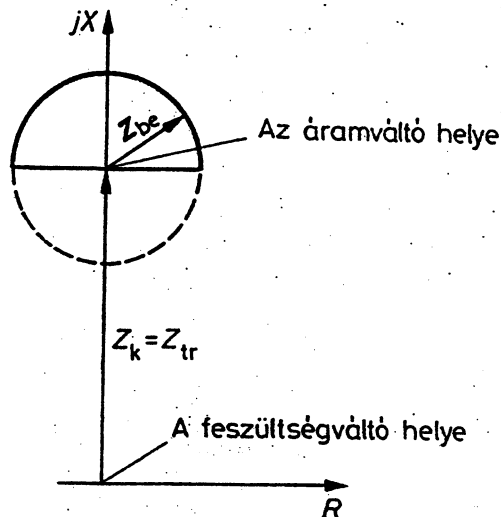
A hazai alaphálózati transzformátorok védelmi rendszerét a 8.36. ábra mutatja. A kioldóköröket a 8.33. ábra szerint alakítják ki. Ezek a részletek a 8.36. ábrán már nincsenek feltüntetve. Az első és másodrendű alapvédelem bekapcsolásbiztos, fázisárammal fékezett, nagy érzékenyséű, három váltakozó áramú bemenetű differenciálvédelem. Az alapvédelmek az AV_1 , az AV_2 és a kAV_1 , ill. kAV_2 keverőáramváltóval összegzett AV_3 – AV_4 áramváltóról külön magról vannak ellátva. Az egyedileg biztosított $AM+$ és $TM+$ egyenáramú ellátással a kioldás szintjéig szét van választva. A 120 kV-os impedanciavédelem a 4.5. alfejezet szerinti kivitelű,



8.36. ábra. Alaphálózati transzformátorok védelmi rendszere



8.37. ábra.
Auto transzformátorok 120 kV-os impedanciavédelme



8.38. ábra.
400 kV-os impedanciavédelem érzékelési karakterisztikája

elvi kapcsolása a 8.37. ábrán követhető. A hibás gyűjtősínt az $AV3$ és $AV4$ áramváltókról táplált két $I_x \times I_y$ áramszorzatrelék választják ki (I_x : összegezett áram, I_y : egyedi áram). A $Z<$ egylépcsős impedanciavédelem kisleltetés után ad kioldást az áramszorzatrelék kiválasztása szerint vagy az M_3 és az M_4 megszakítóra.

A 400 kV-os impedanciavédelem a 400 kV-os gyűjtősínek ad közeli tartalékot a transzformátor felől. Az egylépcsős impedanciavédelem a 120 kV-os oldali feszültségváltókról és a $kAV4$ és $kAV5$ közbenső áramváltóról van ellátva. A védelem a transzformátor 400 kV-os oldalára van kompaundálva. A 8.38. ábra mutatja az érzékelés viszonyait. A Z_k kompaundálás Z_{tr} transzformátorimpedanciára van állítva. A Z_{be} beállítás a következő egyenletből határozható meg:

$$(1 - \varepsilon) (Z_{be} + Z_k) \cong Z_{tr}$$

$$\varepsilon = 0,2 \quad \text{esetén és} \quad Z_k = Z_{tr}, \quad Z_{be} \cong 0,25 Z_{tr}$$

A védelem karakterisztikája a 400 kV-os áramváltó és a 120 kV-os feszültségváltó közötti szakaszon nincs értelmezve, ugyanis az itt létrejövő zárlat esetén nincs összerendelő kapcsolat a 400 kV-os oldali áram és a 120 kV-os feszültség között. Ez problémát nem okoz, mert a zárlatokat a kettős differenciálvédelem pillanatműködéssel kikapcsolja. A védelem a 400 kV-os megszakítókat kapcsolja ki.

8.3.3. Gyűjtősínvédelem

Az alaphálózati gyűjtősínek mindig pillanatműködésű védelemmel vannak ellátva, de a védelem sem a hazai, sem a nemzetközi gyakorlatban nincs kettőzve. Ennek az az oka, hogy ezek a védelmek bonyolultak és drágák, az üzembiztonságuk viszont kiemelkedően jó. Az esetleges működéselmaradás esetén a szemközti állomások felől a távolsági védelmek, a transzformátorok felől az impedanciavédelmek kapcsolják ki a gyűjtősínzárlatokat. Az így kialakított védelmi rendszer a tapasztalatok szerint kielégítő biztonságu.

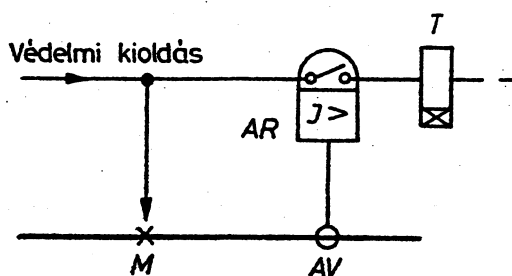
Önálló gyűjtősínvédelmet természetesen csak olyan primer kapcsolásnál alkalmaznak, amelynél van önálló gyűjtősín, azaz a gyűjtősínre minden leágazás megszakítóval és áramváltóval csatlakozik. Az ún. transzformátorsínes kapcsolásoknál a gyűjtősín is a transzformátor differenciálvédelmeinek területére esik, így ezek a védelmek a gyűjtősínt is védik, önálló gyűjtősínvédelem tehát felesleges.

A hazai alaphálózaton kis impedanciájú gyűjtősín-differenciálvédelmeket alkalmaznak. Az érzékelés fázisonként történik. A kioldás, ill. a reteszelés kritériumait a védelem a leágazási áramok fázishelyzetének összehasonlítása alapján képezi (4.8.3. szakasz, ill. 4.66. ábra). A kioldás háromfázisú és definitív.

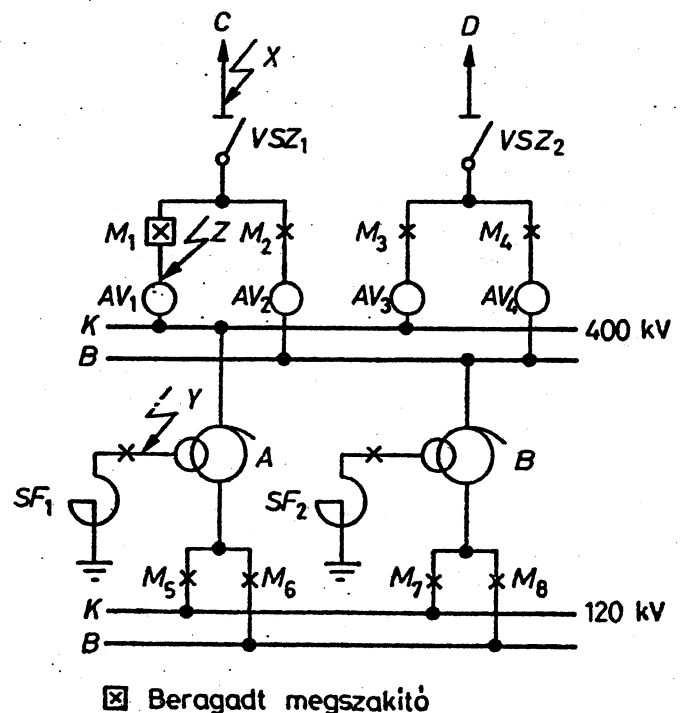
8.3.4. Megszakítóberagadási védelem

Minden alaphálózati állomásban van megszakítóberagadási védelem. A 3.1.3. szakasz *a)* pontjában tárgyaltak értelmében a védelem figyeli a kioldóimpulzus hosszát. A megszakítóberagadási védelem érzékelési elvét a 8.39. ábra mutatja. A 8.40. ábra szerinti primer kapcsolásban minden M megszakító mellett egy AV áramváltócsoporthoz van. A védelmeiktől jövő kioldóimpulzus az V áramváltóról ellátott $I >$ gyors visszajejtésű áramrelére kerül (8.39. ábra). Az áramrelét úgy kell beállítani, hogy a megszakítóval határolt hálózati elem(ek) legtávolabbi, legkisebb zárlatát is biztonságosan érzékelje. Ha az M megszakító a kioldást végrehajtotta, az áramrelé visszaesik, így a T időrelé nem tud működni. A megszakító hibája esetén M nem kapcsol ki, $I >$ nem esik vissza, ezért a T időrelé működik és a megszakítóberagadási védelem az M megszakító mögötti „következő mögöttes” megszakítókat kapcsolja. A védelmet megszakítónként és fázisonként kell kiépíteni.

A megszakítóberagadási védelem beavatkozási rendszerét példaként a 8.40. ábra mutatja. Az X helyen fellépő zárlatot a távvezeték távolsági védelme az M_1 és M_2 megszakítók kikapcsolásával szünteti meg az állomás felől. Az M_1 megszakító beragadása esetén a 400 kV-os K gyűjtősínre csatlakozó A boostert és D távvezetékét kell kikapcsolni az M_3 , M_5 és M_6 megszakítók működtetésével. Az Y helyen, tehát az A booster tercier tekercselésénél fellépő zárlatot a differenciálvédelmek az M_1 , M_3 , M_5 és M_6 megszakítók kikapcsolásával hárítják. M_1 megszakító beragadásakor az M_2 megszakítót kell kikapcsolni. Ekkor azonban a C távvezeték még rátáplál a zárlatra. Ezt a szemközti vég távkioldásával kell megszüntetni. A távkioldást célszerű a VSZ vonali szakaszoló bekapcsolt állapotához reteszelni, így csak a távvezeték tényleges üzeme esetén oldhat ki.



8.39. ábra.
A megszakítóberagadási védelem érzékelési elve



8.40. ábra.
400 kV-os megszakító beragadása

A *Z helyen* fellépő zárlat ún. *holtsávzárlat*, azaz a távvezeték alapvédelmeinek területére esik, de az M_1 és M_2 megszakító kikapcsolódására a 400 kV-os *K* gyűjtősín felől nem szűnik meg. A védelmek kioldása tehát nem esik vissza, mert *AVI*-en zárlati áram folyik.

Ezt a zárlati rátáplálást csak a 400 kV-os *K* gyűjtősín kikapcsolásával lehet megszüntetni. Ez olyan beavatkozást igényel, mintha M_1 megszakító egy *Y* zárlatra beragadt volna. Ezért a *hazai megoldások* – több külföldi stratégiával ellentétben – *nem tesznek különbséget a megszakítóberagadás és a holtsávzárlat között.*

A megszakító normál állapota az, ha mind a három fázisa be- vagy kikapcsolt állapotban van. Minden ettől tartósan eltérő megszakítóhelyzet rendellenes üzemi állapot. A megszakítóberagadási védelmekhez hasonlóan ez is megszakítóhoz rendelt érzékelést igényel. Két rendellenes üzemi állapotot különböztetünk meg:

- Kétfázisú üzemi állapot: két megszakító fázis be-, a harmadik kikapcsolt állapotban van.
- Egyfázisú üzemi állapot: egy megszakító be-, a másik kettő kikapcsolt állapotban van.

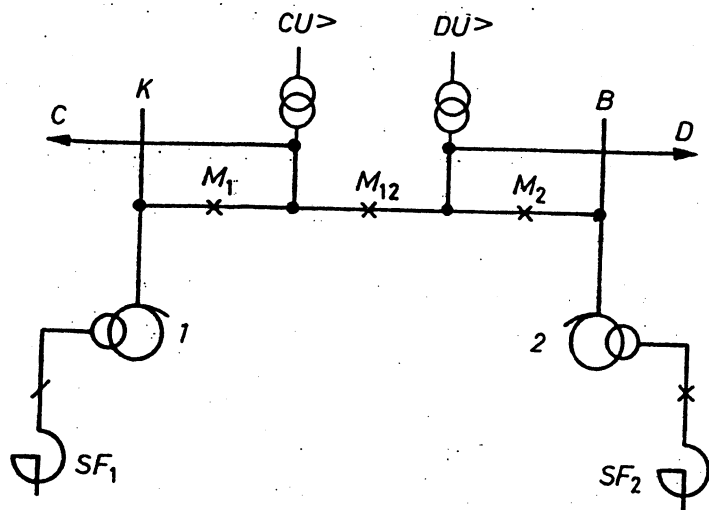
A rendellenes üzemi állapot elleni védelmet a megszakítók segédérzékelőjéről vett információk indítják. A védelem késleltetett kioldást ad. A kétfázisú üzemi állapot érzékelését az egyfázisú gyors visszakapcsolás holtidejétől, az egyfázisú üzemi állapot érzékelését a megszakítók közötti kapcsolási időeltéréstől kell elhangolni.

8.3.5. Feszültségnövekedési védelem

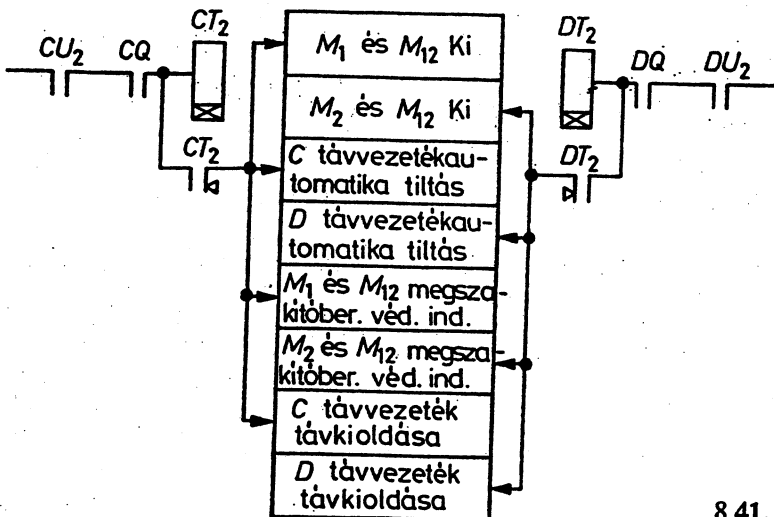
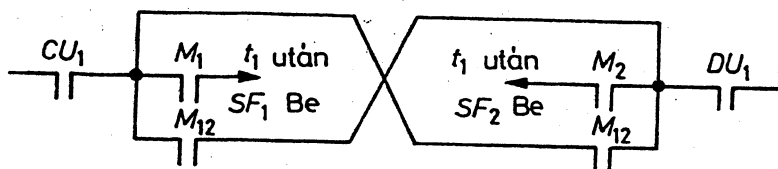
A feszültségnövekedési védelem állomási funkció. Két lépcsőben érzékeli az állomás feszültségét. Az 1. fokozat az U_n névleges feszültség 105%-át meghaladó feszültség esetén a 8.40. ábrán látható *SF* söntfojtótekerceket t_1 késleltetéssel bekapcsolja a boosterek tercier tekercsére. A 2. fokozat $1,15 U_n$ értéket meghaladó feszültség esetén azt a 400 kV-os távvezeték kapcsolja ki t_2 késleltetéssel, amelyik meddő teljesítményt hoz be az állomásra.

A feszültségnövekedési védelem elvi működését a 8.41. ábra mutatja. Az *a)* ábrán látható az állomás primer kapcsolásának egy része. *CUI* a *C* távvezetékre és *DUI* a *D* távvezetékre telepített feszültségnövekedési védelem első fokozata. Ha *CUI* megszólal, akkor ellenőrzi M_1 megszakító bekapcsolt helyzetét, és t_1 késleltetéssel bekapcsolja az *SF1* söntfojtót. Ha M_{12} és M_2 megszakító is be van kapcsolva, akkor *SF2* söntfojtó is bekapcsolódik. *CU2* a *C* távvezeték, *DU2* a *D* távvezeték feszültségnövekedési védelmének második fokozata, *CQ* és *DQ* a vezetékek meddőirányreléi. Ha *CU2* és *CQ* megszólal a t_2 -re beállított *CT2* időrelé lefut, és kikapcsolja a *C* távvezeték (M_1 és M_{12} KI), a visszakapcsoló automatikát bénítja, távkioldást ad és indítja a megszakítóberagadás elleni védelmet.

Az *SF* söntfojtótekerceket ki kell kapcsolni, ha a 120 kV-os feszültség $0,9 U_n$ alá csökken, ill. ha a *K* vagy a *B* gyűjtősínre csatlakozó 400 kV-os megszakítók kikapcsolt állapotban vannak.



a)



b)

8.41. ábra. Feszültségnövekedési védelem

a) primer kapcsolás;

b) a feszültségnövekedési védelem elvi működése

8.3.6. Az alaphálózati távvezetékek automatikarendszere

A távvezeteki zárlatok kikapcsolása után 2 s-nál kisebb holtidejű, automatikus visszakapcsolással célszerű megkísérelni az eredeti üzemi helyzet visszaállítását. Hatásosan földelt csillagpontú hálózaton EVA egyfázisú és HVA háromfázisú, ill. a két módszer kombinációja alkalmazható.

Egyfázisú visszakapcsolási rendszerben pl. erőművi irányüzem esetén csak FN zárlatok után kísérelnek meg visszakapcsolást. Sikertelen működés esetén az alaphálózaton a végleges kikapcsolás mindig háromfázisú. Háromfázisú gyors visszakapcsolás alkalmazása esetén bármilyen zárlatfajta után a kikapcsolás és a visszakapcsolás háromfázisú. A kombinált EVA+HVA rendszerben FN zárlat után EVA-t, többfázisú zárlat után HVA-t alkalmaznak.

Az alaphálózat hatásosan földelt csillagpontú, a megszakítók fázisonkénti hajtásúak. A hálózat hurkolt, így kedvezőek a kombinált EVA+HVA gyors visszkapcsolás feltételei. A hazai alaphálózaton az EVA holtidő 2,0 s, a HVA holtidő 0,7 s.

Az automatikus visszkapcsolás részleteit l. az 5.1. alfejezetben.

8.5. példa. Határozzuk meg a 8.42. ábra szerinti ABCD távvezeték alkotta hálózat AB távvezetéke védelmeinek beállítását! A távvezetési adatokat a 8.2. táblázat, a transzformátoradatokat a 8.3. táblázat tartalmazza. A zárlatszámítás szerinti mértékadó zárlati adatokat a 8.43. ábra, az ép fázisú maximális áramokat a 8.44. ábra, és a tartalék védelmi beállításhoz szükséges zérus sorrendű áramokat a 8.45. ábra foglalja össze.

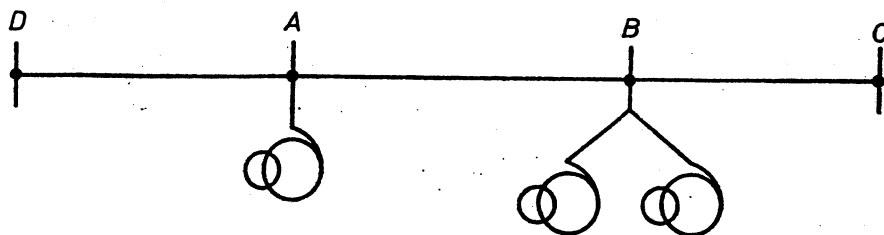
8.2. táblázat

Távvezetékadatok	l , km	R_1 , Ω	X_1 , Ω	R_0 , Ω	X_0 , Ω
A-B	91,9	2,63	30,79	15,16	58,54
B-C	71,1	2,03	24,03	12,20	54,70

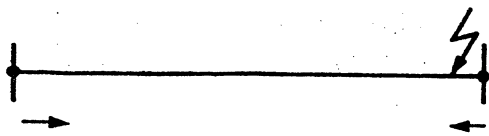
8.3. táblázat

Transzformátoradatok	S , MVA	X_1 , Ω/f^*
A állomás	250	101,10
B állomás	250	103,94

*400 kV-os feszültszintre számolva.



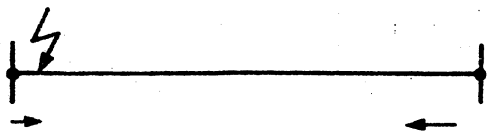
8.42. ábra. Példaként felvett 400 kV-os távvezeték hálózat



I. rész

$$\begin{array}{ll}
 I_1 = (0,05 - j0,47) \text{ kA} & I_1 = (0,28 - j2,85) \text{ kA} \\
 I_2 = (0,05 - j0,48) \text{ kA} & I_2 = (0,28 - j2,84) \text{ kA} \\
 I_0 = (0,08 - j0,47) \text{ kA} & I_0 = (0,25 - j2,85) \text{ kA} \\
 I_R = 1,42 \text{ kA} / -83,21^\circ & I_R = 8,57 \text{ kA} / -84,62^\circ
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 U_1 = (189,8 - j1,77) \text{ kV} & U_1 = (159,1 - j2,1) \text{ kV} \\
 U_2 = (-38 - j1,6) \text{ kV} & U_2 = (-69,4 - j2,0) \text{ kV} \\
 U_0 = (-29 - j0,87) \text{ kV} & U_0 = (-89,7 + j4,1) \text{ kV} \\
 U_R = 123 \text{ kV} / -1,9^\circ & U_R = 0 \text{ kV} / 0^\circ
 \end{array}$$



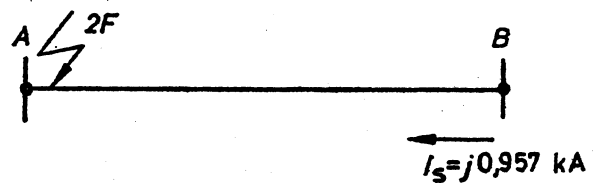
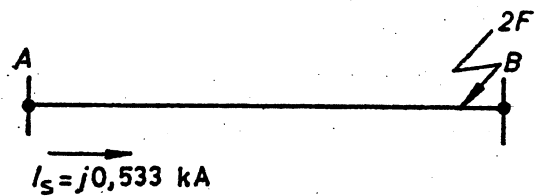
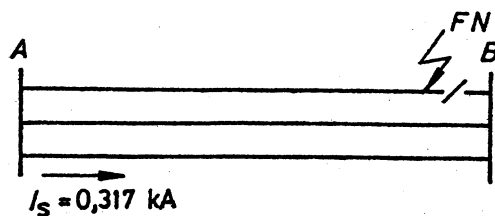
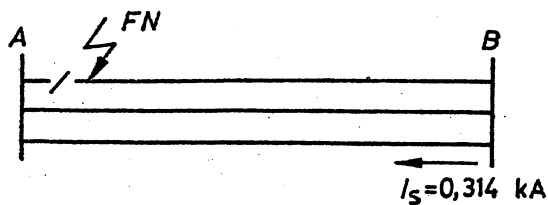
II. rész

$$\begin{array}{ll}
 I_1 = (0,17 - j1,48) \text{ kA} & I_1 = (0,08 - j0,70) \text{ kA} \\
 I_2 = (0,17 - j1,49) \text{ kA} & I_2 = (0,08 - j0,68) \text{ kA} \\
 I_0 = (0,17 - j1,64) \text{ kA} & I_0 = (0,08 - j0,53) \text{ kA} \\
 I_R = 4,64 \text{ kA} / -83,67^\circ & I_R = 1,92 \text{ kA} / -82,98^\circ
 \end{array}$$

$$\begin{array}{ll}
 U_1 = (158,1 - j2,8) \text{ kV} & U_1 = (203,9 - j1,6) \text{ kV} \\
 U_2 = (-69,7 - j2,6) \text{ kV} & U_2 = (-24,9 - j1,4) \text{ kV} \\
 U_0 = (-88,4 - j5,5) \text{ kV} & U_0 = (-19,0 - j0,9) \text{ kV} \\
 U_R = 0 \text{ kV} / 0^\circ & U_R = 160 \text{ kV} / -1,4^\circ
 \end{array}$$

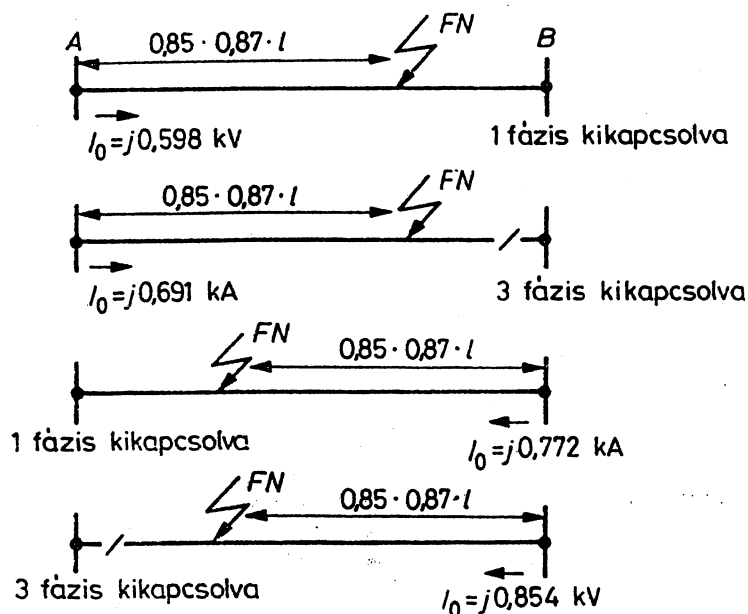
8.43. ábra.

A mértékadó zárlatok adatai



8.44. ábra.

Az ép fázisú maximális zárlati áramok



8.45. ábra.
A tartalék védelmek beállításához szükséges zérus sorrendű áramok értéke

A távolsági védelmek ébresztőelemének beállítása

Az ébresztőelemek eltolt kör karakterisztikájúak, a 4.1., ill. 4.2. táblázat V_1 , ill. F_1 kapcsolásnak megfelelő érzékeléssel. Az érzékelt impedancia a vezeték végpontján kétfázisú zárlat esetén:

$$|Z_{\text{éZF}}| \approx |Z_1| = 65,5 \Omega,$$

egyfázisú földrövidzárlat esetén:

$$|Z_{\text{éFN}}| = \left| \frac{U_A}{2I_A} \right| = \frac{123}{2 \cdot 1,42} = 43,3 \Omega.$$

A maximálisan érzékelt impedancia:

$$Z_{\text{é max}} = 65,5 \Omega.$$

A minimális beállítási impedancia:

$$Z_{\text{be max}} \cong \frac{Z_{\text{é max}}}{1 - \varepsilon} = \frac{65,5}{1 - 0,2} = 81,87 \Omega.$$

Az ép fázisú érzékelés ([48]):

$$Z_{\text{be ép}} = \frac{0,8U_t}{2(I_t + I_s)},$$

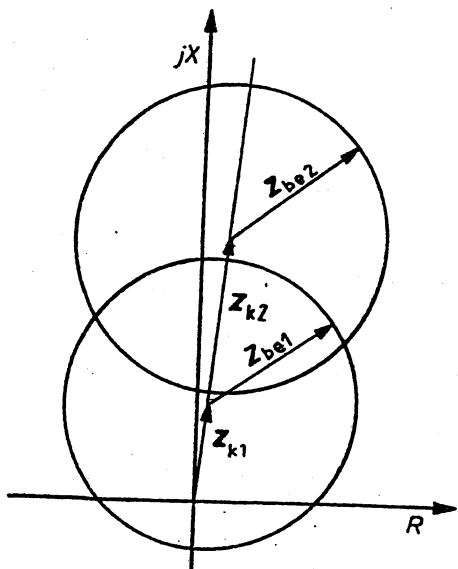
ahol $I_t = 2500 \text{ A}$ a távvezeték terhelőárama, I_s a 8.44. ábrán látható esetekben a maximális ép fázisú zárlati áram. Így:

$$Z_{\text{be ép}} = \frac{0,8 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 2(2,5 + 0,314)} = 32,8 \Omega.$$

Ez az érték kisebb, mint $Z_{\text{be max}}$ 50%-a, ezért eltoltt körrel nem oldható meg a fáziskiválasztás, két egymásba kapcsolódó eltoltt kört kell alkalmazni. A felső kör átmérőjét $Z_{\text{be2}} = 32 \Omega$ -ra választjuk, a hozzá tartozó eltolás:

$$Z_{\text{k2}} = Z_{\text{be max}} - Z_{\text{be2}} = 50 \Omega.$$

Az alsó kör átmérője $Z_{\text{be1}} = 30 \Omega$, eltolása $Z_{\text{k1}} = 20 \Omega$ legyen.



8.46. ábra. Kétkörös ébresztési karakterisztika

Az ébresztés karakterisztikáját a 8.46. ábra mutatja. Ellenőrizzük, hogy a két kör biztonságosan összeér-e? Ehhez a következő egyenlőtlenségnek kell teljesülnie:

$$(1 - \varepsilon)(Z_{k1} + Z_{be1}) \cong (1 + \varepsilon)Z_{k2} - (1 - \varepsilon)Z_{be2}$$

$$(1 - 0,2)(20 + 30) \cong (1 + 0,8)50 - (1 - 0,2)32,$$

$$40 > 34,4.$$

Ellenőrizzük, hogy a távvezeték elején fellépő zárlatokat biztonságosan érzékeli-e az ébresztés? Ehhez a következő egyenlőtlenséget kell kielégíteni:

$$(1 + \varepsilon)Z_{k2} \cong (1 - \varepsilon)Z_{be2}$$

$$(1 + 0,2)20 \cong (1 - 0,2)30$$

$$24 = 24$$

Megállapíthatjuk, hogy a 8.46. ábra szerinti ébresztés megfelelő.

A távolsági védelem mérőelemének beállítása

Az alapfokozat beállítása (4.28) alapján

$$Z_{v1} \cong \frac{1}{1 + \varepsilon} Z_{AB},$$

$$Z_{v1} \cong \frac{1}{1 + 0,15} 65,5 = 56,95 \Omega.$$

A második fokozat (4.29) alapján

$$Z_{v2} \cong \frac{1}{1 - \varepsilon} Z_{AB},$$

$$Z_{v2} \cong \frac{1}{1 - 0,15} 65,5 = 77,05 \Omega.$$

Ellenőrizzük az A oldalra, hogy nem ütközik-e a B-ből induló távvezeték második fokozatával? A feltételezeten legrovidebb BC távvezeték alapfokozatának beállítása $Z_{w1} = 21,28 \Omega$. A (4.30) alapján:

$$Z_{v2} \cong \frac{Z_{AB}}{1 + \varepsilon} + \frac{1 - \varepsilon}{1 + \varepsilon} Z_{w1},$$

$$Z_{v2} \cong \frac{65,5}{1 + 0,15} + \frac{1 - 0,15}{1 + 0,15} 21,28 = 72,68 \Omega,$$

tehát ütközés tapasztalható.

Ellenőrizzük, hogy a Z_{V2} második fokozata nem ér-e túl a B állomás transzformátorain? A transzformátorok eredő impedanciája $Z_{tr} = 51,92 \Omega$. A (4.31) alapján:

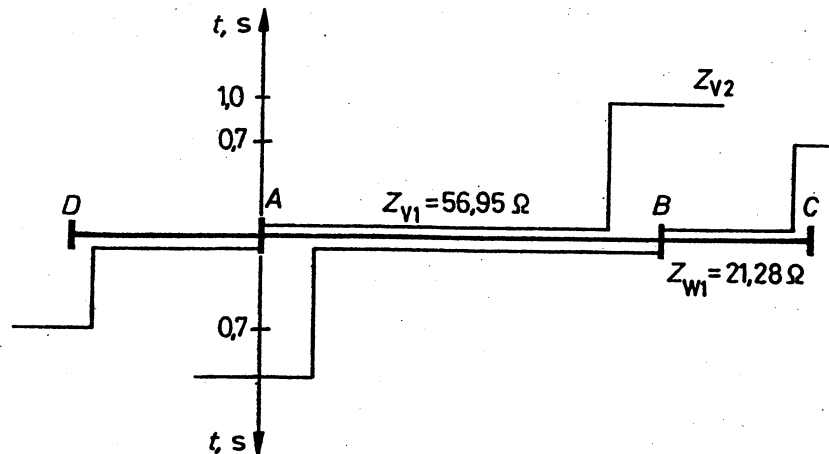
$$Z_{V2} \cong \frac{1}{1+\varepsilon} Z_{AB} + \frac{1}{1+\varepsilon} Z_{tr},$$

$$Z_{V2} \cong \frac{1}{1+0,15} 65,5 + \frac{1}{1+0,15} 51,97 = 102,1 \Omega,$$

vagyis itt nincs ütközés.

A második fokozat ütközését a betáplálási torzítás figyelembevételével, vagy ha az nem elég, késleltetéssel kell feloldani. A mérőelemek koordinációját a 8.47. ábrán követhetjük. A BC távvezeték előre néző második fokozata $0,7$ s, így az AB második fokozatának beállítása mind az A , mind a B oldalon:

$$Z_{V2} = 78 \Omega, \quad t_2 = 1,0 \text{ s.}$$



8.47. ábra. A távolsági védelem mérőelemeinek koordinációja

A tartalék védelem beállítása

A védelem $3I_0$ áramot érzékel. A függő karakterisztikát a 8.48. ábra mutatja. A védelemnek két beállító-eleme van, az I_b indítóáram-beállítás és a t késleltetésbeállítás.

Az I_b indítóáramnak érzékelnie kell a vezetékvégi legkisebb áramot:

$$I_b \cong \frac{3I_{0 \min}}{1+\varepsilon}.$$

$I_{0 \min}$ a 8.43. ábra alapján az A oldalon 470 A, a B oldalon 530 A. A kis különbség miatt válasszunk a két oldalon azonos indítóáramot. A beállítási áram:

$$I_b \cong \frac{3 \cdot 470}{1+0,2} = 1175 \text{ A.}$$

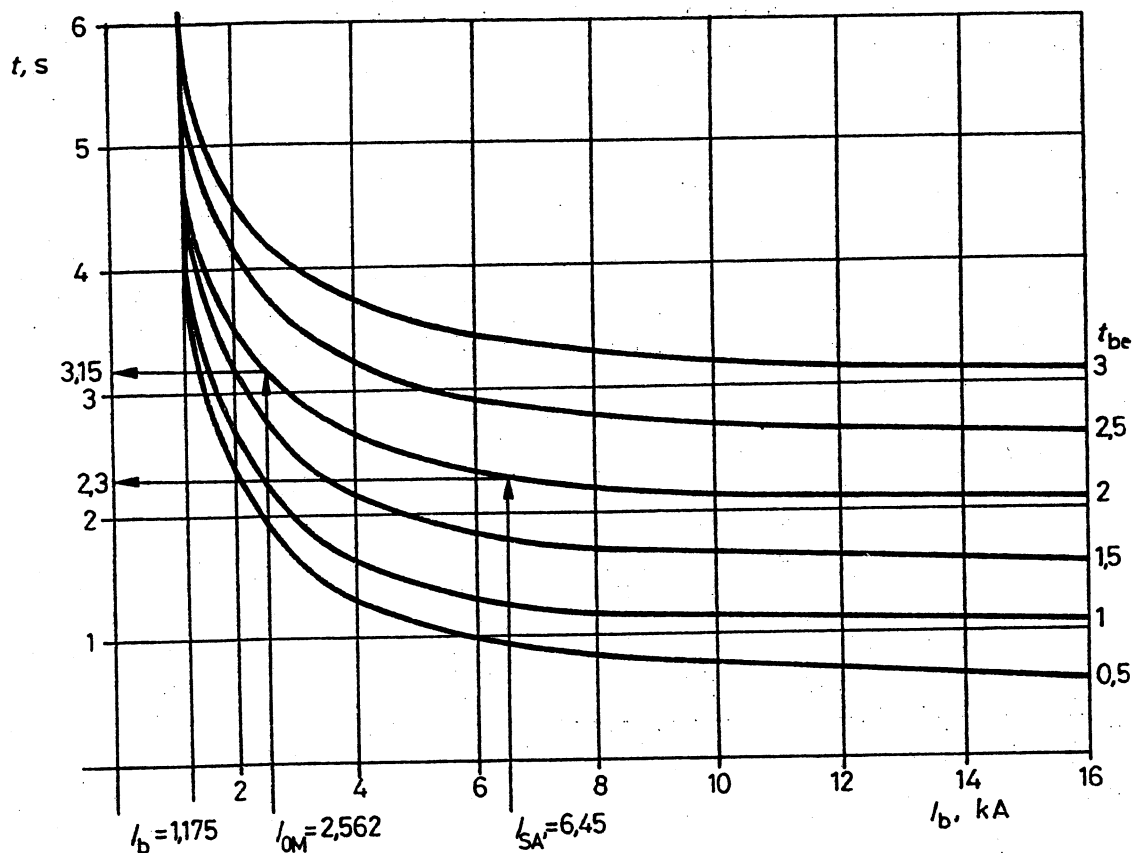
A késleltetés meghatározásánál két feltételt kell teljesíteni:

– A tartalék védelem késleltetése legyen nagyobb, mint az EVA holtidő $t = 2,0$ s késleltetése. Az EVA alatt a maximális sántaüzemi áram (l. a 8.4.3. szakaszt) [1]:

$$I_{sA} = 2,59I_t = 2,59 \cdot 2,5 = 6,45 \text{ kA.}$$

– A tartalék védelem késleltetése legyen nagyobb, mint a távolsági védelem első fokozatának határán fellépő zárlatkor a második fokozat $t_2 = 1,0$ s késleltetése. A legnagyobb zérus sorrendű áramot a 8.45. ábrából határozzuk meg. Ez a zérus sorrendű áram $I_{OM} = 3 \cdot 0,854 = 2,562 \text{ kA}$.

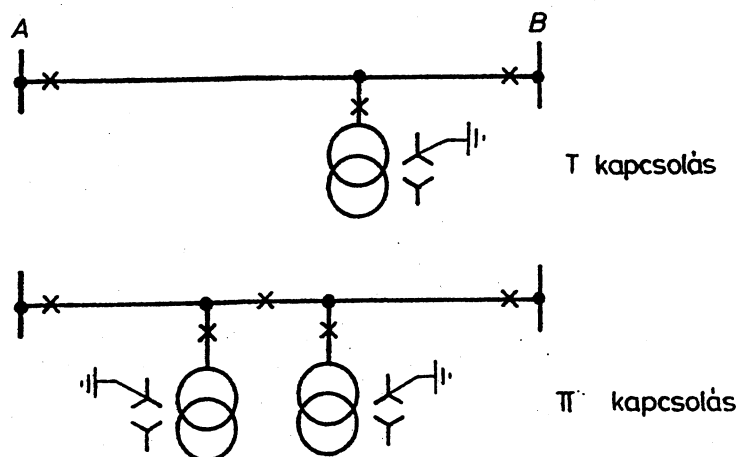
A 8.48. ábrán a relé karakterisztikáiba bejelöltük az I_b , I_{OM} és I_{sA} áramokat. Láthatjuk, hogy a $t = 2,0$ s beállítási karakterisztikát választva mind a két feltétel teljesül.



8.48. ábra. A tartalék védelem karakterisztikája

8.4. A 120 kV-os főelosztóhálózat védelmei és automatikái

A hazai 120 kV-os főelosztóhálózat hatásosan földelt csillagpontú. A megszakítók egyfázisú gyorsvisszakapcsolásra alkalmasak, ezért a védelmi rendszer fáziskiválasztású. Az állomások kapcsolására a gyűjtősínes kialakítás a jellemző, de a 8.49. ábra szerinti T, ill. Π kapcsolású állomás is jelentős számban üzemel. A 120 kV-os főelosztóhálózatnál találunk hurkolt és sugaras üzemet is.

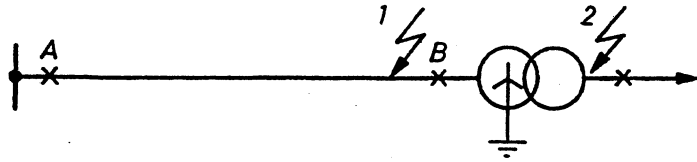


8.49. ábra. Jellegzetes főelosztóhálózati állomásképek

8.4.1. Távvezetékek alapvédelmi rendszere

A) Sugaras szabadvezetékek táppontjának alapvédelmi rendszere

A primer kapcsolást a 8.50. ábra mutatja. A tápponti védelem lehet túláram-, ill. impedanciavédelem.



8.50. ábra.
Sugaras szabadvezeték védelmének beállítása során figyelembe vett zárlati esetek

Túláramvédelem alkalmazhatóságának feltételei (l. részletesen: 4.3.6. szakasz c) pontját):

- A védelem biztonsággal érzékelje a távvezeték végén fellépő legkisebb zárlati áramot. A 8.50. ábrán az 1. helyen levő zárlati áram $I_{1 \min}$. A beállítás feltétele:

$$I_{be} \cong \frac{I_{1 \min}}{1 + \varepsilon} \quad (8.1)$$

- A védelem biztonsággal ne működjön a transzformátor szekunder oldalán fellépő zárlatra. A 8.50. ábrán a 2. zárlatnál az áram $I_{2 \max}$. A beállítás feltétele:

$$I_{be} \cong \frac{I_{2 \max}}{1 - \varepsilon} \quad (8.2)$$

- A védelem csak a zártos fázisban működjön. A beállítás feltétele, ha a legnagyobb ép fázisú áram $I_{\acute{e}p \max}$:

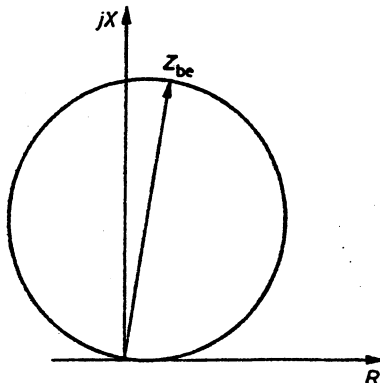
$$I_{be} \cong \frac{I_{\acute{e}p \max}}{1 - \varepsilon} \quad (8.3)$$

- A védelem biztonsággal ne érzékelje az üzemi áramokat

$$I_{be} \cong \frac{I_{\acute{u} \max}}{1 - \varepsilon}$$

Ezeknek a feltételeknek a teljesülése esetén a távvezeték teljes hosszára biztosítható a fázisszelektív pillanatműködésű zárlathárítás. A védelem a transzformátor zárlatainak egy részét is érzékeli, azonban nem vétünk a szelektivitás ellen, mert a távvezeték és a transzformátor egységkapcsolásban van.

Vizsgáljuk az impedanciavédelem alkalmazásának feltételeit: Ha túláramvédelem nem alkalmazható, irányított impedanciavédelmet vagy távolsági védelmet alkalmaznak. Az irányított védelem karakterisztikája a 8.51. ábrán látható.



8.51. ábra. Mho karakterisztikájú mérőelem

– A védelemnek biztonsággal érzékelnie kell a Z_v impedanciájú távvezeték zárlatait.
A beállítás feltétele:

$$Z_{be} \cong \frac{Z_v}{1 - \varepsilon}$$

– A védelem biztonsággal ne érzékelje a Z_{Tr} impedanciájú transzformátor szekunder oldali zárlatait.

A beállítás feltétele:

$$Z_{be} \cong \frac{Z_v + Z_{Tr}}{1 + \varepsilon}$$

– A védelem biztonsággal ne érzékelje az üzemi áramokat [l. a (4.24.) és (4.26.)]. A beállítás feltétele:

$$Z_{be} \cong \frac{\sqrt{3} U_v^2 k_t}{2(1 + \varepsilon) S_{\bar{u}}}$$

ahol U_v a névleges feszültség, kV; $S_{\bar{u}}$ a legnagyobb üzemi terhelés, MVA; k_t a védelem ejtőviszonya.

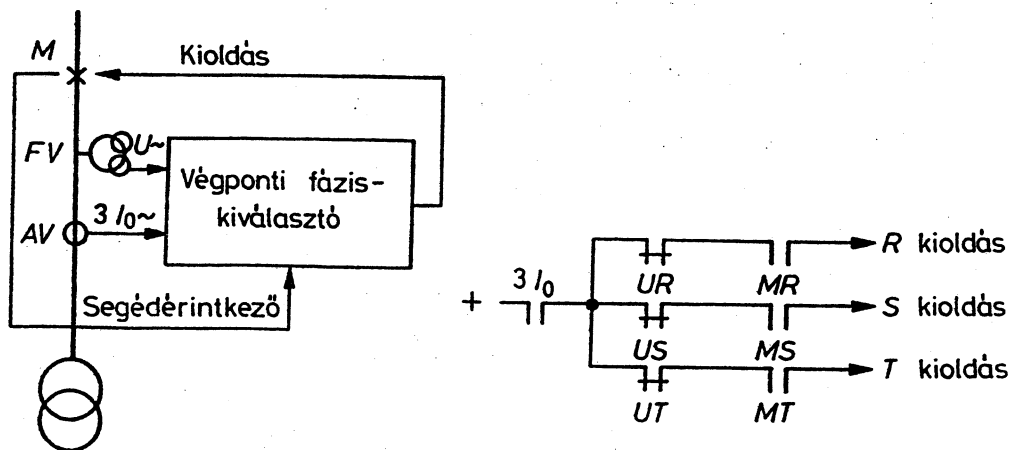
– A védelem ne működjön az ép fázisú zárlati áramokra:

$$Z_{be} \cong \frac{Z_{\acute{e}p}}{1 + \varepsilon}$$

ahol $Z_{\acute{e}p}$ a nem zártatos fázisokban érzékelt legnagyobb impedancia.

B) Sugaras szabadvezetékek végpontjának alapvédelmi rendszere

A végponti vagy T leágazásban üzemelő, földelt csillagpontú transzformátor zárlati nagyságú, zérus sorrendű áramot táplál a hibahelyre. Ez az áram nem szűnik meg, ha a tápponti védelem csak a hibás fázist kapcsolja ki, ezért a végponti transzformátort is ki kell kapcsolni a hibás fázisban. Ezt a feladatot látja el a végponti fáziskiválasztó C védelem. A védelem elvi felépítése a 8.52. ábrán követhető.



8.52. ábra. A C védelem elvi felépítése

a) a C védelem egyen- és váltakozó áramú köreinek elvi kapcsolása;

b) a C védelem fáziskiválasztásának elvi kapcsolása

A $3I_0$ áramot áramrelé érzékeli, amelynek a legkisebb tápponti FN zárlatra is működnie kell. UR , US , UT fázisfeszültséget érzékelő feszültségcsökkenési relék biztosítják a fáziski-választást. MR , MS , MT a megszakítók bekapcsolt helyzetében záró segédérintkezők, amelyek megszakítják a kioldóimpulzust. Ez ugyanis a kikapcsolás után is fennállhat, mert a sánta-üzemi áram működtetheti a $3I_0$ -érzékelőt és a hibás fázis feszültsége zérus.

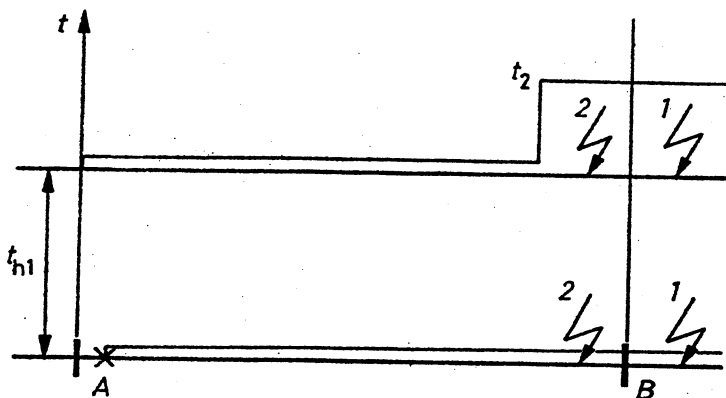
A védelem célszerűen permanens túlfedésű, tehát pillanatműködésű kioldást ad, ezért nem szelektíven működik a tápponton túl fellépő zárlatra is. Ezt emelt holtidejű, automatikus, gyors visszakapcsolással (4.6.6. szakasz „lépcsős visszakapcsolás”) lehet feloldani. Így a vég-ponti gyors visszakapcsolás biztosan sikeres lesz.

C) Hurkolt szabadvezetéki hálózat alapvédelmi rendszere

A hurkolt hálózaton távvezetéki zárlatra mindkét irányból folyhat pozitív, negatív és zérus sorrendű áram. Alapvédelem céljára távolsági védelmet vagy szakaszvédelmet alkalmaznak. A hazai gyakorlatban általános távolsági védelmek csak kivételes esetben vannak szinkroni-zálással (l. a 4.6.6. szakaszt) gyorsítva.

A 15 km-nél rövidebb 120 kV-os távvezetékeknél a hazai hálózaton néha szakaszvédelmet alkalmaznak. Ezek gyenge pontja a jelátviteli összeköttetés. A tapasztalatok szerint a szakasz-vevédelemnél biztonságosabb a kioldásengedélyező logikai kapcsolással gyorsított távolsági védelem (l. a 4.6.6. szakaszt).

A hazai hálózaton egy mérőelemes és több mérőelemes távolsági védelmeket alkalmaznak. A távolsági védelmek beállítását a 4. fejezet tárgyalja.



8.53. ábra. Feltételes túlfedés

Hazai megoldás a csak FN zárlatra történő, ún. feltételes túlfedés alkalmazása. Ez természetesen, mint minden túlfedés (l. a 4.6.6. szakaszt), csak automatikus visszakapcsolással együtt alkalmazható. A feltételes túlfedéssel a távvezeték végén fellépő FN zárlatok pillanatműködéssel hátríthatók (8.53. ábra). Visszakapcsolás után a szelektivitás biztosítása érdekében a mérőelemet szelektív karakterisztikára kell visszahúzni. Így a zárlatok döntő többségét kitevő FN zárlatokat a távvezeték teljes hosszán a visszakapcsolás előtti első zárlatoltáskor pillanatműködéssel lehet hátrítani. A 8.53. ábrán az A oldali védelem mind az 1, mind a 2 helyen fellépő FN zárlatra kioldást ad. A t_{h1} visszakapcsolási holtidő után az esetleg maradó 1 jelű FN zárlatra már nem történik kioldás. A 2 helyen levő zárlatra viszont t_2 második fokozatos késleltetéssel történik meg a kioldás.

A feltételes túlfedés hátránya, hogy a járulékos kikapcsolások miatt a megszakítók fokozottan vannak igénybe véve.

8.4.2. Kábelhálózatok alapvédelmi rendszere

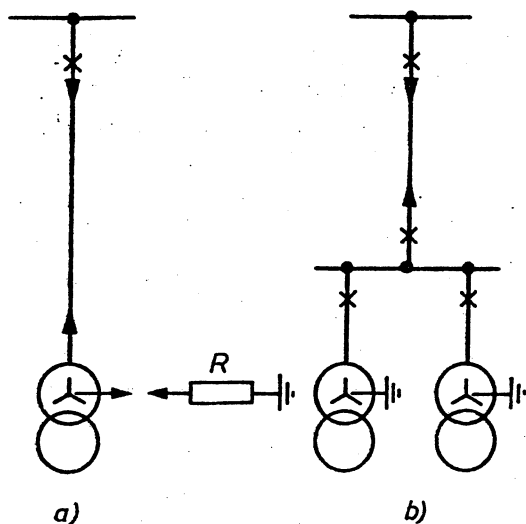
A 120 kV-os kábelek városi nagyteljesítményű állomásokat látnak el. A nyomvonal sűrűn lakott és nagyforgalmú területeket érint, ezért az élet- és vagyonszükséglet nagyobb követelményeket támaszt a védelmi rendszerrel szemben, mint szabadvezeték esetén.

A kábelzárásokat 100 ms alatt meg kell szüntetni. A biztonság fokozása érdekében kettős alapvédelmet alkalmaznak, a 3.4.1. szakaszban ismertetett módon. A kioldás nem fázisszelektív, hanem háromfázisú és definitív.

Sugaras hálózatok

A 8.54. ábrán láthatók a legjellegzetesebb sugaras primer kábelrendezések.

Az *a* ábrán a transzformátornak nincs megszakítója, ezért a transzformátor védelmei kettőzött jelátviteli úton a tápponti megszakítót működtetik. A jelátvitel ideje maximálisan 20 ms lehet. A tápponti X_0/X_1 arány javítása érdekében célszerű a transzformátor csillagpontját szigetelni, de túlfeszültség ellen szikraközrel kapcsolt 2000 Ω nagyságú R rezisztenciát beiktatni.



8.54. ábra.

Sugaras főelosztóhálózati primer kábelrendezések

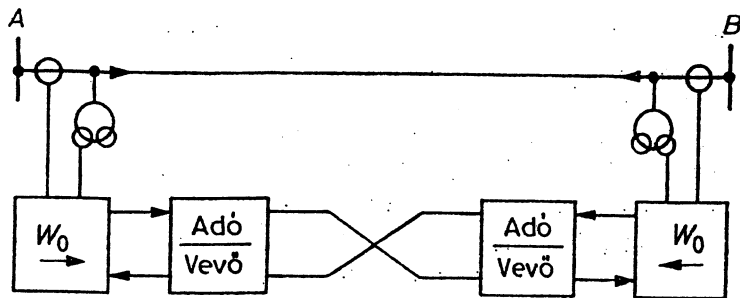
A kábel védelme a táppontban van, elvileg megegyezik a szabadvezeteki sugaras hálózat védelmi rendszerével, de kettőzött. A kábel végpontján nincs szükség védelemre, mert a háromfázisú kioldás miatt a transzformátor zérus sorrendű zárlati visszatáplálása megszűnik, ill. ha szikraközös rezisztencián át földelt a transzformátor, a zérus sorrendű áram elhanyagolható.

A 8.54b ábrán külön védelmi szakasz a 120 kV-os kábel, a gyűjtősín és a transzformátorok, ezért ezt a sugaras alakzatot védelmi szempontból hurkolt hálózatként kell kezelni.

Hurkolt hálózatok

A kettős alapvédelem lehet szakaszvédelem, ill. kioldásengedélyező logikával gyorsított távolsági védelem (l. a 4.6.6. szakaszt). A védelmi rendszer kritikus eleme mind a szakasz-, mind a távolsági védelemnél a jelátviteli összeköttetés. Tapasztalatok szerint csak a kettős jelátviteli út ad kielégítő biztonságot. Ezek közül az egyik a 120 kV-os kábellel együtt fektetett, erősáramú jelzőkábel szokott lenni. A jelátviteli utakat el kell látni önellenőrző berendezéssel. Hazai megoldás a 120 kV-os kábelen alkalmazott vivőfrekvenciás összeköttetés a távolsági védelmek szinkronozására, ill. távkioldására.

Fázisonkénti kábelrendezésnél gyakorlatilag csak FN zárlat léphet fel. Ezek a zárlatok jól érzékelhetők zérus sorrendű zárlati teljesítményirány-összehasonlító *szakaszvédelemmel*. A 8.55. ábrán a W_0 zérus sorrendű, irányított túláramvédelmek akkor oldanak ki, ha az *A* oldali és a *B* oldali is a védett kábel felé folyó, zérus sorrendű zárlati teljesítményt érzékel. Ez a védelem lehet az *egyik alapvédelem*. A védelemhez szintén megbízható jelátviteli összeköttetés kell.



8.55. ábra.
Zérus sorrendű irányított túláram-védelem

8.4.3. A 120 kV szabadvezetékek és kábelek tartalék védelmi rendszere

A tartalék védelmi rendszer megegyezik az alaphálózaton alkalmazott rendszerrel, tehát itt is egyenáramtól független, zérus sorrendű, függő késleltetésű túláramvédelem (AZTO) a tartalék védelem. A beállítás feltételei is hasonlóak, mint az alaphálózaton. Különbség azonban az, hogy a hazai 120 kV-os főelosztóhálózati szabadvezetéseken a végleges kikapcsolás FN zárlat után egyfázisú. A tartalék védelmek definitív háromfázisú kioldást adnak, így a kialakult sántaüzemi áramtól a tartalék védelem beállítását el kell hangolni.

A zárlat hatására megindult tartalék védelemnek az alapvédelmi kioldás után vissza kell esnie, ezért a beállításnak a következő egyenlőtlenséget kell teljesítenie:

$$I_{b0} \cong \frac{3I_{0sü \max}}{(1 - \varepsilon)k_v}, \quad (8.4)$$

ahol $3I_{0sü \max}$ a maximális sántaüzemi áram; k_v az ejtőviszony.

A maximális sántaüzemi áram értéke attól függ, hogy a védett távvezeték végpontjain milyen üzemállapot lehetséges.

Sugaras üzemállapotban a sántaüzem áram:

$$3I_{0sü} = k_1 I_t, \quad (8.5)$$

ahol I_t a maximális terhelőáram; k_1 a sugaras sántaüzemi áramtényező. Értéke a mérések és számítások szerint 1,8...2,2 között lehet.

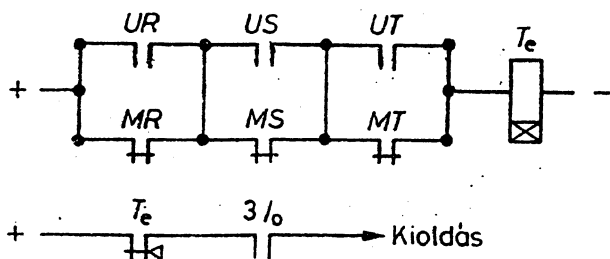
Hurkolt üzemállapotban a sántaüzemi áram:

$$3I_{0sü} = k_2 I_t, \quad (8.6)$$

ahol k_2 a hurkolt sántaüzemi áramtényező, értéke 0,5...1,5 között lehetséges.

A 120 kV-os kábeleknél a sántaüzemi feltételt nem kell figyelembe venni, mivel ott a sántaüzem nincs megengedve.

Gyakran előfordul, hogy nagy terhelésű távvezetéseken a minimális zárlati $3I_0$ áram és a legnagyobb terheléshez tartozó maximális sántaüzemi áram összemérhető. Ilyenkor a tartalék védelemnél *sántaüzemi reteszeléssel* kell alkalmazni. A sántaüzemi reteszeléssel biztosítható,



8.56. ábra. Tartalék védelem reteszelése sántaüzemben

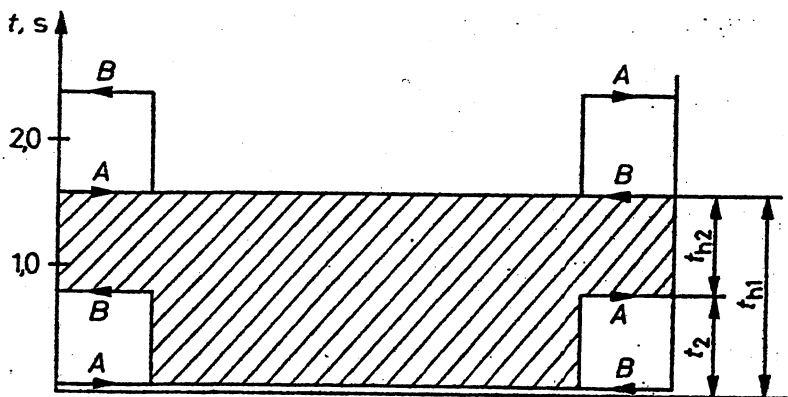
hogy a tartalék védelem csak zárlat esetén és csak akkor működhessen, ha az alapvédelem nem működött. Segédfeltételként a feszültségcsökkenés és a megszakító segédérintkezők láncja használható. Egy lehetséges megoldást mutat a 8.56. ábra. Ha a távvezeték be van kapcsolva, az UR , US , és UT feszültségrelé-érintkezők zárt állapotban vannak, az MR , MS , valamint MT megszakító-segédérintkezők nyitottak. T_e ejtés-késleltetésű időrelé meghúzott állapotban van, és reteszeli a $3I_0$ tartalék védelem kioldását. FN zárlat esetén a feszültségcsökkenés miatt T_e kezd elejteni. Az alapvédelem működésének elmaradása esetén a $3I_0$ tartalék védelemnek működni kell, ezért T_e beállítása az alapvédelemnél nagyobb, de biztonsággal kisebb, mint a tartalék védelem késleltetése.

Ha az alapvédelem megszüntette a zárlatot, a feszültségrelé elejt, de a megszakító segédérintkező zár, így T_e meghúz és reteszeli a tartalék védelmet. A sántaüzemben fellépő újabb FN zárlatkor az előbbi feltételek mellett a tartalék védelem újra működőképes.

A sántaüzemi reteszelés csak akkor alkalmazható, ha FN zárlat alatt a feszültségrelé biztonsággal elejt. Ha egy állomás hurkolt és sugaras üzemű is lehet, akkor ez nem mindig biztosítható. Ilyenkor kétlépcsős tartalék védelmet alkalmaznak. A sugaras üzemet egy kisebb árambeállítású védelem sántaüzemi reteszeléssel szolgálja ki. A hurkolt üzemet egy nagyobb árambeállítású, nem reteszelt védelem szolgálja ki.

8.4.4. A főelosztóhálózati távvezetékek automatikarendszere

A 120 kV-os szabadvezetéki főelosztóhálózaton a hazai gyakorlatban kétciklusú automatikus visszkapcsolási rendszert alkalmaznak (l. részletesen az 5. fejezetet). Az első a GVA (gyors visszkapcsoló automatika) ciklus, a második az LVA (lassú visszkapcsoló automatika) ciklus. A hazai és külföldi statisztikák szerint a gyors ciklus kb. 75%-ban eredményes. Lassú ciklus esetén az eredményesség 90% fölé növekszik. A GVA ciklusban EVA és HVA együttes alkalmazása célszerű. A holtidő nem nagyobb, mint 2,0 s. A 8.57. ábra kétoldalról táplált távvezeték távolsági védelmeinek fokozatkialakítását és GVA idődiagramját együtt tünteti fel. A vezetékvégeken a szelektivitás biztosításának érdekében t_2 késleltetésű a védelem karakterisztikája, ezért a zárlat megszakításának időkülönbsége a mértékadó holtidőt lecsökkenti.



8.57. ábra.
Távvezetéki védelem kioldási karakterisztikája GVA visszkapcsolás figyelembevételével

A hazai hálózaton a HVA holtidő kétlépcsős:

- Alapfokozatú kioldás esetén t_{h1} (pl. 1,6 s);
- Második fokozatú kioldás esetén $t_{h2} = t_{h1} - t_2$ (pl. 1,6 – 0,5 = 1,1 s).

EVA-nál a feltételes túlfedés alkalmazása miatt a kioldás egyidejű, és a holtidő t_{h1} lehet (pl. 1,6 s).

Az LVA lassú ciklus holtideje a megszakító oltóképességének helyreállási idejétől függ, általában 30...60 s. Magyarországon a 120 kV-os főelosztóhálózaton egységesen 60 s-ot alkalmaznak.

8.4.5. Transzformátorok védelmi rendszere

A főelosztóhálózat transzformátorai a közép-feszültségű elosztóhálózat táppontjaiban vannak. A transzformátorok általában kéttekercselésűek, de gyakori a háromtekercselésű is két közép-feszültségű feszültség-szint ellátására. A leggyakoribb feszültség-szintek a 35 kV, a 20 kV, a 10 kV és ipari üzemekben a 6 kV. A transzformátorok teljesítménye 16 MVA, 25 MVA, 40 MVA vagy 63 MVA. A szekunder tekercs deltakapcsolású 35 kV, 10 kV és 6 kV-os feszültség-szinten. A 20 kV-os tekercs csillagkapcsolású, amely 50%-os teljesítményű rövidrezárt deltatekercseléssel van kiegészítve a zérus sorrendű impedancia csökkentése, így a járomfluxus megelőzése céljából.

A közép-feszültségű táppontok sérülésre legérzékenyebb és egyben legdrágább eleme a transzformátor. A transzformátor minden hibáját érzékelő védelmi rendszer a hibás transzformátort késleltetés nélkül lekapcsolja. A transzformátor belső hibájának késleltetett védelemmel történő kikapcsolása a sérülés oly mértékű kiterjedését okozná, ami gyakran a transzformátor teljes pusztulásával járna. Hazai tapasztalatok szerint pl. sérült átvezető szigetelőnél biztosan tűz keletkezik, ha a kioldás 0,3 s-nál hosszabb. A transzformátorok védelmére a gyártó által beépített nem villamos elvű védelmeket és villamos védelmeket alkalmaznak.

a) Buchholz-relé

A hazai előírások szerint 1 MVA-nál nagyobb teljesítményű olajszigetelésű transzformátoroknál kötelező alkalmazni Buchholz-relét, ami a transzformátor belső hibáit érzékeli (l. a 6.4.a. szakaszt). A Buchholz-relét a transzformátor és az olajóvó (konzervátor) közötti csőbe szerelik. Ha a gáz mennyisége csekély, pl. csak 150...300 cm³, akkor a Buchholz-relé előjelzést ad. Ha viszont az olaj áramlása eléri a 0,8...1,2 m/s sebességet, a relé kiold. A kioldás nyomógombon keresztül öntartásba kerül, vagy ejtés-késleltetési időrelével meghosszabbodik, kiküszöbölve ezzel a relé érintkezőjének bizonytalanságát, amit pl. a transzformátor zárlati rezgése okozhat.

b) Olajáramlás-relé

Szabályozóval egybeépített transzformátornál alkalmazzák a fokozatkapcsoló védelmére [1]. Működése megegyezik a gázrelé kioldó részével. A relét a fokozatkapcsoló olajedénye és a tágulási edény közé építik be. Működésekor a Buchholz-relével megegyező funkciókat végez.

c) Hőmérséklet-védelem

A névlegesnél nagyobb terhelés esetén, vagy a transzformátor hűtésének hibája miatt az olaj hőmérséklete megnő, és ez veszélyezteti a tekercselés szigetelését, csökkenti élettartamát [1]. A transzformátor túlterhelhetősége függ a túlterhelést megelőző hőmérséklettől is. A transzformátor túlterhelésének érzékelésére alkalmazzák a hőmérséklet-védelmet, ami kétfokozatú. Az első fokozat 85 °C-nál jelzést ad, a második fokozat 90 °C-nál kikapcsolja a transzformátort.

d) Differenciálvédelem

A 4., a 6. és a 7. fejezetben ismertetett differenciálvédelmek alkalmazása a hazai előírások szerint 10 MVA-nál nagyobb teljesítményű transzformátorhoz kötelező. Bekapcsolásbiztos, fázisáramokkal fékezett, érzékeny (0,2...0,5 I_n), max. 40 ms működési idejű differenciálvédelem alkalmazása javasolható. Működése esetén a transzformátort határoló megszakítókat kikapcsolja. Beállítása a 4. fejezetben tárgyaltak szerint történik.

Hazai megoldás a városi környezetben elhelyezett, 40 MVA-nál nagyobb teljesítményű transzformátorok kettős differenciálvédelme, fokozott tűzvédelmi célból. A két differenciálvédelem mind váltakozó áramú, mind egyenáramú oldalon teljesen szét van választva.

e) Túláramvédelem

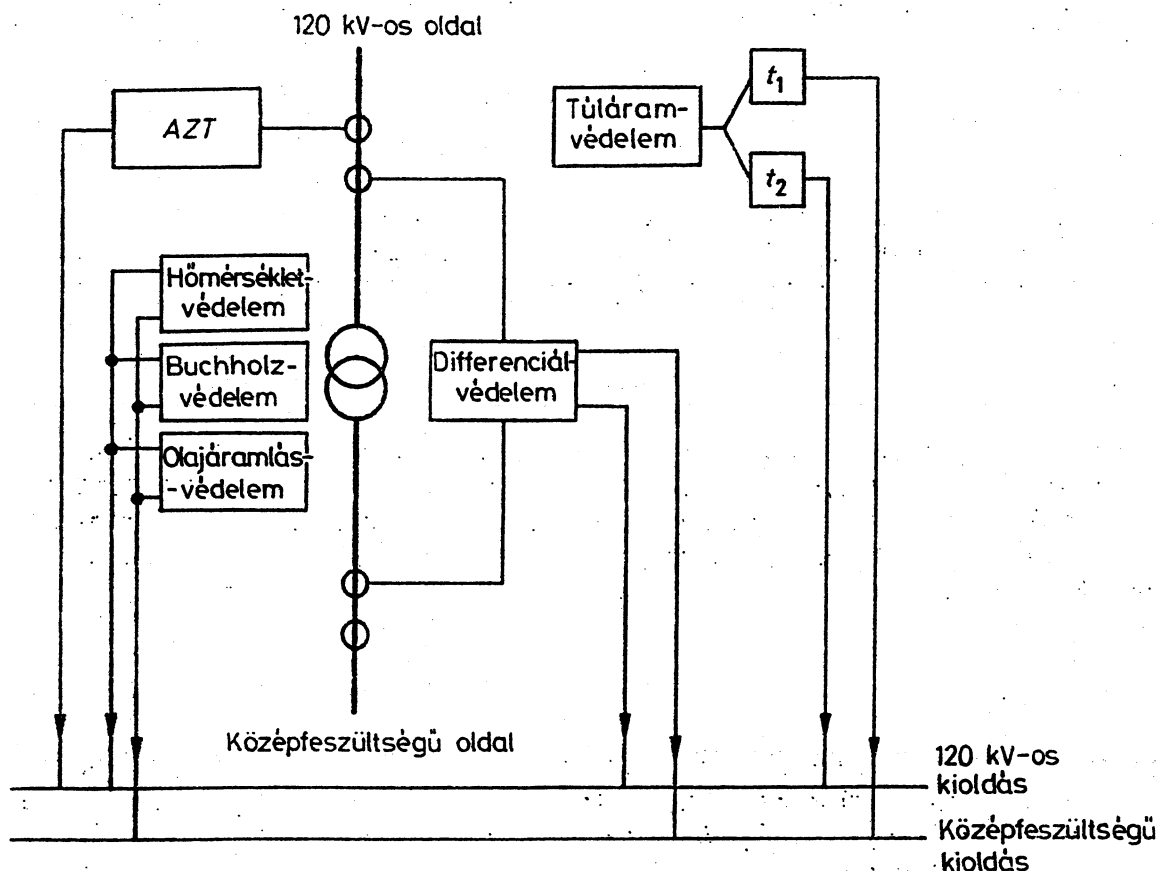
A túláramvédelem a transzformátornak közeli tartalékot, a táplált közép feszültségű hálózatnak távoli tartalékot biztosít. A két időfokozatú túláramvédelem háromfázisú és a 120 kV-os áramváltókra csatlakozik. Az első időfokozat a szekunder oldali megszakítót kapcsolja ki. Ha a védelem nem esik vissza, tehát a zárlat nem szűnt meg, akkor egy szelektív időlépcsővel később a túláramvédelem kikapcsolja a transzformátor primer oldali megszakítóját. A túláramvédelem beállítása a transzformátor névleges áramának 1,6...2,0-szerese, hogy rövid idejű túlterhelésre ne működjenek. Az első időfokozat késleltetése egy szelektív időlépcsővel nagyobb, mint a táplált hálózat legnagyobb védelmi késleltetése.

Háromtekeréses transzformátorokhoz ez a megoldás nem használható. Mind a primer, mind a szekunder oldalakon külön-külön kell egy időfokozatú túláramvédelmet alkalmazni.

f) Autonóm zárlati túláramvédelem (AZT)

Az egyenáramú segédüzem hibája esetén a szekunder védelmek működésképtelenek. Ilyen esetben az AZT feladata a katasztrofális zárlati pusztítás elkerülése. Árambeállítása olyan, hogy érzékeli a transzformátor legkisebb szekunder oldali zárlati áramát. Késleltetése áramfüggő. Ennek beállítását úgy kell megválasztani, hogy ne ütközzön a túláramvédelem késleltetésével.

A főelosztóhálózati transzformátorok védelmi tömbvázlatát a 8.58. ábrán láthatjuk.



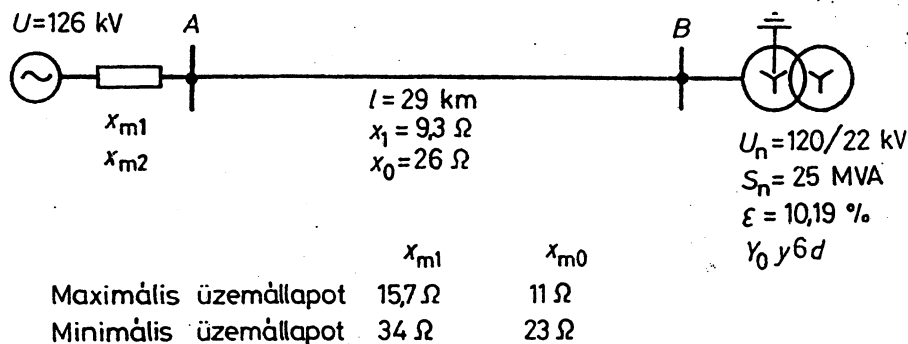
8.58. ábra. Főelosztóhálózati transzformátorok védelmi rendszere

8.6. példa. Sugaras 120 kV-os távvezeték védelmeinek beállítása. A 8.59. ábrán látható AB sugaras távvezeték védelmeit kell beállítani. A zárlatszámításhoz szükséges adatok:

A transzformátor pozitív és zérus sorrendű reaktanciája:

$$X_{Tr1} = \frac{\varepsilon}{100} \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{10,19}{100} \cdot \frac{120^2}{25} = 58,7 \Omega,$$

$$X_{Tr0} = 1,5X_1 = 1,5 \cdot 58,7 = 88,5 \Omega.$$



8.59. ábra. Példaként felvett sugaras főelosztóhálózat adatai

A hálózat X_m mögöttes, ill. a távvezeték reaktanciái a 8.59. ábrán láthatók. A mértékadó üzemállapotok és zárlatok (8.61. ábra):

- Maximális terhelésű üzemállapotban FN zárlat a B állomáson.
- Maximális terhelésű üzemállapotban FN zárlat az A állomáson.
- Minimális terhelésű üzemállapotban FN zárlat a B állomáson, kikapcsolt transzformátor esetén.
- Maximális terhelésű állapotban 3F zárlat a B állomás transzformátorának szekunder oldalán.
- Minimális terhelésű állapotban 2F zárlat a B állomáson.
- Minimális terhelésű állapotban 2F zárlat a B állomás transzformátorának szekunder oldalán.

Zárlatszámítás

A zárlatjellemzőket a szimmetrikus összetevők módszerével számítjuk.

a) Maximális terhelésű üzemállapot, FN zárlat a B állomáson

Az FN zárlat helyettesítő vázlatát a 8.60. ábra mutatja. A zérus sorrendű hálózat eredő reaktanciája:

$$X_{0E} = \frac{X'_0 X''_0}{X'_0 + X''_0} = \frac{37 \cdot 88,2}{37 + 88,2} = j26,1 \Omega.$$

A hálózat eredő reaktanciája:

$$X_E = X_{1E} + X_{2E} + X_{0E} = j25,1 + j25,1 + j26,1 = j76,3 \Omega.$$

A hibahelyi áram szimmetrikus összetevői:

$$I_{R1} = I_{R2} = I_{R0} = \frac{U_1}{jX_E} = \frac{72\,746}{j76,3} = -j953,4 \text{ A.}$$

Az A állomás felől folyó, zérus sorrendű áram:

$$I'_{R0} = I_{R0} \frac{X_{0E}}{X'_0} = -j953,4 \frac{26,1}{37} = -j672,5 \text{ A.}$$

A B állomás felől folyó, zérus sorrendű áram:

$$I''_{R0} = I_{R0} - I'_{R0} = -j953,4 - j672,5 = -j280,9 \text{ A.}$$

Az A állomás felől folyó zárlati fázisáramok:

$$I_R = I_{R1} + I_{R2} + I'_{R0} = -j(953,4 + 953,4 + 672,5) = -j2579,3 \text{ A,}$$

$$I_S = a^2 I_{R1} + a I_{R2} + I'_{R0} = (a^2 + a) I_{R1} + I'_{R0} = j953,4 - j672,5 = j280,9 \text{ A,}$$

$$I_T = a I_{R1} + a^2 I_{R2} + a I'_{R0} = (a + a^2) I_{R1} + I'_{R0} = j953,4 - j672,5 = j280,9 \text{ A.}$$

A B állomás felől folyó zárlati fázisáramok:

$$I_E = I_S = I_T = I''_{E0} = -j280,9 \text{ A.}$$

Az A állomás zárlatos fázisának feszültsége:

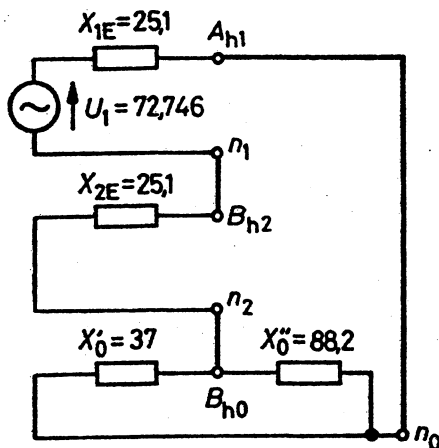
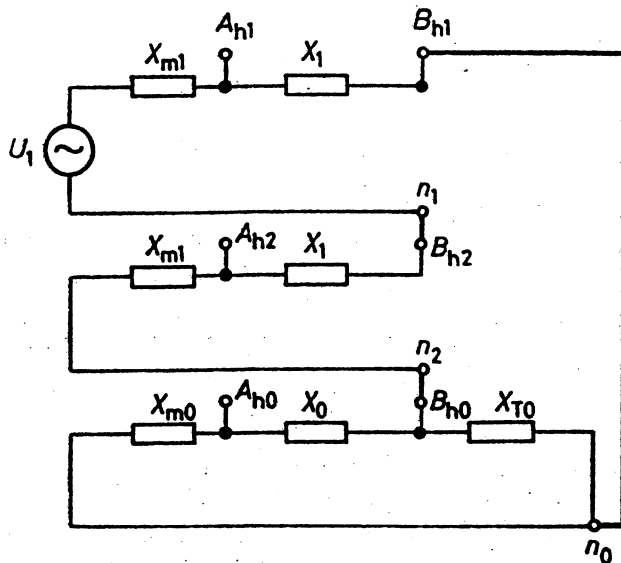
$$U_E = U_{E1} + U_{E2} + U'_{E0} = I_{E1}X_1 + I_{E2}X_2 + I'_{E0}X_0 = -j953,4 \cdot j9,3 - j953,4 \cdot j9,3 - j672,5 \cdot j26 = 35\,218,2 \text{ V.}$$

A B állomás zárlatos fázisának feszültsége zérus.

b) Maximális üzemállapot, FN zárlat az A állomáson

A 8.60. ábrán helyezük át a hibahelyet az A pontra. Az eredő reaktancia

$$X_E = X_{E1} + X_{E2} + \frac{X_{m0}(X_0 + X_{T0})}{X_{m0} + X_0 + X_{T0}} = j15,7 + j15,7 + \frac{j11 \cdot j(26 + 88,5)}{j(11 + 26 + 88,5)} = j41,4 \ \Omega.$$



8.60. ábra.

A 8.59. ábra B pontján fellépő FN zárlat helyettesítő hálózata

A hibahelyi áram szimmetrikus összetevői:

$$I_{E1} + I_{E2} + I_{E0} = -j1757 \text{ A.}$$

A zérus sorrendű áram eloszlása a két gyűjtősín felől:

$$I'_{E0} = -j1603 \text{ A, } I''_{E0} = -j154 \text{ A.}$$

Az A állomás felől folyó zárlati fázisáramok:

$$I_E = I_{E1} + I_{E2} + I'_{E0} = -j(1757 + 1757 + 1603) = -j5117 \text{ A,}$$

$$I_S = a^2 I_{E1} + a I_{E2} + I'_{E0} = (a^2 + a) I_{E1} + I'_{E0} = j1757 - j1603 = j154 \text{ A,}$$

$$I_T = a I_{E1} + a^2 I_{E2} + I'_{E0} = (a + a^2) I_{E1} + I'_{E0} = j1757 - j1603 = j154 \text{ A.}$$

A B állomás felől folyó zárlati fázisáramok:

$$I_R = I_B = I_T = I''_{R0} = -j154 \text{ A.}$$

Az A állomás zárlatos fázisának feszültsége zérus, a B állomásé:

$$U_R = I''_{R0} X_0 = -j154 \cdot j26 = 4004 \text{ V.}$$

c) Minimális üzemállapot, FN zárlat a B állomáson, kikapcsolt transzformátor esetén

Az eredő reaktancia:

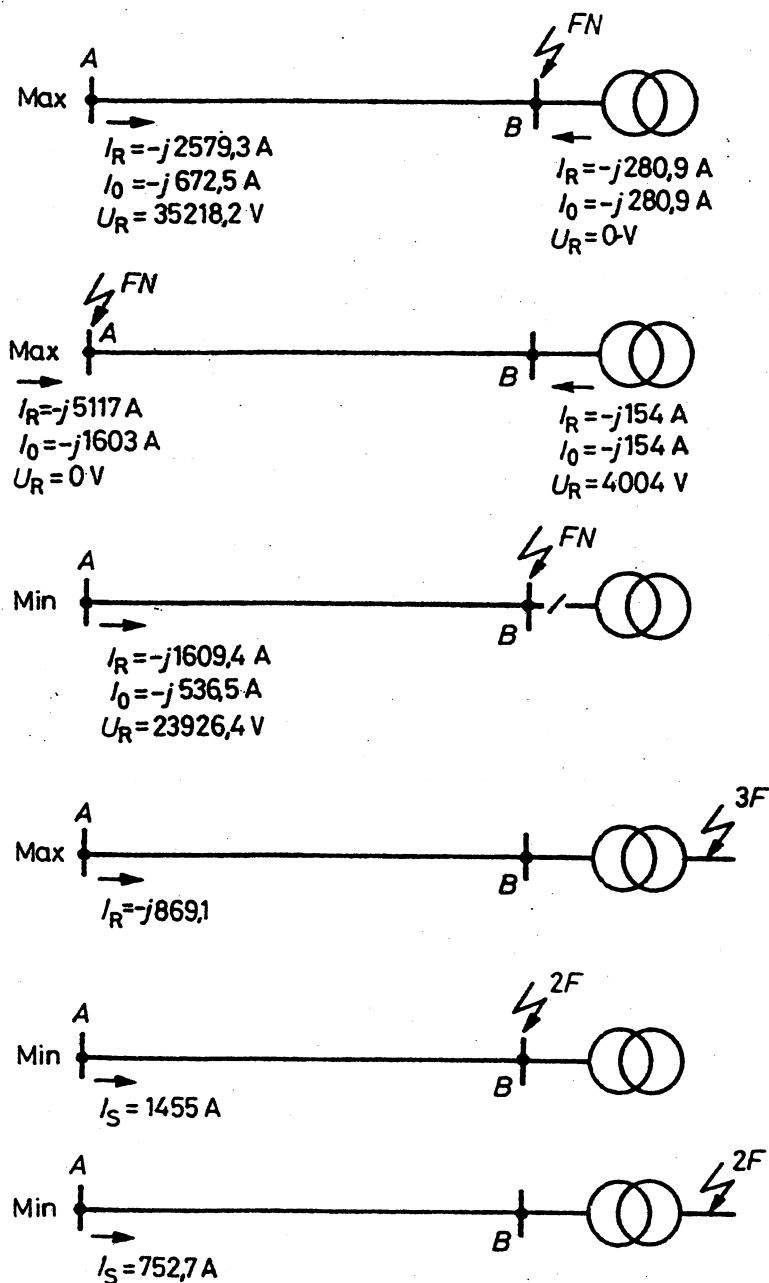
$$X_B = X_{m1} + X_1 + X_{m2} + X_2 + X_{m0} + X_{m0} + X_0 = -j(34 + 9,3 + 34 + 9,3 + 23 + 26) = j135,6 \text{ } \Omega.$$

A zárlatos fázisáram:

$$I_R = \frac{3U_1}{X_B} = -j1609,4 \text{ A.}$$

A zárlatos fázisfeszültség:

$$U_R = \frac{I_R}{3} (X_1 + X_2 + X_0) = \frac{-j1609,4}{3} j(9,3 + 9,3 + 26) = 23926,4 \text{ V.}$$



8.61. ábra. A zárlatszámítás eredményei

d) Maximális üzemállapot, 3F zárlat a B állomás transzformátorának szekunder oldalán

A hálózat eredő impedanciája:

$$X_{E1} = X_{m1} + X_1 + X_{T1} = 15,7 + 9,3 + 58,7 = 83,7 \Omega.$$

A zárlati áram:

$$I_R = I_S = I_T = \frac{U_1}{X_{E1}} = \frac{72\,746}{83,7} = 869,1 \text{ A.}$$

e) Minimális üzemállapot, 2F zárlat a B állomáson

Az eredő pozitív sorrendű reaktancia:

$$X'_{E1} = X_{m1} + X_1 = 34 + 9,2 = 43,3 \Omega.$$

A zárlati áram:

$$I_S = I_T = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{U_1}{X'_{E1}} = \frac{3 \cdot 72\,746}{2 \cdot 43,3} = 1455 \text{ A.}$$

f) Minimális üzemállapot, 2F zárlat a B állomás transzformátorának szekunder oldalán

$$I_S = I_T = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{U_1}{X_{E1}} = \frac{3 \cdot 72\,746}{2 \cdot 83,7} = 752,7 \text{ A.}$$

A zárlatszámítás eredményeit a 8.61. ábrán foglaltuk össze.

A tápponti túláramvédelem beállítása

Kétlépcsős, háromfázisú túláramvédelmet alkalmazunk. Az első fokozat beállítása: A mértékadó legkisebb zárlati áram $I_{1 \min} = 1455 \text{ A}$. (8.1) alapján:

$$I_{be} \cong \frac{I_{1 \min}}{1 + \varepsilon} = \frac{1455}{1 + 0,2} = 1212,5 \text{ A;}$$

(8.2) alapján, mivel $I_{2 \max} = 869,1 \text{ A}$,

$$I_{be} \cong \frac{I_{2 \max}}{1 + \varepsilon} = \frac{869,1}{1 - 0,2} = 1086,4 \text{ A;}$$

(8.3) alapján, mivel $I_S = 280,9 \text{ A}$, és a transzformátor terhelőárama $I_t = 120 \text{ A}$,

$$I_{be} \cong \frac{I_S + I_t}{1 - \varepsilon} = \frac{280,9 + 120}{1 - 0,2} = 501 \text{ A.}$$

500/5 áttételű tápponti áramváltó esetén a beállítást válasszuk $I_{be} = 1100 \text{ A}/11 \text{ A-re}$. A késleltetés $t = 0,0 \text{ s}$.

A második fokozat beállítása: A védelem biztonsággal érzékelje a B oldali transzformátor szekunder oldalán fellépő $I_{\min} = 752,7 \text{ A}$ legkisebb zárlati áramot:

$$I_{be} \cong \frac{I_{\min}}{1 + \varepsilon} = \frac{752,7}{1 + 0,2} = 627,3 \text{ A.}$$

Ne érzékelje a legnagyobb sántaüzemi áramot. (8.4) és (8.6) alapján $k_1 = 2,2$ és $k_v = 0,8$ figyelembevételével

$$I_{ke} \cong \frac{k_1 I_t}{(1 - \varepsilon) k_v} = \frac{2,2 \cdot 120}{(1 - 0,2) \cdot 0,8} = 412,5 \text{ A.}$$

A beállítás legyen: $I_{be} = 500/5 \text{ A}$. A késleltetést a 22 kV-os hálózat késleltetéséhez kell koordinálni.

A tartalék védelem (AZTO) beállítása

A B oldali legkisebb földzárlati áram $3I_{0 \min} = 1609,4 \text{ A}$. A beállítás feltétele:

$$I_{be} \cong \frac{3I_{0 \min}}{1 + \varepsilon} = \frac{1609,4}{1 + 0,2} = 1341,2 \text{ A.}$$

A beállítást $3I_{0 \min} = 1000/10 \text{ A-re}$ választjuk. A legkisebb $t = 0,5 \text{ s}$ késleltetésű karakterisztikát választva (8.48. ábra) a B oldali FN zárlat lekapcsolási ideje: 2,3 s. Az A oldali FN zárlat lekapcsolási ideje: 1,95 s.

A végponti fáziskiválasztó védelem beállítása

A C védelem mértékadó földzárlati árama $3I_{0\min} = 462$ A. A beállítás feltétele:

$$3I_{0be} = \frac{3I_{0\min}}{1+\varepsilon} = \frac{462}{1+0,2} = 385 \text{ A.}$$

250/5 A áttételű áramváltót figyelembe véve a beállítást $3I_{0be} = 350/7$ A-re választjuk.

A fáziskiválasztó feszültségrelek beállítása: a relé biztosan ejtsen el a legtávolabbi FN zárlat esetén,

$$U_{be} \cong \frac{U_{\max}}{1-\varepsilon},$$

ahol $U_{\max} = 4004$ V (8.61. ábra),

$$U_{be} \cong \frac{4004}{1-0,2} = 5005 \text{ V.}$$

A relé biztonsággal húzzon meg a minimális üzemi feszültségnél:

$$U_{be} \cong \frac{k_r U_{n\min}}{1+\varepsilon},$$

ahol $U_{n\min} = 69\,282 \cdot 0,9$ a névleges feszültség, V; $k_r = 0,8$ az ejtőviszony

$$U_{be} \cong \frac{0,8 \cdot 69\,282 \cdot 0,9}{1+0,2} = 41\,569,2 \text{ V.}$$

120/0,1 áttételű feszültségváltó esetén a beállítást

$$U_{be} = 36\,000/30 \text{ V-ra}$$

választjuk.

A tartalék védelem (AZTO) beállítása: Az A oldali legkisebb földzárlati áram $3I_{0\min} = 462$ A. A beállítás feltétele:

$$3I_{0\min} = \frac{3I_{0\min}}{1+\varepsilon} = \frac{462}{1+0,2} = 385 \text{ A.}$$

Ez a beállítás kisebb, mint a maximális sántaüzemi földzárlati áram, ezért sántaüzemi reteszeltést kell alkalmazni. A beállítás legyen

$$3I_{0be} = 350/7 \text{ A.}$$

A sántaüzemi reteszeltés feszültségreleik beállítása megegyezik a C védelem feszültségreleik beállításával.

A legkisebb $t = 0,5$ s késleltetésű karakterisztikát választva (8.48. ábra) az A oldali FN zárlat lekapcsolási ideje 3,0 s. A B oldalé 1,7 s.

A visszkapcsoló automatikák beállítása

Tápponti oldalon: GVA-t és LVA-t alkalmaznak, a GVA kombinált EVA és HVA. Beállítások:

$$t_{HVA} = 1,6 \text{ s}, \quad t_{HVA} = 0,5 \text{ s}, \quad t_{LVA} = 60 \text{ s.}$$

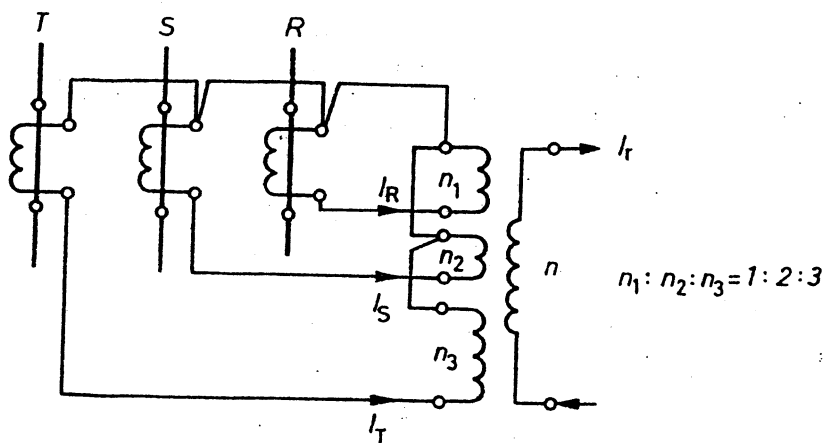
Végponti oldalon: GVA-t és LVA-t alkalmaznak, ami a védelem jellegénél fogva csak EVA, de lépcsős visszkapcsolással. A beállítások:

$$t_{HVA} = 3,0 \text{ s}, \quad t_{LVA} = 60 \text{ s.}$$

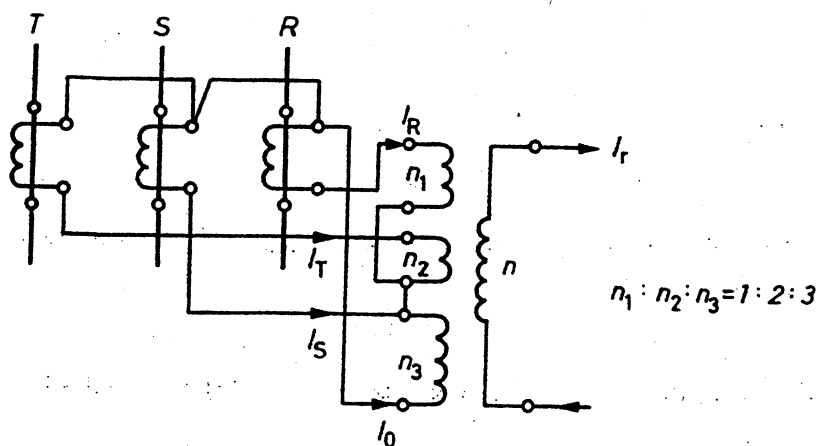
8.4.6. Gyűjtősínvédelem

A 120 kV-os főelosztóhálózat gyűjtősínes állomásaiban a hazai gyakorlatban önálló gyűjtősín-differenciálvédelmet alkalmaznak. A 4.8. alfejezetben ismertetett kis impedanciájú mérőelemű, leágazási áramokkal fékezett differenciálvédelem kerül alkalmazásra nem fázisonkénti kialakításban. A három fázisáramból keveréssel képzett I_r referenciaáramokból van kialakítva az egyfázisú gyűjtősín-differenciálvédelem. Szimmetrikus 5 A, ill. 1 A táplálás esetén, tehát névleges áramnál $I_r = 20$ mA: A keverés miatt a különböző fázisokban fellépő zárlatokat

más-más érzékenységgel érzékeli a védelem. A védelem túlfékezésre hajlamos, ami azt jelenti, hogy a legérzékeltlenebb S fázisban fellépő FN gyűjtősínzárlatkor a kioldóáramhoz képest a fékezőáram igen nagy, és kedvezőtlen beállítás esetén a védelem működése elmarad.



8.62. ábra.
Referenciaáram előállítása
RST keveréssel



8.63. ábra.
Referenciaáram előállítása
RTO keveréssel

A 8.62. ábrán bemutatott keverési módot RST keverésnek nevezik. Ezt a keverési módot inkább kompenzált vagy szigetelt csillagpontú hálózaton használják, ahol a földérintéses zárlatok árama nagyságrendekkel kisebb, mint a fáziszárlatoké. A 8.63. ábra szerint bekötött keverő áramváltóval, az ún. RTO kapcsolással a túlfékezés a hatásosan földelt csillagpontú hálózatokon (tehát pl. 120 kV-on) földérintéses zárlatok esetén kiküszöbölhető.

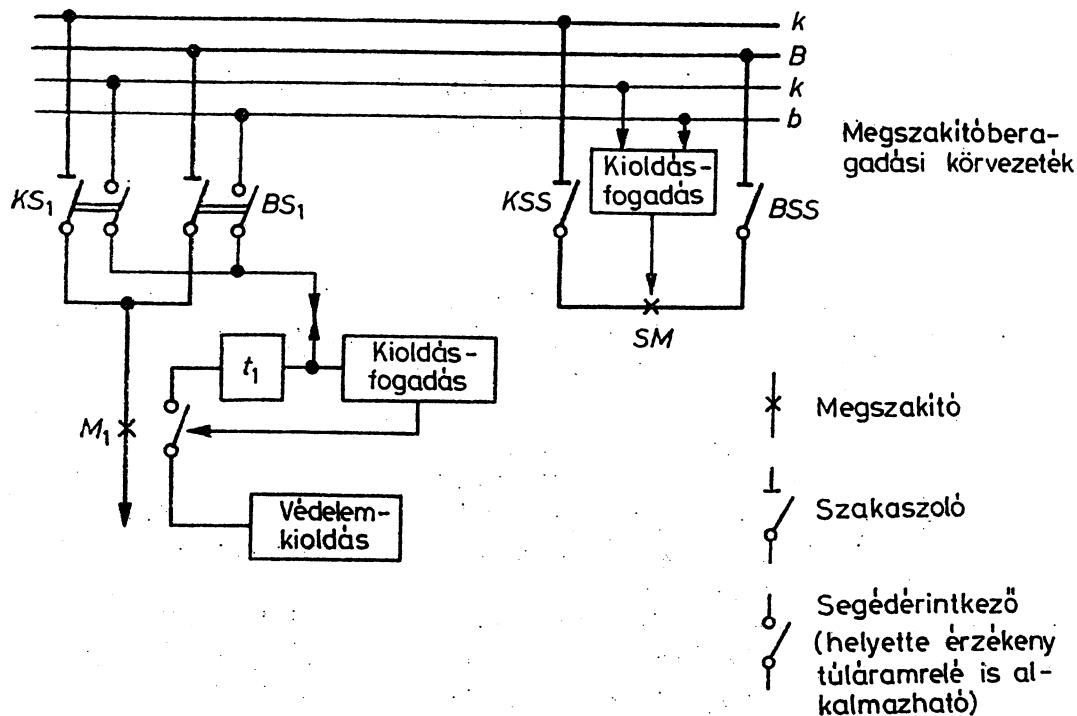
A gyűjtősínvédelem kioldása mindig háromfázisú, definitív és gyűjtősínre szelektív.

8.4.7. Megszakítóberagadási védelem

A megszakítóberagadási védelem alapelve a 3.1.3. szakaszban került bemutatásra. A védelmet minden állomásnál alkalmazzák. Magyarországon az érzékelés alapja a kioldóimpulzus hosszának mérése. A megszakító segédérintkezőjével vagy érzékeny túláramrelével ellenőrzik, hogy a megszakító kikapcsolt-e. Két rendszer ismeretes:

a) Egyedi érzékelésű megszakítóberagadási védelem

A 8.64. ábrán követhető a rendszer működése. A leágazási védelem kioldása M_1 megszakító segédérintkezőn keresztül vagy érzékeny túláramrelé érintkezőjén át t_1 időrelét indít. Ennek lefutása után — gyűjtősínre szelektíven — a megszakítóberagadási védelem kiold. A beragadt

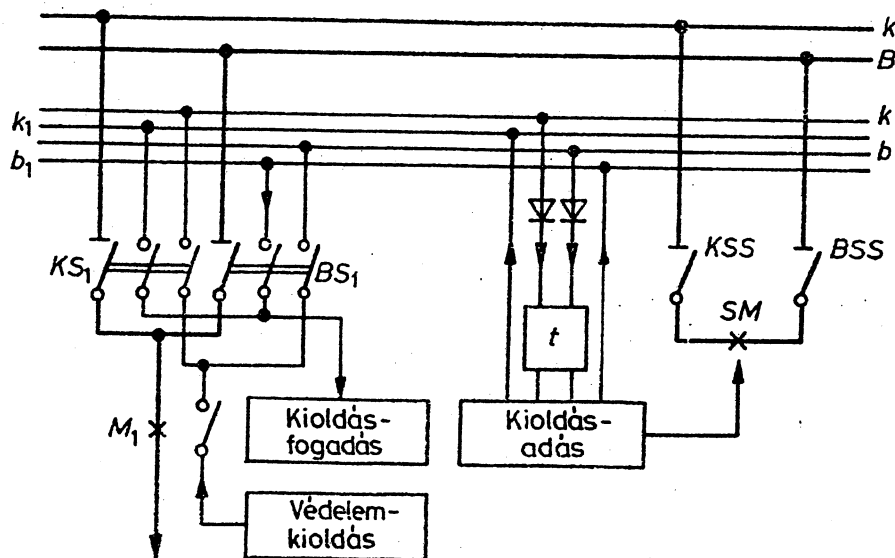


8.64. ábra. Főelosztóhálózati egyedi érzékelésű megszakítóberagadási védelem elvi kapcsolása

megszakítóval azonos gyűjtősínre szakaszolt leágazások és a sínáthidaló egyidejűleg kikapcsolódnak. Az egyedi kialakítású rendszerben minden leágazás egyedi megszakítóberagadási időrelével rendelkezik. A hazai gyakorlatban a késleltetés 0,35...0,5 s.

b) Központi érzékelésű megszakítóberagadási védelem

A 8.65. ábrán vizsgálható a működés. A védelem kioldása az M_1 megszakító segédérintkezőjén vagy érzékeny túláramrelén keresztül a szakaszolóállástól függően k vagy b körvezetékre kerül. A központi t időrelé mind a k , mind a b körvezetékre csatlakozik. Az időrelé lefutása után az SM sínáthidaló megszakító kikapcsolásával egyidejűleg k_1 vagy b_1 körvezetékre kerül a megszakítóberagadási védelem kioldása attól függően, hogy k vagy b indítás volt-e.



8.65. ábra. Főelosztóhálózati központi érzékelésű megszakítóberagadási védelem elvi kapcsolása

8.4.8. Átkapcsoló automatikák

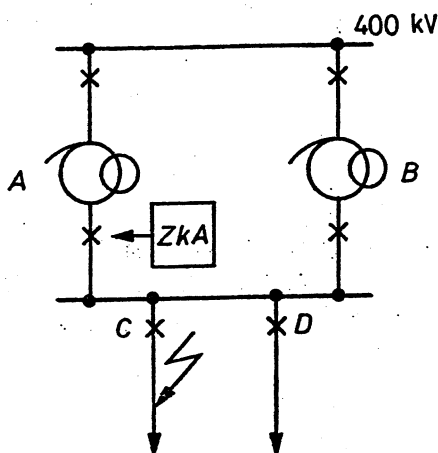
A 120/középfeszültségű főelosztóhálózati állomásokban az 5.2. alfejezetben bemutatott esemény- és állapotvezérlésű automatikákat alkalmazzák a hazai gyakorlatban.

8.4.9. 120 kV-os automatikus zárlatkorlátozás

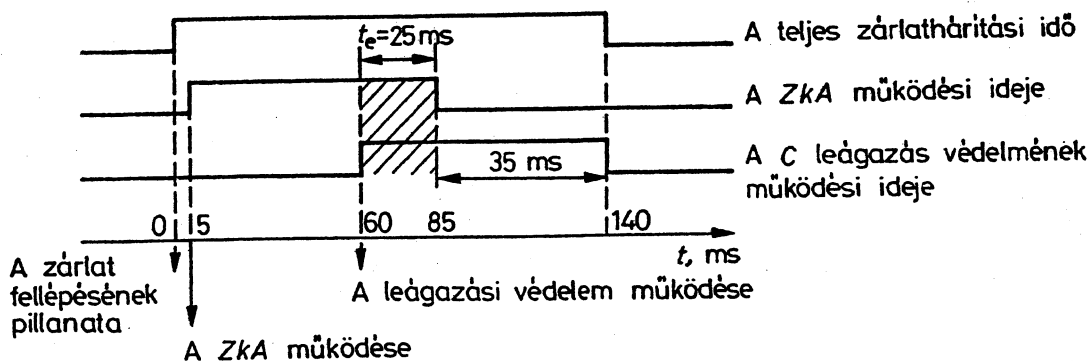
A zárlati teljesítmények korlátozásának alapvető megoldása nagyfeszültségű hálózaton a hálózatok állandó bontása, ill. szuperponált nagyfeszültségű hálózat esetén kisebb feszültségű körzetek kialakítása. Ha ez nem lehetséges, ill. karbantartásos üzemben, átmenetileg zárlatkorlátozó automatika is alkalmazható.

A zárlati áram korlátozását úgy is meg lehet valósítani, hogy az állandóan párhuzamosan kapcsolt betápláló hálózati elemek (transzformátorok, gyűjtősínek, távvezetékek) közül a zárlat fellépésének pillanatában automatikusan kikapcsolják az egyiket (amelyik zárlati áramot hoz). A zárlatkorlátozó kikapcsolás után a lecsökkent zárlati áramnak kisebbnek kell lennie a védendő megszakító megszakítási áramánál.

A régebbi zárlatkorlátozásnál a párhuzamos elem kikapcsolása több tized másodperccel meg kellett, hogy előzze a zárlatos elem kikapcsolását. 2...5 ms működési idejű új zárlatkorlátozó védelmek alkalmazása esetén azonban gyorsítható a rendszer. A működés a 8.66a ábrán követhető. A C leágazásban levő megszakítót akarják védeni. A leágazásban fellépő zárlatra C alapvédelme, és az A booster transzformátornál (más esetben lehet távvezetéknel vagy a sín-



a)



b)

8.66. ábra. Zárlatkorlátozás

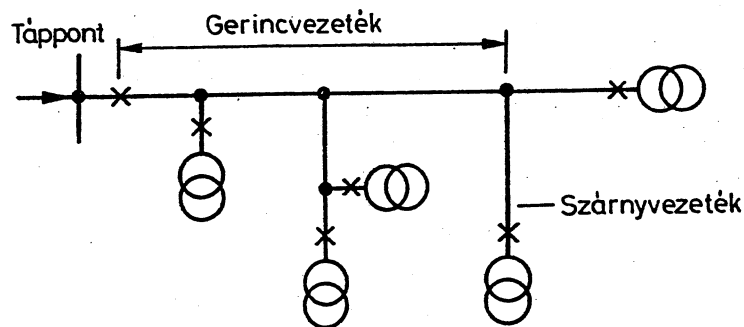
a) ZKA-val ellátott állomás kapcsolása; b) a zárlatkorlátozás időábrája

áthidalóban) felszerelt ZKA zárlatkorlátozó automatika egyszerre szólal meg. Ha pl. a C védelem működési ideje 60 ms, a ZKA működési ideje viszont csak 5 ms, a megszakítók működési ideje 80 ms, akkor a 8.66b ábra szerint $t_e = 25$ ms ideig ég egyidejűleg mindkét megszakítóban az ív, így a ZKA megszakítója 35 ms-mal hamarabb kikapcsol, mint az illetékes C megszakító. Primer zárlati próbák szerint ez elegendő ahhoz, hogy a védendő C leágazási megszakító ne robbanjon fel.

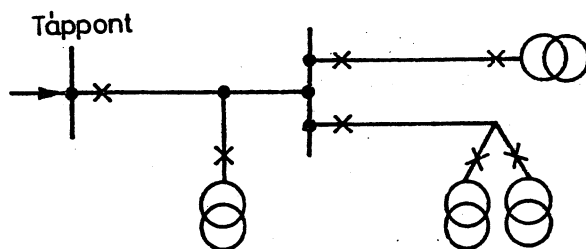
A ZKA kikapcsolását automatikus visszakapcsolás követheti (5.1.3.d pont), így az üzem automatikusan helyreállítható. A visszakapcsolási holtidő 1,0 s-mal kell, hogy hosszabb legyen, mint a leágazásoknál alkalmazott holtidő, így az esetleg sikertelen második zárlathárítás eleve zárlatkorlátozott.

8.5. Középfeszültségű szabadvezetéki elosztóhálózatok védelmei és automatikái

A középfeszültségű szabadvezetéki hálózat üzemi feszültsége Magyarországon 20 kV és 35 kV. A 35 kV-os hálózat hurkolt jellegű, tovább nem fejlődik, távlatban megszűnik. A 20 kV-os hálózat sugarasan üzemel, és erőteljesen fejlődik. A középfeszültségű szabadvezeték-hálózatok többnyire kompenzáltak, de földzárlat idejére átmenetileg hosszúföldeltek. A táppontok döntő többsége 120/20 kV-os állomás. Kevés és csökkenő számban 35/20 kV-os táppont is található. A 20 kV-os sugaras hálózat lehet osztatlan és megszakítókkal aláosztott.



8.67. ábra.
Osztatlan sugaras középfeszültségű hálózat



8.68. ábra.
Osztott sugaras középfeszültségű hálózat

Az osztatlan sugaras hálózat táppontból kiinduló gerincvezetéke közbelső állomás nélkül látja el a fogyasztókat (8.67. ábra). Az osztott sugaras hálózaton a táppontból kiinduló távvezetékek közvetlenül transzformátorokat, ill. állomásokat táplálnak, és ezekből újabb sugaras vezetékek indulnak ki (8.68. ábra).

Tartalékképzés céljából a sugaras hálózaton több táppontot össze lehet kötni, de a távvezetéseket bontják, az üzem mindig sugaras. A különböző lehetséges üzemi elrendezés (pl. változó távvezeték-hosszak) bonyolítja a védelmek beállítását.

8.5.1. Osztatlan, sugaras hálózat fáziszárlat-védelme és a beállítási feltételek

A 8.67. ábra szerinti távvezeték-hálózat egy védelmi szakasz. Az ilyen vezetékrendszer túláramvédelemmel, ill. impedanciavédelemmel védhető. A túláramvédelem akkor alkalmazható, ha a minimális zárlati áram meghaladja a maximális üzemi áramot.

$$I_{v \min} > I_{ü \max}$$

Ha ez a feltétel nem teljesíthető, akkor impedanciavédelmet kell alkalmazni.

A védelmi rendszer háromfokozatú: van pillanatműködésű túláramvédelem (gyors fokozat), késleltetett túláramvédelem vagy impedanciavédelem és tartalék túláramvédelem.

a) Pillanatműködésű túláramvédelem

Feladata a táppont közelében fellépő nagyáramú zárlatok gyors kikapcsolása (gyors fokozat, l. részletesen a 4.3.6. szakaszban). A beállítás *alsó* korlátjai:

- A védelem ne érzékelje a táplált transzformátorok szekunder oldalán fellépő $I_{k \max}$ legnagyobb zárlati áramot.

$$I_{be} \cong \frac{I_{k \max}}{1 - \varepsilon}$$

- A védelem legyen érzéketlen a leágazás $I_{B \max}$ bekapcsolási áramlökésére

$$I_{be} \cong \frac{I_{B \max}}{1 - \varepsilon}$$

$I_{B \max}$ -ot számítással célszerű meghatározni, ekkor $1,6 I_{ü \max}$ vehető figyelembe (l. a 4.3.3. szakaszt).

- A védelem ne működjék az $I_{FT \max}$ földzárlati tranziens áramokra:

$$I_{be} \cong \frac{I_{FT \max}}{1 - \varepsilon}$$

$I_{FT \max}$ értékét mérésekkel célszerű meghatározni. Mértékadó értéke 20 kV-on 300...700 A.

A beállítás *felső* korlátjai:

- Maximális betáplálás esetén se legyen a vezeték termikusan veszélyeztetve (l. a (3.3) összefüggést)

$$I_{be} \cong \frac{1}{1 + \varepsilon} \frac{q \cdot 10^3}{B \sqrt{t_{\max}}} \text{ A,}$$

ahol q a vezeték keresztmetszete, mm^2 ; B a (3.3) egyenlet szerinti. Táblázatból vehető értéke pl. alumínium sodronyra $12,2 \text{ mm}^2/\text{kA} \cdot \text{s}^{1/2}$; t_{\max} az *első* és a *GV A utáni* zárlathárítás (védelem + megszakítás) idejének összege.

- Ne ütközzön a középfeszültségű gyűjtősínvédelem $I_{s \text{ be}}$ beállításával (l. a (4.16) egyenletet)

$$I_{be} \cong \frac{1 - \varepsilon}{1 + \varepsilon} I_{s \text{ be}}$$

b) Késleltetett túláramvédelem

A védelem feladata az, hogy a teljes vezeték, tehát a gerinc-, ill. a szárnyvezetékek legkisebb áramú zárlatait is érzékelje és kikapcsolja. A beállítás *alsó* korlátjai:

A védelem ne érzékelje a táplált transzformátorok szekunder oldali legnagyobb $I_{k \max}$ zárlati áramát.

$$I_{be} \cong \frac{I_{k \max}}{1 - \varepsilon}.$$

– A védelem legyen érzéketlen a legnagyobb $I_{ü \max}$ üzemi áramra

$$I_{be} \cong \frac{I_{ü \max}}{1 - \varepsilon} \frac{k_f}{k_v}.$$

Az $I_{ü \max}$ számításánál figyelembe kell venni a lehetséges üzemzavari túlterhelődéseket, a 4.3.3. szakasz szerinti k_f felfutási tényezőt és a k_v ejtőviszonyt is.

– A védelem ne működjön az $I_{FT \max}$ földzárlati tranziens áramokra:

$$I_{be} \cong \frac{I_{FT \max}}{1 - \varepsilon}.$$

Ha az egyenlet nem teljesíthető, akkor az időkésleltetést kell növelni.

– A védelem ne működjön az $I_B \max$ bekapcsolási áramlökésre:

$$I_{be} \cong \frac{I_B \max}{1 - \varepsilon}.$$

Ha az egyenlet nem teljesíthető, akkor az időkésleltetést kell növelni.

A beállítás *felső* korlátja:

– A védelem biztonsággal érzékelje a vezeték legkisebb $I_v \min$ zárlati áramát

$$I_{be} \cong \frac{I_v \min}{1 + \varepsilon}.$$

A túláramvédelem késleltetése általában 1 s, a zárlat fellépésekor begyorsított, de előkésleltetett: 100 ms. Erre az előkésleltetésre azért van szükség, hogy a táplált transzformátorok biztosítóhoz, a levezetők, ill. oltócsövek működéséhez képest szelektivitást biztosítsunk. Ezt kell növelni, ha az $I_{FT \max}$, ill. $I_B \max$ ütköző feltételt ad.

Ha a túláramvédelem beállításának alsó és felső korlátjai ütköznek, impedanciavédelmet kell használni.

c) Impedanciavédelem

A vezeték védelmére a 4.5. alfejezet a) pontja szerinti, háromfázisú, egylépcsős impedanciavédelmet kell alkalmazni. A védelemnek a 4.6.3. szakaszban ismertetett jelentős ívtartalékkal kell rendelkeznie. A védelem ugyanolyan beavatkozást végez, mint a túláramvédelem.

d) Tartalék védelem

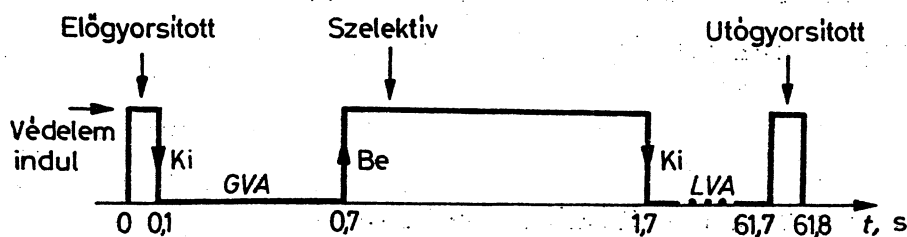
A tartalék védelem feladata az alapvédelmi működés elmaradásakor a zárlati áram hatásának időbeli korlátozása, a katasztrofális pusztulás elkerülése. Beállítása:

$$I_{be} \cong \frac{I_{v \min}}{1 + \varepsilon}.$$

A késleltetése egy szelektív időlépcsővel nagyobb, mint a b) pont szerinti túláramvédelem késleltetése. $I_{v \min}$ értékének megállapításánál figyelembe kell venni a kisegítésként megnövelhető teljes hálózathosszat.

e) Automatikus visszakapcsolás

A hazai közép feszültségű hálózaton (l. az 5.1.3. szakaszt) kétlépcsős visszakapcsolási rendszert alkalmaznak. Sajátos megoldás, hogy az egyes ciklusokban a túláramvédelem, ill. az impedanciavédelem más-más késleltetéssel old ki. Mint az előző d) pontból látható, az első kioldás kb. 100 ms-ra előgyorsított. Ezt GVA követi kb. 0,6 s holtidővel. A GVA után a kioldás szelektív időlépcsővel történik, amelynek késleltetése általában 1,0 s. Az LVA holtideje 60 s. Az LVA után fellépő zárlat hátrítása vagy ugyancsak szelektív 1 s késleltetésű, vagy 0,1 s-ra utógyorsított. A védelem indulásait egy sikertelen zárlathátrítást feltételezve a 8.69. ábra mutatja.



8.69. ábra. 20 kV-os leágazás automatizált zárlathátrításának programja

Fáziszárlatok esetén az elő- és utógyorsított kioldásokat azért alkalmazzák, hogy a hibahelyi sérülés csökkenjen. A szelektív kioldásra a bekapcsolási áramlökések okozta téves kioldások elkerülése, ill. a hálózaton levő primer kioldókhoz viszonyított szelektivitás érdekében van szükség.

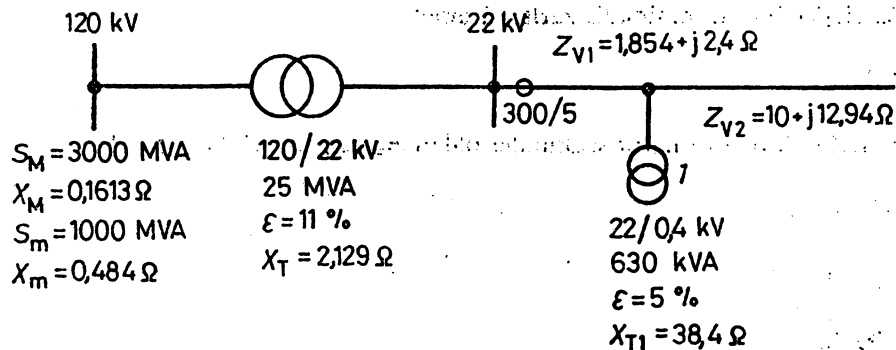
A kétlépcsős visszakapcsoló automatikát a pillanatműködésű túláramvédelem is indítja. A tartalék védelem definitív kioldást ad, nem indít automatikát.

8.5.2. Osztott, sugaras hálózat fáziszárlat-védelme

A védelmi és a visszakapcsoló automatikarendszer megegyezik a 8.5.1. szakaszban ismertetett rendszerrel. A tipikus hálózatot a 8.68. ábra mutatja. A pillanatműködésű gyors fokozatot úgy kell beállítani, hogy ne érzékelje a külön védelemmel védett szárnyvezeték $I_{sz \max}$ legnagyobb zárlati áramát, de érzékelje a táppont elején az $I_{T \min}$ legkisebb zárlati áramot.

$$\frac{I_{sz \max}}{1 - \varepsilon} \cong I_{be} \cong \frac{I_{T \min}}{1 + \varepsilon}.$$

A túláram, ill. impedanciavédelem, valamint a tartalékvédelem beállítása megegyezik a 8.5.1. szakaszban elmondottakkal.



8.70. ábra. Primer kapcsolás 20 kV-os tápponti védelem beállításszámításához

8.7. példa. Határozzuk meg a 8.70. ábra szerinti osztatlan, sugaras, 20 kV-os távvezeték tápponti védelmi rendszerének beállítását!

Zárlatszámítás

Maximális 3F zárlati áram a 22 kV-os gyűjtősínen: Az eredő reaktancia:

$$X_{EM} = jX_M + jX_T = j(0,1613 + 2,129) = j2,2903 \Omega,$$

$$I_{z22} = \frac{U}{\sqrt{3}jX_E} = \frac{22}{\sqrt{3} \cdot j2,2903} = -j5,545 \text{ kA}.$$

Maximális 3F zárlati áram az I transzformátor 0,4 kV-os gyűjtősínjén. Az eredő impedancia:

$$Z_E = jX_{EM} + Z_{v1} + jX_{T1} = j2,2903 + 1,854 + j2,4 + j38,4 = 1,854 + j43,09 \Omega,$$

$$I_{K \max} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_E} = \frac{22}{\sqrt{3}(1,854 + j43,09)} = 0,295 \text{ A } /87,5^\circ.$$

Minimális 2F zárlati áram a 22 kV-os gyűjtősínen. Az eredő impedancia:

$$X_{Em} = jX_m + jX_T = j(0,484 + 2,129) = j2,613 \Omega,$$

$$I_{z22m} = \frac{U}{\sqrt{3}jX_{Em}} \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{22}{\sqrt{3} \cdot j2,613} \frac{\sqrt{3}}{2} = -j4,214 \text{ kA}.$$

A távvezeték végén fellépő minimális zárlati áram. Az eredő impedancia:

$$Z_v = jX_{Em} + Z_{v1} + Z_{v2} = j2,613 + 1,854 + j2,4 + 10 + j12,1 = 11,85 + j17,91 \Omega.$$

$$I_{v \min} = \frac{\sqrt{3} \cdot U}{2 \sqrt{3} Z_v} = \frac{\sqrt{3} \cdot 22}{2 \sqrt{3}(11,857 + j17,91)} = 0,591 \text{ kA } /56^\circ.$$

A távvezeték maximális terhelőárama:

$$I_{ü \max} = 200 \text{ A}.$$

Mivel a biztonsági tényező, a felfutási tényező és az ejtőviszony figyelembevételével is

$$I_{ü \max} < I_{v \min},$$

tehát túláramvédelem alkalmazható.

A pillanatműködésű gyors fokozat beállítása

A maximális kikapcsolási idő $t_{\max} = 1,1$ s (előgyorsítási idő 0,1 s és GVA utáni szelektív idő 1,0 s), így a megengedhető termikus áram ötvözött alumínium sodronyra:

$$I_{be} \leq \frac{A}{B \sqrt{t_{\max}}} \cdot 10^3 = \frac{120 \cdot 10^3}{12,2 \cdot \sqrt{1,1}} = 9378 \text{ A}.$$

Az I_{z22} maximális zárlati áram ennél kisebb, tehát a védelem termikusan megfelel.

Biztonsággal érzékelje a vezeték elején fellépő minimális zárlati áramot

$$I_{be} \cong \frac{I_{z22m}}{1+\varepsilon} = \frac{4214}{1+0,2} = 3512 \text{ A.}$$

A védelem ne érzékelje a legközelebbi transzformátor szekunder oldali legnagyobb zárlati áramát:

$$I_{be} \cong \frac{I_{k \max}}{1-\varepsilon} = \frac{295}{1-0,2} = 368,75 \text{ A.}$$

A bekapcsolási áramtól történő elhangolás:

$$I_{be} \cong \frac{1,6I_{u \max}}{1-\varepsilon} = \frac{1,6 \cdot 200}{1-0,2} = 400 \text{ A.}$$

A védelem beállítását válasszuk $I_{be} = 1200/20$ A értékre, ami kielégíti az alsó és felső korlátokat.

Késleltetett túláramvédelem beállítása

A védelem biztonsággal érzékelje a vezeték legkisebb zárlati áramát:

$$I_{be} \cong \frac{I_{v \min}}{1+\varepsilon} = \frac{591}{1+0,2} = 492,5 \text{ A.}$$

A védelem ne érzékelje a legnagyobb táplált transzformátor zárlati áramát:

$$I_{be} \cong \frac{I_{k \max}}{1-\varepsilon} = \frac{295}{1-0,2} = 368,75 \text{ A.}$$

A védelem ne érzékelje a legnagyobb üzemi áramot.

$$I_{be} \cong \frac{I_{u \max}}{1-\varepsilon} \frac{k_t}{k_v} = \frac{295}{1-0,2} \frac{1,3}{0,8} = 406,25 \text{ A.}$$

A védelem ne működjön a bekapcsolási áramlökésekre:

$$I_{be} = \frac{1,6I_{u \max}}{1-\varepsilon} = \frac{1,6 \cdot 200}{1-0,2} = 400 \text{ A.}$$

A beállítást válasszuk $I_{be} = 420/7$ A értékre. A védelem szelektív késleltetése: 1,0 s, előgyorsításkor: 0,1 s.

A tartalék védelem beállítása

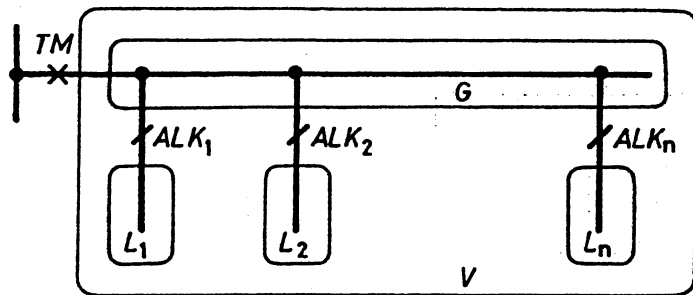
$$I_{be} \cong \frac{I_{v \min}}{1+\varepsilon} = \frac{591}{1+0,2} = 492,5 \text{ A.}$$

A beállítást válasszuk $I_{be} = 450/5,7$ A értékre, a késleltetés: 1,5 s.

8.5.3. A végleges kikapcsolások hatásának csökkentése a szárnyvezetékek automatikus leválasztásával

A hazai statisztikai adatok szerint a kétlépcsős visszakapcsolással támogatott zárlathárító rendszerben a GVA eredményessége 73%, az LVA ereményessége 17%, és a végleges kioldás 10% (1. az 5.1.3. szakaszt). A végleges kikapcsolások a sugaras táplálás következtében közvetlen fogyasztói kieséssel járnak. A kiesett kWh mennyiségét csökkenteni lehet a gerincvezetésekről leágazó szárnyvezetékekbe telepített ALK automatikus leválasztó kapcsoló vagy más néven szünetkapcsoló alkalmazásával (8.71. ábra). A TM tápponti megszakító kétlépcsős visszakapcsolási ciklusának közepén, a GVA utáni kioldáskor az ALK szárnyvezetéki zárlatnál már két zárlatot számlál meg. A második megszűnése után, tehát a TM tápponti megszakító *LVA holtideje alatti* feszültségszünetben az ALK leválasztja a sérült szárnyvezetékét. Ennek a megoldásnak három hatása van:

- LVA után végleges kioldás TM-nél csak gerincvezetéki zárlatra lép fel.
- Az ALK-val felszerelt szárnyvezetékek ki vannak zárva egy LVA-ból, ez kedvezőtlen. E hátrányt a külföldi gyakorlatban három ciklusú visszakapcsolással oldják fel (5.1.3. szakasz).



- TM tápponti megszakító
 ALK automatikus leválasztó kapcsoló
 n ALK -k száma
 G gerincvezeték hossza, km
 L leágazások hossza, km
 V a vonal teljes hálózata hossza, km

8.71. ábra.

Szünetkapcsolók vizsgálatának modellje

– A végleges kikapcsolás a TM -ről ellátott fogyasztói területnek csak egy kis, a zárlatos szárnyvezetékéről ellátott részét érinti, ez javítja a gerincvezeték és a nem zárlatos szárnyvezetékek üzemfolytonosságát.

Az ALK alkalmazásának eredményességét a gerincvezeték és a szárnyvezetékek aránya, ill. a szárnyvezetékek száma erőteljesen befolyásolja. Ezt a 8.71. ábrán látható modellen lehet szemléletesen megvizsgálni. Látható, ha $L_1 = L_2 = \dots = L_n = L$

$$V = G + nL$$

Felvéve:

- a GVA sikeressége $A = 0,73$,
 az LVA sikeressége $B = 0,17$,
 végleges kioldás $C = 0,1$.

ALK alkalmazása nélkül az eredeti végleges kikapcsolás

$$N_{Er} = V[1 - (A + B)] = VC$$

ALK alkalmazása szerint a végleges kikapcsolás a gerincvezetéken megegyezik a korábbival:

$$G[1 - (A + B)].$$

ALK alkalmazása esetén a végleges kikapcsolás a szárnyvezetéken

$$L(1 - A).$$

ALK esetén az új végleges kikapcsolás

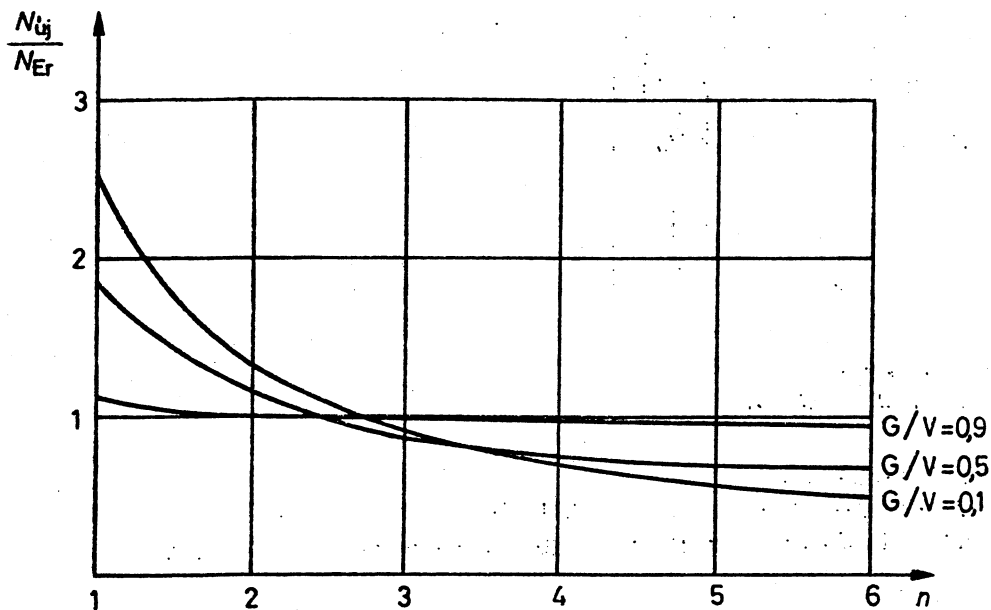
$$N_{új} = G[1 - (A + B)] + L(1 - A).$$

Vizsgáljuk meg N_{Er} és $N_{új}$ arányát!

$$\frac{N_{Er}}{N_{új}} = \frac{V[1 - (A + B)]}{G[1 - (A + B)] + L(1 - A)}$$

A és B értékét behelyettesítve

$$\frac{N_{Er}}{N_{új}} = \frac{1}{\frac{G}{V} + \frac{2,7}{n} \left(1 - \frac{G}{V}\right)}$$



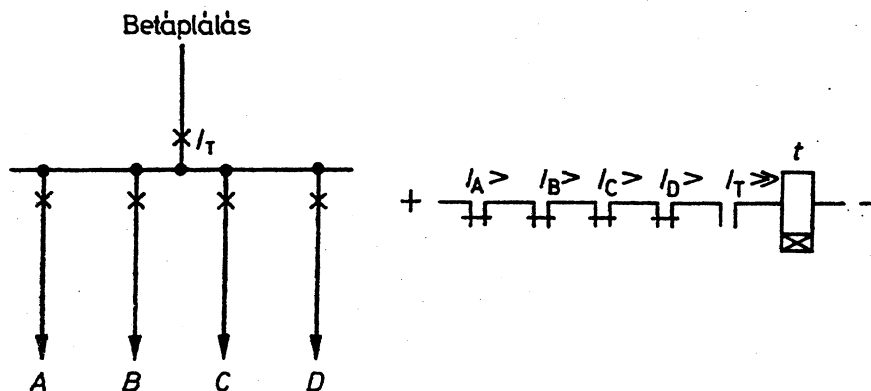
8.72. ábra. A végleges kioldás a szünetkapcsolók számának függvényében

Különböző G/V arányok és n értékek esetén a viszonyokat a 8.72. ábra mutatja. Megállapítható, hogy az ALK-k számának növelésével a végleges kikapcsolások száma csökken. A csökkenés meredekségét a gerinc- és szárnyvezetékek aránya befolyásolja. A G/V arány 0,1...0,5 közötti értékeknél és $n = 3$ -nál nagyobb ALK szám esetén várható a végleges kikapcsolási szám érdemi csökkenése.

8.5.4. Gyűjtősínvédelem

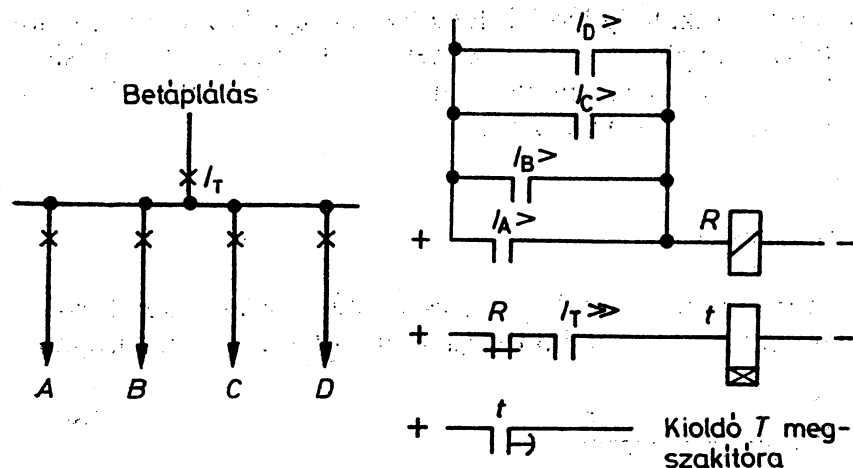
A középfeszültségű gyűjtősínek védelmére logikai reteszelésű, ún. egyenáramú gyűjtősín-differenciálvédelmet alkalmaznak (l. a 4.8.3. szakasz *b*) pontját és a 4.65. ábrát). Két megoldása ismeretes:

- A 8.73. ábrán bemutatott elvi kapcsolásnál a leágazási túláramrelék soros nyugalmi érintkezői reteszelik a betáplálási túláramrelét. Ez gyors reteszfeltételt ad.



8.73. ábra. Egyenáramú gyűjtősínvédelem elvi kapcsolása a leágazások védelmeinek nyugalmi érintkezőivel

- A 8.74. ábrán a leágazási túláramrelék munkaérintkezői párhuzamosan egy R reteszrelét húznak meg, amelynek nyugalmi érintkezője akadályozza meg a betáplálás I_T túláramreléjének kioldását.



8.74. ábra. Egyenáramú gyűjtősínvédelem elvi kapcsolása a leágazások védelmeinek munkaáramú érintkezőivel

A külföldi gyakorlatban tokozott középfeszültségű berendezésekben villamosív-érzékelőket alkalmaznak. Ezek nagyteljesítményű ív észlelésekor a betáplálást késleltetés nélkül kikapcsolják. Működésük gyors, kisebb mint 20 ms, megakadályozva a tokozás nagy kiterjedésű sérülését, átégését.

8.5.5. Megszakítóberagadási védelem

Minden olyan esetben, amikor a betáplálás védelme nem tud távoli tartalékokat adni az egyes sugaras leágazásoknak, egyetlen leágazási megszakító beragadása védelmi holtávot okoz. Ezt akadályozza meg a megszakítóberagadási védelem, ami a már ismertetett, megszakító-segédérintkezővel ellenőrzött kioldás hosszának mérésén alapul. A késleltetés nem több, mint 0,5 s.

A védelmi holtáv megszüntetésére alkalmazható leágazásonként beépített másik védelem, amely emelt késleltetéssel a táptranzformátort kapcsolja ki.

8.5.6. Sugaras hálózatok földzárlatvédelme

A hatásosan nem földelt, tehát a hazai gyakorlatban is alkalmazott hálózatokon, a rövidzárlatvédelmek a rövidzárlatinál sokkal kisebb áramú földzárlatokat nem érzékelik. Ezeknek a zárlatoknak hárítására ezért önálló földzárlatvédelmi rendszert kell létesíteni. Mivel ezeken a hálózatokon a földzárlat nem rövidzárlat, így az üzem gyakran kikapcsolás nélkül is fenntartható. Ez azonban nem teljesen veszélytelen, ugyanis

- A földzárlat helyén közvetlen életveszély van.
- A két ép fázis feszültsége megemelkedik. Az emelkedés értéke $\left[\frac{x_0}{x_1} \right] \gg 1$ esetén kb. $\sqrt{3}$ -szoros. Ez rendkívüli mértékben megnöveli a kettős földzárlatok valószínűségét.

E hátrányok és veszélyek miatt célszerű lenne minden földzárlatot a védelmi rendszerrel kikapcsolni. Egyoldalról ellátott fogyasztók esetén a magyarországi gyakorlatban megengedik ugyan a tartós földzárlatos üzem, de a fontos fogyasztók más oldalról történő ellátása után célszerű ezt a lehető leggyorsabban megszüntetni.

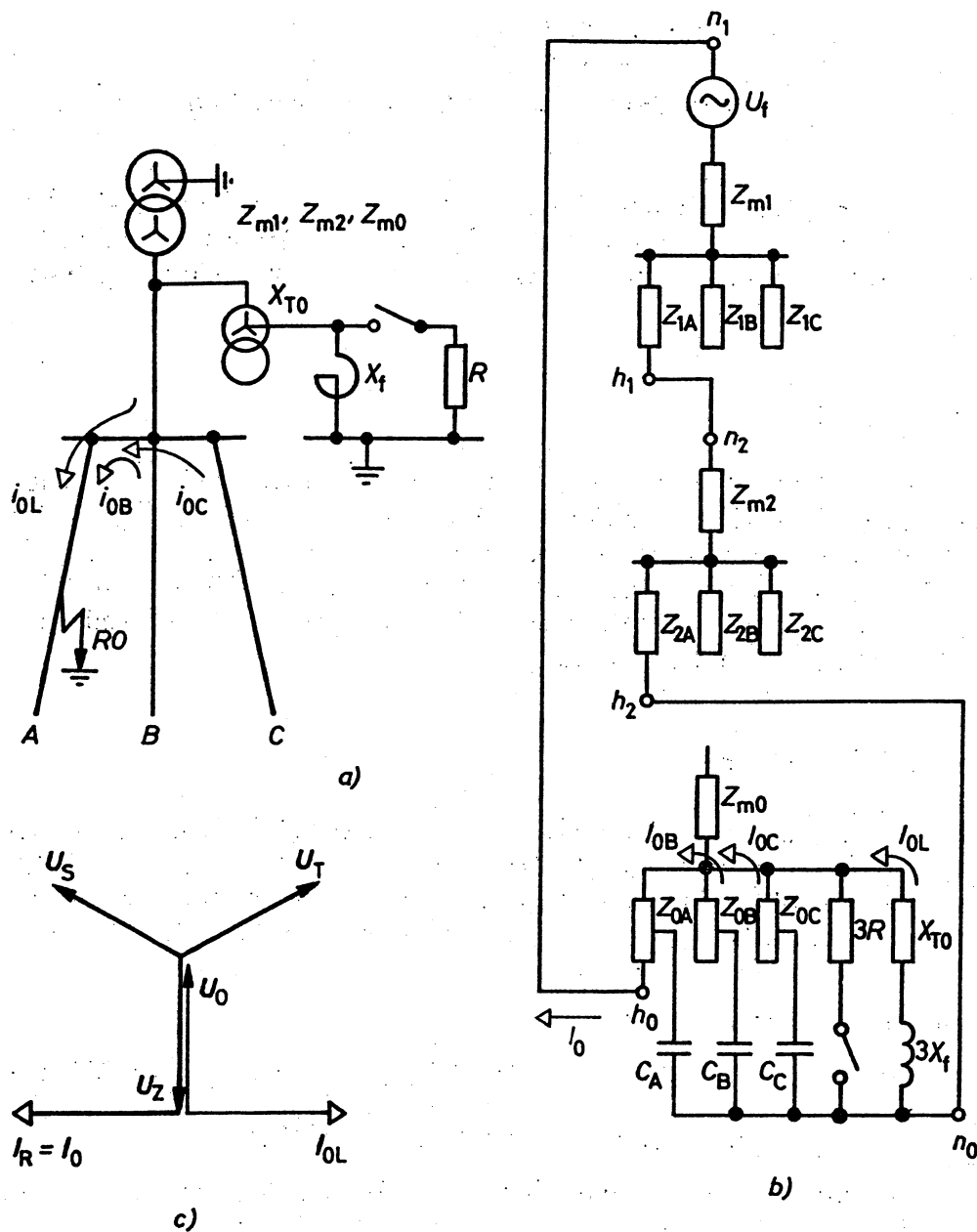
A földzárlatvédelmi módszerek a következők:

a) Zérus sorrendű feszültség érzékelése

Földzárlatkor jelentős U_0 zérus sorrendű feszültség lép fel. Ez a feszültség a táppontban is jól érzékelhető egy olyan feszültségváltóval, amelynek szekunder tekercsei nyitott deltakötésben vannak. Az U_0 feszültség csak arról ad információt, hogy a hálózaton valahol földzárlat van, ezért csak mint nem szelektív földzárlatjelzés alkalmazható.

b) Zérus sorrendű teljesítményirány érzékelése

A 8.75 ábrán látható hálózaton a c ábra szerint alakul az U_0 és a hibás A leágazáson folyó I_0 áram. Ha a hálózat szigetelt csillagpontú, akkor induktív I_{0L} áram nincs. A hibás leágazás



8.75. ábra. Egyfázisú földzárlat

a) primer kapcsolat; b) a földzárlat helyettesítő kapcsolása; c) a földzárlati vektorábra

kiválasztható egy olyan irányrelével, ami I_0 -ra és U_0 -ra van kapcsolva, és a belső szöge $\psi = 90^\circ$, mivel az összes sugaras leágazáson a gyűjtősín felé, míg a zárlatos leágazáson a vonal felé irányul a kapacitív, zérus sorrendű teljesítmény.

Ha hosszú földelt a hálózat, akkor egy R rezisztencia van bekapcsolva a csillagpont és a föld közé. Ilyen esetben a zérus sorrendű áramnak jelentős hatásos összetevője is van, ezért $\psi = 0^\circ$ -os belső szögű irányrelét célszerű használni. (Célszerű a néhány fokos kapacitív belső szög, mert így az irányrelé működése stabilabb.)

A zérus sorrendű teljesítményirány érzékelésének nagy előnye, hogy nincs holtávja. Hátránya viszont, hogy a földzárlati tranziensekben levő felharmonikus áramok és feszültségek hibás reteszeltést, ill. az ép leágazásban felesleges kioldást is okozhatnak. Ez késleltetéssel oldható fel. További hátrány, hogy viszonylag bonyolult a helyes teljesítményirány meghatározása az üzembehelyezés során.

c) Zérus sorrendű áram érzékelése

A 8.75b ábrán látható, hogy a hibahely I_0 zérus sorrendű árama a hálózat zérus sorrendű elemein folyó zérus sorrendű áramok összege. Sugaras hálózaton a zárlatos leágazásban összegeződnek ezek az áramok. Olyan hálózaton, ami szigetelt, de kellően nagy a kapacitása vagy hosszúföldelt, vagy kompenzált, de földzárlatkor átmenetileg hosszúföldelt, a zérus sorrendű áram érzékelésével megoldható a szelektív földzárlathárítás.

d) A földzárlati tranziensek érzékelése

A hatásosan nem földelt csillagpontú hálózatokon a földzárlat fellépésének pillanatában a zárlatos fázis feszültségének csökkenése, a két ép fázis feszültségének megnövekedése a hálózat kapacitásait áttöltődésre kényszeríti. Ennek az áttöltődési folyamatnak a jellemzőit érzékelve alakítható ki szelektív földzárlatvédelmi rendszer. Az érzékelési módok lehetnek:

— A leágazások zérus sorrendű tranziens áramhulláma felfutási meredekségének összehasonlítása, ill. az érzékelt mennyiségtől függő késleltetése.

— A leágazások zérus sorrendű tranziens áramainak amplitúdó-összehasonlítása, ill. az érzékelt mennyiségtől függő késleltetése.

— A leágazások zérus sorrendű tranziens áramhullámának kezdő polaritásának összehasonlítása.

Az érzékelés alapja az, hogy a legnagyobb változások, ill. értékek a zárlati helyhez legközelebb levő leágazásokban vannak. Hátránya ennek a rendszernek, hogy működése gyakran bizonytalan, és hogy csak feszültség alatt levő hálózaton működik helyesen. Bekapcsoláskor, visszakapcsoláskor vagy légköri túlfeszültségek hatására fellépő földzárlatkor elvileg sem megbízható a működés.

Magyarországon a sugaras közepfeszültségű hálózatokon a zérus sorrendű áramérezékelésen alapuló földzárlat-érezékelés szokásos. Ez úgy történik, hogy a 8.75a ábra szerinti primer kapcsoláson látható kompenzáló tekercset az R ellenálláson keresztül átmenetileg söntölve, a földzárlati áramot védelmek által jól érzékelhető szintre emelik. 20 kV-on 100 A (esetleg 200 A), 35 kV-on 100 A átmeneti földzárlati áramnövelést alkalmaznak. A földzárlatot az U_0 zérus sorrendű feszültség megjelenésével érzékelik. Ekkor $t_1 = 2 \dots 5$ s-ig a kompenzálás ívöltő hatásának kivárása után az R ellenállás bekapcsolásával a földzárlati áramot megnövelik. Ennek segítségével a hibás leágazás kiválasztható.

A *külföldi gyakorlatban* zérus sorrendű teljesítményirány-mérést, vagy 20 kV-os szabadvezeteki hálózaton 300 A-es földzárlati áramnövelést is alkalmaznak.

e) A földzárlatok hártásának automatizálása

A szelektíven kiválasztott földzárlatos vonal kikapcsolásával és kétlépcsős visszakapcsolásával a fáziszárlatokhoz hasonló eredményességgel lehet a földzárlatokat is megszüntetni. Ennek a megoldásnak az a nagy hátránya, hogy a kikapcsolás a teljes leágazási fogyasztói terület zavartatásával jár.

A másik megoldás a földzárlatos fázisnak a tápállomáson történő söntölése, azaz egysarkú zárlatképzés létrehozása. Azon rövid idő alatt (0,5...1,0 s), amíg a mesterséges földzárlatot létrehozzák, a hibahelyen egyáltalán nem, vagy csak nagyon kis áram folyik. Ha a földzárlat múlt jellegű, ez alatt az idő alatt megszűnik. Tartós földzárlat esetén a szelektív földzárlat-védelmi rendszerrel kell a hibás vonalat kiválasztani.

8.5.7. Hurkolt hálózatok fáziszárlat-védelmei és automatikái

A hurkolt hálózat zárlati viszonyai bonyolultabbak, mint a sugaras hálózaté. Az alapvető eltérés abból adódik, hogy míg a sugaras hálózaton a zárlati teljesítmény egyirányú, addig a hurkolt hálózaton az irány különböző lehet.

A hurkolt hálózaton a következő fáziszárlat-védelmeket alkalmazzák:

– *Irányított túláramvédelem* (l. részletesen a 4.2. alfejezetben és 4.3.8. szakaszban). Csak akkor célszerű alkalmazni, ha a védelem holtávmentes. A hurkolt hálózatban levő alállomások számának növekedésével a kioldási idő nagyon nagy lehet.

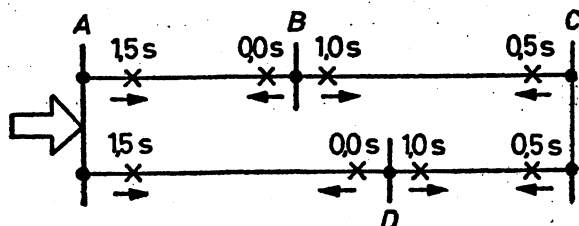
– *Távolsági védelem* (l. részletesen a 4.6. alfejezetben). A leggyakrabban alkalmazott védelem a középfeszültségű hurkolt hálózatokon. Ébresztőelemei általában túláramrelék, amelyek beállítását úgy kell megválasztani, hogy a védett szakasz legkisebb zárlatait is érzékelve a távolsági védelmet méréskész állapotba hozzák, de ne érzékeljék a legnagyobb terhelési áramokat.

– *Szakaszvédelem* (l. részletesen a 4.7.3. szakaszban). Hurkolt hálózaton ez a legjobb védelem, mert működési elvéből adódóan szelektív. Hátránya, hogy drága és végpontok közötti összeköttetést igényel.

A hazai gyakorlatban a 35 kV-os hálózat hurkolt jellegű. Fáziszárlat-védelmi rendszere alapvetően távolsági védelem, néhány esetben szakaszvédelem. A zárlathártás az 5. fejezetben, ill. a 8.5.1. szakaszban tárgyalt kétlépcsős visszakapcsolással van támogatva. Ez lehetővé teszi a túlfedés alkalmazását is (l. a 4.6.6. szakaszban).

8.5.8. Hurkolt hálózatok földzárlatvédelme

Hurkolt hálózaton szelektív kiválasztásra a 8.5.6. szakasz *b)* és *d)* eljárásai alkalmazhatók, vagy *zérus sorrendű szakaszvédelmet* kell alkalmazni. A tranziens érzékelés bizonytalan. A zérus sorrendű teljesítményirány érzékelése pedig csak egyszerű hurkolt rendszerekben ad megbízható kiválasztást a 8.76. ábra szerint. Többszörös hurkok esetén az érzékelés nem egyértel-



8.76. ábra.
Körvezeték földzárlatvédelmi koordinációja
(l. a 4.18. és 4.19. ábránál is)

mű, bizonytalan (l. még a 4.20. ábrát is). Hurkolt hálózat esetén minden esetben szelektív kiválasztást ad a zérus sorrendű szakaszvédelem. Kivitele a fázisok közötti szakaszvédelemhez hasonló. Kis földzárlati áramok esetén irányrelét alkalmaznak érzékelőelemként, amelyek áramoldalon zérus sorrendű különbözeti áramot, feszültségoldalon zérus sorrendű feszültséget kapnak. Földzárlati áramnövelés esetén fékezett áramérzékelésű szakaszvédelmet is alkalmaznak.

Magyarországon a hurkolt hálózaton alapvetően a zérus sorrendű teljesítmény irányának mérésén alapuló földzárlatvédelmi rendszert alkalmaznak, mivel a hálózat általában egyszerűen hurkolt (4.20. ábra). A kiválasztást átmeneti földzárlati áramnövelés támogatja. A földzárlatokat kikapcsolással hárítják, ami hurkolt üzem esetén általában nem okoz közvetlen fogyasztói zavartatást.

A zárlathárítás a két végponton általában nem egy időben következik be, ezért GVA nem alkalmazható. A földzárlatvédelmi kioldást LVA egylépcsős visszkapcsolás követi.

8.5.9. A közepfeszültségű védelmi rendszer feszültség alatti munkavégzés (FAM) esetére

A szabadvezetéki hálózatokon, a fogyasztói kikapcsolás csökkentése érdekében a szigetelő-, szerelvénny- és sodronyhibák egy jelentős részének javítása megfelelő eszközökkel és technológiával üzem alatt is elvégezhető. A javítást, beavatkozást végző szerelők védelmét az eszközök és a technológia biztosítja.

Véletlen események (szerszámtörés, vezetékszakadás stb.) esetén zárlat, ill. földzárlat léphet fel a munkahelyen. Ennek hatását a védelmi rendszerrel csökkenteni kell. Az áramütést a védelmi rendszer természetesen nem tudja megakadályozni.

A következőkben ismertetjük a magyar és a francia közepfeszültségű hálózaton alkalmazott védelmi automatikai intézkedéseket FAM esetére.

A FAM munkába bevont állomáson, ill. leágazásban közepfeszültségen a következő védelmi és automatikaváltoztatást kell létrehozni:

- A leágazásban, amelyen a FAM van, az automatikus visszkapcsolást bénítani kell.
- A hosszúföldelő ellenállást tartósan be kell kapcsolni.
- Élesíteni kell a hosszúföldelő ellenállás áramát érzékelő szuperérzékeny, kétlépcsős, zérus sorrendű túláramvédelmet. Ennek első fokozata $3I_0 = 10 \dots 15$ A áramnál pillanatműködéssel definitíven kikapcsolja azt a leágazást, ahol FAM folyik. A második fokozat $3I_0 = 1,5 \dots 5$ A áramnál általában $t = 1,5$ s késleltetéssel kapcsolja ki definitíven a leágazást, ahol FAM folyik. Ez a fokozat a nagy átmeneti ellenállású zárlatok érzékelésére szolgál.

8.6. Közepfeszültségű kábelhálózatok védelmei és automatikái

A közepfeszültségű kábelhálózatoknak két fontos területe a városi és a nagy ipartelepi elosztóhálózatok. A hálózat táppontjaira a magyar rendszerben jellemző a 120 kV-os főelosztóhálózati csatlakozás, a feszültség szint a városi hálózatokon 10 kV, ritkábban 20 kV, ipartelepek esetében 6 kV, de előfordul a 10 kV és 3 kV is. A városi kábelhálózati táppontok transzformátorainak teljesítménye 40 MVA vagy 63 MVA. A kiinduló kábelek száma 16...52 db között van. A 10/0,4 kV-os transzformátorok nagyfeszültségű biztosítóval és terhelésszakaszolóval kapcsolódnak a 10 kV-os hálózatra. Az ipartelepi hálózatokon 16 MVA, ill. 25 MVA teljesítményű 120 kV-os tápponti transzformátorteljesítményeket alkalmaznak.

A nagy kiterjedésű hálózatok csillagpontja hosszúföldelt, a kisebb hálózatoké szigetelt, ritkábban kompenzált. A 10 kV-os hálózaton a hosszúföldelés rezisztenciája 25...50 Ω . Külföldi gyakorlatban 20 kV-os kábelhálózaton 12...13 Ω -os hosszúföldelést is alkalmaznak. A kábelhálózatok sugaras jellegűek. Ezen belül van osztatlan és osztott hálózat.

8.6.1. Középfeszültségű kábelhálózatok fáziszárlat-védelmei és automatikái

A kábelek impedanciája és hossza viszonylag kicsi. A kábelek tápponti oldalán rendszerint fojtótekerics van. Ezek a feltételek alapvetően befolyásolják a védelmi rendszert.

A sugaras, osztatlan kábelhálózatok fáziszárlat-védelmeként *túláramvédelmet* használnak. A zárlathárítást kétlépcsős visszakapcsolás támogatja. Az automatikus visszakapcsolás előnye, hogy előgyorsított kioldás alkalmazható. Ez kábelhálózat esetén pillanatműködésű első kioldást jelent, ami a múltó jellegű hibák sikeres hárlítását nagymértékben elősegíti. A múltó jellegű hibák a kapcsolóterekben fellépő átliveléses zárlatok. A tapasztalatok szerint gyors lekapcsolás esetén a szabadvezeteki zárlatok hárlításához hasonló eredményességgel lehet ezeket a hibákat megszüntetni. A kábelben keletkező zárlatok maradó jellegűek.

a) A túláramvédelem beállítása

— A beállítás *alsó* korlátja:

A védelem legyen érzéketlen: az $I_{ü \max}$ üzemi áramokra, a táplált transzformátorok $I_{k \max}$ áramaira, a bekapcsolási $I_{B \max}$ áramlökésekre, és az $I_{FT \max}$ tranziens földzárlati áramokra. E feltételek közül a legnagyobb I_{\max} az alsó korlát mértékadó árama.

A beállítás:

$$I_{be} \cong \frac{I_{\max}}{1 - \varepsilon}.$$

— A beállítás *felső* korlátja:

A védelem biztonsággal érzékelje a kábel végén fellépő $I_{v \min}$ zárlati áramot. Ez szabja meg az üzemzavarok esetén összekapcsolható kábelszakasz maximális hosszát. A beállítás:

$$I_{be} \cong \frac{I_{v \min}}{1 + \varepsilon}.$$

— A túláramvédelem késleltetése:

A védelem késleltetése legfeljebb 1,0 s lehet, tehát a hálózat osztása korlátozott. Az 1,0 s-nál nagyobb késleltetésű kioldás a kapcsolóterek és a kábelek megengedhetetlen mértékű károsodásával jár.

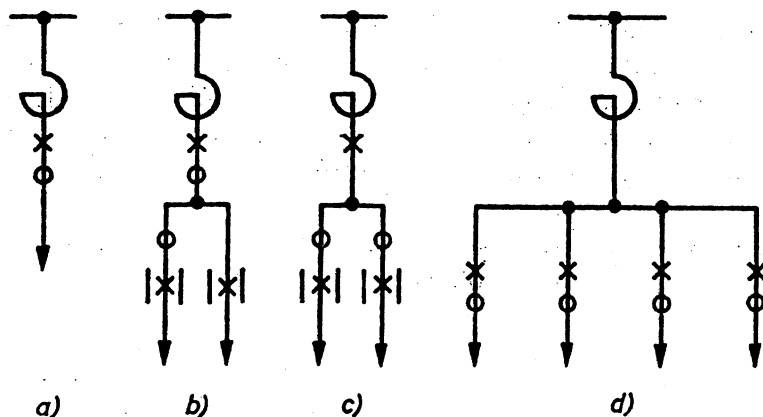
b) Tartalék védelem

A szabadvezeteki hálózathoz hasonlóan túláramvédelmet célszerű alkalmazni tartalék védelemként a kábelhálózatokon is. A beállítást az a) pontban ismertetett feltételek szerint kell meghatározni. A késleltetés egy szelektív időlépcsővel nagyobb, mint a túláramvédelemé.

c) Visszakapcsolás

A 8.77a és d ábra szerinti egyedi és a csoportos fojtókkal ellátott leágazásoknál ajánlott a következő programozás:

Első kioldás: előgyorsított
Első visszakapcsolás: GVA
Második kioldás: előgyorsított
Második visszakapcsolás: LVA
Harmadik kioldás: szelektív



8.77. ábra.

10 kV-os kábelleágazási kapcsolások

A 8.77b és c ábra szerinti ikerkábeles leágazásoknál gyakori a hibás kábelleágazás kiválasztására egy harmadik, ún. szelektáló visszkapcsoló ciklus alkalmazása:

Első kioldás: előgyorsított

Első visszkapcsolás: GVA

Második kioldás: előgyorsított

Második visszkapcsolás: LVA

Harmadik kioldás: szelektív

Szelektáló visszkapcsolás: LVA

Negyedik kioldás: szelektív

A szokásos GVA holtidő 0,5...1,0 s, az LVA holtidő 30...60 s.

8.6.2. Gyűjtősínvédelem

A koncentrált impedanciákkal határolt, fojtótekerccsel lezárt kábelhálózati gyűjtősín pillanatműködésű, egylépcsős impedanciavédelemmel szelektíven védhető. A védelem a betápláló transzformátor áramát és feszültségét érzékeli a 4.5. alfejezet a) pontja szerint. Beállításának biztonsággal meg kell állni a fojtótekerccsekben.

A fojtók nélküli primer kapcsolásoknál, valamint a fojtótekerccs utáni részekre (leágazási áramváltókig) „egyenáramú” gyűjtősínvédelmet kell alkalmazni a gyűjtősínzáratok szelektív háritására (l. a 4.8.3b és 8.5.4. szakaszt).

8.6.3. Megszakítóberagadási védelem

A leágazások fojtótekerccsei a betápláló transzformátor túláramvédelmeinek távoli tartalékolási lehetőségét nagymértékben csökkentik. Így előfordul, hogy a leágazások végén fellépő zárlatokat csak a leágazási védelmek érzékelik. Ezeket a zárlatokat kell a megszakítóberagadási védelmekkel háritani. A védelem érzékelési elve megegyezik a szabadvezeteki hálózaton alkalmazott rendszerrel.

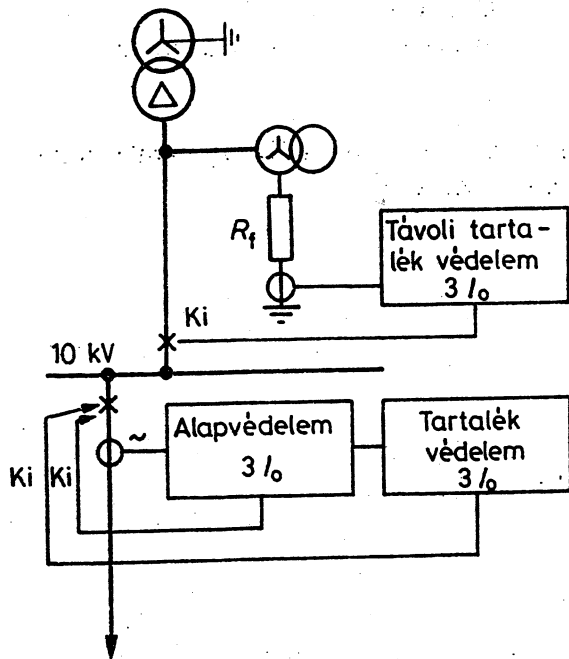
A védelmi holtidő megszüntetésére alkalmazható leágazásonként beépített másik védelem, amely emelt késleltetéssel a táptranzformátort kapcsolja ki.

8.6.4. Középfeszültségű kábelhálózatok földzárlatvédelmei és automatikái

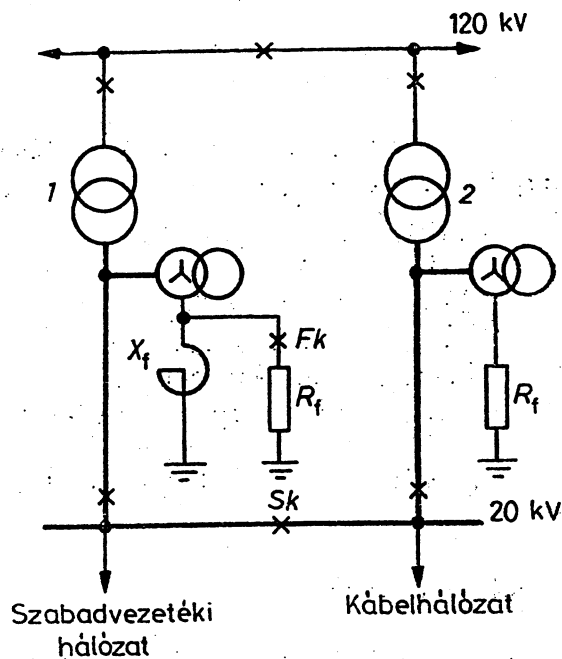
A nagy kiterjedésű kábelhálózatok csillagpontja hosszúföldelt. Magyarországon 100...200 A a földzárlati áram a 10 kV-os hálózaton. A földzárlati áramnövelő ellenállás állandóan be van kapcsolva, ezért tartós földzárlatos üzemet nem lehet tartani. A földzárlatokat zérus sorrendű

túláramvédelemmel választják ki a sugaras kábelhálózaton. A fáziszárlat-védelemhez hasonlóan alapvédelmet és tartalék védelmet alkalmaznak. A leágazási védelem hibája, ill. megszakítóberagadása esetén a hosszúföldelő ellenállás áramát érzékelő zérus sorrendű túláramvédelem ad távoli tartalékolást a sugaras hálózatnak. A védelmi rendszert a 8.78. ábra mutatja. Az alap- és tartalék védelem is a vonali megszakítót kapcsolja ki. Az R_f hosszúföldelő ellenállás áramát érzékelő távoli tartalék védelem a transzformátort kapcsolja ki.

A zárlathárítást a zárlatvédelemhez hasonlóan kétlépcsős visszkapcsolás támogatja, ezért a földzárlatvédelmeknél is alkalmazható az előgyorsított kioldás.



8.78. ábra
10 kV-os sugaras kábelhálózat földzárlatvédelmi rendszere



8.79. ábra
Vegyes csillagpont-kezelésű hálózatok

Különösen a 20 kV-os hálózaton fordul elő, hogy egyidejűleg szabadvezetési, ill. kábelhálózatokat kell egy állomásból ellátni. Ilyenkor a 8.79. ábrának megfelelően a csillagpontkezelés is különbözik (*vegyes csillagpontú*). Az S_k megszakító normál üzemben kikapcsolt állapotban van. Az 1. vagy 2. transzformátor kikapcsolásakor az S_k megszakítót be kell kapcsolni, és egyidejűleg a hálózatot hosszúföldeltté kell tenni a kábelhálózat miatt. Ez automatikusan teljesül, ha az 1. transzformátor kapcsolódott ki. A szabadvezetési hálózaton ilyenkor tartós földzárlatos üzem nem tartható. Ha a 2. transzformátor kapcsolódott ki, akkor S_k -val egyidejűleg F_k kapcsolót is be kell kapcsolni. Ezáltal hosszúföldeltté válik a hálózat. A 2. transzformátor R_f hosszúföldelő ellenállásánál élesíteni kell a távoli tartalékot adó védelmeket.

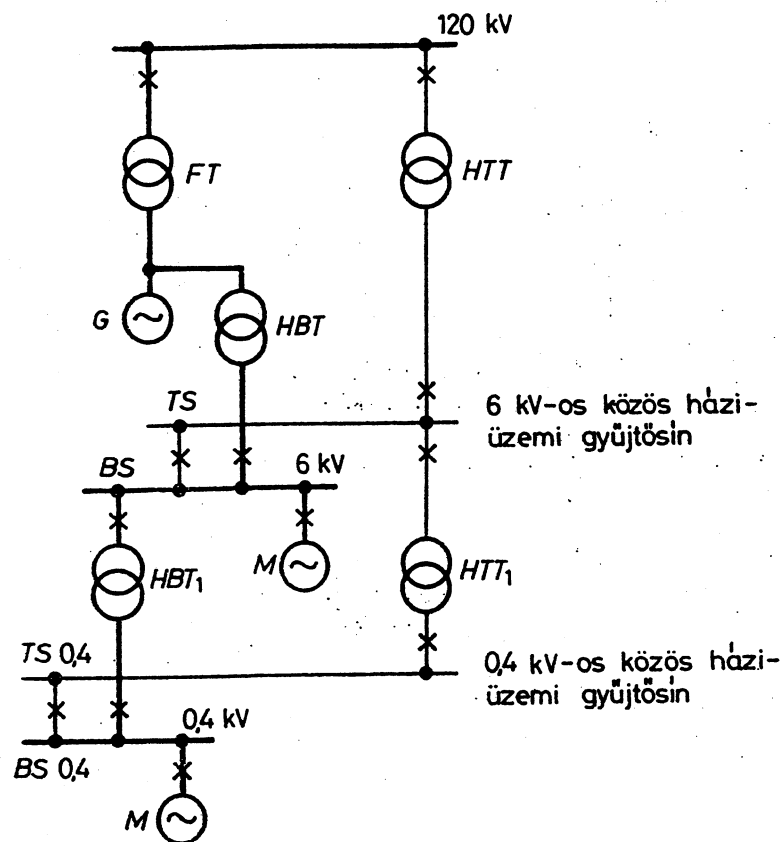
8.6.5. Átkapcsoló automatikák

A 120/középfeszültségű alállomásokban a szabadvezetési hálózatokhoz hasonlóan az 5.2. alfejezetben bemutatott esemény- és állapotvezérlésű automatikákat alkalmazzák a hazai gyakorlatban.

8.7. Erőművi háziüzemi és ipartelepi hálózatok védelmei és automatikái

8.7.1. Az erőművi blokkok háziüzemének jellemzői

Az egységkapcsolás (blokk-kapcsolás) elvéből adódik, hogy ez a háziüzemi ellátásra is vonatkozik. A háziüzemet a generátor kapcsairól leágazó *HBT* háziüzemi blokktranszformátor táplálja. A 8.80. ábra 100 MW teljesítményig, a 8.81. ábra 100 MW teljesítménynél nagyobb és a 8.82. ábra egy nukleáris erőmű tipikus háziüzemi ellátásának egyvonalas kapcsolását mutatja. A *HBT* transzformátor(ok) a 6 kV-os (3 kV-os) BS blokkelosztókat látják el. Erre csatlakoznak a technológia 100 kW teljesítménynél nagyobb motorjai, valamint a BS 0,4 jelű 0,4 kV-os blokkelosztót ellátó 6/0,4 kV-os transzformátorok.

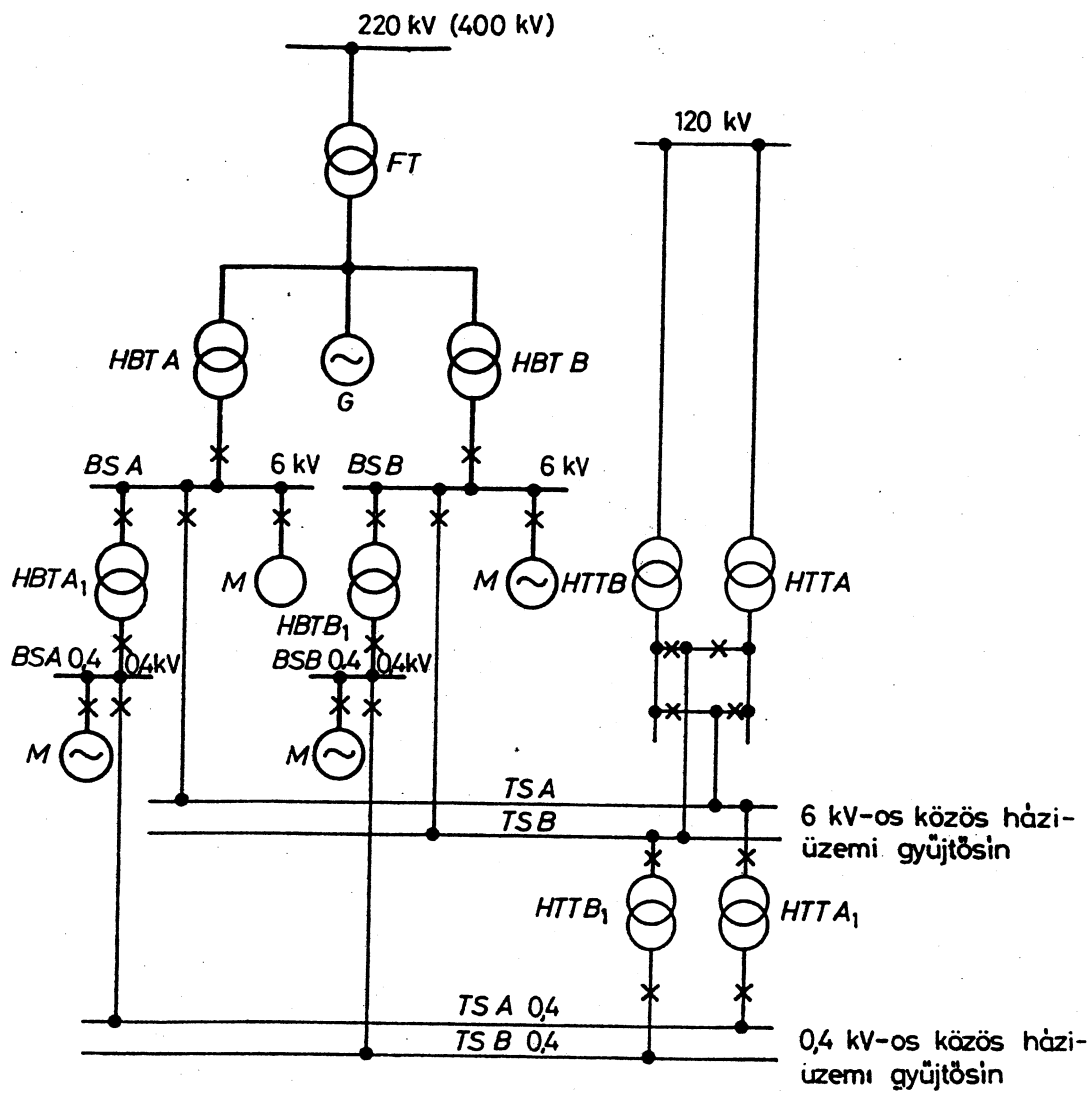


8.80. ábra.
100 MW-os erőművi blokk
háziüzemének primer kapcsolása

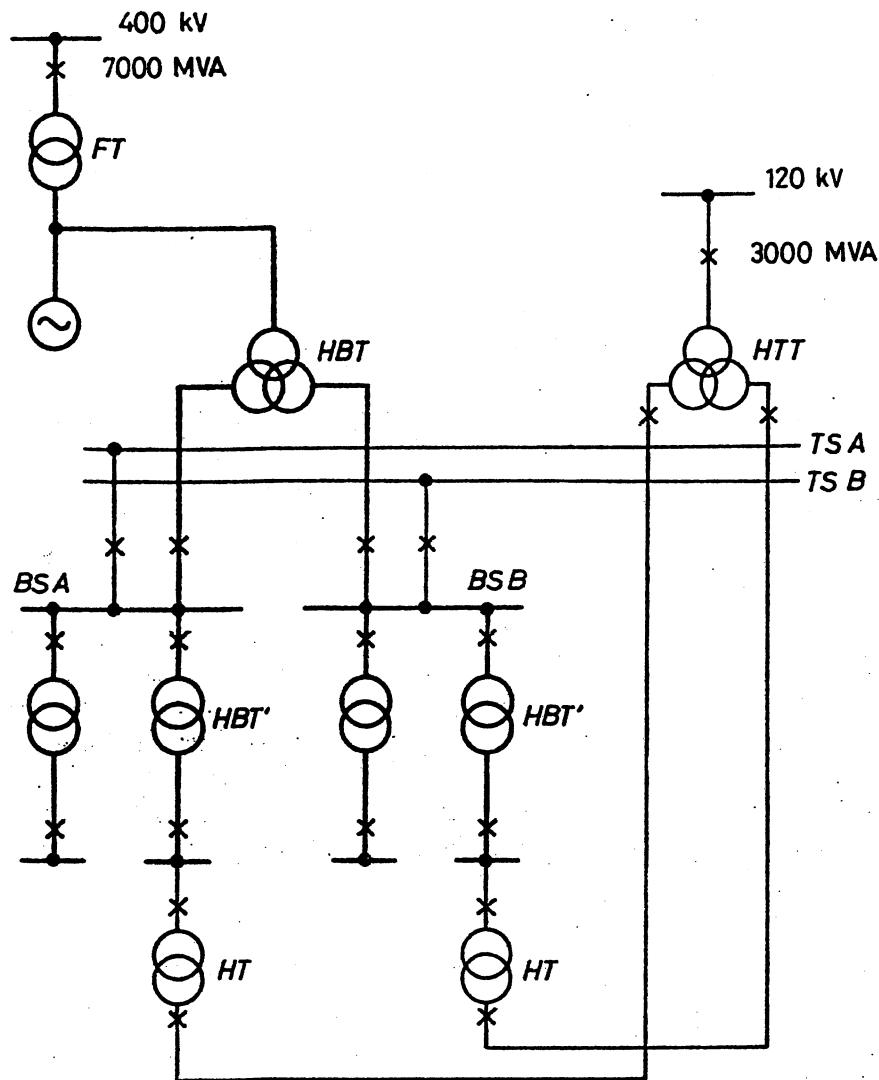
Az erőművi blokk háziüzemének a gépegységtől független ellátására is szüksége van. Ugyanis indításkor, tervszerű vagy üzemzavari leálláskor a *HBT* nem tudja a háziüzemet ellátni. Ilyenkor a nagyfeszültségű gyűjtősínekről a blokkoktól független *HTT* háziüzemi tartalék transzformátor látja el a kérdéses blokk háziüzemét. A 6 kV-os és a 0,4 kV-os *TS* tartalék gyűjtősínre bármelyik blokk *BS* gyűjtősínje rákapcsolható. Az ellátás mindig sugarasan *HBT*, vagy *HTT* felől történik. A *HBT* és a *HTT* üzemszerű összekapcsolása tiltott üzemállapot, mert az már nem sugaras ellátás, és mert túlzottan nagy a zárlati teljesítmény.

A tartalék háziüzemi transzformátorokból általában kettő van, így egyidejűleg két erőműblokkot tud kiszolgálni.

A 8.81. ábrán látható háziüzemi kapcsolást 100 MW-nál nagyobb teljesítményű blokkoknál alkalmazzák. A háziüzemi gyűjtősínek zárlati teljesítményének korlátozása miatt két kisebb *HBT A* és *HBT B* transzformátort alkalmaznak. Ezzel a blokkgyűjtősínek száma megkétszereződik, azonban az ellátás sugaras jellege megmarad. 1000 MW egység teljesítményű erőműnél már a 10 kV-os háziüzemi feszültség szint is szóba kerül, amit a nagy teljesítményű motorok indokolnak.



8.81. ábra. 220 MW-os erőművi blokk háziüzemének primer kapcsolása



8.82. ábra. Nukleáris erőművi blokk háziüzemének primer kapcsolása

8.7.2. Az erőművi blokkok háziüzemének védelmi rendszere

Az erőmű háziüzemek sugarasan üzemelnek, hasonlóan a középfeszültségű sugaras hálózatokhoz, ezért védelmi alapelvként a túláramvédelmek alkalmazásából lehet kiindulni. A beállítás-számítás során a következő körülményekre kell figyelni:

- A motorok indulásakor, ill. a háziüzem táplálásának kiesésekor alkalmazott automatikus háziüzemi átkapcsoláskor nagy áramlökések vannak. Ezekre a zárlatvédelmi berendezéseknek nem szabad működni.

- A háziüzemi gyűjtősínek zárlati teljesítményét alapvetően a táptranszformátor impedanciája határozza meg, mivel az összekötőelemek rövidek, így impedanciájuk elhanyagolható.

- A fellépő zárlatok az erőmű üzemét nagymértékben zavarják, és nagy teljesítményűek, ezért törekedni kell a zárlat időtartamának korlátozására.

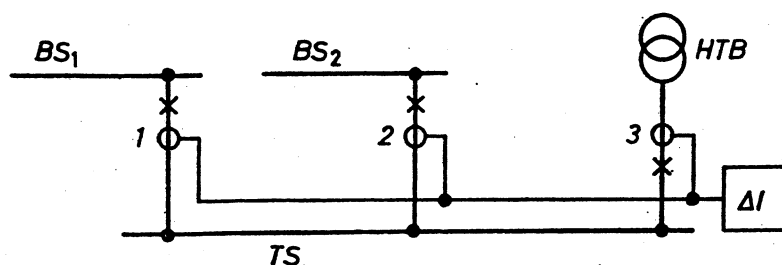
A védelmi rendszer ennek megfelelően a következő elemekből áll:

a) Háziüzemi transzformátor

- Buchholz-relé.
- Olajáramlás-védelem.
- Hőmérséklet-védelem.
- Differenciálvédelem.
- Nagyobb feszültségű oldali túláramvédelem.
- Kisebb feszültségű oldali túláramvédelem.
- Megszakítóberagadási védelem. Ez ad távoli tartaléket a 0,4 kV-os hálózatnak. Erre a célra önálló túláramvédelmet alkalmaznak, amelynek késleltetése egy szelektív időlépcsővel nagyobb, mint a 6 kV-os késleltetett fokozat késleltetése.

b) Gyűjtősínek

A *BS* gyűjtősíneket „egyenáramú” gyűjtősínvédelem védi. A *TS* tartalék gyűjtősíneket önálló gyűjtősín-differenciálvédelem védi. A 8.83. ábrán látható egy *TS* tartalék gyűjtősín, amit két (*BS1* és *BS2*) blokkgyűjtősín táplál. A ΔI gyűjtősín-differenciálvédelem az 1, 2 és 3 áramváltóra csatlakozik. A védelem helyileg a 3 áramváltó közelében van felszerelve, az 1 és 2 áramváltó esetleg több 100 m távolságra van a 3 áramváltótól. Az összekötő kábelek impedanciája így nem hanyagolható el. Külső zárlat esetén a kis impedanciájú ΔI relén jelentős áram folyhat, ami hibás kioldást okozhat. Ez a probléma *nagy impedanciájú* differenciálvédelem alkalmazásával oldható meg (4.7.2b pont).



8.83. ábra.

A *TS* tartalék gyűjtősín differenciálvédelmének elvi kialakítása

c) 6 (3)/0,4 kV-os transzformátorok

A 6 kV-os és 0,4 W-os oldalon kétlépcsős túláramvédelmet alkalmaznak. Az egyes fokozatok független késleltetésűek.

d) 6 (3) kV-os motorok

A motoroknál kétlépcsős túláramvédelmet alkalmaznak. A zárlatvédelmi fokozat független késleltetésű. A második fokozat függő késleltetésű, és túlterhelésvédelmi feladatot lát el (l. a 8.7.3. szakaszt is).

e) Földzárlatvédelem

A 6 (3) kV-os hálózat csillagpontja a kis kiterjedés miatt általában szigetelt, a szelektív földzárlatvédelem kialakítását rendszerint csak földzárlati áramnövelés (hosszúföldelés) teszi lehetővé. Ebben az esetben a szelektív földzárlatvédelem zérus sorrendű áramérzékelésű.

f) Feszültségcsökkenési védelem

A feszültségcsökkenési védelmek feladata, hogy a háziüzemi fogyasztókat leválasszák a gyűjtősínről tartós feszültségkimaradás esetén.

A védelem legtöbbször kétfokozatú. Az első fokozat az átkapcsolási holtidő alatt kikapcsolja a nem létfontosságú fogyasztókat, hogy az átkapcsolási áramlökés kisebb legyen. Beállítása:

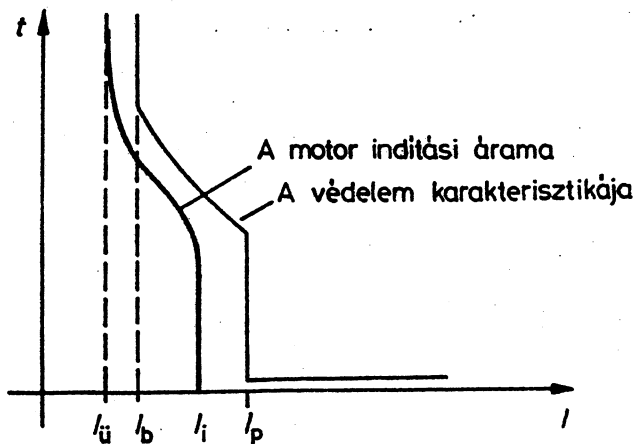
$$U = (0,6 \dots 0,7)U_n, \quad t = 0,4 \dots 0,5 \text{ s.}$$

A második fokozat (ez néha elmarad) hosszabb feszültségcsökkenéskor kikapcsol minden leágazást, hogy induláskor a technológiai sorrendnek megfelelően lehessen visszakapcsolni. Beállítása:

$$U = (0,5 \dots 0,6)U_n, \quad t = 5 \dots 10 \text{ s.}$$

8.7.3. Aszinkron motorok indítási és rövidzárlati áramainak szétválasztása

A 8.84. ábrán egy motor indítási áramlökésének lefolyását láthatjuk. Az indításkor I_i áramot vesz fel, ami az I_n névleges áram 3...10-szerese is lehet. A motor felfutása után az áram lecsökken az I_μ üzemi értékre. A motor védelmét I_p gyorsfokozati és I_b függő késleltetésű fokozati áramra lehet beállítani.



8.84. ábra.

Motor indítási áramának időfüggvénye és a védelem kioldási karakterisztikája

A pillanatműködésű fokozat beállítása:

$$(1,2 \dots 1,3)I_i < I_p < (0,6 \dots 0,7)I_{z \min},$$

ahol $I_{z \min}$ a motor kapcsain a legkisebb zárlati áram.

A függő késleltetésű fokozat beállítása:

$$I_b \cong (1,3 \dots 1,4)I_n.$$

Az indítási viszonyokat pontosan mérésekkel lehet tisztázni. Ennek hiányában az indítási áramlökés:

$$I_i = \frac{U_n}{\sqrt{3} \sqrt{(R_1 + R_2')^2 + (X_{s1} + X_{s2}')^2}},$$

ahol U_n a névleges feszültség, V; R_1 az állórész ellenállása; R_2' a forgórész ellenállása az állórészre redukálva; X_{s1} az állórész szórásreaktanciája; X_{s2}' a forgórész szórásreaktanciája az állórészre redukálva.

8.8. példa. A 8.82. ábrán vázolt erőművi háziüzem védelmeinek beállítása. Kiindulóadatok:

$$G \text{ generátor} \quad S_n = 258 \text{ MVA}, \quad U_n = 15,75 \text{ kV}, \quad X'_d = 22,5\%$$

$$FT \text{ főtranszformátor} \quad S_n = 270 \text{ MVA}, \quad U_n = 420/15,75 \text{ kV}, \quad \varepsilon = 12\%$$

HBT háziüzemi transzformátor

$$S_n = 25/12,5/12,5 \text{ MVA}$$

$$U_n = 15,75/6,6/6,6 \text{ kV}$$

$$\varepsilon = 9,3\%$$

HTT háziüzemi tartalék transzformátor

$$S_n = 32/16/16 \text{ MVA}$$

$$U_n = 126/6,6/6,6 \text{ kV}$$

$$\varepsilon = 10,4\%$$

HT háziüzemi transzformátor

$$S_n = 1 \text{ MVA}$$

$$U_n = 6,3/0,4 \text{ kV}$$

$$\varepsilon = 7\%$$

Impedanciaadatok

400 kV-os mögöttes pozitív sorrendű impedancia (7000 MVA):

$X_1 = 22,86 \Omega/0,0056 \Omega$ (400/6 kV-os szinten) 120 kV-os mögöttes pozitív sorrendű impedancia (3000 MVA):

$$X_{11} = 4,81 \Omega/0,0132 \Omega \text{ (120/6 kV-os szinten).}$$

A generátor pozitív sorrendű impedanciája:

$$X_g = \frac{X'_d}{100} \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{22,5}{100} \frac{15,75^2}{258} = 0,2155 \Omega/0,0378 \Omega$$

(15,75/6 kV-os szinten).

A főtranszformátor pozitív sorrendű impedanciája:

$$X_{FT} = \frac{\varepsilon}{100} \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{12}{100} \frac{15,75^2}{270} = 0,1102 \Omega/0,0202 \Omega$$

(15,75/6 kV-os szinten).

A háziüzemi transzformátor pozitív sorrendű impedanciája (6 kV szinten):

$$X_{HBT} = \frac{\varepsilon}{100} \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{9,9}{100} \frac{6,6^2}{12,5} = 0,3241 \Omega.$$

A tartalék, háziüzemi transzformátor pozitív sorrendű impedanciája (6 kV-os szinten):

$$X_{HTT} = \frac{\varepsilon}{100} \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{10,4}{100} \frac{6,6^2}{16} = 0,2831 \Omega.$$

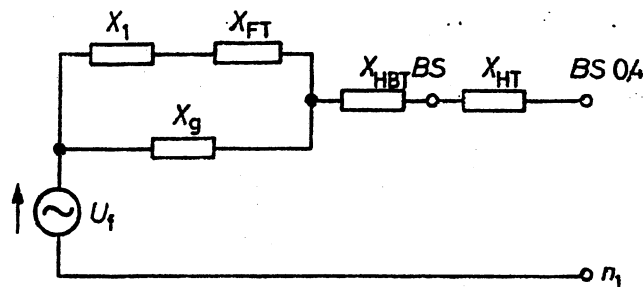
A 0,4 kV-os transzformátorok pozitív sorrendű impedanciája (6 kV-os szinten):

$$X_{HT} = \frac{\varepsilon}{100} \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{7}{100} \frac{6,3^2}{1} = 2,77 \Omega.$$

Zárlatszámítás (áramok 6 kV-os szinten) 3F zárlati áramok *HBT* felőli táplálás esetén.

A pozitív sorrendű helyettesítő vázlatot a 8.85. ábra mutatja. A *BS* gyűjtősín zárlati árama:

$$I_{BS} = \frac{U}{\sqrt{3}((X_1 + X_{FT}) \times (X_g + X_{HBT}))} = \frac{6,3}{\sqrt{3}((0,0056 + 0,0202) \times (0,2155 + 0,3240))} = 10,728 \text{ kA.}$$



8.85. ábra.
Pozitív sorrendű hálózat
a HBT felől táplált háziüzemnél

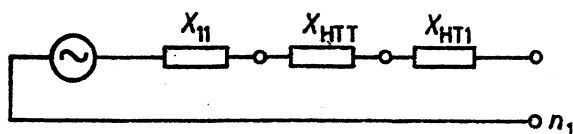
A BS 0,4 gyűjtősin zárlati árama

$$I_{BS0,4} = \frac{U}{\sqrt{3}((X_1 + X_{FT}) \times (X_g + X_{HBT} + X_{HT}))} = \frac{6,3}{\sqrt{3}((0,0056 + 0,0202) \times (0,2155 + 0,3240 + 2,77))} = 1,171 \text{ kA.}$$

3F zárlati áramok HTT felőli táplálás esetén:

A pozitív sorrendű helyettesítő vázlatot a 8.86. ábra mutatja. A BS gyűjtősin zárlati árama

$$I'_{BS} = \frac{U}{\sqrt{3}(S_{11} + X_{HTT})} = \frac{6,3}{\sqrt{3}(0,0132 + 0,2831)} = 12,29 \text{ kA.}$$



8.86. ábra.
Pozitív sorrendű hálózat
a HTT felől táplált háziüzemnél

A BS 0,4 gyűjtősin zárlati árama

$$I'_{BS0,4} = \frac{U}{\sqrt{3}(X_{11} + X_{HTT} + X_{HTI})} = \frac{6,3}{\sqrt{3}(0,0132 + 0,2831 + 2,77)} = 1,187 \text{ kA.}$$

Túláramvédelmek beállítása:

– HT transzformátorok

A gyors fokozat alsó korlátja:

$$I_{be} \cong \frac{I'_{BS0,4}}{1 - \varepsilon} = \frac{1187}{1 - 0,2} = 1483 \text{ A.}$$

A gyors fokozat felső korlátja:

$$I_{be} \cong \frac{I_{BS} \frac{\sqrt{3}}{2}}{1 + \varepsilon} = \frac{10\,728 \frac{\sqrt{3}}{2}}{1 + 0,2} = 7741 \text{ A.}$$

A beállítást válasszuk 1500 A-re, a késleltetés 0,0 s. A késleltetett fokozat alsó korlátja:

$$I_{be} \cong \frac{I_{\bar{u} \max} k_t}{1 - \varepsilon},$$

ahol $I_{\bar{u} \max}$ a legnagyobb terhelőáram; $k_t I_{\bar{u} \max} = I_n + I_{i \max}$, I_n a névleges áram, $I_{i \max}$ a legnagyobb teljesítményű 0,4 kV-os motor indítási áramlökése. Esetünkben $I_n = 92 \text{ A}$, és $I_{i \max} = 88 \text{ A}$, tehát a késleltetés alsó korlátja:

$$I_{be} \cong \frac{92 + 88}{1 - 0,2} = 225 \text{ A.}$$

A késleltetett fokozat felső korlátja:

$$I_{be} \cong \frac{I_{BS0,4} \frac{\sqrt{3}}{2}}{1 + \varepsilon} = \frac{1171 \frac{\sqrt{3}}{2}}{1 + 0,2} = 845 \text{ A.}$$

A beállítást válasszuk 600 A-re. A késleltetést, egy 0,5 s-os 0,4 kV-os alóosztást figyelembe véve 1,0 s-ra állítjuk.
— HBT és HT transzformátor

A gyors fokozat az egyenáramú gyújtósínvédelem feltétele, önálló kioldást nem ad. A beállítás feltétele:

$$I_{be} \cong \frac{I_{BS} \sqrt{3}}{1 + \varepsilon} = \frac{10\,728 \sqrt{3}}{1 + 0,2} \frac{\sqrt{3}}{2} = 7741 \text{ A.}$$

A beállítást válasszuk 7000 A-re. A késleltetett fokozat alsó korlátja:

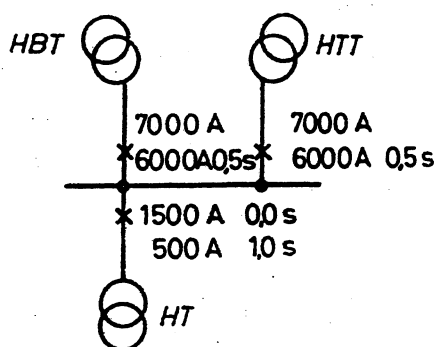
$$I_{be} \cong \frac{I'_{BS0,4}}{1 - \varepsilon} = \frac{1187}{1 - 0,2} = 1483 \text{ A,}$$

így nem ér át a 0,4 kV-os oldalra.

A késleltetett fokozat felső korlátja:

$$I_{be} \cong \frac{I_{BS} \sqrt{3}}{1 + \varepsilon} = \frac{10\,728 \sqrt{3}}{1 + 0,2} \frac{\sqrt{3}}{2} = 7741 \text{ A.}$$

Számítva a bekapcsolási áramlökésekre, a beállítást válasszuk 6000 A-re!



8.87. ábra.

A háziüzemi betáplálások védelmeinek beállítása

A beállítási koordinációt a 8.87. ábrán foglaltuk össze.

A késleltetett fokozat begyorsítását logikai módszerrel, az „egyenáramú” differenciálvédelemhez hasonlóan lehet szükség esetén megvalósítani.

8.7.4. Háziüzemi átkapcsoló automatikák

Mint láttuk, az erőművi háziüzemi fogyasztók ellátása sugaras. A HBT vagy a teljes blokk kikapcsolódásakor a háziüzemi technológiát továbbra is el kell látni. A háziüzemet automatikusan át kell kapcsolni a HTT ellátásra.

Ha a blokk gépészeti okok miatt esett ki, akkor ún. világos áttérés is lehetséges. Ez azt jelenti, hogy a gyorszáró működése után a visszawattvédelem működéséig a blokk hálózati kapcsolata megmarad. A háziüzemi automatika ilyenkor a tartalék ellátást bekapcsolja, majd az alapellátást ki. Az áttérés szünetmentes.

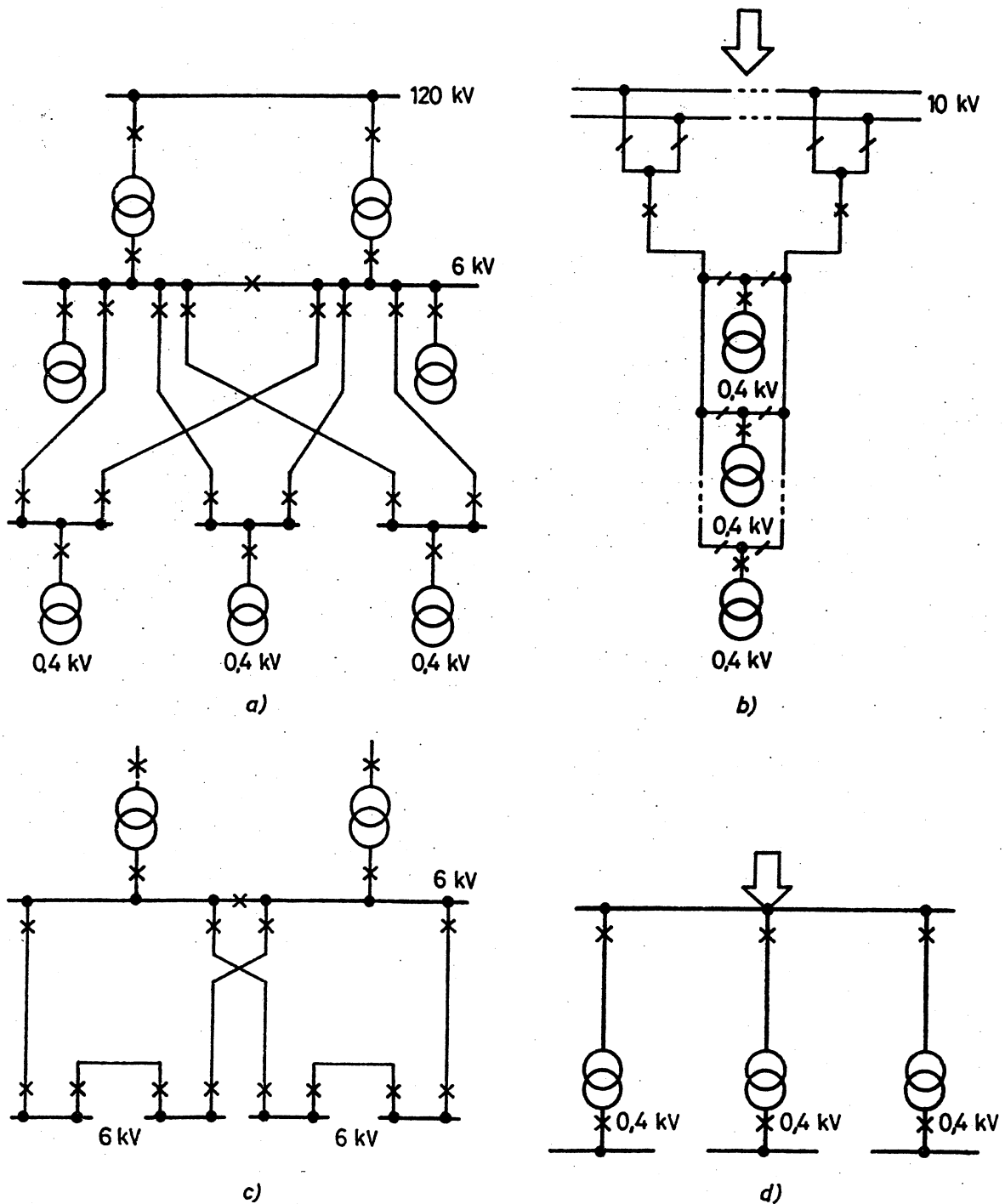
A villamos okokból kieső blokk a hálózatról azonnal leválik. Ilyenkor csak késleltetés után ajánlatos a tartalékot bekapcsolni, mert a háziüzemi gyújtósín feszültsége a kikapcsolás után nem azonnal csökken nullára, mivel a nagy motorok a kábelhálózat kapacitásával hosszú ideig fenntartják a feszültséget. Így átkapcsoláskor nagy valószínűséggel lehetséges nem szinkron, akár oppozíciós állapotban is bekapcsolás (5.2.1. szakasz). Az oppozíciós átkapcsolás rendkívül nagy igénybevételt jelent még akkor is, ha a háziüzemi gyújtósín feszültsége már kisebb, mint a névleges. A feszültségszünet természetesen nem lehet tetszőlegesen hosszú, mert a nagyon lelassuló motorok együttes gyorsítása („indítása”) viszont nagy áramlökést okoz. A tapasztalatok szerint az optimális holtidő a gyakorlatban 0,7...1,0 s-ra adódik, pontos értéke mérésekkel határozható meg.

8.7.5. Ipartelepi hálózatok és védelmi rendszerük jellemzői

Az ipartelepek villamosenergia-rendszere általában két feszültség szintű. Az egyes üzemszerek energiaigénye központi 0,4 kV-os forrásból gyakran nem elégíthető ki a nagy teljesítményigény és a távolságok miatt. Rendszerint 10 kV, 6 kV, esetleg 3 kV-os belső hálózatot létesítenek, ami egy központi tápállomásról van ellátva. Ez az állomás közép feszültségről vagy a főelosztóhálózatról kap táplálást.

Az ipartelepi hálózatok csillagpontja általában szigetelt vagy hosszúföldelt, ritkán kompenzált.

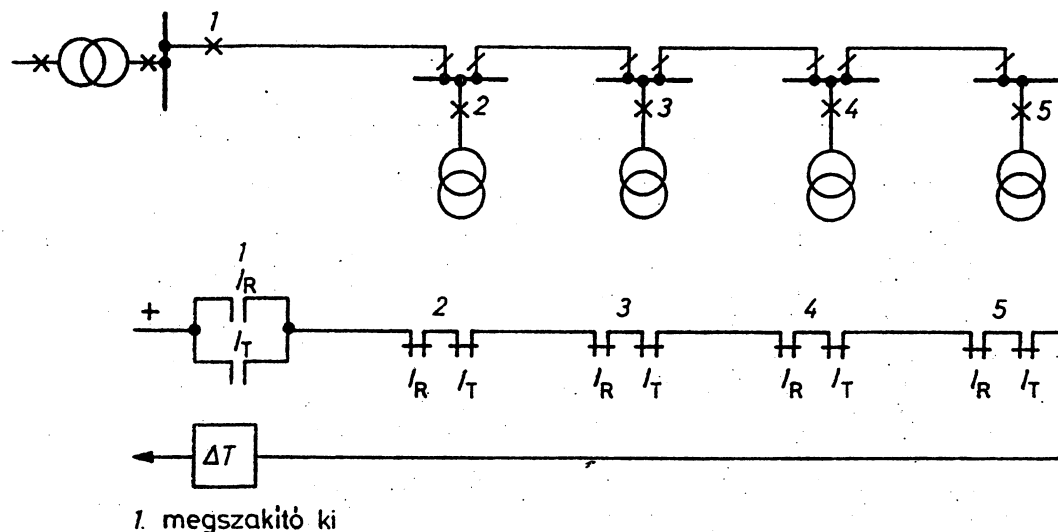
A primer kapcsolásra a 8.88. ábrán látható jellemző példa.



8.88. ábra. Ipartelepi hálózatok

Az ipartelepi hálózatok általában sugaras jellegűek, és az egyes belső állomásoknak tartalék ellátása van. A védelmi rendszer alapvetően megegyezik az erőművi háziüzemek védelmi rendszerével.

A zárlatvédelmi rendszert lehetőleg úgy kell kialakítani, hogy pillanatműködésű legyen. Jól alkalmazható a túláramvédelem, a szakaszvédelem vagy az „egyenáramú” differenciálvédelem (szakaszvédelem). Erre mutat példát a 8.89. ábrán látható, „lánckábeles” ellátásnál is jól alkalmazható logikai rendszer. A működés alapja az, hogy ha a leágazási védelmek nem szólnak meg, de a betáplálás védelmei működnek, akkor biztonsági (kb. 100 ms) késleltetéssel a betáplálás kikapcsol.



8.89. ábra. Sugaras hálózat logikai differenciálvédelme

Különös gondot kell fordítani a leggyakrabban előforduló földzárlatok szelektív védelmére. A folyamatos ellátás biztosítására esemény- és állapotvezérlésű átkapcsoló automatikát célszerű alkalmazni (5.2. alfejezet). Ezek az átkapcsolások, ill. a hálózati zavarok szükség-szerűen rövid (néhány 100 ms-os) feszültségszünettel járnak. Ha a technológia megengedi, a 3.2.1. alfejezetben ismertetett nullfeszültségkioldás-késleltetés, ill. az automatikus újraindítás alkalmazása jelentősen növeli az ipari üzemek folyamatos ellátásának biztonságát. Különösen kényes fogyasztók esetén szükségáramforrást kell telepíteni (3.2. alfejezet).

9. Rendszerautomatikák

Az erőművek, az erőműveket összekötő alaphálózatok, a villamos energiát a fogyasztókig szállító elosztóhálózatok, valamint a fogyasztói villamos berendezések együttesen alkotják a villamosenergia-rendszert. A villamos energia termelése, szállítása és felhasználása váltakozó árammal történik. Ennek a rendszernek a sajátossága, hogy az elfogyasztott villamos energiát az erőművekben az adott pillanatban kell előállítani.

A villamosenergia-rendszer alapvető sajátossága a fogyasztás és a termelés egyensúlya. Ennek az egyensúlynak a mérőszáma a frekvencia, ami gyakorlatilag a rendszer bármely pontján azonos.

A frekvenciaeltérést a változó fogyasztói teljesítmények kielégítése során a fogyasztó és a távoli generátor feszültsége közötti fázisszög tranziens változása okozza. A rendszer egyes pontjai között ez a frekvenciaeltérés nem haladja meg az 1...2‰-et, az eltérés időtartama pedig a 0,5...2,0 s-ot. A villamosenergia-rendszer üzemében a fogyasztás a meghatározó szerep, amit a termelésnek követnie kell.

A fogyasztás—termelés viszonylag kis mértékű és lassú egyensúlyváltozásait részben automatikusan, részben kezelői beavatkozással szabályozzák.

A nagymértékű gyors üzemzavari állapotváltozások, pl. a forráshiányt okozó erőművi kiesés, lavinaszerű összeomlást okozhat. Ezt csak gyors működésű, automatikus beavatkozással lehet megakadályozni. A beavatkozást a *rendszerautomatikák* végzik.

9.1. A rendszeregyesítés jellemzői

Egy vagy több önállóan üzemirányított villamosenergia-rendszer összekapcsolását, szinkron kapcsolatban történő együttműködését nevezzük rendszeregyesítésnek. A nemzetközi gyakorlatban megvalósított villamos energetikai rendszeregyesülések alapvető célkitűzésük szerint két kategóriába sorolhatók. Az egyik a *kölcsönös kisegítésre orientált rendszeregyesülés*, amelynek fő célja az összekapcsolt egyedi rendszerek kölcsönös kisegítése. Jellemzője, hogy az energiaszállítás a rendszerek közötti áteresztőképességet csak kismértékben foglalja le. A szállítási távolságok és mennyiségek általában nem nagyok, ezért nincs is szükség a lehetséges legnagyobb feszültség szint alkalmazására. Az áteresztőképesség 400 kV-os, ill. 220 kV-os távvezetékekkel megvalósítható. Ilyen rendszeregyesülés pl. a nyugat-európai országok UCPTÉ rendszeregyesülése.

A másik típus a *szállításra orientált rendszeregyesülés*, amelynek alapvető célja nagy távolságú, nagy teljesítményű, állandó, tervszerű energiaszállítás. Ebből következik, hogy technikailag szükség van a legnagyobb váltakozó vagy egyenfeszültségek alkalmazására. Ebbe a kategóriába tartozik pl. a KGST és a Szovjetunió rendszerintegrációja. Az ilyen rendszer-

egyesülések létesítése nagy gazdasági ráfordításokat igényel, ezért a rendszereket összekötő távvezetékek kiépítésénél a kölcsönös kisegítés mértékét ésszerű határok közé kell szorítani. Ebből következik, hogy az ilyen rendszerekben szűk szállítási keresztmetszetek, kritikus stabilitási metszékek vannak. Ezek statikus vagy tranziens túlterhelése rendszerszintű üzemzavarok kiindulása lehet, amelyeket csak gyors és hatékony rendszerautomatikákkal lehet megakadályozni.

Látható, hogy a kisegítésre orientált rendszeregyesülésekben a tervszerű szállítások, a szállításra orientált rendszerek esetében pedig a szállítási iránnyal azonos irányú kisegítés lehetősége a korlátozott.

a) A rendszeregyesítés előnyei

Az erőművek egy-egy rendszeren belüli szinkron üzemében lehetőség van a gépegységeknek mint forrásoknak a kölcsönös helyettesítésére, a frekvenciaingadozások csökkentésére, az adott fogyasztói igényeknek a leggazdaságosabb gépparkkal történő kielégítésére, a tartalékok csökkentésére, a karbantartások optimális összehangolására, a fogyasztói ingadozások nagyobb mértékű kiegyenlítésére stb.

Ezek az előnyök tovább fokozhatók, ha a földrajzilag szomszédos energiarendszereket kapcsoljuk össze egymással. Az egyes energiarendszerek csúcspoyasztásának időbeli különbözősége lehetővé teszi az erőművek állandó terheléssel történő gazdaságos üzemeltetését, nagyértékű erőműberuházások elhalasztását import felhasználásával.

b) A rendszeregyesítés hátrányai

A szinkron üzem miatt a frekvencia merev, ezért az egyes területrészekben keletkezett forráshiány azonnal pótlódik a többi rendszerből, függetlenül attól, hogy a megnövekedett szállításokat a rendszer-összeköttetések képesek-e stabilan biztosítani. Ilyenkor esetleg az egységes rendszert több részre kell bontani. A magukra maradó rendszerrészekben nagy teljesítményhiány lép fel, ami további bonyolult üzemzavarokat okozhat. Hátrány továbbá, hogy a szállításra orientált rendszerekben egy-egy alapvető összeköttetés kiesése az importáló rendszerben súlyos teljesítményhiányt okoz.

c) Energiarendszerek magasabb rendű együttműködése

Az egyes országok egységes nemzeti energiarendszereinek összekapcsolásából alakultak ki a nagy nemzetközi energiarendszerek, amelyeket magasabb rendű együttműködésnek nevezünk. Ezeknek van néhány jellemzője, ami az országon belüli rendszereknél nem fordul elő. A fontosabbak ezek közül:

– A nemzeti energiarendszerek általában szoros belső csatolásúak. Egy-egy elem vagy gép kiesésekor a maradó hálózati elemeken az együttműködés többnyire fennmarad anélkül, hogy bármely átviteli elem jelentősen túlterhelődne. Az országok közötti magasabb rendű együttműködés ezzel szemben gyakran csak kevés számú nagyfeszültségű távvezetékekkel valószínűleg meg, korlátozott átviteli képességgel. Tehát a magasabb rendű együttműködés során a szoros belső csatolású rendszerek egymással lazán vannak csatolva.

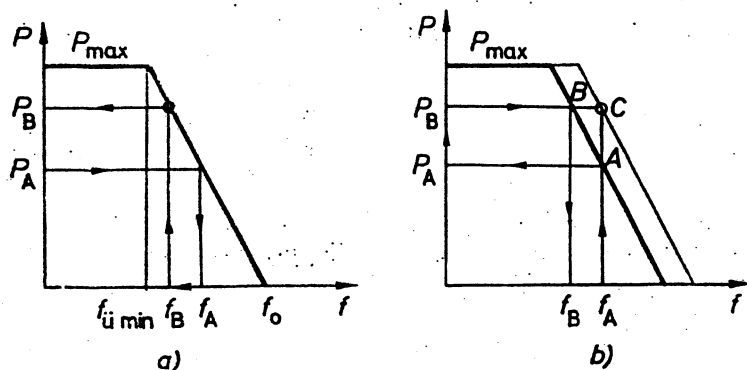
– Az országhatárokon keresztül történő energiaszállításban az energia áruként szerepel. A tervszerű szállításokat szerződések szabályozzák. A csereteljesítmény mindenkori nagyságát egyeztetett menetrendek írják elő, amelyeket szabályozással kell a tífési határon belül tartani.

– A nemzeti energiarendszeren belül az üzemvitelben központi akarat érvényesül, amelynek végrehajtását szervezett fegyelem biztosítja. A magasabb rendű együttműködésben a központi akaratot a szerződések és megállapodások rendszere helyettesíti, a végrehajtásban a kooperációs etikáé a döntő szerep.

9.2. A termelési hiány pótlásának folyamata

9.2.1. A termelt teljesítmény és a frekvencia közötti összefüggés

A generátor teremti meg a fogyasztó és a mechanikai teljesítményt adó turbina közötti kapcsolatot. A generátornak éppen annyi wattos teljesítményt kell termelni, amennyit a fogyasztó igényel. A fogyasztói teljesítményigény állandóan változik, ezért a turbinák által leadott teljesítmény is állandó szabályozást igényel. Mivel állandó frekvenciára kell szabályozni, növekvő villamos teljesítményigénynél a turbina beömlőszelepeit kissé nyitni, csökkenő teljesítményigénynél kissé zárni kell. Ezt a feladatot a turbinák primer szabályozói végzik.



9.1. ábra. Turbina primer szabályozási jelleggörbéje

a) teljesítménynövekedés P_A -ról P_B -re;
b) a turbina szekunder szabályozása

A primer szabályozók jelleggörbéjét a 9.1. ábrán láthatjuk. Ez a jelleggörbe a turbina fordulatszáma – ami a hálózati frekvenciával arányos – és a teljesítménye közötti összefüggést adja meg. Jó közelítéssel f_0 üresjárási és az ennél kisebb – P_{max} legnagyobb gépteljesítményhez tartozó – $f_{u\ min}$ legkisebb üzemi frekvencia között egy ferde egyenes, $f_{u\ min}$ -nál kisebb frekvenciák esetén vízszintes egyenes (9.1. ábra).

A 9.1a ábrán példaként bejelölt P_A terhelésnél f_A frekvenciával dolgozik a turbina – generátor. Ha a rendszer frekvenciája f_B -re csökken, akkor a turbina teljesítményét a primer szabályozó P_B -re növeli. Az $f_{u\ min}$ legkisebb üzemi frekvencia 4...6%-kal kisebb, mint az f_0 üresjárási frekvencia. A szabályozó statizmusa

$$\varepsilon = \frac{f_0 - f_{u\ min}}{f_n} \cdot 100\% \quad (9.1)$$

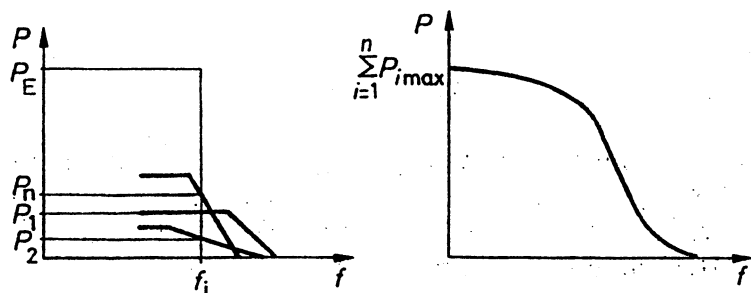
$f_n = 50$ Hz névleges frekvenciát figyelembe véve:

$$\varepsilon = 2(f_0 - f_{u\ min}) \% \quad (9.2)$$

A fogyasztói terhelés ingadozását követő primer szabályozás a frekvencia nemkívánatos mértékű változásával jár. Kisebb statizmus választásával csökkenthető ez a hatás, de ekkor a szabályozás lengésre hajlamossá, instabillá válik.

A primer szabályozás elkerülhetetlen frekvenciaingadozásai természetesen sokkal nagyobb mértékben jelentkeznek egyedül üzemelő gép vagy erőmű esetén, amikor az aránylag kicsi fogyasztói terület százalékos ingadozása viszonylag nagy. A nagy nemzeti rendszerekben, de különösen az energiarendszerek magasabb rendű együttműködésekor az egyedi fogyasztói ingadozások annyira kiegyenlítődnek, hogy a frekvencia csak kisebb határok között változik.

A primer szabályozás alapvető fogyatékoságát, a frekvencia viszonylagosan tág határok közötti változását a szekunder szabályozás küszöböli ki. A szekunder szabályozás során a primer szabályozó jelleggörbéjét önmagával párhuzamosan eltolják. A szekunder szabályozás hatását a 9.1b ábra mutatja. A kiinduló A munkapontból a terhelésnövekedés hatására a primer szabályozó a B munkapontra áll be, ami f_B frekvenciát eredményez. A frekvencia helyreállítását a szekunder szabályozás végzi a primer szabályozó jelleggörbéjének párhuzamos eltolásával. A B munkapontot a C új munkapontba helyezi.



9.2. ábra.

Rendszer primer szabályozási jelleggörbéje

a) az egyes gépek primer szabályozási jelleggörbéje;

b) a rendszer eredő primer szabályozási jelleggörbéje

Az energiarendszerben üzemelő minden egyes turbina primer szabályozójának jelleggörbéjéből megszerkeszthető az *egész rendszer primer szabályozási jelleggörbéje*. Egy rendszerben n számú generátor van. Teljesítményeik az adott f_i frekvencián összeadódnak, ez P_E a rendszer eredő teljesítménye (9.2. ábra):

$$P_E = \sum_{i=1}^n P_i. \quad (9.3)$$

Az egyes gépegységek primer szabályozási jelleggörbéjének pontonkénti összegzése eredményeként kapjuk a 9.2b ábrán látható eredő primer szabályozási jelleggörbét, ami az egész rendszerre jellemző. Az n -elemű rendszer legnagyobb teljesítménye

$$\sum_{i=1}^n P_{i \max}.$$

9.2.2. A fogyasztói teljesítmény és a frekvencia közötti összefüggés

Az energiarendszer fogyasztását alapvetően a fogyasztói teljesítményigény határozza meg. A P teljesítmény, az f frekvencia, az U feszültség, és a Q meddő teljesítmény között mindenirányú bonyolult kapcsolatrendszer van. A fogyasztói összetétel sokféle lehet (motorikus, teljesítményelektronikus, világítási stb.), ezért a P , f , U és Q változásának hatásai csak tapasztalati adatok alapján, statisztikusan értékelhetők. A nemzetközi gyakorlatban elfogadott módszer szerint a fogyasztói terület felvett teljesítménye a frekvenciával arányos, ha a rendszer elegendően nagy (néhány ezer MW), és a frekvenciaváltozás $+4\% \dots -8\%$ közötti tartományban van. Az arányossági tényező a *fogyasztás frekvenciatényezője*:

$$K = \frac{\Delta P \%}{\Delta f \%}, \quad (9.4)$$

ahol ΔP a teljesítmény, Δf a frekvencia százalékos változása.

A K tényező értéke függ a fogyasztók pillanatnyi összetételétől, a fogyasztás időpontjától stb. A tapasztalatok, és sok mérés alapján K értéke $1 \dots 3$ között van. A hazai, ill. a KGST országok egyesített energiarendszereiben $K = 2$ az elfogadott érték. Ez azt jelenti, hogy ha termelői kiesés miatt a frekvencia 1% -kal csökken ($0,5$ Hz), a fogyasztók által felvett teljesítmény – változatlan fogyasztói igény esetén – 2% -kal lesz kevesebb.

9.1. Példa. Egy energiarendszerben $f_n = 50$ Hz frekvencia mellett a fogyasztás és a termelés $P = 5000$ MW. Határozzuk meg a rendszer frekvenciáját, ha egy $P_1 = 200$ MW-os generátor kikapcsolódik.

$$\Delta P = \frac{P_1}{P} \cdot 100 = \frac{200}{5000} \cdot 100 = 4\%.$$

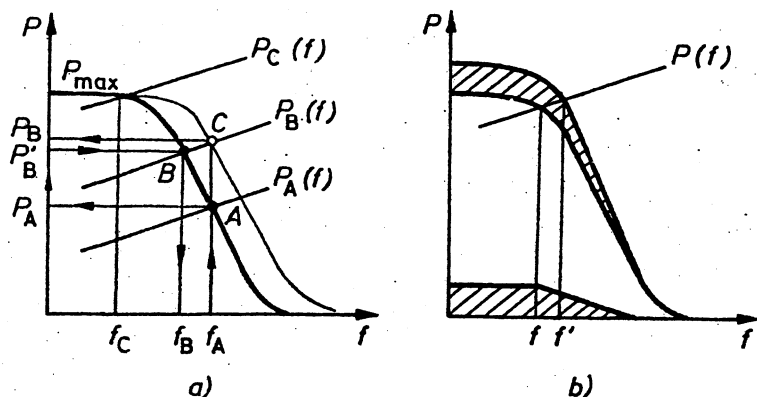
és (9.4) alapján

$$\Delta f \% = \frac{\Delta P \%}{K} = \frac{4}{2} = 2\% + 1,0 \text{ Hz},$$

tehát a rendszer frekvenciája a kiesés utáni állandósult állapotban $f = 49$ Hz-re csökken.

9.2.3. A fogyasztott és a termelt teljesítmény egyensúlya

A fogyasztás frekvenciafüggősége az együttműködő energiarendszer üzemében fontos, a teljesítmény-egyensúly üzemzavari megbomlásakor pedig döntő szerephez jut. Ezért szükséges, hogy a 9.1. és 9.2. ábrán egyszerűsítve bemutatott primer és szekunder szabályozási alapelveket a valósághoz jobban közelítve finomítsuk. Kiindulásnak tekintsük a 9.3a ábrán az A munkapontot, ahol a rendszer f_A frekvencián látja el a $P_A(f)$ fogyasztást. Növekedjék a terhelés $P_B(f)$ fogyasztó jelleggörbének megfelelő mértékűre. A primer szabályozón az új munkapont B lesz, amelyhez a lecsökkent f_B frekvencia és P'_B teljesítmény tartozik, ami kisebb, mint az igényelt P_B teljesítmény. Csak szekunder szabályozással érhető el a P_B teljesítmény, a C munkapontban.



9.3. ábra.
A fogyasztott és a termelt teljesítmény egyensúlya
a) teljesítménynövekedés P_A -ról P_B -re;
b) a rendszer eredő primer szabályozási jelleggörbéje

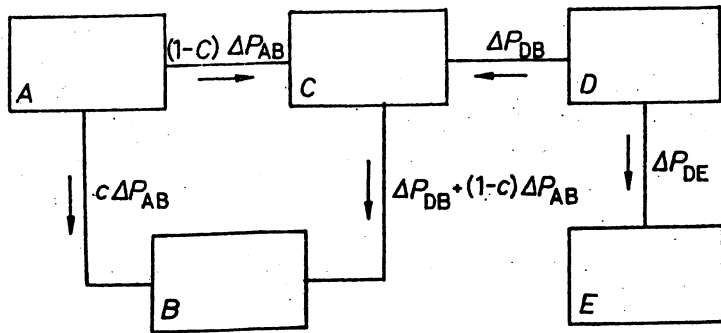
Vizsgáljuk meg, mi történik, ha a rendszer terhelése meghaladja a maximális fejlesztett teljesítményt (9.3a ábra). A $P_C(f)$ fogyasztói teljesítmény meghaladja a rendszer által szolgáltatni képes legnagyobb P_{max} teljesítményt. Ekkor a turbináknak már nincs szabályozási tartalékuk, a frekvencia f_C -re csökken, ahol a frekvenciatényező miatt a fogyasztói teljesítményigény a termelt teljesítménnyel lesz egyenlő. A szekunder szabályozási lehetőséget meghaladó fogyasztói teljesítményigény a frekvencia nagymértékű csökkenésére vezet. Ez nem más, mint a fogyasztás arányos korlátozása, a teljesítményhiány természetes szétosztása a fogyasztók között.

A keletkezett teljesítményhiányt új gépegységek indításával vagy a fogyasztás korlátozásával lehet csökkenteni. A bekapcsolódó új gép a 9.3b ábra szerint módosítja a primer szabályozási jelleggörbét, így a $P(f)$ fogyasztói teljesítményigény f -nél nagyobb f' frekvencián teljesíthető.

9.2.4. Energiarendszerek magasabb rendű együttműködésének szabályozása

A magasabb rendű együttműködő rendszerben is minden időpillanatban biztosítani kell a termelt és a fogyasztott teljesítmény egyensúlyát. Itt is a fogyasztás a meghatározó, azonban, míg az önálló energiarendszerekben a szabályozás egyetlen paramétere a frekvencia, addig a magasabb rendű együttműködésben az egyes rendszerek közötti csereteljesítmény betartása is szükséges. Az egyezményekben rögzített csereteljesítményre az importáló ország úgy szabályoz, hogy erőműveiben a fogyasztói teljesítményigényénél annnyival kevesebb teljesítményt fejleszt, amennyi az import értéke. Az exportáló ország viszont az exportköteleességének megfelelően a saját fogyasztói igényénél több teljesítményt állít elő.

A magasabb rendű együttműködés esetében a teljesítményáramlásokra vizsgáljunk meg egy esetet a 9.4. ábra segítségével. D és E rendszer egyetlen úton csatlakozik a többihez. A , B és C rendszer huroküzemben van. Tegyük fel, hogy B rendszer importál A rendszerből ΔP_{AB} és D rendszerből ΔP_{DB} teljesítményt, E rendszer D -ből ΔP_{DE} értékűt. C rendszer egyen-



9.4. ábra.
Együttműködő energiarendszerek
áramlási viszonyai

súlyban van, de rajta keresztül más rendszerek teljesítményforgalma halad át. Ezt tranzitálásnak nevezzük. A tranzitálás veszteségnövekményt is okoz a hálózaton, de ez a jelenlegi gondolatmenetben nincs figyelembe véve.

A rendszerek között áramló teljesítmény a sugaras DE kapcsolaton egyértelmű. A hurokkapcsolatnál a teljesítményáramlás a szállítási szerződésektől függetlenül a Kirchhoff-törvények szerint alakul. Így a ΔP_{AB} szállítás egy része, $c \Delta P_{AB}$ közvetlen úton, a többi, $(1-c)\Delta P_{AB}$ a C rendszeren át jut el B rendszerbe. A megoszlás nem állandó, hanem függ a három energia-rendszer alaphálózatának pillanatnyi kapcsolásától és a belső teherelosztástól. Az öt rendszerben termelt P_t és fogyasztott P_f teljesítmény megegyezik.

$$P_{At} = P_{Af} + \Delta P_{AB} \quad (9.5)$$

$$P_{Bt} = P_{Bf} - (\Delta P_{AB} + \Delta P_{DB}) \quad (9.6)$$

$$P_{Ct} = P_{Cf} \quad (9.7)$$

$$P_{Dt} = P_{Df} + (\Delta P_{DB} + \Delta P_{DE}) \quad (9.8)$$

$$P_{Et} = P_{Ef} - \Delta P_{DE}. \quad (9.9)$$

A (9.5)...(9.9) egyenlet összeadásából adódik, hogy a termelt és a fogyasztott teljesítmény egyenlő:

$$P_t = P_f.$$

Az aránylag lazán csatolt rendszerek között a legjobb szabályozás ellenére is a csereteljesítmény értéke ingadozik. Ez az ún. kiszabályozhatatlan teljesítménylengés, ami a tapasztalatok szerint

$$P = k\sqrt{P_m} \quad (9.10)$$

összefüggésből számítható. P_m a magasabb rendű együttműködés legkisebb rendszerének fogyasztói teljesítménye, MW; k értéke a tapasztalatok szerint 1,1...1,6 MW^{1/2} között változik. Az egész rendszer eredő primer szabályozási jelleggörbéje a 9.3. ábra szerinti.

A primer szabályozásnak a csereteljesítményre gyakorolt hatása nagyon fontos kérdés. Ha a rendszerek egyenként is elég nagyok, és a fogyasztók természete, a szabályozás karakterisztikája is hasonló, akkor jó közelítéssel igaz, hogy a frekvenciaváltozásra az egyes rendszerek arányosan egyformán reagálnak. Ha pl. az egyik energiarendszerben P_H teljesítményhiány keletkezik, akkor a frekvencia lecsökken. Ennek két hatása lesz. Az egyik, hogy a lecsökkent frekvencián a rendszeregyesülés fogyasztói teljesítménye csökken. A másik, hogy a frekvencia csökkenése miatt a rendszeregyesülés minden egyes, még nem teljesen kiterhelt gépegysége primer szabályozójának működése révén növeli a teljesítményét.

Az első hatásból minden rendszer fogyasztásának megfelelő arányban vesz részt. A második hatásból, a forgótartalékok automatikus mobilizálásából a rendszerek termelt teljesítményük arányában részesednek. A két hatásból adódó teljesítmény nagysága megegyezik a P_H teljesítményhiánnyal. A lazán kapcsolt rendszerek összeköttetéseit a hiánypótló többlétszállítások megterhelik. Ez az átterhelődés azonnal, minden emberi beavatkozástól függetlenül létrejön.

A rendszer-összeköttetéseket tehát úgy kell megtervezni, hogy a reálisan várható kieséseknél jelentkező teljesítménylökéseket üzembiztosan elviseljék. Ellenkező esetben a magasabb rendű együttműködő rendszer több részre eshet szét, ami súlyos üzemzavar.

9.2. Példa. Egy $P_1 = 100\,000$ MW-os magasabb rendű együttműködő rendszer egyik $P_2 = 5000$ MW-os részében $P_H = 200$ MW-os gépegység kiesik. Az elmondottak alapján a hiányos rendszerészbe a többi energia-rendszerből

$$P_{H1} = \frac{P_2}{P_1} \cdot P_H = \frac{5000}{100\,000} \cdot 200 = 10 \text{ MW},$$

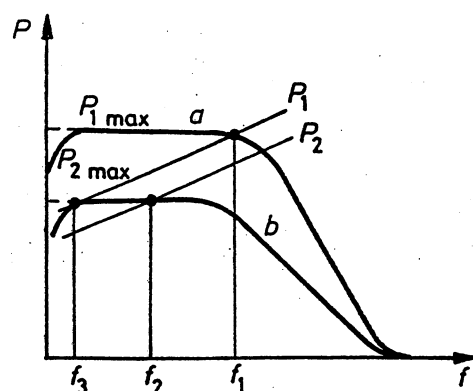
$$P_H - P_{H1} = 200 - 10 = 190 \text{ MW},$$

tehát a teljes hiány 95%-a áramlik az első pillanatban. Ez független attól, hogy a P_2 rendszerben milyen nagyságú forgótartalék áll rendelkezésre. Ha az utóbbit szekunder szabályozással mobilizálják, akkor a kisegítő teljesítmény a többi rendszerből csökkenthető.

9.3. A fogyasztás frekvenciafüggő, automatikus korlátozása

9.3.1. A teljesítményhiány következményei

A 9.2.3. szakasz már foglalkozott a teljesítményhiány és a frekvenciacsökkenés összefüggésével. E pont szerint a frekvencia csökkenésekor a fogyasztói igény is csökken. Ez alól az erőművek háziüzemi fogyasztói sem kivételek, tehát a frekvencia csökkenésekor a kazán- és turbinaüzemben levő forgógépek fordulatszám, így teljesítménye is csökken, ami végső soron a generátorkapcsokon leadott teljesítmény csökkenését okozza. Ez további frekvenciacsökkenéshez vezet, így a rendszer instabillá válhat, lavinaszerűen összeomolhat, és az erőművek leállhatnak. A kisebb gépek 45 Hz-nél is viszonylag stabilan üzemelnek, de a 200 MW-os, ill. ennél nagyobb gépegységeknél 47,0...47,5 Hz alatt megindul a teljesítmény rohamos csökkenése. Különösen az atomerőművek kényesek a frekvencia lecsökkenésére.



9.5. ábra.

A labilis üzem kialakulása P_{1max} -ról P_{2max} -ra csökkenő erőművi teljesítmény esetén

A súlyos teljesítményhiány esetén az automatikus beavatkozás szükségessége és lehetősége jól megítélhető a 9.5. ábrából. Generátorkiesés miatt a rendszer karakterisztikája a helyett b lesz. A b primer szabályozási jelleggörbén a P_1 fogyasztáshoz f_1 frekvencia f_3 -ra süllyedne. A rendszer karakterisztikája f_3 -nál már labilis, mert bekövetkezik az erőművek gyors teljesítménycsökkenése. Ha ezt megelőzően P_1 fogyasztói teljesítményt automatikusan csökkentjük P_2 -re, akkor a frekvencia f_2 értékben stabilizálódik. Ezzel elhárítható a rendszer lavinaszerű összeomlása. A stabil f_2 frekvencia rendellenes üzemállapot, de lehetőséget ad a diszpécseri beavatkozásra, amivel a rendellenes üzem és a fogyasztói korlátozás felszámolható.

9.3.2. A frekvencia időbeli változása

Ha a forgó tartalékok kimerültek és ekkor a frekvencia f_0 , akkor a $\Delta P\%$ hiány hatására a frekvencia új állandósult állapota

$$f_{\text{all}} = f_0 - \Delta f. \quad (9.11)$$

A (9.4) összefüggés alapján $\Delta f\% = \frac{\Delta P\%}{K}$; $f_n = 50$ Hz-es rendszerekben a teljes frekvenciakülönbség

$$\Delta f = \frac{\Delta P\%}{2K} \text{ Hz.} \quad (9.12)$$

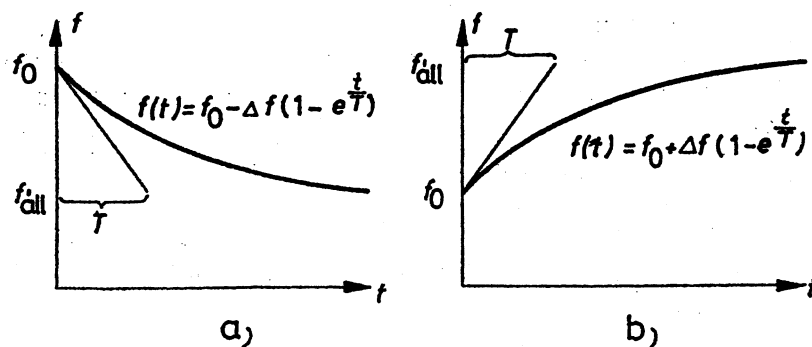
A frekvencia az új állandósult értéket az idő szerint exponenciálisan éri el.

$$f(t) = f_0 - \Delta f(1 - e^{-t/T}). \quad (9.13)$$

Az egyenletben a T időállandó a rendszerben együtt forgó gépegységek forgórészének tehetetlenségi nyomatékától függ. A mérési és tapasztalati adatok szerint értéke 5...20 s. (9.12) figyelembevételével

$$f(t) = f_0 - \frac{\Delta P\%}{2K}(1 - e^{-t/T}). \quad (9.14)$$

Ezt mutatja be a 9.6a ábra.



9.6. ábra. A frekvencia időbeli változása

- a) frekvenciacsökkenés;
b) frekvenciaemelkedés

A frekvencia emelkedése f_0 -ról, ami a fogyasztói kikapcsolás után következik be, szintén exponenciális függvény szerint történik a 9.6b ábra szerint:

$$f(t) = f_0 + \Delta f(1 - e^{-t/T}). \quad (9.15)$$

9.3.3. A frekvenciafüggő terheléskorlátozás kialakítása

A frekvenciacsökkenés érzékelési módjai:

– A frekvencia tényleges értékének érzékelése Magyarországon és a KGST országokban szokásos. A beállított frekvenciánál a fogyasztói kikapcsoló parancs kiadása után, a tényleges kikapcsolásig a frekvencia tovább csökken, így ez az érzékelés egy kicsit lassú.

– A nagy tartalékokkal rendelkező energiarendszerekben gyakran használják a $\Delta f/\Delta t$ frekvenciaváltozás sebességét a hiba érzékelésére. Ez a kritérium önmagában általában nem elég, mert a névlegeshez közeli frekvenciák esetén is nagy $\Delta f/\Delta t$ értékek lehetnek a rendszerben, ami hibás kioldást okozhat.

– Jobb megoldás a frekvenciarelé beállított frekvenciájának a $\Delta f/\Delta t$ függvényében történő automatikus emelése. Ezáltal hiba esetén a beállított értéknél nagyobb frekvencián meg történik a fogyasztói korlátozás. A frekvenciarelé működési egyenlete:

$$f_m = f_{be} + k \frac{\Delta f}{\Delta t},$$

ahol f_m a megszólalási frekvencia, f_{be} a beállított frekvencia; k arányossági tényező, értéke kisebb, mint 1.

– A teljesítményhiány körzetében általában meddőteljesítmény-hiány és ezért jelentős feszültségcsökkenés is tapasztalható. A feszültségcsökkenés is felhasználható a frekvenciarelé beállításának módosítására. A frekvenciarelé működési egyenlete:

$$f_m = f_{be} + k_1 \Delta U,$$

ahol ΔU a relé beépítési helyén a feszültségcsökkenési érték; k_1 arányossági tényező, Hz/V.

A frekvenciacsökkenési terheléskorlátozásnak *alapvetően két érzékelési rendszere lehetséges*: a központi és a fogyasztónál történő érzékelés.

a) Központi érzékelés

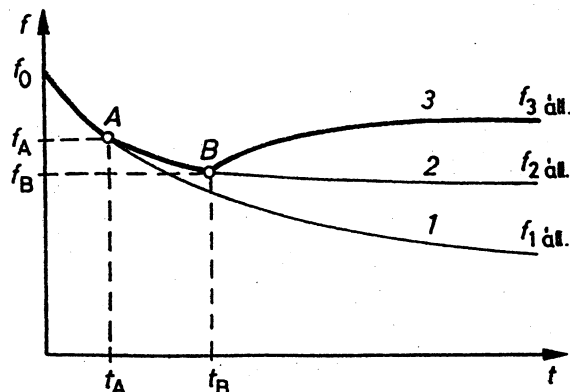
A frekvenciát érzékelő relék a központi diszpécsterszolgálatnál helyezkednek el, és távközlési csatornán keresztül juttatják el a fogyasztókhoz a kikapcsolási parancsot. A rendszer előnye, hogy a folyamatirányító számítógéppel a relék összeköthetők, sőt el is hagyhatók, így a fogyasztói korlátozás mértéke és ideje optimalizálható. Jelentős hátrány, hogy sok, megbízható távközlési összeköttetés szükséges, ami nagyon drága.

b) Fogyasztónál történő érzékelés

A korlátozásba bevont fogyasztóknál vagy kisebb fogyasztói csoportoknál egyedi frekvenciarelé van felszerelve. Ez a gyakorlati esetekben több száz, ill. több ezer relét is jelenthet. A termelői hiánnyal járó üzemzavarok során a keletkező teljesítményhiány tág határok között változhat. A cél az, hogy a teljesítményhiányt minél jobban megközelítő fogyasztói korlátozás kövesse. Ehhez azonban a nagyszámú frekvenciarelé mért értékét és késleltetését valamilyen logikus rendszer szerint kell megállapítani. A többfokozatú korlátozás kialakítására két módszer van: a frekvencialépcsőzésű és az időlépcsőzésű rendszer.

9.3.4. Frekvencialépcsőzésű fogyasztói korlátozás

A frekvencialépcsőzés elvi működése a 9.7. ábrán követhető. Az f_0 frekvencián üzemelő rendszerben ΔP_1 hiány lép fel. Ennek megfelelően a frekvencia az 1 görbe mentén csökkenne és $f_{1 \text{ áll}}$ értéken állandósulna, beavatkozás nélkül. f_A frekvencián a frekvenciarelék P_A fogyasztói teljesítményt kikapcsolnak. A hiány $\Delta P_2 = \Delta P_1 - P_A$ értékre csökken. Ennél a hiánynál $f_{2 \text{ áll}}$ frekvencián állandósulna a rendszer a 2 görbe szerint. A frekvencia időbeni alakulása A ponttól kezdve az



9.7. ábra.
Frekvencialépcsőzésű fogyasztói korlátozás

$$f = f_A - (f_A - f_{2\text{ áll}}) \left(1 - e^{-\frac{t-t_A}{T}}\right) \quad (9.16)$$

összefüggéssel határozható meg (9.13) segítségével. f_B frekvenciánál további korlátozásként P_B teljesítményt kapcsolnak ki a relék, ami $\Delta P_3 = \Delta P_1 - (P_A + P_B)$ hiánynak felel meg, és a frekvencia $f_{3\text{ áll}}$ értékre emelkedik a 3 görbe szerint. A frekvencia a B ponttól az

$$f = f_B + (f_{3\text{ áll}} - f_B) \left(1 - e^{-\frac{t-t_B}{T}}\right) \quad (9.17)$$

összefüggés szerint emelkedik. A beavatkozás révén a frekvencia a veszélyes $f_{1\text{ áll}}$ helyett az elviselhető $f_{3\text{ áll}}$ értéken stabilizálódik, azonban a korlátozásba bevont fogyasztók első két fokozata $P_A + P_B$ teljesítménnyel ellátatlan.

Ha a keletkező hiány nagy, akkor a többfokozatú korlátozás után a frekvencia esése megáll, de emelkedésre nem számíthatunk. Az utolsó egy vagy két fokozatot célszerű úgy kialakítani, hogy ha a frekvencia tartósan e fokozatok alatt marad (20...30 s), akkor további fogyasztói terület kikapcsolásával frekvenciaemelkedés jöjjön létre.

Az üzemzavar alatti f_B legkisebb frekvencia és az $f_{3\text{ áll}}$ frekvencia közötti különbség a korlátozási fokozatok számának növelésével, a korlátozott teljesítmény finomításával csökkenthető. A gyakorlatban 5...10 fokozatot alakítanak ki, a fokozatok között 0,3...0,5 Hz lépéscsökkenéssel. Az első fokozat beállítási értéke rendkívül függ magától a rendszertől. Ismeretesek olyan külföldi rendszerek, amelyek már a 49,8...49,5 Hz tartományban megkezdik a korlátozást. A KGST egyesített energiarendszerében ez a tartomány 49,3...48,7 Hz.

Valamennyi fokozat 0,3...1,0 s késleltetésű, amivel elkerülhető a relék indokolatlan működése a frekvencia- és a feszültségtranziensek alatt. A késleltetés alatt a frekvencia természetesen csökken, ezért az első fokozatok késleltetését a lehetséges legkisebbre célszerű választani.

A fokozatok összteljesítményét a várható legnagyobb teljesítményhiányt okozó esetből kell meghatározni. A korlátozásba bevont fogyasztóknál a csúcsidejű teljesítményeket szokás figyelembe venni, de a P_{AT} ténylegesen korlátozott teljesítmény általában ennél kisebb. Ez a nem csúcsidőben bekövetkező korlátozásból, valamint az egyes fokozatokban levő egyedi frekvenciarelék működéselmaradásából adódik:

$$P_{AT} = \beta P_A, \quad (9.18)$$

ahol P_A az A korlátozási fokozat csúcsteljesítménye, β értéke 0,8...0,9. A hiánypótló korlátozási teljesítmény meghatározásánál a ténylegesen várható korlátozás P_{AT} értékéből kell kiindulni.

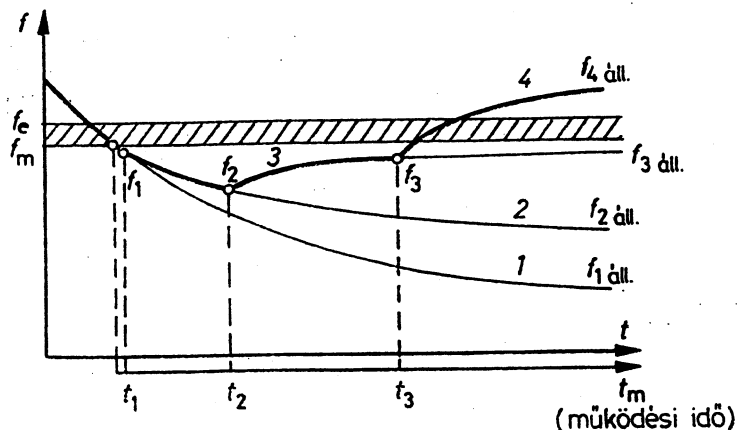
A teljesítményhiány *megszűnése* után a fogyasztók visszakapcsolhatók. Ezt azonban kellő óvatossággal kell végezni, mert a hiányzó erőművi teljesítmény biztosítása *előtt* bekapcsolt fogyasztók ismételt frekvenciaeséket okoznak.

A frekvencialépcsős rendszert olyan esetekben célszerű használni, amikor százalékosan jelentős teljesítményhiánnyal és viszonylag kis rendszer-időállandóval kell számolni.

9.3.5. Időlépcsőzésű fogyasztói korlátozás

Ebben a rendszerben az összes korlátozási fokozat azonos frekvenciaértéknél indul, a fokozatok egymástól csak késleltetésben térnek el. A 9.8. ábra egy ilyen rendszert mutat háromlépcsős kialakításban.

A frekvenciarelék f_m frekvenciánál meghúznak, és a frekvencia növekedése után f_e -nél ejtenek el. Az f_0 frekvencián üzemelő rendszerben ΔP hiány esetén a frekvencia az l görbe szerint csökkenne $f_{1\text{ áll}}$ frekvenciára. f_m elérésekor mindhárom frekvenciafokozat minden reléje megszólal. Az első fokozat a minimális t_1 késleltetés után P_A fogyasztói teljesítményt kikapcsol.



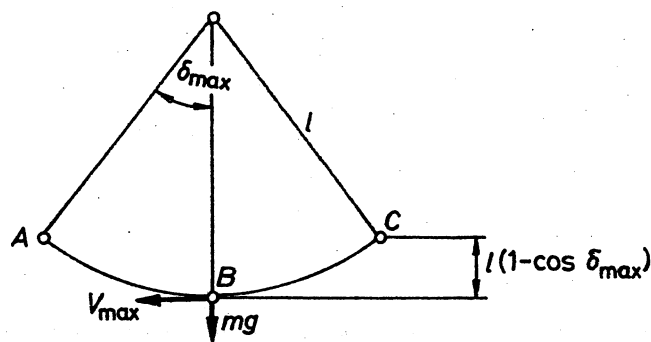
9.8. ábra.
Időlépcsőzésű fogyasztói korlátozás

Ekkor a ΔP hiány csökken, és a frekvencia 2 görbe szerint változik. A második fokozat t_2 késleltetését követően P_B fogyasztói teljesítményt kikapcsolva tovább csökkenti a hiányt. A frekvencia csökkenése megáll, sőt növekedni kezd f_3 áll. értékre. A harmadik fokozat t_3 késleltetésével (általában 20...30 s), P_C fogyasztói teljesítmény kikapcsolásával a rendszer ΔP hiánya nagyrészt megszűnik, ezért a frekvenciarelek f_e elérése után visszaesnek.

A leírt rendszer jól illeszkedik a magasabb rendű együttműködésben üzemelő rendszer-egyesítésekhez, ahol a T időállandó nagy, és a kiesés a rendszer nagyságához viszonyítva kicsi.

9.3.6. A hálózati tranziensek hatása a frekvenciarelek működésére

A hirtelen, lökészerű fogyasztói igények hatására a fogyasztó feszültsége és a távoli generátor feszültsége közötti terhelési szög megváltozik. A feszültség új fázishelyzete lengéssel áll be, ezért a frekvencia helyi, tranziens megváltozását okozza, ami hibás frekvenciarelek-működést okozhat.



9.9. ábra.
A frekvencialengés modellje.

A lengés jól modellezhető a 9.9. ábra szerinti ingával. Az inga energiája A és B pontokban megegyezik:

$$\frac{mv_{\max}^2}{2} = mgl(1 - \cos \delta_{\max}), \quad (9.19)$$

ahol v_{\max} a B pontban a sebesség, m az inga tömege, l a hossza, δ_{\max} a teljes lengés félszöge.

A és C pont úgy fogható fel, mint a helyi és távoli feszültség mértani helye, $2\delta_{\max}$ a közöttük fellépő maximális szögeltérés, az inga szögsebessége pedig a feszültségvektorok szögsebesség-eltérése. A B pont szögsebessége:

$$\omega_{\max} = \frac{v_{\max}}{l}, \quad (9.20)$$

behelyettesítve (9.19)-be:

$$\omega_{\max} = \sqrt{\frac{g}{l} 2(1 - \cos \delta_{\max})}. \quad (9.21)$$

Az inga T lengési időállandója: $T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$,

a szögsebesség tehát: $\omega_{\max} = \frac{2\pi}{T} \sqrt{2(1 - \cos \delta_{\max})}$.

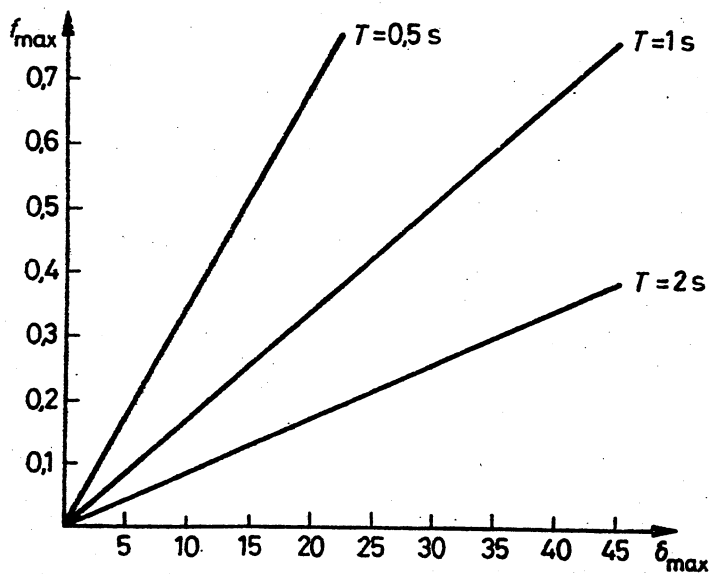
Így a maximális frekvenciaeltérés:

$$\Delta f_{\max} = \frac{\sqrt{2(1 - \cos \delta_{\max})}}{T}. \quad (9.22)$$

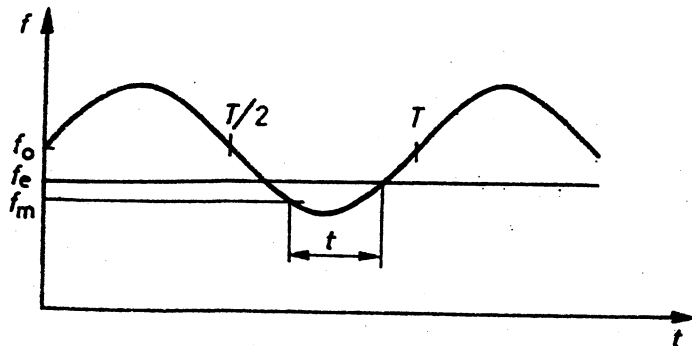
Tapasztalatok szerint a lengés időállandója 0,5...2,0 s. A maximális frekvenciaeltérés és a lengési szög összefüggése a 9.10a ábrán látható.

A 9.10b ábra f_0 kiinduló frekvencia mellett egy tranziens hatásra fellépő frekvencialengést ábrázol. A frekvenciarelé f_m -nél megszólal és f_e -nél elejt. Így összesen t ideig tart a relé megszólalása.

A hibás működés biztos elkerülése érdekében a frekvenciarelé késleltetését $t > T/2$ -re kell megválasztani.



a)



b)

9.10. ábra. Frekvencialengés
a) a frekvenciaeltérés
és a lengési szög kapcsolata;
b) a frekvencia időbeli lengése

9.3. Példa. Egy $P = 6000$ MW-os energiarendszerben $P_H = 2500$ MW hiány lép fel. A rendszer frekvencia-tényezője $K = 2$, időállandója $T = 20$ s. Határozzuk meg, hogy beavatkozás nélkül 49,8 Hz-ről elvben milyen értékre süllyedne a frekvencia. Hogyan alakul az első nyolc másodpercben a frekvencia, ha a következő, öt fokozatú automatikus frekvenciakorlátozást alkalmazzuk.

A fokozat: $P_A = 85,5$ MW, $f_A = 48,7$ Hz, $t_A = 1,0$ s;

B fokozat: $P_B = 747,0$ MW, $f_B = 48,5$ Hz, $t_B = 0,5$ s;

C fokozat: $P_C = 826,6$ MW, $f_C = 48,3$ Hz, $t_C = 0,5$ s;

D fokozat: $P_D = 1028,3$ MW, $f_D = 48,2$ Hz, $t_D = 0,5$ s;

E fokozat: $P_E = 500,0$ MW, $f_E = 48,1$ Hz, $t_E = 10$ s.

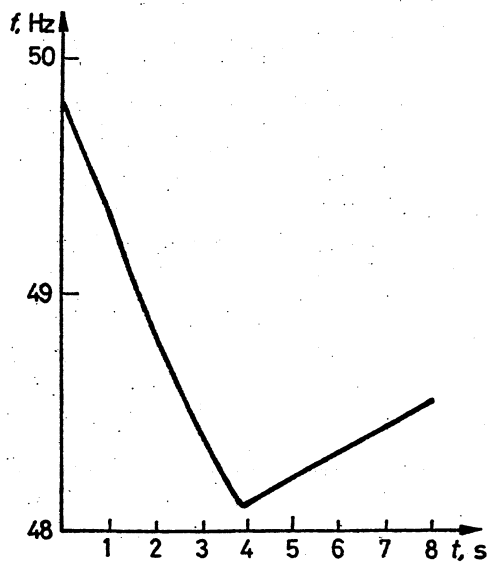
A teljes frekvenciaesés (9.12) alapján

$$\Delta f = \frac{\Delta P \%}{2K} = \frac{\frac{2500}{6000} \cdot 100}{2 \cdot 2} = 10,41 \text{ Hz,}$$

azaz a frekvencia elvben 39,39 Hz-nél állandósulna. A (9.4) egyenlet megoldásával:

t, s		0,0	2,3	2,7	3,2	3,3	3,4	3,7	3,9
$f(t), \text{Hz}$		49,8	48,67	48,49	48,27	48,24	48,21	48,13	48,1
Fokozat	indul	–	P_A	P_B	P_C	–	P_D	–	–
	kiold	–	–	–	P_B	P_A	–	P_C	P_D

A frekvenciamenetet a 9.11. ábra mutatja.



9.11. ábra.

A frekvencia időbeli változása egy $P = 6000$ MW-os rendszerben $P_H = 2500$ MW hiány esetén

9.4. Kritikus metszések

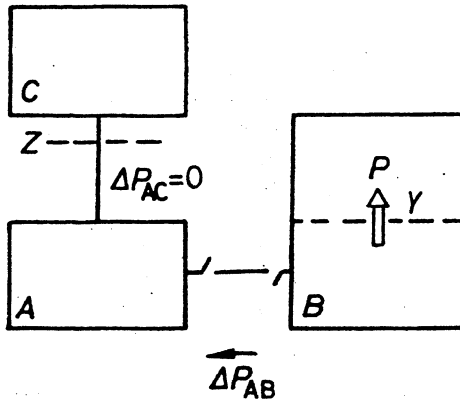
A kisebb-nagyobb rendszeregyesülések egymás közötti, valamint rendszeren belüli egyes kapcsolatai véges áteresztőképességűek. Üzemzavari helyzetekben, ha a teljesítményáramlások megközelítik vagy meghaladják e kapcsolatok áteresztőképességét, ez további üzemzavarok kiindulása lehet. Ezeket a kapcsolatokat nevezzük kritikus metszéseknek. Kritikus metszések a következő okok miatt alakulhatnak ki:

Túlterhelés. Ebbe soroljuk azokat az eseteket, amikor a metszék termikusan túlterhelődik, vagy elviselhetetlen mértékű feszültségcsökkenés lép fel, valamint ha a terhelés hatására a relévédelmek működnének.

Statikus stabilitás megbomlása. A $\delta = 90^\circ$ terhelési szöget megközelítő vagy azt meghaladó kvázistacionárius teljesítményáramlások esetén stabil üzem nem tartható fenn. Ez a határüzemállapot.

Tranziens stabilitás megbomlása. Minden zárlat, lökészerű teljesítménynövekedés vagy a transzfer impedancia hirtelen megnövekedése, amely után a stabil üzem nem maradhat fenn.

Másodlagos metszések kialakulása. A kritikus metszéken a megengedhetőnél nagyobb áramlások kialakulásakor egyéb intézkedés nélkül bomlás következik be, amelynek következtében a rendszer két részre szakad.



9.12. ábra. Másodlagos metszések

A 9.12. ábra szerint az A rendszer B -ből ΔP_{AB} -t importál. Ha az $A-B$ összeköttetés mint kritikus metszék megbomlik, az A és C rendszerrész különválk B rendszertől. A és C rendszer részben ΔP_{AB} teljesítményhiány, B részben ugyanannyi teljesítménytöbblet keletkezik. Mivel ΔP_{AB} teljesítmény az A rendszer importja volt B -ből, az első pillanatban ennek egy része a Z metszékot terheli meg, ami különösen akkor jelentős, ha a C rendszer jóval nagyobb, mint az A . Ha ezt a terhelést a Z másodlagos metszék nem tudja felvenni, további bomlás lép fel, és az A rendszer egyedül marad a teljes ΔP_{AB} hiánnyal. A rendszeregyesülés három részre szakad. B rendszerben a ΔP_{AB} teljesítményszállítás megszűnésekor pl. egy generátoros teljesítménylökés tapasztalható az Y másodlagos metszéken, amelyre $P + c\Delta P_{AB}$ teljesítmény kerül. Ha ennek átvitelére nem képes, akkor a B rendszer is két részre eshet szét. Az egyik rendszerrészben P teljesítményhiány, a másikban $P + P_{AB}$ teljesítménytöbblet lép fel.

A **kritikus metszések teljesítményeloszlását** normál, valamint minden karbantartási üzemállapotban előre meg kell határozni. A karbantartási üzemállapotok természetesen azonosak a vizsgált elem kiesését követő állapotokkal. Minden egyes üzemállapotban meg kell határozni a P_{HA} statikus stabilitási határteljesítményt — ahol a terhelési szög $\delta = 90^\circ$ — és a termikusan megengedhető maximális üzemi teljesítményáramlást, amelynél a metszék bomlás megelőzése érdekében be kell avatkozni. Ezekből a teljesítményadatokból meghatározhatók a túlterhelődéses kritikus metszések is. Minden üzemállapotban ellenőrizni kell a tranziens stabilitást is.

A gyakorlatban $\delta = 60...70^\circ$ terhelési szöghöz tartozó teljesítményáramlásokat állandósult üzemben már nem szabad megengedni. Ez azt jelenti, hogy a P_{HA} határteljesítmény 86...94%-nál nagyobb üzemi teljesítményáramlások nem engedhetők meg, tehát ez az a határ, amelynél beavatkozás szükséges. Ezt nevezzük P_{krit} kritikus teljesítménynek.

$$P_{krit} = \alpha P_{HA},$$

ahol $\alpha = 0,86...0,94$. α és δ terhelési szög $\alpha = \sin \delta$ összefüggését a 9.13. ábra mutatja.

A P_{krit} értéket a metszékterhelés kétféle módon haladhatja meg: gyorsan és viszonylag lassan.

a) Gyors teljesítménylökést a metszék importáló oldalán kieső erőmű vagy nagy blokk okoz. Ekkor a tranziens stabilitásból határozhatjuk meg a beavatkozás idejét, ami magasabb rendű együttműködések esetén nem több, mint 1,5...2,0 s.

b) P_{krit} lassúelérése és túlhaladása a metszék importáló oldalán az egyes energiarendszerekben kialakuló tartós teljesítményhiány miatti túlvételezéskor fordul elő. A beavatkozási idő ilyen esetekben 10...25 perc is lehet.

Ha nem avatkozunk be, akkor a kritikus metszék mentén szétcsavarodó rendszerek a kialakuló lengésközéppontnál a relévédelmek működése következtében spontán módon bomlanak. Ezáltal nagy teljesítményhiányok, ill. feleslegek keletkezhetnek, amelyek további másodlagos bomlásokat okozhatnak, és a magasabb rendű együttműködő rendszer rövid idő alatt elemeire eshet szét. Ezt feltétlenül meg kell akadályozni. A beavatkozás történhet a balanszautomatika-elv használatával, az optimális automatikus metszék bontás, valamint az aszinkron járást megszüntető automatikák alkalmazásával.

9.5. Metszékvédelmi automatikák

9.5.1. Balanszautomatika

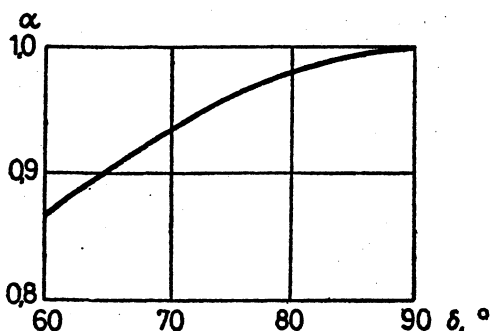
A fogyasztás és termelés mindenkor egyensúlyában a fő szerep a fogyasztásé. Ebből adódik, hogy a kritikus metszék spontán bomlását úgy akadályozhatjuk meg, ha kritikus üzemi állapotokban a fogyasztást automatikusan korlátozzuk. A metszék importáló oldalán végrehajtott fogyasztói korlátozással egyidőben az exportáló oldalon teljesítménytöbblet keletkezik. Ha a teljesítménytöbblet az exportáló oldalon másodlagos bontást okozhat, akkor generátorokat kell kikapcsolni. Mivel a metszék túlterhelődése, mint láttuk, lassan és gyorsan következhet be, célszerű a metszékvédelem balanszautomatikát is kétféleképpen kialakítani. A P_{krit} terhelés elérése után a két fokozat más-más teljesítményértéknél és eltérő késleltetéssel avatkozik be a metszék teljesítmény importáló oldalán. A balanszautomatika kellően gyors folyamatirányító számítógépeket tételez fel a rendszerrészek teherelosztóiban.

a) Lassú fokozat

A metszékérzékelés beállítása P_{krit} alsó határánál, $\delta = 60^\circ$ terhelési szögnél, ahol $\alpha = 0,866$ (9.13. ábra), a fokozat teljesítménybeállítása (ez a beállítás felső határa):

$$P_L = 0,866P_{HA},$$

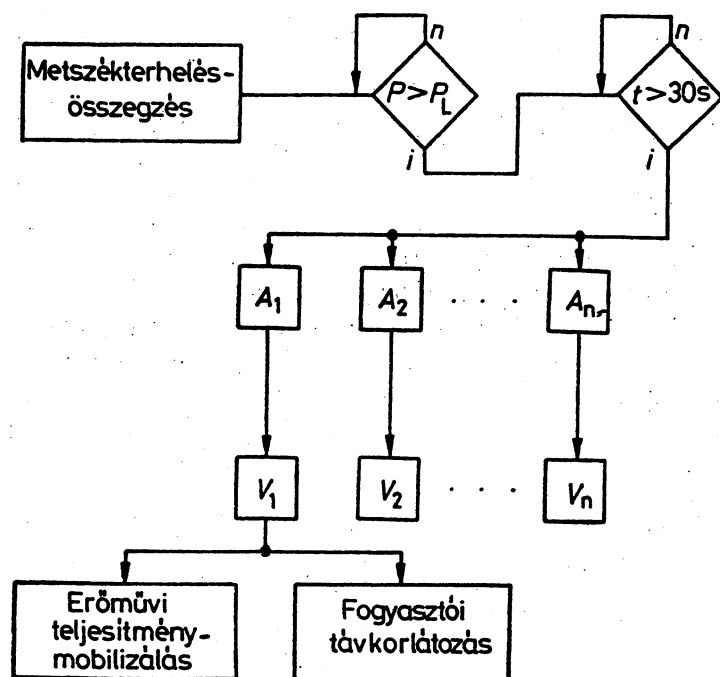
késleltetése legalább $t_L = 30$ s. A késleltetést meghaladó, tehát tartós kritikus teljesítményáramlásakor az első fokozat a metszék teljesítményhiányos oldalán levő erőművi forgótartalékokat szekunder szabályozással igénybe veszi, a szivattyús-tározós erőművek szivattyús üzemét megszünteti, és erőművi üzemre kapcsol, ill. fogyasztói korlátozást végez. A fogyasztás ilyen módon történő csökkentésével 5...15 perc alatt el kell érni, hogy a metszék terhelése P_L alá csökkenjen.



9.13. ábra. α csökkentő tényező

A magasabb rendű együttműködés keretében mindezek a következőképpen valósíthatók meg. Minden rendszerrész központi teherelosztójának meg kell kapni azt az információt, hogy a metszék terhelése meghaladta a P_L értéket. Ennek két módja van: vagy a metszék terhelését real-time módon, vagy a P_L túllépésének információját kapják meg a rendszerrészek teherelosztói. Mindkét megoldáshoz jó minőségű, közepes sebességű, kétutas jelátviteli csatornák szükségesek.

A rendszerrészek központi teherelosztói a metszék kritikus terheléséről kapott információ után összehasonlítják a pillanatnyi szaldójukat a tervezettel. Ha a szaldó az import irányába tér el, haladéktalanul meg kell kezdeni a fogyasztás csökkentését. Az erőművi teljesítmények mobilizálása, a hiányos rendszer kiegészítése azoknak a rendszerrészeknek is érdeke, akiknél nincs hiány, mert ezzel a számukra is veszélyes metszék bontás elkerülését segítik. A rendszer részek központi teherelosztóiból az erőművi teljesítmények mobilizálása és a fogyasztói távkorlátozás jelentős mennyiségű és minőségű távközlési csatornát igényel.



9.14. ábra.
A balanszautomatika lassú fokozatának logikai vázlata

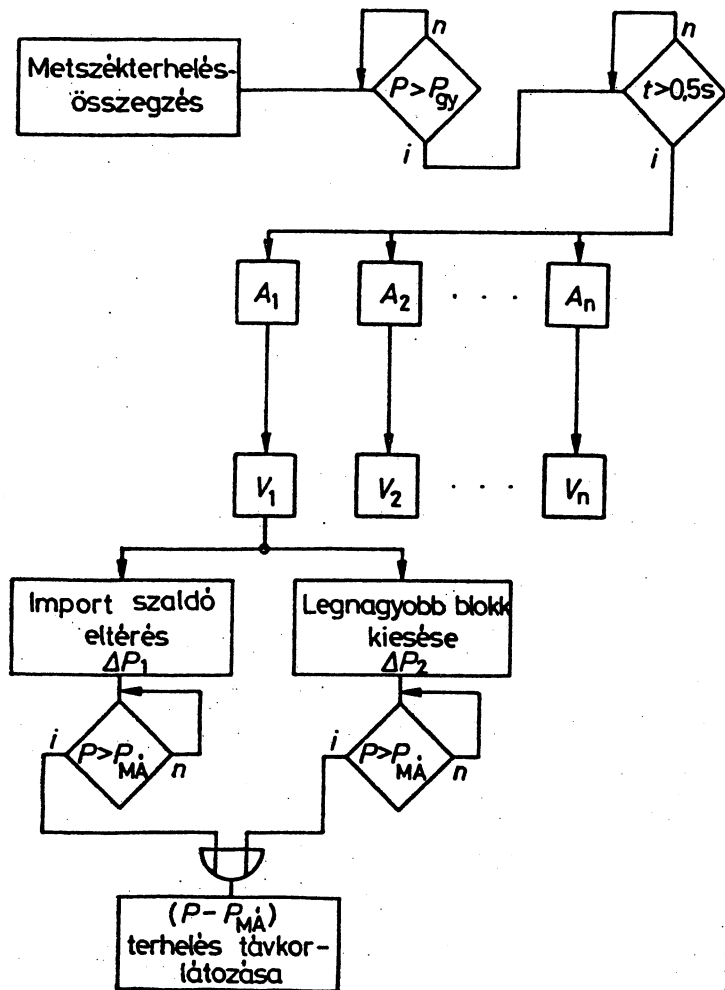
A balanszautomatika első, lassú fokozatának elvi működését a 9.14. ábra mutatja. Az ábrán $A_1 \dots A_n$ az egyes rendszerrészek teherelosztói felé menő adó, $V_1 \dots V_n$ a vevőberendezéseket jelölik.

b) Gyors fokozat

A metszékérzékelés beállítása P_{krit} felső határát megelőzve — $\delta = 65^\circ$ terhelési szögnél, ahol $\alpha = 0,90$ (9.13. ábra) — a fokozatteljesítmény beállítása (ez a beállítás felső határa):

$$P_{gy} = 0,9P_{HA}.$$

A fokozat feladata a nagy forráskiesések okozta metszék bontások megelőzése. Ilyen esetekben a rendszer egyes pontjai között a feszültségvektorok tranziens folyamat után érik el az új terhelési szöveget. A hiány pótlása a keletkezési hely felől hullámszerűen terjed a kritikus metszék felé. A terjedés sebessége 100 km-enként néhány 100 ms. Az a tény, hogy a keletkező teljesítményhiány időben előbb jelentkezik a hiányos rendszerrész szaldójában, mint a kritikus met-



9.15. ábra.
A balanszautomatika gyors fokozatának logikai vázlata

széken, segíti a beavatkozás sikerét, mert a metszék bontás kezdete ezzel az idővel késik. Ennek ellenére a késleltetés a lehető legkisebb legyen, pl. $t_{gy} = 0,3$ s. A balanszautomatika gyors fokozatának beavatkozása csak fogyasztói távkorlátozás lehet abban a rendszer részben, ahol a hiány keletkezett. Ennek a fokozatnak az elvi működése a 9.15. ábra segítségével vizsgálható. Ismerni kell minden részrendszerben a forráskiesés ΔP_1 nagyságát, a legnagyobb erőművi blokk ΔP_2 teljesítményét, a kritikus metszék szabad P_{MA} átteresztőképességét – ami a metszék bontó automatika beállításának és a metszék pillanatnyi terhelésének különbsége –, az exportáló rendszer rész P_{M2} , és az importáló rendszer rész P_{M1} teljesítményét.

A szaldóteljesítményben jelentkező ugrásszerű ΔP importnövekedésből a tranziensek lezajlása után a metszékre kerülő többleteljesítmény

$$P = \Delta P \frac{P_{M2}}{P_{M1} + P_{M2}} \quad (9.23)$$

Ha ez a teljesítmény meghaladja P_{MA} pillanatnyi metszék átteresztőképességét, akkor a kettő különbségének megfelelő fogyasztót ki kell kapcsolni. Az automatika második fokozata jelentős számú, nagy sebességű jelátviteli utat igényel és nagy kapacitású folyamatirányító számítógép szükséges a gyors döntési feladatok végrehajtásához.

A leírt gyors és lassú fokozat – korlátozott lehetőségekkel és funkciókkal – központi számítógép nélkül is megoldható helyi érzékelések és nagyszámú jelátvivő út segítségével.

9.5.2. Optimalizált metszék bontás

A kritikus metszések túlterhelődésekor általában stabilitási bomlás vagy az ennél még súlyosabb rendszerrészek közötti aszinkron üzem állhat elő. A stabilitási bomlást a relévédelmek spontán működése követi, ezt nevezzük spontán bomlásnak. A távolsági védelmek és a túláramvédelmek működhetnek stabilitási bomláskor, ha nincsenek ellátva lengésszárral, amely lengéskor reteszeli működésüket. A differenciálevlű védelmek működési elvükből következően érzéketlenek a lengésekre és a stabilitási bomlás után bekövetkező aszinkron állapotokra.

A spontán bomlás általában a legrosszabb helyen lép fel: azon metszék mentén, ahol a legnagyobb az átáramló teljesítmény, így szétválás után a szétváló rendszerrészekben igen nagy hiány, ill. többlet lép fel. A spontán bomlás ezért további másodlagos bomlást, ill. súlyos frekvencia-üzemzavarokat okozhat. Emiatt ha a balanszautomatika beavatkozása hatástalan, a spontán bomlást tervszerű metszék bontással kell megelőzni, úgy hogy a hiány, ill. többlet minél kisebb legyen.

A tervszerű metszék bontó automatikák érzékelőelemei lehetnek teljesítményt mérő, ill. terhelési szöget mérő berendezések.

a) Teljesítményérzékelés

A metszékérzékelés beállítása a P_{krit} felső határát megelőzve $\delta = 70^\circ$ terhelési szöghöz tartozó P_{B1} teljesítmény, ahol $\alpha = 0,94$ (ez a beállítás felső határa):

$$P_{B1} = 0,94 P_H.$$

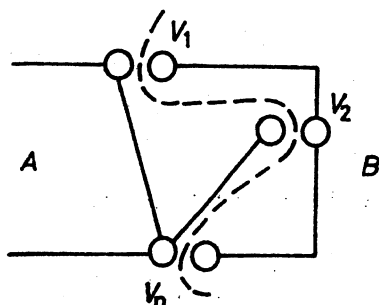
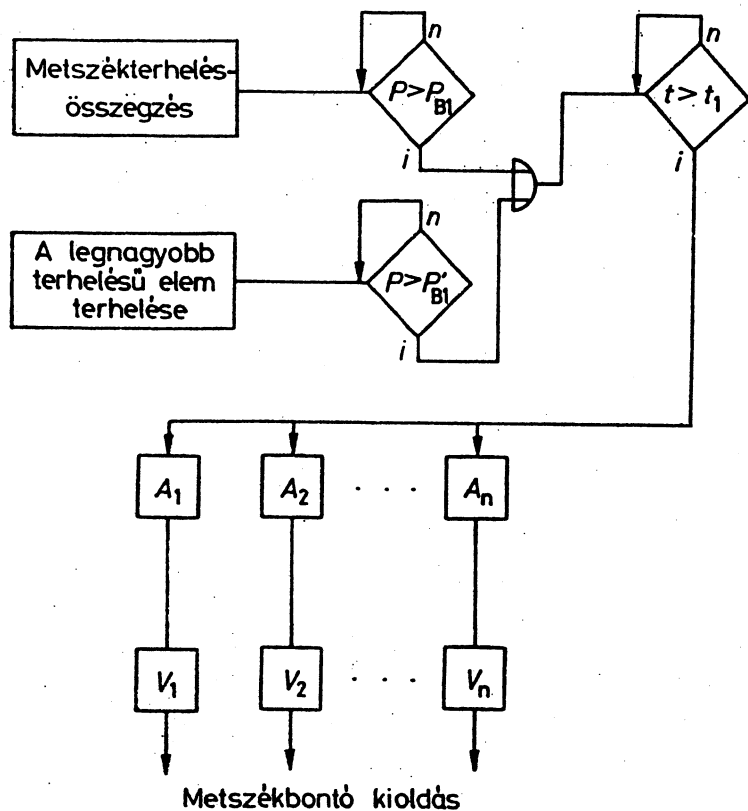
A metszék minden elemének terhelését távközlési úton egy központi helyre kell vinni, ahol összegezéssel képezhető a pillanatnyi metszékterhelés.

A mintavételes vagy analóg mérések alapján képzett metszékterhelés-képzésnek kellően gyorsnak kell lenni, hogy a valóságos metszékterheléstől ne térjen el jelentősen az összegezés értéke. Előfordul, hogy a sok távközlési út egyikének hibája miatt a metszék mérést bénítani kell. Ilyenkor a metszék legnagyobb terhelésű elemének terheléséből kell a metszék bontó automatikát indítani. Ez természetesen arányos egy adott üzemállapotban a metszékterheléssel.

b) A terhelési szög érzékelése

A metszék legnagyobb terhelésű elemének exportáló és importáló oldalán levő feszültségek közötti szög arányos a metszék terhelési szögével. A két feszültség előállítható az egyik oldalon elhelyezett olyan műkapcsolás segítségével, amely jól képezi le a távvezeték (pl. egy vagy két π -tag leképezése elegendő). A távvezeték szemközti feszültségének fázisa összehasonlítás céljából távközlési úton is a mérési helyre hozható. Ez azonban meglehetősen bonyolult feladat. Az automatika 1,5...2,0 s késleltetéssel a kritikus metszék tehermentesítése érdekében a magasabb rendű együttműködő rendszert két olyan önálló rendszerrészre bontja, amely lehetőleg kiegyenlített, azaz a teljesítményhiány, ill. -többlet minimális. A bontási helyek területileg egymástól távol is lehetnek, ekkor a beavatkozás csak távparanccsal lehetséges. Ez nagyon sok kétutas, közepes sebességű jelátviteli csatornát igényel.

Példaként vizsgáljuk meg a bontóautomatika elvi működését a 9.16. ábra segítségével! Az A és B rendszer között $V_1, V_2 \dots V_n$ pontokon van az automatikus bontás előkészítve. A metszékterhelés vagy a legnagyobb terhelésű elem túlterhelődésekor — P terhelés meghaladja P_{B1} , ill. P'_{B1} értékét — t_1 késleltetés után az automatika kiadja a bontási parancsot, szétválasztva az A és B rendszert.



9.16. ábra.

A metszék bontó automatika logikai vázlata

9.5.3. Aszinkron üzemet megszüntető automatikák

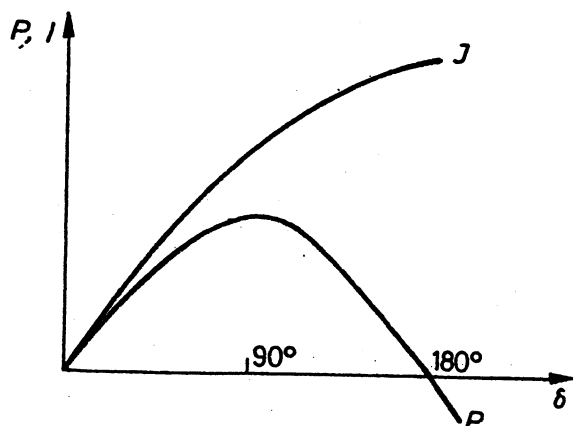
A balansautomatika, valamint a metszék bontó automatika a jelátviteli utak és a nagyszámú megszakító miatt gyakran eredménytelen, és nem képes megakadályozni a rendszerbomlást, amely után az egyesített energiarendszer két része között aszinkron üzem alakul ki. Ezt feltétlenül meg kell szüntetni, mert a lengésközéppont közelében a nagymértékű ismétlődő feszültségletörés miatt a fogyasztók kiesnek, a turbógenerátorokra rendkívüli mechanikai igénybevételek hatnak, végül az egyes erőművek és generátorok egymáshoz képest is lengeni kezdenek, és a folyamatok teljesen ellenőrizhetetlenné válnak. Ezt a feladatot végzik az aszinkron üzemet megszüntető automatikák, amelyek beavatkozása kettős lehet:

– Lazán csatolt, és nem magasabb rendű együttműködésben üzemelő rendszerek között a fogyasztás, ill. a termelt teljesítmény egyidejű csökkentésével néhány aszinkron átfordulás után mód van a szinkron üzemállapot helyreállítására.

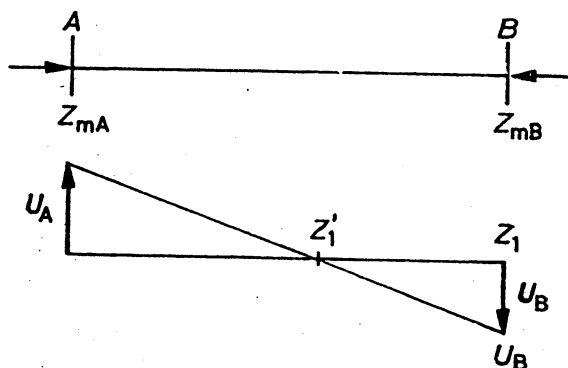
– Magasabb rendű együttműködésű rendszeren belüli aszinkron üzemet a lehető leggyorsabban meg kell szüntetni az aszinkron üzembe került rendszerreszek szétválasztásával, mivel reszinkronizációra kicsi a remény, az állapot viszont kritikus a rendszerre nézve.

– A feladat azért nehéz, mert a szinkron üzemben fellépő lengések, különösen az aszinkron üzem kezdetén, nehezen különböztethetők meg az aszinkron üzemtől.

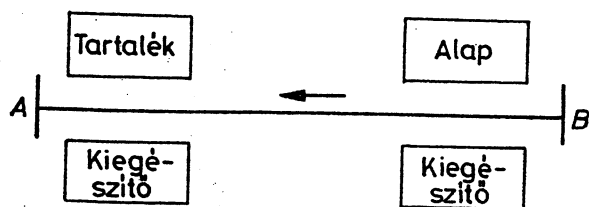
Az érzékelés módjainak eldöntéséhez a 9.17. ábrát kell megvizsgálni. Látható, hogy a 0° körüli lengéseknél a P teljesítmény és az I áram a zérus érték körül leng. 180° körüli lengésnél, tehát a rendszerek közötti átfordulásnál zérus teljesítmény mellett az áram zárlati jellegű, maximális érték. A 180° -os oppozíciós helyzetben kialakuló nulla feszültségű pontot virtuális zárlati helynek nevezik (1. részletesen a 4.6.5. szakaszt). Az érzékelés tehát az áram, a feszültség és a teljesítmény kombinált mérésével ill. az impedancia mérésével történhet.



9.17. ábra. A teljesítmény és az áram függése a terhelési szögtől



9.18. ábra. Impedanciaérzékelési viszonyok aszinkron üzem esetén



9.19. ábra. Az aszinkron üzemet megszüntető automatikák rendszere

Példaként az impedanciaérzékelés elve vizsgálható a 9.18. ábra segítségével. A és B csomópontot összekötő távvezetéken alakul ki a lengésközéppont, a virtuális zárlat helye. Ez a pont függ a távvezeték Z_1 pozitív sorrendű impedanciájától és Z_{mA} , ill. Z_{mB} mögöttes impedanciától. A gyűjtőszintől a Z'_1 virtuális zárlati hely

$$Z'_1 = \frac{Z_{mA} + Z_1 + Z_{mB}}{2} - Z_{mA} \quad (9.24)$$

impedancia távolságra van. Ha a távvezetéken zárlat lép fel, akkor a Z_1 -re és Z'_1 -re állított impedanciaelem közül egyidejűleg mindkettő vagy csak Z_1 szólal meg. Aszinkron üzemben Z_1 és Z'_1 megszólalása között $0,5 \dots 1,0$ s közötti idő telik el, ami felhasználható az érzékelésre.

Az aszinkron üzemet megszüntető automatika szelektivitását — a lengésektől történő elhangolását — fokozhatjuk, ha nem az első 180° -on történő átfordulásnál működtetünk, hanem $n = 1 \dots 10$ átfordulás után történik a beavatkozás. Erre nincs mindig lehetőség, pl. magasabb rendű együttműködés esetén, ahol a beavatkozásnak az első átfordulás után meg kell történni.

Az automatikaműködés biztonságának fokozása érdekében alap-, tartalék és kiegészítő készüléket alkalmaznak elsősorban a szovjet gyakorlatban. A 9.19. ábrán a B állomás felől van szállítás A állomás felé, ezért az alapautomatika a B állomáson van, a tartalék az ettől független A állomáson üzemel. Ezek az automatikák általában egyfázisú érzékelésűek, ha ez a fázis kikapcsolódik, akkor működésképtelenné válnak. A kiegészítő automatika a zérus sorrendű áram hullámozását érzékeli az aszinkron üzem alatt, ha a megszakítók közül egy vagy két fázis már kikapcsolódott. Ez azonban csak néhány aszinkron ciklus után avatkozik be.

9.5.4. Stabilitásvédő automatikák

Nagy erőművi koncentrációk esetén vagy nagy energiatöbbletű rendszerrészben gyakran előfordul, hogy a hálózati kapcsolatok üzemzavari gyengülésekor a tranziens stabilitás megbomlik. Ezt feltétlenül meg kell akadályozni, mert az egész erőmű kikapcsolódhat, a hálózat részekre eshet, és aszinkron üzem is kialakulhat.

A transzfer reaktancia növekedése létrejöhet szándékolt kikapcsolás és zárlati kikapcsolás következtében. A tranziens stabilitás megbomlásának veszélye nő, ha a zárlat kikapcsolása késleltetéssel, ill. megszakítóberagadási védelemmel történik. A tranziens stabilitási viszonyokat bonyolult számítógépes eljárással lehet kellő pontossággal meghatározni.

A beavatkozás módja egyértelműen csak az erőmű gyors teljesítménycsökkentése lehet. Ennek két megoldása van:

– Gyors beavatkozás a turbina szabályozásába. Ennek lehetőségét gépészeti okok korlátozhatják, pl. az axiális nyomások. A beavatkozás ideje néhány 100 ms.

– Gép kikapcsolása. Ez a leggyorsabb beavatkozás, azonban nehezen vagy egyáltalán nem optimalizálható. Általában a szükségesnél nagyobb teljesítményt kell kikapcsolni.

A beavatkozást érzékelő stabilitási automatika bonyolult, nagy megbízhatóságú készülék. A feladatok összetettségének és bonyolultságának fokozódásakor csak számítógépes automatika jöhet szóba. Az automatika indítási és beavatkozási feltételeit a számítógépes stabilitászámításból lehet meghatározni. Ezek az automatikák egyediek, mindig az adott helyre kell a feltételek figyelembevételével megtervezni őket.

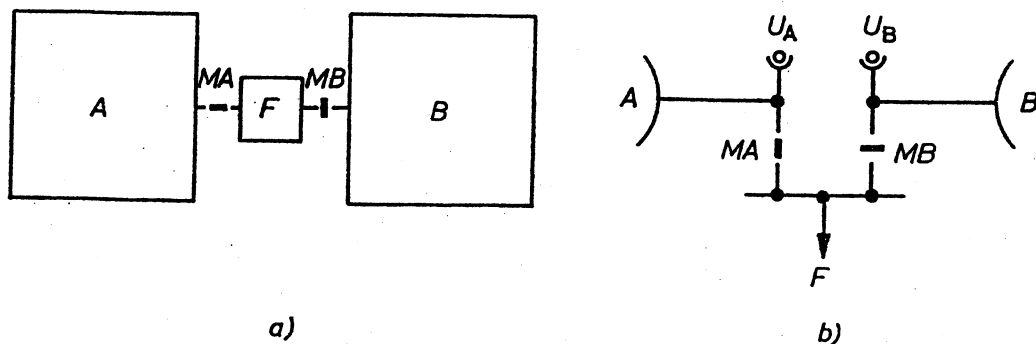
9.6. Pseudoszinkron átkapcsoló automatika

Állandóan aszinkron járó energiarendszerek határterületén levő fogyasztók átkapcsolása egyik rendszerről a másikra sok problémát rejt magában. Egy magyar szabadalom, a pseudoszinkron átkapcsoló automatika segítségével azonban ez „világosan”, a fogyasztók üzemszünete nélkül lehetséges.

9.6.1. Az automatika működésének elve

Aszinkron járó két rendszer határvonalánál levő F fogyasztói terület (9.20. ábra) átkapcsolásakor két klasszikus módszer követhető:

a) rövid időre párhuzamosan kapcsolni a két rendszert, pl. a 9.20. ábra szerint a nyitott MB megszakító szinkron állapotban történő bekapcsolásával, majd utána az MA megszakítót kikapcsolni;

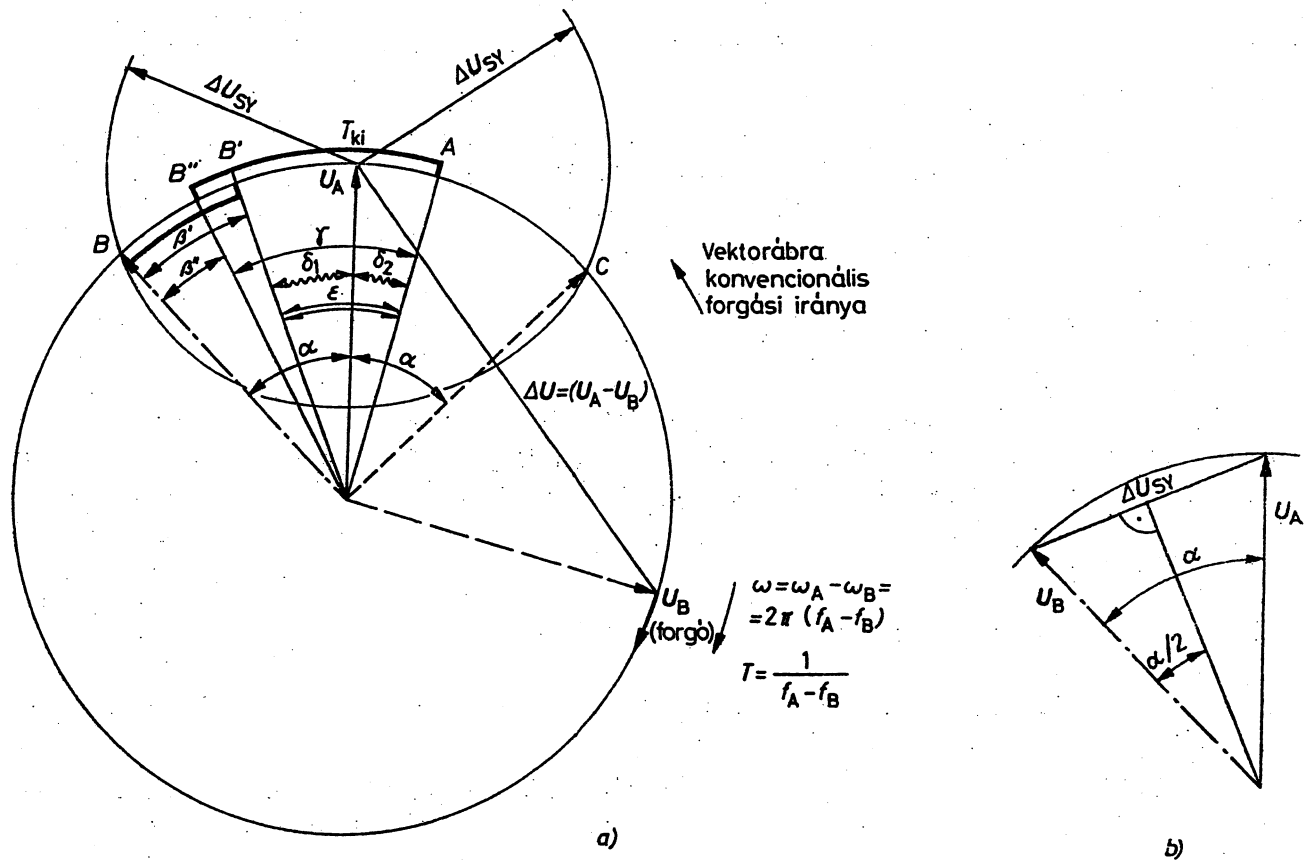


9.20. ábra. A pseudoszinkron átkapcsoló automatika elve
a) hálózati séma; b) kapcsolási séma

b) ha a szinkron üzem A és B rendszer között bármely ok miatt nem lehetséges, akkor először kikapcsolni a fogyasztókat, pl. a 9.20. ábra szerint MA kikapcsolásával, majd utána MB megszakítóval a fogyasztókat B felől bekapcsolni, azaz újból feszültség alá helyezni.

Az $a)$ esetben a fogyasztók áttérés közben zavartalanul üzemelnek, az áttérés „világosan” történik, míg $b)$ esetben a fogyasztók az áttérés idejére feszültségmentesek lesznek, azaz az áttérés „sötét”.

A harmadik módszer, a pszeudoszinkron átkapcsolás módszere az $a)$ és $b)$ módszer előnyeit egyesíti: a rendszerek szinkron kapcsolatát megvalósítja ugyan, és így a fogyasztók világosan térnek át, de a két rendszer közötti kapcsolat csak a feszültségvektorok szinkronközeli helyzetében igen rövid ideig áll fent. Az automatika lényegében röviddel a szinkron helyzet előtt paralel kapcsolja a két rendszert (9.20. ábrán MB bekapcsolásával), de ezután azonnal, késlekedés nélkül szétkapcsolja a fogyasztó másik oldali rendszerhez fűződő kapcsolatát (9.20. ábrán MA kikapcsolásával).



9.21. ábra. Vektorábra az automatika működéséhez

A 9.20b ábra állomási kapcsolását véve alapul, a leírt elv a 9.21. ábra vektorábráján követhető. Az A rendszer U_A feszültségvektorát felrajzolva, a vektorábrák konvencionális forgási irányát figyelembe véve, U_A az $\omega_A = 2\pi f_A$ szögsebességgel az óramutató járásával ellentétes irányban forog. Ha ugyanezen vektorábrába U_B feszültségvektort is ábrázolják, U_B az eltérő $\omega_B = 2\pi f_B$ szögsebességgel fog U_A -val egyező irányba forogni. Ha tehát pl. az U_A vektor helyzetét rögzítik, akkor az U_B vektor $f_A > f_B$ esetén az $\omega_A - \omega_B = 2\pi(f_A - f_B)$ viszonylagos szögsebességgel visszafelé forog, ill. ha $f_A < f_B$, akkor $\omega_B - \omega_A = 2\pi(f_B - f_A)$ szögsebességgel előre forog. E viszonylagos körülfordulás ideje:

$$T = \left| \frac{1}{f_A - f_B} \right|. \quad (9.25)$$

Pl. 0,2 Hz frekvenciadifferencia esetén $T = 5$ s. A következőkben az $f_A > f_B$, tehát az első esetet vesszük alapul.

Az A és B aszinkron rendszer feszültségvektorai időnként szinkron helyzetbe kerülnek. Az átkapcsolásokat e helyzet közelében kell elvégezni, hogy egyrészt a fogyasztók üzeme zavartalan legyen, másrészt összekapcsoláskor ne legyen nagy a kiegyenlítő áramlöké. A két feszültségrendszer feszültsége közötti szögeltérést közvetve a két feszültség különbségével lehet érzékelni: $\Delta U = |U_A - U_B|$. Feltételezve, hogy a két feszültségvektor között maximálisan α szögeltérés engedhető meg (l. később), és feltételezve, hogy $U_A \approx U_B$, akkor a különbségi ΔU „lebegő” feszültségre kapcsolt, a közeli szinkron helyzetet érzékelő feszültségcsökkenési relé (ΔU_{SY}) ejtési (azaz megszólalási) értéke maximálisan (9.21b ábra):

$$\Delta U_{SY} \cong 2U_A \sin \frac{\alpha}{2}. \quad (9.26)$$

Az automatika tehát B pontban bekapcsolóparancsot ad a rendszer összefogó megszakítójára (9.20. ábrán MB -re). A bekapcsoló parancs végrehajtása azonban időt vesz igénybe. Ez alatt az idő alatt az U_B feszültségvektor tovább forog B' pontig. E pontot meghatározó β' szög:

$$\beta' = \frac{T'_{be}}{T} 360^\circ. \quad (9.27)$$

A rendszereket szétbontó másik megszakítónak (9.20. ábrán MA -nak) ezután lehet kikapcsolóparancsot adni. Az együttfutási idő csökkentése céljából azonban az MB megszakító bekapcsolva záró segédérintkezőjét, amelyen keresztül az MA megszakítót kikapcsolják, úgy szokás elékelni, hogy az hamarabb, T''_{Be} idő után, már a B'' pontban zárjon. Így már ekkor kikapcsolóparancs jut MA -ra. β'' értéke:

$$\beta'' = \frac{T''_{Be}}{T} 360^\circ. \quad (9.28)$$

A kikapcsoló megszakító T_{Ki} önideje alatt az U_B vektor

$$\gamma = \frac{T_{Ki}}{T} 360^\circ \quad (9.29)$$

szöggel fordul tovább. A rendszerek az A pontban válnak szét. Az együttfutás ideje

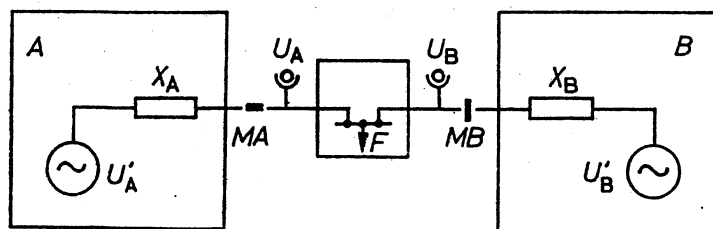
$$T_{EF} = T_{Ki} - T'_{Be} + T''_{Be}, \quad (9.30)$$

és az együttfutás szöge:

$$\varepsilon = \gamma - \beta' + \beta'' = T_{EF} |f_A - f_B| 360^\circ. \quad (9.31)$$

Ezek az értékek annál kisebbek, minél kisebb a két rendszer közötti frekvenciadifferencia, azaz minél nagyobb a körülfordulás T ideje (9.25), és minél rövidebbek a megszakítók önidejei.

Az átkapcsolás akkor lesz sikeres, ha az együttfutási idő alatt a két rendszer nem pontos szinkron helyzetéből adódó kiegyenlítő áram és feszültségletörés a rendszerben sehol nem okoz



9.22. ábra. Kiegyenlítőáramok meghatározása

zavart: felesleges kikapcsolódást kiváltó védelmi megszólalást, fogyasztói zavart stb. A viszonyok a 9.22. ábra alapján követhetők. Az ábrán mindkét rendszer a Thevenin-elv szerint egy végtelen generátorral és egy reaktanciával van helyettesítve, így a kiegyenlítő áram 180° , azaz oppozíció esetén (nagyfeszültségű rendszerben impedancia helyett jó közelítéssel reaktanciával számolva):

$$I_{\text{opp}} = \frac{U'_A + U'_B}{X_A + X_B} \quad (9.32)$$

lenne. Ez természetesen zárlati nagyságrendű áram, a virtuális zárlat helye az $(X_A + X_B)/2$ impedanciafelezési pontban van. Azonban U_A és U_B közötti szögeltérés maximálisan csak δ_1 vagy δ_2 (9.21a ábra) így a kettő közül a nagyobb δ_{max} szöggel számolva, a maximális együttfutási kiegyenlítő áram, ha $U'_A \approx U'_B$:

$$I_{EF} \approx \frac{\Delta U}{X_A + X_B} = \frac{2U'_A \sin \frac{\delta_{\text{max}}}{2}}{X_A + X_B} \quad (9.33)$$

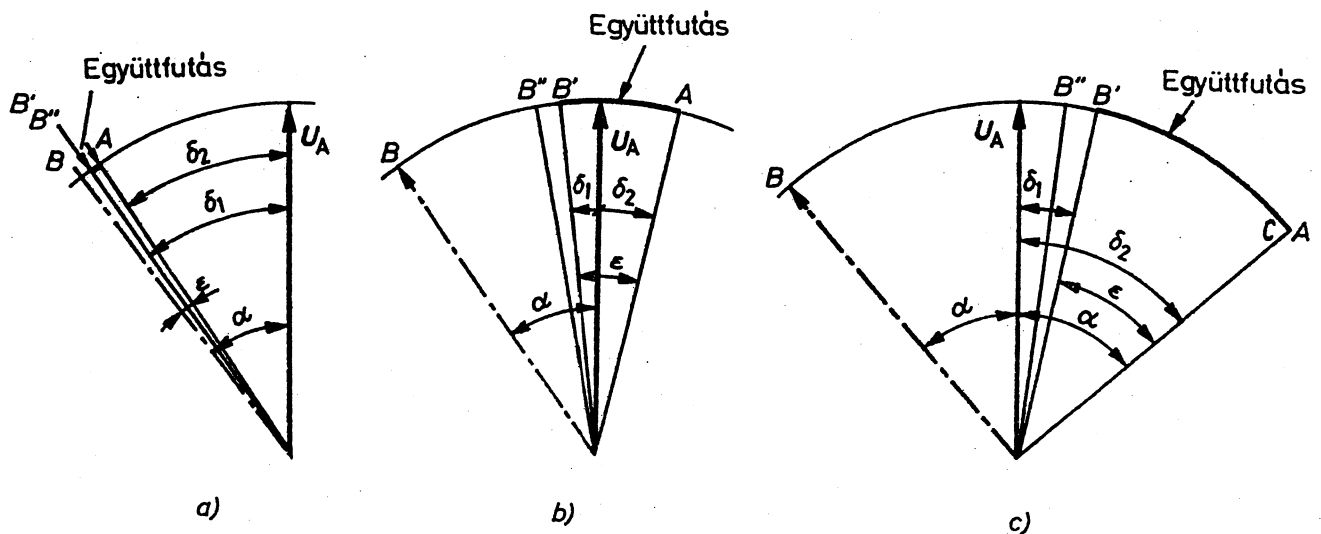
A legkisebb együttfutási feszültség, amely $(X_A + X_B)/2$ impedanciafelezési ponton lép fel (nem az összekapcsolás helyén):

$$U_{EF} \approx U'_A \cos \frac{\delta_{\text{max}}}{2}, \quad (9.34)$$

a legnagyobb teljesítmény pedig, amely az összekapcsolás helyén átfolyik:

$$P_{EF} \approx \frac{U'_A{}^2}{X_A + X_B} \sin \delta_{\text{max}}. \quad (9.35)$$

A (9.33)...(9.35) egyenlet alapján megállapítható a megengedett maximális δ_{max} érték. Bonyolult esetben segítségül kell hívni a lengés esetére szóló védelmi érzékelési számításokat [53]. Ha a megengedhető δ_{max} értéke már rögzített, akkor a fentiek, ill. 9.21a ábra alapján megállapítható a maximális α szög értéke, és így ΔU_{sy} értéke is. Konkrét megvalósításnál δ_{max} értéke maximálisan $25 \dots 40^\circ$ volt.



9.23. ábra. Az átkapcsolás függése a frekvenciadifferenciától
a) $\Delta f \approx 0$; b) Δf közepes; c) Δf a felső határon

Könnyű belátni, hogy igen kis frekvenciadifferencia esetén δ_{\max} értéke éppen α (9.23a ábra), tehát általános esetben a megengedhető δ_{\max} értéke α -ra is igaz. Átkapcsoláskor előfordulhat, hogy kis frekvenciadifferencia esetén az *a*) ábra szerint az egész jelenség α szög körül játszódik le, mert U_B vektora az átkapcsolás rövid ideje alatt gyakorlatilag nem forog el. Közepes frekvenciadifferenciánál előfordulhat, hogy az átkapcsolás a legkedvezőbb helyzetben következik be, azaz az együttfutás a szinkron helyzet körül helyezkedik el (9.23b ábra), de az is előállhat, hogy nagy frekvenciadifferencia esetén a bekapcsolás a szinkron helyzet közelében vagy utána történik, viszont a kikapcsolás lényegesen utána következik be (9.23c ábra). Még ennél is nagyobb frekvenciadifferencia esetén az egész folyamat lényegesen eltolódik, és olyan tartományba jut, amikor a fellépő áramlökések és feszültségletörések már nem engedhetők meg (δ_2 értéke pl. 90° és 180° közé esik).

E gondolatmenet szerint létezik egy felső frekvenciadifferencia-határ, amely felett az átkapcsolást már nem szabad végrehajtani. A 9.21. ábra jelöléseivel ez azt jelenti, hogy δ_2 értéke nem lépheti át az előzőekben megállapított δ_{\max} értéket. Ha azt vesszük alapul, hogy szélsőségesen $\alpha = \delta_{\max}$, akkor megállapítható, hogy a teljes manipulációs idő — azaz a bekapcsolási parancstól a kikapcsolás végrehajtásáig, a 9.21. ábrán *B* ponttól *A* pontig — nem lehet nagyobb, mint az U_B vektor forgásának ideje *B* ponttól *C* pontig (azaz *A* és *C* pont határesetben egybeeshet). Egyenlettel felírva:

$$T'_{Be} + T_{EF} = T_{BC},$$

ahol T_{BC} az U_B vektor *B* és *C* közötti futási ideje. A (9.30) összefüggés alapján:

$$T'_{Be} + T_{EF} = T''_{Be} + T_{Ki}.$$

Felhasználva a (9.25) összefüggést, és azt, hogy $\alpha = \delta_{\max}$, a maximális megengedhető frekvenciadifferencia:

$$\Delta f_{\max} = |f_A - f_B| = \frac{2\delta_{\max}}{360^\circ} \frac{1}{T''_{Be} + T_{Ki}}. \quad (9.36)$$

Példaként, ha egy megszakító bekapcsolási önideje 0,2 s, kikapcsolási önideje 0,08 s, δ maximális értéke 30° lehet, és nincs segédérintkező-elékelés ($T'_{Be} = T''_{Be}$), akkor

$$\Delta f_{\max} \cong \frac{60}{360} \frac{1}{0,28} = 0,6 \text{ Hz.}$$

Ha pedig elékeléssel a T''_{Be} ideje csak 0,1 s, akkor:

$$\Delta f_{\max} \cong \frac{60}{360} \frac{1}{0,18} = 0,93 \text{ Hz.}$$

A megállapított Δf_{\max} értéknél nagyobb frekvenciadifferenciánál le kell tiltani az automatika működését. Ennek ellenőrzésére példa a 9.6.2. szakaszban található.

Az automatika elvi működésének a leírása $f_A > f_B$ feltétel alapulvételével került tárgyalásra. Ha $f_A < f_B$, az elmondottak változatlanul érvényesek, azzal az eltéréssel, hogy U_B vektor a 9.21. ábrán az óramutató járásával ellentétesen forog, így az ábra tükörképe lesz érvényes, a *C* és *B* pont helyet cserél stb. Az egyenletekben ezért került $f_A - f_B$ mindenütt abszolút érték jelek közé.

Az automatika természetesen fordított irányban is alkalmazható, tehát az *F* fogyasztói területet *B*-ről *A* rendszerre is át lehet kapcsolni, ugyancsak értelemszerűen felcserélve a szerepeket.

Ha az átkapcsolásban részt vevő megszakítók nem azonos típusúak, akkor T_{Ki} , T'_{Be} és T''_{Be} értékek a különböző irányú átkapcsolásoknál természetesen különbözők.

9.6.2. Az automatika tényleges kapcsolása. Visszatérítés

Bár az automatika legújabb kivitele teljesen elektronikus, a kapcsolás és működés bemutatása a 9.24. ábra szerinti leegyszerűsített elektromechanikus sémán történik, mivel a részletekbe a könyv terjedelme nem enged belemélyedni. A működés elvileg a 9.25. ábra vektorábráján követhető.

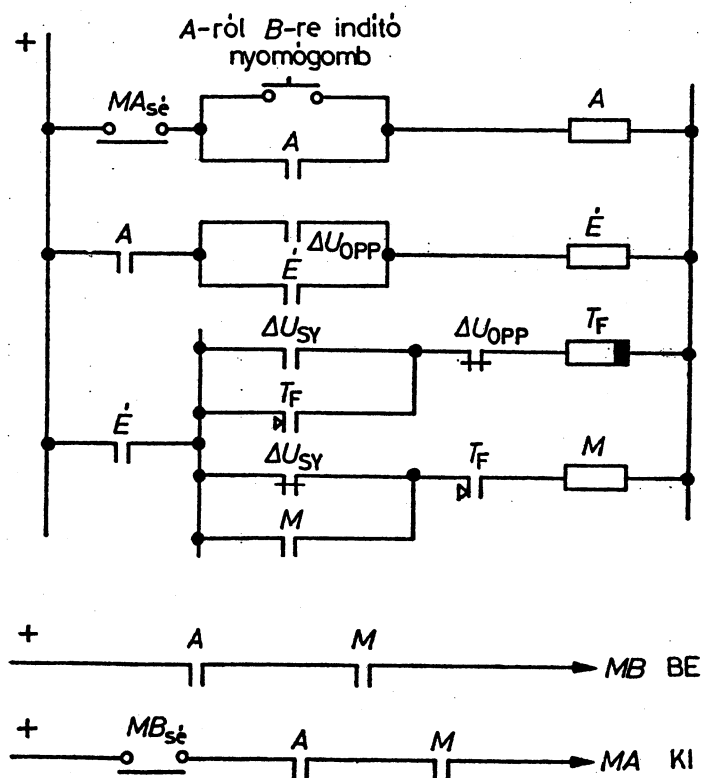
Az U_A és U_B különbségére, a ΔU lebegő feszültségre két feszültségrelét kapcsolnak: a ΔU_{SY} , kisebb értékre beállított, ún. szinkronrelét, és a U_{OPP} , nagyobb feszültségre beállított oppozíciós relét. Beállításuk a 9.25. ábrán szaggatott körökkel van ábrázolva. Ezen körök kimetszik az U_B vektor köréből a megszólalási pontokat, így U_B útja három tartományra bomlik:

- U_{OPP} és U_{SY} meghúzva: oppozíciós tartomány,
- U_{OPP} elengedve és U_{SY} meghúzva: átmeneti tartomány,
- U_{OPP} és U_{SY} elejtve: szinkron tartomány.

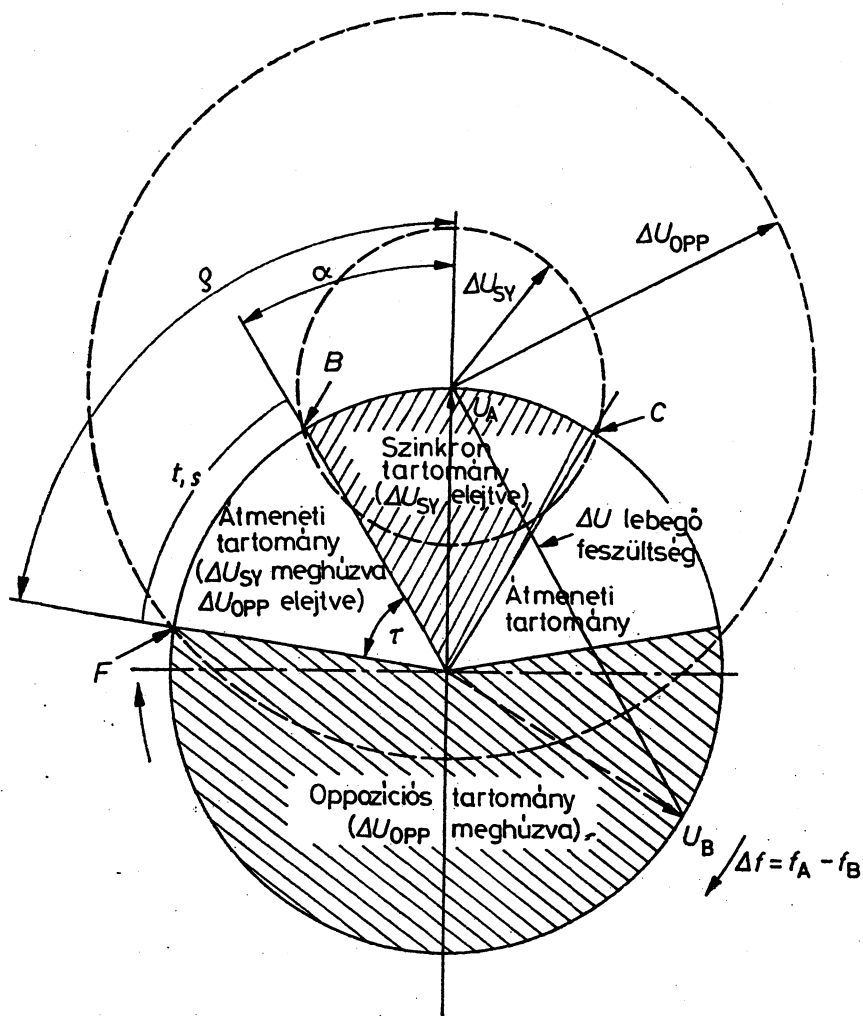
A reléket értelemszerűen ejtésre kell hitelesíteni (minimálrelék), mivel működésüknek ejtéskor van jelentősége.

Az automatika kézzel indítható úgy, hogy a kezelő megnyomja az indító nyomógombot (9.24. ábra; csak egyirányú átkapcsolás vázlatát látható az ábrán). Ha az MA megszakító bekapcsolt helyzetben van, akkor behúzza az A indító segédrelét és öntartásba lép. További működés mindaddig nincs, amíg a differenciafeszültség egyszer nem kerül az oppozíciós tartományba. Ez biztosítja azt, hogy a szinkron tartományban indított automatika azonnal működni ne kezdjen, hiszen ez esetben C ponton túlszaladhatna a kikapcsolás befejezése. Egyúttal „bolondbiztos” így a kapcsolás, mivel szinkron üzemelő rendszerek között nem indul az automatika (ez pl. helytelenül azonos oldalon levő feszültségváltó-táplálás esetén oppozíciós működtetést is létrehozhatna).

Ha tehát az oppozíciós tartományban van a feszültség, \dot{E} relé behúzza, és az A indítórelé működésére öntartásba lép. Ezután, ha a feszültség az F pontba jut, az átmeneti tartományban indul a T_F behúzáskésleltetési időrelé, amelynek szerepe a frekvenciadiferencia ellenőrzése.



9.24. ábra.
A pszeudoszinkron átkapcsoló automatika kapcsolása (egyszerűsített séma)



9.25. ábra. Vektorábra

Ha $F-B$ úton, τ szög befutása alatt nagyobb t idő telik el, mint az időrelén beállított t_F , akkor az automatika élesedik, ellenkező esetben nem. Feltétel tehát $t \cong t_F$. Mivel a (9.25) egyenlet alapján:

$$t = \frac{\tau}{360^\circ} T = \frac{\tau}{360^\circ} \frac{1}{\Delta f} \cong t_F,$$

így a működés feltétele:

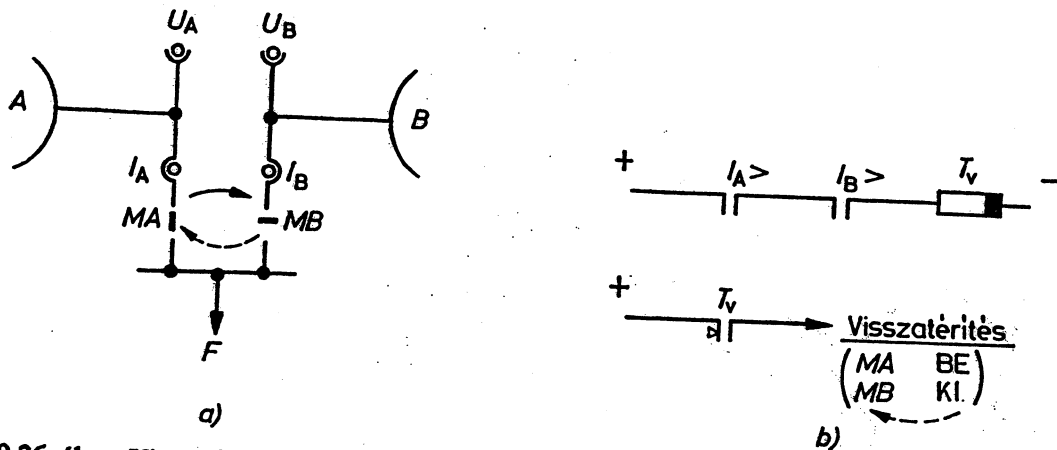
$$\Delta f \cong \frac{\tau}{360} \frac{1}{t_F}. \quad (9.37)$$

τ értéke a 9.25. ábrából szerkesztéssel határozható meg, vagy a

$$\tau = \rho - \alpha$$

összefüggésből, ahol α értékét az $U_{SY} = 2U_A \sin \frac{\alpha}{2}$, és ρ értékét a $U_{OPP} = 2U_A \sin \frac{\rho}{2}$ egyenletből kell meghatározni.

Ha Δf kisebb, mint a (9.37)-ből adódó érték, akkor az átmeneti tartományban a T_F ellenőrző időrelé behúz és öntartásba lép \hat{E} -re, egyúttal engedélyezni M relé működését: ΔU_{SY} elejtésekor M relé behúz és öntartásba lép, és az MB megszakítóra bekapcsolóparancs jut. MB bekapcsolása során zár $MB_{s\hat{e}}$ segédérintkező, ekkor MA megszakító kap kioldóparancsot. MA kikapcsolásakor $MA_{s\hat{e}}$ segédérintkező bont, ezzel minden relé elejt, az automatika nyugalmi helyzetbe tér vissza.



9.26. ábra. Visszatérítő kapcsolás
 a) primer elrendezés; b) a kapcsolás sémája

Veszélyes helyzet alakul ki, ha az automatika valamilyen hiba miatt (pl. megszakító egyik fázisa nem működik, szekunderelés szakadt) nem tudja az áttérítést végrehajtani, mivel a két rendszer (gyenge kapcsolat) szétcsavarodik, és így nagy kiegyenlítőáram indul meg, amelynek hatására a védelmek spontán helyen szétkapcsolják a rendszert. A spontán és általában kedvezőtlen bontás helyett be szoktak építeni automatikus visszatérítő rendszert (9.26. ábra), ha mindkét megszakítónál folyik áram ($I_A >$ és $I_B >$ megszólal egyidejűleg), akkor T_V ellenőrző idő ($\approx 0,3$ s) után bénítják az automatikát, és fordított, visszatérítő parancsot adnak a megszakítóknak.

9.6.3. Generátorok átkapcsolása

Sugaras üzemben vételező fogyasztó helyett néha sugaras, ún. irányüzemben kitápláló generátort célszerűbb a másik rendszerre kapcsolni. Elyben erre a célra a pszeudoszinkron átkapcsoló automatika szintén alkalmas. Az automatika adott beállítás mellett, de különböző frekvenciadifferencia esetén különböző időben kapcsol át (9.23. ábra), így lehet, hogy a szinkron helyzet előtt, lehet, hogy pontosan a szinkron állapotban, de lehet, hogy utána. Ennek elkerülésére, a turbógenerátort veszélyesen igénybe vevő lengések csökkentésére átkapcsolás előtt meg kell mérni a frekvenciadifferenciát, és ΔU_{SY} -t ennek megfelelően úgy kell beállítani, hogy a legkedvezőbb, szinkron állapot körüli átkapcsolás jöjjön létre. Ezt a műveletsort az automatika elektronikus változata maga végzi el.

Másik probléma az, hogy generátor átkapcsolásakor annak teljesítménye terheli a másik oldal eredő impedanciáját, a 9.22. ábra szerint X_B -t, így tehát U_B és U'_B között beáll a teljesítménynek megfelelő terhelési szög. Ezzel szemben, ha pontos szinkron állapotú átkapcsolást végez az automatika, akkor az átkapcsolás pillanatában a generátor feszültsége és a távoli U'_B feszültség éppen fázisban lesz egymással, így a generátornak lengéssel kell beállni a szűkforogató szögére. Ennek elkerülésére célszerű műkapcsolással az U_B feszültséget előre forgatni annyira, amekkora szögeltérést a generátor teljesítménye X_B -n átfolyva az átkapcsolás után okoz, így ez a szándékosan nem szinkron kapcsolás a turbógenerátor lengéseit a minimálisra fogja csökkenteni.

Lengés azonban a frekvenciadifferencia miatt még ekkor is fellép, mert pl. $f_A > f_B$ esetén az átkapcsolt generátornak le kell lassulnia, és ez lengéssel fog bekövetkezni.

9.6.4. A pszeudoszinkron automatika alkalmazási területe

Az automatikát a következő területeken alkalmazzák:

– Állandóan aszinkron járó rendszerek határterületén fogyasztók vagy generátorok átkapcsolására. A cél ilyenkor a rendszerek közötti energiacsere megvalósítása, ill. szabályozása.

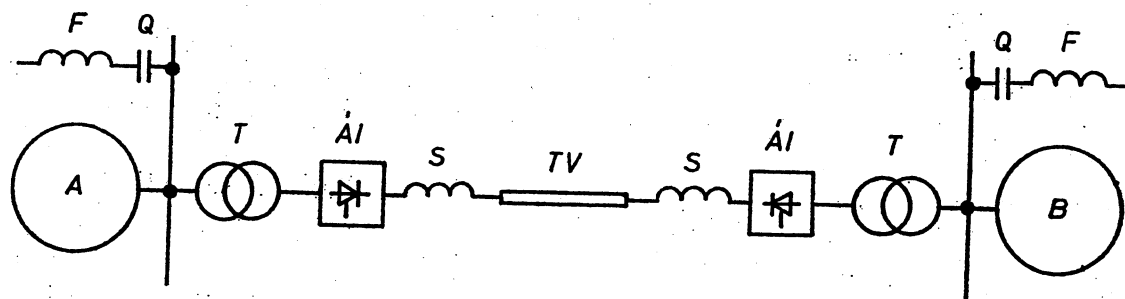
– Nagy rendszeregyesítéseknél, ha a 9.5. alfejezetben leírt metszékvédelmi automatikák végül is bontották a rendszert, vagy spontán metszékbomlás jött létre a kritikus metszéknel, vagy másodlagos rendszerbomlás következett be, a határterületeken átkapcsolásokat lehet megvalósítani. A cél ekkor a teljesítményhiányos rendszer hiányának csökkentése, és így az újraszinkronozáshoz a lehetőség megteremtése fogyasztói korlátozás nélkül, ill. csökkentett korlátozással.

9.7. Egyenáramú betétek használata üzemzavar esetén

E könyvnek nem feladata a nagyfeszültségű, nagyteljesítményű egyenáramú energiaátvitel és az egyenáramú betétek létesítésének, üzemének és problémáinak tárgyalása. Azért szerepel mégis itt ez a témakör, mert az igen nagy rendszerek üzemében alkalmazása jelentős könnyebbséget jelent, sok problémára megoldást ad. Az alkalmazhatóság céljából röviden áttekintjük az egyenáramú energiaátvitel jellemzőit.

9.7.1. A nagyfeszültségű egyenáramú átvitel áttekintése

A nagyfeszültségű egyenáramú átvitel vázlata a 9.27. ábrán látható. Az *A* és a *B* háromfázisú váltakozó áramú rendszer közé beiktatott berendezés a következő fő részekből áll:



9.27. ábra. A nagyfeszültségű, nagyteljesítményű, egyenáramú átvitel sémája

- *T* transzformátorok, amelyek az átvitel feszültségét állítják elő.
- *AI* vezérelt áramirányítók (tirisztorok) adóoldalon egyenirányító, vevőoldalon váltóirányító (inverter) üzemben; a két oldal felcserélhető.
- *TV* egyenáramú távvezeték vagy kábel, egyenáramú betét esetén ez hiányzik,
- *S* simító fojtótekercsek,
- *FQ* felharmonikuszsűrők (egyben meddőforrások is).

A nagyfeszültségű egyenáramú átvitel legfontosabb *előnyei* a következők:

- Nagy teljesítmény injektálható be nagyvárosok és halmozott (koncentrált) ipari fogyasztói területekbe anélkül, hogy a zárlati teljesítmény növekedne.
- Az átvitt teljesítmény nagysága és iránya könnyen és gyorsan változtatható, így könnyen programozható is, pl. a teljesítmény–frekvencia szabályozás bármely összefüggése szerint.

– Az átvitel távolsága gyakorlatilag tetszőlegesen nagy lehet, határt csak a feszültségés ad.

– Különböző frekvenciájú rendszereket össze lehet vele kötni. A frekvencia lehet névlegesen különböző (pl. 50 és 60 Hz), vagy egyéb, pl. stabilitási okok miatt aszinkron járó két 50 Hz-es rendszer, amelyeknek frekvenciája csak kissé eltérő.

– A rendszerek közötti csereteljesítmény gyakorlatilag tetszőlegesen változtatható, határt csak az átvitel termikus határa szolgáltat. Az átvitt teljesítményt a két oldal egyenfeszültsége közötti különbség (a feszültségés) határozza meg.

– Távobahatás, vezeték alatti térerősség hatása stb. enyhébb, mint váltakozó feszültségű átvitelnél. Helyette néhány speciális probléma (földelés korrodálása, tenger alatti egyfázisú kábeleknél iránytűeltérítés stb.) jelentkezik.

Az átvitel lényegesebb *hátrányai*:

– A termikusan határt jelentő teljesítményen felüli túlterhelés gyakorlatilag nem engedhető meg.

– Igen nagy meddőteljesítmény-betáplálás kell a két oldalon (ún. vezérlő és kommutációs meddő). Ennek értéke a két oldalra elosztva kb. az átvitt hatásos teljesítménnyel azonos nagyságú lehet.

– A két átalakító állomás létesítése viszonylag sokba kerül.

A nagyfeszültségű egyenáramú kapcsolat *fő alkalmazási területei*:

– Nagy teljesítmények átvitele igen nagy távolságra nagyfeszültségű szabadvezetékkel (pl. a Cabora Bassa-Apollo átvitel 1920 MW-ot tud átvinni 1410 km távolságra 1800 A és 1066 kV = ± 533 kV feszültséggel, egyedi 1,65 kV-os zárasi feszültségű tirisztorokból álló szelepekkel; 280 db tirisztor sorbakapcsolásával $280 \cdot 1,65 = 462$ kV adódik, amelyet azonban csak 133 kV-ra vesznek igénybe – $8 \cdot 133 \approx 1066$ kV –, így kb. 3,5-es biztonsági túlfeszültségi faktor kapható).

– Nagy teljesítmények betáplálása ipari vagy nagyvárosi koncentrált fogyasztói területre kábellel. (A nagyfeszültségű kábeles átvitel egyenárammal sokkal gazdaságosabb, mint váltakozó árammal a csökkent dielektromos veszteség, a skinhatás elmaradása, a kapacitív töltőáram elmaradása stb. miatt; az alkalmazás külön előnye, hogy a betáplálási ponton nem növeli a zárlati teljesítményt).

– Tenger alatti összeköttetések létesítése. (Ez nagy rendszerek közötti csereteljesítmény szállítására, pl. Anglia és Franciaország között a La Manche-csatorna alatt, 160 MW, 800 A, 200 kV = ± 100 kV feszültséggel, 64 km hosszú, tenger alatti kábellel vagy távolabbi tengeri sziget fogyasztóinak ellátására, pl. Olaszország és Szardínia között, 200 MW, 1000 A, 200 kV feszültséggel, 292 km távvezeték és 121 km tenger alatti kábellel).

– Kooperációs, összefüggő váltakozó áramú rendszer két pontja között létesített, nagyfeszültségű egyenáramú átvitel a rendszeren belüli teljesítményáramlás eloszlásának kedvezőbbé tétele, és általában meghatározott nagy teljesítmények kijelölt úton való szállítása céljából.

– Távolság nélküli egyenáramú átvitel, az ún. egyenáramú betét kizárólag azon célból, hogy különböző frekvenciájú (50...60 Hz) vagy stabilitási okok miatt párhuzamosan nem köthető nagy rendszerek között könnyen szabályozható és megfordítható csereteljesítmény-átvitelt tegyen lehetővé. Ez esetben a nagy feszültség nem igény, hiszen az átvitel távolsága 0 km.

– Még nem alakult ki, de távlatilag elképzelhető, és elvi tervekben foglalkoznak már egyenáramú szuperponált hálózatok kialakításával is.

9.7.2. Az egyenáramú betét üzemi és üzemzavari szerepe

A távolság nélküli nagyteljesítményű egyenáramú átvitelnek — azaz az egyenáramú betétnek — az alkalmazása olyan helyeken indokolt, ahol névlegesen eltérő frekvenciájú hálózatokat kötnek össze vele (pl. Japán északi és déli fele), vagy igen nagy rendszeregyesítések miatt páralel nem üzemeltethető rendszerek közötti gazdaságos csereteljesítmény-szállítást akarnak megvalósítani. Ez utóbbira példa a nyugat-európai UCPTÉ rendszer, amelynek pl. kooperációs tagja Ausztria, és a KGST egyesített energiarendszere, amelynek pl. tagja Magyarország.

Ausztria és Magyarország között már több évtizede csereteljesítmény-egyezmény van érvényben. Ennek gazdaságossági alapja az, hogy nyáron, a vízben bővebb időszakban az első-sorban vízerőművekkel rendelkező Ausztria villamos energiát ad csúcsidőben a magyar rendszernek, a magyar energiarendszer pedig a vízszegény téli időben ad villamos energiát Ausztriának. Egyrészt a nyári időben Ausztria felesleges energiával rendelkezik, Magyarországon pedig ezáltal az erőművek gépeinek karbantartása zavartalanul megvalósítható. Másrészt télen Magyarország *éjszakai energiát* ad, amely megfelel Ausztriának, hiszen nem az erőművi kapacitás kevés, hanem a víz, így az éjjel visszafogott vízerőművek csúcsidőben tudják szolgáltatni az energiát; a magyar rendszer erőműveinek kihasználási óraszámja pedig javul, és a téli drága energia helyett nyáron több kWh-t kap vissza. Tipikus esete a kölcsönös előnyökön alapuló egyezménynek.

A problémát a csereteljesítmény átadása, a menetrend betartása jelenti. Mind ez ideig ezt a kooperációt egyedül a 9.6. alfejezetben leírt pszeudoszinkron átkapcsoló automatikák segítségével valósították meg egyrészt magyar fogyasztók sugaras vételezési, másrészt magyar generátorok irányüzemi át- és visszakapcsolásával.

A pszeudoszinkron átkapcsolással megvalósított teljesítménycsere lehetővé tette és teszi még évekig a kölcsönös előnyöket jelentő kooperációt, noha egyszerűsége és olcsósága ellenére több hátránya van.

— A határfrekvencia-különbség fölött nem használható (ez kb. 0,6...1,2 Hz körül jár). Különösen éles a határ generátorok átkapcsolásánál.

— Az átkapcsolás dinamizmusa néha problémát és így üzemzavart okoz (pl. megszakító-meghibásodás alkalmával). Távvezetékek vagy állomásrészek karbantartása stb. korlátozza az alkalmazhatóságot. A megszakítók és egyéb készülékek gyakori működtetése többletmeghibásodást okoz.

— Üzemzavari kisegítés csak hosszadalmas előkészítés után valósítható meg (előkészítéssel 30'...2^h időigény), mivel az átkapcsolásnak megfelelő primer hálózatképet ki kell alakítani.

Ezeket a hiányosságokat megoldhatja az osztrák és magyar rendszer közé tervezett egyenáramú betét. Fő előnyei — és ez érvényes minden hasonló elrendezésre:

- Tetszőleges menetrend, program, szabályozás könnyű megvalósíthatósága.
- Gyors üzemzavari kisegítés lehetősége mindkét irányban.
- Változatlan primer hálózatkép mellett állandó nyugodt üzem.
- A magyar oldalon a hálózat teljes üzemű lehet, nincs külön „osztrák” és „magyar” hálózatrész szétválasztva.

— Ausztria és Csehszlovákia között már néhány éve üzemel egyenáramú betét Dürnrohr állomásában. Magyarország irányába a Wien — Südost állomáson terveznek beépíteni egyenáramú betétet.

Irodalom

- [1] ASEA, Relay Division: Protective relays for generators, transformers, busbars, lines and industrial installations. Lectures. 1976.
- [2] ASEA, Relé Szimpózium. 1976.
- [3] Bach Iván: Kettős távvezetékek védelmi kérdései. VEIKI, Budapest, 1962.
- [4] BBC, Microprocessorgesteuertes Schutzrelais Typ MC 91 für Motoren, Transformatoren und Leitungsabgänge (0705/0714).
- [5] BBC, Solid-State Relays and Protection Systems. Catalogue. 1982.
- [6] Bendes T.: Országos villamosenergia hálózat korszerű védelmének kérdései. Mérnöki Továbbképző Intézet, Budapest, 1954.
- [7] Bendes—Boromissza—Kovács—Póka: Villamos energiarendszerek védelme és automatikája. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1971.
- [8] Bendes—Hatvani: Villamosművek III. KKVMF jegyzet. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1982.
- [9] Benkó—Kovács—Póka: Villamos hálózatok védelmei és automatika rendszerei. ERŐMŰVEK. Ipari Vezetőképző intézet, Esztergom-Kertváros, 1984.
- [10] Benkó—Szóts: Generátor aszinkron üzemét érzékelő védelem. MVMT Közlemények. Budapest, 1985. 6. szám.
- [11] Berdy, J.: Loss of Excitation Protection for Modern Synchronous Generators. IEEE Transaction, PAS Nr 5. Sept/Oct. 1975.
- [12] Bornard, P.—Bastide, I. C.: A Prototype of Multiprocessor Based Distance Relay. IEEE Transaction, PAS, February, 1982.
- [13] Brown Boveri Company, Schaltreserveschutz typ SIX 109 b. CH-ES-63-81-D.
- [14] Degens, A. J.—Langedijk, J. J. M.: Integral Approach to the Protection of Power Transformers by Means of a Microprocessor. Electrical Power Energy System, 1985. January.
- [15] Erdélyi I.: GKV gerjesztéskimaradási védelem. VEIKI, 34.98-539-4 sz.
- [16] Fedoszejev, A. M.: Villamos gépek és hálózatok védelme. Nehézipari Könyv- és Folyóiratkiadó V. Budapest, 1954.
- [17] Geszti P. O.: Villamosművek. Tankönyvkiadó, Budapest, 1967.
- [18] Geszti P. O.: Villamos energiarendszerek. Tankönyvkiadó, Budapest, 1983—84—85.
- [19] Geszti P. O.:—Kovács K. P.—Vajta M.: Szimmetrikus összetevők. Akadémiai Kiadó, Budapest, 1957.
- [20] Geszti P. O.—Póka Gy.: Impedance Seen by Distance Relays in a General Case. Acta Technika, Budapest, 1965. 3/4. pp 403—420.
- [21] Girgis, A. A.: A New Kalman Filtering Based Digital Distance Relay. IEEE Transaction. PAS 101. 1982. No. 9. pp. 3471—3480.
- [22] Haubrich, H. J.: Einpolige Kurzunterbrechung in Höchstspannungsnetzen über 500 kV. ETZ-A. 91. 1970. 8. pp. 453—458.

- [23] *Hódos M.*: Földzárlatoltás a zárlatos fázis földelésével. VEIKI, Budapest, 1967.
- [24] *Hódos—Kovács—Radvánszky—Weingart*: Integrált áramkörös védelmi alapkapcsolások alkalmazása. VEIKI. RTF—30. 1971.
- [25] *Ilar, M.—Zidar, J.—Fiorentzis, M.*: Neuringen im Generatorschutz. BBC Mitteilungen. 1978. 6. sz.
- [26] *Kimbark, E. W.*: Power System Stability. John Wiley & Sons Inc., New York, 1948.
- [27] *Kimbark, E. W.*: Charts of Three Quantities Associated with Single Pole Switching. IEEE Transaction. PAS—94. 1975. 2. pp. 388—395.
- [28] *Kiss Kálmán*: EIW—lt elektronikus visszteljesítményvédelem. VEIKI. 34. 96-406-4.
- [29] *Kiss Kálmán*: GTV—100—I típusú generátor állórész testzárlatvédelem. VEIKI 39-95-007-4.
- [30] *Kiss Kálmán*: HSZV—21 hangfrekvenciás szakaszvédelem. VEIKI. 39.00-112-4.
- [31] *Kiss Kálmán*: Nagyteljesítményű generátor-transzformátor blokkok komplex védelme. VEIKI Közlemények, 1982.
- [32] *Kiss Kálmán*: KVL—1 kondenzátorvédelem és hibahely lokátor. VEIKI, 1978.
- [33] *Kiss—Kovács—Radvánszky—Weingart*: Elektronikus hálózatvédelmek és automatikák alap-áramkörei. VEIKI. 34. 91-041-1. 1981.
- [34] *Kovács József*: HMBR—2 megszakító beragadási, holtávzárlat és rendellenes üzemiállapot elleni védelem. VEIKI RTF 10/1975.
- [35] *Kovács József*: Generátor forgórész földzárlatvédelem. VEIKI. 34.97-431-4.
- [36] *Kovács József*: Hálózatvédelmek és automatikák tápellátása. VEIKI közlemények, 1976.
- [37] *Kovács—Weingart*: Középfeszültségű kábelleágazások komplex védelme és automatikája. VEIKI. 34.90-590-1.2.
- [38] *Kovács—Póka Lászlóné—Weingart*: Középfeszültségű szabadvezeteki leágazások komplex védelme és automatikája. VEIKI. 34.92-706/1-1.2.
- [39] *Kwong, W. S.—Clayton, M. J.—Newbould, A.—Downes, J. A.*: A Microprocessor Based Current Differential Relay for Use with Digital Communication Systems. Its Design and Field Experience. CIGRE, 34—02. 1986.
- [40] LZ—96 távolsági védelem (BBC) leírása és beállítása. OVRAM. 1986.
- [41] *Mason, C. R.*: The Art and Science of Protective Relaying. John Wiley & Sons Inc., New York, 1956.
- [42] *Ördög Tamás*: KZR impedanciacsökkenési-relé. VEIKI Közlemények, 1985.
- [43] *Pattantyús*: Gépész- és Villamosmérnökök Kézikönyve. 8. kötet: Villamos energia. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1967.
- [44] *Pázmándi László*: Védelmek fejlesztési irányai. VILLENKI. 246. sz. 1959.
- [45] *Pázmándi László*: Mérleg és fázisrelék alkalmazása védelmi célokra. Elektrotechnika. 1960. 2.—3. sz.
- [46] *Pázmándi László*: Középfeszültségű hálózatok földzárlatvédelme. VILLENKI. 365. sz. 1961.
- [47] *Pázmándi László*: Nagyteljesítményű generátorok állórészének testzárlatvédelme. Elektrotechnika. 1971. 4.—5. sz. pp 108—114.
- [48] *Póka Gyula*: Távolsági védelmek ébresztőelemeinek problémái. Elektrotechnika. 1964. 7.—8. sz.
- [49] *Póka Gyula*: Hárommérőelemes távolsági védelem problémái. Elektrotechnika. 1965. 10. sz.
- [50] *Póka Gyula*: Villamos energiarendszer védelme és automatikája. I.—II. Műegyetemi jegyzet. 1967.
- [51] *Póka Gyula*: Dependence of Maximum Sound Phase Fault Currents on Network Condition. Periodica Polytechnika. Budapest, 1968. 12. pp 109—127.
- [52] *Póka Gyula*: Védelmek tervezése. A védelmek elvi kérdései. Kapcsolódó készülékek. Karakteristikák. Mérnöki Továbbképző Intézet. 4727. sz. 1970.
- [53] *Póka Gyula*: Védelmek tervezése. A védelmek alkalmazási kérdései. Különböző védelemfajták. Beállításszámítás. Mérnöki Továbbképző Intézet. 4762. sz. 1970.
- [54] *Póka Gyula*: Igen nagy feszültségű hálózatok rendszerüzemzavar elhárító automatikáinak létesítési feltételei. CDU szeminárium, 1972. április. Pozsony.
- [55] *Póka—Semjén—Zalatnai*: Kétfélpontú, T leágazásos távvezetékalkalmazat védelmeinek gépi beállításszámítása. VEIKI-OVRAM, Budapest, 1973. március.

- [56] *Póka Gyula*: New Method for Phase Selection in Effectively Earthed Network. Periodica Polytechnika, Budapest, 1987.
- [57] Power System Protection. Principles and Components. Peter Peregrinus Ltd., 1981.
- [58] *Radvánszky Ferenc*: Elektronikus frekvenciarelé. VEIKI. 1978.
- [59] *Radvánszky Ferenc*: Elektronikus távolsági védelem. VEIKI, 1980.
- [60] *Radvánszky Ferenc*: VEIKI típusú különbözeti védelmek. VEIKI 1975.
- [61] *Rao, T. S. Madhava*: Power System Protection. Static Relays. Tata M. C. Graw Hill Publishing Co. Limited, New Delhi, 1979.
- [62a] SIEMENS, Datenbuch 1974/75. Band 1
- [62b] SIEMENS, Laufer-Erdschlusschutz. Schutzeinrichtungen und Relais, 1979.
- [63] SIEMENS, Solid State Phase Comparison Protection. 4E-14041-A6910-U211
- [64] *Strömberg*: Multifunction Overcurrent Relays. Brochure SPAJ-1-GB-84-09.
- [65] *Strömberg*: Motor Protection Relay. Brochure SPAM-1-GB-84-09.
- [66] *Tárkányi Miklós*: 120/20 kV-os transzformátorok komplex védelme és automatikája. VEIKI Közlemények, 1980.
- [67] *Thorp, J. S.—Phadke, A. G.*: A Microprocessor Based Three Phase Transformer Differential Relay. IEEE Transaction, PAS. 1982. February.
- [68] *Tombor Antal*: Generátor—transzformátor egységek és 120 kV-os fogyasztói transzformátorok impedanciacsökkenési védelmének néhány kérdése. MVMT-OVRAM, 1968.
- [69] *Tombor Antal*: Nagyfeszültségű hálózatok gyűjtősínvédelmének néhány időszerű kérdése. MVMT, 1980.
- [70] *Vajta Miklós*: A zárlati áram. Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1956.
- [71] *Wagner—Evans*: Symmetrical Components. McGraw Hill Book Company, 1933.
- [72] *Warrington, A. R. van C.*: Protective Relays Volume One — 1962, and Two — 1969. London, Chapman & Hall.
- [73] *Weingart Ferenc*: Szimmetrikus összetevő szűrők. Elektronika. 1960. 2.—3. sz.
- [74] *Weingart Ferenc*: Nagyteljesítményű generátorok aszimmetriavédelme. VEIKI, 1970.
- [75] *Zalatnai Tivadar*: Villamos hálózatok védelmei és automatika rendszerei. Ipari Vezetőképző Intézet, Esztergom-Kertváros, 1982.

Tárgymutató

A

- aktív szűrő 194
- alaphálózati állomásképek 273
 - megszakítóberagadási védelmek 211–213
- alaphálózat védelme és automatikája 272–286
- alapvédelmi rendszer 33
- állandó mágnesű relék 131
- állapotvezérlésű átkapcsoló automatikák 125–127
- állórész-tekerceselés menetzárlat-védelme, generátoré 241–244
- állórész-testzárlatvédelem 198–200, 244, 268, 270
- analóg–digitális átalakító 226
- analóg mennyiségek bevitele 154
- áramgenerátor 152, 178.
- áramirány-összehasonlítás 83
- áramirány-összehasonlító differenciálrelé 140
 - gyűjtősin-differenciálvédelem 100
- áramiránystabilizálás 84, 93
- áramkényszer-kapcsolás 142
- áramlépcsőzés 29, 61
- áramreteszelés 126
- áramszelektív túláramvédelem 53
- áramsorozatrelé 84, 277
- áramtól függő késleltetésű túláramrelé 140
 - – – túláramvédelem 58, 59, 180
- áramváltó célja 100
 - helyettesítő kapcsolása 101
 - méretezése 101
 - – stacioner viszonyokra 104
 - – méretezése tranzienst viszonyokra 108–112
 - telítési könyökpontja 88
 - telítődése 85–88, 101, 104, 112, 186, 238
 - terhelése 101–104
- áramváltó-terhelések α szorzói 103
- árnyékolófolia 154
- aszimmetria 16, 17, 202

- aszimmetriavédelem 202–204, 259
- aszinkron járás 200
 - üzem 263
 - üzemet megszüntető automatika 347, 348
- átívelés 122
- átkapcsoló automatikák 113, 124–127
- átmeneti tartomány 354–355
- átterhelődés 334
- automatikus átkapcsolás 124–127
 - durva szinkronozás 116
 - leválasztó kapcsoló 308
- autonóm zárlati tartalék védelem (AZTO) 290
 - – – – (AZT) 147, 258, 276
 - – túláramvédelem (AZT) 43, 294

B

- balanszautomatika 343
- ballasztellenállás 152
- beállítási ütközés, második fokozaté 72–73
- behúzó fegyverzetű relék 134
- bekapcsolási áramlökés, transzformátoré 88–89, 184, 186
- belső szög 135, 137, 166, 193
- bemeneti áramkör 154, 155, 156
- betáplálási torzítás 35, 69, 72, 285
- billenő fegyverzetű relék 133
- biztonsági tényező 51, 53
- Breszler-elv 197
- Buchholz-relé 146, 276, 293, 322

C, CS

- check sum 228
- C-védelem 288

csereteljesítmény 333, 334
csillagponti fojtó 120–121

D

DC-DC konverteres tápegység 157
deionizáció 114
Deprez-relé 208
differenciálérzékelő 171, 173
differenciáló áramkör 175, 177
– transzformátor 147
differenciálvédelem 83–92, 114, 208, 276, 293, 322
–, áramirány-kiegyenlítése 90, 91
–, egyenáramú 98–99
–, főtranszformátoré 237
–, generátoré 237, 269
–, háromtekercselésű transzformátoré 239–240
–, hibás megszólalás 84
–, klasszikus 82–83
–, lineáris fékezésű 85
–, nagy árambeállítású 84
–, nagy impedanciájú 86–88
–, nem lineáris fékezésű 85
–, háziüzemi transzformátoré 239
–, stabilizált 84–86
–, százalékos fékezésű 85
–, teljes blokké 252
–, transzformátoré 88
digitális szűrők 227
diszkrét érzékelő 218
dobos indukciós relé 135
durva szinkronozás 116

E, É

ébredési gyorsítás 197
ébredtőelem 68–69, 187, 194–196
– beállítása 283
egyedi érzékelésű megszakítóberagadási védelem 300
egyenáramú betét 357, 358, 359
– differenciálvédelem 98–99, 310, 328
– gyújtósínvédelem 310, 322
– szuperponált hálózatok 358
egyenfeszültségű hálózat zavara 232, 234
egyenirányítós relék 141–146
– relék érintkezői 148
egyenlő területek módszere 22
egyfázisú üzemi 279
– visszakapcsoló automatika (EVA) 42–43, 118–123
egylépcsős impedanciavédelem 64–68

egységkapcsolásban járatás 28
egységkapcsolású erőmű elrendezései 236
egyszeres testzárlatvédelem 204, 248
együttlutási feszültség 352
– idő 351
– kiegyenlítő áram 352
együttlutó villamosenergia-rendszer 41
– – speciális automatikái 113, 329–359
ejtőviszony 51, 52, 129, 132, 213
elejtési érték 128
elektrodinamikusan relék 137–138
elektromágneses relék 131–134
elektromechanikus relék 128–141
elektronikus differenciálvédelem 182–186
– generátorvédelmek 198–206
– gyújtósínvédelem 208
– hibahelytáv mérő 217–219
– készülékek ára 154
– megszakítóberagadási védelem 211–213
– motorvédelem 205–207
elektronikus relék alapkapcsolásai 154
– szakaszvédelmek 187
– szögrelék 191
– távolsági védelem 194–198
– túláramvédelmek 179–182
– védelmek 153, 178–234
– védelmek tűrőképessége 230
– védelmek vizsgálata 230–234
elhangolás 66, 67
– üzemi áramtól 51
ellenőrzött távkioldás 42–43, 80
emlékezőkapcsolás 49, 196–198
emlékező látjelző 160
– mechanikus tárcsajelző 159
energia-irányrelé → teljesítmény-irányrelé
ép feszültségű polarizálás 48
eredő áttétel 91
érintkezők pergése 148
– túlfeszültségvédelme 148
erőművi teljesítmény mobilizálása 343–344
erősáramú környezet hatásai 230
érzékletlenítés, motorvédő kapcsolóé 39
eseményvezérlésű átkapcsoló automatika 124–125
ETIVA 220–221
extremely inverse time 181
EVA 42–43, 118, 119

F

FAM 315
fázisáramok keverése 94, 187, 189, 208, 299–300

fáziskiválasztás 119
 fázisösszehasonlító szakaszvédelem 94–95, 187–189
 fázisszögrelé 166–169, 195, 196, 214
 fáziszárlat-védelem 316
 fedővédelem 33
 fegyverzet 129–137
 fékezéssel stabilizálás 84–86, 182–183
 felesleges működés 32
 felfutási tényező (k_f) 51
 felharmonikusok okozta torzulások 18
 felharmonikuszsűrű 165
 féloldalas fékezés 140
 feltételel ellenőrző rendszer 208
 feltételes túlfedés 289
 ferrozonáns kör 148
 feszültség alatti munkavégzés (FAM) 315
 feszültségcsökkenési emlékeztető túláramvédelem 256
 – kioldók hatása 51
 – – késleltetése 39–41
 feszültség-ellenőrzött visszakapcsolás 80
 feszültségeltűnés 125
 feszültségfüggő karakterisztika 214
 feszültségkényszer-kapcsolás 142
 feszültségletörés hatása elleni védekezés 38–41
 feszültségnövekedési védelem 265, 279–280
 feszültségzűnetre érzékeny fogyasztók 115
 feszültségtűrés 15, 36
 flicker 18
 fogyasztói automatikák 38–41, 113
 – korlátozás, frekvenciálépcsőzésű 336
 – –, időlépcsőzésű 338
 – távkorlátozás 344, 345
 – visszakapcsoló automatika (FVA) 39
 fogyasztók feszültségérzékelősége 38–41
 – kategóriába sorolása 41
 fokozatkorrekció kettősvezeték torzítás kompenzálására 76
 fokozat-visszahúzó hibahelyei átmeneti ellenállás miatt 74
 forgó fegyverzetű relék 132–133
 forgórész menetzárlat-védelme 248
 – testzárlatvédelme 204, 248
 főhálózat védelme és automatikája 286–303
 földrövidzárlat 18
 földzárlat 18
 földzárlati áramnövelés 313, 315
 – irányrelé 192, 193
 – tranziensek 313
 földzárlatos fázis söntölése 314
 – üzem 311
 földzárlatvédelem 49
 – középfeszültségű hálózaton 311–315, 317–318

főtranszformátor 324
 frekvenciacsökkenési relé, elektronikus 213
 frekvenciadifferencia 351
 frekvencia időbeli változása 336
 frekvenciafüggő terheléskorlátozó automatika (FTK) 336
 frekvenciahatár-túllépés 17
 frekvenciálengés 339–340
 frekvenciálépcsőzés 336
 frekvenciarelé 145, 336
 frekvencia-rendellenesség 17, 335–341
 frekvenciatényező 332
 frekvencia tranziens megváltozása 339–340
 frekvenciaváltozás sebessége 336
 FTK 336
 függetlenül késleltetett túláramvédelem 53, 179
 függvénygenerátor 180, 181, 182, 204
 FVA 39

G, GY

gázrelé 146
 generátor állórész-testzárlatvédelme 244, 268, 270
 generátorfeszültségű megszakító 235, 253
 generátor forgórészének túlterhelésvédelme 262
 – forgórészvédelme 248
 generátor–transzformátor blokk védelme 224–226, 235–253, 267–268
 generátor túlterhelésvédelme 259
 – üzemi terhelési szöge 117
 generátorvédelem, elektronikus 198–206
 generátor védelmi ellátottsága 271
 gépvezeték 235, 236
 gerjesztéskimaradási védelem 200, 263–264
 gyorsfokozat 54
 gyorsítási áramlöké 51
 gyors rágerjesztés 24, 25
 – zárlathárítás 32
 gyűjtősín-differenciálvédelem 99–100, 322
 – , áramirány-összehasonlító 100
 – , nemlineáris fékezésű 100
 gyűjtősínes erőmű 268
 gyűjtősínvédelem 86–100, 144
 – , alaphálózati 277–278
 – , elektronikus 208
 – , főelosztóhálózati 299, 300
 – , középfeszültségű 310, 311, 317
 – , logikai reteszelésű 99
 – , önálló 98
 – , tápsíné 56
 – , természetes 97–98

H

- hálózati topológiai tartalék 40
- hálózatvédelem, hurkolt hálózaté 59, 61–62
 - , íves hálózaté 59, 60
 - , körvezetéké 60
- hányadosérzékelő 166
- hardver kiválasztása elektronikus védelemhez 226
- harmadik harmonikus feszültség eloszlása 198
 - harmonikusokat összehasonlító kapcsolás 198–200
- háromfázisú visszakapcsoló automatika (VA) 42–43
- háromlépcsős visszakapcsolás 121
- háromtekercselésű transzformátor differenciálvédelme 239–240
- hatásosan földelt csillagpontú hálózatok védelme 272–303
- hatótávolság visszahúzódása 73–75
- 60°-os kapcsolás 49
- háziüzemi átkapcsoló automatikák 326
 - hálózatok védelme és automatikája 319–326
 - tartalék transzformátor 324
 - transzformátor 324
- helyszíni ellenőrzés 151
- hibaáram 84, 85, 87
- hibahelyi átmeneti ellenállás 69, 73, 196
- hibahelylokátor 215
- hibahelytáv mérő, elektronikus 217–219
- hibás kioldás, bekapcsolási áramlökések miatt 88–89
- hidegtartalék transzformátor 124
- hídkapcsolás 142, 145, 154, 199
- hoidó 42, 43, 113–123
- holtsáv 34, 48–49, 136, 196, 211–213, 245, 279, 313
- hosszú feszültségzúnet 40
- hőmásrelé 207
- hőmásvédelem 138
- hőmérséklet-védelem 276, 293, 322
- hőrelé 138
- hurkolt hálózat védelme 59, 61–62
 - kooperációs hálózat túlterhelésvédelme 51
- HXT 217

I, Í, J

- IDMT 180, 181
- időlépcsőzés 29, 61
- igazságtáblázat 174, 176
- ikerfém (bimetall) 138
- ikerkábel-szétválasztó automatika 123
- impedanciálépcsőzés 29
- impedancia-mérőelem 69
- impedanciarelé 139, 142, 170, 195, 196

impedanciarelé, szimmetrikus összetevőket érzékelő 62

- impedanciavédelem 258, 277, 305
 - egylépcsős 64–68
- impulzusedifferenciáló áramkörök 175
- impulzuskésleltető áramkör 175
- impulzuskorlátozó 126
- impulzusnyújtó áramkör 176
- indukciós relék 134–137
- információs csatorna 92, 187
- integrátor 171, 185, 218
- inverse definite minimum time (IDMT) 181
 - time 181
- ipartelepi hálózatok 327
 - hálózatok védelme és automatikája 327–328
- irányelem 47
- irányrelé 47
 - belső szöge 48
- ívellenállás 31, 73, 196
- íves hálózat védelme 59, 60
- ívkompenzálás 74
- ívkompenzált mérőelem-karakterisztikák 74
- ívoltási tényezők 114
- járolékos kikapcsolás 289

K

- kábelhálózati automatikák 122
- kábelhálózat, 120 kV-os 290
- kapacitív töltőáram 119
- kapcsolási túlfeszültség 118
- kaszkád hárítás 60
 - zárlat 37
- késleltető áramkör 177–178
- kétfázisú üzem 279
- kétirányú lépcsőzés 59, 60, 61
- kétkörös ébresztési karakterisztika 284
- kétlépcsős tartalék védelem 291
 - túláramvédelem 56
 - visszakapcsolás 121
- két oldalról táplált íves hálózat védelme 59
- kettős alapvédelem 251, 273–275, 290
 - alapvédelmi rendszer 33, 42
 - távvezeték mérésorzítása 75, 76
 - testzárlat elleni védelem 250
- k_f/k_v tényező 51–52
- 90°-os kapcsolás 49
- kimeneti áramkör 158–159
- kioldásengedélyező logika 81–82
- kioldó 50
- kioldólogika 187
- kis erőmű leválasztása 116

kifestültségű túlfeszültségvevzető 154
 kikapcsoláskor rajta maradt töltés 118
 kis valószínűségű hibák 37
 — — üzemállapotok 37
 kiszabályozatlan teljesítménylengés 334
 koincidencia időmérése 169
 komparátor 178, 185, 186, 211, 218
 kompenzáló fojtó 120–121
 kompenzált hőrelé 138
 komplex védelem és automatika 219–226
 koncentrált impedanciával lezárt védelmi szakasz
 57
 kondenzátorok 214
 kondenzátormeghibásodás 214
 kondenzátorvédelem 214–217
 körvezeték védelme 60
 közbenső áramváltó 85, 91, 93, 102–103, 154
 — feszültségváltó 154
 közeli tartalék védelem 34
 középfeszültségű hálózat védelme és automatikája
 303–318
 közvetlen hőállapot mérése 138
 — hőmérsékletmérés 207
 kritikus metszések 341
 — teljesítmény 342

L

laboratóriumi vizsgálat 150–151
 lágyvasjárom 141
 lassú visszkapcsolás 123
 látszólagos zárlat 76–78
 „lebegő” feszültség 351
 lecsengő feszültség 125
 legerjesztő automata 26, 265
 légrés 132
 lemezfegyverzetű relé 132
 lengés 50, 76
 lengésérzékenység 78
 lengési görbék 77–78
 lengésközéppont 343
 lengészár 43, 78
 lépcsős visszkapcsolás 79–80
 lineáris fékezésű differenciálvédelem 85
 — jelátviteli szakaszvédelem 93–94
 logikai áramkörök 173
 — differenciálvédelem 310, 328
 — jelátviteli szakaszvédelem 96
 — jelek bevitelle 156
 — reteszelésű gyűjtősinvédelem 99
 lökfeszültség-generátor 232
 lökfeszültség-próba 230

M

mágneses söntölés 147
 magyar védelem-automatikai stratégia 42–43
 maradó látjelző 160
 — zárlat 121
 második fokozat ütközése 284–286
 másodlagos metszések 342
 maximális sántaüzemi áram 290
 — üzemállapot 52
 maximumérzékelő 163–165
 maximumkiválasztó bemeneti áramkör 155
 megengedhető frekvenciadifferencia 353
 megkerülősinnes erőmű 266
 megszakító 26
 megszakítóberagadási védelem 34, 36, 42, 215, 316
 — —, alaphálózati 211–213, 215, 278–279
 — —, egyedi érzékelésű 300
 — —, elektronikus 211–213
 — —, főelosztóhálózati 300
 — —, háziüzemi transzformátorhoz 322
 — —, középfeszültségű 311, 317
 — —, központi érzékelésű 301
 megszakító kioldási önideje 31
 megszólalási érték 128
 menetzárlatvédelem, generátor állórész-tekerccseléséé
 241–244
 —, osztott tekerccselésű generátoroké 243–244
 méretezés zárlati termikus szilárdsága 31
 mérlegrelé 139, 140, 170
 mérőelem 197
 — hatótávolságának visszahúzódása 73–75
 mérőelem-karakterisztikák 74
 mérőmag 101
 metszékbonató automatika 346, 347
 metszékvédelmi automatika 343
 metszékterhelés 346
 metszék terhelési szöge 346
 mezőgörbe-torzulás elleni védelem 251
 mezőlogika 219–226
 mho-karakterisztika 287
 — billentése 74
 mho-karakterisztikájú mérőelem 69, 70
 mho-relé, 78, 168
 mikroprocesszoros védelem 226–230
 minimális üzemállapot 52
 minimumérzékelő 165
 mintavétel gyakorisága 227
 mintavevő áramkör 226
 MODEM 187–191
 motor indítási áramlökése 323–325
 motoros szakaszoló 123
 motorvédelem 58, 138

motorvédelem, elektronikus 206–207
motorvédő kapcsoló érzéketlenítése 39
multiplexer 226
múló zárlat 114
működés elmaradása 32, 230
működési idő, védelemé 31
– önidő 129

N

nagyfeszültségű egyenáramú átvitel 357, 358
nagyfrekvenciás zavargenerátor 233
– zavartatási próba 231
nagy impedanciájú differenciálvédelem 86–88
– – gyűjtősín-differenciálvédelem 100
NAND kapu 173, 174
negatív sorrendű áram 202
– – áramszűrő 203
– – túláramvédelem 202, 259
nemlineáris fékezés 93, 208
– fékezésű differenciálvédelem 85, 100
nullindikátor 141, 171

O, Ö

olajáramlás-relé 276
olajáramlás-védelem 293, 322
oppozíciós tartomány 354–355
optikai csatolós bemeneti áramkör 156
optimális holtidő 326
optimalizált metszékbontás 346
óragenerátor 218
osztottan ellátott területek 124
osztott tekercselésű generátorok menetzárlatvédelme
243–244
önálló gyűjtősínvédelem 98
önellenőrzés 228

P

parancsadó elem 70
Pázmándi-féle testzárlatvédelem 198
pillanat látjelző 160
Póka-féle szélrózsa 69
polarizálófeszültség 196, 197, 198
polarizált relé 141
poligon karakterisztika 78
preinsertion resistor 118

prellezés 148
primer kioldó 50
– szabályozás 331, 332
próbaüzem 151
pszeudoszinkron átkapcsoló automatika 349–357

R

reaktanciarelé 74
reed relék 146, 158
relatív szelektív védelem 29
relé 50, 128
– állórésze 129–137
–, előtétimpedancia 136, 143
relémag 101
relé megszólalása 128
– nyomatékviszonyai 135–137
– söntimpedancia 136, 143
relés bemeneti áramkör 156
relé visszapattanása 148
relévizsgáló 150–152
rendellenes üzemállapot 279
rendszerautomatika 329
rendszeregyesítés 330
rendszerengedély 36, 151
rendszerrészek közti távvezeték visszakapcsolása 117
rendszer részekre tagolása 26
reszinkronizáció 116
reteszelőrendszer 80
rövid feszültségzűnet 40
rövidzárlat 18
rugóerő 132

S

sántaüzem 118, 119, 290
segédáramváltó 142, 143
segédüzemi transzformátor differenciálvédelme 239
SEM-kapcsolás 94
sínszelektivitás 208
skalázási egyenletek 62
sokvariációs zárlatszámítás 53
söntfojtótekercs 279–280
spontán rendszerbomlás 343, 346
stabilitás 20–25, 50, 115, 117, 349
stabilitási határ 263
– tartaléktényező 21
statikus stabilitás 21, 22
– stabilitás megbomlása 342
súrlódás 132, 136

SZ

szabályozó statizmusa 331
szabványos zárlatoltási és visszakapcsolási ciklusok 114
szakadás 19
szakaszvédelem 83, 92–96, 99–100, 273, 288, 314
–, elektronikus 187
–, fázisösszehasonlító 188
–, lineáris jelátviteli 93–94
– logikai jelátviteli 96
szaldóteljesítmény 344–345
számlálás 163
százalékos differenciálrelé 140
– fékezési differenciálvédelem 85
szelektív időlépcső 29, 30
szelektivitás 27
szekunder határfeszültség 88
– ív 119–121
– relé 50
– szabályozás 331
– túlfeszültség 153, 230–234
szigetelési szilárdság 230
szimmetrikus összetevőket érzékelő impedanciarelé 62
szimultán zárlat 37
szinkronellenőrzés 118, 121, 122
szinkron reaktancia 254, 263
– tartomány 354–355
szoftver, elektronikus védelemé 229
szórás (impedancia) 70
szögelfordulás, kis erőművi generátoré 115–117
– mértéke 118
szünetkapcsoló 308
szünetmentes áramforrások 39, 40

T

tápegység, DC-DC konverteres 157
–, Zéner-diódás 157
tápsín gyűjtővédelme 56
tárcsás indukciós relé 134
tartalék védelem 123, 306, 316
– – beállítása 285
tartóáramkör 226
tartóviszony 129
távoli tartalék védelem 33–36, 53
távolsági védelem 68–82, 274, 288, 314
– –, elektronikus 194–198
– – fokozatainak beállításszámítása 70
távvezeték kapacitív töltőárama 119
telítési idő módszere 111

telítési tényező 105
telítődés, áramváltóé 87, 104, 109
telítődő áramváltós differenciálrelé 148
teljes blokk-differenciálvédelem 252
teljesítmény – frekvencia összefüggés 331
teljesítményhiány 333, 335
teljesítményirány-összehasonlítás 83, 96
teljesítményirány-összehasonlító szakaszvédelem, zérus sorrendű 290
teljesítmény-irányrelé 135–138, 143, 167, 170
teljesítménylengés 76
teljes zárlathárítási idő 273
terhelési szög 117
termelési hiány 331
természetes gyűjtősínvédelem 97–100
termisztor 207
testzárlatvédelem 198–200, 204
téves működés 230
time-to-saturation 111
típusvizsgálat 151
torzulás felharmonikusok miatt 18
többszörös visszakapcsolás 121
transzfer reaktancia 19–25, 349
transzformátor áramának visszaforgatása 89–91
– bekapcsolási áramlökése 88–89, 184, 186, 238
– differenciálvédelme 88, 144
– differenciálvédelmének eredő áttétele 91
– szögforgatása 89–91
transzformátorvédelem, mikroprocesszoros 229
tranzien্স méretezési tényező 105
– stabilitás 22, 78, 98, 117, 255, 263, 276
tranzien্স stabilitás megbomlása 342, 349
tranzitálás 334
trap charge 118
túláramrelé, áramtól függő késleltetésű 140
–, zérus sorrendű, fázisáramokkal fékezett 195
túláramvédelem 316
–, áramtól független késleltetésű 179
–, áramtól függő késleltetésű 180
– – korlátlanul függő 58
–, – korlátoltan függő 58
– feszültségcsökkenési emlékezésű 256
–, középfeszültségű kábelhálózaton 315
–, ultragyors, zárlati 257
–, sugaras hálózaton 59
túlfedés 79
túlfedő karakterisztika 275
túlfékezés 211
túlméretezési tényező 109–112
túlterhelés 16, 50, 207, 258, 341
túlterhelés-előjelző 207
túlterhelésvédelem 42, 51
–, generátoré 259

túlterhelésvédelem, generátor forgórészéé 262
turbina-gyorszáró 265
turbógenerátor 202
tűzvédelem 294

U, Ü

ultragyors túláramvédelem 147
– zárlati túláramvédelem 257
üvegszáloptika 229
üzembiztonság 32–37
üzemi áramtól való elhangolás 51, 66, 67
– terhelési szög 117
üzemzavari automatikák 113–127, 329–359

V, W

vágási egyenes 136
védelem 128
védelem működési ideje 31
védelemszinkronozás 80, 274
védelem visszaesési ideje 30
védelmek egyszerűsége 37
– érzékenysége 37
– gazdaságossága 38
– generációi 44
– hatótávolsága 52–53
– szigetelési szintjei 36
– viszonylagos hatótávolsága 63, 64
– vizsgálata, elektronikus 230–234
védelmi „egység” 28
– holsáv 37
– rendszer 26–43, 325–328
– – tervezése 235–328
– rendszer üzembiztonsága 32–37
– reteszelés 80
– szakasz 28–30
– – (ellenőrzött távkioldás) 42–43
– tartalékolás 33–36
végponti fáziskiválasztó védelem 288
vegyes hálózatok 122
– csillagpontkezelésű hálózatok 318
very inverse time 181
vésztartalék 43
vezérelt áramirányítók 357

világítódióda (LED) 159
villamosív-érzékelő 311
virtuális zárlat 76–78, 352
viszonylagos tartótávolság 63, 64
visszaesési idő 30
visszakapcsolás 316
– eredményessége 114, 121
visszakapcsolási (bekapcsolási) áramlökés 51
– – holtidő 113–118
– rendszerek, ajánlott holtidők 42–43, 121–122
visszakapcsolás optimális holtideje 113–118
–, többszörös 121
visszakapcsoló automatika 113–123
– – alaphálózati 280–281
– – közép feszültségű 306–308, 314, 317–318
visszatérítő kapcsolás 356
visszteljesítmény-védelem 191, 192, 265
Watch Dog 228

Z

zárlat 18
zárlatérzékelés alapjai 44–47
zárlati áramhurok impedanciája 62–64
– feszültségletörés jellemzői 38
– impedancia érzékelési rendszerei 62–64
– iv 31
– próba 151
– teljesítmény érzékelésének holsávja 48–49
zárlatiteljesítmény-irányelem 70
zárlati teljesítményirány érzékelése ép feszültségű
polarizálással 48
– – közvetlen érzékelése 47
– termikus szilárdság 31
zárlatképző megszakító 26
zárlatkorlátozás 302–303
zárlatkorlátozó automatika 123, 202–203
zárlatok fajtái 19
zárt védelmi szakasz 57
zavarérzékletlenség 173
zavarjel 153, 230–234
zavartávolság 173
Z-fegyverzetű relé 132
Zéner-diódás tápegység 157
zérus sorrendű szakaszvédelem 314
– sorrendű túláramrelé 212
– sorrendű túláramrelé fázisáramokkal fékezett 195