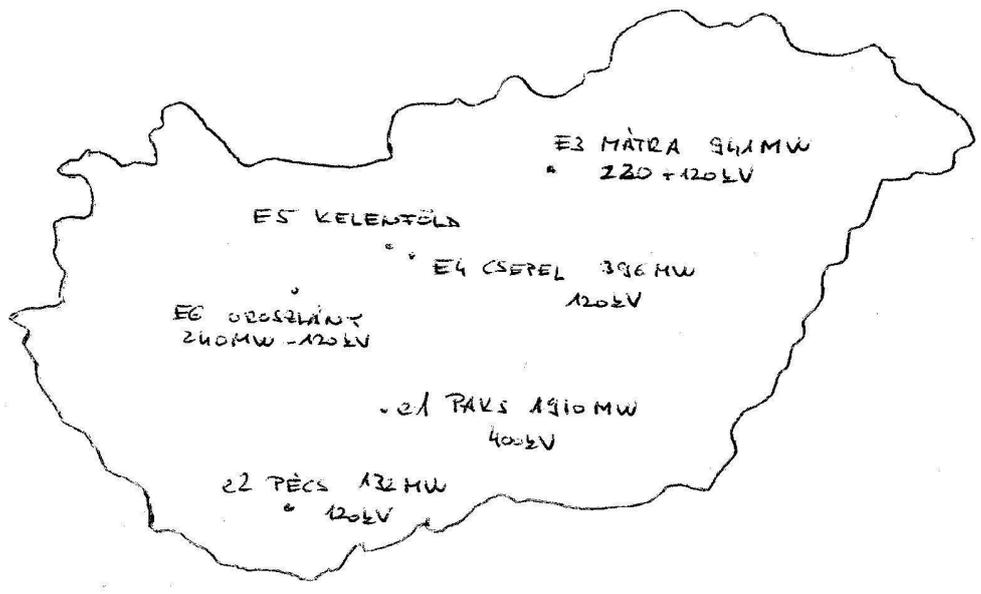


VER ÜZEME ÉS IRÁNYÍTÁSA

1.1. Erőművek Magyarországon. Ábríteli hatáskörök és távvezetők

a)



b)



2.1. A VILLAMOSENERGIA - SZÁRVALTATÁS ALAPTELEPÍTÉS - RENDSZER- ALAPOTOK

a, A VÉL minőség és biztonság alapkövetelményei, az n-1 elv.

A villamosenergia-ellátás feladata a fogyasztói igények kielégítése megbízhatóan rendelkezésre álló, a minőségi követelményeket kielégítő villamos energiával a termelési, szállítási és elosztási költségek minimumon tartása mellett.

Megbízható rendelkezésre állásról azt értjük, hogy a villamos energia a vételezési pontokon elegendő mennyiségben és folyamatosan álljon rendelkezésre. A NAF kiváltó hálózati szempontjából a biztonság üzemeltetési képességként fogható fel. A biztonságos üzem feltétele, hogy teljesüljön az ún. (n-1) kritérium, azaz a rendszer olyan elemének meghibásodása, kiesése ne okozzon fogyasztói kiestést, illetve ne veszélyeztesse a többi beszállítás biztonságos üzemét. (Létező körzetek, ahol fennálló biztonságot követelnek meg az (n-2) kritérium teljesülésétől elvárásból.)

A villamosenergia-ellátás minőségi jellemzői a frekvencia értéke és a feszültség effektív értéke, valamint hullám alakja. Állandósult állapotban az energiavandulás minden pontján azonos a frekvencia, amelynek értékére igen szigorú előírások vonatkoznak, általában a névleges érték körül $\pm 0,1\%$ -os tűréshatárt írnak elő (ami 50 Hz-es rendszerben $\pm 0,05$ Hz-et jelent). A feszültség a frekvenciától nemcsak lokális jellemző, effektív értéke az áramerősségek hálózati állapotban is pontról pontra különböznek az átvitelrel járó feszültségvesztés következményeként. A névleges értéktől való megengedett eltérés feszültségintenzitást különböztet lehet, százalékos mértékben kifejezve nagyobb, mint a frekvencié. A feszültség effektív értékének tűréshatáron tartása mellett lényeges, hogy ne legyenek gyors feszültség-ingadozások és a hullám alak közelebb az ideális alapharmonikus minőségű.

- b, Rendnerállapotok, rendnerállapot - átmenetek, kipurolások
 +
 c, Minőség és biztonság az egyes rendnerállapokban

Normál üzemi állapot: Normál üzemi állapotban teljesíthetők a biztonsági, minőségi és optimális követelmények, rendszeresen teljesül az (n-1) kritérium, a frekvencia és a feszültség az irányított határért minden pontján megfelelő (cúros határérték-túllépés) és a termelés, szállítás, elosztás minimális költséggel, illetve veszteséggel végbemegy.

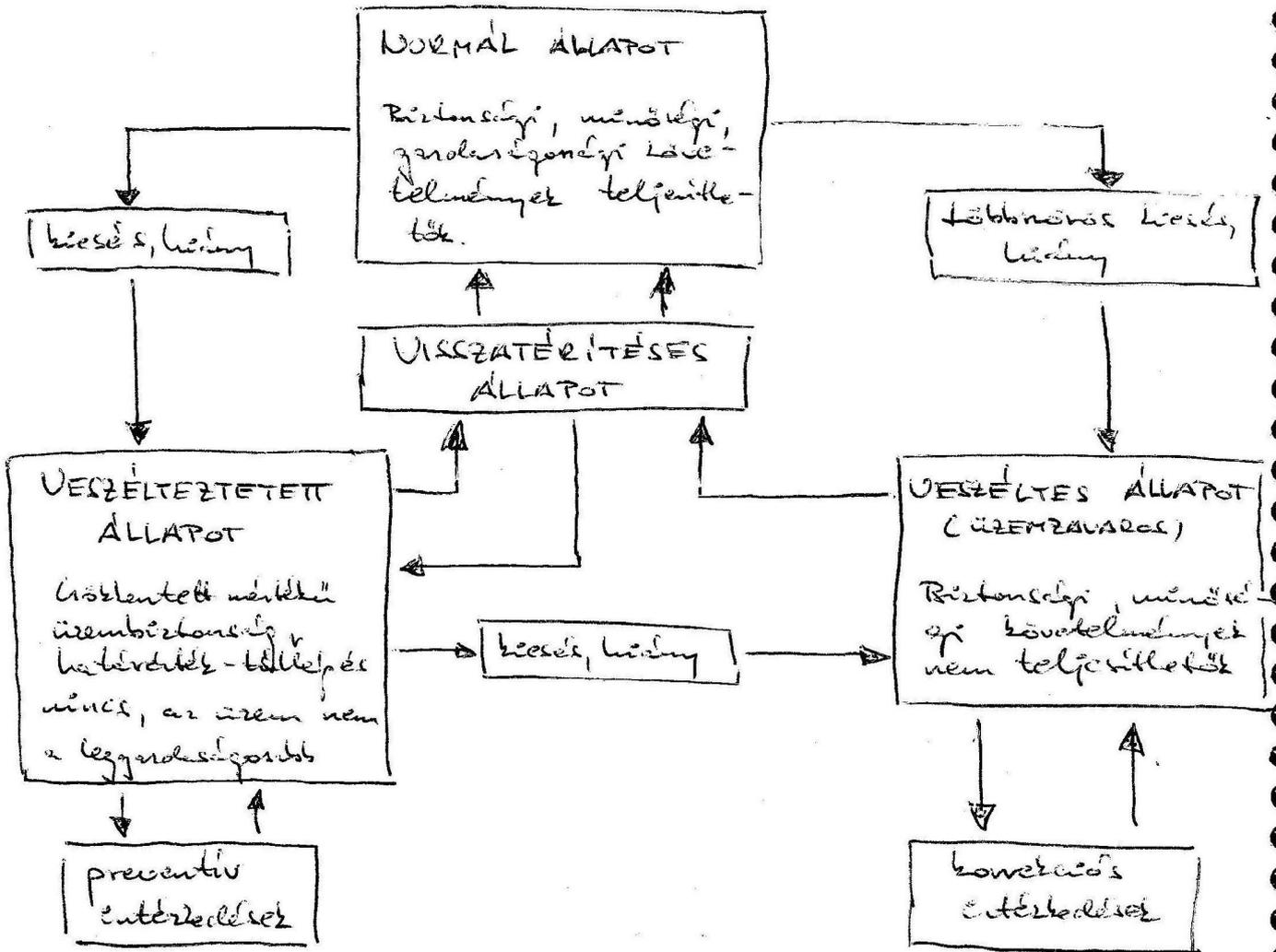
A villamosenergia-rendner üzemi állapotban az a folyamatok, általában lassú változás a jellemző, a tervezett kapacitások, határértékek, azaz a határértékek, a termelési ciklusok a villamosenergia-rendnerben átmeneti folyamatokat váltanak ki, és ezek kezeltetését követi a rendner az új egyensúlyi állapotban.

Veszélyeztetett üzemi állapot: Az energiarendner akkor kerül veszélyeztetett állapotba, ha valamely berendezés meghibásodása, kiesése következtében a biztonság lecsúszhat, tehát valamely további kiesés veszélyes állapotot eredményez, vagyis az (n-1) kritérium nem teljesül. A minőségi követelmények még teljesíthetők, tehát nem következnek be határérték-túllépések. Az üzemi költségek általában nem minimálisak, vagyis az üzem gazdaságossága az optimumtól elmozdul.

A veszélyeztetett állapot felismerése nem könnyű dolog. Ha a normál állapotba való visszatérés rövid időn belül nem oldható meg, akkor preventív intézkedéssel kell a veszélyes rendnerállapot kialakulásának valószínűségét csökkenteni.

Veszélyes állapot: A veszélyes rendnerállapot az jellemző, hogy nem teljesíthetők a biztonsági, minőségi és gazdasági követelmények. Határérték-túllépések, túllépések jelentkeznek. Súlyos üzemzavar során a rendner minőségi üzemre nem kerülhet, ami véget érve való kikapcsolást, végössesében teljes üzemhiányt okozhat.

A rendszerállapotok kapcsolódását a következő ábrán lehet szemlélteni:



3.1. A HATÁSOS TELJESÍTMÉNY ÉS A FREKVENCIA KAPCSOLATÁNAK ENERGETIKÁJA

A főgáti teljesítmény pillanatról pillantra változik. Normál üzemben a főgáti terhelésre és a rendszer egészére vonatkozóan a véletlenszerű ingadozások a nagy számú főgáti követelményben kiegyenlítődnek.

a, Statisztikus egyensúly

Az egyes generátorok gépkapcsolon kiadott P_{gi} villamos teljesítményt összegyűjtve megkapjuk a rendszerre vonatkozó összes bekapált P_G villamos teljesítményt: $P_G = \sum_i P_{gi}$

Az összefogást (az eredményes hálózati főgáti terhelést is beleértve) P_F -fel jelöljük. A fennsíkoldalon a generátorkapcsolon kiadott P_G és a teljesítményváltás hálózati veszteségeit leíró P_V teljesítményekkel a rendszer minden pillanatában érvényes villamos teljesítmény-egyensúly az energiamegmaradás elvének megfelelően a $P_G = P_F + P_V$ összefüggés fejezi ki és ez transziens állapotban, változó frekvencia esetén is érvényes.

Ha a generátorok fordulatszáma és így a hálózati frekvencia nem változik, vagy csak elhanyagolhatóan kis mértékben ingadozik, akkor minden egyes generátorra vonatkozóan igaz, hogy a turbinán kiadott T_{mi} mechanikai teljesítménye és a generátorkapcsolon kiadott P_{gi} villamos teljesítmény (amely a terhelés függvényében) azonos, vagyis $P_{gi} = T_{mi}$. A turbinán kiadott T_{mi} teljesítményt összegyűjtve a rendszer teljes (mechanikai hálózati) terhelését a $P_M = \sum_i T_{mi}$ módon adhatjuk meg. Állandósult állapotban tehát $P_G = P_M$ és így a rendszer statikus energetikai egyensúlyát a $P_M = P_F + P_V$ ($f = \text{állandó}$) összefüggés jellemzi.

b, Dinamikus egyensúly

A rendszer üzemben a terhelésnek követnie kell a mindenkori főgáti igényt. A villamos teljesítmény-egyensúly nevezetes frekvencia körül tartásához az eredményes teljesítményt állandósult állapotban meg kell tartani. A rendszernek a P_M (ill. az egyes T_{mi}) teljesítmény megváltozását kell érvényesítenie, mert

változó P_F , de állandó P_M esetén a stabilis energetikai egyenlet megbanlik, a frekvencia megállandó. Változó fordulatszám (ill. frekvencia) esetén turbina-generátor egység teljesítmény-egyenlete a $P_{ji} = P_{mi} - \frac{dW_{ki}}{dt}$ nemstabilható fel, ahol $\frac{dW_{ki}}{dt}$ a forgó tömeg kinetikus energiájának változása. A meghajtott mechanizmus és a felvett villamos teljesítmények eltérése a forgó tömeget lassulást (vagy gyorsulást) eredményez és az így felvett kinetikus energia alakul át villamos teljesítményre (ill. a mechanikai teljesítményből kinetikus energiává), ami a fordulatszám és így a villamos frekvencia növekedését (ill. növekedését) eredményezi.

$$\text{Igy } \frac{dW_{ki}}{dt} = \frac{d\left(\frac{1}{2} \Theta_i \omega_i^2\right)}{dt} = \omega_i \Theta_i \frac{d\omega_i}{dt}, \text{ ahol } \Theta_i \text{ az}$$

i -jelen turbina-generátor egység forgó tömegének a teljesítményi nyomatéka és ω_i a gépsebesség pillanatnyi fordulatszámát megfelelő exponenciálisan villamos hálózati frekvenciára. Az ω_i hálózati frekvenciára vonatkozó T_i perditület a Θ_i és esetében a $T_i = \omega_i \Theta_i$ nemstabil lehet, így

$$P_{ji} = P_{mi} - T_i \frac{d\omega_i}{dt}$$

amely egyenlet a rendszer összes gépsebessége felvétel, és ezek összegzésével megkapjuk a rendszer egyenletére vonatkozó és az állandósított dinamikus energetikai egyenlet kifejezés összefüggést, amely a

$$\sum_i P_{ji} = \sum_i P_{mi} - \sum_i T_i \frac{d\omega_i}{dt} \text{ egyenlet alapján a}$$

$$P_G = P_M - T_S \frac{d\omega_S}{dt} = P_F + P_V$$

alabban adható meg, ahol C_a rendszer egyenlete (ahol S indexszel) $T_S = \sum_i T_i$: a rendszer fordulatszám-összeperditület

$$\omega_S = \sum_i \omega_i \frac{T_i}{T_S} : \text{ a rendszer átlagos (feszítő) hálózati frekvenciája.}$$

Az f_S átlagos rendszerfrekvencia addig változik, amíg $P_M = P_F + P_V$ állapot nem áll be.

c, Rendner (szintron) frekvencia

A villamos hálózat rendszere fő jellemzője az csap (háló-
zati) szintron frekvencia, amely az alapharmonikus feszít-
ség másodpercenkénti szinusz- periódusainak mértéke.

A frekvencia meghatározása a T periódusidő mérése alapján,
élette a k mérési pontra vonatkozóan $f_k = \frac{1}{T_k}$.

Villamos hálózat által összekapcsolt szintron generátorok e-
gyüttműködés szintronjához rendszert alkotnak, amelyben állan-
dó állapotban csak egyetlen $\omega_R = 2\pi f_R$ villamos szin-
tron körfrekvencia, illetve f_R hálózati szintron frekvencia
lehetőség. A szintron rendszert szintron (elvi állapotban)
állapotban $\omega_i = \omega_R$ minden egyes gépére és $f_i = f_R$ minden e-
gyes csomópontjára. A szintron frekvencia f_R névleges (illetve
elvezetéshez nagyon közeli) értékek tartása a rendszer üzemeltetési-
séméhez legfőbb feladat.

Állandósuló üzemállapot kialakulását eredményező dinami-
kai folyamatok során az f_R szintron frekvencia egy olyan,
időben kissé változó állapotértéknek tekintendő, amely állagát
a szintron rendszer egyes generátor - forgóréseinek forgótel-
esztése és egyetemes csomóponti feszültségének frekvenciája van
től el tudósan.

Egy szintronjához rendszer dinamikai állapotához az időben válto-
zó $\omega_R = 2\pi \cdot f_R$ állapot rendszer - körfrekvencia a generátor -
turbina egyeséget összegezett kinetikai (forgási) energiájának
egyenértékű

$$\omega_R = \sum \left(\frac{1}{2} \mathcal{D}_i \Delta \omega_i^2 \right) = \frac{1}{2} \mathcal{D}_R \Delta \omega_R^2$$

kifejezés alapján a generátor - forgórése ω_i villamos
körfrekvenciájának az együttes M_i peralaktetektől súlyozott
állagát mutatva meg:

$$\omega_R = \frac{\sum_i \omega_i M_i}{\sum_i M_i}$$

ezzel a rendszer szintron frekvenciája: $f_R = \frac{\omega_R}{2\pi}$.

Ezt az összefüggést így kell értelmezni, hogy egy szintronjához
rendszert a teljes rendszer - állapotát jelölő állagát,
kérdés során minden gépére a peralaktetektől arányosan
vagy végt a változó f_R szintron frekvencia kialakításában.

A kiegészítő soron azon gépességeket, amelyek az ω_2 végállapothoz képest kinetikus energiátöbblettel rendelkeznek, a mikronban maradáshoz az energiátöbbletet (villamos energiaként) a rendszerbe kell táplálniuk, azon gépességeket pedig, amelyeknél fordítva az ω_2 végállapothoz képest kisebb körfrekvenciájú, kinetikus energia-többletre kell részt tenniük (a leadott villamos energia növekedése révén) ahhoz, hogy forgási sebességük a mikron körfrekvenciájához megfelelő értékhez tartson.

d, Hálózati csomópont frekvenciája

A rendszer valamely j csomópontján mérhető f_j hálózati frekvencia - állandósult állapothoz tartó folyamatban - az f_R frekvencia körül ingadozik. A j csomópont alapharmónikus pozitív sorrendű felülfélgépe az ω_2 rendszerben $C =$ pillanatnyi felülfélgépe és növekedés kiértékelés) az

$$u_j = |U_j| \cdot e^{j(\omega_2 t + \beta_j)} \quad \text{ kifejezéssel írható le, a-}$$

melyben $|U_j|$ az alapharmónikus pozitív sorrendű felülfélgépe átlagos időben villamos effektív értéke, β_j pedig ennek pillanatnyi növekedése, ugyanúgy az ω_2 rendszerben értelmezve.

A csomóponti felülfélgépe pillanatnyi alapharmónikus f_j frekvenciája az $f_j = f_R + \frac{d\beta_j}{dt} \cdot \frac{1}{2\pi}$ kifejezéssel adható meg.

3.2. RENDSZERTERHELÉS ÉS VÁLTOZÁSAI

Az egyes tényleges fogyasztói bevonulások teljesítményfelvétele nem kerülhető kiön-köten a nagyobb mértékű tervezés és üzemeltetés folyamán, hanem csak egy fogyasztói terület, ellátási körzet összesített igényét lehet, kell figyelembe venni a felvett előtér vagy átíteli hálózat tervezésénél, üzemeltetésénél. A fogyasztói igényeket tehát összesíteni kell a rendszer egészére, s ez fogja kinézni a rendszerterhelést: $P_T = \sum P_{ij} + \sum P_{gij} + P_V$

A rendszer fogyasztói-összegyénének időbeni tendenciáinak változása előre becsülhető, rövid távra nagyjából biztosan. Ez az alapja a tervezésnek, a terhelési menettrend készítésének és ezáltal előre meghatározható (ill. becsülhető) az üzemben tartandó műszaki eszközök teljesítménykapacitása. A napi terhelési menettrend drás bontásában tartalmazza a várható fogyasztói teljesítményigényt. A nyári és téli, éven belül a munkanapi ill. munkanapi utáni napi menettrendek általában eltérnek.

A terhelés változására arányban jellemző, hogy viszonylag rövid időtartamú a napi legnagyobb, illetve legkisebb igény, amit csúcs-ill. völgyterhelésnek (és időtartamát) szokás nevezni. Ennek ismerete, illetve előre becsülése a rendszer üzemének szempontjából alapvetően fontos, mert megadja azt a teljesítménytartományt, amit az erőművi gépeknek szabályozásuk, indításuk, leállításuk ad kell fogyni a terhelésváltozás során, továbbá a műterhelés megadja azt a legnagyobb igénybevételeket, amit a rendszernek el kell viselnie.

A napi műterhelések maximuma adja meg az adott hálózat, illetve az adott év legnagyobb terhelését. Az évi műterhelés változása, illetve az évek arányos időközében fellépő műterhelések alakulása az adott ország villamosenergia-igényének a jellemzője és ezt előre becsüléssel alapul a területi tervezés.

2008-ban az éves fogyasztás + a hálózati veszteség 41,02 TWh volt. A napi bruttó műterhelés 6333 MW. A 2008-ban élesen a csúcs nyáron volt, 6251,3 MW.

$$\text{Éves műterhelés dráma} = \frac{\text{napi energiagény (GWh)}}{\text{legnagyobb napi terhelés (MW)}} = 21,56$$

Napi energiagény: 137,56 GWh

2.3. A FOGYASZTÓI P_T ÉS Q_T TELJESÍTMÉNY U ÉS f ÉRZÉKENYSÉGE

a, A P_T és Q_T fogyasztói teljesítmény statikus U és f függéséhez matematikai leírása:

Az egyes fogyasztókra által felvett, adott időpontban vonatkozó hatékony és merlelő teljesítmény az időtartalon fenntartás és frekvencia esetén marad állandó. Epponttal szembe tekintünk egy példának R-L elemű áramforrás fogyasztót és legyen az U_0 fenntartás és f_0 frekvencián felvett teljesítménye P_0 , illetve Q_0 , az U és f értékek pedig tartanak P, illetve Q. Ezzel:

$$P_0 = \frac{U_0^2}{R} \quad Q_0 = \frac{U_0^2}{2\pi f_0 L}$$

$$P = \frac{U^2}{R} \quad Q = \frac{U^2}{2\pi f L}$$

Behelyettesítéssel:

$$P = P_0 \cdot \left(\frac{U}{U_0}\right)^2 \quad Q = Q_0 \cdot \left(\frac{U}{U_0}\right)^2 \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^{-1}$$

Általános esetben hatványkitevő alakban:

$$P = P_0 \cdot \left(\frac{U}{U_0}\right)^{k_{pu}} \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^{k_{pf}}$$

$$Q = Q_0 \cdot \left(\frac{U}{U_0}\right)^{k_{qu}} \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^{k_{qf}}$$

ahol k_{pu} , k_{qu} , k_{pf} , k_{qf} az. fenntartás- és frekvenciaérzékenységi tényezők bevezetésével.

b, A $p_u, q_u, stb.$ érzékenységi tényezők matematikailag megváltoztatása változóval alapján

Kis $\Delta U = U - U_0$, illetve $\Delta f = f - f_0$ megváltoztatása a hatványkitevős alak sorfejtésével, általánosított formában a

$$P = P_0 + P_0 \cdot \left(k_{pu} \frac{\Delta U}{U_0} + k_{pf} \frac{\Delta f}{f_0} \right)$$

$$Q = Q_0 + Q_0 \cdot \left(k_{qu} \frac{\Delta U}{U_0} + k_{qf} \frac{\Delta f}{f_0} \right)$$

Építéssel adható meg a főparaméter teljesítményrögény, illetve annak $\Delta P = P - P_0$ és $\Delta Q = Q - Q_0$ megváltozása. A k értékségi tényezőket, valamint a $\Delta f = 0$, ill. a $\Delta U = 0$ eset-
hez a változások arányaitként értelmezhetők:

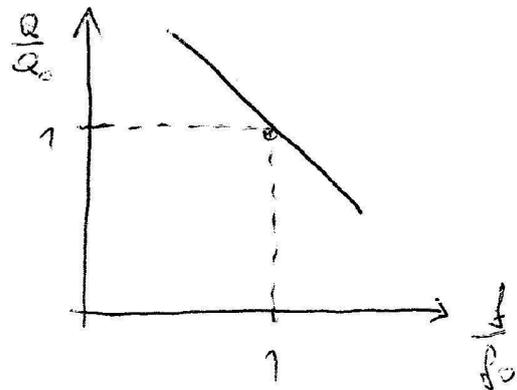
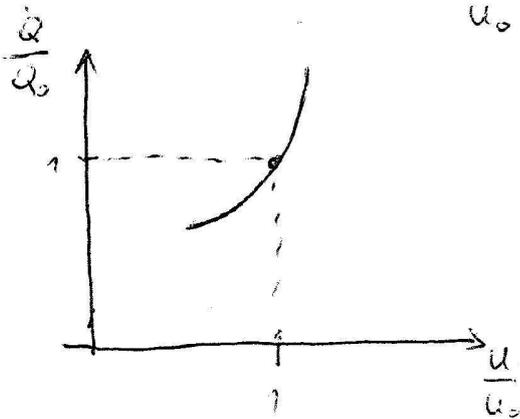
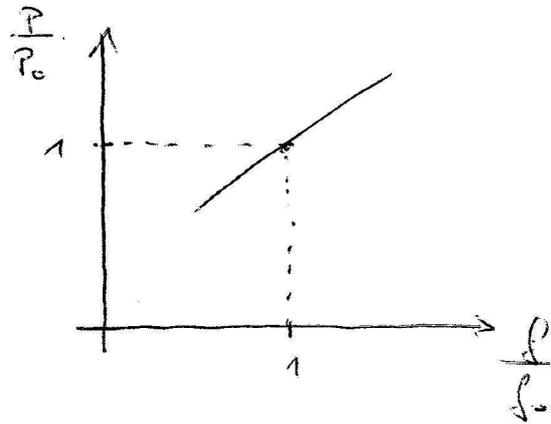
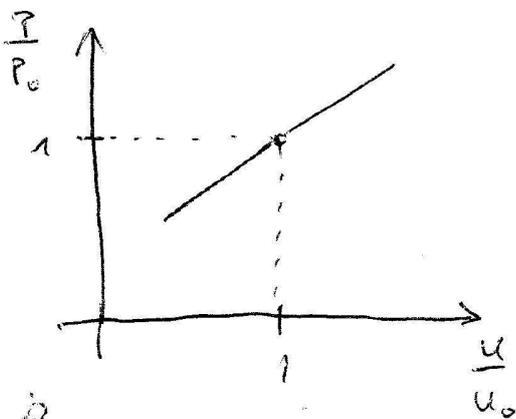
$$k_{pu} = \frac{\Delta P}{P_0} \cdot \frac{1}{\frac{\Delta U}{U_0}}$$

$$k_{pf} = \frac{\Delta P}{P_0} \cdot \frac{1}{\frac{\Delta f}{f_0}}$$

$$k_{qu} = \frac{\Delta Q}{Q_0} \cdot \frac{1}{\frac{\Delta U}{U_0}}$$

$$k_{qf} = \frac{\Delta Q}{Q_0} \cdot \frac{1}{\frac{\Delta f}{f_0}}$$

Ábrázolva egy főparaméter terület terhelésének függvény-
és frekvencia-értékségiét:



Átlagos főparaméter területhez közelítőleg a $k_{pu} = 1$ és $k_{pf} = 1$ rendelhető, vagyis 1% feszültség- vagy frekvencia-eltérés ugyanannyi 1% ΔP teljesítményváltozást eredményez.

A Q meddőteljesítményre a vasúti, teljesítő indukciós és a kondenzátoros meddőkompenzálás együttes hatásaként a $k_{qu} = 3-8$ és a $k_{qf} = 20$ értékek jellemzőek.

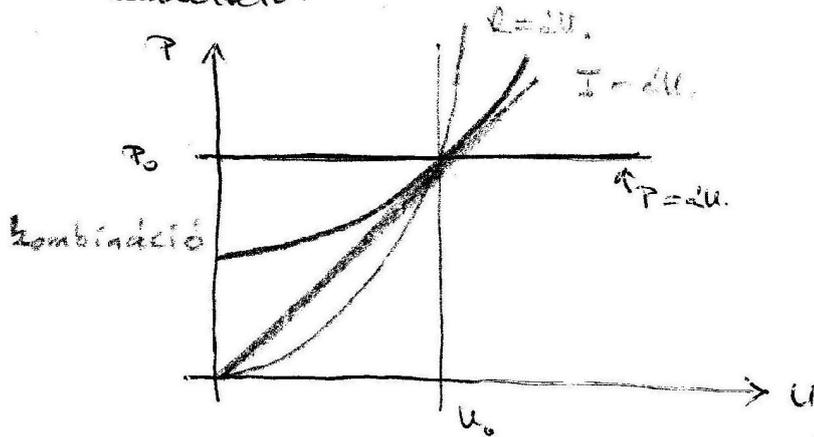
Változtatható frekvencián a

$k_{pu} = 0$ és $k_{qu} = 0$ az állandó teljesítmény,

$k_{pu} = 1$ és $k_{qu} = 1$ az állandó áram,

$k_{pu} = 2$ és $k_{qu} = 2$ az állandó impedanciát

figyelve ábrát látni le. Ezekre a típusokra a hatékony teljesítmény fenntartás nemzeti alakulását a következő ábra szemlélteti.



e) Erőös p_u értékségi tényező meghatározása

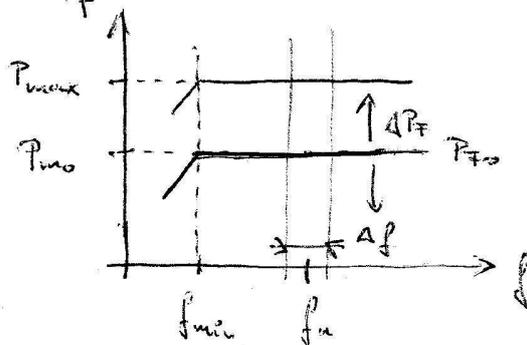
$$p_u = \frac{\sum_i P_i \cdot k_{pu}}{\sum_i P_i} = \frac{10 \cdot 1 + 10 \cdot 2 + 0,5 \cdot 20}{10 + 10 + 20} = \frac{40}{40} = 1$$

4.1. TURBINA P-f KARAKTERISZTIKÁK

Állandósebességű állapotban egy hálózatra csatlakoztatott villamosenergia-rendszerekben működő motorok a frekvencia. A rendszer egyensúlyi állapotában az erőművek P-f stabilitási célja az, hogy az a frekvencia mindig a névleges érték legyen, illetve az ettől való eltérések mértéke és időtartama legyen minimális.

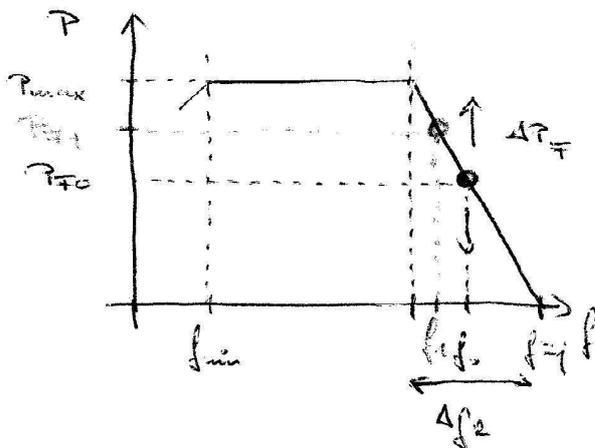
A frekvenciaátvitelben fontos szerepe van a T_m mechanikai teljesítmény frekvencia-eltérés szerinti automatikus megváltozásának, vagy másképp mondva a turbina stabilitási $P(f)$ karakterisztikájának. A turbina P-f karakterisztikájának 3 alaptípusa van:

- fordulatszám - stabilitás



A frekvencia-eltéréstől, a $P_m = P_0$ alapjel szerinti állandó teljesítményre stabilitást mutatja. A rendszer szempontjából ez előnytelen, mert az a gépességek a frekvencia-eltérés időtartamához csak az alapjel megváltoztatása esetén járul hozzá.

- P-f stabilitás

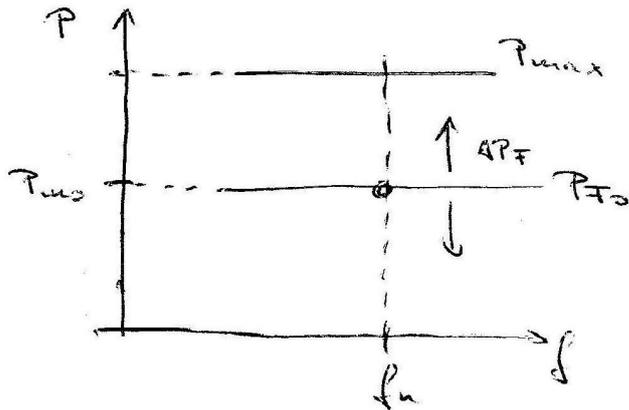


A turbina a többi frekvencia- vagy fordulatszám-eltérésre reagáló stabilitással van ellátva.

Egy belsővetésű $\Delta f = f_1 - f_0 < 0$ eltérésre a ΔP_T felülről $\Delta P_T > 0$, illetve $\Delta f > 0$ esetén $\Delta P_T < 0$ a válasz, mert az a teljesítményegyensúly f_0 frekvencia

keretében helyreállításként az eredményba jut. A $P_T = 0$ értékhez az f_0 ún. üresjárati frekvencia rendelhető és csak a P_{max} eléréséig Δf frekvencia-eltérés működésképes.

• P_{mo} -tartás



III nincs működőpont, ez nem a megfelelő változat.

b.) A stabilitási követelmény 2. esetben lehet kielégítő a következőképp:

$$R = 100 \cdot \frac{\Delta f / f_n \cdot P_n}{\Delta P_T} [\%]$$

Ha tehát $\Delta f = 500 \text{ mHz}$

$\Delta P_T = 5 \text{ MW}$

$P_n = 200 \text{ MW}$

$f_n = 50 \text{ Hz}$

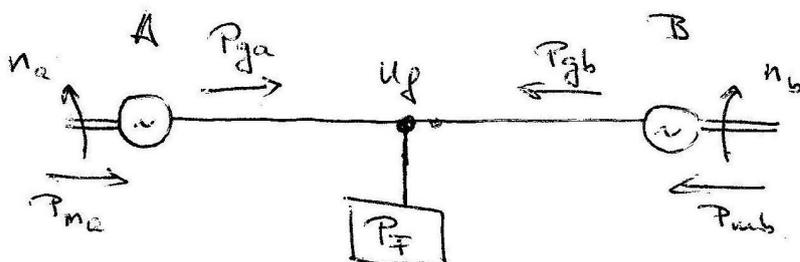
akkor $R = 100 \cdot \frac{0,1}{50} \cdot \frac{200}{5} = 80\%$

Az idealizált karakterisztika meredekségét (teljesen egy adott működőpont környezetében a szabályozás in. ellátás arányosságát) a

$$K_G = \frac{-\Delta P_m}{\Delta f} = - \frac{P_{mo}}{\Delta f} \left[\frac{\text{MW}}{\text{Hz}} \right]$$

adja meg.

c.) A "két termelő - egy fogyasztó" rendszerben terhelésmentes két gép között a $P-f$ karakterisztikák alapján



$U = 2U_0$

Allandósnít, országos szinten üzemben $n_a = n_b$ és

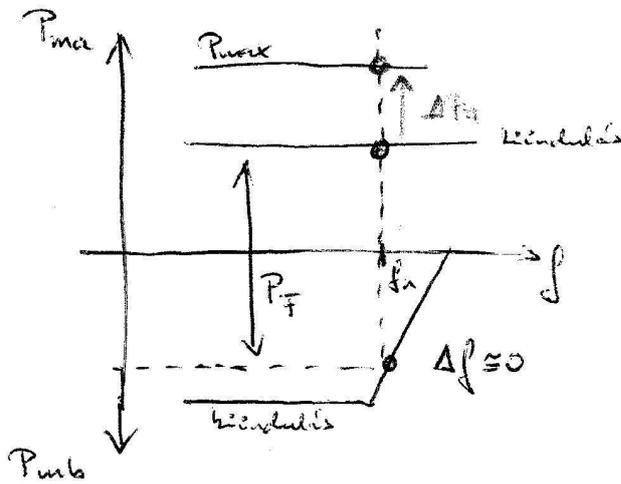
$$P_{ma} = P_{ga}$$

$$P_{mb} = P_{gb}$$

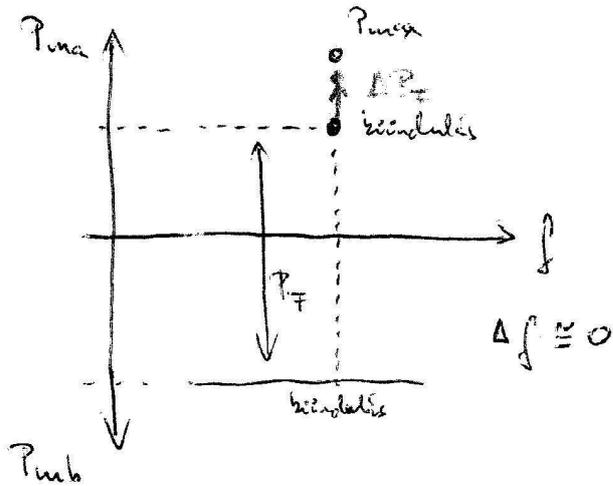
$$P_{ma} + P_{mb} = P_{ga} + P_{gb} = P_F$$

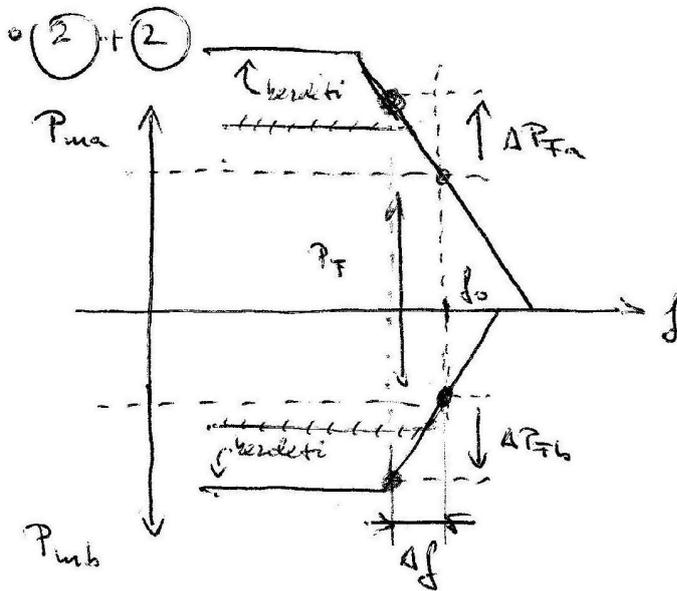
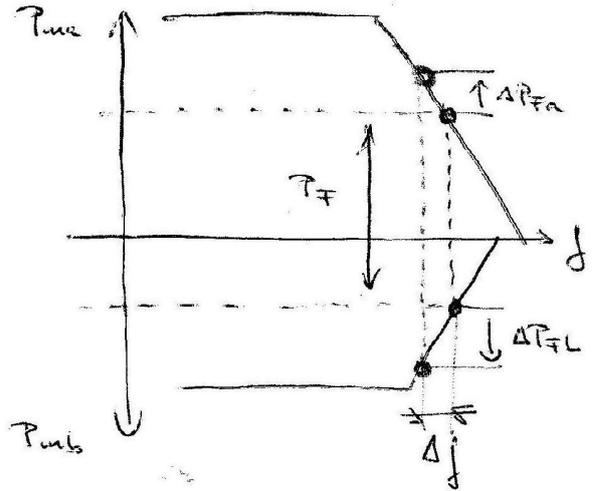
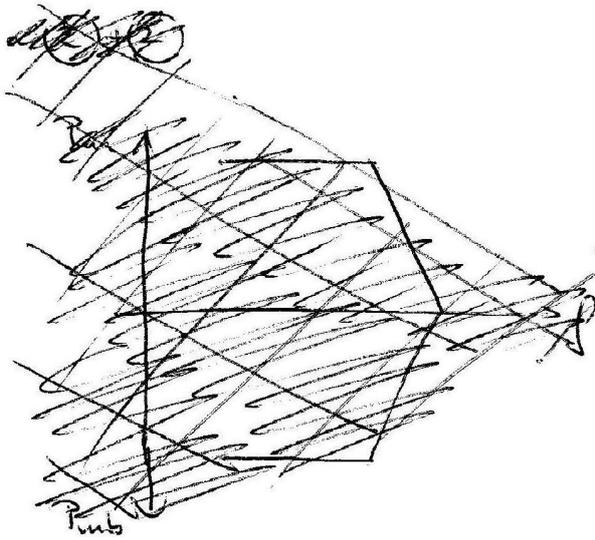
A közös üzem lehetséges $P-f$ típus kombinációi:
 (ahol ① jelenti a fordulatszámmal - szabályozást, ② a $P-f$ statizmust és ③ a P_{max} korlát szabályozást):

• ① + ②

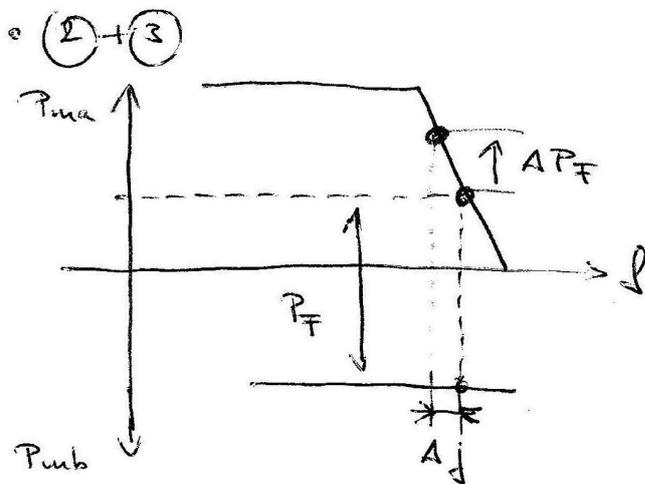


• ① + ③





$$\Delta P_F = \Delta P_{Fa} + \Delta P_{Fb}$$

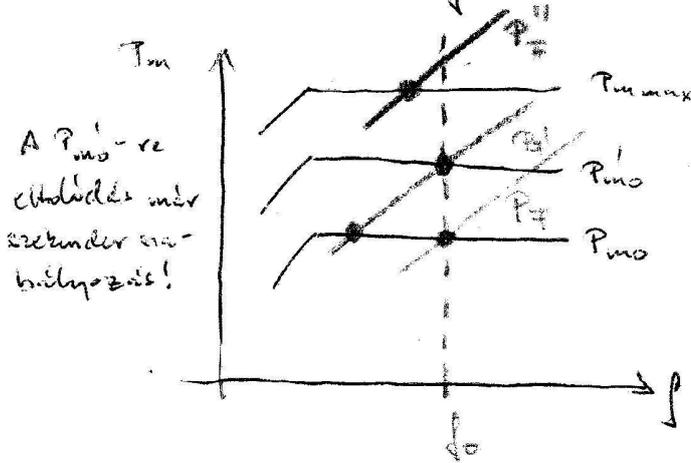


üzemi pont nem foly. megvalósulni ΔP_F hatására az (1)+(1)
és a (2)+(3) esetekben

4.2. PRIMER SZABÁLYOZÁS RENDSZEREK FGTÜTTMŰKÖ- DÉSÉBEN

Állandósult állapotban az az $f_0 = f_{\text{ref}}$ frekvencián a teljesítmény-egyensúlyt, ha az egyenlítőes állandóságban a hálózati vértékeket is folyamatosan kezeljük, a $P_{G0} = P_{T0} = P_{F0}$ összefüggés írja le.

/* Először egyépes szabályozás esetén tekintjük át a primer szabályozást. Legyen a főirányú igény az f_0 frekvencián P_{F0} és tegyük fel, hogy a főirányú igény az f_0 frekvenciánról vonatkozóan megnövekszik a $P'_{F0} = P_{F0} + \Delta P_{F0}$ értékre.



A P_{m0} -re
eltérés már
szekunder sa-
bályozás!

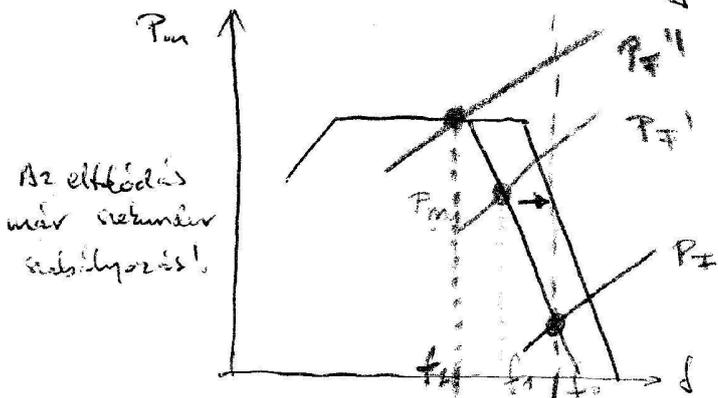
Az ábra a frekvenciaváltozásra érkező turbinaszabályozás esetét mutatja. A megnövekedett főirányú terhelés és a változatlan P_{m0} miatt a frekvencia az $f_1 < f_0$ értékre áll le, és az f_1 értéket csak a főirányú K_F frekvencia-temperő szabja meg.

Ezen konvergenstiszta esetben primer szabályozás nem lesz. A $\Delta f = f_1 - f_0$ frekvenciaváltozás kielégítésére az f_1 frekvencián

$$P'_{F1} = P'_{F0} + K_F \cdot \Delta f \quad \text{és}$$

$$P_{m1} = P_{m0} - K_T \cdot \Delta f$$

írhatsz és az f_1 frekvencián ~~lehető~~ létrejött $P_{m1} = P'_{F1}$ egyensúly, valamint a $P_{m0} = P_{F0}$ alapján a frekvenciaváltozást a $\Delta f = - \frac{P'_{F0} - P_{F0}}{K_T + K_F} = - \frac{\Delta P_{F0}}{K_T + K_F}$ szerint állítottad.



Az eltérés
már szekunder
szabályozás!

Ez a konvergenstiszta státusz-
munkát mutat. A turbina a $P'_{F0} > P_{F0}$ miatt bekövetkező frekvenciacsökkenésre automatikusan többteljesítményt szolgáltat (gőzturbina esetén

a görbény - iram növekedéssel) és a kiadandó f_1 frekvenciát követően a turbina $P(f)$ karakterisztikája határozza meg. Ezt a közvetlen szabályozási mechanizmust primer szabályozásnak, a $P(f)$ karakterisztikát pedig primer szabályozási karakterisztikának nevezzük. $\Delta f \rightarrow \min$.

Primer szabályozás többgépes rendszerben:

Ha a gépeknél a P_g villamos teljesítmény viszonosságával a P_{m0} alapjel tartására irányuló szabályozást végzünk, akkor egy kapcsolmányos kiadással primer szabályozás alkalmazása esetén a primer szabályozás hatása nem érvényesül, illetve egy gyors frekvenciaváltozást követően idővel kiképződik. Alapjel-kimutatásnál a P_{m0} alapjelt egy $-K_g \cdot \Delta f$ taggal kiegyenlíthetjük. Így többgépes rendszerben megoldható az egyes gépeknél a primer szabályozási hozzájárulásának a beállítása, ill. meghatározása.

A többgépes rendszer eredő primer szabályozása a primer szabályozásban résztvevő gépeknél egyedi hozzájárulásai alapján a $\Delta P_M = \sum \Delta P_{mi} = - \sum (K_{gi}) \cdot \Delta f$ szint fejezhető le. Abban az esetben, ha az egyes gépekre vonatkozóan

a $\frac{\Delta P_{mi}}{P_{mxi}}$ [%], illetve a $\frac{K_{gi}}{P_{mxi}}$ [$\frac{\%}{\text{Hz}}$] egyenlő (vagyis a

stabilitás), akkor ut mondanhatjuk, hogy az egyes gépeknél a teljesítmépkapacitás arányában vannak részt a primer szabályozásban, feltéve, hogy ekkor elegendő forrás ill. primer szabályozási tartalék van.

Tehát többgépes rendszerben cél a $\Delta f \rightarrow \min$ eléréséhez szükséges ΔP_M szabályozás megtétele a gépek között a normál üzemben a ΔP_{F0} miatt; ~~P_{mxi}~~ ill. P_{mxi} kiesése miatt.

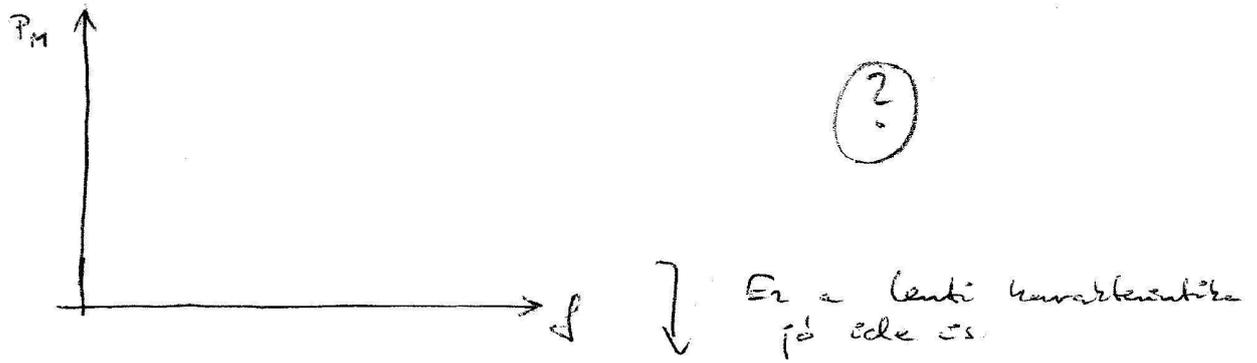
b. Az egyes gépeknél a teljesítmépkapacitás arányában vannak részt a primer szabályozásban, ha azonos a $\frac{\Delta P_{mi}}{P_{mxi}}$ [%]

ill. $\frac{K_{gi}}{P_{mxi}}$ [$\frac{\%}{\text{Hz}}$].

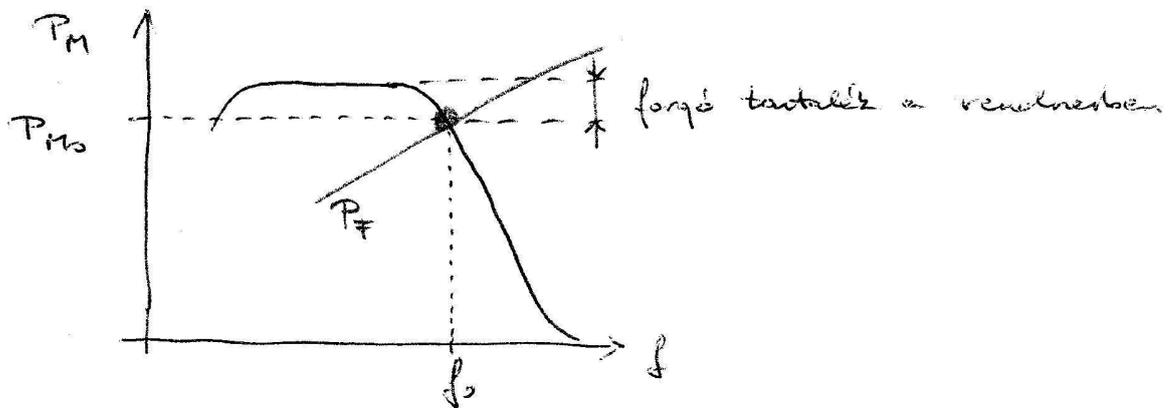
• $K_{gi} = 0$ esetén a gépnek nincs primer szabályozása.

• $P_{g0} = P_{m0}$ alapjeltartásra irányuló szabályozás \rightarrow a primer szabályozás hatása elideg.

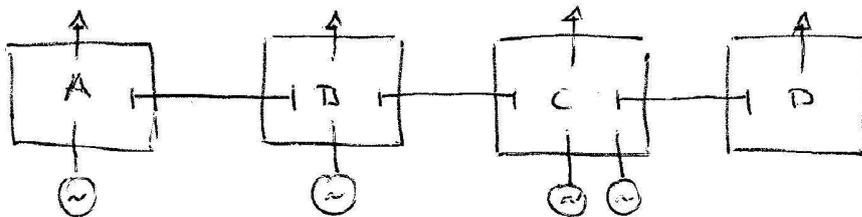
2 gép eredő $P-f$ karakterisztikája:



A rendszer eredő faktív $P-f$ karakterisztikája:

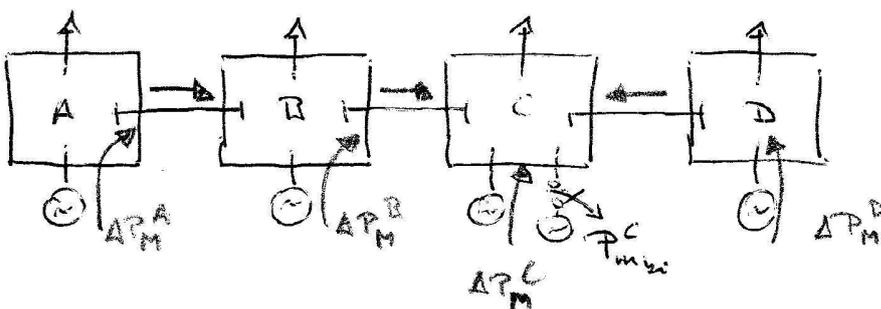


6, Primer szabályozás: kiegészítés egy- π mintájú rendszerben:



Eredeti séma
A, B, C, D rend-
szerek hálójában.

T/f. a C rendszerben az egyik ~~rend~~ generátor kikapcsol-
dik $\Rightarrow \Delta f < 0$:



Ha egy géprész kikapcsol, akkor minden rendszer átváltja

a primer szabályozót, s így a teljesítmény közel helyreáll a frekvencia újant eltér.

$$\sum \Delta P_M < P_{\max}^C, \text{ de nem sokkal.}$$

$$\Delta P_M^A = -K_G^A \cdot \Delta f, \text{ ahol } K_G^A = \sum K_{G_i}^A$$

$$\frac{\Delta P_M^A}{P_{\max}^A} \approx \frac{\Delta P_M^B}{P_{\max}^B} \approx \dots$$

Ez kifejezés a rendszer-
nagyság primer szabályozás-
hoz, becsapódáshoz.

d) A rendszer eredő statikus ΔP - Δf karakterisztikája

Az $f = f_n = 50 \text{ Hz}$ -re vonatkozó P_{M50} fonaloldali tel-
jesítmény és P_{F50} fonyalati teljesítmény egyenlősége ese-
tén $P_{M50} = P_{F50}$ és $\Delta f = 0$.

A rendszer eredő ΔP - Δf karakterisztikájának meghatá-
rozásához a frekvencia-eltérést legyen $\Delta f = f - 50$ értel-
mésű és ekkor a $P_{M50} = P_{F50}$ esetben legyen $\Delta P =$
 $= P_{F50} - P_{M50}$ az 50 Hz -re vonatkozó fonaloldali
(a $\Delta P < 0$ tehát 50 Hz -re vonatkozó fonaloldati-
jelent).

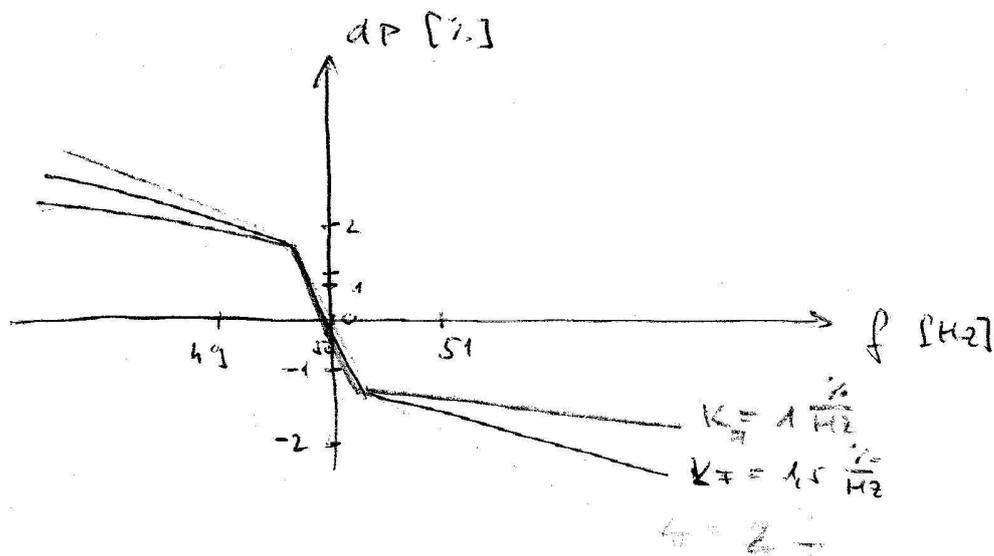
A $P_{F50} + K_f \cdot \Delta f = P_{M50} - K_{pr} \cdot \Delta f$ statikus egyenletből a ΔP - Δf statikus karakterisztikára $\frac{\Delta P}{\Delta f} = K_R$
írható, amelyhez $K_R \left[\frac{\text{MW}}{\text{Hz}} \right]$, vagy a P_{F50} rendszerter-
helésre vonatkozó $\left[\frac{\%}{\text{Hz}} \right]$ értelmezésű és

$$- \Delta f_{\text{pro}} \leq \Delta f \leq \Delta f_{\text{pro}} \text{ esetén } K_R = -(K_{pr} + K_f)$$

$$\Delta f < -\Delta f_{\text{pro}} \text{ és } \Delta f > \Delta f_{\text{pro}} \text{ esetén } K_R = -K_f,$$

ahol Δf_{pro} a primer szabályozás aktíválás Δf
tartományja.

A statikus ΔP - Δf karakterisztikát az UCTE előírás na-
vanti $\Delta f_{\text{pr}} = 0,2 \text{ Hz}$ és $P_{\text{pro}} = 1\%$, tehát $K_{pr} = \frac{1\%}{0,2 \text{ Hz}} = 5 \frac{\%}{\text{Hz}}$
primer szabályozási jellemzők és $K_f = 1; 1,5; 2 \frac{\%}{\text{Hz}}$ fonyalati
frekvenciafüggő paraméterekhez a Lőcséri elvra utalva
a $\Delta P = \pm 8\%$ és $47 \text{ Hz} \leq f \leq 53 \text{ Hz}$ tartományra.



A karakterisztika és mutatja, hogy ΔP fovekedés vagy
 fovaltozoklet csak a 49,8 - 50,2 Hz tartományban vehetok
 primer szabalyozással, a $|\Delta P| > T_{pro}$ uido (vagy tobbet)
 esetekben csak a fogponti frekvenciafigyelos hatalommal vagy az
 adott ΔP -hez tartozo Δf eltoloklet.

5.1. CSERTELJESÍTÉNY - FREKVENCIA SZABÁLYOZÁS A FELELŐSÉGI ELŐ ALAPJÁN

a, b) Azonos frekvencián együtműködő (szinkronizált) rendszerek esetében a szabályozás a frekvencia tartás mellett az egymás közötti teljesítményviszonyok előzetesen rögzített (egy vagy folyamán órák időtartama esetében változó) menetrendjelethez megtartásán is kiterjed. Szabályozásra egyrészt azért van szükség, mert az egyes rendszer-tagok fogyasztói igénye időről időre változik és ezt a termelésnek követnie kell, másrészt valamely termelési igény váratlan kiesése a bekövetkezhet. Belátható, hogy ez az eredményben követés jellegű szabályozás az egyes rendszer-tagok vonatkozásában a cserejelviszonyok és a menetrendjelethez való tökéletes eltérést okozhatja és az egyes rendszerre vonatkozóan (az eredeti primer szabályozás által azonban csak részben tartott) frekvencia-eltérést eredményezhet. Ezt a rendszerintésként tekintendő szabályozást cserejelviszony-frekvencia szabályozásnak nevezzük.

A szabályozás rendszer-össelátással és a klasszikus, ún. felelősségi elő (Damiens - elő) alapján történik. Nem foglalkozunk a nyitott villamosenergia-piac bevezetése által felmerülő szabályozási kérdésekkel.

Szabályozás a felelősségi elő alapján:

A cserejelviszony-frekvencia szabályozás feladatát az együtműködésben résztvevő valamely CA-jelű rendszer-tag számára a teljesítményegyenlet alapján a

$$P_{G0}^A + P_{I0}^A = P_{F0}^A$$

$$f = f_0$$

szabályozási célkitűzés adódik meg, ahol az adott időpontban és a kívánt f_0 frekvencián

P_{G0}^A az A rendszer működéses össitermelése

P_{I0}^A az A rendszer menetrend szerinti import-export csaldója, amelyre itt eredmény a vételezés a pozitív

P_{F0}^A az A rendszer összefogyasztása

Egy adott időpontban az A rendszeren szükséges szabályozás meghatározásához legyen az import-export rendszerből való aktuális eltérés $\Delta P_I^A = P_I^A - P_{I_0}^A$, a minden rendszerben azonos frekvenciaeltérés $\Delta f = f - f_0$, az A rendszernek az f_0 -ra vonatkozó pillanatnyi fogyasztása legyen $P_{T_0}^A$, az éppen beállított termelési célértéke pedig $P_{G_0}^A$. A jelenlegi állapotra az A rendszer teljesítményvesztése, amely függvénye van a turbinek $K_T \Delta f$ primer szabályozásait és a fogyasztás $K_F \Delta f$ másodlagos frekvenciafüggését, a

$$P_{G_0}^A - K_G^A \Delta f + P_{I_0}^A + \Delta P_{I_0}^A = P_{T_0}^A + K_T^A \Delta f$$

egyenlettel fejezhető ki, ahol $K_G^A = \sum K_G^A$:

A felelősségi elő nemű az A rendszerben mérhető eredő $\Delta P_{G_0}^A$ szabályozás (az egyes gépcsoportok alapjel-módosításainak összege), amely a termelésen mérhető és az aktuálisan beállított óratermelési célérték különbsége, a két további egyenlettel különbségképpel meghatározható:

$$P_{G_0}^A - P_{G_0}^h = \Delta P_{G_0}^A = \Delta P_I^A - K^A \Delta f,$$

ahol $K^A = (K_G^A + K_T^A)$ az A rendszer eredő frekvencia-témperója, amely egyúttal a szerteljesítmény-frekvencia szabályozás frekvencia-témperójának az elő értéke.

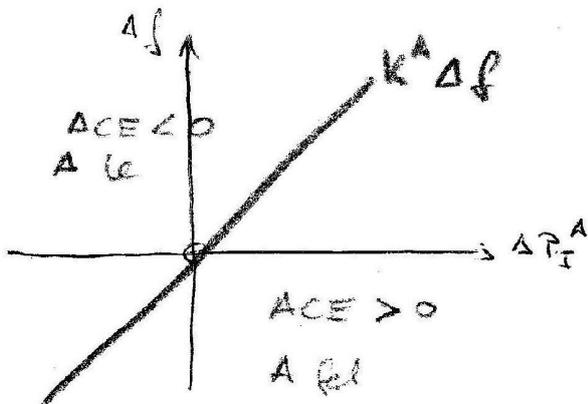
A $\Delta P_I^A - K^A \Delta f$ értéket területi szabályozási hibának (ACE = Area Control Error) nevezzük: $ACE = \Delta P_I^A - K^A \Delta f$.

A szabályozás célja az ACE megszüntetése: azaz az rendszer megállítása (vagyis $P_{G_0}^h = P_{G_0}^A$), akkor az A rendszer nem felelős a Δf és/ vagy a ΔP_I^A eltéréseért. Az általában előjelrel az $ACE > 0$ a felstabilizálás, az $ACE < 0$ a lenstabilizálás szükségességét jelzi. A K^A térségi értékben nem érvényes pontosan, csak becsülhető, de a folyamatos (és arányos-integráló jellegű) szabályozás miatt a ΔP_I^A és a Δf megszüntethető, illetve a ΔP_I^A a rendszer körperekben hosszú ingadozással egy viszonylag szűk sávban tartódik. A felelősségi elő alapján a rendszerbevezetés minden tagján a saját mérésére támaszkodva - a saját ACE értéke nemű udpi a szabályozást és ezáltal az egész rendszerre vonat-

korban a $\Delta f \rightarrow 0$, illetve az $f = f_0 = f_{ind}$ frekvencia-
tartást. Esetenként valamely A rendszer stabilizációs é-
rőgységet csak a T_{I0}^A menetről megtartásáért, a $K^A = 0$
értékkel.

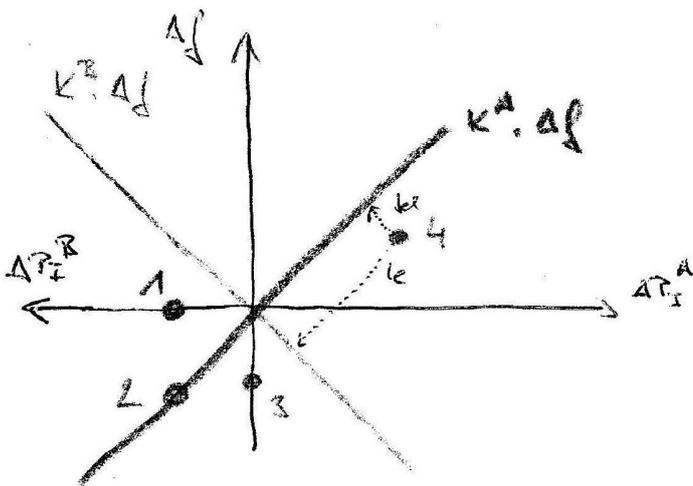
Rendnerkezzi összeköttetéssel nem rendelkező (egyedül járó)
villamosenergia-rendszerek esetében a ΔT_I értékmennyiség
zérus, és így az egyépes esetre kapott korábbi egyenlet
formájától nem az ACE-egyenletétől.

c, A felelősségi elő nemzeti stabilizációs egyenlet grafikus meg-
jelenítése



Az ábra az A jelű rend-
szer-től stabilizációs fele-
lősségi követ mutatja. A
stabilizációs határegyenlet
a $\Delta T_I^A - \Delta f$ koordináta-rend-
szerben a $K^A \Delta f$ egyenes
írja le, mert ennek pontjai-
ban $\Delta T_I^A = K^A \Delta f$, vagyis
 $ACE = 0$, tehát az ott elhelyez-

kedő $(\Delta T_I^A, \Delta f)$ zérus értékpárok esetén az A rendszerben
nem kell stabilizáció. Az origóban Δf és ΔT_I^A értéke zérus.



Az ábra egy részlegi (A és B)
rendszer stabilizációs egyenletre
mutat példaként. A $\Delta T_I^A - \Delta f$
koordináta-rendszerben mátt
az origótól jobbra $\Delta T_I^A > 0$,
balra $\Delta T_I^B > 0$, és mivel ezek
két rendszer működik együtt,
a $\Delta T_I^B = -\Delta T_I^A$ mindig fennáll.

A stabilizációt egyenlet geometriai szemlélettel meg lehet érteni.
Az 1. munkapontban $\Delta f = 0$, de $\Delta T_I^A < 0$ és $\Delta T_I^B > 0$. Az a-
dott üzemállapotban a B rendszer a menetről értékmű köv-
sége miatt az A rendszerbe, a frekvenciát az A rendszer
többlettermelésé tartja a szükséges szinten. Munkapontok azt is,

hozzá az A rendszer időlegesen, tényleg kivált teljesítmény-kiegészítést ad a B rendszernek, névleges frekvencián. A menetrend nemzeti nulltételt helyreállításához - miszt az a szabályozás felelősségi tartományai is mutatják - a B rendszerrel kell felmunkálni és egyenlőséget az A-nak szabályozni, így a frekvencia a névleges értéken marad.

A 2. üzemi pontban az A rendszer nem felelős a $\Delta P_I^A < 0$ és $\Delta f < 0$ eltéréseket. A névlegesnél kisebb frekvenciát és a menetrendi értéknél kisebb nulltételt az a B rendszer elégtelen termelése okozza. A B rendszer önszabályozás a B határvégénél párhuzamosan létező saját-csond jelöli ki a ΔP_I^B tengelyen. Az eltérések megszüntetése történhet úgy is, hogy a frekvenciaeltérés megszüntetéséhez az A rendszer is hozzájárul (ezzel eltér a klasszikus felelősségi elvől és frekvencia-kiegészítést ad a teljes rendszer érdekében), így az új üzemi pont p_i az i . nemzeti lesz, majd ennek B fel- és A szabályozási menetszabályozás a teljesítmény-kiegészítést is megszünteti.

A 3. üzemi pont $\Delta f < 0$ állapotát okozza, hogy az A és B rendszer egyaránt kevesebbet termel, mint a saját fogyasztása az $f_0 = f_{ned}$ frekvencián, tehát mindkét rendszernek felmunkázással növelnie kell a saját termelését.

A 4. üzemi állapotban $\Delta P_I^A > 0$ és $\Delta f > 0$. A határvégénél mutatják, hogy az A rendszernek a $\Delta f > 0$ ellenére is fel kell szabályoznia, mert többet - vételezéssel üzemel (a nemzeti-geszt kevesebbet termel), a B rendszernek le kell szabályoznia, mert többet termel, mint kellene, ezért van többet - nulltételen és ezért is nagyobb a frekvencia a névleges értéknél.

d) Az ACE nemzeti szabályozás néhány követelménye a gyakorlatban

A szabályozás elvi feladata: $ACE \rightarrow 0$

A gyakorlati igények:

• $ACE(t)_{max} < 100 \text{ MW}$

• meghatározott az ACE(t) nullátmenetét gyakorlatilag - legyen fluktuáció

- $\int ACE(t) dt \rightarrow \pm 20 \text{ MWh}$ minden évi változás
 Vagyis az a mennyiség a felhalmozott energia egy adott
 értéket ne haladja meg.

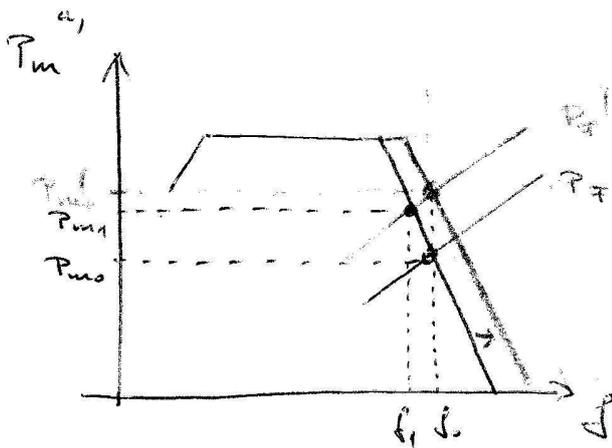
- $\int ACE(t) dt \rightarrow 0$ az dinamikus időpont (kompludgen)

- PI-szabályozású lejjel megvalósítás:

$$\Delta P_{\text{Go}}^A = k \cdot ACE(t) + \frac{1}{T} \int ACE(t) dt$$

- a szabályozás a menetrendszer ΔP_{To}^A és a változó függvény-
 té: ΔP_{To}^A nem is történjen.

6.1. SZEKUNDER SZABÁLYOZÁS TORRÉPES RENDSZERBEN. SZABÁLYOZÁSI TARTALÉKOK



Egyegyes rendszer esetén a primer szabályozás eredményeként láthatjuk, hogy az $f = f_0$ előérésekor már csak $\Delta P_m = P_{T0}' - P_{m1}$ többletre van szükség, ez azonban csak a szabályozási alappiel növelésével, a $P_{m0}' =$

$= P_{T0}'$ alappiel-beállításával érhető el. A szükséges $\Delta P_{m0}' = P_{m0}' - P_{m0} = \Delta P_{T0}'$ alappielváltás a $\Delta P_{T0}'$ értéknél a-merevebbel, a Δf változás és a K tényező alappiel-növelésével: $\Delta P_{m0}' = -(K_g + K_T) \cdot \Delta f$. Többgenerátoros rendszerben már nem ilyen egyszerűen az egy gépére jutó alappiel-változás mértékét megállapítani.

Ez a működésbeli hiba és az alappiel módosító szabályozás a szekunder szabályozás. A P_m növekedésekor a primer szabályozás fokozatosan kioldódik, ezt a kimenetelre jobbra elmozdítással lehet megfigyelni.

b., Erőművek (gépegyedek) szabályozása a központi irányítás nem-
parciálisan

A központi irányítás nemparciálisan az egyes egénybe való
gépegyedek, ill. erőművek az alábbi jellegzetes csoportokba
sorolhatók:

- központiilag nem szabályozott
- menetrend szerint termelő
- távparancsokal vezérelt
- automatikusan, zéró hurokban szabályozott
- egénybe való tárdelék

Töredékes kell erre, hogy a kis költséggel termelő in. alap-
erőművek gyakorlatilag folyamatosan a néteges teljesít-
ményekkel termeljenek, de kis terhelésű időszakokban
ennek akadályozható, hogy a többi gépegyedről egyik sem
üzemelhet tovább az in. terhelés minimum alatt, a
stabil szabályozhatóság okából eredően.

c., A néteges termelés elosztása erőművek (gépegyedek) között:
feladat, az elosztás fő szempontjai

Bármely energiarendszerben (esetintben az A jelű rendszerben)
több erőművi gépegyed van, mint amennyi az éppen aktuá-
lis vagy a várható legnagyobb fogyasztói egény alapján
működés lenne, mert számítani kell egyes gépegyedek megü-
lésodására, termelésből való kivételére vagy karbantar-
tás miatti leállítására. A műsterhelésen kívüli idősa-
kokban pedig lényegesen nagyobb az erőművi teljesítőképessé-
g, mint az egény.

Teljesítmény

A rendszeren belül elvileg sok lehetőség van annak
megszüntetésére, hogy az fő frekvencián éppen működés

$$P_{G0}^A = \sum P_{G0i}^A \quad \text{termelést mint az oszték nettó az erő-}$$

művek, illetve az egyes gépességek között. Az egyes P_{gpi}^A , illetve P_{m0i}^A szabályozása, amely összehelyezésben a P_{F0}^A és a P_{I0}^A időbeni változásait követni, körponti és automatikus irányítást igényel, mert a $P_{g0}^A \rightarrow P_{F0}^A = \sum P_{gpi}^A$ feltétel teljesítéséhez sok szempontot kell figyelembe venni. Ezek közül a legfontosabbak:

- előzetesen rögzített (arvázolt) erőművi termelési nettórendek megtartása
- gépességek (erőművek) terhelhetősége, szabályozhatósága.
- szabályozási tartományok fenntartása, hirtelen felépő hiány gyors pótlására
- törekvés a rendszerintéi költségminimumra
- alkalmazkodás a teljesítményváltás hálózati feltételeihez

d, Szabályozási tartományok

A szabályozáshoz szükséges teljesítménytartományok 3 fő forrása különböztethető meg:

- erőművi tartomány

Az erőművi tartomány szabályozható = tartomány jellegzetessége és az alkalmazásának időszabályozása miatt, továbbá meghatározható egy gépességre és a rendszer egészére vonatkozóan.

A hálózatra nem csatolt (forgó) termelőgépek primer tartomány (ha van) frekvenciaváltozáson automatikusan szabályozódik, az ún. szekunder tartomány termelési céljait megvalósíthatósággal, az egyes gépességre megállapított, üzemvitelen esetenként változó min/max teljesítményszakaszban belül vehető igénybe. A szekunder tartomány vonatkozásában értelmezhető ún. üzemviteli és normál üzem tartomány, amelyek általában előző termelési gradienssel vehetők igénybe.

A kényszerben álló (nem forgó) tengelyrészeg az átvitelés eltérő időigényű lehet. Például egy automatikusan indítható gőzturbina gyakorlatilag azonnali szekunder tartalékot jelent. Egy törvényszerűen, rövidtávú üzeműi temelő üzeműre váltással, gyorsan igénybevehető szekunder tartalékot ad. Más az időigénye egy hideg vagy egy meleg állapotú gőzturbina - generátor egész üzembe vételéhez.

- Impart tartalékfóvá

Szekunder tartalékot értelmesebb az alábbi lehetőségekkel

- részleges részlelt háló rendszerben leköött erőművi tartalék (üzemravin esetekre (a rendszer üzemeltetéseiben igénybevevel)
- részleges alapján megvalósítható teljesítmény - korlátozás

- Fogyasztó korlátozásból adódó tartalék lehetőségek

Az alábbi jellegű lehetőségek tekinthetők tartalékforrásnak, amikor a temelőoldali tartalékok már kimerültek, vagy nem elég gyorsan aktivizálhatók:

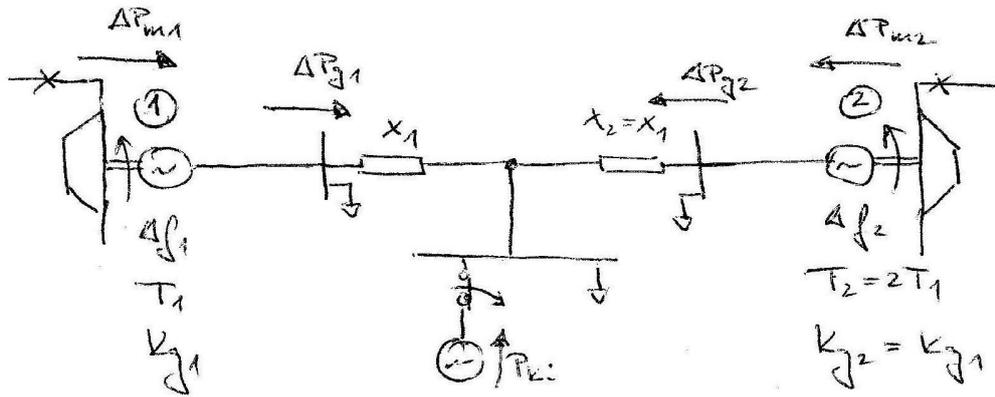
- automatikus frekvenciafüggő korlátozás (fogyasztó lekapcsolása)
- direktíván által rendelkezéssel ill. ~~szá.~~ fogyasztói lekapcsolás
- fényképezőgéppel rendelkezéssel ill. pulz korlátozás (lekapcsolás nélkül)
- egyéb fogyasztói teljesítmény - befolyásolás (pl.: hangfrekvencia szerelés)

Egy rendszer egyesítés tagjainak harmonikus együttműködése és összehangolt szabályozása azt kívánja meg, hogy az egyes tagok - szint rendszerük aktív teljesítményükre vonatkozóan - azonos τ -os időtávú primer szabályozási tartalékot tartsonak és az ACE kényszerítéshez közel azonos értékű $K \left[\frac{\tau}{112} \right]$ szabályozási frekvenciaértéket alkalmazzanak. Nem elegendő, hogy egy rendszer-tag minden (aktuális forgó) gépészete részt vegyen a primer és/vagy a szekunder teljesítmény - frekvencia szabályozásban, csak a rendszer-tag egészére vonatkozóan, a szabályozásba bevont gépészetez részén kell teljesíteni az előírt időtávú értékek megtartását.

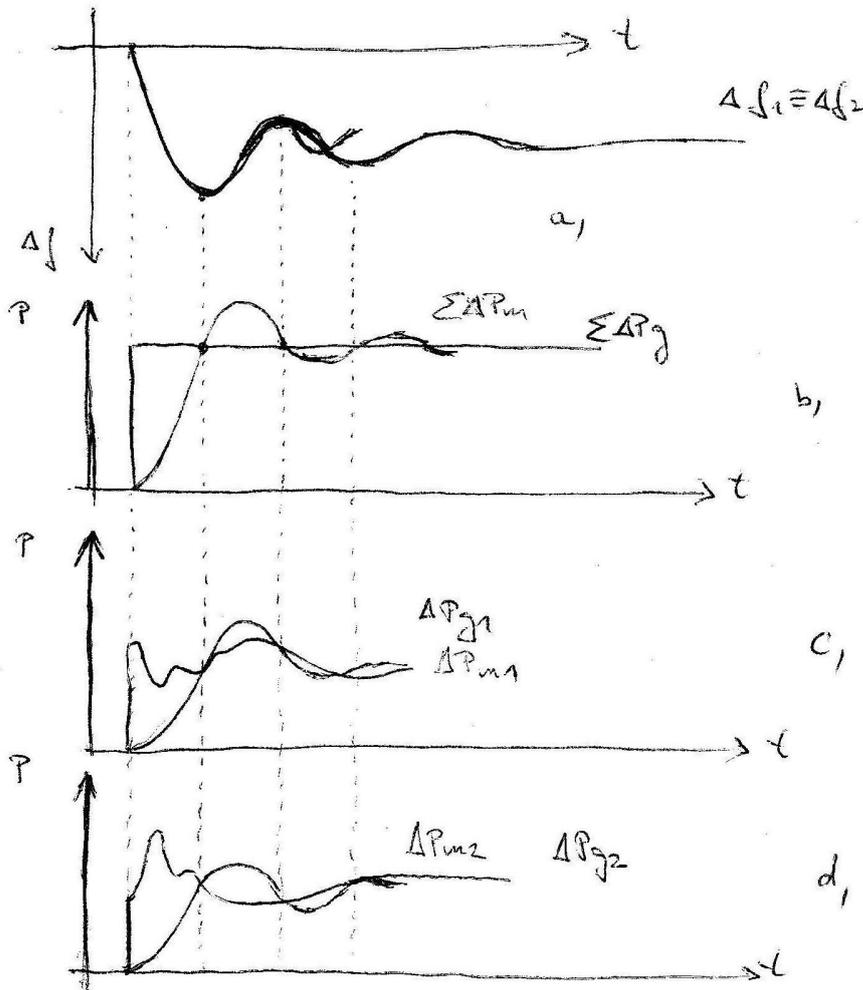
7.1. A FREKVENCIAVÁLTÓZÁS DINAMIKÁJA FORDÁSKIE- SÉS ESETÉN

Első példa: egy temelő gépességek köcsécs miatt behávet-
kező hálótelen (mechanikai) teljesítményhiány pótlásánál
energetikai folyamata és a frekvenciaáttörés menete.

A modell:



Az ①-es és ②-es generátor-turbína egységtől azonos
villamos távolságtban üzemelő forrás P_{ci} teljesítménygel
kiesik a rendszerből. A teljesítés időfüggvénye:



Az a, ábrán a frekvenciaváltás menete látható, rendszer szabályozás nélkül.

A b, ábra a két üzemelő gépcsoport együttes (ΣAP_j villamos és ΣAP_m mechanikai) teljesítményváltásának időfüggvényeit adja meg, látható, hogy a villamos teljesítmény ΣAP_j eredő megváltozása az első pillanattól fogva azonos a kisebb teljesítményvel, mert a nagyobb teljesítmény változatlan és ennek frekvenciafüggését nem vettük figyelembe. A ΣAP_m teljesítményváltás a primer szabályozás aktívizálására van alapul és a frekvencia csökkenés a $\Sigma AP_m = \Sigma AP_j$ pillanatában megáll.

A c, ill. d, ábra az 1-es, ill. 2-es gépcsoport teljesítményváltásait mutatja. A kisebb villamos teljesítmény pótlása az első pillanatban azonnal jelenik meg az egyes gépcsoportok kapcsán, a kisebb helyettől vett villamos töltésforgó fordított arányban nemzeti megosztásban (mert a példánál fele-fele arányban). Ezt követően az üzemelő gépcsoportok kezdetben a kinetikus energia növekedése révén, a forgó tömeg (ill. a T perdületük) arányában, majd a primer szabályozók működésbe lépésével, a turbinák $P(f)$ karakterisztika $K_g \left[\frac{MW}{Hz} \right]$ meredekségét arányában adnak többleteljesítményt. Mivel a példában $T_2 = 2T_1$ és $K_{g1} = K_{g2}$, amelyek hatás az időfüggvényeken jól megfigyelhető: a nagyobb P_j villamos teljesítmények közepértéke a nagyobb tömegű ②-es gépcsoportnál a kezdeti ugrost követően növekszik, a kisebb tömegű ①-es gépnél csökken, majd az azonos K_g értékhez megfelelően, követve a mechanikai teljesítményváltását, azonos értékben állandósul.

Ez a dinamikus folyamat autómata módon zajlik le, és a valószínűleg bekövetkező esetekre előtérben van megfontolandó, hogy a hirtelen bekövetkező együttműködési rendszerek közelítőleg a forgóteljesítmények rétegtényében pótlják (az összerendelés és a primer szabályozási képenél közelítőleg a rendszerrel arányos), és a frekvencia csökkenését közösen minimalizálják. Ez a szimulációs közeget a kooper-

válasz egyik nagy előnye. A frekvencia és a menetrend
 kevésbé üzemeltetésű helyreállítását végül a hirtelen
 hirtelen okozó rendelkezés-tag ciklusok szabályozásának kell
 előznie, ha van erre elegendő fontosságú előnye. Ha
 egy rendelkezés egy adott időszakra nem rendelkezik a
 rendelkezés szabályozás előzéséhez elegendő tartal-
 lékkal, akkor az igényelt villamos energiát a rendelkezés-
 elessé valamely más tagtól kell megvásárolni, vagy egyéb
 esetben a saját forrásból igényt kell lefedni.

A teljesítmény-átviteli folyamatok fő tényezői te-
 leül időrendben:

1., Villamos tárolások aránya

A készlet $P_{gk} = P_{mk}$ teljesítményt az áramlás gyorsít-
 rok pillanatnyi átvétel:

$$\sum \Delta P_{gk}(t_0) = P_{gk}$$

ΔP_{gk} = az adott helyetől vett villamos tárolás-
 gok arányában értendő

2., Fogyó tömeg aránya

$$\Delta P_{gk} = \Delta P_{mk} - \frac{dW_{mk}}{dt} \approx -T_i \frac{d\omega_i}{dt} \times -T_i \frac{d\omega_s}{dt},$$

mert P_{mk} gyakorlatilag még nem változott és

$\frac{d\omega_i}{dt} \approx \frac{d\omega_s}{dt}$, ezért ΔP_{gk} a fogyasztó tömeg arányában is elő.

3., Primer P-f szabályozás $K_g \left[\frac{MW}{Hz} \right]$ aránya

$$\Delta P_{gk} = \Delta P_{mk} - \frac{dW_{mk}}{dt} \approx \Delta P_{mk} - T_i \frac{d\omega_s}{dt}$$

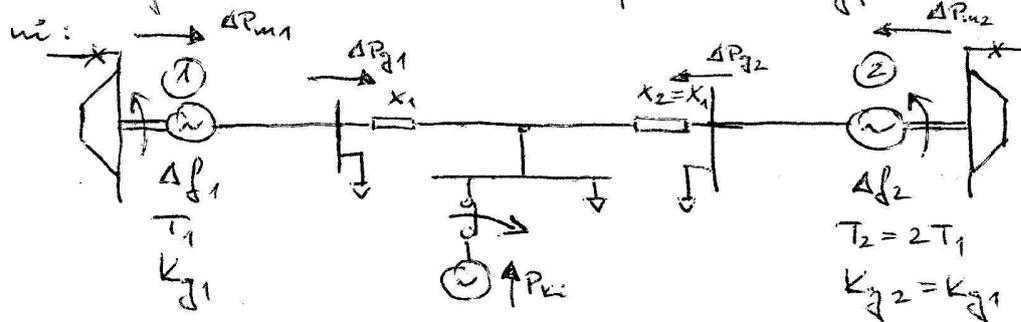
$$\Delta P_{mk}(t) \approx -K_{gk} \cdot \Delta \omega_s(t) \text{ és } \frac{d\omega_s}{dt} \rightarrow 0$$

4., Sekunder P-f szabályozás

Az ACE nemzeti felelősség elő alapján ΔP_{mk}
 alapjelölés és $\Delta P_{gk} \approx \Delta P_{mk}$

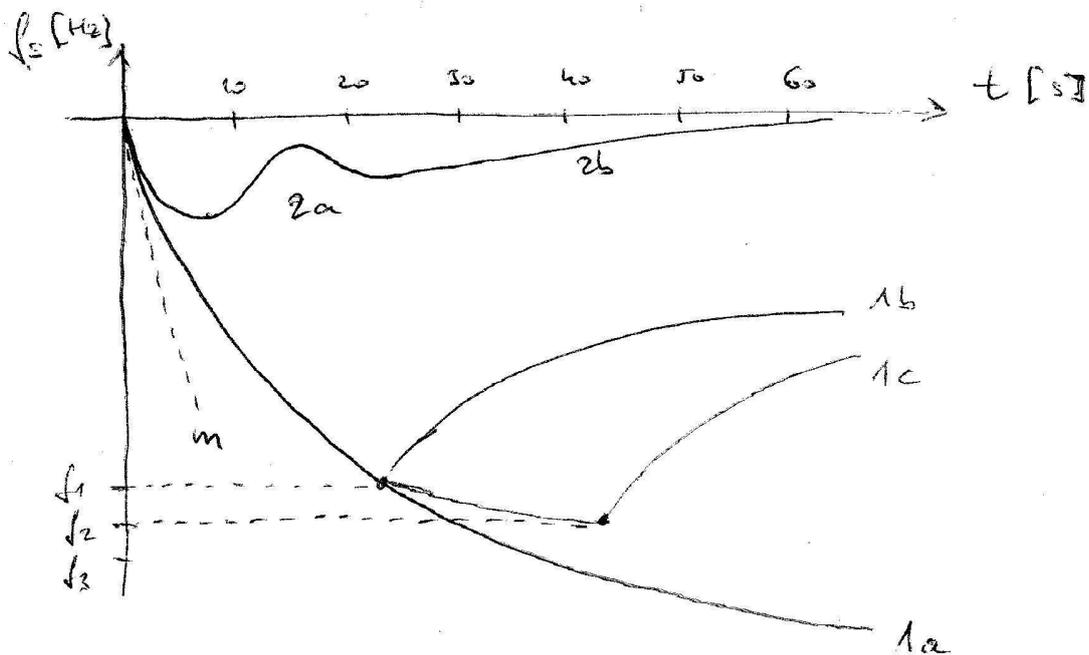
7.2. A FREKVENCIAVÁLTOZÁS ELEMZÉSE FORRÁSKIEGÉS ESETÉN, FREKVENCIAFÜGGŐ FOGTARTÓI KORLÁTOZÁS (FTK)

A P_{ki} forráskiegesést az előző pontunk megfelelően lehet felvenni:



Az f_s rendszerfrekvencia Δf_s megváltozásának elsőfajúveleményét a rendszer dinamikus energetikai egyensúlyát leíró egyenlet alapján adhatjuk meg, amely szerint ha a rendszerget a forrásból valóválasz tekintjük, akkor

$$2\pi \cdot \frac{d(\Delta f_s)}{dt} = \frac{P_M - P_F}{T_s}$$



A kiesés előtti áramállapotban $P_M(0) = P_F(0)$, a kiesés pillanatában a rendszer P_M mechanikai teljesítménye a kiesett P_{ki} teljesítménnyel lesz kisebb, mint a $P_F(0)$ összefogyás, a rendszer T_s összeroldatásának növekedése gyakorlatilag elhanyagolható. A fenti egyenlet alapján látható, hogy a frekvencia-

növekedés kezdeti meredeksét a $\frac{P_{\text{mki}}}{T_s}$ arány és mi-
vel a T_s arányos a $P_M(0)$ -al, végül során a hirtelen
lévő relatív értéket kifejező $\frac{P_{\text{mki}}}{P_M(0)}$ arány sabja meg:

$$\frac{d(\Delta f_s)}{dt} \approx c \cdot \frac{P_{\text{mki}}}{P_M(0)}$$

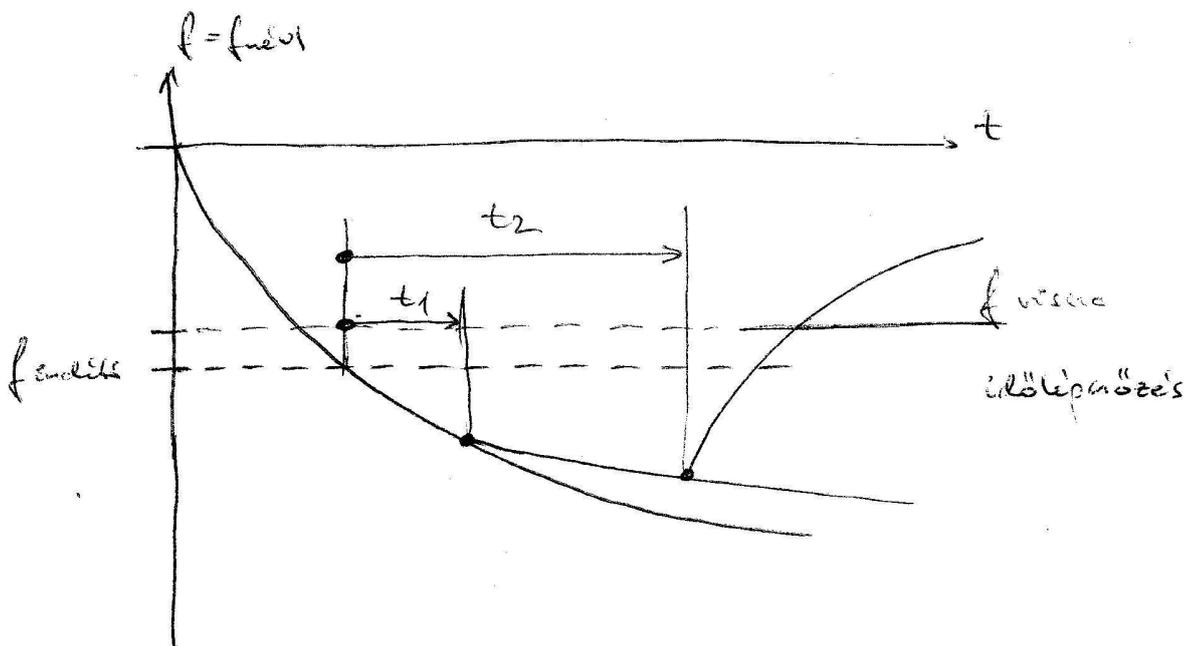
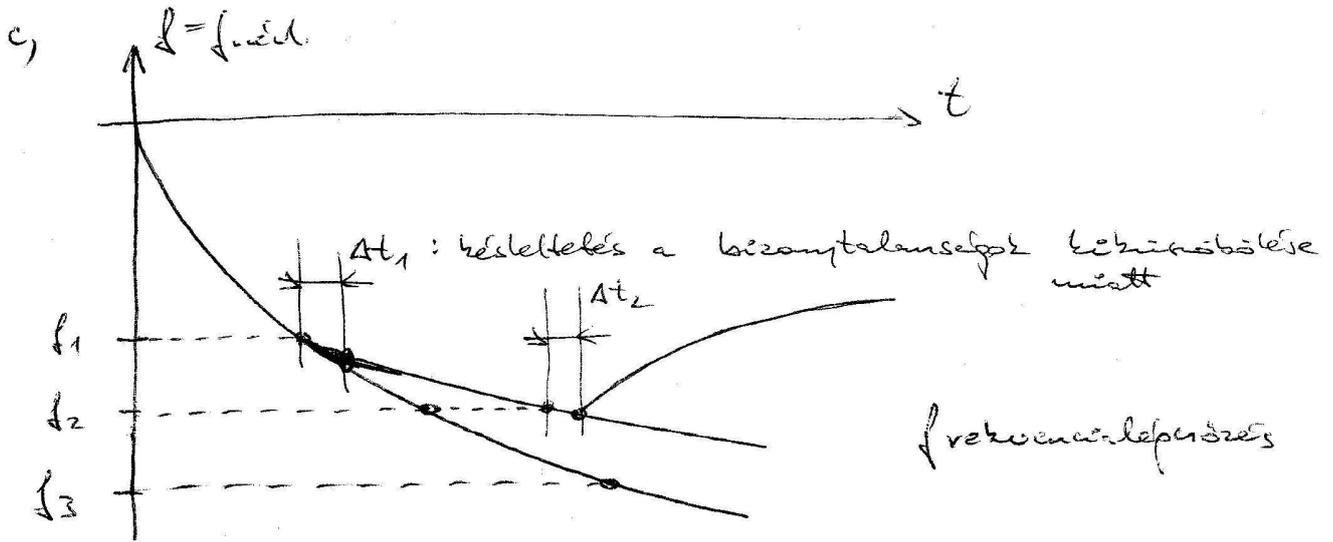
Ezt a kezdeti meredeksét az ábrán az m egyenes adja
meg.

Az 1a függvény a P_M szabályozása nélküli Celvile-
setre vonatkozik: a frekvencia növekedést csak a fogyasztó
teljesítményigény frekvencia függése merésli (kisebbs fre-
kvenciákon közel arányosan kisebb a fogyasztó igény),
ill. végül csak ez állítja meg. A Δf_s változása exponen-
ciális jellegű, mert a folyamat - jelen esetben a frekvencia-
változás - a saját kikapcsolása során fokozatosan fel-
említi a folyamat elindulását kiváltó okot (jelen
esetben a kezdeti teljesítményhiányt).

C,
vez

Az 1b és 1c függvényekben - ugyanazok szabályozás
nélküli esetre - a frekvenciafüggő terheléskorlátozás (FTK)
hatását szemlélteti. A frekvencia lépésről a FTK 1. fo-
kozata az f_1 frekvencia (50 kHz-es rendszerben ez által-
ában 49 kHz) eléréséig kis (kb. 0,35) késleltetés után
lekapcsolja a hálózatról az ún. frekvencia-tens alapján az
1. fokozatba bevont fogyasztói ledarásokat. Ennek hatására
az ábra mutatja 1b esetben a frekvencia növekedése pillé-
rathemen megáll és a frekvencia - ugyanazok exponenciális
jelleggel - növekedésnek indul. Az 1c mutatja frekven-
ciafüggvény azt az esetet mutatja, amikor az 1. FTK
fokozat működése nem tudta megállítani a frekvencia-
esést (kevés a lekapcsolt teljesítmény) és az f_2 érték
(48,8 kHz) eléréséig a 2. FTK fokozat is működésbe
lép, de az f_3 értékben (48,6 kHz) indul a 3. FTK fokozat
beavatkozására már nincs szükség.

Az FTK kialakításának két elvét (frekvencia-
lépésről idő-
lépésről) a következő ábrán lehet jól követni:



- b) A 2 időfüggvény a szabályozás hatását mutatja a frekvencia alakulására. A frekvencia növekedése abban a pillanatban áll meg, amikor a tartálerőket éppen (csak kb. 2-3 s késéssel) mobilizáló primer szabályozással a $T_M = P_T$ állapotot elérjük. Ettől az időponttól a frekvencia növekedni fog, mert a kezdeti erőteljes frekvenciaváltozás miatt a dinamikus túlszabályozás következik be. Az utra nemut a késés pillanatától számítva kb. 20 s a primer szabályozás (2a szakasz) befejeződése és további szabályozás nélkül a frekvencia már nem változik. A szekunder szabályozás lassabb, lengés nélküli dinamikusával (2b szakasz), esetlegesen a késéstől számított 60 s időpontba a frekvenciát gyakorlatilag visszaállítja a névleges értékre.

8.1. A VER MEGDŐTELJESÍTMÉNY - EGTEENSÚLYA

a) A VER globális megdőteltjesítmény - mérlege, kompenzensek

$$\sum Q_E + Q_I = \sum Q_{F120} + Q_{AH}$$

$\sum Q_E$: az alap - és felsőhálózatba beáramlott megdőteltjesítmények összege

Q_I : a nemzeti közeli vezeték megdőteltjesítmény - a rendszerben a határoló csomópontokra vonatkozóan előfordul (a beáramlás a pozitív előjelű)

$\sum Q_{F120}$: a 120 kV állomások eredő megdőteltjesítménye a 120 kV-os oldalon.

Q_{AH} : az alap - és felsőhálózat elemeinek eredő megdőteltjesítmény - mérlege (vezetékek, transzformátorok, DC-berendezések, főtöltések, statikus kompenzátorkok).

b) ~~A~~ A rendszer minden pillanatban érvényes megdőteltjesítmény - egyensúlya:

$$Q_G = Q_F - Q_C + Q_H, \text{ ahol}$$

$$Q_F = \sum Q_{Fj} : \text{ az össz fogyasztás}$$

$$Q_G = \sum Q_{Gj} : \text{ a generátorokból származó megdőteltjesítmény}$$

$$Q_C = \sum Q_{Ck} : \text{ a helyi megdőteltjesítményekben (kondenzátorokban) előállított megdőteltjesítmény}$$

Q_H : az ábrítási - és elosztóhálózat eredő megdőteltjesítmény - mérlege: a transzformátorok, szűrtöltők által elfogyasztott ~~valamint~~ teljesítmény, valamint a tápvezetékek által elfogyasztott $(\omega L I^2)$ ill. megtermelt $(\omega C U^2)$ teljesítmények különbsége.

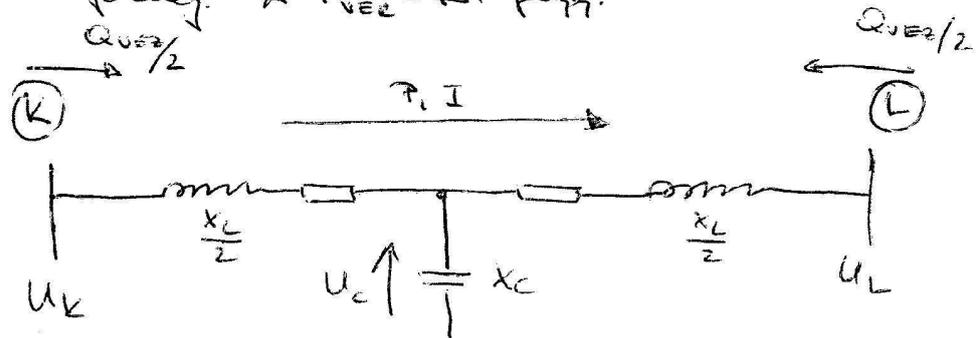
~~##~~

c, Az átirakti és ábrás hálózat Q_{AH} meddőteljesítmény-mérete, komponensek.

$$Q_{AH} = \sum Q_{VEZ} + \sum Q_{TR} + \sum Q_S + \sum Q_{DC}$$

(a táplálásban a fogyasztás a $Q > 0$ pozitív értékesítés).

- Q_{VEZ} : egy vezeték meddőteljesítmény-mérete. Általában $\sum Q_{VEZ} < 0$, vagyis meddőteljesítmény-felesleg. A P_{VEZ} -től függ.



$$Q_L = x_L I^2 \approx x_L \cdot \left(\frac{P}{U}\right)^2$$

$$Q_C = \frac{U^2}{x_C} \approx \frac{U^2}{x_C}$$

$$Q_{VEZ} = Q_L - Q_C \approx x_L \left(\frac{P}{U}\right)^2 - \frac{U^2}{x_C}$$

$$U = \frac{U_K + U_L}{2}$$

$$R \ll x_L$$

$$I \approx \frac{P}{U}$$

A vezeték Q telmelo, ha $Q_{VEZ} < 0$ és Q fogyasztó, ha $Q_{VEZ} > 0$

- Q_{TR} : veszteség transzformátorban

$$Q_{vent} \approx Q_{TR} = x_{TR} \cdot \bar{I}_L^2$$

- Q_S : szűrtfőtű, statikus Q források

$$Q_{ST} = \frac{U^2}{x_{ST}}$$

Ha $Q_S > 0$, akkor szűrtfőtű, ha $Q_S < 0$, akkor kapacitív meddőtelmelo.

• Q_{DC} : egyenáramú betételek

A Hálában Q -forrásokat mindkét oldalán, de a szűrőkondenzátorok miatt Q telenség is lehet.

a) Az eredmények eredő ΣQ_E , ΣQ_{gen} meddőteljesítmény-beábrázolásának alakulása

A saját VÉR Q -mérlege alapján az adott VÉR összes működéses Q -telensége /nyelése meglátározható:

$$\Sigma Q_E = \Sigma Q_{F120} + Q_{AH} - Q_I$$

$\Sigma Q_{F120} > 0$: lényegében P_{UEE} -től és ΣQ_{ckf} -től függ.

$Q_{AH} - Q_I$: ez mértékadó tényező

$\Sigma Q_E > 0$: a VÉR-ben meddőhiány van (teljes meddőhiány), így az eredményekkel eredőben meddőteljesítményt termelni kell. A biztonsággra bevezető hatású.

$\Sigma Q_E < 0$: a VÉR-ben meddőfelesleg van, az eredményekkel eredőben meddőteljesítményt nyelni kell, a biztonsággra ez bevezetőhöz hatású.

Az eredményi generátorok (egy eredményben általában több is van) generátorokkapcsán összesen:

$$\Sigma Q_{gen} = Q_E + \Sigma (Q_{hi} + Q_{btv}), \text{ ahol}$$

Q_E : az eredmény eredő Q beábrázolása a hálózatba

$\Sigma (Q_{hi} + Q_{btv})$: a hátsóáramú elfogyasztás és a blokktranszformátor-venteresség összesen

A $Q_{gen} < 0$ a biztonsággra bevezetőhöz hatású áramátalakító.

9.1. AZ ÁTVITELI HÁLÓZAT ÉS AZ ELOSZTÓ HÁLÓZAT U-Q SZABÁLYOZÁSA

a, A rendszerünk U-Q szabályozási alapelvei

A VÉR rendszerünk meddőteljesítmény-egyensége mindig kiadatul, de a rendszer egyének és egyes területeinek a nem-potenciál alapvetően fontos, hogy

- ez az egyensúly milyen potenciálkülönbségek mellett jön létre
- milyen az üzemállapot zavartűrő képessége, szabályozási tartaléka
- milyen a rendszerösszetett vezeték meddőteljesítmény-elvonása
- mikorra az alap-és fedélzeti hálózat átviteli vesztesége
- az üzemállapot-változások követése milyen mértékű szabályozási munkát igényel.

b, Szabályozási követelmények, célok, feladatok

A területileg és a szabályozási szinten egyaránt összehangolt szabályozásnak egyidejűleg kell kielégítenie az üzembiztonsági, a fenntarthatósági és gazdaságossági követelményeket és a rendszerben végrehajtott megállapodásokat.

A gyakorlati célok:

- hirtérleték-tellepések ellenlése

- $I < I_{max}$
- $min < U < max$
- $|Q_{k-1. exp/em} / < max$

- szabályozási tartalékok megtartása, biztonságos üzem

- $min < Q_{ant.tant}$
- $I < I_{max}$

- szabályozási tevékenység minimalizálása:

- Transzformátor felváltatlakése $< max$

• Q_c ki/be $\leq \max$

- Átviteli veszteség minimalizálása

c) A szabályozás (szűrités) mellett, feszítés érdekében
* a b, bevezetés és annak itt mely dolgok * /

A főpontosoldali feszítésgyártásban meghatározott néve-
pénzen a 120kV/120F állomásai transzformátorok áttele-
vel terhelés alatti villamosításával megvalósított KÖF oldali
feszítégszabályozásról. A 120kV-os főoldali hálózat fe-
nyújtésgyártást a központi üzemirányítás az alapoldali
transzformátorok 120kV-os oldali in. átlósai feszítésgyártást
az előírt sávban belülről szabályozásával alapozza meg. Az
alapoldali feszítésgyártást (220 és 400kV) egy előzetesen
választott, a szükséges értékek közötti sávban belül kell tartani.
→ rendszeroptimalizálás, alapjelléptérvények kidolgozása

Az egyes eredmények Q_E , ill. a generátorok Q_{gen} telje-
sítettségét a központi feszítésgyártástól és a termelt hatékony telje-
sítettségétől függő terhelhetőségi korlátok között kell tartani.
A generátorok központi feszítésgyártástól, ill. az eredményi feszítésgyártástól
a szabályozással (az átlósai célkitűzések megvalósításával)
egyidejűleg kell kidolgozni a hálózati feszítégszabályozást, a
terhelhetőségi és az üzemirányítási (stabilitási) követelménye-
ket. A $Q_{gen} < 0$ működésű üzemű csak a stabilitást meg-
szabott vezérléssel mértékben szabad fenntartani. A terhe-
lés alatti szabályozható áttelelt blokktranszformátor megvalósí-
tását biztosít a gyorsan ellenőrzendő környezeti feltételek kezelésé-
ben és növeli a szabályozási tartományt.

* b₁-hez: A meddőteljesítmény-összeadás értékeit a
helyi feszítésgyártásról, a meddőszármazékolásról és a VEF
eredő meddőszármazékolásról együttes figyelembe vételével kell
szabályozni, ill. ki-be irányítani. Törésedni kell a hálózati
térsegek közötti meddőteljesítmény-áramlás minimalizálására,
mert a közelemből kiáramló meddőteljesítmény-áram-
nyok nagyobb üzemű és üzemirányítási szabályozási tartományt

eredményeinek.

Egy számítógépes bekapcsolású elsődleges kutató a fenntartást vizsgálja, de a meddőtéljesítési-irányítás és átrendezés, az eredmény meddőtéljesítésben és a kutatómunka vértékét ~~széles~~ fogalomában és jelentésében másodlagos kutatás.

A kutatókutatás vértékét meddőtéljesítési-irányítás befolyásolja a nemcsak vértékét meddőtéljesítési-irányítás és így az érintett vértékét U-Q szabályozását. Az egy-egy feladat figyelembevétele helyi szabályozás érdekében ezen vértékét meddőtéljesítési-irányítását lehetőleg ábrákban mutatni kell tartani, eredőben célként az ún. termelés meddőtéljesítési-irányítás körülményei. Az egyes vértékekre, ill. az irányítás összege célként a szabályozással megteremtés határértékének előzetes megállapításában történő rögzítése. A vértékét meddőtéljesítési-irányításra döntően a vállalatok helyi és teljesítési-irányítás függ, ezért ha a többlet, ill. a helyi körrel egyenlő arányú felvétel ill. bekapcsolás a cél, akkor a vértékét végponti potenciálját és körrel arányos értéke kell szabályozni. Kutatómunka vértékét végponti állapotában figyelembe véve bekapcsolás elsődleges utólag célként, ha ezzel a meddőtéljesítési-irányítás-irányítást alakítva növekedést, mert általában ezt kell előfordulhat, hogy a fenntartásértékét határ vértékének növekedés meddőtéljesítési-irányítását növekedést okozhat.

A szabályozást felvétel körülményeinek meghatározásánál, a szabályozási stratégiának és időbeli megvalósításának alkalmazkodása kell a szabályozásba beavatkozó eszközök időegysége vonatkozásban megengedett beavatkozások számát.

(*) : Eredmény mint optimális : KMA (Körponti Meddőtéljesítés Automatikai)
Generator generálási szabályozás: BMA (Körponti Meddőtéljesítés Automatikai)

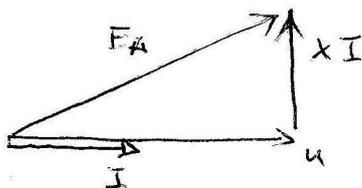
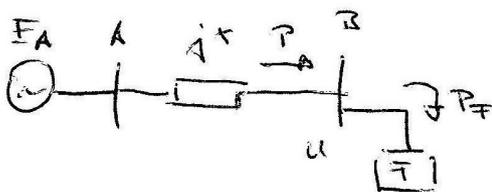
10.1. A TELJESÍTMÉNYÁTVITEL KORLATAI ÁLLANDÓ- SULT ÜZEMBEN

a, A teljesítményátvitel fizikai korlátjai

- Áramterhelhetőség: teljes terhelés esetén az áramvezető elolvad.
- Stabilitás: minimum-terhelés (előtérítés, vclamint minimum-terhelés képezés CP, Q átvitel a zavarások ellenére)
 - feszültségstabilitás: az instabilitás ugyanis feszültség-összeomláshoz vezet.
 - áramstabilitás: stabilitás esetén a minimum-terhelés képezés megvalósul.
- Nemzetközi előírások
 - teljes átviteli képezés (ez a fizikai határ)
 - rendelkezésre álló átviteli képezés: műszaki biztonságos terhelés; lehetőleg nullterhelés

A stabilitási határokat először átviteli modellek alapján lehet meghatározni.

b, Átvitel X rendszerben. U áramforrás nélküli végpont



Ebből Pitagorasz-tételből:

$$F_A^2 = U^2 + (XI)^2 \quad \text{és} \quad I = \frac{P}{U}$$

behelyettesítve:

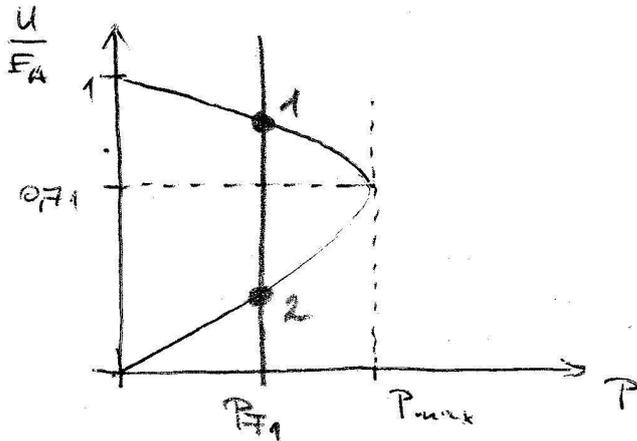
$$F_A^2 = U^2 + X^2 \cdot \frac{P^2}{U^2}$$

Átviteli és bevezetve $V = U^2$ -et:

$$V^2 - E_A^2 V + (XP)^2 = 0$$

$$V_{1,2} = \frac{E_A^2 \pm \sqrt{E_A^4 - 4(XP)^2}}{2} = U^2$$

Az U-P görbe abból felrajzolható:



Két munkapont alakul ki:
1 és 2.

A munkapont stabilitásának feltétele $\frac{dU}{dP} < 0$ legyen.

Ezzel megfelelően az 1-es munkapont stabil, de a 2-es instabil.

Az ábrán látható maximális teljesítmény: akkor alakul ki, ha a fenti képletben a diszkrimináns 0, vagyis

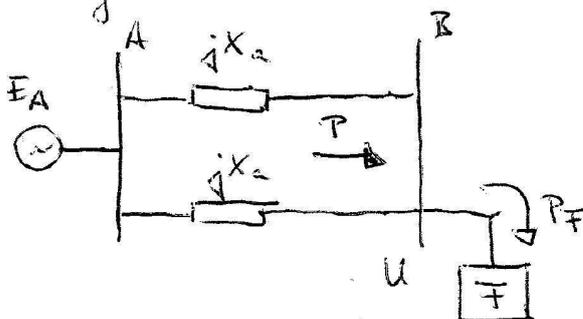
$$P_{max} = \frac{E_A^2}{2X}$$

$$U_{min} = U_{P_{max}} = \frac{E_A}{\sqrt{2}}$$

$$I_{max} = I_{P_{max}} = \frac{P_{max}}{U_{min}} = \frac{E_A}{\sqrt{2}X}$$

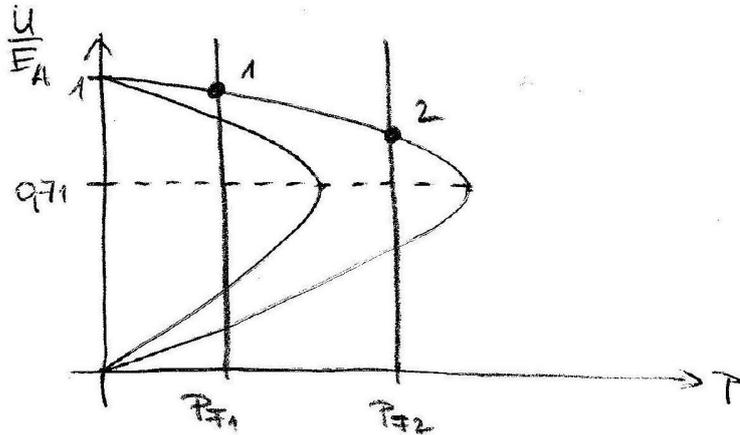
A B pont működését vizsgáljuk:

Fenültegy - oszcillálás:



A fenültegy stabilitását kétféle módon vizsgálhatjuk.

A felrajzolható diagram:



Terheléses átvitel: $x = \frac{x_a}{L} \Rightarrow P_{Tmax} = \frac{E_A^2}{x_a}$

Ha az egyik vezeték kikapcsol:

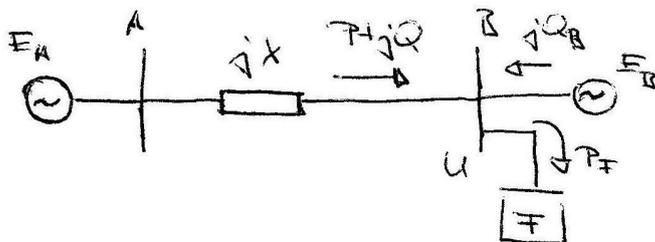
$$x = x_a \rightarrow P_{Tmax} = \frac{P_{Tmax}}{2}$$

Az áramterhelhetőség megengedi a $P_T > P_{Tmax}$ átvitelt is. Legyen az átvitel $P = P_{T2}$, vagyis a 2. munkapontban vagyunk. Ekkor ha az egyik vezeték kikapcsolódik, akkor $T > P_{Tmax}$, nincs loss viszem, nem len munkapont. Ez feszültségösszeomláshoz fog vezetni.

A biztonság érdekében így $T = P_{T2} < P_{Tmax}$ legyen, vagyis a két vezetéknek csak annyit vegyünk át, amennyit egy az elbírás az 1-es munkapontban kapunk.

c, Átvitel X reaktancián keresztül U végpontra

A modell:

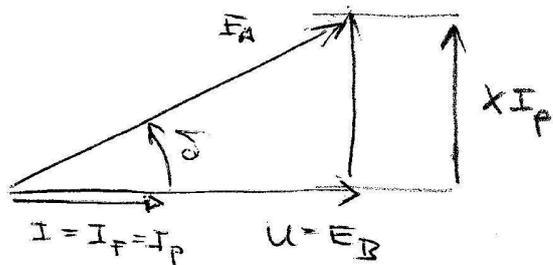


$$P = P_T$$

$$Q + Q_B = 0$$

A modell az A és B pontok között így le is átvitelt, loss X induktív reaktancián. A feszültségösszeomlást a B oldalon végezzük el.

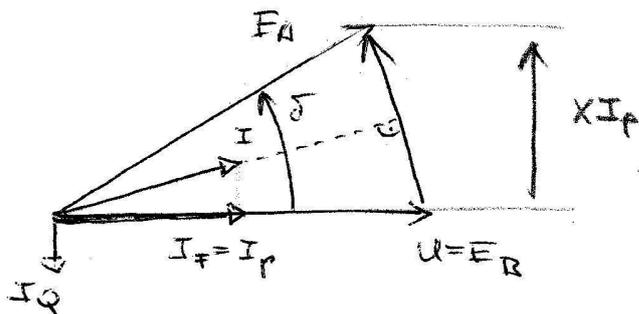
A kiindulás: feltételeket a Lövellerő diagram mellett:



$$Q_B = 0 \quad (Q = 0),$$

$$E_B \triangleq E_A$$

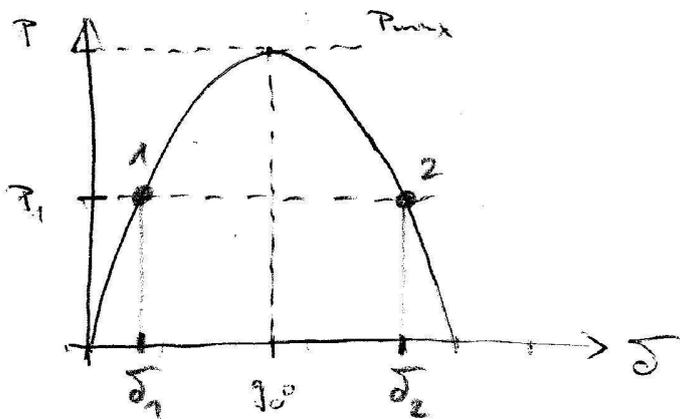
A szabályozással $U = E_B = E_A$ tartású üzemi üzemi megvalósítható. Ekkor a diagram a következőképpen alakul:



$E_A = E_B + j X I$, a B ponton $I_F = I + I_B$ és $P = P_T = U \cdot I_F$. Az I_B áram 90° -kal később van U (vagy E_B) feszültséghez képest, az E_B feszültségű forrásból $Q_B = E_B \cdot I_B$ a B pontban.

Az $U = E_A$ -ra szabályozás Q_B -t egyenlő a B ponton, illetve az $U = E_A$ csak akkor érhető el, ha van elegendő Q_B forrásunk.

A felrajzolt $P(\delta)$ diagram:



$I_p = I_F$, a B ponton elérhető teljesítményre $P = P_T = E_B \cdot I_p$. Az E_A és E_B között δ növekedése van, így $X \cdot I_p = E_A \cdot \sin \delta$.

$$\text{Végül } T = \frac{F_A \cdot F_B}{X} \cdot \sin \delta.$$

Két minimumot lehet látni: 1 és 2. Ha az 1. minimumra zavar érkezik, akkor $\delta > \delta_1 \rightarrow P > P_1 \rightarrow P > P_{in}^A \rightarrow F_A$ fogalet felezi $\rightarrow \delta$ nőben \rightarrow az 1. minimumban stabilizálódik.

A 2. minimumot ha zavar éri, akkor $\delta > \delta_2 \rightarrow P < P_{in}^A \rightarrow$ az A oldali fogak gyorsul $\rightarrow \delta$ tovább nő $\rightarrow F_A$ és F_B a húzóerőkkel kiesnek.

A stabilitás feltétele tehát: $\frac{dT}{d\delta} > 0.$

Az átlagos maximális teljesítmény:

$$T_{max} = \frac{F_A \cdot F_B}{X}, \text{ ami a } \delta = \delta_{max} = 90^\circ \text{-hoz tartozik.}$$

A húzóerő teljesítmény:

$$T_{\alpha} = \frac{dT}{d\delta} = T_{max} \cdot \cos \delta$$

Az elői P átlagos határ δ és U stabilitásához:

$$P_{\delta_{max}} = \frac{E^2}{X}$$

$$P_{U_{max}} = \frac{E^2}{2X}$$

$$P_{\delta_{max}} = 2 P_{U_{max}}$$

11.1. SZINKRÓGENERÁTOR ÜRESJÁRÁSI ÉS RÖVIDZÁRÁSI JELLEGGÉRBE, AZ X_{ad} , X_d , X_q REAKTANCIA

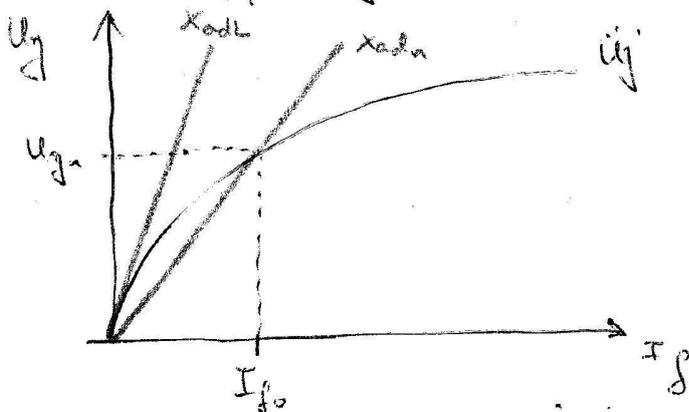
a) Üresjárás (*)

A szinkrongenerátor üresjárású állapotban a gép a névleges fordulatszámmal forog, az állórésztervezésben nem folyik áram ($I_f = 0$), az U_g feszültség az állórészben indukált U_e egyrészfeszültséggel egyenlő nagy ($U_g = U_e$), amelynek nagysága a forgórész egyenáramú I_f gerjesztésével állítható be (a mágneses remanenciát elhanyagoljuk):

$$U_g = \omega \Psi_g = \omega L_{ad} \cdot A \cdot I_f = X_{ad} \cdot I_{fd}$$

A képletben U_g az állórészben indukált feszültség effektív értéke, Ψ_g az állórészrel kapcsolódó fluxus ($I_f = 0$ esetén megegyezik a Ψ_f egyrészfeszültséggel), $X_{ad} = \omega \cdot L_{ad}$ az állórész és a forgórész közötti mágneses ártólást reprezentáló ún. d-tengelyi fővezérvadancia, A az állórész és a forgórész közötti áram-átviteli tényező, $I_{fd} = A \cdot I_f$ a forgórészáram állórészre átvitt értéke.

Az I_f áramot változtatva mérvével meghatározható a szinkron gép $U_g(I_f)$ üresjárású jelleggörbéje, ami a forgórész és az állórész vastest mágneses telítődése miatt nemlineáris jellegű, tehát



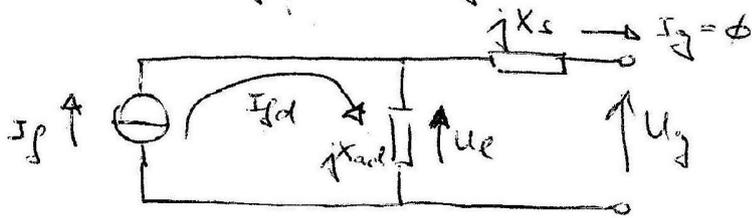
az X_{ad} fővezérvadancia az I_f függvényében folyamatosan változik (növekvő I_f -vel X_{ad} csökken). Teljesítően

értéke X_{adn} , amely a mágneses görbe kezdeti (lineáris) szakasza jellemző. A névleges U_{gn} feszültséghez az I_{f0} üresjárású mértékű gerjesztés tartozik, a mágneses görbe ezen pontjától az X_{adn} reaktanciát rendeljük, amelyet a to-

valószínűleg a fűzőreaktancia telített értékeket tekintünk. A jelleggörbe kezdeti lineáris U_L szakasza, ill. az U_{gn} névleges feszültségre telítéskor:

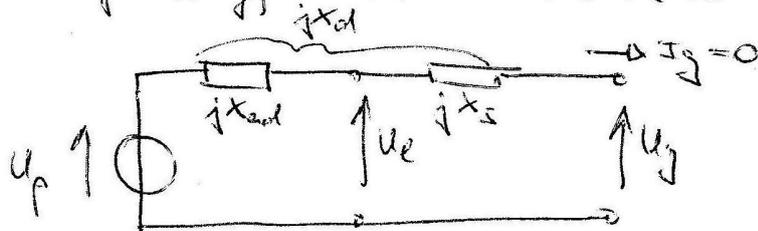
$$U_L = X_{adL} \cdot A \cdot I_f \quad \text{ill.} \quad U_{gn} = X_{adn} \cdot A \cdot I_{f0}$$

A hűtőgép áramgenerátoros ábrázolási modellje:



Az előzőt a generátor U_g kapocsfeszültsége és az U_e légrésfeszültség közötti X_s (ábrázolásban árammentes) rövidre-reaktanciával jellemezzük, az előzőti tekercselés R_a átmenetellenállása elhanyagolható.

A feszültséggenerátoros modell (az áramgenerátoros modellt ge-



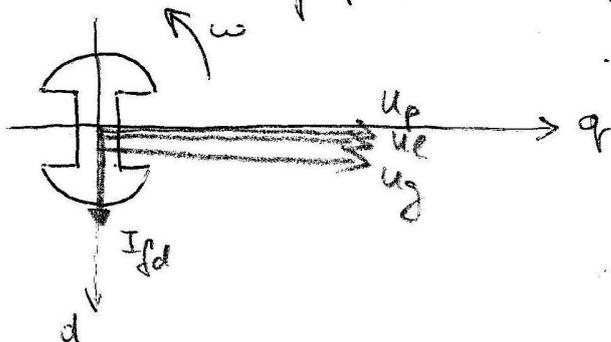
nerátorokapcsolás néző-
ve egyenértékű ábrá-
zálással határozható
meg.

A modell forrásfeszültsége = fűzőáram nem mérhető

$U_p = X_{ad} \cdot I_{fd}$ in. pólusfeszültség, amely a forgórész genpenti-
sének hatását veszi figyelembe az előzőtíre vonatkozó gép-
modellben és a hűtőgép állandósult állapotára jellem-
ző X_{ad} áramon-reaktancia mögötti feszültséget értelme-
lhető. A d irányú áramon-reaktanciát $X_{ad} = X_{adL} + X_s$
ként definiáljuk, telítetlen ill. telített értéke:

$$X_{adL} = X_{adL} + X_s \quad \text{ill.} \quad X_{adn} = X_{adn} + X_s$$

Az ábrázolásban érdekes, a forgórészrel együtt forgó koordiná-
tarendszerben megvizsgált $U-I$ fázorábrák:



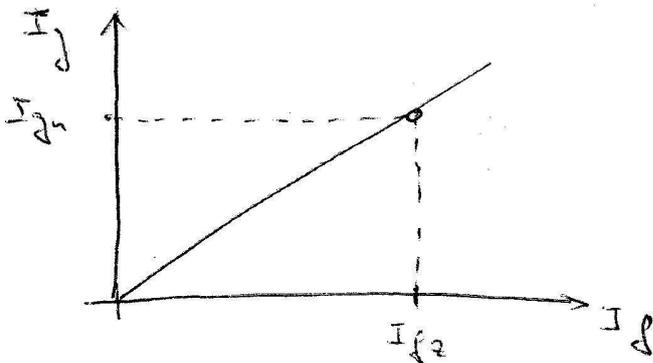
Az áreszkény jelleggörbére kapcsán állhatunk, hogy a működéses telítődés miatt az X_{ad} és így az $X_d = X_{ad} + X_s$ reaktancia nem állandó. Az X_{ad} változása a d irányú árcső miatt van, vagyis $I_{ad} = I_{fd} - I_d$ függvényében, vagy másrészt az endubélű U_f képfeszültség q irányú komponense (coeficiens) függvényében, az áreszkény jelleggörbére alapponthoz állhatunk.

Az X_s állórén motor reaktancia függ az I_d állórénáram nagyságától, de változása nem jelentős, ezért jó közelítéssel állandónak vehetjük.

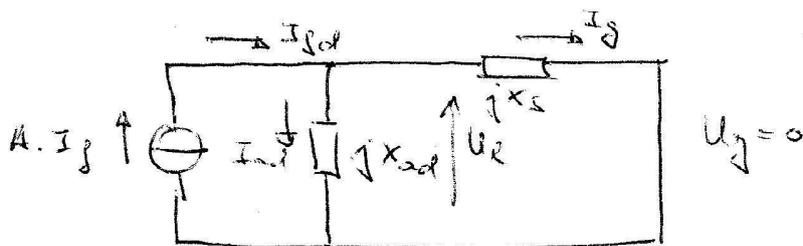
~~Az áreszkény jelleggörbére~~

b, Rövidzárás

A sinkrongenerátor állandósult kétfázisú kapcsolás-rövidzárás állapotában a gép a névleges fordulatszámmal forog, a képfeszültség zérus ($U_f = 0$), az állórénáramokban I_d rövidzárás áram folyik, amelyet nagysága a fordulórén I_f gerjesztőárama szerint változik. Az I_f áramot változtatva mérve megkaphatjuk a sinkrongép I_d (I_f) rövidzárás jelleggörbéje:

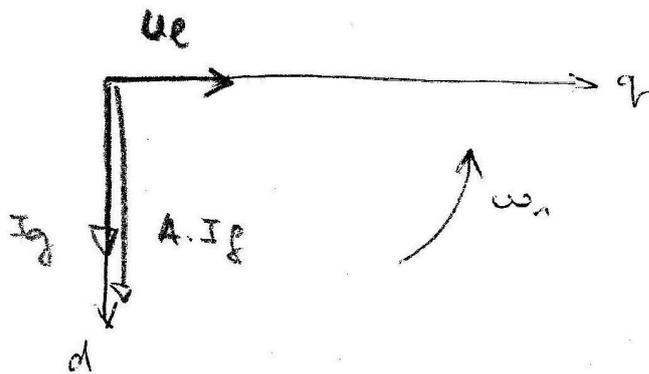


A rövidzárás állapotát megfelelő áramkörrel modellezhetjük:



Az állórénáram a sinkrongenerátoros modell alapján áramosztással fejezhető ki: $I_d = A \cdot I_f \cdot \frac{X_{ad}}{X_{ad} + X_s}$

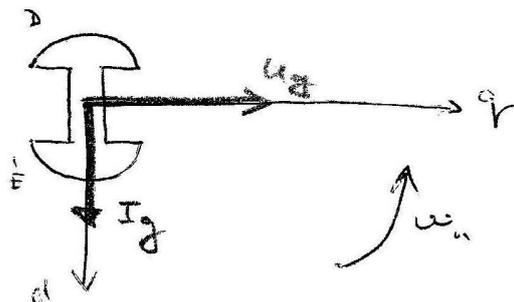
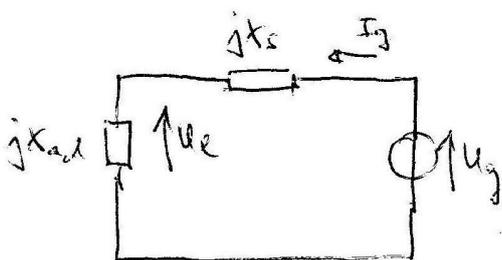
A rövidzárti fázorvonal:



A szinkrongenerátorra jellemző villamos paraméter az ún. rövidzárti viszony, amelyet az árszféri és rövidzárti mérés alapján az $R_V = \frac{I_{f0}}{I_{f2}}$ képlet definiáljuk. Az R_V megközelítőleg kétszeres kétszeres forgórészes generátorok esetében 0,5 körüli érték. Ez azt jelenti, hogy az I_{f0} árammal néleges feszültségre gerjesztett, majd háromfázisú rövidzárú $R_V = 0,5$ paraméterű generátor állapotát kapcsolási áram a néleges árammal csak a fele értékére, ha a gerjesztést rövidzártkor továbbra is I_{f0} állandó értékben tartjuk.

c) Az X_q keresztirányú szinkron reaktancia + a) -hoz X_d reaktancia! (*)

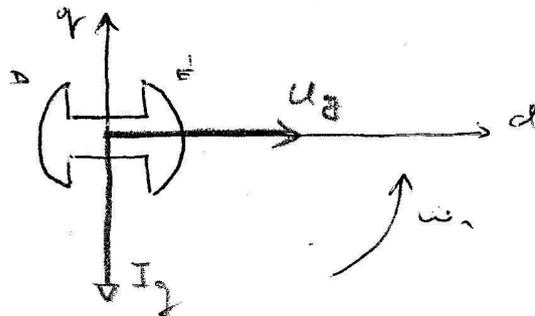
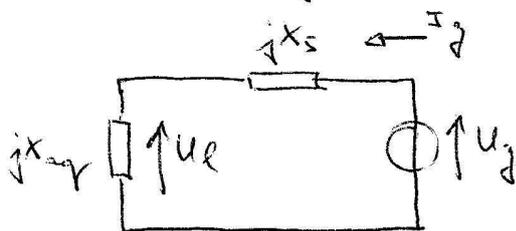
Az X_d szinkron reaktanciát az állórész felől is megmérhetjük, ha a forgórésztől nyitjuk ($I_f = 0$), a forgórészt néleges fordulatszámmal forgatjuk, az állórészt néleges frekvencián U_g szimmetrikus háromfázisú feszültségre kapcsoljuk és a forgórész északi-déli pólusait (d- és q-irány) az I_f állórész-áram forgó méréseket irányába hozzuk:



Amikor az ellátást ellámpagolva a felvett pozitív áramkörben az I_q 90° -ot képez U_q -hez képest. Az U_q a q irányba, az I_q a d irányba mutat, vagyis az állórévire az $U_q = U_d$ és $I_d = I_q$ teljesül. Az áramköri modell alapján: $X_d = X_{ad} + X_s = \frac{U_d}{I_d} = \frac{U_q}{I_q}$

Az $I_{ff} = \frac{I}{A}$ névát képeve az I_q -vel egyenértékű feltételt fogadjunk, az $I_{ff} = I_{fs}$ értéket az X_{ad} értéket kell szorzni.

Ha a forgórészt az előbbi helyzethez képest valahogyan 90° -kal előre forgatott helyzetbe hozzuk,



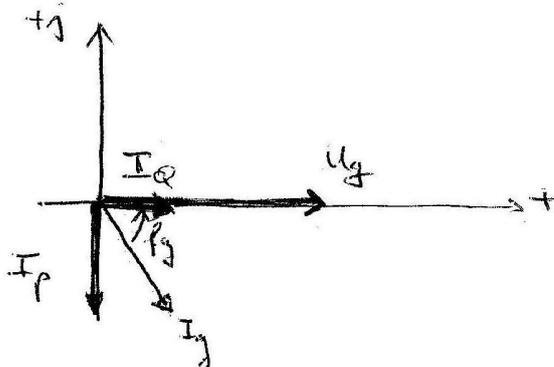
akkor az I_q által létrehozott forgórészt a forgórészt kerentirányban (q irány) velle át. A felvett pozitív áramkörben az U_q most d irányba, az I_q a q -vel ellentétes irányba mutat, vagyis az állórévire az $U_d = U_q$ és $I_q = -I_d$ teljesül. A d és q irányban azonos X_s reaktanciával az áramköri modell alapján:

$$X_{aq} = X_{aq} + X_s = \frac{U_q}{I_q} = -\frac{U_d}{I_d}$$

amelyben X_{aq} a kerentirányi főrév és X_{aq} a kerentirányi áramkör reaktanciája.

12.1. GENERÁTOR KAPACITELTESÍTİMÉNTE, TERHE- LÉSI SZÉG, AZ U_p - X_d MODELL

a, $P_g + jQ_g$ kapacitelteljesítmény az $U_g - I_g = I_g$ fázorvonalra a-
lappán



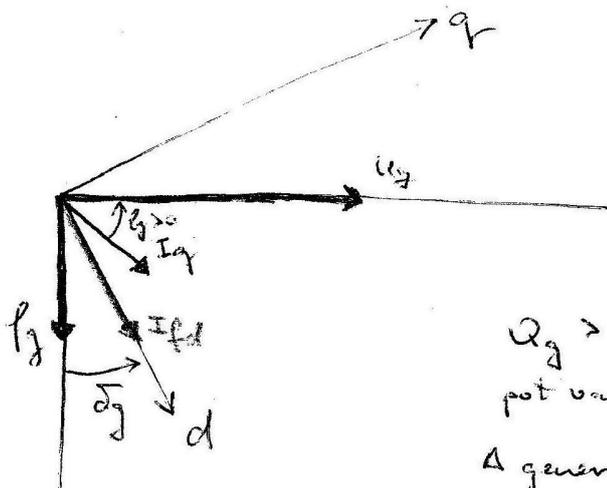
$\phi_g > 0$, az áram
késleltetés - fémültség
képest.

$$S_g = P_g + jQ_g = U_g \cdot I_g^*$$

$$P_g = U_g \cdot I_g \cdot \cos \phi_g$$

$$Q_g = U_g \cdot I_g \cdot \sin \phi_g$$

b, Teljesítmény üzem, alulterheltség azem ártalmatlan
- teljesítmény állapot:

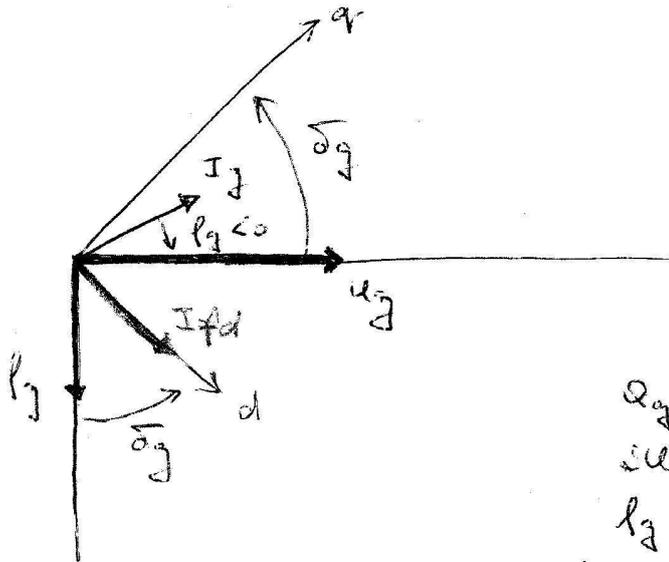


$Q_g > 0$ esetén teljesítmény állapot van, az áram késleltetés, $\phi_g > 0$.

A generátor kapacitelteljesítményét ad le (termék)

Az áram $P_g > 0$, $Q_g > 0$.

- alulgerjantett állapot:



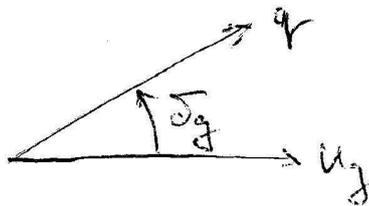
$Q_g < 0$ esetén alulgerjantett állapot van, az áram vezet, $I_g < 0$.

A generátor kapcsain elvezető meddőteljesítményt vesz fel (nyel, fogyaszt).

Az áram $P_g > 0, Q_g < 0$

c) A terhelési nagy értékes, mérsékelés elve

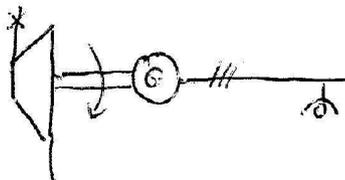
A δ_g terhelési nyomat a q (U_p irányú és az U_g felől irányba között értelmezett:



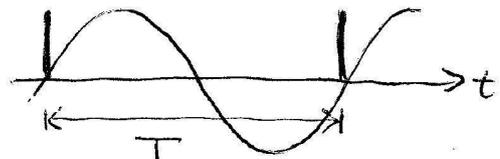
$$\text{Ha } P_g = 0 \rightarrow \delta_g = 0$$

$$\text{Ha } P_g > 0 \rightarrow \delta_g > 0$$

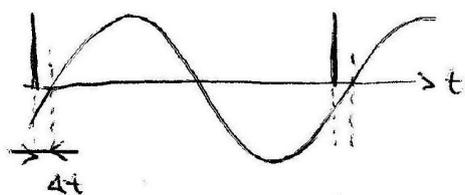
A terhelési nyomat nullabüntet - mérsékeléssel lehet meghatározni:



Mérjük a tengelyimpulzust:



Fékezéskor az impulzust hirtelen megszüntetjük, az felületet meg a terhelési nyomat:



$$\sigma_g = 2\pi \cdot \frac{\Delta t}{T}$$

d, Az $U_p - X_d$ modell számítására, áramköri képe, $U_p - U_g - I_g$ fázorálbra

A helyettesítőlépét néhány egyszerűítéssel lehet végezni még:

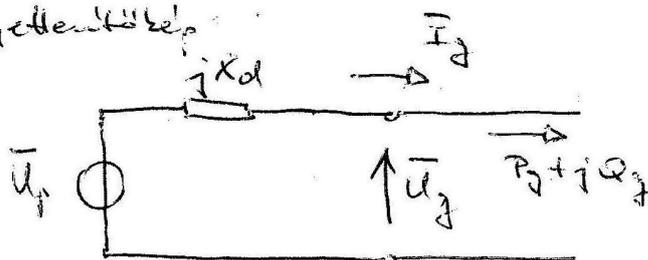
- a magneses telítődéshez közelítő lefelérés

$$X_{ad} = X_{adn}$$

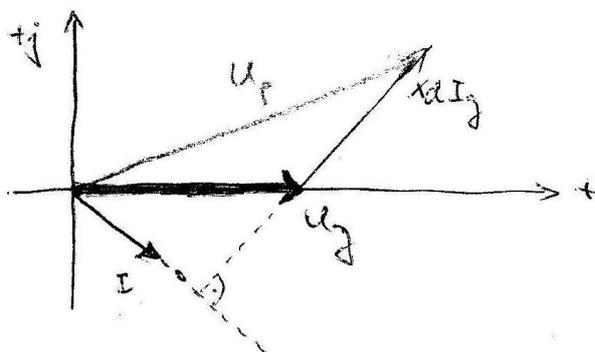
- elhanyagoljuk az $X_{aq} < X_{ad}$ feltételt (a kitérítéssel): $X_{ad} = X_{aq}$

- a modellben így $X_d = X_{aq} = X_{dn}$

A helyettesítőlép:



és a fázorálbra:



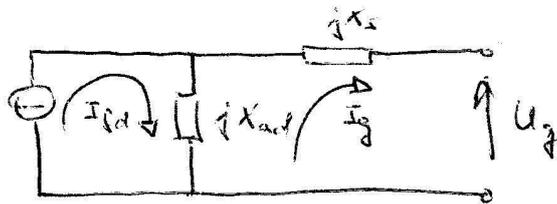
$$U_g = U_p - jX_d I_g, \quad X_d = X_{dn} \text{ és } U_p = X_{adn} \cdot A \cdot I_g$$

13.1. SZINKRONGENERÁTOR TERHELÉSI ÜZEMÁLLAPOTOK

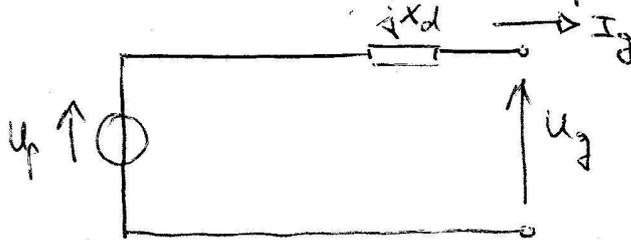
Kompensátoros üzem: ($P_g = 0$)

A hálózatra kapcsolt generátor leadott P_g hatásos teljesítménye Φ , ha az I_g ellátás-árammal nincs az U_g kapocsfeszültség irányába eső összetevője ~~származéka~~ ($I_g = I_d$), azaz a pólusfeszültség, a képfeszültség és a kapocsfeszültség azonos irányú ($\delta_g = 0$). A szinkronizációt ellensúlyozza a mechanikai teljesítményt is részben terheljük ($P_m = c$).

Az áramgenerátoros modell:



és az ebből megkapott $U_p - X_d$ felülterhelésű generátor modellje:



A $P_g = 0$, de $I_g > 0$ üzemállapotokat kompenzátoros üzemi üzemi nevezik, ekkor a generátoros az a felülterhelésű, meddőteljesítmény-teljesítő, ill. fogyasztó szerepe van.

A gépsebesség értékel az $I_g = 0$ áramerősségi értékelhet képest változatlan az ellátásban áram folyik, mely (az U_g feszültséget választva referencia irányúval):

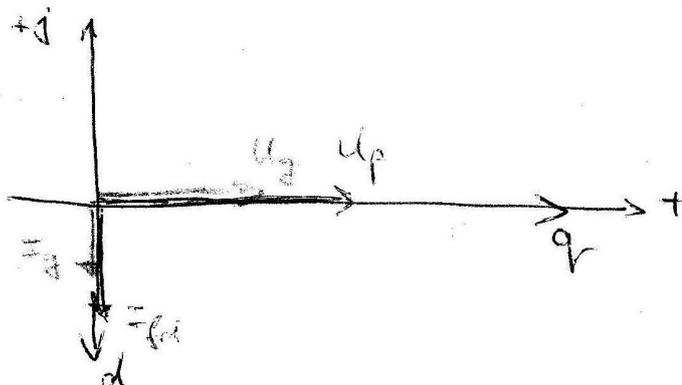
$$I_g = \frac{U_p - U_g}{jX_d} = -j \frac{U_p - U_g}{X_d}$$

és amelyben U_p az a gépsebességtől, az U_g a gépsebességtől és a hálózati kapcsolattól függ, tehát I_g a gépsebesség és a hálózat függvénye.

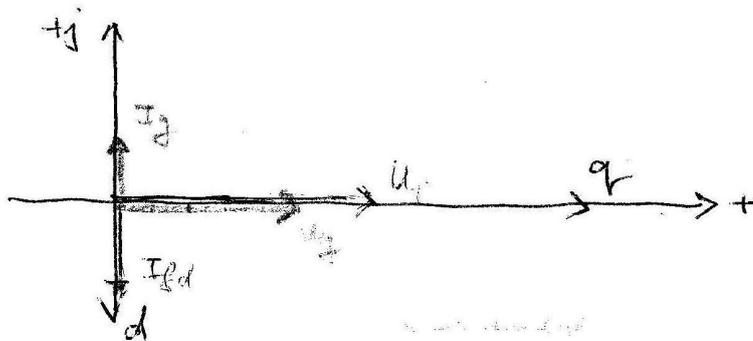
$$Q_g = \frac{U_g \cdot U_p - U_g^2}{X_d}$$

Itt is megfigyelhető, hogy az alul- és túljáratott állapotok:

$Q_g > 0$ esetén túljáratott állapot:



$Q_g < 0$ esetén aluljáratott állapot:



A meddőteljesítmény-tenyés/nyelés mértéke a helyzettől is függ, az I_f forgóvívárammal kapcsolatban, az $U_p = U_g$ esetben $Q_g = 0$. A generátor kapocsán felvett (nyelt) meddőteljesítmény legnagyobb értéke adott U_g -hez az $U_p = 0$ ($I_f = 0$) esetben érhető el, vagyis $Q_{gmin} = -\frac{U_g^2}{X_d}$

Az $S_g = P_g + jQ_g$ teljesítményt az U_g -re vetített $I_g = I_{gp} - jI_{gq}$ komponensekkel is megadhatjuk:

$$P_g = U_g \cdot I_{gp}, \quad Q_g = U_g \cdot I_{gq}, \quad \text{amelyhez}$$

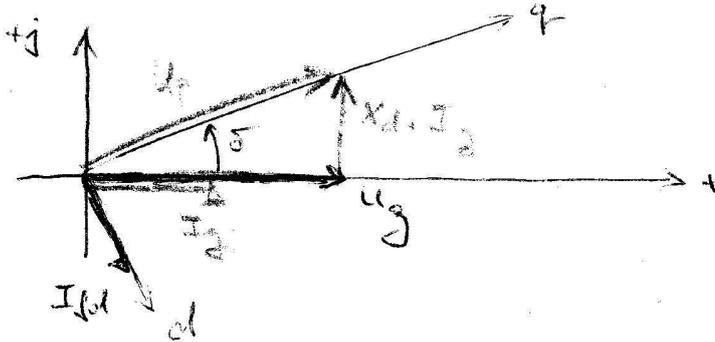
$$I_{gp} = I_g \cdot \cos \varphi_g = \text{hatásos teljesítményrel}, \quad I_{gq} = I_g \cdot \sin \varphi_g$$

• $\sin \varphi_g$ a meddőteljesítményrel arányos (fiktív) áramkomponens.

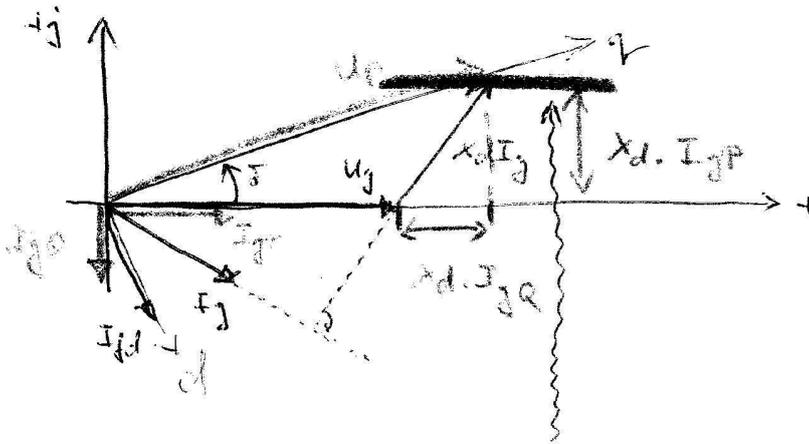
Adott U_g, U_p (ill. I_g gerjesztés) esetén

$$P_{g \max} = \frac{U_p \cdot U_g}{X_d} \quad \text{--- ill. ill.}$$

Ha $Q_g = 0$ (és $P_g > 0$), akkor az $U_p - U_g - I_g$ fázorháromszög a következőképpen néz ki:

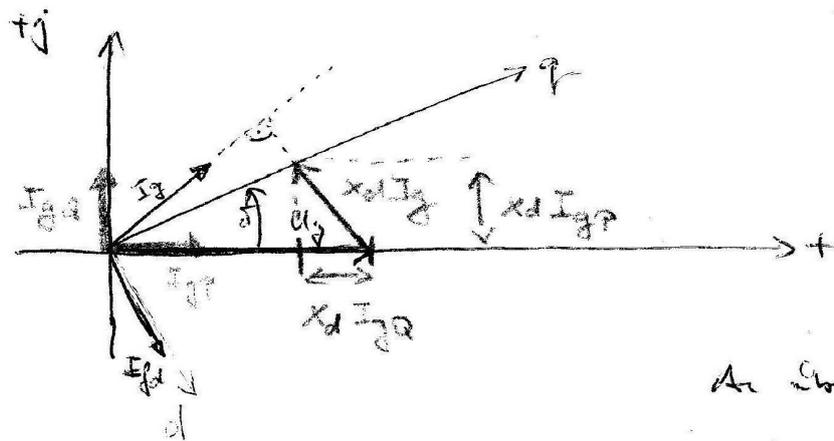


Állandó U_g és $P_g = P_m = \text{ill.}$ esetén az U_p fémhúzófázor mozgásának mértani helye:



Állandó U_g zárszfeszültséget feltételezve a T_g teljesítmény, állandósága mellett, a változó Q_g medáláteljesítmény tenné ki / nyelne ki a U_p fázor végpontjai az U_g -vel párhuzamos egyenesen (fokete) mozognak.

Állandó U_g és változó P_g , valamint $Q_g = \text{állandó}$ esetben:



Az ábrán $Q_g < 0$.

Állandó Q_g mellett az U_g feszültség változtatása az U_g -re merőleges egyenes mentén változtatás, azaz a P_g tengely irányában.

13.2. SZINKRON GENERÁTOR TARTÓS TERHELHETŐSÉGE,

P-Q DIAGRAM SZERKEZTÉSE

a) Turbina-generátor blokk tartós terhelhetőségének fizikai U-I-P kapcsolatát és a kábelkötés képzését, megvalósítását az $U_p - X_d$ modellben

A turbina-generátor egész hosszabb időtartamra vonatkozó villamos teljesítmény terhelhetőségének fizikai kapcsolatát a turbina-üzem, a rendszer stabilitás és a villamos üzem paraméterek: a generátor állórészes és forgórészes áramterhelhetősége, a kapacitív teljesítmény tartósság megengedhető legnagyobb értéke határozza meg.

A forgórészt meghajtó P_m mechanikai teljesítmény első és felső korlátját a turbina hosszabb ideig fenntartható P_{Tmax} teljesítménykapacitása és a nagy stabilitású (stabilitáris) üzemi tartományhoz szükséges P_{Tmin} teljesítmény adja meg. A P_{Tmax} a P_{Tmin} -el névleges teljesítménnyel azonosan vehető, gőzturbinához a P_{Tmin} kb. a névleges érték 25%-a. A $P_g = P_m$ alapján tehát

$$P_{Tmin} \leq P_g \leq P_{Tmax}$$

A generátor a P_g kapacitív teljesítmény maximumát a $\delta_g = 90^\circ$ -nál éri el. A megfelelő stabilitási tartományhoz a $\delta_g \leq \delta_{gmax}$ nemet adható meg a terhelési szög korlátja, például $\delta_{gmax} = 70-75^\circ$ felvételével.

Az állórész melegezése miatt az I_g állórészes áram az adott hűtési viszonyok mellett nagy megengedhető I_{gmax} által korlátozott, vagyis szükséges feltétel az $I_g \leq I_{gmax}$ jól névelhető gépantérendő eseten az I_f forgórész-áramot nem a gépantérendő, hanem a forgórész melegezése miatt tartósság nagy megengedhető I_{fmax} korlátja, amelyet a modellben az U_{pmax} által vesünk figyelembe, vagyis tartós üzemben

$$I_g \leq I_{gmax} \quad \text{vagy} \quad U_p \leq U_{pmax}$$

Az U_g árama kapacitív hatást fejt ki a hálózatra (a kapacitív áram és a induktív áram közötti különbség miatt) a névlegeshez közeli értékek, ill. a névlegeshez képesti $\pm 10-15\%$. -os tartományban tartva, a megengedett U_{gmax} értéket az állóvonal feszültsége adja.

b, P-Q diagram tekintése mindössze egy helyesen, nem megfelelő arányban a alábbi adatokkal: $U_{ge} = 1,0 \text{ v.e.}$, $U_{pmax} = 2,7 \text{ v.e.}$, $X_d = 2,2 \text{ v.e.}$, $I_g = 1,1 \text{ v.e.}$

A terhelés terhelhetőségi követelménye céljából a kapacitív teljesítményre vonatkozó P-Q diagramon ábrázoljuk, amely az $U_p - X_d$ modell felkötésével megnevezhető. A tekintés menete - követése:

1. Az $U_p = 0$ indulóponttól álló állapot meoldomylevő körletét az ábrához képest U_{g0} kezdőpontja jelöli ki, az teljesítményteljesítményben most $Q_{gmin} = - \frac{U_{g0}^2}{X_d} = -0,45 \text{ v.e.}$

2. Az állóvonalra miatti terhelhetőségi követelményből az ábrán (a kapacitív hatáskörrel vett kapacitív teljesítmény függvényéből) rajzolt $X_d I_{gmax} = 2,42 \text{ v.e.}$ sugárú kör rajzolva meg, az teljesítményben most $U_{g0} \cdot I_{gmax} = 1,1 \text{ v.e.}$ -nek felel meg.

A névleges hatáskör villamos és tartományos teljesítmény hármasa a generátor névleges teljesítményteljesítménye feltehetően állapottan. Az ábra 1-2 pontjai között a terhelhetőséget az állóvonalra vonatkozóan.

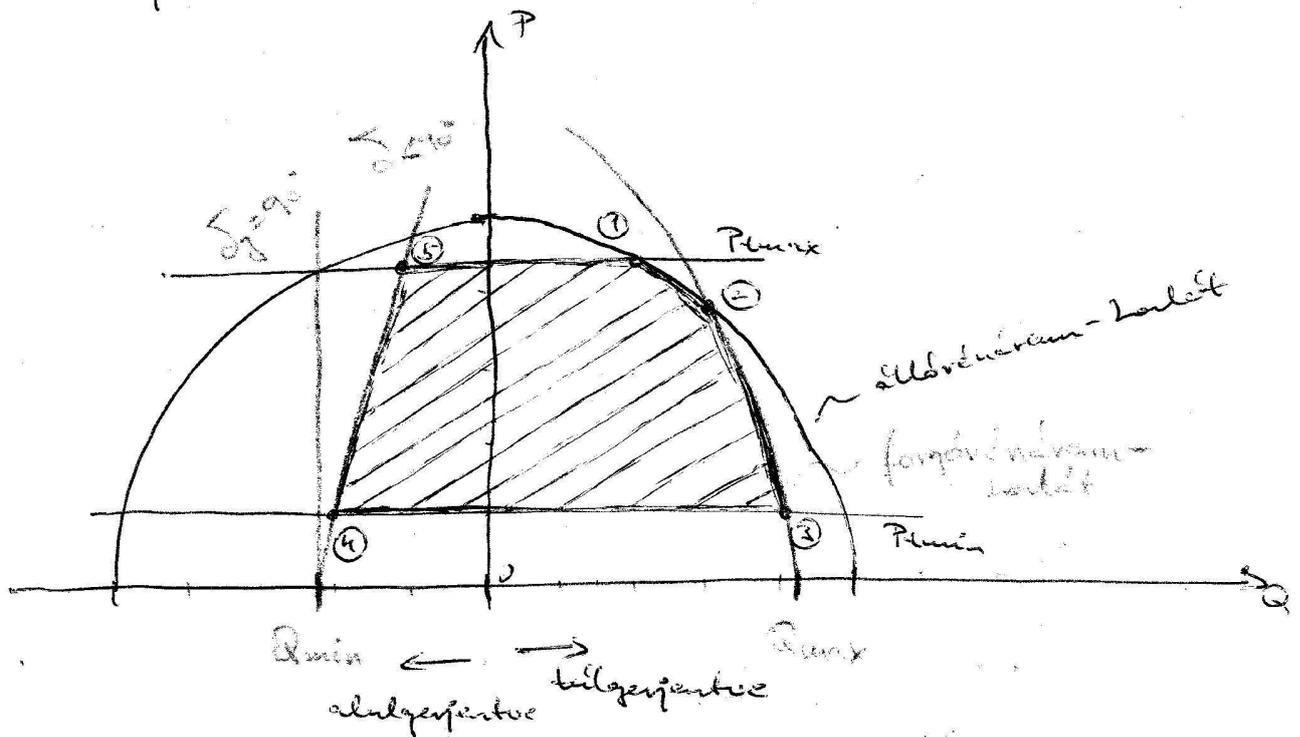
3. A forgóvonalra vonatkozóan olyan közel vételezhető feltevések, amelyek sugara $U_{pmax} = 2,7 \text{ v.e.}$ és középpontja a $P=0$ -hoz tartozó Q_{gmin} , az ábrán ez a körlet a 2 ponttal (a körlet középpontja és a körlet meoldomylevő - tengelyével) lép be.

4. A Q_{gmin} értékhez tartozó a statikus stabilitás elveitől határozza meg $\delta_g = 90^\circ$. A 4-5 egyenest - az áram meoldomylevő körletét - a hálózati meoldomylevő és stabilitási követelmény feltevése után I_{gmax} körlet alapján rajzoljuk.

5. Az 1-5 és 2-4 egyenes a turbínaszerű P_{min} és P_{max}

határozzuk meg.

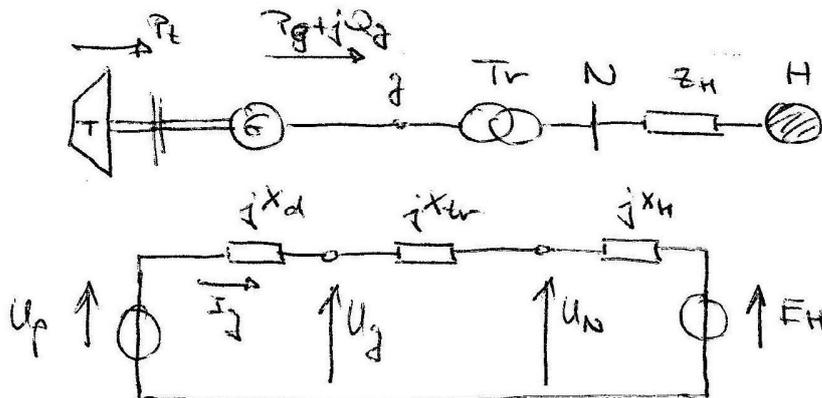
A négyzetgenerátor tartós állandósult áramúhoz leve-
telvény, hogy az áram $P_g - Q_g$ munkapont a terhelhetőségi
határvonalon belül, az 1-2-3-4-5 pontok által határolt te-
rületen legyen. A biztonságos áramot a szabványos alap-
jellemek a - kábelkorat és terheléskorát és figyelembe véve
megpárhuzosítva és a gerjesztés folyamatos szabályozásával
érhető el.



14.1. GENERÁTOR HÁLÓZATI SZINKRON ÜZEME

Ha egy erősítő szinkrongenerátoros kiterjedt villamos hálózatban keveset több más generátorral azonos frekvencián szinkronizációval üzemelnek, akkor egy generátor a hálózatba való csatlakozás kapcsolt állapotát általában csak a töredékét szolgáltatja. A hálózati frekvenciát és a csomóponti feszültséget általában a nagy hálózat többi gépe együttesen határozza meg, valamely hálózati csomópont feszültségét egy gép segítségével az adott csomóponttól vett villamos távolságra és a hálózati állapot együttesének függvényében módosíthatja.

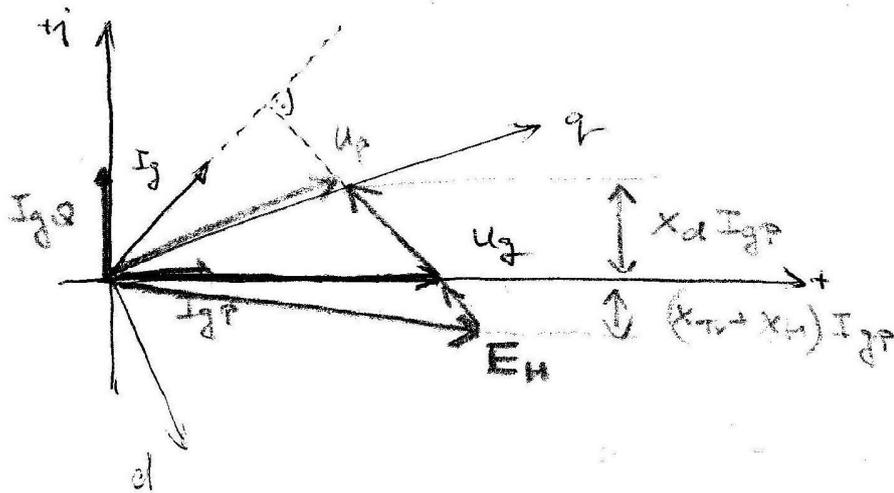
Szinkrongenerátor hálózati kooperációs üzemét egyszerűsített és a pozitív sorrendű áramköri modellt a következő ábrán lehet látni:



A hálózattól és a rendszer többi gépét villamos szempontból egy E_H forrásfeszültséggel és az N című (hálózat felőli) 3F zárt áramú kerinti X_H reaktanciával jellemezzük. A rendszer összfeszültségét az E_H forrás kapacitívra helyese képrellátja el és a feszültség döntő részét az E_H feszültség forrás fedezi.

A generátor által a hálózatba táplált P_g hatékony villamos teljesítmény a P_t turbinateljesítménytel egyezik meg, tehát értéke a beállított alapjeltől függ, a modellben a P_g az $X_{tr} + X_H$ reaktancián át átvitt áram útján jut el az összfeszültséghez.

Az U_N hálózati eredetű változásait a modellben az E_H változ-

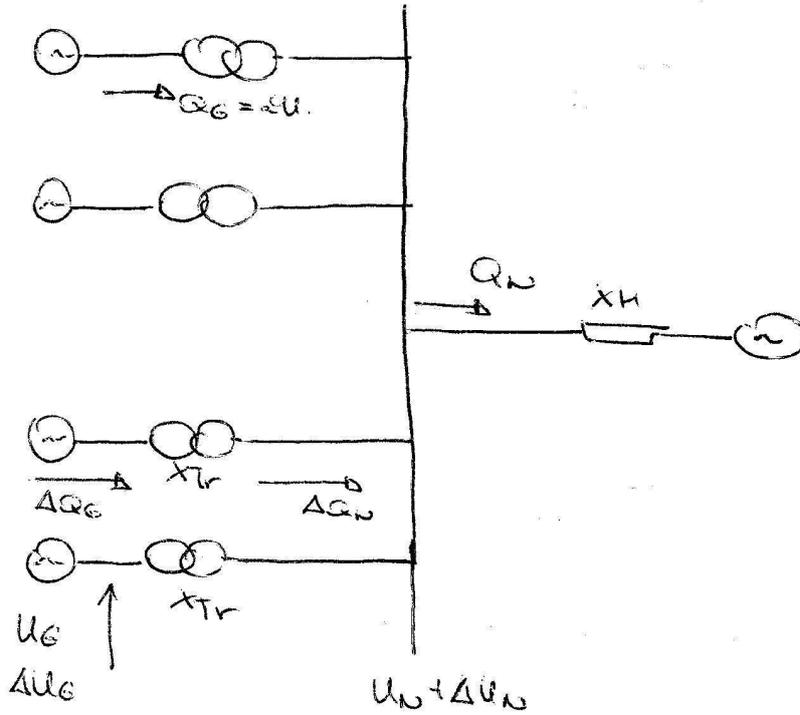


A generátor közvetlen $U_g - Q_g$ szabályozásához a közvetlen szabályozókat értékelni kell:

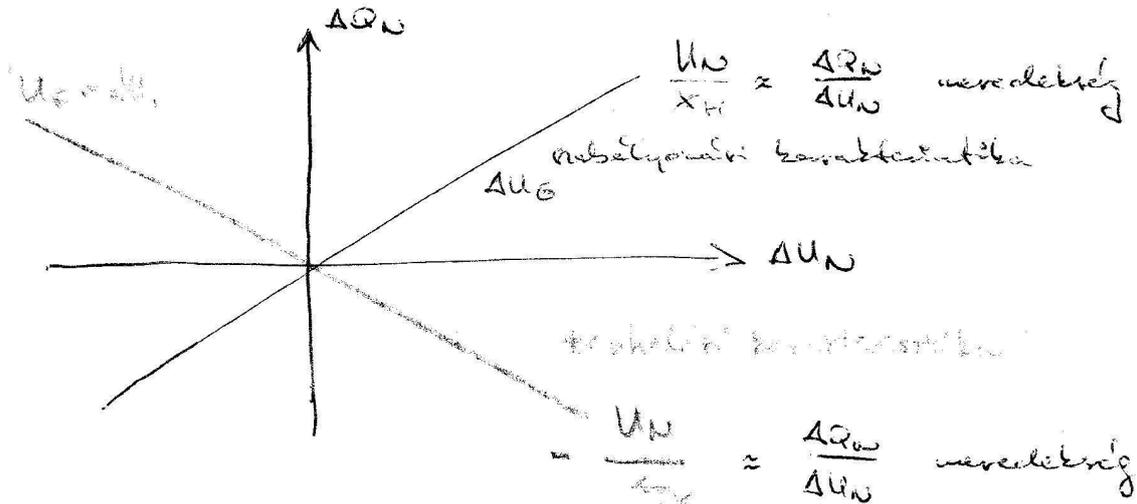
- az I_f függvényében (ill. az U_g függvényében) állandó ($I_f = I_{f0}$)
- a kapocsfeszültség szabályozása U_{g0} alapján ($U_g = U_{g0}$)
- a kapocs - meddőteljesítmény szabályozása Q_{g0} alapján ($Q_g = Q_{g0}$)
- a kapocsfeszültség terhelésfüggő szabályozása
 $U_g = |U_{g0} + Z I_g|$ szerint

14.2. ERŐMŰVI GTÜJTŐSÍN U-Q SZABÁLYOZÁSA

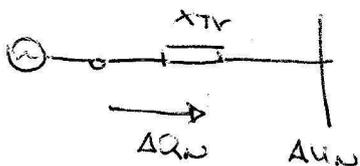
Áramlási modell a szabályozáshoz:



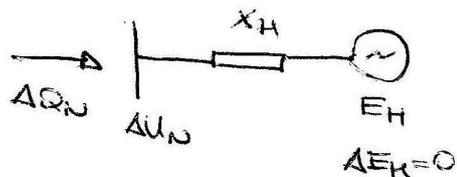
$\Delta Q_N - \Delta U_N$ szabályozási és terhelési karakterisztikák:



Terhelési karakterisztika:

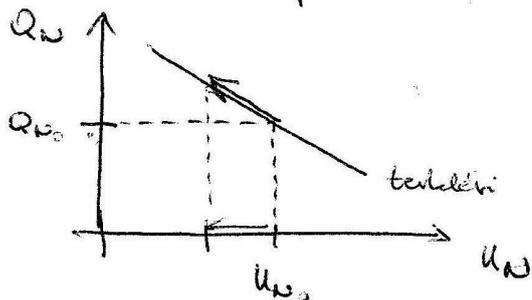


Árbeályozési karakterisztika:



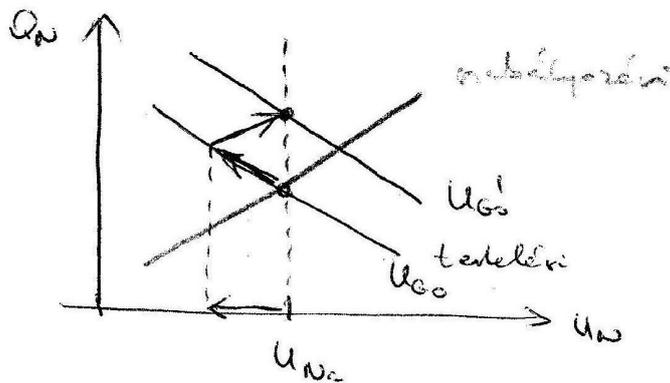
A $\Delta Q_N - \Delta U_N$ változások, árbeályozások:

- Ha nincs Ugi árbeályozás:



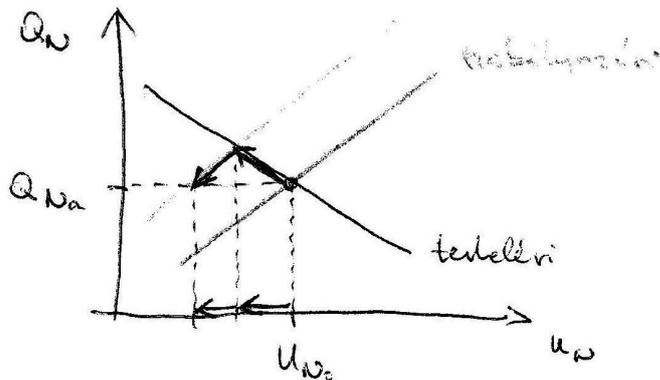
$U_N \downarrow \rightarrow Q_N \uparrow$ és $\Sigma Q_{gi} \uparrow$
 $U_N \uparrow \rightarrow Q_N \downarrow$ és $\Sigma Q_{gi} \downarrow$

- Árbeályozás U_{gi} alapján ($U_N = U_{N0} =$ állandó árbeályozás)



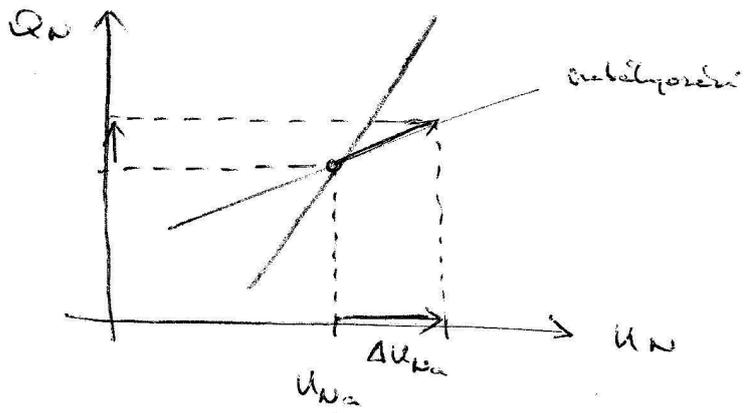
$U_N \downarrow \rightarrow Q_N \uparrow$
 $U_{gi} \uparrow \rightarrow Q_N \uparrow \rightarrow U_{N0} \uparrow$
 $U'_{g0} > U_{g0}$

- Árbeályozás Q_{N0} alapján ($Q_N = Q_{N0} =$ állandó árbeályozás)



$U_N \downarrow \rightarrow Q_N \uparrow$
 $U_{gi} \downarrow \rightarrow Q_N \downarrow \rightarrow U_{N0} \downarrow$

• U_{Na} alapjel változtatása ΔU_{Na} -val:



$\Delta U_{Na} \uparrow \sim Q_N \uparrow$