

Elektrotechnika

Szerkesztette:
Kondor Máté András
fokgyem@gmail.com

2011 ősz

1. Az elektrotechnika alapjai

1.1. Bevezetés

1.1.1. **Történeti áttekintés. A villamosság, mint jel- és energiahordozó.**

1.1.2. **Áramnemek, többfázisú rendszerek. A többfázisú rendszerek előnyei, a háromfázisú rendszerek tárgyalása.**

1.1.3. **Melyek a magyar energiapolitika stratégiai céljai?**

- **Ellátásbiztonság:** Megfelelő energiaforrás-struktúra, energiainport-diverzifikáció, stratégiai energiahordozókészletek kialakítása, infrastruktúra-fejlesztések, lakosság ellátása, szociális felelősség
- **Versenyképesség:** liberalizált energiapiacok, integrálódás az EU egységes belső energiapiacába, a valós árak nem helyettesíthetők a kormányzati beavatkozással, technológiai előrehaladás, kutatás+fejlesztés
- **Fenntarthatóság:** energiatakarékosság, energiatermelés hatásfokának és rugalmasságának javítása, energiafelhasználás hatékonyságának növelése, megújuló energiaforrások arányának növelése, károsanyag-kibocsátás csökkentése

1.1.4. **Mit jelent az ellátásbiztonság a gyakorlatban?**

- A villamos-, és gázpiacok megnyitásának kiteljesítése
- Az ellátás biztonságát garantáló belső energiapiac - szolidaritás a tagállamok között
- Fenttarthatóbb, hatékonyabb és változatosabb energiaszerkezetre való törekvés
- Innováció bátorítása: stratégiai európai energiatechnológiai terv
- Egységes külpolitikai fellépés energiapolitikai kérdésekben

1.1.5. **Mely környező országokkal van, és melyekkel nincs távvezetési kapcsolatunk?**

Szlovénia kivételével minden szomszédos országgal van távvezetési kapcsolatunk.

1.1.6. **Melyek az energiaszállítás (tranzit) fő irányai?**

Jelentős az északról délre, illetve keletről nyugatra tartó energiaáramlás.

1.2. A villamosenergiaátalakítás általános elvei és törvényei

1.2.1. A villamos energiaátalakítás folyamata. Az elektromechanikai energiaátalakítás közege.

Villamos energiaátalakítás során mechanikai energiát alakítunk villamos energiává egy energiaátalakító gépen keresztül. Az átalakítás iránya megfordítható, tehát ugyanazzal a géppel villamos energiából mechanikusot is előállíthatunk. Noha az átalakítókat villamos gépeknek nevezzük, a munkavégzés közege a mágneses tér, hiszen ennek az energiasűrűsége négy nagyságrenddel magasabb lehet, mint a villamos téré.

1.2.2. Az elektromechanikai energiaátalakítás törvényei.

1. A villamos gépekben az energiaáramlás iránya megfordítható. Egy és ugyanazon gép, például forgógép, motorként és generátorként is üzemelhet. Ezt nevezzük a villamos gép motoros illetve generátoros üzemének vagy üzemállapotának.
2. Az energiaátalakítás hatásfoka elvileg elérheti a 100%-os hatásfokot. A gyakorlatban a 100% hatásfok nem valósítható meg, de nagyon megközelíthető. Például nagy teljesítményű transzformátorok és erőművi generátorok hatásfoka elérheti, sőt egyes esetekben meg is haladhatja a 99.5% értéket.
3. Az átalakító működése két, egymáshoz képest nyugalomban lévő mágneses vagy villamos mező kölcsönhatásán alapszik. A gyakorlatban túlnyomó többségben a mágneses térek kölcsönhatásán alapuló villamos energia-átalakítók terjedtek el.

1.2.3. A villamos energia-átalakítók osztályozása.

(A gondolatjel mögötti zárójelben szerepel, hogy az adott átalakító milyen energiát alakít villamos energiává.)

- Félvezetős átalakító (konverter) - (villamos)
- Villamos gépek
 - Transzformátor - (villamos)
 - Elektromechanikai átalakítók - (mechanikai)
 - * Motor
 - * Forgó villamos gép
 - * Többdimenziós villamos gép (gömbmotor)
- Közvetlen energiaátalakítók (primér)
 - Napelem
 - Tüzelőanyagcella
 - Termogenerátor
- Nemkonvencionális átalakítók (egyéb)
 - Szupravezetés
 - Magnetohidrodinamikus (MHD) generátor

1.2.4. A villamos gépekkel kapcsolatos általános feladatok.

- Forgó mozgás létrehozása - mechanikai forgatás / álló tekercsrendszer.
- Üzemelés - állandósult állapot
 - Elérhető-e az állandósult állapot? - Indítási lehetőségek és módszerek vizsgálata.
 - Állandósult állapotban maran-e a rendszer? - Stabilitásvizsgálat.
 - Aszimmetrikus üzemi viszonyok vizsgálata.
 - Mi történik a táplálás vagy terhelés változásakor? - Tranziens állapot vizsgálata.

1.2.5. Az elektromechanikai rendszerek felépítése.

- Elektromechanikai rendszer
 - Villamos - feszültség-, áramviszonyok
 - Mágneses - fluxus, indukció
 - Mechanikai - gyorsulás, sebesség, nyomaték
 - Termikus - melegedés, szellőztetés
 - Akusztikai - rezgés, zaj
- Anyagmérnöki rendszer - vezető-, szigetelő-, mágneses-, és szerkezeti anyagok

1.3. Közvetlen energiaátalakítók

1.3.1. A közvetlen energia-átalakítók általános jellemzése.

1.3.2. Tüzelőanyag-cellák felépítése és működési elve.

1.3.3. Fotovillamos generátorok felépítése és működési elve.

1.3.4. Termovillamos generátorok felépítése és működési elve.

1.3.5. MHD-generátorok felépítése és működési elve.

2. Mágneses és szupravezető anyagok és alkalmazásaik

2.1. Mágneses anyagok, terek és körök

2.1.1. A gerjesztési törvény értelmezése

Az Ampère-féle gerjesztési törvény:

$$\oint_L \vec{H} \cdot d\vec{l} = \int_A \vec{J} \cdot d\vec{A}$$

Tehát a mágneses térerősség tetszőleges zárt L görbére vett integrálja megegyezik az L által körülvett A felületen átfolyó áramokkal.

2.1.2. Villamos és mágneses körök analógiája

Példa: toroid tekercs. N a menetszám, i a tekercsáram, A a vasmag keresztmetszeti felülete, l a vasmag közepes kerülete. A gerjesztési törvény ebben az esetben:

$$Hl = Ni$$

Ez a mennyiség értelmezhető a gerjesztő feszültséggel analóg, itt F -el jelöljük és magnetomotoros erőnek hívjuk. Tekintsük a mágneses fluxus definícióját ($\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{A}$) és a mágneses indukció és a mágneses térerősség kapcsolatát leíró egyenletet ($\vec{B} = \mu\vec{H}$). Toroid esetében:

$$\Phi = BA = \mu HA = \mu \frac{Ni}{l} A$$

Mivel a mágneses fluxust a villamos áram analogonjaként tekinthetjük, az $R = \frac{l}{\mu A}$ -nak az ellenállással analóg mennyiségnek kell lennie. Ennek neve reluktancia. Reciproka a permeancia, a mágneses vezetőképesség, jele P .

2.1.3. A mágnesezési görbe

Egy adott anyagra jellemző B-H grafikon. Jellemzően közel lineárisan indul az origóból, majd a telítődési szakaszban egyre inkább párhuzamossá válik a H tengellyel.

2.1.4. Mágneses kör légréssel

A légrés úgy tekinthető, mintha a mágneses körbe a vasmag reluktanciájával sorba egy nagy reluktancia lenne kapcsolva. A mágneses köröknél bevezetett jelöléseknél maradva:

$$Ni = Hl + H_g l_g$$

ahol a g indexű tagok vonatkoznak a légrésre. A reluktanciák:

$$R = \frac{l}{\mu A}$$

a vasmagra vonatkozóan és

$$R_g = \frac{l_g}{\mu_0 A_g}$$

a légrésre vonatkozóan. Amennyiben úgy tekinthető, hogy a mágneses fluxus erővonalai a légrésnél nem hajlanak ki, $A = A_g$ igaz. Mivel a mágneses tér forrásmentes, tudjuk, hogy $\Phi = \Phi_g$. Ezek alapján tehát:

$$\Phi = \frac{Ni}{R + R_g}$$

2.1.5. Az induktivitás számítása

Egy tekercs induktivitása geometriai tényezőktől és a mágneses anyag paramétereitől függ. A tekercs-fluxus:

$$\Psi = N\Phi$$

Az L induktivitás a tekercsfluxus és az átfolyó áramerősség közötti arányossági tényező:

$$L = \frac{\Psi}{i}$$

A számítás további módjai:

$$L = \frac{\Psi}{i} = \frac{N\Phi}{i} = \frac{NBA}{i} = \frac{N\mu HA}{i} = \frac{N\mu HA}{\frac{Hl}{N}} = \frac{N^2}{\frac{l}{\mu A}} = \frac{N^2}{R}$$

2.1.6. A mágneses hiszterézis jelensége és magyarázata

A hiszterézis egy rendszer olyan tulajdonsága, hogy az nem azonnal reagál a rá ható erőkre, hanem késleltetéssel, vagy pedig nem tér teljesen vissza az eredeti állapotába: az ilyen rendszereknek az állapota függ az előéletüktől. A mágneses hiszterézis jellemzően ferromágneses anyagokban lép fel, a dipólusok beállásának késlekedése, illetve akadályoztatása miatt. A visszaállás a külső erőter nélküli állapotnak megfelelő rendezetlen helyzetbe a térerősség csökkenésekor nem a beállással azonos mértékben történik. A hiszterézis-görbét a B - H síkon ábrázoljuk. A mágnesezetlen anyagot, ha nincs külső tér, az origóban lévő pont jellemzi. Ha az anyagot egyre növekvő külső térbe helyezzük, a síkon felvehetjük a mágnesezési görbét. Ha a telítődés elérésekor elkezdjük csökkenteni a teret, az anyag nem a mágnesezési görbén halad vissza az origóba, hanem egy másikon, amely mindkét tengelyt metszi: B -t a B_r , remanens indukció értékénél, H -t a H_c koercitív erő értékénél, majd elérkezik a negatív telítődési ponthoz.

2.1.7. A hiszterézis-veszteség

A vasmagként használt ferromágneses anyagok mágnesezési görbéje hiszterézises jellegű, a hiszterézis hurok területe arányos az egységnyi tömegű anyagban egy átmágnesezési ciklus alatt elvesztett energiával. A hurok területe a telítésig jó közelítéssel a mágneses indukció maximumának négyzetével arányos. A tapasztalati úton megállapított képlet a hiszterézis-veszteség számítására:

$$P_h = K_h B_{max}^n f$$

ahol K_h egy anyagjellemző állandó, f a gerjesztés frekvenciája, n pedig egy anyagra jellemző szám, általában 1.5 és 2.5 között.

2.1.8. Az örvényáram-veszteség

A vasmagban indukálódó feszültség által keltett áramok is veszteséget okoznak, ezeket örvényáram-veszteségnek nevezik, mivel az így kialakuló áramok örvényekként veszik körbe a vasmagban váltakozó fluxust. Minél nagyobb a maganyag villamos ellenállása, annál kisebb lesz a veszteség. Az örvényáramú veszteséget lemezeléssel lehet csökkenteni. A lemezhatárokat az áramokra merőlegesen kell elhelyezni. A tapasztalati úton megállapított képlet a hiszterézis-veszteség számítására, az előbbi jelölésekkel:

$$P_e = K_e B_{max}^2 f^2$$

2.1.9. A gerjesztőáram számítása telítődő, veszteségmentes mágneskör-karakterisztika esetén, a vasmagos tekercs leképezése

Skálázzuk át a B-H síkot Φ -re, hogy számítani tudjunk. (Toroid esetében például: $\Phi = BA$ és $i = \frac{HI}{N}$.) Hiszterézismentes anyag esetében a vasmagos tekercs egy egyszerű ideális tekercssel modellezhető. Az áram 90° -ot késik a feszültséghez képest.

2.1.10. A gerjesztőáram számítása telítődő, veszteséges mágneskör-karakterisztika esetén, a vasmagos tekercs leképezése

Hiszterézises anyag esetében az áram két komponensre bontható:

- az egyik fázisban van a feszültséggel, ez a vasveszteség okozója (i_c)
- a másik a mágnesező áram, ez 90° -ot késik a feszültséghez képest (i_m).

A kettő eredője a gerjesztőáram. Ez leképezhető úgy, mint egy ideális tekercssel párhuzamosan kapcsolt ellenállás, ami a vasveszteséget modellezi.

2.1.11. Állandó mágneses anyagok

- Ferritek
 - Kis remanens indukció, nagy koercitív erő
 - Példák: magnetit, vasferrit, bárium-, és stroncium-ferritek
- AlNiCo-ötvözetek
 - Nagy remanens indukció, kis koercitív erő
 - Példák: nagy széntartalmú acélok, wolfrám-, króm-, és kobalt-tartalmú acélötvözetek, valamint a vas, az alumínium, a nikkell és a kobalt (néha réz és titánium) különböző ötvözei
- Ritkaföldfém-ötvözetek
 - Nagy remanens indukció és koercitív erő
 - Példák: samárium-kobalt ötvözetek, neodímium-vas-bór ötvözetek

2.1.12. Mágneses kör állandó mágnessel

Annyi a különbség, hogy ha az állandó mágnesre a B-H sík második síknegyedében csak olyan kis külső tér hat, hogy az még ne mágneseződjék le, akkor a rendszer nem a hiszterézis-görbén fog mozogni, hanem vagy egy minor hurkon, vagy egy reverzibilis munkaegyenesen.

2.1.13. Állandó mágnesset tartalmazó mágneses kör méretezésének alapjai

Tekintsünk a következő elrendezést: lágymágneses kör, egyik oldalán l_g magasságú lágý-, a másik oldalán pedig l_m magasságú állandó mágneses betéttel. A lágýmágneses betétet távolítsuk el, így egy légrést kapunk. Az itt keletkező szórást és kihajlást a számítások során elhanyagolhatjuk. Az állandó mágnesset a remanens indukció értékéig felmágnesezzük. Feltételezzük, hogy a lágýmágnes felmágnesezéséhez nem szükséges további gerjesztés. Az m index az állandó mágnesre, a g a légrésre vonatkozó index legyen. Ekkor:

$$H_m l_m + H_g l_g = 0$$

tehát:

$$H_m = -\frac{l_g}{l_m} H_g$$

Mivel a mágneses tér forrásmentes:

$$\Phi = B_m A_m = B_g A_g$$

Továbbá:

$$B_g = \mu_0 H_g$$

Ezek alapján:

$$B_m = -\mu_0 \frac{A_g l_m}{A_m l_g} H_m$$

A szükséges állandómágness-térfogat (V_m) minimumát kapjuk, ha a $B_m H_m$ energiaszorzat maximális.

$$V_m = A_m l_m = \frac{B_g A_g}{B_m} \frac{H_g l_g}{H_m} = \frac{B_g^2 V_g}{\mu_0 B_m H_m}$$

Mivel ma már nem annyira drágák a ritkaföldfém-mágnesek, ezért gyakran nem az anyagmennyiség minimalizálása, hanem az elérhető légrésindukció maximalizálása a méretezés célja.

2.2. Szupravezetők és alkalmazásaik

2.2.1. A szupravezetés felfedezése és jelentős Nobel-díjasai.

- 1913: Heike Kamerlingh-Onnes – a szupravezetés felfedezése
- 1972: John Bardeen, Leon Neil Cooper, John Robert Schrieffer – BCS-elmélet (a szupravezetők mikroszkópikus leírása)
- 1973: Brian David Josephson, Ivar Giaever, Leo Esaki – Josephson-effektus (a szupravezetés makroszkópikus kvantumjelensége)
- 1987: Karl Alexander Müller, Johannes Georg Bednorz – Kerámiaalapú anyagok magashőmérsékletű szupravezető tulajdonságai
- 2003: Vitalij Lazarevics Ginzburg, Alekszej Alekszejevics Abrikoszov, Anthony James Leggett – a szupravezetés fenomenologikus elmélete, valamint a szupravezető anyag és mágneses tér kapcsolata

2.2.2. Elméletek a fémek ellenásával kapcsolatban.

Mielőtt az abszolút zérus fokot egyáltalán csak megközelíteni is sikerült volna, ismert volt, hogy a fémek ellenállása a hőmérséklettel együtt csökken.

- 1902: Lord Kelvin úgy gondolta, hogy egy bizonyos kritikus hőmérséklet alatt a fémek ellenállása újra nőni kezd.
- 1864: Matthiessen úgy gondolta, hogy egy bizonyos kritikus hőmérsékletet követően a fémek ellenállása nem csökken tovább.
- 1904: Dewar pedig úgy gondolta, hogy a fémek ellenállása a tapasztalható hőmérsékletek alatt is ugyanúgy csökken, mint felettük.

2.2.3. Az ellenállás eltűnése és a kritikus paraméterek.

Létezik egy kritikus tér a H - T (mágneses térerősség - abszolút hőmérséklet) síkon, amelyen belül egy anyag szupravezetővé válik. Kísérleti tapasztalat a kritikus teret határoló görbék alakjára:

$$H_c(T) = 1 - T^2$$

2.2.4. Szupravezető anyagok: elemek, vegyületek és ötvözetek.

A lista a szupravezető tulajdonság felfedezésének éve és a kritikus hőmérséklet szerinti növekvő sorrendbe van rendezve:

- Elemek
 - Higany (Hg)
 - Ólom (Pb)
 - Nióbium (Nb)
- Vegyületek
 - Nióbium-karbid (NbC)
 - Nióbium-nitrid (NbN)
- Ötvözetek
 - Vanádium-szilícium (V_3Si)
 - Nióbium-ón (Nb_3Sn)
 - Nióbium-germánium (Nb_3Ge)
 - Magas hőmérsékletű szupravezető kerámiák:
 - * Lantán-bárium-réz-oxid ($LaBaCuO$)
 - * Ittrium-bárium-réz-oxid ($YBa_2Cu_3O_7$)
 - * Bizmut-stroncium-kalcium-réz-oxid ($BiCaSrCuO$)
 - * Tallium-bárium-kalcium-réz-oxid ($TlBaCaCuO$)
 - * Higany-bárium-kalcium-réz-oxid ($HgBa_2Ca_2Cu_3O_9$)

2.2.5. A Meissner-effektus.

Meissner- (vagy Meissner-Ochsenfeld-) effektus: a szupravezetőt gyenge H mágneses térbe helyezve a tér csak egy minimális, λ távolságra hatol be a szupravezetőbe, ez az úgynevezett behatolási mélység, ami után a mágneses térerősség nullára csökken. A legtöbb szupravezető esetén ez a mélység 100 nanométeres nagyságrendű.

2.2.6. II. típusú szupravezetők kritikus felülete.

II. típusú szupravezetőknél két kritikus térerő is létezik: egy H_{c1} értéket meghaladva a szupravezető kevert állapotba jut, ahol a tér ugyan behatol az anyagba, de az ellenállás nélküli vezetés nem szűnik meg (amíg nem túl nagy az áram). A H_{c2} második kritikus értéket meghaladva a szupravezetés teljesen megszűnik. Ezt a kevert állapotot az elektronpárok áramában fellépő örvények okozzák.

2.2.7. A szupravezetők osztályozása.

- Fenomenologikusan a kritikus hőmérséklet alapján: magas ($>90K$) és alacsony ($<90K$) hőmérsékletű szupravezetők
- Fázisdiagram alapján: I, és II. típusú szupravezetők

- I. típusú: ez a szupravezetők elsőként felfedezett csoportja jellemzően 10K alatti kritikus hőmérséklettel. Ide tartozik a legtöbb szupravezető elem, így a higany és az alumínium. Megfelelően nagy külső mágneses tér elnyomhatja a szupravezetést: az I. típusú szupravezetők egy hőmérsékletfüggő $H_c(T)$ tér felett közönséges vezetővé alakulnak vissza.
- II. típusú: lásd előző pont.

2.2.8. A lebegtetési kísérletek tapasztalatai.

- ZFC (mágneses tér mentes) hűtés. Tapasztalat: passzív stabilis lebegtetés valósítható meg a szupravezetőkkel: az állandó mágneset az érezhető taszítás fellépésekor "hozzányomom" a szupravezetőhöz: ezzel az indukcióvonalakat belekényszerítem a szupravezetőbe, melyek ez után benne maradnak (pinning centrumok keletkeznek: odatűzési pontjai az indukciónak).
- FC (Mágneses térben történő) hűtés (fluxusbefagyasztás). Az erővonalak belefagynak a szupravezetőbe, az állandó mágneset felemelve a szupravezető ahhoz fog függeszkedni.
- Felmelegedés vizsgálata. Tapasztalat: Az anyag folyamatosan veszíti el szupravezető tulajdonságát, a mágnes lassan leereszkedik, míg végül hozzáér a normál állapotú szupravezetőhöz.
- Minden alkalommal tapasztalat: a lebegtetett, magárahagyott mágnes ide-oda forog, erre a mai napig nincs pontos magyarázat.

2.2.9. Fluxusörvények II. típusú szupravezetőkben

A fluxus-kvantum: a mágneses tér a szupravezetőbe ún. fluxus-örvények (fluxusszálak, örvények) formájában hatol be. Minden egyes fluxusszál ugyanakkora fluxust tartalmaz, az ún. fluxuskvantumot, amelynek értéke

$$\Phi_0 = \frac{h}{2e} = 2.07 \cdot 10^{-15} \text{Vs}$$

ahol h a Planck-állandó és e az elektron töltése.

2.2.10. Pinning II. típusú szupravezetőkben.

Inhomogén, nemideális II. típusú szupravezető anyagban a fluxusszálak rögzítődnek az inhomogenitásokon. Az inhomogenitások neve „pinning-centrum”, a fluxus-szálak rögzítődése ezeken a pinning-centrumokon „pinning” néven ismert. Magas hőmérsékletű szupravezetőnél pinning-centrum létrehozása: nem szupravezető anyaggal „szennyezem” a szupravezető mágneses terét.

2.2.11. A lebegtetési kísérlet magyarázata. ZFC és FC hűtés.

Lásd a "Lebegtetési kísérletek tapasztalatai" pontot!

2.2.12. Alacsony hőmérséklet előállítása. Fajlagos hűtőteljesítmény.

Alacsony hőmérséklet előállításához jellemzően a következő hűtőközegeket használják (zárójelben a forráspont, K-ben):

- Hélium (4.22)
- Hidrogén (20.39)
- Neon (27.09)
- Nitrogén (77.39)
- Oxigén (90.18)

Különböző hőmérsékletek előállításának relatív "költsége", ha a szobahőmérséklet (290K) előállítása 1 egység, különböző hűtőgép-hatásfokok mellett:

T	$\eta = 100\%$	$\eta = 20\%$
77.3K	2.8 egység	14 egység
75K	2.9 egység	14.5 egység
70K	3.2 egység	16 egység
65K	3.5 egység	17.5 egység
40K	6.3 egység	31.5 egység
4.2K	68.8 egység	344 egység

2.2.13. Szupravezetős alkalmazások osztályozása.

- Az előállított mágneses tér nagysága alapján
 - Nagy mágneses terű ($>1T$) alkalmazások: generátorok, motorok, fúziós erőművek, magneto-hidrodinamika, mágneses energiatárolás
 - Kis mágneses terű ($<1T$) alkalmazások: erősáramú kábelek, transzformátorok, áramkorlátozók
- Az áramnem alapján
 - Egyenáramú alkalmazások: gerjesztő tekercsek, egyenáramú kábelek, homopoláris gépek
 - Váltakozó áramú alkalmazások: váltakozó áramú kábelek, armatúratekercselések, transzformátorok, áramkorlátozók
- Alkalmazás jellege alapján
 - Versenyző alkalmazások: amely alkalmazásoknak van nem szupravezetős alternatívája. Nyilván akkor van értelme, ha a szupravezetős megoldás jobb műszaki paraméterekkel bír (jobb hatásfokú, kisebb, könnyebb,...).
 - Hiánypótló (résekbe illeszkedő) alkalmazások: ezeknek nincs "hagyományos" alternatívájuk.

2.2.14. Szupravezetők elektrotechnikai alkalmazásainak előnyei és hátrányai.

Előnyök:

- Nagy hatásfok (vesztésmentes áramszállítás, jelentősen csökkenthető CO_2 emisszió, váltakozó áramú veszteségek csökkentése)
- Nagyon nagy áramsűrűségek csökkentik a méretet és súlyt
- Alacsony hőmérsékletű üzem
- Környezetkímélő üzem
 - Környezeti szigetelés
 - Olajmentes - környezetkímélő
 - Állandó hőmérséklet nagyobb élettartam
- Új, növelt funkciójú eszközök lehetősége

Hátrányok:

- Komplex technológia
- A magas hőmérsékletű szupravezetők gyártása ma még korlátozott
- Költséges
- Az eszközök megbízhatósága még nem kellően bizonyított

2.2.15. A szupravezetők elektrotechnikai (large scale) alkalmazásainak áttekintése.

- Egyenáramú: Vezető veszteségének kiküszöbölése, gépek és berendezések súlyának csökkentése.
 - Vezetés: a magashőmérsékletű szupravezetők kerámia alapúak ugyan, de 20-30mm-es görbületes sugarakkal jól alakíthatók
 - Szupravezetős elektromágnesekben való alkalmazások
 - Szinkron generátoroknál és motoroknál (generátoroknál 100MW nagyságrend felett jelentkezik az előny)
- Váltakozó áramú:
 - Súly-, és méretcsökkentés, illetve az egységteljesítmény növelése a hatásfok növelésével
 - Energiaátviteli transzformátorok tekercselésénél ugyan már nem szupravezetős technológiával is 99%-os a hatásfok, de a szupravezetős technológia még ezt is növelni tudja.
 - Részecskegyorsítók, fúziós reaktorok tekercsei, elektromágneses lengéscsillapítók
 - Váltakozóáramú kábelek
 - Zárlati áramkorlátozó
- Továbbá:
 - Szupravezető és állandó mágnes kölcsönhatásával érhető el stabilis passzív (külső energiabefektetés nélküli) lebegtetés.
 - Szupravezető csapágy.
 - Lebegtetett járművek: mágneses szupravezető vonatok.

2.2.16. A szupravezetős induktív zárlatiáramkorlátozók működési elve.

A zárlatiáramkorlátozó egy olyan eszköz, amely az elektromos hálózatokban rövidzárlat vagy túlterhelés esetén létrejövő áramerősség értékét csökkenti. A szupravezetős ZÁK alapvetően egy a rendszerbe bekapcsolódó impedancia, ami az energiarendszer védelmét szolgálja. A ZÁK két fő típusa: az induktív és a rezisztív. Az induktív ZÁK lényegében egy transzformátor, mely a védendő hálózattal sorosan kötött primer tekercsből, valamint egy rövidrezárt szekunder tekercsből (a szupravezető gyűrű) áll. Az áramkör normál működése esetén a szupravezető gyűrű szupravezető állapotban van, ekkor a ZÁK úgy működik, mint egy rövidre zárt transzformátor, ami nagyon kevés impedanciát képvisel a rendszerben. Hiba (túlterhelés vagy rövidzárlat) esetén, amikor az áram a primer tekercsben meghaladja a névleges értéket, a szekunder tekercsben (a szupravezető anyagban) nő az áramerősség, és amikor az a kritikus áram értéke fölé nő, a szupravezető gyűrű szupravezető állapotból normál állapotba kerül (a ZÁK impedanciája nagy értékű lesz). A ZÁK impedanciája megfelelő gyorsasággal nő. Ebben az esetben a ZÁK olyan, mint egy üresenjáró transzformátor, ami korlátozza az áramkör áramerősségét. A ZÁK nyugalmi állapotba való visszatérése nem az aktiválási áramértéken történik, mert a szupravezető gyűrű zárlat alatt melegszik, és ekkor csökken a kritikus áramsűrűsége.

2.2.17. Szupravezetős mágneses csapágyak működési elve.

A szupravezetők fontos alkalmazása a szupravezetős mágneses csapágy (Superconducting magnetic bearing, SMB). YBaCuO szupravezetők alkalmazásával stabil lebegési erő hozható létre. A nem-szabályozott, kontaktus nélküli csapágy új technológiát jelent a nagy fordulatszámú rotorok területén. Japán kutatók sokfajta SMB elrendezést terveztek: különböző anyagokkal, elrendezéssel, alakkal, mágnesezési eljárással, permanens mágnesekkel. A cél a legjobb paraméterek, így a legjobb dinamikus merevség elérése volt, hogy minél jobban alkalmazhatók legyenek a gyakorlatban.

2.2.18. Szupravezetős lendkerekes rendszerek felépítésének elve.

A probléma hasonló az előző pontban tárgyalt csapágyhoz: szupravezetők alkalmazásával stabil lebegés hozható létre, ami alkalmassá teszi az ezzel a technológiával készült lendkereket a mozgási energia veszteségmentes tárolására.

2.2.19. A teljesen szupravezető kiserőmű koncepciója.

Megújuló energiaforrásokat használ fel általában: az energiatárolás és kis helyigény igényében. Fontos a környezetvédelem: kis hely, kevés felhasznált anyag, kis szennyezés. A kiserőmű a 10kW-os tartományban üzemel. A rendszer tartalmaz: szupravezető generátort, transzformátort, szupravezető induktív áramkorlátozót, motort és energiatároló eszközöket. Az egész szupravezető erőműrendszer jobban illeszthető a villamos hálózatba mint az egyéni szupravezető eszközök.

3. Gyakorlati áramkör-számítási technikák és konvenciók: egy- és háromfázisú hálózatok számítása

3.1. Az egyfázisú rendszerek áramai és feszültségei. A pozitív irányrendszer fogyasztói és generátoros teljesítményre: a feszültségek és áramok pozitív irányai.

Komponensek:

- Áram-, és feszültségforrások
- Impedanciák (ellenállás, tekercs, kondenzátor)

A feszültségforrás feszültség-idő függvénye:

$$u(t) = U_0 \sin(\omega t)$$

ahol U_0 [V] a feszültség csúcserőértéke, ω [$\frac{\text{rad}}{\text{s}}$] a körfrekvencia. Összefüggése a frekvenciával: $\omega = 2\pi f$.
A feszültség effektív értéke definíció szerint:

$$U_{eff} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt}$$

ahol T a periódusidő. Sinus-os feszültség esetében $U_{eff} = \frac{U_0}{\sqrt{2}}$.

Lineáris rendszer esetében a sinus-os feszültség sinus-os áramot hoz létre az impedanciákon.

$$i(t) = I_0 \sin(\omega t - \varphi)$$

ahol I_0 [A] az áram csúcserőértéke, φ a feszültséghez képesti fáziskülönbség. Az áram effektív értéke a feszültség effektív értékével analóg módon számítható.

Az általánosított Ohm-törvény értelmében egy adott Z impedancián: $U_{eff} = Z I_{eff}$.

Pozitív irányrendszer: két pont közötti feszültség referencia (pozitív) iránya önkényesen választható és azt a kisebb potenciálúnak feltételezett referenciaponttól a nagyobb pont felé mutató nyíllal, vagy a nagyobb potenciálú pontnál elhelyezett + jellel tüntetjük fel. Egy feszültség akkor pozitív, ha a neki megfelelő térerősségnek a pozitív irány szerinti vonalintegrálja pozitív. Gyakorlatilag ez azt jelenti, hogy a pozitív (körüljárási) iránnyal megegyező polaritású forrás-feszültség (elektromotoros erő), azaz feszültségemelkedés pozitív, a körüljárási iránnyal megegyező irányban folyó (pozitív) áram által okozott feszültségcsökkenés pedig negatív.

3.2. Hurokegyenletek alkalmazása. Ohmos és induktív fogyasztó komplex impedanciája, árama és teljesítménye.

Kirchhoff feszültségtörvénye alapján egy hurok mentén a feszültségek előjeles összege zérus. Egy hurokegyenlet felírása ennek a törvénynek az alkalmazása egy adott hálózatra, jellemzően abból a célból, hogy a hálózat egy ismeretlen paraméterét ezáltal meghatározzuk.

Ohmos és induktív fogyasztó (amilyen például a motor modellje) egy soros R-L tag. Innen következik, hogy komplex impedanciájának szöge pozitív ($\bar{Z} = R + j\omega L$), áramának a feszültségéhez viszonyított szöge negatív ($\bar{I} = \frac{\bar{U}}{\bar{Z}}$), a komplex teljesítményének szöge pedig pozitív.

3.3. Egyfázisú rendszer teljesítmény-fogalmi. Különböző típusú fogyasztók feszültség-áram fazora és teljesítménye.

Az egyes teljesítmény-fajták:

- Pillanatnyi teljesítmény: $p(t) = u(t)i(t)$.
- Pillanatnyi hatásos teljesítmény: $P = UI \cos \varphi$.
- Pillanatnyi meddő teljesítmény: $Q = UI \sin \varphi$.
- Pillanatnyi látszólagos teljesítmény: $S = UI$.
- Komplex teljesítmény: $\bar{S} = \bar{U}\bar{I}^* = P + jQ$.

A különböző típusú fogyasztók impedanciáinak kifejezése, áramuk feszültségükhöz képesti fázisszöge és teljesítménykomponensei:

Fogyasztó	Z	φ	P	Q
Ohmos	R	0°	$P > 0$	$Q = 0$
Induktív	$j\omega L$	90°	$P = 0$	$Q > 0$
Kapacitív	$\frac{1}{j\omega C}$	-90°	$P = 0$	$Q < 0$

3.4. Generátoros és fogyasztói teljesítmény előjelek értelmezése. Teljesítménymérő bekötése a fogyasztói pozitív irány szerint. Generátor, távvezeték és fogyasztó rendszer áramai és teljesítménye.

Generátoros és fogyasztói teljesítmény előjeleinek értelmezése:

Oldal	Generátoros		Fogyasztói	
	Hatásos	Meddő	Hatásos	Meddő
Pozitív	Termelés (betáplálás)	Kapacitív (szolgáltatás)	Fogyasztás (felvétel)	Induktív (nyelés)
Negatív	Fogyasztás (vételezés)	Induktív (nyelés)	Termelés (visszatáplálás)	Kapacitív (szolgáltatás)

Teljesítménymérő bekötése: az áramot a bemenő ágon, a feszültséget a kapcsokon mérjük.

Generátor, távvezeték és fogyasztó rendszer: a távvezeték a dián szereplő példában egy soros, a fogyasztót pedig egy párhuzamos R-L taggal modellezzük. (Ha nem elhanyagolhatóak a távvezeték hullámparamétereinek további komponensei, akkor bonyolultabb modellt kell alkalmazni, a fogyasztó modellje pedig jellegéből adódóan is más lehet.) Legyenek a következő jelölések:

- U_G a generátor feszültsége.
- \bar{I} a kör árama.
- R_V, L_V a távvezeték leképező impedanciák, \bar{U}_V a távvezetéken (tehát az azt leképező soros R-L tagon) eső feszültség.
- R, L a fogyasztót leképező impedanciák, \bar{U} a fogyasztó (tehát az azt leképező párhuzamos R-L tag) kapocsfeszültsége.

A fogyasztót leképező párhuzamos R-L tagon az \bar{I} áram kettéválk: az R -en folyó áram az úgynevezett wattos áram, $\bar{I}_w = \frac{\bar{U}}{R}$, a tekercsen folyó áram pedig a meddő áram, $\bar{I}_m = \frac{\bar{U}}{j\omega L}$. Nemi számítás után a fogyasztó teljesítménye: $\bar{S} = \bar{U}\bar{I}^* = P + jQ = \frac{U^2}{R} - \frac{U^2}{j\omega L} = \frac{U^2}{R} + j\frac{U^2}{\omega L}$.

A távvezetéken $\bar{U}_V = (R_V + j\omega L_V)\bar{I}$ feszültség esik. A teljesítmény-veszteség: $\bar{S} = R_V I^2 + j\omega L_V I^2$.

3.5. Szimmetrikus háromfázisú rendszer jellemzése, áram- és feszültségviszonyai; vonali és fázismennyiségek, csillag és delta kapcsolás.

- Szimmetrikus háromfázisú rendszerben a feszültségek és az áramok fázorjai egymáshoz képest 120° -os szögben látszanak, nagyságuk ugyanakkora. A vonali feszültségek az egyes fázisok egymáshoz viszonyított feszültségei.
- A három fázis áram-fázorainak vektoros összege nulla. Ezért a szimmetrikus háromfázisú rendszer nem igényel visszavezetést, vagy ha van visszavezetés, akkor az árammentes.
- A szimmetrikus rendszert képező három fázisfeszültség fázorainak vektoros összege nulla. Ezért a csillagponti potenciál megegyezik a földpotenciállal.
- A vonali feszültségek is szimmetrikus rendszert képeznek. A vonali feszültség U_v effektív értéke a fázisfeszültség U_f effektív értékének $\sqrt{3}$ -szorososa.

3.6. Szimmetrikus háromfázisú rendszer teljesítmény összefüggései; a meddő teljesítmény értelmezése.

A háromfázisú pillanatnyi hatásos teljesítmény: $P = 3U_f I \cos \varphi$, meddő teljesítmény: $P = 3U_f I \sin \varphi$. A fázisonkénti meddő teljesítmények az egyes fázisok tekercseiben folyó áramhoz tartozó mágneses térben tárolt energiáknak felelnek meg. A szimmetrikus háromfázisú rendszernek az a különleges tulajdonsága, hogy minden pillanatban a felépülő és lebomló terekkel kapcsolatos meddő teljesítmény előjelhelyes összege nulla.

4. Villamosenergia-átalakítók gyakorlati számítási módszerei

4.1. A háromfázisú vektorok módszere

- Definíció. Fizikai bevezetés. Háromfázisú tekercselés térvektora. Térvektor szerkesztése háromfázisú szimmetrikus állapotban.
- A háromfázisú vektor mint transzformáció: pillanatértékek képzése, zérussorrendű mennyiségek kezelése.
- Szimmetrikus állandósult állapot: az idővektor és a térvektor kapcsolata pozitív és negatív sorrendű áramrendszerek esetében.

Ehhez a részhez sajnos nem tudok jobbat / többet / érthetőbbet írni, mint ami itt van:
<http://www.vet.bme.hu/mscfelv/parkvektor.pdf>

5. A transzformátorok működése

5.1. Bevezetés

5.1.1. Példák vasmagos és vasmentes tekercsekre. A transzformátorok jellegzetességei és alkalmazásai.

Vasmagos és vasmentes tekercsek: ha az áramerősség, a menetszám és az alkalmazott térerősség nem különböznek, nagyságrendekkel több vasat tudunk felmágnesezni, mint levegőt, ez a különbség a két anyag permeabilitásának arányából ered. A számítás alapja a következő képlet:

$$B = \mu_0 \mu_r \frac{NI}{l}$$

A vas relatív permeabilitása (μ_r) legyen 10000, a levegőé 1. Az l hosszúságot keressük, a többi paraméter azonos. Ekkor felírhatjuk:

$$\mu_0 \mu_r \frac{NI}{l_{\text{vas}}} = \mu_0 \frac{NI}{l_{\text{levegő}}}$$

Átranzvezve és egyszerűsítve azt kapjuk, hogy

$$\mu_r = \frac{l_{\text{vas}}}{l_{\text{levegő}}}$$

Tehát a példában szereplő értékkel, ugyanakkora gerjesztés mellett 10000-szer olyan hosszú vasszakaszt tudunk felmágnesezni, mint levegő-szakaszt. Ezek alapján érthető, hogy hagyományosan vasmagos tekercselést alkalmazunk a megfelelő nagyságú mágneses tér létrehozása céljából. Ennek a megoldásnak a hátránya, hogy a vas telítődése miatt csak kb. 2T indukcióig alkalmazható. Nagy mágneses terek veszteségmentes előállítására kínálkozó megoldás a szupravezetős tekercsek alkalmazása.

A transzformátorok alkalmazásának oka, hogy a termelés – szállítás – fogyasztás feszültség szintje más és más. A generátorok kapocsfeszültsége 10kV nagyságrendű, a szállítás során a veszteségek minimalizálása érdekében minél magasabb feszültség szükséges, míg a fogyasztók esetében védelmi megfontolásból kis feszültség-értékekre van szükség.

Jellegzetességek:

- Az energiaátviteli transzformátorok feszültség-transzformátorok, azaz feszültségkényszer hatása alatt üzemelnek.
- Fázisszám: háromfázisú rendszerek terjedtek el. Az egységeket vagy három egyfázisú, vagy egy háromfázisú transzformátorból alakítják ki.
- Növekedési törvények: tendenciaszerű összefüggés van érvényben a transzformátorok egységteljesítménye és méretei között.

5.1.2. Növekedési törvények.

- A transzformátorok mágneses és villamos igénybevételei, a mágneses fluxus és a villamos áramerősség a geometriai méretekkel (L) négyzetesen változnak, így a transzformátor névleges teljesítménye (S) a geometriai méretek negyedik hatványával arányos: $S \propto L^4$.
- A súly (G) és a villamos gépek azzal arányos ára (A) arányos a köbtartalommal, tehát: $G \propto A \propto L^3 \propto S^{3/4}$, tehát növekvő teljesítmény mellett csökken a fajlagos súly és a fajlagos ár.
- A vas- és rézvesztések és a mágneses meddő teljesítmény is a súllyal arányosak, tehát a teljesítmény növekedésével a hatásfok is javul.
- A szükséges hűtőfelület nagysága a lineáris méret négyzetével nő, tehát növekvő teljesítmény mellett egyre intenzívebb hűtés szükséges.

5.2. Egyfázisú transzformátorok

5.2.1. Működési elv, a vasmag, a vasvesztés, a tekercselés.

Működési elv: működése során a transzformátor primer oldalán a váltakozó áram a vasmagban változó mágneses fluxust kelt, ami a szekunder áramkörben feszültséget indukál. A szekunder oldalra terhelést kapcsolva megindul a szekunder áram, és ezzel valósul meg az energiaátvitel.

A vasmag:

- Elősegíti, hogy a szükséges mágneses indukciót minél kisebb gerjesztő (mágnesező) áram hozza létre.
- Elősegíti a mágneses fluxus előírt útvonalra történő terelését.
- A vasvesztés csökkentése érdekében lemezelt.
- A kör keresztmetszet minél jobb közelítése érdekében lépcsőzött.

A tekercselés:

- A legegyszerűbb a hengeres tekercselés.
- A tekercsek egymásba vannak tolva a két tekercs közötti szoros csatolás végett.
- Kívül van a nagyfeszültségű, belül a kisfeszültségű tekercs, így könnyebb a szigetelés megoldása.

5.2.2. Fő- és szórt fluxus, az indukált feszültség számítása.

A főfluxus az, amelyik a vasmag középvonala mentén halad, a szórt pedig csak a tekercsek környezetében jelenik meg. Állandósult állapotban az indukált feszültség fazora kifejezhető a hálózati körfrekvencia (ω), a primer és szekunder menetszámok (N_1 és N_2), valamint a főfluxus csúcscértéke (Φ_m) segítségével:

$$U_{1i,\max} = j\omega N_1 \Phi_m$$

$$U_{2i,\max} = j\omega N_2 \Phi_m$$

Sinus-os esetben: $U_{i,\text{eff}} = \frac{U_{i,\max}}{\sqrt{2}}$.

5.2.3. Az ideális transzformátor, a fogyasztói pozitív irányrendszer, feszültség-egyenletek, viszonylagos egységek.

A transzformátor bonyolult fizikai elrendezés. Ideális esetben azonban helyettesíthető egy olyan áramkörrel, amelyben a számítások könnyedén elvégezhetők. Az egyenleteket a fogyasztói pozitív irányrendszerben írjuk fel, ez azt jelenti, hogy a felvett teljesítmény előjele pozitív. Legyen a helyettesítőkapcsolás olyan, hogy az ideális transzformátor mindkét oldalán sorba van kötve egy-egy R-L tag, amelyek a veszteségeket modellezik. U_1 és U_2 legyenek a primer-, illetve szekunder-oldali kapocsfeszültségek, I_1 és I_2 a primer-, illetve szekunder-oldali áramok, $U_{1,i}$ és $U_{2,i}$ pedig az ideális transzformátor primer-, illetve szekunder-oldali feszültségei. Ekkor a feszültségegyenletek:

$$\bar{U}_1 = (R_1 + j\omega L_1)\bar{I}_1 + \bar{U}_{1,i}$$

$$\bar{U}_2 = (R_2 + j\omega L_2)\bar{I}_2 + \bar{U}_{2,i}$$

Relatív egységek: egyes komponensek névleges értékétől való eltérését adják meg százalékban, kis betűkkel jelöljük.

Névleges impedancia definíciója: $Z_{1,n} = \frac{U_{1,n}}{I_{1,n}}$.

A feszültségegyenlet átalakítása relatív egységekre:

$$\frac{U_1}{U_{1,n}} = \frac{R_1 I_1}{U_{1,n}} + \frac{j\omega L_1 I_1}{U_{1,n}} + \frac{U_{1,i}}{U_{1,n}}$$

Innen $\frac{R_1 I_1}{U_{1,n}}$ átalakítása: $\frac{R_1 I_1}{U_{1,n}} \frac{I_{1,n}}{I_{1,n}} = \frac{R_1}{Z_{1,n}} \frac{I_1}{I_{1,n}} = r_1 i_1$. Hasonlóan átalakítható a tekercsen eső feszültség is, így:

$$\bar{u}_1 = (r_1 + j\omega l_1)\bar{i}_1 + \bar{u}_{1,i}$$

$$\bar{u}_2 = (r_2 + j\omega l_2)\bar{i}_2 + \bar{u}_{2,i}$$

5.2.4. Mágneses Ohm-törvény, feszültség-kényszer, a gerjesztések egyensúlyának törvénye, áram-áttétel.

A mágneses Ohm-törvény: $\Phi = \Lambda \Theta$, ahol Φ az adott felület fluxusa, Λ a mágneses vezetőképesség és Θ az adott felületen átfolyó áramok előjeles összege, a gerjesztés.

Feszültség-kényszer: a transzformátor primer oldalához olyan áramkör kapcsolódik, mely a feszültségét „kényszeríti rá” a transzformátorra.

A gerjesztések egyensúlyának törvénye: A transzformátor primer oldali mágnesező árama, amely az üresen járó - terheletlen, tehát nyitott szekunder oldalú - transzformátor vasmagjában ugyanakkora főfluxus hoz létre mint terheléskor a primer és szekunder tekercsek gerjesztései együtt.

Menetszám-, feszültség-, és áram-áttétel definíciója:

- **Menetszám-áttétel:** a transzformátor primer és szekunder menetszámának viszonya. $\frac{N_1}{N_2} = n$

- **Feszültségáttétel:** az indukált feszültségek effektív értékeinek aránya. $\frac{U_{1,\text{eff}}}{U_{2,\text{eff}}} = n$

- **Áramáttétel:** a tekercsáramok effektív értékeinek aránya. $\frac{I_{1,\text{eff}}}{I_{2,\text{eff}}} \approx \frac{1}{n}$

5.2.5. Gerjesztés- és teljesítményinvariancia, redukálási szabályok, az impedancia–elemek nagyságrendjei.

Gerjesztésinvariancia: a feszültség–kényszer miatt a transzformátor eredő gerjesztése a terhelési állapottól közel függetlenül $\Theta_e = N_1 I_1 + N_2 I_2$, vagyis bármelyik áram helyettesíthető, ha a helyettesítő tekercs menetszámát úgy választjuk meg, hogy $N_i I_i = N'_i I'_i$ igaz maradjon. Felhasználva az előbb definiált menetszám–áttételt:

$$N_2 I_2 = N_1 \frac{N_2}{N_1} I_2 = N_1 \frac{1}{n} I_2 = N_1 \frac{I_2}{n} = N_1 I'_2$$

Tehát az N_2 menetszámú tekercs helyettesíthető N_1 menetszámú tekercssel úgy, hogy az eredeti és a helyettesítő tekercs gerjesztései azonosak.

Teljesítményinvariancia: a gerjesztésinvarianciával analóg fogalom, hasonlóan teljesül is:

$$S_2 = I_2 U_2 = (n U_2) \left(\frac{I_2}{n} \right) = U'_2 I'_2$$

Redukálási szabályok: a szekunder oldali mennyiségeket a fentiek értelmében a következő összefüggések alapján alakítjuk át:

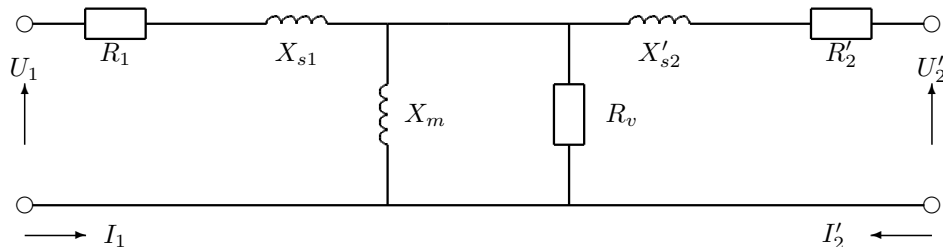
$$U'_2 = n U_2 \quad I'_2 = \frac{I_2}{n} \quad R'_2 = n^2 R_2 \quad X'_{s2} = n^2 X_{s2}$$

Az impedancia–elemek nagyságrendjei:

- A rézveszteségek (tehát a veszteségeket modellező soros R–L tagokból az ellenállások) relatív értéke a fajlagos impedanciához viszonyítva 1..2%.
- A vasveszteség (tehát a veszteségeket modellező soros R–L tagokból a tekercsek) relatív értéke a fajlagos impedanciához viszonyítva viszont 1000% körül van.

5.2.6. A térelméleti helyettesítő kapcsolás, egyszerűsített helyettesítő kapcsolások.

A térelméleti helyettesítő kapcsolás a transzformátor villamos jellemzőinek számításához használható áramkör, amelyben koncentrált paraméterű elemeket szokás figyelembe venni.



Elemek:

- Tekercsellenállások: a primer és szekunder tekercsek ohmos ellenállásai.
- Szórási reaktancia: a primer illetve szekunder tekercsek szórási fluxusát leképező induktivitásokkal számított reaktanciák.
- Főmező reaktancia: a mindkét tekercssel kapcsolódó főmező. A főmező reaktancia értéke jelentősen függ a transzformátor vasmagjának telítési állapotától.
- Vasveszteségi ellenállás: fiktív ellenállás, amelyen keletkező wattos veszteség megegyezik a vasveszteséggel.

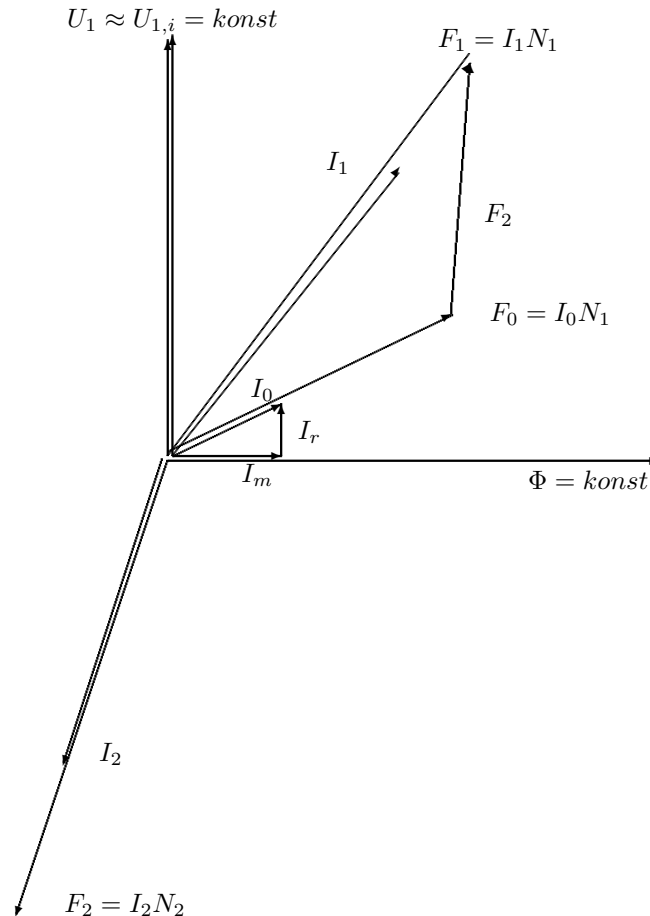
A szekunder oldalon található mennyiségek vesszős jelzése jelöli, hogy a helyettesítő kapcsolást a primer oldalra redukáltuk.

Egyszerűsített helyettesítőkapcsolások:

- Jelek 1-ből ismert „T” és „II” helyettesítőkapcsolások
- Ha a vasveszteség és az üresjárási áram elhanyagolható, akkor „T” helyettesítés függőleges tagját el is hagyhatjuk, a vízszintesen lévő két impedanciát pedig összevonhatjuk.

5.2.7. Fazorábra: üresjárási és terhelési állapot.

Üresjárási állapot:



5.2.8. Feszültség- és áramtranszformátor.

A feszültség-, és áramtranszformátor közti alapvető különbség, hogy a termelői oldalon az előbbi esetben feszültség-, az utóbbiban pedig áramforrás található. Az állandó üresjárási áram kényszere következtében a feszültségtranszformátor esetében a két áram változása a gerjesztések egyensúlyának törvénye szerint „összehangolt”. Az áramtranszformátor esetében a termelői oldali áramkényszere következtében az üresen járó transzformátorban is nagy fluxus indukálódik.

5.2.9. A transzformátor feszültségváltozása. A transzformátor rövidzárási állapota. A drop fogalma.

- A transzformátor feszültségváltozása: a szekunder kapocsfeszültségének megváltozása terhelés hatására, azaz az U_{20} üresjárási és U_2 terhelési kapocsfeszültségek nagyságainak különbsége az üresjárési értékre vonatkoztatva: $\frac{\Delta U}{U_{20}} = \frac{U_{20} - U_2}{U_{20}}$.
- A transzformátor rövidzárási állapota: a szekunder oldalát rövidre zárjuk.
- Drop: a rövidzárási feszültségnek a névleges feszültséghez viszonyított százalékos értéke: $u_z = \frac{U_{zn}}{U_n} \cdot 100\%$.

5.3. Háromfázisú transzformátorok

5.3.1. Származtatás, működési elv, az üresjárási áram aszimmetriája.

Háromfázisú transzformátort legegyszerűbben úgy nyerünk ha 3 darab egyfázisú transzformátor primer és szekunder tekercseit láncoljuk, például csillagba vagy deltába kapcsoljuk. Hiba esetén ilyenkor elég

egy egyfázisú transzformátort cserélni illetve nagy teljesítménynél a szállíthatóság írhatja elő a három különálló gépet.

A használatos magtípus leszarmaztatásához helyezzünk el három lánctípusú egyfázisú egységet szimmetrikusan. A középső oszlop így fluxusmentes lesz. Az egyik oszlopot a másik kettő közé betolva a használatos aszimmetrikus magtípusú háromfázisú transzformátort kapjuk. A középső oszlop rövidebb mágnesútja annak kisebb üresjárási áramát igényli, így az a háromfázisú üresjárási áramrendszer aszimmetriáját idézi elő. Ennek hatásait a továbbiakban elhanyagoljuk.

5.3.2. Aszimmetrikus terhelés, kiegyenlítettlen gerjesztés, a feszültség-rendszer aszimmetriája.

A háromfázisú transzformátorok fázistekercseit csillagba vagy deltába vagy - csak a szekunder oldalon és kizárólag négyvezetékes kommunális fogyasztóknál - zeg-zugba kapcsolják. Problémát elsősorban az egyfázisú kommunális fogyasztók okoznak. A kivezetett csillagponttal úgynevezett négyvezetékes rendszert nyerünk és az egyes fogyasztókat a nullavezeték és egy fáziskapocs közé kapcsolják. A fázisokat az egyes utcák, házak között elosztják. Az egyes fázisok fogyasztói csoportjai nem egyformán terhelik a hálózatot, így aszimmetrikus terheléeloszlás jön létre.

Tételezzük fel az aszimmetria szélső, legrosszabb és legáttekinthetőbb esetét, amikor csak egy fázisban van terhelés. Ekkor a másik két fázisban csak a primer oldalon folyik áram. Így ezeken az oszlopokon az úgynevezett kiegyenlítettlen gerjesztés jelenik meg. Megmutatható, hogy ilyen kiegyenlítettlen gerjesztés jelenik meg a terhelt fázis oszlopán is és mindhárom oszlop kiegyenlítettlen gerjesztése azonos fázisú. Az azonos fázisú gerjesztések három azonos irányú fluxust hoznak létre és azok három 90° -ra szételt egyfázisú feszültséget indukálnak. Ezeket az egyfázisú feszültségeket a transzformátor szimmetrikus szekunder feszültségrendszeréhez hozzáadva teljesen aszimmetrikus kapocsfeszültségrendszert kapunk, ami a fogyasztók szempontjából megengedhetetlen.

5.3.3. Háromfázisú transzformátorok kapcsolásai, órajel, kapcsolási csoport.

Delta – csillag kapcsolás. A primer fázisáram úgy folyik vissza a hálózatba, hogy másik fázistekercsen nem megy keresztül. Így kiegyenlítettlen oszlopgerjesztések nem keletkeznek, a primer oldali delta kapcsolás tehát megoldotta a problémánkat. A primer háromszög kis teljesítmény és nagy primer feszültség esetén előnytelen mert sok menetű primer tekercset csak drága eljárással, drága anyagból lehet készíteni. Ilyenkor például a szekunder oldali zeg-zug kapcsolás lehet a megoldás.

Csillag – zeg-zug kapcsolás. Minden szekunder tekercset két féltekercsre osztunk és azokat úgy kapcsoljuk össze úgy, hogy eltérő oszlopokon elhelyezkedő féltekercsek képezzenek egy fázist. Emiatt mindkét oszlopon kiegyenlített gerjesztéseket találunk.

Kapcsolási jelek. A primer és szekunder fázisfeszültségek között fázisszög eltérés van. A szimmetria viszonyokból kitűnik, hogy a fáziseltolás csak 30° egész számú többszöröse lehet, ezért az óraszámlyappal jellemzik. A szögnek megfelelő óra az úgynevezett jelölőszám. Így egy kapcsolás jele a primer kapcsolás nagybetűjétől a szekunder kisbetűjéből és a jelölőszámból áll (például Dy_05 : primer oldali delta, szekunder oldali csillag, 150° fáziskülönbséggel, a 0 az alsó indexben a csillagpont kivezetést, a nulla (negyedik) vezetékét jelöli). A gyakorlatban elsősorban a 0 és 5 órajelű kapcsolásokat (részben a velük ellenfázisban levő 6 és 11-eseket) alkalmazzák. Párhuzamosan csak olyan transzformátorokat lehet kapcsolni, amelyeknek a szekunder feszültségrendszere azonos nagyságú és fázishelyzetű fázisfeszültségekből áll.

6. Az elektromechanikai átalakítók mágneses tere (Forgó mozgás létesítése)

6.1. A nyomaték-képzés elve, forgó mező létrehozásának célja

Mágneses dipólusra mágneses térben olyan forgatónyomaték hat, mely a dipólust a tér irányának megfelelően állítja be. Amint beállt, a rendszer nyugalomba kerül, formálisan: a nyomaték arányos a nyugalmi helyzettől való szögeltérés sinus-ával. Következmény: ha állandó nyomatékot szeretnénk, akkor a szögeltérést

is állandónak kell tartani. Ezt nyilván úgy lehet elérni, hogy vagy mindkét rész áll, vagy azonos szögsebességgel forog, vagyis a két rész egymáshoz képest nyugalomban van. Jellemző megoldás, hogy egy külső, álló tekercsrendszerrel forgó mágneses mezőt hozunk létre, ami a belső részt forgatja.

6.2. A váltakozóáramú tekercselések elve

A váltakozóáramú tekercselések mindig heteropoláris (váltakozó pólusú) felépítésűek, és a heteropoláris gépek mindig váltakozóáramúak. A tekercsoldalakat a hengeres álló vagy forgórész palástfelületén helyezük el, és a henger egyik homlokoldalán tekercsfejek segítségével kötjük össze, így jönnek létre a menetek, illetve a sokmenetű tekercsek. A tekercsoldalak rögzítésére szolgálnak a fogak és a hornyok: a tekercsek hornyokban történő elhelyezésével csökkenthető az álló és a forgórész közötti légrés.

6.3. Az indukcióvektor értelmezése, körforgó mező

Cél, hogy villamos gépeinkben a térbeli indukcióeloszlás, valamint a feszültségek és áramok időbeli jelalakja a legjobban közelítse a sinus-függvényt, hisz a többfázisú, sinus-os, kiegyenlített rendszerek villamos teljesítménye állandó. *Körforgó mező: lásd a következő kérdést!*

6.4. Villamos gépek mágneses mezői

6.4.1. Állandó, lüktető és forgó mezők.

- Állandó mező: egyenárammal gerjesztett tekercs, vagy tekercsrendszer.
- Lüktető mező: egyfázisú, váltakozó árammal táplált tekercs. Ferraris tétele: a lüktető mező felbontható két, egymással ellentétes irányban, azonos szögsebességgel forgó mezőre, amelyek amplitúdója (hossza) a lüktető mező amplitúdójának fele.
- Forgó mező: legalább két, ideálisan három lüktető mező eredőjeként kapjuk, tehát itt már feltétlenül többfázisú tekercs-, és áramrendszer szükséges.

6.4.2. Forgó mező létrehozása többfázisú tekercsrendszerrel.

Leggyakoribb, természetesen a három fázisú megvalósítás: három tekercs egymástól térben 120° -ra, amiket egymáshoz képest 120° fáziseltérésben lévő áramokkal táplálunk. Létezik még kétfázisú változat is, ekkor a két tekercsnek és az őket tápláló két áramnak is 90° -ra kell lenniük egymástól.

6.4.3. A forgómező tulajdonságai.

1 villamos „fordulat”: a tápfeszültség 1 villamos periódusa (2π), ennek ideje 50Hz frekvenciájú táplálás esetén 20ms. 1 villamos periódus elteltével ismét mágneses északi pólus lesz ott, ahol kiinduláskor az volt. Egy periódus alatt a mágneses mező 2 pólusosztáshoz ($2\tau_p$) fordul el (pólusosztás: két szomszédos mágneses pólus vagy azokat létrehozó tekercs, vezető közötti távolság vagy szögkülönbség).

1 mechanikai fordulat: a forgórész 1 geometriai körbefordulása, 360° . Két pólus esetén 1 villamos fordulat megegyezik 1 mechanikai fordulattal (360°). 4 pólusú (2 póluspár, $p = 2$) mező esetén 1 periódus alatt 180° -os a geometriai elfordulás.

Általános esetben, ha p a póluspárok száma (tehát $2p$ a pólusok száma), akkor egy villamos fordulathoz $\frac{360^\circ}{p}$ geometriai szögelfordulás tartozik.

A villamos és mechanikai szög és szögsebesség kifejezése a póluspárok számának függvényében:

$$\alpha_{\text{mech}} = \frac{\alpha_{\text{vill}}}{p} = \frac{2\pi ft}{p}$$

$$\omega_{\text{mech}} = \frac{\omega_{\text{vill}}}{p} = \frac{2\pi f}{p}$$

ahol $p = 1, 2, \dots$

A szinkron fordulatszám nem függ a fázisszámtól: egy m és egy n fázisú rendszer ekvivalens, ha $\frac{m}{2} B_{m,\text{max}} = \frac{n}{2} B_{n,\text{max}}$, illetve lineáris esetben: $mN_m I_m = nN_n I_n$.

A nyomatékképzés feltétele (alapesetben) az álló és a forgórész pólusszám egyezése. Ez az állórész és a forgórész szinkron fordulatszámainak egyenlőségéből következik.

6.4.4. Szinuszos mezőeloszlás létrehozása.

A légrés-kerület – a hengerfelület – kihasználására úgynevezett elosztott tekercselést használunk. A kerületnek egy fázistekercshez tartozó részén, az úgynevezett fázissávon tehát több – 2-3 – horony helyezkedik el. Számuk

$$q = \frac{Z}{2pm}$$

ahol Z a kerület összes hornyainak, p a póluspárok, m a fázisok száma. A forgó mező az eltoltt hornyokat más-más időben éri el, így az azokban indukált feszültségek eltérő fázisúak. Ha q értékét 1-nél nagyobbra választjuk, a mágneses tér térbeli eloszlása jobban fog ugyan közelíteni a sinus-oshoz, de az indukált feszültség értéke kisebb lesz.

6.4.5. Indukált feszültség számítása. A tekercselési tényező.

Az indukált feszültség számításához először vizsgáljuk egyetlen pólusosztásonyra eső horonypár indukált feszültségét. A mozgási indukció szerint az indukált feszültség pillanatértéke $u(t) = b(x)lvz$, ahol l egy horonypár távolsága, v a mező sebessége és z a teljes vezetősáv. A mező állandó sebessége esetén u időbeli változása követi b térbeli eloszlását. Az effektív érték így $U_{i1} = \frac{U_{\max}}{\sqrt{2}} = \frac{B_{\max}lvz}{\sqrt{2}}$. A $B_{\max} = \frac{\pi}{2} B_k$, a $v = \omega \frac{2\tau_p}{2\pi} = 2\pi f \frac{\tau_p}{\pi} = 2\pi f \tau_p$ és a $z = 2N$ összefüggéseket felhasználva az indukált feszültség értékére a következő kifejezés adódik:

$$U_{i1} = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} B_k l \tau_p f N = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} \Phi_m f N$$

A tekercselési tényező megmutatja, hogy a tekercselés elosztottsága következtében milyen mértékben csökken az (alapharmonikus) indukált feszültség. Számítása:

$$\xi = \frac{U_i}{qU_{i1}} = \frac{\sin\left(q \frac{\alpha_{vill}}{2}\right)}{q \sin\left(\frac{\alpha_{vill}}{2}\right)}$$

ahol U_i az indukált feszültség.

Ennek felhasználásával az indukált feszültség:

$$U_i = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f \xi q N \Phi_m$$

6.5. A frekvencia-feltétel és alkalmazása

6.5.1. A frekvencia-feltétel kifejezése és fizikai tartalma.

Matematikailag az álló-, illetve a forgórész által létrehozott mezők forgási sebességeinek egyezőségét a következő egyenlettel, az úgynevezett frekvencia-feltétellel írhatjuk le:

$$\omega_S = \omega_R + \omega_M$$

ahol ω_S az állórész mező szögsebessége az állórészhez képest, ω_R a forgórész mező szögsebessége a forgórészhez képest, illetve ω_M a forgórész mechanikai szögsebessége (azaz a forgórész szögsebessége az állórészhez képest). Az állórész mező szögsebessége tehát megegyezik a forgórész szögsebességével.

6.5.2. Gépfajták származtatása a frekvencia feltétel alapján

Szinkron gépek. Szinkron gépek esetén az állórészen többfázisú (általában 3) tekercselés helyezkedik el, a forgórészt pedig egyenárammal tápláljuk. Ez utóbbi következtében a forgórész mező a forgórészhez rögzített lesz, azaz $\omega_R = 0$. A frekvencia-feltétel értelmében ekkor $\omega_S = \omega_M$, azaz a forgórésznek az állórész mezővel együtt kell forognia. Emiatt hívják ezt a gépet szinkron gépnek.

Aszinkron gépek. Aszinkron gépek esetében az állórészen többfázisú tekercselés található. A forgórész lehet csúszógyűrűs kialakítású, ekkor 3 fázisú tekercselés található itt is, vagy kalickás. A gép működése a forgórészben indukált feszültség és az általa keltett áramok mágneses mezejének, valamint az állórész mágneses mezejének kölcsönhatásán alapul, így kézenfekvő, hogy a gép csak akkor működhet, ha $\omega_S \neq 0$ illetve $\omega_R \neq 0$. Az állórész mező és a forgórész szögsebességének eltérése miatt nevezzük ezt a gépet aszinkron gépnek. (Az állórész mező és a forgórész mező ebben az esetben is együtt forog!!)

Egyenáramú gépek. Egyenáramú gépek esetén az állórészt egyenfeszültséggel tápláljuk, így az állórész mező térben és időben állandó lesz, azaz ekkor $\omega_S = 0$. A frekvencia-feltétel alapján tehát $\omega_R = -\omega_M$ kell, hogy legyen, azaz a forgórészen váltakozó áramoknak kell folynia úgy, hogy a forgórész mező is álló helyzetben maradjon, azaz a forgórészhez képest a forgórész mező ellentétesen, de azonos sebességgel forog.

7. Az alapvető elektromechanikai átalakítók működési elvei (Szarmaztatása frekvencia-feltételből)

7.1. Szinkron gépek

7.1.1. Háromfázisú szinkron gép felépítése és működési elve.

Láttuk, hogy váltakozóáramú gépeink működésének alapja két szinkron forgó forgómező, képletesen két összetapadt, együttfutó pólusrendszer. Tengelyeik között – a terhelő nyomaték hatására – szögeltérés, szögelfordulás előáll, de állandósult állapotban fordulatszám-eltérés nem lehetséges. A szinkron gép állórészének a hálózatra kötött háromfázisú tekercselése a légrésben szinkron fordulatszámú forgómezőt hoz létre. Az egyetlen forgórész tekercset egyenárammal tápláljuk (lehet állandó mágneses.) A forgórész mező így a forgórészhez képest áll, nyugalomban van, ebből következik, hogy a forgórésznek az állórész mezővel együtt, vagyis szinkron fordulatszámon kell forogni, így abban indukálás, átmágnesezés nincs. Ha fordulatszáma ettől eltér, tehát „kiesik” a szinkronizmusból, akkor üzemenkénté válik.

Az elmondottakból következik, hogy a szinkron gép nem tud indulni, de a generátort a hajtó gép – pl. a turbina – forgatja névleges fordulatra, a motort kalickával indukációs motorként vagy a tápláló inverter nulláról növekvő frekvenciájával kell a szinkron fordulathoz közelébe juttatni. A szinkron fordulathoz elérésekor mind a generátort, mind a motort megfelelő módon kell a hálózatra kapcsolni, szinkronizálni kell.

A szinkron gép lengőképes, lengésre hajlamos rendszer.

Ugyanakkor mivel a forgórész áramok révén „saját” mágneses tere van – azt nem a hálózatról felvett áramkomponensnek kell létesíteni – a szinkron gép képes kapacitív meddő teljesítményt szolgáltatni, azaz úgy viselkedni mint egy kondenzátortelep.

Szokásos a rögzített pólusokkal ellátott forgórészt póluskeréknek, mezejét pólusmezőnek nevezni. Az állórész (háromfázisú) tekercselésének neve armatúra tekercselés, mezeje az armatúra mező. Armatúra tekercselésnek azt nevezzük, amelyben állandósult szimmetrikus állapotban feszültség indukálódik. Bár az armatúra-, és a pólusmező a szinkron gép légréseiben egyetlen eredő mezővé tevődik össze és csak ez mérhető, azonban a két részmező – az azokat létesítő áramok – itt egymástól függetlenül változtathatnak, tehát célszerű a szinkron gépnél a két részmezőben gondolkodni.

Szinkron gépek elsősorban a nagy áramszolgáltató generátorok. A hajtógép gőz-, víz-, vagy gázturbina. A nagy gőzturbinás generátorok 2-4 pólusúak, a vízturbinások gyakran nagy pólusszámúak, lassú fordulatszámúak.

Az állórész tekercselés háromfázisú, elviekben ugyanolyan, mint az indukációs gépeké. Miután a vas igénybevétele a fogak telítődése miatt nem növelhető, a nagy gépek áramsűrűségét, a kerületi áramot kell növelni, amihez erőteljes hűtés: lég-, hidrogén-, illetve vízű hűtés szükséges. Az állórész lemezel. A forgórész két alaptípusa hengeres és a kiálló pólusú változat.

7.1.2. Állandósult nyomaték kialakulásának feltétele. A szinkron fordulatszám.

Az állandósult nyomaték kialakulásának feltétele a gép állandósult állapotának beállta, vagyis a szinkron fordulatszám elérése. Hogy a szinkron fordulatszám micsoda, az meg az elmúlt három kérdésben definiálva lett. (Megjegyzés: ha ide több kéne, akkor sorry.)

7.1.3. Hengeres forgórészű szinkron gép helyettesítő kapcsolásának származtatása.

A helyettesítőkapcsolás egy egyszerű soros feszültségforrás – tekercs tag. A feszültségforrás képviseli a pólus-feszültséget, a tekercs pedig az szinkron reaktanciát, ami az armatúra-reaktancia és a szórás reaktancia komponensekből tevődik össze. Az armatúra-reaktancia az armatúrafeszültség és -áram hányadosaként áll elő: $jX_a = \frac{U_a}{I_a}$.

7.1.4. Pólusfeszültség, armatúrafeszültség és szinkron reaktancia.

A korábban bevezetett jelölésekkel:

- A pólusfeszültség: $U_p = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f \xi q N \Phi_p$.
- Az armatúrafeszültség: $U_a = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f \xi q N \Phi_a$.
- Szinkron reaktancia: $X_d = X_a + X_s$, vagyis az armatúra-reaktancia és a szórási reaktancia összege.

7.2. Aszinkron gépek

7.2.1. Háromfázisú aszinkron gép felépítése és működésének elve.

A háromfázisú aszinkron gépet, más néven indukciós motort nagyon széles körben alkalmazzák. Ennek okai: egyszerűsége, robusztussága és olcsósága. Így az ipar mellett például a nagyvasúti vontatásban is elterjedt. A gép felépítésének alapelve a következő: a háromfázisú állórész üzemben a hálózatra (a tápláló áramirányító) van kötve. A forgórész tekercselt (háromfázisú), vagy kalickás. Üzem közben a forgórész mindig rövidrezárt. A tekercselt forgórész kapcsait indításkor külső ellenállások beiktatására csúszógyűrűkön kivezetik: e változat neve ezért csúszógyűrűs gép. A mókuskalicka alakú – rudakból és azokat két végükön összekötő, rövidrezáró gyűrűkből álló – sokfázisú kalickás forgórész vizsgálatokra háromfázisú – rövidrezárt – tekercseléssel helyettesíthető.

A motor feladata a forgatás. A forgómezőnek a forgórészrel – itt a forgórész áramokkal – nyomatékot kell létesíteni. Az aszinkron gép forgórészébe galvanikusan nem vezetünk áramot, ez a rövidzárás miatt nem is lehetséges. Hogyan jön hát létre a nyomaték? Induljunk ki a forgórész nyugvó állapotából. Az állórész forgó mezeje a forgórész vezetőiben indukálással áramokat hoz létre. Innen a gép egyik neve. Az indukált forgórész áramok a forgómezővel Biot-Savart törvénye szerint kerületi erőket, összességükben a forgórész nyomatékot (az indító nyomatékot) hozzák létre. A forgórész felgyorsul, majd a gép és a terhelés nyomatékainak egyensúlyánál beáll az állandósult egyensúlyi állapot. Szinkron forgás nem lehetséges, mert ekkor nincs forgórész indukálás. A gép tehát csak aszinkron üzemre képes, innen ered a másik neve.

A forgórész áramok is létrehozhatnak egy forgó mezőt. A két mező a légrésben eredő mezővé egyesül, de a nyomatékképzés szemléletes képét nyerjük ha azt két összetapadt pólusrendszer hatásának tekintjük. A terhelő nyomaték hatására közöttük szögelfordulás keletkezik – az erővonalak megnyúlnak – de fordulatszám-eltérés nem lehetséges, mert akkor csak zérus középértékű lüktető nyomaték keletkezik. Az együttforgás feltétele az álló- és forgórész pólusszámok egyezése is.

7.2.2. Állandósult nyomaték kialakulásának feltétele.

Állandósult nyomaték kialakulásának feltétele, hogy a forgórész mechanikai fordulatszáma az állórész mező fordulatszámánál kisebb legyen.

7.2.3. Csúszógyűrűs és kalickás forgórész. A szlip és a szlipfrekvencia fogalma.

Csúszógyűrűs forgórész. A csúszógyűrűs vagy tekercselt forgórész ugyanolyan póluspárszámú tekercselést tartalmaz, mint az állórész. A forgórész tekercselés áramának kivezetésére szolgál a gép tengelyére szigetelten felerősített 3 csúszó kontaktus, 3 csúszógyűrű.

Kalickás forgórész. A kalickás tekercselés általában a (hornyokban) szigetetlen vezetőrudakból és a rudakat a forgórész vastest két homloklfelületén összekötő rövidrezáró gyűrűkből áll.

Szlip. Forgassuk a forgórészt a mezővel egyirányban, de kisebb fordulatszámmal ($n < n_1$). A mező indukcióvonalai ekkor a forgórészvezetőket a lemaradási, vagy csúszási, angolból átvett szóval szlip fordulatszám szerint metszik ($n_2 = n_1 - n$). Ennek n_1 -re vonatkoztatott, viszonylagos értékét nevezik csuszamlásnak vagy szlipnek:

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{n_1 - n}{n_1} = s$$

A forgórész- és állórész frekvenciák aránya:

$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{n_2 p_2}{n_1 p_1}$$

De mivel tudjuk, hogy az állórész és forgórész pólusszámának egyenlőnek kell lennie, így adódik, hogy:

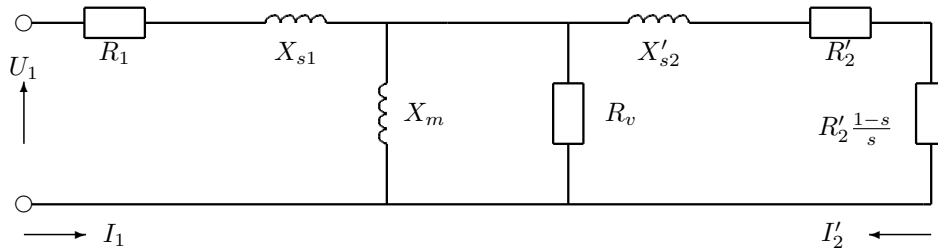
$$\frac{f_2}{f_1} = \frac{n_2}{n_1} = s$$

Ebből a slip-frekvencia:

$$f_2 = s f_1$$

7.2.4. Helyettesítő kapcsolás, redukálás

Megmutatható, hogy az aszinkron gép egy $R'_2 \frac{1-s}{s}$ ellenállással terhelt transzformátorra vezethető vissza.



Elemi:

- A tekercselések ohmos ellenállásai, szórási reaktanciái.
- A légrés által képzett ohmos ellenállás és reaktancia.
- A transzformátort terhelő impedancia helyén az aszinkron motor mechanikai terhelését leképező ellenállás.

A szekunder oldalon található mennyiségek vesszős jelzése jelöli, hogy a helyettesítő kapcsolást a primer oldalra redukáltuk. Ez azt jelenti, hogy a szekunder oldali mennyiségeket a következő összefüggések alapján alakítottuk át:

$$U'_2 = n U_2 \quad I'_2 = \frac{I_2}{n} \quad R'_2 = n^2 R_2 \quad X'_{s2} = n^2 X_{s2}$$

7.2.5. Energiamérleg

A hálózathoz felvett $P_1 = 3U_1 I_1 \cos \varphi_1$ primer-hatásos teljesítményből az állórészben hővé alakul a $P_{t1} = 3I_1^2 R_1$ tekercsveszteség és a $P_v = \frac{3U_{1i}^2}{R_v}$ vasvesztés. A gép fontos jellemzője a forgórészbe átmenő légrésteljesítmény $(P_l = 3I_2^2 \frac{R'_2}{s})$ amely nagyobb részben a P_m mechanikai, kisebb részben a P_{t2} forgórész tekercsveszteséggé alakul. Kifejezéseiket az ábrából lehet leolvasni: $P_m = (1-s)P_l$, illetve $P_{t2} = sP_l$. Ez a szigorúan kötött felosztás a gép vastörvénye, amely P_{t2} és P_m arányát a slip-pel megszabja és amely megköveteli, hogy s legyen kicsi. A leadott P_t tengelyteljesítmény a P_m mechanikai teljesítménynél a P_s csap- és légsúrlódási veszteséggel kisebb: $P_t = P_m - P_s$.

7.2.6. Légrésteljesítmény, nyomaték számítása

Légrésteljesítmény: $P_l = 3I_2^2 \frac{R'_2}{s}$, mint ahogy azt az előbb beláttuk. A nyomaték kifejezése a légrésteljesítménnyel: $M = \frac{P_m}{\Omega} = \frac{P_l(1-s)}{\Omega_0(1-s)} = \frac{P_l}{\Omega_0} = \frac{3I_2^2 R'_2}{s\Omega_0}$, ahol $\Omega = \frac{\omega}{p}$ a mechanikai szögsebességet jelöli.

7.3. Egyenáramú gépek

7.3.1. Egyenáramú gép felépítése és működési elve.

Az állórészen egyenáramú gerjesztőtekercesek helyezkednek el, amelyek körbefogják a főpólusok törzseit. A gép forgórészen egyenáramú tekerceselés helyezkedik el. A tekerces végei a kommutátorra vannak kivezetve, amely a keféken keresztül csatlakozik a gép kapcsaihoz.

Ha a tekercsben áram folyik, körülötte mágneses mező létesül, amely igyekszik az állórész mező irányába állni. A forgórész a kommutátorral együtt forog, a kefék az állórészhez rögzítettek, és a kommutátor egymástól elszigetelt lemezein csúsznak. Minden fél fordulatonál a stabil helyzet elérésekor a kommutátor megfordítja a tekercsben folyó áram irányát, így a forgás folytatódik.

Ezen egyszerű motor nagy problémája, hogy az általa szolgáltatott nyomaték a forgórész pozíciójának függvényében kétoldalasan egyenirányított sinus-hullámnak megfelelően változik, és így van nulla helyzete is, amikor a gép nem tud elindulni.

A gép természetesen generátorként is tud működni. Ha a tengelyt forgatjuk, a forgórész tekercesekben szinuszos váltakozó feszültség indukálódik. Mivel azonban a kommutátor a tekercs végeit félperiódusonként felcseréli, ezért a gép kapcsain kétoldalasan egyenirányított sinus-hullámot kapunk.

Az előbbieket alapján azt is észrevehetjük, hogy a kommutátorszeletek elhelyezése a tekercesekhez képest nem közömbös. Az elhelyezés a gép teljesítménye szempontjából akkor ideális, ha a tekercesek kapcsainak felcserélése motor esetében „nyomaték nulla”, illetve generátor esetében „indukált feszültség nulla” átmenetnél történik. E két pozíció egybeesik. Amennyiben a kommutátort vagy a keféket elforgatjuk, úgy a póluscseré nem nullátmenetben történik, és így a nyomaték, illetve az indukált feszültség középértéke csökken, ezzel csökken a gép teljesítménye is.

7.3.2. Elektronikus kommutáció elve.

Az egyenáramú motorok forgórészebe kívülről jut be az áram a kommutátoron keresztül. A kommutátor szerepe az, hogy a forgórészen átfolyó áram az egyenletes forgatónyomaték elérése érdekében külső rendszerből nézve a forgás ellenére állandó mintázatot hozzon létre (azaz az árammintázat a forgórészsel együttforgó rendszerben a motor forgási frekvenciáján körbefordul). Amennyiben nem ezt tennék (például ha a forgórészt egy állandó mágnessel helyettesítenék), a motor körforgás helyett csillapodó rezgőmozgásba kezdene.

7.3.3. Kommutátor felépítése és működése, a mágneskör részei.

A kommutátor a motor végén egy hengerpalástot alkot, mely sok egymástól elszigetelt szeletből áll össze (úgynevezett „kommutátorszeletből”), melyhez a forgórész vezetőhurkainak vége csatlakozik (egy szelethez több vezetőhurok is). A külső rendszerből nézve állandó árammintázat úgy jön létre, hogy az áram hozzá- és elvezetését egy-egy kívülről a kommutátor palástján végigcsúszó szénkefén keresztül oldják meg.

7.3.4. Indukált feszültség és nyomaték számítása.

Jól megépített egyenáramú gépek U_i indukált feszültsége és M nyomatéka egyenesen arányos az ω mechanikai szögsebességgel és az I_a armatúrárárammal:

$$U_i = k\Phi_a\omega$$

$$M = k\Phi_a I_a$$

ahol k a gépre jellemző állandó és Φ_a az állórész által az armatúrában létrehozott fluxus.

7.3.5. Helyettesítő kapcsolás származtatása, a legfontosabb üzemi karakterisztikák.

Ez a legegyszerűbb az összes alapvető géptípus közül, mert egy soros feszültségforrás – ellenállás taggal modellezhető. A feszültségforrás feszültsége az indukált feszültség (U_i), az ellenállás (R_a) az armatúrában fellépő veszteségeket modellezi. A kapcsolásfeszültség tehát:

$$U_k = U_i + R_a I_a$$

A fenti három egyenlet alapján az egyenáramú motor mechanikai szögsebessége a terhelőnyomaték függvényében:

$$\omega = \frac{U_k - R_a I_a}{k\Phi_a} = \frac{U_k}{k\Phi_a} - \frac{R_a M}{(k\Phi_a)^2}$$

7.3.6. Kapcsolási módok, a legfontosabb üzemi karakterisztikák.

Kapcsolási módok:

- Külső gerjesztés esetén a gerjesztő tekercset független áramforrás táplálja.
- Párhuzamos-, vagy sönt-gerjesztés esetén a gerjesztő tekercs az armatúra tekercsel párhuzamosan,
- Soros gerjesztés esetén az armatúra tekercsel sorosan kapcsolva.
- Vegyes gerjesztés esetén a gép sönt-, és soros tekercsel egyaránt el van látva. A nagyobb gerjesztést a soros tekercs adja. A sönttekercs gerjesztése a soros tekercs gerjesztésével megegyezhet (kompaund gerjesztés), de lehet azzal ellentétes is (antikompaund gerjesztés).

Legfontosabb üzemi karakterisztikák:

- Sebességi jelleggörbe: $n(I_a) = \frac{U_k}{k_u \Phi_a} - \frac{R_a}{k_u \Phi_a} I_a$, ahol k_u a gépállandó egy másik alakja, hiszen itt nem a körfrekvenciát, hanem a fordulatszámot használtuk.
- Nyomatéki jelleggörbe: $M(I_a) = k\Phi_a I_a |_{\Phi_a = \text{konstans}}$.
- Mechanikai jelleggörbe: $n(M) = \frac{U_k}{k_u \Phi_a} - \frac{R_a}{k k_u \Phi_a^2} M$.

7.3.7. Külső gerjesztésű egyenáramú motor jelleggörbéi

- A sebességi karakterisztika az n_0 üresjárási fordulatszámától enyhén csökken, majd egy bizonyos I_n áram érték felett megszalad felfelé.
- A nyomatéki karakterisztika majdnem $y = x$ jellegű egyenesként megy nagyjából ugyanaddig az I_n értékig, afelett elkezd elhalni a nyomaték.
- *A mechanikai karakterisztika jellegéről nem találtam infót.*

8. Elektrotechnikai környezetvédelem

8.1. Elektromágneses kompatibilitás (EMC)

8.1.1. Melyek az EMC legfontosabb területei? Mutasson be egy-egy jellegzetes példát a legfontosabb területekre!

- Kisfrekvenciás hatások, pl. távvezetékek terének hatásai.
- Elektromágneses impulzusok, pl. villámcsapás.
- Elektrosztatikus kisülések, pl. gyúlékony anyagok, nyomtatott áramkörök és félvezetős eszközök védelme.
- Rádiófrekvenciás hatások, pl. mobiltelefonok élettani hatásai.

8.1.2. Mutassa be az elektrosztatikus feltöltődések és kisülések okozta legfontosabb veszélyeket!

- A kisülés hatására tűz üthet ki, vagy robbanás történhet. Ezért nem szabad a benzinkúton mobiltelefont használni, mert ha feltöltődünk, begyűjthetjük a benzint, ahogy a tanksapkánál matatunk.
- Félvezetős, integrált áramköri elemeket tönkretelhet egy kisülés.
- Ha elég nagy energiájú egy kisülés, sérülést, vagy akár halált is okozhat.

8.1.3. Milyen eszközöket használunk a primer és a szekunder villámvédelemben?

- Primer (külső) védelem: villámhárító
- Szekunder (belső) védelem: másodlagos hatás (elektromágneses villámimpulzus) ellen. Védelmek az alkalmazás közegének függvényében:
 - Közvetlen villámcsapásnak kitett helyen (pl. antenna, távvezeték): földelés direkt módon vagy szikraközön keresztül.
 - Nincs közvetlen villámcsapás-veszély, de a villám elektromágneses erőtere csillapítatlanul létrejön (pl. földkábel): varisztor.
 - A villám elektromágneses erőtere csillapítva lehet, az áram korlátozva van: szupresszor dióda.

8.1.4. Milyen területekkel foglalkozik a nem-ionizáló sugárzások elleni védelem?

Elektromágneses környezetvédelem egyik legfontosabb területe: biológiai hatások. 10^{15} Hz felett (UV-től) ionizálók a sugárzások. A nem-ionizáló sugárzásokkal kapcsolatban felmerülő legfontosabb kérdések:

- Hozzájárulnak-e a rák kialakulásához?
- Hatással van-e a szaporodásra vagy a fejlődésre?
- Léteznek-e neurobiológiai hatásai?

8.1.5. Hasonlítsa össze az embert érő közvetlen villámcsapás és az embert érő elektrosztatikus kisülés veszélyességét!

- Közvetlen villámcsapás: hatalmas feszültség és áram, nagyon kis ideig jelenik meg a testen. Az áram nem hatol be a testbe, a testfelszínen égési sérüléseket okoz. A közvetlen villámcsapás általi halál közvetlen okozója a szív-, vagy légzésbénulás. Orvosi segítség nélkül 10%, azonnali orvosi segítséggel 50% a közvetlen villámcsapás túlélésének esélye.
- Az elektrosztatikus kisülések inkább közvetett veszélyt jelentenek az emberre nézve. Képesek tüzet, illetve robbanást okozni, de a hétköznapi életben ritkán adódik olyan elrendezés, amelyben az emberre is veszélyes mennyiségű töltés halmozódhatna fel.

8.2. Szigetelések

8.2.1. A biztonsági tényező és használatos értékei.

Szigetelésekben a szigetelőanyagokat csak a tényleges villamos szilárdságuknál, teherbírásuknál kisebb igénybevételekkel szabad terhelni, hogy a szigetelésnek kellő üzembiztonsága legyen. Ezt a biztonságot a biztonsági tényezővel jellemezzük.

- A látható biztonság a próbafeszültségen és az üzemfeszültségen fellépő igénybevétel (térerősség), illetve a megfelelő feszültségek hányadosa. A próbafeszültségek nagyságának rögzítésével ennek az értéke adódik, tehát nem kell megválasztani.
- A látszólagos biztonság a méretezéskor alapul vett átütési szilárdság és az üzemi igénybevétel, ill. az átütési- vagy átívelőfeszültség és az üzemi feszültség viszonya. A szigetelések méretezése során általában ezzel a biztonsági tényezővel számolunk.
- A valódi biztonság a tényleges átütési- vagy átívelőfeszültség és az üzemi feszültség hányadosa. Üzemben lévő készülékek szigetelésének valódi biztonságát az átütéssel szemben csak a szigetelés átütésével (tehát tönkretételével) lehet meghatározni.

A biztonsági tényező jellemző értékei ipari frekvencián,

- gáz közegben: 1.2 ... 2.0,
- folyadékban: 1.5 ... 3.0,

- szilárd közegben: 2.0 ... 5.0,

illetve lökőfeszültségen:

- gáz közegben: 1.0 ... 1.5,
- folyadékban: 1.0 ... 2.0,
- szilárd közegben: 2.0 ... 3.0,

8.2.2. A szigetelések alaptípusai, példák.

- Beágyazott szigetelés: a külső szigetelő borítás alatt minden egyes kábel-ér külön szigetelt. Például hétköznapi, normál kábelek.
- Részben beágyazott szigetelés: egy erű kábelek esetében alkalmazzák: a kábel-ér szigetelését egy vékony külső réteg borítja.
- Támszigetelés: az előzőekkel ellentétben csak két különböző feszültség szinten lévő rész egy pontban való elszigetelésére való, nem pedig egy vezető hosszában végig tartó szigetelésre. Külső felülete gyakran bordázott, hogy a felületén bekövetkező átütés valószínűségét csökkenteni lehessen. Példa: távvezeték, vasúti felsővezeték tartókábelainél, villamos mozdony áramszedőjének tartóbakjainál lehet látni ilyeneket.

8.2.3. A polarizáció és fajtái.

A polarizáció két definíciója:

- A kötött töltések felületi sűrűsége. $P = \frac{Q_k}{A} = \sigma_k$.
- A térfogategységre jutó dipólmomentum. $P = \frac{M}{V}$.

Fizikai tartalom:

- Makroszkopikusan: külső villamos tér hatására a közeget alkotó molekulák „beállnak” a tér irányába.
- Mikroszkopikusan:
 - Az elektronok eltolódása a tér irányának megfelelően.
 - A szilárd anyag molekulárácsában lévő ionok a tér irányába mozdulnak, deformálva ezzel a rácsot.
 - Vannak olyan molekulák, amelyek külső tér nélkül is polárosak (pl. víz).

8.2.4. A szigetelőanyagok helyettesítő kapcsolása. A veszteségi tényező a szigetelőanyagok egyszerűsített fázorábráján.

Helyettesítőkapcsolás: egy szigetelés egyszerűen egy soros, vagy egy párhuzamos R–C taggal helyettesíthető, ahol az ellenállás adja meg a szigetelési ellenállás értékét, a kapacitás pedig az adott anyag geometriájából adódó kapacitását modellezi.

Veszteségi tényező: megmutatja, hogy a szigetelőn folyó áram fazora mekkora szöget zár be az ideális (végtelen szigetelési ellenállású) állapotot reprezentáló áramfazzorral. Ezen szög tangensét nevezzük veszteségi tényezőnek.

8.3. Áramütés, érintésvédelem

8.3.1. A háztartásban és az iparban fellépő áramütések veszélyei az emberi szervezetre.

Már a háztartásban jelen lévő alacsony feszültség érintése is tud súlyos, akár halállal végződő baleseteket okozni. Égési sérüléseket jellemzően az a beteg szenved, aki olyan feszültséget érint, hogy izomgörcs következik be nála és a vezetékkel, berendezést nem tudja elengedni. Ekkor a hosszú behatási idő miatt különösen megnövekszik a szívproblémák valószínűsége is.

A balesetek és halálesetek egy bizonyos része viszont nem a villamos áram közvetlen fiziológiai hatásai miatt következik be, hanem az áramütés járulékos következményei miatt (például létrán villanyt szerelő ember az áramütés hatására leesik). Nagyon sok baleset és haláleset megelőzhető laikus segítségnyújtással (például izomgörcs miatt a vezetékkel elengedni képtelen beteget egy szigetelő tárggyal kihúzni az áramkörből, baleset esetén mentőhívás,...).

8.3.2. A villámcsapások és az ipari áramütések okozta veszélyek hatása az emberi szervezetre.

A nem hétköznapi, nagy feszültségek és áramok bizonyos szempontból új veszélyeket rejtenek. A betegen disszipálódó villamos teljesítmény növekedésével egyre nagyobb valószínűséggel...

- ...egyre súlyosabb égési sérülés veszélye áll fenn.
- ...súlyos izomgörcs lép fel, ami, ha a légző-, vagy szívizmokat érinti, gyakorta halálos kimenetelű.
- ...lép fel kamrai fibrilláció.

Ipari környezetben a karbantartási, szerelési, stb. műveletek szigorú biztonságtechnikai protokollokhoz vannak kötve, ez jelentősen csökkenti a baleset kockázatát.

Villámsújtotta ember esetében szinte biztosan fellépnek az életet veszélyeztető izomgörcsök és szívproblémák, ezért a laikus elsősegélynyújtó elsődleges feladata az újjáélesztés megkezdése és a mentőhívás.

8.3.3. Törpefeszültség alkalmazásának indokai.

Testzárlat esetén se léphessen fel az érintési feszültség megengedett határértékénél nagyobb érintési-, vagy lépésfeszültség, és egyidejűleg gondoskodnak a törpefeszültségnél nagyobb feszültségű rendszerekből történő feszültség áthatolás veszélyének elhárításáról is. A törpefeszültség elhárítására leggyakrabban biztonsági transzformátort, illetve biztonsági tápegységet használnak.

8.3.4. Az elektrosztatikus eredetű kisülések veszélyei az emberi szervezetre.

Az elektrosztatikus kisüléseknek elsősorban közvetett veszélyei vannak az emberre: egy ilyen kisülés ritkán hordoz akkora teljesítményt, hogy az közvetlenül veszélyes lenne, valamint a behatás ideje is rövid. De ettől még az elektrosztatikus kisülések rejtenek magukban veszélyeket: tüzet okozhatnak, tönkretelhetnek érzékeny számítástechnikai eszközöket.

8.3.5. Az emberi test ellenállását meghatározó tényezők.

Az emberi test ellenállása egyénenként és esetenként változik, a frekvenciától, az áramúttól, a behatás idejétől, az adott ember aktuális és általános fiziológiai paramétereitől, stb. függ. Egy ember ellenállása általában $1k\Omega$ -al becsülhető.

8.3.6. Élettani hatások alapján megállapított érintésvédelmi határértékek.

Hálózati frekvenciás áramok esetében:

Áramerősség-tartomány [mA]	Hatás
0.5 — 1	Érzetküszöb
1.6 – 15	Erős rázásérzet
20 – 25	Izomgörcs
25 – 80	Szabálytalan szív működés, kamrai fibrilláció
100 felett	Agyhalál

Megjegyzés: nem tudom, ez kell-e ide.

8.3.7. A kamrai fibrilláció.

A kamrafibrilláció során gyors, szabálytalan elektromos impulzusok futnak keresztül a kamrán, ami ez által teljesen eredménytelenül össze-vissza rángatózik, és nem pumpálja a vért. A hatástalan szívverés nélkül a vérnyomás leesik, az életfontosságú szervek vérellátás nélkül maradnak. A legtöbb beteg pár másodpercen belül elveszti az eszméletét, és azonnali újraélesztésre szorul. Abban az esetben, ha a beteg újraélesztését elkezdik és fenntartják addig, amíg egy defibrillátor segítségével a szívritmust helyre nem állítják, az életkilátások jók lehetnek. Azonnali újraélesztés vagy defibrillálás nélkül pár perc alatt beáll a halál.

A villamos áramütések gyakori következménye a kamrafibrilláció, ami ráadásul nem csak közvetlenül az áramütést követően léphet fel, hanem akár 10 perccel később is. Éppen ezért az áramütést szenvedett betegeket a mentők mindig kórházba szállítják, valamint ezért kell minden laikus elsősegélynyújtónak mentőt hívni egy áramütést követően látszólag panaszmentes beteghez.

8.3.8. A lépésfeszültség fogalma.

Az a potenciálkülönbség, amely egy ember két lába között megjelenik egy lépés során. A legtipikusabb példa, amiért érdemes erről beszélni, a földzárlatos távvezeték esete: a leszakadást követő pillanatokban, annak helyétől távolodva csökkenő villamos térerősség jelenik meg ott, ahol az ember is van. Kialakulhat olyan helyzet, hogy a leszakadt távvezetékeltől távolodni próbáló ember akkorát lép, hogy a távvezeték villamos terében elegendően nagy távolságot hidal át ahhoz, hogy áramütés érje.

8.3.9. Érintésvédelmi módszerek.

Az önműködő kikapcsoláson alapuló (védővezető) érintésvédelmi módok:

- TT (közvetlenül földelt) – az R, S, T fázisvezetők és az N nullavezető a táptranszformátor csillagponti kivezetésénél, a PE védővezetőt pedig másutt közvetlenül földelik.
- TN (nullázás) – ebben az esetben az N és a PE lehet közös. Hogy mekkora részen közös a két vezeték, azt a következő pontban tárgyalt altípus határozza meg.
 - TN-C – a PE és N szerepét végig ugyanaz a vezeték tölti be, ennek neve PEN. Ott alkalmazzák, ahol a közműhálózatot üzemeltető áramszolgáltató ehhez hozzájárul, illetve a PEN vezeték 10 mm²-nél nagyobb keresztmetszetű.
 - TN-S – a PE és N két külön vezeték, de mindkettő a táptranszformátor csillagponti kivezetésénél van földelve. Nem alkalmazzák, mert egy áramszolgáltatónak sincs hangulata kiépíteni a külön PE-t az erőműtől minden egyes fogyasztóig.
 - TC-C-S – az előbbi kettő kombinációja: egy szakaszon közös a két vezeték, majd utána szétágaznak. Ez a leggyakrabban alkalmazott megoldás: az erőműtől például az épületig, vagy a fogyasztásmérőig közös a PE és az N, ott pedig szétválak.
- IT (közvetlenül nem földelt) – a TT és TN rendszerek esetében földzárlat esetében nem tartható fenn az üzem. IT-rendszer esetében az ellátás folyamatos tud lenni, mert a táptranszformátor csillagponti kivezetése egyáltalán nincsen, vagy egy ellenálláson keresztül, közvetetten van leföldelve.

A fenti rendszerek közös jellemzője, hogy a villamos berendezések testjeit földelt védővezetővel (jele: PE) kötik össze és a tápláló áramkört automatikusan kikapcsolják, ha a PE veszélyes érintési feszültségre kerül.

8.3.10. Magyarországon használatos feszültség szintek.

- 750 kV: az Ukrán határtól Albertirsáig
- 400 kV: az országos alap hálózat
- 200 kV: az országos alap hálózat

- 100 (120) kV: az országos alap hálózat
- 25 kV: vasúti vontatás
- 20 kV: főelosztó hálózat
- 10 kV: főelosztó hálózat
- 2 kV: elosztó hálózat
- 1 kV: elosztóhálózat hálózat
- 0.4 kV: elosztói hálózat

Feszültség szintek elnevezései:

- Törpefeszültség: $U < 50 \text{ V}$
- Kisfeszültség: $50 < U < 1 \text{ kV}$
- Középfeszültség: $1 \text{ kV} < U < 100 \text{ kV}$
- Nagyfeszültség: $100 \text{ kV} < U$

8.3.11. Feszültség alatti munkavégzés.

Feszültség szintek.

Munkamódszerek.

Középfeszültségű szabadvezetéken végzett FAM tevékenységek.

Középfeszültségű alállomásokon végzett FAM tevékenységek.

Személyi védőeszközök, céljai.

9. Elektrotechnikai alkalmazások és fejlődési trendek

9.1. Épületinformatika

9.1.1. Érintésvédelmi rendszerek.

Az önműködő kikapcsoláson alapuló (védővezető) érintésvédelmi módok:

- TT (közvetlenül földelt) – az R, S, T fázisvezetők és az N nullavezető a táptranszformátor csillagponti kivezetésénél, a PE védővezetőt pedig másutt közvetlenül földelik.
- TN (nullázás) – ebben az esetben az N és a PE lehet közös. Hogy mekkora részen közös a két vezeték, azt a következő pontban tárgyalt altípus határozza meg.
 - TN-C – a PE és N szerepét végig ugyanaz a vezeték tölti be, ennek neve PEN. Ott alkalmazzák, ahol a közműhálózatot üzemeltető áramszolgáltató ehhez hozzájárul, illetve a PEN vezeték 10 mm²-nél nagyobb keresztmetszetű.
 - TN-S – a PE és N két külön vezeték, de mindkettő a táptranszformátor csillagponti kivezetésénél van földelve. Nem alkalmazzák, mert egy áramszolgáltatónak sincs hangulata kiépíteni a külön PE-t az erőműtől minden egyes fogyasztóig.
 - TC-C-S – az előbbi kettő kombinációja: egy szakaszon közös a két vezeték, majd utána szétágaznak. Ez a leggyakrabban alkalmazott megoldás: az erőműtől például az épületig, vagy a fogyasztásmérőig közös a PE és az N, ott pedig szétválik.

- IT (közvetlenül nem földelt) – a TT és TN rendszerek esetében földzárlat esetében nem tartható fenn az üzem. IT-rendszer esetében az ellátás folyamatos tud lenni, mert a táptranszformátor csillagponti kivezetése egyáltalán nincsen, vagy egy ellenálláson keresztül, közvetetten van leföldelve.

A fenti rendszerek közös jellemzője, hogy a villamos berendezések testjeit földelt védővezetővel (jele: PE) kötik össze és a tápláló áramkört automatikusan kikapcsolják, ha a PE veszélyes érintési feszültségre kerül.

9.1.2. Az épületek biztonságos energiaellátását veszélyeztető hatások. Feszültségváltozás, -letörés és kimaradás, túlfeszültség.

- Feszültségváltozás: a mérhető feszültség észrevehetően, de nem számottevően, a névleges érték $\pm 10\%$ -os környezetében változik meg.
- Feszültség-letörés: a mérhető feszültség erősen csökken, a névleges érték 10..90%-a közé kerül.
- Feszültség-kimaradás: a mérhető feszültség a névleges érték 10%-a alá csökken. Rövid idejű, ha az üzemzavar 1 percnél kevesebb, tartós, ha 1 percnél hosszabb ideig tart.
- Túlfeszültség – legköri, vagy kapcsolási jelenségekből adódnak.

9.1.3. Az épület fogyasztóinak osztályozási elvei. Szünetmentes energiaellátás.

Fogyasztók osztályozása:

- Szünetmentes fogyasztó: kiesési idő majdnem 0. Pl.: központi számítógép, adatátviteli hálózat aktív elemei, biztonsági-, tűzjelző hálózatok, telefon, fax.
- Szükségellátást igénylő fogyasztók: kiesési idő: kb, 1 perc. Pl.: hűtőgépek, inverter klímák, biztonsági világítás, kazánvezérlő automatikák.
- Normál üzemi ellátású fogyasztók: kiesési idő: az áramszolgáltatók belső szabályzatában meghatározottak szerint. Pl.: világítás, konnektorok, hőtechnikai fogyasztók.

Szünetmentes energiaellátás eszközei:

- Statikus átkapcsoló
- Váltakozó áramú szünetmentes tápegységek (UPS – Uninterruptible Power Supply) – statikus, vagy dinamikus

UPS-ek feladatai:

- Átmeneti hálózatkimaradások áthidalása
- Feszültségcsökkenés, -növekedés szűrése
- Hálózat felől érkező zavar, zaj szűrése
- Frekvenciaingadozás csillapítása

9.1.4. A mesterséges villamos rendszerek egymásra hatásának csatolási módjai.

- Konduktív
- Kapacitív
- Induktív

9.1.5. Épületinformatikai rendszerek.

- Vagyonvédelmi rendszerek
 - Tűzvédelmi rendszerek
 - Betörés elleni rendszerek
- Épületautomatikai rendszerek
 - Világítás, árnyékolás
 - Fűtés, klíma
 - Terhelés–management
 - Felügyelet és visszajelzés
- Ipari folyamatautomatizálás

Az épületinformatikai irányítórendszer nagyon komplex és sok alrendszert foglal magába:

- Irányított rendszer – villamosenergiaellátás, épületgépészet, vagyon– és tűzvédelem, biztonságtechnika
- Irányító rendszer – mérő, szabályozó, vezérlő, biztonsági berendezések
 - Az irányító rendszer érzékelői: hőmérséklet, páratartalom, nyomás, légáramlás, légminőség, mozgás, nyitás, üvegtörés érzékelők
 - Az irányító rendszer beavatkozói: távműködtető relék, mágneskapcsolók, megszakítók, szelepek, motorok,...

9.1.6. Buszrendszerek.

A buszrendszerek biztosítják a kommunikációt az informatikai rendszerek egyes egységei között. Meg lehet különböztetni alapeseteket, de ezek önmagukban nem fordulnak elő, a gyakorlati megvalósítás mindig ezeknek az adott feladathoz legoptimálisabb keveréke lesz.

- „Központi intelligencia”: minden egyes eszköz egy központi számítógépbe továbbítja az adatokat.
- „Osztott intelligencia”: minden egyes eszköz minden másikkal is tud kommunikálni.

9.2. Megújuló villamos energetika

9.2.1. Megújuló villamosenergia-termelési formák.

9.2.2. Szélerenergia hasznosításának legfontosabb kérdései.

9.2.3. Napenergia felhasználási lehetőségei.

9.2.4. Vízerőművek vázlatos felépítése.

9.2.5. Biomassza felhasználásának lehetőségei a villamos energetikában.

9.2.6. Geotermikus energia hasznosításának előnyei és hátrányai a villamosenergia-termelésben.