



Európai Unió

Dr. Bodnár István

VILLAMOSENERGETIKA ÉS BIZTONSÁGTECHNIKA



Miskolci Egyetem

Gépészmérnöki és Informatikai Kar

Elektrotechnikai és elektronikai Intézet

ISBN 978-615-00-4277-0

Miskolc

2019

SZÉCHENYI 2020



Európai Unió
Európai Szociális
Alap



BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

TARTALOMJEGYZÉK

| | |
|---|----|
| ELŐSZÓ | 5 |
| BEVEZETÉS..... | 6 |
| 1. A VILLAMOSENERGIA-RENDSZER FELÉPÍTÉSE | 7 |
| ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK AZ 1. FEJEZETHEZ | 11 |
| 2. ERŐMŰVEK A VILLAMOSENERGIA-RENDSZERBEN | 12 |
| 2.1. ENERGIAHORDOZÓK TÍPUSAI ÉS CSOPORTOSÍTÁSUK..... | 12 |
| 2.2. HŐERŐMŰVEK | 15 |
| 2.3. GÁZTURBINÁS ERŐMŰVEK..... | 17 |
| 2.4. KOMBINÁLT CIKLUSÚ ERŐMŰ | 20 |
| 2.5. BELSŐ ÉGÉSŰ MOTOROS ERŐMŰVEK..... | 22 |
| 2.6. ATOMERŐMŰVEK | 24 |
| 2.7. NAPELEMES ERŐMŰVEK | 25 |
| 2.7.1. HÁLÓZATRA TÁPLÁLÓ NAPELEMES RENDSZEREK | 26 |
| 2.7.2. SZIGETÜZEMŰ NAPELEMES ERŐMŰ..... | 27 |
| 2.7.3. HIBRID NAPELEMES ERŐMŰ..... | 28 |
| 2.8. VÍZERŐMŰVEK | 29 |
| 2.8.1. FOLYÓVÍZI, VÖLGYZÁRÓGÁTAS ERŐMŰ | 30 |
| 2.8.2. ÜZEMVÍZCSATORNÁS ERŐMŰ | 31 |
| 2.8.3. TÁROZÓS- ÉS NYOMÓALAGUTAS ERŐMŰ..... | 31 |
| 2.8.4. SZIVATTYÚS TÁROZÓ ERŐMŰ | 33 |
| 2.8.5. ÁR-APÁLY ERŐMŰVEK | 35 |
| 2.8.6. TENGERÁRAMLAT ERŐMŰVEK..... | 35 |
| 2.9. SZÉLERŐMŰVEK | 36 |
| 2.10. GEOTERMIKUS ERŐMŰVEK..... | 37 |
| 2.11. GYORSINDÍTÁSÚ ERŐMŰVEK..... | 37 |
| 2.12. ERŐMŰVEK SZABÁLYOZÓKÉPESSÉG SZERINTI CSOPORTOSÍTÁSA | 40 |
| ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK A 2. FEJEZETHEZ | 40 |
| 3. VILLAMOSENERGIA-ÁTVITEL RENDSZEREI..... | 41 |
| 3.1. A VILLAMOS ENERGIA ÚTJA AZ ERŐMŰTŐL A FOGYASZTÓIG..... | 41 |
| 3.2. HÁLÓZATI ALAKZATOK | 42 |
| 3.2.1. SUGARAS HÁLÓZAT..... | 42 |
| 3.2.2. GYŰRŰS- ÍVES HÁLÓZAT | 43 |
| 3.2.3. KÖRVEZETÉK | 44 |
| 3.2.4. PÁRHUZAMOS VEZETÉK..... | 45 |
| 3.2.5. HURKOLT HÁLÓZAT | 45 |
| 3.3. A HÁLÓZATOK CSILLAGPONTKEZELÉSÉNEK MÓDSZEREI..... | 46 |
| 3.3.1. FÖLDELETLEN (SZIGETELT) CSILLAGPONTÚ HÁLÓZAT..... | 46 |
| 3.3.2. FÖLDELT CSILLAGPONTÚ HÁLÓZAT | 47 |
| 3.4. HÁLÓZATI IMPEDANCIÁK..... | 48 |
| 3.4.1. TÁVVEZETÉKEK ÖN- ÉS KÖLCSÖNÖS IMPEDANCIÁI..... | 49 |
| 3.4.2. HÁLÓZATOK EGYFÁZISÚ HELYETTESÍTŐ VÁZLATA..... | 52 |
| ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK A 3. FEJEZETHEZ | 53 |
| 4. TRANSZFORMÁTOROK AZ ENERGIARENDSZERBEN | 54 |
| 4.1. EGYFÁZISÚ TRANSZFORMÁTOROK..... | 54 |
| 4.1.1. EGYFÁZISÚ TRANSZFORMÁTOR SZERKEZETI FELÉPÍTÉSE..... | 56 |
| 4.1.2. HELYETTESÍTŐ KAPCSOLÁSI VÁZLAT | 57 |
| 4.1.3. ÜRESJÁRÁS..... | 57 |
| 4.1.4. TERHELÉS..... | 59 |
| 4.1.5. RÖVIDZÁRÁS | 60 |

| | | |
|----------|---|----|
| 4.1.6. | DROP..... | 61 |
| 4.2. | HÁROMFÁZISÚ TRANSZFORMÁTOROK | 62 |
| 4.2.1. | CSILLAG-CSILLAG KAPCSOLÁSÚ TRANSZFORMÁTOR..... | 63 |
| 4.2.2. | DELTA (HÁROMSZÖG) KAPCSOLÁSÚ TRANSZFORMÁTOROK..... | 63 |
| 4.3. | TRANSZFORMÁTOROK PÁRHUZAMOS ÜZEME | 63 |
| 4.4. | PÁRHUZAMOSAN KAPCSOLT TRANSZFORMÁTOROK TERHELÉSELOSZLÁSA KÜLÖNBÖZŐ DROP ESETÉN | 64 |
| 4.5. | KÜLÖNLEGES TRANSZFORMÁTOROK | 65 |
| 4.5.1. | TAKARÉKKAPCSOLÁSÚ TRANSZFORMÁTOROK | 65 |
| 4.5.2. | MÉRŐTRANSZFORMÁTOROK..... | 66 |
| 4.5.2.1. | FESZÜLTSGVÁLTÓ | 66 |
| 4.5.2.2. | ÁRAMVÁLTÓ..... | 66 |
| | ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK A 4. FEJEZETHEZ | 67 |
| 5. | ASZINKRON GÉPEK..... | 68 |
| 5.1. | ASZINKRON GÉP KONSTRUKCIÓK..... | 68 |
| 5.2. | FORGÓ MÁGNESES TÉR | 70 |
| 5.3. | SZLIP (CSÚSZÁS)..... | 71 |
| 5.4. | TELJESÍTMÉNYVISZONYOK | 72 |
| 5.5. | HELYETTESÍTŐ KÉP..... | 73 |
| 5.6. | MECHANIKAI JELLEGGÖRBE | 74 |
| | ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK AZ 5. FEJEZETHEZ | 74 |
| 6. | SZINKRON GÉPEK | 75 |
| 6.1. | A SZINKRON GÉPEK FELÉPÍTÉSE..... | 75 |
| 6.2. | A SZINKRON GÉP MŰKÖDÉSE | 77 |
| 6.3. | ÁRAMKÖRI MODELL | 77 |
| 6.4. | A SZINKRONGÉP NYOMATÉKA | 78 |
| 6.5. | SZINKRON GÉP ÜZEMÁLLAPOTAI | 78 |
| 6.5.1. | GENERÁTOR | 78 |
| 6.5.2. | MOTOR..... | 79 |
| 6.6. | INDÍTÁS (MOTORKÉNT)..... | 80 |
| | ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK A 6. FEJEZETHEZ | 80 |
| 7. | EGYENÁRAMÚ GÉP..... | 81 |
| 7.1. | SZERKEZETI FELÉPÍTÉS | 81 |
| 7.2. | MŰKÖDÉSE..... | 81 |
| 7.3. | ARMATÚRAREAKCIÓ | 83 |
| 7.4. | EGYENÁRAMÚ GÉPEK TÍPUSAI A GERJESZTÉS ÉS AZ ÜZEMMÓD SZERINT | 84 |
| 7.4.1. | SOROS GERJESZTÉSŰ EGYENÁRAMÚ GÉP | 84 |
| 7.4.2. | KÜLSŐ- ÉS PÁRHUZAMOS GERJESZTÉSŰ GÉP..... | 87 |
| 7.4.2.1. | MOTOROS ÜZEM..... | 87 |
| 7.4.2.2. | GENERÁTOROS ÜZEM | 88 |
| 7.4.3. | VEGYES GERJESZTÉSŰ EGYENÁRAMÚ GÉP..... | 90 |
| 7.4.3.1. | MOTOROS ÜZEM..... | 90 |
| 7.4.3.2. | GENERÁTOROS ÜZEM | 92 |
| 7.5. | KEFE NÉLKÜLI MOTOROK (EC MOTOROK) | 92 |
| | ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK A 7. FEJEZETHEZ | 94 |
| 8. | KAPCSOLÓBERENDEZÉSEK ÉS KIVÁLASZTÁSI SZEMPONTJAIK | 95 |
| 8.1. | A KAPCSOLÓBERENDEZÉSEK RENDELTEZÉSE ÉS FAJTÁI..... | 95 |
| 8.2. | A KAPCSOLÓBERENDEZÉSEK FŐBB ALKOTÓRÉSZEI..... | 96 |
| 8.2.1. | AZ ALKOTÓRÉSZEK JELLEMZÉSE | 96 |
| 8.2.2. | A KAPCSOLÁSI VÁZLAT ÁBRÁZOLÁSA | 97 |

| | | |
|----------|--|-----|
| 8.3. | A KAPCSOLÓBERENDEZÉSRE JELLEMZŐ VILLAMOS FOGALMAK ÉS ADATOK | 98 |
| 8.4. | NAGYFESZÜLTSGŰ KÉSZÜLÉKEK KIVÁLASZTÁSA | 99 |
| 8.4.1. | MEGSZAKÍTÓK | 99 |
| 8.4.2. | SZAKASZOLÓK | 99 |
| 8.4.3. | KAPCSOLÓK | 100 |
| 8.4.4. | KONTAKTOROK ÉS NEHÉZÜZEMI MÁGNESKAPCSOLÓK | 101 |
| 8.4.5. | BIZTOSÍTÓK..... | 102 |
| 8.5. | ÁRAMVÁLTÓK | 102 |
| 8.6. | FESZÜLTSGVÁLTÓK | 103 |
| 8.7. | TÚLFESZÜLTSGVÉDELMI ESZKÖZÖK | 105 |
| | ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK A 8. FEJEZETHEZ | 105 |
| 9. | VILLAMOS BIZTONSÁGTECHNIKA..... | 106 |
| 9.1. | A VILLAMOS ÁRAM ÉLETTANI HATÁSA | 106 |
| 9.2. | ELSŐSEGÉLYNYÚJTÁS FOLYAMATA VILLAMOS BALESETEK SORÁN | 108 |
| 9.3. | AZ EMBERI TEST ELLENÁLLÁSA | 109 |
| 9.4. | HOGYAN JÖHET LÉTRE ÁRAMÜTÉS..... | 111 |
| 9.5. | AZ ÉRINTÉSVÉDELMI MÓDSZEREI..... | 112 |
| 9.5.1. | I. ÉRINTÉSVÉDELMI OSZTÁLYÚ GYÁRTMÁNY | 112 |
| 9.5.2. | II. ÉRINTÉSVÉDELMI OSZTÁLYÚ GYÁRTMÁNY | 113 |
| 9.5.3. | III. ÉRINTÉSVÉDELMI OSZTÁLYÚ GYÁRTMÁNY | 113 |
| 9.6. | A VILLAMOS BERENDEZÉSEK (GYÁRTMÁNYOK) VÉDETTSÉGE | 114 |
| 9.7. | ÉRINTÉSVÉDELMI MÓDSZEREK | 115 |
| 9.7.1. | PASSZÍV ÉRINTÉSVÉDELMI..... | 115 |
| 9.7.2. | AKTÍV ÉRINTÉSVÉDELMI..... | 115 |
| 9.8. | VÉDŐFÖLDELÉS | 116 |
| 9.9. | VÉDŐVEZETŐS ÉRINTÉSVÉDELMI MÓDOK..... | 118 |
| 9.9.1. | VÉDŐFÖLDELÉS KÖZVETLENÜL FÖLDELT RENDSZERBEN (TT) | 119 |
| 9.9.2. | VÉDŐFÖLDELÉS FÖLDELETLEN, ILLETVE KÖZVETVE FÖLDELT RENDSZERBEN (IT) 120 | |
| 9.9.3. | NULLÁZÁS (TN)..... | 121 |
| 9.9.3.1. | NULLÁVAL EGYESÍTETT VÉDŐVEZETŐ (TN-C RENDSZER) | 122 |
| 9.9.3.2. | ELKÜLÖNÍTETT VÉDŐVEZETŐ (TN-S) RENDSZER | 123 |
| 9.9.3.3. | EGY DARABIG KÖZÖS PE N (TN-C-S RENDSZER) | 124 |
| 9.9.4. | ÁRAMVÉDŐ KAPCSOLÁS ÉS FI-RELÉ..... | 125 |
| 9.9.5. | EGYENPOTENCIÁLRA HOZÓ HÁLÓZAT | 127 |
| 9.10. | VÉDŐVEZETŐ NÉLKÜLI ÉRINTÉSVÉDELMI MÓDOK..... | 128 |
| 9.10.1. | VILLAMOS SZERKEZET ELSZIGETELÉSE | 128 |
| 9.10.2. | KÖRNYEZET ELSZIGETELÉSE | 128 |
| 9.10.3. | FÖLDELETLEN EGYENPOTENCIÁLRA HOZÁS | 129 |
| 9.10.4. | VÉDŐELVÁLASZTÁS | 130 |
| 9.10.5. | ÉRINTÉSVÉDELMI TÖRPEFESZÜLTSG..... | 130 |
| 9.11. | ERŐSÁRAMÚ VILLAMOS BERENDEZÉSEK ÜZEMELTETÉSI SZABÁLYZATA..... | 131 |
| | ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK A 9. FEJEZETHEZ | 132 |
| 10. | VILLÁMVÉDELMI ALAPOK | 133 |
| | ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK A 10. FEJEZETHEZ | 137 |
| | ÖSSZEFOGLALÁS | 138 |
| | KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS | 138 |
| | IRODALOMJEGYZÉK..... | 139 |
| | FELELETVÁLASZTÓS FELADATOK..... | 140 |



Európai Unió

ELŐSZÓ

Tisztelt Olvasó!

Jelen könyvet azért szerkesztettem, hogy a Villamos energetika és biztonságtechnika c. tantárgy, illetve a hozzá kapcsolódó szaktantárgyak oktatásában és tanulásában segítséget nyújtsanak.

Az Ipar 4.0. időszakát éljük, ezért elkerülhetetlen a műszaki tudástár bővítése, fejlesztése.

Napjainkban a villamosenergetika és a villamos biztonságtechnika egyre fontosabb szerepet kap. A villamosenergia-termelése, szállítása és elosztása, a villamos berendezések üzemeltetése központi téma az egészség- és az életvédelem szempontjából is. A könyv a megértéshez szükséges részletességgel ismerteti a villamosenergia-rendszert, annak szereplőit, elemeit és legfontosabb ismérveit.

A különböző fejezetekben részletesen tárgyaljuk a villamosenergia-termelést megvalósító erőműveket, azokon belül a hagyományos és a megújuló energiaforrásokat, azok erőműveit. A villamos hálózatokat, beleértve a topológiákat és feszültségzinteket. A villamosenergia-átalakítására szolgáló transzformátorokat, amelyek a villamosenergia-rendszerben, legfőképp a villamosenergia gazdaságos szállításában játszanak kiemelt szerepet.

A forgó villamos gépek, mint az aszinkron gép, a szinkron gép és az egyenáramú gépek is bemutatásra kerülnek, amelyek egy része a villamosenergia-termelésében, másik részük pedig a fogyasztásban, mechanikai energiává történő átalakításban vesznek részt.

Külön fejezetben röviden tárgyaljuk a villamos kapcsolóberendezéseket, amelyek a villamosenergia-rendszerben a kapcsolásokat, az áram útjának kijelölését, az egyes hálózati elemek leválasztását valósítják meg.

A villamos biztonságtechnika egy nagyobb terjedelmű fejezetben kerül bemutatásra. Részletesen kerülnek bemutatásra az érintésvédelmi osztályok és módok, a hálózatok földelési módszerei, valamint a védővezető nélküli érintésvédelmi módok.

Pár gondolat erejéig a villámvédelem is megjelenik a könyvben.

A jegyzetet ajánlom mindazoknak, akik szeretnék egy alap, de biztos tudást szerezni a villamosenergetika és a villamos biztonságtechnika területén.

Kelt: Miskolc, 2018. december 29.

Bodnár István

Okl. gépészmérnök és villamosmérnök

egyetemi adjunktus

Miskolci Egyetem

BEVEZETÉS

Napjaink felgyorsult, rohanó világában az emberek energiafogyasztása óriási méreteket öltött. Az utóbbi évszázadban mintegy ötszörösére növekedett egy átlagember energiaigénye, amely a negyedik ipari forradalomnak (Iapr 4.0), a gépipar fejlődésének és az elektronikai eszközök elterjedésének tudható be. Ennek következtében a hagyományos energiahordozóink kihasználása is az egekbe szökött. A környezet túlzott elhasználódásának elkerülése érdekében és a fejlődés fenntarthatóságáért egyre égetőbbé vált a megújuló energiaforrások kiaknázása, egyre nagyobb arányú bevonása az energiatermelésbe.

Az ember egy olyan értelmes lény, akit csak logikus, észérvekkel lehet meggyőzni, ezért tartom szükségesnek az elméleti és gyakorlati tudáshéttér növelését, amely a meggyőzés erejével tud hatni.

A villamosenergia-rendszer egy igen bonyolult és hierarchikus felépítésű rendszer, amelyben minden építőelemnek fontos szerepe van. A villamos erőművek állítják elő azt a villamosenergiát, amelyet a transzformátorok olyan feszültségszintűre alakítják át, hogy az gazdaságosan szállítható legyen a villamos hálózatokon, valamint a fogyasztók számára biztonságosan használható legyen. Míg a szinkron gépek főleg generátorként üzemelnek, így a villamosenergia-termelését valósítják meg, addig az aszinkron gépek motoros üzemben annak fogyasztását, mechanikai energiává történő átalakítását célozzák meg.

Míg kezdetben az egyenáram kapott kiemelt szerepet, azonban Nikola Tesla és Thomas Edison nagy harcát követően a váltakozó áram terjedt el, addig napjainkban újra előtérbe került a szilícium alapú félvezetők felfedezése és az elektronikus eszközök elterjedése következtében.

Az egyenáramú gépek már nem csak a bányákban és a városi villamos vasúti közlekedésben használatosak, sőt, hanem ma már inkább a kéziszerszámok legfontosabb hajtó gépe. A kezdetben mechanikus egyenirányítót alkotó kommutátor és szénkefe helyett manapság az elektronikus kommutációjú egyenáramú gépek kerültek előtérbe.

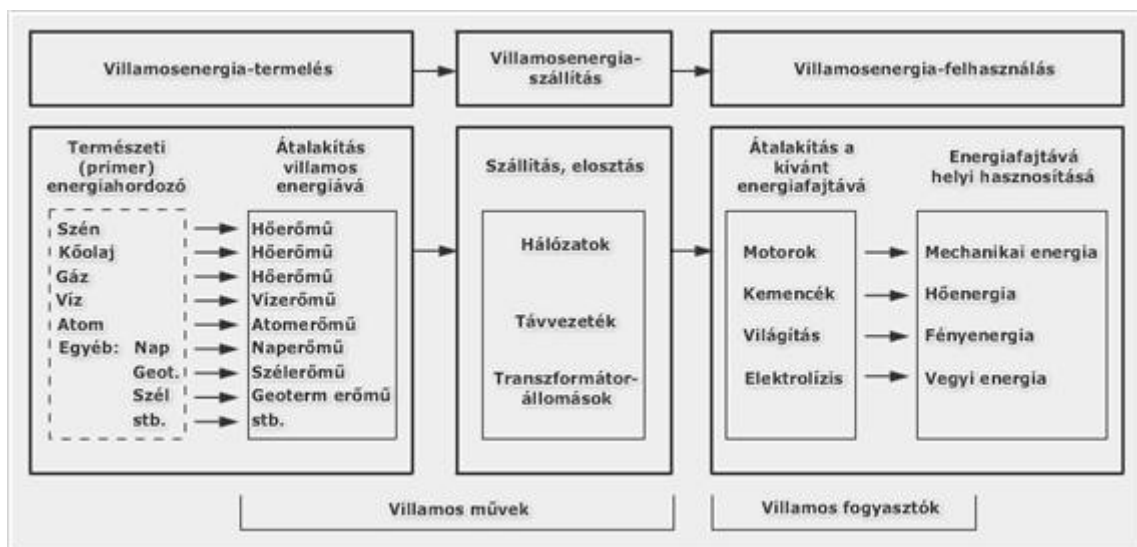
A villamos biztonságtechnika alapelvei a hálózatok földelési módja mellett a védővezető megléte mellett, vagy annak hiányában tárgyalja a villamos berendezések és létesítmények biztonságos üzemvitelét, a balesetek elkerüléséről gondoskodva. Napjainkban a villamos védelem már nem arról szól, hogy kell-e földelés, avagy nem, hanem arról, hogyan lehet a legbiztonságosabb üzemet, vagy berendezést létrehozni.

A villámvédelem egyre fontosabbá vált, hiszen az épületeink egyre magasabbak, így egyre nagyobb valószínűséggel történik meg a villám épületbe történő becsapása. A villámcsapás az emberi szervezetre nézve egy intenzív áramütéssel egyenértékű, az épületben, valamint az ott lévő berendezésekben pedig komoly károkat tud okozni.

Összességében tehát a villamos energetika és biztonságtechnika a villamosenergia XIX. századi megjelenése és elterjedése óta igen jelentős változásokon, fejlesztéseken ment át, azonban a fizikai alapok, működési elvek és alaptervezések a mai napig alkalmazottak, használatosak és örökérvényűek.

1. A VILAMOSENERGIA-RENDSZER FELÉPÍTÉSE

Az emberi civilizáció fejlődésével szorosan együtt jár a különböző energiafajták (mechanikai energia, hőenergia, fényenergia stb.) hasznosítása a termelőfolyamatokban és a mindennapi életben. Az egyes energiafajták anyagi megtestesítői az energiahordozók. A természetben megtalálható energiahordozók az ún. **primer energiahordozók** (szén, olaj, földgáz, a víz mozgási és helyzeti energiája, biomassza, hasadóanyagok stb.) eredeti megjelenési formájukban és előfordulási helyükön általában nem alkalmasak közvetlen felhasználásra. A különféle energiafogyasztók – az ipar, a mezőgazdaság, a közlekedés, a háztartások stb. – az energia olyan formáját igénylik, amely amellet, hogy viszonylag gazdaságosan állítható elő, a felhasználás helyén állandóan rendelkezésre áll, nem kíván tárolást és egyszerűen alakítható át mechanikai munkává, hővé, fényvé stb. Ilyen energia a villamos energia, amely a primer energiahordozók célszerűen átalakított közvetítő formája. A villamosenergia-ellátás folyamatának elvi vázlata az *1.1. ábrán*, illetve másképpen ábrázolva az *1.2. ábrán* látható.

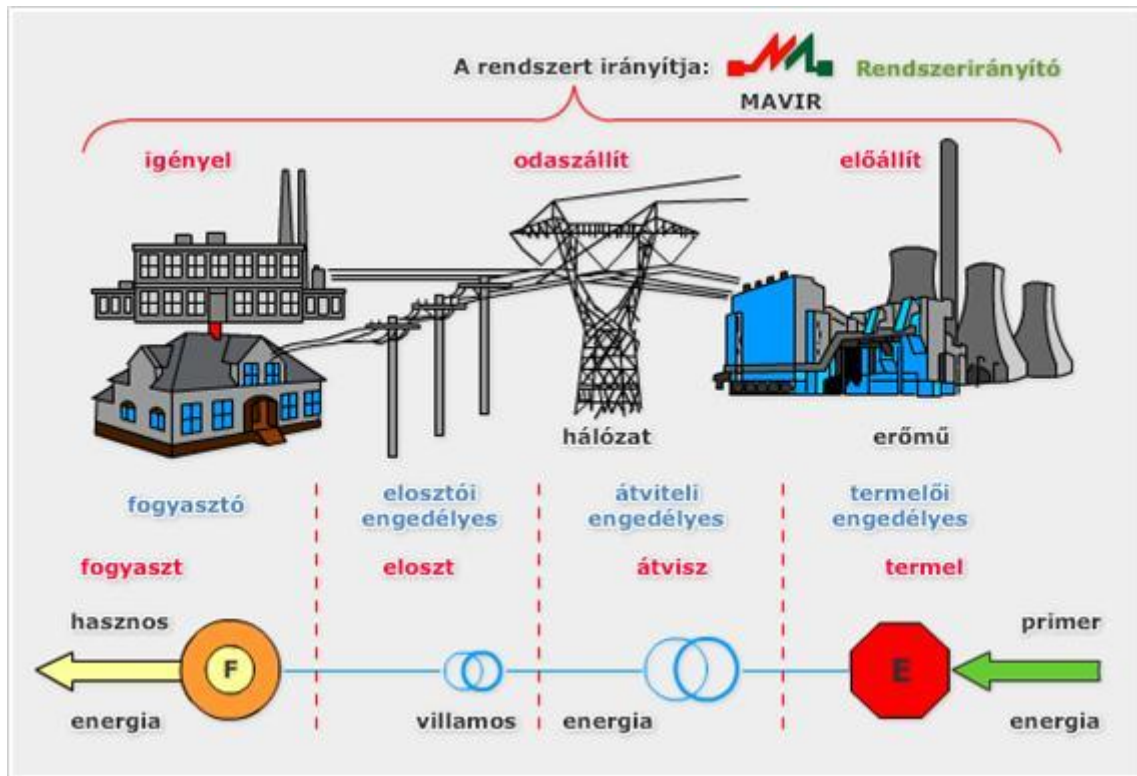


1.1. ábra: A Villamosenergia-rendszer felépítése

A hazai VER jelentős változás ment át a tulajdonosi szerkezet megváltozásának következtében. Kizárólagos módon nemzeti tulajdonban az átviteli engedélyes van, míg a termelői és elosztói engedélyesek a privatizációs folyamatok eredményeként vállalkozói kézben vannak. Kivétel a Paksi és Vértesi erőművek jelentik.

A hálózati engedélyesek is a deregulációs európai előírásoknak megfelelően több független jogi személyiségű vállalkozássá váltak: DSO – Distribution System Operator; Kereskedői Engedélyes (pl. ELMŰ-ÉMÁSZ, E.ON, stb.); és az Üzemeltető. A dereguláció tette lehetővé a villamosenergia-kereskedelem liberalizációját. Ez azt jelent, hogy a hálózati tulajdonos DSO-k nem tagadhatják meg a hálózatok igénybevételét tetszőleges termelők, kereskedők és fogyasztók számára.

A természeti energiahordozók energiatartalmát villamos energiává erőművekben alakítják át. Az erőművek típusait a 2. fejezet részletezi.



1.2. ábra: Villamosenergia-ellátás folyamata

Az erőművekben termelt villamos energia **szállítása és elosztása a hálózatok feladata** (3. fejezet), míg a fogyasztói berendezések a villamos energiát a szükségleteiknek megfelelő formába alakítják át és hasznosítják.

A fogyasztó legfőbb elvárása, hogy:

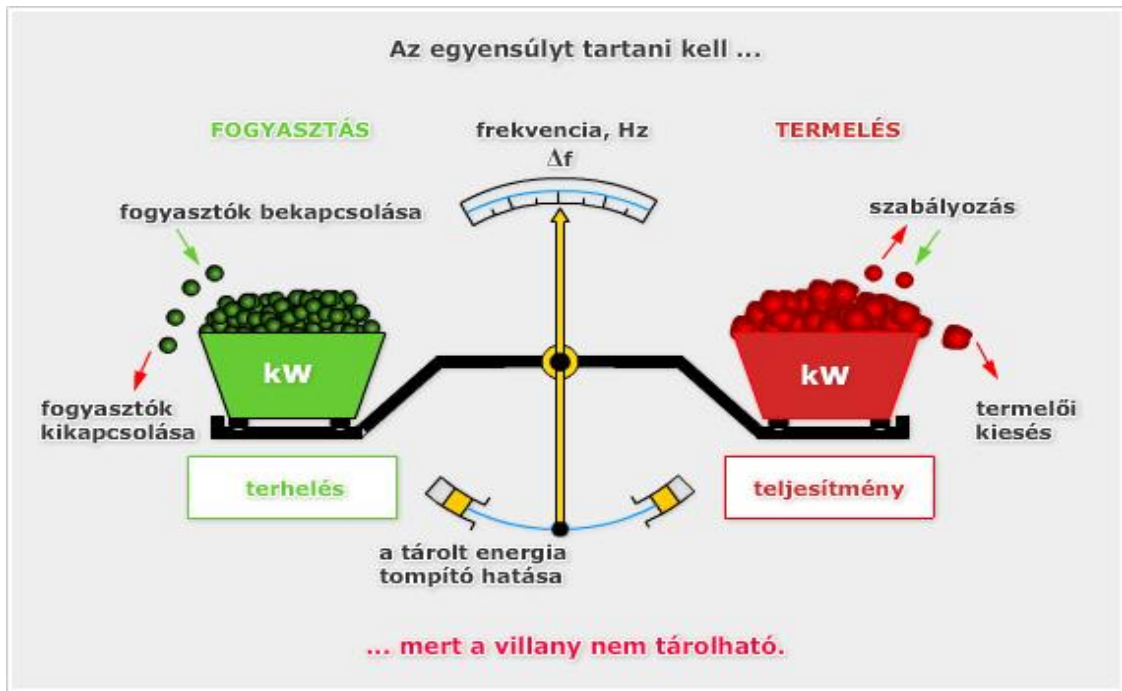
- **folyamatosan,**
- **a megfelelő minőségben** (feszültség -tűrés, időbeli állandóság, lüktetésmentesség és felharmonikus-mentesség-; frekvencia-állandóság és a háromfázisú rendszer szimmetrikus volta)
- **és üzembiztosan álljon rendelkezésre.**

A különféle energiafogyasztók az energia olyan formáját igénylik, amely:

- viszonylag gazdaságosan állítható elő,
- a felhasználás helyén állandóan rendelkezésre áll,
- nem kíván tárolást és
- egyszerűen alakítható át mechanikai munkává, hővé, fénné
- nagy távolságokra kis veszteséggel szállítható,
- stb.

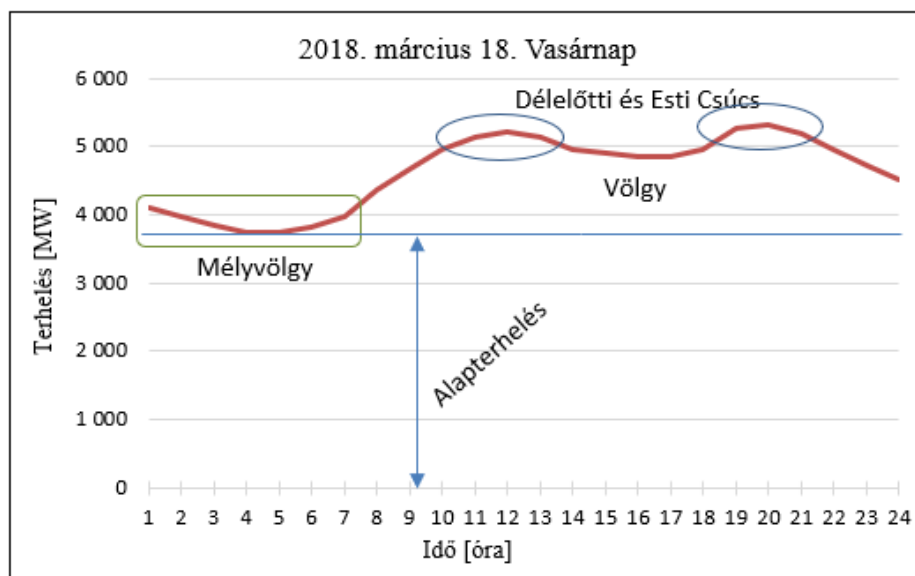
Ilyen energia a villamos energia, amely a primer energiahordozók célszerűen átalakított közvetítő formája. A villamosenergia nagy mennyiségben, koncentráltan a környezet viszonylagos kis szennyezése mellett, gazdaságosan állítható elő!

A váltakozó áramú villamos energia nagy mennyiségben, gazdaságosan nem tárolható, tehát az erőművekben mindenkor a fogyasztók pillanatnyi igényeinek megfelelő, s természetesen a mindenkori veszteségeket is fedező, teljesítményt kell termelni. Ezért a villamosenergia-rendszer zavarmentes, normál üzemenetében a teljesítmény-egyensúlynak adott frekvencia mellett minden pillanatban érvényesülnie kell (1.3. ábra).



1.3. ábra: Energiamérleg a villamosenergia-rendszerben

Az 1.4. ábra szemlélteti a 2018. március 18.-ai, vasárnapi napon a terhelési görbét, amin megfigyelhető, hogy a minimális teljesítmény 3.738 MW, a csúcsteljesítmény 5.331 MW értékre adódott. A napi energiaigény 111,29 GWh volt. A hétköznapokon, illetve munkanapokon mért napi terhelési görbén jellemzően nagyobb értékek szerepelnek. Például a 2018. március 14.-ei, szerdai napon a minimális teljesítmény 4.016 MW, a napi csúcsteljesítmény 5.625 MW, a napi energiaigény 122,05 GWh volt.



1.4. ábra: Napi terhelési görbe 2018. március 18. vasárnap

A napi terhelésben két terhelési csúcs jelentkezik:

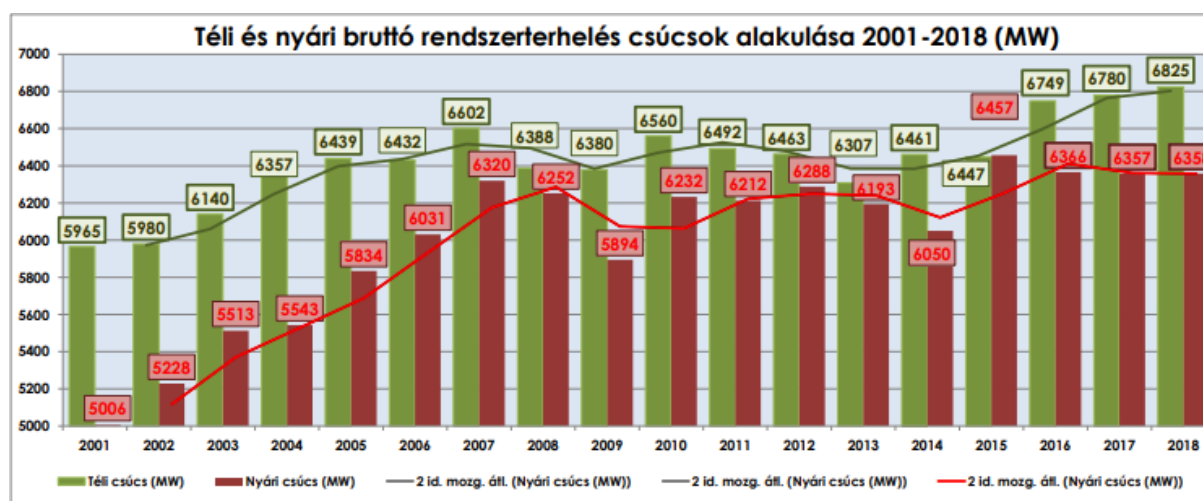
- délelőtti csúcs,
- esti csúcs.

A csúcsterhelés (P_{cs}) tehát a meghatározott időtartam (pl. nap, év) alatt igénybe vett legnagyobb villamos teljesítmény. Az év folyamán előforduló csúcsterhelések közül a legnagyobbat maximális csúcsterhelésnek nevezzük.

A terhelési csúcsok csökkentésének eszköze lehet:

- az együttműködő villamosenergia-rendszerek létrehozása,
- az ipari fogyasztóknak adott vételezési menetrend,
- a villamos hőtároló fogyasztóknak (pl. bojlerok, hőtároló villamos kályhák, stb.) a völgyidőszakban (pl. éjszaka) történő bekapcsolása.

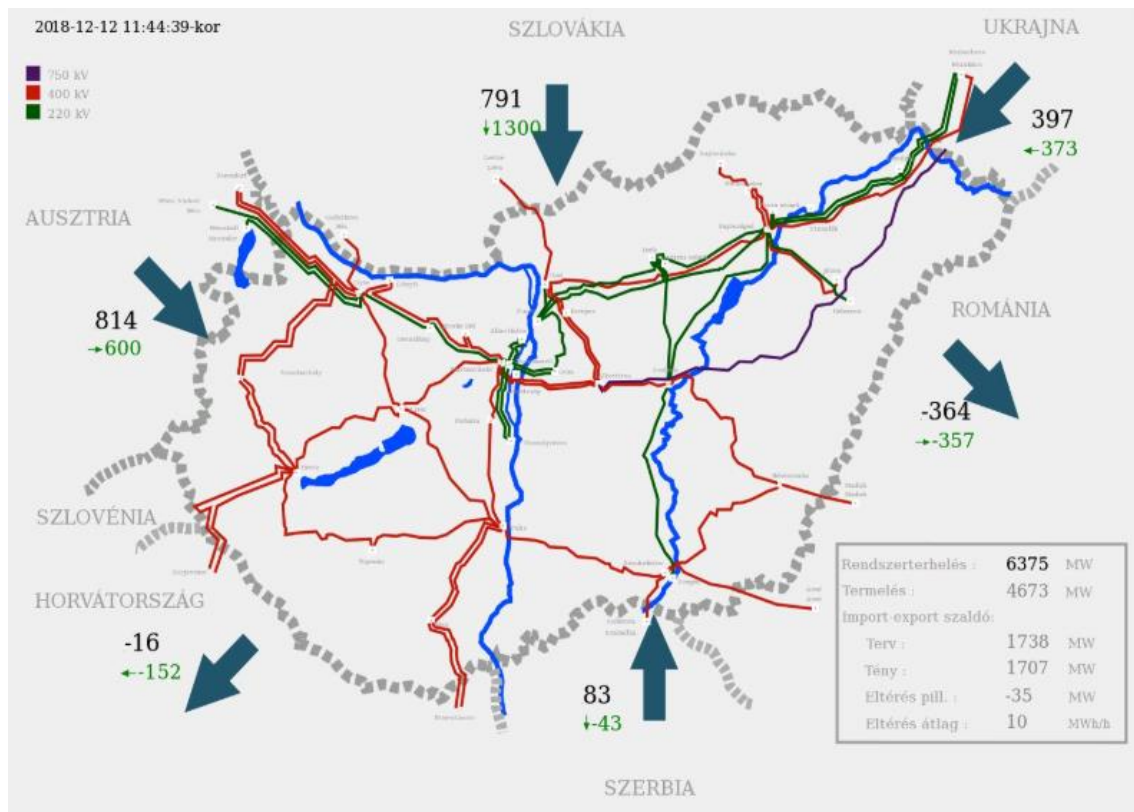
Az 1.5. ábra a 2001 évtől mér téli és nyári csúcsterheléseket mutatja. Megfigyelhető, hogy a vizsgált időszakban jelentős bővülés tapasztalható a csúcsfogyasztásban. 2018-ban megdőlt a valaha mért legnagyobb téli csúcsterhelés.



1.5. ábra: Csúcsterhelés alakulása 2001 és 2018 között

Mai világunkban a villamosenergia-rendszerek (pl. a Magyar Villamosenergia-rendszer) nem egymástól elszigetelten, hanem egymással kooperálva működnek. Ez azt jelenti, hogy a magyar villamosenergia-rendszer fogyasztóinak kielégítésében nemcsak a hazai termelők vehetnek részt, hanem a szomszédos rendszerekből is vételezhetünk villamos energiát. Egy pillanatnyi terhelési állapotot mutat a MAVIR honlapján az vvv ábra. Az ábrából leolvasható, hogy abban a pillanatban (mint leggyakrabban) Ukrajnából, Szlovákiából és Ausztriából vételeztünk, illetve Románia és Horvátország felé szállítottunk villamosenergiát. Szerbia felől éppen Magyarország felé áramlik a villamosenergia, annak ellenére, hogy a menetredn szerint ennek éppen pont fordítva kellene lennie. Az ábráról az is leolvasható, hogy az import-export szaldó 1.707 MW volt (a hazai igény mintegy 26,78%-a), amely az átlagos értékkel egyezik meg. A rendszer aktuális terhelése 6.375 MW, a hazai termelés 4.673 MW.

Az 1.6. ábra arra mutat rá, hogy a hazai bruttó villamosenergia-igény kielégítésében a hazai termelők és az importszaldó együttesen vesznek részt. Magyarország évtizedek óta nettó villamosenergia-importőr, az import részaránya a hazai ellátásban elég jelentős, egyes időszakokban – más országokkal összehasonlítva – kiemelkedően magas. Éves átlagban a villamosenergia-import 30-33%-ot tesz ki. Összességében tehát elmondható, hogy a hazánkban megtermelt villamosenergia a fogyasztás mintegy kétharmadát képes fedezni, ezért elkerülhetetlen új, hatékony és környezetbarát erőművek létesítése.



1.6. ábra: Magyarország energiaforgalma 2018. december 12.-én 11 óra 44 perc 39 másodperckor

A kooperációs **villamosenergia-rendszer (VER)**: A távvezetékekkel összekapcsolt erőművek, valamint az ezekhez csatlakozó különféle elosztó hálózatok és a hálózatokon keresztül ellátott villamosenergiafogyasztók összessége alkotja a kooperációs villamosenergia-rendszert, amelyben az erőművek egymással szinkron kapcsolatban járnak.

A kooperáció előnyei:

- az erőművi teljesítménytartalékok csökkennek;
- a csúcsterhelés viselésében kisegítik egymást;
- a terhelés elosztása gazdaságossá válik;
- nagyobb egységteljesítményű generátorok beépítését teszi lehetővé:
 - a fajlagos beruházási költség csökken,
 - a fajlagos üzemköltségük kisebb,
- a kialakított többszörösen hurkolt hálózatokon csökken a hálózati veszteség.

ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK AZ 1. FEJEZETHEZ

1. Sorolja fel a villamosenergia-rendszer szereplőit!
2. Kik a hálózati/kereskedői engedélyesek és mi a feladatuk?
3. Mik a fogyasztók elvárásai?
4. Milyen energiákat igényelnek a fogyasztók?
5. Mi történik a frekvenciával, ha a villamosenergia-termelés és a fogyasztás nincs összhangban?
6. Mit jelképez a délelőtti és a délutáni csúcs?
7. Mi a csúcsfogyasztás?
8. Mi az alapterhelés?
9. Mit mutat meg a napi terhelési görbe?
10. Milyen előnyei vannak a kooperációnak?

2. ERŐMŰVEK A VILLAMOSENERGIA-RENDSZERBEN

A természeti energiahordozók energiataralmát villamosenergiává erőművekben alakítják át, tehát az erőművek legfőbb feladata a villamosenergia-termelés. A villamosenergia-termelésen kívül a villamosenergia-rendszer szabályozóképességében is szerepet játszanak.

2.1. ENERGIAHORDOZÓK TÍPUSAI ÉS CSOPORTOSÍTÁSUK

Az **energiahordozó** olyan anyag vagy jelenség, amivel mechanikai munka, valamint hő állítható elő, illetve általa vegyi vagy fizikai eljárások működtethetők és/vagy fűthetők (**definíció az ISO 13600 szerint**).

Környezetvédelmi szempontból kiemelkedők azok, amelyek **megújulásra képesek** vagy használatuk nem akadályozza a további keletkezésüket.

Az **anyagból kinyert energia** átalakítása, illetve felhasználása **nincs térhez kötve és bár-mikor alkalmazható** akár a közlekedésben, iparban vagy egyéb energiafelhasználással járó tevékenységeinknél. Az ilyen energiahordozókkal környezetünkben nap mint nap találkozunk, és nagyban **megkönnyítik az életünket**.

I. primer energiahordozók (természetből kinyert energiahordozók)

- Meg nem újítható fosszilis energiahordozók Pl. szén, kőolaj, földgáz;
- Primer, de nem fosszilis Pl. urán;
- Megújuló energiahordozók Pl. szél, víz, hullám erőmű, biomassza, geotermikus energia.

II. Szekunder energiahordozók (az elsődleges energiahordozók átalakításából nyerjük)

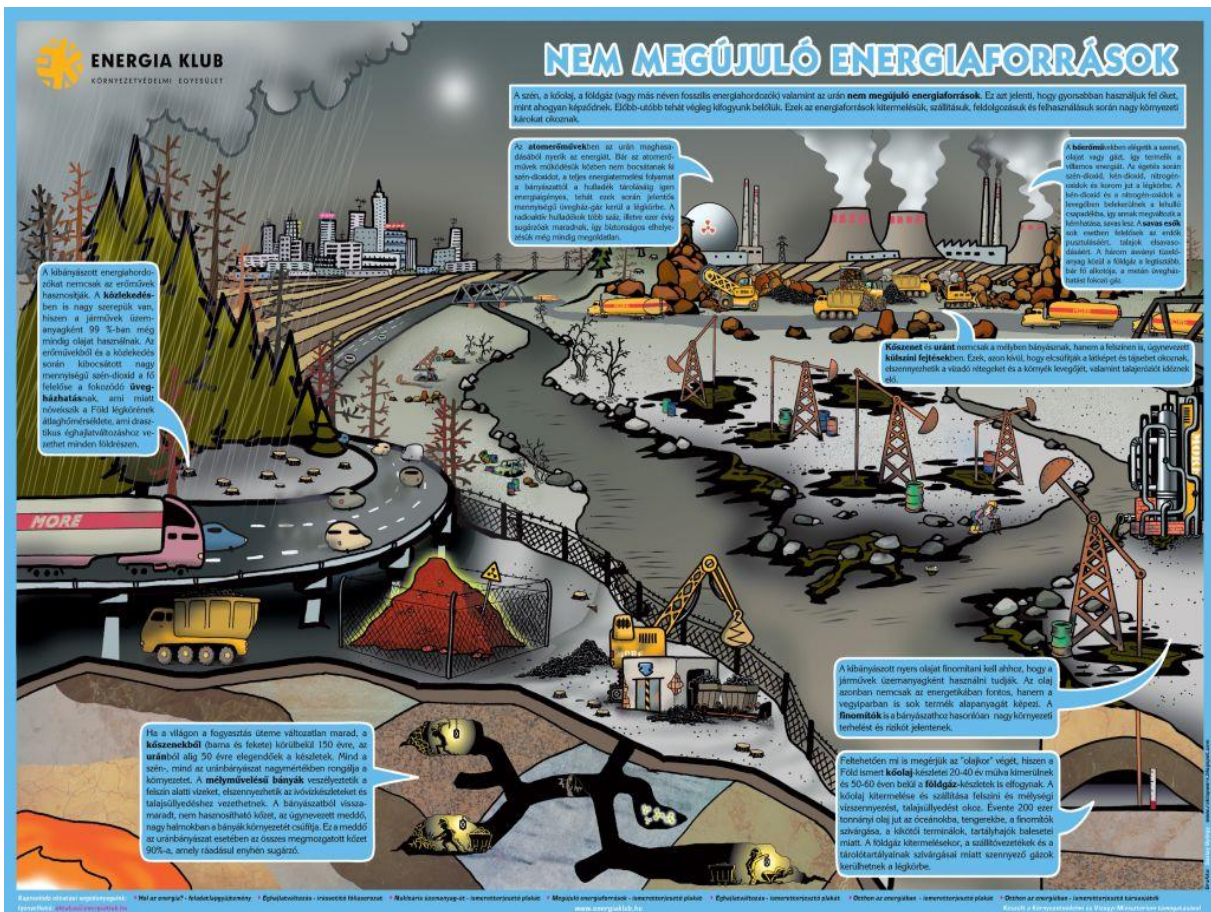
- elektromos áram;
- kőolaj lepárlás termékei közül: gázolaj (dízolaj), benzin, petróleum, pakura;
- szénlepárlás (széngázosítás) termékei: koks, széngáz;
- sűrített levegő;
- hidrogén.

A fogyó fosszilis energiahordozók növekvő kitermelése globális energiaválságot eredményez. Környezetszennyezést súlyosbítja például az energiahordozók fokozódó elégetése, hatásai pl. az üvegházhatás, savas esők ennek következtében termőterületek elvesztése, védett fajok kipusztulása ehhez hozzá járulnak a lokális károkozások mint külszíni bányászat, tájrombolás (pl. meddőhányók) vezetékek telepítése, talajszennyezés. A vizek szennyezésénél tengeri kitermelés, tankerhajók balesetei, hulladék-elhelyezés problémái okoznak gondot. Az ártalmak méréséklésre lehetőség az energiatakarékosság melyet elérhetünk korszerűbb kisebb energiaigényű technológia alkalmazásával. Az elhagyott bányaterületek rekultiválása, újjrahasznosítása.

A **fosszilis tüzelőanyagok** alatt a bányászott szenet, ként és a szénhidrogéneket – kőolajat vagy földgázt – értjük, amelyek lebomlott növények és állatok maradványai. Ezek ipari, erőműi felhasználása általános (pl. elégetésével gőzt fejlesztenek, amivel egy turbinát hajtunk meg, amelyhez hozzákapcsolt generátor útján származtatott energiahordozót, elektromosságot fejlesztenek). A 2.1. ábra összefoglalja a nem megújuló és a fosszilis tüzelőanyagokat.

Elégetésük szennyezőanyagokat juttat az atmoszférába. Egyes ilyen anyagok, mint a széndioxid hőfogó gázok, amelyek a sugárzási kényszerrel erősítik az üvegházhatást, ami globális felmelegedéshez, erősebb viharokhoz, és a szélsőséges időjárás miatt növekvő költségekhez vezet. Más szennyezők, mint a kén-dioxid, jelen vannak a savas esőkben, az olajfűrés és olaj szállítása pedig olajszennyezéssel átitatott területeket hagy maga után.

2030-ra a szén-dioxid-kibocsátás **52%-kal csökkenhet**, 2075-re pedig 71%-kal, amennyiben az emberiség vált a megújuló energiaforrásokra. Energiatakarékos (4,2–3,6 liter/100 km) autók kifejlesztése, valamint nap- és vízienergia kiaknázása a cél.

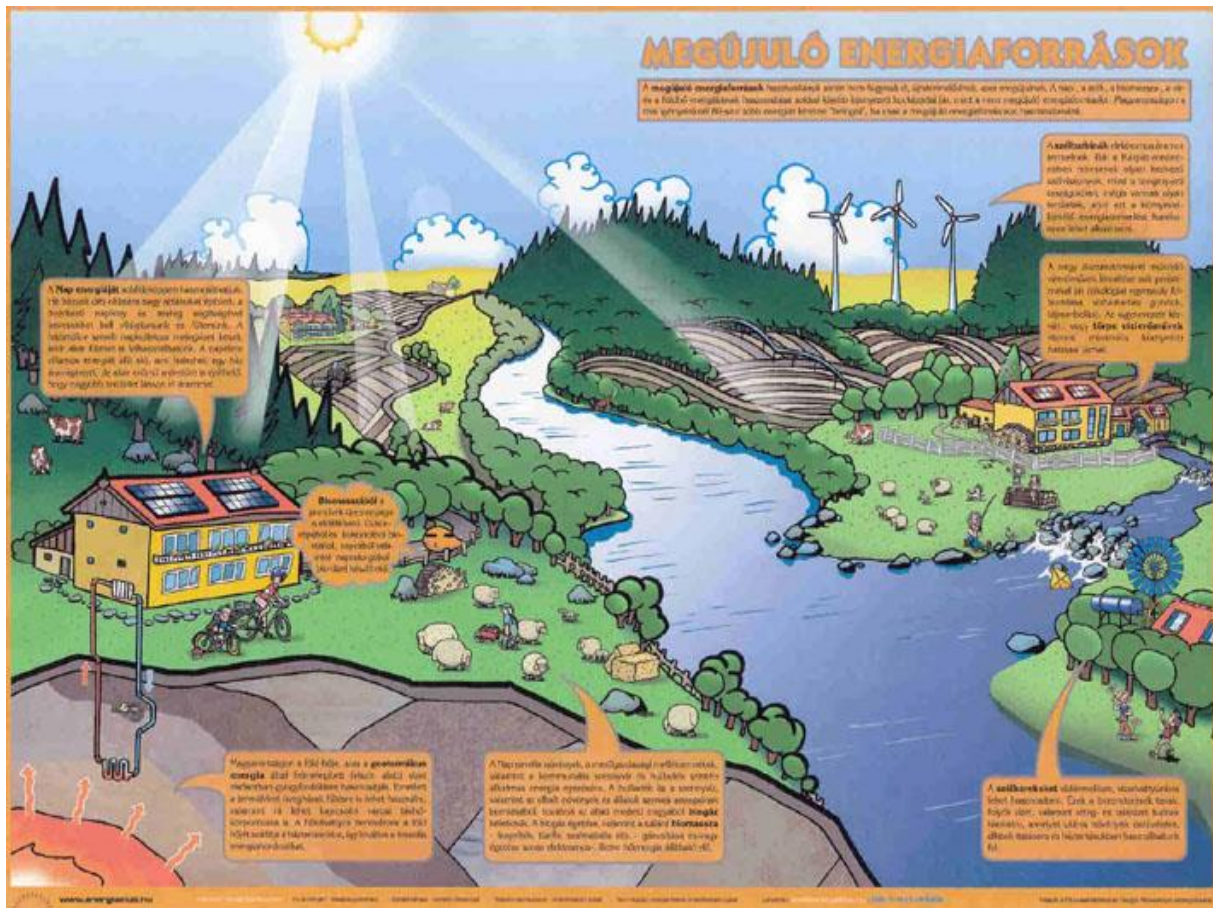


2.1. ábra: Nem megújuló energiaforrások

A **megújuló energiaforrás** olyan közeg, természeti jelenség, amiből energia nyerhető ki, és amely akár naponta többször ismétlődően rendelkezésre áll, vagy jelentősebb emberi beavatkozás nélkül legfeljebb néhány éven belül újratermelődik. A 2.2. ábra foglalja össze a megújuló energiaforrásokat.

A **megújuló energiaforrások jelentősége**, hogy használatuk összhangban van a fenntartható fejlődés alapelveivel, tehát alkalmazásuk nem rombolja a környezetet, ugyanakkor nem is fogják vissza az emberiség fejlődési lehetőségeit. Szemben a nem megújuló energiaforrások (kőszén, kőolaj, földgáz stb.) használatával, nem okoznak olyan halmozódó káros hatásokat mint az üvegházhatás, a levegőszennyezés, vagy a vízszennyezés.

A szél- és napenergia-technológiák alkalmazása lehetőséget ad arra is, hogy az ember saját maga állítsa elő az otthonában használt villamos energiájának, üzemanyagának és vízének egy részét, vagy akár az egészét. A fosszilis tüzelőanyagoktól való elhatárolódás különösen fontos, egyrészt a globális felmelegedés megállítása végett, másrészt a közelgő olajhozamcsúcs fenyegetése miatt.



2.2. ábra: Megújuló energiaforrások

Az emberiség által használt energia a kezdetektől fogva többnyire megújuló forrásokon alapult, mint a tűzifa, faszén vagy a szél és vízimalmok, a megújuló energiák használata az ipari forradalmat követően jelentősen visszaszorult.

A megújuló energia 4 fontos területen váltja a hagyományos energiát, ezek az áramtermelés, a fűtés, az üzemanyag és a hálózaton kívüli (off-grid) áramtermelés.

Fűtés: A fűtés terén a **napenergiával** előállított melegvíz a legfontosabb a megújuló forrásokból előállított fűtés terén. Ez különösen **Kínában** jelentős, ami a globális mennyiség **70%-át** használja fel, 50-60 millió háztartást látva így módon el.

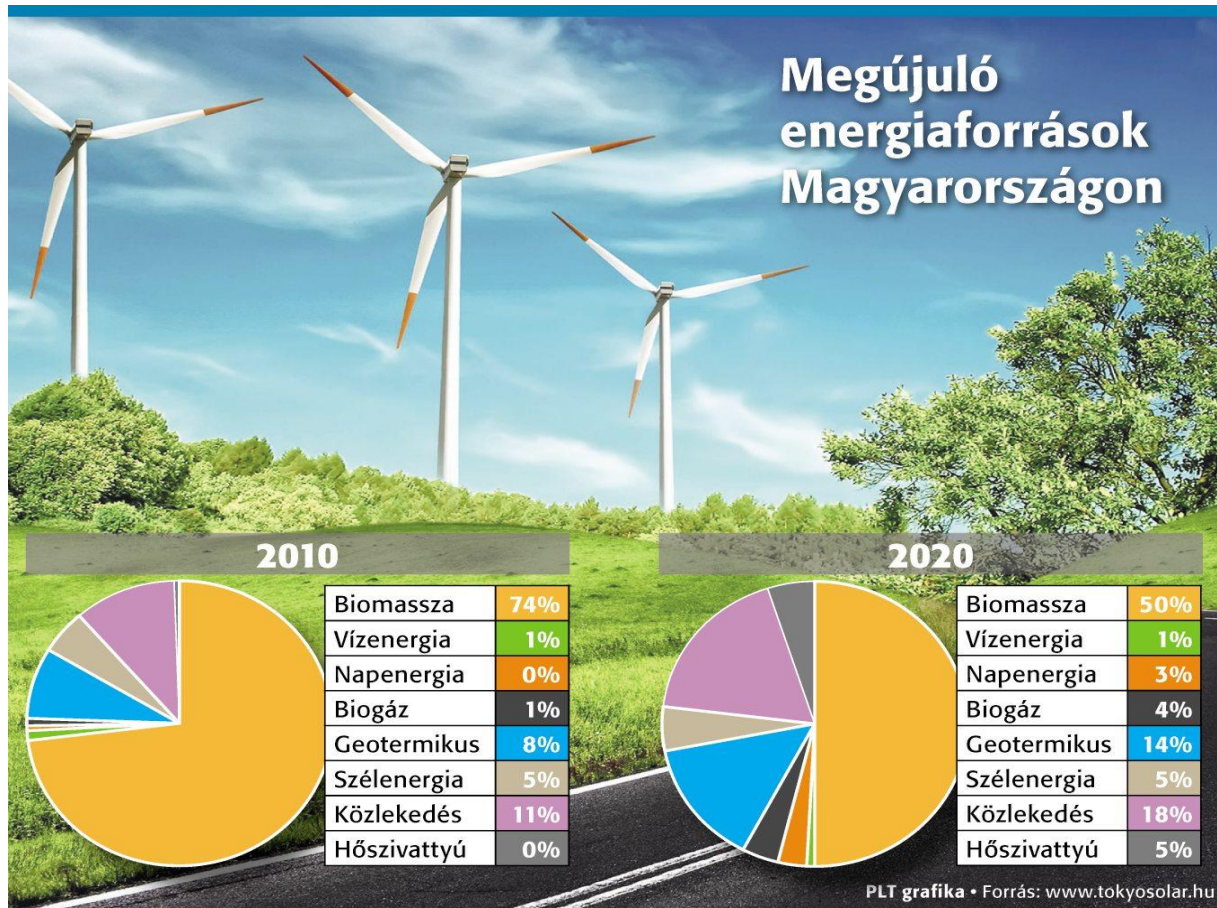
A **biomassza** használata is erőteljesen terjed és gyorsan növekszik a **geotermikus energia** ilyen célú hasznosítása is.

Áramtermelés: Jelenleg a **világ áramtermelésének 19%-át adják a megújuló források**, melyek közül a vízenergia a legjelentősebb, jóllehet a szélenergia részesedése is folyamatosan növekszik. Néhány helyen a szélenergia már igencsak komoly szerepet játszik az áramellátásban: az Egyesült Államok-béli Iowa állam áramának 14, a német tartomány Schleswig-Holstein áramának 40, Dánia áramának 20 %-a származik csak szélenergiából. Néhány ország **megújuló forrásokból termeli meg áramfogyasztásának** nagyobbik részét, mint például **Izland (100%)**, Paraguay (100%), Norvégia (98%), Brazília (86%), Új-Zéland (65%), Ausztria (62%) és Svédország (54%).

Üzemanyag: Az üzemanyag terén elsősorban a bioüzemanyagokat, mint például a Brazíliában egyre nagyobb mértékben használt **bioetanolt** kell érteni. Mára Brazília üzemanyagának

18 %-a bioetanol, világszinten pedig 93 milliárd gallon ilyen üzemanyag készül, ami 68 milliárd liter **benzint**, a **világfogyasztás kb. 5%-át váltja ki**.

A 2.3. ábra a megújuló energiaforrások egymáshoz viszonyított arányát szemlélteti. Megfigyelhető, hogy Magyarországon 2010-ben a megújuló energiaforrások közül a biomassza volt a mérvadó. A részesedési aránya az összes megújulók között 74%-ot tett ki. „020-ra a tervek szerint a biomassza aránya csökken, a napelemes rendszerek, a hőszivattyúk, a geotermikus energia és a közlekedés területén bővülés várható. Az utóbbi években jelentős mértékben növekedett a napelemes erőművek száma és beépített teljesítménye, így ezen a téren a tervezetthez képest nagyobb a bővülés.



2.3. ábra: Megújuló energiaforrások egymáshoz viszonyított aránya

2.2. HŐERŐMŰVEK

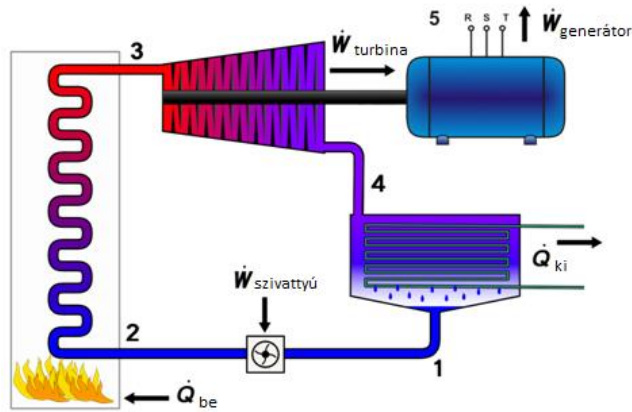
A villamosenergia-termelése érdekében a hőerőművekben lejátszódó leglényegesebb folyamatok két csoportra oszthatjuk: ún. fő technológiai folyamatokra és az azt kiegészítő folyamatokra. A hőerőművek működési alapja a Rankine-Clausis-körfolyamat.

Az erőműben zajló főbb technológiai folyamatok:

- a tüzelőanyag kémiai energiájának átalakítása hőenergiává (elégetési folyamat),
- a hőenergia átadása a következő közegnek,
- a közvetítőközeg hőenergiájának átalakítása mechanikai energiává,
- a mechanikai energia átalakítása villamos energiává.

A tiszta kondenzációs erőműben (2.4. ábra) a teljes fejlesztett gőzmennyiség villamos energia termelésére szolgál. A felhasználandó tüzelőanyagot (szén, fűtőolaj vagy földgáz) levegő hozzáadásával a kazánban elégetik, a keletkező füstgázt kéménybe vezetik, míg az égés utáni

maradék (salak, hamu) a salaktérbe kerül. A kazánban termelt gőzt a gőzturbinába vezetik, amely a villamos generátort hajtja. A generátorhoz egyrészt transzformátor csatlakozik, amely a generátorfeszültséget a kívánt, rendszerint nagyobb feszültségre emeli; másrészt egy leágazás, amely a segédüzemeket táplálja.



2.4. ábra: Víz-gőz körfolyamatú erőmű sémája

2.1. táblázat: Jelölések értelmezése a 2.4. ábrához.

| Jelölés | Jelentése |
|-----------------------|--------------------------------------|
| \dot{Q}_{be} | tüzelőanyaggal bevitt hőteljesítmény |
| $\dot{W}_{turbina}$ | turbina mechanikai teljesítménye |
| $\dot{W}_{generátor}$ | generátor teljesítménye |
| \dot{Q}_{ki} | kivitt hőteljesítmény |
| $\dot{W}_{szivattyú}$ | szivattyúteljesítmény |

Az úgynevezett gőzkondenzátorban, azaz egy hűtővizet hőcserélőben, hő elvonásával a fáradt gőzt táptartályba nyomják. A víz visszanyerésére azért van szükség, mert a kazánba csak tisztított lágy vizet lehet vezetni azért, hogy a forralócsövek ne vízkövesedjenek el. A tiszta lágy víz előállítás drága. A táptartályból a vizet a tápszivattyú a kazánba nyomja vissza, amivel a folyamat újra kezdődik.

A főbb kiegészítő folyamatok:

- a tüzelőanyaggal kapcsolatosak (a tüzelőanyag beérkezése, tárolása),
- a hűtővízzel kapcsolatosak (a víz kinyerése és bevezetése az erőműbe, visszahűtése vagy visszavezetése),
- a pótvízzel kapcsolatosak (szűrés, vegyi előkészítés, bevétel a fő technológiai folyamatba).

A gőzturbinás hőerőműnek három fő berendezése van:

- a kazán,
- a gőzturbiná,
- és a villamos generátor.

A 2.5. ábra egy gőzturbina lapátsorait szemlélteti.



2.5. ábra: Gőzturbina lapátsorai

Az alkalmazott gőzturbina típusa nagy mértékben befolyásolja a villamos- és a hőhatásfokot.

Gőzturbinák típusa:

- **kondenzációs gőzturbina**, amely a legjobb villamos hatásfokkal rendelkezik, azonban a hőhatásfoka másodlagos;
- **ellennyomásos gőzturbina**, jó villamos- és hőhatásfok jellemzi, ilyen típusú erőműveknél kondenzátor helyett hőcserélő kerül beépítésre, és a turbinát elhagyó gőz nyomás, 3 – 5 bar, amely így egyéb technológiákban is hasznosítható;
- **megcsapolásos, vagy gőzelvételes turbina**, amely a turbina különböző lapátfokozataiban gőz elvételre alkalmas, kisebb villamos, de nagyobb hőhatásfok jellemzi;
- **fűtőturbina**, kis villamos hatásfok és nagy hőhatásfok jellemzi, első sorban távfűtőművekben alkalmazzák.

A villamos hatásfok növelésére számos megoldást dolgoztak ki. Ilyen hatásfoknövelő megoldások az erőműben a léghevítés, a megcsapolásos tápvíz-előmelegítés és a közvetítő közeg újrahevítése:

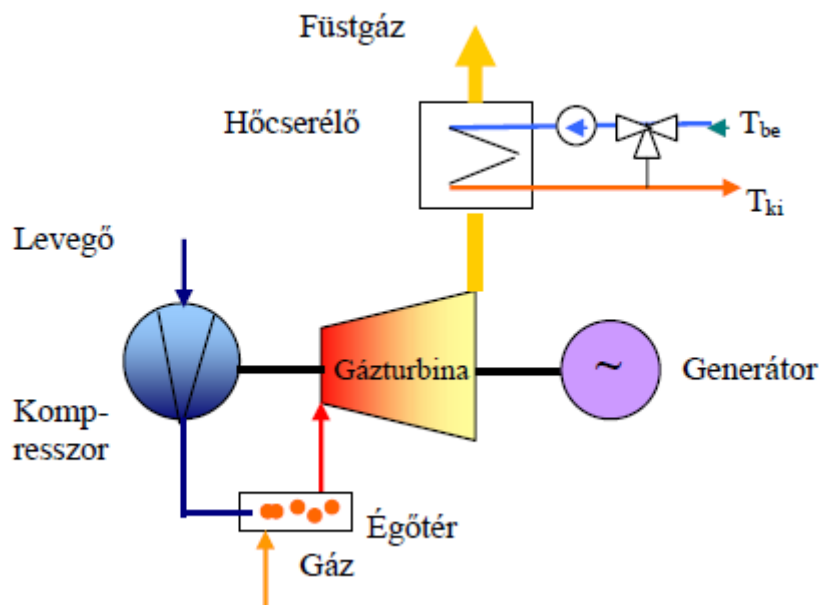
- A léghevítő a kazánból távozó füstgáz hulladékhőjét hasznosítja úgy, hogy az égéshez szükséges levegőt egy hőcserélőben felhevíti. A léghevítőknek mind a tüzelés gazdaságossága, mind a tüzelőanyag őrlése és gyulladása szempontjából nagy a jelentősége.
- A víz-előmelegítők hőcserélők, amelyekben a táptartályba, majd a kazánba juttatandó csapadék-, ill. tápvizet előmelegítik. A hőközlés céljára szolgáló gőzmennyiséget a turbina különböző fokozataiból (megcsapolásaiból) veszik el.
- A túlhevítő a korszerű nagynyomású, nagyteljesítményű kazánok egyik legfontosabb része, a kazán felső, legmelegebb részén húzódó csőrendszer, amelyben a kazán elgőzölgtető részében termelt 1 – 2% nedvességtartalmú gőzt a telítési hőmérséklet fölé, 500 – 600 °C hőmérsékletre hevítik.

2.3. GÁZTURBINÁS ERŐMŰVEK

A gőzerőművi energiafejlesztés mellett napjainkban egyre nagyobb teret hódítanak a gázturbinás egységek. Legfőbb előnye a berendezések kis mérete, ami nagymértékű gyártóműi készre szerelést, rövid építési időt és alacsony beruházási költséget tesz lehetővé. Emellett a

gőzerőművi berendezéseknél lényegesen (közel két nagyságrenddel) kevesebb magas hőmérsékletű anyag fajlagosan drágább, lényegesen magasabb hőmérsékletet tűrő anyagok alkalmazását engedi meg, így a körfolyamat kezdő hőmérséklete (esetenként jelentősen) meghaladhatja az 1000 °C-ot. A hatásfok mégsem lehet magasabb a gőzerőművek hatásfokánál, mert a hőelvonás középhőmérséklete sokkal magasabb, mivel nincs állandó hőmérsékletű (halmazállapotváltozásos) hőelvonás.

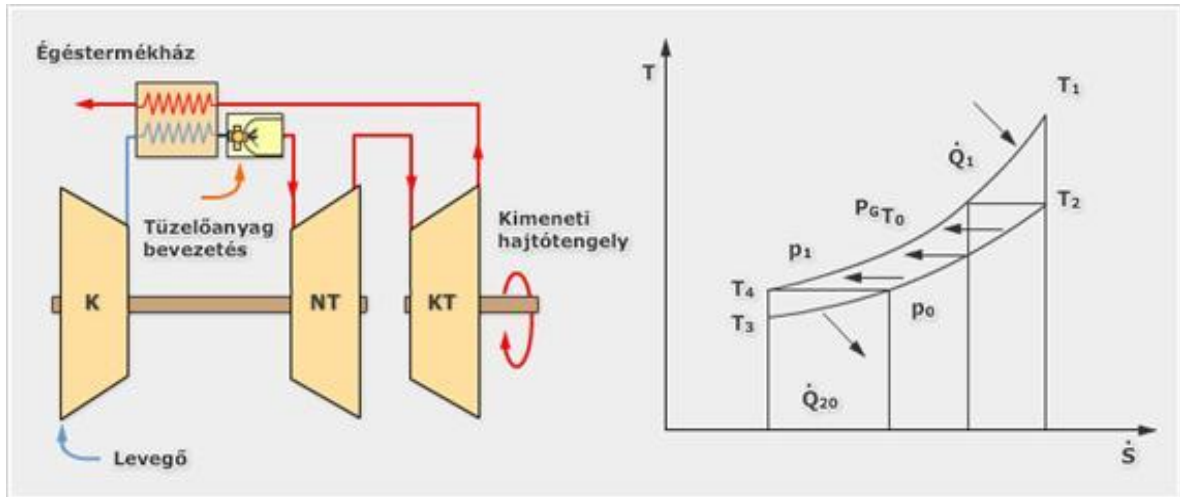
A gázturbinás erőmű a gőzturbinás erőműhöz képest több pontban is eltér. A kazán szerepét az égéstér a gőzturbina helyét pedig a gázturbina tölti be. A gázturbinás erőművek tüzelőanyaga elsősorban olaj vagy földgáz. A közvetítő közeg vízgőz helyett maga az égéstermék, azaz a füstgáz. A legegyszerűbb gázturbinás erőműben a levegőt kompresszor nyomja az égőtérbe ahol a gáz elég és a keletkező nagynyomású füstgáz a turbinalapátokra jutva megforgatja a turbinát és a vele egytengelyen üzemelő szinkron generátort. A turbina a generátoron kívül a légkompresszort is hajtja, így a gázturbina indítását külön motor végzi (2.6. ábra). Az erőmű hatásfokát alapvetően az határozza meg, hogy a gázturbina és a légkompresszor hatásfoka mekkora, valamint a turbinába beömlő gáz hőmérséklete milyen magas, és a turbinából kilépő gázok hőtartalmát milyen mértékben hasznosítják.



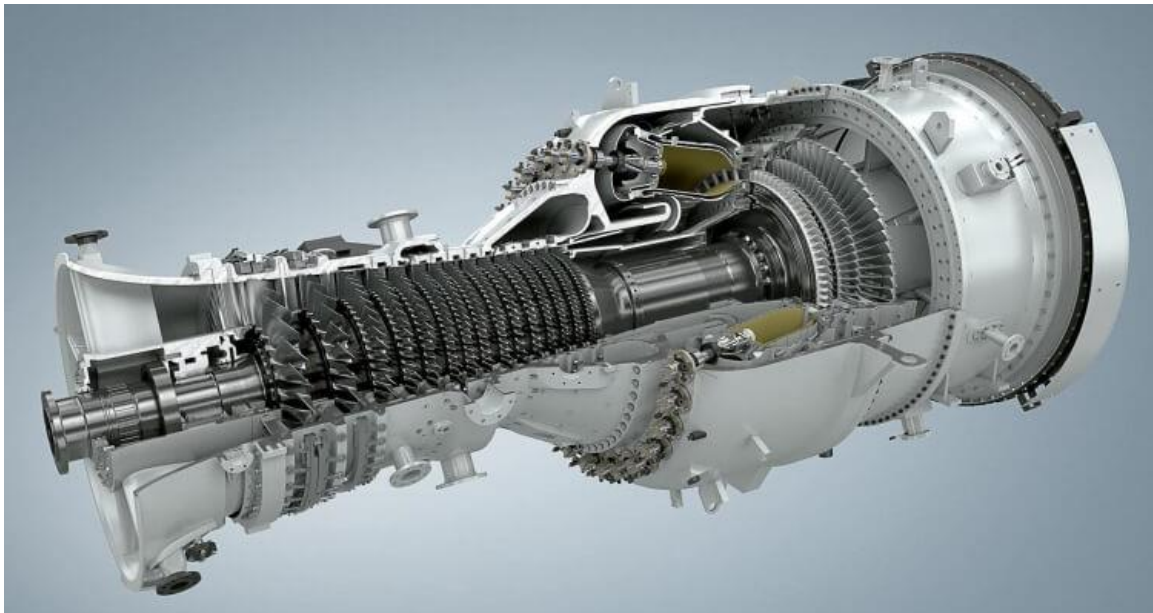
2.6. ábra: Gázturbinás erőmű kapcsolási sémája

A 2.7. ábra olyan nyitott rendszerű gázturbinás erőművet ábrázol, ahol a kétfokozatú kompresszor hatásfokát levegőhűtő növeli. A szabadból hangtompítón át beszívott levegő a kompresszorok után hőcserélőben felhevítve kerül az égőkamrába, ahol az oda bejuttatott tüzelőanyag a levegővel keveredve elég. A keletkező magas hőmérsékletű, nagynyomású füstgázok energiája a turbinában mechanikai munkává alakul. A turbina hajtja a villamos energiát termelő generátort. A fáradt füstgázok hangtompítón át a kéményből a szabadba távoznak.

A 2.8. ábra egy gázturbinát szemléltet.



2.7. ábra: Kétfokozatú gázturbinás erőmű kapcsolási sémája



2.8. ábra: Gázturbina

A gázturbinás erőmű előnyei:

- gyors üzemkésztség,
- a berendezés és a kezelés egyszerűsége,
- a hűtővíz-ellátástól való teljes, vagy részleges függetlenség.

A gázturbinás erőmű hátrányai:

- a gőzerőműveknél rosszabb hatásfok,
- szerkezeti okok következtében kisebb egységteljesítményű turbina.

Alkalmazási területek:

- a nagyobb egységteljesítményű gázturbinás erőműveket csúcserőműként alkalmaz-
zák a villamosenergia-rendszerekben,
- az együttműködő villamosenergia-rendszerben gyorsan indítható hideg tartalékként
alkalmazzák.

Az erőmű hatásfokát alapvetően az határozza meg, hogy:

- a gázturbina és a légkompresszor hatásfoka mekkora;
- a turbinába beömlő gáz hőmérséklete milyen magas,
- a turbinából kilépő gázok hőtartalmát milyen mértékben hasznosítják, azaz milyen a megvalósított körfolyamat.

E jellemzőknek megfelelően a következő hatásfokjavító megoldásokat alkalmazzák:

- a szabadba távozó füstgázok hőjével működő hőcserélőt építenek be, amely a beszívott levegőt előmelegíti, és így a tüzet nem hűti;
- többfokozatú kompressziót és expanziót alkalmaznak, amelynek során a kompressziós fokozatok között hűtik, az expanziós fokozatok között pedig újrahevítik a hőhordozó közeget;
- kombinált ciklust (gáz-gőz körfolyamatot) alkalmaznak, amelyben a gázturbina távozó hőjét gőzerőműben hasznosítják. (Kombinált ciklusú erőművek).

2.4. KOMBINÁLT CIKLUSÚ ERŐMŰ

A kombinált gáz-gőz körfolyamatú erőművek gondolatát a gázturbina-körfolyamat magas hőelvezetési átlaghőmérséklete (másképp fogalmazva a kipufogógáz magas hőmérséklete) vetette fel. Ha ezt a hőt valamilyen gőzkörfolyamatban tudjuk hasznosítani, akkor egyesítettük a gázturbina magas hőbevezetési átlaghőmérséklete és a gőzkörfolyamat alacsony hőelvezetési átlaghőmérséklete nyújtotta előnyöket. A kombinációnak számos lehetősége van, ezek közül messze a legelterjedtebb a gázturbina kipufogógázához kapcsolt hőhasznosító gőzerőmű és annak különböző alváltozatai. Ezért ezt a kombinációt ismertetjük legrészletesebben.

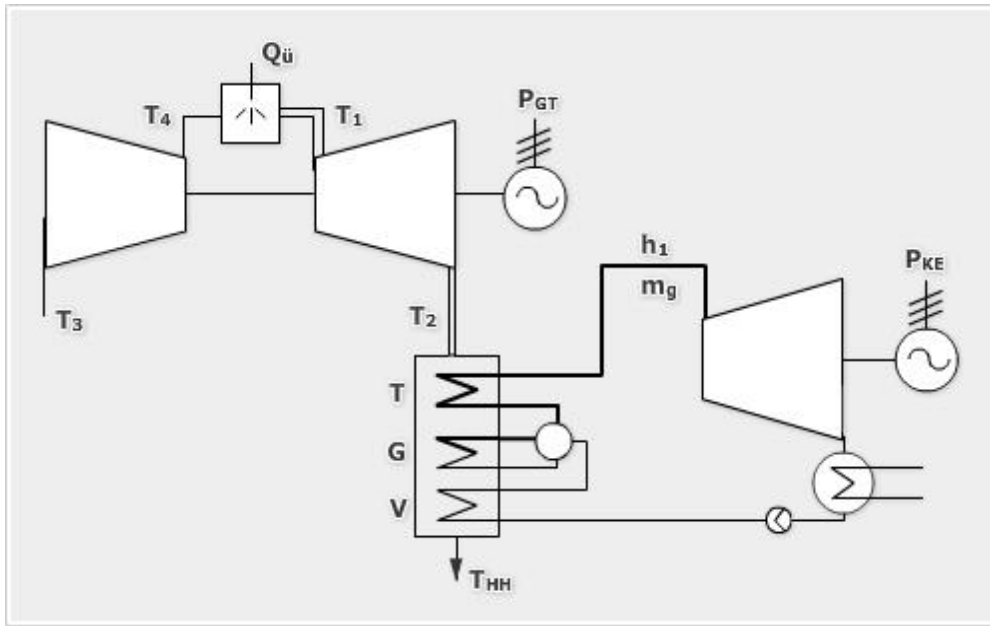
A jelenleg legelterjedtebben használt 1.000 – 1.400 °C belépő gázhőmérsékletű gázturbinák kipufogógázának hőmérséklete 500 – 600 °C körül van. Ez elegendően magas ahhoz, hogy kiegészítő tüzelés nélkül is közepes (40 – 60 bar) nyomású gőz legyen termelhető, amely egy gőzkörfolyamatban hasznosítható. Az ilyen módon termelt gőzből többlet hőbevezetés nélkül még kb. fele akkora villamos teljesítmény nyerhető, mint a gázturbinából, azaz az összes villamos teljesítmény és a hatásfok kb. másfélszeresére nő. Ez 32 – 36% gázturbina-hatásfok mellett már 50% körüli vagy azt is meghaladó kombináltciklus-hatásfokot jelent, ami meghaladja a gőzkörfolyamatú erőművek szokásos hatásfokait.

A gázturbinából távozó füstgáz hőmérséklete és hőenergia tartalma alkalmas gőzfejlesztésre így az eddig szabadba távozó, vagy csak részben használt füstgáz energiáját egy gőzciklusban jól lehet hasznosítani.

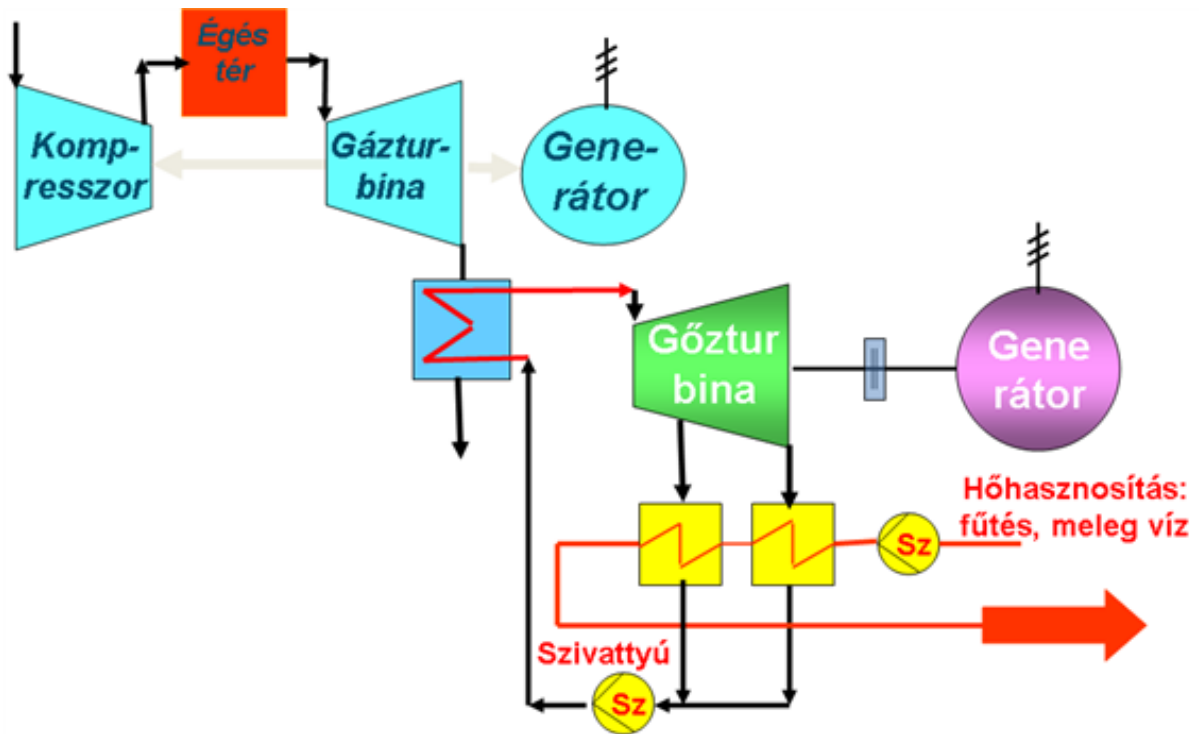
A kombinált ciklusú gázturbinás erőművek előnyei:

- takarékos primerenergia felhasználás;
- hatásos energia-kihasználás;
- mérsékelt károsanyag (füstgáz) kibocsátás.

A 2.9. és a 2.10. ábra egy kombinált ciklusú erőmű kapcsolási vázlatát szemlélteti. A 2.11. ábra egy kombinált ciklusú erőmű gázturbinájának házát és a villamos generátort, a 2.12. ábra pedig a kéményét szemlélteti.



2.9. ábra: Kombinált ciklusú erőmű kapcsolási sémája



2.10. ábra: Kombinált ciklusú erőmű kapcsolási sémája



2.11. ábra: Kombinált ciklusú erőmű gázturbinájának a háza és a villamos generátor



2.12. ábra: Kombinált ciklusú erőmű kéménye

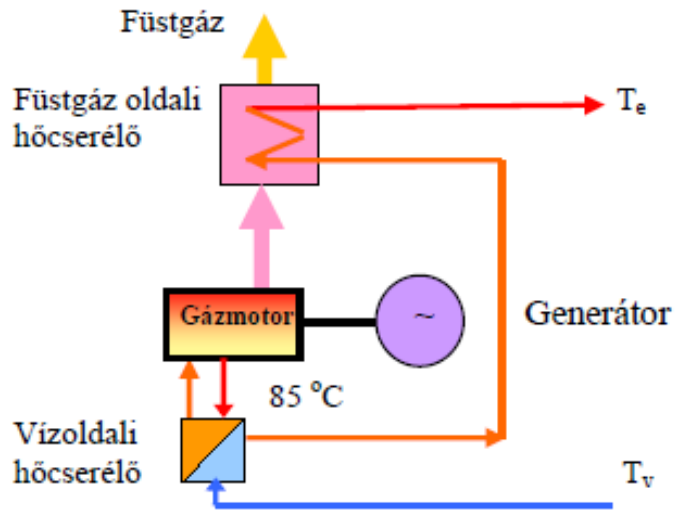
2.5. BELSŐ ÉGÉSŰ MOTOROS ERŐMŰVEK

Ezen erőművekben a gőz-, ill. a gázturbina helyett a generátor hajtó gépeként diesel-motort, gázmotort, vagy egészen kis teljesítmények esetén benzinmotort alkalmaznak. Működtetésük nem minden esetben gazdaságos. Azaz alkalmazáskor a gépegységek egyértelmű előnyei a mértékadók, mint például a gyors indíthatóság, az egyszerű kezelés és szabályozás. Ezeken kívül csekély a vízszükséglet és rugalmas az üzemmenet.

A 2.13. ábra a gázmotoros erőmű kapcsolási-sémáját szemlélteti. A 2.14. ábra egy gázmotort, a 2.15. ábra pedig 5 gázmotor kipifugóját (kéményét) mutatja.

Alkalmazási területek:

- szükség-áramfejlesztő berendezésként olyan villamosenergia-fogyasztóknál, amelyeknél váratlan áramkimaradás esetén azonnali helyettesítő áramszolgáltatást kell biztosítani (pl. vasútbiztonsági berendezések, híradástechnikai berendezések, kohóüzemek levegő- és gázellátása, stb.);
- olyan területek villamos energia szolgáltatójaként, ahová még nem lehetett a közcélú villamosenergia-szolgáltatást kiépíteni (pl. tanyak, távol eső építkezések és olajvidékek);
- olyan ipari, illetve távhőszolgáltató létesítményekben, ahol a motor hűtéséből származó és a füstgázból visszanyert hő hasznosítható.



2.13. ábra: Gázmotoros erőmű kapcsolási sémája



2.14. ábra: Gázmotor



2.15. ábra: Gázmotoros erőművek kéményei

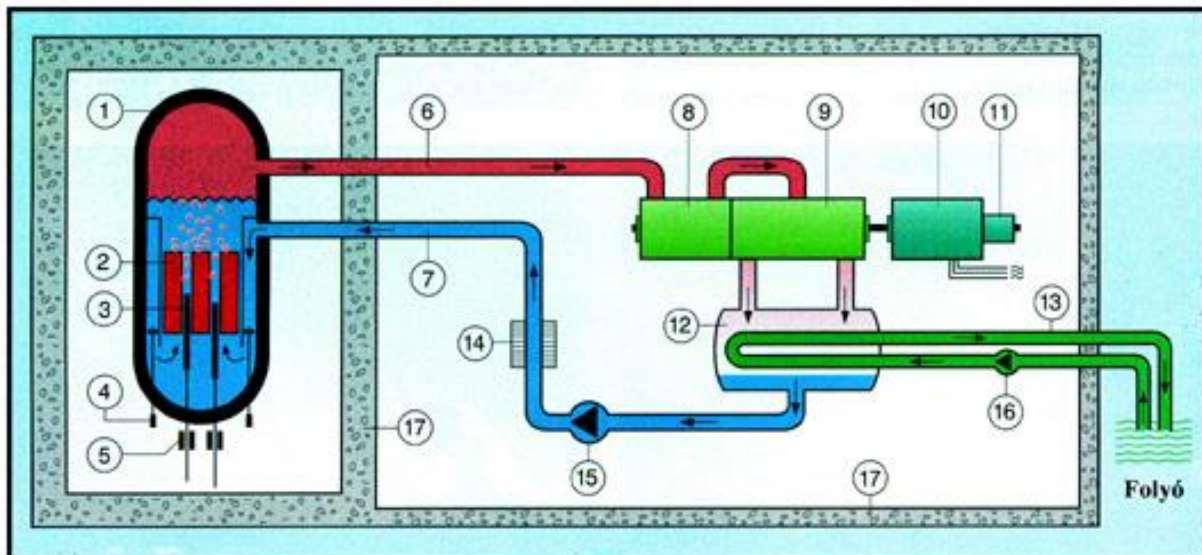
2.6. ATOMERŐMŰVEK

Az atomerőmű és a hagyományos hőerőmű között az a lényeges különbség, hogy a hőtermelés a kazán helyett az úgynevezett reaktorban megy végbe. A reaktorban keletkezett hőt közvetítőközeg (hűtőközeg) juttatja el a hőcserélőbe. Ez a folyamat a primer (nagy radioaktivitású) körben játszódik le. A hőcserélőben keletkezett gőzt a turbinára vezetik. A turbinából a gőz a kondenzátorba jut, ahonnan a csapadék a hőerőműveknél megismert módon kerül vissza a hőcserélőbe (szekunder kör). Egy ilyen rendszerű atomerőmű hőkapcsolási rajzát a 2.16. és a 2.17. ábra mutatja.

Egy atomerőmű főbb részei tehát: a hofejlesztő reaktor a hőátadási rendszer, az erőgépcsoport, valamint az ezekhez szervesen hozzátartozó segédberendezések (szabályozó-berendezések, üzemanyag-előkészítés és kezelés stb.). A hőerőgép lehet gőz- vagy gázturbina. A gyakorlatban egységes erőművi reaktortípus nem alakult ki, így a különböző atomerőmű-típusokat az alkalmazott reaktortípusok határozzák meg.

Heterogén rendszerű a reaktor, ha az üzemanyag és a moderátor elkülönített közeg. Homogén rendszerű reaktoroknál az üzemanyag és a moderátor homogén keveréket alkot.

A 2.16. és 2.17. ábra egy atomerőmű kapcsolási sémáját szemlélteti.

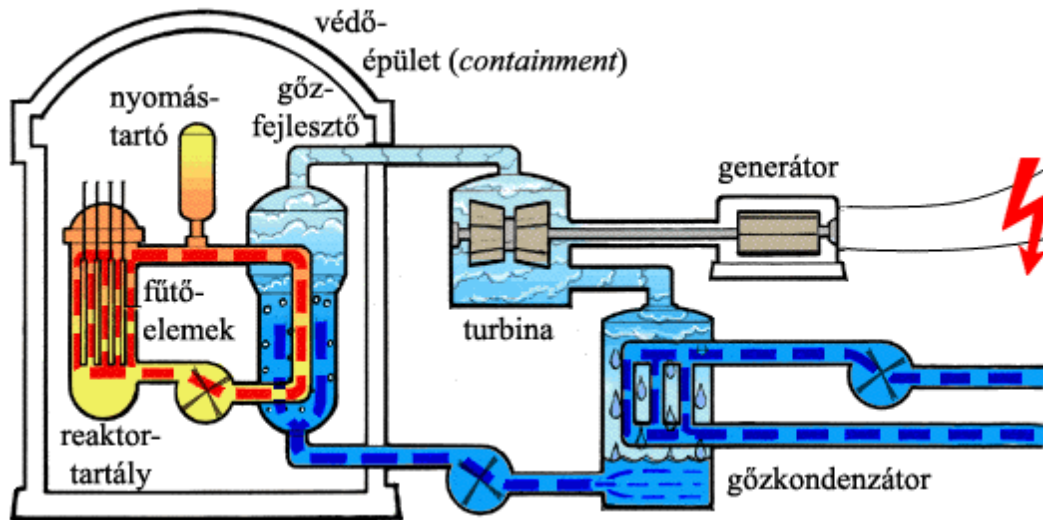


2.16. ábra: Atomerőmű kapcsolási sémája

A reaktor fő szerkezeti elemei:

- az üzemanyag elhelyezésére szolgáló aktív zóna (reaktormag);
- az aktív zónát körülvevő neutronlassító közeg, azaz a moderátor (termikus reaktoroknál);
- az aktív zónából, a reaktorból kilépni igyekvő neutronok visszaverésére szolgáló reflektor;
- a maghasadás során keletkezett hőt elvezető hűtőközeg;
- a szabályozó és mérőberendezések;
- sugárvédelmi berendezések.

A termikus reaktorok közül két típus, a "gázgrafitos" és a vizes ma már kipróbált, teljesen megbízható, kereskedelmi típusnak tekinthető.



2.17. ábra: Atomerőmű kapcsolási sémája

Nagy teljesítményű atomerőművekben elterjedten alkalmazzák a termikus reaktorokat. (A termikus neutronokkal végzett maghasadásnál nagy előny a jó szabályozhatóság. Termikus neutronokkal - a természetben előforduló elemek közül - egyedül az urán 235-ös tömegszámú izotópjá, az U235 hasítható.) Ezért a termikus reaktorok üzemanyaga természetes, vagy U235-ben dúsított urán.

Nyomottvizes reaktor:

Ennél a típusnál a moderátor és a hűtőközeg egyaránt könnyűvíz. A reaktorban termelt hőmennyiséget a hűtőközeg víz formájában veszi fel (azért nyomott vizes, mert akkora nyomás alatt kell tartani, hogy a kb. 500 °C-os víz ne forrjon), majd a hőcserélőn keresztül egy másik vízkörben (szekunder körben) gőzt termel, amelyet gőzturbinában hasznosítanak.

A legfontosabb előnyök:

- a hűtőközeg és a moderátor ugyanaz az anyag (brómos víz);
- a víz beszerzése és kezelése olcsó;
- a vízzel hűtött reaktor negatív hőfoktényezőjű lehet, ami azt jelenti, hogy - nukleáris szabályozás nélkül is - maga a hűtőközeg nem engedi meg a reaktor megszaladását;
- a nyomás alatti víz miatt a reaktorméret, és ezáltal a fajlagos beruházási költség is kicsi.

Hátrányos tulajdonságai:

- működéséhez dúsított üzemanyag szükséges (a fűtőelemek előállításának költsége annál kisebb, minél kisebb arányú dúsítást kell alkalmazni);
- termikus hatásfoka a többi reaktortípushoz képest valamivel kisebb (nagy, 400-500 MW egységeik azonban már versenyképesek);
- a gőzfejlesztéshez külön hőcserélőre van szükség;
- a viszonylag alacsony gőzjellemzők miatt a szokványostól eltérő turbinák szükségesek.

2.7. NAPELEMES ERŐMŰVEK

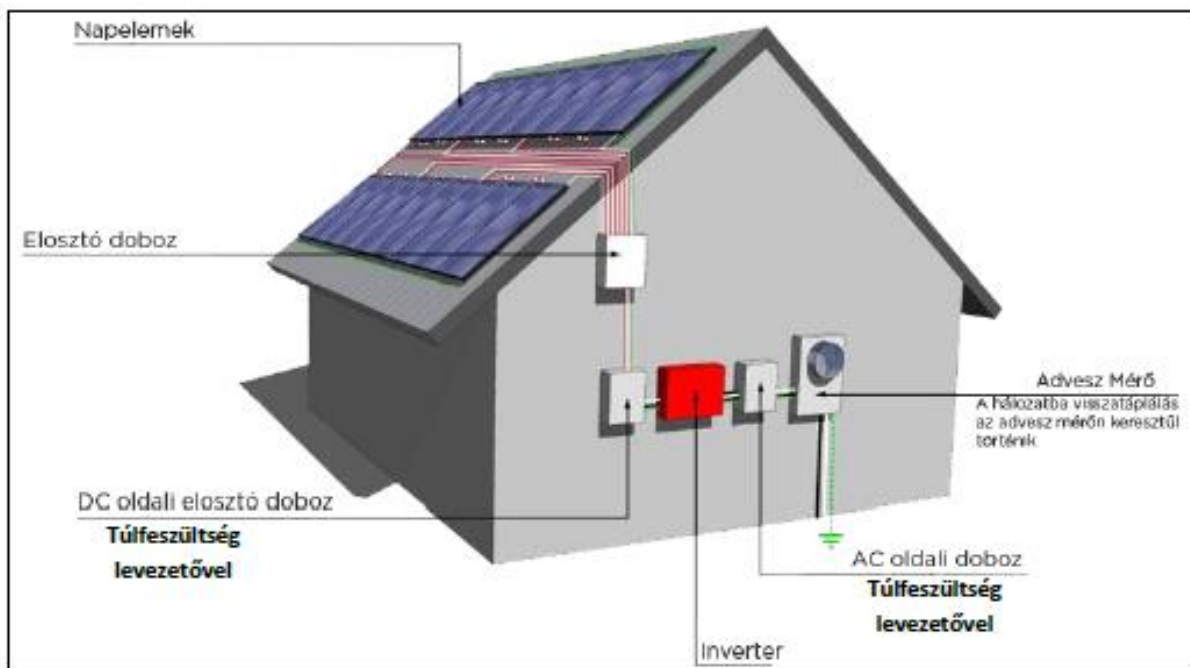
A napelemes rendszerek típusait alapjában véve a közcélú hálózattal történő kapcsolatuk alapján csoportosítjuk. Léteznek olyan rendszerek, amelyek közvetlen összeköttetésben állnak a közcélú hálózattal, a villamos energia áramlás iránya kétirányú lehet, tehát ha nagyobb a napelemek által termelt villamos energia mennyisége, mint amennyit a helyi, háztartási fogyasztók igényelnek, akkor a többlet energiát a közcélú hálózatra tápláljuk. Ellenkező esetben a hiányt a hálózatról pótoljuk. Ezt a kialakítást nevezzük (közcélú) hálózatra tápláló napelemes rendszernek. Az ilyen rendszerek telepítése áramszolgáltatói engedélyköteles, egyben a legelterjedtebb.

A másik típus szintén kapcsolatban áll a közcélú hálózattal, azonban az energia áramlás iránya csak egyféle lehet, tehát a közcélú hálózatra nem tud rátáplálni, de a helyi fogyasztók energiaigényét illetve az energiahiányt onnan képes felvenni, azaz a kapcsolat közvetett. Mivel a hálózat csak rásegít a napelemes rendszerre, ezért a napelemes rendszer csak kiegészíti a hálózatot, így őket hibrid napelemes rendszereknek nevezzük. Fontos, hogy a hálózat és a napelem által termelt energia nem használható fel egyidejűleg, mert a két energiaforrás között vagy kapcsolat áll fenn. Vagy az egyik, vagy a másik látja el a fogyasztókat. A két forrás nem kapcsolható össze, mert az zárlatot eredményezne.

A harmadik típus esetében nincs kapcsolat a napelemes rendszer és a közcélú hálózat között, tehát a két rendszer egymástól függetlenül üzemel. E típus képviseli a szigetüzemű napelemes rendszereket.

2.7.1. HÁLÓZATRA TÁPLÁLÓ NAPELEMES RENDSZEREK

A közcélú hálózatra termelő napelemes rendszerek, felépítésüket tekintve a legegyszerűbbek. A tartószerkezetet leszámítva, csak napelemekből, túlfeszültség-levezetőkből és hálózati engedélyes inverterből épülnek fel. Természetesen a szükséges szerelődobozok, szolár kábelek és csatlakozók elengedhetetlen kiegészítő kellékek. A rendszer felépítését a 2.18. ábra szemlélteti.



2.18. ábra: Hálózatra tápláló háztartási méretű napelemes kiserőmű

A felhasznált és a hálózatba visszatáplált energia egymáshoz viszonyított nagysága alapján az elszámolási időszakra vonatkozóan az alábbi számlázási esetek állhatnak elő:

- A fogyasztás meghaladja a közcélú hálózatba betáplált mennyiséget. Ebben az esetben a fogyasztott- és a termelt villamos energia mennyiség különbsége alapján kell megfizetni a forgalomarányos díjakat. A nem forgalomarányos (éves díjak) ettől függetlenül kerülnek elszámolásra.
- A fogyasztás megegyezik a közcélú hálózatba betáplált mennyiséggel. Ebben az esetben a szaldóképzés eredménye nulla, így csak a nem forgalomarányos díjak kerülnek elszámolásra.
- A fogyasztás kisebb a közcélú hálózatba betáplált mennyiségnél. Ebben az esetben a villamosenergia-kereskedő/egyetemes szolgáltató részéről csak a nem forgalomarányos díjak kerülnek elszámolásra. A szaldóképzés eredménye alapján meghatározott termelési többletről és ennek átvételi áráról (273/2007. Kormányrendelet alapján) a felhasználó értesítést kap. A többletenergiaért az adott csatlakozási ponton értékesítő villamosenergia-kereskedő vagy egyetemes szolgáltató – számla ellenében –, a felhasználóként fizetendő villamos energia átlagos termékárát (rendszerhasználati díj nélküli ár) köteles fizetni.

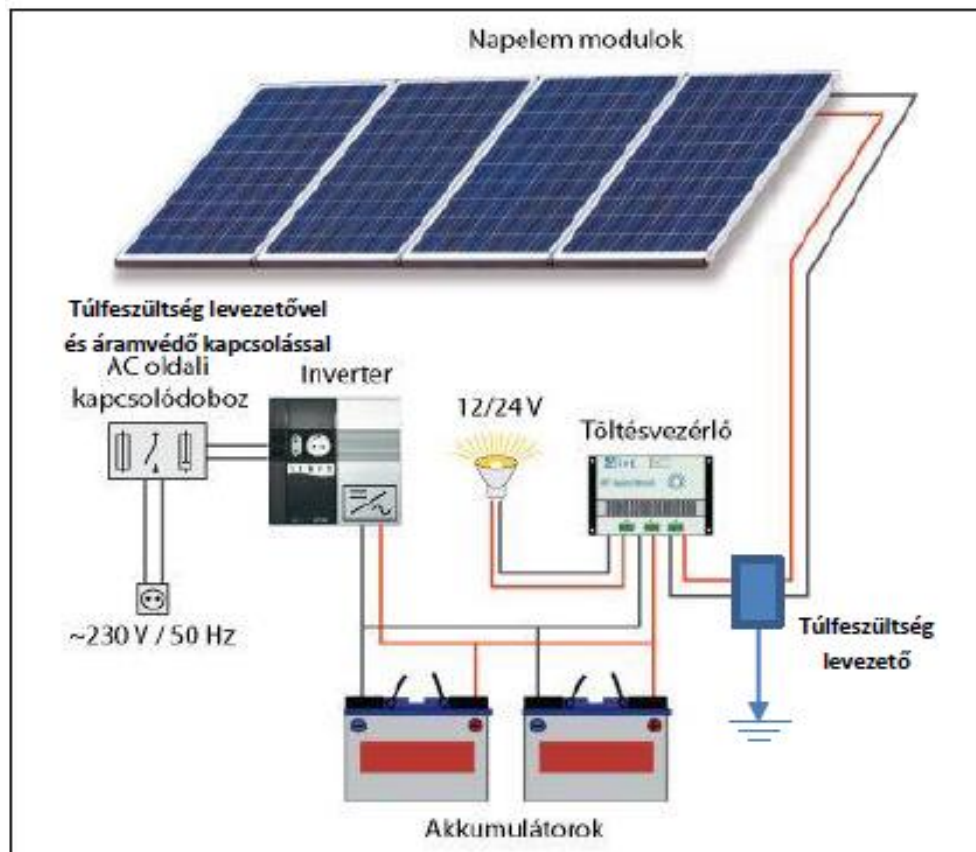
2.7.2. SZIGETÜZEMŰ NAPELEMES ERŐMŰ

A szigetüzemű napelemes rendszereknek nincs kapcsolatuk a közcélú hálózattal. A rendszer felépítését tekintve bonyolultabb, mint a hálózatra tápláló rendszer, hiszen kiegészül energiátárolásra alkalmas akkumulátorteleppel és maximális teljesítményű munkapontra szabályozóval ellátott töltésvezérlővel. A 2.19. ábrán jól látható az egyes részegységek egymáshoz való csatlakoztatása. A hálózatot mind a DC, mind az AC oldalon túlfeszültségelevezetőkkel kell ellátni, így biztosítható a kellő védelem.

Szigetüzemű rendszereknél alkalmazott inverternek nem kell hálózati engedéllyel rendelkeznie, hiszen a közcélú hálózattól távol, attól függetlenül működik. A hagyományos inverterek jelentősen olcsóbbak, mint a hálózati engedélyesek. Mivel a legtöbb háztartási fogyasztó működéséhez nem igényel szinuszos hullámformájú invertert, ezért a bekerülési költségek tovább csökkenthetők módosított szinuszos, vagy négyszögjel inverterek alkalmazásával.

Létesítésük nem engedélyköteles, nem kell külön megterveztetni, így szintén tovább csökkenthető a beruházási költség.

A rendszer legnagyobb hátránya, hogy az akkumulátorok élettartama jelentősen kisebb, mint a napelemeké, így azokat a 6 – 10 évenként cserélni kell használatától függően. Ez azt jelenti, hogy a napelemek élettartama során akár 3 – 5 alkalommal is cserélni kell az akkumulátorokat. Ennek az az eredménye, hogy a napelemek élettartama alatt az akkumulátorok cseréjének összköltsége az alaprendszer még egyszerűsége lehet. Összességében a rendszer életciklus-költsége duplája a beruházási költségnek, így ennek a rendszernek a kiépítése akkor gazdaságos, ha nem áll rendelkezésre közcélú hálózat, illetve annak létesítése nagyobb költségekkel jár.



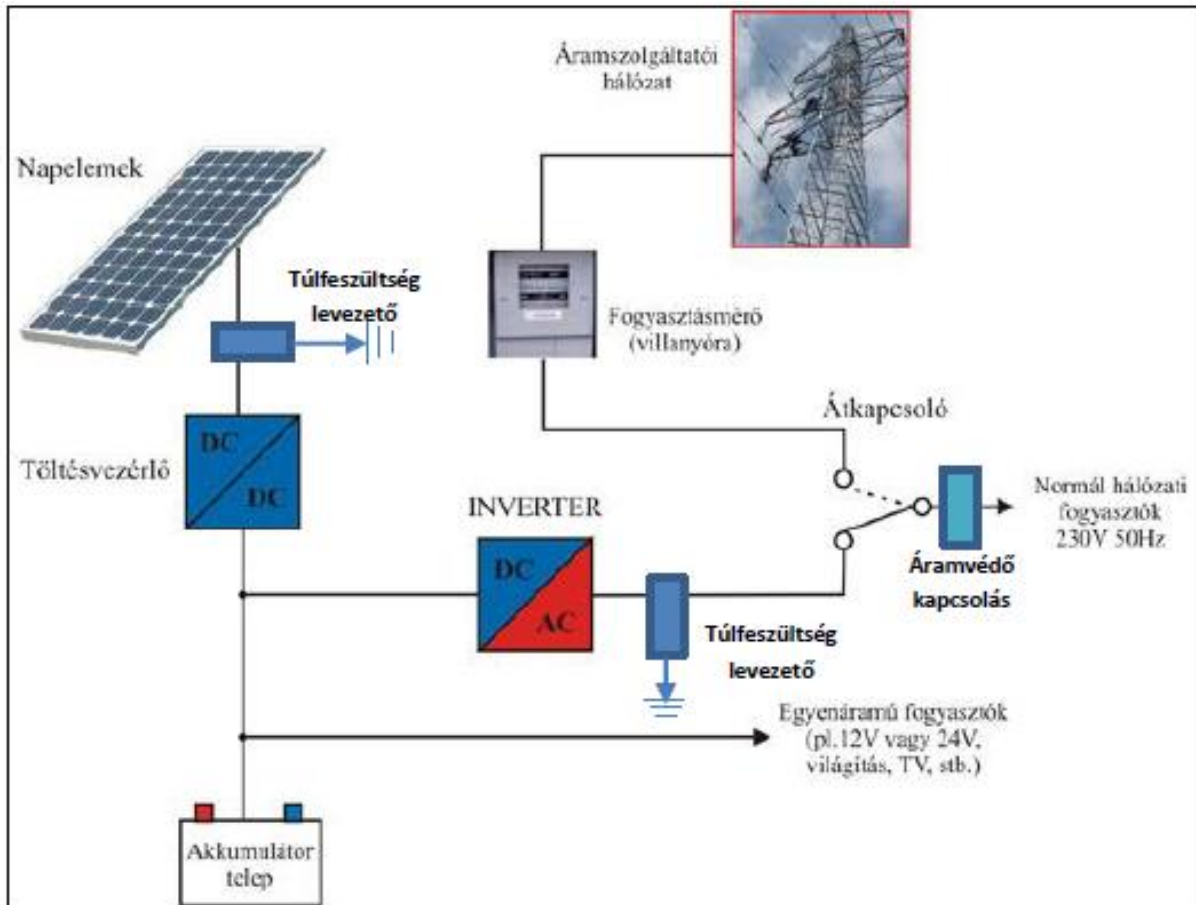
2.19. ábra: Szigetüzemű háztartási méretű napelemes kiserőmű

2.7.3. HIBRID NAPELEMES ERŐMŰ

A hibrid napelemes rendszerek ötvözik a szigetüzemű és a hálózatra tápláló napelemes rendszerek előnyeit. E rendszereknek a közcélú hálózattal való kapcsolatuk közvetett, amely azt jelenti, hogy nem tudnak a közcélú hálózatra táplálni, azonban a napelemes rendszer kiesése esetén onnan tudnak vételezni. Ezen rendszerek kiválóan alkalmasak szünetmentes energiaellátó rendszerek kiépítésére is.

Felépítésüket tekintve minden olyan elemet tartalmaznak, amit egy hálózatra tápláló és egy szigetüzemű rendszer (napelem, töltésvezérlő, akkumulátor, hagyományos inverter), azonban kiegészül egy terhelésátkapcsoló állomással, amelynek két bemenete és egy kimente van. Az egyik bemenetre a napelemes rendszer, a másikra a közcélú hálózat csatlakozik. A kimentre a fogyasztók csatlakoznak. Az átkapcsoló állomás képes automatikus átváltásra a napelemes rendszer és a hálózat között.

A két bemenet elsődleges és másodlagos prioritású bemenet. Amennyiben az elsődleges bemeneten megszűnik a tápfeszültség, akkor automatikusan átkapcsolja a fogyasztót a másodlagos energiaforrásra, feszültség-visszatérés esetén pedig visszakapcsol az elsődleges bemenetre. Az átkapcsolási idő típustól függően néhány száz milliszekundumtól 1 – 2 másodpercig terjed. A rendszer felépítését a 2.20. ábra szemlélteti.



2.20. ábra: Hibrid háztartási méretű napelemes kiserőmű

2.8. VÍZERŐMŰVEK

A vízerőművekben a víz helyzeti, ill. mozgási energiáját hasznosítják oly módon, hogy az esés magasságának és a vízmennyiségnek megfelelő típusú vízturbinákkal hajtják a villamos generátort. A vízerőművek összefoglaló osztályozását a 2.2. táblázat mutatja.

Vízerőművek alkalmazási területei:

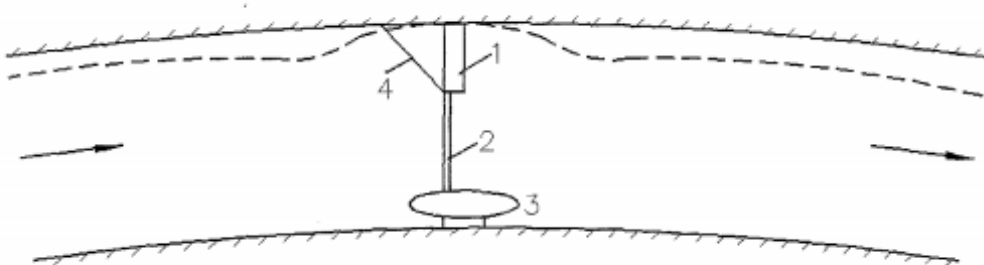
- folyami vízerőművek: a kisesésű vízerőmű villamosenergia-termelése ingadozó, esetleg szakaszos, a közepes esésű kisebb ingadozású, folytonos. Mindkét fajta erőművet kooperációs alaperőműként alkalmaznak;
- tározós erőművek: a tározómedencéből a vizet nem kell a hozzáfolyás ütemében felhasználni, így az erőmű teljesítménye a villamosenergia-fogyasztás ingadozásainak megfelelően szabályozható. Az ilyen erőművek tehát igen alkalmasak az energiarendszer csúcsterheléseinek fedezésére (csúcserőművek)
- szivattyús tározós erőművek: ezen erőműveknek energiarendszerbeli alkalmazásával biztosítani lehet a hő- és az atomerőművek egyenletes terhelését, gazdaságos üzemét. Ugyanis. kisterhelésű időszakokban (pl. éjszaka) gépei vizet szivattyúznak a tározóba, a csúcsideben lebocsátva a vizet gépegységeikkel energiát szolgáltatnak (csúcserőmű).

2.2. táblázat: Vízerőművek összefoglaló osztályozása

| Osztályozási szempont | Megnevezés | Megjegyzés |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------------|
| Energiaforrás | Vízfolyás | |
| | Természetes tározó | |
| | Szivattyús tározó | |
| | Tengervíz | |
| Esési magasság | Kis esés | 0-15 m |
| | Közepes esés | 15-50 m |
| | Nagy esés | 50 m-nél nagyobb |
| Teljesítőképesség | Törpe erőmű | 0-100 kW |
| | Kiserőmű | 100-1.000 kW |
| | Közepes erőmű | 1.000-10.000 kW |
| | Nagyerőmű | 10.000 kW-nál nagyobb |
| Vízgazdálkodás | Villamosenergia-termelés | |
| | Többféle hasznosítási cél | öntözés, hajózás, vízellátás... |

2.8.1. FOLYÓVÍZI, VÖLGYZÁRÓGÁTÁS ERŐMŰ

A folyómederbe épített erőmű magában a folyómederben foglal helyet. A beépítés helyén a vízszállításhoz, azaz az erőmű működéséhez szükséges esést duzzasztómű létesítésével érik el, minek következtében az áramlási sebesség csökken, és a vízmélység megnő. Ez a megoldás csak akkor lehetséges, ha az árvíz és hordalékviszonyok, valamint a jégzajlás olyan kedvezők, hogy a mederszűkítés megengedhető. A folyó hajózhatóságát az ún. hajózózsilip beépítésével továbbra is biztosítják. A mederben egymás mellett van az erőtelep, a duzzasztómű és a hajózózsilip (2.22. és 2.23. ábra).



2.2. ábra: Folyóvízi, völgyzárógátás erőmű

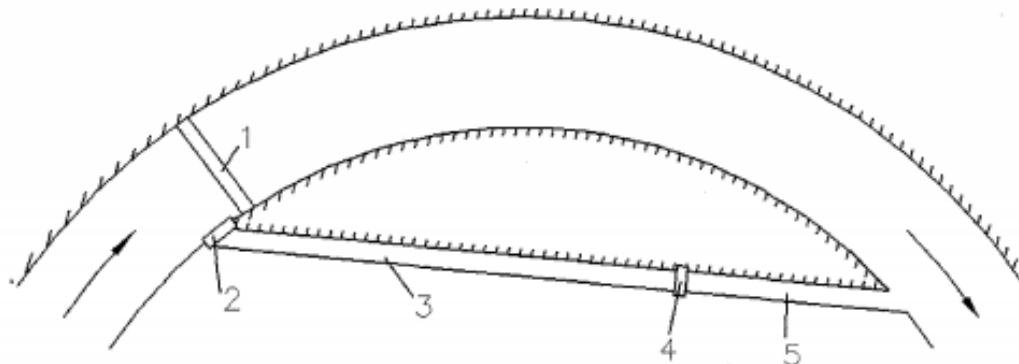
Jelmagyarázat: 1 Erőtelep; 2 Duzzasztógát; 3 Zsilip; 4 Jégtérítő



2.23. ábra: Folyóvízi, völgyzárógátas erőmű

2.8.2. ÜZEMVÍZCSATORNÁS ERŐMŰ

Az üzemvízcsatornás erőmű, vagy egy olyan vízerőmű, ahol egy hegyi folyó részbeni, vagy teljes elterelésével egy üzemvízcsatornán keresztül vezetik el a vizet a vízerőműhöz; vagy egy olya hegy megkerülésével történik a kialakítása, ahol a hegy keménykőzeténél fogva nincs lehetőség a hegyet átfúrni és nyomólagútat kiépíteni, így a felvíz és az alvízhez tartozó erőmű között a vízszállítás üzemvízcsatornán keresztül történik. A 2.24. ábra szemlélteti az üzemvízcsatornás erőmű elvi elrendezését.



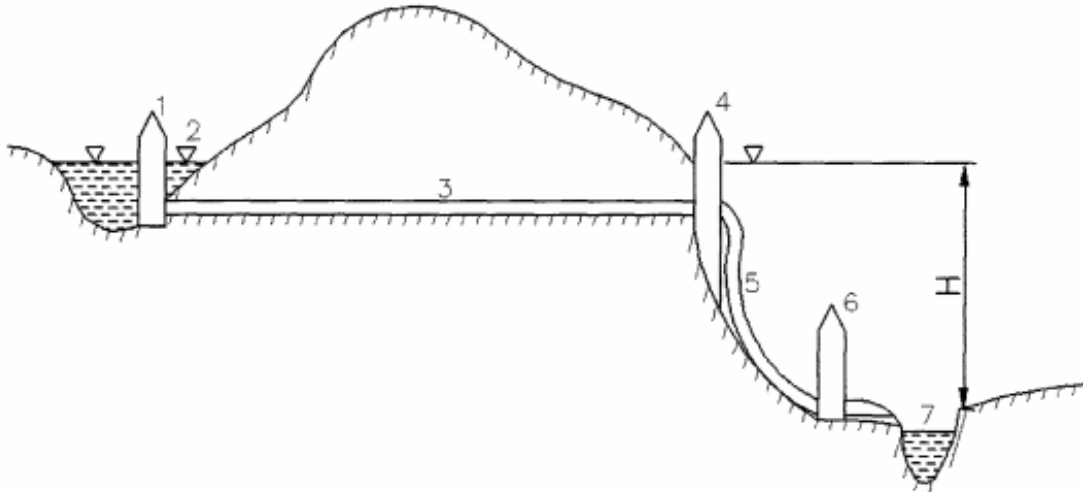
2.24. ábra: Üzemvízcsatornás erőmű elvi elrendezése

Jelmagyarázat: 1 Vízlépcső, 2 Vízivételi mű, 3 Felvízcsatorna (üzemvízcsatorna), 4 Erőtelep, 5 Alvízcsatorna

2.8.3. TÁROZÓS- ÉS NYOMÓALAGUTAS ERŐMŰ

Tározós és nyomóalagutas erőművek (2.25. és 2.26. ábra) elsősorban hegyvidéken építhetők vagy természetes tavak kihasználásával, vagy pedig a vízfolyás völgyzárógátas elrekesztésével. A felső tó és az alsótó (a felvíz és az alvíz) a hegy két átellenes oldalán található, így a hegy átfúrása, azaz nyomóalagút kiépítése szükséges.

A kiegyenlítőmű (vízzár) olyan kiegyenlítő tartályból vagy medencéből áll, amely befogadja az utánáramló vizet, és tárolja is az esetben, ha a turbinákat valamilyen oknál fogva az erőműben lezárják. A kiegyenlítőmű révén tudják megakadályozni, hogy a nyomócsőben a nyomás megengedhetetlen értékre növekedjék. Ugyanez az elrendezés alkalmazható abban az esetben is, ha a tározómedencét természetes tó képezi. A víz szintjét mesterséges felduzzasztással lehet emelni.



2.25. ábra: Tározós- és nyomólagútas erőmű elvi elrendezése

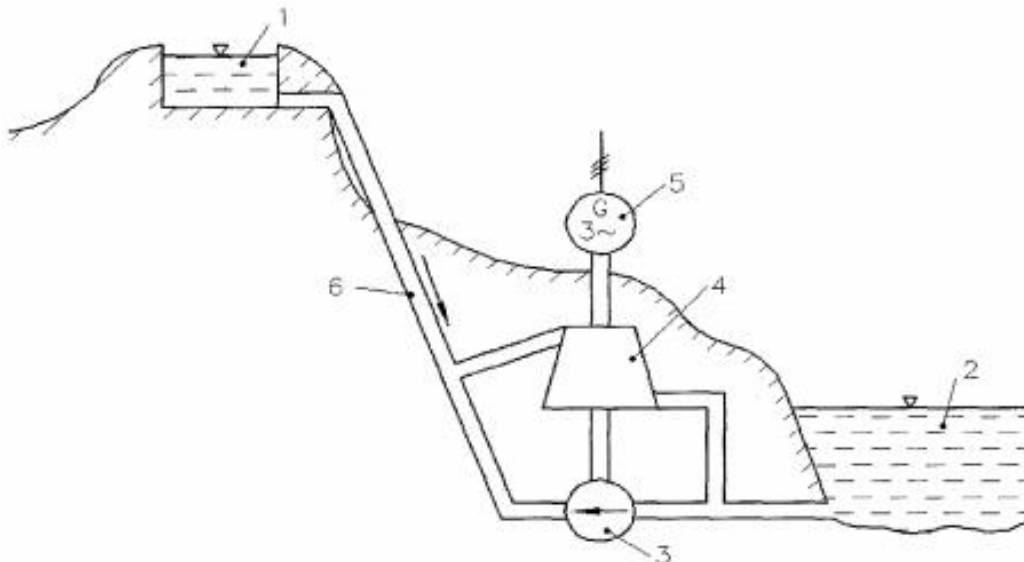
Jelmagyarázat: 1 Duzzasztógát; 2 Tározómedence; 3 Nyomóalagút; 4 Kiegyenlítőmű; 5 Nyomócső; 6 Erőmű; 7 Alvíz



2.26. ábra: Tározós- és nyomólagútas erőmű elrendezése

2.8.4. SZIVATTYÚS TÁROZÓ ERŐMŰ

Szivattyús tározóerőművek leggyakoribb elrendezését, a felsőmedencés kivitel a 2.27.-2.31. ábra mutatja. A vízerőműveknél a tározás mértéke szerint beszélhetünk napi, heti, évszakos és éves tározási lehetőségről. Legjellemzőbb a heti tározás és a nappali-éjszakai üzemmód.



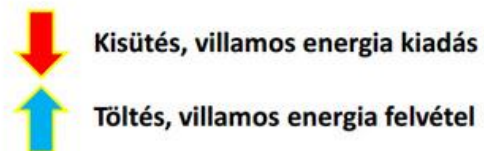
2.27. ábra: Szivattyús tározó erőmű elvi elrendezése

Jelmagyarázat: 1 Felvíz (felső medence); 2 Alvíz (alsó medence); 3 Szivattyú; 4 Víz-turbina; 5 Szinkrongép; 6 Közös nyomócső

A szivattyús energiatározók működési vázlatja

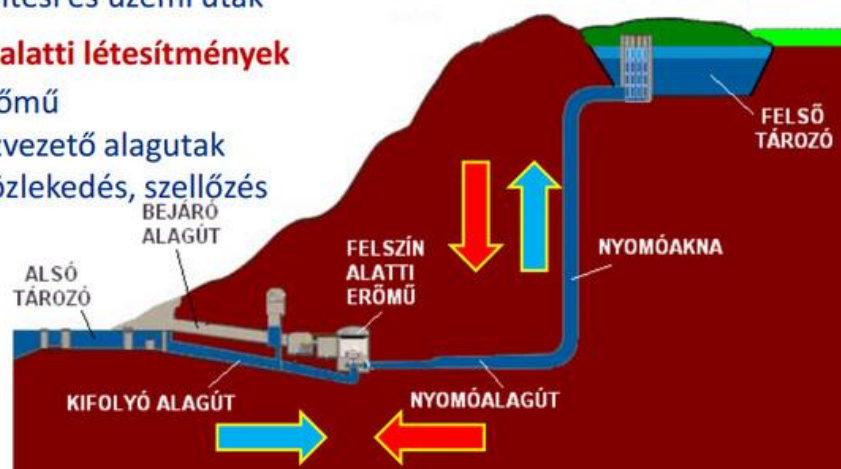
Felszíni létesítmények

- víztározók
- villamos távvezeték
- építési és üzemi utak

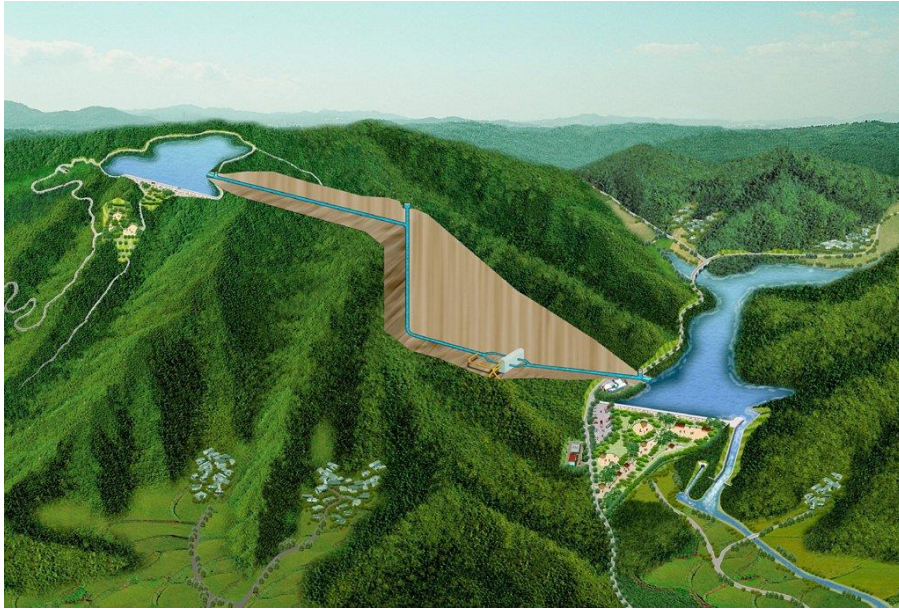


Felszín alatti létesítmények

- erőmű
- vízvezető alagutak
- közlekedés, szellőzés



2.28. ábra: A szivattyús energiatározó erőmű működési vázlatja



2.29. ábra: Szivattyús tározós vízerőmű elvi elrendezése



2.30. ábra: Szivattyús tározós vízerőmű madártávlatból



2.31. ábra: Szivattyús tározós vízerőmű madártávlatból

2.8.5. ÁR-APÁLY ERŐMŰVEK

Az árapály-erőművek a tenger árapály-jelenségéből származó nagy szintkülönbséget használják fel. Az ún. egymedencés, kettős működésű erőműben dagály idején a turbinákon keresztül feltöltik a tárolómedencét tengervízzei, apály idején pedig a vizet ugyancsak a turbinákon keresztül visszabocsátják a tengerbe. Jellemzője, hogy az erőmű szolgáltatása teljesítmény periodikus a szintkülönbség változásának a függvényében. A 2.32. ábra egy ár-apály erőművet a 2.33. ábra pedig a működési elvét szemléltet.

A Hold és a Nap Földre gyakorolt tömegvonzásából alakul ki az árapály jelensége. A Föld szilárd felszíni része egy testként mozog, ezzel szemben a vízburok deformálódhat. A Holdhoz közelebbi oldalon nagyobb erő hat az óceánok vizére, mint a Föld szilárd részére, így a vízszint megemelkedik. Ez Newton törvényéből adódik. A Holddal átellenes oldali óceánok vize pedig messzebb van a Holdtól a Föld szilárd részénél, így ez a szilárd rész nagyobb mértékben mozdul el a Hold felé. A sarkok közelében viszont a vizekre a Föld közepe felé mutató erő hat. A Hold mellett a Nap is létrehoz árapályt a Földön. Magának a jelenségnek az energiája a Föld forgásából származik, különben nem lenne adott helyen rendszeres ár-apály váltakozás.



2.32. ábra: A breage-i ár-apály erőmű a Rance folyón



2.33. ábra: Az ár-apály erőmű működési elve

2.8.6. TENGERÁRAMLAT ERŐMŰVEK

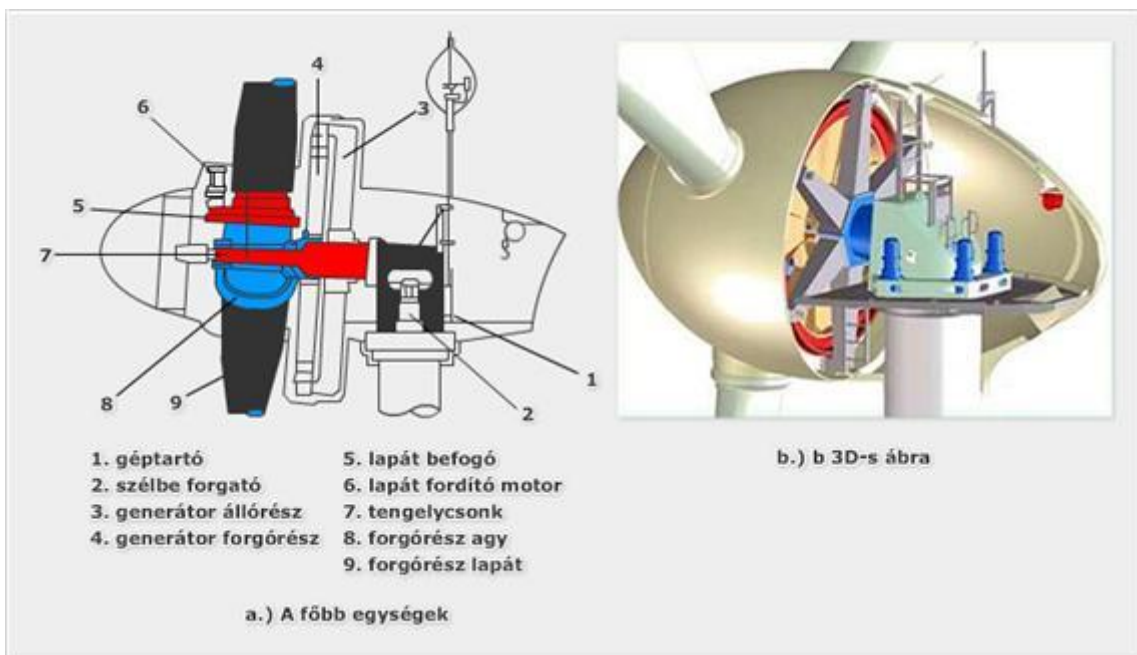
Közismert, hogy az óceánokban óriási víztömegek mozognak folyamatosan egy irányban. Ezen áramlások talán legismertebbje a Golf-áramlás. Egy tengerfenékhez rögzített vízturbinát helyeznek mélyen az áramlás fősodrásba, és az általa meghajtott generátor villamos energiát termel. Az áramlaterőmű elvi felépítését a 2.34. ábra szemlélteti.



2.34. ábra: Áramlaterómű elvi felépítése

2.9. SZÉLERŐMŰVEK

A Föld évi szélenergia-készletét 9.1015 kWh-ra becsülik, amelynek legfeljebb 0,3%-a hasznosítható gazdaságosan. A szélesség lényegesen befolyásolja a szélenergia kihasználhatóságát, s emellett fontos körülmény az egyenetlen rendelkezésre állás. A szélenergia fő előnye a villamosenergiaipar szempontjából az, hogy közvetlenül mechanikai és ebből villamos energiává alakítható át. Azonban a szélkerék optimális hatásfoka 60%, ami éves átlagban 6-15% körüli, a légtömegek teljesítménysűrűsége pedig kicsi (kb. $0,2 \text{ kW/m}^2$, 7 m/s közepes szélesség esetén), ezért igen nagy berendezéseket kellene építeni ahhoz, hogy elfogadható teljesítményeket lehessen elérni. A szél erőmű felépítését és főbb elemeit a 2.35. ábra szemlélteti.

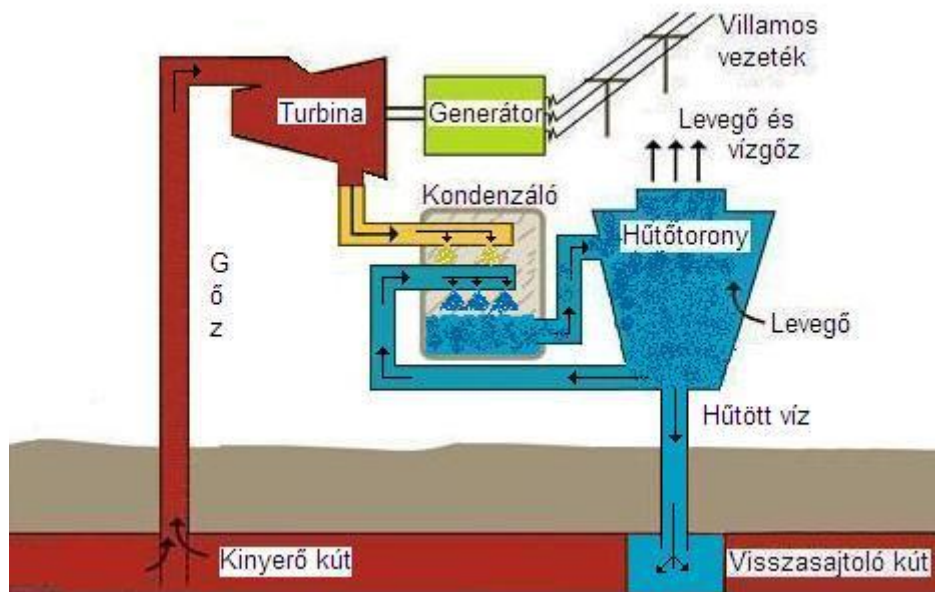


2.35. ábra: Szél erőmű felépítése

2.10. GEOTERMIKUS ERŐMŰVEK

A Föld természetes melegforrásai adják az alapot a geotermikus energia kinyerésének és hasznosításának. A földkéregben fúrásokat végeznek, amelyeken át 200-2000 m mélységből túlhevített gőzt, gőz-forróvíz keveréket, vagy forró vizet hoznak fel (100-300°C). Minimálisan 1 MW-os telep létesítése gazdaságos. Komplex hasznosításra is lehetőség nyílik, hiszen a meleg víz hője pl. a mezőgazdaságban hasznosítható, a vízben levő vegyi anyagok kinyerhetők.

A geotermikus erőművek működése a Rankine-Clausius-körfolyamaton alapul. Azzal a különbséggel, hogy itt nincs szükség kazánra, mert a geotermiából származó hő felhasználásával termelünk gőzt, ami meghajtja a gőzturbinát. Egy geotermikus erőmű kapcsolási sémáját szemlélteti a 2.36. ábra.



2.36. ábra: Geotermikus erőmű kapcsolási sémája

2.11. GYORSINDÍTÁSÚ ERŐMŰVEK

A hazánkban üzemelő gyorsindítású erőművek nyílt ciklusú gázturbinás kivitelűek, turbina-gáz (földgáz), vagy turbinaolaj (gázolaj) tüzelőanya és 15 percen belül igénybe vehetők. A Magyar Villamosenergia-rendszer UCPTÉ (1998-tól UCTE – Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity, Európai Villamosenergetikai Rendszeregyesülés) csatlakozásáról folytatott tárgyalások során a 90-es évek elején megállapították, hogy erőműparkunk összetételéből hiányoznak az üzemzavar esetén gyorsan igénybe vehető tartalékkapacitások. Az együttműködő rendszeregyesülésben résztvevő rendszereknek – az UCTE előírásai szerint – készenlétben álló tartalékkal is rendelkezniük kell. Ez olyan, gyorsan, ténylegesen igénybe vehető tartalék kapacitás, amely a váratlanul kiesett teljesítmény ideiglenes pótlására szolgál, és mindaddig üzemben marad, amíg a hibát el nem hárították, vagy egyéb az ezt pótló, más kapacitások a hálózatra fel nem csatlakoznak.

Az UCTE előírása szerint minden tagország villamosenergia-rendszere készenlétben álló gyorsindítású tartalék kapacitásának legalább a tagország rendszere legnagyobb blokkjának teljesítőképességével kell megegyeznie, következésképpen a Magyar Villamosenergia-rendszernek, a paksi atomerőmű egy blokkjának mindenkorai teljesítőképességéhez (500 MW) hasonló nagyságú gyorsindítású erőmű kapacitást kellett létrehozni.

A körültekintő telephely-kiválasztási eljárás eredményeként, a gyorsindítású gázturbinás erőművek hálózati csomópontok közelében, Földrajzilag egymástól viszonylag távol – világ-banki, illetve EIB hitel felhasználásával – épültek meg:

- Litéren a 400/132/35/20 kV-os, illetve Sajószögeden a 400/220/132 kV-os 1998-ban, maximálisan 155 MW teljesítménnyel, az állomások melletti területen, a nyugati, illetve a keleti országrész legfontosabb hálózati csomópontjaiban;
- Lőrinciben 2000-ben, maximálisan 173 MW teljesítménnyel, – elsősorban a meglévő és részben hasznosítható erőművi infrastruktúrát, a gazdaságosságot, és a tovább-fejlesztetőséget figyelembe véve – az egykori Mátravidéki Erőmű telephelyén;
- Ajkán 2011-ben, maximálisan 116 MW teljesítménnyel – elsősorban a meglévő és üzemelő erőművi infrastruktúrát használva, a gazdaságosságot, és a tovább-fejlesztetőséget figyelembe véve – az Bakonyi Erőmű telephelyének közvetlen szomszédságában.

A gázturbinás erőműveket a következők szerint csoportosíthatjuk:

- nyílt ciklusú gázturbinás erőmű,
- több fokozatú nyílt ciklusú gázturbinás erőmű,
- kombinált ciklusú erőmű.

Nyílt ciklusú gázturbinás erőmű esetében csak és kizárólag villamos energiát termelünk. Az üzemanyaga alapesetben tüzelőolaj, vagy földgáz. Működése igen egyszerű az üzemanyag az égéstérbe kerül, amihez kompresszorokon keresztül levegőt adagolnak a minél hatékonyabb égés eléréséhez. Az így keletkezett füstgáz a turbina lapátjaira kerülve elforog a közös tengelyen lévő generátor pedig mozgásba kerül, ami így villamos energiát termel a hálózatra. Az ilyen elven működő erőművek hatásfoka alacsony 35-40%, ugyanis a nyílt ciklus miatt a hő a füstgázzal együtt távozik.

Hatásfokát egy gázturbinás erőműnek a következők határozzák meg:

- a beszívott levegő hőmérséklete,
- a beszívott gáz hőmérséklete,
- milyen hatásfokkal rendelkezik maga a turbina, illetve a kompresszor,
- milyen a hőátadás képessége.

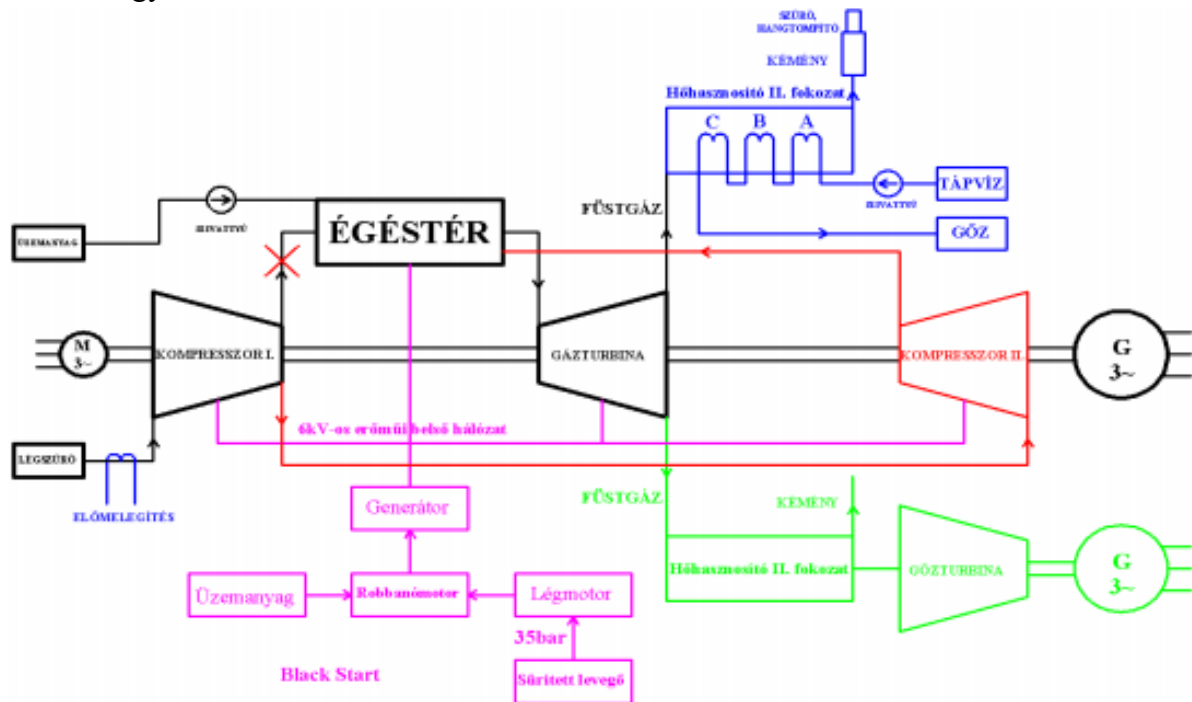
Ezen tulajdonságokat figyelembe véve alakultak ki a korszerűbb nagy hatásfokú zárt, vagy kombinált ciklusú gázturbinás erőművek. Ebben az esetben a levegőt és a gázt a különböző fokozatokból történő megcsapolással melegítik elő. A kiáramlás során pedig a kéménybe épített hő hasznosítókon keresztül a kiáramló hőmennyiséget hasznosítják. Ilyen módon a kombinált ciklusú erőműve egyszerre képesek villamos energia és használati melegvíz előállítására. A megnövelt fokozatok számának változása során az előmelegített hajtóanyag az égéstérbe kerül, ahol a már szintén előmelegített levegővel keveredve a begyújtást követően a füstgáz a turbínára jut. A megforgatott generátor azonos módon a hálózatra táplál, viszont a kéménybe épített hőátadókon keresztül a rendszer melegvizet állít elő. Az eredő hatásfok ilyen módon elérheti akár a 95%-ot is.

A 2.37. ábrán az öt eltérő technológiát megvalósító gázturbinás erőmű rendszertechnikai kapcsolása látható. Az ilyen és ehhez hasonló kapcsolások írják le a legmegfelelőbben az erőművek működését.

Színek szerint a következő megoldások láthatók:

- hagyományos gázturbinás erőmű (fekete),
- hagyományos gázturbinás erőmű dupla kompresszorral (piros),
- zárt rendszerű gázturbinás erőmű (kék),
- gázturbinás erőmű gőzhasznosító fokozattal (zöld),
- gázturbinás erőmű úgynevezett Black Start támogatással (bíbor).

Az erőművek szempontjából minden esetben az alapot egy nyílt ciklusú hagyományos gázturbina egy, illetve dupla kompresszorral képezi. A különbségek csak a füstgáz kezelésében térnek el egymástól.



2.37. ábra: A gázturbinás erőművek közös technológiai ábrája

A 2.38. ábra a Litéren üzembe helyezett gázturbinás gyorsindítású erőművet szemlélteti.



2.38. ábra: Litéri gyorsindítású erőmű látképe

2.12. ERŐMŰVEK SZABÁLYOZÓKÉPESSÉG SZERINTI CSOPORTOSÍTÁSA

Az erőművek feladata a villamosenergia-termelés, azonban a villamosenergia-rendszerben ezen kívül szabályozási feladatot is ellátnak, ezért a betöltött szerepük alapján tovább csoportosíthatók.

A villamosenergia-rendszerben betöltött szerepük alapján három fő erőműtípust különböztetünk meg:

- **Alaperőmű**, amely az ország alapterhelését viszi. Működését a zsinórterhelés jellemzi, így csekély szabályozóképességgel rendelkezik. Ezek a legnagyobb villamos hatásfokkal rendelkező erőművek, amelyek működése a Rankine-Clausius-körfolyamaton alapul. Magyarországon a Paksi Atomerőmű tölti be az alaperőmű szerepét.
- **Menetrendtartó erőmű**nek nevezzük azokat az erőműveket, amelyek a napi terhelési görbe változásait képesek lekövetni, és azt egyben gazdaságosan képesek megtenni. Viszonylag rugalmasak és nagyobb szabályozóképességgel rendelkeznek, mint az alaperőművek. A menetrendtartó erőművek jellemzően a régebben létesített alaperőművekből alakulnak ki. Gáz, vagy gőzturbinás kialakításúak, és jó villamos hatásfokkal működnek. Magyarországon a Mátrai Erőmű kezdi átvenni ezt a szerepet, de ide sorolhatók a Dunamenti hő- és gázturbinás erőműveket is.
- **Csúcserőmű**vek biztosítják a napi csúcspotyosítási időszakokban a megnövekedett villamosenergia-igények kielégítését. A csúcserőművek éves teljesítmény-kihasználtsága sok esetben a 20%-ot sem éri el. Hatásfokuk rendszerint elmarad az alap- és menetrendtartó erőművekéktől. A rendkívül rugalmas és gyors indítást lehetővé erőművek tartoznak ide. Jellemzően gáz-, vagy gőzturbinás kivitelűek, de a 2000-es években számos gázmotoros és kombinált ciklusú erőmű épült, amelyek képesek betölteni ezt a szerepet. Ez utóbbiak hőelvételes erőművek, így első sorban csak akkor üzemeltethetők, ha biztosított a folyamatos hőelvétel. Az utóbbi években történő jogszabályi változások következtében a kombinált ciklusú és gázmotoros erőművek jellemzően vagy a távhőszolgáltatók, vagy az ipari fogyasztók energiaigényeit elégítik ki. Egyes erőművek visszaadták a termelési jogot, vagy évek óta állnak.
- **A tartalékerőmű** ugyan nem nevezhető külön erőműtípusnak, de mégis megemlítendő, mert a kieső erőművi teljesítmények gyors pótlására szolgál. Ezek azok az erőművek, amelyek adott esetben éveken keresztül készenléti állapotban vannak, de villamos energiát nem szolgáltatnak. Gyors indíthatóság, nagy rugalmasság, viszonylag kis villamos hatásfok és sokszor gazdaságtalan üzemeltetés jellemzi őket, azonban ezen erőművek nélkül egy esetleges nagyobb erőmű kiesése esetén a villamosenergia-rendszer biztonságos fenntartása megoldhatatlan lenne. Jellemzően nyílt ciklusú gázturbinás erőművek, amelyek tüzelőanyaga turbinagáz, vagy turbinaolaj. Magyarországon jelenleg a Litéri és a Sajószögedi Gyorsindítású Gázturbinás Erőművek jelentik a legfőbb tartalékerőműveket.

ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK A 2. FEJEZETHEZ

1. Ismertesse az erőművek típusait!
2. Vázolja a víz-gőz körfolyamaton alapuló erőmű kapcsolási sémáját!
3. Mutassa be a napelemes erőművek típusait!
4. Ismertesse a vízerőművek típusait!
5. Definiálja az alaperőmű fogalmát!
6. Ismertesse az atomerőműveket!
7. Milyen előnyei ismertek a kombinált ciklusú erőműnek?
8. Mutassa be a gőzturbinák típusait!
9. Csoportosítsa az energiaforrásokat!
10. Definiálja az energiaforrás fogalmát!

3. VILLAMOSENERGIA-ÁTVITEL RENDSZEREI

3.1. A VILLAMOS ENERGIA ÚTJA AZ ERŐMŰTŐL A FOGYASZTÓIG

Az erőművekben termelt villamosenergia a fogyasztókhoz a villamos hálózatokon vihető át. A hálózatok feladata a villamosenergia szállítása, eljuttatása és elosztása a fogyasztók felé. A villamosenergia termelésére, szállítására és felhasználására a háromfázisú, váltakozó áramú és feszültségű rendszerek terjedtek el. Nagy- és középfeszültségen rendszerint háromvezetékes, kisfeszültségen pedig négy, illetve ötvezetékes hálózatokat alkalmaznak (kisfeszültségen az egyfázisú fogyasztás ellátása miatt a negyedik vezeték a nullavezető, az ötödik vezeték pedig a védővezeték). E rendszerek névleges frekvenciája általában 50 Hz (Európa), de üzemelnek ettől eltérő frekvenciájú rendszerek is (pl. Amerikában a névleges frekvencia 60 Hz). A frekvencia nagyban befolyásolja a távvezetékek működését, első sorban a hullámimpedancia és a teljesítményátvitel szempontjából.

Eltérő fázisszámú, frekvenciájú, vagy áramnemű hálózatokat is alkalmaznak, első sorban a vasúti közlekedésben (egyfázisú) és a városi villamosvasúti közlekedésben (egyenáram) van ennek nagy hagyománya. A nagyfeszültségű egyenáramú hálózatok nagy távolságokat összekötő rendszerek esetében egyre nagyobb hangsúlyt kapnak a műszaki- és gazdaságossági előnyeik miatt.

A villamosenergiát továbbító távvezetékek elhelyezésétől és burkoltságuktól függően megkülönböztetünk **szabadvezetékes hálózatokat** és **kábelhálózatokat**. A szabadvezetékek célszerűen kialakított oszlopokra erősített szigetelőkön elhelyezett többnyire csupasz vezetékek (sodronyok). A kábelek megfelelően szigetelt és mechanikailag védett vezetők, amelyeket rendszerint a földbe fektetnek, vagy arra a célra kialakított, zárt földalatti csatornáknak (ún. kábelcsatornáknak, vagy kábelalagutakban) helyeznek el. Léteznek burkolt légvezetékek is, amelyek első sorban az átütési szilárdság biztosítása érdekében és a külső behatások okozta zárlatok elkerülése érdekében burkolt szabadvezetékek. A burkolt légvezetékek nem egyenértékűek a kábelekkel, ugyanis csak egyszeres szigetelést tartalmaznak, így többnyire nem alkalmasak földbehelyezésre. A kábelek tovább lehet osztályozni aszerint, hogy árnyékolt, vagy árnyékolásmentesek.

A hálózatok szerves részét képezik az alállomások, amelyek általában a hálózatok megfelelő terhelésű csomópontjaiban helyezkednek el, és az áram útjának kijelölésére vagy a különböző feszültségű hálózatok összekapcsolására szolgálnak. Az előbbieket kapcsolóállomásoknak nevezük, míg az utóbbiak a transzformátorállomások.

A hálózatok feszültség szintjétől függően megkülönböztetünk kisfeszültségű és nagyfeszültségű hálózatot. A vonatkozó magyar szabvány előírásai szerint váltakozófeszültség esetében kisfeszültség az 1 kV alatti feszültség, míg az 1 kV és annál nagyobb feszültség már nagyfeszültség. A szabványos feszültség szintek hazánkban: kisfeszültség a 0,4 kV (ill. 230 V fázisfeszültség); nagyfeszültség a 3 kV, 6 kV, 10 kV, 20 kV, 35 kV, 120 kV, 220 kV, 400 kV, 750 kV, – amely értékek alatt mindig a háromfázisú váltakozófeszültségű rendszer **vonali feszültsége** értendő. Az 1–100 kV-os hálózatokat a gyakorlati szóhasználatban középfeszültségű hálózatoknak szokás nevezni.

Egy villamosenergia-rendszer hálózati feszültség szintjeinek megválasztását elsősorban az határozza meg, hogy az adott hálózaton milyen távolságra, mekkora teljesítményt kell üzemszerűen szállítani. A hálózati veszteség ugyanis az $P_v = I^2 \cdot R$ -rel arányos, tehát a veszteség csökkentése – ami fontos gazdasági érdek – az áram csökkentését teszi szükségessé. Az átvitt teljesítmény a feszültség és az áram szorzatával arányos, ha tehát az áramot csökkentjük, akkor ugyanakkora teljesítmény átviteléhez a feszültséget növelni kell. Így keletkeztek az egyre nagyobb feszültségű távvezetékek. (Az átviteli út ellenállásának csökkentése, vagyis a távvezeték

keresztmetszetének növelése is csökkenti a veszteséget, de ez a módszer csak adott határig követhető.)

A hálózatok rendeltetés szerinti felosztása az alábbi:

- A kiefeszültségű hálózatok rendeltetése mindenkor a villamos energia közvetlen elosztása a fogyasztók között, ezért ezeket a hálózatokat összefoglalóan **kiefeszültségű elosztóhálózatoknak** nevezzük.
- **Elosztóhálózat.** Rendeltetése a villamos energia nagyfeszültségen való elosztása az alállomási gyűjtősínektől a fogyasztói transzformátorig. Ezek feszültség szintje hazánkban, a közcélú elosztóhálózatok esetében 10 kV, illetve 20 kV, míg az ipartelepek belső elosztóhálózatain 3 kV, illetve 6 kV, ezeket szokás szakmai körökben **középfeszültségű** elosztóhálózatoknak nevezni.
- **Főelosztóhálózat.** Rendeltetése a villamos energia elosztása az alaphálózati csomópontokból a középfeszültségű elosztóhálózatok táppontjaihoz, amelyek általában a fogyasztói körzetek súlypontjában helyezkednek el.
- **Országos alaphálózat.** Feladata az erőművek és a csomóponti nagy transzformátorállomások összekapcsolása, a villamos energia nagy mennyiségű szállítása, Az országos alaphálózat külföldre menő távvezetékei alakítják ki a kooperációs villamosenergia-rendszert. A magyar alaphálózat távvezetékeinek nagyobb hányada ma már 400 kV-os.
- **Nemzetközi, kooperációs hálózat.** A különböző országok alaphálózatainak olyan távvezetéki összekötése, amely biztosítja a nemzetközi kooperációs villamos energia rendszerek kialakulását, a villamos energia országok közötti szállítását. A szokásos feszültség szintek itt 220 kV, 400 kV és 750 kV.

3.2. HÁLÓZATI ALAKZATOK

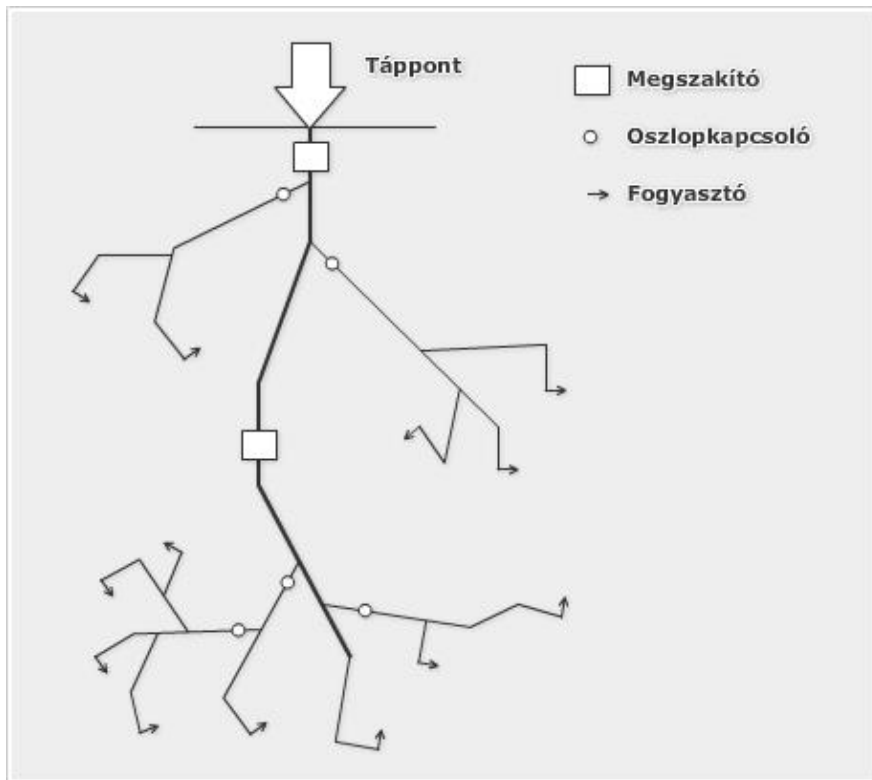
A villamos hálózat az egyes táppontokat és a fogyasztói pontokat különféle, villamosan összefüggő alakzatokban köti össze. Az alakzatok alapvetően abban különböznek egymástól, hogy a villamos energia a tápponttól a fogyasztóhoz üzemszerűen hogyan, hány úton és mennyi irányban juthat el. A hálózatok rendeltetése általában szigorúan megszabja az alkalmazható hálózati alakzatot.

A következők a tipikus hálózati alakzatok:

- Sugaras hálózat;
- Gyűrűs- íves hálózat;
- Körvezeték;
- Párhuzamos vezeték;
- Hurkolt hálózat.

3.2.1. SUGARAS HÁLÓZAT.

A sugaras hálózat egyik végétől táplált, esetleg többszörösen elágazó, nyitott vezetékrendszer, amelynek minden fogyasztójához az áram csak egy irányból, egy úton juthat el. A 3.1. ábrán látható egy szokásos kialakítású sugaras vezeték. A vastag vonallal rajzolt vezeték részt fővezetéknek (vagy gerincvezetéknek) nevezzük, míg a többi szakasz az ún. szárnyvezetékek (vagy leágazó vezeték). A szárnyvezetékek végén levő kis nyilak a fogyasztókat jelöli. A vezeték a megfelelő helyeken beépített megszakítókkal (négyzet jelölve) és szakaszolókapcsolókkal (körrel jelölve) bonthatók, azért, hogy a meghibásodott vezeték részeket le lehessen választani karbantartás vagy hibabehatárolás céljából.



3.1. ábra: Sugaras hálózat

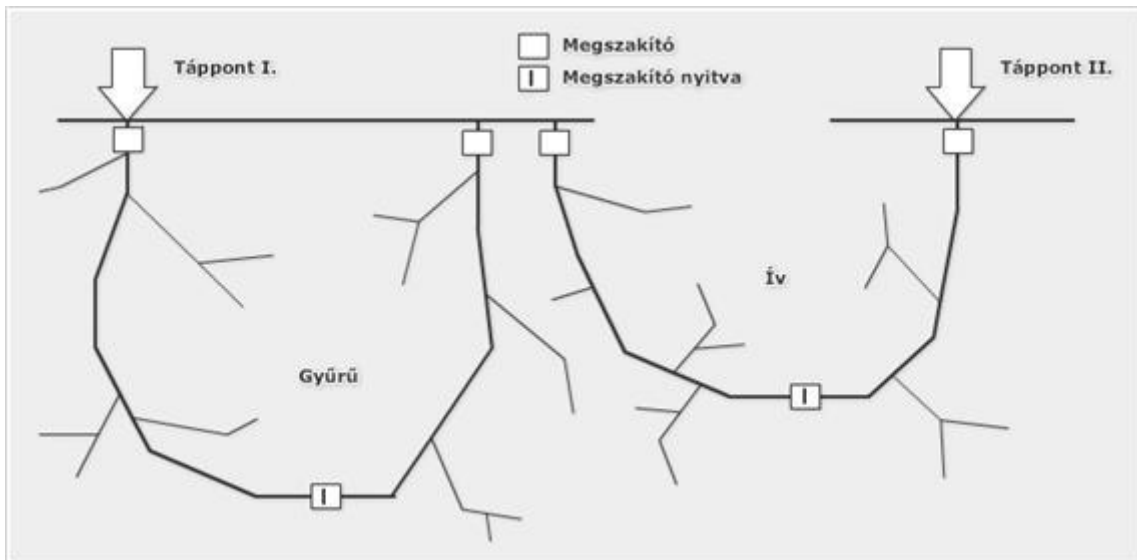
A Magyar Energiarendszer közepesfeszültségű hálózatai közül tipikusan sugaras hálózatok a 20 kV-os szabadvezetékes, valamint a 10 kV-os földkábeles elosztóhálózatok. A sugaras vezetékek előnye az egyszerű és olcsó létesítés, hátránya, hogy a tápponthoz közeli tartós hibák, illetőleg a tápponti meghibásodás esetén a vezetéken át ellátott teljes fogyasztói terület kiesik az energiaszolgáltatásból.

3.2.2. GYŰRŰS-ÍVES HÁLÓZAT

A villamosenergia-szolgáltatás tartós kimaradásának elkerülése érdekében a sugaras vezetékek nyomvonalát úgy alakítják át/ki, hogy az azonos táppontból induló két vezeték-, vagy a különböző táppontból kiinduló két vezeték fővezetékei egy pontban találkozzanak. A találkozási pontba megszakítót építenek be. Ez a megszakító normál üzemi állapotban mindig nyitott állapotban van, tehát a hálózat bontva van, így két egymástól függetlenül működő vezetékként tekinthető. Üzemzavar esetében e megszakító zárása lehetőséget teremt a hibás vezetékszakaszon lévő fogyasztók másik vezetéken keresztül történő ellátásra. Az ilyen hálózatokat **gyűrűs-** (3.2. ábra bal oldal), illetőleg **íves hálózatnak** nevezzük (3.2. ábra jobb oldal).

Gyűrűs hálózatnak nevezzük azt a két sugaras vezetékből álló alakzatot, amelynek fővezetékei egy táppont azonos gyűjtősínjéről indulnak, és kapcsolókészülék (megszakító) közbeiktatásával egy pontban találkoznak.

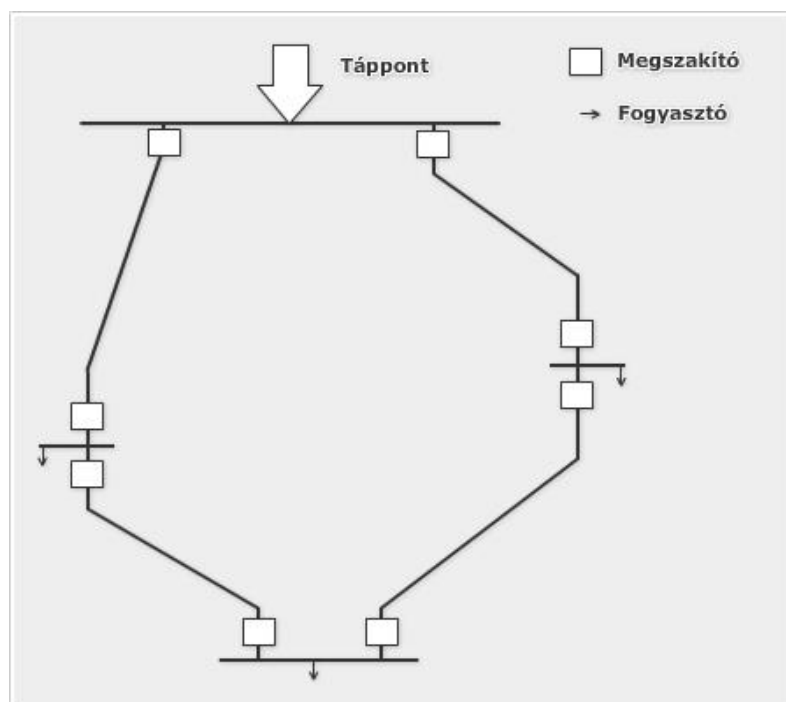
Az **íves hálózat** szintén sugarasan üzemel, de fővezetékei két különböző táppont gyűjtősínjéről indulva, találkoznak kapcsolókészülék közbeiktatásával egy pontban.



3.2. ábra: Gyűrűs- és íves hálózat

3.2.3. KÖRVEZETÉK

A **körvezeték** olyan vezeték, amely a táppontból kiindulva az összes fogyasztó érintése után visszatér a táppontba, a fogyasztók a gyűjtősínre csatlakoznak (3.3. ábra).

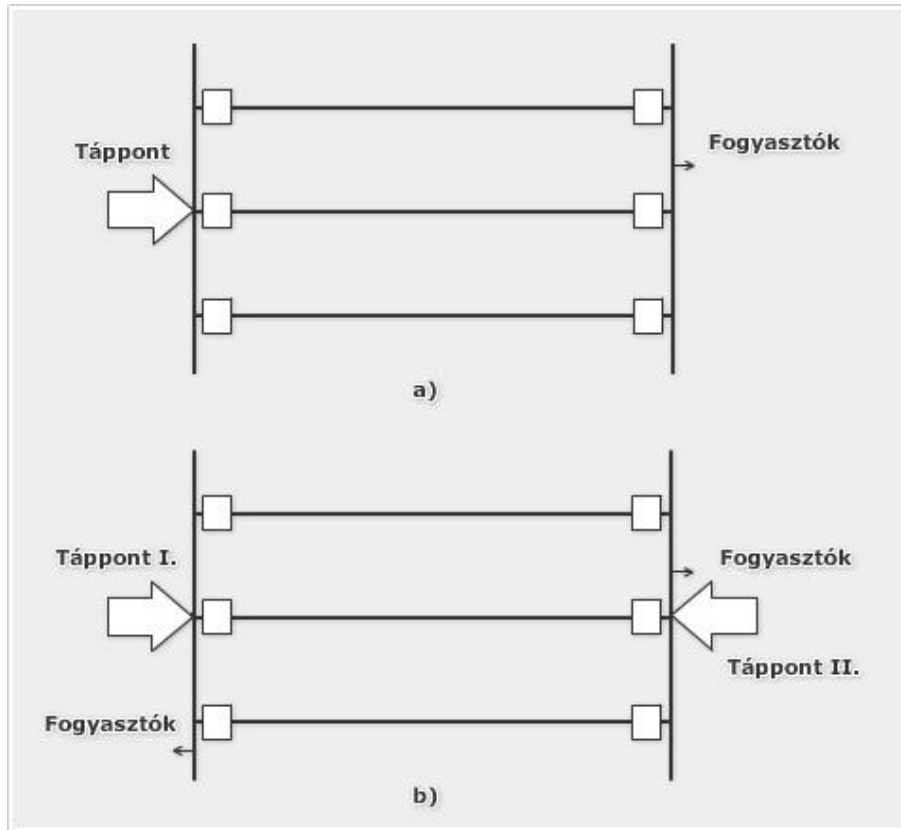


3.3. ábra: Körvezeték

A **körvezeték** tehát több fogyasztói gyűjtősínt összekötő, üzemszerűen mindig zárt vezeték-alakzat. Az egyes fogyasztói gyűjtősíneket összekötő vezetékszakaszokról itt további leágazások nincsenek. A körvezetékre felfűzött bármely fogyasztó üzemszerűen mindig két úton kap táplálást, ami az ellátás üzembiztonságát növeli, ugyanis a vezeték bármely szakaszának tartós hibája esetén a fogyasztók energiaellátása – ilyenkor csak egy irányból – zavartalan marad. A körvezeték hátránya a nagyobb beruházási költség, és hogy a tápponti üzemzavar az összes fogyasztót érinti.

3.2.4. PÁRHUZAMOS VEZETÉK

A **párhuzamos (trönk) vezeték** két vagy több párhuzamos vezetékből álló rendszer, amelyet általában nagy teljesítményigényű, rövid távolságú energiaellátás esetén alkalmaznak (pl. ipari fogyasztók). A 3.4. ábrán látható, hogy a párhuzamos vezetékek lehetnek egyoldalról (a) kép), vagy kétoldalról (b) kép) tápláltak.

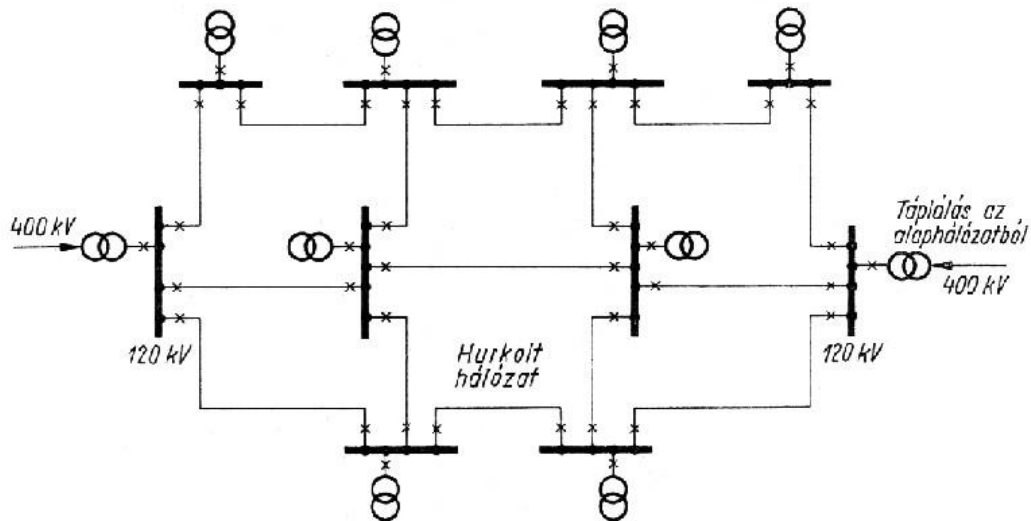


3.4. ábra: Párhuzamos vezetéki hálózat

3.2.5. HURKOLT HÁLÓZAT

A **hurkolt hálózat** alapvető jellemzője, hogy különböző táppontok és fogyasztói helyek között egyidejűleg több, különböző irányú összeköttetés üzemel. A hurkolt hálózathoz csatlakozó minden fogyasztó több oldalról és különféle úton táplálható, így a hurkolt hálózat a legnagyobb üzembiztonságú. Ezen felül komoly előny, hogy többféle energiaút (kapcsolási állapot) valósítható meg, amivel elérhető az egyes fogyasztók optimális energiaellátása (legkedvezőbb üzemi paraméterek, legkisebb veszteség és kis feszültségesés). A hurkolt hálózatok változó üzemállapota miatt komoly feladatot jelent az üzemvitel, valamint a megfelelően szelektív védelmek kiválasztása és beállítása. A hurkolt hálózat elvi vázlatát mutatja a 3.5. ábra.

A magyar energiarendszerben tipikusan hurkolt hálózat a nagyfeszültségű, országos alaphálózat.



3.5. ábra: Hurkolt hálózat

3.3. A HÁLÓZATOK CSILLAGPONTKEZELÉSÉNEK MÓDSZEREI

A hálózatok csillagpontjait hálózatban üzemelő csillag kapcsolású transzformátorok csillagpontjai jelentik. Például a 120 kV-os hálózat csillagpontjait az összes olyan transzformátor csillagpontja képezi, amely a 120 kV-os oldalon csillagkapcsolású, tehát a 120/20 kV-os és a 120/10 kV-os transzformátor 120 kV-os oldalán lévő csillagpont a 120 kV-os feszültség szintű hálózatnak a részét képezi.

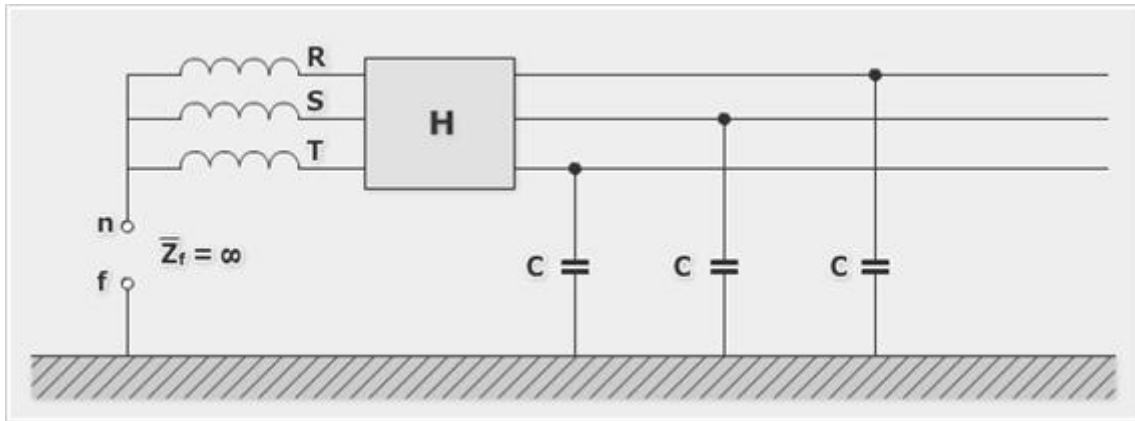
A hálózatok csillagpontkezelésén az adott hálózat csillagpontjai és a föld közötti kapcsolat, vagyis a hálózati csillagpontok földelésének módjait értjük.

A csillagpont földelésének módja jelentősen befolyásolja a hálózat üzemének számos paraméterét, így például az egyfázisú földérintéses hibák esetében a fellépő hibaáram nagyságát, az üzemi frekvenciájú feszültségemelkedéseket és a tranziens túlfeszültségeket, az érintésvédelmi megoldásokat, a hálózaton alkalmazott készülékek szigetelési igényeit, a relévédelem kialakítását, a távközlési berendezések zavarását és veszélyeztetését, a szimultán hibák keletkezésének lehetőségét és így tovább. E felsorolásból is látható, hogy egy hálózat csillagpontföldelési módjának megválasztásakor számos tényezőt kell egyidejűleg mérlegelni, míg végül általában műszaki-gazdaságossági kompromisszumok alapján lehet csak eldönteni az alkalmazandó módszert. A következőkben a hálózatok csillagpontkezelésének lehetséges módszereit és az ezekkel kapcsolatos alapfogalmakat ismertetjük.

A csillagpontkezelés szempontjából alapvetően a hálózatok két nagy csoportját különböztetjük meg, a földetlen csillagpontú és a földelt csillagpontú hálózatokat.

3.3.1. FÖLDELETLEN (SZIGETELT) CSILLAGPONTÚ HÁLÓZAT

Földetlen (szigetelt) csillagpontú hálózat minden olyan hálózat, amelynek egyetlen pontja sincs a földdel üzemszerűen (szándékoltan) összekötve. A földetlen csillagpontú hálózat csillagpontkezelését a 3.6. ábra szemlélteti. Az ábrán H betűvel jelölt "doboz" jelképezi a hálózatot. A hálózathoz csatlakozó transzformátorok fázistekercseit pedig a hálózat elé rajzolt tekercselések jelképezik. Ezek csillagpontját „n” betűvel, a földpotenciálú pontot pedig „f” betűvel jelöljük.



3.6. ábra: Földeletlen csillagpontú hálózat

A 3.6. ábrából látható, hogy a szigetelt csillagpontú hálózatok csillagpontja és a föld között szakadás van, vagyis a csillagpont és a föld közötti ún. földelőimpedancia (\bar{Z}_f) értéke végtelen nagy.

Megjegyezzük, hogy a földeletlen hálózat „n” csillagpontját – hibátlan, szimmetrikus terhelésű üzemiállapotban – a hálózat fázisvezetőinek a földhöz képesti kapacitásai gyakorlatilag földpotenciálra tartják. Aszimmetrikus hibák esetén viszont a csillagpont potenciálja a földpotenciálhoz képest eltolódik. A csillagpont és a föld között feszültség jelenik meg, amelynek következtében megemelkedik a hibátlan fázisok földhöz képesti feszültsége is, ami megnöveli a hálózaton levő készülékek és berendezések igénybevételét gyakran már az üzembiztonság szempontjából is veszélyes mértékben. Számításokkal is igazolható, és a gyakorlati tapasztalatok is bizonyítják, hogy ebből a szempontból a legveszélyesebbek az egyfázisú földzárlatok, amelyek az ép fázisok fázisfeszültségét az eredeti névleges fázisfeszültség $\sqrt{3}$ - szorosára növelhetik. Vagyis a fázisfeszültség vonalra emelkedik.

A szigetelt csillagpontú hálózatok egyfázisú földzárlatakor a zárlati áramkör csak az ép fázisok földhöz képesti kapacitásain keresztül tud záródni, az a kapacitás viszonylag kis értékű és a vezeték hosszával arányos, vagyis a viszonylag nem nagy kiterjedésű hálózatokon a zárlati áramkörbe sorosan iktató kapacitív reaktancia értéke nagy, tehát a földzárlati áram mindössze néhány amper.

Látható, hogy a földeletlen csillagpontú hálózatok földzárlati áramának csökkentése gyakorlatilag a hálózat kiterjedésének, az egy tápponthez fémesen csatlakozó vezeték hosszúságának korlátozásával valósítható meg. Mivel a viszonylag kis értékű földzárlati áram sok szempontból előnyös (pl.: így a hálózat viszonylag hosszabb ideig földzárlatos üzemiállapotban tartható, amely idő alatt a hibahely megkereshető és kijavítható), szigetelt csillagponttal csak kis kiterjedésű hálózatokat üzemeltetnek (pl. erőművek segédüzemi hálózatai, ipartelepek belső közép-feszültségű elosztóhálózatai stb.).

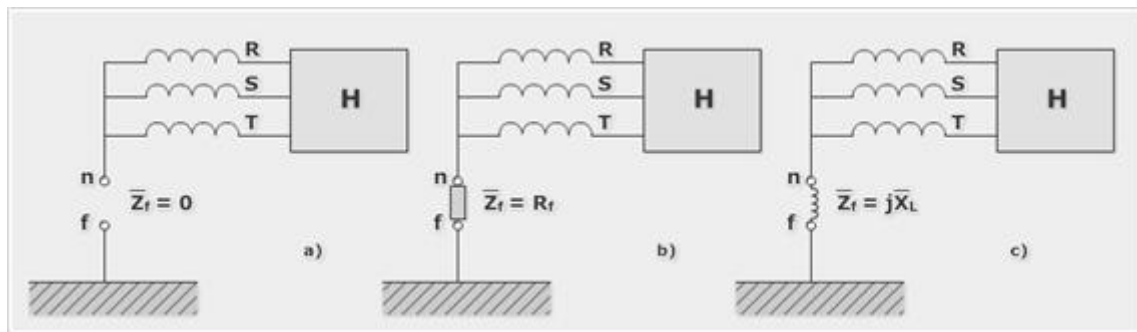
3.3.2. FÖLDELT CSILLAGPONTÚ HÁLÓZAT

Földelt csillagpontú hálózat minden olyan hálózat, amelynek legalább egy csillagpontja a földdel közvetlenül vagy közvetve össze van kötve.

A **közvetlenül** földelt csillagpontú hálózat legalább egy transzformátorának csillagpontja jól vezető, fémes összeköttetésben áll a földdel (3.7. ábra a) kép). Ez esetben tehát a csillagpont és a föld közötti földelő impedancia (\bar{Z}_f) értéke gyakorlatilag nulla.

A közvetlenül földelt csillagpontú hálózatokon az egyfázisú földérintéses hibák esetében folyó hibaáram nagysága a rövidzárlati áramok nagyságrendjébe esik (földrövidzárlat), sőt

előfordulhat olyan eset is, hogy az egyfázisú földrövidzárlati áram nagyobb, mint a háromfázisú rövidzárlati áram. Az ép fázisok feszültségemelkedése viszont ezeken a hálózatokon a legkisebb.



3.7. ábra: Földelt csillagpontú hálózatok

A hazai gyakorlatban közvetlenül földelt csillagponttal üzemelnek a 120 kV-os és az annál nagyobb feszültségű hálózatok, valamint a 0,4 kV-os (400/230 V-os) kisfeszültségű elosztóhálózatok. (Megjegyezzük, hogy a kisfeszültségű elosztóhálózatokat elsősorban a hatékony érintésvédelem megvalósíthatósága érdekében üzemeltetik közvetlenül földelt csillagponttal.)

A **közvetve** földelt csillagpontú hálózatok legalább egy csillagpontja ellenálláson vagy reaktancián (fojtótekerccsen) keresztül csatlakozik a földhöz. Az **ellenálláson** keresztül földelt csillagpontú hálózatok esetében (3.7. ábra b) kép) tehát a földelőimpedancia véges értékű ohmos ellenállás ($\bar{Z}_f = R_f$).

A **reaktancián** keresztül földelt csillagpontú hálózatok esetében (3.7. ábra c) kép) pedig egy gyakorlatilag tisztán reaktív fojtótekerccs ($\bar{Z}_f = j \cdot X_f = j \cdot X_L$).

A csillagpont és a föld közé beiktatott ellenállással ill. reaktanciával az egyfázisú földzárlati áramok értéke – a közvetlenül földelt csillagpontú hálózatokéhoz képest – hatásosan csökkenthető, ugyanakkor a csillagpont potenciálja is kellően rögzített.

A csillagpont vasmagos fojtótekerccsen, azaz reaktancián keresztül való földelésével a földzárlatok íve kioltható, mivel a hibahelyen folyó kapacitív földzárlati áramot a földelőreaktancia induktív árama kompenzálja. Ezért ezt a módszert kompenzálásnak, ill. a reaktancián (fojtótekerccsen) keresztül földelt csillagpontú hálózatokat **kompenzált hálózatoknak** is nevezik. A hazai gyakorlatban ellenálláson keresztül földelik a 10 kV-os középfeszültségű kábelhálózatok csillagpontjait, míg a 20 kV-os és a 35 kV-os középfeszültségű szabadvezetékes elosztóhálózataink tipikusan kompenzált hálózatok.

3.4. HÁLÓZATI IMPEDANCIÁK

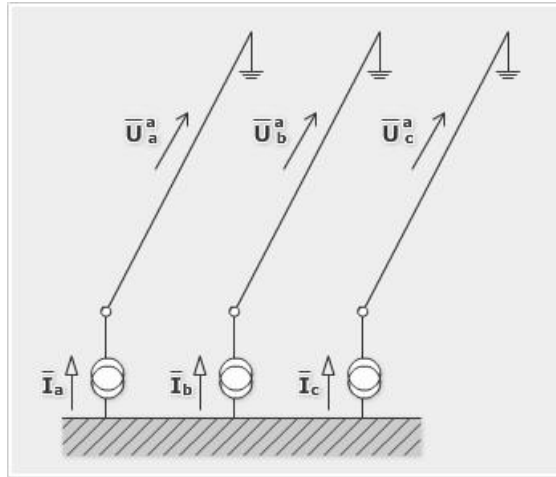
A villamos hálózatok, távvezetékek impedanciáinak, induktivitásainak számítása során, a korábban a villamosságban tanult fogalmak általánosított alakjaira van szükség. Sokszor pedig az eddig tanult definíciókat más, az adott vizsgálati mód szempontjából célszerűbbekkel kell kiegészíteni. A most következőkben ilyen fogalmak bevezetésére kerül sor.

A továbbiakban sokszor használjuk a szuperpozíció elvét. Ha egy hálózatot véges rendű differenciálegyenlet ír le, amelyben az együtthatók konstansok és a rendszer lineárisnak tekinthető, akkor a szuperpozíció elve alkalmazható. Ez azt jelenti, hogy a hálózaton egyidejűleg működő generátorok hatására bárhol a hálózaton mérhető áram vagy a hálózat bármely két pontja között mérhető feszültség úgy is meghatározható, hogy az egyes generátorok által külön-külön keltett áramokat vagy feszültségeket összegezzük. Egy-egy generátor hatásának

figyelembevételkor a többi generátort dezaktíválni kell, vagyis a feszültséggenerátorokat rövidzárral, az áramgenerátorokat szakadással kell helyettesíteni.

3.4.1. TÁVVEZETÉKEK ÖN- ÉS KÖLCSÖNÖS IMPEDANCIÁI

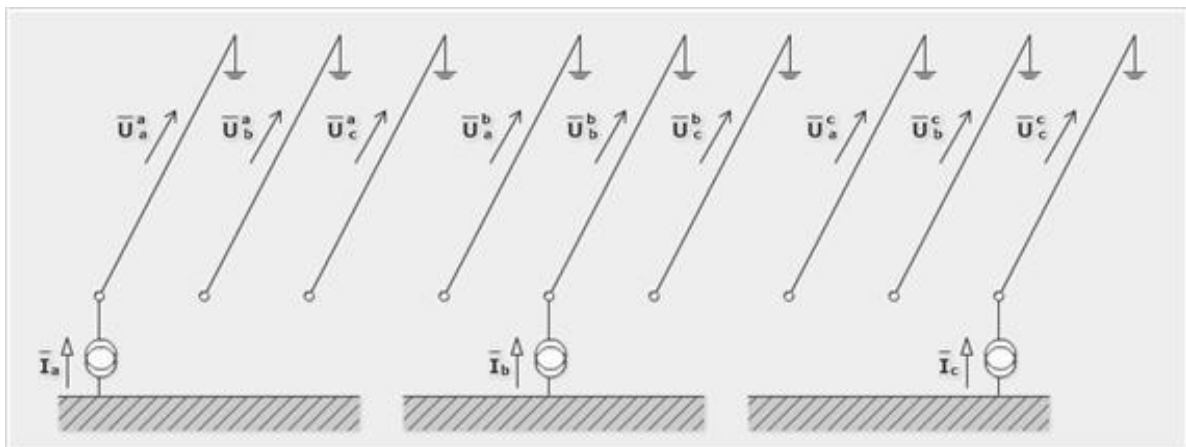
Vizsgáljuk a 3.8. ábrán látható háromfázisú három vezetéből álló rendszert. Az egyes vezetők elején legyen $\bar{U}_a, \bar{U}_b, \bar{U}_c$ váltakozó feszültség (földhöz, mint referenciasíkhhoz mérve), a vezetékvégek pedig legyenek összekötve az ideálisan jól vezető referenciasíkkal, azaz a visszavezetés „végtelen” távol van. A három párhuzamos vezető árama legyen rendre $\bar{I}_a, \bar{I}_b, \bar{I}_c$. A vezetők egymással mágneses kölcsönhatásban állnak, így önimpedanciájukon kívül kölcsönös impedanciájuk is van.



3.8. ábra: Háromfázisú rendszer vezetékai önimpedancia meghatározására

Bármelyik vezető **önimpedanciája** meghatározható úgy, hogy az illető vezetőkben (pl. a) az áram pozitív irányában okozott feszültségesés $\bar{U}_a^{(a)}$ értékét osztjuk az illető vezető \bar{I}_a áramával, miközben a többi vezetőkben nem folyik áram, azaz az áramkörüket megszakítjuk, lásd 3.9. ábrán:

$$\bar{Z}_{aa} = \frac{\bar{U}_a^{(a)}}{\bar{I}_a} \quad (3.1.)$$



3.9. ábra: Háromfázisú rendszer vezetékének egymásra gyakorolt hatása (kölcsönös impedancia meghatározására)

Két vezeték közötti **kölcsönös impedancia** értékét megkapjuk, ha az egyik vezetőkben (pl. b) folyó áram \bar{I}_b hatására a másik vezetőkben (pl. a) keletkező feszültségesés $\bar{U}_a^{(b)}$ értékét elosztjuk a feszültséget indukáló árammal \bar{I}_b , miközben a többi vezető áramkörét megszakítjuk, azaz áramuk nulla.

$$\bar{Z}_{ab} = \frac{\bar{U}_a^{(b)}}{\bar{I}_b} \quad (3.2.)$$

$$\bar{Z}_{cb} = \frac{\bar{U}_c^{(a)}}{\bar{I}_b} \quad (3.3.)$$

Az önimpedancia jele a vezetőre vonatkozó két azonos index a \bar{Z} után, a kölcsönös impedancia jele két különböző index, ahol az első index jelzi, hogy melyik vezetőkben indukálódott a feszültség, és a második index a feszültséget indukáló áram vezetőjét jelzi.

A távvezetők fázisfeszültségeinek meghatározásához alkalmazzuk a szuperpozíció elvét, miszerint az (a) vezető feszültsége a 3.9. ábrának megfelelően az $\bar{U}_a^{(a)}$ önindukciós, illetve az $\bar{U}_a^{(b)}$ és az $\bar{U}_a^{(c)}$ az kölcsönös indukciós feszültségek összege. Az (a) vezetőkben indukált feszültségek a fentiekben definiált impedanciákkal és áramokkal kifejezve:

$$\bar{U}_a^{(a)} = \bar{Z}_{aa} \cdot \bar{I}_a, \text{ amikor csak az (a) vezetőkben folyik áram,} \quad (3.4.)$$

$$\bar{U}_a^{(b)} = \bar{Z}_{ab} \cdot \bar{I}_b, \text{ amikor csak a (b) vezetőkben folyik áram,} \quad (3.5.)$$

$$\bar{U}_a^{(c)} = \bar{Z}_{ac} \cdot \bar{I}_c, \text{ amikor csak a (c) vezetőkben folyik áram,} \quad (3.6.)$$

A vezetők feszültségeinek számításához a szuperpozíció tételét alkalmazva:

$$\bar{U}_a = \bar{U}_a^{(a)} + \bar{U}_a^{(b)} + \bar{U}_a^{(c)} \quad (3.7.)$$

Mindegyik fázisvezetőre:

$$\bar{U}_a = \bar{Z}_{aa} \cdot \bar{I}_a + \bar{Z}_{ab} \cdot \bar{I}_b + \bar{Z}_{ac} \cdot \bar{I}_c \quad (3.8.)$$

$$\bar{U}_b = \bar{Z}_{ba} \cdot \bar{I}_a + \bar{Z}_{bb} \cdot \bar{I}_b + \bar{Z}_{bc} \cdot \bar{I}_c \quad (3.9.)$$

$$\bar{U}_c = \bar{Z}_{ca} \cdot \bar{I}_a + \bar{Z}_{cb} \cdot \bar{I}_b + \bar{Z}_{cc} \cdot \bar{I}_c \quad (3.10.)$$

Fizikailag megvalósítható egyszerű hálózatokban:

$$\bar{Z}_{ik} = \bar{Z}_{ki} \quad (3.11.)$$

Az egyenletekből jól látható a többi vezető áramának hatása. Egyirányú áramok a vezető feszültségesését növelik, ellentétes irányú áramok csökkentik.

Vizsgáljuk meg az előbbi egyenletrendszer a gyakorlatban legtöbbször előforduló **három-fázisú szimmetrikus impedanciarendszer** esetére, ha az **átfolyó áramok is szimmetrikusak**, azaz a táplálás és a terhelés is szimmetrikus.

A rendszer szimmetriája miatt:

$$\bar{Z}_{aa} = \bar{Z}_{bb} = \bar{Z}_{cc} = \bar{Z}_0 \quad (3.12.)$$

$$\bar{Z}_{ab} = \bar{Z}_{bc} = \bar{Z}_{ac} = \bar{Z}_{ba} = \bar{Z}_{cb} = \bar{Z}_{ca} = \bar{Z}_k \quad (3.13.)$$

Az áramok szimmetriájából adódik, hogy:

$$\bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c = 0 \quad (3.14.)$$

Az egyenletrendszer tehát az impedanciákra elmondottakat figyelembe véve:

$$\bar{U}_a = \bar{Z}_0 \cdot \bar{I}_a + \bar{Z}_k \cdot (\bar{I}_b + \bar{I}_c) \quad (3.15.)$$

$$\bar{U}_b = \bar{Z}_0 \cdot \bar{I}_b + \bar{Z}_k \cdot (\bar{I}_a + \bar{I}_c) \quad (3.16.)$$

$$\bar{U}_c = \bar{Z}_0 \cdot \bar{I}_c + \bar{Z}_k \cdot (\bar{I}_a + \bar{I}_b) \quad (3.17.)$$

Felhasználva az áramok szimmetriájából adódó összefüggést, azaz az áramok szimmetrikus voltát az egyenletrendszer a következőképp írható át:

$$\bar{U}_a = (\bar{Z}_0 - \bar{Z}_k) \cdot \bar{I}_a \quad (3.18.)$$

$$\bar{U}_b = (\bar{Z}_0 - \bar{Z}_k) \cdot \bar{I}_b \quad (3.19.)$$

$$\bar{U}_c = (\bar{Z}_0 - \bar{Z}_k) \cdot \bar{I}_c \quad (3.20.)$$

A előbbi egyenletekben $(\bar{Z}_0 - \bar{Z}_k)$ **önimpedancia jellegű** mennyiség szerepel, – amelyet a háromfázisú vezeték fázisimpedanciájának nevezhetünk – hiszen látszólag a három fázis nem gyakorol egymásra hatást, mert mindegyik egyenletben csak a saját fázisának árama szerepel az adott fázis feszültségének létrehozásában. Az egymásra hatás abban nyilvánul meg, hogy az így adódó formálisan önimpedancia jellegű mennyiség $\bar{Z} = (\bar{Z}_0 - \bar{Z}_k)$, eltér az eredeti tényleges önimpedanciától.

Azaz:

$$\bar{U}_a = \bar{Z}_a \cdot \bar{I}_a \quad (3.21.)$$

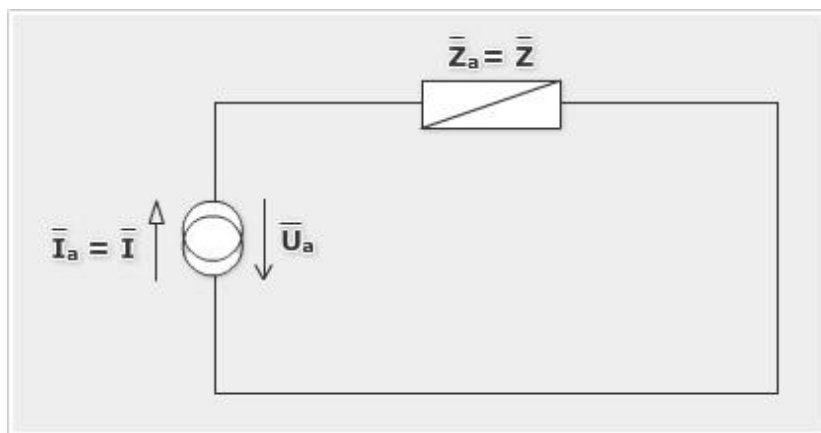
$$\bar{U}_b = \bar{Z}_b \cdot \bar{I}_b \quad (3.22.)$$

$$\bar{U}_c = \bar{Z}_c \cdot \bar{I}_c \quad (3.23.)$$

Vagyis miután mindhárom fázis egyformán számítható elegendő az egyik fázissal „a” számolni, de akkor az „a” index is elhagyható:

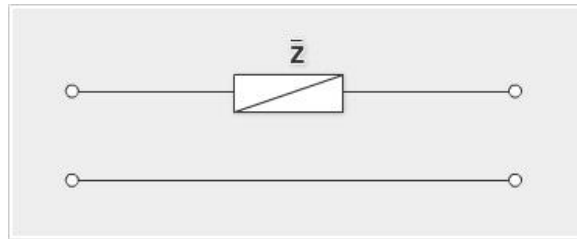
$$\bar{U}_f = \bar{Z} \cdot \bar{I} \quad (3.24.)$$

A szimmetrikus háromfázisú rendszer így három azonos viselkedésű egyfázisú rendszerre bontható, és a 3.8. ábra villamos paramétereinek számítására egyfázisú helyettesítő vázlat készíthető, amit a 3.10. ábra szemléltet.



3.10. ábra: Egyfázisú helyettesítés

Most már nincs akadálya annak, hogy számításainkhoz a szimmetrikusan megépített távvezeték – ha szimmetrikus teljesítményátvitel van rajta, azaz a táplálás és a fogyasztás is szimmetrikus – egyetlen impedanciát tartalmazó egyszerűsített egyfázisú helyettesítő vázlattal képesszük le. (Az egyszerűsített jelző azt fejezi ki, hogy csak az áramvezetést és az általa keltett mágneses tér hatását vizsgáltuk!)

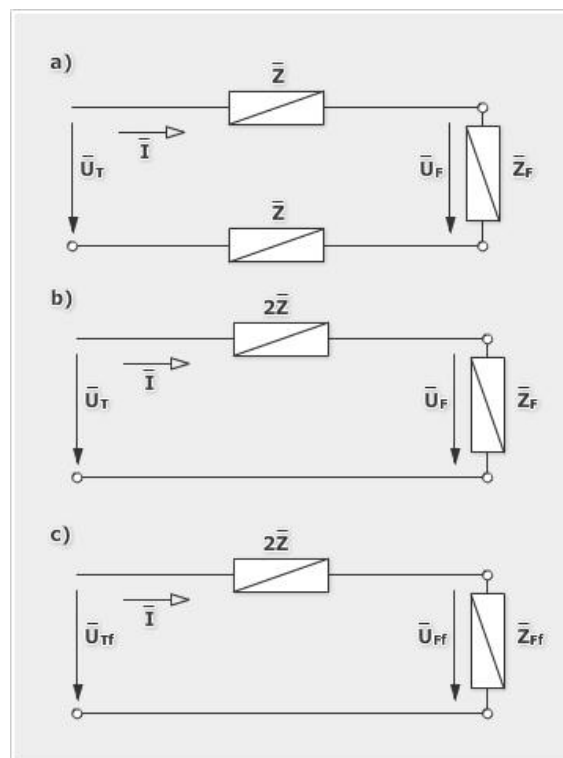


3.11. ábra: Vezeték egyfázisú, egyszerűsített helyettesítőképe

3.4.2. HÁLÓZATOK EGYFÁZISÚ HELYETTESÍTŐ VÁZLATA

Tápláljon egy egyfázisú feszültségforrás két vezetékkel egy fogyasztót (3.12. ábra a kép, a „T” index a tápoldalra, az „F” index a fogyasztói oldalra utal). Az áram oda-, és visszavezetését biztosító vezeték egy-egy koncentrált impedanciával vehetjük figyelembe. A fogyasztó impedanciája legyen: \bar{Z}_F .

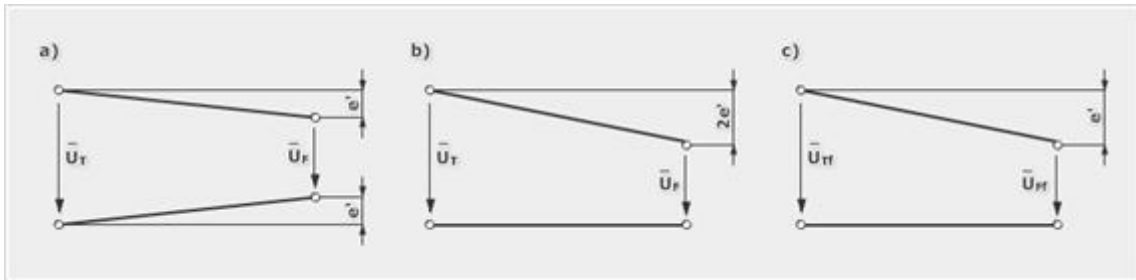
A villamos energetika feladata a fogyasztók minőségi energiaellátása. Ehhez előre számolni kell a vezetékek fogyasztói pontjain a feszültséget, ill. a megfelelő beavatkozás érdekében ismerni kell a vezetékek zárlata esetén a zárlati áramot. Ezen számítások esetére egyfázisú, vagy egyenáramú ellátást feltételezve és így a tápforrás és a fogyasztó közé két vezetékot képzelve (oda- és visszavezetés), a kialakuló áramot tekintve a 3.12. ábra a) képével egyenértékű a 3.12. ábra b) kép. Ez utóbbiban az egyik vezeték impedanciája az oda- és visszavezetés önimpedanciájának összege, a másik vezeték (visszavezetés) impedanciamentes.



3.12. ábra: Vezeték egyfázisú helyettesítőképe

Ha felrajzoljuk a kétféle helyettesítő kapcsoláshoz tartozó potenciáldiagramot (3.13. ábra), láthatjuk, hogy mind a két végponton, mind bármely közbülső helyen a vezetékek között a feszültségkülönbségek nagyságát helyesen kapjuk meg. A 3.13. ábra b) képe nem ad helyes adatot a vezetékek feszültség értékeire, de a valóságban ezekre senki sem kíváncsi.

A fő feladat a fogyasztói feszültség meghatározása, és azt a 3.13. ábra c) képének helyettesítő vázлата is helyesen adja, így elfogadjuk, mint leképzést azzal a feltétellel, hogy nem mindenben egyenértékű az eredetivel. Azaz az impedancia a „fázisvezetőben” van és a visszavezetés impedanciamentes!



3.13. ábra: Feszültségésés vezetéken

Ha **szimmetrikus háromfázisú** táplálásról van szó, és az áramok és a feszültségek is szimmetrikusak (normál állandósult üzem), akkor a fenti egyenletek alapján egyfázisú helyettesítő sémát alkalmazhatunk. A helyettesítő vázlatban a **fázisfeszültség az áram**, és a **fázisimpedancia** szerepel. A szimmetrikus háromfázisú esetben a nullavezetőben vagy a földben áram nem folyik, ezért ezt tekinthetjük viszonyítási alapnak, így a potenciálábra egy fázis és a referencia-pont (föld) esetében hasonló a 3.1.3 ábra b) képéhez. A tápponti és a fogyasztóoldali feszültség értéke helyes marad a 3.13. ábra c) képén.

Minden energiaátviteli elemnek – generátor, transzformátor, távvezeték – van saját helyettesítő vázлата. Az adott helyettesítő vázlat azonban nagymértékben függ a vizsgálat, számítás céljától és elvárt pontosságától. Így ugyanaz a hálózati elem más és más probléma megoldásánál más és más helyettesítő vázlattal szerepelhet.

Az egyfázisú helyettesítő vázlat a hálózat olyan egyfázisú leképzése, amelyben csak önimpedanciák szerepelnek, és állandósult üzemi viszonyok között a végpontokra nézve az eredeti hálózattal azonos áram-, feszültség- és teljesítményviszonyok vannak.

ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK A 3. FEJEZETHEZ

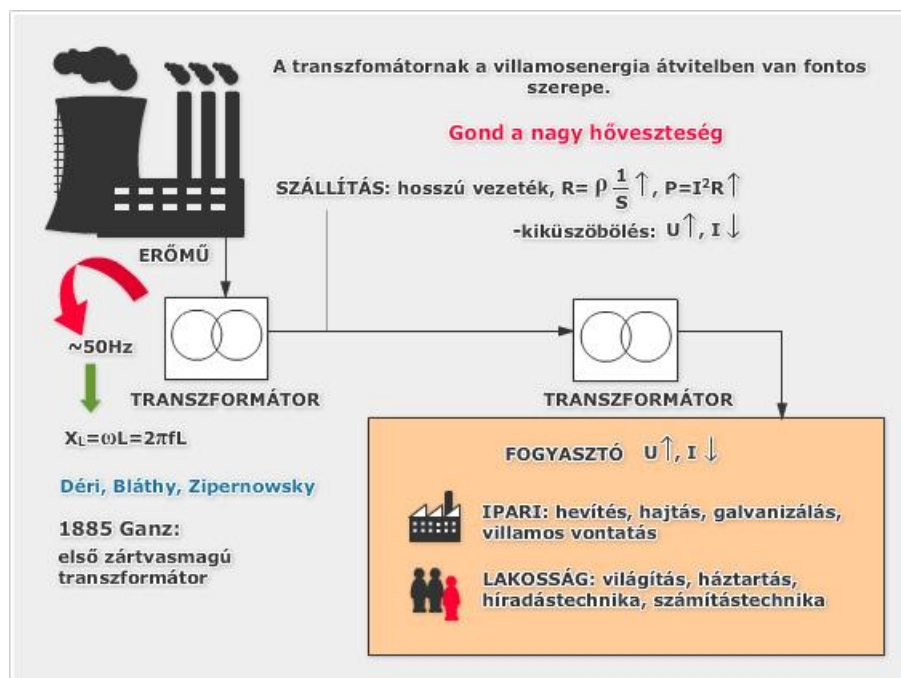
1. Mi a különbség a burkolt vezeték és a kábel között?
2. Sorolja fel a hálózatok típusait szerepük szerint!
3. Sorolja fel a hálózatok típusait az alakzati kialakításuk alapján!
4. Vázolja a sugaras vezetékű hálózatot!
5. Milyen előnyei ismertek a gyűrűs-íves hálózatnak?
6. Milyen feszültségintű a Nemzetközi Kooperációs Hálózat?
7. Mi történik földeletlen csillagpontú hálózattal, ha földérintéses zárlat következik be rajta?
8. Milyen elem van a kompenzált hálózat csillagpontjában?
9. Mi az önimpedancia?
10. Vázolja a vezeték egyszerűsített, egyfázisú helyettesítőkapcsolását!

4. TRANSZFORMÁTOROK AZ ENERGIARENDSZERBEN

A transzformátor olyan villamos gép, amely váltakozó feszültségű és áramú villamos teljesítményt más váltakozó feszültségű és áramú villamos teljesítménnyé alakít át. A transzformátor csak nyugvó géprészekből épül fel, üzeme közben állandó felügyeletet nem igényel és kiemelkedő hatásfok jellemzi (92 – 97%.)

A „transzformátor” elnevezés, annak zárt vasmaggal készített alakja és párhuzamos kapcsolhatóságának felfedezése magyar mérnökök: Bláthy, Déri és Zipernowsky nevéhez fűződik. Szabadalmuk alapján 1885-ben a Ganz gyár kezdte gyártani a transzformátorokat és ezzel indult meg a villamosenergia alkalmazásának rohamos fejlődése is, mivel a transzformátorok segítségével a termelés, elosztás és felhasználás feszültségintjei az igényeknek és céloknak legmegfelelőbbben választhatók meg.

A transzformátorokat a műszaki élet legkülönbözőbb területein használják. Alkalmazásukkal a villamosenergia jellemzőit (feszültségét, áramerősségét, néha fázisszámát) változtatják meg. Azokat a transzformátorokat, amelyek a villamos energia átvitelében vesznek részt, gyűjtőnéven „erőátviteli” transzformátoroknak nevezzük (4.1. ábra).



4.1. ábra: Transzformátor a villamosenergia-rendszerben

Természetesen a műszaki élet egyéb területein is használnak transzformátorokat, pl. elektronika, távközléstechnika, biztonságtechnika stb. Az alkalmazás célja nagyon változó: feszültség, áram vagy impedancia átalakítása lehet a cél.

4.1. EGYFÁZISÚ TRANSZFORMÁTOROK

A transzformátorok működését az egyfázisú transzformátorok esetén vizsgáljuk. A transzformátorok működési elve a Faraday féle indukción alapszik, emlékeztetőül:

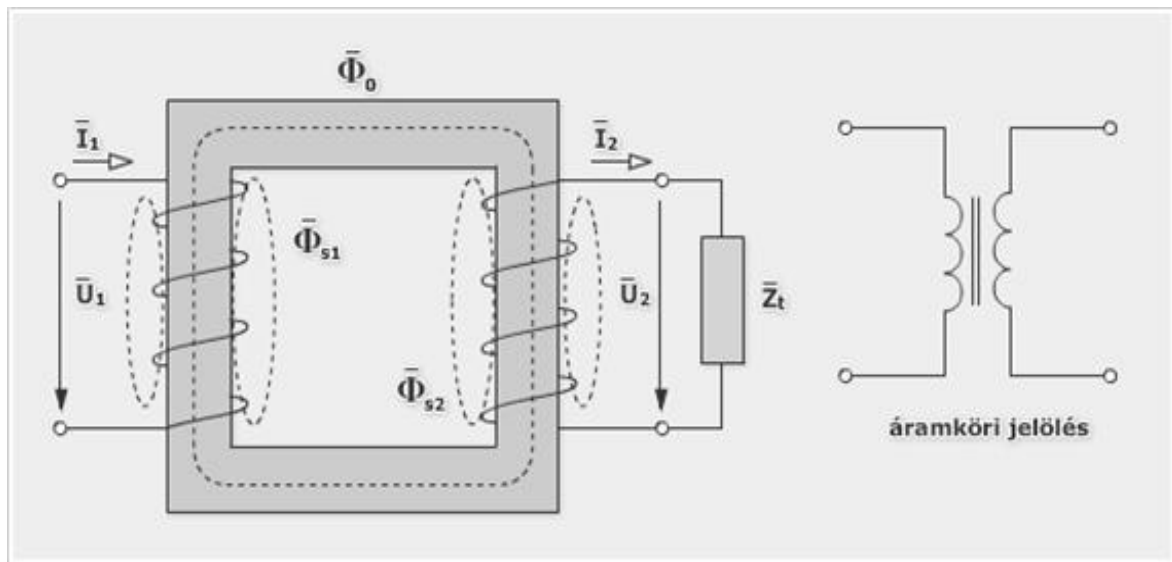
$$U_i = N \cdot \frac{d\phi}{dt} \quad (4.1.)$$

A transzformátorok legfontosabb szerkezeti eleme a vasmag és az ezen elhelyezett egy vagy több tekercs. A transzformátor vasmagját általában lemezelten készítik, hogy csökkentsék az örvényáramú veszteséget (vasveszteség = örvényáramú + hiszterézis veszteség).

A vasmag kialakítása szerint létezik:

- mag
- láncszem
- köpeny típusú transzformátor.

Tápláljuk a 4.2. ábrán látható módon a transzformátor primer tekercsét időben szinuszos lefolyású, „f” frekvenciájú váltakozó árammal. A gerjesztőáram hatására a vasmagban jó közéletéssel olyan mágneses tér keletkezik, amelynek indukciója a vasmag egész keresztmetszetén állandó, de nagysága állandóan változik.



4.2. ábra: Transzformátor feszültség-áram és fluxus viszonyai

A fenti ábrában Φ_0 az ún. főfluxus, Φ_{s1} és Φ_{s2} a primer és szekunder tekercsen, valamint a levegőn keresztül záródó ún. primer és szekunder szórt fluxus.

Az energiaáramlás szempontjából nézve primer tekercsnek nevezzük azt az oldalt, ahova az energiát betápláljuk. Szekunder tekercs az, ahonnan az energiát elvezetjük a fogyasztó/terhelés (Z_t) táplálása érdekében.

Határozzuk meg a transzformátor tekercseiben indukálódó feszültséget:

$$\Phi_0 = \Phi_0 \cdot \sin \omega \cdot t \quad (4.2.)$$

Az indukciótörvényt felhasználva:

$$U_{i1} = N_1 \cdot \frac{d\Phi_0}{dt} = N_1 \cdot \frac{d}{dt} \cdot \Phi_{0 \max} \cdot \sin \omega \cdot t \quad (4.3.)$$

$$U_{i2} = N_2 \cdot \frac{d\Phi_0}{dt} = N_2 \cdot \frac{d}{dt} \cdot \Phi_{0 \max} \cdot \sin \omega \cdot t \quad (4.4.)$$

Az indukált feszültség maximuma:

$$u_{i \max} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot N \cdot \Phi_{0 \max} \quad (4.5.)$$

$$U_i = \frac{2 \cdot \pi}{\sqrt{2}} \cdot f \cdot N \cdot \Phi_{0 \max} = 4,44 \cdot f \cdot N \cdot \Phi_{0 \max} \quad (4.6.)$$

Azaz az indukált feszültség az N_1 és N_2 menetű tekercsekben:

$$U_{i1} = 4,44 \cdot f \cdot N_1 \cdot \Phi_{0 \max} = 4,44 \cdot f \cdot N_1 \cdot B_{\max} \cdot A_{vas} \quad (4.7.)$$

$$U_{i2} = 4,44 \cdot f \cdot N_2 \cdot \Phi_{0 \max} = 4,44 \cdot f \cdot N_2 \cdot B_{\max} \cdot A_{vas} \quad (4.8.)$$

A menetszámáttétel nem más, mint a menetszámok aránya:

$$a = \frac{N_1}{N_2} \quad (4.9.)$$

Az indukált feszültségek aránya megegyezik a menetszámáttétellel. Ezt hívjuk feszültségáttételnek:

$$a_u = \frac{U_{i1}}{U_{i2}} = a = \frac{N_1}{N_2} \quad (4.10.)$$

Ezt az áttételt üresjárásban mérve:

$$U_{i2} = U_2 \text{ üres} \quad (4.11.)$$

$$U_{i1} \approx U_1 \quad (4.12.)$$

$$a_u = \frac{U_1}{U_2 \text{ üres}} \quad (4.13.)$$

Az ún. áramáttétel a veszteségek elhanyagolásával a feszültségáttétel reciproka:

$$U_{i1} \cdot I_1 = U_{i2} \cdot I_2 \quad (4.14.)$$

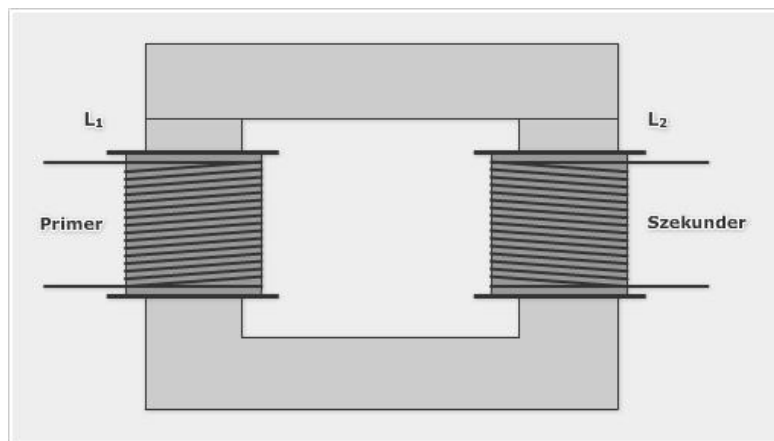
$$a_i = \frac{I_2}{I_1} = \frac{U_{i1}}{U_{i2}} = \frac{1}{a_u} = \frac{1}{a} \quad (4.15.)$$

Az impedanciaáttétel:

$$\frac{Z_1}{Z_2} = \frac{\frac{U_1}{I_1}}{\frac{U_2}{I_2}} = \frac{U_1}{U_2} \cdot \frac{I_2}{I_1} = a^2 \quad (4.16.)$$

4.1.1. EGYFÁZISÚ TRANSZFORMÁTOR SZERKEZETI FELÉPÍTÉSE

A 4.3. ábra a hagyományos, kétkerceses transzformátorok kialakítását mutatja, külön oszlopon helyezkedik el a primer és a szekunder tekercs.



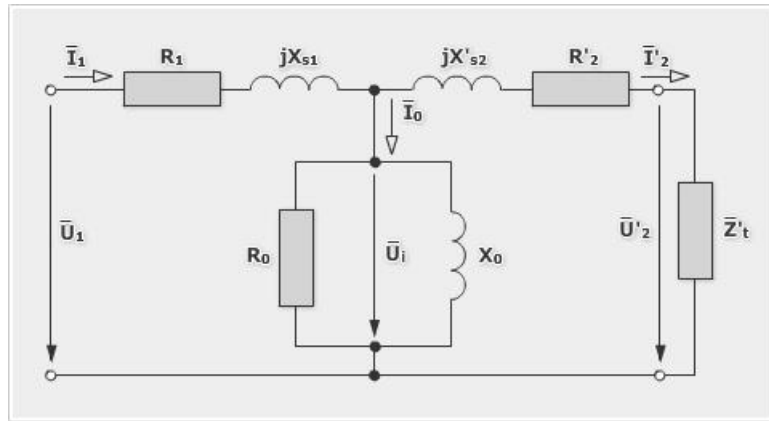
4.3. ábra: Egyfázisú transzformátor szerkezeti felépítése

A villamos energia átvitelére – mint ismeretes – majdnem kizárólag háromfázisú feszültségrendszert használnak. Az erőátviteli transzformátorok ezért rendszerint háromfázisú kivitelben készülnek. Háromfázisú teljesítmény transzformálása három egyfázisú transzformátorral is megoldható. A három egyfázisú transzformátorból álló gépcsoport azonban drágább és rosszabb hatásfokú az egy egységben épített háromfázisú transzformátornál. Igen nagy teljesítmény transzformálásához mégis egyfázisú transzformátorokat alkalmaznak, mivel a szállíthatóság (pl. vasúti úrszelvény) korlátozza az egy egységben megépíthető transzformátor méretét.

4.1.2. HELYETTESÍTŐ KAPCSOLÁSI VÁZLAT

A 4.4. ábra mutatja a transzformátorok villamos helyettesítő kapcsolási képét. Ez egy elméleti kapcsolási vázlat, amelyhez a transzformátor tényleges fizikai folyamataitól való összefüggések levonásával jutunk. A helyettesítő kapcsolási vázlat ellenállások és reaktanciák kombinációja, amelyek bizonyos elhanyagolásokkal úgy viselkednek, mint a transzformátor állandósult állapotban.

A gerjesztési törvény értelmében a primer tekercs feszültségegyensúlya a terhelésnek megfelelően mindig olyan primer áramot tart fen a primer tekercsben, hogy annak gerjesztése a szekunder gerjesztéssel együtt közel ugyan olyan főfluxust hozzon létre, mint üresjáráskor volt. Ez a gerjesztések egyensúlyának törvénye.



4.4. ábra: A transzformátor helyettesítőkapcsolása

A helyettesítő kapcsolásban szereplő elemek jelentése:

- R_1, R_2 : primer, illetve szekunder tekercs ohmikus ellenállása;
- X_{S1}, X_{S2} : primer, illetve szekunderoldali szórási reaktancia;
- R_0 : vasvesztéséget szimbolizáló ellenállás;
- X_0 : a főfluxust szimbolizáló reaktancia;
- Z_t : terhelő impedancia.

A vessző (') jelentése: szekunder oldali mennyiségek átszámítása/redukálása a primer oldalra az áttétel (a) figyelembe vételével (pl. $R'_2 = a^2 R_2$).

A helyettesítő képből szereplő mennyiségek egymáshoz viszonyított aránya a következő (tájékoztató adatok):

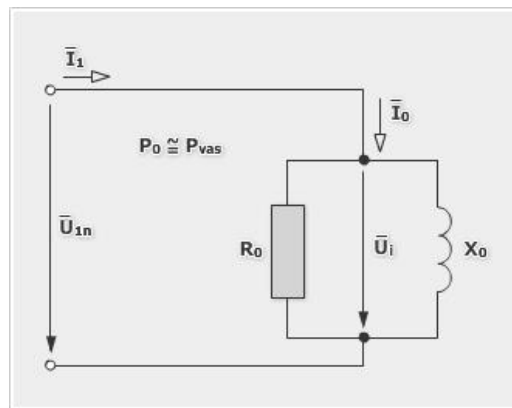
$$R_1 : R'_2 : X_{S1} : X'_{S2} : X_0 : R_0 = 1 : 1 : 2 : 2 : 1000 : 10000$$

Vizsgáljuk meg a transzformátorok működését különböző üzemállapotban: üresjárásban, névleges terhelésnél és rövidzár esetén.

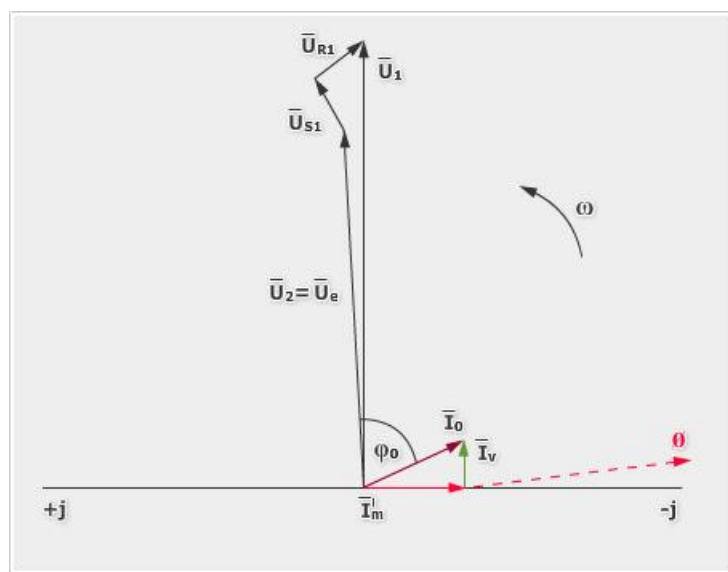
4.1.3. ÜRESJÁRÁS

Üresjárás esetén a transzformátor szekunder kapcsaira nem kapcsolunk terhelést, így a szekunder tekercsben nem folyik áram. Az egyszerűsített helyettesítő kép ekkor a 4.5. ábrán figyelhető meg. Mivel a transzformátor üresen jár, ezért a szekunder körében áram nem folyik, ott veszteség nem lép fel, így a helyettesítő kapcsolásban a szekunder kör elemei elhanyagolhatók. Az előbb láthattuk, hogy a vasmag ellenállása (R_0) és induktív reaktanciája (X_0) nagyságrendekkel nagyobb, mint a primer tekercs ellenállása (R_1) és induktivitása (X_{S1}), ezért ez utóbbiak szintén elhanyagolhatók. Ennek eredményeként az üresen járó transzformátor helyettesítő kapcsolásában kizárólag a vasmagot reprezentáló elemek kerülnek berajzolásra.

A 4.6. ábra az üresjárásban üzemelő transzformátor vektorábrát szemlélteti.



4.5. ábra: Üresen járó transzformátor helyettesítőkapcsolása



4.6. ábra: Üresen járó transzformátor vektorábrája

A vektorábra felrajzolásához, illetve értelmezéséhez az alábbi összefüggések szolgálnak segítségül:

Üresjárás esetén: $\cos \varphi \sim 0,1$

$$I'_2 = 0 \rightarrow \bar{U}_2 = \bar{U}_e \quad (4.17.)$$

$$\bar{U}_e + \bar{U}_{S1} + \bar{U}_{R1} + \bar{U}_1 = 0 \quad (4.18.)$$

$$\bar{U}_e = \bar{U}_1 - \bar{U}_{R1} - \bar{U}_{S1} \quad (4.19.)$$

ahol:

- U_1 : primer kapcsolásfeszültség;
- I_v : üresjárásos áram wattos komponense;
- I_m : üresjárásos áram meddő komponense;
- I_0 : üresjárásos primer áram;
- φ_0 : üresjárásos fázisszög ($\cos \varphi_0$ üresjárásos teljesítménytényező értéke: $\sim 0,1$);
- U_{R1} : primer tekercs ellenállásán eső feszültség;
- U_{S1} : primer tekercs reaktanciáján eső feszültség;
- U_e : főfluxus által indukált feszültség.

A főfluxus által indukált feszültséget úgy kapjuk meg, hogy az U_1 primer kapcsolásfeszültségből levonjuk az üresjárási áram által a primer tekercs ellenállásán és szórási reaktanciáján okozott feszültségeket. Az ohmos feszültség fázisban van az üresjárási árammal, a szórt fluxus által indukált feszültség pedig negyed periódussal siet (induktív feszültség).

4.1.4. TERHELÉS

Terheléskor a szekunder kapcsolásokra fogyasztókat kapcsolunk. A fogyasztókon és a szekunder tekercsen keresztül megindul az I_2 szekunder áram, illetve a helyettesítő kapcsolási vázlat redukált szekunder tekercsén keresztül az I_2' redukált szekunder áram. Nagyságát és fázisát a fogyasztók szabják meg. A fogyasztók általában wattos és meddő teljesítményt is fogyasztanak. Ezért I_2 , illetve I_2' általában késik a szekunder kapcsolásfeszültség mögött.

Az üzemiállapotra jellemző egyenletek:

$$I_2' \neq 0 \quad (4.20.)$$

$$\bar{U}_e = \bar{U}_1 - \bar{U}_{R1} - \bar{U}_{S1} \quad (4.21.)$$

$$\bar{U}_2' = \bar{U}_e - \bar{U}'_{R2} - \bar{U}'_{S2} \quad (4.22.)$$

A terhelt transzformátor I_1 primer árama nagyobb, mint az I_0 üresjárási primer áram és más a fázisa. Ezért megváltoztak a primer áram által a primer tekercs ellenállásán és szórási reaktanciáján okozott feszültségesések is:

$$U_{R1} = I_1 \cdot R_1 \quad (4.23.)$$

$$U_{S1} = j \cdot I_1 \cdot X_{S1} \quad (4.24.)$$

Ezért változatlan U_1 primer kapcsolásfeszültség esetén kis mértékben megváltozik U_e is.

$$U_e = U_1 - I_1 \cdot R_1 - j \cdot I_1 \cdot X_{S1} \quad (4.25.)$$

Rövidebben jelölve:

$$U_e = U_1 - U_{R1} - U_{S1} \quad (4.26.)$$

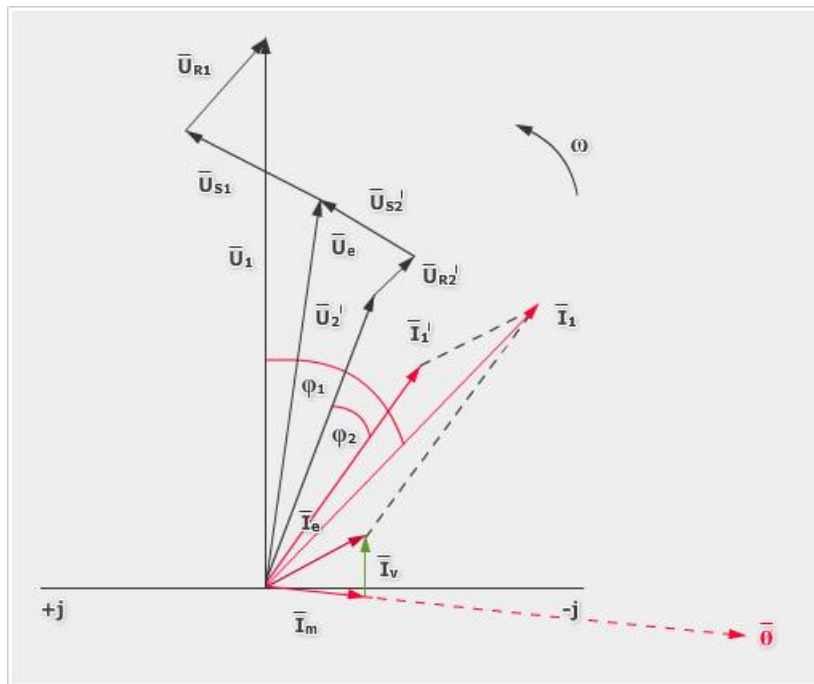
A redukált szekunder kapcsolásfeszültség:

$$U_2' = U_e - j \cdot I_2' \cdot X_{S2} - I_2' \cdot R_2 \quad (4.27.)$$

Rövidebben jelölve:

$$U_2' = U_e - U'_{S2} - U'_{R2} \quad (4.28.)$$

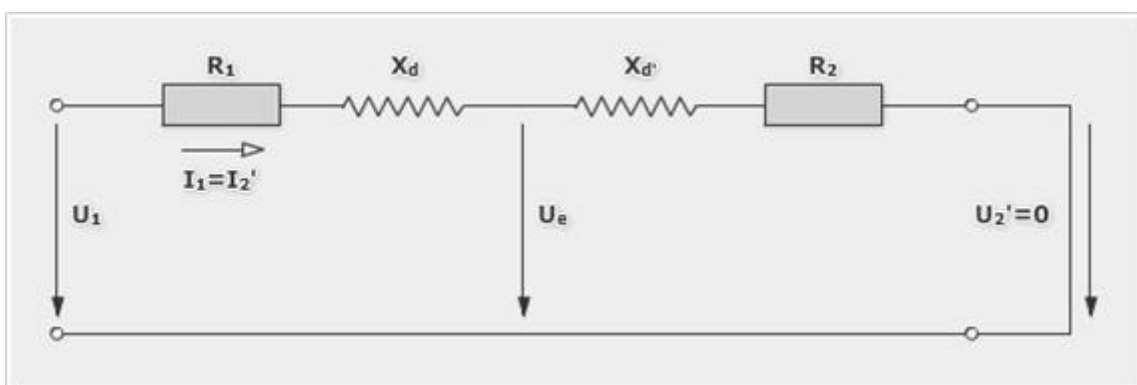
A névleges terhelés esetén érvényes vektorábra a 4.7. ábrán látható.



4.7. ábra: A névlegesen terhelt transzformátor vektorábrája

4.1.5. RÖVIDZÁRÁS

A rövidzárási állapot az üresjárásával ellentétes szélső terhelési állapot. A szekunder kapcsokat rövidre zárjuk, azonban ez az állapot nem üzemszerű állapot! Hosszú ideig nem tartható fent, mert a tekercsekben folyó áramok erőssége 10 – 25-ször nagyobb, mint névleges terhelés esetén. Ez az állapot a transzformátor gyors tönkremenetelét okozhatja, ezért különböző védelmeket (pl. megszakítók, olvadó biztosítók) kell beépíteni. A lekapcsolásnak olyan rövid idő alatt kell megtörténnie, hogy a tekercsek ne égjenek el, ne olvadjanak le a rövid lekapcsolási idő alatt (nincs idejük felmelegedni). A primer, illetve szekunder árammal arányosan megnőnek azonban a szórt fluxusok. A szórt fluxusok nagy mechanikai erőt fejtenek ki a tekercsre a rövidzárási állapotban, ezért a mechanikai méretezésnél ezt figyelembe kell venni. Az üzemi állapotban érvényes helyettesítő képez a 4.8. ábra szemlélteti.



4.8. ábra: Rövidzárársban járó transzformátor helyettesítőkapcsolása

Ahogy korábban is láthattuk a vasmag ellenállása (R_0) és induktív reaktanciája (X_0) nagyságrendekkel nagyobb, mint a primer és szekunder tekercs ellenállása (R_1 és R_2), valamint induktivitása (X_{S1} és X_{S2}), ezért a vasmagot helyettesítő elemek elhanyagolhatók (mivel azok rövidre vannak zárva).

Rövidzárás esetén az alábbi összefüggések érvényesek:

$$I_1 = I_2' = \frac{\bar{U}_1}{R_1 + j \cdot X_{S2} + R_2' + j \cdot X_{S2}'} \quad (4.29.)$$

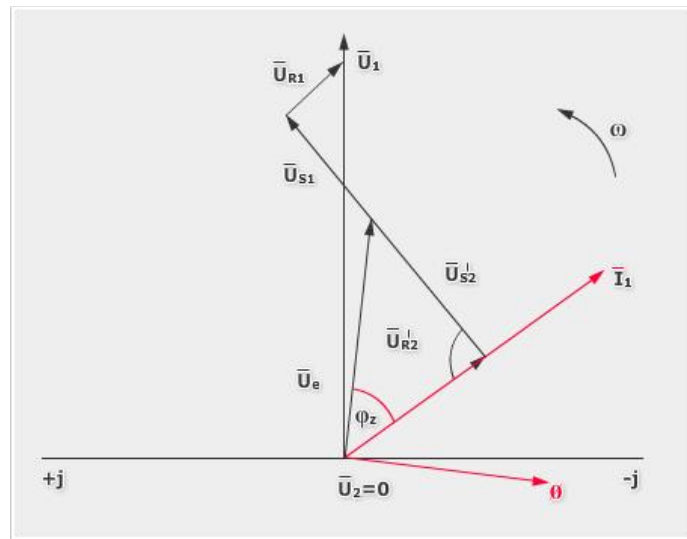
$$I_{1rz} \approx (10 \div 30) \cdot I_{1n} \quad (4.30.)$$

$$\bar{U}_e = \bar{U}'_{R2} + \bar{U}'_{S2} \quad (4.31.)$$

$$\bar{U}_e = \bar{U}_1 - \bar{U}_{R1} - \bar{U}_{S1} \quad (4.32.)$$

$$\bar{U}_1 = \bar{U}'_{R2} + \bar{U}'_{S2} + \bar{U}_{R1} + \bar{U}_{S1} \rightarrow \bar{U}_e \approx \frac{\bar{U}_1}{2} \quad (4.33.)$$

A fentiek alapján a rövidzársban érvényes vektorábra a 4.9. ábrán került felvázolásra.



4.9. ábra: Rövidre zárt transzformátor vektorábrája

4.1.6. DROP

A drop vagy százalékos rövidzársi feszültség az erőátviteli transzformátorok adattáblájáról leolvasható fontos műszaki paraméter, értékét a gyártómű mérésel határozza meg.

A transzformátor szekunder kapcsait rövidre zárva, azt a primer feszültséget, amelynél a primer tekercsben a névleges primer áram (I_{1n}) folyik, rövidzársi feszültségnek nevezzük:

$$U_{1z} = I_{1z} \cdot Z_z \quad (4.34.)$$

Természetesen ilyenkor a szekunder tekercsben is a névleges szekunder áram (I_{2n}) folyik. A rövidzársi feszültségnek a névleges primer feszültséghez viszonyított értéke a drop, vagy százalékos rövidzársi feszültség:

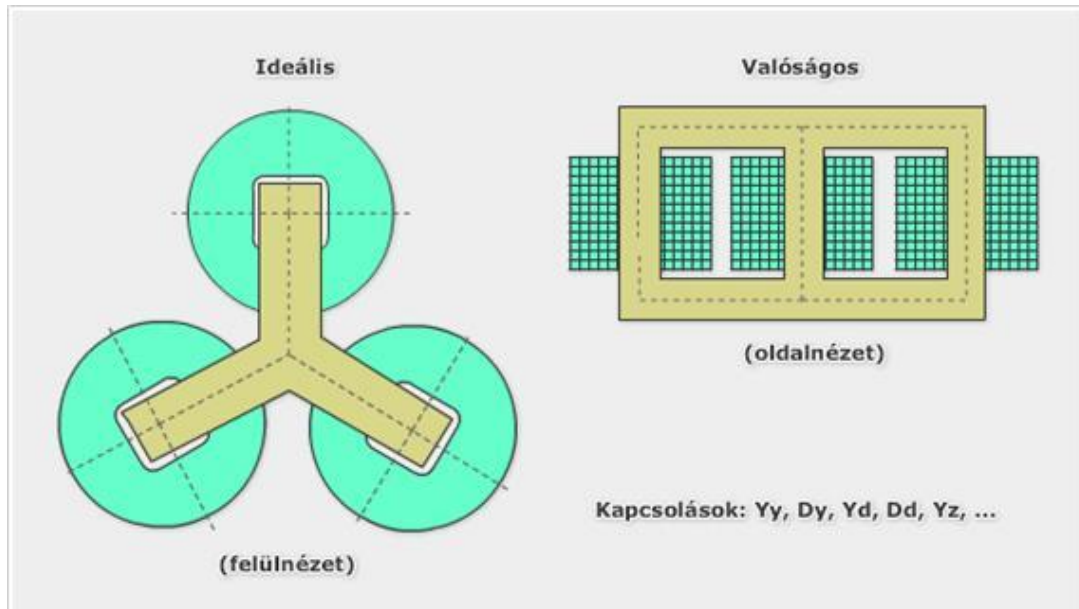
$$\varepsilon = \frac{U_{1z}}{U_{1n}} \cdot 100\% = \frac{I_{1n}}{I_{1z}} \cdot 100\% \quad (4.35.)$$

A drop kiszámításával a transzformátor maximális terhelési értékét lehet meghatározni.

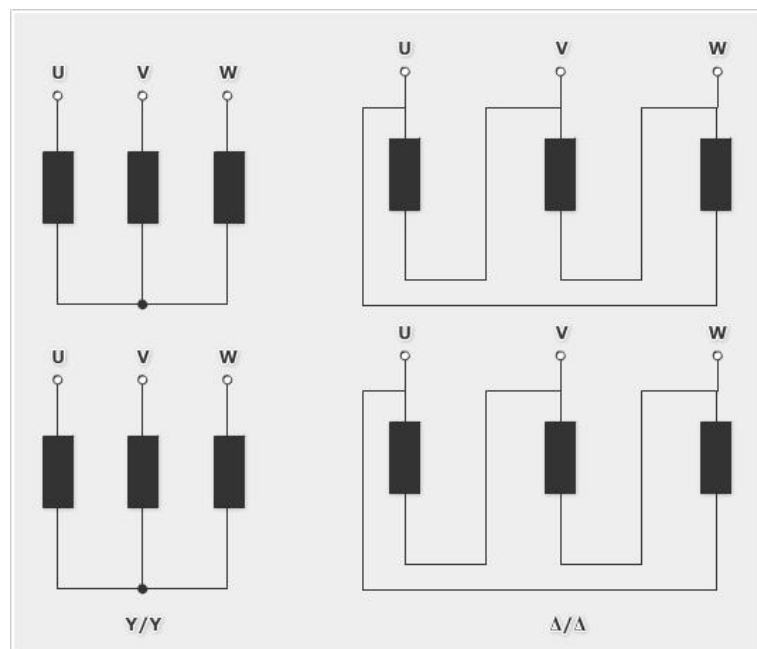
A drop tehát a rövidzársi feszültségnek a névleges primer feszültséghez viszonyított értéke százalékos értékben kifejezve. A rövidzársi mérés a rövidzársi feszültség és a tekercs veszteség meghatározására szolgál. Amennyiben egy transzformátor terhelését növelni kívánjuk, akkor figyelembe kell venni a dropot, mert a kis drop értékű transzformátor túlterhelődik, melegszik és tönkremegy. Ezért általában a transzformátorokat úgy méretezik, hogy még maximális terhelés esetén is legyen 10-20% -os tartaléka.

4.2. HÁROMFÁZISÚ TRANSZFORMÁTOROK

A villamosenergia-rendszerben alkalmazott erőátviteli transzformátorokat tekintve a háromfázisú transzformátoroknak nagyobb a jelentősége, mint az egyfázisúaknak, mivel a villamos energia termelése, elosztása és felhasználása – a gazdasági előnyök miatt – túlnyomórészt háromfázisú rendszerrel történik. A 4.10. ábra szemléltet két kialakítást a tekercsek vasmagon történő elhelyezésére vonatkozóan. A 4.11. ábra a leggyakrabban alkalmazott kapcsolású transzformátorokat szemlélteti.



4.10. ábra: Háromfázisú transzformátorok szerkezeti kialakítása



4.11. ábra: Háromfázisú transzformátorok két lehetséges kapcsolási képe

Az erőátviteli transzformátorok leggyakrabban ún. magtípusú kivitelben készülnek. A primer, illetve a szekunder tekercseket a vasmag három oszlopára fűzik fel, hengeres tekercselrendezésben. A három fázistekercs kapcsolható háromszögbe (delta), csillagba és ún. zezugba. Ugyanannak a transzformátornak más kapcsolású lehet a nagyobb feszültségű tekercsrendszere

és más a kisebb feszültségűé. A nagyobb feszültségű tekercseket vagy csillagba, vagy háromszögbe kapcsolják, a kisebb feszültségű tekercseket pedig csillagba, háromszögbe vagy zezugba.

A gyakorlatban előforduló kapcsolások: csillag-csillag, csillag-zezug, csillag-háromszög és háromszög-csillag. Könnyen belátható, hogy az egyes kapcsolások esetén a primer vonali feszültséghez képest a megfelelő szekunder vonali feszültség eltérő fázisú lesz. Például a csillag-csillag kapcsolású transzformátor nagyobb feszültségű oldalán a pozitív irányok ellentétesek a kisebb feszültségű oldal pozitív irányjaival (a két feszültség éppen ellenfázisban van, azaz 180° -os a fáziseltérés). Ha a nagyobb vonali feszültséget az óra nagymutatójának, a kisebbet pedig a kismutatójának képzeljük, akkor a nagymutató a 12-esre, a kismutató pedig a 6-osra mutat. Az energetikában az ilyen transzformátort 6 órásnak mondják és a szabványos kapcsolási csoport jelölése: Yy6. (A nagybetű a nagyobb feszültségű oldalra, a kisbetű a kisebb feszültségűre vonatkozik.) Szokásos kapcsolási csoportok: Yz5, Yd5, Dy5.

4.2.1. CSILLAG-CSILLAG KAPCSOLÁSÚ TRANSZFORMÁTOR

A primer oldalon nincs „0” vezető (szabványos nagyfeszültségű rendszerek). A kiegyenlítő áram a fázistekercseken keresztül tud folyni oly módon, hogy mindegyik üresjárású áramhoz hozzáadódik a kiegyenlítő áram egy-harmada.

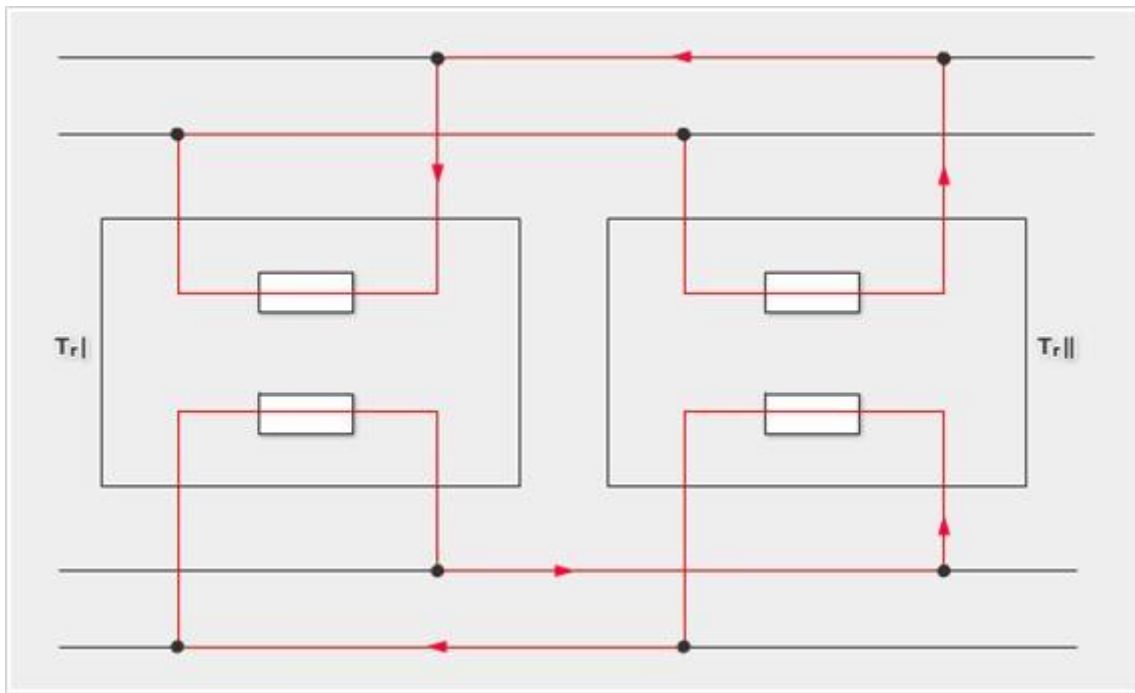
A primer fázis tekercsben a szükséges gerjesztő áramon kívül még a kiegyenlítő áram egy-harmada is folyik, melyek minden fázistekercsben azonos fázisúak. Ezek az áramok a szabályos (szimmetrikus) háromfázisú fluxuson felül minden oszlopban azonos fázisú fluxust gerjesztenek. A fluxusok azonos fázisa azt jelenti, hogy irányuk mindhárom oszlopban felfelé, majd egy fél periódus idő múlva lefelé mutat.

4.2.2. DELTA (HÁROMSZÖG) KAPCSOLÁSÚ TRANSZFORMÁTOROK

A háromoszlopos transzformátorok vasmagjában fellépő azonos fluxusok feszültséget indukálnak az egyes fázistekercsekben. Ezek a feszültségek azonos fázisúak, akár csak az őket indukáló fluxusok, ezért szuperponálódnak (megváltoztatják a fázis feszültségeket, fázisát, jelleggörbe alakját). Ezért a járom fluxusok hatásának kiküszöbölésére a járommenetek alkalmaznak. Alkalmazásukkal az oszlopokban folyó fő fluxusok összege minden pillanatban zérus. Hatásukra a járommenetekben olyan áram kering, amelyeknek gerjesztése az indukáló fluxusok ellen hat. Ezért az azonos fázisú fluxusok elhanyagolhatóan kicsinyek lesznek. A háromszög kapcsolású tekercselés önmagában úgy záródik, hogy mindhárom oszlopot azonos menetszámmal és értelemben járja körül. Hatása ezért olyan, mint a járommeneteké. Az egyfázisú (azonos fázisú, zérus sorrendű) fluxusok elhanyagolhatóan kicsinyek, ha a transzformátor bármelyik tekercselése háromszög kapcsolású. A háromszög kapcsolású tekercselésen belül kering az az áram, amelynek gerjesztése az azonos fázisú fluxusokat lerontja.

4.3. TRANSZFORMÁTOROK PÁRHUZAMOS ÜZEME

Ha adott teljesítmény átvitelére egy transzformátor nem elegendő, akkor több transzformátort kapcsolunk párhuzamosan. Ez azt jelenti, hogy a transzformátorok a teljesítményt közös primer hálózatról veszik fel és közös szekunder fogyasztórendszerre adják le. Amennyiben nem azonos paraméterekkel rendelkező transzformátorok kerülnek egymással párhuzamos kapcsolásba, akkor a transzformátorok között köráram alakul ki és folyik keresztül (4.12. ábra), ezzel terhelve mindkét transzformátort. A köráram a transzformátorok károsodásához vezet.



4.12. ábra: Párhuzamosan kapcsolt különböző típusú transzformátorok között kialakuló köráram

A párhuzamos kapcsolást, illetve a párhuzamos üzemet az alábbi feltételek egyidejű teljesülése esetén tekinthetjük kifogástalannak:

Párhuzamos üzemhez az alábbiaknak kell teljesülni:

1. Nincs kiegyenlítő áram a párhuzamosan kapcsolt transzformátorok között.
2. Terhelés a transzformátorok között névleges teljesítményeik arányában oszlik meg.

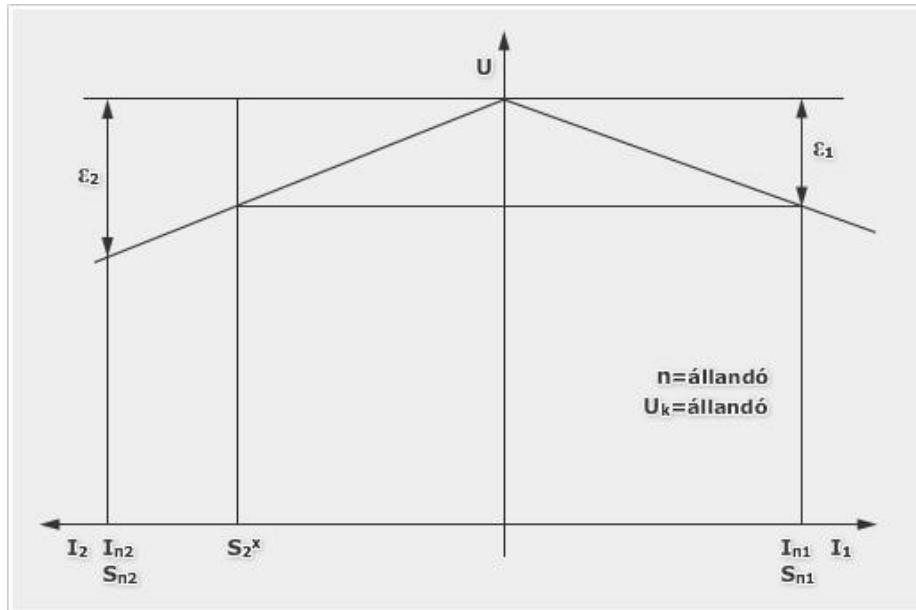
Ezek a feltételek akkor teljesülnek ha:

1. Primer és szekunder névleges feszültségek megegyeznek, azonos az áttétel ($a_I = a_U$)
2. Fázisfeszültségek azonos fázisúak (kapcsolási csoport azonos)
3. A transzformátorok százalékos rövidzárási feszültségei egyenlők (azonos drop) $\varepsilon_I = \varepsilon_U$

Könnyen belátható, hogy az azonos áttétel és azonos kapcsolási csoport azért szükséges, hogy a két transzformátor között terheletlen állapotban kiegyenlítő áram ne jöhessen létre. A kiegyenlítő áram káros, mert csökkenti az „üresjárású” szekunder kapocsfeszültséget és terheli, károsan melegíti a transzformátorokat.

4.4. PÁRHUZAMOSAN KAPCSOLT TRANSZFORMÁTOROK TERHELÉSELOSZLÁSA KÜLÖNBÖZŐ DROP ESETÉN

Ha a párhuzamosan kapcsolt transzformátorok rövidzárási feszültségei nem egyenlők, akkor a terhelésmegoszlás egyenlőtlen. A nagyobb rövidzárási feszültségű transzformátor még nincs kihasználva, leterhelve, amikor a másik már névleges áramával van terhelve. A terhelés tovább már nem növelhető, mert a kis ε -ú transzformátor túlterhelődik. A nagy rövidzárási feszültségű transzformátor árama az ábrából a hasonló háromszögek segítségével számítható. Párhuzamos üzemben csak olyan egységek alkalmazhatók, amelyeknek rövidzárási feszültségei $\pm 10\%$ tolerancián belül – egyenlők. A terheléseloszlást a 4.13. ábra szemlélteti.



4.13. ábra: Drop függő terheléeloszlás párhuzamosan kapcsolt transzformátorok esetében

$$\varepsilon_2 > \varepsilon_1 \quad (4.36.)$$

$$S_2^x = S_{2n} \cdot \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \quad (4.37.)$$

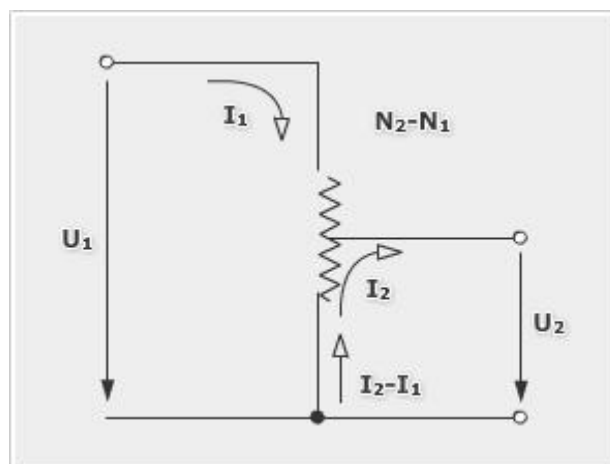
4.5. KÜLÖNLEGES TRANSZFORMÁTOROK

Kialakításuk és felhasználásuk miatt léteznek a hagyományos szerkezetű és felhasználású transzformátoroktól eltérő megoldású berendezések is, ezeket nevezzük különleges transzformátoroknak.

4.5.1. TAKARÉKKAPCSOLÁSÚ TRANSZFORMÁTOROK

A takarékkapcsolású transzformátor (4.14. ábra) a váltakozó áramú teljesítmény transzformálására alkalmas legegyszerűbb szerkezet. Az eddig megismert kéttekercses transzformátorral összehasonlítva nevezhetnénk egytekercses transzformátornak is. A feszültségátétel a kéttekercses transzformátorhoz hasonlóan:

$$a = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (4.38.)$$



4.14. ábra: Takarékkapcsolású transzformátor

Előnyök:

1. kisebb tekercs- és vasveszteség (mivel a közös menetszámú tekercsrészben a primer és szekunder áram különbsége folyik: $I_2 - I_1$),
2. kisebb méret és súly,
3. egyfázisú és háromfázisú szabályozó transzformátorokként is használhatók.

Hátrányok:

1. galvanikus kapcsolat a primer és szekunder tekercs között (biztonsági célú leválasztásra tilos felhasználni!),
2. amennyiben szakadás lép fel az N_2 -nél, akkor $U_2 = U_1$ (életveszélyes lehet!),
3. rövidzárási árama nagy, ui. a teljes primer feszültség az $N_1 - N_2$ menetszámú tekercsrészre esik.

4.5.2. MÉRŐTRANSZFORMÁTOROK

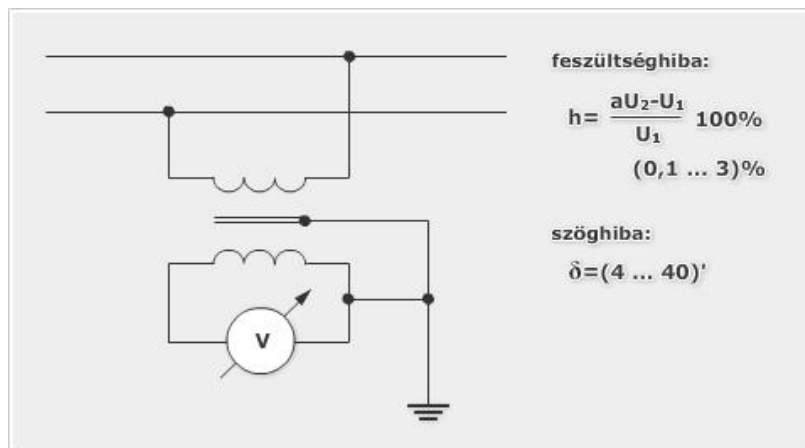
Az energetikában használatosak, azonban nem energiaátvitelre készülnek a mérőtranszformátorok. Nagy váltakozó feszültségek és áramok mérésére alkalmas különleges transzformátorok. Segítségükkel lehet a nagy feszültséget és áramot közvetlenül mérhető értékre csökkenteni.

4.5.2.1. FESZÜLTSEGVÁLTÓ

A feszültségváltó a nagy váltakozó feszültséget alakítja át közvetlenül mérhető értékre, általában 100 V-ra. Működése egy üresjárásban dolgozó transzformátoréhoz hasonlít (4.15. ábra). A primer tekercset a mérendő nagyfeszültségű hálózatra kapcsolják, míg a szekunder tekercsre kötik a feszültségmérőt. A feszültségváltó legfontosabb jellemzője az áttétel pontossága és a leképzés hűsége. Ideális esetben:

$$a = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (4.39.)$$

A feszültség abszolút értékek közötti eltérést a primer feszültségre vonatkoztatva kapjuk az ún. áttételi hibát, míg a fáziseltérés esetén az ún. szöghibát.



4.15. ábra: Feszültségváltó bekötési módja

Fontos: A feszültségváltó szekunder kapcsait nem szabad rövidre zárn!

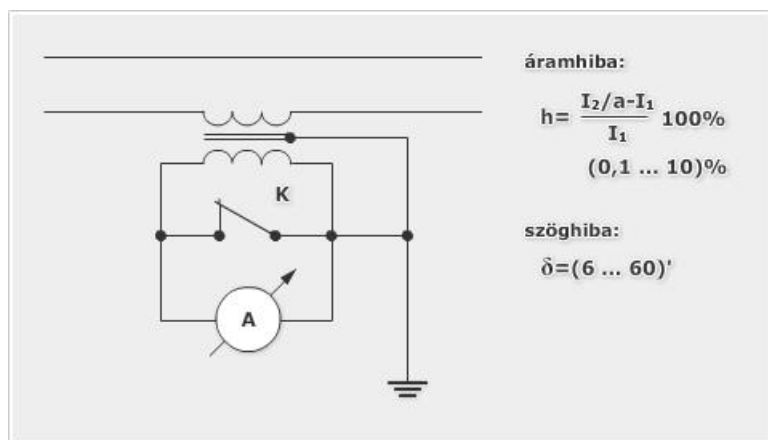
4.5.2.2. ÁRAMVÁLTÓ

Az áramváltó a nagy váltakozó áramot alakítja át közvetlenül mérhető értékre, általában 1 A vagy 5 A-ra. Működése kissé eltér a hagyományos transzformátorétól (4.16. ábra). A primer tekercset a mérendő nagy áram útjába sorosan kötik, míg a szekunder tekercsre kötik az árammérőt.

A primer és a szekunder oldali gerjesztések egyensúlya alapján:

$$\frac{1}{a} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (4.40.)$$

Az áramváltó esetén is a legfontosabb jellemző az áttétel pontossága és a leképzés hűsége.



4.16. ábra: Áramváltó bekötési módja

A mérési célú áramváltók jellemző értékei:

- $I_2 = 5\text{A}$ (1A)
- $I_1 = 5; 20; 50; 200; 500; 2000 \text{ A} \dots$

Fontos: Az áramváltó szekunder körét megszakítani nem szabad!

Ez a fontos megállapítás az áramváltó primer tekercsének soros kapcsolásából következik, ugyanis az áramváltó primer tekercse kényszergerjesztésű, áramát a mérendő hálózat mindenkoros terhelése határozza meg. Ezért a szekunder körben végzett javítások előtt a beépített K kapcsolót (4.16. ábra) rövidre kell zárni!

Szakadáskor ugyanis megnő az indukció és ennek hatásaként:

- megnő a vasvesztés és
- nagy feszültség lép fel a szekunder tekercsben, ami életveszélyes is lehet!

ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK A 4. FEJEZETHEZ

1. Vázolja az egyfázisú transzformátor helyettesítő kapcsolását!
2. Hogyan kell kiszámolni az indukált feszültséget a primer és a szekunder oldalon?
3. Mit nevezünk áttételnek?
4. Mit definiál a drop?
5. Vázoljon egy csillag-csillag kapcsolású háromfázisú transzformátort!
6. Milyen feltételeknek kell teljesülnie, hogy transzformátorokat kapcsolhassunk párhuzamosan?
7. Milyen előnyei és hátrányai ismertek a takarékkapcsolású transzformátornak?
8. Mi célt szolgál a feszültségváltó és hogyan kell bekötni egy áramkörbe?
9. Mi célt szolgál egy áramváltó és hogyan kell bekötni egy áramkörbe?
10. Mit reprezentálnak a transzformátor helyettesítő kapcsolásában a következő elemek: $R_1, R'_2, X_{S1}, X'_{S2}, R_0$ és X_0 ?
11. Vázolja a rövidrezárt transzformátor helyettesítőkapcsolását!
12. Vázolja az üresen járó transzformátor helyettesítőkapcsolását!
13. Hogyan, milyen összefüggéssel lehet a transzformátor szekunder oldali impedanciáját a primer oldalra redukálni?
14. Vázlat segítségével mutassa be a transzformátor működését!

5. ASZINKRON GÉPEK

5.1. ASZINKRON GÉP KONSTRUKCIÓK

Az aszinkron gép, mint ahogyan a forgó villamos gépek általában, két részből áll. Az állórészből és a forgórészből. Az állórész lemezelte vastestből épül fel az örvényáramok csökkentése érdekében és a háromfázisú gépeknél három, egymástól térben 120° -os szögeltolással tartalmaz tekercseket. A forgórész lemezelte hengeres kialakítású, amely lehet tekercselt, vagy kalickás kiképzésű. A tekercselt forgórészű gépben a tekercsek vagy rövidre vannak zárva, vagy csúszógyűrűkön keresztül ki vannak vezetve a gép külsőjére.

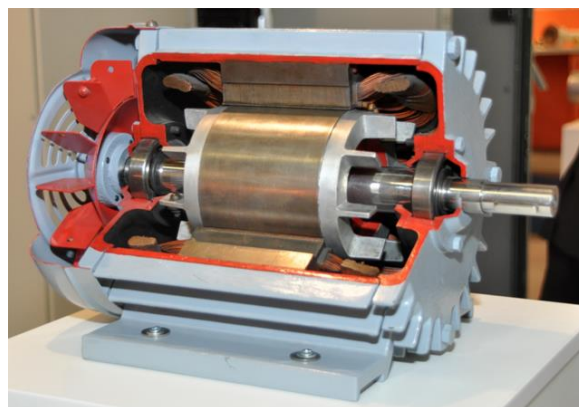
Az aszinkron gépek lehetnek egy – és háromfázisúak. Az állórész és a forgórész fázisszámának nem kell azonosnak lennie. Léteznek háromfázisú állórészű, de egyfázisú forgórészű gépek, és ez fordítva is érvényes. Gyakorlatilag a kalickás forgórészű gépek háromnál többfázisúnak is kialakíthatók a forgórész tekintetében.

Az aszinkron gépeket leggyakrabban motorként, valamilyen munkagép hajtására használják. Elsőként a háromfázisú kivitel működését tanulmányozzuk. Az állórészen elhelyezett háromfázisú tekercselésre rákapcsolva a szinuszos háromfázisú feszültséget, az állórészben forgó mágneses tér alakul ki. Térben eltolt tekercsekben időben eltolt áramok forgó mágneses mezőt hoznak létre. Gyakorlatilag a forgó villamos gépek működése ezzel a mondattal írható leg leg-egyszerűbben.

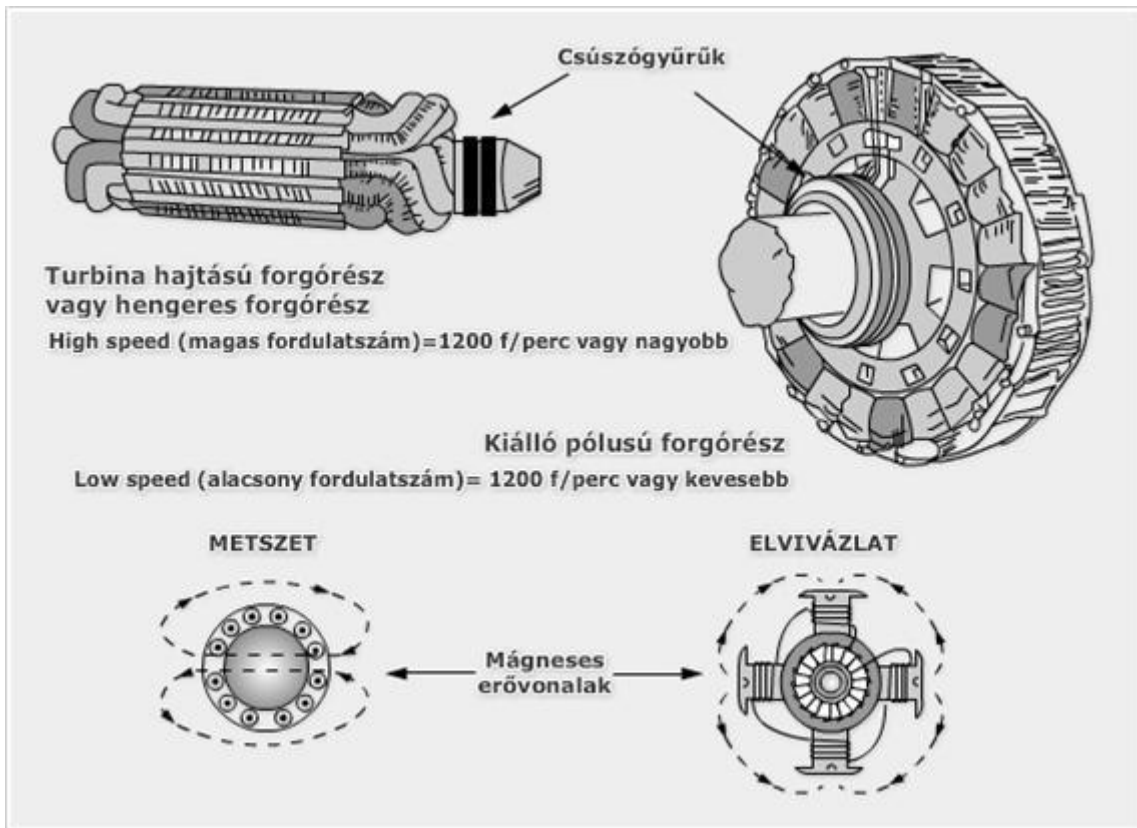
Az állórész mágnesmező az állórészt tápláló hálózat f_1 frekvenciája és a gép p póluspár számával meghatározott szinkron fordulatszámmal forog:

$$n_0 = \frac{f_1}{p} \left[\frac{\text{fordulat}}{s} \right] \quad (5.1.)$$

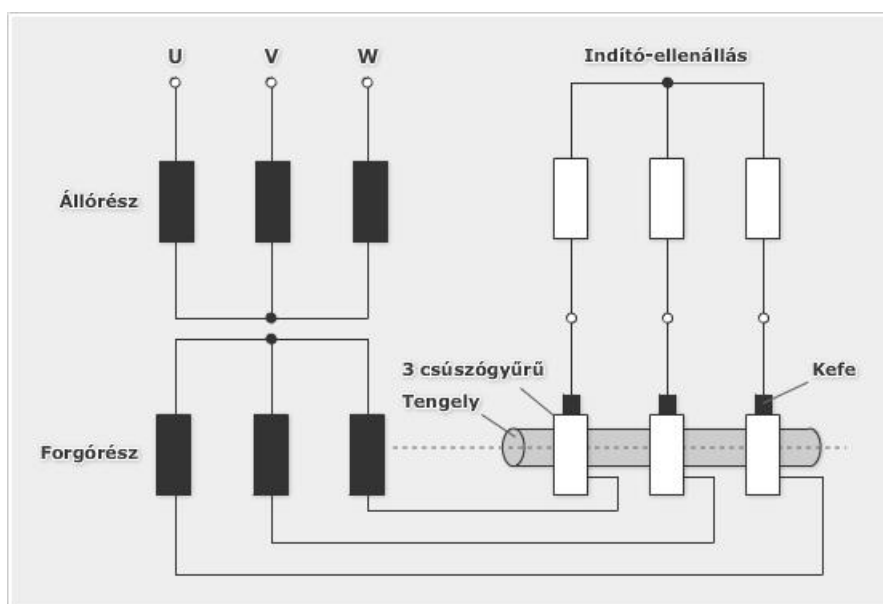
A forgó mágneses tér hatására a forgórészben feszültség indukálódik, melynek hatására a villamosan rövidre zárt forgórészben áram indul meg. Az átfolyó áram hatására a forgórészben is kialakul egy mágneses mező. Az állórész és a forgórész mágnestere kölcsönhatásba kerül egymással, ennek eredményeként nyomatékot létesít, amely a forgórészt a mezővel egyező irányban forgásba hozza. Minél jobban közeledik a fordulatszám a szinkron fordulathoz, annál kisebb a forgórészben indukálódó feszültség, mert a forgó mágnesmező és a forgórész közötti relatív sebesség annál jobban csökken. Ha a forgórész elérte a szinkron fordulatszámot, a mezőhöz képest relatív nyugalomba kerül, a tekercseiben nem indukálódik feszültség, nem jön létre áram, nem alakul ki ott mágneses mező és így nyomaték sem keletkezik. A gép csak a szinkrontól különböző fordulatszám mellett tud nyomatékot kifejteni. Ezért nevezik nem szinkron, azaz aszinkron gépnek. Terhelés hatására megnövekszik a forgórész árama, ami 3-6%-os fordulatszám csökkenést okoz. Az 5.1.-5.4. ábrák mutatják a gép forgórészének szerkezetét és a villamos kapcsolást.



5.1. ábra: Kalickás forgórészű aszinkron gép

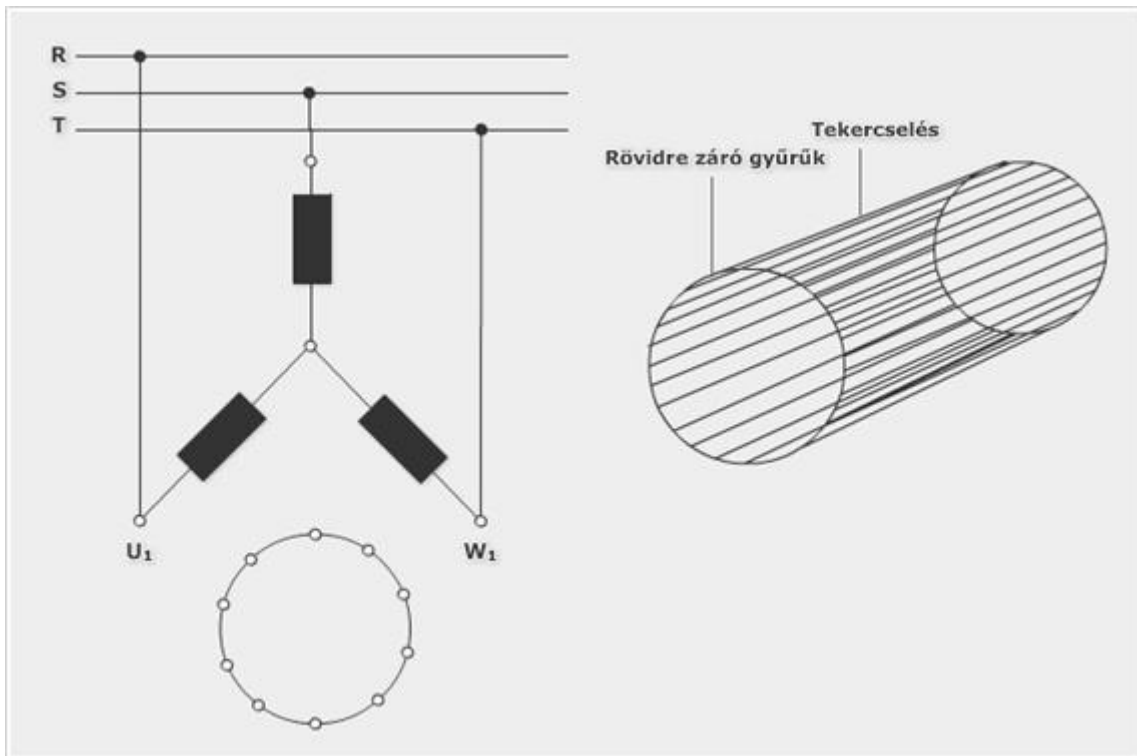


5.2. ábra: Tekercselt forgórészű/csúszógyűrűs aszinkron gép szerkezeti felépítése



5.3. ábra: Forgórész tekercselésének kivezetési módja

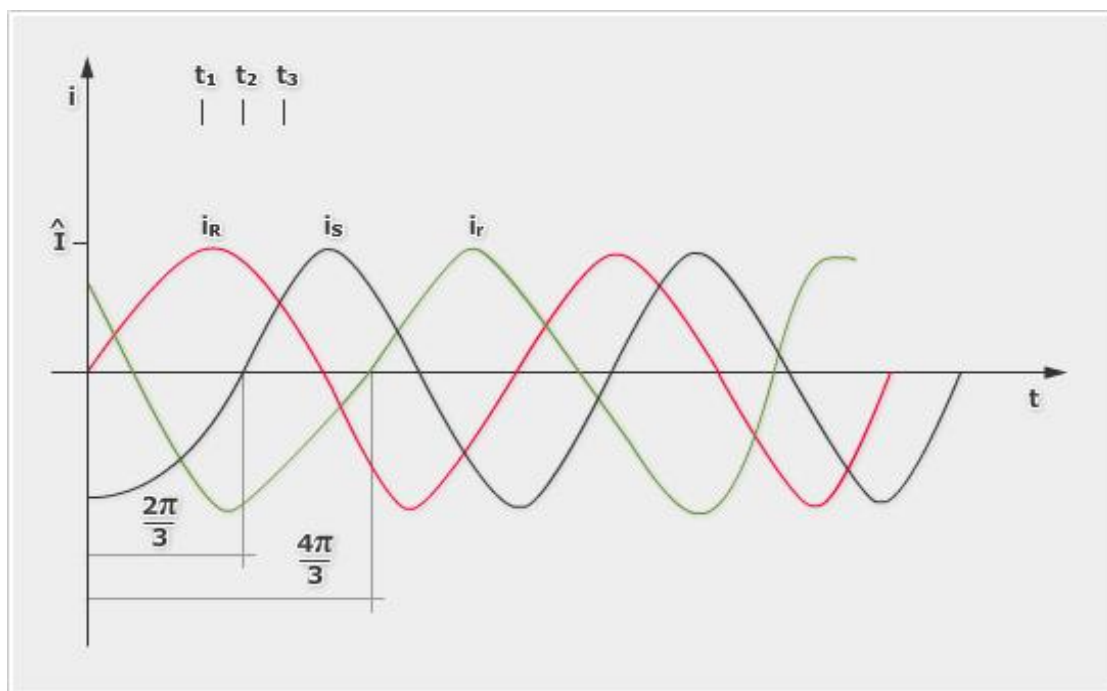
A kalickás forgórészeken nincs tekercselés és csúszógyűrű. A „tekercselés” a hornyokban elhelyezett rudakból áll (hornyokként egy rúd), amelyeket a forgórész homlokoldalán egy-egy rövidre záró gyűrű kalickává egyesít. A kalicka olyan többfázisú tekercsnek tekinthető, amelynek annyi fázisa van, ahány horny van a forgórészen. A kalickás forgórész elvben tetszőleges pólusszámra használható. Indítási tulajdonságai: mivel indító ellenállásra nincs mód, ezért kedvezőtlenebbek, mint a csúszógyűrűs forgórészűeké.



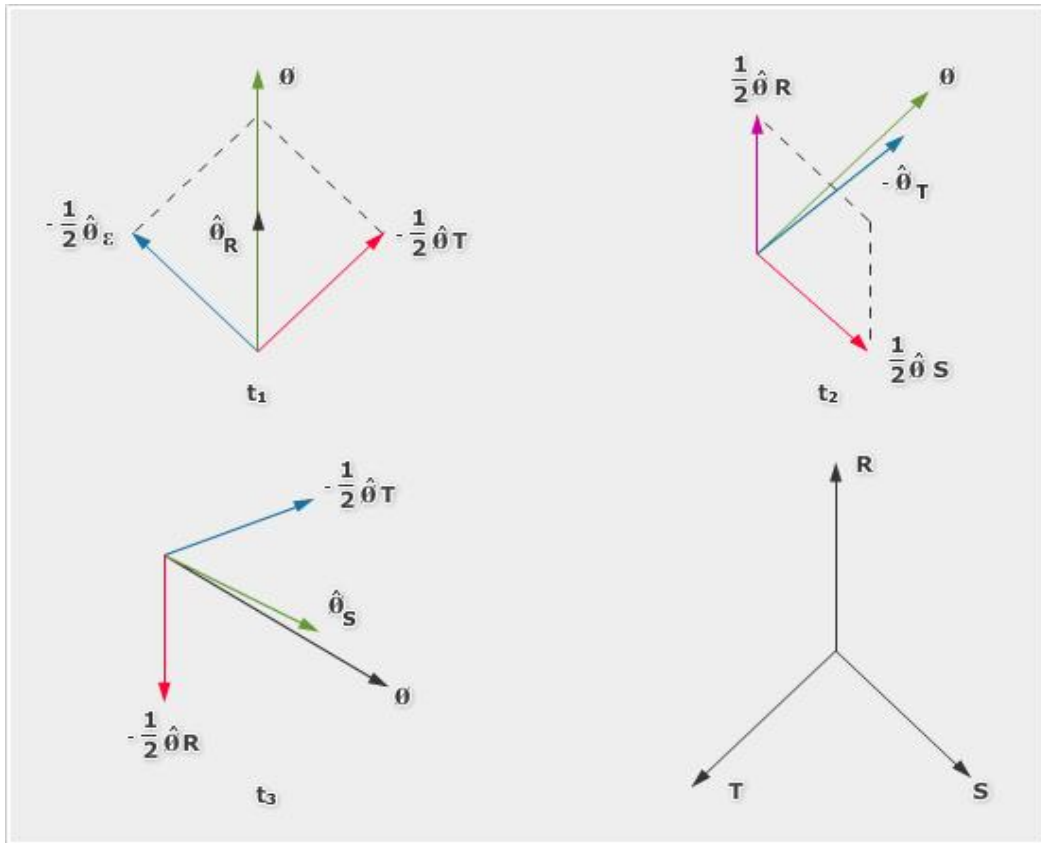
5.4. ábra: Kalickás forgórészű aszinkron gép felépítési vázlata

5.2. FORGÓ MÁGNESES TÉR

Az 5.5. és az 5.6. ábra szemlélteti a forgó mágneses tér kialakulását: t_1 , t_2 , és t_3 időpontokban összegezve a fluxusokat láthatóan azonos amplitúdójú és 60° -kal elforduló eredő fluxusokat kapunk.



5.5. ábra: A fázisáram időbeli lefolyása fázisonként



5.6. ábra: Forgó mágneses mező kialakulása ($t_2 = t_1 + 60^\circ$, $t_3 = t_2 + 60^\circ$)

5.3. SZLIP (CSÚSZÁS)

Ha az aszinkrongép tengelyét mechanikai nyomatékkal megterheljük, fordulatszáma beáll arra az értékre, amelynél a szekunder indukált feszültség által létrehozott áram (mágneses mező) nyomatéka egyensúlyt tart a terhelő nyomatékkal. Az aszinkrongép forgórésze motoros üzemi állapotban a szinkron fordulatszámnál mindig kisebb fordulatszámmal forog. A forgórésznek a forgómezőhöz képesti relatív lemaradását, csúszását szlipnek nevezzük és „s”-sel jelöljük. Ha a fluxus szinkron fordulatszámát n_0 -al, a tengely fordulatszámát n -nel jelöljük, a motor szlipje:

$$S = \frac{n_0 - n}{n_0} = 1 - \frac{n}{n_0} \quad (5.2.)$$

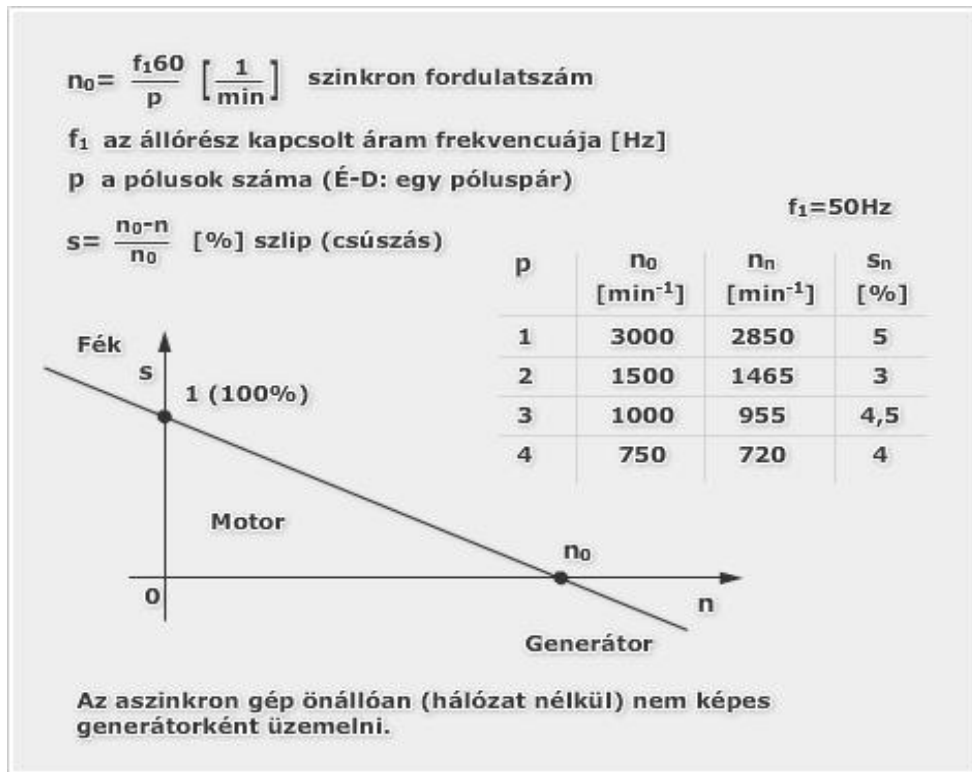
Névleges üzemi állapotban a szlip átlagos értéke 3–6 %.

A fordulatszám a szlip ismeretében meghatározható:

$$n = (1 - s) \cdot n_0 \quad (5.3.)$$

Amennyiben a gép forgórészét n_0 fordulatszámnál nagyobb fordulattal pörgetjük, akkor a forgórész mágneses mezője megelőzi az állórész forgó mágneses mezőjét, így a szlip értéke negatív lesz és a gép motoros üzemből átmegy generátoros üzemre. Fontos, hogy az aszinkron gépek csak akkor tudnak generátorként üzemelni, ha hálózatra vannak kapcsolva, mert a működésükhöz szükséges meddőteljesítményt továbbra is a hálózatról fogják felvenni!

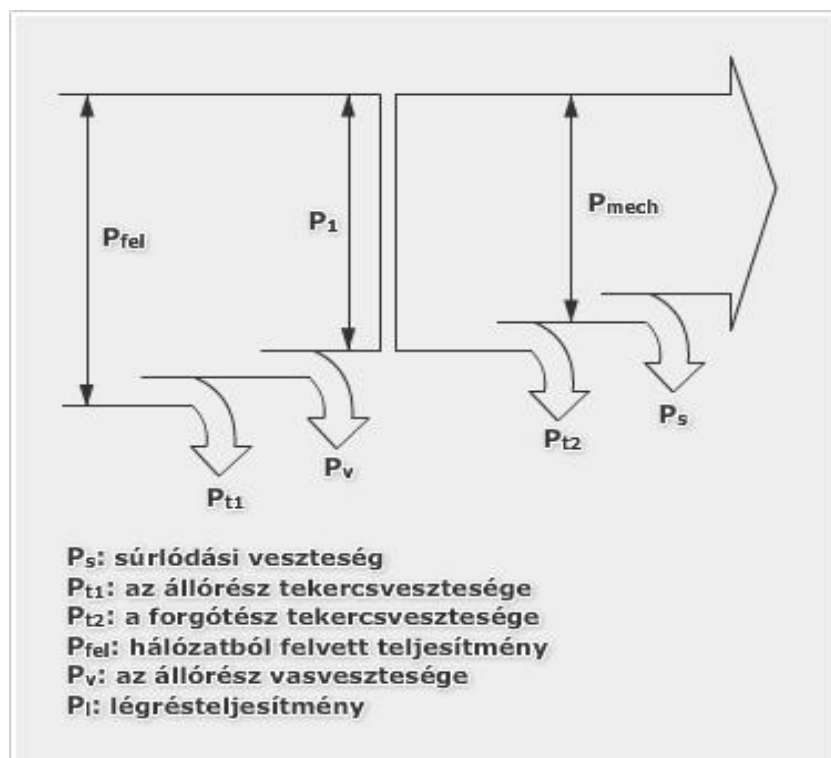
Amennyiben az állórész kép fázisávezetékének a sorrendjét megcseréljük, az állórész forgó mágneses mezőjének az iránya megváltozik, akkor a forgórész elkezd lassulni, majd pedig, ha nem kapcsoljuk le, irányt fog váltani. Ilyenkor a szlip értéke egynél nagyobb értéket vesz fel. Ezt az üzemi állapotot nevezzük féküzemnek. A fentebb leírtakat az 5.7. ábra szemlélteti.



5.7. ábra: Aszinkron gép üzemállapotai

5.4. TELJESÍTMÉNYVISZONYOK

Az 5.8. ábra szemlélteti az aszinkron motorban kialakuló különböző teljesítményeket. Az ábra motoros üzemre érvényes, de könnyen belátható módon származtatható belőle a generátoros üzemre vonatkozó teljesítményszalag is.



5.8. ábra: Aszinkron motor teljesítményszalagja

Az egyes teljesítmények közötti összefüggések az alábbiakban láthatók:

A hálózatról felvett teljesítmény:

$$P_{fel}(= P_1) = 3 \cdot U_{1f} \cdot I_{1f} \cdot \cos\varphi_1 = \sqrt{3} \cdot U_{1v} \cdot I_{1v} \cdot \cos\varphi_1 \quad (5.4.)$$

Az állórész tekercselésének vesztesége:

$$P_{t1} = 3 \cdot I_{1f}^2 \cdot R_1 \quad (5.5.)$$

A P_v vasvesztés általában egy gépre jellemző adott érték. Az állórész tekercselés és a vasvesztés összege adja az állórész veszteségét:

$$P_{\dot{a}} = P_{1t} + P_v \quad (5.6.)$$

A gép állórésze és forgórésze között légrés található. A légréshez a hálózatról felvett teljesítmények az állórész veszteségével csökkentett része jut el:

$$P_l = P_{fel} - P_{\dot{a}} \quad (5.7.)$$

A forgórész tekercsvesztése az állórész tekercsvesztéséhez hasonló módon számolható:

$$P_{t2} = 3 \cdot I_{2f}^2 \cdot R_2 = s \cdot P_l \quad (5.8.)$$

A forgórész vasvesztését rendszerint elhanyagoljuk. Ennek megfelelően a gép mechanikai teljesítménye:

$$P_{mech} = P_l - P_{t2} = (1 - s) \cdot P_l \quad (5.9.)$$

A motor által szolgáltatott hasznos teljesítmény:

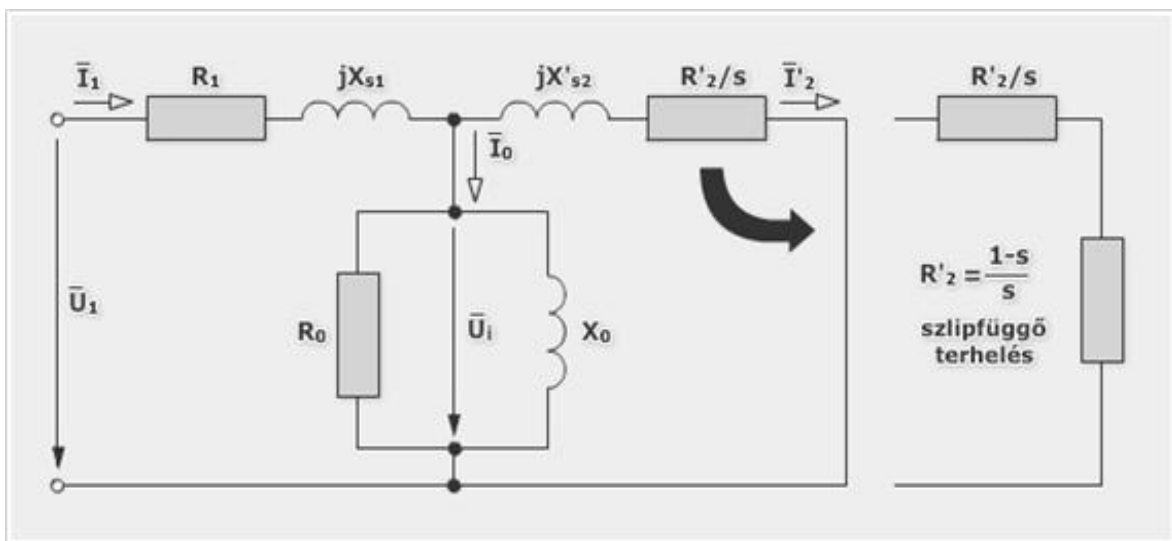
$$P_h = P_{mech} - P_{surt} \quad (5.10.)$$

A motor hatásfoka:

$$\eta = \frac{P_h}{P_{fel}} \quad (5.11.)$$

5.5. HELYETTESÍTŐ KÉP

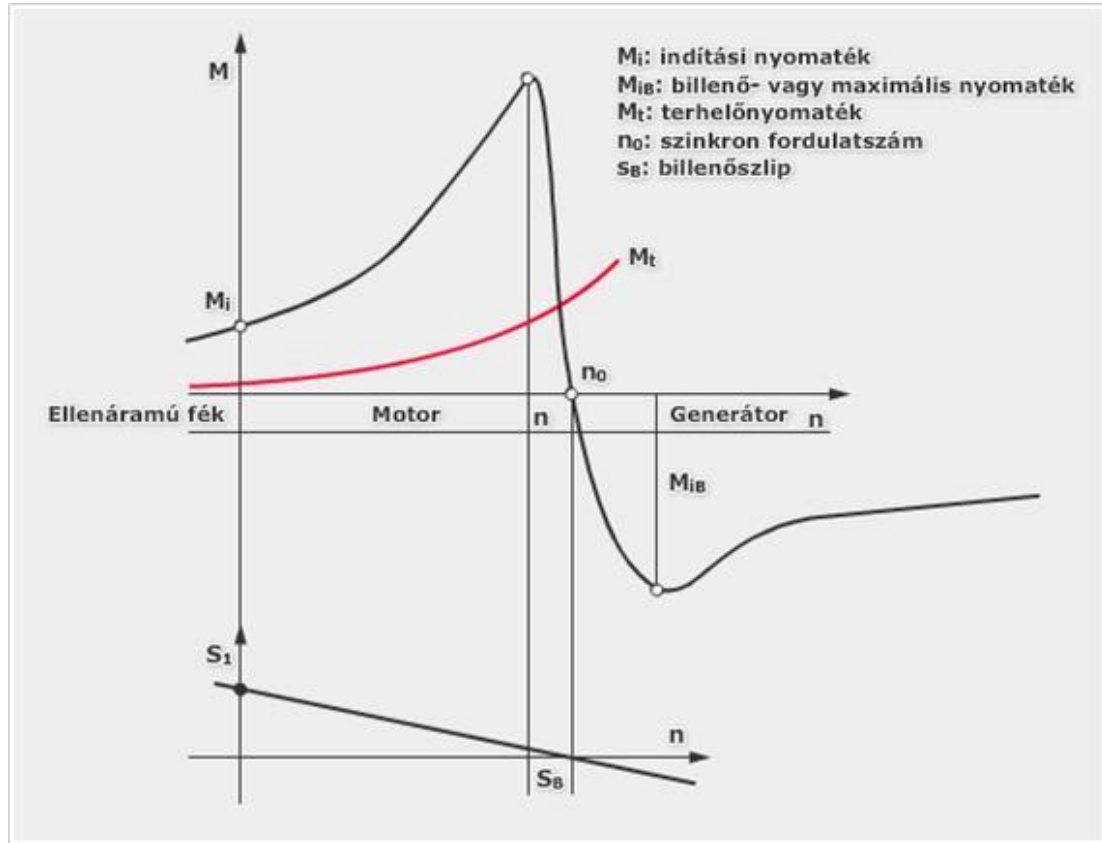
Az aszinkron gép villamos helyettesítő kapcsolása (5.9. ábra) alapján a gép működése jobban megérthető. Az ellenállások és reaktanciák jelentése lényegében megegyezik a transzformátornál leírtakkal (állórész ~ primer tekercs, forgórész ~ szekunder tekercs). A három fázis szimmetriája miatt elegendő egy fázisra megrajzolni a kapcsolást.



5.9. ábra: Aszinkron gép helyettesítő kapcsolása

5.6. MECHANIKAI JELLEGGÖRBE

Az aszinkron gép mechanikai, vagy más néven nyomaték – fordulatszám jelleggörbéje az 5.10. ábrán látható (figyeljük meg a különböző üzemállapotokra érvényes jelleggörbe szakaszt és a nevezetes pontokat): Fontos megjegyezni, hogy a motor nyomatéka a feszültség négyzetével arányos!



5.10. ábra: Aszinkron gép mechanikai jelleggörbéje

ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK AZ 5. FEJEZETHEZ

1. Milyen változatai léteznek az aszinkron motornak?
2. Hogyan lehet forgó mágneses mezőt létrehozni?
3. Mi a szlip és hogyan számítható?
4. Vázolja az aszinkron gép helyettesítő kapcsolását!
5. Vázolja az aszinkron motor teljesítményszalagját!
6. Vázolja az aszinkron gép mechanikai jelleggörbét!
7. Milyen üzemállapotai ismertek az aszinkron gépnek?
8. Hogyan számítható az aszinkron gép állórészének tekercsvesztesége?
9. Milyen összefüggés(ek) írható(k) fel az aszinkron gép légrés-, a mechanikai teljesítménye és a forgórész tekercsvesztesége között?
10. Hogyan határozható meg az aszinkron motor hálózathoz felvett teljesítménye?
11. Definiálja az aszinkron motor hatásfokát?
12. Mikor vesz fel negatív értéket a szlip aszinkron gépnél?
13. Miért nem tud szinkron fordulatszámon üzemelni az aszinkron gép?

6. SZINKRON GÉPEK

A szinkron gépek, ahogy a nevükben is benne van, kizárólag szinkron fordulatszámokon tud üzemelni. A gyakorlatban a szinkron gép és az aszinkron gép kiegészíti egymást. Míg a szinkrongép csak szinkron fordulatszámokon tud üzemelni, addig az aszinkron gép csak szinkron fordulatszámokon nem tud üzemelni. Az esetek 90 – 95 %-ban a szinkron gépek generátorként, az aszinkron gépek motorként használatosak.

6.1. A SZINKRON GÉPEK FELÉPÍTÉSE

A szinkron gép, akár generátor, akár motor teljesen azonos szerkezetű. Lemezelt állórészük hornyokban egy- vagy többfázisú, általában háromfázisú tekercselés van. Forgórészük egyenárammal gerjesztett póluskerék. Tömör vagy lemezelt vasból készül. Lehet hengeres vagy kiálló pólusú. Hengeres forgórész esetén a gerjesztő tekercseket hornyokban helyezik el. A 6.1. – 6.4. ábrák szemléltetik a szinkron gép felépítését.

Szerkezeti felépítését tekintve két fő egységből áll: az állórészből (armatúrából) és a forgórészből. Legfontosabb jellemzői:

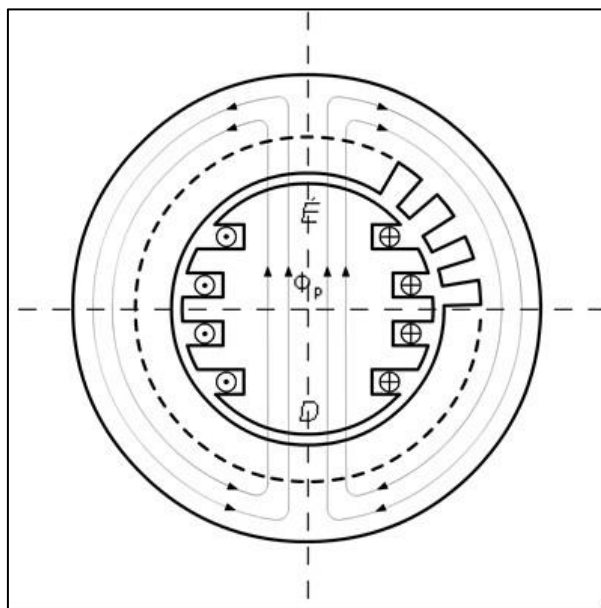
- 3 fázisú tekercselés az állórészen (armatúra)
- lemezelt állórész (az örvényáram csökkentése miatt),
- tömör, vastestű forgórész (hengeres vagy kiálló pólusú) egyfázisú tekercseléssel, a tekercsvégek csúszógyűrűkhöz csatlakoznak, ahova szénkeféken keresztül vezetjük a gerjesztőáramot (egyenáram)

Motor:

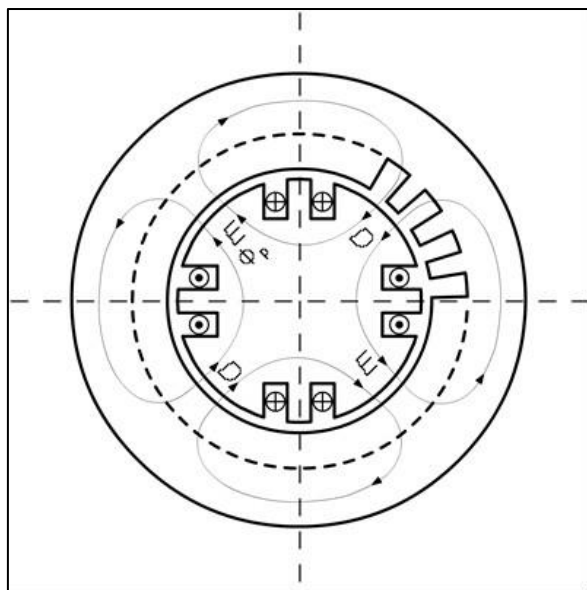
- állórész: a rákapcsolt 3 fázisú feszültség hozza létre a forgó mágneses teret, amelynek fordulatszámát a frekvencia és a pólusok száma határozza meg (nincs indítónyomatéka),
- forgórész: egyenáramú gerjesztés,
- (abszolút fordulattartó).

Generátor:

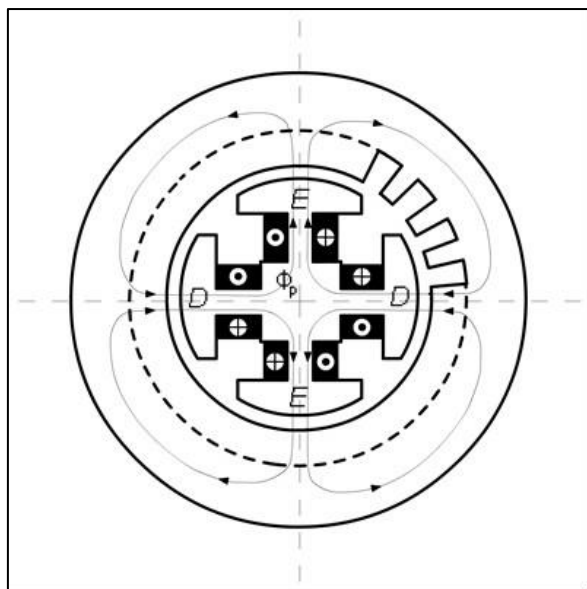
- forgórész: egyenáramú gerjesztés,
- forgórészt állandó fordulatszámmal forgatják (gőz-, víz-, gázturbina, diesel motor),
- állórész: indukált feszültség.



6.1. ábra: Egy póluspárú hengeres forgórészű szinkron gép



6.2. ábra: Két póluspárú hengeres forgórészű szinkron gép



6.3. ábra: Kiálló pólusú szinkron gép



6.4. ábra: Szinkron generátor a gibárti vízerőműben a Hernád folyón

6.2. A SZINKRON GÉP MŰKÖDÉSE

Működési elve a forgó mágneses mezők kapcsolódásán alapszik. A forgórész tekercselését egyenárammal gerjesztik. Ennek eredménye egy állandó mágneses tér. E forgórészt, tehát az egyenáramú mágneses mezőt az állórész belsőjében forgatják. A forgás következtében forgó mágneses mező alakul ki, amely az állórész egy pontjához viszonyítva váltakozó mágneses mezőt mutat. Mivel az állórészen háromfázisú tekercselés kap helyet, ezért abban háromfázisú váltakozó feszültség indukálódik. Amennyiben a tekercseket hálózatra kötjük, azaz zárjuk az áramkört, elektromos áram indul meg rajta, amely eredményeként az állórészen mágneses mező alakul ki. Mivel a háromfázisú tekercselés térben el van tolvá, ezért rajta időben eltolt áramok folynak át, így forgó mágneses mező alakul ki az állórészen. A két mágneses mező egymással kapcsolódva szinkron forog, és csakis így képesek erőpárt (nyomatékot) létrehozni és teljesítményt szolgáltatni.

A szinkrongép legfontosabb jellemzője, hogy csak egy kitüntetett fordulatszám, az úgynevezett szinkron fordulaton képes tartósan üzemelni. A gép fordulatszáma és frekvenciája között ugyanis merev kapcsolat van:

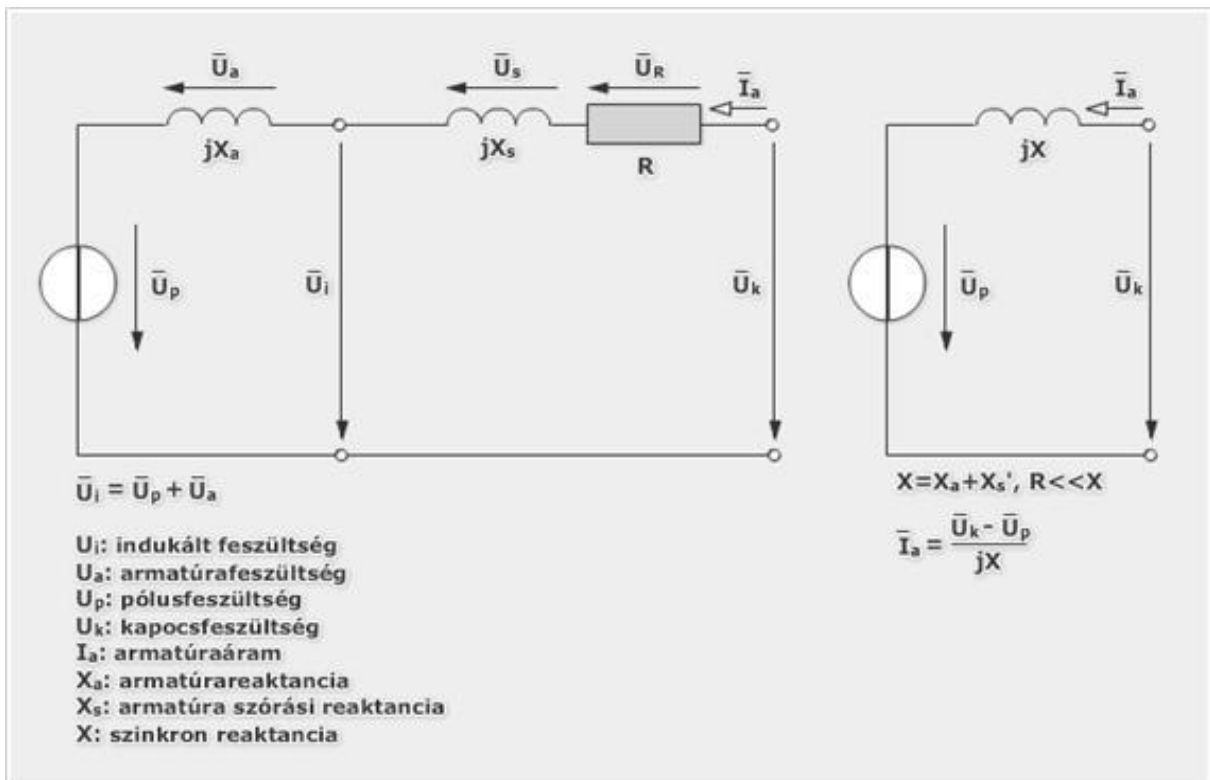
$$f = p \cdot n \quad (6.1)$$

ahol: f a frekvencia, p a gép póluspárjainak a száma, n pedig a fordulatszám.

A szinkrongép működhet generátorként és motorként is, ahogy a legtöbb villamos forgógép. Túlnyomórészt azonban generátorként használják, a háromfázisú villamos energiatermelés legfontosabb gépe az erőművekben.

6.3. ÁRAMKÖRI MODELL

A szinkron gép áramköri modellje lényegében egyszerűnek tekinthető, amit a 6.5. ábra szemléltet. A bal oldalon a valós, a jobb oldalon az egyszerűsített helyettesítő kép látható.



6.5. ábra: A szinkron gép helyettesítő kapcsolása

6.4. A SZINKRONGÉP NYOMATÉKA

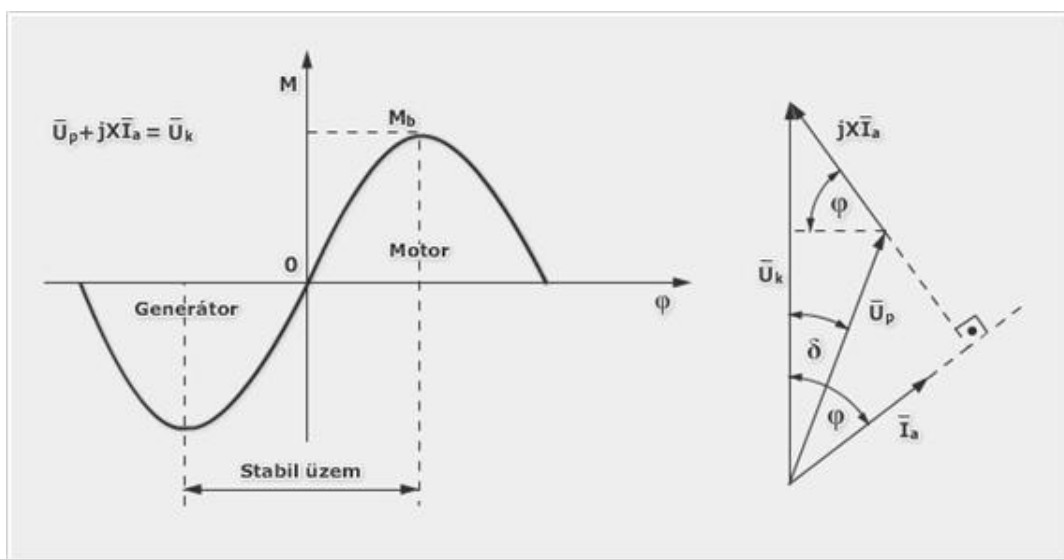
A szinkron gép nyomatékábráját a 6.6. ábra szemlélteti. Mivel a szinkron gép szinuszos áramú és feszültségű hálózatról táplált (motor), vagy hálózatra táplál (generátor), ezért a nyomatékgörbéje szinuszos jelleget mutat a terhelési szög függvényében.

A nyomaték az alábbi függvénnyel írható le:

$$M = \frac{3}{\omega_0} \cdot \frac{U_k \cdot U_p}{X_d} \cdot \sin \delta \quad (6.2.)$$

ahol: M a nyomaték (kapocsfeszültségtől függ), ω_0 a szinkron körfrekvencia, U_k a kapocsfeszültség, U_p a pólusfeszültség, X_d a szinkron reaktancia, δ a terhelési szög (U_p és U_k közötti szög)

Az üzemelés stabil, ha:
$$-\frac{\pi}{2} < \delta < \frac{\pi}{2} \quad (6.3.)$$



6.6. ábra: Hengeres forgórészű gép nyomatéka a terhelési szög függvényében

6.5. SZINKRON GÉP ÜZEMÁLLAPOTAI

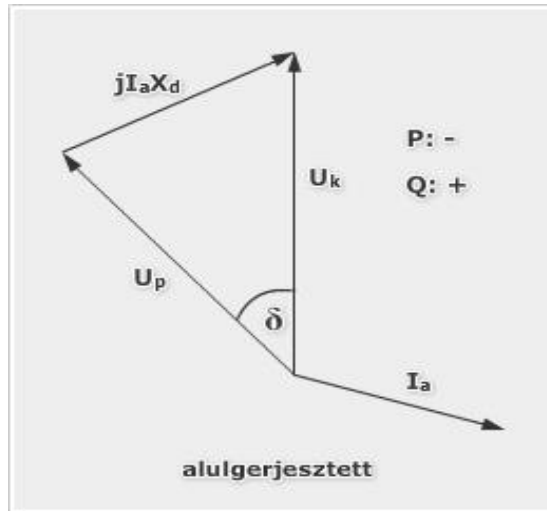
Mind a szinkronmotor, mind a szinkrongenerátor lehet ún. alul- vagy túlgerjesztett állapotban annak megfelelően, hogy az armatúra áramvektora milyen fázishelyzetű a kapocsfeszültséghez képest. Másképpen fogalmazva ez azt jelenti, hogy a gép fojtótekercsként vagy kondenzátorként viselkedik-e, azaz induktív meddőteljesítményt felvesz a hálózatról vagy lead a hálózatra (előbbi esetben alul-, utóbbiban túlgerjesztett esetről beszélünk).

Üzemállapotok:

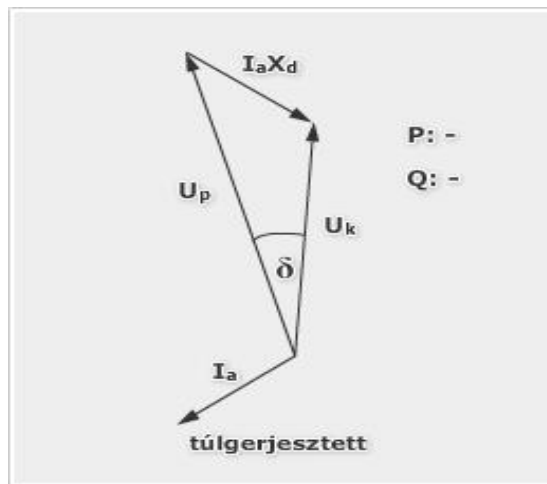
- alulgerjesztett motor, amely mágnesező áramot vesz fel (6.9. ábra),
- alulgerjesztett generátor, amely mágnesező áramot vesz fel (6.7. ábra),
- túlgerjesztett generátor, amely mágnesező áramot ad le, hatásos és meddő teljesítményt ad le a hálózatra (6.8. ábra),
- túlgerjesztett motor, hatásos teljesítményt vesz fel a hálózatról, és meddő teljesítményt ad le a hálózatra (6.10. ábra).

6.5.1. GENERÁTOR

Az előbbieket szerint a generátoros üzemmódra vonatkozó vektorábrák az alábbiakban láthatók (6.7. és 6.8. ábra). Megjegyzés: a pozitív teljesítmény fogyasztót, a negatív pedig termelőt jelent!



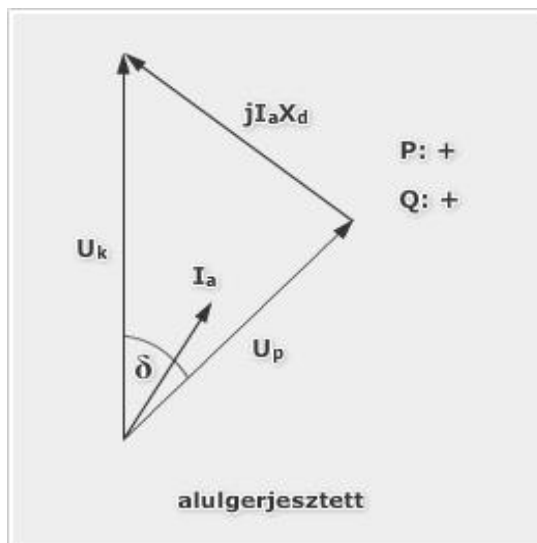
6.7. ábra: Alulgerjesztett szinkron generátor vektorábrája



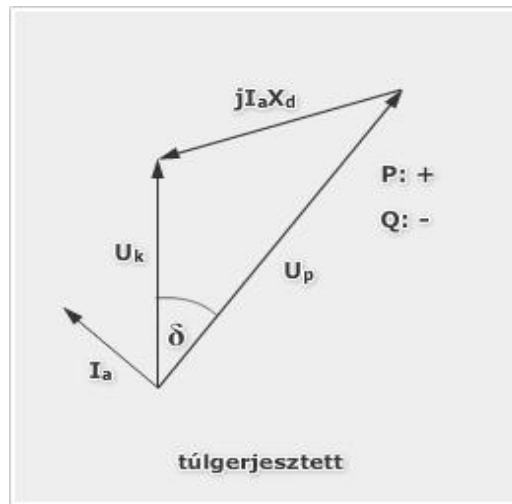
6.8. ábra: Túlgerjesztett szinkron generátor vektorábrája

6.5.2. MOTOR

A motoros üzemállapotra érvényes vektorábrákat a 6.9. és a 6.10. ábrák szemléltetik.



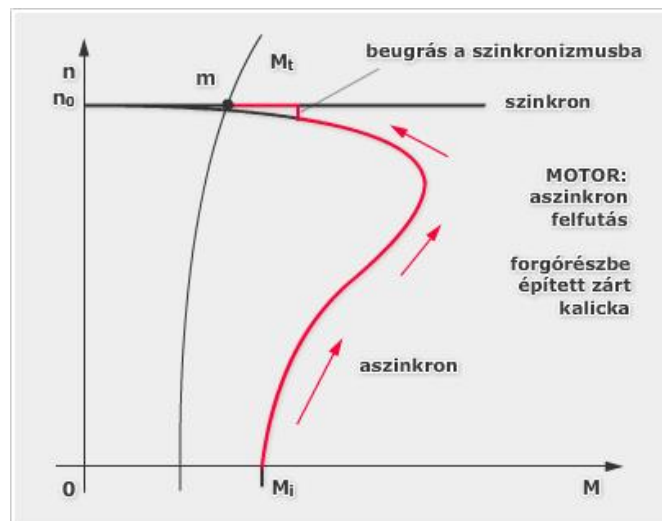
6.9. ábra: Alulgerjesztett szinkron motor vektorábrája



6.10. ábra: Túlgerjesztett szinkron motor vektorábrája

6.6. INDÍTÁS (MOTORKÉNT)

A szinkronmotornak nincs indító nyomatéka. A forgórészen elhelyezett néhány rövidre zárt menet segítségével az aszinkronmotornál megismert elv alapján kezd el forogni a forgórész, majd a szinkron fordulatszám közelében hirtelen „beugrik” a szinkron fordulatszámra és ettől kezdve csak ezen a fordulatszámon képes tartósan üzemelni. Ez utóbbi tulajdonsága miatt nevezik abszolút fordulattartó gépnek (6.11. ábra). A szinkron gépet, akár motorként akár generátorként üzemel, a hálózatra kapcsolás előtt szinkronizálni kell!



6.11. ábra: Szinkron motor indítása

ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK A 6. FEJEZETHEZ

1. Ismertesse a szinkron gép működését!
2. Milyen típusai ismertek a szinkron gépnek a kialakítás szempontjából?
3. Vázolja a szinkron gép helyettesítő kapcsolását!
4. Vázolja a szinkron gép nyomatékgörbét!
5. Milyen üzemi állapotai ismertek a szinkron gépnek?
6. Vázolja az alulgerjesztett szinkron motor vektorábráját!
7. Vázolja az alulgerjesztett szinkron generátor vektorábráját!
8. Vázolja a túlgerjesztett szinkron motor vektorábráját!
9. Vázolja a túlgerjesztett szinkron generátor vektorábráját!
10. Hogyan kell indítani a szinkron gépet?

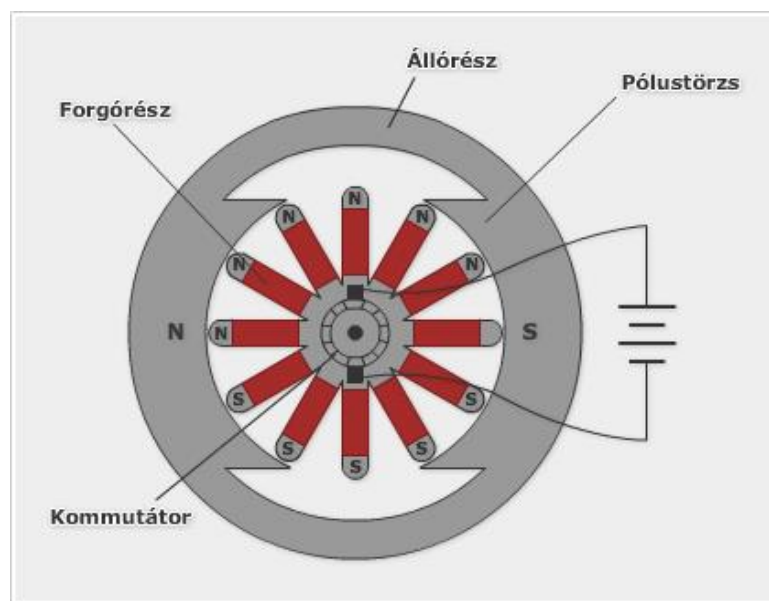
7. EGYENÁRAMÚ GÉP

A villamos gépek közül legkorábban az egyenáramú gépek terjedtek el. Később, a váltakozó áramú hálózatok elterjedésével együtt az aszinkrongépeket is egyre nagyobb számban használták. Azonban ma is vannak olyan alkalmazási területek, ahol nagy számban használnak egyenáramú gépeket elsősorban ott, ahol precíziós fordulatszám szabályozásra van szükség (pl. szerzőgépek, robotok stb.).

7.1. SZERKEZETI FELÉPÍTÉS

Az egyenáramú gépekre négy alapvető szerkezeti rész jellemző:

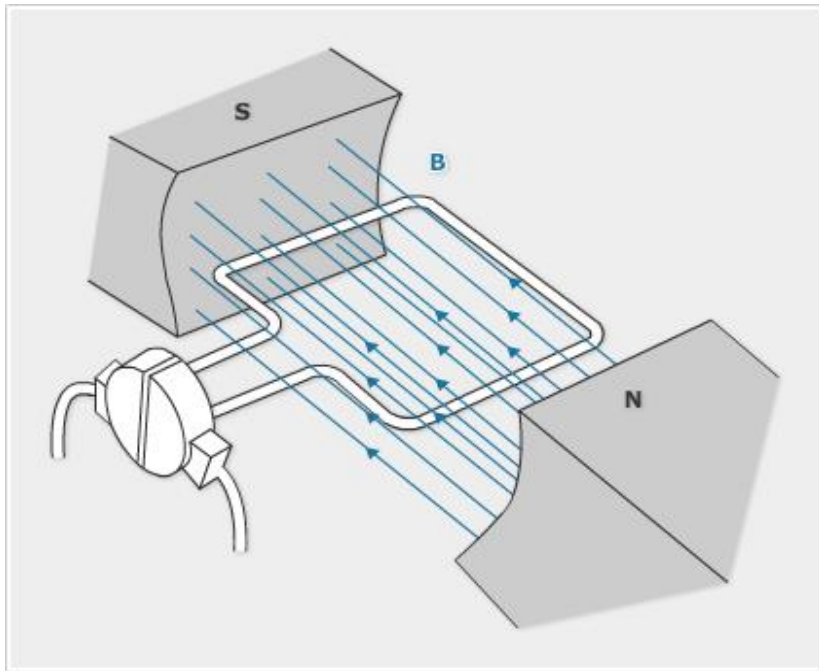
- az acélöntvényből készült henger alakú állórész, amelyre csavarokkal erősítik fel a fő- és segédpólusokat.
- A főpólusokon elhelyezett, és egyenárammal táplált gerjesztőtekercsek – a főpólustekercsek – gerjesztik a gép fluxusát. (kisebb teljesítményű gépeknél az állórészt állandó mágnesből készítik, így nem kell az állórészt külön gerjeszteni).
- A lemezel, henger alakú, külső felületén hornyokkal ellátott forgórész az armatúra, amelynek tekercselésében a főfluxus hatására feszültség indukálódik.
- A kommutátor, amely az armatúra tekercselés váltakozó áramát mechanikus úton egyenirányítja.
- A kefék, amelyek az armatúra áramot a kommutátorról csúszóérintkezéssel szedik le.



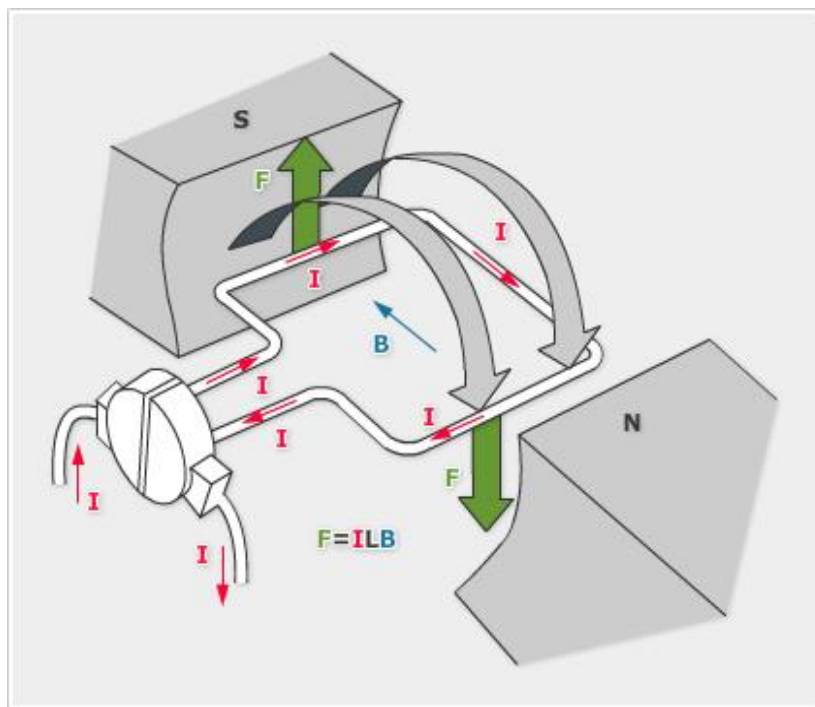
7.1. ábra: Egyenáramú gép szerkezeti felépítése

7.2. MŰKÖDÉSE

A 7.2. és a 7.3. *sematikus ábrák* segítik az egyenáramú motorok működését megérteni. Az állandó mágnes mágneses terében van elhelyezve egy vezetőkeret (armatúra), amelyben áram folyik. Az áram hatására a vezető körül mágneses mező alakul ki, amely merőleges lesz az állandó mágnes mágneses terének vektoraira. Ez egy bizonytalan egyensúlyi helyzet, s a Lorentz-féle erőhatás miatt a forgórész elfordul. 180°-os elfordulás után stabil helyzet alakulna ki, ha a vezetőkeretben nem fordulna meg az áram iránya. Mivel a kommutátor szegmensek átcsúsznak a másik szénkefe alá, így megfordul az áramirány, s a folyamat kezdődik előlről.

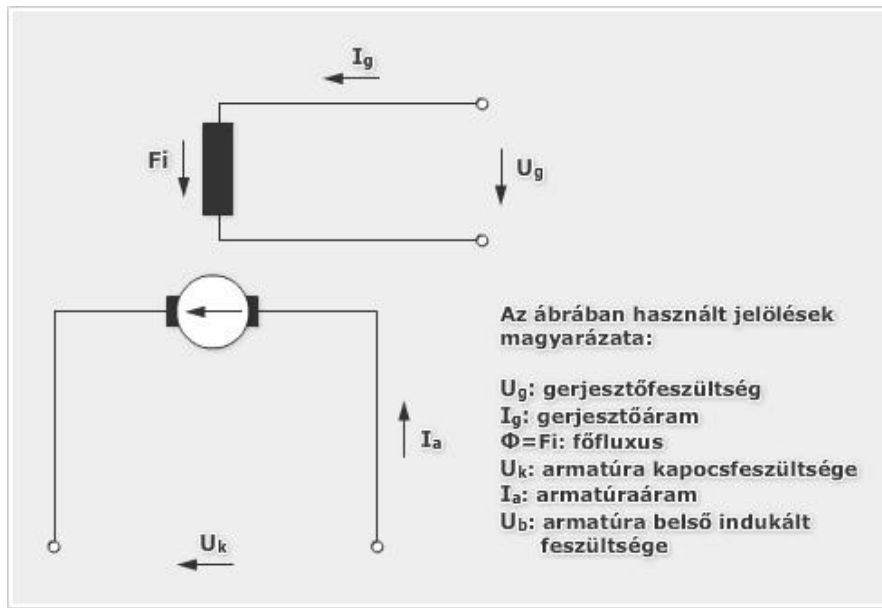


7.2. ábra: A gerjesztő kör mágneses mezője



7.3. ábra: A forgórész és az állórész mágneses mezőjének kapcsolódása, az erő és nyomatékképződés

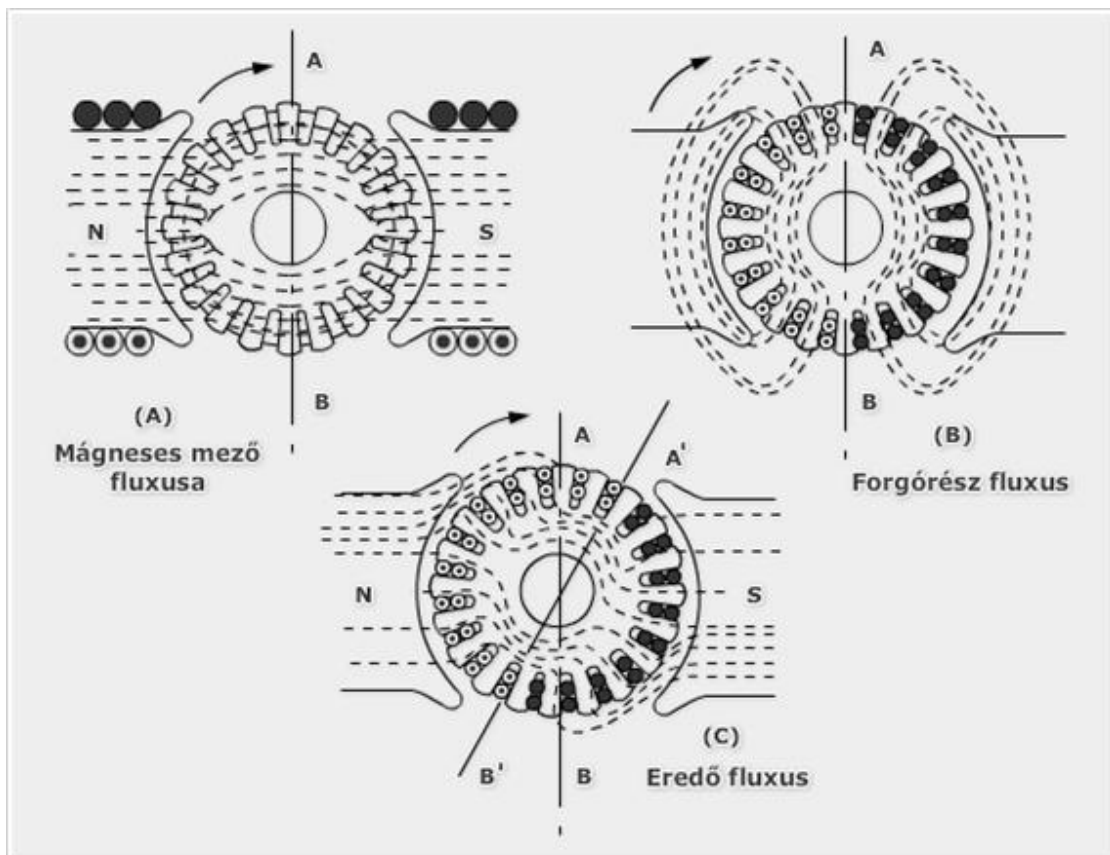
Az állórész állandó mágnes helyett gyakran alkalmaznak tekercset, amit egyenárammal gerjesztenek. Az egyenáramú gép általános, egyszerűsített villamos helyettesítő képe a 7.4. ábrán látható. A gerjesztő tekercs bekötési módjától függően az egyenáramú gépeket tovább osztályozhatjuk és a helyettesítő képek azoknak megfelelően változik!



7.4. ábra: Egyenáramú gép általános, egyszerűsített helyettesítő képe

7.3. ARMATÚRAREAKCIÓ

A működés pontosabb megértéséhez szükséges megismerni az armatúra visszahatás, vagyis az armatúrareakció jelenségét. Az armatúraáram maga is mágneses fluxust hoz létre, amely hozzáadódik a pólusok által létesített fluxushoz. Ez a jelenség eltorzítja az indukció-eloszlást az armatúra kerülete mentén. Mint ahogy azt az ábra is mutatja, ennek az lesz a következménye, hogy a gép fluxusa csökken, és az ún. semleges vonal eltolódik. Ezért tehát ennek megfelelően el kell tolni a keféket is. Az armatúravisszahatást a 7.5. ábra szemlélteti.



7.5. ábra: Armatúravisszahatás szemléltetése

Az armatúreakció hatásainak megszüntetése:

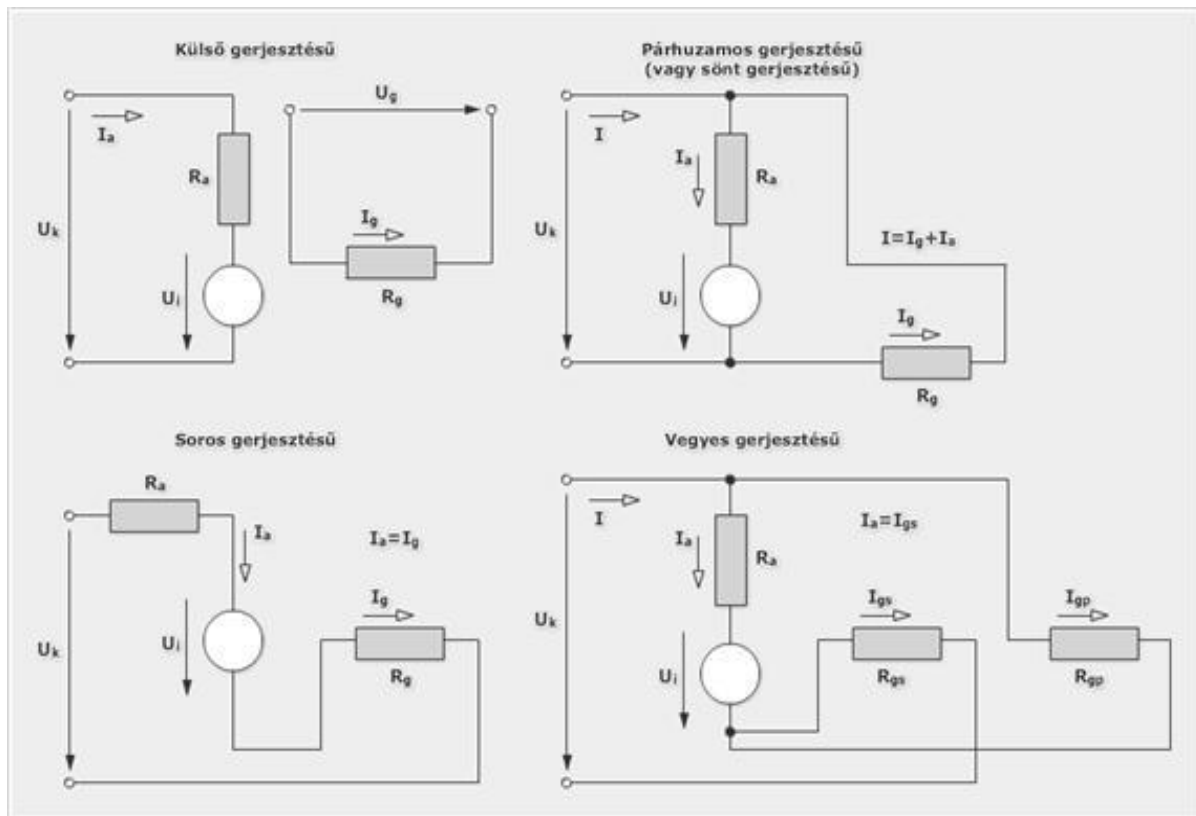
- légrés növelése (nagyobb gerjesztés szükséges);
- segédpólus alkalmazása az üresjárási semleges vonalban az armatúraárammal gerjesztve;
- megfelelő kommutálási késleltetés (siettetés);
- kompenzálótekerccs alkalmazása a pólussarukban az armatúraárammal gerjesztve.

7.4. EGYENÁRAMÚ GÉPEK TÍPUSAI A GERJESZTÉS ÉS AZ ÜZEMMÓD SZERINT

Az egyenáramú gépeket a gerjesztés módja szerint négy csoportba osztjuk:

- külső gerjesztésű;
- párhuzamos, vagy sönt gerjesztésű;
- soros gerjesztésű;
- vegyes gerjesztésű.

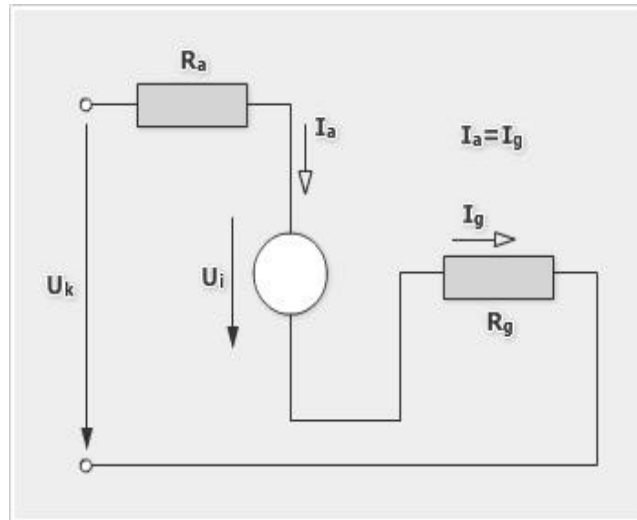
Ezen kívül szokás megemlíteni az állandó mágneses gerjesztésű gépeket. A 7.6. ábrán az előbb felsorolt típusok helyettesítő képei láthatók.



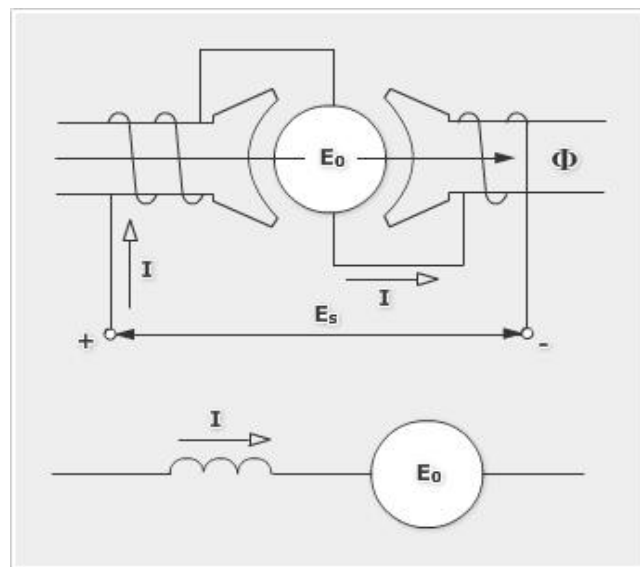
7.6. ábra: Egyenáramú gépek helyettesítő képei

7.4.1. SOROS GERJESZTÉSŰ EGYENÁRAMÚ GÉP

A soros gerjesztésű gép gerjesztő- és armatúratekerccse egymással sorba van kötve. Ezen tulajdonságból következik, hogy a gerjesztő kör árama az armatúra áramával egyezik meg. A 7.7. ábra a helyettesítő képet, a 7.8. ábra pedig a gerjesztő- és az armatúratekerccs bekötését szemlélteti.



7.7. ábra: Soros gerjesztésű egyenáramú gép (motor) helyettesítő képe



7.8. ábra: Gerjesztő- és armatúratekerccs bekötése

Ahogy az előbb is olvasható volt, az armatúra sorosan van kapcsolva a gerjesztőtekerccsel, ezért a gerjesztőáram azonos az armatúraárammal, azaz $I_g = I_a$ emiatt a gerjesztés függ az armatúra áramtól:

$$\Phi = f(I_a) \quad (7.1.)$$

és a szögsebesség (a gép fordulatszám):

$$\omega = \frac{U_k}{k \cdot \Phi} - \frac{I_a \cdot R_a}{k \cdot \Phi} = \frac{U_k}{k \cdot k' \cdot I_a} - \frac{R_a}{k \cdot k'} \quad (7.2.)$$

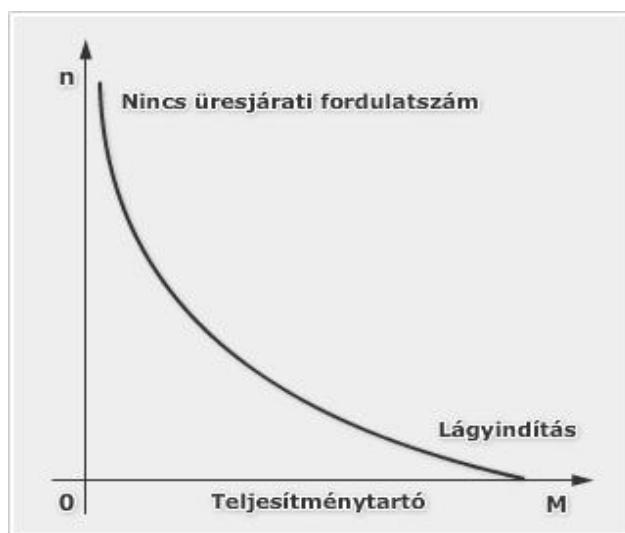
ahol: ω a szögsebesség U_k a kapcsolófeszültség, I_a az armatúraáram, R_a az armatúra ellenállása, k a gépállandó, amelyben z a párhuzamos vezetékek száma, p a pólusok száma, és a az ágak száma.

$$k = \frac{z \cdot p}{a} \quad (7.3.)$$

$$k' = \frac{k}{2\pi} \quad (7.4.)$$

Ennek megfelelően a fordulatszám az armatúraáram függvényében hiperbola jellegű (fordítottan arányos) függvényt ad.

A 7.9. ábráról leolvasható, hogy a soros gerjesztésű motornak nincs üresjárási fordulatszáma. Pontosabban az üresjáráti fordulatszáma végtelen nagy, ezért terhelés nélkül indítani tilos! Amennyiben a soros gerjesztésű egyenáramú motort terhelés nélkül indítjuk, megszalad és addig pörög, amíg szét nem veti magát. Mivel nincs határozott üresjáráti fordulatszáma, ezért a soros gerjesztésű egyenáramú gép nem használható generátoros üzemben, kizárólag csak motorként üzemelhet.



7.9. ábra: Soros gerjesztésű egyenáramú gép mechanikai jelleggörbéje

Itt fontos megjegyezni, hogy az egyenáramú gépeknél a fordulatszámot *fordulat/másodperc* mértékegységben kell megadni, mert a felírt képletek csak ebben az esetben alkalmazhatók!

A motor indulásakor, amikor az armatúraáram nagy és a fordulatszám még kicsi, akkor adja le a legnagyobb nyomatékot, majd a fordulatszám növelésével csökken a nyomaték és az áramfelvétel is. Ezt a viselkedést járműveknél (trolli, villamos, metró, vasút) és különböző kéziszerszámoknál ideálisan ki lehet használni, hiszen ezeknek a gépeknek induláskor van szükségük nagy nyomatékra, az elért fordulatszámot már kisebb nyomatékkal is fenn lehet tartani. A fordulatszám erősen függ a terheléstől.

A nyomaték az armatúraáram négyzetével arányos, tehát:

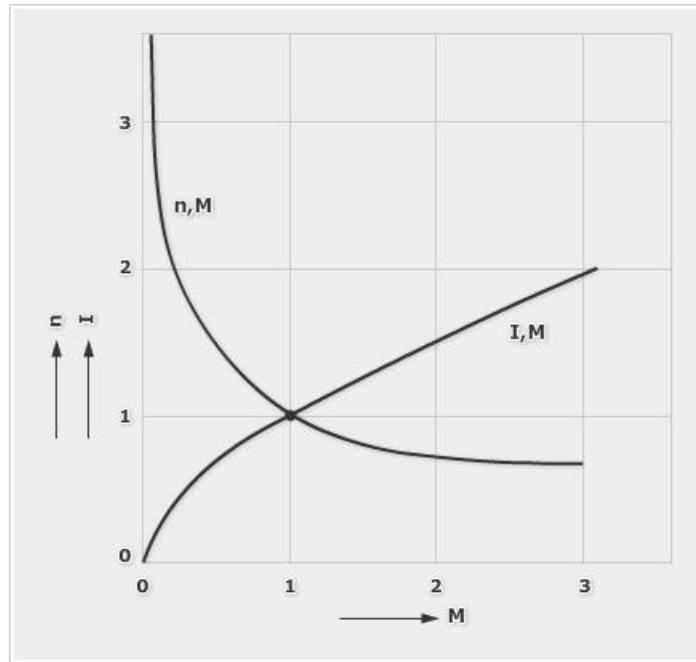
$$M = k \cdot \Phi \cdot I_a = k' \cdot I_a^2 \quad (7.5.)$$

$$P \approx M \cdot \omega \approx U_k \cdot I_a = \text{állandó} \quad (7.6.)$$

tehát a motor teljesítménytartó!

A soros gerjesztésű motor sajátos tulajdonsága, hogy egyaránt működik váltakozó, illetve egyenáramú táplálásról is, ezért univerzális gépnek nevezzük. A motor forgásirányának változtatása csak a gerjesztő tekercs kapcsainak felcserélésével lehetséges. Fontos azonban, hogy például egy 230V váltakozó feszültségre tervezett gépet nem lehet 230V egyenfeszültségről táplálni, ilyenkor ugyanis a tekercs reaktanciája megszűnik, és az áram a motorra nézve veszélyesen nagy értéket érhet el.

A 7.10. ábra szemlélteti a soros gerjesztésű egyenáramú gépfordulatszámát és az armatúraáramát a szolgáltatott nyomaté függvényében.



7.10. ábra: Soros gerjesztésű gép fordulatszáma és armatúra árama a nyomaték függvényében

7.4.2. KÜLSŐ- ÉS PÁRHUZAMOS GERJESZTÉSŰ GÉP

7.4.2.1. MOTOROS ÜZEM

A külső gerjesztésű motornak két pár független kivezetése van. Egyikre kapcsoljuk a gerjesztő feszültséget, a másikra pedig az armatúra feszültséget. A párhuzamos gerjesztésű gépnek csak egy pár független kivezetése van, amely az armatúra köré. A gerjesztő tekercs az armatúra tekercsel párhuzamosan van kapcsolva, így a gerjesztő kör feszültsége a kapocsfeszültséggel egyezik meg. A gerjesztő kör árama a gerjesztő tekercsel sorba kapcsolt változtatható ellenállással szabályozható. A működésüket leíró összefüggések az alábbiakban láthatók:

Φ = állandó (az armatúra áramtól függetlenül szabályozható)

Külső gerjesztésnél a hálózatról felvett terhelő áram:

$$I_t = I_a \quad (7.7.)$$

Párhuzamos gerjesztésnél a hálózatról felvett terhelő áram:

$$I_t = I_a + I_g \quad (7.8.)$$

$$U_k = U_b + I_a \cdot R_a \quad (7.9.)$$

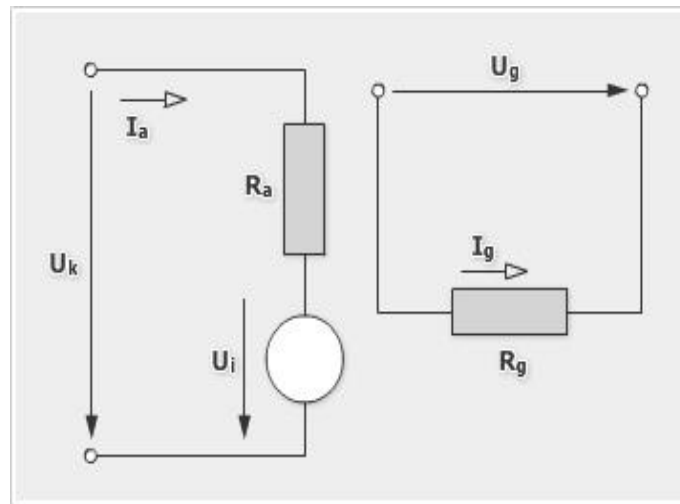
$$U_i = U_b = k \cdot \Phi \cdot \omega \quad (7.10.)$$

$$M = k' \cdot \Phi \cdot I_a \quad (7.11.)$$

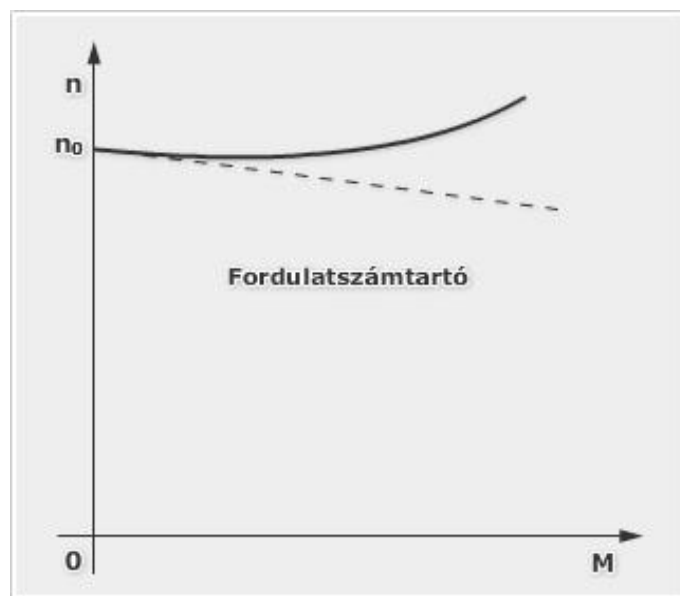
$$U_b \times I_a = M \cdot \omega \quad (7.12.)$$

$$\omega = \frac{U_b}{k \cdot \Phi} = \frac{U_k}{k \cdot \Phi} - \frac{I_a \cdot R_a}{k \cdot \Phi} \rightarrow y = mx + b \quad (7.13.)$$

A külső gerjesztésű egyenáramú motor helyettesítő képét a 7.11. ábra szemlélteti. Párhuzamos gerjesztésnél $U_g = U_k$. Mind a külső- mind a párhuzamos gerjesztésű motor egyik legfontosabb tulajdonsága a fordulatszámtartás, azaz növekvő nyomaték mellett (mint ahogy a 7.12. ábrán is látható) nem változik (csökken) lényegesen a fordulatszám.



7.11. ábra: Külső gerjesztésű egyenáramú motor helyettesítő képe

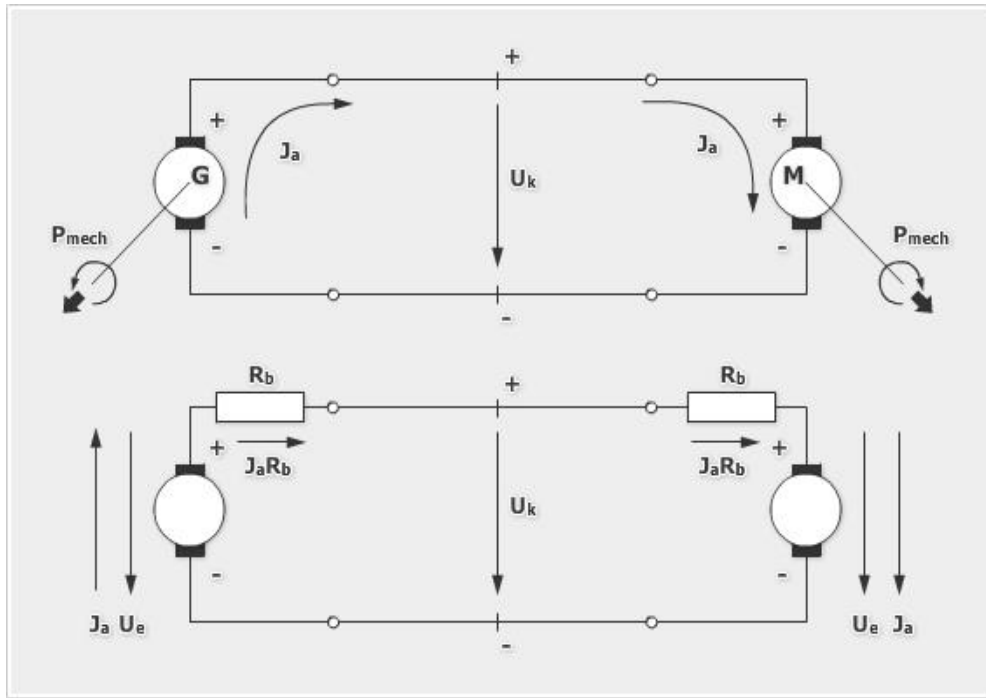


7.12. ábra: Külső és párhuzamos gerjesztésű egyenáramú motor mechanikai jelleggörbéje

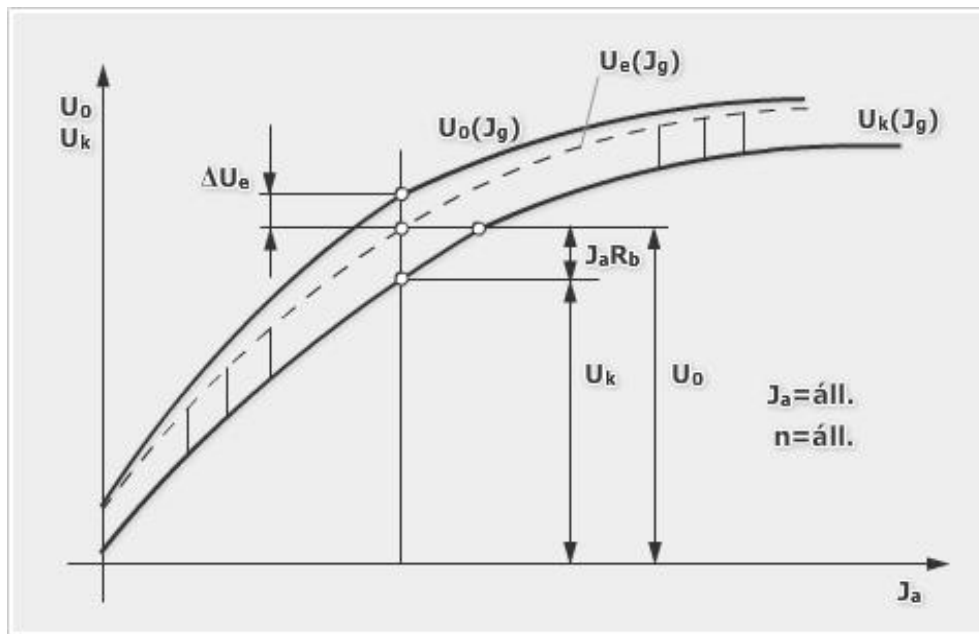
7.4.2.2. GENERÁTOROS ÜZEM

Az egyenáramú generátorokat az egyenáramú energia előállítására használják. A 7.13. ábra mutatja az egyenáramú gépek teljesítményviszonyait különböző üzemmódok esetén. Motoros üzemállapotban a villamosenergia befektetésével a motor tengelyén mechanikai energiát kapunk. Generátoros üzemállapotban a tengelyen befektetett mechanikai energiából kapunk villamos energiát.

A gép állórészét külső gerjesztő hálózatra kapcsolják és a forgórészt egy hajtógép segítségével állandó fordulatszámmal forgatják. Az armatúra kapcsain mérve az indukált feszültséget az ún. üresjárású jelleggörbét kapjuk. A görbe érdekessége, hogy nem az origóból indul zérus gerjesztő áram esetén sem. Ennek oka, hogy a ferromágneses anyagokban van visszamaradt mágnesesség a korábbi működés miatt (remanencia). A ferromágneses anyag telítődése miatt nem lineáris a görbe menete. Az üresjárású és a terhelési jelleggörbe látható a 7.14. ábrán.

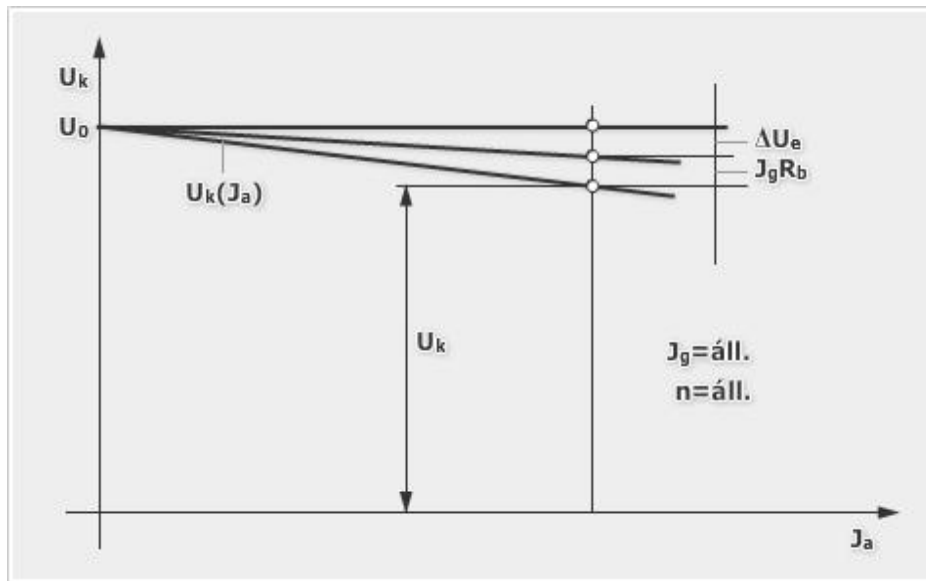


7.13. ábra: Motor és generátor közötti kapcsolat



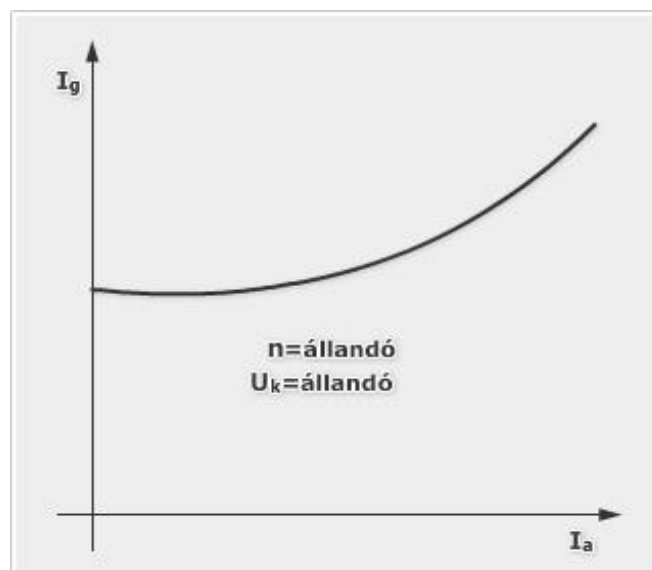
7.14. ábra: Külső- és párhuzamos gerjesztésű generátor jelleggörbéje

A kapocsfeszültség terheléskor kisebb, mint üresjárásban. A feszültségesés nagyobb az ohmos belső feszültségesésnél, mert az armatúra-visszahatás csökkenti a gép főfluxusát és ez az indukált feszültség csökkenését eredményezi. A kapocsfeszültséghez az ohmos feszültségesést hozzáadva nyerjük a gép indukált feszültségét. (szaggatott vonal). Az armatúra kapocsfeszültségét az áram függvényében ábrázolva kapjuk az ún. külső jelleggörbét (valós feszültséggenerátor jelleggörbe), amit a 7.15. ábra szemléltet.



7.15. ábra: Generátor külső jelleggörbe

A külső gerjesztésű generátor előnyös tulajdonsága, hogy a kapocsfeszültség tág határok között stabilan beállítható. Amennyiben közel ideális feszültséggenerátor jelleggörbét kívánunk, akkor az alábbi szabályozási jelleggörbe szerint kell a terhelés függvényében a gerjesztőáramot változtatni (7.16. ábra).



7.16. ábra: Külső gerjesztésű egyenáramú gép armatúra- és gerjesztő áramának kapcsolata

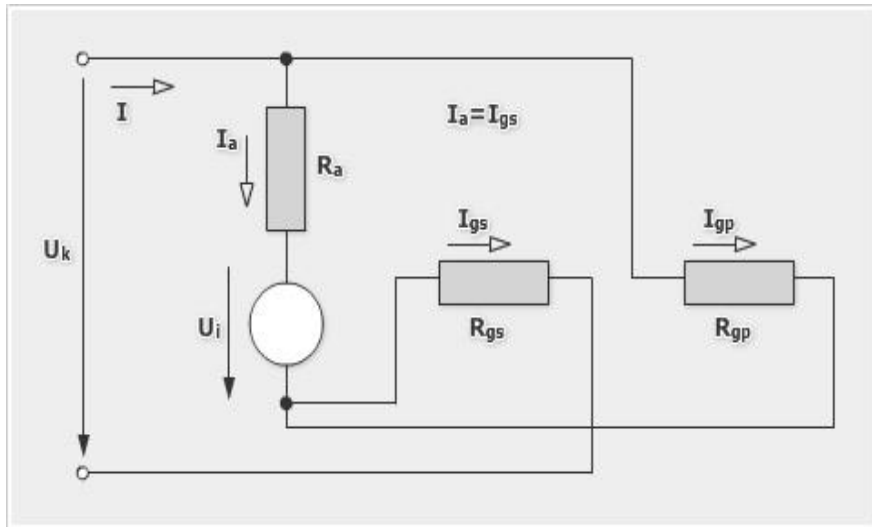
Generátoros üzemben a motoros üzemhez képest a (7.7.) – (7.9.) képletekben az előjelek megváltoznak („+” helyet „-„)!

7.4.3. VEGYES GERJESZTÉSŰ EGYENÁRAMÚ GÉP

7.4.3.1. MOTOROS ÜZEM

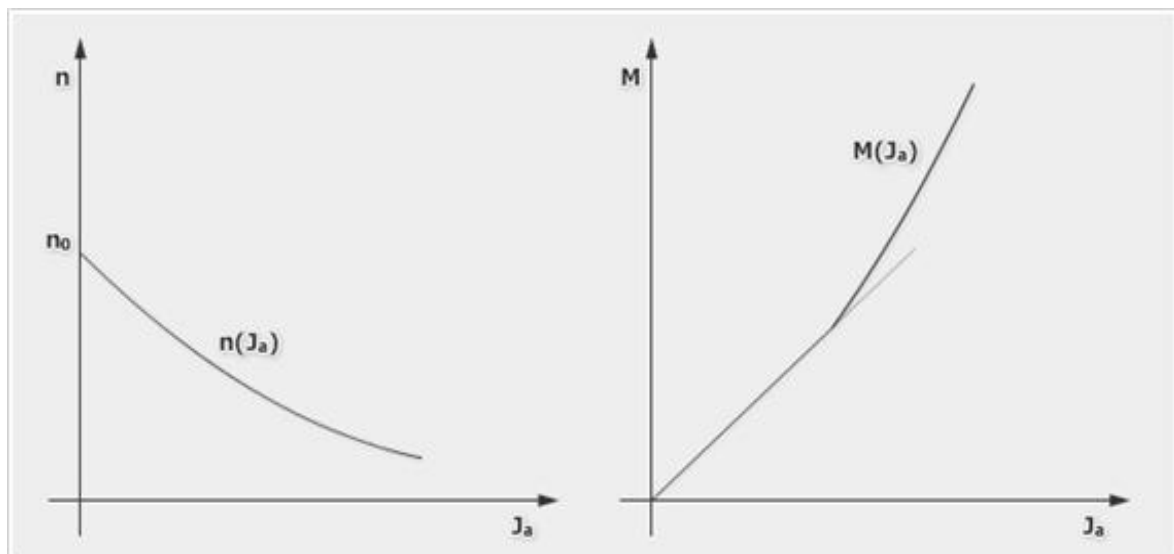
A vegyes gerjesztésű egyenáramú gép felépítését tekintve kétféle gerjesztőtekercset tartalmaz. A két gerjesztőtekercsből az egyik az armatúratekerccsel sorba van bekötve, a másik gerjesztőtekercs pedig az armatúratekerccsel párhuzamosan. A soros gerjesztőtekercset kétféleképpen lehet bekötni. Az egyik bekötési mód esetén a két gerjesztőtekercs által létrehozott mágneses mező erősíti egymást, a másik bekötési módban pedig gyengítik egymást.

Amennyiben a két gerjesztőtekercs erősíti egymást, akkor kompaund motorról beszélünk. A 7.17. ábrán a kompaund motor helyettesítő képe látható. Amennyiben a soros tekercs kapcsait felcseréljük, a rajta átfolyó áram iránya megváltozik, az általa létrehozott mágneses mező ellentétes irányú, mint a párhuzamos gerjesztésű tekercs mágneses mezője. Ekkor a két gerjesztő tekercs gyengíti egymást, azaz antikompaund motorról beszélünk.



7.17. ábra: Vegyes gerjesztésű (kompaund) motor helyettesítő kapcsolása

A 7.18. ábra a szemlélteti kompaund motor esetében a fordulatszámot és a nyomatékot az armatúraáram függvényében.



7.18. ábra: Vegyes gerjesztésű (kompaund) motor jelleggörbéi

Az antikompaund gép jelleggörbét úgy kapjuk, hogy a vízszintes tengely mentén tükrözzük a görbéket. A jelleggörbékben felismerhető a soros és a párhuzamos gerjesztés hatása is, ugyanis nem lineáris a fordulatszám jelleggörbe, azonban van üresjárás fordulatszám.

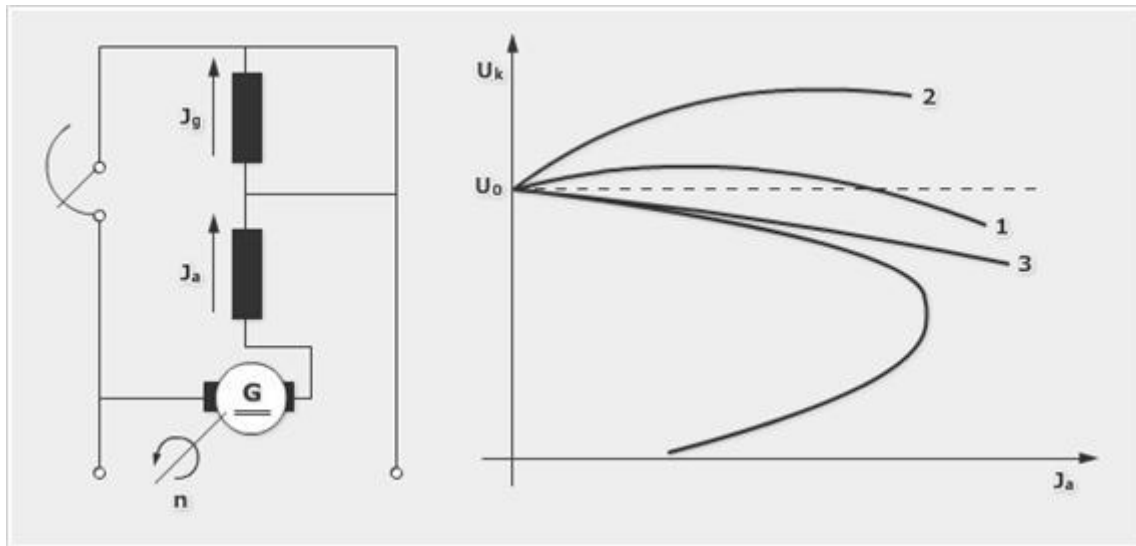
Összefoglalva a legfontosabb jellemzői:

- van soros és párhuzamos gerjesztése is,
- ritkán használják,
- se nem teljesítménytartó, se nem fordulatszám-tartó.

7.4.3.2. GENERÁTOROS ÜZEM

A vegyes gerjesztésű generátornak, ahogyan a vegyes gerjesztésű motornak is sorba és párhuzamosan kötött gerjesztő tekerce is van. Generátoros üzemben a két tekerecs egymáshoz képesti viszonya alapján lehet:

1. kompaundált,
2. túlkompaundált,
3. alulkompaundált a gép (7.19. ábra).



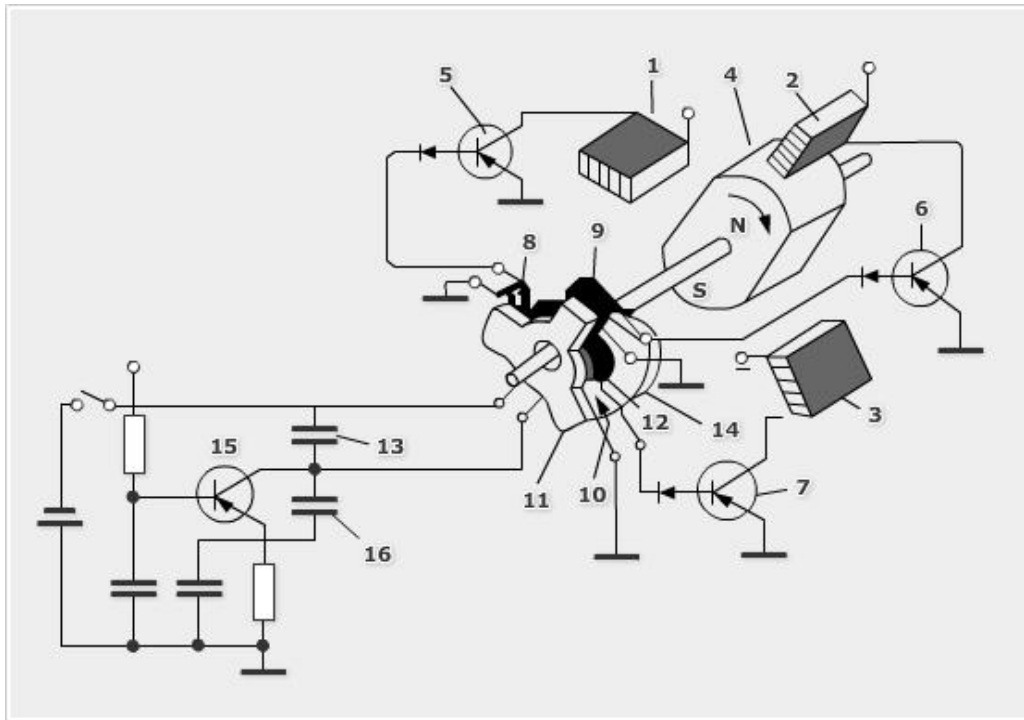
7.19. ábra: Vegyes gerjesztésű generátor helyettesítő képe és jelleggörbéje

7.5. KEFE NÉLKÜLI MOTOROK (EC MOTOROK)

Az egyenáramú gépek vizsgálatánál láttuk, hogy a kommutátor a kefékkel együtt tulajdonképpen egy mechanikus egyenirányító, azaz kapcsoló szerepet tölt be. Teljesítményelektronikai eszközök alkalmazásával kiválthatjuk ezeket a mechanikus kapcsolókat, s ezáltal megszüntethetjük az egyenáramú gépek legkényesebb egységét, a kommutátort a kefeszikrázással együtt. Ez az alapja az úgynevezett kefe nélküli egyenáramú motorok kialakításának.

Szokás elektronikus kommutációjú motorokról is beszélni (EC = Electronically Commutated Motors). Mivel célszerűbb ezeket a kapcsoló eszközöket nem mozgórészen elhelyezni, ezért a státor (állórész) és rotor (forgórész) funkciókat felcserélik. A forgórészen állandó mágneset helyeznek el, míg az armatúra tekerceket az állórészen készítik el. A félvezető kapcsolók (általában tranzisztorok) kapcsolják rá az armatúra tekercekre a megfelelő irányú áramot a forgórész megfelelő helyzetében. Ezért mindenképpen ismerni kell a forgórész pillanatnyi helyzetét, hogy a kapcsolások a helyes időpontban következzenek be.

Az így kialakított gépben az állórész tekerceken váltakozó áram folyik, melynek hatására a forgórészszel szinkronforgó mágneses tér keletkezik. Ez pedig nem más, mint egy szinkron gép, amely azért 2 szempontból is más, mint a korábbiakban tárgyalt szinkron gép. Az állórész tekercek áramai nem szinuszosak és a frekvencia sem állandó, hanem azt a forgórész fordulatszámja határozza meg. Ezért tulajdonképpen a kefe nélküli egyenáramú motor megnevezés nem teljesen helyes, azonban mégis ez a megnevezés terjedt el a szakirodalomban. Amennyiben a motorra egyenáramot kapcsolunk, akkor külső gerjesztésű egyenáramú gépként viselkedik, amennyiben váltakozóáramot, akkor pedig szinkrongépként. A kefe nélküli motorok egy lehetséges elvi felépítése látható a 7.20. ábrán.

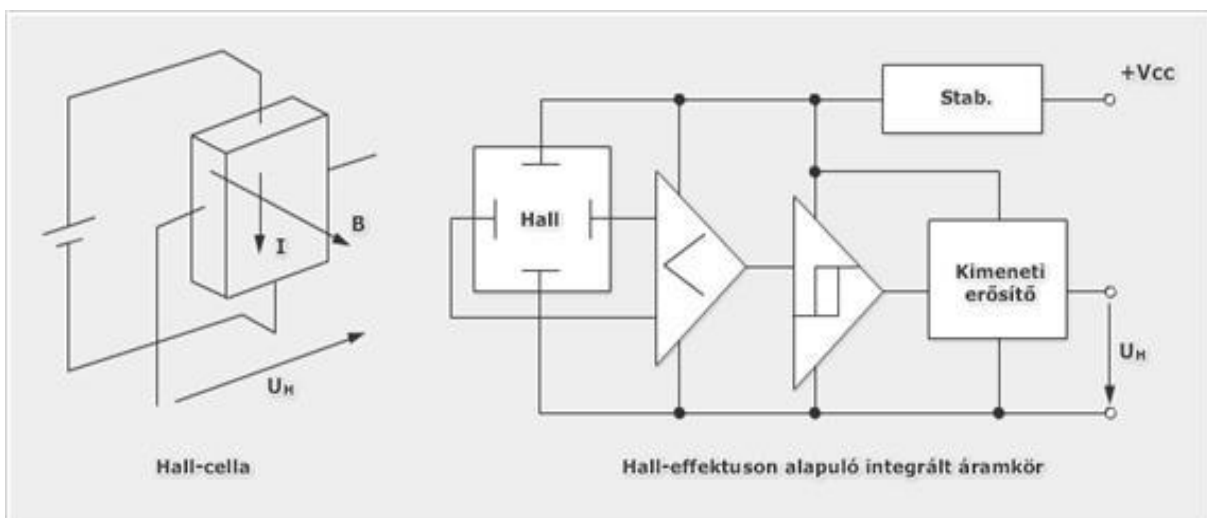


7.20. ábra: Elektronikus kommutációjú motor felépítése

A helyes működés alapfeltétele, hogy ismerjük a forgórész helyzetét. A forgórész helyzetének meghatározása kétféle módon történhet:

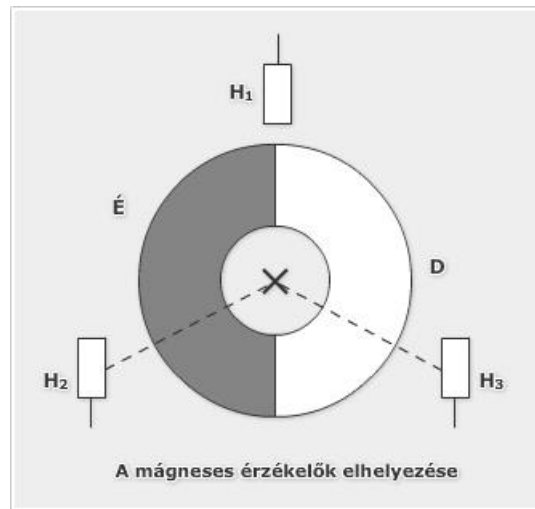
- közvetlen helyzetmeghatározás: pl. szögjeladóval, mágneses érzékelővel (Hall-elemmel);
- közvetett helyzetmeghatározás: „intrusive” módon: pl. kényszerjelekre adott válaszjelekkel, vagy nem „intrusive” módon: feszültség, áram méréssel és számítással.

A közvetlen helyzetmeghatározás egyik ismert módja a szögjeladó alkalmazása. Másik lehetőség az ún. Hall-effektuson alapuló érzékelés Hall-elem használatával. A Hall-elem segítségével mérhető a mágneses tér nagysága és iránya is. Az alábbi ábra mutatja a Hall-elem elvi elrendezését, illetve a Hall-jelenségen alapuló integrált áramkör felépítését: az U_H feszültség nagyságát és irányát a \mathbf{B} indukció nagysága és iránya határozza meg adott tápfeszültség polaritás esetén (7.21. ábra).



7.21. ábra: Hall-elemes helymeghatározás

A Hall integrált áramkörök (Hall-IC-k) szolgáltatják a forgórész helyzetéről a megfelelő jelet a kapcsolóelemeket vezérlő rendszer számára, amely rendszerint egy mikroprocesszor alapú eszköz. A Hall-IC-eket a forgórész alatt helyezik el például a 7.22. ábrán látható elrendezésben.



7.22. ábra: Hall áramkör elhelyezkedése

A közvetett helyzetmeghatározás egyik lehetséges módja az, amikor nagyfrekvenciás vizsgáló jelekre adott válaszjelek kiértékelésével határozzák meg a forgórész pozícióját („intrusive” módszer). A másik esetben nem „intrusive” módon, azaz a motor feszültség és áram jeleinek mérésével majd ezen adatokból számítással következtetnek a forgórész pozíciójára. Ilyenkor a forgórész helyzetét azokból az információkból határozzák meg, amelyeket az állórész áramkör paramétereinek és mennyiségeinek értékeiből számítanak ki.

Az EC motorok nagy előnye, hogy jelleggörbéjük megegyezik a külső gerjesztésű egyenáramú motorokéval, üzemük jóval megbízhatóbb és nincs kefeszikrázás sem. Alkalmazásuk rohamosan terjed, például a számítástechnikai eszközök egyik kedvelt motortípusa (Pl. merevlemez meghajtók).

ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK A 7. FEJEZETHEZ

1. Vázolja az egyenáramú gép felépítését!
2. Sorolja fel az egyenáramú gépek gerjesztési módjait!
3. Vázolja a külső gerjesztésű egyenáramú gép helyettesíti képét és mechanikai jelleggörbéjét!
4. Vázolja a soros gerjesztésű egyenáramú gép helyettesíti képét és mechanikai jelleggörbéjét!
5. Vázolja a vegyes gerjesztésű egyenáramú gép helyettesíti képét és mechanikai jelleggörbéjét!
6. Mi az armatúravisszahatás és hogyan lehet kiküszöbölni?
7. Írja fel a külső gerjesztésű motor működését leíró összefüggéseket!
8. Hogyan működik az elektronikus kommutációjú motor?
9. Miért nem lehet a soros gerjesztésű egyenáramú motor terheletlenül indítani és miért nem lehet generátoros üzemben működtetni?
10. Mi a különbség a kompaund és az antikompaund motor között?
11. Hogyan szabályozható a gerjesztő áram a különféle egyenáramú motoroknál?
12. Melyik egyenáramú gépet nevezünk teljesítménytartónak és miért?
13. Melyik egyenáramú gép fordulatszám-tartó és miért?
14. Hogyan lehet kompaund egyenáramú gépből antikompaundot csinálni?

8. KAPCSOLÓBERENDEZÉSEK ÉS KIVÁLASZTÁSI SZEMPONTJAIK

8.1. A KAPCSOLÓBERENDEZÉSEK RENDELTETÉSE ÉS FAJTÁI

A villamosenergia-ellátás biztosításához, a villamosenergia-rendszer kialakításához azonban ezeket a hálózati elemeket (valamint a további elemeket és készülékeket) a valóságban egymással össze kell kapcsolni. Továbbá a folyamatos üzemvitelhez a villamos jellemzők mérését, a hiba- és készülék állásjelzést, a készülék működtetést biztosítani szükséges, és tartós hiba esetén pedig a hibás fázist, ill. hálózatrészt az ép részekről le kell választani. Ezt az összetett feladatot látják el a kapcsolóberendezések.

Kapcsolóberendezésnek nevezzük tehát azt a berendezést, amely a villamos energiát termelő, illetve átalakító berendezések és a villamosenergiát szállító, elosztó vezetékek között megváltoztatható kapcsolatokat hoz létre, valamint, amely a villamos jellemzők mérését, érzékelését, a kapcsolókészülékek működtetését lehetővé teszi.

A kapcsolóberendezések - rendeltetésüknek megfelelően - az energiapályák találkozási, elágazási pontjaiban, az úgynevezett csomópontokban létesülnek. A csomópontok - a mi értelmezésünk szerint - a rendszer olyan csatlakozási pontjai, amelyekben két, vagy több hálózati elem találkozik.

A kapcsoló berendezéseket magukban foglaló létesítmény:

- a **kapcsolóállomás**, vagy
- a **transzformátorállomás**.

A *kapcsolóállomás* két, vagy több vezeték összekapcsolására és a villamos energia elosztására szolgál, anélkül, hogy a villamos energia feszültségét, áramát, periódusszámát megváltoztatná.

A *transzformátorállomás* a váltakozó áramú villamos energiát nagyobb-, vagy kisebb feszültségűre változtatja.

Az *alállomás* a villamosenergia-rendszer olyan létesítménye, amelyben transzformátor- és kapcsolóállomás is szerepel.

A különféle rendeltetésű, és fajtájú kapcsolóberendezések (állomások) a következő csoportosítás szerint oszthatók fel:

- feszültség szerint lehetnek:
 - nagyfeszültségű ($U_n > 120$ kV);
 - közepfeszültségű ($U_n = 1-40,5$ kV);
 - kisfeszültségű ($U_n < 1$ kV) kapcsolóberendezések;
- telepítési hely szerint lehetnek:
 - erőművi,
 - közcélú hálózati,
 - ipartelepi,
 - mezőgazdasági,
 - kommunális fogyasztói kapcsolóberendezések;
- a létesítmény kiviteli módja szerint lehetnek:
 - belsőtéri (hagyományos nyitott és tokozott);
 - szabadtéri (hagyományos nyitott és tokozott) kapcsolóberendezések.

Az előző csoportosításból is látható, hogy a gyakorlatban a kapcsolóberendezések kapcsolásának, felépítésének, kiviteli módjának számos megoldása és változata alakult ki és terjedt el. Ebből következik, hogy a következőkben sorra kerülő ismertetés nem törekedhet teljességre, hanem csupán a jellegzetes megoldások, változatok és kialakítások lényegre törő bemutatására.

8.2. A KAPCSOLÓBERENDEZÉSEK FŐBB ALKOTÓRÉSZEI

8.2.1. AZ ALKOTÓRÉSZEK JELLEMZÉSE

Egy kapcsolóberendezés általában a következő főbb részekből áll:

- gyűjtősín,
- primer készülékek, azaz a fő energiaút készülékei (megszakító, szakaszoló, olvadó biztosító,
- áramváltó, feszültségváltó, zárlatkorlátozó fojtótekeres, stb.),
- földelő berendezés (földelőkapcsoló; -szakaszoló; -csatlakozók és földelési helyek),
- segédüzemi berendezések és áramkörök (egyenáramú; váltakozó áramú),
- szekunder (kisfeszültségű) készülékek és hálózatok (mérés, jelzés, vezérlés, reteszelés,
- szabályozás, védelem, automatika, irányítástechnika).

A *gyűjtősín* a kapcsolóberendezés központi eleme, az energiautak csomópontja. Rá csatlakoznak az egy állomáshoz tartozó különböző hálózati elemek (pl. generátor, transzformátor). A hálózati elemeket és a hozzájuk tartozó kapcsoló készülékeket a gyűjtősín leágazásainak nevezzük. A gyűjtősínek anyaga szabadtéren alumíniumsodrony, vagy alumíniumcső, belsőtéren idom alakú alumínium.

A primer készülékek és alapvető jellemzői a következők:

- a *megszakító* a kapcsolóberendezés legkényesebb és legdrágább eleme. Feladata az üzemi áram ki és bekapcsolása, valamint a zárlati áram megszakítása. A korszerű megszakítókat - a hajtás megoldási módjától függetlenül- villamos vezérlő impulzus működteti;
- a *szakaszoló* - a megszakítóval azonosan - az energiapálya soros eleme, viszont a megszakítónál sokkal olcsóbb készülék. Minthogy általában villamos teljesítmény kapcsolására nem alkalmas, hiszen működtetésekor számottevő ívöltó tényezők nem érvényesülnek, feladata a következőkben határozható meg:
 - az áramkör bekapcsolása előtt az áram útjának előkészítése;
 - az áramkör kikapcsolása után az általa határolt készüléknek az áramkörtől való látható leválasztása.

A szakaszoló kettős alapvető feladatából következik, hogy szakaszolóval a gyakorlati esetek többségében akkor kapcsolhatunk, ha az energiapályán villamos teljesítmény nem folyik. Egyes speciális esetekben azonban a szakaszoló terhelés alatti kapcsolásra is alkalmazható.

Ezen megállapítások alapján foglaljuk össze azon gyakorlati eseteket, amikor szakaszolóval lehet ki-, ill. bekapcsolni:

- *feszültség alatt:*
 - árammentes síneket;
 - feszültségváltókat (120 kV-ig);
 - üresen járó transzformátorokat, ha $U_n = 6 - 35$ kV és $S_n < 250$ kVA;
 - csillagpontképző transzformátort: 20 kV-on 30 A; 35 kV-on 15 A-ig;
 - üresen járó szabadvezetékeket, ha $U_n = 6 - 35$ kV és ezen feszültségekhez előírt vezeték hossz esetén;
 - üresen járó kábeleket, ha $U_n = 6 - 35$ kV és ezen feszültség szintekhez előírt kábelhossz esetén;
- *terhelés alatt:*
 - ha a szakaszolóval rövid, kis impedanciájú söntút van kapcsolva;
 - ha a villamos teljesítmény olyan kicsi, hogy az ív magától elalszik. Ezen esetekben a max. feszültség szint 35 kV és ezen feszültség szintekhez előírt áram (A) és teljesítmény (kW) tartozik.

A gyűjtősíre csatlakozó szakaszolót *gyűjtősín-szakaszoló*nak nevezzük, míg egy vezetéki leágazásban a mérőváltók és a vezetékvonallal között elhelyezkedő szakaszoló neve *vonali szakaszoló*.

Az **áramváltó** feladata, hogy a nagyfeszültségű leágazások áramát kisfeszültségű és arányos, de kis értékű (leginkább 5 A vagy 1 A) árammá transzformálja. Az áramváltó alkalmazása révén lehetővé válik továbbá a nagyfeszültségnek a kezelőszemélyzettől való távortartása, valamint olcsó, kis helyigényű műszerek alkalmazhatósága. Az áramváltó szekunder áramköréhez csatlakoznak az amper-, a watt- és a fogyasztásmérők, valamint az áramra reagáló védelmi és automatika-berendezések áramtekercsei.

A **feszültségváltó** feladata a nagyfeszültséget a műszerek táplálására alkalmas kisfeszültségre (leginkább 100 V, vagy $100/\sqrt{3}$ V) letranszformálni. A feszültségváltó révén - az áramváltóhoz hasonlóan - nagyfeszültséget távol lehet tartani a kezelőszemélyzettől, valamint lehetővé lehet tenni kis helyigényű, olcsó műszerek alkalmazását. A feszültségváltó szekunder tekercsei a voltmérők, a wattmérők, és a fogyasztásmérők, valamint a feszültséget igénylő védelmi- és automatikaberendezéseket, azok feszültségtekercseit táplálják.

A **zárlatkorlátozó fojtótekercs** feladata, hogy a gyűjtősínen uralkodó nagy zárlati teljesítményt a beépítését követő hálózaton csökkentesse. Alkalmazása lehetővé teszi, hogy kisebb zárlati teljesítményre készült - így lényegesen olcsóbb - berendezések, készülékek építhetők be. Jellegzetes feszültség szintjük a 3 – 30 kV.

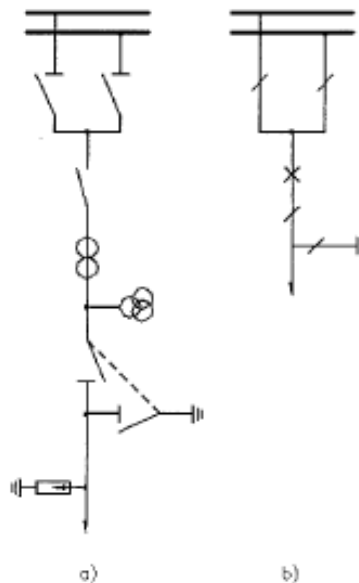
Az **olvadó biztosító** feladata az áramkör megszakítása, ha túláram lép fel. Fő alkalmazási területe a kisfeszültségű kapcsolóberendezésekben van. Nagyfeszültségen a következő, gyakorlatban kialakult esetekben alkalmaznak biztosítókat:

- 1.000 kVA névleges teljesítménynél kisebb teljesítményű transzformátorok primer oldalán (megszakító helyett);
- feszültségváltók primer kapcsai előtt (35 kV feszültség szintig);
- 6 – 10kV-os motor leágazásokban (a nagyfeszültségű kontaktorok mellé).

A **földelőkapcsoló** általában a szakaszoló kiegészítő szerelvénye. A háromsarkú földelőkapcsolóval a szakaszoló valamelyik oldalán (a sínáthidaló szakaszolójánál a gyűjtősín felé eső, vonali szakaszolójánál a vonal felé eső oldalon) mindhárom fázisvezetőt földelni és rövidre lehet zárni.

8.2.2. A KAPCSOLÁSI VÁZLAT ÁBRÁZOLÁSA

A kapcsolóberendezéseket, ill. a leágazásokat rajztechnikailag a kapcsolási vázlattal jellemezzük. A kapcsolási vázlat tartalmazza a hálózati elemek és készülékek szimbólumait és azok villamos kapcsolatát. Megkülönböztetünk szabványos és egyszerűsített jelölésmódot. A három fázist egyetlen vonallal, ill. szimbólummal ábrázoljuk, kivéve azt az esetet, amikor a három fázisban a kapcsolat nem azonos. A mindhárom fázist egyetlen vonallal szimbolizáló ábrázolási mód az ún. *egyvonalas kapcsolási vázlat* (séma). Az egyvonalas kapcsolási sémaiban tehát elhagyható az a jelölés, hogy a vonalak három rövid egyenesi való áthúzásával jelöljük a fázisok számát. Ha azonban sín, vagy beépített készülék nem mind a három fázisban szerepel, akkor a sínek, vagy a készülékek számát a szimbólumon az áthúzások számával kell jelölni. Példaként a 8.1. ábra szemlélteti a szabványos jelölésmód alkalmazása esetén – egyezményesen a készülék jó érintkezőit nyitott helyzetben ábrázolják.



8.1. ábra: Szabadvezetési leágazás egyvonalas kapcsolási rajza
 a) szabványos rajzjelekkel; b) egyszerűsített szimbólumokkal

A gyakorlatban elterjedten alkalmaznak olyan egyszerűsített kapcsolási vázlatokat is, amelyekben csak a hálózati elemeket és a kapcsolókészülékeket (megszakítókat, szakaszolókat) tüntetik fel. Ez a fajta ábrázolás akkor célszerű, ha a kapcsolási rajz célja a leválaszthatóság feltüntetése (példák a későbbi ábrákban).

8.3. A KAPCSOLÓBERENDEZÉSRE JELLEMZŐ VILLAMOS FOGALMAK ÉS ADATOK

A kapcsolóberendezésnek, ill. készülékeinek - kiválasztásuk szempontjából - a következő általános és alapvető műszaki jellemzőik vannak: a feszültség, a hálózati frekvencia, az áram és a zárlatbiztonság. Ezen jellemzők névleges értékei azok az értékek, amelyekre a berendezést, ill. készülékeit méretezik, kipróbálják. A kiválasztásnál kielégítendő az a követelmény, hogy a tényleges igénybevétel értékei számszerűleg kisebbek legyenek a névlegeseknél.

A váltakozó áramú hálózati frekvencia névleges értéke a hazai szabványosítás és alkalmazás szerint 50 Hz, amelytől a megengedett eltérés berendezések esetében $\pm 0,05$ Hz.

A névleges áramerősség az az érték, amelyet a berendezés, ill. készülékei, vezetői az előírt környezeti hőmérsékleten korlátlan ideig vezetni képesek. A névleges áram kiválasztását a következő szempontok, ill. körülmények befolyásolják:

- a rendszeresen és tartósan előforduló üzemi áramerősség nem haladhat ja meg a berendezés névleges áramát;
- a megengedhető, tehát még nem káros túlterhelés mértéke és időtartama;
- a beépítési hely termikus és dinamikus zárlati viszonyai;
- a tartalékolás szempontja; ez azt jelenti, hogy lehetőleg minél kevesebb típus legyen a berendezésben.

A berendezést tehát úgy kell méretezni, hogy az üzemi és a zárlati áramok az üzemben előforduló legkedvezőtlenebb esetben se okozhassák az alkatlemek tönkremenetelét, egyidejűleg figyelembe véve az egységesség (tartaléktartás) szempontját is. Egy berendezés, készülék zárlatbiztoságán azt a termikus és dinamikus határáram-értéket értjük, amelyek rajta átengedhetők anélkül, hogy az károsodna, meghibásodna.

A **termikus szilárdság alapja** az a követelmény, hogy a termikus igénybevétel hatására a berendezés, készülék egyik részének melegedése sem lépheti túl a szabványban rögzített határhőmérsékletet.

A **termikus határáram** (*I_{term}*) a zárlati áram effektív értékének azon legnagyobb értéke, amellyel a készülék a termikus időhatárnak megfelelő időtartamon át károsodásmentesen igénybe vehető anélkül, hogy melegezése túllépné a megengedett mértéket.

A dinamikus szilárdságra történő méretezés, ill. ellenőrzés a zárlati csúcsáramra történik.

A **dinamikus határáram** (*I_{din}*) az a legnagyobb csúcsáram, amellyel a készülék egy alkalommal mechanikai meghibásodás nélkül igénybe vehető.

8.4. NAGYFESZÜLTSGŰ KÉSZÜLÉKEK KIVÁLASZTÁSA

A kiválasztás összefoglaló szempontjait a következő készülékekre tárgyaljuk: megszakító, szakaszoló, kapcsoló, biztosító, áramváltó, feszültségváltó, fojtótekercs.

8.4.1. MEGSZAKÍTÓK

A kiválasztást a következő szempontok szerint kell végrehajtani:

- a beépítési hely jellege;
- a névleges feszültség;
- a zárlati viszonyokkal kapcsolatos műszaki paraméterek;
- a névleges áram;
- a megszakító rendszere;
- a hajtás módja;
- mechanikai és villamos élettartam.

A **beépítési hely jellege** szerint az lehet belsőtéri vagy szabadtéri.

A **kapcsolási gyakoriság** esetén a mágneses ívoltású, a vákuum, valamint az SF₆-gáztöltésű megszakítókat alkalmazzák. Nagy- és igen nagy feszültségen az olaj szegény és a légnyomásos megszakítók terjedtek el, de egyre inkább alkalmazzák az SF₆-gáztöltésű megszakítókat is.

A **megszakítók hajtása** többféle lehet, úgymint: egyenáramú mágneses; egyenáramú motoros; váltakozó áramú mágneses vagy motoros; rugóerőtárolós; légnyomásos; olajpneumatikus.

A **mechanikus élettartamot** az árammentes állapotban, karbantartás nélkül végezhető kapcsolások számával jellemzik. Ennek alapján - közepfeszültségű megszakítóknál – megkülönböztetünk normál, középnehéz, ill. nehézüzemi megszakítókat.

A **villamos élettartam** nem más, mint az áramterhelés alatt lévő készülék érintkezőcsere nélkül végezhető be-ki kapcsolásainak száma.

8.4.2. SZAKASZOLÓK

A szakaszolók kiválasztási szempontjai a következők:

- a beépítési hely jellege;
- a sarkok száma;
- a névleges feszültség,
- a névleges áram;
- a zárlatbiztosítás;
- a működtetés módja.

A **beépítési hely jellege** szerint a szakaszoló lehet belsőtéri, vagy szabadtéri, míg a sarkok száma szerint lehet egysarkú és háromsarkú.

A **szakaszoló névleges feszültsége** nem lehet kisebb a teljes kapcsolóberendezés névleges feszültségénél.

A **szakaszoló névleges áram értéke** a szakaszolón átfolyó legnagyobb üzemi áram értékével azonos nagyságú, avagy annál nagyobb legyen. A szakaszolónál bizonyos túlterhelés megengedhető, ennek mértékét azonban előzetes méréssel kell megállapítani.

Zárlatbiztosságra kényes készülékek a szakaszolók. A kiválasztáskor ellenőrizni kell, hogy a katalógus adataiban szereplő névleges termikus zárlati áram és a névleges zárlati csúcsáram ne legyen kisebb a beépítési helyre kiszámított hálózati értékeknél.

A **működtetés** legelterjedtebb módja a kézi rúdhajtás. Ezt a hajtási módot mind belső-, mind szabadtéri szakaszolóknál alkalmazzák. Belsőtéri szakaszolók ezenkívül lehetnek még légnyomásos, szabadtéri szakaszolók pedig motoros hajtásúak.

8.4.3. KAPCSOLÓK

Azokat a kapcsolókészülékeket, amelyek hálózati elemek, vagy hálózatrészek terhelési, vagy üresjárási áramának ki-, be-, vagy átkapcsolásával járó műveletek elvégzésére alkalmasak, gyűjtőnéven kapcsolóknak nevezzük. Ott alkalmazhatók, ahol zárlati megszakítást nem kell végrehajtani.

A **szakaszolókapcsoló** belsőtéri kivitelben készül 12, ill. 24 kV névleges feszültségre, zárlatvédelem igénye esetén biztosítóval építhető össze.

A kiválasztási szempontok a következők:

- névleges feszültség és frekvencia;
- névleges áram;
- megszakítóképeség;
 - o névleges lekapcsolási áramra;
 - o kis induktív lekapcsolási áramra;
 - o kapacitív lekapcsolási áramra;
 - o távvezeték lekapcsolási áramra;
 - o körbontási-, ill. hurokáramra (körvezeték, párhuzamos vezeték kikapcsolásakor);
- zárlatbiztosság;
- zárlati bekapcsolóképeség;
- a biztosítóbetét (ha van) névleges árama
- az ívoltás rendszere;
- a hajtás módja;
- mechanikai élettartam.

Az **ívoltás rendszerét** tekintve kétféle megoldás terjedt el: a gázoltású és az önfűvásos, amelyek közül a hazai szakaszolókapcsolónál a gázoltású rendszert alkalmazzák.

A **hajtószerkezet** mindig rugóerőtárolós, vagy billenőrugós, ún. független kézi vagy gépi (pl. légnyomásos) hajtás. Erre azért van szükség, mert a megszakítóképeség és a zárlati bekapcsolóképeség csak meghatározott és rendszerint nagy kapcsolási sebességgel érhető el.

A **mechanikai élettartam** a megengedhető maximális kapcsolási számot jelenti. Ezen adat mellett a gyártó cég megadja - diagramban – az oltócsere nélkül a készülékkel végezhető kapcsolások számát, a névleges lekapcsolási áram függvényében.

A szakaszkapcsoló földelőkapcsolóval (földelőkéssel) is ellátható.

Nagyfeszültségű kapcsolóberendezések speciális rendeltetésű kapcsolói a **földelőkapcsolók, a leválasztó kapcsolók és a zárlatképző kapcsolók**.

A **földelőkapcsoló** két sarka között csak fázis-föld feszültség-igénybevétel jön létre.

Villamos berendezések feszültségmentesített vezetőkeinek földelésére szolgálnak. Üzem szerű állapotban üzemi áramot nem vezetnek, azonban zárlatok esetén a zárlati áram meghatározott ideig tartó vezetésére alkalmasak. A hajtás módja lehet: kézi kapcsolású, vagy rugós hajtású.

A *leválasztó kapcsoló* olyan gyors működésű, erőátörős hajtású kapcsoló, amely feszültségmentes állapotban hibás hálózatrészek - pl. vezeték, transzformátor – leválasztására alkalmas.

A *zárlatképző kapcsoló* olyan gyors működésű földelőkapcsoló, amely valamilyen hálózati elem (pl. transzformátor) hibája esetén a védelem működésére fémes zárlatot létesít, és az így módon kialakult zárlati áram a legközelebbi megszakítók kikapcsolását indítja. A bekapcsolásnak nagy sebességgel kell történnie, amelyet rugó végez és amelyet kikapcsoláskor kell felhúzni. A zárlatképző kapcsolót névleges feszültsége, bekapcsoló képessége és zárlatbiztonságának adatai határozzák meg.

Középfeszültségű szabadtéri kapcsoló az oszlopra szerelt ún. **oszlopkapcsoló**.

Fő alkalmazási területei (részben a kiválasztási szempontokra is utalnak) a következők:

- kis teljesítményű leágazások terheléseinek megszakítása;
- terheletlen transzformátorok lekapcsolása;
- távvezeték áramának megszakítása;
- kondenzátortelemek töltőáramának megszakítása.

A kiválasztási szempontok:

- névleges feszültség;
- névleges áram;
- megszakítóképesség;
- terhelési áramra ($\cos \varphi = 0,7$);
- transzformátor üresjárás áramára ($\cos \varphi = 0,15$);
- távvezeték és kondenzátor töltőáramára ($\cos \varphi = 0,15$);
- zárlatbiztonság;
- a hajtás módja;
- mechanikai élettartam.

A szakaszkapcsoló földelőkapcsolóval (földelőkéssel) is ellátható.

8.4.4. KONTAKTOROK ÉS NEHÉZÜZEMI MÁGNESKAPCSOLÓK

A nagyfeszültségű kontaktorok különleges készülékek, amelyek a nagyfeszültségű (1 kV feletti) és nagy teljesítményű indukciós motorok elterjedésével fejlődtek ki. További jellemzőjük, hogy az üzemi áramok gyakori ki- és bekapcsolására alkalmasak és legfeljebb a névleges áram 5–6-szorosáig terjedő túlterhelési áramokat tudnak - korlátozott élettartam mellett - megszakítani. Ebből következik, hogy a zárlatvédelemre biztosítót, legfeljebb megszakítót kell beépíteni.

A kiválasztás alapjául szolgáló műszaki adatok:

- névleges feszültség;
- névleges áram;
- megszakítóképesség;
- ívoltage módja;
- működtetés módja;
- élettartam (kapcsolási szám).

A **névleges feszültség** értéke a gyakorlatban 3-12 kV-ig terjed, a névleges áram általában 30-200 A. A kontaktorok nagyobbik része mágneses fűvású és légmegszakítású.

A **működtetés módja** lehet mágneses és légnyomásos. A hazai gyakorlatban elterjedt NDK gyártmányú kontaktor mágneses hajtású, névleges árama 200 A.

Élettartama 10^5 kapcsolás, megszakítóképessége pedig (3; 6; ill. 7,2 kV-on) 10 kA.

A nehézüzemi mágneskapcsolókat ott célszerű alkalmazni, ahol viszonylag igen nagy mechanikai élettartam kívánatos.

8.4.5. BIZTOSÍTÓK

A nagyfeszültségű biztosítók elsősorban zárlatvédelemre szolgálnak, de kisebb mértékű túlterhelésvédelmet is ki lehet velük alakítani. Zárlatvédelem céljára gyors működésük révén előálló áramkorlátozó tulajdonságuk folytán jól megfelelnek.

A kiválasztási szempontok a következők:

- névleges feszültség;
- névleges áram;
- névleges zárlati megszakítóképesség;
- a betét szerkezete;
- a független megszakítási áram;
- a biztosító aljzata.

8.5. ÁRAMVÁLTÓK

Az áramváltó az a transzformátor, amely a különböző mérőeszközök és védelmi berendezések áramtekercseit táplálja. Ezek az eszközök és berendezések az áramváltó kisebb feszültségű és kisebb áramerősségű oldalán helyezkednek el, mint pl. ampermérok, teljesítmény-és fogyasztásmérők, illetve áramrelék, energiairányrelék, impedanciarelék.

Minthogy a mérés és a védelmi érzékelés, valamint működtetés a kisebb feszültségű oldalon történik, előnyös következmény, hogy kis méretű és helyigényű készülékek gyárthatók és alkalmazhatók (gazdaságossági szempont), valamint a kezelő személyzetet távol lehet tartani a nagyfeszültségtől (életvédelmi szempont).

Az üzemi áramot érzékelő mérés és a hálózati elemek, ill. hálózatrészek hibáját érzékelő védelmi rendszer igényei az áramváltó egyes jellemzői iránt más-más követelményeket támasztanak, így a kapcsolóberendezésekben túlnyomórészt ún. kétmagos (kétvasmagos) áramváltókat alkalmaznak.

A kiválasztáskor a következő jellemzőket kell figyelembe venni:

- névleges primer feszültség;
- névleges frekvencia;
- névleges primer áram;
- névleges szekunder áram;
- névleges teljesítmény;
- pontossági osztály;
- biztonsági határáram és -határtényező;
- pontossági határáram és -határtényező;
- zárlatbiztonság;
- névleges állandósult melegedési határáram;
- egyéb követelmények:
 - o a beépítési hely jellege;
 - o a primer tekercselés módja;
 - o a szigetelés anyaga;
 - o a szekunder áramkörök száma;
 - o áttételek száma;
 - o beépítési mód;
 - o felhasználási klímaterület.

A **névleges primer feszültség** az az érték, amely a szigetelés villamos szilárdságára vonatkozó ipari frekvenciájú vizsgálati előírásokat meghatározza. Rendszerint megegyezik a primer áramkör névleges feszültségével.

A **névleges frekvencia** az áramváltó adattábláján feltüntetett érték, amelynél az áramváltónak az előírt pontossági követelményeket ki kell elégítenie.

A **névleges primer áram** az az érték, amelynek a névleges szekunder árammal való osztása a névleges áttételt adja. A névleges primer áramot, a hálózati áramerősség figyelembevételével, az áramváltószabványban rögzített sorozatból célszerű választani.

A **névleges teljesítmény** a szekunder körnek az a VA-ben megadott teljesítménye, amellyel az áramváltót terhelni lehet. A szabványos névleges értékek sorozatából előnyben részesítendőek az 5; 15; 30 és 60 VA értékek.

A névleges teljesítményt, ill. a névleges teher értékét mindenkor a hozzátartozó pontossági osztállyal együtt kell megadni.

A **pontossági osztály** az áramváltó egy, vagy több szekunder magjának az a jellemző száma, amely meghatározza, hogy az áramváltónak milyen pontossági követelményeket kell kielégítenie egy meghatározott áramtartományban. Azt fejezi tehát ki, hogy a megadott feltételek mellett üzemeltetett áramváltó hibája milyen előírt határok között marad.

Az áramváltó pontossága a névleges áramok tartományában (0,1 – 1,2 *I_{tn}*) két adattal jellemezhető az áramhibával és a szöghibával.

A **zárlatbiztonságra** a termikus határáram és időhatár és a dinamikus határáram mértékadó.

A kiválasztáskor figyelembe veendő egyéb körülmények a következők:

- a beépítési hely jellege szerint lehet az áramváltó belsőtéri, vagy szabadtéri;
- a primer tekercselés módja szerint lehet egyvezetős (rúd-, vagy sínáramváltó) és többvezetős (hurkos) áramváltó;
- a szigetelés anyaga lehet olaj, porcelán, műgyanta, vagy egyéb szigetelés;
- a szekunder áramkörök számát tekintve az áramváltó lehet egy-, vagy többmagos, azaz egy-, vagy több szekunder áramkörös;
- ha az áramváltónak egynél több primer tekercse van, akkor átkapcsolható kivitelű, több áttételű áramváltóról van szó. A primer tekercsek csavaros kötésekkel párhuzamosan vagy sorosan
- köthetők. A szabvány a soros kötésben írja elő a névleges primer áramsorozat számértékeinek, mint alapértéknek a kötelező használatát;
- beépítési mód szerint az áramváltó támszigetelő, vagy átvezető típusú;
- a felhasználási klímaterületek lehetnek: hideg, mérsékelt, nedves trópusi, száraz trópusi és magaslati.

8.6. FESZÜLTSGVÁLTÓK

A feszültségváltó olyan transzformátor, amely a primer áramkör feszültségét adott pontossággal átalakítja kisebb feszültségre, szekunder készülékek (pl. mérőműszerek, relék) feszültségtetekercseinek táplálása céljából. Rendeltetése - értelemszerűen - az áramváltóéval azonos. A mérési célú feszültségváltókat mérő feszültségváltóknak, a védelmi célúakat védelmi feszültségváltóknak, míg a földzárlatjelző és földzárlatvédelmi célokat szolgálókat földzárlati feszültségváltóknak nevezzük.

A **névleges primer feszültség** a feszültségváltó adattábláján feltüntetett érték, amelynek a névleges szekunder feszültséggel való osztása adja a névleges áttételt, és amelyre a feszültségváltó pontossága vonatkozik. Ezen értékre készül a feszültségváltó szigetelése. A névleges primer feszültséget a szabványos feszültségsorozatból kell választani.

A **névleges teljesítmény** (S_n) a szekunder áramkör, vagy áramkörök VA-ben megadott teljesítménye, amellyel a feszültségváltót terhelni lehet. Nagysága a névleges periódusra és a névleges szekunder feszültségre vonatkozik és mindig a hozzátartozó pontossági osztállyal együtt kell megadni. Értékeit a szabványos sorozatból kell kiválasztani.

A **névleges határteljesítmény** az a látszólagos teljesítmény, amellyel a feszültségváltó szekunder oldala a névleges primer feszültséggel való táplálás esetén, állandóan igénybe vehető anélkül, hogy melegezése túllépné a megengedett értéket. Ezen terhelés mellett a feszültségváltó pontosságára nincsenek előírások.

A **névleges határfeszültség** annak a primer feszültségnek az effektív értéke, amellyel a névlegesen terhelt feszültségváltó meghatározott ideig igénybe vehető anélkül, hogy melegezése túllépné a megengedett értékeket.

A **névleges feszültségtényező** a névleges határfeszültség és a névleges primer feszültség hányadosa. Értékét szabványos sorozatból kell kiválasztani.

A feszültségváltó kiválasztásához szükséges jellemzők a következők:

- névleges primer feszültség;
- névleges szekunder feszültség;
- névleges áttétel;
- névleges teljesítmény és terhelés;
- pontossági osztály;
- névleges határteljesítmény;
- feszültségtényező;
- egyéb követelmények.

A **pontossági** osztály azt jelöli meg, hogy a meghatározott feltételek mellett üzemeltetett feszültségváltó áttétel és szöghibája milyen értékhatárok között marad.

A pontossági osztály:

- mérő feszültségváltókra: 0,1 M; 0,2 M; 0,5 M; 1 M; 3 M;
- védelmi célú feszültségváltókra: 1 P; 3 P; 6 P.

Az egyéb követelmények a következők:

- a környezeti viszonyok, amelyek alapján a feszültségváltó lehet belsőtéri vagy szabadtéri;
- veszélyeztetettség szempontjából ismerni kell, hogy a beépítési hely túlfeszültségek szempontjából
- veszélyeztetett, vagy nem veszélyeztetett jellegű;
- csatlakozások fázisszáma és a primer kivezetések szigetelése szerint lehet:
 - o egyfázisú feszültségváltó: kétsarkúlag, vagy egysarkúlag szigetelt primer kivezetései;
 - o háromfázisú feszültségváltó: kivezetett primer csillagpont nélkül, ill. kivezetett csillagponttal (melyet földelni kell).

A háromfázisú feszültségváltó lehet három-, vagy ötoszlopos:

- a szigetelés anyaga lehet: porcelán, olaj, műgyanta, SF₆-gáz;
- zárlatbiztonság: a feszültségváltónak 120%-os primer feszültségnél a szekunder kapcsoknak 1 s-ig történő rövidrezárását egy alkalommal ki kell bírnia anélkül, hogy pontossága megváltozna és szigetelése meghibásodna;
- a klímaterület figyelembevétele (mind az áramváltónál);
- a szekunder áramkörök száma szerint lehet egy-, ill. többáramkörös a feszültségváltó.

8.7. TÚLFESZÜLTÉGVÉDELMI ESZKÖZÖK

Túlfeszültség a villamos berendezésekben (elosztóhálózatokban, kapcsolóberendezésekben és villamos szerkezetekben) fellépő, a legnagyobb megengedett üzemi feszültség csúcsértékét (háromfázisú rendszerben az üzemi fázisfeszültség csúcsértékét) meghaladó feszültség, amely nagyságától, a jel alakjától, frekvenciájától és fennállásának időtartamától függően veszi igénybe a berendezés szigetelését.

A túlfeszültségvédelmi eszközök feladata a hálózaton belüli túlfeszültségek korlátozása. A túlfeszültségvédelmi készülékeknek az üzemidő nagy részében „működniük”, vagyis az üzem fenntartásához hozzájárulniuk nem kell, sőt nem is szabad. Működésüket közvetlenül, szándékoltan nem lehet előidézni. Rendeltetészerűen és automatikusan kell viszont működniük, ha a hálózaton vagy a berendezésben túlfeszültség lép fel. Keletkezési módjuk és fennállásuk időtartama szerint a túlfeszültségek három csoportra oszthatók: belső, légköri eredetű és elektrosztatikus feltöltődésből eredő túlfeszültségek.

A *belső eredetű túlfeszültségek* az energiaelosztó hálózaton belüli különböző célú kapcsolási folyamatok során keletkeznek, vagy azokat a villamos hálózatokban bekövetkező hibák okozzák. A belső eredetű túlfeszültségek két csoportra oszthatók, mégpedig a rövid- és a hosszú időtartamú túlfeszültségekre. A *rövid időtartamú kapcsolási túlfeszültségek* (ún. tranziens túlfeszültségek) erősen csillapodó, periodikus vagy aperiodikus lefolyású, néhány ms-nál kisebb időtartamú feszültségek. A *hosszú időtartamú* és általában hálózati frekvenciájú túlfeszültségek a kisfeszültségű hálózatban elsősorban aszimmetrikus földzárlatok vagy rezonancia jelenségek során keletkezhetnek.

A *légköri eredetű túlfeszültségek* a hálózattól független körülmények között, nukleáris robbanások és villámcsapások következtében jönnek létre, és időtartamuk néhány μ s. A villámcsapás hatására túlfeszültségek a következő esetekben jöhetnek létre: Közvetlen villámcsapás éri a szabadvezeték fázisvezetőjét. A villámvédelmi árnyékolás céljából kialakított és leföldelt szerkezeteket (villámvédelmi felfogó rudak, védővezetők) éri villámcsapás, és a levezetett villámáram hatására a földelési ellenálláson fellépő feszültségemelkedés a fázisvezető átütéséhez vezet (visszacsapás). A szabadvezeték közelében becsapó villám, illetve a levezetett villámáram hatására a hálózatok vezetőkeiben (az épületek belső hálózatának vezetőkeiben is) veszélyes mértékű túlfeszültség keletkezik vezetési, induktív vagy kapacitív csatolás révén. Ilyen módon elsősorban kisfeszültségű berendezések kerülnek veszélybe. Ez a villám ún. másodlagos hatása.

Az *elektrosztatikus feltöltődés* vezető- és szigetelőanyagok érintkezése, egymáson való elmozdulása, majd szétválása során alakul ki. Ez a töltés szigetelt vezető testekben felhalmozódva olyan kisülést hozhat létre, ami egyrészt tüzet és robbanást okozhat, másrészt a villamos berendezésekben átütést, sérülést és hibás működést eredményezhet. Az elektrosztatikus kisülések nagy csúcsértékű és meredekségű áramimpulzusok kíséretében zajlanak le.

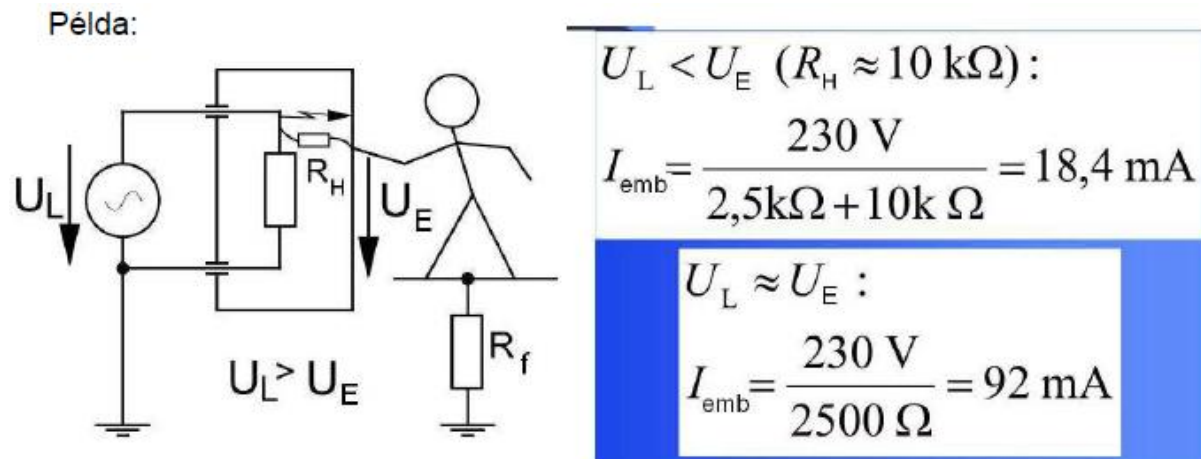
ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK A 8. FEJEZETHEZ

1. Mi a megszakító és a szakaszoló?
2. Definiálja az olvadóbiztosíték fogalmát!
3. Milyen szempontok szerint kell kiválasztani a megszakítókat és a szakaszolókat?
4. Mi a különbség a szabadtéri és a beltéri készülékek között?
5. Mi a kontaktor?
6. Mi a névleges áram és a névleges feszültség?
7. Definiálja a mechanikai élettartam fogalmát!
8. Mi a földelőkapcsoló?
9. Mi a termikus határáram?
10. Mi a dinamikus határáram?

9. VILLAMOS BIZTONSÁGTECHNIKA

A villamos energia ipari méretű felhasználása a század elején kezdett egyre nagyobb mértékben elterjedni és ezzel egyidőben jelentkeztek az áramütésből eredő balesetek is. Ennek következtében nagyarányú kutatás indult meg annak felderítésére, hogy milyen hatással van az emberi szervezetre a villamos áram. Ugyanakkor már foglalkozni kezdtek azokkal a kérdésekkel is, amelyek az áramütés kialakulásának lehetőségeit kutatta, azok megakadályozását célozta, illetve az ellene való védekezés elveit és módszereit alapozta meg. Ezekből a vizsgálatokból kapott eredmények felhasználásával alakultak ki az érintésvédelem elvi és gyakorlati megoldásai, amelyeknek legfontosabb részét minden államban kötelezően betartandó szabványokban, rendeletekben rögzítettek. Ezeket Magyarországon az MSZ 170/1.sz. „Érintésvédelmi szabályzat 1.000 V-nál nem nagyobb feszültségű erősáramú villamos berendezések számára”, illetve az MSZ 172/2, 3, 4. sz. „Érintésvédelmi előírások 1.000 V-nál nagyobb feszültségű berendezések számára” megnevezésű szabványok tartalmazzák.

Áramütésről akkor beszélünk, amikor valamely áramforrás áramköre az ember testen keresztül záródik, és ennek következtében a testen keresztül folyó áram az élettani hatásai miatt az egészséget, vagy súlyosabb esetben az életet veszélyezteti. Ez a feltétel a gyakorlatban akkor valósul meg, amikor egy villamos üzemi szerkezet (pl.: mosógép) külső burkolata meghibásodás folytán feszültség alá kerül. A készülékek megérinthető részein megjelenő feszültséget nevezük érintési feszültségnek, melynek nagysága az előírások szerint 50 V-nál magasabb érték nem lehet. Az ilyen típusú veszélyhelyzet elleni védekezést nevezik érintésvédelemnek.



9.1. ábra: Példa áramütésre

9.1. A VILLAMOS ÁRAM ÉLETTANI HATÁSA

Az emberi test maga is vezető, ezért, ha a test különböző pontjai között potenciálkülönbség lép fel, a testen áram indul meg.

Az áram hatása a be- és kilépési pontokon (tehát az áram útján) kívül az áram erősségétől, frekvenciájától, az áramütés időtartamától, és az emberi szervezet állapotától is függ.

Az áramütést okozó feszültség hatására kialakuló áram erőssége függ az emberi test ellenállásától. Ezt alapvetően a bőrfelület tulajdonságai és állapota határozzák meg (száraz, érdes bőrfelület esetén az ellenállás nagyobb), valamint az érintkező felületek nagysága. **A test ellenállása** száraz bőrfelület esetén néhány száz kilóohm szokott lenni, de **nedves bőrfelületnél, vagy ha az áramütést okozó feszültség átüti a bőr felső hámrétegét, néhány száz ohmra csökken.**

A testen áthaladó áramot egy bizonyos érték (az ún. **érzetküszöb**) alatt nem is érzékeljük. **Az érzetküszöb átlagos esetben, egyenáram esetén 5 – 6 mA.** 15 – 25 mA áram hatására az izmok

már összerándulnak, a testen áthaladó 25 – 100 mA már veszélyes, a 100 mA feletti áram halált okozhat. A megadott áramértékek hozzávetőlegesek, és erősen függenek az áram útjától és az emberi szervezet pillanatnyi állapotától.

A legveszélyesebb az, ha az áram a szíven, a légzőközpontokon, vagy a fejen halad keresztül. Veszélytelenebb az áramütés akkor, ha az áram útja ezeket a szerveket elkerüli (*pl. a két lábon keresztül vezet*).

Az áram hatása frekvenciájától is függ. Egyenáramú balesetnél az áram vegyi hatása a legveszélyesebb. Hálózati (50 Hz- es) áramütésnél az izmokra gyakorolt hatás a legjelentősebb. A frekvencia növekedtével a „szkin hatás” miatt az áram a test felületére szorul ki, és ott égési sérüléseket okozhat.

Minél hosszabb ideig halad át az áram a testen, annál súlyosabb következményeket okozhat.

Számít a szervezet állapota, a figyelem, és az áramütésre való „felkészültség” is. Ha a villamos árammal dolgozó figyelmes, és fel van készülve az esetleges áramütésre, az áram hatása gyengébb lehet.

Az emberi testen áthaladó áram élettani hatásai:

- Az izmok összerándulása. Az agy a testet behálózó idegpályákon keresztül villamos ingerületek útján mozgatja az izmokat. Áramütés esetén az (áram be- és kilépési pontjaitól függő) **idegeket** és **izmokat** nagyon erős inger érheti, melynek hatására utóbbiak összerándulhatnak, el is szakadhatnak. A legveszélyesebb, ha az áram a szíven vagy a tüdőn halad keresztül, mert e létfontosságú szervek izmainak összerándulása a szerv görcsét, bénulását okozhatja. Az izomsejtek egy csoportja az áram bekapcsolásakor, más csoportja kikapcsoláskor ingerlődik, ezért **az izmokra gyakorolt hatás tekintetében a váltakozóáram** (amely minden félperiódusában kivált ilyen ingerületeket) **hatása veszélyesebb**.
- Vegyi hatás. Az emberi test szöveteinek igen nagy (kb. 70%) a nedvtartalma, e nedvek az oldott ásványi sók és más alkotók miatt áramot vezető *elektrolitnak* tekinthetők. A **vegyi hatás szempontjából az egyenáramú áramütés a veszélyes**, mert az ilyenkor kialakuló elektrolízis miatt a vér és a szövetnedvek veszélyes mértékben elbomolhatnak. A bontás során keletkező gázbuborékok is veszélyt jelentenek. A vörsejtek röggé összeállva eldugíthatják az ereket.
- Hőhatás. A test ellenállásán áthaladó áram hőt termel. A keletkező hő az érrendszerre a legveszélyesebb, mert az erek fala „törékennyé” válik, utólag vérzések keletkezhetnek. A 45 °C feletti felmelegedés – a fehérjék (vissza nem fordítható) kicsapódása miatt – halálos kimenetelű lehet.

Emberen, valamint állatokon végzett vizsgálatok alapján az emberi szervezetnek a villamos árammal szembeni érzékenysége, férfiak esetében, 50 Hz-es frekvencia esetén az alábbi átlagos értékeket állapították meg:

- **érzetküszöb 0,5 – 1 mA**
- **erős rázásérzet 6 – 14 mA**
- **izomgörcs 20 – 25 mA**
- **szabálytalan szív működés 25 – 80 mA**
- **szívkamralebégés 80 – 100 mA**
- **pillanatos halál 100 mA felett.**

Hazánkban a villamos balesetek 3 – 4%-a halálos kimenetelű! Az iparban és a háztartásokban megközelítőleg ugyanannyi halálos baleset történik.

A villamos balesetek okai és azok relatív valószínűsége az alábbiakban olvasható:

- a balesetes hibája- 42%;
- más szeély hibája- 17%;
- szabálytalan bekötés- 23%;
- szerkezeti, vagy anyaghiba-15%;
- egyéb okok- 3%.

A felsorolásból jól látható, hogy a villamos balesetek több, mint 80%-a emberi mulasztásra vezethető vissza!

Az áramütést befolyásoló tényezők:

- az emberen átfolyó áram erőssége;
- a behatás időtartama;
- az emberi test ellenállása;
- az áram útja a szervezetben;
- az áram neme, ha váltakozóáram, akkor a frekvenciája;
- az egyén testi, lelki állapota.

Az első kettő tényező a legfontosabb, ezért azokat elsődleges tényezőnek nevezzük. A többi a másodlagos tényezők körébe tartozik.

Beteg, gyengébb fizikumú férfiakra, nőkre, gyermekekre ennél kisebb értékek érvényesek. Egy esetleges baleset súlyosságát, a balesetet szenvedett testi és lelki állapota is befolyásolhatja. A fáradt, kimerült, esetleg ittas személy reakcióképessége rosszabb, mint egy egészségesé, ezért az áramütés által kiváltott menekülési reflex is lassúbb lesz, vagyis a behatás időtartama meghosszabbodik. A nem egészséges ember viszont hajlamos az izzadásra, ezért a bőrének ellenállása lényegesen kisebb lesz, aminek következtében nagyobb áram fog kialakulni benne.

100 – 1.000 Hz frekvencia értékhatárok között az áramütés biológiai hatásai enyhébbek és 1.000 Hz felett egyre inkább érvényesül az ún. skin hatás, amelynek következtében az áram útja a szervezetben a bőrfelület közelében alakul ki, elkerülve a létfontosságú szerveket. A közölt adatok átlagértékek és csak 50 – 100 Hz frekvencia esetén, egészséges férfiakra vonatkoztathatók. A vizsgálatok szerint a biológiai hatásokat egyenáram alkalmazása esetén az 50 Hz – re megadott áramértékek 4 – 5- szörös értékével lehet csak előidézni. Az egyenáram tehát veszélytelenebbnek tűnik a váltakozó áramnál, azonban a sejt bomlasztó elektrolízis, valamint az ív-képzésre való hajlam miatt szintén veszélyes.

9.2. ELSŐSEGÉLYNYÚJTÁS FOLYAMATA VILLAMOS BALESETEK SORÁN

Az áramütés következményei különböző súlyosságúak lehetnek, többek közt égés, belső szervek sérülése, szívritmuszavar, illetve halál.

Áramütés tünetei:

- áramütés érzése, zsibbadás, bizsergés, ijedtség, tudatzavar;
- égési sérülés (áramjegy), nyílt seb, ahol az ütés a testet éri, illetve ahol a föld felé távozik;
- izomgörcs, izom-összerándulás, hirtelen mozdulatlanság, törés, deformált testrész,
- görcsroham;
- légzészavar, szívritmuszavar, mellkasi fájdalom;
- eszméletvesztés, keringésmegállás;
- kisgyermekes esetében, ha a szájukba vesznek egy elektromos zsinórt, előfordulhat sérülés az arcon, illetve égés a száj körül.

Áramütést szenvedett esetében nagyon fontos az elsősegélynyújtás sorrendje:

1. A belesetes kiszabadítása az áramkörből anélkül, hogy mi magunk is az áramkör részévé válnánk!
2. Tényleges elsősegélynyújtás.
3. Orvos, illetve mentő értesítése.
4. Szükség esetén az áramszolgáltató, valamint a tűzoltók értesítése.

Elsősegély:

1. Teremtse meg a biztonságot, veszély esetén ne közelítsen a sérülthöz! Használjon gumikesztyűt! Elsősorban a saját biztonságára figyeljen, semmiképp ne érjen a sérülthöz, amíg kapcsolatban van az áramforrással!
2. A test 60 – 70%-a vízből áll, így rendkívül jól vezeti az áramot. Ezért a legfontosabb, hogy a sérült mielőbb kikerüljön az áramkörből. Ha az áramot nem lehet lekapcsolni, alacsony feszültségnél megpróbálhatja szigetelő anyagra állva egy nem vezető tárggyal (pl. fa, műanyag) kilökní az illetőt az áramkörből (ez azonban a segélynyújtóra veszélyes lehet).
3. Amennyiben a sérült és az áramforrás kapcsolatát nem tudja megszakítani, hívjon azonnal mentőt és műszaki mentést.
4. Miután meggyőződött róla, hogy a sérülthöz biztonsággal hozzá lehet érni, vizsgálja meg a reakciókészségét! Ha nem szükséges, ne mozgassa őt!
5. Esméletén lévő sérültnél keressen a bőrön égést, nyílt sebet. Ha talált áramjegyet, hűtse, fertőtlenítsé, majd kötözzé be!
6. Esméletlenség esetén vizsgálja meg a légzést, annak hiányában pedig kezdje meg az újraélesztést!

Hívjon mentőt (104 / 112) vagy forduljon orvoshoz, ha:

- az áramütés után tünetek jelentkeznek,
- az eszméletén lévő sérült tünetei rosszabbodnak, nem javulnak,
- a sérült eszméletét veszítette,
- légzése leállt,
- szükségesnek tartja.

9.3. AZ EMBERI TEST ELLENÁLLÁSA

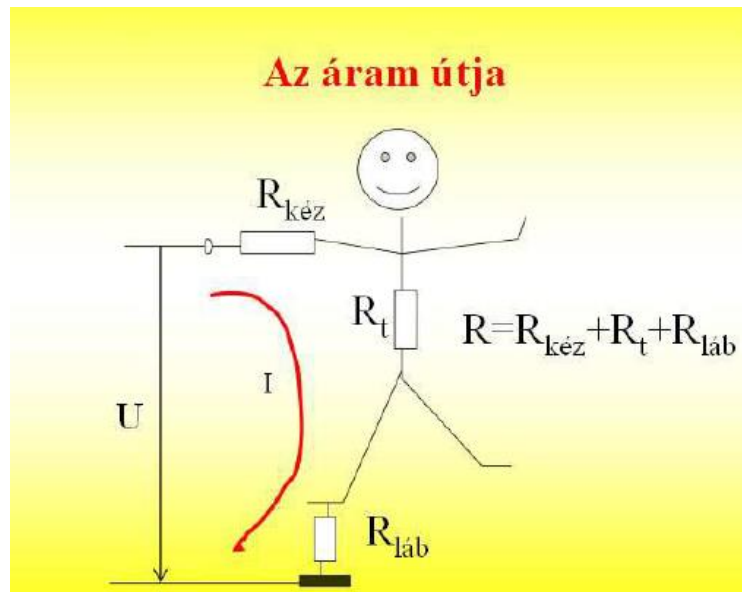
Számos mérési sorozat eredményeképpen tudjuk, hogy az emberi test tisztán ohmos jellegű és nagyságát tulajdonképpen két fő részből állónak tekinthetjük. A belső testnedvekkel átitatott szövetek, amelynek villamos ellenállása 200 – 300 ohm, vagy még kevesebb. A külső bőrfelület, amelynek ellenállása függ a bőr pillanatnyi állapotától (száraz, nedves, izzadt, vékony, vastag stb.) valamint a mérésnél alkalmazott feszültségtől. Az érintésvédelmi számításoknál az emberi test sokféle, előre nem látható állapotait nem szoktuk figyelembe venni, hanem a legkedvezőtlenebb esetet vesszük alapul. Így az ember ellenállását egységesen $R_e = 1.000$ ohm-mal vesszük számításban.

Egy balesetveszélyes helyen nem lehet megmondani előre az emberen átfolyó áram nagyságát, sőt utólag sem lehet egy bekövetkezett baleset után rekonstruálni, hogy mekkora áram haladt át a balesetet szenvedett ember testén, olyan sok és bizonytalan tényező befolyásolhatja.

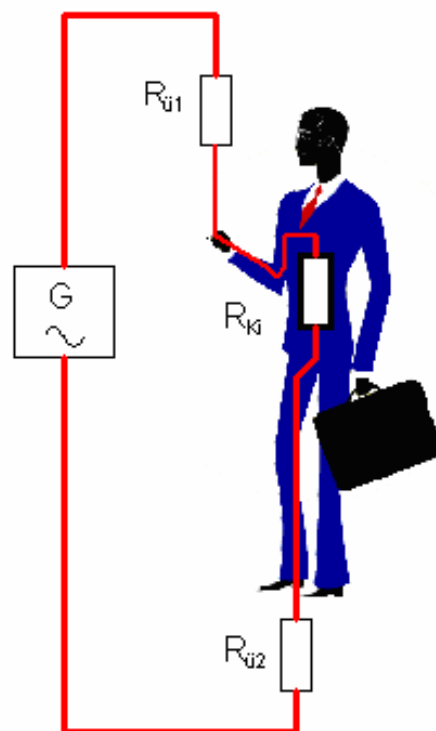
Ezért inkább abból indulnak ki, hogy az emberi test ellenállását a legkedvezőtlenebb 1.000 ohm-mal számítva mekkora feszültséget kell rákapcsolni, hogy bizonyos fiziológiai hatások jöjjenek létre.

Ha a baleset súlyosságának megítéléséhez az így kiszámítható feszültséget rendeljük, akkor minden szituációban előre számíthatóvá, illetve utólag rekonstruálhatóvá válik egy-egy baleset körülménye. Most már csak az áramérték megadása szükséges.

A 9.2. és a 9.3. ábrák az áram egy lehetséges útját szemléltetik az emberi testben, figyelembe véve az ellenállásokat is.



9.2. ábra: Az áram útja az emberi testben ellenállásokkal együtt



$R_{\text{ü1}}$ érintési ellenállás

R_{ki} test ellenállása

$R_{\text{ü2}}$ érintési ellenállás

R_{k} eredő ellenállás

$$R_{\text{k}} = R_{\text{ü1}} + R_{\text{ki}} + R_{\text{ü2}}$$

9.3. ábra: Az áram útja az emberi testben ellenállásokkal együtt

A magyar előírások alapját az képezi, hogy az áramütéses baleset semmiképpen ne okozzon halált. Ezért az emberi testet tartósan érő áramerősség legnagyobb értékét jóval a szívkamrabeegést kiváltó határ alatt választotta meg. Ez pedig 50 mA. Bármennyi időn át érheti az emberi szervezetet.

Ezt a feszültséget **limitfeszültségnek** (U_L) nevezik és ez az érintési feszültség tartósan megengedett határértéke 100 Hz-nél nem nagyobb frekvenciájú, szinuszos váltakozó áram esetén, amelyet az embernek tartósan (súlyosabb károsodás nélkül) el kell viselni.

Állandó egyen feszültség esetén - $U_L = 120$ V. 100 – 1.000 Hz frekvenciájú váltakozó áram, valamint szaggatott egyenáram esetén az U_L értékét a szabvány nem írja elő pontosan, csak azt, hogy kísérleti vagy irodalom adatok alapján 50 és 120 V között kell meghatározni.

9.4. HOGYAN JÖHET LÉTRE ÁRAMÜTÉS

Ha az emberi test két, vagy több pontja különböző feszültségeket hidal át, akkor az Ohm-törvénynek megfelelő áramerősség jön létre a test egyes szakaszain. A belépő áramot a feszültség és a testellenállás határozza meg, amely tág határok között változhat, de az előírás értelmében mindig csak 1.000 ohm-mal vesszük figyelembe. Azonban az új előírások megjelenésével egyre gyakoribb, hogy csak 800 ohm-mal számolunk. Ettől eltekinteni nem lehet, mivel az emberi test ellenállását igen sok külső és belső, előre nem számítható tényező befolyásolja.

Az emberi testnek az áramkörbe kerülése alapvetően négy esetre vezethető vissza:

- a) fázis-föld érintés,
- b) fázis-fázis érintés,
- c) hibafeszültség áthidalása,
- d) lépésfeszültség áthidalása.



9.4. ábra: Áramütés szemléltetése

Fázis-föld érintés

Ha a talajt végtelen nagy keresztmetszete miatt igen jó vezetőnek tekintjük, akkor a talaj és bármelyik fázisvezető között a fázisfeszültség (230 V) jelenik meg, sőt terhelve sem fog lényegesen különbözni tőle. Egy ilyen rendszerben tehát, ha valaki valamilyen módon érintkezésbe kerül a talajjal és az egyik fázisvezetővel, akkor az érintkezési pontok között a fázisfeszültség hatására létrejön az **áramütés**.

Fázis-fázis érintés

A földtől teljesen elszigetelt személy egyszerre érint meg két fázisvezetőt. Ekkor az áramütés nem a fázis feszültségtől, ha vonalfeszültségtől fog létre jönni, ezért rendszerint súlyosabb balesetet okoz.

E két esetben közös, hogy az **üzemszerűen feszültség alatt álló** alkatrész (vezető, villamosgép, vagy készülék csatlakozó kapcsa stb.) megérintését tételezi fel. Az ilyen jellegű balesetek megelőzése, illetve az ellenük való védekezés nem tárgya az érintésvédelemnek, azokat más előírások tartalmazzák. Azokat a villamos berendezéseket, amelyek áramütéses balesetet okozhatnak, úgy kell szerelni, hogy abban az üzemszerűen feszültség alatt álló alkatrészeket **véletlenül** se lehessen megérinteni sem kézzel, sem valamilyen eszközzel.

Hibafeszültség áthidalása

A villamos gépek, készülékek, szerszámok burkolatait, kezelőfogantyúit használat közben alkalmanként vagy állandóan fogni kell. Ezek a burkolatok, fogantyúk stb. **üzemszerűen nem állnak feszültség alatt**, tehát áramütés veszélye nélkül meg lehet, sőt a munkavégzés érdekében meg is kell őket fogni. Ha azonban a **szigetelés sérülése** következtében a burkolat érintkezésbe kerül a feszültség alatt lévő alkatrésszel, akkor annak érintése áramütést okozhat. Az ebből származó balesetek megelőzésével, ill. az ellene való védekezéssel foglalkozik az **érintésvédelem**.

9.5. AZ ÉRINTÉSVÉDELEM MÓDSZEREI

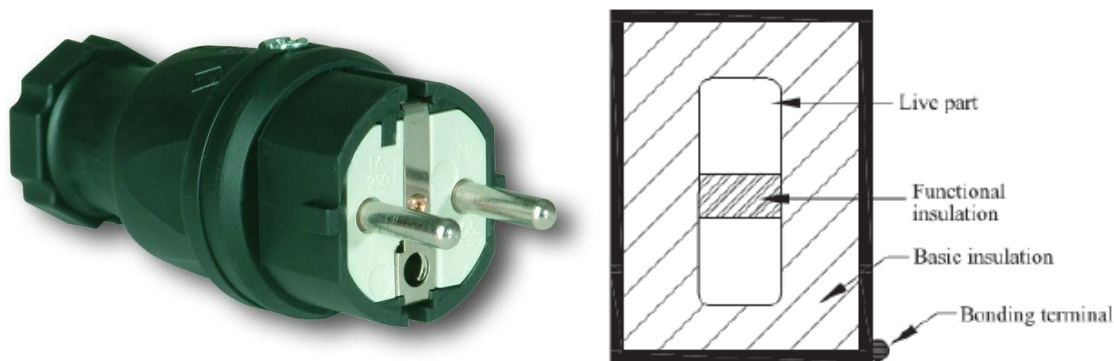
Az érintésvédelem alkalmazott módszereit két csoportba szokták sorolni. Az egyik csoportba az ún. aktív érintésvédelmi módszerek tartoznak, amelyeket az jellemez, hogy ha az érintési feszültség meghaladja a megengedett értéket, akkor önműködően, az előírt időn belül lekapcsolja a meghibásodott készüléket. A másik csoportba az ún. passzív érintésvédelmi módszerek tartoznak, amelyeknek jellemzője, hogy az érintési feszültséget mindig veszélytelen értéken tartják, tehát lekapcsolás nem szükséges.

Érintésvédelmi osztályozás A villamos gyártmánynak az az MSZ 171-2 szerinti besorolása, amely jelzi, hogy a gyártmány milyen érintésvédelmi móddal, illetve milyen érintésvédelmi módokhoz való csatlakozásra készült:

- **I. érintésvédelmi osztályú** az a gyártmány, amelyben a közvetett érintés elleni védelem kizárólag alapszigetelésen alapul.
- **II. érintésvédelmi osztályú** az a villamos gyártmány, amelynek a testen érintésvédelmi védővezető csatlakoztatására kialakított lehetőség van.
- **III. érintésvédelmi osztályú** az a gyártmány, amelynek közvetett érintés elleni védelme kizárólag kettős vagy megerősített szigetelésen alapul, és érinthető burkolata nincs ellátva védővezető csatlakoztatására kialakított lehetőséggel.

9.5.1. I. ÉRINTÉSVÉDELMI OSZTÁLYÚ GYÁRTMÁNY

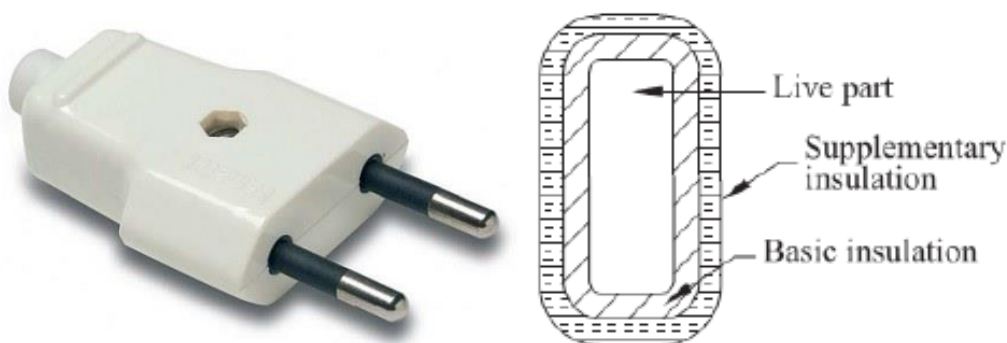
Az üzemi szigetelésen kívül járulékos óvintézkedéseket is alkalmaznak. A gyártmány testéhez csatlakoztatható a villamos hálózat vezetője úgy, hogy a megérinthető villamos vezető részek még az üzemi szigetelés meghibásodása esetén sem kerülhetnek veszélyes feszültség alá (pl. nullázás, védőföldelés). Az I. érintésvédelmi osztályba tartozó készülék csatlakozójára mutat példát a 9.6. ábra.



9.5. ábra: I. érintésvédelmi osztályú gyártmány csatlakozója

9.5.2. II. ÉRINTÉSVÉDELMI OSZTÁLYÚ GYÁRTMÁNY

Az üzemi szigetelésen kívül járulékos óvintézkedésként a gyártmányt kettős szigeteléssel vagy megerősített szigeteléssel látják el. A védelem független a villamos hálózattól. A felhasználó az adattáblán látható kettős négyzet jelről ismeri fel. Az I. érintésvédelmi osztályba tartozó készülék csatlakozójára mutat példát a 9.6. ábra.



9.6. ábra: II. érintésvédelmi osztályú gyártmány csatlakozója




9.5.3. III. ÉRINTÉSVÉDELMI OSZTÁLYÚ GYÁRTMÁNY

Az áramütés elleni védelem megoldása az érintésvédelmi törpefeszültségű tápláláson alapul. Transzformátoron (adapteren) keresztül működtethető berendezések. Jellemzően törpefeszültséggel üzemelnek (általában 12 volt). Ezeket hálózatra csatlakoztatni nem kell, illetve adapterükön keresztül csatlakoztathatók. A III. érintésvédelmi osztályba tartozó készülék csatlakozójára mutat példát a 9.7. ábra.

AC < 50 V és DC < 120 V



9.7. ábra: III. érintésvédelmi osztályú gyártmány csatlakozója

| Védelmi osztályok összefoglaló táblázat | | | |
|---|---|---|---|
| Védelmi osztály | I. Érintésvédelmi Osztály | II. Érintésvédelmi Osztály | III. Érintésvédelmi Osztály |
| Szimbólum: |  |  |  |
| Alkalmazott védelem: | Védővezető | Kettős szigetelés, megerősített szigetelés | Érintésvédelmi törpefeszültség |
| Példák: | Villany motor, elektromos tűzhely, mosógép | Elektromos kéziszerszámok, háztartási gépek | Elektromos gyerekjátékok |

9.8. ábra: Védelmi osztályok összefoglalása

9.6. A VILLAMOS BERENDEZÉSEK (GYÁRTMÁNYOK) VÉDETTSÉGE

A villamos berendezések (gyártmányok) védettségét az üzemszerűen feszültség alatt álló részek megérintése elleni, valamint az idegen anyagoknak és a víznek a berendezésbe való bejutása elleni intézkedések összessége képezi (MSZ EN 60529).

Valamely villamos berendezés védettségi fokozatát a következőképpen jelölik: **IP xy**.

Az első számjegy (x) az idegen tárgyak bejutása elleni és illetéktelen személyeknek a feszültség alatt álló részek megérintése elleni védelem, jelentése:

- 0 - nincs védettség**, a feszültség alatt álló részek szabadon megérinthetők,
- 1 - tenyérrel** nem érinthetők meg,
- 2 - emberi ujjal** nem érinthetők meg
- 3 - 2,5 mm-es** illetve nagyobb átmérőjű huzallal nem érinthetők meg,
- 4 - az 1 mm-es** illetve nagyobb átmérőjű huzallal nem érinthetők meg,
- 5 - teljes védelem** a feszültség alatt álló, vagy belső mozgó alkatrészek érintése ellen. A por behatolása nincs teljes mértékben megakadályozva
- 6 - feszültség alatt** álló, vagy belső mozgó alkatrészek érintése elleni **teljes védelem**. A por behatolása elleni teljes védelem.

A védettség jelében a második számjegy (y), a víz behatolása elleni védettség fokát fejezi ki, jelentése:

- 0 - nincs védve víz bejutása** ellen a villamos berendezés,
- 1 - függőlegesen csöpögő** vízcseppek bejutása ellen védett a berendezés,
- 2 - függőlegesen csöpögő** vízcseppek bejutása elleni védelem a tokozás **max. 15°-os** dőlése esetén,
- 3 - vízpermet elleni védelem**, a függőlegeshez képest tetszőleges, **legfeljebb 60°-os szögben** permetezett víz nem okozhat károkat,
- 4 - bármilyen szögű fröccsenő** víz ellen védett a berendezés,
- 5 - bármilyen szögű, nyomással** rendelkező vízszugár ellen védett a berendezés,
- 6 - bármilyen szögű, erős nyomással** rendelkező vízszugár ellen védett a berendezés,
- 7 - rövid idejű vízbe merítés** ellen védett a berendezés,
- 8 - tartós vízbe merítés ellen** védett a berendezés.

Például a mágneskapcsolók védettsége általában IP 20, a búvárszivattyúk védettsége szükség szerűen IP 68.

9.7. ÉRINTÉSVÉDELMI MÓDSZEREK

9.7.1. PASSZÍV ÉRINTÉSVÉDELEM

Passzív megoldások: az elkerítés, védőelválasztás, elszigetelés, burkolás.

Az *elkerítés* nem akadályozza meg, hogy üzemszerűen feszültségmentes részek a környezethez képest veszélyes feszültség alá kerüljenek, de ezek véletlen érintése ellen védelmet nyújt úgy, hogy a védendő (helyhez kötött) berendezést kerítéssel, korláttal stb. veszik körül.

A *védőelválasztás* alkalmazásakor minden egyes fogyasztó készüléket külön biztonsági transzformátorral előállított, földeletlen feszültséggel táplálnak. (A *biztonsági elválasztó transzformátor két, egymástól elszigetelt primer és szekunder tekercsének feszültsége azonos*, de a szekunder tekercs egyik kivezetése sincs leföldelve. Így a szekunder bármely pontjának és a földnek egyidejű érintése nem okoz áramütést).

Az *elszigetelés* a meghibásodott készülék testének megérintése esetén kialakuló áram erősségét a veszélyes érték alá korlátozza az által, hogy az áramkörbe az emberi test ellenállásával sorba kapcsolva nagy ellenállást (szigetelést) iktat be. Egyik módja a készülék testének a kezelőtől *kettős szigeteléssel* való elszigetelése. A megkettőzött szigetelés az üzemi szigetelés meghibásodása esetén védelmet nyújt az áramütés ellen. *A kettős szigetelésű berendezést nem szabad leföldelni.*

Az elszigetelés másik módja a kezelőnek a földtől és földpotenciálón lévő szerkezetektől (pl. szigetelő padlóval) való elszigetelése.

A *burkolás* – az elkerítéshez hasonló módon – azt akadályozza meg, hogy a helyhez kötött berendezést megérintsék. A védendő berendezést szekrénybe helyezik, beburkolják.

9.7.2. AKTÍV ÉRINTÉSVÉDELEM

Az aktív érintésvédelem hatását úgy fejt ki, hogy *a megengedettnél nagyobb érintési feszültséget okozó testzárlatos berendezést az előírt időn belül a hálózatról lekapcsolja.* (A lekapcsolási idő alatt az érintési feszültséget nem csökkenti.) Fajtái: *feszültségvédő kapcsolás, áramvédő kapcsolás, nullázás, védőföldelés.*

A *feszültségvédő kapcsolás* alkalmazásakor a védett berendezés teste, és egy, a testtől független potenciálú földelő szonda (segéd földelés) közé egy relét kapcsolnak. Ha a berendezés testpotenciálja a megengedett érintési feszültség fölé emelkedik, a relé 0,2 s alatt kikapcsol, és megszakítja a védett berendezés hálózati feszültség ellátását.

Az *áramvédő kapcsolás* figyeli a védendő berendezés hálózati áramfelvételét, és testzárlatkor a földelésen keresztül kialakuló áram hatására megszakítja a berendezés hálózati feszültség ellátását. A közvetlen fogyasztót védő áramvédő kapcsolónak 0,2 s alatt le kell kapcsolnia. Áramvédő kapcsolóként általában ún. *kismegszakítót* alkalmaznak.

A *nullázás* az érintésvédelemnek az a módja, amikor a villamos berendezés testét a *nullázó-vezetőn* keresztül a hálózat közvetlenül földelt nullavezetőjével kötik össze. Így a testzárlat egyfázisú rövidzárlattá alakul, azt pedig a rövidzárlat-védelem az előírt időn belül lekapcsolja.

A *védőföldelés* alkalmazásakor a villamos berendezés testét megfelelő földelési ellenállású földeléssel kötik össze. Így elérhető, hogy kisebb áramerősségű testzárlatok esetén az érintési feszültség nem lesz nagyobb a megengedettnél, nagyobb áramerősségű testzárlatok esetén pedig a berendezés zárlatvédelme az előírt időn belül kikapcsol.

A védőföldeléses hálózati csatlakozó aljzat védőföldelés érintkezőt is tartalmaz. *A védőföldelés érintkezőhöz a berendezés hálózati kábelének zöld-sárga színjelölésű vezetékét kell csatlakoztatni.* A védőföldelés vezetékének legalább olyan keresztmetszetűnek kell lennie, mint a hálózati áramot szállító vezetéknek.

A magyar előírások szerint csupán a limitfeszültségnél nem nagyobb feszültség juthat az emberi testre. Ez a feszültség súlyos, de még nem életveszélyes balesetet képes okozni. Az előírások tehát azt jelentik, hogy ha valahol nem biztosítható az érintési feszültségnek a limitértéknél kisebb értéke, ott **önműködően lekapcsolásról kell gondoskodni**. A lekapcsolási idő hordozható készülékek esetén **0,2 s-nál** nagyobb nem lehet.

| Általános esetben | |
|---|-------|
| váltakozó áram esetén (50 Hz) | 50 V |
| egyenáram esetén | 120 V |
| Fokozott veszély esetén (pl. fodrászat, gyermekjátékok) | |
| váltakozó áram esetén (50 Hz) | 25 V |
| egyenáram esetén | 60 V |
| Fokozott veszély esetén (pl. orvostechika) | |
| váltakozó áram esetén (50 Hz) | 12 V |
| egyenáram esetén | 30 V |

9.9. ábra: A veszélyesnek minősített érintési feszültség határértéke

9.8. VÉDŐFÖLDELÉS

A fogyasztó érintésvédelmét úgy biztosítjuk, hogy az **üzemszerűen feszültség alatt nem álló**, de megérintható fém alkatrészeit egy védőföldeléshez (Rv) kötjük. Ezzel biztosítani lehet, hogy a megérintható alkatrészek hibátlan állapotban a környezetükhöz képest nem lesznek potenciálon, így a géppel biztonságosan lehet dolgozni.

A mindennapi gyakorlatban a következő rendeltetésű földelések a leggyakoribbak:

- üzemi földelések,
- érintésvédelmi (védő) földelések,
- villámvédelmi földelések,
- túlfeszültség-védelmi földelések,
- elektrosztatikai földelések,
- zavarvédelmi földelések,
- technikai földelések.

A **földelési eljárások** mindegyike két elemre támaszkodik: a földelő hálózatra és a földelőre. Mindkettő kivitelét alapvetően meghatározza létesítési célja.

A **földelés** biztosítja, hogy véletlen rövidzár, meghibásodás esetén az elektromos berendezés/készülék megérintható vezető részeire ne kerüljön veszélyes feszültség. A meghibásodás okozta hibaáram, ami a földelésen alakul ki, védelmi eszközöket (védőrelé) is működtethet, amennyiben ez szükséges. A földelésnek mindig kapcsolatban kell lennie valamilyen megszakító eszközzel, e nélkül a földelésnek nem sok értelme van. Az előzőekből az is következik, hogy a földelés ellenállása alapvető a kialakuló hibafeszültség szempontjából.

Az **üzemi földelések** célja az áramszolgáltató hálózatán belül a megfelelő üzemi viszonyok kialakítása és a hálózati feszültség földpotenciálhoz való rögzítése. E földelések lehetnek közvetlenek (merevek) vagy közvetettek, azaz megfelelően méretezett impedancián keresztül földelték (hosszú földelés). Hazánkban a kisfeszültségű fogyasztói hálózatok - néhány ritka

kivételtől eltekintve – mereven földeltek, s az üzemi földelő (általában igen jó minőségű, kis ellenállású) a táptranzformátor csillagpontjánál helyezkedik el.

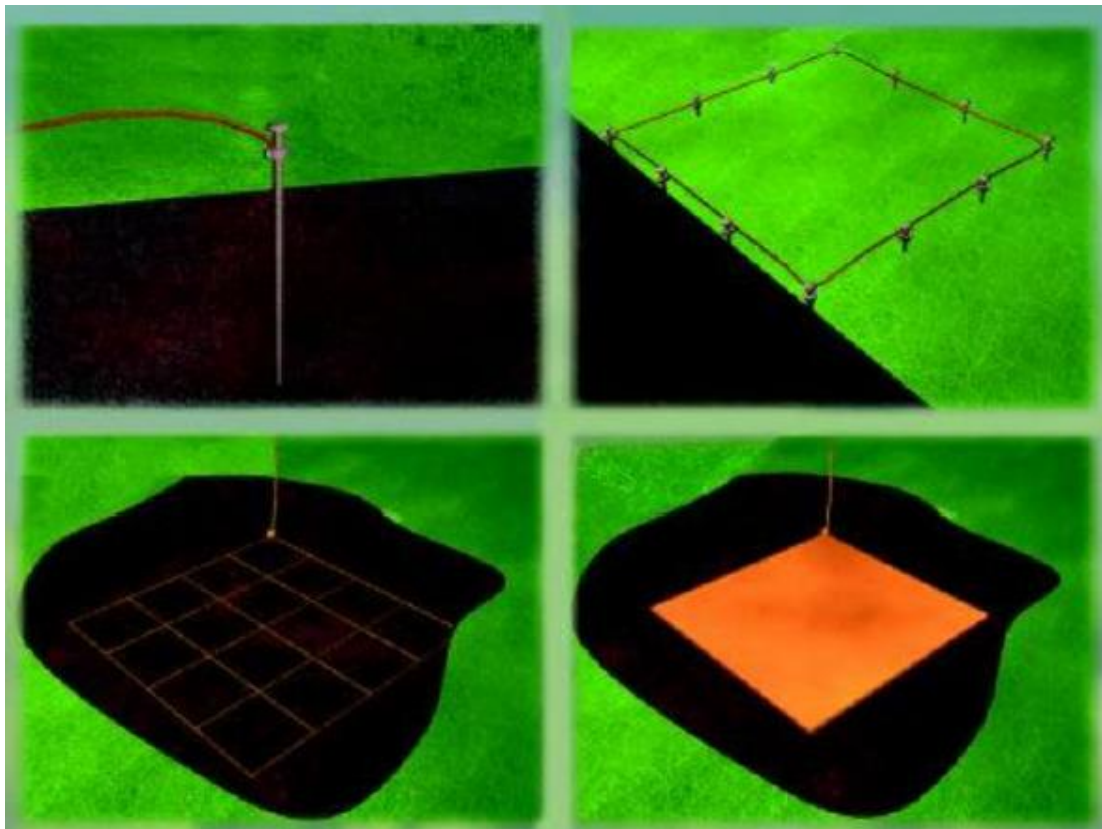
Az érintésvédelmi (védő) földelések célja a villamos fogyasztó-berendezések biztonságos használatának elősegítése. A földelő ez esetben a fogyasztói csatlakozásnál helyezkedik el, és feladata egyfelől az ún. érintési feszültség megfelelő szintű korlátozása, másfelől a testzárlat adott időn belüli megszüntetése. (Ezek aránya az érintésvédelem módjától függ.) A villámvédelmi földelések célja a villámhárító berendezést érő becsapás áramának a földbe való elvezetése minél rövidebb úton, minél kisebb veszélyt és potenciálemelkedést okozva.

A túlfeszültség-védelmi földelések a villamos berendezést érő légköri vagy kapcsolási eredetű túlfeszültségek elleni védelmül szolgálnak, biztosítva a (kvázi) egyenpotenciálra hozás lehetőségét a tranzienst túlfeszültségek időtartományában is.

A zavarvédelmi földelések elsődleges célja a rendszerbe sugárzásos, vezetésszerű, induktív vagy kapacitív úton bejutó rádiófrekvenciás - bizonyos esetekben kisméretű - zavarjelek becsapódásának csökkentése, elvezetési lehetőségének javítása, s ez által a zavart berendezés működőképességének megőrzése. Idetartoznak a speciális érzékeny mérőeszközök nem érintésvédelmi célú földelése is.

A földeléseket általában akkor tekintik hatékonyaknak, ha kicsi a szétterjedési ellenállásuk, illetve kicsi a földelési ellenállásuk. Ez általában akkor teljesül, ha elegendően nagy felülettel bír a földelő és megfelelően kicsi a talaj fajlagos ellenállása. Míg a földelő méreteit – bizonyos határok között - mi magunk választhatjuk meg, a talaj fajlagos ellenállása többékevésbé adott, melyet több tényező is befolyásol.

A földelők fajtái és anyagai: elvileg rendkívül széles a földelők választéka, hiszen minden vezetőanyagból készült, talajjal érintkező tárgy földelőként viselkedik. A leggyakrabban alkalmazott földelők az alábbiak.



9.10. ábra: Földelések típusai

Rúdföldelők a talajba függőlegesen elhelyezkedő, vezető anyagú, különböző alakú, illetve keresztmetszetű és felületű rudak, amelyeknek elsődlegesen a felülete és telepítési mélysége határozza meg hatékonyságát.

Szalagföldelők a talajfelszínnel párhuzamosan, adott mélységben fektetett, jelentős hosszúságú, vezető anyagú, különböző alakú, illetve keresztmetszetű és felületű szalagszerű vagy kör-szelvényű anyagok.

Alapföldelők az épületek alapjául szolgáló vasbetonszerkezetek, amelyek egyfelől közvetlenül érintkeznek a talajjal, másfelől a bennük lévő vasalás villamos szempontból megbízhatóan folytonos.

A **földelők anyaga** a hagyományos földelők általában tűzihorganyzott vasból, korrózióálló acélból vagy rézből készülnek, illetve ezek kombinációjából. Fontos szempont az anyag választáskor a korrózió: célszerű a talajfajta ismeretében (agresszív, szennyezett stb.) megválasztani az anyagot.

9.9. VÉDŐVEZETŐS ÉRINTÉSVÉDELMI MÓDOK

A védővezetős érintésvédelmi módok közös jellemzője, hogy ezek alkalmazásánál a villamos berendezés testét (az olyan vezetőanyagú, általában fém, érinthető részét, amely üzemszerűen nem áll feszültség alatt, de hiba esetén feszültség alá kerülhet) földelt védővezetővel (ezt az angol protecting P earthing E elnevezés alapján nemzetközileg PE betűjellel, és a védővezető szigetelését zöld/sárga színezéssel jelölik) kötik össze, és a tápláló áramkört annak túláramvédelme, vagy az abba beiktatott áram-védőkapcsolás által rövid idő alatt önműködően kikapcsolják, ha a védővezető testzárlat következtében veszélyes nagyságú érintési feszültségre kerül.

Védővezetős érintésvédelmi módok típusai:

- Védőföldelés közvetlenül földelt rendszerben (TT-rendszer, T=terra, földelés);
- Védőföldelés földeletlen, ill. közvetve földelt rendszerben (IT-rendszer, I=isolated, szigetelt);
- Nullázás (TN-rendszer, N=neutral);
- Áramvédő-kapcsolás;
- Egyenpotenciálra hozó hálózat.

A közműhálózati kiefeszültségű rendszereket (Európában mindenütt) a tápláló transzformátor csillagponti kivezetésénél, üzemi okokból, közvetlenül (impedancia beiktatása nélkül) leföldelik. Ezt mutatja a kétbetűs rendszerjelölés első **T** betűje (T=terra, földelés). Ha a fogyasztóberendezések testjeit védővezetőn át ugyancsak földelik, akkor ezt a földelést mutatja a jelölés második **T** betűje. Ha a készülék testzárlatos lesz, akkor a fázisvezetőn, a hibahelyen, az **Ra** védőföldelésén, és a rendszer **Rcs** csillagponti földelésén át testzárlati áram lép fel. Ha ennek a testzárlatnak az áramerőssége kicsi, akkor ez a védőföldelés **R** ellenállásán aránylag kis (a megengedheti $UL = A \cdot 50 \text{ V}$ -nál kisebb) feszültségemelkedést okoz.

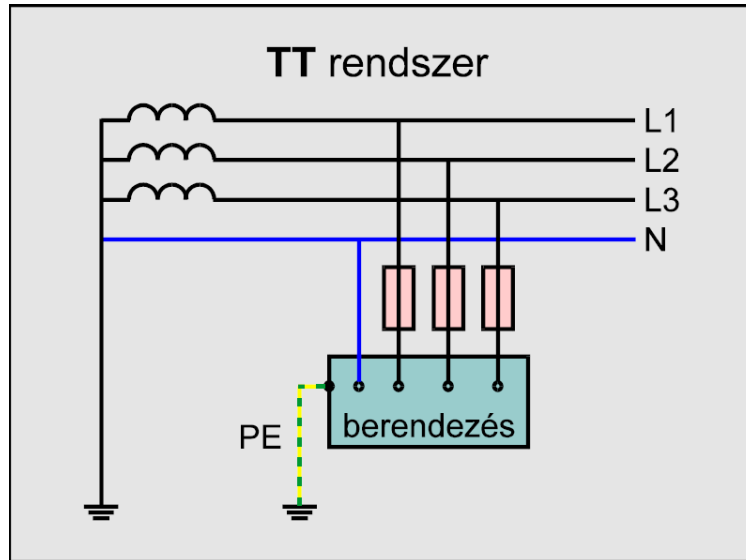
Ha az áramerősség nagy, úgy - az előírt rövid időn belül, a túláramvédelem kioldja azt (az ehhez tartozó áramerősséget jelöljük **Ia** -val).

A méretezési a képlet: $Ra \cdot Ia \leq 50 \text{ V}$.

Ha a túláramvédelem kioldóárama, a rajta keresztül folyó üzemi áram miatt nem választható az előző összefüggést kielégítő kis értékre, akkor az érintésvédelmi kioldást áramvédő kapcsolóval lehet megoldani.

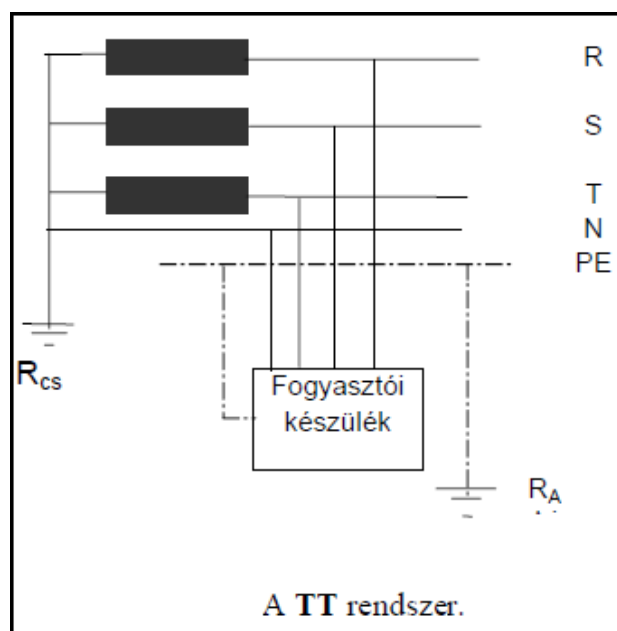
9.9.1. VÉDŐFÖLDELÉS KÖZVETLENÜL FÖLDELT RENDSZERBEN (TT)

Kisfeszültségű, közműhálózaton a táptranszformátor csillagpontját üzemi okokból leföldelik (egyik T), a berendezések testjeit ugyancsak leföldelik (második T). PE (protecting earthing) vezetővel kötik össze a berendezést a földelő rudazattal, (zöld-sárga vezető). A 9.11. és a 9.12. ábra szemlélteti a TT rendszert.

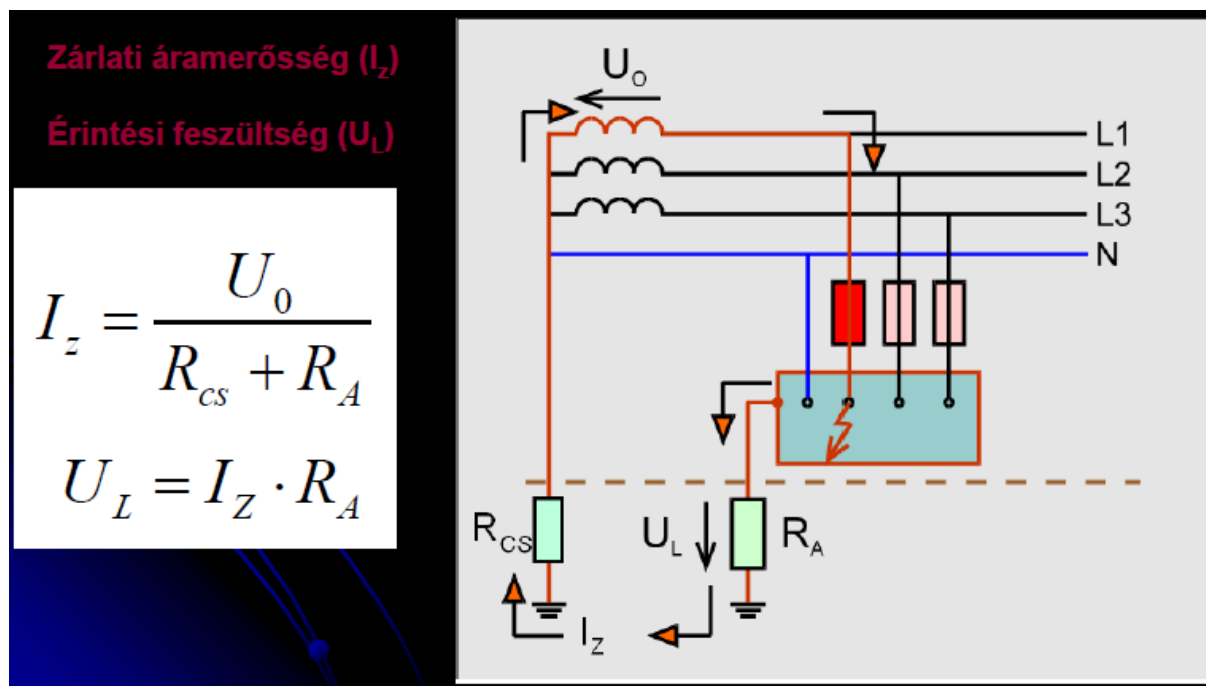


9.11. ábra: Védőföldelés közvetlen földelt rendszerben

Ha a tápláló hálózat közvetlenül földelt, akkor az ilyen rendszert TT-rendszernek nevezik. A jelölésnél az első T betű azt jelenti, hogy a rendszer az áramforrásnál közvetlenül le van földelve, míg a második betű jelentése az, hogy az érintésvédelemmel védett testek földelve vannak. A TT-rendszer működési elve az, hogy a védett test földelése következtében szigetelési hiba esetén a hibahelyen a földbe folyó áram lép fel, s ez földelés ellenállásán keresztül záródik. Ha az áram kicsi, akkor a földelési ellenálláson kis feszültségemelkedést hoz létre. Ha viszont az áram nagy, akkor vagy a túláramvédelem, vagy erre a célra beépített áram-védőkapcsoló kiold. A 9.13. ábra a testzárlat során folyó zárlati áram útját szemlélteti.



9.12. ábra: Védőföldelés közvetlen földelt rendszerben



9.13. ábra: Testzárlatos villamos berendezés zárlati áramköre védőföldelés esetén

9.9.2. VÉDŐFÖLDELÉS FÖLDELETLEN, ILLETVE KÖZVETVE FÖLDELT RENDSZERBEN (IT)

A közvetlenül földelt nullavezetőjű (TT-TN - rendszerű) hálózatok földzárlat esetén nem tarthatók üzemben. Ezért olyan helyen, ahol az ellátás folytonossága elengedhetetlen, a váratlan kikapcsolás életveszélyt, vagy igen nagy anyagi kárt okozna (pl. kórházi műtők, földalatti bányahálózatok, kohók, egyes vegyi üzemek), a nullavezetőt nem (vagy csak nagy ellenálláson át) földelik. Érintésvédelemre ez esetben is szükség van, mert egyrészt földzárlat (testzárlat) esetén a vezetékhalózat és a fogyasztókészülékek földhöz viszonyított kapacitásán átfolyó "földzárlati áram" emberre veszélyes nagyságú lehet, másrészt kettős (két helyen, és eltérő fázisokban fellépő) földzárlat esetében a testzárlatos szerkezetek esetében veszélyes feszültség lépne fel. Ezért ezen rendszerekben is kötelezi a földelt védővezető kiépítése.

Az IT jelölés a táptranszformátor szigetelt (I=isolated, szigetelt), vagy nagy impedancián át földelt (amit esetleg csak a hálózat és a szerkezetek földkapacitása képvisel), csillagpontjára utal, míg a második helyen álló T betű a testek védőföldelését jelenti. Az IT rendszer méretezési képlete az első földzárlatra: $R_a \cdot I_d \leq U_L$

Az IT rendszer nem gyakori. Közismert elnevezése, védőföldelés földeletlen és nem közvetlenül földelt rendszerben. Itt nincs üzemi földelés. Ha van, akkor impedancián keresztül. De a védendő testeket földelni kell. Ilyen rendszer cukorgyárakban, bányákban és kórházakban van.

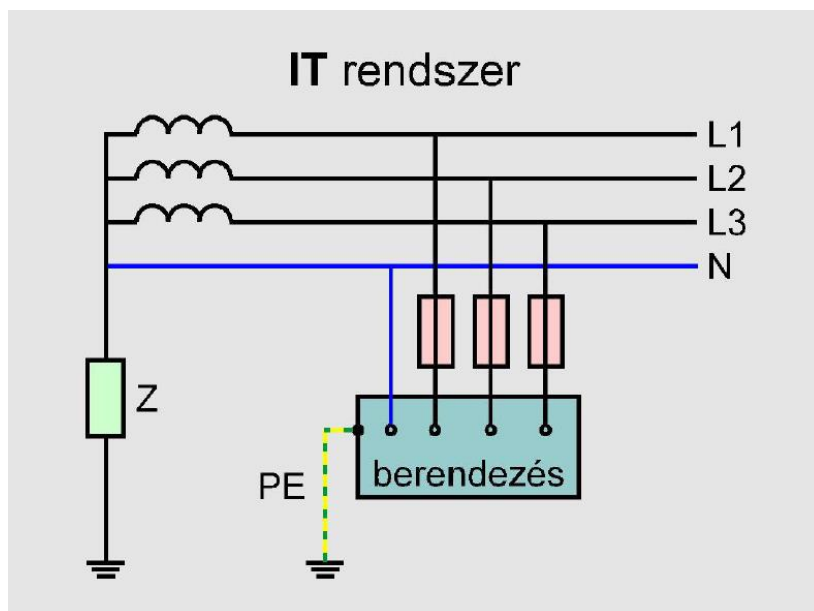
Ez a rendszer az első földzárlatra nem kapcsol ki. Zárlat esetén, a zárlati áram a földkapacitásokon keresztül záródik. A műtét nem állhat le, a cukor nem dermedhet a technológia során, a földzárlatot tartani kell, és a kezelőszemélyzetnek meg kell keresni a hibát.

Ebben a rendszerben az épületvillamossági berendezések összes teste PE vezetéken keresztül van összekötve a védőföldelével, míg a táptranszformátor csillagpontja:

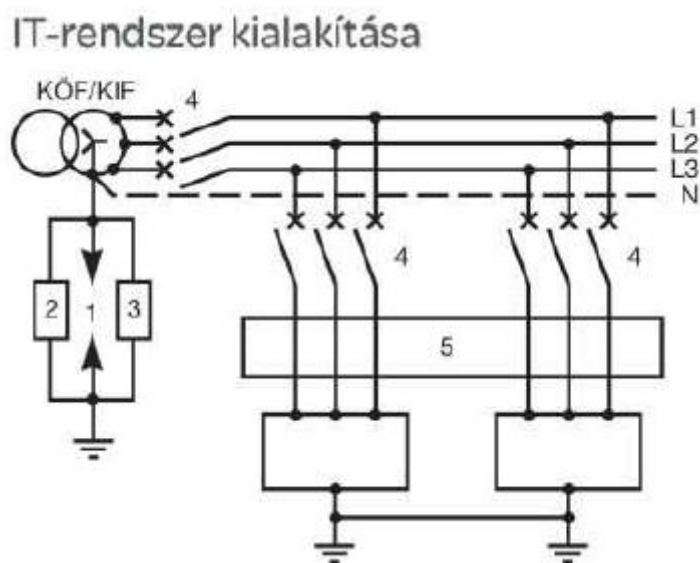
- vagy a földtől szigetelt;
- vagy nagy értékű ellenálláson keresztül (szokásosan 1000 ohm vagy még több 50 Hz-en) földelt.

Az IT-rendszerű földelés típus fő jellemvonása, hogy egy testzárlat fellépésekor a rendszer üzemszünet, azaz megszakítás nélkül folyamatosan működik.

Ha a tápláló hálózat nem közvetlenül, hanem I (igen nagy) impedancián keresztül földelt, vagy egyáltalán nem földelt, akkor ennek jele IT-rendszer. Az I betű a hálózati csillagpontba kötött impedanciát jelenti. A T betű itt az érintésvédelemmel ellátott testek védőföldelését jelenti. A hálózat földelésébe beiktatott impedancia nagy értéke miatt a szigetelési hibahelyen fellépő hibaáram kicsi, ennek megfelelően ilyen földzárlat esetén nem számolhatunk a túláramvédelem megszólalásával. A 9.14. és a 9.15. ábrák a közvetve földelt szemlélteti.



9.14. ábra: Közvetve földelt rendszer (IT)



9.15. ábra: Közvetve földelt rendszer (IT)

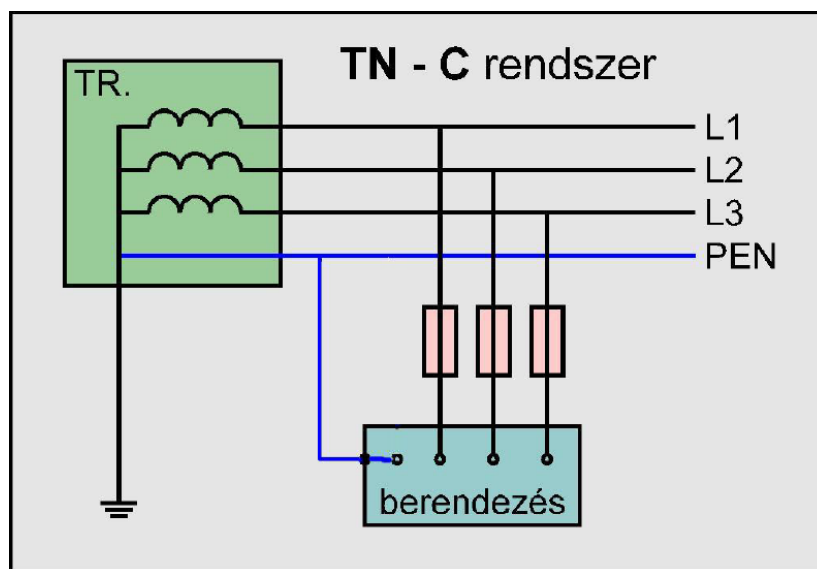
9.9.3. NULLÁZÁS (TN)

Ha a közvetlenül földelt közműhálózatot üzemeltető áramszolgáltató ehhez hozzájárul, akkor a nullavezetőt védővezetőként is szabad felhasználni, ez a nullázás, nemzetközi jelölése TN-rendszer. (Hazánkban az áramszolgáltatói hálózatok több mint, 90%-a nullázott). Ebben a kétbetűs jelölésben, a második betű a testhez kötött nullavezetőt jelöli. Elvben ennek három megoldása van.

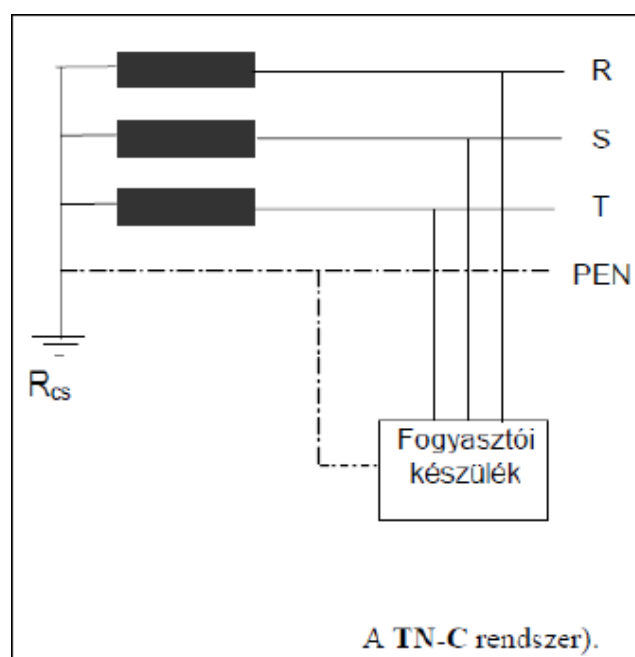
9.9.3.1. NULLÁVAL EGYESÍTETT VÉDŐVEZETŐ (TN-C RENDSZER)

Az első szerint, sehol sem építenek ki külön védővezetőt, az egyfázisú üzemi áramok vezetésére szolgáló nullavezetőt (jelölése **N=neutral**) kötik minden fogyasztó készülék testére. Ebben az esetben a rendszer jelölése **TN-C** (a **C=common** jelzi, hogy a védővezető és a nullavezető mindenütt közös). Ez a lehetőség bizonyos esetekben csupán elvi, mert 10 mm^2 -nél kisebb keresztmetszetű vezetékknél a közösítést, a közös vezető megszakadásának veszélye miatt, a szabvány tiltja. Azt a vezeték szakaszt, amely egyszerre tölti be a védővezető (**PE**) és az üzemi nullavezető (**N**) szerepét a két jelölés **PE** és **N** egybeírásával **PEN** vezetőknek (**nullával egyesített védővezető**) nevezik (9.16. és 9.17. ábra).

Ha a közvetlenül földelt közműhálózatot üzemeltető áramszolgáltató engedélyezi, hogy a nullavezetőt védővezetőként is fel szabad használni, akkor ez a nullázás, nemzetközi jelölése TN - rendszer. Ennek elvben három megoldása van. Az első szerint sehol sem építenek ki védővezetőt, TN-C rendszer. (C=common). PEN nullával egyesített védővezető.



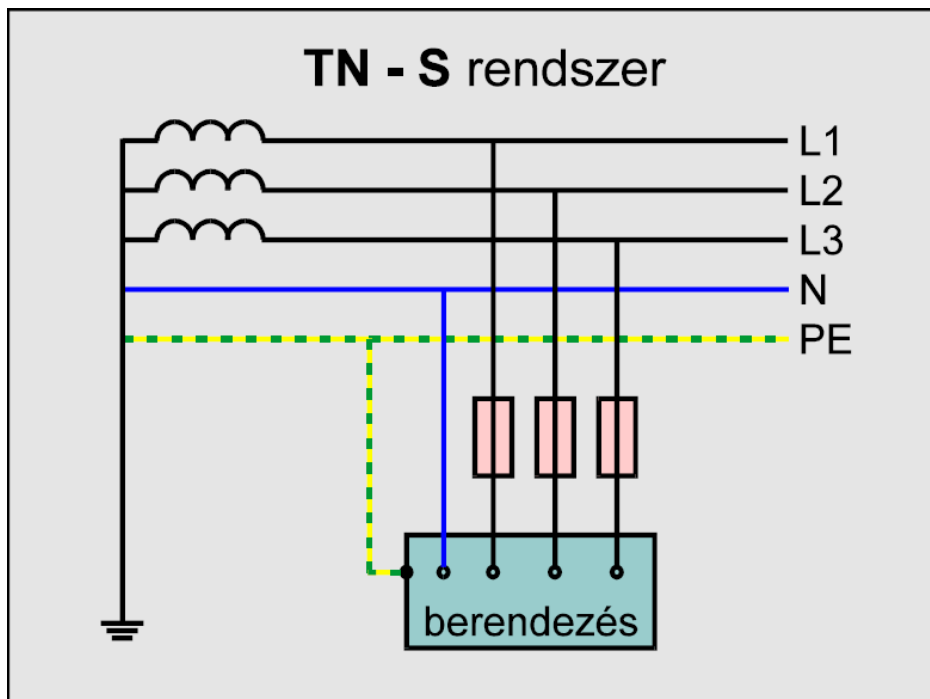
9.16. ábra: Nullával egyesített védővezető rendszer kialakítása (TN-C)



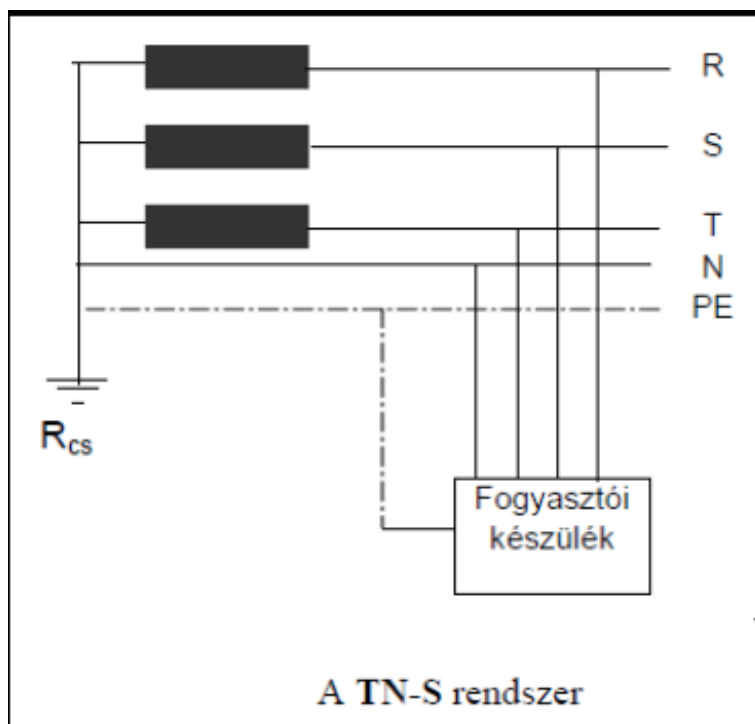
9.17. ábra: Nullával egyesített védővezető rendszer kialakítása (TN-C)

9.9.3.2. ELKÜLÖNÍTETT VÉDŐVEZETŐ (TN-S) RENDSZER

A második lehetőség az, hogy a védővezetőt mindjárt a tápláló transzformátortól kezdve külön választják az egyfázisú üzemi áramokat vezető nullavezetőtől. Ezt a megoldást **TN-S** (**S=separated**, elkülönített) betűcsoporttal jelölik. Ez a megoldás is kizárólag elvi jelentőségű, mert az áramszolgáltató sehol a világon nem vállalja, hogy az elosztóhálózatán kiépítse a védővezető céljára szolgáló ötödik vezetőt (9.18. és 9.19. ábra).



9.18. ábra: Elkülönített védővezetős rendszer kialakítása (TN-S)

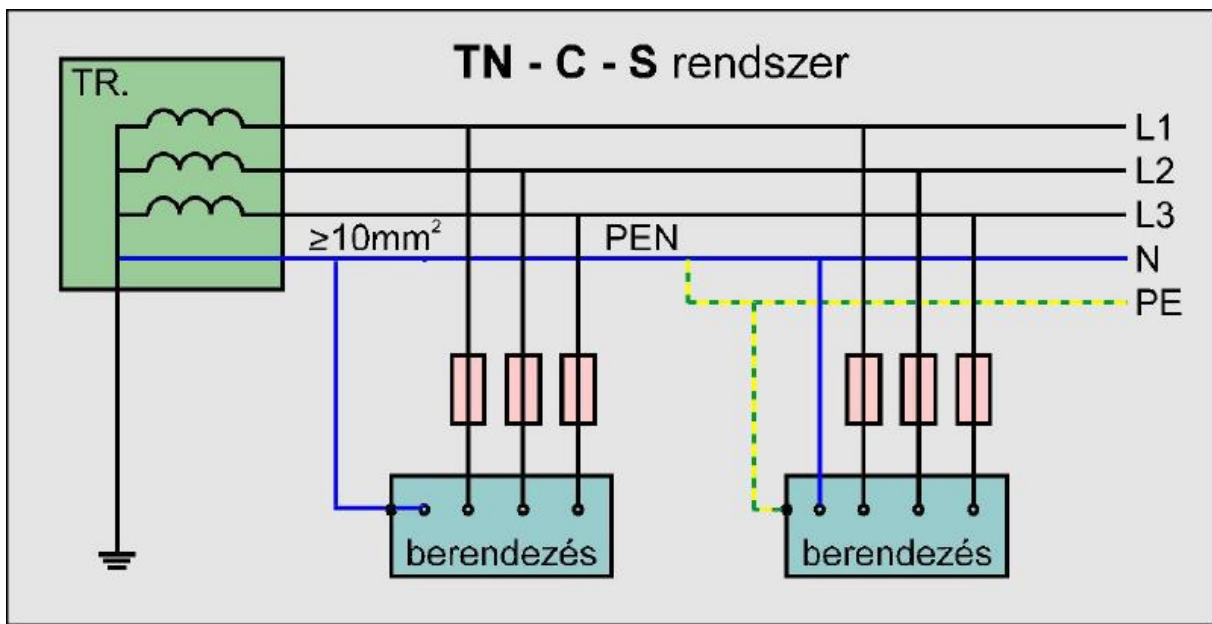


9.19. ábra: Elkülönített védővezetős rendszer kialakítása (TN-S)

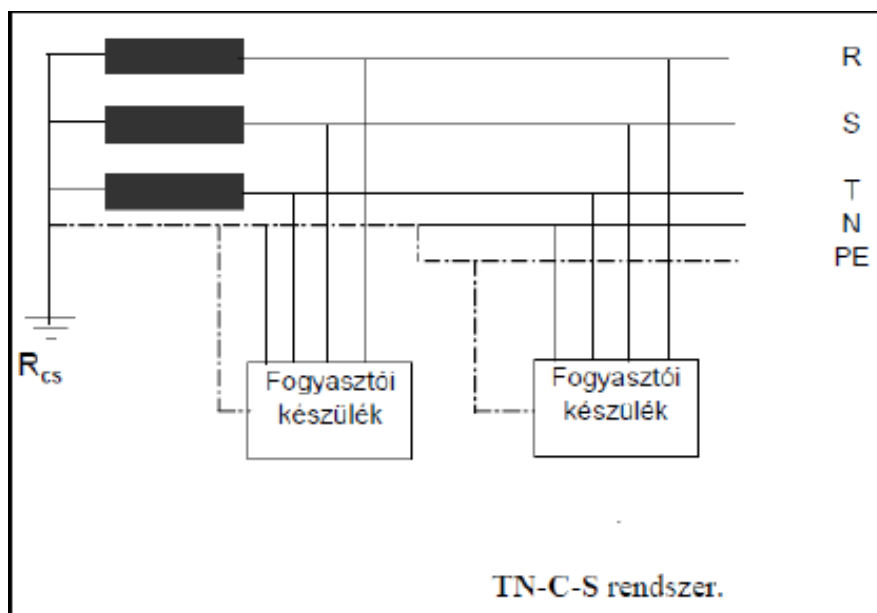
9.9.3.3. EGY DARABIG KÖZÖS PE N (TN-C-S RENDSZER)

A harmadik megoldás a leggyakoribb. Egy darabig közös az üzemi nullavezető és a védővezető (ez tehát a PEN vezető), majd egy ponton szétválnak. Ilyen megoldású rendszert TN-C-S betűcsoporttal jelölik. Azt, hogy a két vezető szétválasztása hol történjen (áramszolgáltatói csatlakozópontnál, az épületbe való becsatlakozásnál, a fogyasztásmérőnél, vagy csupán a 10 mm²-nél kisebb keresztmetszetű vezetékek csatlakozásánál) a helyi viszonyok és körülmények döntenek el. A szétválasztott szakaszon a védővezetőt (PE) nullázóvezetőnek nevezik.

A harmadik megoldás a gyakorlatban legtöbbször alkalmazott. Ennél egy darabig az üzemi nullavezető és a védővezető, majd egy ponton szétválnak. Az ilyen megoldást TN-C-S betűcsoporttal jelölik (9.20. és 9.21. ábrák).



9.20. ábra: Egy darabig közös védővezető rendszer kialakítása (TN-C-S)



9.21. ábra: Egy darabig közös védővezető rendszer kialakítása (TN-C-S)

A legnagyobb kapcsolási időket a 9.22. ábra szemlélteti.

| U_0 [V] | Lekapcsolási idő [s] |
|------------|----------------------|
| 230 | 0,4 |
| 400 | 0,2 |
| 400 felett | 0,1 |

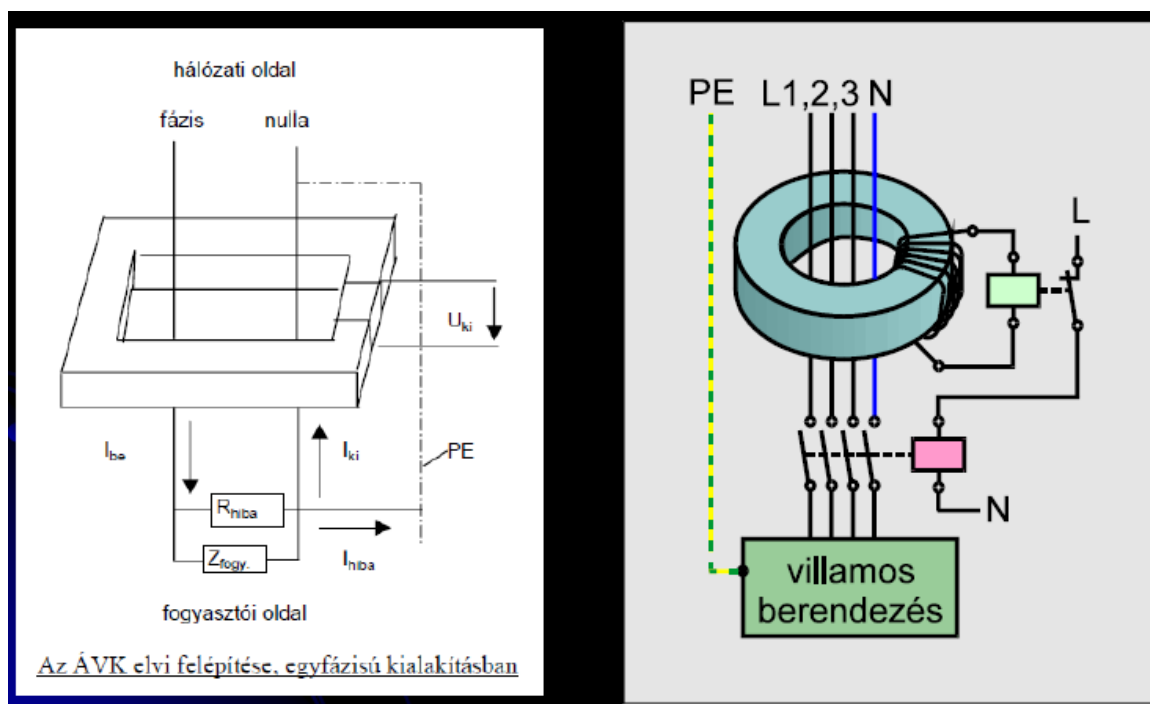
9.22. ábra: Legnagyobb kapcsolási idők TN rendszerben

TN rendszer hátrányai:

- zárlat esetén a nullavezetőbe bekötött összes készülék feszültség alá kerül a kioldásig;
- szakadás esetén teljesen hatástalan a védelem;
- nullavezető és a fázisvezető összecserélése.

9.9.4. ÁRAMVÉDŐ KAPCSOLÁS ÉS FI-RELÉ

Az áram-védőkapcsolás kifejezetten csak érintésvédelmi megoldás. Lényege, hogy a védett áramkör valamennyi üzemi áramot vivő vezetőjét egy közös különbozeti áramváltó „ablakán” vezetik át, míg a védővezetőt ezt megkerülve építik ki. Minden áramot vezető körül mágnes tér alakul ki. Ha a fogyasztóhoz menő és onnan visszajövő üzemi áramok összege zérus, vagyis testzárlat mentes állapotban, a különbozeti áramváltó ablakában nem lesz gerjesztés, a vasmagban nem keletkezik fluxus, az áramváltó kioldó tekercsében áram nem fog folyni. Ha viszont az áramvédő-kapcsolóval védett fogyasztói hálózaton testzárlat lép fel, akkor ennek árama a védővezetőn záródik, mely nem haladhat át a különbozeti áramváltó ablakán, így az ott a befolyó és kifolyó áramok összege nem lesz zérus, az áramváltó áttételének megfelelő nagyságú áram, ha meghaladja az áramvédőkapcsoló névleges különbozeti áramát, meghúzza és kikapcsol. A 9.23. ábra az áramvédő kapcsolás (ÁVK) működését szemlélteti.



9.23. ábra: Áramvédő kapcsolás elvi felépítése és működése

Fi-relében egy áramváltó van, melynek vasmagján vezetjük át a beérkező fázisvezetőt, és az üzemi nulla vezetőt. Az áramkörben az átfolyó áramok pillanatnyi értékének összege nulla, gerjesztés ilyenkor nincs. Testzárlat esetén az eddigi egyensúly megbomlik. A megzavart áram-egyensúly gerjeszti az áramváltó szekunder tekercsét. A szekunder tekercs egy relét táplál. Zár-
lat esetén a tekercs szekunder oldalán a hibaárammal arányos áram folyik, mely működésbe hozza a relét. A lekapcsolásnak 0,2 másodpercen belül meg kell történnie. Háromfázisú rendszerbe háromfázisú ÁVK építendő be.

Áramvédő kapcsolás a nullázott hálózaton is alkalmazható, de csak azokon a szakaszokon, ahol az üzemi vezető és a nullavezető már szét van választva (tehát a PEN vezetők szakaszán nem!). **Az áramvédő kapcsoló** önmagában nem érintésvédelmi eszköz, nem is túláram védelmi eszköz, hanem a kialakított érintésvédelem kioldó, lekapcsolás eszköze.

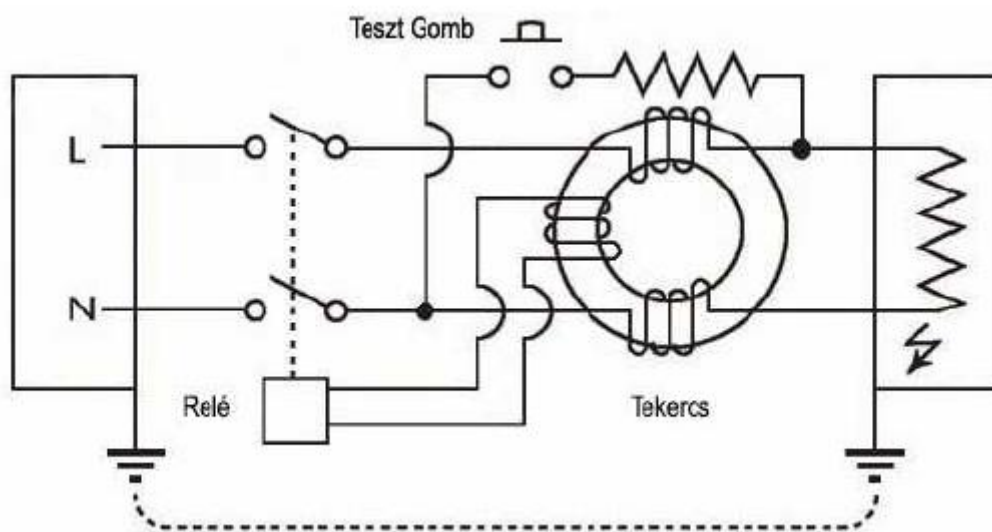
FI relé vagy más néven *érintésvédelmi relé*, (de *ÉV-relé* és *életvédelmi relé* néven is ismert) egy elektromos felügyeleti eszköz, amely lekapcsolja a hálózatot, amennyiben szivárgó áramot észlel. Ilyen eset például akkor fordulhat elő, ha véletlenül megérintjük a hálózat feszültség alatt álló részeit. A készülék a tényleges áramütés kialakulása előtt lekapcsol.

Működése azon a rendkívül egyszerű elven alapul, hogy – normális világítási hálózatot feltételezve – a fázisvezetékben érkező áram a fogyasztón (pl. vasaló, izzólámpa, stb.) át a null-
vezetőben záródik. Amennyiben a bejövő áram különbözik az elfolyó áramtól, akkor valahol szivárgás van, például megérintettük a vezetéket vagy a feszültség alatt álló fémrészt így az áram egy része nem a fogyasztón, illetve a hálózat figyelt részén át távozik. Tehát az érintésvéd-
elmi relé a vezetékekben kialakult fogyasztási aszimmetriát érzékeli. Amennyiben az a készülékre jellemző küszöbértéket meghaladja, a benne lévő elektronika bontja a hálózatot.

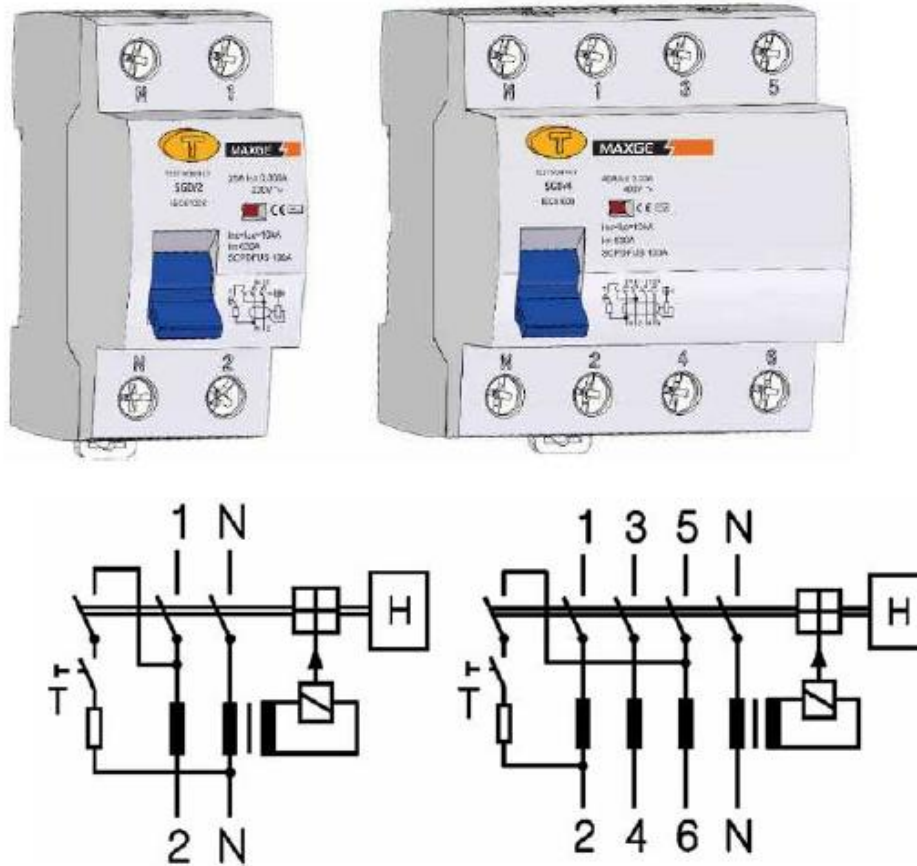
Lényeges különbség a normál olvadóbiztosító, kismegszakító és az érintésvédelmi relé között az, hogy az érintésvédelmi relé az olvadóbiztosító áramának 0,001-ed részénél kisebb áram hatására is működésbe lép. Például amíg egy átlagos biztosító 6 A áramerősség esetén lép működésbe, addig az életvédelmi relé 30 mA-nál 25-40 ms alatt működésbe lép.

Hangsúlyozni szükséges, hogy rövidzár és túlmelegedés ellen az érintésvédelmi relé semmilyen védelmet nem ad, hiszen akkor a visszatérő áramban is ugyanakkora áram folyik.

A FI-relé felépítését és működését a 9.24. és a 9.25. ábra szemlélteti.



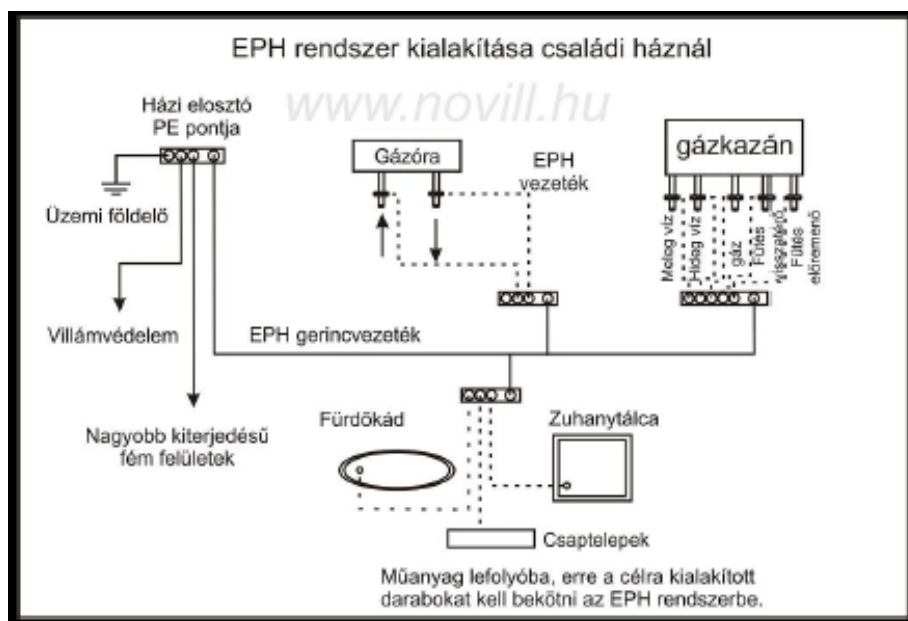
9.24. ábra: FI-relé elvi felépítése és működése



9.25. ábra: FI-relé felépítése és működése

9.9.5. EGYENPOTENCIÁLRA HOZÓ HÁLÓZAT

Lényege az, hogy egy külön erre a célra kialakított vezetőhálózat segítségével fémesen össze kell kötni a villamos fővezeték érintésvédelmi védővezetőjét, az épülethez kiépített fő földelővezetőt vagy fő földelőkapcsot, az épületben lévő fémes közüzemi csővezetéket, a szerkezeti fémrészeket, a központi fűtést és a légkondicionáló rendszereket, valamint a vasbeton épület-szerkezetek fő fémrészeit (9.26. ábra).



9.26. ábra: Egyenpotenciálra hozó hálózat kialakítása

9.10. VÉDŐVEZETŐ NÉLKÜLI ÉRINTÉSVÉDELMI MÓDOK

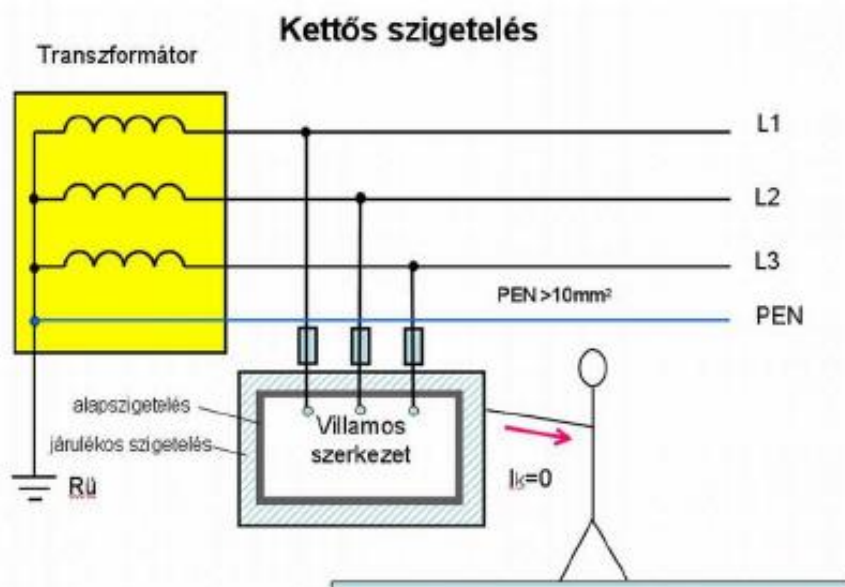
9.10.1. VILLAMOS SZERKEZET ELSZIGETELÉSE

A kettős szigetelésű készülékek az üzemi szigetelésen kívül gyárilag el vannak látva egy olyan plusz szigeteléssel, mely megakadályozza azt, hogy az üzemi szigetelés hibája esetén a kezelő által érinthető fém részek feszültség alá kerüljenek. Ilyen készülékek a villamos kéziszerszámok (pl. kézi fűrógép), illetve a háztartási készülékek. (porszívó, konyhai kisgépek, borotva, stb.) Fontos megjegyezni, hogy itt nincs védővezető, és tilos a készülék fém testét védővezetővel összekötni.

Minden 25V-nál nagyobb névleges feszültségű villamos szerkezetnek van alapszigetelése. Ez az a szigetelés, amely a szerkezet aktív részei és teste között van, s ez védi meg a szerkezet kezelőjét attól, hogy a rendes használat közben áramütést kapjon.

Éppen e szigetelés meghibásodása következtében felléphető balesetek elhárítására alkalmasak a közvetett érintés elleni védelmi módok. Ezek egyik módja az, hogy az alapszigetelést még egy kiegészítő szigeteléssel veszik körül.

Ha az alapszigetelés és a kiegészítő szigetelés között fémrész van, akkor a két szigetelés épsége szigetelésmérése külön vizsgálható, ezt az elrendezést ezért kettős szigetelésnek nevezik (9.27. ábra).



9.27. ábra: Villamos szerkezet elszigetelése

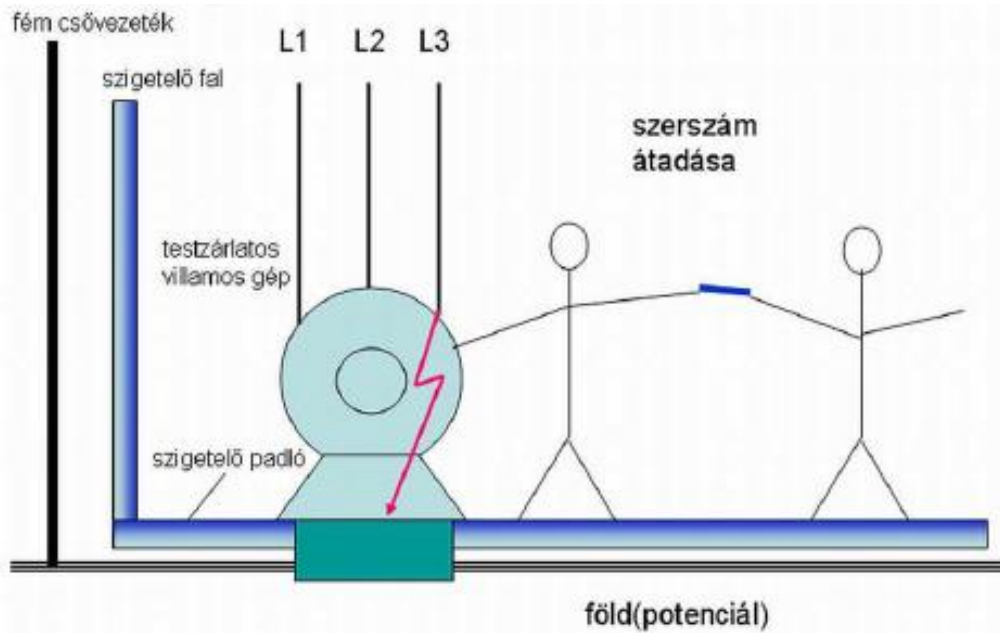
9.10.2. KÖRNYEZET ELSZIGETELÉSE

Olyan érintésvédelmi megoldás, amely a villamos szerkezet testét érinthető személyeket szigeteli el a környezetben lévő földpotenciálú (vezető) részekről (9.28. ábra).

Tehát nem csak a berendezés testének közelében lévő talajt, hanem a testtel együtt érinthető minden földeltnek tekinthető fémszerkezetet is el kell szigetelni a személyektől. E szigetelésnek homogénnek, és legalább 50 kohm-nak kell lennie.

Lényege, hogy nem a villamos szerkezetet, hanem a veszélyeztetett kezelőt szigetelik el a földpotenciáltól. A villamos szerkezet közelében lévő padlónak és falaknak is jó szigetelőképességűnek kell lenniük.

A környezet elszigetelési érintésvédelmi módot elsősorban a TT-rendszerű hálózatokról táplált ipari berendezések főelosztóinak érintésvédelmére alkalmazzák.

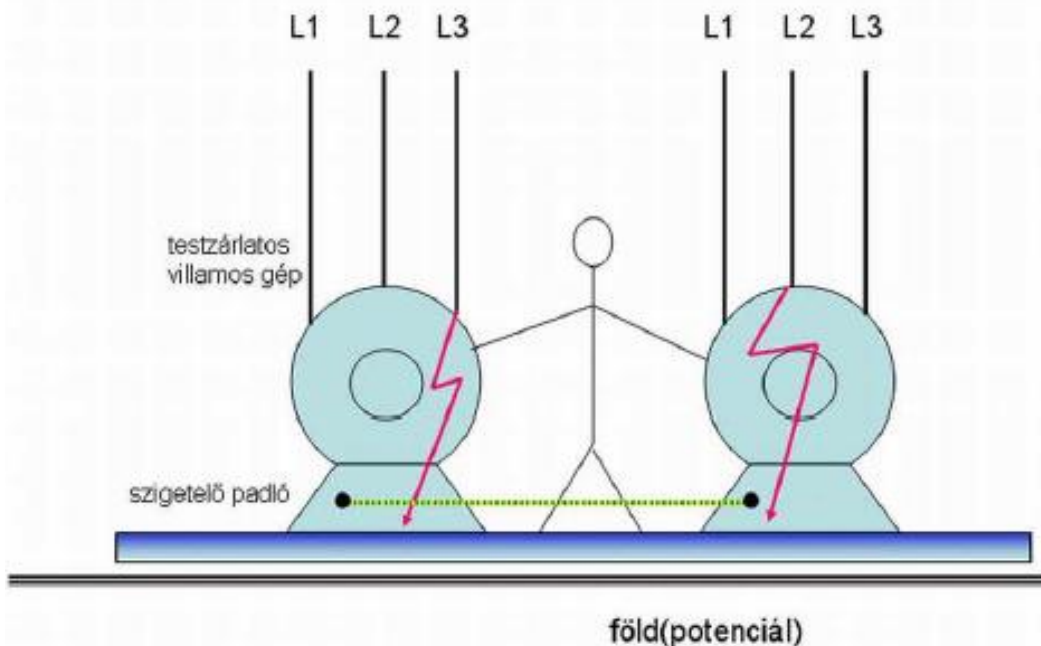


9.28. ábra: Környezet elszigetelése

9.10.3. FÖLDELETLEN EGYENPOTENCIÁLRA HOZÁS

Olyan esetekben alkalmazzák, ahol pl. két, egyidejűleg érinthető fémtestű készülék van, de a földpotenciál jelenléte kifejezetten veszélyes, ezért nem lehet pl. a nullázást alkalmazni. A fémtestű készülékeket egy EPH (egyenpotenciálra hozó) vezetővel összekötjük, és a készülékeket védőelválasztó transzformátorról tápláljuk. Így, ha valaki a két gépet együtt érinti, nem hidal át potenciál-különbséget. Nagyon ritkán alkalmazott módszer.

Lényege, hogy minden egyidejűen érinthető testet és idegen vezetőképes részt egymással földeletlen egyenpotenciálra hozó vezetéken át összekötnék. Fontos megkötés, hogy ez az egyenpotenciálra hozó vezető a testeken és az idegen vezetőképes részeken keresztül sem földelődhet (9.29. ábra).

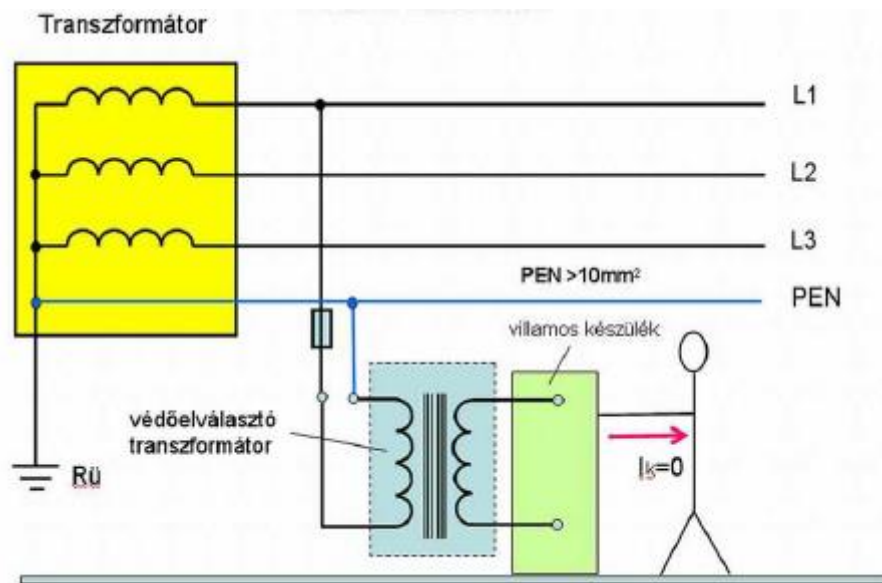


9.29. ábra: Földeletlen egyenpotenciálra hozás

9.10.4. VÉDŐELVÁLASZTÁS

A villamos berendezések olyan érintésvédelmi megoldása, amelynél a villamos táplálást a földtől elszigetelt rendszerről oldják meg. Fontos, hogy a rendszerről csak egyetlen fogyasztó táplálható. Amennyiben a fogyasztó testzártossá válik, a földfüggetlenség és a tápláló áramforrás szigetelése megakadályozza a zárlati áramkör kialakulását, illetve az áramütéses balesetet. A védőelválasztás táplálására leggyakrabban transzformátort használunk.

Lényege, hogy az ezzel védett villamos szerkezetet nagy biztonságú elválasztó transzformátoron keresztül földeletlen rendszerrel táplálják. Ez a táplálás annyiban különbözik a korábban említett IT-rendszertől, hogy olyan rövid vezetékrendszeren keresztül táplálnak, amelynek a földhöz viszonyított kapacitása elhanyagolható. Ennek következtében még a fázisvezető közvetlen érintése is veszélytelen (9.30. ábra).



9.30. ábra: Védőelválasztás

9.10.5. ÉRINTÉSVÉDELMI TÖRPEFESZÜLTÉG

Az érintésvédelmi törpefeszültség olyan, 50V váltakozó vagy 120V egyenfeszültségnél kisebb feszültségű hálózat, ahol a nagyobb feszültség rendszerbe kerülése meg van akadályozva. PI: biztonsági transzformátorral táplálják, kisfeszültségű vezeték mellett megerősített szigetelésű vezeték alkalmaznak.

További szabályok:

- A védőelválasztó transzformátor 1:1 áttételű, csak egy készüléket táplálhat!
- A transzformátor szekunder oldalát földelni tilos!
- A transzformátor feleljen meg az MSZ 9229, vagy az MSZ EN 61742 követelményeinek. (biztonsági transzformátor)
- névleges feszültsége maximum 500 V lehet;
- hajlékony csatlakozóvezetékei teljes hosszukon szemmel ellenőrizhető
- elhelyezésük, a környezeti igénybevételnek ellenálló tömlővezetékek legyenek;
- vezetékeit a többi áramkörtől elkülönítetten (más nyomvonalon, más védőcsőben)
- kell vezetni;
- fogyasztó berendezéseink testét sem védővezetővel, sem más áramkörtől táplált
- villamos szerkezet testével nem szabad összekötni;

A védőelválasztott fogyasztó táplálható még:

- olyan átalakítókról (például motorgenerátor gépcsoportról), amelynek a táplálólátozattal való szigetelése megoldott;
- a villamos hálózattól és a földtől teljesen független áramforrásokról.

9.11. ERŐSÁRAMÚ VILLAMOS BERENDEZÉSEK ÜZEMELTETÉSI SZABÁLYZATA

Szakképzett személy: az, akinek az üzemi munkák szakképzettséghez kötött tevékenység-végzésére, az illetékes szerv által igazolt erősáramú villamos képesítése van.

Kioktatott személy: az, aki meghatározott villamos berendezés használatára, kezelésére és szerelési részmunka elvégzésére és a szükséges védőintézkedésekre kioktatást nyert.

Helyismereti vizsga: a vállalat hatáskörében szervezett, helyismereti követelményeket is tartalmazó, a vizsga fokozatától függő feladatok ellátására képesít.

Feszültségmentes: az az erősáramú villamos berendezés, amelynek kapcsolata bármely lehetséges energiaforrással meg van szakítva.

Feszültség alatt álló: az az erősáramú villamos berendezés, amelyen a szabványban meghatározott feszültségmentesítési előírásokat nem hajtották végre.

Feszültség alatt álló berendezésen végzett munka: az a munka, amelynek során a dolgozónak akár testével közvetlenül, akár szigetelt vagy szigeteletlen szerszámával, illetve a munkadarabbal meg kell érintenie vagy meg kell fognia egy feszültség alatt álló vezetőt.

Feszültség közelében végzett munka: az a munka, amelynek során a munkát végző személy a berendezés feszültségmentesített részén dolgozik ugyan, de megérinthető közelségben feszültség alatt álló berendezésrészek is vannak.

Feszültség alá helyezés: az a kapcsolási művelet, amelynek során az erősáramú villamos berendezés vagy annak része a táphálózattal vezetői vagy indukciós kapcsolatba kerül.

Üzembe helyezés: az a meghatározott művelet sor, amely során az új erősáramú villamos berendezés vagy berendezési rész elkészülését követően kerül üzemi használatra.

Üzemi próba: az első üzembe helyezést megelőző, ill. egy már üzemben lévő erősáramú berendezésen később szükségessé váló olyan kapcsolási műveletek együttese, amelyek feszültség alá helyezéssel járnak, de nem céljuk a berendezés üzembe helyezése, hanem csupán a ki-próbálása.

Próbaüzem: a villamos berendezés feszültség alá helyezése után a berendezés feladatszerű működtetése.

A feszültségmentesítés a következő, fel nem cserélhető sorrendű művelet sor elvégzését jelenti:

1. A feszültségmentesítendő rész kikapcsolása, leválasztása.
2. A visszakapcsolás megakadályozása, letiltása.
3. A feszültségmentesség ellenőrzése.
4. A visszamaradt töltések kisütése, földelés- rövidrezárás.
5. A feszültségmentesített rész körülhatárolása.

ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK A 9. FEJEZETHEZ

1. Milyen hatásai vannak az emberre az áramütésnek?
2. Mikor beszélhetünk áramütésről?
3. Mi a teendő, ha valakit áramütés ér?
4. Mi a FI-relé?
5. Vázolja és értelmezze a TT rendszert!
6. Vázolja és értelmezze a TN rendszert!
7. Vázolja és értelmezze a TN-C rendszert!
8. Vázolja és értelmezze a TN-S rendszert!
9. Vázolja és értelmezze a TN-C-S rendszert!
10. Vázolja és értelmezze az IT rendszert!
11. Hogyan működik az áram-védőkapcsolás?
12. Mi az egyenpotenciálra hozás?
13. Mi az érintésvédelmi törpefeszültség?
14. Mit jelent a védőleválasztás?
15. Mit fogalmaz meg a kettős szigetelés?
16. Mit jelent a környezet elszigetelése?
17. Mi a védőföldelés?
18. Definiálja a három érintésvédelmi osztályt!
19. Mit takar az IP védettség?
20. Mennyi az emberi test ellenállása a gyakorlati modell szerint?
21. Definiálja az aktív érintésvédelmi módot!
22. Definiálja az aktív érintésvédelmi módot!
23. Mi a rúdföldelés?
24. Mi az alapföld?
25. Mi az üzemi földelés?
26. Ismertesse a feszültségmentesítés lépéseit!
27. Mi a szalagföldelő?

10. VILLÁMVÉDELMI ALAPOK

Villámvédelem során a villamos rendszert olyan védelmi berendezésekkel, eszközökkel, megoldásokkal látjuk el, amik megakadályozzák/mérsékelik a villámcsapás okozta károkat. A villámvédelmet Magyarországon az MSZ EN 62305 szabvány szabályozza. A villámvédelemnek több fokozata van. A külső, vagy elsődleges villámvédelem az épület tetőszerkezetét védi villámhárító segítségével.

A villámhárító egy az épület legmagasabb pontján elhelyezett vezető, amely közvetlen galvanikus kapcsolatban áll a földdel egy földelő szonda segítségével. A külső villámvédelem feladata tehát az, hogy közvetlen villámcsapás esetén a villámbeccsapási talppontot károkozás mentesen a villámhárító felfogóján (a villámhárító csúcsa) képezze és a villámáramot, megfelelő keresztmetszetű és villamosan jól vezető áramúton (felfogó >>> levezető >>> földelő) biztonságosan levezesse a földbe. A levezető a villámhárítónak az a része, amelyik a felfogót – megfelelő vezető keresztmetszettel – összeköti a villámhárító földelővel.

A villámhárító földelő-berendezés a villámhárítónak az a része, amely vagy közvetlenül, vagy betonba ágyazott vezetéként érintkezik a talajjal és a villámáramot levezeti a földbe.

A villámvédelmi földelőt és az érintésvédelmi földelőt szabvány szerint az EPH (EgyenPotenciálra Hozó) főcsomópontban össze kell kötni egymással. A földelő ellenállásának rendszeres ellenőrző mérése céljából külön mérő-csatlakozó helyeket kell kialakítani.

Évente kb. 350 000 villám csap le Magyarországon!

A villámhárító azonban nem véd a villám másodlagos hatásaitól. Amennyiben villamos vezeték van az épület közelében (szabványos hálózat, telefon, internet, stb.), ezeken keresztül a villámcsapás okozta túlfeszültség egy része bejuthat a villamos hálózatba. Az otthonokban kiépített szokásos védelmek csak a túláram ellen védenek (kismegszakító), vagy érintésvédelmi feladatokat látnak el (fi-relé). Eszközeink védelme érdekében a villámhárító mellett többlépcsős túlfeszültségvédelmet is alkalmaznunk kell. A belső villámvédelem az LPZ (Lightning Protecting Zone) 0/1 zónahatáron létesített villámáram-levezetőképes potenciálkiegyenlítő összecsatolások hézagmentes rendszere. Feladata a villámáram behatolásának megakadályozása a külső villámvédelem által védett térrészekbe.

A villámcsapás jellemzői:

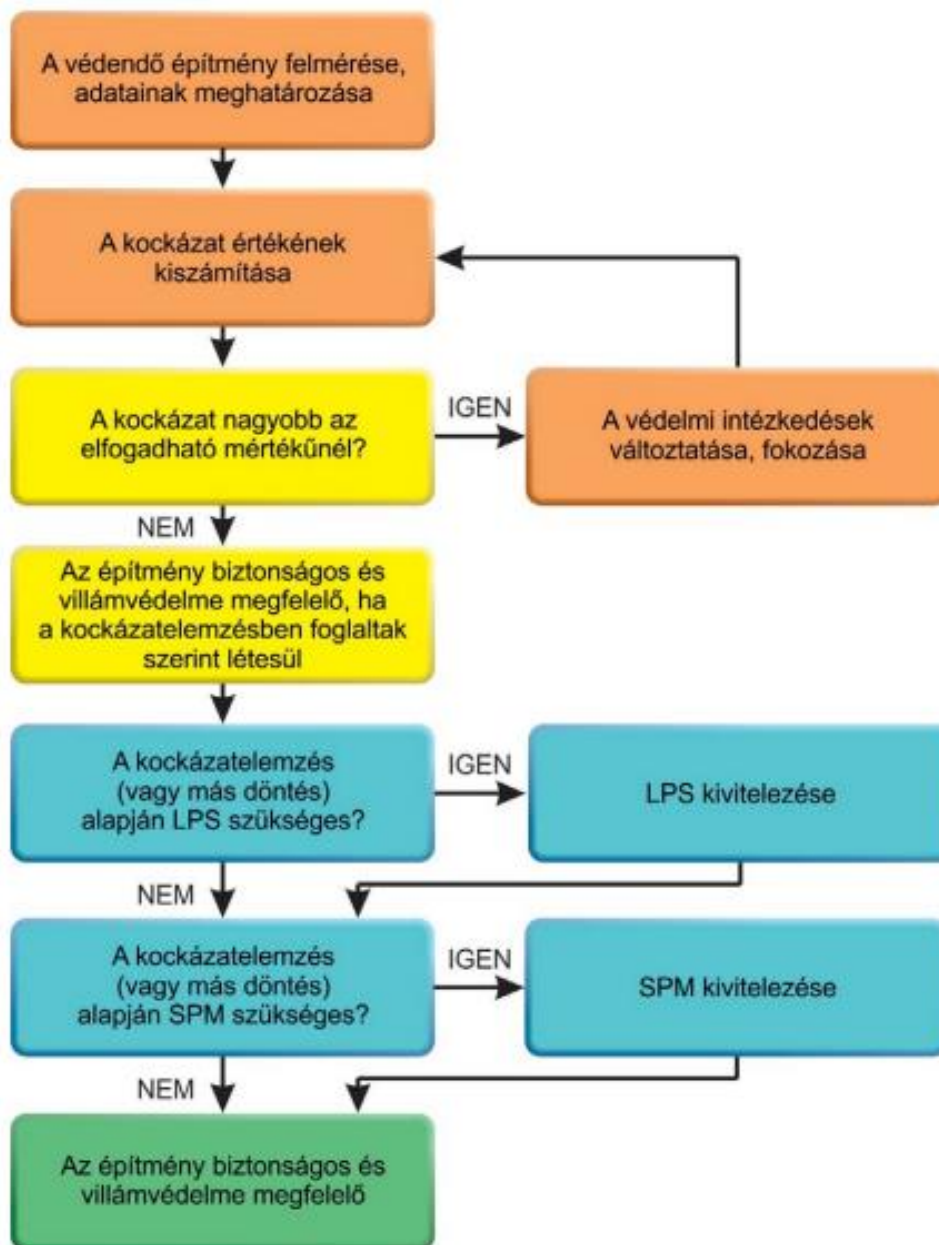
- Feszültsége: kb. 2-300 millió volt (egyenáram).
- Áramerősség: 20.000 - 30.000 A, de nem ritka a 100.000 - 200.000 Amper áramerősségű villám sem ritka.
- A behatás ideje: 0.0001-0.003 s
- Hőmérséklet: > 10.000 C.
- Nyomás: több 10 000 kPa a villámcsatornában.
- A kisülés átmérője: kb. 1 cm
- Áramelfolyás általában a testfelületen a földbe.

A villámvédelem célja: a károsodások, illetve az ebből eredő veszteségek bekövetkezésének akadályozása.

Villám hatásai:

- romboló hatás,
- gyújtó hatás,
- embert érő villámcsapás = súlyos villamos áramütés.

A villámvédelmi kockázatelemzés folyamatát a *10.1. ábra* szemlélteti.

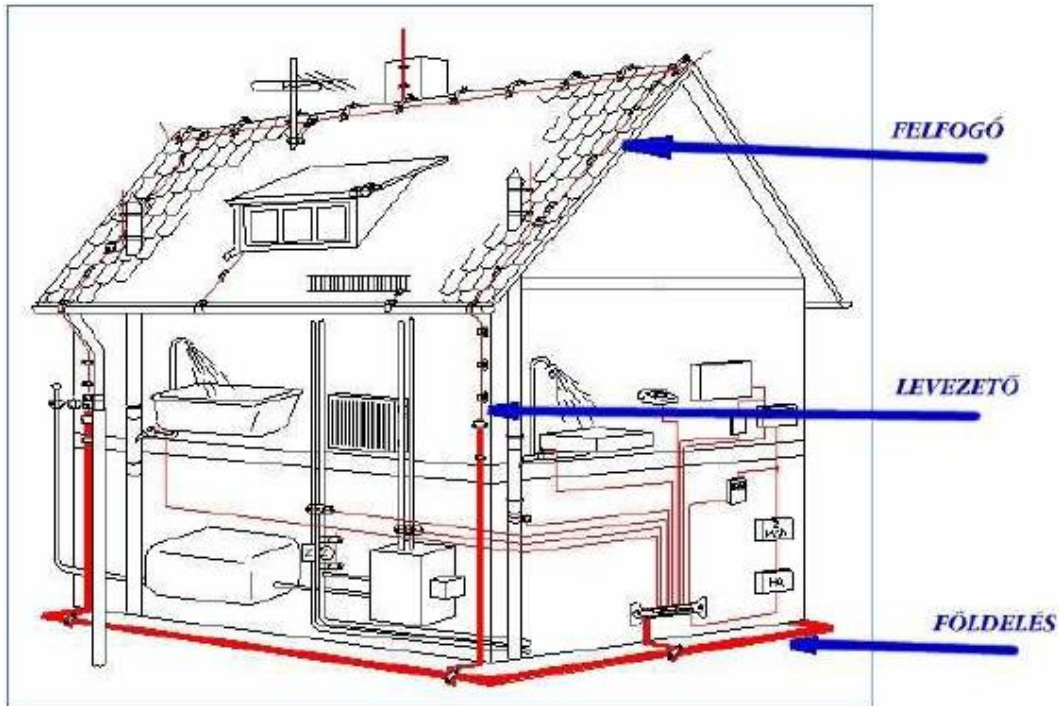


10.1. ábra: Villámvédelmi kockázatelemzés folyamat

A 10.2. ábra szemlélteti a felfogó és a levezető épületen történő elhelyezését. Ha a **tető nem éghető anyagú**, akkor a felfogók közvetlenül annak felületén elhelyezhetők. Ha a **tető éghető anyagú**, akkor a felfogó és a tető közötti távolság megállapításánál a tető anyagára tekintettel kell lenni. Nádfedés esetén ez **0,15 m**, más anyagok esetén **0,1 m** megfelelő.

Ha a **falazat nem éghető anyagú**, akkor a levezetők közvetlenül **annak felületén elhelyezhetők**. Ha a **falazat éghető anyagú**, akkor a levezetők közvetlenül **annak felületén elhelyezhetők**, feltéve, hogy a villámáram hatására bekövetkező hőmérsékletemelkedésük a falazat anyagára való tekintettel nem veszélyes. Ha a **falazat éghető anyagú és a levezetők hőmérsékletemelkedése veszélyes mértékű**, akkor a levezetőt úgy kell elhelyezni falazaton, hogy távolsága legalább **0,1 m** legyen. A tartószerkezet közvetlen érintkezésben lehet a fallal. Ha a **levezető távolságtartása az éghető anyagtól nem biztosítható**, a vezető keresztmetszete ne legyen kisebb **100 mm²-nél**.

A földelő-rendszer a szabvány követelménye a talaj ellenállásának függvényében megadott hosszúságra vonatkozik. Ajánlás, hogy a földelési ellenállás értéke ne legyen nagyobb, mint **10 ohm**. Villámvédelem szempontjából létesítményenként egy **közös földelő-rendszer** alkalmas minden feladat (villámvédelmi, érintésvédelmi, technikai földelés) ellátására, a földelés ilyen formában történő megvalósítását előnyben kell részesíteni. Földelő-szondás és gyűrűs/hálós földelési elrendezés alkalmazható



10.2. ábra: Felfogó és levezető elhelyezése az épületen

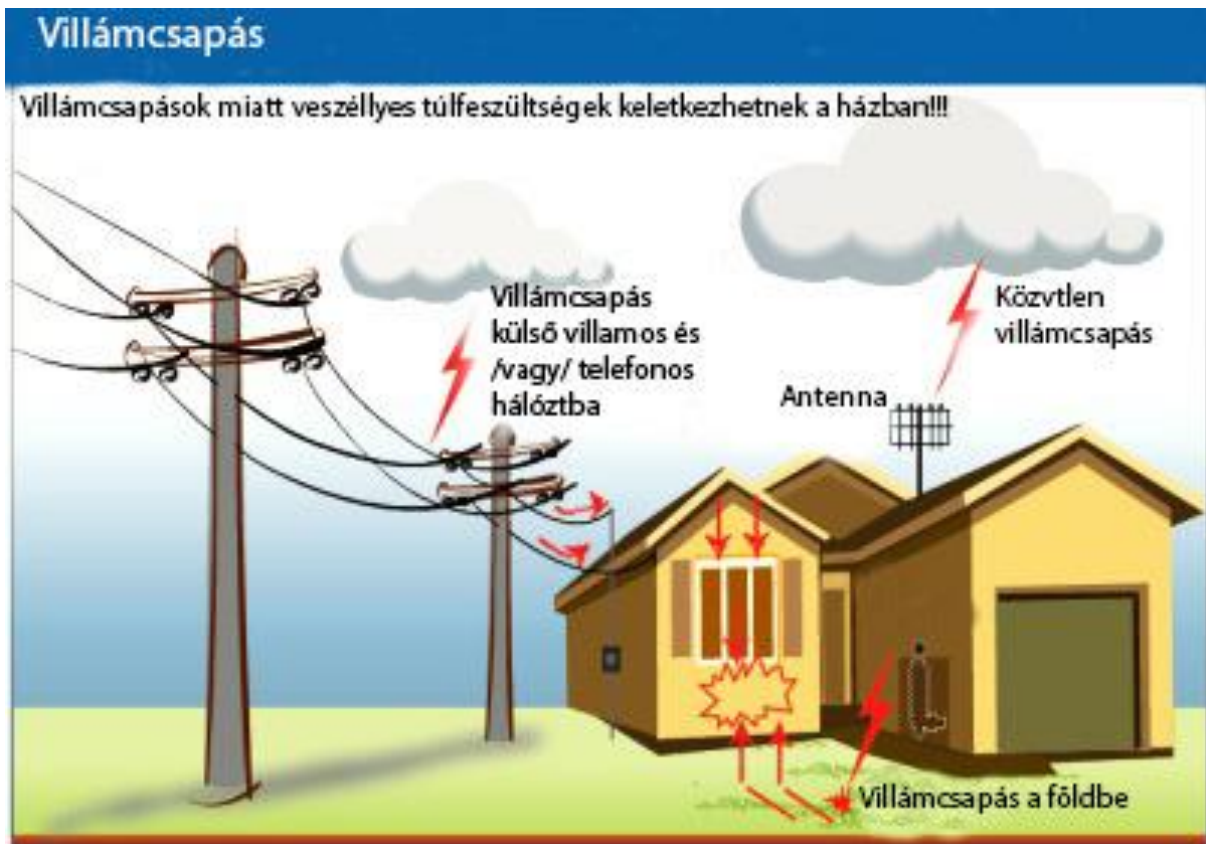
Villámvédelmi berendezések kialakítását befolyásolja:

- az épület rendeltetése „R”;
- az épület magassága „M”;
- tetőzet anyaga „T”;
- körítőfalak anyaga „K”;
- másodlagos hatások következményei „H”.

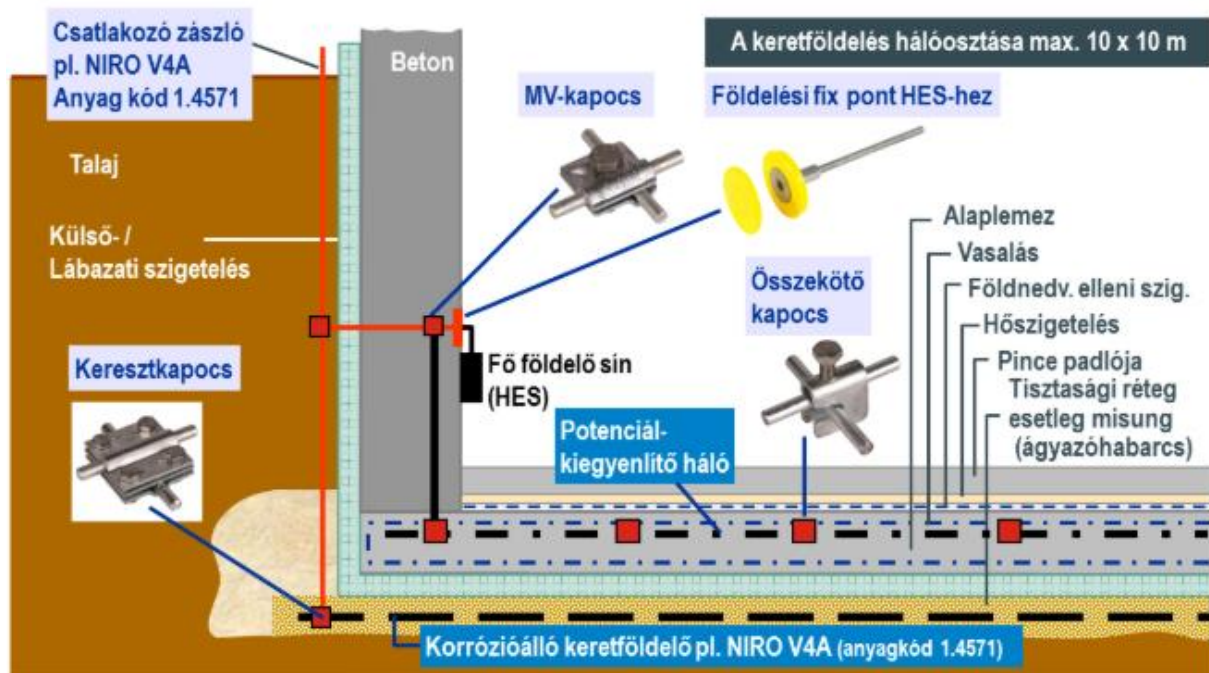
Az épületeket és egyéb építményeket villámvédelmi szempontból a **villámhárító berendezés szükséges fokozatának és tűzvédelmi műszaki követelményeinek meghatározásához** csoportokba kell sorolni az alábbiak szerint:

- az épületek és egyéb építmények rendeltetése (R1 – R5),
 - R1 – állattartó épületek
 - R5 – katasztrófával fenyegetett épület
- az épületek és egyéb építmények magassága és környezete (M1 – M4),
 - M1 – épületmagasság ≤ 20 m (magas környezet)
 - M2 – épületmagasság ≥ 35 m (becsapási veszélyt fokozó környezet)
- az épületek és egyéb építmények tető szerkezete és anyaga (A1 - A2),
- az épületek és egyéb építmények körítő falainak anyaga (K1 – K3),
- a másodlagos hatások következménye (H1 – H3),
 - H1 – kisülés vagy túlfeszültség nem okoz károsodást
 - H3 – kisülés vagy túlfeszültség sérülést okozhat

A 10.3. ábra egy esetleges villámcsapás hatásait, a 10.4. ábra pedig a villámhárító rendszer földelését szemlélteti. A 10.5. ábra rövid összefoglalást ad a villámvédelemeről.



10.3. ábra: Villámcsapás hatásai



10.4. ábra: Villámhárító-rendszer bekötése a földelőhálózatba



10.5. ábra: Összefoglalás a villámvédelméről

ELLENŐRZŐ KÉRDÉSEK A 10. FEJEZETHEZ

1. Mi a villámvédelem célja?
2. Mik a villám jellemzői?
3. Milyen hatásai vannak a villámcsapásnak?
4. Mit jelent a külső, vagy elsődleges villámvédelem?
5. Milyen tényezők befolyásolják a villámvédelmi berendezések kialakítását?
6. Mi a villámhárító-földelő?
7. Mi a villám-felfogó?
8. Mi a villámvédelmi levezető?
9. Mi az EPH?
10. Mit jelent a közvetett villámcsapás?



Európai Unió

ÖSSZEFOGLALÁS

A könyvet végig tanulmányozva egy átfogó képet kaphattunk a villamosenergetikáról és a villamos biztonságtechnikáról. Kezdve a villamosenergia-rendszer felépítésétől, a villamos erőművekről, amelyekben a villamosenergia megtermelésre kerül, a villamos hálózatokról, amelyek a villamosenergia szállításáról és elosztásáról gondoskodnak, beleértve a transzformátorokat is, amelyek a villamosenergia különböző feszültség szintjére alakításáról gondoskodnak. De tárgyalásra kerülnek a villamos gépek, mint termelők és mint fogyasztók. A szinkron gépek jellemzően generátorként, az aszinkron gépek pedig motorként üzemelnek a villamosenergia-rendszerben. Gyakorlatilag a két géptípus kiegészíti egymást. Az egyenáramú gépek újra térhódításnak indultak a modern elektronikai áramköröknek köszönhetően. A villamos biztonságtechnika az életvédelem szempontjából kiemelt fontossággal bír. A villámvédelem az épületek és a benne lévő berendezések védelmét célozza meg első körben. A negyedik ipari forradalom (Ipar 4.0) igen jelentős hatást gyakorol a villamosenergetika és biztonságtechnika fejlődésére.

Kedves Olvasó!

Remélem a könyv elnyerte tetszését és megválaszolta azokat a kérdéseit, amelyek a könyv olvasása során felmerültek. Természetesen számos olyan kérdés maradhatott megválaszolatlanul az olvasóban, amelyre a könyv nem adott választ, de remélhetőleg felkeltette az érdeklődését, hogy további ismereteket szerezzen a témában.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tananyagfejlesztés a „FŐNIX ME” – Megújuló Egyetem felsőoktatási intézményi fejlesztések a felsőfokú oktatás minőségének és hozzáférhetőségének együttes javítása érdekében - EFOP 3.4.3-16-2016-00015 projekt keretében valósult meg.

Ez úton szeretném köszönetemet kifejezni a közreműködőknek a támogatásukat!



IRODALOMJEGYZÉK

- DR. HODOSSY, L.: *Elektrotechnika II.* Edutus Főiskola. 2012. p. 85.
- DR. OLÁH, F., DR. RÓZSA, G.: *Villamosenergia-ellátás.* UNIVERSITAS-GYŐR Nonprofit Kft., 2009. p. 186.
- DR. NOVOTHNY, F.: *Villamos energetika I.* előadásjegyzet. BMF KKVKF. 2006.
- DÁLNOKI, A.: *Villamos biztonságtechnika.* Oktatási segédlet. Miskolci Egyetem. 1999. p. 40.
- DR. BÍROSNÉ MÓRITZ, ZS.: *Egészség-, tűz-, környezet- és munkavédelem, biztonságtechnika.* Nyugat-magyarországi Egyetem. 2012. p. 69.
- DR. MORVAI, GY.: *Villamosenergetika.* Edutus Főiskola. 2012. p. 94.
- GÁCS, I.: *Energetika II.* Edutus Főiskola. 2012. p. 155.
- DR. SZLIVKA, F., DR. MOLNÁR, I.: *Víz- és széleenergia hasznosítás.* 2012. p. 73.
- GESZTI, O.: *Villamosenergia-rendszerek I-II-III.* Tankönyvkiadó, Budapest, 1985.
- HENCK, K., DETTMANN, D.: *Elektrische Energieversorgung.* Braunschweig, Vieweg, 1999.
- MAGYARI, I.: *Villamos gépek.* Műszaki Könyvkiadó, Budapest. 1995.
- FARKAS, A., GEMETER, J., NAGY, L.: *Villamos gépek.* BMF KKVKF főiskolai jegyzet, Budapest. 2002.
- KRUPPA, A.: *Villámvédelem a gyakorlatban.* 2013. p. 149.
- DR. BODNÁR, I.: *Napelem működésének alapjai, a napelemes villamosenergia-termelés elmélete és gyakorlati megvalósítása.* Miskolci Egyetem. 2019. p. 108.
- DR. TÓTH, F.: *Villamos biztonságtechnika- Villamosenergetika.* Előadás ppt. Miskolci Egyetem. 2015. p. 77.
- RÁCZ, Á.: *Érintésvédelem.* Előadás ppt. Debreceni Egyetem. p.76.
- DR. BODNÁR, I.: *Villamos energetika és biztonságtechnika.* Előadás ppt-k. Miskolci Egyetem, 2016-2017.

FELELETVÁLASZTÓS FELADATOK

1. Melyik nem primer energiahordozó?

A, Kőolaj.

C, Földgáz.

B, Sűrített levegő.

D, Kőszén.

2. Melyik megújuló energiaforrás?

A, Földgáz.

C, Kőolaj.

B, Urán.

D, Biomassza.

3. Melyik energiaforrás használata során keletkezik szén-dioxid?

A, Szélenergia.

C, Biomassza.

B, Napenergia.

D, Vízenergia.

4. A villamosenergiával szemben a fogyasztó elvárása, hogy

A, olcsó legyen.

B, drága legyen.

B, egyenáramú legyen.

D, nagyfeszültségű legyen.

5. A villamosenergiával szemben a fogyasztó elvárása, hogy

A, folyamatosan rendelkezésre álljon.

C, ne legyen.

B, szakaszosan álljon rendelkezésre.

D, 100 V-t legyen

6. A napi terhelési görbén mit nem tudunk definiálni?

A, Délelőtti csúcst.

C, Mélyvölgy időszakot.

B, Feszültség szintet.

D, Alapterhelést.

7. A terhelési csúcsokat nem lehet csökkenteni:

A, együttműködő villamosenergia-rendszer kialakításával.

C, menetrenddel.

B, hőtárolós fogyasztókkal.

D, fogyasztók önkényes lekapcsolásával.

8. A kooperáció nem előnyös, ha

A, erőművi teljesítményt szeretnénk csökkenteni.

C, hálózati veszteséget szeretnénk csökkenteni.

B, csúcsterhelés kisimításában szeretnénk segíteni egymást.

D, ha nincs nagyfeszültségű összeköttetés.

9. Melyik hamis?

A, Nincs téli csúcs.

C, Van nyári csúcs.

B, Van téli csúcs.

D, Van őszi csúcs.

10. Melyik nincs?

A, Téli csúcs.

C, Nyári csúcs.

B, Tavaszi csúcs.

D, Napi csúcs.

11. Környezetvédelmi szempontból melyik energiaforrás előnyös?

A, Kőolaj.

C, Földgáz.

B, Vízenergia.

D, Lignit.

12. Melyik nem szekunder energiahordozó?
 A, Sűrített levegő. B, Hidrogén
 C, Földgáz. D, Elektromos energia.
13. Melyik energiaforrás különbözik a többitől?
 A, Biomassza. B, Szélenergia.
 C, Napenergia. D, Vízenergia.
14. Melyik nem fosszilis energiaforrás?
 A, Kőszén. B, Kőolaj.
 C, Urán. D, Földgáz.
15. Milyen egységet nem tartalmaz egy hőerőmű?
 A, Kazán. B, Szivattyú.
 C, Gőzturbina. D, Gázturbina.
16. Melyik nem gőzturbina típus?
 A, Kondenzációs. B, Párolgatós.
 C, Megcsapolásos. D, Ellennyomásos.
17. A gázmotoros erőmű
 A, csak villamosenergiát termel. B, se villamos-, se hőenergiát nem termel.
 C, csak hőenergiát termel. D, villamos- és hőenergiát együtt termel.
18. Melyik nem jellemző a gázturbinás erőműre?
 A, Gyors indíthatóság. B, Nem igényel hűtővizet.
 C, Kiemelkedő hatásfok. D, Egyszerű berendezés.
19. Melyik nem a kombinált ciklusú erőmű előnye?
 A, Egyszerű felépítés jellemzi. B, Mérsékelt károsanyag-kibocsátás.
 C, Takarékoság a primer energiaforrásokkal. D, Kiemelkedő hatásfok, a legjobb az erőművek között.
20. Melyik hamis az atomerőművek esetében?
 A, Lehetnek nyomottvizes reaktorúak. B, Alapjában véve hőerőművek.
 C, Kapcsolt energiatermelést valósítanak meg. D, Van terciér körük is.
21. Milyen napelemes erőmű nem létezik?
 A, Szigetüzemű. B, Hibrid rendszerű.
 B, Hálózatra tápláló. D, Kombinált ciklusú.
22. Melyik vízerőmű alkalmas tározós erőműnek?
 A, Völgyzárógátas. B, Üzemvízcsatornás.
 C, Nyomóalagutak. D, Folyóvízi.
23. Melyik erőműtípus nem létezik?
 A, Alaperőmű. B, Menetrendtartó erőmű.
 C, Csúcs erőmű. D, Szabályozó erőmű.

24. A villamos hálózatnak nem feladata?
A, A villamosenergia szállítása.
C, A villamosenergia tárolása.
B, A villamosenergia elosztása.
D, A villamosenergia eljuttatása.
25. Milyen hálózati alakzat nincs?
A, Sugaras.
C, Gyűrűs-íves.
B, Soros.
D, Hurkolt.
26. Milyen csillagpontföldelés nincs?
A, Kondenzátoron keresztül földelt.
C, Földeletlen.
B, Ellenálláson keresztül földelt.
D, Reaktancián keresztül földelt.
27. Melyik impedancia jellemzi a vezeték saját impedanciáját?
A, Kölsönös impedancia.
C, Mindkettő.
B, Önimpedancia.
D, Egyik se.
28. Az egyfázisú helyettesítő kapcsolatban,
A, csak egy fázis szerepel.
C, mindhárom fázis szerepel.
B, nem használunk jelöléseket.
D, a három fázis külön-külön szerepel.
29. Szimmetrikus hálózatban a három fázis,
A, nem helyettesíthető egy fázissal.
C, csak három fázissal írható le.
B, három egyfázissal helyettesíthető.
D, egy fázissal helyettesíthető.
30. A fázisvezetőkben,
A, nincs feszültségesés.
C, csak hosszirányú feszültségesés van.
B, csak keresztirányú feszültségesés van.
D, mindkét irányú feszültségesés lehet.
31. A transzformátor
A, rossz hatásfokkal működik.
C, kiemelkedő hatásfokkal működik.
B, nem jellemezhető hatásfokkal.
D, nem egyértelmű a hatásfoka.
32. A transzformátor
A, csak áramot transzformál.
C, csak feszültséget transzformál.
B, csak impedanciát transzformál.
D, mindháromat transzformálja.
33. A transzformátor
A, áramot és feszültséget egyenes arányban transzformál.
C, teljesítményt transzformál.
B, ha áramot fel, akkor feszültséget lefelé transzformál.
D, frekvenciát transzformál.
34. A transzformátor lehet
A, egyfázisú.
C, egyik sem.
B, háromfázisú.
D, mindkettő.
35. A transzformátorokat
A, nem lehet párhuzamosan kapcsolni
C, csak bizonyos feltételekkel lehet párhuzamosan kapcsolni.
B, csak sorba lehet kapcsolni.
D, feltétel nélkül lehet párhuzamosan kapcsolni.

36. A transzformátornak az indukált feszültsége nem függ
 A, a frekvenciától. B, a főfluxus nagyságától.
 C, a tekercs menetszámától. D, az áramerősségtől.
37. A legtöbb transzformátorban nincs
 A, vasmag. B, terciér tekercs.
 C, primer tekercs. D, szekunder tekercs.
38. A transzformátor működési alapja
 A, az ön- és kölcsönös indukció. B, csak a kölcsönös indukció.
 C, csak az önindukció. D, se az ön- se a kölcsönös indukció.
39. A transzformátornak nincs olyan üzemiállapota, amikor
 A, üresen jár. B, a primer és szekunder tekercs össze van kötve
 C, rövidre van zárva. D, terhelve van.
40. A háromfázisú transzformátor
 A, fázisonként két tekercset tartalmaz. B, fázisonként négy tekercset tartalmaz.
 C, fázisonként három tekercset tartalmaz. D, csak három tekercs van benne összesen.
41. A delta kapcsolású transzformátor
 A, egyvezetékes. B, kétvezetékes.
 C, háromvezetékes. D, négyvezetékes.
42. A csillag kapcsolású transzformátor
 A, egyvezetékes. B, kétvezetékes.
 C, háromvezetékes. D, négyvezetékes.
43. Melyik hamis a mérőváltóról?
 A, Lehet csak feszültségváltó. B, Lehet csak áramváltó.
 C, Lehet mindkettő. D, Jelenleg nem létezik ilyen.
44. A takarékos kapcsolású transzformátor
 A, fázisonként két tekercset tartalmaz. B, fázisonként egy tekercset tartalmaz.
 C, fázisonként három tekercset tartalmaz. D, fázisonként négy tekercset tartalmaz.
45. A transzformátor dropja
 A, a rövidzárási feszültséget jellemzi. B, a rövidzárási áramot jellemzi.
 C, mindkettőt jellemzi. D, egyiket sem jellemzi.
46. Az aszinkron gép
 A, csak aszinkron fordulatszámra tud működni. B, csak szinkron fordulatszámra tud működni.
 C, minden fordulatszámra tud működni. D, egyik fordulatszámra se tud működni.
47. Az aszinkron gép nem lehet
 A, egyfázisú. B, háromfázisú.
 C, segéd-fázisú. D, kétfázisú.

48. Nem létezik olyan aszinkron gép, amely
A, kalickás forgórészű. B, tekercselt forgórészű.
C, mélyhornyú. D, egyenáramú tekercselésű.
49. Az aszinkron gép üzemállapotai
A, a motoros üzem. B, a generátoros üzem.
C, a féküzem. D, a túlgerjesztett üzem.
50. Melyik veszteségi teljesítmény aszinkron gépnél?
A, Felvett teljesítmény. B, Tekercs teljesítmény.
C, Légrésteljesítmény. D, Mechanikai teljesítmény.
51. Aszinkron gép állórészének vesztesége
A, a vas- és a tekercsveszteség. B, csak a tekercsveszteség.
C, csak a vasveszteség. D, a légrés teljesítménye.
52. Az aszinkron gép helyettesítő kapcsolásában az X_{s1}
A, az állórész vasveszteségét szemlélteti. B, az állórész tekercsveszteségét szemlélteti.
C, a forgórész vasveszteségét szemlélteti. D, a forgórész tekercsveszteségét szemlélteti.
53. Az R_0 a transzformátor és az aszinkron gép
A, a vasveszteséget szemlélteti. B, esetében nincs jelentősége.
C, a rézveszteséget szemlélteti. D, esetében elhanyagolható.
54. A szinkron gép
A, csak szinkron frekvencián nem tud működni. B, csak szinkron fordulatszámon tud működni.
C, egyik fordulatszámon se tud működni. D, minden fordulatszámon tud működni.
55. A szinkron gép
A, mind az állórészében, mind a forgórészében egyenáramú tekercselést tartalmaz. B, mind az állórészében, mind a forgórészében váltakozó áramú tekercselést tartalmaz.
C, forgórészében váltakozó, állórészében egyenáramú tekercselést tartalmaz. D, állórészében váltakozó, forgórészében egyenáramú tekercselést tartalmaz.
56. A szinkron gép nem lehet
A, egyfázisú. B, kétfázisú.
C, háromfázisú. D, csak egy-, vagy csak háromfázisú.
57. A szinkron gép
A, csak motor lehet. B, csak generátor lehet.
C, egyik sem lehet. D, mindkettő lehet.
58. Ha a szinkron gép alulgerjesztett motor, akkor
A, a hálózatból hatásos és meddő teljesítményt vesz fel. B, a hálózatból hatásos teljesítményt vesz fel és meddőt ad le.
C, hatásos és meddő teljesítményt egyaránt termel. D, hatásost termel és meddőt vesz fel.

59. Ha a szinkron gép túlgerjesztett motor, akkor
 A, a hálózathól hatásos teljesítményt vesz fel.
 B, a hálózathól hatásos teljesítményt vesz fel és meddőt ad le.
 C, hatásos és meddő teljesítményt egyaránt termel.
 D, hatásost termel és meddőt vesz fel.
60. Ha a szinkron gép alulgerjesztett generátor, akkor
 A, a hálózathól hatásos teljesítményt vesz fel és meddőt ad le.
 B, hatásost termel és meddőt vesz fel.
 C, a hálózathól hatásos és meddő teljesítményt vesz fel.
 D, hatásos és meddő teljesítményt egyaránt termel.
61. Ha a szinkron gép túlgerjesztett generátor, akkor
 A, a hálózathól hatásos és meddő teljesítményt vesz fel.
 B, hatásost termel és meddőt vesz fel.
 C, hatásos és meddő teljesítményt egyaránt termel.
 D, a hálózathól hatásos és meddő teljesítményt vesz fel.
62. Az egyenáramú gép hány tekercsrendszert tartalmaz?
 A, Egy.
 B, Kettő.
 C, Három.
 D, Négy.
63. Az egyenáramú gép gerjesztő tekercsét nem lehet bekötni
 A, sorosan.
 B, párhuzamosan.
 C, keresztbe.
 D, vegyesen.
64. Melyik egyenáramú gép ne tud generátorként üzemelni?
 A, A külső gerjesztésű.
 B, A párhuzamos gerjesztésű.
 C, A vegyes gerjesztésű.
 D, a soros gerjesztésű.
65. Melyik egyenáramú gép teljesítménytartó?
 A, A külső gerjesztésű.
 B, A soros gerjesztésű.
 C, A párhuzamos gerjesztésű.
 D, A vegyes gerjesztésű.
66. Melyik egyenáramú gép fordulatszám-tartó?
 A, A külső és a párhuzamos gerjesztésű.
 B, Csak a külső gerjesztésű.
 C, Csak a párhuzamos gerjesztésű.
 D, A vegyes gerjesztésű.
67. Melyik egyenáramú gép üresjáratú fordulatszáma végtelen?
 A, A párhuzamos gerjesztésűnek.
 B, A külső gerjesztésűnek.
 C, A vegyes gerjesztésűnek.
 D, A soros gerjesztésűnek.
68. Párhuzamos gerjesztésű egyenáramú motor hálózathól felvett árama
 A, az armatúra és a gerjesztőkör áramának összege.
 B, Az armatúra és a gerjesztőkör áramának különbsége.
 C, független az armatúra és a gerjesztőkör áramától.
 D, az armatúra áramával egyezik meg.

69. Párhuzamos gerjesztésű egyenáramú generátor hálózatba leadott árama
A, az armatúra és a gerjesztőkör áramának összege. B, Az armatúra és a gerjesztőkör áramának különbsége.
C, független az armatúra és a gerjesztőkör áramától. D, az armatúra áramával egyezik meg.
70. Az elektronikus kommutációjú motor
A, csak egyenáramról tud üzemelni. B, csak váltakozó áramról tud üzemelni.
C, egyen- és váltakozó áramról is tud üzemelni. D, se egyen- se váltakozó áramról nem tud üzemelni.
71. A vegyes gerjesztésű egyenáramú gép nem lehet
A, kompaundált. B, alulkompaundált.
C, túlkompaundált. D, kompaundálatlan.
72. Melyik kapcsolóberendezés nem tartalmaz ívoltót?
A, Megszakító. B, Szakaszoló.
C, Kontaktor. D, Olvadóbiztosíték.
73. Melyik kapcsolóberendezés tud zárlati áramot megszakítani?
A, Megszakító. B, Szakaszoló.
C, Kontaktor. D, Olvadóbiztosíték.
74. Melyik egyszerhasználatos kapcsolóberendezés?
A, Megszakító. B, Szakaszoló.
C, Kontaktor. D, Olvadóbiztosíték.
75. Melyik kapcsolóberendezés szolgál terhelő (üzemi) áramok kapcsolására?
A, Megszakító. B, Szakaszoló.
C, Kontaktor. D, Olvadóbiztosíték.
76. Melyik feszültség szintet nevezünk nagyfeszültségnek?
A, 1.000 V alattit. B, 1.000 V és 10.000 V közöttit.
C, 10 kV és 100 kV közöttit. D, 100 kV fölöttit.
77. Melyik feszültség szintet nevezünk középfeszültségnek?
A, 1.000 V alattit. B, 1.000 V és 10.000 V közöttit.
C, 10 kV és 100 kV közöttit. D, 100 kV fölöttit.
78. Mi a fojtótekerecs feladata?
A, A zárlati áramok korlátozása. B, A zárlati feszültség szabályozása.
C, Mindkettő. D, Egyik sem.
79. A szakaszoló nem lehet
A, kézi hajtású. B, motoros hajtású.
C, kézi és motoros hajtású. D, kapcsolni.
80. A legveszélyesebb áramütés az, ahol az áram
A, a szíven keresztül záródik. B, a kezeken keresztül záródik.
C, a lábakon keresztül záródik. D, kézen és lábon keresztül záródik.

81. Melyik frekvenciájú áram a veszélyesebb?
 A, Az egyenáramú (0 Hz-es).
 B, Az 50 Hz-es.
 C, Az 500 Hz-es.
 D, A több tíz kHz-es.
82. Az emberi test átlagos ellenállása?
 A, 800-1.000 ohm.
 B, 10-20 kiló ohm.
 C, 80-100 kiló ohm.
 D, 1 mega ohm.
83. Hogyan nem jöhet létre áramütés?
 A, Fázis-föld érintés.
 B, Fázis-fázis érintés.
 C, Föld-föld érintés.
 D, Hiba/lépésszfeszültség áthidalása.
84. Milyen érintésvédelmi osztály nincs?
 A, I. típusú.
 B, II. típusú.
 C, III. típusú.
 D, IV. típusú.
85. Az IP xy védettségi osztálynál meddig mehetnek a kategóriák?
 A, x 6-ig és y 8-ig.
 B, x 8-ig és y 6-ig.
 C, x és y is 6-ig.
 D, x és y is 8-ig.
86. Mekkora az érintésvédelmi törpefeszültség maximális értéke általános esetben?
 A, 50 VDC és 120 VAC.
 B, 50 VAC és 120 VDC.
 C, 50 VDC és 50 VAC.
 D, 120 VDC és 120 VAC.
87. Milyen védővezetős érintésvédelmi mód nem létezik?
 A, TT.
 B, TN.
 C, NN.
 D, IT.
88. Melyik nullázási módszer nem létezik?
 A, TN-C.
 B, TN-S.
 C, TN-C-S
 D, TN-S-C
89. Melyik módszer nem létezik?
 A, Egyenpotenciálra hozás.
 B, Védőleválasztás.
 C, Összekapcsolás.
 D, Érintésvédelmi törpefeszültség.
90. Milyen földelés nem létezik?
 A, Szalagföldelés.
 B, Rúdföldelés.
 C, Keresztföldelés.
 D, Alapföldelés.
91. Mikor választja le a védett berendezést a hálózatról az áramvédő kapcsoló?
 A, Ha a védővezetőken áram folyik.
 B, Ha a nullavezetőken áram folyik.
 C, Ha a fázisvezetőken áram folyik.
 D, Ha a nulla- és a fázisvezetőken is folyik áram.
92. Mikor választja le védett berendezést a hálózatról a Fi-relé?
 A, Ha a fázisvezetőken áram folyik.
 B, Ha a nullavezetőken áram folyik.
 C, Ha szivárgó áramot észlel.
 D, Ha a nulla- és a fázisvezetőken is folyik áram.

93. A villámcsapás nem lehet

A, csak közvetlen.

C, közvetlen és közvetett.

B, csak közvetett.

D, se nem közvetlen, se nem közvetett.

94. Melyik nem igaz a villámra?

A, Feszültsége kb. 2-300 millió volt.

C, Hosszú ideig tart.

B, Áramerőssége 20.000-200.000 amper.

D, Hőmérséklete nagyobb, mint 10.000 °C

95. Milyen hatása nincs a villámcsapásnak?

A, Romboló.

C, Gyújtó.

B, Mechanikai.

D, Emberi áramütés.

96. Melyik elem nem része a villámvédelmi rendszernek?

A, Felfogó.

C, Földelés.

B, Levezető.

D, Antenna.

97. Hol alkalmaznak túlfeszültséglevezetőt?

A, Csak egyenáramú hálózatban.

C, Mindkettőben.

B, Csak váltakozó áramú hálózatban.

D, Egyikben sem.

98. A villámhárító célja

A, a villámáram levezetése.

C, minkettő

B, a villám feszültségének elszigetelése.

D, egyik sem.

99. A védővezető (védőföldelés) feladata

A, a zárlati áramok levezetése.

C, mindkettő.

B, az üzemi áramok vezetése.

D, egyik sem.

100. A vonali és a fázisfeszültség

A, csillagkapcsolásban megegyezik.

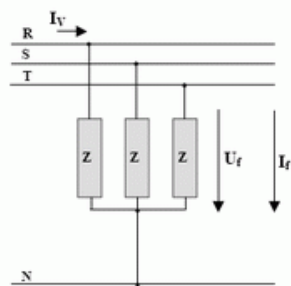
C, mindkettőben megegyezik.

B, deltakapcsolásban megegyezik.

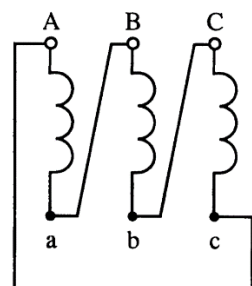
D, egyikben sem egyezik meg.

101. Melyik a csillag kapcsolás?

A,



B,



102. Melyik képlet helyes?

A, $S=U \cdot I \cdot \cos \varphi$

C, $S^2=P^2+Q^2$

B, $S=U \cdot I \cdot \sin \varphi$

D, $S=U \cdot I$

103. Melyik képlet helytelen?

A, $S^2=P^2+Q^2$

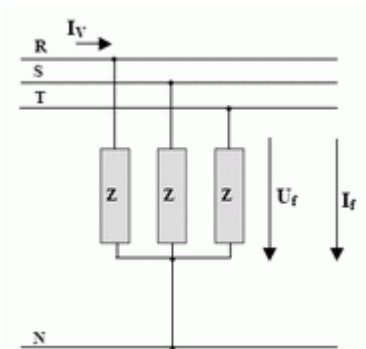
C, $U_v=\sqrt{2} \cdot U_f$

B, $Z^2=R^2+X^2$

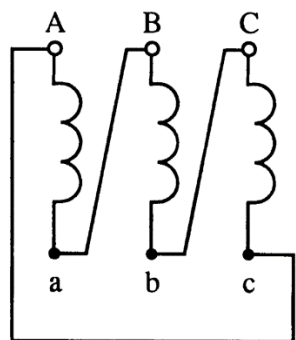
D, $\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi = 1$

104. Melyik a delta kapcsolás?

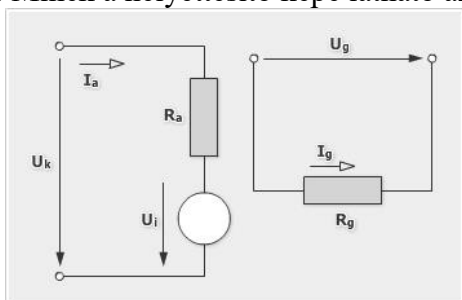
A,



B,



105. Minek a helyettesítő képe látható az alábbi ábrán?



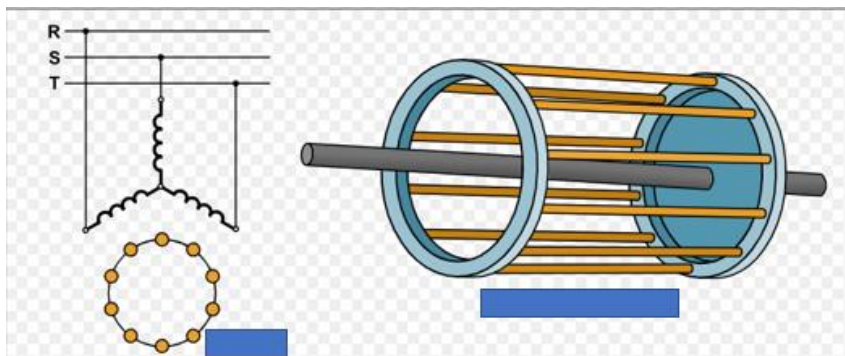
A, Soros gerjesztésű egyenáramú gép

B, Párhuzamos gerjesztésű egyenáramú gép

C, Külső gerjesztésű egyenáramú gép

D, Vegyes gerjesztésű egyenáramú gép

106. Mi látható az alábbi ábrán?



A, Egyenáramú gép forgórésze.

B, Szinkron gép forgórésze.

C, Tekercselt forgórészű aszinkron gép.

D, Kalickás forgórészű aszinkron gép.

107. Melyik képlet helyes?

A, $U_{i1} = 4,44 \cdot f \cdot N_1 \cdot B_{max} \cdot \Phi_{0 max}$

B, $U_{i1} = f \cdot N_1 \cdot B_{max} \cdot A_v$

C, $U_{i1} = 4,44 \cdot f \cdot N_1 \cdot \Phi_{0 max}$

D, $U_{i1} = 3,33 \cdot f \cdot N_1 \cdot \Phi_{0 max}$

108. Hogyan nem határozható meg egy transzformátor áttétele?

A, $a = \frac{N_2}{N_1}$

B, $a = \frac{U_2}{U_1}$

C, $a \approx \frac{I_1}{I_2}$

D, $a = \frac{U_2}{I_1}$

109. Melyik állítás hamis?

A, A szinkron gép csak szinkron fordulatszámokon tud üzemelni.

B, Az aszinkron gép nem tud generátorként üzemelni hálózatra kapcsolás nélkül?

C, Az egyenáramú gép csak motor lehet.

D, A transzformátornak lehet fázisforgatása.

