

2.zh ellenőrző kérdései

1.Állandó mágnesek és ÁM-körök

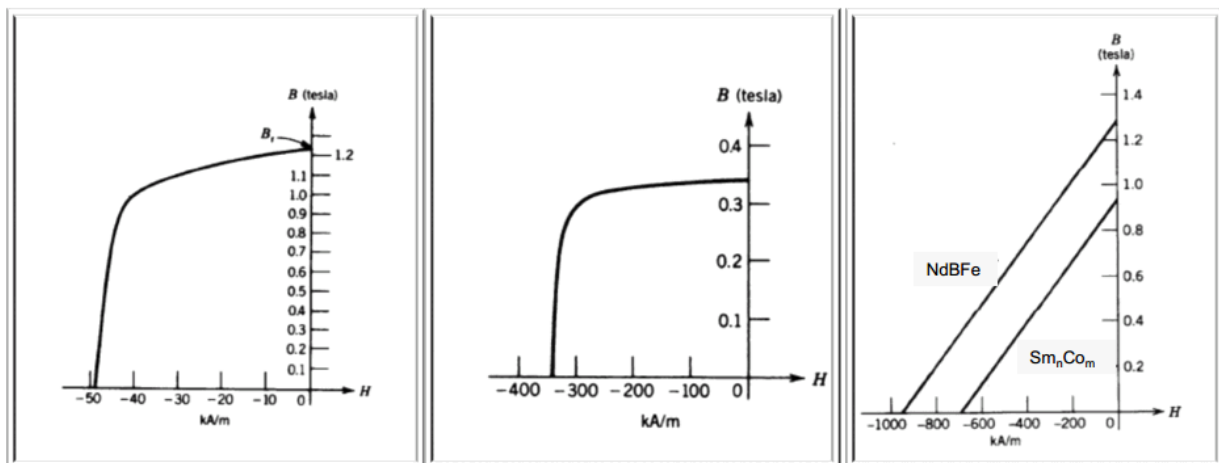
Állandó mágneses anyagok:

Koercitív erő alapján növekvő sorrendben:

- A magnetit Fe_3O_4 (és a vasferrit: $\text{FeO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3$) természetes állandó mágneses anyagok, amelyeket kb 3500 évvel fedeztek fel Magnéziában.
- A nagy-széntartalmú acélok (kb 1 % C), valamint később a W, Cr és Co-tartalmú acélok. A tipikus koercitív erő: 20 kA/m.
- AlNiCo ötvözetek (Fe, Co, Ni, Al) koercitív erő tartomány: 50 – 130 kA/m. Kemény és törékeny anyagok.
- Ba és Sr (bárium és stroncium) ferritek koercitív ereje 150 – 250 kA/m, de viszonylag kis energia-szorzat.
- A samárium-kobalt (SmCo_5 , $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$) koercitív ereje 750 kA/m, és termikus stabilitása jobb, mint a NdFeB mágnesé, de mind a Sm mind a Co drága anyagok.
- A NdFeB ötvözetek rendelkeznek a legnagyobb koercitív erővel: kb. 1000 kA/m és legnagyobb energiaszorzattal: kb 370 kJ/m^3 szobahőmérsékleten. Ezeknek a mágneseknek a mágneses karakterisztikája azonban erősen függ a hőmérséklettől.

Csoportosítva:

- **Ferritek:**
 - Kis remanens indukció, nagy koercitív erő
 - Példák: magnetit, vasferrit, bárium-, és stroncium-ferritek
- **AlNiCo-ötvözetek:**
 - Nagy remanens indukció, kis koercitív erő
 - Példák: nagy széntartalmú acélok, wolfrám-, króm-, és kobalt-tartalmú acélötvözetek, valamint a vas, az alumínium, a nikkel és a kobalt (néha réz és titánium) különböző ötvözetek
- **Ritkaföldfém-ötvözetek:**
 - Nagy remanens indukció és koercitív erő
 - Példák: samárium-kobalt ötvözetek: A samárium-kobalt (SmCo_5 , $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$) koercitív ereje 750 kA/m, és termikus stabilitása jobb, mint a NdFeB mágnesé, de mind a Sm mind a Co drága anyagok., neodímium-vas-bór ötvözetek



AlNiCo

Ferrit

Ritkaföldfém

Más fontos jellemzők:

- Mágnesező tér
- Termikus stabilitás
- Mechanikai jellemzők
- Korrózió ellenállás
- Gyárthatóság
- Ár

Ritkaföldfém állandó mágnesek karakterisztikái:

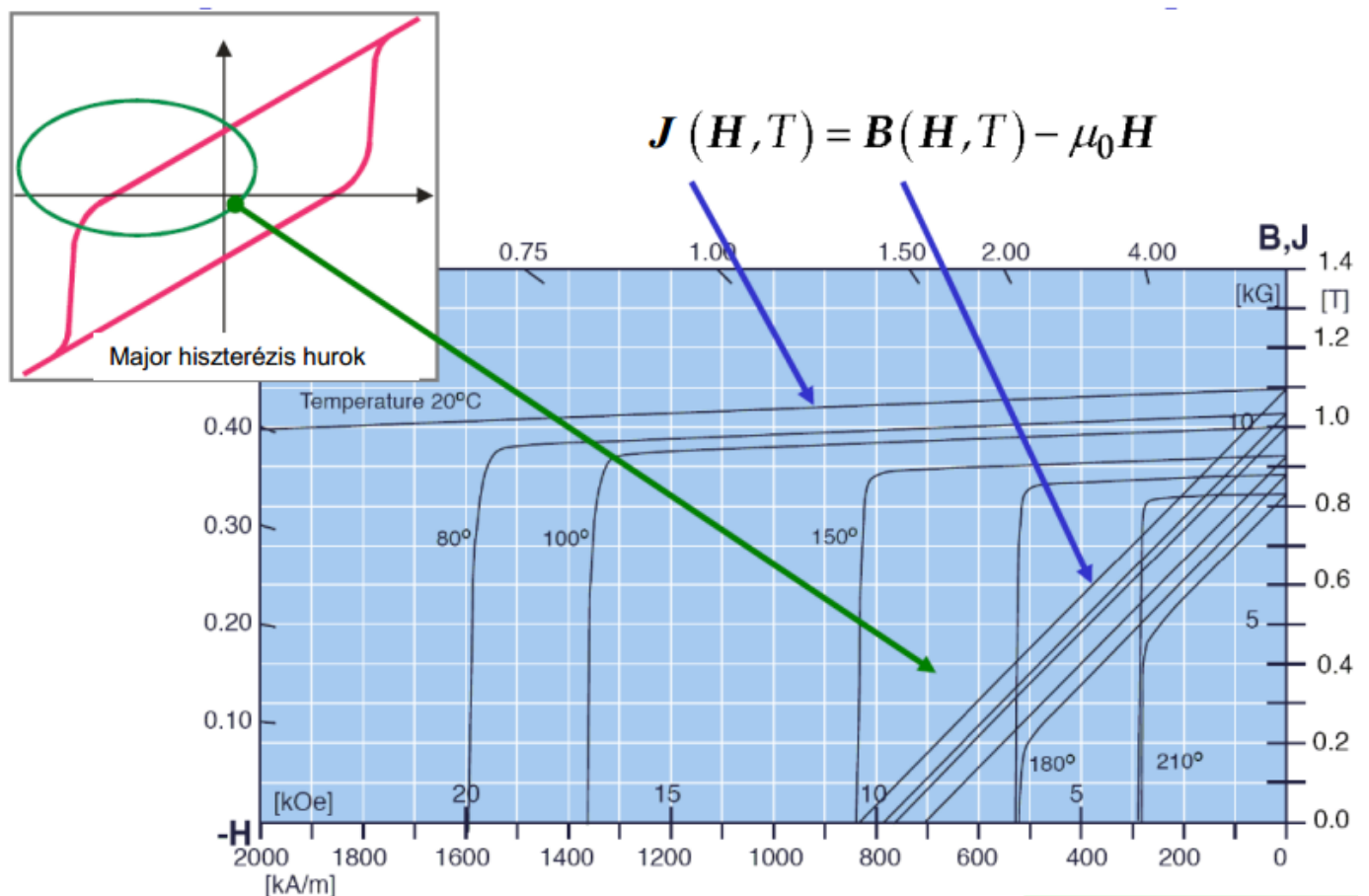
Sinterelt Nd-mágnes tartalma:

- Neodímium: (Nd) 30-32% súly% Re (ritkaföldfém)
- Bór: (B) 1%
- Kobalt: (Co) 0...3%
- Vas: (Fe): Kiegyenlítő

Különböző tulajdonságok technológiával

- Különböző ötvözetek = kb Nd és Dy tartalom
- Különböző sajtolási technikák (orientáció)

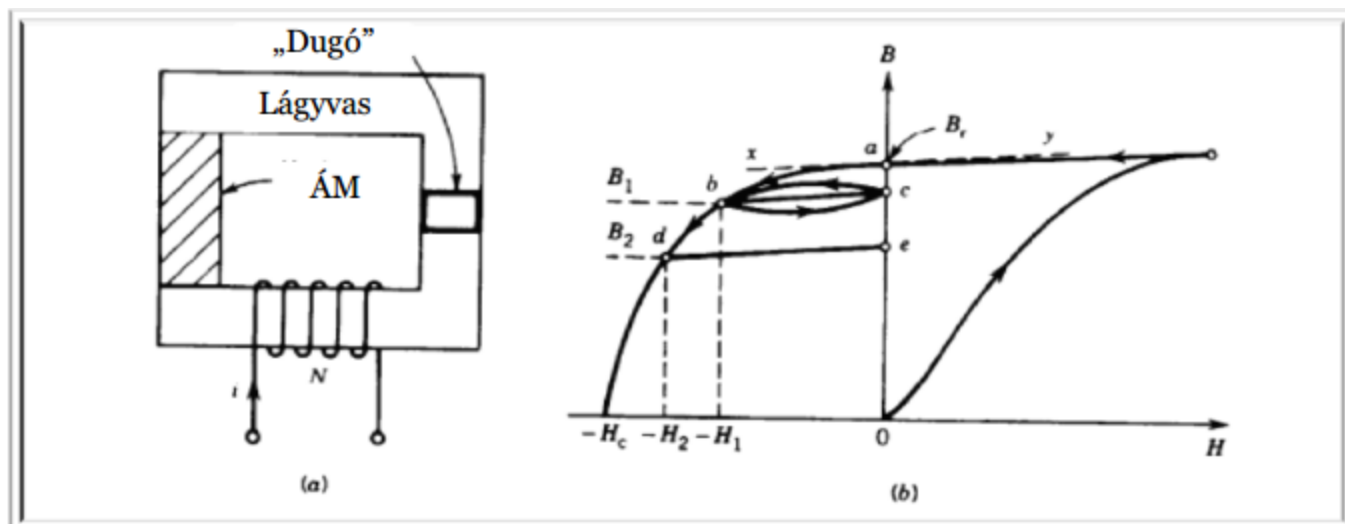
NdFe karakterisztikája



A mágnesezettség állandósága illetve változása:

- A **korrozó** részleges anyagvesztést okoz
- A lemágnesződés a mágnesezettség részleges elvesztését okozza
- Mágneses viszkozitás: A mágnesezettség nagyon lassan DE az időben **csökken**

Állandó mágnesek felmágnesezése:



- Igen **nagy gerjesztés** – megszűnése után visszamaradó (remanens) indukció
- Ellentétes irányú mágneses tér – munkapont a második negyedben – b
- A mágneses tér megszüntetése/visszatérése – minor hurok – reverzibilis hurok – bc
- Reverzibilis permeabilitás
- Ha a tér kisebb lesz, mint $-H_1$ – új munkapont d – reverzibilis munkaegyenes: de

Mágneses kör állandó mágnessel

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

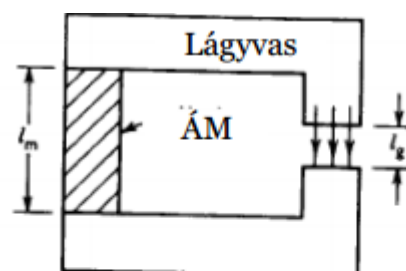
Állandó mágnest tartalmazó mágneses kör közelítő méretezése:

A **munkapont** meghatározása: Tekintsünk a következő elrendezést: lágymágneses kör, egyik oldalán l_g magaságú lágy-, a másik oldalán pedig l_m magasságú állandó mágneses betéttel. A lágymágneses betétet távolítsuk el, így egy légrést kapunk.

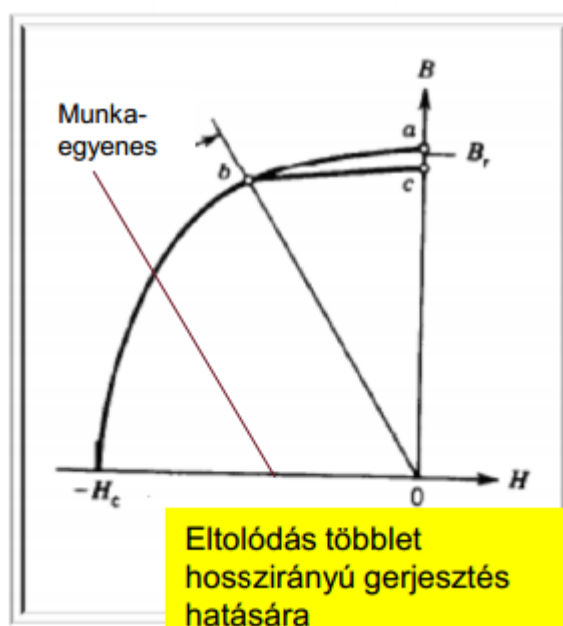
- Az itt keletkező **szórást és kihajlást a számítások során elhanyagolhatjuk.**
- Az állandó mágnest a remanens indukció értékéig felmágnesezzük.
- Feltételezzük, hogy a lágymágnes felmágnesezéséhez **nem szükséges** további gerjesztés. Az m index az állandó mágnesre, a g a légrésre vonatkozó index legyen.

Ekkor:

$$H_m l_m + H_g l_g = 0$$



(a)



tehát:

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

Mivel a mágneses tér forrásmentes:

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

Továbbá:

$$B_g = \mu_0 H_g$$

Ezek alapján a munkaegyenés:

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

Az energiaszorzat, a mágneses kör optimalizálása: A szükséges állandómágnes-térfogat (V_m) minimumát kapjuk, ha a $B_m H_m$ energiaszorzat maximális.

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

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

Szupravezetők és alkalmazásaik

A szupravezetés felfedezése és jelentős Nobel-díjasai.

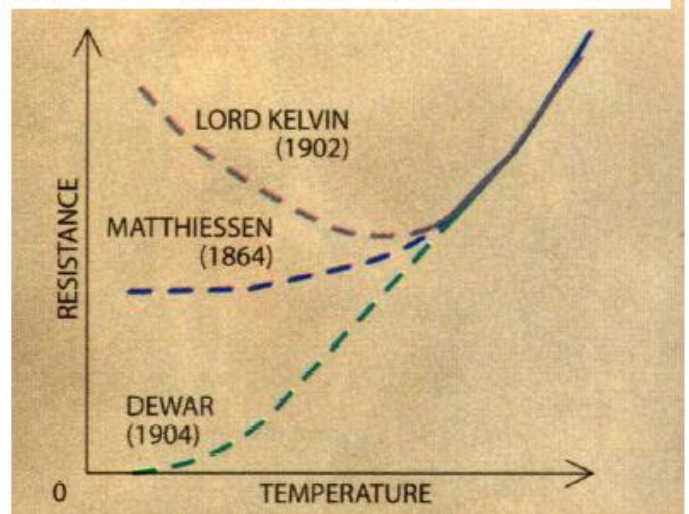
- 1913: Heike Kamerlingh-Onnes – a szupravezetés felfedezése
- 1972: John Bardeen, Leon Neil Cooper, John Robert Schrieffer – BCS-elmélet (a szupravezetők mikroszkópikus leírása)
- 1973: Brian David Josephson, Ivar Giaever, Leo Esaki – Josephson-effektus (a szupravezetés makroszkópikus kvantumjelensége)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

Elméletek a fémek ellenállásával kapcsolatban.

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

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

Elméletek a fémek ellenállásáról

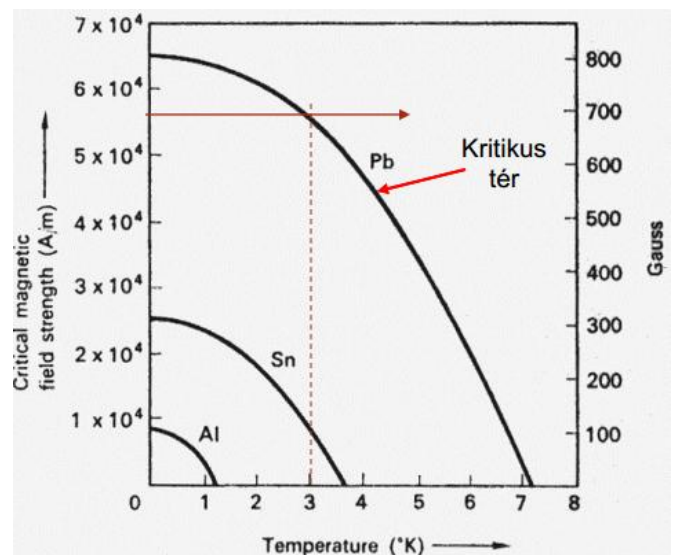


Az ellenállás eltűnése és a kritikus paraméterek.

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

$$H_c(T) = H_{c,0} \left[1 - \left(\frac{T}{T_c} \right)^2 \right]$$

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



Szupravezető anyagok: elemek, vegyületek és ötvözetek.

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

- **Elemek:**
 - Hígany (Hg)
 - Ólom (Pb)
 - Nióbium (Nb)
- **Vegyületek:**
 - Nióbium-karbid (NbC)
 - Nióbium-nitrid (NbN)
- **Ötvözetek:**

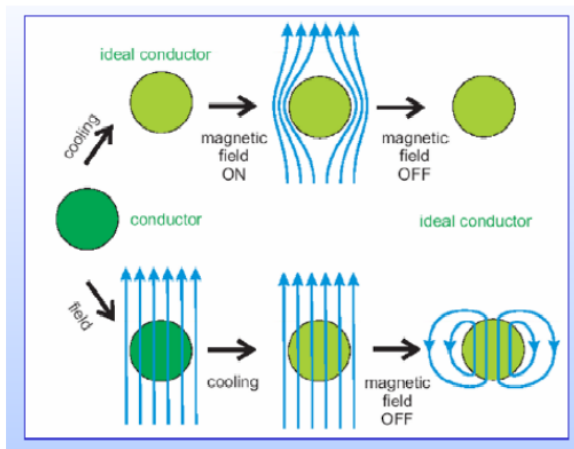
- Vanádium-szilícium (V_3Si)
- Nióbbium-ón (Nb_3Sn)
- Nióbbium-germánium (Nb_3Ge)
- Magas hőmérsékletű **szupravezető kerámiák**:
 - Lantán-bárium-réz-oxid ($LaBaCuO$)
 - Ittrium-bárium-réz-oxid ($YBa_2Cu_3O_7$)
 - Bizmut-stroncium-kalcium-réz-oxid ($BiCaSrCuO$)
 - Tallium-bárium-kalcium-réz-oxid ($TlBaCaCuO$)
 - Higany-bárium-kalcium-réz-oxid ($HgBa_2Ca_2Cu_3O_9$)

A Meissner-effektus.

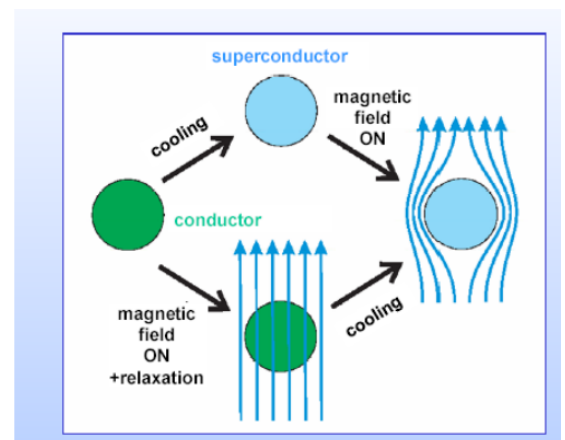
Meissner– (vagy Meissner-Ochsenfeld–) effektus: a szupravezetőt **gyenge** H mágneses térbe helyezve a tér csak egy **minimális**, λ távolságra hatol be a szupravezetőbe, ez az úgynevezett **behatolási mélység**, ami után a mágneses térerősség **nullára** csökken. A legtöbb szupravezető esetén ez a mélység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

Vagyis az ideális vezetőket és a szupravezetőket két különböződolog, habár sok tulajdonságuk meg is egyezik, de a Meissner-effektus alapján sikerült elválasztani őket 1933-ban.

Az ideális vezető viselkedése



A Meissner-effektus



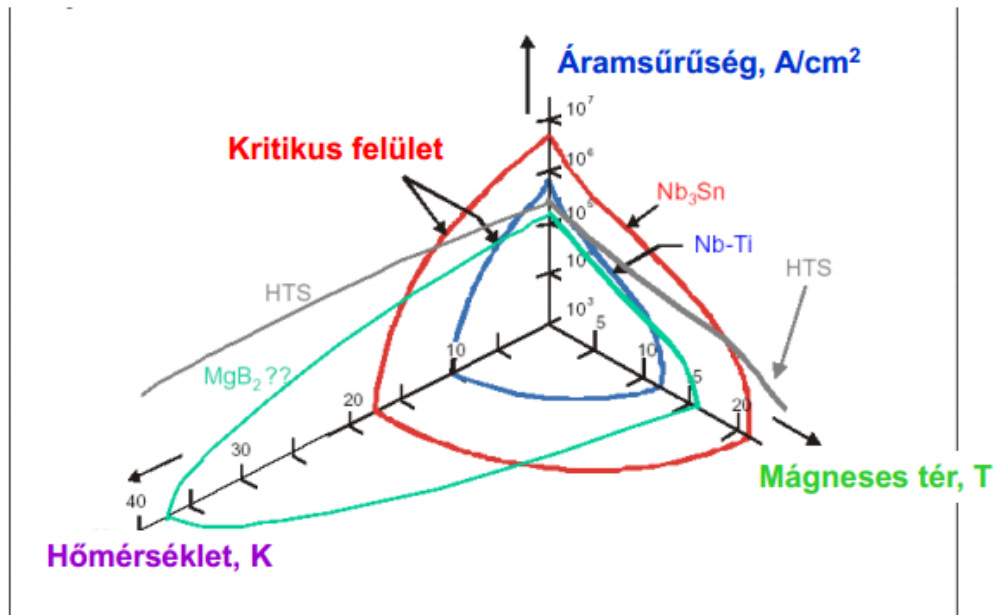
II. típusú szupravezetők kritikus felülete.

A szupravezető állapotot meghatározó tényezőket nevezzük kritikus paramétereknek:

- kritikus áramsűrűség
- mágneses térerősség
- hőmérséklet

Ha ezeket ábrázoljuk 3 dim. koordináta-rendszerben (kapunk egy felületet, ez a kritikus felület), akkor az anyag sz. v. állapotban van, ha kritikus paramétereit által meghatározott pont, a kritikus felület alatt helyezkedik el.

II. Típusú szupravezetők kritikus felülete



II. típusú szupravezetőknel két kritikus **térerő** is létezik:

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

A szupravezetők osztályozása.

Fenomenologikusan a **kritikus hőmérséklet** alapján

- szobahőmérsékleten
- magas ($>77\text{K}$)
- közepes ($T_c \sim 40\text{K}$)
- alacsony ($<77\text{K}$) hőmérsékletű szupravezetők

Fázisdiagram alapján: I. és II. típusú szupravezetők

- I. **I. típusú:** ez a szupravezetők elsőként felfedezett csoportja jellemzően 10K alatti kritikus hőmérséklettel. Ide tartozik a legtöbb szupravezető elem, így a higany és az alumínium. Megfelelően nagy külső mágneses tér **elnyomhatja** a szupravezetést: az I. típusú szupravezetők egy hőmérsékletfüggő $H_c(T)$ tér felett közönséges vezetővé alakulnak vissza.
- II. **II. típusú:** Ideális, szennyeződésektől és rácshibáktól mentes homogén anyagi minőségű (ideális) II. típusú szupravezetőkben az örvényrács szabadon mozoghat

AHS	KHS	MHS	SzHS
Fémes Példák: NbTi, Nb ₃ Sn	Fémes Példák: MgB ₂	Kerámia Példák: YBCO, BSCCO	???
$T_{c, \max} = 23,2 \text{ K}$	$T_{c, \max} = 39 \text{ K}$	$T_{c, \max} = 138 \text{ K}$	Nincs elméleti korlát (USO)
Elméleti: $< 30 \text{ K}$ Gyakorlati $T_{c, \text{határ}} < 77 \text{ K}$	$T_c \approx 40 \text{ K}$	Elméleti: $> 30 \text{ K}$ Gyakorlati $T_{c, \text{határ}} > 77 \text{ K}$	Hűtés nélkül (?)

Típus	Állapot	Feltétel	Megjegyzés
I. típus	Meissner állapot	$B < B_c$	London-féle behatolási mélység
	Normál állapot	$B_c < B$	
II. Típus	Meissner állapot	$B < B_{c1}$	Ideális: pinning-mentes Nemideális: pinningelt
	Kevert állapot	$B_{c1} < B < B_{c2}$	
	Normál állapot	$B_{c2} < B$	

Az I. és II. típusú szupravezetők közötti különbség a mágneses tulajdonságokban mutatkozik meg. Valamely B_{kr1} (alsó kritikus indukció) értékéig a II. típusúak is diamágnesesek és érvényes rájuk a Meissner effektus. A **külső mágneses teret tovább növelve** azonban az anyag nem veszti el szupravezető tulajdonságát: a mágneses tér behatol a szupravezetőbe, amely ún. kevert állapotba kerül. Ez az állapot mindaddig fennmarad, amíg a mágneses indukció el nem éri a B_{kr2} -vel jelölt (felső kritikus indukció) értékét, ahol a szupravezető - normális vezetési állapotba megy át.

A lebegtetési kísérletek tapasztalatai.

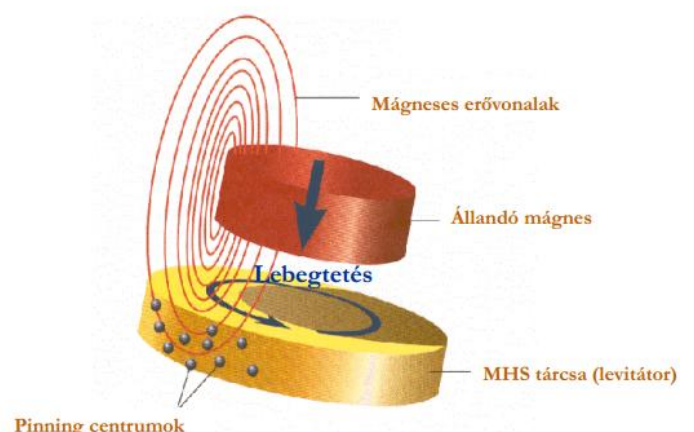
ZFC (mágneses tér mentes) hűtés. Tapasztalat: passzív stabilis lebegtetés valósítható meg a szupravezetőkkel: az állandó mágneset az érezhető taszítás fellépésekor "hozzányomom" a szupravezetőhöz: ezzel az indukcióvonalakat belekényszerítem a szupravezetőbe, melyek ez után benne maradnak (pinning centrumok keletkeznek: odatűzési pontjai az indukció-nak).

FC (Mágneses térben történő) hűtés (fluxusbefagyasztás). Az erővonalak belefagynak a szupravezetőbe, az állandó mágneset felemelve a szupravezető ahhoz fog függeszkedni.

Felmelegedés vizsgálata. Tapasztalat: Az anyag folyamatosan veszíti el szupravezető tulajdonságát, a mágnes lassan leereszkedik, míg végül hozzáér a normál állapotú szupravezetőhöz.

Minden alkalommal tapasztalat: a lebegtetett, magárahagyott mágnes ide-oda forog, erre a mai napig nincs pontos magyarázat.

A lebegtetési kísérlet magyarázata



Fluxusörvények II. típusú szupravezetőkben

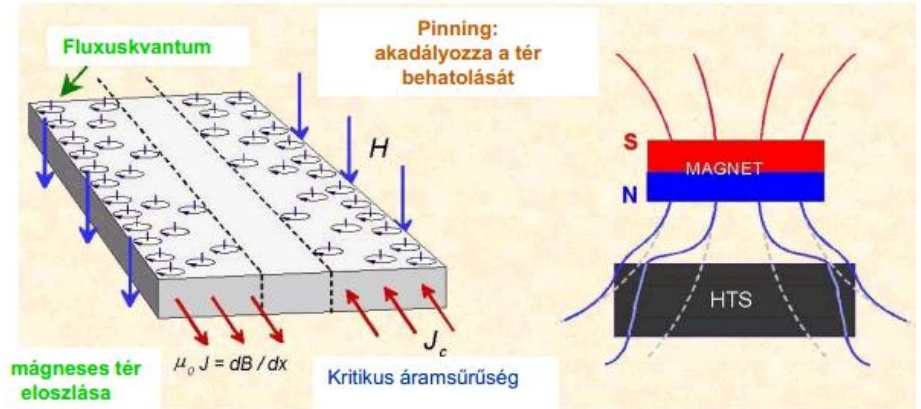
A fluxus-kvantum: a mágneses tér a szupravezetőbe ún. fluxus-örvények (fluxusszálak, örvények) formájában hatol be. Minden egyes fluxusszál ugyanakkora fluxust tartalmaz, az ún. fluxuskvantumot, amelynek értéke

$$\phi_0 = \frac{h}{2e} = 2.07 * 10^{-15} Vs$$

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

Pinning II. típusú szupravezetőkben.

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



A lebegtetési kísérlet magyarázata. ZFC és FC hűtés.

Lásd a "Lebegtetési kísérletek tapasztalatai" pontot!

Alacsony hőmérséklet előállítása. Fajlagos hűtőteljesítmény, hűtés teljesítmény igénye

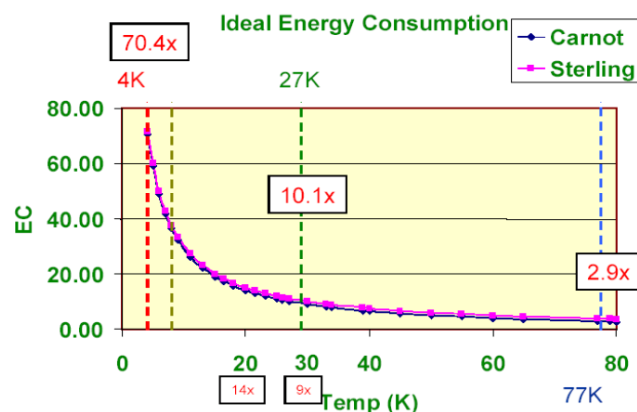
Alacsony hőmérséklet előállításához jellemzően a következő hűtőközegeket használják (zárójelben a forráspont, K-ben):

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

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

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

A hűtés teljesítmény-igénye



Szupravezetős alkalmazások osztályozása

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

Szupravezetők elektrotechnikai alkalmazásainak előnyei és hátrányai.

Előnyök:

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

Hátrányok:

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

A szupravezetők elektrotechnikai (large scale) alkalmazásainak áttekintése.

Egyenáramú: Vezető veszteségének kiküszöbölése, gépek és berendezések súlyának csökkentése.

- Vezetés: a magashőmérsékletű szupravezetők kerámia alapúak ugyan, de 20-30mm-es görbületi sugarukkal jól alakíthatók
- Szupravezetős elektromágnesekben való alkalmazások
- Szinkron generátoroknál és motoroknál (generátoroknál 100MW nagyságrend felett jelentkezik az előny)

Váltakozó áramú:

- Súly-, és méretcsökkentés, illetve az egységteljesítmény növelése a hatásfok növelésével
- Energiaátviteli transzformátorok tekercselésénél ugyan már nem szupravezetős technológiával is 99%-os a hatásfok, de a szupravezetős technológia még ezt is növelni tudja.
- Részecskegyorsítók, fúziós reaktorok tekercsei, elektromágneses lengéscsillapítók
- Váltakozóáramú kábelek
- Zárlati áramkorlátozó

Továbbá:

- Szupravezető és állandó mágnes kölcsönhatásával érhető el stabilis passzív (külső energiabefektetés nélküli) lebegtetés.
- Szupravezető csapágy.
- Lebegtetett járművek: mágneses szupravezető vonatok.

Anyag	T_c	Alak
Nb-Ti	9 K	Huzal
Nb ₃ Sn	18 K	Huzal
MgB ₂	39 K	Huzal és tömb
YBCO	93 K	Szalag és tömb
BSCCO	110 K	Szalag és tömb

A szupravezetős induktív zárlatiáram–korlátozók működési elve.

A zárlatiáram–korlátozó egy olyan eszköz, amely az elektromos hálózatokban rövidzárlat vagy túlterhelés esetén létrejövő áramerősség értékét csökkenti. A szupravezetős ZÁK alapvetően egy a rendszerbe bekapcsolódó impedancia, ami az energiarendszer védelmét szolgálja.

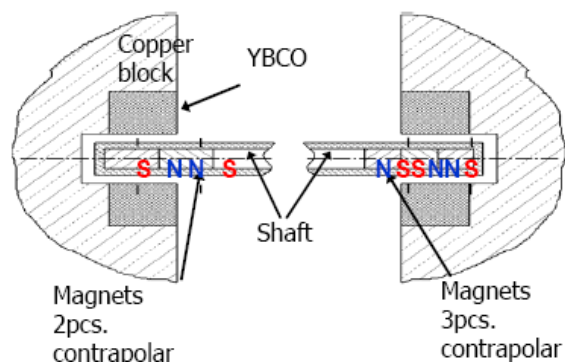
A ZÁK két fő típusa: az induktív és a rezisztív.

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



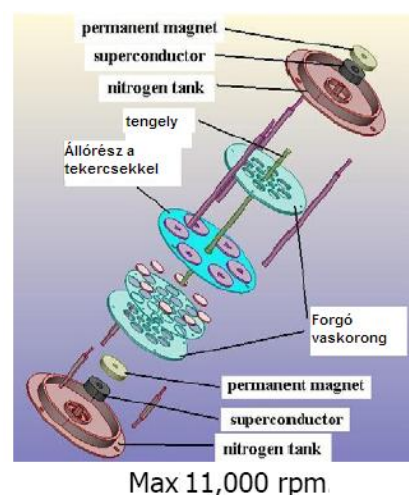
Szupravezetős mágneses csapágyak működési elve.

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



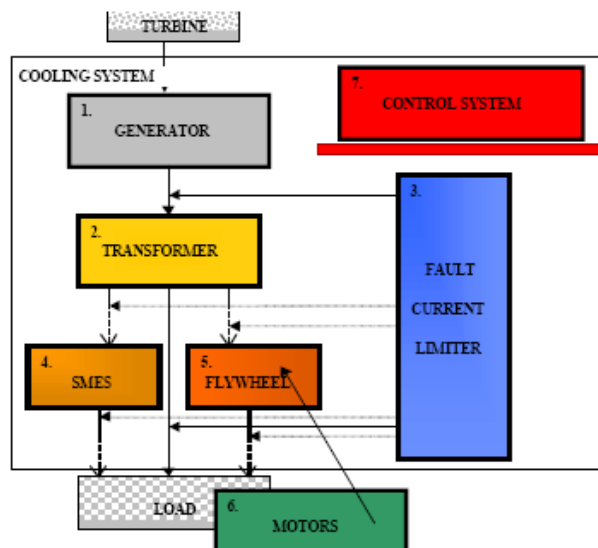
Szupravezetős lendkerekű rendszerek felépítésének elve.

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



A teljesen szupravezetős kiserőmű koncepciója.

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



Feszültség alatti munkavégzés (FAM) és munkabiztonság

Időbeni kialakulás: FAM csak váratlan üzemzavar esetén → tervezett FAM

Előnyök:

- zavartalan ellátás = üzenet az ügyfeleknek/fogyasztóknak
- korszerűbb technológia, anyagok, szerszámok és gépek + szakképzetebb, gyakorlottabb emberek = kevesebb baleset

Magyarországon 25 éves múlttal rendelkezik a FAM.

FAM: üzemi szabályzat enged bizonyos meghatározott munkavégzéseket feszültség alatt is. Olyan villamos szerelési tevékenység speciális eszközökkel és kötött technológiával, melyet csak komplex nemzeti előírás alapján lehet végezni. A szabályzat mindenkire hatályos. FAM-tevékenységhez összefoglaló dokumentáció és FAM-engedély szükséges!

Feszültség szintek:

- Kisfeszültségű (KiF) FAM:
 - Váltakozó feszültség esetén: $50\text{ V} < U_n \leq 1000\text{ V}$
 - Egyenfeszültség esetén: $120\text{ V} < U_n \leq 1500\text{ V}$
- Középfeszültségű (KöF) FAM: $1000\text{ V} < U_n \leq 35\text{ kV}$
- Nagyfeszültségű (NaF) FAM: $35\text{ kV} < U_n \leq 800\text{ kV}$

A FAM munkamódszerei

- **Távolból végzett munka:** a dolgozó a feszültség alatt lévő résztől meghatározott távolságból (a veszélyes övezeten kívüli munkaállásról) szigetelő rudak segítségével végzi a munkáját.
 - Szigetelőrudas technológia
 - Robottechnológia
- **Érintéssel végzett munka:** a dolgozót a környezetében lévő, tőle eltérő potenciálú részekkel szemben elektrotechnikai gumikesztyű, szükség esetén karvédő és egyéb szigetelőeszközök védik, miközben munkája során (a veszélyes övezeten belül tartózkodva) közvetlenül mechanikai érintkezésbe kerül a feszültség alatt lévő részekkel.
- **Potenciálon végzett munka:** a dolgozó közvetlen villamos kontaktusban van azzal a feszültség alatt lévő résszel, amelyen dolgozik, és így teste a feszültség alatt lévő rész potenciáljára kerül, emellett a tőle eltérő potenciálú környezettől megfelelő módon el van szigetelve. NaF FAM esetén a potenciálon végzett munka egyben érintéssel végzett munka is.
 - Szigetelőlétrás módszer
 - Szigetelőgém
 - Szerelőszék
 - Helikopteres
- **Kisfeszültségen** végzett nemzetközi technológiák: kábel/szabadvezeték munkák, mérés+felügyeleti eszközök létesítése
- **Középfeszültségen** végzett nemzetközi technológiák
 - **Szabadvezetéken:** zsírozás, tisztítás, idegen tárgy eltávolítás, sodrony javítás, szigetelő elemek javítása, felsővezeték csere/létesítés, madárvédők telepítése, ideiglenes kapcsolók/alállomások létesítése, oszlop elemeinek cseréje
 - **Alállomásban:** tisztítás, olaj utántöltés trafóba+kábelbe, megszakítók oltóanyagának töltése, biztonsági távolságok mérése

Eszközök előkészítése FAM-ra: felépítés+állapot, ellenőrzés, különleges rendelkezések, környezeti viszonyok megfeleltetése

Zivatar közeledtekor a FAM-munkát abba kell hagyni, a munkaterület pedig elhagyni.

A feszültségmentesítés öt szabványos lépése:

1. **Kikapcsolás, leválasztása** villamosenergia-betáplálás megszakítása minden irányból (megszakítók vagy annak minősülő készülékek kikapcsolása) és az összes betáplálási irány leválasztása (szakaszolók vagy annak minősülő készülékek „KI” helyzetbe hozása).

2. **A visszakapcsolás/visszakapcsolódás meggátolása**Az összes kikapcsolt megszakítót és szakaszolót „KI” helyzetében bénítani kell, pl. a villamos motoros hajtás működésének megakadályozásával, a hajtásban tárolt energia „leeresztésével”, lelakatozással.
3. **Feszültségkémlélés** (a feszültség nélküli állapot ellenőrzése)Annak ellenőrzése, hogy minden energiabetáplálási irány kikapcsolása és leválasztása dacára a feszültségmentesítendő villamos berendezés nem került-e konduktív úton vagy induktív/kapacitív áthatás révén feszültség alá.
4. **Földelés, rövidrezárása** feszültségmentesítendő berendezés azonos feszültség szintű kapcsainak kiselállású összekötése és potenciáljuk rögzítése a földéhez. A földelő-rövidrezárót mindig először a definitív földponthoz csatlakoztatjuk, és csak ezt követően zárjuk vele rövidre a fázisokat.
5. **Elhatárolás a szomszédos, feszültség alatt álló berendezésektől**A feszültségmentesítendő villamos berendezés körülkerítése figyelmeztető zászlós kötéldordonnal, elhatárolása szigetelőanyagú térelválasztókkal, figyelmeztető táblák elhelyezése.

A védőruházat alkotórészei:

- csuklyás, archálós kabát (zakó) és nadrág,
- kesztyű, harisnya,
- hosszúujjú és -szárú pamut alsó fehérnemű,
- munkavédelmi sisak és bakancs

A teljes elektrosztatikus védőruházat: A védőruházat anyaga

- A kétrétegű (dublé) anyag külső rétege fémszálas szövet, belsőrétege pamut szövet.
- Két ilyen jobbmenetűen felcsavart, poliamid hordozójú fémszál, balmenetűen összecsavarva alkot egy pásmát, amely ugyancsak balmenetűen fel van csavarva egy újabb, 3 poliamid elemi szálból összetekert hordozó cérnára. Ez képezi a fémszálas szövet láncfonalát és vetülékfonalát. A menet-irányváltások következtében a lánc- és a vetülékfonal önmagában csavarónyomaték-mentes.
- A dublé szövet belső rétege: pamut lánc- és vetülékfonalból szőtt, a fémszálas szövetből távolságot tartó, villamosan szigetelőszövet, melynek egyes vetülékfonalai be vannak bújtatva a fémszálas szövetbe, ezáltal a fémszálas külső réteg és a pamut belső réteg elválaszthatatlan egységet alkot

Szigetelések

A **szigetelőanyagok** szigetelőképességüket nem tartják meg korlátlanul. Ha a szigetelőanyagot határoló vezető szerkezetek - elektródok - között a **feszültség** nő, azzal együtt növekszik a szigetelés igénybevétele is. Ha a szigetelőanyag igénybevétele meghaladja az általa elviselni képes határt, akkor szigetelőképessége megszűnik és vezetővé válik. Ilyenkor következik be átütés a szigetelőanyagban.

Az **E_{max}** legnagyobb térerősség mindig valamelyik fémelektrod felületén lép fel, értékét az erőter alakja, azaz az elektródok formája, távolsága, valamint a közöttük levő feszültség határozza meg.

Ha az **E_{max}** nagyobb, mint a szigetelőanyag villamos szilárdsága, akkor a szigetelés nem tudja többé elszigetelni az elektródokat egymástól, szigetelőképessége megszűnik, az elektródok között villamosan vezető plazma-csatorna, villamos ív alakul ki. Ha az ív a szigetelőanyag belsejében jön létre, akkor **átütésnek**, ha különböző halmazállapotú szigetelőanyagok határfelületén keletkezik, akkor **átívelésnek** nevezzük

A biztonsági tényező és használatos értékei.

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

- A **látható biztonság** a **próbafeeszültségen** és az **üzemfeeszültségen** fellépő igénybevétel (télerősség), illetve a megfelelő feszültségek hányadosa. A próbafeeszültségek nagyságának rögzítésével ennek az értéke adódik, tehát nem kell megválasztani.

$$\frac{\text{próbafeeszültség}}{\text{üzemfeeszültség}}$$

- A **látszólagos biztonság** a **méretezéskor** alapul vett **átütési szilárdság** és az **üzemi igénybevétel**, ill. az **átütési- vagy átívelőfeszültség** és az üzemi feszültség viszonya. A szigetelések méretezése során általában ezzel a biztonsági tényezővel számolunk.

$$\frac{\text{átütésifeszültség}}{\text{üzemifeszültség}}$$

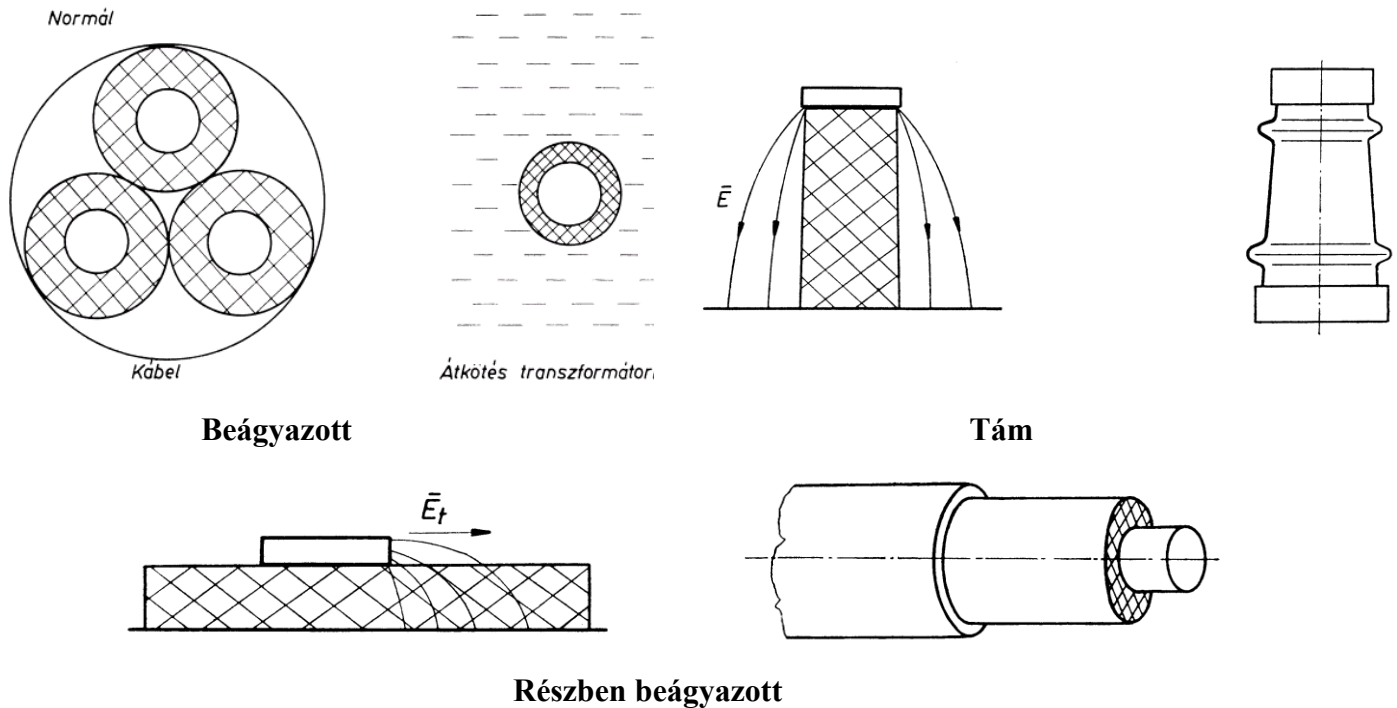
- A **valódi biztonság** a **tényleges** átütési- vagy átívelőfeszültség és az üzemi feszültség hányadosa. Üzemben lévő készülékek szigetelésének valódi biztonságát az átütéssel szemben csak a szigetelés átütésével (tehát tönkretételével) lehet meghatározni.

$$\frac{\text{átütésifeszültség}}{\text{üzemifeszültség}}$$

- A biztonsági tényező jellemző értékei **ipari frekvencián**,
 - gáz közegben: 1.2 ... 2.0,
 - folyadékban: 1.5 ... 3.0,
 - szilárd közegben: 2.0 ... 5.0,
- illetve **lökőfeszültségen**:
 - gáz közegben: 1.0 ... 1.5,
 - folyadékban: 1.0 ... 2.0,
 - szilárd közegben: 2.0 ... 3.0

A szigetelések alaptípusai, példák

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



A polarizáció és fajtái.

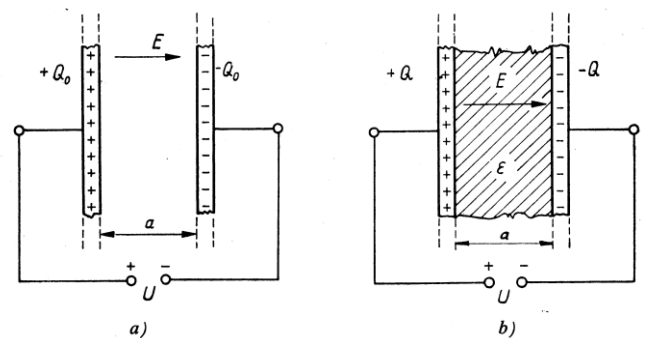
A polarizáció két definíciója:

1. A kötött töltések felületi sűrűsége.

$$P = \frac{Q_k}{A} = \sigma_k$$

2. A térfogategységre jutó dipólusmomentum.

$$P = \frac{M}{V}$$



Fizikai tartalom:

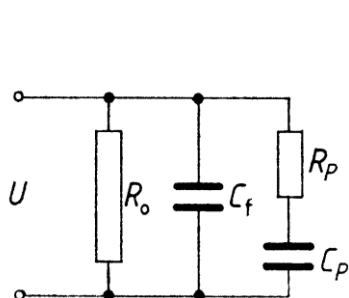
Makroszkopikusan: külső villamos tér hatására a közeget alkotó molekulák „beállnak” a tér irányába.

Mikroszkopikusan:

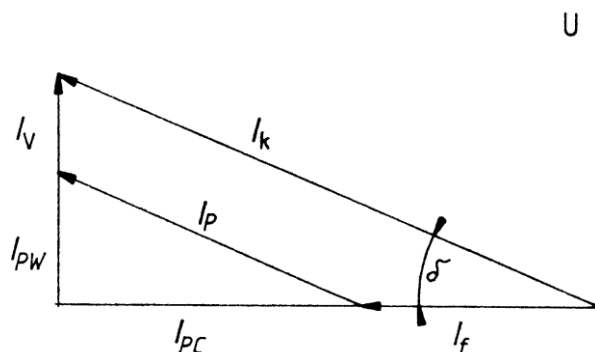
- Az **elektronok eltolódása** a tér irányának megfelelően. $\tau = 10^{-14} - 10^{-16}$ s
- A szilárd anyag molekularácsában lévő **ionok** a tér irányába mozdulnak, deformálva ezzel a rácsot. $\tau = 10^{-12} - 10^{-13}$ s
- Vannak olyan molekulák, amelyek külső **tér nélkül** is polárosak (pl. víz).
- Hőmérsékleti polarizáció $\tau = 10^{-2} - 10^{-4}$ s
- A polarizáció egyéb fajtái
 - Hőmérsékleti orientációs polarizáció
 - Rugalmas orientációs polarizáció
 - Hattárréteg polarizáció

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

- **Helyettesítőkapcsolás:** egy szigetelés egyszerűen egy soros, vagy egy párhuzamos R – C taggal helyettesíthető, ahol az ellenállás adja meg a szigetelési ellenállás értékét, a kapacitás pedig az adott anyag geometriájából adódó kapacitását modellelzi.
- **Veszteségi tényező:** megmutatja, hogy a szigetelőn folyó áram fázora mekkora szöget zár be az ideális (végtelen szigetelési ellenállású) állapotot reprezentáló áramfazzal. Ezen szög tangensét nevezzük veszteségi tényezőnek.



Kapcsolás



Veszteségi tényező

Kislexikon:

Remanens indukció: A gerjesztés megszüntetése után, a ferromágnes anyagban visszamaradó indukció (B_r a hiszterézisgörbe ábráján). Maximális értéke, vagyis a telítéshez tartozó a remanencia.

Koercitív erő: A felmágnesezett ferromágneses anyag remanens indukcióját ellentétes gerjesztéssel megszüntető mágneses térerősség. Értéke függ attól, hogy előzőleg milyen mértékig mágnesezték fel az anyagot. Az anyagra jellemző érték a telítési koercitív térerősség (koercivitás). A koercitív erő értéket a hiszterézisgörbe H_k pontjai jellemzik.

Budapest, 2012.10.28

Készítette: Horváth Gábor másodéves villamosmérnök hallgató

A „törzsanyag” a vikwiki-s jegyzetekből, anyagokból származik, ez lett kiegészítve a „VET”-es honlapon lévő szövegekkel, képekkel.

Az anyag NEM fedti teljesen a 2. ZH anyagát („VET”-es honlap szerint sem), emiatt ne reklamáljatok. Emellett hibák is előfordulhatnak benne, de ha igen van akkor szóljatok. Felelősséget nem vállalok.