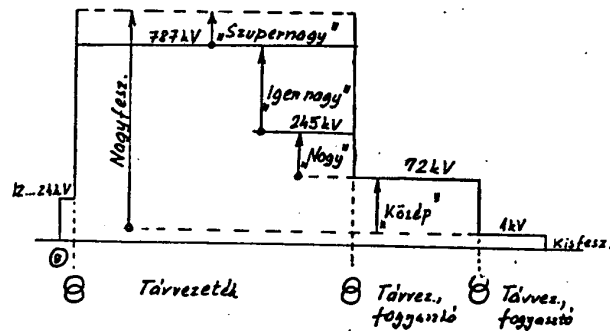


9a) VILLAMOS KAPCSOLÓKÉSZÜLÉKEK ÉS BERENDEZÉSEK

- 1. A VILLAMOS KAPCSOLÓKÉSZÜLÉKEKRŐL ÁLTALÁBAN**
- 2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK**
 - Bekapcsolás, egyenáram
 - Bekapcsolás, váltakozó áram
 - Kikapcsolás, a villamos ív
- 3. MELEGEDÉSI JELENSÉGEK**
- 4. ELEKTRODINAMIKUS ERŐHATÁSOK**

1. A VILLAMOS KAPCSOLÓKÉSZÜLÉKEKRŐL ÁLTALÁBAN

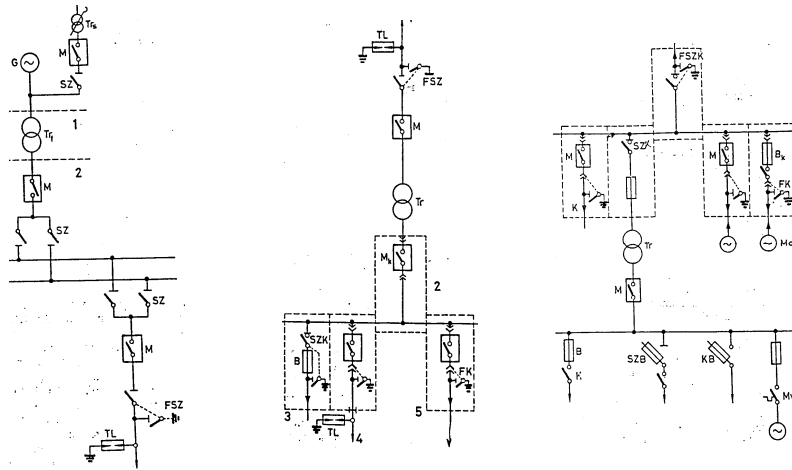
1. A VILLAMOS KAPCSOLÓKÉSZÜLÉKEKRŐL ÁLTALÁBAN



1. A VILLAMOS KAPCSOLÓKÉSZÜLÉKEKRŐL ÁLTALÁBAN

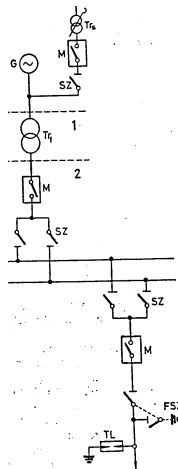
Mechanikus működésű	Olvadó biztosító	Félvezetős	Túlfeszültség-védelmi eszk.	Kapcs. kész. kombinációk
Megszakító	Áramkorlátozó jellegű	Félvezetős kapcsoló	Szikraköz	Szakaszoló kapcsoló
Szakaszoló	Megszakító jellegű	Félvezetős relé	Oltócső	Szakaszoló biztosító
Kapcsoló			Túlfeszültség-vezető	Kapcsoló biztosító
Kontaktor			ZnO túlfeszültség-vezető	Szak.kapcs. biztosító
Kioldó				Biztosítás szakaszoló
Relé				Biztosítás kapcsoló
				Biztosítás szak.kapcs.
				Biztosítás megszakító

1. A VILLAMOS KAPCSOLÓKÉSZÜLÉKEKRŐL ÁLTALÁBAN



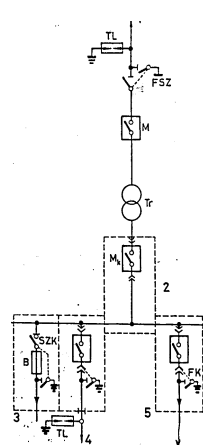
1. A VILLAMOS KAPCSOLÓKÉSZÜLÉKEKRŐL ÁLTALÁBAN

Erőművi közép-/nagyfeszültségű



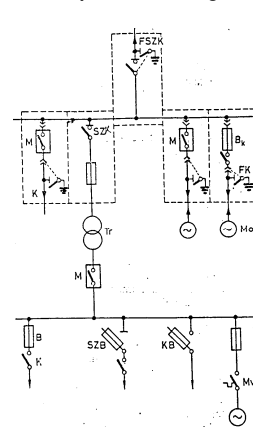
M: megszakító; SZ: szakaszoló; FSZ: földelő-szakaszoló; TL: túlfeszültséglevezető

Nagy/középfeszültségű



SZK: szakaszolókapcsoló; B: olvadó biztosító; FK: földelőkés

Közép-/kisfeszültségű

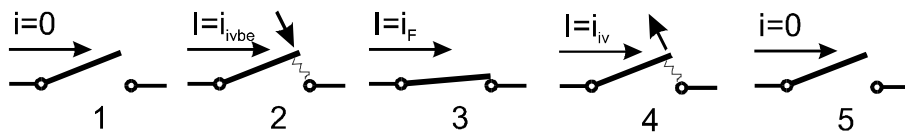


BK: biztosító kapcsoló; K: kapcsoló; SZB: szakaszolóbiztosító; KB: kapcsolóbiztosító; Mv: motorvédő kapcsoló

2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

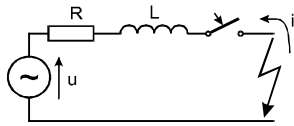
Mechanikus kapcsolókészülék (megszakító) érintkezőjének működési fázisai az áram (zárlati áram) bekapcsolása és megszakítása során:



2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Bekapcsolás, váltakozó áram

Generátortól távoli zárlat 1/4

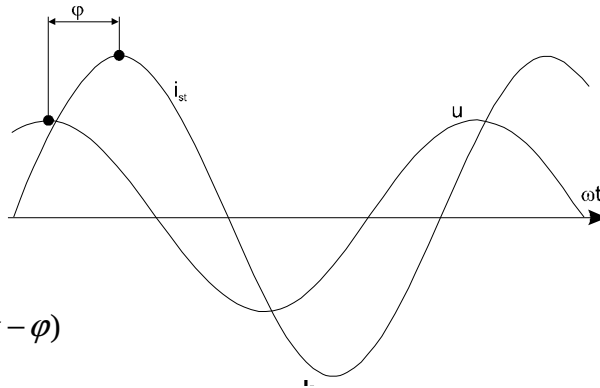


$$I_{st.m} = \frac{U_m}{Z}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 \cdot L^2}$$

$$\varphi = \arctan \frac{\omega \cdot L}{R}$$

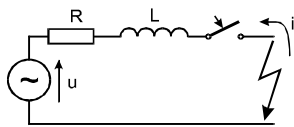
$$i_{st}(t) = I_{st.m} \cdot \cos(\omega t - \varphi)$$



2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Bekapcsolás, váltakozó áram

Generátortól távoli zárlat 2/4



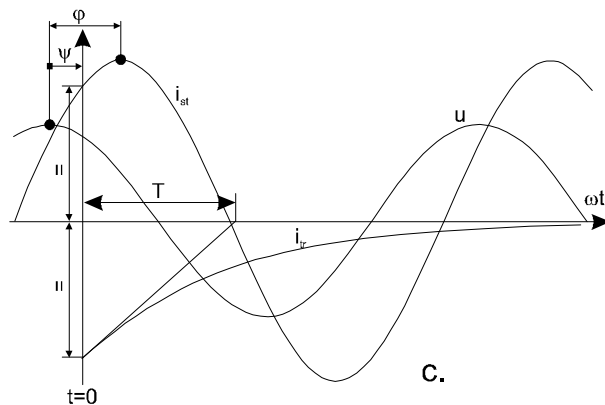
$$i(t) = i_{st}(t) + i_{tr}(t)$$

$$i(0) = 0 = i_{st}(0) + i_{tr}(0)$$

$$i_{tr}(0) = -i_{st}(0)$$

$$i_{tr}(t) = i_{tr}(0) \cdot e^{-t/T}$$

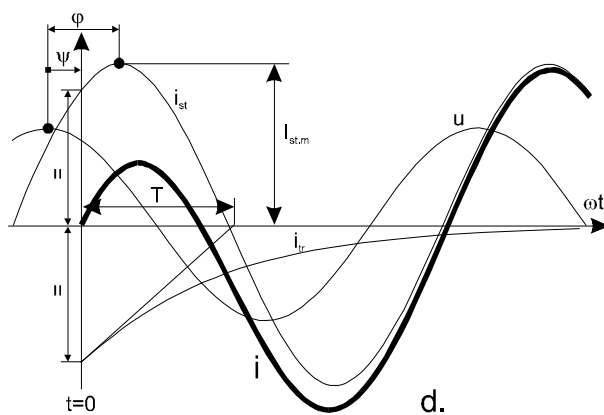
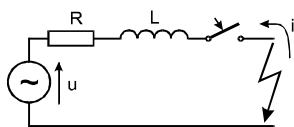
$$T = \frac{L}{R}$$



2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Bekapcsolás, váltakozó áram

Generátortól távoli zárát 3/4

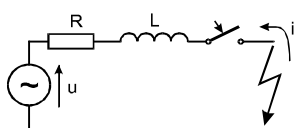


$$i(t) = I_{st.m} \cdot [\cos(\omega t + \psi - \varphi) - \cos(\psi - \varphi) \cdot e^{-\frac{t}{T}}]$$

2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Bekapcsolás, váltakozó áram

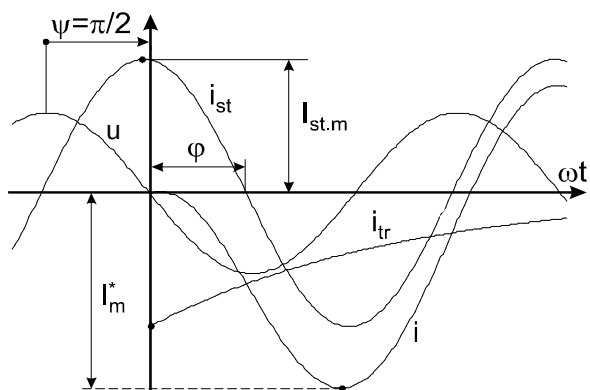
Generátortól távoli zárát 4/4



Az áram a lehetséges legnagyobb értékét éri el, ha a zárát a tápfeszültség nullaátmenetében jön létre:

$$\psi = \pm \pi/2$$

$$k_{cs} = \frac{I_m^*}{I_m}$$



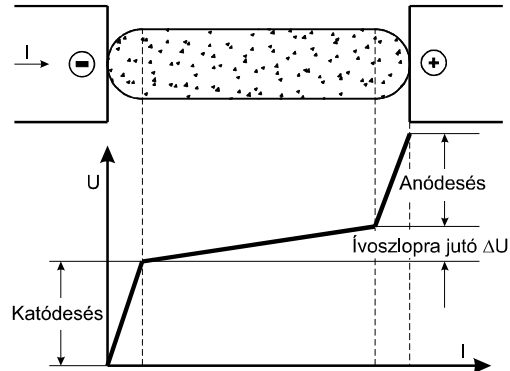
Tiszta induktív körben: $k_{cs}=2$, a gyakorlatban $k_{cs}=1,8$ -del számolnak.

2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Kikapcsolás, a villamos ív

Általános jellemzők

Az ív ionizált gáz, amely kis méretű talppontokban végződik az elektródáknál. Az ív hosszára jutó feszültség három részre osztható, az anód- és katódesésre, valamint az ív oszlopára jutó feszültségre.



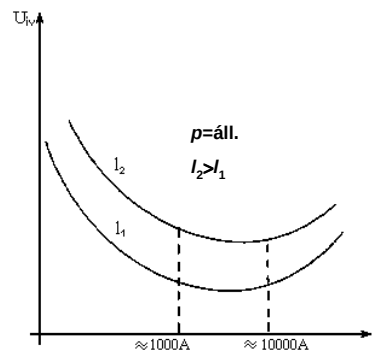
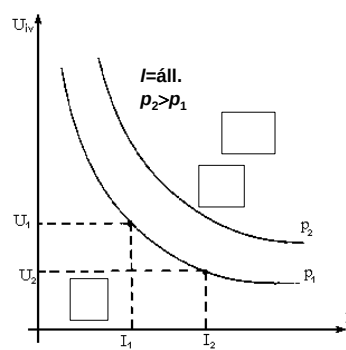
Stacioner ívről akkor beszélünk, ha a rajta átfolyó áram pillanatértéke nem változik ($di/dt=0$). Ellenkező esetben (kikapcsoláskor) dinamikus ívről, vagy ha az áram periodikusan változik, kvázistacioner ívről van szó.

2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Kikapcsolás, a villamos ív

A villamos ív mint áramköri elem 1/7

Stacioner ív karakterisztikái:



A nagyobb áramoknál kialakuló pozitív jellegű görbe főként az elektrodinamikus összeszorító erő keresztmetszet-csökkentő hatásával függ össze.

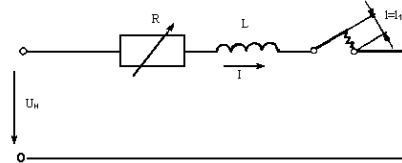
2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Kikapcsolás, a villamos ív

A villamos ív mint áramköri elem 2/7

Stacioner ív karakterisztikái:

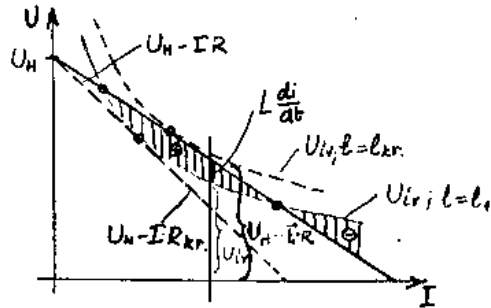
a karakterisztika felvétele
méréssel:



$$U_H = U_{iv} + i \cdot R + L \cdot \frac{di}{dt}$$

Stacioner állapotban:

$$\frac{di}{dt} = 0; \quad U_H - i \cdot R = U_{iv} \Rightarrow$$



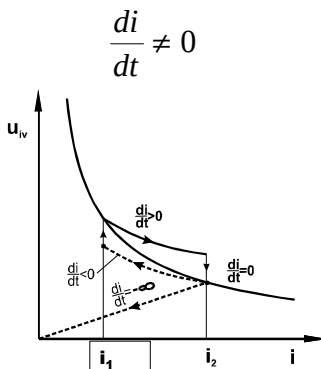
A nagyobb áramhoz tartozó metszéspont a stabil. $U_H = \text{áll.}$ esetén a stacioner ív két módon oltható ki: I vagy R növelésével.

2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Kikapcsolás, a villamos ív

A villamos ív mint áramköri elem 3/7

A dinamikus ív karakterisztikái:



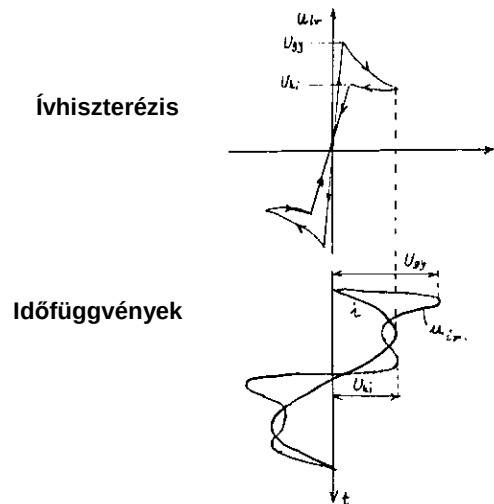
Megnövelve az áramot i_1 -ről i_2 -re $di/dt > 0$ véges értékű sebességgel, az ív karakterisztikája a stacioner görbe felett halad, és az ív feszültsége csak egy idő múlva éri el az i_2 -nek megfelelő stacioner értéket. Ez a jelenség ív termikus tehetetlenségével magyarázható, azaz az ív hőmérséklete és vezetőképessége nem tudja követni az áram változását, tehát igyekszik megőrizni az i_1 áramnak megfelelő vezetőképességét. Hasonlóan magyarázható az is, hogy az áram i_2 -ről i_1 -re $di/dt < 0$ sebességgel történő csökkenésével a karakterisztika pontjai a stacioner értékek alatt lesznek. Az igen gyors áramváltozást ($di/dt = \infty$) a vezetőképesség nem tudja követni, így az ív lineáris áramköri elemmé válik, érvényes lesz az Ohm-törvény, mert $R_{iv} = \text{állandó}$ válik.

2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Kikapcsolás, a villamos ív

A villamos ív mint áramköri elem 4/7

Dinamikus ív, nagyfeszültségű váltakozó áramú megszakítás
kvázistacioner ívkarakterisztika



2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Kikapcsolás, a villamos ív

A villamos ív mint áramköri elem 5/7

Dinamikus ív, kisfeszültségű egyen- és váltakozó áramú megszakítás
ívkarakterisztikák (számítás)

Kisfeszültségen hogy az ív feszültsége a tápfeszültség értékével összemérhető, sőt azt meghaladó értékű is lehet. Az anód- és katódcsés jelentős részét teszi ki a teljes ívfeszültségnek, mert azok az általában több kis (0,3...1,0 mm-es) darabból álló - egymással villamosan sorba kötött - ív minden egyes darabjában fellépnek. A kisfeszültségű kapcsolási ív feszültsége időfüggvényének alakja is eltér a nagyfeszültségen megismert alaktól, ugyanis nincsenek élesen kiugró gyújtási és kialvási feszültségcsúcsai. Ez az időfüggvény - amely az ívöltő szerkezettől és az érintkezők mozgási sebességétől függ - matematikailag egyszerűen leírható, tehát adottnak tekinthető, pl.:

$$u_{iv}(t) = U_{AK} + m \cdot t.$$

2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Kikapcsolás, a villamos ív

A villamos ív mint áramköri elem 6/7

Az ív megszűnése és újragyulladás

A ív megszűnik, ha az árama zérus értékűvé válik. Ezt az állapotot egyenáram megszakítása esetén a kapcsolónak kell létrehoznia. A váltakozó áramú ív azonban a természetes nullaátmenetében, vagy labilis állapotba kerülve, annál hamarabb, gyors áramcsökkenéssel (áramlevágással) szűnik meg, és kapcsolónak csak az újragyulladását kell megakadályozni.

Az áramnullaátmenet után az ív helyén maradék ionozott csatorna (utóív) van jelen, amelyen ha huzamosabb ideig nem folyik áram, vagy nincs jelen villamos térerősség, akkor az lehűl (szabad regenerálódás), és az ív kialszik.

Az ív újragyulladás az áramnullaátmenet után fellépő ún. visszaszökő feszültség (VSF) hatására következhet be úgy, hogy a VSF a maradék csatornát átüti, vagy pedig úgy, hogy a VSF hatására átfolyó áram nem engedi lehűlni a csatornát.

2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Kikapcsolás, váltakozó áram

Nagyfeszültségű ideális kikapcsolás (független VSF) 1/4

A kikapcsoláskor fellépő villamos ív végleges kialvása - az íven átfolyó váltakozó áram nullaátmenete után - a kapcsoló sarkain megjelenő visszaszökő feszültség (VSF) időbeli alakulásától függ. Ha az ív véglegesen kialszik, áram nem folyik, az áramot sikeresen kikapcsoltuk.

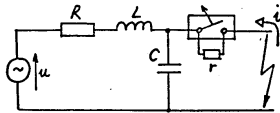
A kikapcsolási folyamatok modellezhetők *ideálisnak*, amikor az ív hatásától az egyszerűség kedvéért eltekintünk, de csak annyiban, hogy az ívnek az áram nullaátmenetében való kikapcsolás lehetőségét biztosító ("szinkronizáló") hatását figyelembe vesszük, azaz feltételezzük, hogy a kikapcsolás áramnullaátmenetben következik be. Ebben az esetben a kikapcsolandó áram és a kapcsoló sarkain a kikapcsolás után megjelenő feszültség az ívtől független, ezért ezeket *független áramnak* és *független visszaszökő feszültségnek* nevezzük.

2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Kikapcsolás, váltakozó áram

Nagyfeszültségű ideális kikapcsolás (független VSF) 2/4

Megszakító kapcsolárlat (egyfrekvenciás VSF)



A kikapcsolást végző kapcsoló ideális, tehát eltekintünk az érintkezők között fellépő ív (és az ívfeszültség) hatásától, de az ív "szinkronozó" - az áramnullaátmenetben történő kikapcsolás lehetőségét biztosító - szerepét figyelembe vesszük. A kapcsoló nyitásának pillanata ($t=0$) tehát a stacioner zárlati áram nullaátmenete (feltételezésünk szerint ekkor a bekapcsolási tranziens már lecsengett).

A generátor u feszültsége a zárlat során a megszakító zárt érintkezőin i áramerősséget hajt át, amit annak rövid idő alatt sikeresen meg kell tudnia szakítani. A megszakító érintkezőivel párhuzamosan egy ellenállás (r) látható, ami pl. a maradék ívcatorna hatásos ellenállását veszi figyelembe.

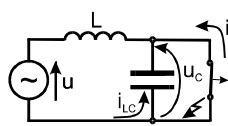
2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Kikapcsolás, váltakozó áram

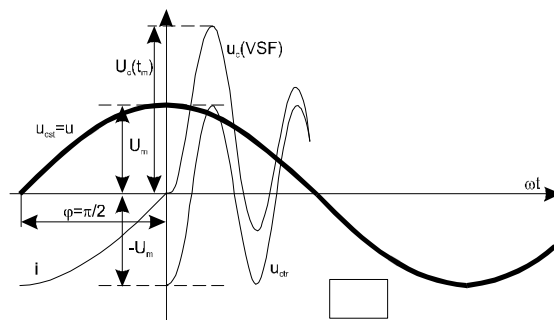
Nagyfeszültségű ideális kikapcsolás (független VSF) 3/4

Megszakító kapcsolárlat (egyfrekvenciás VSF)

Csillapítás nélküli eset ($R=0$; $r=\infty$)



$$u_C(t) = u_{Cst}(t) + u_{Ctr}(t)$$



$$u_C(t) = U_m \cdot (\cos \omega \cdot t - \cos \omega_0 \cdot t)$$

$$k_{cs} = \frac{u_C(t_m)}{U_m} \quad (= 2)$$

2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

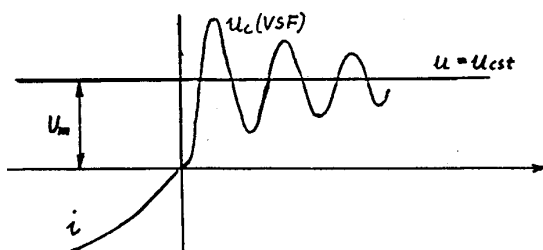
Kikapcsolás, váltakozó áram

Nagyfeszültségű ideális kikapcsolás (független VSF) 4/4

Megszakító kapcsolárlat (egyfrekvenciás VSF)

Soros csillapítás hatása ($R \neq 0$; $r = \infty$)

Nagyfeszültségű körökre ($\cos \varphi \approx 0,1$; $\varphi \approx \pi/2$), ezért egyszerűbb összefüggés a VSF kiszámításához (a biztonság javára tévedve):



$$u_c(t) = U_m \cdot (1 - \cos \omega_0 \cdot t)$$

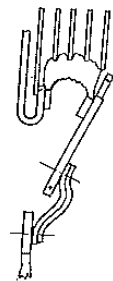
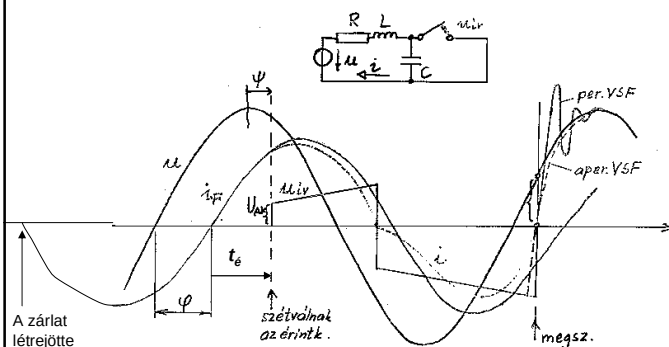
2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Kikapcsolás, váltakozó áram

Kisfeszültségű ívmegszakítás 1/3

Általános rendeltetésű megszakító kapcsolárlat

$$u_{iv}(t) = U_{AK} + m \cdot t$$



Az ívfeszültség növelése deionlemezis oltókamrával; sorbakapcsolt ívek; megsokszorozható az U_{AK} értéke.

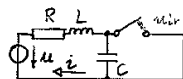
2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Kikapcsolás, váltakozó áram

Kisfeszültségű ívmegszakítás 2/3

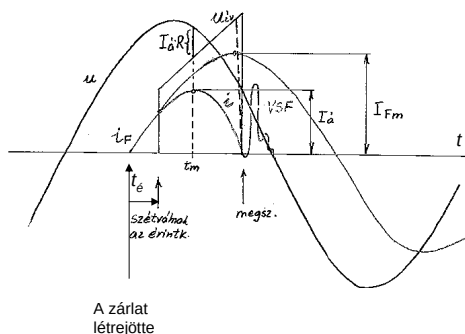
Áramkorlátozó megszakító kapcsolárlat

$$u_{iv}(t) = U_{AK} + m \cdot t$$



$$u_{iv} = u - i \cdot R - L \cdot \frac{di}{dt}$$

$$I_a \cdot R = u(t_m) - u_{iv}(t_m)$$

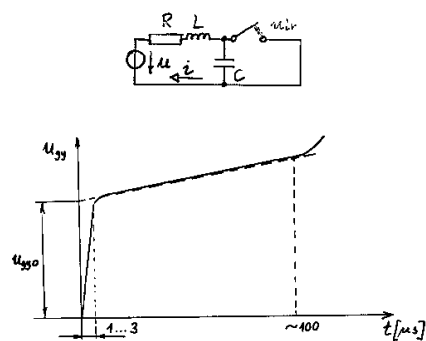
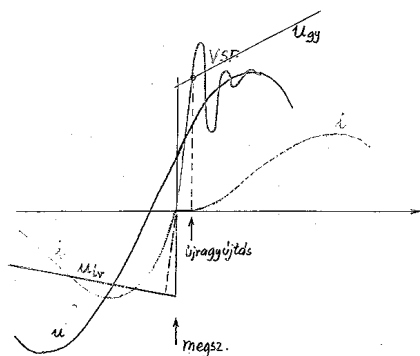


2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Kikapcsolás, váltakozó áram

Kisfeszültségű ívmegszakítás 3/3

Megszakító kapcsolárlat, újragyújtás áramnullaátmenet után



Olyan áramnullaátmenet, ahol a periódikus VSF pillanatértéke elérte a dielektrikus újragyújtáshoz szükséges u_{gy} feszültséget, amelynek hatására az ív újragyulladt, és az i áram tovább folyt.

3. MELEGEDÉSI JELENSÉGEK

3. MELEGEDÉSI JELENSÉGEK

Hőátviteli módok

A villamosan vezető anyagokban - a bennük folyó áram hatására keletkező - Joule-hő egyik része a vezető felmelegítésére fordítódik, másik része hőátvitel során átadódik a környezetnek. A vezető ϑ (K) hőmérséklete a stacionárius állapot (hőegyensúly) beálltaig növekedhet, amikor a Joule-hő teljes egészében a környezetnek adódik át. A hőátvitel módjai: hővezetés, sugárzás és hőátadás(konvekció).

Hőátadás (konvekció) során a felmelegített test S hőátadó felületéről a hőt a test környezetében lévő áramló anyagok (folyadékok, gázok) viszik el az α_k (W/m²K) konvekciós hőátadási tényezővel és a test τ (K) melegedésével arányosan:

$$P = \alpha_k \cdot S \cdot \tau,$$

ahol P (W) a vezetőben keletkező hőteljesítmény τ a $\vartheta_{k\text{örny}}$ (K) környezeti hőmérséklethez képest a melegedés és α_k - a geometriai paraméterek mellett - a melegedéstől is függ :

$$\tau = \vartheta - \vartheta_{k\text{örny}} ; \quad \alpha_k = \text{const} \cdot \sqrt[4]{\tau}.$$

Mindhárom hőátviteli módot figyelembe veszi a gyakorlatban alkalmazott Newton-képletben szereplő α hőátadási tényező:

$$P = \alpha \cdot S \cdot \tau.$$

3. MELEGEDÉSI JELENSÉGEK

Tranziens melegedések

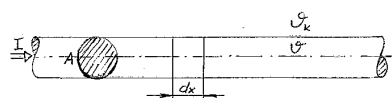
Melegedések csoportosítása

LASSÚ MELEGEDÉS Üzemi és túlterhelési áramok hatására	GYORS (ZÁRLATI) MELEGEDÉS Zárlati áramok hatására
A környezetnek átadódik a hő. Ha a melegedés ideje (t_m) kisebb a melegedési időállandónál (T_m), akkor azzal van nagyságrendben van.	A környezetnek átadódó hő elhanyagolható, a zárlati melegedés ideje sokkal kisebb a melegedési időállandónál ($t_z \ll T_m$).
A melegedés ideje jóval nagyobb az áramkörök villamos időállandójánál ($t_m \gg T$), a bekapcsolási villamos tranziensek elhanyagolhatók.	A bekapcsolási villamos tranziensek csak akkor hanyagolhatók el, ha $t_z \gg T$ áll fenn.
A melegedés a váltakozóáram effektív értékével számítható.	A melegedés a váltakozóáram effektív értékével csak akkor számítható, ha elhanyagolhatók a bekapcsolási villamos tranziensek, tehát, ha $t_z \gg T$.
A hőmérsékletnövekedés csak akkora, hogy a fajhő (c), a fajlagos ellenállás (ρ) és a hőátadási tényező (α) állandó értékével számítható a melegedés.	A hőmérsékletnövekedés jelentős, a fajhő (c) és a fajlagos ellenállás (ρ) hőmérséklettől való függését figyelembe kell venni a számítások során.

3. MELEGEDÉSI JELENSÉGEK

Tranziens melegedések

Lassú melegedések 1/3



$$\frac{P}{c \cdot V} = \frac{d\tau}{dt} + \frac{\alpha \cdot S}{c \cdot V} \cdot \tau,$$

ahol V (m³) a vezető térfogata és c (W/m³K) a vezető anyagának térfogatra vonatkoztatott fajhője.

Ha az áram rákapcsolásának időpillanatában ($t=0$) már volt a csupasz vezetőnek $\tau_0 = \tau(0)$ kezdeti melegedése, amely pl. egy előző áramfolyás következtében való felmelegedés és esetleg hűlés után jött létre, tehát ekkor a vezető ϑ_0 kezdeti hőmérséklete a környezet hőmérsékleténél épp τ_0 -val nagyobb ($\vartheta_0 = \vartheta_{körny} + \tau_0$), a differenciálegyenlet megoldásaként, a melegedés időfüggvénye:

$$\tau(t) = \tau_{st} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T_m}}) + \tau_0 \cdot e^{-\frac{t}{T_m}},$$

ahol T_m (s) a melegedés időállandója:

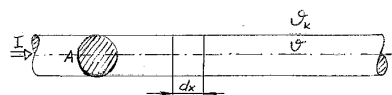
$$T_m = \frac{c \cdot V}{\alpha \cdot S} = \frac{c \cdot A}{\alpha \cdot K},$$

és K (m) a vezető kerülete.

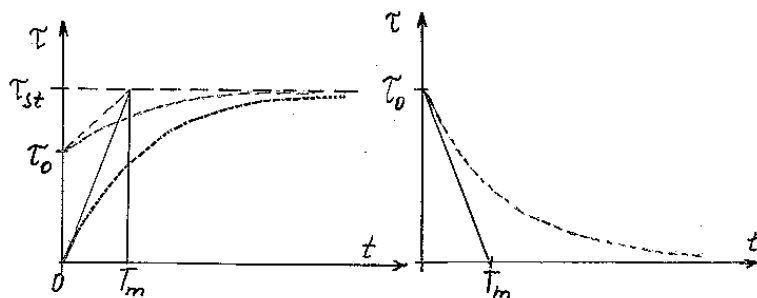
3. MELEGEDÉSI JELENSÉGEK

Tranziens melegedések

Lassú melegedések 2/3



$$\tau(t) = \tau_{st} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_m}}\right) + \tau_o \cdot e^{-\frac{t}{T_m}},$$



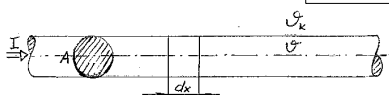
Melegedés τ_o -ról és $\tau_o=0$ -ról.

Hűlés τ_o -ról.

3. MELEGEDÉSI JELENSÉGEK

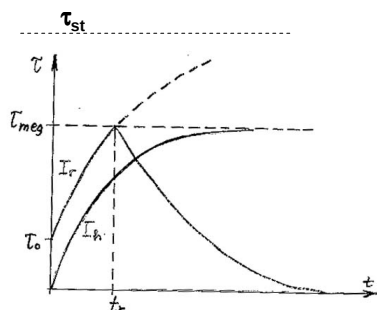
Tranziens melegedések

Lassú melegedések 3/3



$$\tau(t) = \tau_{st} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_m}}\right) + \tau_o \cdot e^{-\frac{t}{T_m}},$$

Rövid idejű melegedés:



Az I_r rövid idejű árammal átjárt vezető melegedése τ_{st} -nál csak τ_{meg} értéket ér el, mert általában a rövid idejű melegedés ideje $t_r < (2 \dots 2,5) \cdot T_m$, és az áram kikapcsolása után a vezető visszahűl a ϑ_k környezeti hőmérsékletre, mert a hűlés ideje $t_h > (3 \dots 4) \cdot T_m$.

$$\tau_{meg} = \tau_{st} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_r}{T_m}}\right) + \tau_o \cdot e^{-\frac{t_r}{T_m}};$$

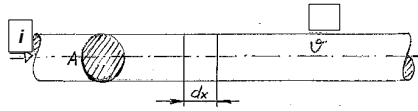
$$I_h^2 = I_r^2 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_r}{T_m}}\right) + I_o^2 \cdot e^{-\frac{t_r}{T_m}};$$

$$t_r = T_m \cdot \ln \frac{I_r^2 - I_o^2}{I_r^2 - I_h^2}$$

3. MELEGEDÉSI JELENSÉGEK

Tranziens melegedések

Gyors (zárlati) melegedés 1/3



A $t=0$ időpillanatban ϑ_k kezdeti hőmérsékletű vezető a zárlat fennállásáig (a $t=t_z$ időpillanatig) eltelt idő alatt ϑ_z hőmérsékletűre növekszik.

A nagyobb mértékű hőmérsékletnövekedés miatt, általában figyelembe kell venni a fajhő és a fajlagos ellenállás hőmérséklettől való függését (közelítőleg):

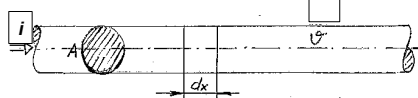
$$\frac{\rho}{c} = \frac{\rho_o}{c_o} \cdot [1 + \alpha_o' \cdot (\vartheta - \vartheta_o)],$$

ahol α_o' (1/K) a vezető anyagára jellemző hőmérsékleti tényező, valamint ρ és c a ϑ hőmérsékletre, ρ_o , c_o és α_o' a ϑ_o ($< \vartheta$) hőmérsékletre vonatkozik. A c fajhő hőmérsékletfüggése kb. 300 °C-ig elhanyagolható, ezért eddig a hőmérsékletig α_o' helyett a fajlagos ellenállás hőmérsékleti tényezőjével számolhatunk.

3. MELEGEDÉSI JELENSÉGEK

Tranziens melegedések

Gyors (zárlati) melegedés 2/3



$$\frac{\rho}{c} = \frac{\rho_o}{c_o} \cdot [1 + \alpha_o' \cdot (\vartheta - \vartheta_o)]$$

A környezetnek átadódó hő elhanyagolható, mert a zárlati melegedés ideje sokkal kisebb a melegedési időállandónál ($t_z \ll T_m$), és a melegedést a vezetón átfolyó zárlati áram pillanatértékével (i) számítjuk, mert általános esetben nem hanyagoljuk el a bekapcsolási villamos tranziensek hatását.

A τ melegedést nem a környezet hőmérsékletéhez, hanem ahhoz a ϑ_o hőmérsékletéhez képest adjuk meg, amelyre ρ_o , c_o és α_o' értéke vonatkozik, tehát

$$\tau = \vartheta - \vartheta_o; \quad i^2 \cdot R \cdot dt = c \cdot V \cdot d\tau; \quad d\tau = j^2 \cdot \frac{\rho}{c} dt;$$

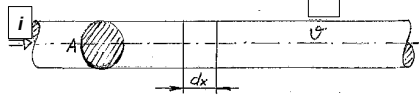
$$J = \frac{I}{A};$$

$$d\tau = \frac{\rho_o}{c_o} (1 + \alpha_o' \cdot \tau) \cdot j^2 dt.$$

3. MELEGEDÉSI JELENSÉGEK

Tranziens melegedések

Gyors (zárlati) melegedés 3/3



$$d\tau = \frac{\rho_o}{c_o} (1 + \alpha'_o \cdot \tau) \cdot j^2 dt.$$

A változók szétválasztása után és integrálva:

$$\int_{\vartheta_k - \vartheta_o}^{\vartheta_z - \vartheta_o} \frac{d\tau}{1 + \alpha'_o \cdot \tau} = \frac{\rho_o}{c_o} \cdot \int_0^{t_z} j^2 \cdot dt.$$

A Joule-integrál:

$$J_{th}(t_z) = \int_0^{t_z} i^2 \cdot dt = A^2 \cdot \int_0^{t_z} j^2 \cdot dt,$$

$$\frac{J_{th}(t_z)}{A^2} = \frac{c_o}{\alpha'_o \cdot \rho_o} \cdot \ln \frac{1 + \alpha'_o \cdot (\vartheta_z - \vartheta_o)}{1 + \alpha'_o \cdot (\vartheta_k - \vartheta_o)},$$

amelyből pl. ϑ_z értéke meghatározható.

4. ELEKTRODINAMIKUS ERŐHATÁSOK

4. ELEKTRODINAMIKUS ERŐHATÁSOK

Az áramkörök bekapcsolásakor (különösen a zárlatok létrejöttékor) fellépő áramok pillanatértékei (különösen azok csúcsértékei) keltette dinamikus erőhatások jelentős szerepet játszanak az erősáramú berendezések igen fontos részét képező kapcsolóberendezésekben és az azokat alkotó kapcsolókészülékekben. Az erőhatások tudatos felhasználása (pl. az ívöltő szerkezetekben) korszerű kapcsolókészülékek kialakítását teszi lehetővé, figyelmen kívül hagyásuk pedig a készülékek meghibásodását (pl. deformáció, érintkezők összehegedése) okozhatja. Kedvezőtlen, hogy az erőhatások következtében fellépő mechanikus igénybevételek a termikus igénybevételekkel együtt lépnek fel, tehát az áramvezető részek éppen akkor vannak fokozott mechanikai hatásoknak kitéve, amikor - amint láttuk - hőmérsékletük növekedése miatt a szilárdságuk lecsökken.

A megengedhető elektrodinamikusan erőhatást az I_{din} dinamikus határárammal veszik figyelembe, amely alatt az átfolyó áramnak azt a pillanatértékét értjük, amelyet a villamos kapcsolókészülék és kapcsolóberendezés káros következmény nélkül elvisel.

4. ELEKTRODINAMIKUS ERŐHATÁSOK

Számítási módszerek és alkalmazásai

Számítás a Biot-Savart-törvény alapján 1/2

Véges hosszúságú, egyenes vonalszerű vezetőkre ható erők
párhuzamos és azonos síkban lévő vezetők

$$k_{12} = \frac{D_1 + D_2 - (S_1 + S_2)}{R} = \frac{\sum D - \sum S}{R},$$

$$F_{12} = \frac{\mu_0 \cdot i_1 \cdot i_2}{4 \cdot \pi} \cdot k_{12}.$$

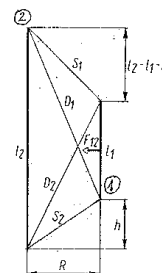
$\mu_0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am érték behelyettesítésével:

$$F_{12} = i_1 \cdot i_2 \cdot k_{12} \cdot 10^{-7} (N).$$

Az egyes vezetőkre ható erők iránya ellentétes, de nagysága azonos:

$$F_{12} = F_{21};$$

$$k_{12} = k_{21}.$$

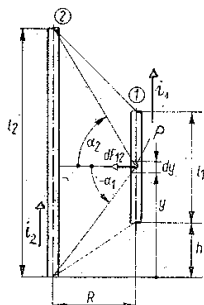


4. ELEKTRODINAMIKUS ERŐHATÁSOK

Számítási módszerek és alkalmazásai

Számítás a Biot-Savart-törvény alapján 2/2

Véges hosszúságú, egyenes vonalszerű vezetőkre ható erők
párhuzamos és azonos síkban lévő vezetők



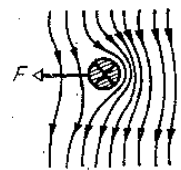
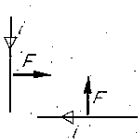
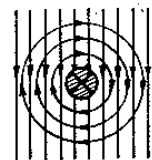
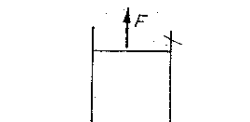
Abban a speciális esetben, ha a 2. jelű vezető végtelen hosszúnak tekinthető, akkor:

$$F_{12} = \frac{\mu_0 \cdot i_1 \cdot i_2}{2 \cdot \pi \cdot R} \cdot \ell_1 = \frac{2 \cdot i_1 \cdot i_2}{R} \cdot \ell_1 \cdot 10^{-7}.$$

4. ELEKTRODINAMIKUS ERŐHATÁSOK

Az erőhatás iránya

- Az áramhurok tágulni igyekszik;
- A párhuzamos áramvezetők vonzzák egymást, ha az áramirányok azonosak.
- Az egymásra merőleges áramvezetőkre ható erő irányának meghatározása-kor a vezetőket egy hurok darabjaiként lehet kezelni;
- Az indukcióvonalak az erő irányában ritkulnak.



9b) VILLAMOS KAPCSOLÓKÉSZÜLÉKEK ÉS BERENDEZÉSEK

- 1. RELÉK ÉS KIOLDÓK**
- 2. MEGSZAKÍTÓK**
- 3. OLVADÓ BIZTOSÍTÓK**
- 4. SZAKASZOLÓK**
- 5. KAPCSOLÓK**
- 6. KÉZÜLÉKKOMBINÁCIÓK**
- 7. TOKOZOTT KAPCSOLÓBERENDEZÉSEK**

1. RELÉK ÉS KIOLDÓK

1. RELÉK ÉS KIOLDÓK

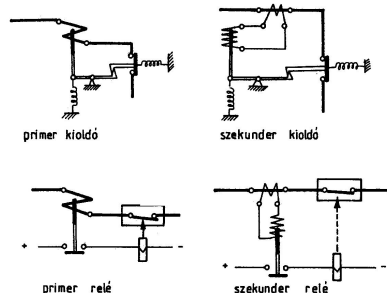
A védelmek és automatikák a villamos energia termelés, elosztás és felhasználás biztonsági berendezései. Ezek elemei a relék és kioldók, amelyeket különálló készülékként, valamint egy másik kapcsolókészülék (pl. megszakító) cserélhető szerkezeti egységeként vagy annak beépített elemeként, továbbá kiegészítő védelmi készülékként (pl. kontaktoroknál) alkalmaznak.

A relék és kioldók feladata, hogy meghatározott jellemzőket ellenőrizve, azok megváltozása által érzékeljék a villamos berendezések üzemében bekövetkezett rendellenességet, és - az érzékelt jellemző(k) megváltozásának mértékétől függően - parancsadó szervükön keresztül - emberi beavatkozástól függetlenül, tehát automatikusan - jelzést adjanak vagy beavatkozzanak a villamos berendezés működésébe.

1. RELÉK ÉS KIOLDÓK

Jellemzők, osztályozás

A relék és kioldók adott esetben pl. villamos bemenettel rendelkeznek, eltérés a kimeneti oldalon jelentkezik. A reléknek a kimenete is villamos, mert érintkezőket zárnak vagy nyitnak, a kioldók viszont mechanikus kimenetükkel zárszerkezeteket működtetnek. Az ellenőrzött jel érzékelése lehet közvetlen vagy közvetett (villamos jel esetén pl. mérőváltón keresztül). Eszerint primer és szekunder relét és kioldót különböztethetünk meg. Funkcionális alaptípusaik az áramot érzékelő elektromágneses működésű kioldókkal és reléekkel:



Ezek a relék a védelemben általában csak az indító relé szerepét töltik be, és közvetlenül egy ún. logikai részt (amelyben segédrelét és időrelét is használnak) hoznak működésbe. Ezután a védelmi hatásláncban még következik egy mérőrelé és egy végrehajtó relé (amely rendszerint segédrelé ill. időrelé) is, amely a kioldót működteti.

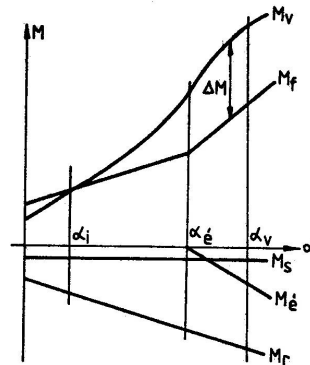
1. RELÉK ÉS KIOLDÓK

Elektromechanikus relék és kioldók

Ezekben a szerkezetekben a bemenő villamos mennyiség M_v mechanikai kioldó nyomatékká, vagy erővé alakul át. Ezt hasonlítják össze az alapjelként megadott M_f fékező nyomatékkal vagy erővel. A relé vagy kioldó akkor indul el (szólal meg) ha a kioldó irányú nyomaték a fékező nyomatéknál nagyobb:

$$M_v - M_f \geq 0.$$

Az M_v nyomaték a mozgó rész α szöghelyzetének függvényében a relék működési elvétől, szerkezeti kialakításától függően más-más jellegű. M_v értékei a relé α_i indulási helyzetétől az α_v véghelyzetbe való elmozdulás során általában növekszenek, de indukciós relé esetén M_v állandó is lehet. Az M_f nyomaték összetevődik a visszatérítő rugó nyomatékából (M_r), és reléknél az érintkező, vagy kioldóknál a kioldó szerkezet ellennyomatékából (M_e), amely a mozgó rész α_e érintkezési szöghelyzetében kezd kialakulni. Ezekhez a mozgás mindenkor irányával ellentétes értelmű súrlódó nyomaték (M_s) adódik hozzá.

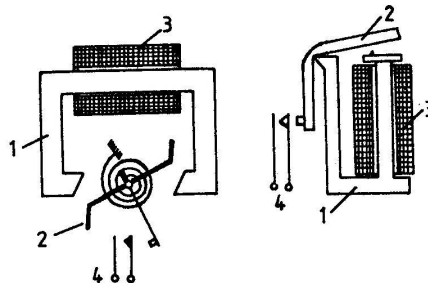


1. RELÉK ÉS KIOLDÓK

Elektromechanikus relék és kioldók

Elektromágneses relék

1. az állórész vasmagja, 2. a mozgó rész vagy fegyverzet, 3. a gerjesztő tekercs, 4. az érintkező:



Vékony, mágnesesen telítődő „Z” forgórész-fegyverzetű indító relé

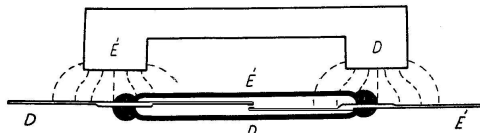
Billenő fegyverzetű segédrelé

1. RELÉK ÉS KIOLDÓK

Elektromechanikus relék és kioldók

Magnetomechanikus relék

Ide tartoznak a nyelves vagy reed-relék. Ez a relé tulajdonképpen nem más mint egy elektromágneses relé mozgó része, amely egyúttal az érintkezők és a rugók szerepét is betölti. Ebből tehát nemcsak a külön elemként szereplő érintkezők és rugók, hanem a mágnes álló része és gerjesztő tekercse is hiányzik:



A relé mozgó része üvegcsőbe forrasztott két rugalmas acélszalagból áll. Az acélnyelvek elmozduló végei között nyugalmi (nyitott) állapotban néhány tized milliméter hézagot hagynak, és ezen érintkező végeket jól vezető, illetve íválló anyagból lévő bevonattal látják el. Az üvegcsővön belül lehet levegő, de a csövet nitrogénnel, hidrogénnel illetve nemesgázzal is feltölthetik, vagy éppenséggel váku-umot hozhatnak létre benne.

A reed-relé működtetéséhez időben állandó mágneses teret kell a relé közelében létrehozni pl. permanens mágnessel. Ennek hatására a mágneskör a nyelveken keresztül az érintkezőkkel együtt záródik.

2. MEGSZAKÍTÓK

2. MEGSZAKÍTÓK

A nagy és kisfeszültségű megszakító olyan mechanikus kapcsolókészülék, amely üzemszerű és üzemszerűtől eltérő áramköri viszonyoknál (például zárlatok esetén is) az áram bekapcsolására, vezetésére (üzemszerű viszonyoknál tartósan, egyébként csak megszabott ideig) és megszakítására alkalmas.

2. MEGSZAKÍTÓK

Nagyfeszültségű megszakítók

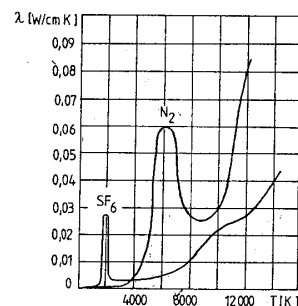
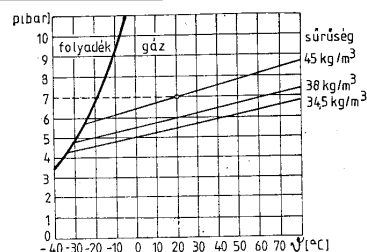
Kénhexafluorid-gázos megszakítók 1/3

A kénhexafluorid (SF_6) gáz fizikai-kémiai tulajdonságai:

Szintelen, szagtalan, nem mérgező és nem gyúlékony, továbbá vegyileg 500°C -ig igen stabil, valamint sűrűsége normál állapotban $6,14 \text{ kg/m}^3$ (öttszöröse a levegőének) és könnyen cseppfolyósodik.

Az SF_6 -os gázban a *hang sebessége* figyelemre méltóan kicsi, a levegőben mért érték mintegy 40%-a.

Hővezetőképessége 2000 K környékén kiugróan nagy, kb. 10-szerese a nitrogénének, ennél nagyobb hőmérsékleten azonban lényegesen kisebb.



2. MEGSZAKÍTÓK

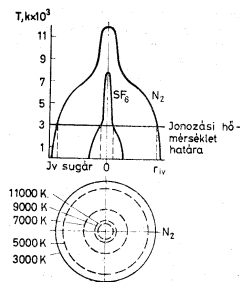
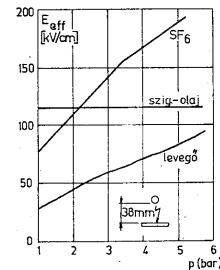
Nagyfeszültségű megszakítók

Kénhexafluorid-gázos megszakítók 2/3

Az SF_6 gáz villamos és ívoldási tulajdonságai egymással (sőt a fizikai-kémiai tulajdonságokkal) összefüggésben tárgyalhatók:

- Kedvező villamos tulajdonsága, hogy igen nagy az átütési szilárdsága; 2 bar nyomáson azonosnak vehető a szigetelő olajével, amely a levegőben mérhető érték mintegy ötszöröse.

- A levegőével azonos az ionizációs határhőmérséklete (kb. 3000 K), de épp az ionizációs tartományban ($T > 3000$ K) igen rossz a hővezetőképessége, ezért az ívsugár mentén nagy a hőmérsékletgradiens és 7000 K körüli hőmérsékleten teljesen vezető plazma állapotban van az SF_6 gáz. Sokkal kisebb az ív hőmérséklete, valamint az ívburok és az ívmag sugara, mint - a levegő nagy részét alkotó - nitrogénben égő ív esetén.



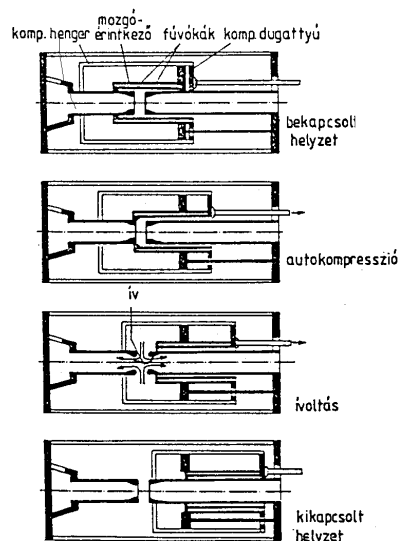
2. MEGSZAKÍTÓK

Nagyfeszültségű megszakítók

Kénhexafluorid-gázos megszakítók 3/3

A második generációs egynyomókörös (autókompressziós) független ívoldású megszakító esetében az ívfúvóhoz szükséges nagyobb nyomást a mozgó érintkezővel együtt elmozduló sűrítő henger belsejében lévő dugattyú ún. autókompressziós hatásával hozzák létre, ezért a működtetéshez többletenergia szükséges.

Az érintkezők zárt helyzetében a dugattyú elősűríti a gázt, úgyhogy nyitáskor nagynyomású gáz áramlik az ívre, amely a mozgó érintkező elmozdulásával átkerül a fúvókák közé és kiterítványú gázáramlás hatására itt alszik ki.



2. MEGSZAKÍTÓK

Nagyfeszültségű megszakítók

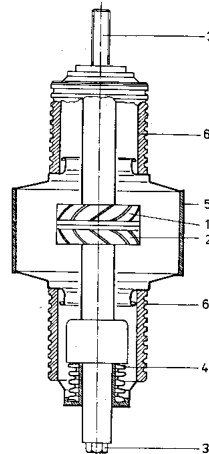
Vákuummegszakítók

A vákuumban égő ív az anódból és katódból kiváló fémgőz plazmából áll. A töltéshordozók elsősorban termikus emisszió útján keletkeznek.

A vákuummegszakítókamrák szerkezeti felépítése:

A szigetelőket (6) általában olyan különleges fénoxid kerámiákból készítik, amelyekkel létrehozható a fémszerelvényekkel a megfelelő vákuumzáró kötés.

Az állóérintkező (1) a kamra egyik végéhez van rögzítve, a mozgóérintkező (2) - tengelyirányban elmozdítható - szára egy, a mozgó tömítés szerepét ellátó, csőmembránon (4), és egy vezető perselyen keresztül van kivezetve a kamra másik végén. A vékonyfalú csőmembrán mechanikai élettartamát azzal is növelik, hogy a kondenzálódó fémcseppek ellen ernyővel védik.



2. MEGSZAKÍTÓK

Kisfeszültségű megszakítók

A kisfeszültségű (váltakozó feszültség esetén legfeljebb 1000, egyenfeszültség esetén legfeljebb 1200 V névleges feszültségű) megszakítók névleges árama az $I_n=6,3$ kA-t, zárlati megszakítóképesége az $I_z=200$ kA értéket is elérheti. Ezek a legdrágább kapcsolókészülékek, jellemzőjük a nem gyakori működés, ezért általában a kisfeszültségi villamos berendezések főként zárlat, de túlterhelés elleni védelmére (automatikus kikapcsolás a védelmek hatására) használják nem nagy (legfeljebb napi 1...5) kapcsolási ciklus esetén. Az üzemi áram gyakori kapcsolására többnyire kézi működtetésű kapcsolókat vagy kontaktorokat (túlterhelés elleni védelmi funkcióval) alkalmaznak.

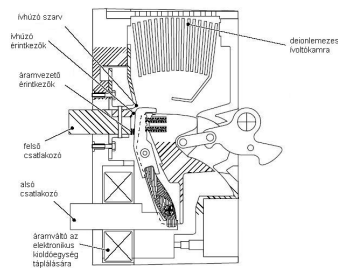
Nemcsak a nagyfeszültségű, hanem a kisfeszültségű megszakítóval szemben is fontos követelmény, hogy károsodás nélkül álljon ellen a rajta átfolyó zárlati áram dinamikus és termikus igénybevételének (az utóbbinak addig, amíg a megszakító a védelem hatására a zárlatot lekapcsolja). Fontos előírás az is, hogy karbantartással vagy anélkül, legalább 10^4 c (be- és kikapcsolási ciklus) mechanikai és 10^3 c villamos kapcsolási élettartama legyen.

2. MEGSZAKÍTÓK Kisfeszültségű megszakítók

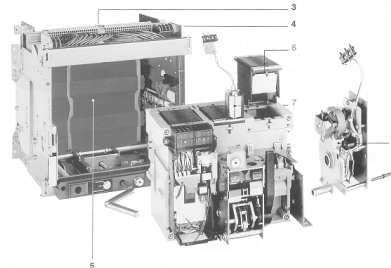
Csoportosítás, szerkezeti felépítés, működés 1/4

a.) Általános rendeltetésű (hagyományos, univerzális vagy B-típusú) megszakítók

A „kiegyensúlyozott taszítás” elvén alapuló érintkezőrendszerrel rendelkező korszerű (általános rendeltetésű, fém vázszerkezetű) megszakító szerkezeti felépítése:



Az áramút alakját és a csatlakozó kapcsok elhelyezkedését, az (erőket kompenzáló) érintkezőrendszer „uralja”. Az áramvezető és az ívhúzó érintkezővel ellátott szerkezethez igazodnak a többi szerkezeti elemek, így pl. az alsó csatlakozókapocsnál felfűzött, és az elektronikus kioldóegységet tápláló áramváltó és az ívhúzó szarv, valamint a deionlemezis oltókamra.



3. segédáramköri csatlakozó (sorozatkapocs) egység, a 4. fiók, az 5. biztonsági redőny, a 6. ív-oltó kamra, a 7. munkaáramú kioldó és a 8. rugóerő tárolós hajtás motorja.

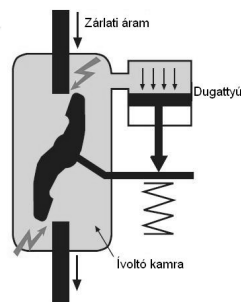
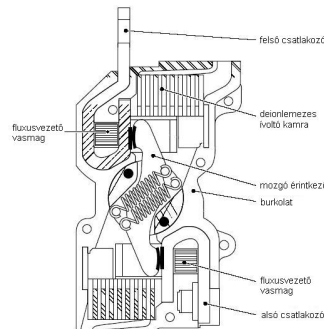
A megszakítók sorozatának névleges áramtartományára $I_n=0,8...6,3$ kA, zárlati megszakítóképeségüké pedig $I_z=50...150$ kA.

2. MEGSZAKÍTÓK Kisfeszültségű megszakítók

Csoportosítás, szerkezeti felépítés, működés 2/4

b.) Áramkorlátozó megszakító „taszító” érintkezőrendszerrel és reflex kioldással:

Különlegesen nagy zárlati áramkorlátozó képességű, pólusonként zárt burkolattal rendelkezik. Tengely körül forgó mozgó érintkezővel két helyen szakítja meg a zárlati áramot. Érintkezőrendszere két „kilövő” hatású U-alakú vasmaggal növelt, egyszeres megszakítású szerkezet kombinációja. Ezt az érintkezőket taszító, és a kétszeres ívfeszültség növekedése által létrehozott nagy áramkorlátozó technikát még egy újfajta, az igen nagy áramokat korlátozó kioldási technikával is kiegészítették. Ez az ív hőenergiája által létrehozott nyomásnövekedés hatására ún. reflex kioldást eredményez:



2. MEGSZAKÍTÓK

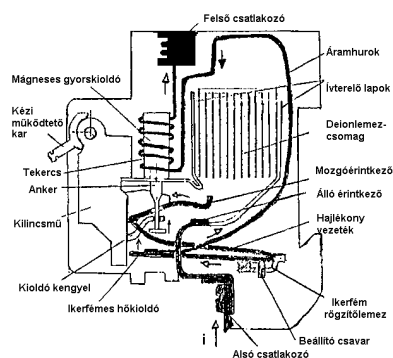
Kisfeszültségű megszakítók

Csoportosítás, szerkezeti felépítés, működés 3/4

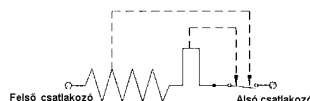
c.) Kismegszakítók

Kis névleges áramukhoz ($I_n=4...125\text{ A}$) képest nagy a zárlati megszakító képességük ($I_z=3...25\text{ kA}$), mert zárlatkor áramkorlátozó hatást fejtenek ki a kis méretükből és tömegekből adódó igen gyors működésükből, valamint az igen gyorsan növekvő ívfeszültséget keltő ívöltő szerkezetük miatt.

Szerkezeti felépítés:



Túláramvédelmi működési hatásvázlat:



Az áramútban lévő mágneses kioldó egy szolenoid típusú váltakozó áramú mágnes, amelynek mozgó része behúzáskor a megszakító rugóerő tárolás hajtásának kioldó kengyelére hat. Ugyanerre hat az ikerfém kioldó, közvetlenül fűtött ikerfémének szabadon elhajló vége által is.

2. MEGSZAKÍTÓK

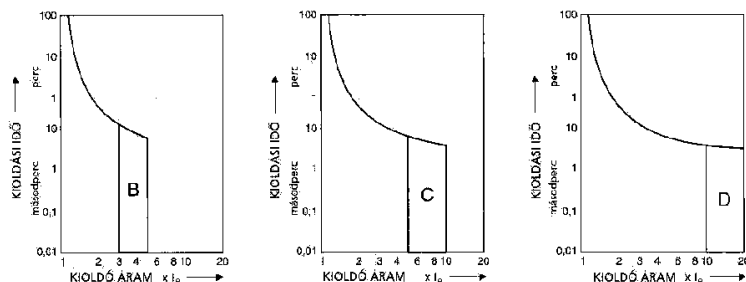
Kisfeszültségű megszakítók

Csoportosítás, szerkezeti felépítés, működés 4/4

c.) Kismegszakítók

A kismegszakítók túláramvédelmi kioldóinak nemcsak felépítése hanem működése is azonos más megszakítók túláramvédelmi kioldóegységével, csak azok nem állíthatók. Ennélfogva a kismegszakító elvi túláramvédelmi jelleggörbéje is azonos a azok karakterisztikával.

A kismegszakítókat különböző védelmi feladatok ellátására készítik. A gyakorlatban három féle szabványos védelmi karakterisztikát használnak. Ezek csak a gyorskioldó megszólasási áramértékiben különböznek. Szabványos (B, C és D-jelű) jelleggörbék, illetve jellegssávok. A B-jelű vézetékvédelmi célra ($V_{gy}=3...5$), a C-jelű általános háztartási célra ($V_{gy}=5...10$), a D-jelű pedig motorvédelmi célra ($V_{gy}=10...20$) ajánlott jellegssáv:



3. OLVADÓ BIZTOSÍTÓK

3. OLVADÓ BIZTOSÍTÓK

Az olvadó biztosító olyan kapcsolókészülék, amely az áramkörbe beiktatott olvadóelemének (egy vagy több párhuzamosan kapcsolt olvadószálának) megolvadásával és az azt követő ív oltásával automatikusan megszakítja az áramkört, ha az áramerősség egy meghatározott értéket meghatározott ideig meghalad. A biztosító kis keresztmetszetű olvadó-eleme a hálózati vezető egy szándékosan meggyengített szakaszaként is felfogható.

Feladata kettős: elsősorban a zárlatok elleni védelem (a túlterhelések elleni védelem korlátozott), de a névleges, vagy annál kisebb áramokat korlátlan ideig vezetnie kell. Az olvadó biztosító tehát a megszakítóhoz hasonló kapcsolókészülék, de csak a zárlati áram egy-szeri automatikus megszakítására szolgál.

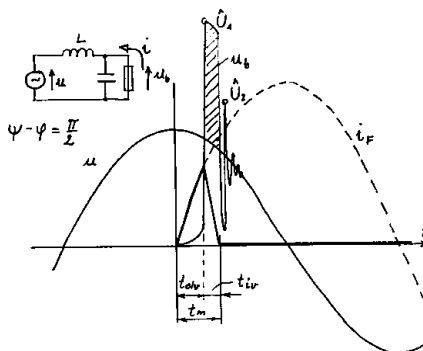
A hálózat soros elemeként védelmi szerepet lát el, normál üzemi állapotban is működik és ilyenkor is van feladata: a névleges, vagy annál kisebb áramok vezetése.

Működési ideje (az áram fellépésétől az ív kialvásáig eltelt idő) zárlatkor a félperiódusidő tört része, túlterhelések esetén ennél sokkal nagyobb, akár óra nagyságrendű is lehet.

3. OLVADÓ BIZTOSÍTÓK Középfeszültségű olvadó biztosítók

Működés zárlatkor

A szál már akkor kiolvad, mielőtt a független zárlati áram (i_F) a csúcsértékét elérné. Ebből következik áramkorlátozó tulajdonsága. Kiolvadása előtt a biztosító feszültsége azért növekszik, mert a szál ellenállása is nő a melegedés hatására. Ez a feszültség azonban a ív létrejötte után növekszik jelentősen (a tápfeszültség pillanatértékénél nagyobbra). Látható, hogy az olvadó biztosító kapcsain a legnagyobb feszültség két esetben is létrejöhet: az olvadószál kiolvadása ($\hat{U}_1$), vagy az áramkör végleges megszakítása után ($\hat{U}_2$). A kis névleges áramerősségű középfeszültségű biztosítóknál általában $\hat{U}_2$ a nagyobbik csúcsérték. A szabványok által megengedhető legnagyobb csúcsérték középfeszültségen:



$$\hat{U} = 2,2 \cdot \hat{U}_n,$$

ahol $\hat{U}_n$ a névleges (vonali) feszültség csúcsértéke; pl. $U_n = 40,5$ kV esetén $\hat{U} = 126$ kV.

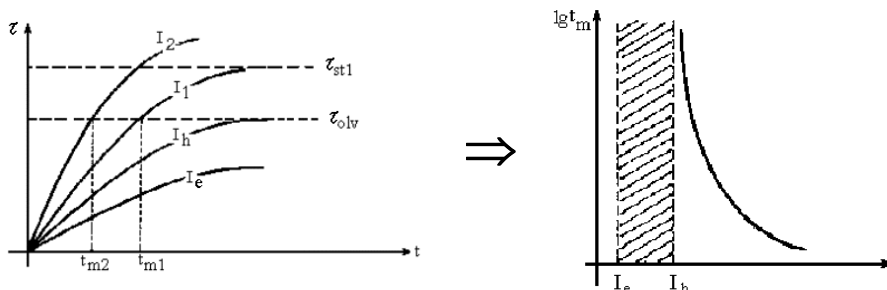
Az olvadó biztosító t_m működési ideje (a zárlat fellépésétől az áram megszűnéséig eltelt idő) két részből tevődik össze, a szál kiolvadásáig eltelt t_{olv} olvadási és a t_{iv} ívidőből:

$$t_m = t_{olv} + t_{iv}.$$

3. OLVADÓ BIZTOSÍTÓK Középfeszültségű olvadó biztosítók

Működés túlterheléskor

Áram-működési idő karakterisztika; a névleges áram (I_e) kisebb a határáramnál ($I_e < I_h$):



3. OLVADÓ BIZTOSÍTÓK

Kisfeszültségű olvadó biztosítók

Szerkezeti felépítés és kioldási jelleggörbe szerinti osztályozást csak a kisfeszültségű olvadó biztosítók esetében érdemes elvégezni:

Szerkezeti felépítésük szempontjából D-rendszerű, késes és csöves rendszerűek lehetnek a kisfeszültségű biztosítók.

Kioldási jelleggörbéjük szerint pedig gyors (hirtelen), igen gyors (ultragyors), késleltetett (lomha) és kombinált (lomha-gyors) működésű biztosítók különböztethetők meg.

3. OLVADÓ BIZTOSÍTÓK

Kisfeszültségű olvadó biztosítók

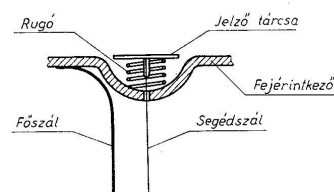
Szerkezeti felépítés, jellemzők 1/5

A D-rendszerű és a késes és csöves olvadó biztosítók mindegyike a betét befogadására alkalmas és a hálózathoz csatlakozó *aljzathból vagy foglalatból* és az olvadó elemet is tartalmazó *betétből* áll.

A betétekben lévő olvadó elemek anyaga réz, ezüstözött réz, vagy ezüst, amelyeket alacsony olvadáspontú rátét-fémekkel is kiegészíthetnek. Az olvadó elemeket általában 0,3 mm-nél nagyobb szemcseméretű tisztított, kiszáritott és rázással tömörített kvarchomok töltet veszi körül.

A D-rendszerű és a késes olvadó biztosítókat egy- és háromfázisú áramkörökben egyaránt használják. A 400/230 V-os hálózatban alkalmazott biztosítók névleges feszültsége $U_e=500$ V.

A D-rendszerű és a késes olvadó betéteket kioldásjelző szerkezettel is ellátják, hogy a olvadóelem (főszál) kiolvadása vizuálisan érzékelhető legyen. A főszál kiolvadása után, a vele párhuzamosan kapcsolt nagy fajlagos ellenállású anyagból készült segéd-olvadósál is kiolvad és az összenyomott rugó hatására (a névleges áram szerint különböző színűre festett) jelzőtárcsa elugrik a helyéről.



3. OLVADÓ BIZTOSÍTÓK

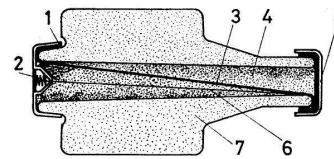
Kisfeszültségű olvadó biztosítók

Szerkezeti felépítés, jellemzők 2/5

D-rendszerű olvadó biztosítók:

Ezt hazánkban régebben, de külföldön most is használatos „Diazed” megnevezés kezdő betűjével jelölik. Ez utóbbiból a „Dia” arra utal, hogy a biztosító betét felcserélhetetlensége az átmérők (diaméter) rendszerén alapul, „z” a „zweiteilig” kétrészes aljzat, az „ed” az Edison-foglalatba (E16, E27 vagy E33) való becsavarhatóság rövidítése.

Az olvadó betét, amelynek hő és nyomásálló kerámia (porcelán vagy szteatit) tokozatában (7) kvarchomok töltetben (4) helyezkedik el az általában fő olvadószál (3) és a kiolvadásjelző szerkezet segéd-olvadószála (6). A betét tokozatához a fej- (1) és láb-érintkező (5) van préselve a közöttük lévő főszálak végeivel és a segédszál egyik végével együtt. A segédszál másik vége a jelzőtárcsához (2) van kötve. A fő olvadószál teljes hosszában állandó kör keresztmetszetű, vagy lapos és változó keresztmetszetű. A tokozat csapszerűen kialakított végén lévő láb-érintkező átmérője a betét névleges áramerősség-fokozatának növekedésével növekszik.



3. OLVADÓ BIZTOSÍTÓK

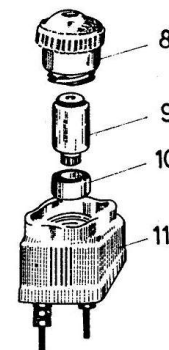
Kisfeszültségű olvadó biztosítók

Szerkezeti felépítés, jellemzők 3/5

D-rendszerű olvadó biztosítók:

Az olvadó betétet (9) kétrészes - kerámiából készült és fém foglalat-elemekkel is ellátott - aljzat fejrészébe (8) kell behelyezni, majd a kettőt együttesen az aljzatba (11) becsavarni. A betétet a fejrészben lévő rugó rögzíti, így a betét nem tud kiesni belőle, tehát a fejrész kicsavarásakor vele együtt távolítható el a betét is. Ez érintésvédelmi szempontból fontos. A fejrész el van látva egy üvegablakkal is, amelyen keresztül a kiolvadásjelző tárcsa megléte alapján a betét állapota, vagy színe alapján névleges árama ellenőrizhető. Az aljzat a betéttel együtt csak akkor csavarható be, tehát a betét láb-érintkezői az alaprész fenékérintkezőivel csak akkor kapcsolódnak, ha az alaprészben lévő illesztőgyűrű (10) belső átmérője a betét láb-érintkezőjének átmérőjénél kisebb. Az illesztőgyűrű és a betét azonos névleges áramerőssége esetén éppen teljesül a „laza” illesztés követelménye. Ezzel tehát megvalósítható, hogy az aljzatba az illesztőgyűrűnél nagyobb névleges áramú betét nem helyezhető el.

A D-rendszerű olvadó biztosítók összeszerelt állapotában nem lehet feszültség alatt álló részeket megérinteni. Kiszertelt betét esetén ez nem áll fenn, de csökkenthető az áramütés valószínűsége, ha a tápoldali vezeték a fenékérintkezőhöz csatlakozik.



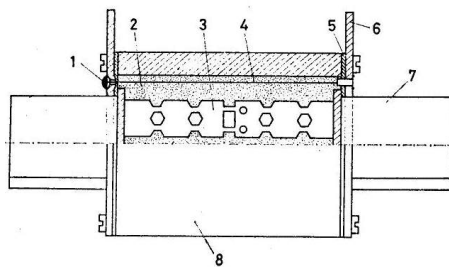
3. OLVADÓ BIZTOSÍTÓK

Kisfeszültségű olvadó biztosítók

Szerkezeti felépítés, jellemzők 4/5

Késes rendszerű olvadó biztosítók:

Ezekkel az olvadó biztosítókkal nagyobb zárlati áramokat szakíthatunk meg mint a D-rendszerűekkel, és ezek sokkal nagyobb a névleges áramértékig vehetők igénybe. A hő- és nyomásálló (általában kerámia) tokozatban (8) lévő kvarchomok töltetben (2) helyezkedik el az olvadó elem (3), és a kiolvadásjelző szerkezet (1) segéd-olvadószála (4) (a kiolvadásjelző szerkezet a tokozat közepén is elhelyezhető). Az olvadó elem általában több egymással párhuzamosan kapcsolt lapos, változó keresztmetszetű fő olvadószálból áll. Végeiket ponthegeztéssel rögzítik az érintkezők (7) homloklemezeihez. A tokozat végeihez nagy szilárdságú fémötvözetből készült zárólemezek (6) vannak csavarozva hőszigetelő alátét (5) közbeiktatásával.



3. OLVADÓ BIZTOSÍTÓK

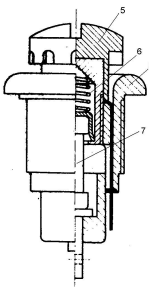
Kisfeszültségű olvadó biztosítók

Szerkezeti felépítés, jellemzők 5/5

Csőves rendszerű olvadó biztosítók:

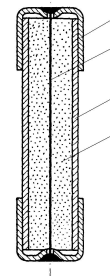
Ezeket olyan egyfázisú, 250 V-nál kisebb feszültségű, és kis teljesítményű készülékek, műszerek zárlat elleni védelmére használják, amelyeknek áramköreiből a független zárlati áram erőssége 100 A-nél kisebb. A betétek névleges árama: $I_n = 5 \text{ mA} \dots 15 \text{ A}$.

A betétet alkotó kb. 25 mm hosszú üvegcső (1) két végéhez szorított fémsapkához (2) van beforrasztva a teljes hosszában kör keresztmetszetű olvadósál (3), amelyet az ábrán látható esetben kvarchomok töltet (4) vesz körül. Kisebb névleges és zárlati áramerősség esetén nem használnak kvarchomokat sem, a töltet tehát levegő.



A védendő készülék burkolatán belül a betét fémsapkáival rugózott villás aljzathoz csatlakoztatható.

Sokkal előnyösebb azonban a burkolatra szerelhető szigetelő anyagból készült aljzat alkalmazása. Ebben az esetben könnyen megvalósítható a betét feszültség alatti cseréje az aljzat fejrészének (5) - a benne lévő rugóval (6) és betéttel (7) együtt - az aljzatba (8) való ki- és becsavarásával.



3. OLVADÓ BIZTOSÍTÓK

Kisfeszültségű olvadó biztosítók

Működés túlterheléskor 1/2

Az olvadó biztosítók olvadóelemének csekély méreteiből a védendő berendezésnél vagy a vezetéknél sokkal kisebb hőtehetetlenségére és termikus időállandójára következtethetünk. Ebből adódik, hogy változó áramigénybevétel esetén a védendő berendezések termikusan nem lennének kihasználhatók, vagy egyszerűen nem is lennének üzemeltethetők, ha pl. a gyors (hirtelen) működésű olvadó biztosító a motorok indítása-kor fellépő áramlökés hatására kioldana.

Az olvadó biztosító működését tehát a rövid idejű túlterhelések tartományában késleltetni kell. Ezért használják a késleltetett (lomha) vagy kombinált (lomha-gyors) működésű olvadó biztosítókat.

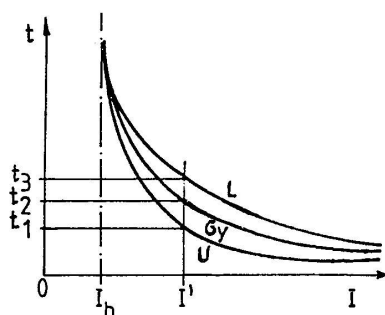
A félvezetők zárlat elleni védelme pedig ezzel ellenkező értelmű beavatkozást, a működés gyorsítását, tehát igen gyors (ultragyors) működésű biztosítók használatát igényli.

3. OLVADÓ BIZTOSÍTÓK

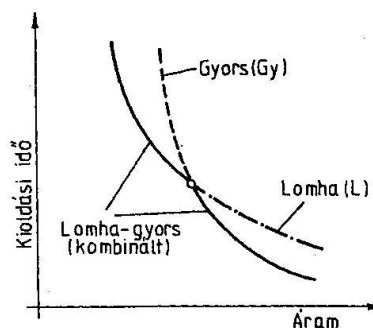
Kisfeszültségű olvadó biztosítók

Működés túlterheléskor 2/2

Késleltetett (L), gyors (Gy) és igen gyors (U) működésű biztosítók kioldási jelleggörbéi:



Kombinált (L-Gy) működésű biztosítók kioldási jelleggörbéi:



4. SZAKASZOLÓK

4. SZAKASZOLÓK

A *szakaszoló* olyan mechanikus kapcsolókészülék, amelynek nyitott érintkezői között - az előírt követelményeknek megfelelő - szigetelési távolság, az ú.n. szakaszolási távolság van.

Fő feladata, hogy nyitott érintkezői között az előírt villamos követelményeknek tartósan és üzembiztosan eleget tegyen, ezáltal a hálózati részeket üzembiztosan és láthatóan szétválassza. Az áramkörök nyitása-zárása csak akkor követelhető meg, ha a szakaszolón elhanyagolhatóan kis áram folyik át (pl. igen rövid kábelek kapacitív árama és a megszakítókkal párhuzamosan kapcsolt potenciálvezérlő ellenállások árama), vagy ha a szakaszoló kapcsai között a feszültségkülönbség jelentéktelen (a szakaszoló valamilyen zárt kapcsolókészülékkel van párhuzamosan kapcsolva). Zárt helyzetben a szakaszoló a névleges áramot korlátlan ideig vezesse, és álljon ellen a zárlati áram termikus és dinamikus hatásának.

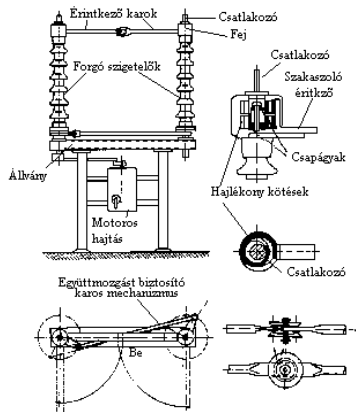
Kiegészítő feladata az áram útjának előkészítése (pl. kettős gyűjtősínek esetén, ahol a szakaszolóval kijelöljük az energia útját az egyik gyűjtősín felé).

A szakaszolót gyakran földelőkapcsolóval vagy földelőkéssel is kiegészítik. A nyitott érintkezők közötti szigetelő közeg általában levegő, de SF₆-gáz is lehet.

4. SZAKASZOLÓK

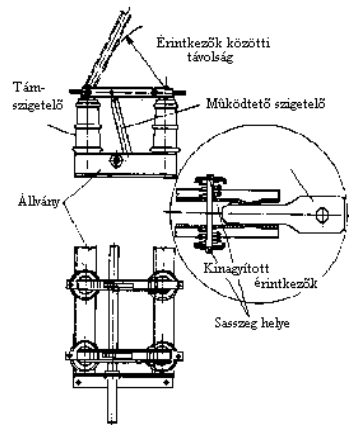
Nagyfeszültségű szakaszolók

Kétszigetelős (nagyfeszültségű):



Vízszintes síkban történő késmozgású, oldalt nyíló és egy helyen bontó szakaszoló. Működéskor mindkét szigetelő együttesen fordul el, ezért a csatlakozók hajlékony vezetével vannak bekötve.

Csapókéses közepfeszültségű:



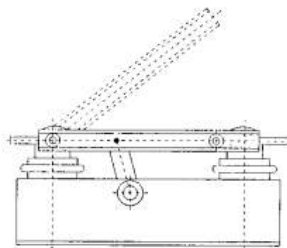
Jellemző, hogy mindhárom pólust közös keretre szerelik, és a hajtás is közös. Többnyire belsőtéri kivitelűek.

4. SZAKASZOLÓK

Kisfeszültségű szakaszolók

A kisfeszültségű hálózatokban ma már igen kevés helyen - általában csak a bonyolultabb felépítésű fémtokozott kapcsolóberendezésekben gyújtósínbontóként, vagy átkapcsolóként, továbbá több ezer amper névleges áramerősségű leágazások leválasztására - alkalmazzák a szakaszolót, mint önálló kapcsolókészüléket. Más kapcsolókészülékekkel (kapcsolók, olvadábiztosítók és megszakítók) együtt azonban gyakran szerepelnek alapkészülékként a különféle készülékkombinációk kialakításakor.

Csapókéses kivitel:



Minden esetben belső téri kivitelűek, és szerkezeti felépítésük gyakran megegyezik a légszigetelésű, közepfeszültségű csapókéses három pólusú belső téri kivitelű szakaszolókéval. Ezen többnyire kézi hajtással működtethető) szakaszolók névleges árama általában $I_n = 400 \dots 3000 \text{ A}$.

5. KAPCSOLÓK

5. KAPCSOLÓK

A kapcsolók feladata üzemszerű áramköri viszonyok esetén, amelybe meghatározott túlterhelési viszonyok is beletartoznak, az áram bekapcsolása, vezetése és kikapcsolása, valamint az üzemszerűtől eltérő viszonyok (pl. zárlatok) esetén az áram vezetése a védelem működéséig.

5. KAPCSOLÓK

Nagyfeszültségű kapcsolók

Nagyfeszültségen a kapcsolók feladatát megszakítók látják el.

Középfeszültségen önálló kapcsolókészülékként alkalmazzák a megszakítási célra is bevált vákuumkamrákat és forgóíves ívöltő szerkezetű kontaktorokat. Ezen kívül azonban sokféle, más ívöltő szerkezettel ellátott középfeszültségű kapcsolót is használnak a különböző készülékkombinációkban.

5. KAPCSOLÓK

Kisfeszültségű kapcsolók

Csoportosítás

A kisfeszültségű kapcsolók két fő csoportra oszthatók: mechanikus (érintkezőket tartalmazó) és félvezetős (érintkező nélküli) kapcsolók.

A mechanikus kapcsolók szerkezeti felépítés és működtetés szerint lehetnek: nyomócsapos, forgó-, billenőkapcsolók és kontaktorok.

A kontaktorok saját (általában) elektromágneses, a többiek általában kézi vagy idegen gépi működtetésűek.

A mechanikus kapcsolók fő szerkezeti elemei: kapcsoló szerkezet (fő- és segédérintkezők, valamint ívöltő szerkezetek), működtető szerkezet és helyzet- (vagy állás-) biztosító szerkezet (ennek feladatát kontaktoroknál az a működtető mágnes látja el).

5. KAPCSOLÓK

Kisfeszültségű kapcsolók

Alkalmazási kategóriák

A kisfeszültségű kapcsolóknak fő feladata a fogyasztói terhelések áramának be- és kikapcsolása üzemszerű, vagy üzemszerű túlterhelési viszonyok mellett (ezért használták régebben a „terheléskapcsoló” elnevezést).

A kapcsolók igénybevétele és élettartama (így alkalmazhatósága is) nemcsak a terhelések névleges áramától és feszültségétől függ, hanem az eltérő jellegből származó teljesítménytényezőtől vagy villamos időállandótól, valamint az eltérő működésükből és üzemviszonyaikból, azaz a be- és kikapcsoláskor üzemszerűen fellépő áram és feszültség értékeitől valamint időbeli lefolyásuktól. Ennek figyelembe vételére a különböző váltakozó és egyenáramú fogyasztókat (AC és DC) szabványosított alkalmazási kategóriákba (csoportokba) sorolták.

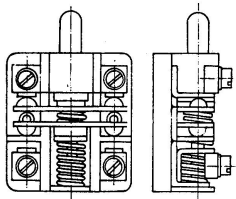
5. KAPCSOLÓK

Kisfeszültségű kapcsolók

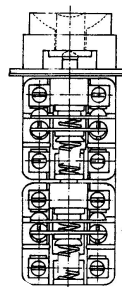
Nyomócsapos kapcsolók

A kézi működtetésű nyomócsapos kapcsolókat nyomógomboknak, a gépi működtetésűeket - feladatuk ellátása alapján - segédérintkezőknek vagy helyzetkapcsolóknak (pl. végálláskapcsolóknak) nevezik.

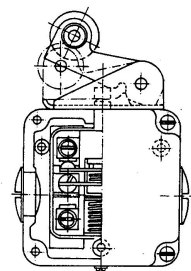
Segédérintkező:



Nyomógomb:



Helyzetkapcsoló:

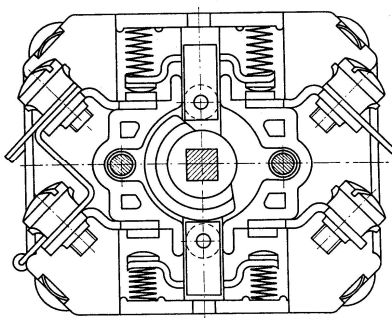


5. KAPCSOLÓK

Kisfeszültségű kapcsolók

Forgókapcsolók

A *görgős kapcsolók* a bütykös tárcsái görgő közvetítésével működtetik az egy-, vagy kétszeres megszakítású kapcsoló elemeket. A működtető tengelyre több elem fűzhető fel különböző vezérlési feladatok megoldása érdekében. Főkapcsolóként is használják kisfeszültségű hálózatrészek és berendezések kapcsolására, de még aszinkron motorok kapcsolására is.

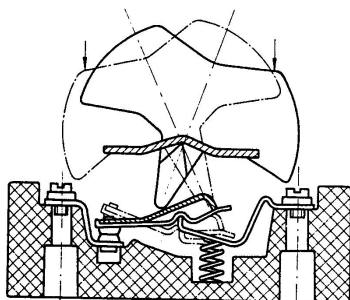


5. KAPCSOLÓK

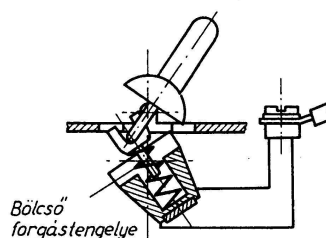
Kisfeszültségű kapcsolók

Billenőkapcsolók

Billenőpályás:



Billenőkaros:



5. KAPCSOLÓK

Kisfeszültségű kapcsolók

Kontaktorok 1/5

A kontaktorok szerkezeti felépítésük és saját (általában) elektromágneses működtetésük alapján a mechanikus kapcsolók külön csoportját alkotják.

Távműködtetésre is alkalmasak, és gyakori működtetés (max. 1200 c/óra) mellett nagy mechanikai, és villamos élettartammal (max. 10^7 c) rendelkeznek. A kisfeszültségű kontaktorokat széles névleges áramhatárok között ($U_e=400$ V feszültségen $I_e=4...1000$ A), minden alkalmazási kategóriára gyártják. A kisfeszültségű motorok kapcsolását és védelmét szinte kizárólagosan a védelmi egységgel kiegészített kontaktorok (motorvédő kapcsolók) illetve védelemmel működtetett kontaktorok látják el. Ez alól kivételt csak a félvezető kapcsolók alkalmazása, valamint az igen nagy és ritkán kapcsolt motorok kapcsolása és védelme jelent, ahol megszakítókat használnak.

A kontaktorok a kézi működtetésű kapcsolók alkalmazási területein is előnyösebben használhatók, sőt az elektromágneses relék vezérlési feladatait is gyakran helyettesítik.

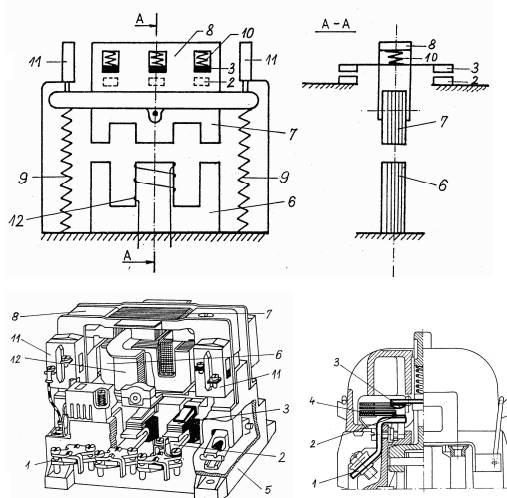
Mindezekből következik, hogy a kapcsolók legnagyobb családját a kontaktorok alkotják.

5. KAPCSOLÓK

Kisfeszültségű kapcsolók

Kontaktorok 2/5

Szerkezeti felépítés:



- Csatlakozó kapcsok (1)
- Mozdó főérintkezők (3)
- Álló főérintkezők (2),
- Ívoltó szerkezet (4)
- Vázszerkezet (5)
- Elektromágnes, amelynek álló része (6) a vázszerkezethez van rögzítve, mozdó része (7) pedig az érintkezőtartó-hídhöz (8) csatlakozik.
- Segédérintkező egységként (11) szereplő nyomócsapos kapcsolók az érintkezőtartó-híd elmozdulásának hatására működtethetők.

5. KAPCSOLÓK

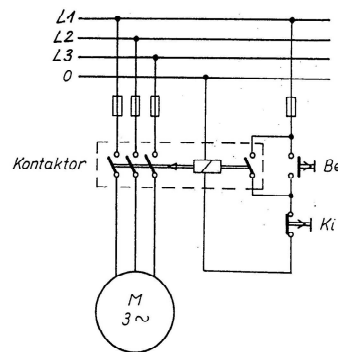
Kisfeszültségű kapcsolók

Kontaktorok 3/5

Motorok túlterhelés elleni védelme:

Egyszerűbb követelmények esetén pl. ventilátoroknál, ahol túlterhelés gyakorlatilag nem fordulhat elő, nem is védik a motorokat túlterhelés ellen. Ezekben az esetekben a távműködtetésre alkalmas kontaktor csak a be- és kikapcsolás feladatát látja el. A kontaktor mágnesstekercsét egy forgó vagy billenő kapcsolóval is lehet tartósan feszültség alá helyezni vagy kikapcsolni.

E helyett sokkal előnyösebb az ún. impulzusvezérlés alkalmazása, amelyben a kontaktorok főérintkezőivel együtt működő segédérintkezők is szerepet játszanak. Egy impulzusvezérlésű kontaktor abban az egyszerű esetben, amelyben a motornak nincs túlterhelés elleni védelme, a zárlat elleni védelmet pedig olvadó biztosítók látják el.



5. KAPCSOLÓK

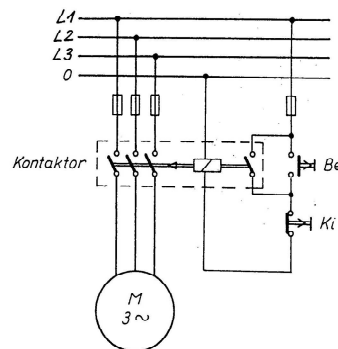
Kisfeszültségű kapcsolók

Kontaktorok 4/5

Motorok túlterhelés elleni védelme:

Impulzusvezérlésű kontaktor, ha a motornak nincs túlterhelés elleni védelme.

Bekapcsoláshoz a „Be” nyomógombot elegendő egy rövid ideig (impulzusszerűen) benyomni. Ezzel a kontaktor mágnesstekercsére a hálózati fázisfeszültséget rákapcsoljuk, tehát a mágnes meghúzó, és a munkaáramú segédérintkezők zárják a nyomógomb kapcsait, tehát a kontaktor bekapcsolt állapotban marad a nyomógomb elengedése után is. A kontaktor tehát öntartásban bekapcsolva marad. Úgy tudjuk kikapcsolni, ha (akár csak impulzusszerűen) működtetjük a „Ki” nyomógombot. Ennek (a tartóáramkör főágába kötött) nyugalmi érintkezője bontja a mágnesstekercs áramkörét, a kontaktor kikapcsolt helyzetbe kerül, ezzel megszűnik a „Be” gomb áthidalása. A „Ki” gomb elengedésével tehát új bekapcsolás nem következhet be.



5. KAPCSOLÓK

Kisfeszültségű kapcsolók

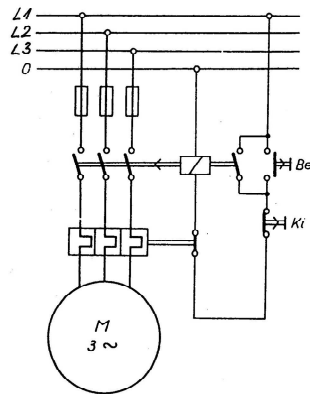
Kontaktorok 5/5

Motorok túlterhelés elleni védelme:

Áramvédelem

Hőrelével létrehozott védelem

Az impulzusvezérlés kiegészítése hőrelével:



6. KÉSZÜLÉKKOMBINÁCIÓK

6. KÉSZÜLÉKKOMBINÁCIÓK

Két-három alapkészülék feladatát ellátó készülékkombinációkat - kis helyigényük és egyszerű beépíthetőségük, valamint kedvező áruk miatt - ma már olyan széleskörűen alkalmazzák elsősorban a belső téri tokozott kapcsoló-berendezésekben, hogy minden egyes kombinációra szabványok állnak rendelkezésre. Ezen szabványok alkalmazásának előnye, hogy nem kell az egyes alapkészülékekre vonatkozó előírásaiból összeállítani a kombinációra vonatkozó rendelkezéseket.

A készülékkombinációk lehetséges változatai két csoportba sorolhatók:

a.) A gyártó sorosan kapcsolt alapkészülékeket épít egy szerkezeti egységbe. Ezáltal nem jön létre új készülék, lényegében csak a helyszíni szerelés munkája egyszerűsödik. Ezekben az összeépített, könnyen áttekinthető kombinációkban az alapkészülékek jól felismerhetők, tehát ezeket nem érdemes külön ismertetni. Az olvadó biztosítók, kapcsolók és megszakítók védelmi karakterisztikáit természetesen megfelelően illeszteni kell egymáshoz.

b.) Alapkészülékből és készülék-elem(ek)ből konstruált új szerkezet, önálló készülék.

6. KÉSZÜLÉKKOMBINÁCIÓK

Kisfeszültségű készülékkombinációk

A táblázatban a kisfeszültségű készülékkombinációk lehetséges változatai szerepelnek- a kontaktorokat tartalmazó összeépített készülékkombinációk kivételével. A motorvédő kombinációk (kontaktor és hőrelé valamint megszakító és kontaktor) a kontaktorkombinációk (pl. irányváltó és csillag-háromszög-indító) ugyanis nem mindig fixen összeépített, hanem csak összeépíthető egységeket jelentenek.

a.) Készülék és olvadó biztosító összeépített kombinációi	b.) Új szerkezetek (önálló készülékek) két vagy három alapkészülékből
biztosíts szakaszoló	szakaszolóbiztosító
biztosítós kapcsoló	kapcsolóbiztosító
biztosítós szakaszolókapcsoló	szakaszolókapcsoló
biztosítós megszakító	szakaszoló-kapcsolóbiztosító

7. TOKOZOTT KAPCSOLÓBERENDEZÉSEK

7. TOKOZOTT KAPCSOLÓBERENDEZÉSEK

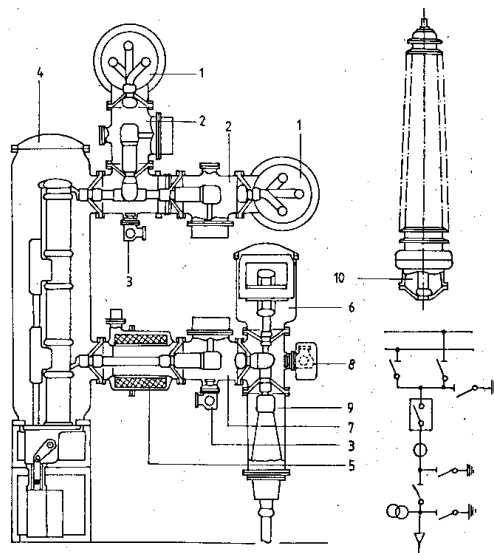
Villamos kapcsolóberendezésnek nevezzük egy adott funkciót ellátó villamos készülékek rendszerét, amelyet egy meghatározott kapcsolási séma szerint hoztak létre.

Középfeszültségen kezdetben zárttérben ún. épített cellás berendezéseket alakítottak ki. A cellákat elől földelt vashálóval borított ajtóval zárták le. Ezek legfőbb hátránya a nagy helyigényből és abból adódott, hogy a cellák előtt tartózkodó kezelőket veszélyeztette az ív hőhatása. Ez a veszélyhelyzet a zárlati teljesítmény növekedésével fokozódott, és egyre inkább jelentkezett a méretek csökkentésére vonatkozó igény is. Ezért ma már fémlemeztokozású cellákat alkalmaznak közép-és kisfeszültségen egyaránt. A teljes kapcsolóberendezést a cellák - kapcsolási igények szerinti tipizált - egységeiből helyszíni szerelés során állítják össze. Ennek ideje is sokkal kisebb, mint régebben. Nemcsak légszigetelésű, hanem SF₆ gázzal feltöltött középfeszültségű kapcsolóberendezések is vannak, amelyekkel további hely takarítható meg.

A kapcsolóberendezések szabadtéren is kialakíthatók, akár közép- akár nagyfeszültségű berendezésről van szó. A nagyvárosok növekvő villamos-energia igénye tett szükségessé, hogy a 120 kV-os, vagy annál nagyobb feszültségű transzformátorállomások (a kapcsolóberendezéseket is beleértve) telepítsenek a sűrűn beépített belső kerületekbe. Ez a hagyományos, nagy helyigényű légszigetelésű szabadtéri berendezésekkel nem volt megoldható. A helyszükséglet radikális csökkentése csak az SF₆-gázszigetelésű fémtokozott nagyfeszültségű kapcsolóberendezések alkalmazásával volt elérhető. Újabban a nagynyomású levegővel szigetelt berendezések is kezdenek elterjedni.

7. TOKOZOTT KAPCSOLÓBERENDEZÉSEK

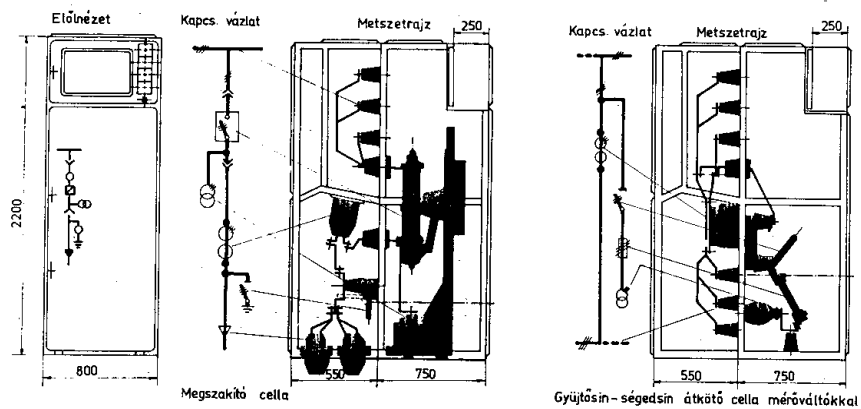
Nagyfeszültségű SF₆-gázos fémtokozott kapcsolóberendezések



7. TOKOZOTT KAPCSOLÓBERENDEZÉSEK

Középfeszültségű fémtokozott kapcsolóberendezések

Egy-gyűjtősínes középfeszültségű légszigetelésű fémtokozott kapcsolóberendezés:



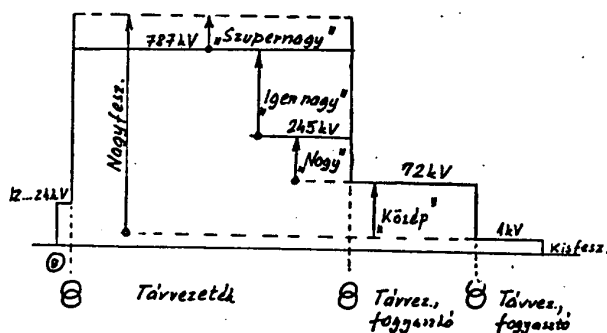
10a) VILLAMOS KAPCSOLÓKÉSZÜLÉKEK ÉS BERENDEZÉSEK

- 1. A VILLAMOS KAPCSOLÓKÉSZÜLÉKEKRŐL ÁLTALÁBAN**
- 2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK**
 - Bekapcsolás, váltakozó áram
 - Kikapcsolás, a villamos ív
 - Kikapcsolás nagyfeszültségen
 - Kikapcsolás kisfeszültségen
- 3. MELEGEDÉSI JELENSÉGEK**
- 4. ELEKTRODINAMIKUS ERŐHATÁSOK**

1. A VILLAMOS KAPCSOLÓKÉSZÜLÉKEKRŐL ÁLTALÁBAN

1. A VILLAMOS KAPCSOLÓKÉSZÜLÉKEKRŐL ÁLTALÁBAN

3



1. A VILLAMOS KAPCSOLÓKÉSZÜLÉKEKRŐL ÁLTALÁBAN

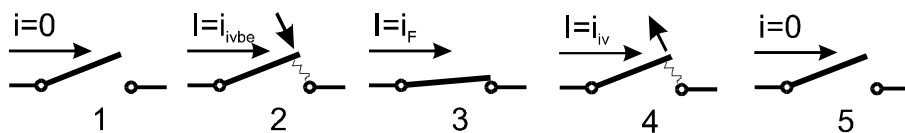
4

Mechanikus működésű	Olvadó biztosító	Félvezetős	Túlfeszültség-védelmi eszk.	Kapcs. kész. kombinációk
Megszakító	Áramkorlátozó jellegű	Félvezetős kapcsoló	Szikraköz	Szakaszoló kapcsoló
Szakaszoló	Megszakító jellegű	Félvezetős relé	Oltócső	Szakaszoló biztosító
Kapcsoló			Túlfeszültség-vezető	Kapcsoló biztosító
Kontaktor			ZnO túlfeszültség-vezető	Szak.kapcs. biztosító
Kioldó				Biztosítós szakaszoló
Relé				Biztosítós kapcsoló
				Biztosítós szak.kapcs.
				Biztosítós megszakító

2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Mechanikus kapcsolókészülék (megszakító) érintkezőjének működési fázisai az áram (zárlati áram) bekapcsolása és megszakítása során:

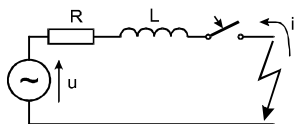


2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Bekapcsolás, váltakozó áram

7

Generátortól távoli zárlat 1/4

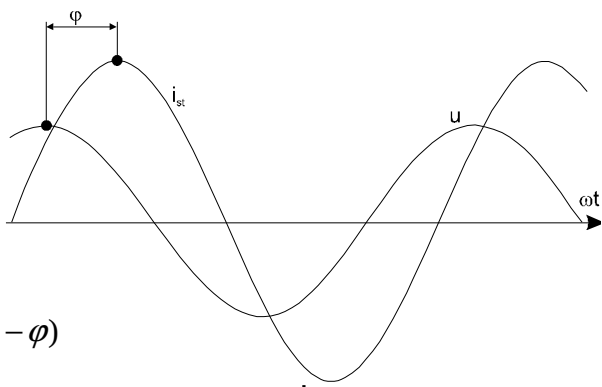


$$I_{st.m} = \frac{U_m}{Z}$$

$$Z = \sqrt{R^2 + \omega^2 \cdot L^2}$$

$$\varphi = \arctan \frac{\omega \cdot L}{R}$$

$$i_{st}(t) = I_{st.m} \cdot \cos(\omega t - \varphi)$$

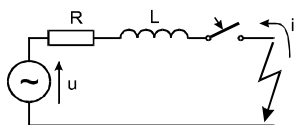


2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Bekapcsolás, váltakozó áram

8

Generátortól távoli zárlat 2/4



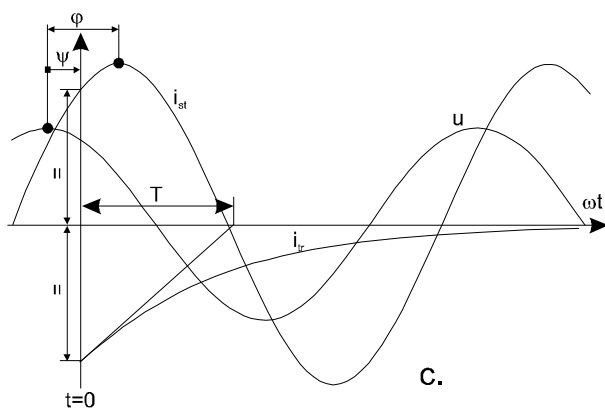
$$i(t) = i_{st}(t) + i_{tr}(t)$$

$$i(0) = 0 = i_{st}(0) + i_{tr}(0)$$

$$i_{tr}(0) = -i_{st}(0)$$

$$i_{tr}(t) = i_{tr}(0) \cdot e^{-t/T}$$

$$T = \frac{L}{R}$$

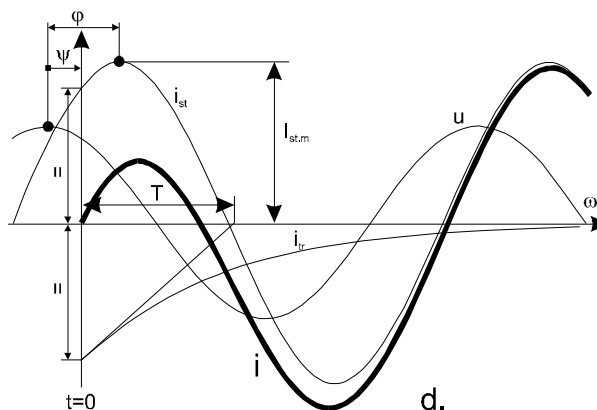
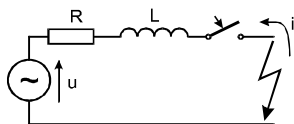


2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Bekapcsolás, váltakozó áram

9

Generátortól távoli zárlat 3/4



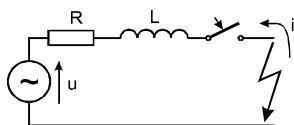
$$i(t) = I_{st,m} \cdot \left[\cos(\omega t + \psi - \varphi) - \cos(\psi - \varphi) \cdot e^{-\frac{t}{T}} \right]$$

2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Bekapcsolás, váltakozó áram

10

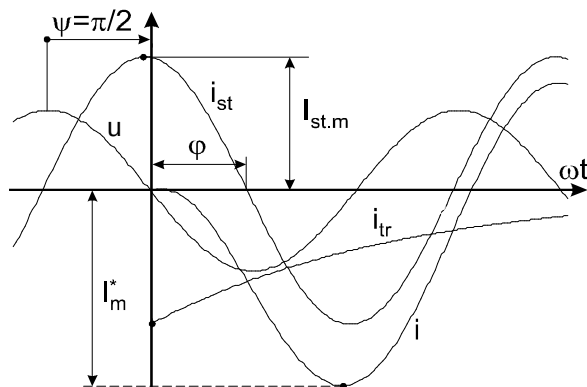
Generátortól távoli zárlat 4/4



Az áram a lehetséges legnagyobb értékét éri el, ha a zárlat a tápfeszültség nullaátmenetében jön létre:

$$\psi = \pm \pi/2$$

$$k_{cs} = \frac{I_m^*}{I_m}$$



Tiszta induktív körben: $k_{cs}=2$, a gyakorlatban $k_{cs}=1,8$ -del számolnak.

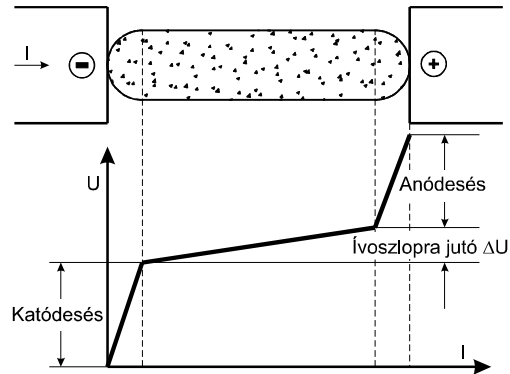
2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

11

Kikapcsolás, a villamos ív

Általános jellemzők

Az ív ionizált gáz, amely kis méretű talppontokban végződik az elektródáknál. Az ív hosszára jutó feszültség három részre osztható, az anód- és katódcsésre, valamint az ív oszlopára jutó feszültségre.



Stacioner ívről akkor beszélünk, ha a rajta átfolyó áram pillanatértéke nem változik ($di/dt=0$). Ellenkező esetben (kikapcsoláskor) dinamikus ívről, vagy ha az áram periodikusan változik, kvázistacioner ívről van szó.

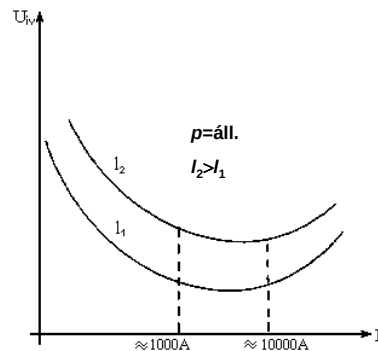
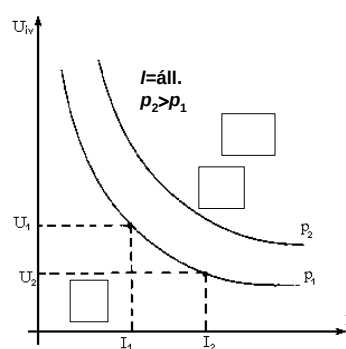
2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

12

Kikapcsolás, a villamos ív

A villamos ív mint áramköri elem 1/6

Stacioner ív karakterisztikái:



A nagyobb áramoknál kialakuló pozitív jellegű görbe főként az elektrodinamikus összehúzó erő keresztmetszet-csökkentő hatásával függ össze.

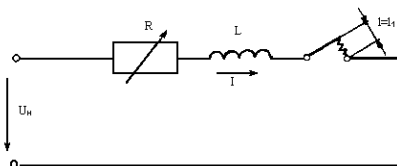
2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Kikapcsolás, a villamos ív

13

A villamos ív mint áramköri elem 2/6

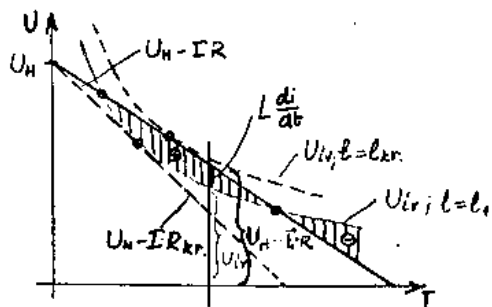
Stacioner ív karakterisztikái:
a karakterisztika felvétele
méréssel:



$$U_H = U_{iv} + i \cdot R + L \cdot \frac{di}{dt}$$

Stacioner állapotban:

$$\frac{di}{dt} = 0; \quad U_H - i \cdot R = U_{iv}$$



A nagyobb áramhoz tartozó metszéspont a stabil. $U_H = \text{áll.}$ esetén a stacioner ív két módon oltható ki: I vagy R növelésével.

2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Kikapcsolás, a villamos ív

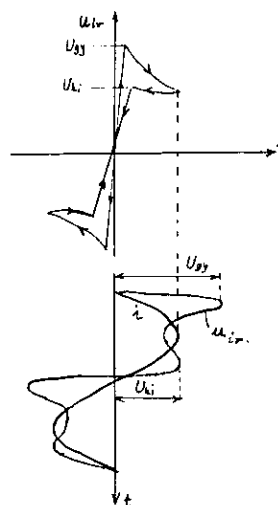
15

A villamos ív mint áramköri elem 4/6

Dinamikus ív, nagyfeszültségű váltakozó áramú megszakítás
kvázistacioner ívkarakterisztika

Ívhiszterézis

Időfüggvények



2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Kikapcsolás, a villamos ív

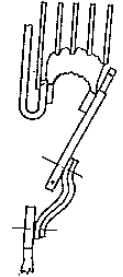
16

A villamos ív mint áramköri elem 5/6

Dinamikus ív, kisfeszültségű egyen- és váltakozó áramú megszakítás ívkarakterisztikák (számítás)

Kisfeszültségen hogy az ív feszültsége a tápfeszültség értékével összemérhető, sőt azt meghaladó értékű is lehet. Az anód- és katódesés jelentős részét teszi ki a teljes ívfeszültségnek, mert azok az - általában több kis (0,3...1,0 mm-es) darabból álló és egymással villamosan sorba kötött - ív minden egyes darabjában fellépnek. A kisfeszültségű kapcsolási ív feszültsége időfüggvényének alakja is eltér a nagyfeszültségen megismert alaktól, ugyanis nincsenek élesen kiugró gyújtási és kialvási feszültségcsúcsai. Ez az időfüggvény - amely az ívöltő szerkezettől és az érintkezők mozgási sebességétől függ - matematikailag egyszerűen leírható, tehát adottnak tekinthető, pl.:

$$u_{iv}(t) = U_{AK} + m \cdot t.$$



Az ívfeszültség növelése deionlemezcsolt kamrával; sorbakapcsolt ívek; megsokszorozható az U_{AK} értéke.

2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Kikapcsolás, a villamos ív

17

A villamos ív mint áramköri elem 6/6

Az ív megszűnése és újragyulladás

A ív megszűnik, ha az árama zérus értékűvé válik. Ezt az állapotot egyenáram megszakítása esetén a kapcsolónak kell létrehoznia. A váltakozó áramú ív azonban a természetes nullaátmenetében, vagy labilis állapotba kerülve, annál hamarabb, gyors áramcsökkenéssel (áramlevágással) szűnik meg, és kapcsolónak csak az újragyulladását kell megakadályozni.

Az áramnullaátmenet után az ív helyén maradék ionozott csatorna (utóív) van jelen, amelyen ha huzamosabb ideig nem folyik áram, vagy nincs jelen villamos térerősség, akkor az lehűl (szabad regenerálódás), és az ív kialszik.

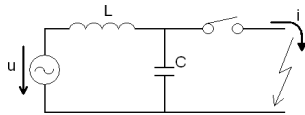
Az ív újragyulladása az áramnullaátmenet után fellépő ún. visszaszökő feszültség (VSF) hatására következhet be úgy, hogy a VSF a maradék csatornát átüti, vagy pedig úgy, hogy a VSF hatására átfolyó áram nem engedi lehűlni a csatornát.

2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Kikapcsolás nagyfeszültségen

18

Ideális kikapcsolás 1/3



A megszakító kapocsárlatakor a generátor u feszültsége a megszakító zárt érintkezőin i áramerősséget hajt át.

A megszakításkor fellépő villamos ív végleges kialvása - az íven átfolyó váltakozó áram nullaátmenete után - a kapcsoló sarkain megjelenő visszaszökő feszültség (VSF) időbeli alakulásától függ. Ha az ív véglegesen kialszik, áram nem folyik, a zárlati áramot sikeresen megszakítottuk, kikapcsoltuk.

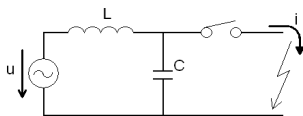
A kikapcsolási folyamatok modellezhetők *ideálisnak*, amikor az ív hatásától az egyszerűség kedvéért eltekintünk, de csak annyiban, hogy az ívnek az áram nullaátmenetében való kikapcsolás lehetőségét biztosító ("szinkronizáló") hatását figyelembe vesszük, azaz feltételezzük, hogy a kikapcsolás áramnullaátmenetben következik be (a kapcsolót az áram nullaátmenetében nyitjuk). Ebben az esetben a kikapcsolandó áram és a kapcsoló sarkain a kikapcsolás után megjelenő feszültség az ívtől független, ezért ezeket *független áramnak és független visszaszökő feszültségnek* nevezzük.

2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Kikapcsolás nagyfeszültségen

19

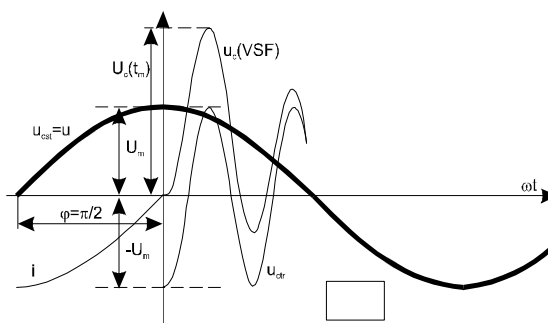
Ideális kikapcsolás 2/3



A kapcsoló sarkain a feszültség megegyezik a kondenzátor feszültségével:

$$u_C(t) = u_{Cst}(t) + u_{Ctr}(t),$$

ahol $u_{Cst} = u$, a hálózati frekvenciás visszatérő feszültség, u_{Ctr} a nagyfrekvenciás rárezgési feszültség.



$$u_C(t) = U_m \cdot (\cos \omega \cdot t - \cos \omega_0 \cdot t),$$

ahol: $\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$ a rárezgési feszültség frekvenciája.

$$k_{cs} = \frac{u_C(t_m)}{U_m} \quad (= 2)$$

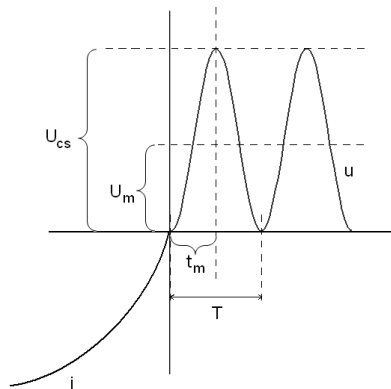
2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Kikapcsolás nagyfeszültségen

20

Ideális kikapcsolás 3/3

Egyszerűbb összefüggés a VSF kiszámításához (a biztonság javára tévedve):



$$u_C(t) = U_m \cdot (1 - \cos \omega_0 \cdot t)$$

2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

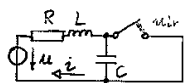
Kikapcsolás kisfeszültségen

21

Ívmegszakítás 1/2

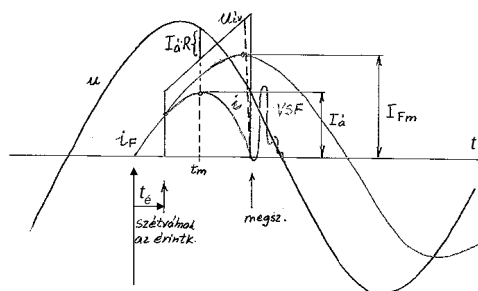
Áramkorlátozó megszakító kapocszárlat

$$u_{iv}(t) = U_{AK} + m \cdot t$$



$$u_{iv} = u - i \cdot R - L \cdot \frac{di}{dt}$$

$$I_a \cdot R = u(t_m) - u_{iv}(t_m)$$



A zárlat létrejötte

Az ívtől független zárlati áram csúcserőértékénél (I_{Fm}) kisebb átengedett áram (I_a) alakul ki. Ennek szükséges feltétele az érintkezők gyors szétválása, elégséges pedig az, hogy az ívfeszültség gyakorlatilag a tápfeszültség pillanatértékénél tartósan nagyobbra növekedjen.

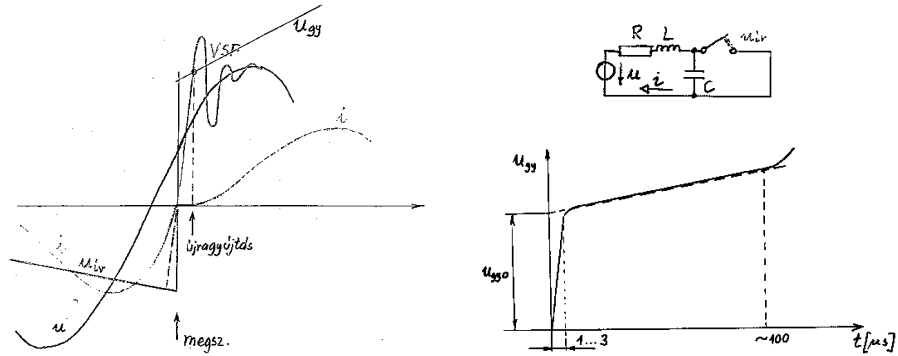
2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Kikapcsolás kisfeszültségen

Ívmegszakítás 2/2

22

Megszakító kapocszárlat, újragyújtás áramnullaátmenet után



Olyan áramnullaátmenet, ahol a periódikus VSF pillanatértéke elérte a dielektromos újragyújtáshoz szükséges u_{gy} feszültséget, amelynek hatására az ív újragyulladt, és az i áram tovább folyt.

23

3. MELEGEDÉSI JELENSÉGEK

3. MELEGEDÉSI JELENSÉGEK

24

Hőátviteli módok

A villamosan vezető anyagokban - a bennük folyó áram hatására keletkező - Joule-hő egyik része a vezető felmelegítésére fordítódik, másik része hőátvitel során átadódik a környezetnek. A vezető ϑ (K) hőmérséklete a stacionárius állapot (hőegyensúly) beálltáig növekedhet, amikor a Joule-hő teljes egészében a környezetnek adódik át. A hőátvitel módjai: hővezetés, sugárzás és hőátadás(konvekció).

Hőátadás (konvekció) során a felmelegített test S hőátadó felületéről a hőt a test környezetében lévő áramló anyagok (folyadékok, gázok) viszik el az α_k (W/m²K) konvekciós hőátadási tényezővel és a test τ (K) melegedésével arányosan:

$$P = \alpha_k \cdot S \cdot \tau,$$

ahol P (W) a vezetőben keletkező hőteljesítmény τ a $\vartheta_{k\ddot{o}rny}$ (K) környezeti hőmérséklethez képest a melegedés és α_k - a geometriai paraméterek mellett - a melegedéstől is függ :

$$\tau = \vartheta - \vartheta_{k\ddot{o}rny}; \quad \alpha_k = \text{const} \cdot \sqrt[4]{\tau}.$$

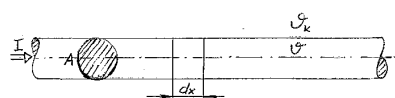
Mindhárom hőátviteli módot figyelembe veszi a gyakorlatban alkalmazott Newton-képletben szereplő α hőátadási tényező:

$$P = \alpha \cdot S \cdot \tau.$$

3. MELEGEDÉSI JELENSÉGEK

25

Lassú melegedések



$$\frac{P}{c \cdot V} = \frac{d\tau}{dt} + \frac{\alpha \cdot S}{c \cdot V} \cdot \tau,$$

ahol V (m³) a vezető térfogata és c (W/m³K) a vezető anyagának térfogatra vonatkoztatott fajhője.

Ha az áram rákapcsolásának időpillanatában ($t=0$) már volt a csupasz vezetőnek $\tau_o = \tau(0)$ kezdeti melegedése, amely pl. egy előző áramfolyás következtében való felmelegedés és esetleg hűlés után jött létre, tehát ekkor a vezető ϑ_o kezdeti hőmérséklete a környezet hőmérsékleténél épp τ_o -val nagyobb ($\vartheta_o = \vartheta_{k\ddot{o}rny} + \tau_o$), a differenciálegyenlet megoldásaként, a melegedés időfüggvénye:

$$\tau(t) = \tau_{st} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{T_m}}) + \tau_o \cdot e^{-\frac{t}{T_m}},$$

ahol T_m (s) a melegedés időállandója:

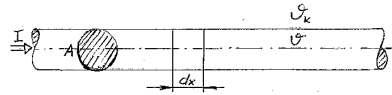
$$T_m = \frac{c \cdot V}{\alpha \cdot S} = \frac{c \cdot A}{\alpha \cdot K},$$

és K (m) a vezető kerülete.

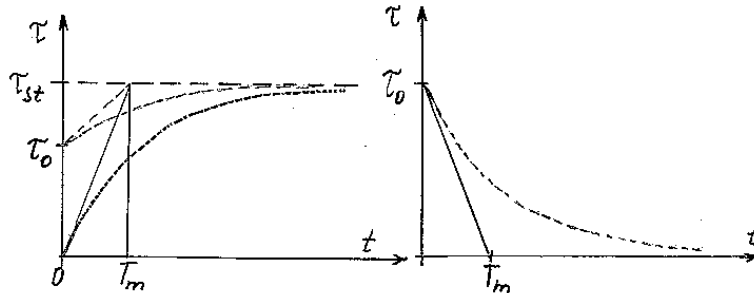
3. MELEGEDÉSI JELENSÉGEK

Lassú melegedések

26



$$\tau(t) = \tau_{st} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_m}}\right) + \tau_o \cdot e^{-\frac{t}{T_m}},$$



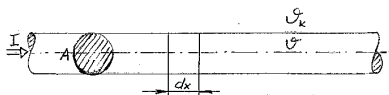
Melegedés τ_o -ról és $\tau_o=0$ -ról.

Hűlés τ_o -ról.

3. MELEGEDÉSI JELENSÉGEK

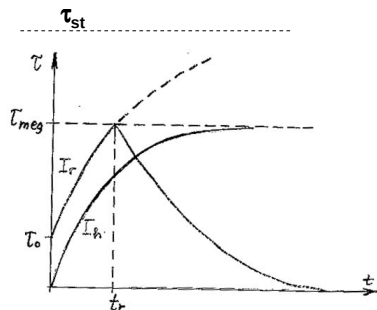
Lassú melegedések

27



$$\tau(t) = \tau_{st} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{T_m}}\right) + \tau_o \cdot e^{-\frac{t}{T_m}},$$

Rövid idejű melegedés:



Az I_r rövid idejű árammal átjárt vezető melegedése τ_{st} -nél kisebb τ_{meg} értéket ér el, mert általában a rövid idejű melegedés ideje $t_r < (2 \dots 2,5) \cdot T_m$, és az áram kikapcsolása után a vezető visszahűl a ϑ_k környezeti hőmérsékletre, mert a hűlés ideje $t_h > (3 \dots 4) \cdot T_m$.

$$\tau_{meg} = \tau_{st} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_r}{T_m}}\right) + \tau_o \cdot e^{-\frac{t_r}{T_m}};$$

$$I_h^2 = I_r^2 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_r}{T_m}}\right) + I_o^2 \cdot e^{-\frac{t_r}{T_m}};$$

$$t_r = T_m \cdot \ln \frac{I_r^2 - I_o^2}{I_r^2 - I_h^2}$$

4. ELEKTRODINAMIKUS ERŐHATÁSOK

4. ELEKTRODINAMIKUS ERŐHATÁSOK

Az áramkörök bekapcsolásakor (különösen a zárlatok létrejöttékor) fellépő áramok pillanatértékei (különösen azok csúcsértékei) keltette dinamikus erőhatások jelentős szerepet játszanak az erősáramú berendezések igen fontos részét képező kapcsolóberendezésekben és az azokat alkotó kapcsolókészülékekben. Az erőhatások tudatos felhasználása (pl. az ívöltő szerkezetekben) korszerű kapcsolókészülékek kialakítását teszi lehetővé, figyelmen kívül hagyásuk pedig a készülékek meghibásodását (pl. deformáció, érintkezők összehegedése) okozhatja. Kedvezőtlen, hogy az erőhatások következtében fellépő mechanikus igénybevételek a termikus igénybevételekkel együtt lépnek fel, tehát az áramvezető részek éppen akkor vannak fokozott mechanikai hatásoknak kitéve, amikor - amint láttuk - hőmérsékletük növekedése miatt a szilárdságuk lecsökken.

A megengedhető elektrodinamikus erőhatást az I_{din} dinamikus határárammal veszik figyelembe, amely alatt az átfolyó áramnak azt a pillanatértékét értjük, amelyet a villamos kapcsolókészülék és kapcsolóberendezés káros következmény nélkül elvisel.

4. ELEKTRODINAMIKUS ERŐHATÁSOK

Számítás a Biot-Savart-törvény alapján

32

Véges hosszúságú, egyenes vonalszerű vezetőkre ható erők
párhuzamos és azonos síkban lévő vezetők

$$k_{12} = \frac{D_1 + D_2 - (S_1 + S_2)}{R} = \frac{\sum D - \sum S}{R},$$

$$F_{12} = \frac{\mu_o \cdot i_1 \cdot i_2}{4 \cdot \pi} \cdot k_{12}.$$

$\mu_o = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ Vs/Am érték behelyettesítésével:

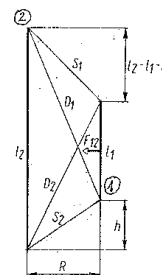
$$F_{12} = i_1 \cdot i_2 \cdot k_{12} \cdot 10^{-7} (N).$$

Az egyes vezetőkre ható erők iránya ellentétes, de nagysága azonos:

$$F_{12} = F_{21};$$

$$k_{12} = k_{21}.$$

Pl. azonos irányú áramok esetén vonzóerő lép fel.



4. ELEKTRODINAMIKUS ERŐHATÁSOK

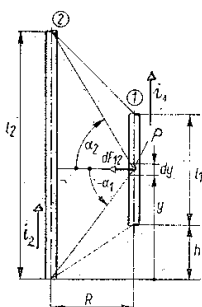
Számítás a Biot-Savart-törvény alapján

33

Véges hosszúságú, egyenes vonalszerű vezetőkre ható erők
párhuzamos és azonos síkban lévő vezetők

Abban a speciális esetben, ha a 2. jelű vezető végtelen hosszúnak tekinthető, akkor:

$$F_{12} = \frac{\mu_o \cdot i_1 \cdot i_2}{2 \cdot \pi \cdot R} \cdot \ell_1 = \frac{2 \cdot i_1 \cdot i_2}{R} \cdot \ell_1 \cdot 10^{-7}.$$



FAKULTATÍV

14

28

29

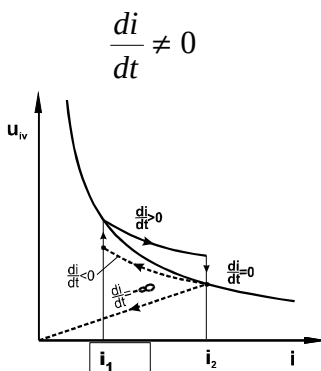
2. KAPCSOLÁSI VILLAMOS TRANZIENSEK

Kikapcsolás, a villamos ív

14

A villamos ív mint áramköri elem 3/6

A dinamikus ív karakterisztikái:

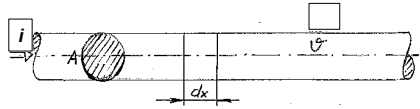


Megnövelve az áramot i_1 -ről i_2 -re $di/dt > 0$ véges értékű sebességgel, az ív karakterisztikája a stacioner görbe felett halad, és az ív feszültsége csak egy idő múlva éri el az i_2 -nek megfelelő stacioner értéket. Ez a jelenség ív termikus tehetetlenségével magyarázható, azaz az ív hőmérséklete és vezetőképessége nem tudja követni az áram változását, tehát igyekszik megőrizni az i_1 áramnak megfelelő vezetőképességét. Hasonlóan magyarázható az is, hogy az áram i_2 -ről i_1 -re $di/dt < 0$ sebességgel történő csökkenésével a karakterisztika pontjai a stacioner értékek alatt lesznek. Az igen gyors áramváltozást ($di/dt = \infty$) a vezetőképesség nem tudja követni, így az ív lineáris áramköri elemmé válik, érvényes lesz az Ohm-törvény, mert R_{iv} -állandóvá válik.

3. MELEGEDÉSI JELENSÉGEK

Gyors (zárlati) melegedések

28



A $t=0$ időpillanatban ϑ_k kezdeti hőmérsékletű vezető a zárlat fennállásáig (a $t=t_z$ időpillanatig) eltelt idő alatt ϑ_z hőmérsékletűre növekszik.

A nagyobb mértékű hőmérsékletnövekedés miatt, általában figyelembe kell venni a fajhő és a fajlagos ellenállás hőmérséklettől való függését (közelítőleg):

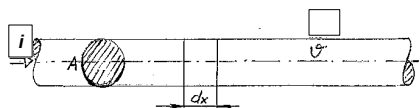
$$\frac{\rho}{c} = \frac{\rho_o}{c_o} \cdot [1 + \alpha'_o \cdot (\vartheta - \vartheta_o)],$$

ahol α'_o (1/K) a vezető anyagára jellemző hőmérsékleti tényező, valamint ρ és c a ϑ hőmérsékletre, ρ_o , c_o és α'_o a ϑ_o ($< \vartheta$) hőmérsékletre vonatkozik. A c fajhő hőmérsékletfüggése kb. 300 °C-ig elhanyagolható, ezért eddig a hőmérsékletig α'_o helyett a fajlagos ellenállás hőmérsékleti tényezőjével számolhatunk.

3. MELEGEDÉSI JELENSÉGEK

Gyors (zárlati) melegedések

29



$$\frac{\rho}{c} = \frac{\rho_o}{c_o} \cdot [1 + \alpha'_o \cdot (\vartheta - \vartheta_o)]$$

A környezetnek átadódó hő elhanyagolható, mert a zárlati melegedés ideje sokkal kisebb a melegedési időállandónál ($t_z \ll T_m$), és a melegedést a vezetőn átfolyó zárlati áram pillanatértékével (i) számítjuk, mert általános esetben nem hanyagoljuk el a bekapcsolási villamos tranziensek hatását.

A τ melegedést nem a környezet hőmérsékletéhez, hanem ahhoz a ϑ_o hőmérséklethez képest adjuk meg, amelyre ρ_o , c_o és α'_o értéke vonatkozik, tehát

$$\tau = \vartheta - \vartheta_o; \quad i^2 \cdot R \cdot dt = c \cdot V \cdot d\tau; \quad d\tau = j^2 \cdot \frac{\rho}{c} dt;$$

$$j = \frac{i}{A};$$

$$d\tau = \frac{\rho_o}{c_o} (1 + \alpha'_o \cdot \tau) \cdot j^2 dt.$$