

9. A VILLAMOS ÍV

A villamos ív a gázkiszülések egyik fajtája. Az érintkezők szétválásakor csökken az érintkezők közti nyomás, csökken az érintkező felületek nagysága. Megnö az áramsűrűség (kb. 10 kA/cm^2). Az érintkezők felmelegednek \Rightarrow megolvadt fémcsepp keletkezik, melynek hőmérséklete nő \Rightarrow a megolvadt fémcsepp elgőzölög \Rightarrow az ív felgyullad.

Az ív a két fémelektroda, a pozitív anód és a negatív katód között ég.

Az ív talppontján a magas hőmérséklet hatására a katódból nagymennyiségű töltéshordozó lép ki. Ez a **termikus emisszió**. Az ív fenntartásához szükséges elektronokat hozza létre.

Az elektronok az érintkezők közti nagy villamos tér hatására felgyorsulnak \Rightarrow az ívoszlopban lévő semleges atomokból **ütközési ionizációval** + és - ionokat hoznak létre.

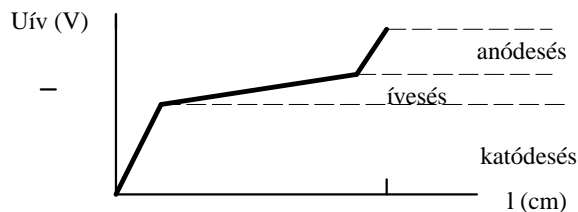
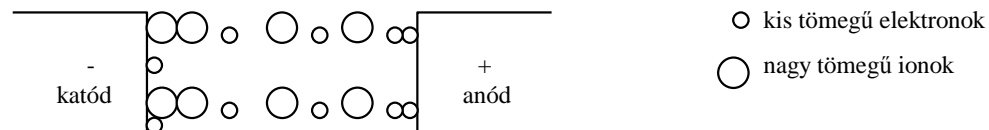
A katód felé mozgó + ionok elektronokkal ütközve semlegessé válhatnak, ez csökkenten az ívoszlop ionozottságát, vezetőképességét, de a nagy hőmérséklet hatására több semleges atom is elveszíti elektronjait \Rightarrow így elektronok és ionok keletkeznek. Ez a **hőionizáció (termikus ionizáció)**, illetve **termikus disszociáció**.

A katódfolt hőmérséklete $> 4000 \text{ K}$, de gyakran elérheti a $10000 - 20000 \text{ K}$ -ot is.

Az ív keletkezésének és fennmaradásának feltétele

- izzó katódfolt, termikus emisszió létrejötte
- nagy ívhőmérséklet - ez biztosítja a hőionizációt ill. a termikus disszociációt
- az érintkezők közti feszültségkülönbség hatására létrejövő nagy villamos térerősség, aminek hatására létrejön az ütközéses ionizáció.

Az ív oszlopában létrejövő töltések eloszlása:



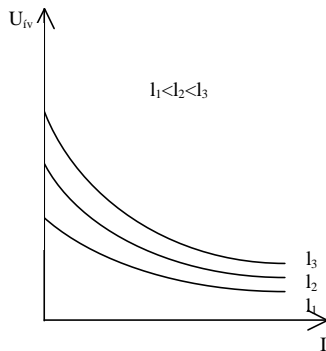
Katódesés: a katódnál keletkező feszültségkülönbség. Mivel itt a nagy tömegű ionok kiegyenlítődése lassúbb, mint az anódnál a kis tömegű elektronok kiegyenlítődése, a katódesés jóval nagyobb, mint az anódesés.

Ívesés: az ívoszlopban a pozitív és a negatív töltések áramlása által létrehozott feszültségese.

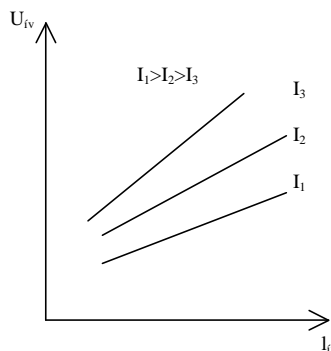
Anódesés: az anódnál létrejövő feszültségese, a kis tömegű elektronok kiegyenlítődése.

Az ív kialszik, ha az elektródák közti feszültség $<$ az ívfeszültségnél.

Különböző hosszúságú ívek fenntartásához szükséges feszültségértékeket az íven átfolyó áram függvényében az „a” ábra, míg különböző áramerősségű ívek fenntartásához szükséges feszültségeket az ívhossz függvényében a „b” ábra szemlélteti. Ezek a villamos ív statikus jelleggörbéi. Az ívfeszültség az áramerősség növekedésével a hiperbola függvény változásához hasonlóan csökken. Az ív jelleggörbéit nézve érdemes figyelni arra, hogy amíg a határos ellenállásnál a növekvő áramerősséghez egyre nagyobb feszültségre van szükség, addig a villamos ívoszlop ellenállásánál növekvő egyre kisebb feszültség szükséges. Ennek fizikai magyarázata az ív keletkezésénél említett hőionizáció jelensége. Az áramerősség növekedésével ugyanis egyre nagyobb lesz az ívoszlop hőmérséklete, nő a hőionizáció, több töltéshordozó keletkezik. Ezzel az ívoszlop vezetése nő, ellenállása csökken. Az ívoszlop tehát egy olyan áramköri elem, melynek ellenállása a rajta átfolyó áramerősség nagyságától függ.

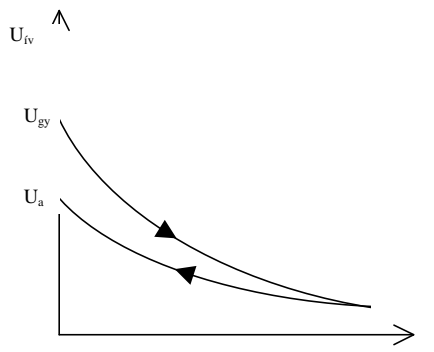


a) ábra



b) ábra

Ha az ív áramerősségét állandó ívhossz mellett hirtelen változtatjuk, azt tapasztaljuk, hogy az ívfeszültség változása nem az „a” ábrán vázolt jelleggörbe mentén történik. Az áramerősség hirtelen csökkentése esetén a jelleggörbe kisebb, hirtelen növelése esetén a jelleggörbe nagyobb értékeken mozog. Ez a villamos ív dinamikus jelleggörbéje (c ábra). Ennek oka, hogy az áram hirtelen változását a töltéshordozók számának változása nem tudja olyan gyorsan követni. A hőionizációhoz, ill. a rekombinációhoz idő szükséges.

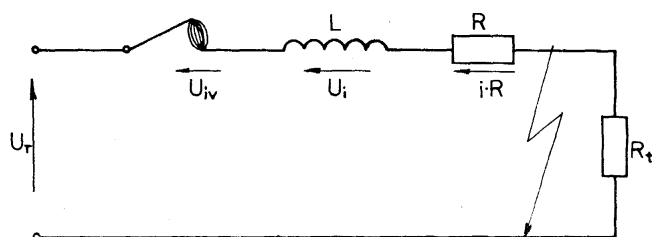


c) ábra

A villamos ív tulajdonságainak ismeretében nézzük meg először, hogy egyenáram, majd a váltakozó áram megszakításánál milyen feltételek mellett lehetséges az ív oltása, illetőleg váltakozó áramnál újragyulladásának megakadályozása.

Egyenáramú ív

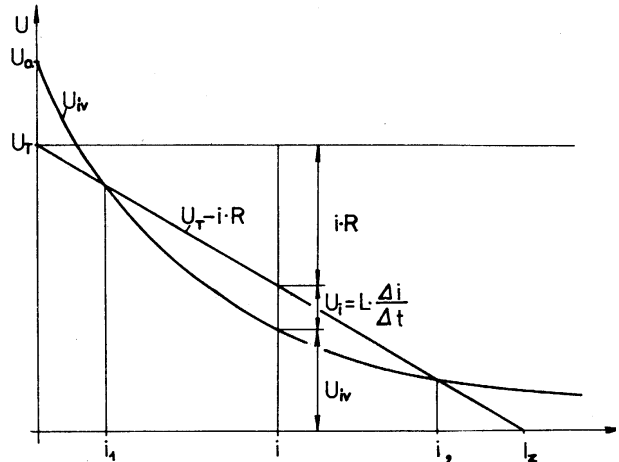
Egy induktivitást tartalmazó áramkör helyettesítő kapcsolási rajza látható az ábrán. Az áramkör kapcsolójának kikapcsolásakor az érintkezők között villamos ív jön létre és U_{iv} feszültség mérhető. Az U_{iv} feszültség a következő ábrán láthatóan (az előzőekben ismertetettek alapján)



hiperbola függvény szerint változik. A zárlati áramkör megszakítása előtt $U_T = I_2 R$. A megszakítást követően Kirchhoff II. törvénye értelmében:

$$U_T = U_{iv} + U_i + iR = U_{iv} + L \frac{\Delta i}{\Delta t} + iR.$$

Az ábrán feltüntettük az ívfeszültség változását és a zárlati áram hatására az U_T feszültségnek nullára való csökkenését. Egy tetszőleges áramerősséggel (i) égő ív függőleges egyenesén berajzoltuk a megszakított áramkörben létrejövő feszültségeséseket. A villamos ív akkor szűnik meg, amikor az áram értéke nullára csökken, illetve az $U_i = L \frac{\Delta i}{\Delta t}$ kifejezés negatív értékű lesz.



A $\frac{\Delta i}{\Delta t}$ hányados az áram nagyságának

változását adja meg, negatív előjele pedig csökkenését fejezi ki. Az ív kialvásának feltétele tehát az előbbieken felírt képletből következően

$$L \frac{\Delta i}{\Delta t} = U_T - U_{iv} - iR.$$

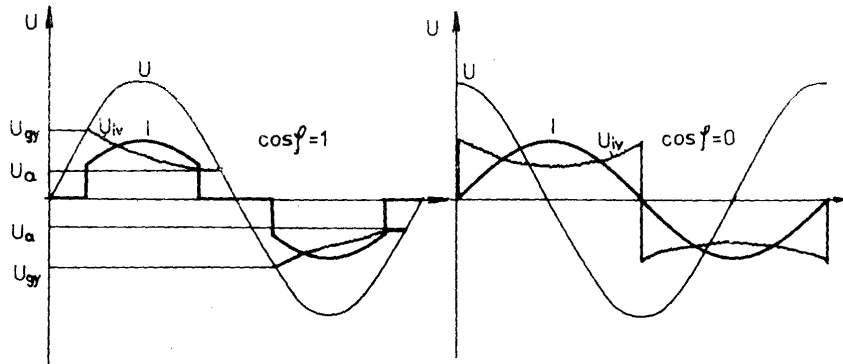
Az ív kialszik, ha az $L \frac{\Delta i}{\Delta t}$ értéke nulla, vagy annál kisebb, negatív értékű lesz.

$$U_T \leq U_{iv} + iR$$

Az ábrán ez az i_1 áramerősségnél, illetve annál kisebb értéknél fog bekövetkezni. Ha az áram változatlan ívhossz mellett i_1 -nél nagyobb, az ív magától nem fog kialudni, hanem a kör induktivitásának hatására i_2 értékre fog beállni és ott stabil egyensúlyi állapotban "állva" marad.

Váltakozó áramú ív

Az U_T , U_{iv} és az I áram periodikus lefolyását látjuk az alábbi ábrán. Az ábra jelölései között szerepel a villamos ív dinamikus jelleggörbéjéből ismert U_{gy} gyújtási és U_a kialvási feszültség.



Hatásos terhelés esetén ($\cos\varphi=1$) az áram a feszültséggel fázisban van. A villamos ív akkor jön létre, amikor az U_T feszültség eléri és nagyobb lesz az U_{gy} gyújtási feszültség értékénél. A létrejövő íváram követi az U_T változását egészen addig, amíg az U_a kialvási feszültség értékre, ill. az alá csökken. Ekkor az ív kialszik és csak néhány ezredmásodperc idő eltelte után gyullad újra. A váltakozó áramú ív minden periódusban kétszer kialszik, és ismét újragyullad. A váltakozó áramú ívet tehát nem kell eloltani, hanem csak újragyulladását kell megakadályozni.

Tiszta meddő terhelés esetén ($\cos\varphi=0$) jóval kedvezőtlenebbek a viszonyok. Az ív áramának nulla átmenetkor mindig rendelkezésre áll az U_{gy} feszültség, ami az ívet azonnal újragyújtja. Gyakorlatban azonban az áramkör hatásos, kapacitív és induktív ellenállásai miatt az ív áramának mindig van egy kisebb fáziseltolása, ami néhány mikromásodperc nagyságrendű ívmentes állapotot eredményez. Korszerű megszakítóknál ilyenkor a hatékony ívoldó tényezők hatására megszűnik a villamos ív.

A villamos ív oltása, ívoldó tényezők

A kapcsolókészülékekben a sikeres ívoldás érdekében alkalmazott fizikai tényezőket, amelyek az ív újragyulladását megakadályozzák, ill. eloltását biztosítják, ívoldó tényezőknek nevezzük.

- Az érintkezők széthúzása. Növekvő ívhosszal együtt egyre nagyobb ívfeszültségre van szükség. Az ív kialvásának feltételénél megállapítottuk, hogy ha az $U_T \leq U_{iv} + iR$, akkor az egyenáramnál, ill. a váltakozó áramnál az $U_a > U_T$ feszültség értékénél a villamos ív kialszik.
- Az érintkezők hűtése. Az ív keletkezésének és fennmaradásának egyik alapfeltétele az izzó katódolt, a termikus emisszió jelenségének létrejötte. A hűtés hatására csökken a termikus emisszió.
- Az ív oszlopának hűtése. Ezzel erélyesen megakadályozzuk az ívoszlopban a hőionizációt. Ez pedig a töltéshordozók keletkezésének és fennmaradásának feltételét zárja ki.
- Az ívoszlopban lévő töltéshordozók eltávolítása. Az ív útjának kiöblítése, deionizációja. Ezzel az ívoszlop villamos szilárdsága nagymértékben megnő. Ezt csak váltakozó áramú ív esetén alkalmazhatjuk, az íváram nulla átmenetkor fejt ki hatását.
- Az ív nyújtása. Az érintkezők széthúzásán túlmenően az ívoldó szerkezetekben (ívoldó kamrákban) a különböző fizikai erőhatásokra (pl. mágneses ívfűvés) az ív hossza ténylegesen megnő.
- A nyomás növelése. Egyrészt magától értetődően csökkenti az ütközési ionizációt, mivel a nagyobb nyomás következtében rövidebb szabad út áll az elektronok felgyorsítására. Így ütközéskor az elektronok kinetikus energiája kicsi lesz. Másrészt a nyomás növelésével a levegő, gáz, folyadék – amelyben a villamos ív keletkezett – az ívoszlop keresztmetszetét fogja csökkenteni. Harmadrészt a légnemű szigetelőanyagok villamos szilárdsága a nyomás növekedésével nő.
- Az ív részekre való bontása (darabolása). Az ív feszültségeinek ismeretében tudjuk, hogy az ív feszültségesése gyakorlatilag csak az ívoszlopban követi Ohm törvényét, de a legnagyobb feszültségesés a katódnál jön létre. Ha az ívet daraboljuk, megnöveljük a katód és anódcsúcsok számát, ezzel jelentősen megnöveljük az ív fenntartásához szükséges feszültséget.