

Vontatási egyenirányítók



Molnár Károly

PowerQuattro Zrt.

Fejlesztési igazgató



Vontatási egyenirányítók

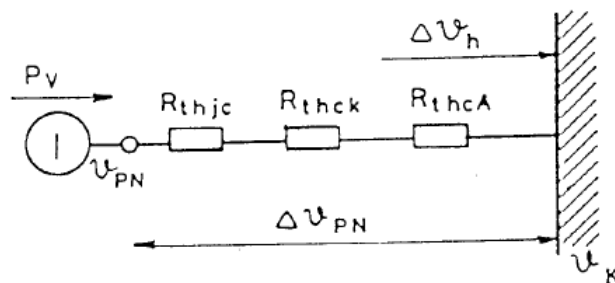
Főbb alkalmazási területei:

Villamos, trolibusz	600V DC
Metró	825V DC
HÉV	1000-1100V DC

Névleges áramterhelhetőségük: 1-2,5 kA

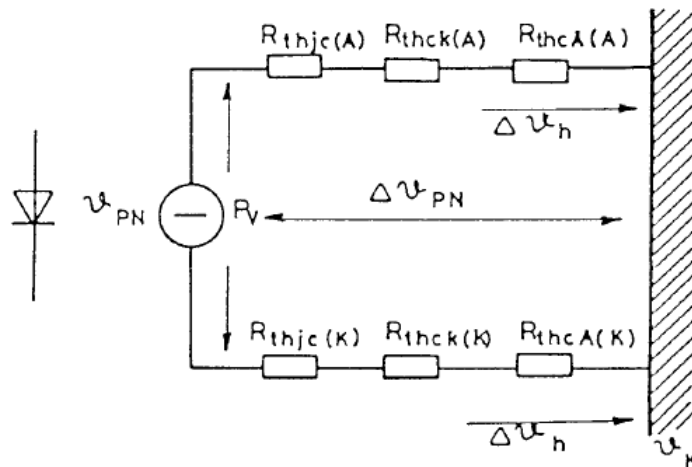
Vontatási egyenirányítók

A 2.3., 2.4 ábrák a két különféle konstrukciós kivitelű dióda termikus helyettesítő képeit mutatják



2.3. ábra

A menetes, vagy leszorított bázistönkű dióda termikus helyettesítő képe



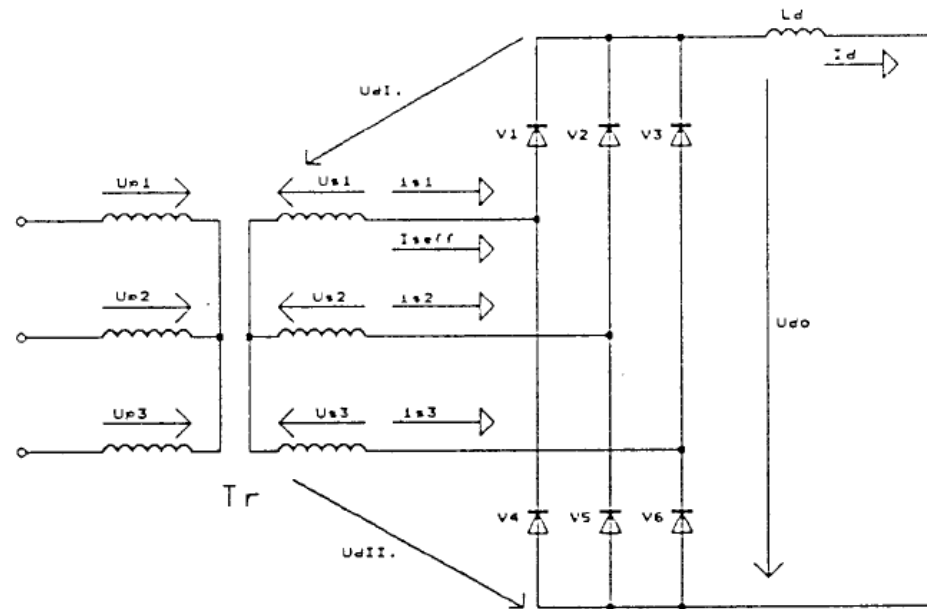
2.4. ábra

A tárcsadióda termikus helyettesítő képe

Vontatási egyenirányítók

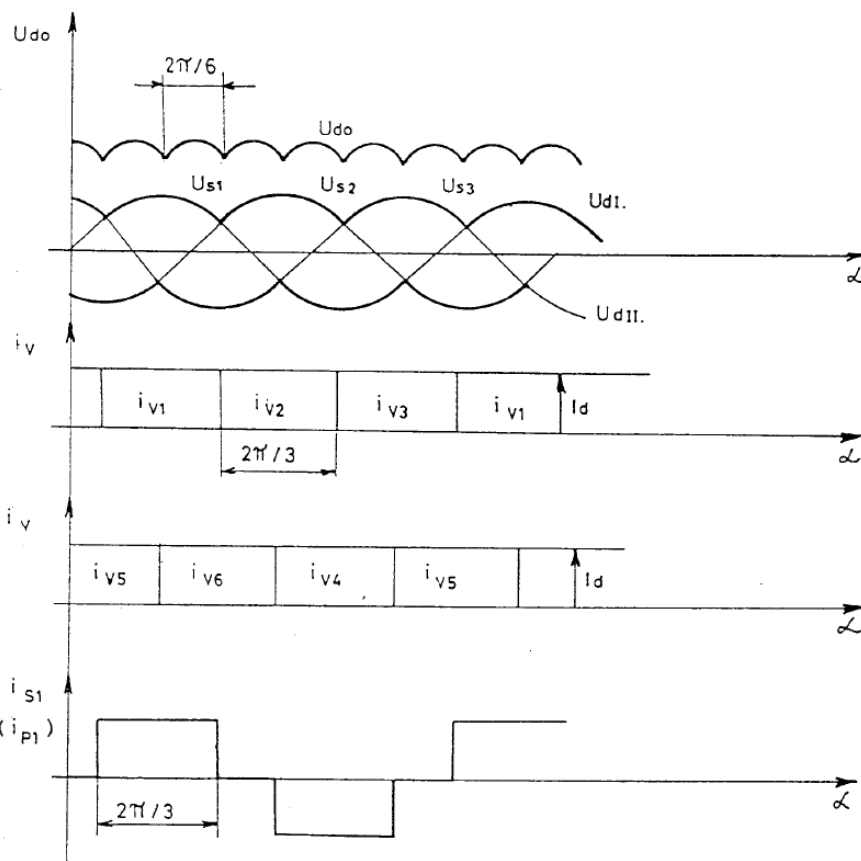
3. A háromfázisú, kétutas, hatütemű (3F, 2U, 6Ü) diódás egyenirányító működése és főbb jellemzői

A háromfázisú, kétutas, hatütemű egyenirányító, más néven háromfázisú hídkapcsolású egyenirányító kapcsolás látható a 3.1 ábrán.

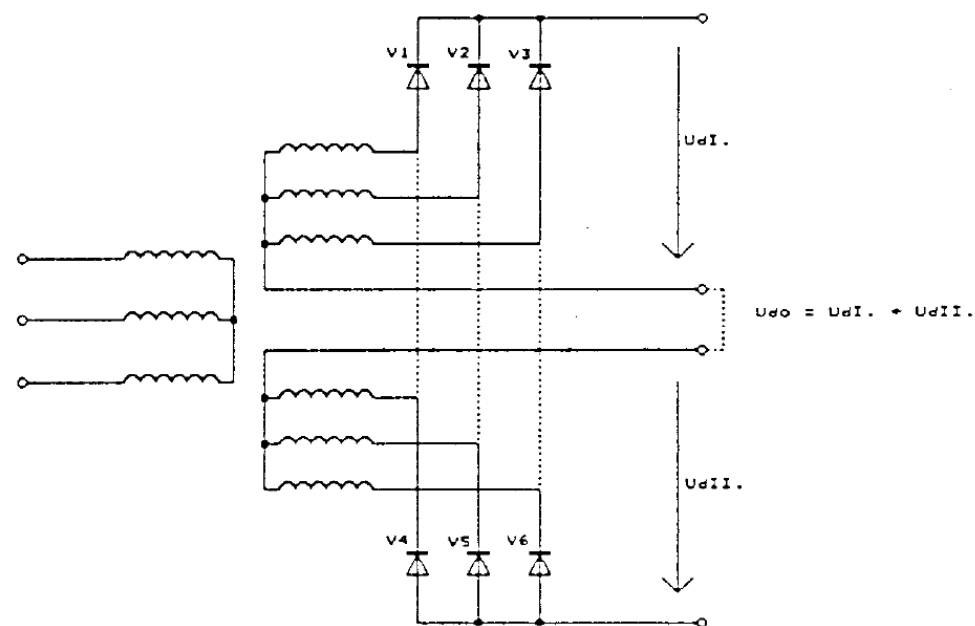


3.1. ábra

Vontatási egyenirányítók



3.2. ábra



3.3. ábra

Vontatási egyenirányítók

3.3. A kimeneti egyenáramú teljesítmény

$$P_d = U_{do} \cdot I_d = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_S \cdot I_d$$

3.4. Az egyenirányító teljesítménytényezője

Az egyenirányító működésmódjából és a működést szemléltető 3.2., 3.4. ábrákból látszik, hogy az egyenirányító a hálózatot nem szinuszos árammal terheli. Miután hatásos teljesítményt, csak a szinuszos bemeneti feszültséggel azonos frekvenciájú áram harmonikus és a bemeneti feszültség hoz létre, az egyenirányító a felharmonikusok miatt $\lambda < 1$ teljesítménytényezővel üzemel.

A teljesítménytényező:

$$\lambda = \frac{P}{S}$$

, ahol:

$$P_d = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_S \cdot I_d$$

és

$$S = 3U_S \cdot I_d \sqrt{\frac{2}{3}} = \sqrt{6} \cdot U_S \cdot I_d$$

Tehát:

$$\lambda = \frac{P_d}{S} = \frac{3}{\pi} \cong 0,95$$

Vontatási egyenirányítók

3.5. A felvett hatásos teljesítmény meghatározása Fourier-analízis segítségével.

Ha az egyenirányító a 3.1. ábrán látható kapcsolású és a 3.2., illetve a 3.5. ábrán bemutatott jelalakok jellemzik, akkor az i_{p1} primer áram az i_{s1} szekunder áramhoz, illetve az U_{p1} primer feszültség az U_{s1} szekunder feszültséghez hasonló. (Ez értelemszerűen a többi fázisfeszültségre, illetve áramra is igaz). Az egyes alap, illetve felharmonikus összetevőket - a Fourier analízis szabályai szerint - $\sin \alpha$, $\cos \alpha$, illetve $\sin(n\alpha)$ és $\cos(n\alpha)$ függvényekre való vetítéssel határozhatjuk meg.

Mivel a hálózati áramnak (i_{p1}) egyenösszetevője nincs, az i_{p1} áram

$$i_{p1} = \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\alpha) + \sum_{n=1}^{\infty} B_n \sin(n\alpha)$$

alakban írható fel, ahol

$$A_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i_{p1}(\alpha) \cos(n\alpha) d\alpha$$

és

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i_{p1}(\alpha) \sin(n\alpha) d\alpha$$

Mivel csak a hálózati feszültséggel azonos frekvenciájú áram harmonikus és a hálózati feszültség hoz létre hatásos teljesítményt, illetve 1:1 áttételű ideális Tr transzformátort feltételezve a B_1 értéke:

$$B_1 = \frac{2}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} (I_d \sin \alpha) d\alpha = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d$$

Vontatási egyenirányítók

Mivel a vizsgált 3F, 2U, 6Ü kapcsolásban az i_{p1} hálózati áram alapharmonikusa az U_{p1} feszültséggel fázisban van, tehát az áram-alapharmonikus fázisszöge $\varphi_1 = 0$, így a hatásos és a látszólagos teljesítmény egynél kisebb hányadosát (3.6) csak a felharmonikusok okozta látszólagos teljesítmény okozza. Ezért a hálózati feszültség és a hálózati áram alapharmonikusának hatásos összetevője (B_1) által szállított teljesítménynek egyeznie kell az egyenáramú teljesítménnyel (P_d).

Mivel:

$$P_H = 3 \cdot U_{P1eff} \cdot I_{P1eff}$$

és

$$U_{Peff} = U_{Seff}, \quad I_{Peff} = I_{Seff}$$

$$P_H = 3 \cdot U_{Seff} \cdot \frac{B_1}{\sqrt{2}} = 3 \cdot U_{Seff} \cdot \frac{2 \cdot \sqrt{3}}{\sqrt{2} \pi} \cdot I_d$$

$$P_H = \frac{3\sqrt{6}}{\pi} U_S I_d$$

Az eredmény megegyezik a (3.5) eredménnyel, vagyis az egyenáramú teljesítménnyel, ami természetes, hiszen a kapcsolás elemzésekor ideális veszteségmentes transzformátort, illetve félvezetőket tételeztünk fel.

Vontatási egyenirányítók

3.6 Az áram felharmonikusok a váltakozó áramú oldalon

Mint már korábban említettük az 3.1. ábrán látható kapcsolás hálózati (felvett) áramát mutatja a 3.5 ábra. Az áram Fourier sorának egyes amplitúdóit meghatározva a következő eredményekhez jutunk:

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} I_d \sin(n\alpha) d\alpha$$

$$B_n = \frac{2}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{5\pi}{6}} I_d \sin(n\alpha) d\alpha$$

$$B_n = \frac{2 \cdot I_d}{n\pi} \left[\cos\left(n \frac{\pi}{6}\right) - \cos\left(n \frac{5\pi}{6}\right) \right]$$

Vontatási egyenirányítók

,amelynek alapján:

$$B_1 = \frac{2\sqrt{3}}{\pi} I_d$$

$$B_5 = \frac{2\sqrt{3}I_d}{5\pi} = \frac{B_1}{5}$$

$$B_7 = \frac{2\sqrt{3}I_d}{7\pi} = \frac{B_1}{7}$$

$$B_{11} = \frac{2\sqrt{3}I_d}{11\pi} = \frac{B_1}{11}$$

$$B_{13} = \frac{2\sqrt{3}I_d}{13\pi} = \frac{B_1}{13}$$

míg, a $B_2=B_3=B_4=B_6=B_8=B_9\dots = 0$

Az eredményekből megállapítható, hogy az egyes harmonikusok amplitúdói és a rendszámuk között fordított arányosság van.

$$\frac{B_n}{B_1} = \frac{1}{n}$$

(Ez a Müller-Lübeck féle amplitúdótörvény.)

Vontatási egyenirányítók

Megállapítható továbbá, hogy az egyenirányító áramában az alapharmonikuson kívül csak

$$n = 6a \pm 1$$

$$(a = 1, 2, 3 \dots)$$

felharmonikusok vannak jelen.

A képletet általánosítani is lehet:

$$n = pa \pm 1$$
$$(a=1, 2, 3 \dots)$$

, ahol p az áramirányító ütemszáma.

Vontatási egyenirányítók

3.7. A hálózati áram felharmonikus tartalmának csökkentése az egy hálózatról, párhuzamosan üzemelő egyenirányítók alkalmazása esetén.

Az egyenirányítók egyenáramú teljesítményét, vagy nagyobb teljesítményű alkatелеmek (diódák, transzformátorok, stb.) alkalmazásával, vagy célszerűen párhuzamosan kötött egyenirányítók segítségével lehet *növelni*.

Több egy hálózatról párhuzamosan üzemelő egyenirányító berendezést célszerű úgy kialakítani, hogy az egyik (csoport) egyenirányító Y-y, míg a másik (csoport) egyenirányító Δ -y kapcsolású transzformátorral rendelkezzen. Ekkor ugyanis a hálózatot terhelő áram szempontjából a két egyenirányító egy $p=12$ ütemű egyenirányító kapcsolásnak felel meg, tehát a 3.12 képlet értelmében az első felharmonikusok csak a 11., illetve a 13. rendszámú felharmonikusok. Az alacsonyabb rendszámú (5., 7.) harmonikusok hiánya nagyobb teljesítménytényezőt (λ) eredményez. A 3.6. ábrán két különféle kapcsolású transzformátorral rendelkező, azonos váltakozó áramú hálózatról üzemelő és azonos egyenáramú hálózatra dolgozó egyenirányító berendezés elvi kapcsolása látható.

Ha az egyenirányító berendezések kimeneti droppja azonos és a transzformátorok szekunder feszültségei egyenlők, akkor az egyenirányító berendezések egyenlő $I_{d1}=I_{d2}=I_d$ áramterheléssel üzemelnek.

Az "R" fázisról felvett áramuk:

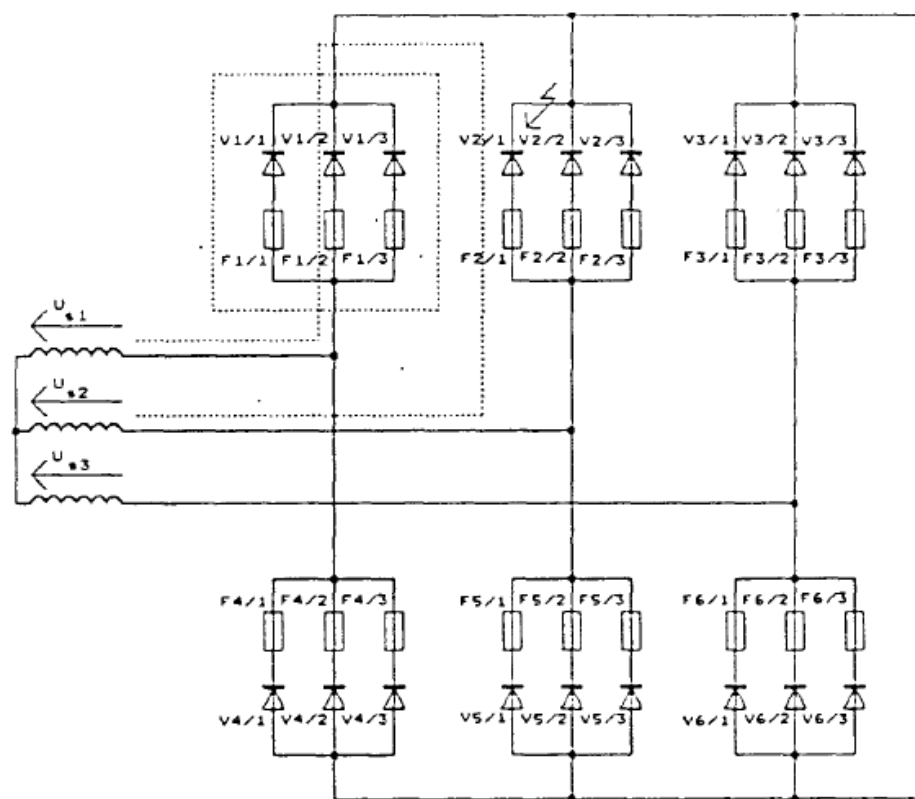
$$i_R = i_{1Y} + i_{1\Delta}$$

(Értelemszerűen

$$i_s = i_{2Y} + i_{2\Delta} \quad i_T = i_{3Y} + i_{3\Delta})$$

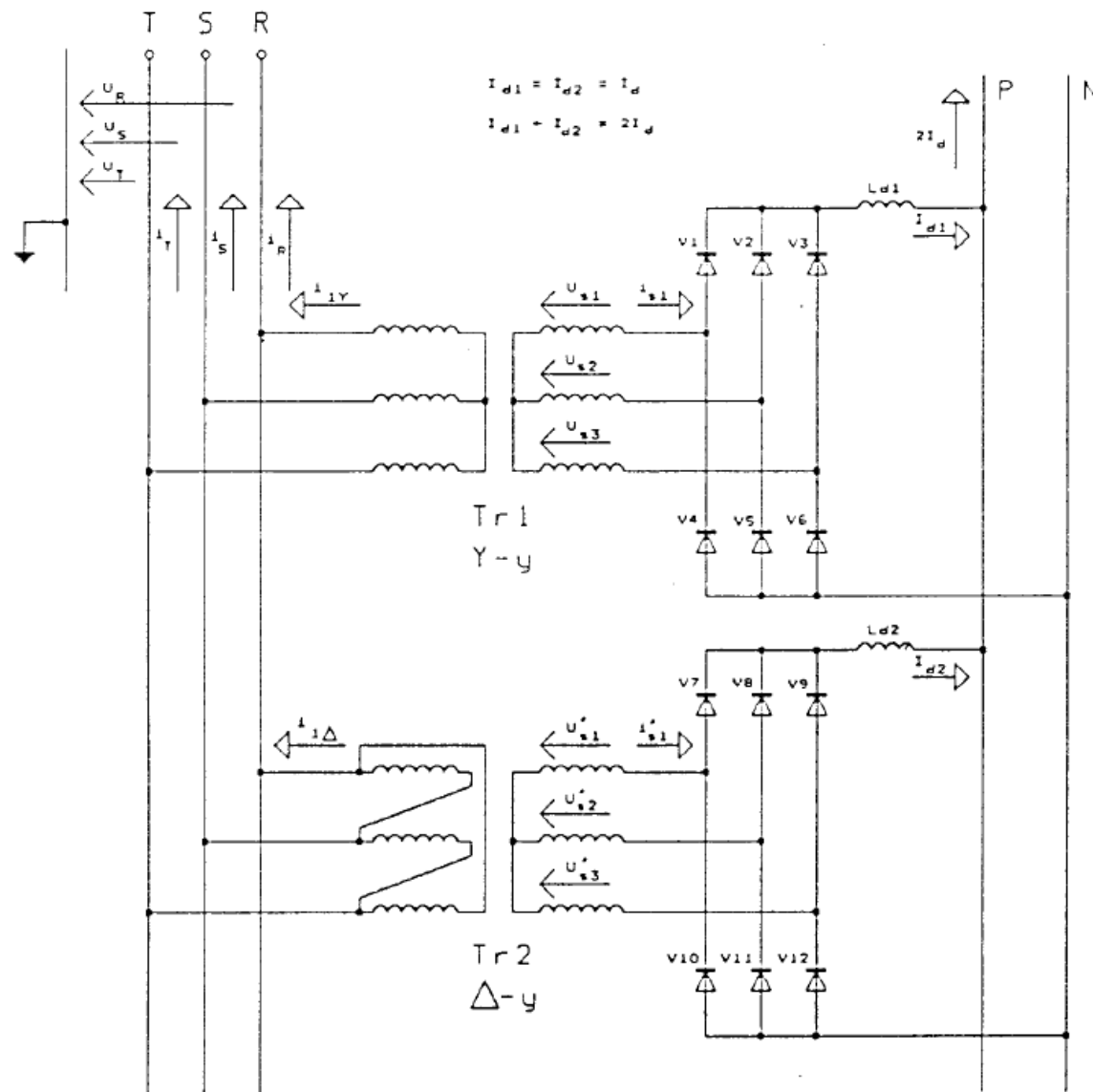
Vontatási egyenirányítók

A 4.3. ábrán a belső zárlat megszüntetésére példaként három, párhuzamosan kapcsolt diódát tartalmazó hídkapcsolású egyenirányító kapcsolása látható.

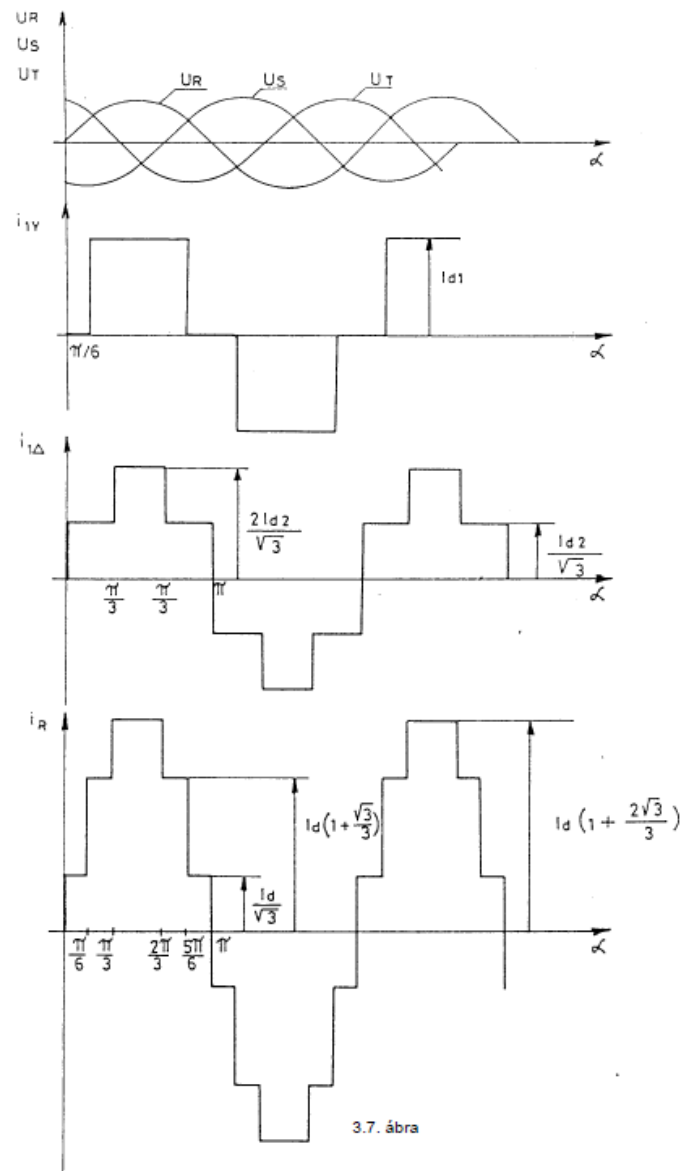


4.3. ábra

Vontatási egyenirányítók



Vontatási egyenirányítók



3.7. ábra

Vontatási egyenirányítók

A 3.7. ábrán feltüntettük az egyes áramirányítók R fázisról felvett áramát, illetve az R fázisról felvett eredő áramalakot.

Elvégezve az i_R áram Fourier - analízisét:

$$B_n = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} i_R(\alpha) \sin(n\alpha) d\alpha$$

$$B_n = \frac{2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{6}} \frac{I_d}{\sqrt{3}} \sin(n\alpha) d\alpha + \frac{2}{\pi} \int_{\frac{\pi}{6}}^{\frac{2\pi}{3}} I_d \left(1 + \frac{\sqrt{3}}{3}\right) \sin(n\alpha) d\alpha +$$

$$+ \frac{2}{\pi} \int_{\frac{2\pi}{3}}^{\frac{4\pi}{3}} I_d \left(1 + \frac{2\sqrt{3}}{3}\right) \sin(n\alpha) d\alpha + \frac{2}{\pi} \int_{\frac{4\pi}{3}}^{\frac{5\pi}{6}} I_d \left(1 + \frac{\sqrt{3}}{3}\right) \sin(n\alpha) d\alpha + \frac{2}{\pi} \int_{\frac{5\pi}{6}}^{\pi} \frac{I_d}{\sqrt{3}} \sin(n\alpha) d\alpha$$

$$B_1 = \frac{4\sqrt{3}}{\pi} I_d$$

$$B_{11} = \frac{4\sqrt{3}}{11\pi} I_d$$

$$B_{13} = \frac{4\sqrt{3}}{13\pi} I_d$$

, míg

$$B_2 = B_3 = \dots = B_{10} = B_{12} = \dots = 0$$

Az eredményekből látszik, hogy az alapharmonikuson kívül, az első felharmonikusok a 11. és a 13. rendszámú felharmonikusok és az 5. és a 7. rendszámú felharmonikusok hiányoznak. Az egyes harmonikusok kétszeres amplitúdóját az

$$I_{d1} = I_{d2} = I_d$$

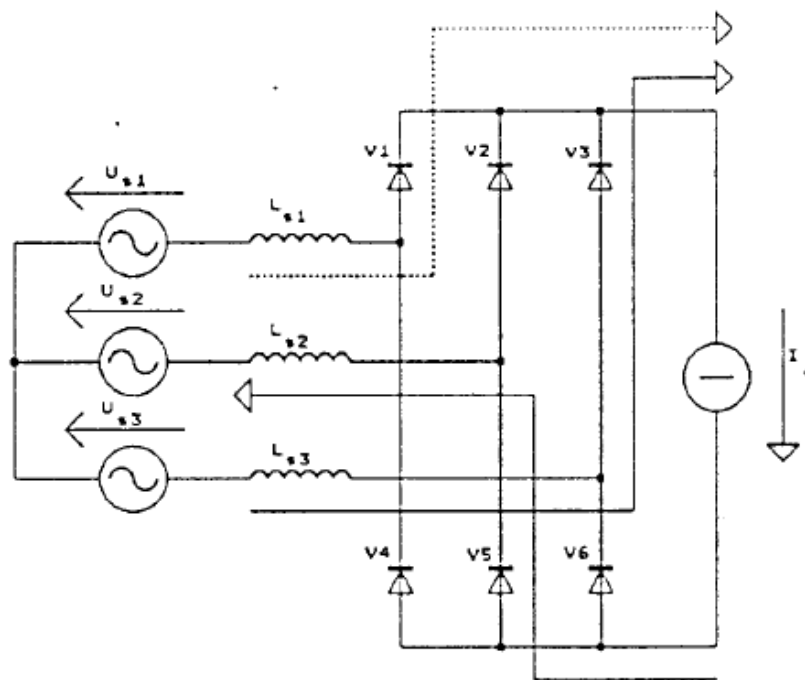
$$I_{d1} + I_{d2} = 2I_d$$

kiindulási feltételek okozzák.

Vontatási egyenirányítók

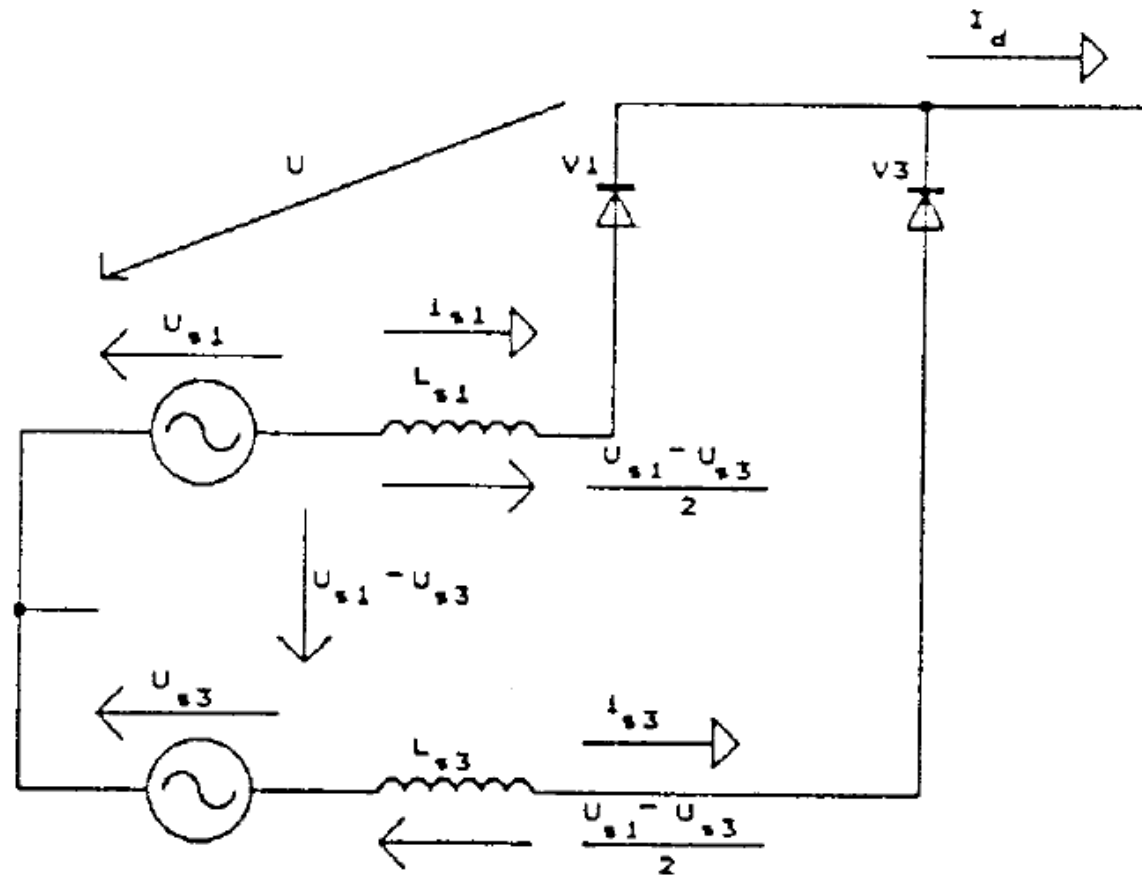
3.10. A kommutáció és a kommutáció hatása az egyenirányító jellemzőire

A 3.10. ábrán egy 3F, 2U, 6Ü egyenirányító egyszerűsített helyettesítő kapcsolása látható.



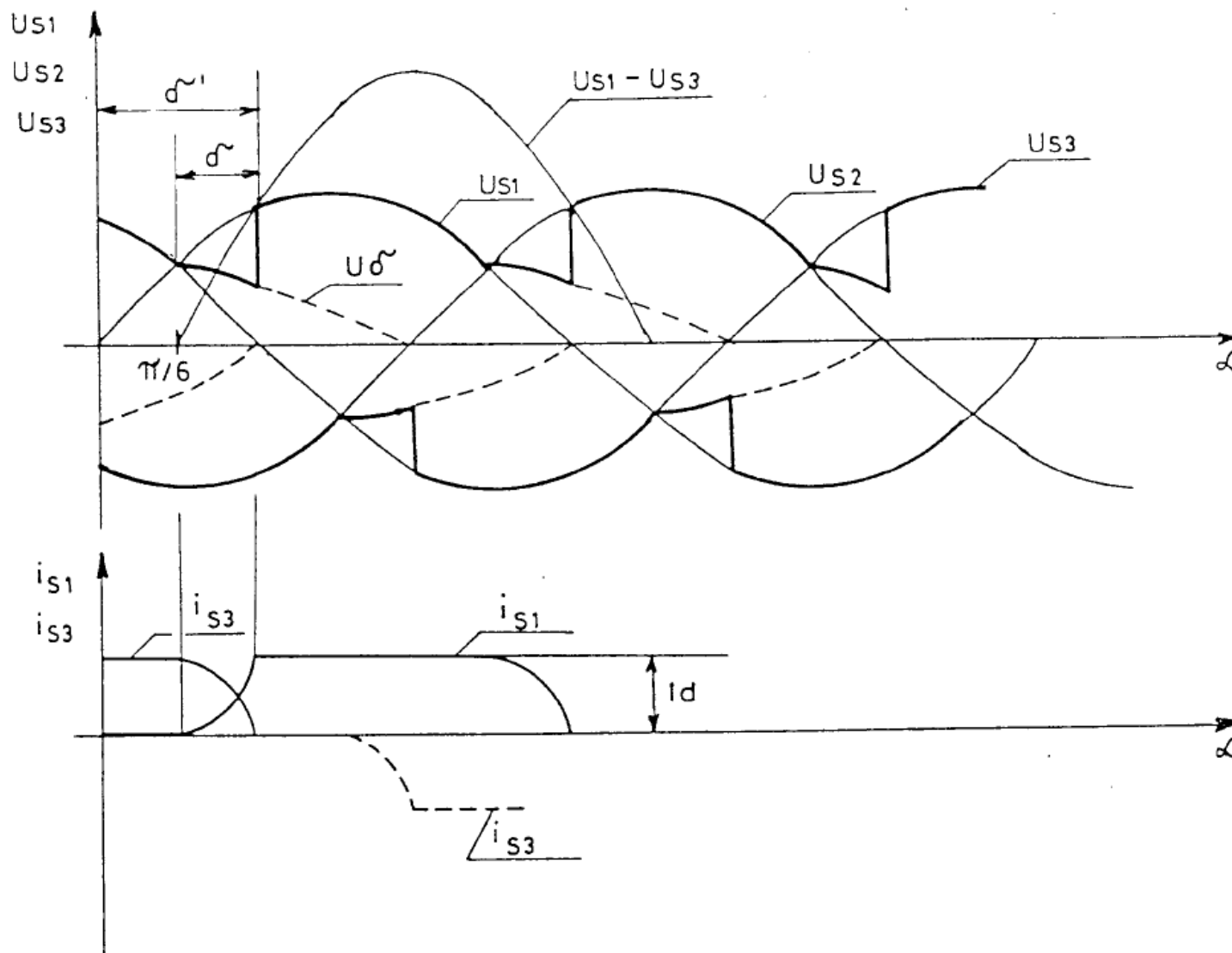
3.10. ábra

Vontatási egyenirányítók



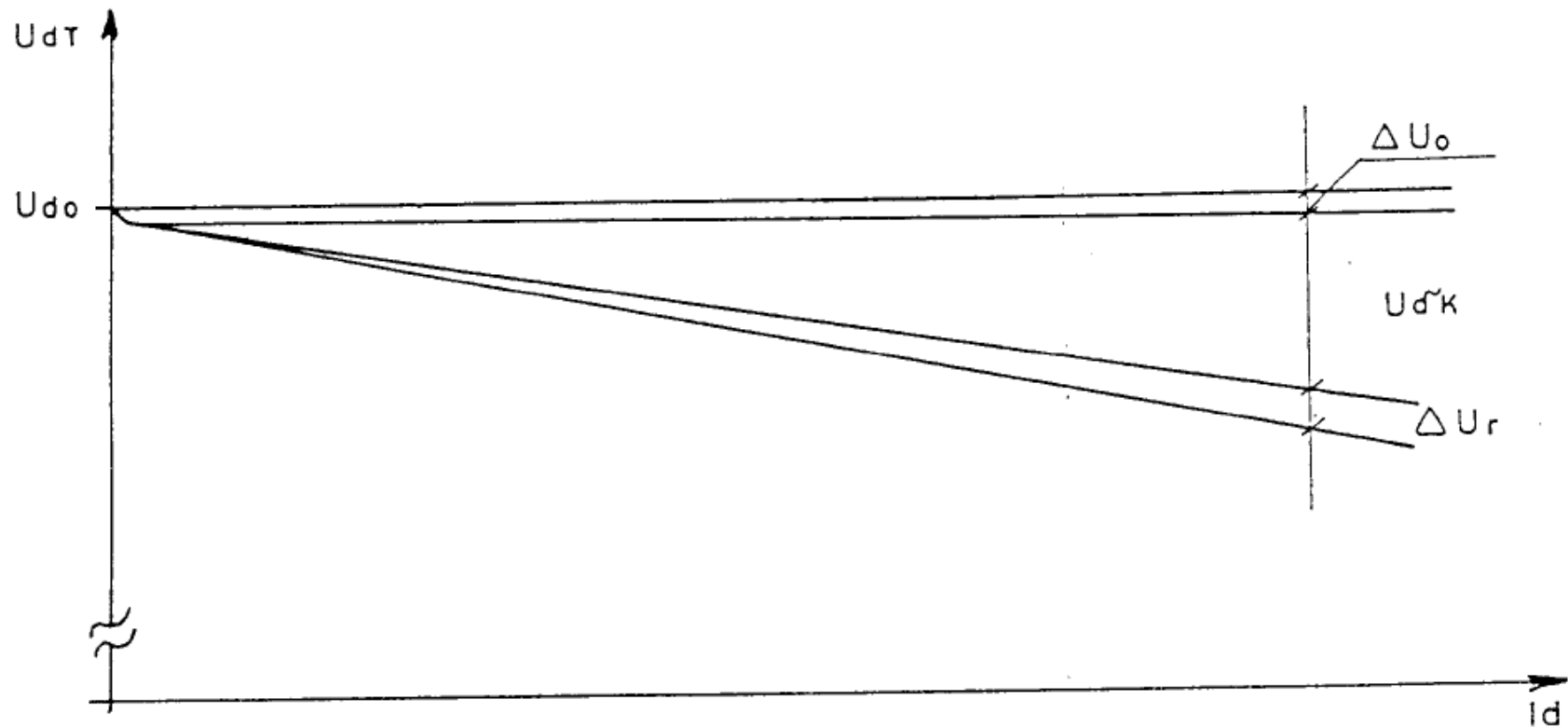
3.11. ábra

Vontatási egyenirányítók



3.12. ábra

Vontatási egyenirányítók



3.13. ábra

Vontatási egyenirányítók

4.1. A félvezetővédő biztosítók

A diódák, tirisztorok védelmére az olvadó biztosítókat gyártó cégek különleges, gyorsműködésű ún. félvezetővédő biztosítókat fejlesztettek ki. (A bipoláris tranzisztorokat, teljesítmény tervezérlésű tranzisztorokat, IGBT eszközöket a túláram, túlterhelés ellen olvadó biztosítóval gazdaságosan megvédeni nem lehet.)

A félvezetővédő biztosítókat az jellemzi, hogy a túláramot egy a biztosítótípusra garantált $\int i^2 dt$ érték mellett megszakítják, úgy, hogy az ívelés alatt nem okoznak jelentős - a félvezetőre veszélyes - túlfeszültséget. A biztosító $\int i^2 dt$ értéke két tényezőtől függ. Az $\int (i^2 dt)_{olv}$ olvadási integrál, a biztosítósál olvadási ideje alatt a biztosítón átfolyó áram négyzetének időintegrálját fejezi ki, míg az $\int (i^2 dt)_{ív}$ ívelési integrál a biztosító ívelési ideje alatt a biztosítón átfolyó áram négyzetének időintegrálját mutatja. (Az olvadási idő végére a biztosítósál megszakad, míg az ívelési idő végére a biztosító az áramot megszakítja).

A félvezetővédő biztosítók akkor nyújtanak hatásos védelmet, ha a következő egyenlőtlenség teljesül:

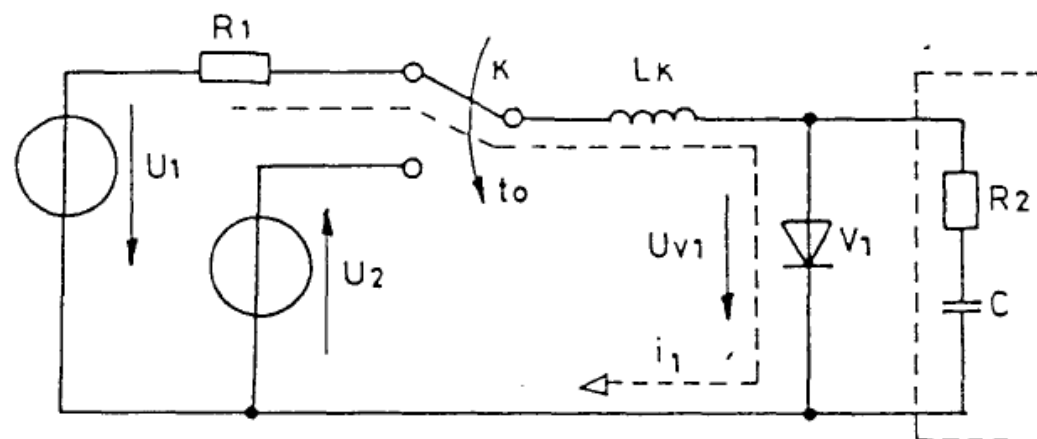
$$\int (i^2 dt)_{olv} + \int (i^2 dt)_{ív} < \int (i^2 dt)_{félv}$$

, ahol az $\int (i^2 dt)_{félv}$ - a félvezető határterhelési integrálja.

Vontatási egyenirányítók

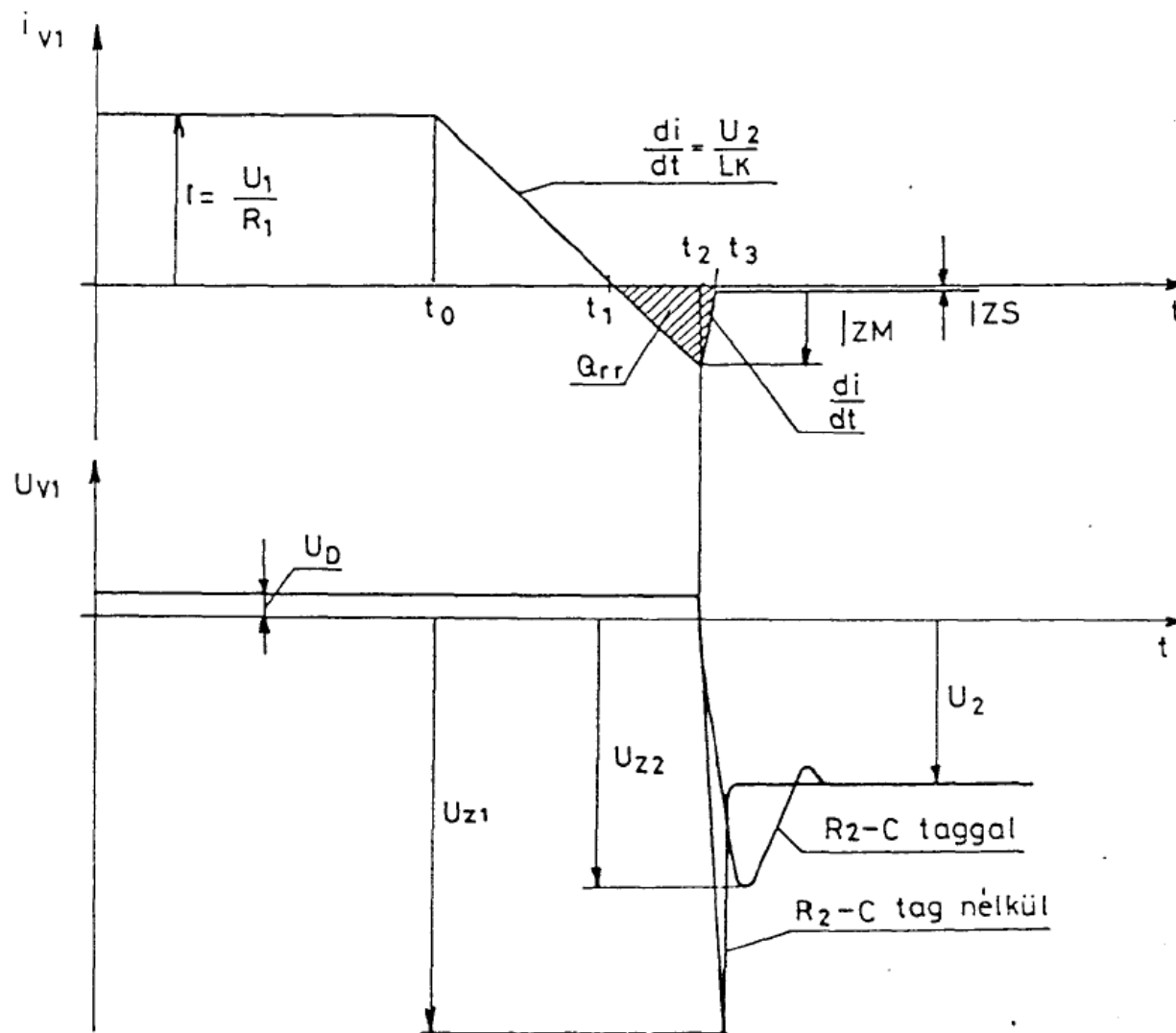
5.3. A kommutációs túlfeszültség

A kommutációs túlfeszültség keletkezésének és csillapításának magyarázatához nézzük az 5.3, illetve az 5.4. ábrát.



5.3. ábra

Vontatási egyenirányítók



5.4. ábra

Vontatási egyenirányítók

Nemzetközi előírások				IEC Publ. 84 / 1957	IEC Publ. 146/ 1973	IEC Publ. 146/ 1963	DIN Publ. 41756/ 1971	VDE 0555/ 9.62	NEMA Ri - 9/ 1968	USAS C34.2. - 1968 (ANSI)	BS 4417; 1969	BS 1668; 1950	SEN 2704
Túlterhelhetőség a névleges áram százalékában													
125%	150%	200%	300%										
15 min	2 min	10 sec	-	II.	-	-	-	II.	-	-	-	-	II.
2 h	-	10 sec	-	-	IV.	-	IV.	-	-	5.2.24.	D	-	-
2h	-	30sec	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	III.
2 h	-	1 min	-	IIIb.	-	-	-	III.	-	-	-	-	-
-	2 h	1 min	-	IVb.	V.	E	V.	IV.	A	5.2.2.6.	E	-	IV.
-	2 h	-	1 min	Vb.	VI.	F	VI.	V.	B	5.2.2.7.	F	III.	-
-	2 h	-	5 min	VIb.	-	-	-	VI.	-	-	-	-	V.

1. táblázat

Vontatási egyenirányítók



VEPQ 1100V 1500A (HÉV)

Vontatási egyenirányítók



VEPQ 1100V 1500A (HÉV)

Vontatási egyenirányítók



VEPQ 825V 2500A (METRÓ)

Köszönöm a figyelmet!