

# Szinuszos kimenetű középfrekvenciás inverter

MOLNÁR KÁROLY  
/Villamosipari Kutató Intézet/  
BOGNÁR ENDRE  
/Kandó-Kálmán Villamosipari  
Műszaki Főiskola/

A tirisztoros felépítésű, rezgőkörös inverterek terjedését megbízhatóságuk, kis helyigényük és a viszonylag nagy működési frekvencia magyarázza. A cikk ilyen inverter működését tárgyalja, mintakapcsolást mutat be: Ipari alkalmazási példaként 10 KHz, 2 kVA, 15 kV névleges kimeneti jellemzőjű, műanyag fólia felületkezelésre szolgáló készüléket ismertet.

ETO: 621.314.57.018.72

Az elmúlt években mind gyakrabban kerültek alkalmazásra középfrekvenciás, rezgőkörös inverterek [2], [3]. Elterjedésüket indokoltá teszi egyszerű felépítésük, a hagyományos berendezésekhez viszonyított kis méretük és az elérhető nagyobb működési frekvencia.

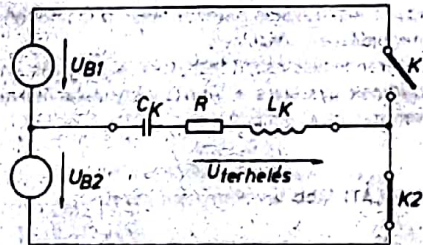
E cikkben ilyen áramkör elvi működését ismertetjük, kitérve az egyes üzemiállapotokra. Részletesen tárgyaljuk — az invertert veszteségmentesnek feltételezve — az üresjárás állapotot, meghatározzuk a kapcsolás alatti áram és feszültség időfüggvényeit.

Közöljük az állandósult állapot meghatározásából adódó számítási eredményeket és diagramokat, valamint a megépített mintakapcsolás mért jellemző adatait. Alkalmazási példaként bemutatunk egy inverterrel működő, műanyag fólia felületkezelésre szolgáló készüléket.

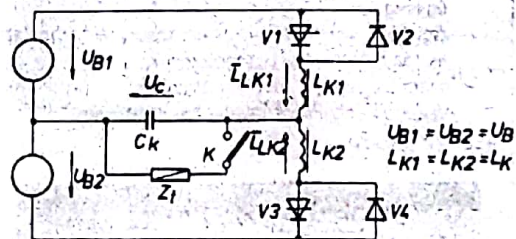
## Az alapáramkör vizsgálata

Rezgőkörös invertereknek nevezik azokat a készülékeket, amelyeknek terhelése az inverter kommutációjához szükséges rezgőkör részét képezi. Feszültséggenerátoros táplálású rezgőkörös inverter elvi alapkapcsolása látható az 1. ábrán. Ennek egy lehetséges tirisztoros megvalósítását mutatja a 2. ábra [1]. Az inverter terhelését a  $C_K$  kondenzátorral párhuzamosan kapcsolt terhelő impedancia képezi. A továbbiakban a 2. ábra szerinti kéttelepes, félhidas alapkapcsolás elemzésével foglalkozunk.

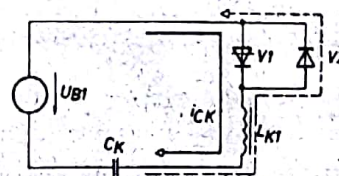
A vizsgálat eredményei alkalmazhatók természetesen teljes híd, illetve középpont kapcsolású inverterre is, figyelembe véve az egyes áramkört elemek transzformációját. Az elvi működés vizsgálatához ragadjuk ki először a 2. ábrából a 3. a) ábrán látható részletet, és



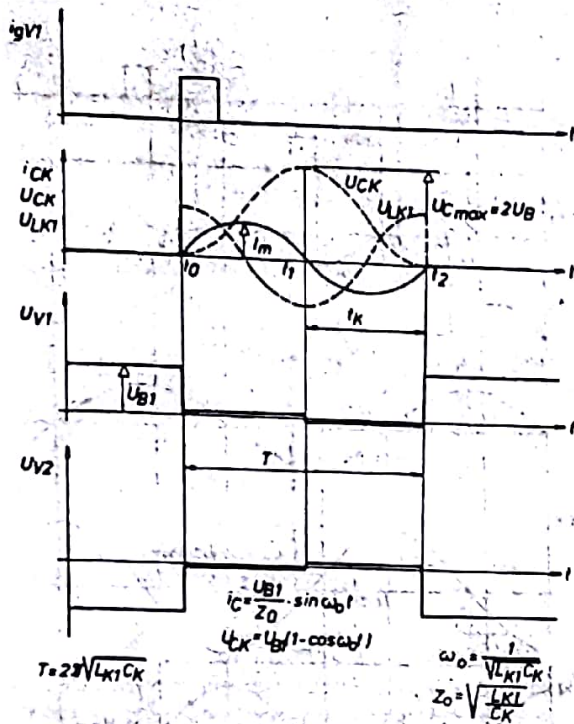
1. ábra  
A rezgőkörös inverter elvi alapkapcsolása



2. ábra  
Tirisztoros rezgőkörös inverter



3. a) ábra  
Tirisztoros alapáramkör



3. b) ábra  
Tirisztoros alapáramkör jelalakjai

tételezzük fel, hogy a rezgőkör energia- és veszteségmentes. A folyamatot a V1 tirisztor bekapcsolásával indítjuk.

Az áramkörre az alábbi lineáris differenciál egyenletrendszer írható fel:

$$\frac{d^2 Q}{dt^2} + \frac{1}{L_{K1} C_K} Q = \frac{U_{B1}}{L_{K1}} \quad t=0\text{-kor } I_{CK} = 0$$

$$I_{CK} = \frac{dQ}{dt} \quad Q = 0$$

Az egyenletrendszer megoldásának eredményeképpen a körben folyó áram és a  $C_K$  kondenzátor feszültsége:

$$I_{CK}(t) = \frac{U_{B1}}{\sqrt{\frac{L_{K1}}{C_K}}} \sin \sqrt{\frac{1}{L_{K1} C_K}} t$$

$$U_{CK}(t) = U_{B1} (1 - \cos \sqrt{\frac{1}{L_{K1} C_K}} t)$$

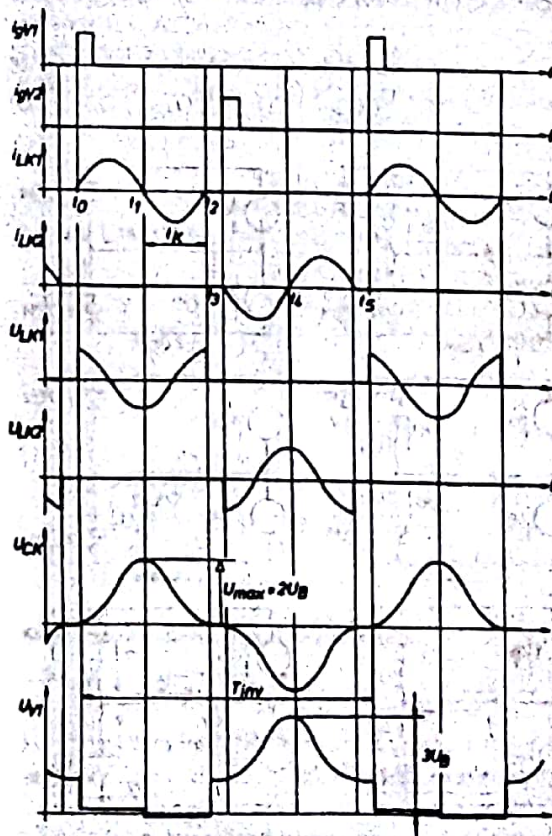
Megállapíthatjuk, hogy a V1 tirisztor bekapcsolása után kialakult szinuszos áram a  $t_1$  időpontban irányt vált, és a negatív áramfélperiódust a  $t_2$  időpontig a V1

tirisztorral párhuzamosan kapcsolt V2 dióda vezet (3. b) ábra). A V2 dióda vezetése alatt a V1 tirisztorra zárófeszültségként a dióda vezetési irányú feszültségeseése jut. Ha a  $t_2 - t_1$  időintervallum – amelyet a rezgőköri elemek értékei határoznak meg – nagyobb, mint a tirisztor típus szabaddáválási ideje, a tirisztor lezár, további lengések a körben nem tudnak kialakulni.

#### Az inverter kommutációjának vizsgálata

Visszatérve a 2. ábrán látható alkapcsoláshoz, megállapíthatjuk, hogy abban az esetben, ha a tirisztorokat az ellentétes hurokban lévő visszavezető dióda vezetéséből való kilépése után gyűjtjük, mind a  $C_K - L_{K2}$ , mind a  $C_K - L_{K1}$  rezgőkörben az ismertetett folyamat játszódik le. Az erre az esetre vonatkozó jelalakok a 4. ábrán láthatók.

Mivel a két rezgőkörben ( $C_K - L_{K1}$ ;  $C_K - L_{K2}$ ) ugyanazok a jelenségek játszódnak le, de a két rezgőkör árama a kondenzátoron ellentétes irányú, a kondenzátor feszültsége váltakozó feszültség. Ebben az esetben a két hurokban végbemenő folyamatok egymástól függetlenek.



4. ábra

A rezgőkörös inverter jelalakjai ( $t_e=0$ )

Abban az esetben, ha a tirisztorokat az ellentétes oldali visszavezető dióda vezetése alatt gyűjtjük, a két ágban együttvezetési állapotok is létrejönnek. Ilyen esetben egy teljes periódus az 5. ábrán látható 6 ütemre bontható.

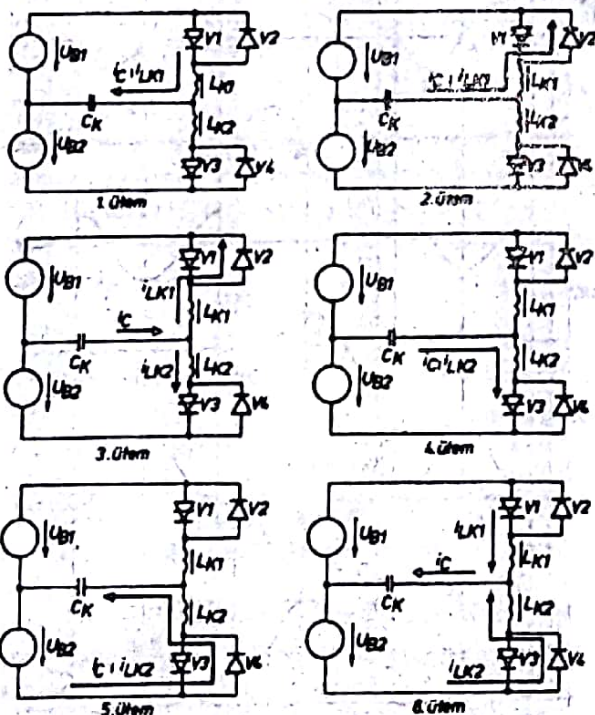
Allandósult állapotot feltételezve kövessük végig a 6. ábrán az egyes ütemek alatt lejátszódó folyamatokat.

- A  $t_0-t_1$  időtartam alatt a V1 tirisztor vezet (1. ütem).
- Az áram a  $t_1$  időpontban irányt vált, és az áramot a V2 dióda vezeti (2. ütem).
- V2 vezetése alatt a  $t_2$  időpillanatban gyűjtjük a V3 tirisztort. Ebben az esetben a  $t_3$  időpontig mindkét hurokban egyidejűleg áramvezetés van (3. ütem).

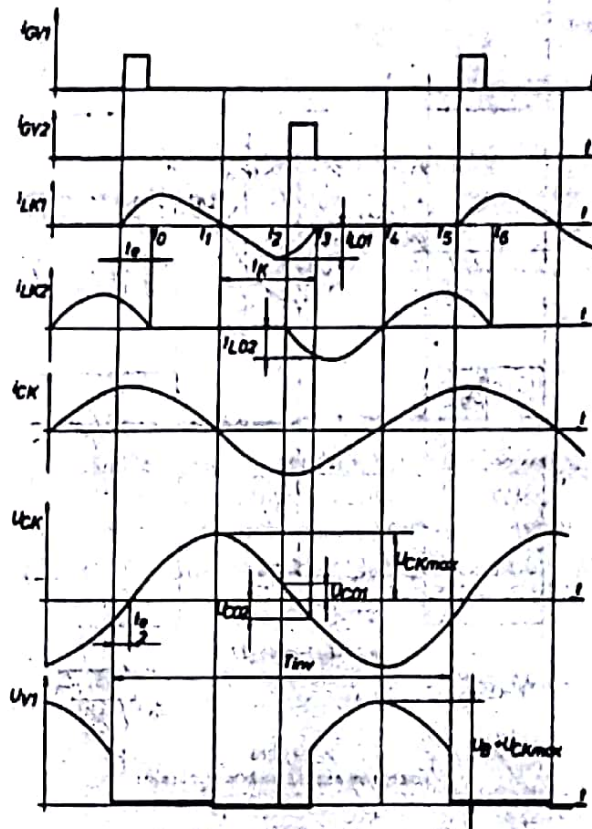
A  $t_3$  időpontban a V2 dióda kilép a vezetésből, csak a V3 tirisztor vezet. A  $t_3-t_6$  időintervallumban az áramkörü szimmetria miatt a másik hurokban az előbb ismertetett 3 ütemnek megfelelő jelenség játszódik le.

Az 5. ábra ütemdiagramjaiból és a 6. ábra időfüggvényeiből megállapíthatjuk, hogy a kondenzátor feszültségének időfüggvénye több darabból tevődik össze. A 6. ábrán látható, hogy a kondenzátor feszültségének frekvenciája megegyezik a gyűjtőimpulzusok frekvenciájával, de a kondenzátorfeszültség null-átmenete a gyűjtőjelhez képest  $\alpha = \frac{\omega \text{inv}t_e}{2}$  szöggel késik.

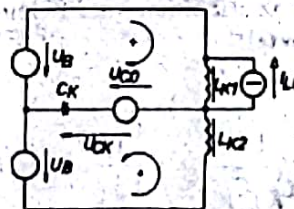
Az áramkörü szimmetria, valamint a végtelen körjóság miatt  $U_{CO1} = U_{CO2} = U_{CO}$  és  $I_{LO1} = I_{LO2} = I_{LO}$ .



5. ábra  
A rezgőkörös inverter kommutációjának ütemábrái



6. ábra  
A rezgőkörös inverter jelalakjai ( $t_e > 0$ )



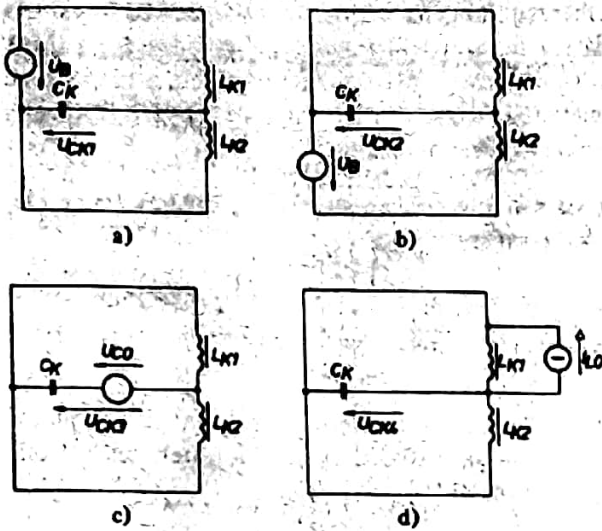
7. ábra  
Az inverter  $t_2$  időpontbeli helyettesítő képe

A kapcsolás jellemző időfüggvényeinek és fontosabb összefüggéseinek meghatározása

A 6. ábra  $t_2$  időpontjából kiindulva rajzoljuk fel a kapcsolás  $t_2$  időpontbeli helyettesítő képét (7. ábra). A  $t_2$  időpontban az  $L_{K1}$  fojtótekercs  $-I_{LO1}$  kezdeti árammal és a  $C_K$  kondenzátor  $U_{CO}$  kezdeti feszültséggel rendelkezik.

A kondenzátorfeszültség időfüggvényének meghatározásához Laplace transzformációt és a szuperpozíció tételét használtuk fel.

A szuperpozíció alkalmazásához tekintsük a 8. a-d) ábrákat. Látható, hogy az  $U_{B1}$  és  $U_{B2}$  feszültséggenerátor ellentétes irányú feszültséget igyekeznek létrehozni a  $C_K$  kondenzáto-



8. ábra

A szuperpozícióhoz szükséges helyettesítő ábrák

ron, és így egymás hatását közömbösítik (8. a; b) ábra). A  $C_K$  kondenzátor  $t_2$  időpontbeli feszültségének és az  $L_{K1}$  fojtótekercs  $t_2$  időpontbeli áramának hatását figyelembe véve (8. c, d) ábra) a kondenzátor feszültségének Laplace transzformáltja:

$$U_{CK}(s) = - \left[ \frac{1}{1 + s^2 \frac{L_K}{2} C_K} \right] \left[ \frac{U_{CO}}{s} + I_{LO} \frac{L_K}{2} \right] \cdot \frac{U_{CO}}{s}$$

Visszatranszformálva:

$$U_{CK}(t) = U_{CO} \cos \sqrt{\frac{2}{L_K C_K}} t - I_{LO} \sqrt{\frac{L_K}{2 C_K}} \sin \sqrt{\frac{2}{L_K C_K}} t$$

A kondenzátor áram az együttvezetési szakaszban:

$$I_{CK}(t) = C_K \frac{dU_{CK}}{dt} = -U_{CO} \sqrt{\frac{2 C_K}{L_K}} \sin \sqrt{\frac{2}{L_K C_K}} t - I_{LO} \cos \sqrt{\frac{2}{L_K C_K}} t$$

A kezdeti értékek figyelembevételével a fojtótekercseken átfolyó áramok időfüggvényei:  $t = 0$ -kor

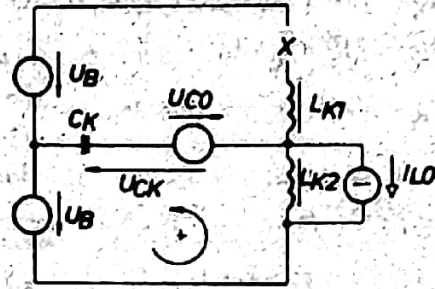
$$I_{LK1} = -I_{LO} \\ I_{LK2} = 0$$

$$I_{LK1}(t) = \frac{1}{L_K} U_B t - \frac{U_{CO}}{\sqrt{\frac{2 L_K}{C_K}}} \sin \sqrt{\frac{2}{L_K C_K}} t - \frac{I_{LO}}{2} \cos \sqrt{\frac{2}{L_K C_K}} t - \frac{I_{LO}}{2}$$

$$- \frac{I_{LO}}{2} \cos \sqrt{\frac{2}{L_K C_K}} t - \frac{I_{LO}}{2}$$

$$I_{LK2}(t) = - \frac{1}{L_K} U_B t - \frac{U_{CO}}{\sqrt{\frac{2 L_K}{C_K}}} \sin \sqrt{\frac{2}{L_K C_K}} t - \frac{I_{LO}}{2} \cos \sqrt{\frac{2}{L_K C_K}} t - \frac{I_{LO}}{2}$$

A kiszámított egyenletek érvényességi határa a  $t_2 \leq t \leq t_3$  időintervallum, vagyis az együttvezetési idő. A  $t_3$  időpontban a felső áramkört hurokban az  $I_{LK1}$  áram nullára csökken, így az együttvezetés megszűnik. A  $t_3$  időpontra érvényes helyet-



9. ábra

Az inverter  $t_3$  időpontbeli helyettesítő képe

tesítő kapcsolási rajz látható a 9. ábrán. A  $t_3$  időponttól a  $t_5$  időpontig csak egy fojtó vesz részt az áramvezetésben, így a kezdeti feltételek figyelembevételével a körben folyó áram:

$$t = 0 \text{-kor } U_{CK} = -U_{CO} \\ I_{LK2} = -I_{LO}$$

$$I_{CK}(s) = \left[ \frac{-C_K}{1 + s^2 L_K C_K} \right] \left[ (U_B - U_{CO}) + I_{LO} s L_K \right]$$

$$I_{CK}(t) = - \frac{U_B - U_{CO}}{\sqrt{\frac{L_K}{C_K}}} \sin \sqrt{\frac{1}{L_K C_K}} t - I_{LO} \cos \sqrt{\frac{1}{L_K C_K}} t$$

A kondenzátor feszültsége:

$$U_{CK}(t) = -U_B + (U_B - U_{CO}) \cos \sqrt{\frac{1}{L_K C_K}} t - I_{LO} \sqrt{\frac{L_K}{C_K}} \sin \sqrt{\frac{1}{L_K C_K}} t$$

A kiszámított egyenletek érvényességi határa  $t_3 \leq t \leq t_5$  időintervallum.

A rezgőkörök elméletéből ismert, hogy ha a gerjesztő jel frekvenciájával közelítünk a rezgőkör rezonancia frekvenciájához, a rezgések amplitúdója monoton nő. E jelenséghez hasonlóan az inverter kimeneti feszültsége nemcsak a tápláló egyenfeszültség nagyságának

megváltoztatásával, hanem ezenkívül az gyújtó-impulzus-frekvencia (inverter működési frekvencia) és a rezgőkör rezonancia-frekvencia viszonyának megváltoztatásával is változtatható.

Növelve az inverter kimeneti feszültségét, nő a tirisztorra jutó pozitív zárófeszültség értéke is.

A pozitív zárófeszültség maximális értéke:

$$U_Z = U_B \cdot U_{CKmax} = 2U_B \cdot (U_B - U_{CO}) \cos \left[ \frac{1}{\sqrt{L_K C_L}} \left( \frac{T_{inv}}{4} - \frac{t_e}{2} \right) \right] + I_{LO} \sqrt{\frac{L_K}{C_K}} \sin \left[ \frac{1}{\sqrt{L_K C_K}} \left( \frac{T_{inv}}{4} - \frac{t_e}{2} \right) \right]$$

ahol:  $T_{inv}$  = az inverter periódus ideje.

Állandósult állapotban a  $t_e$  együttvezetési idő alatt az  $\int_0^{t_e} I_{LK1} dt$  és az  $\int_0^{t_e} I_{LK2} dt$  áramidő-területek és a fojtótekerceken lévő  $\int_0^{t_e} U_{LK1} dt$  és  $\int_0^{t_e} U_{LK2} dt$  feszültség időterületek megegyeznek.

Az áramidő-területek egyenlőségéből a

$$t_e = \frac{I_{LO} L_K}{U_B} \text{ függvény adódik, míg}$$

a feszültségidő-területek egyenlőségéből a

$$U_{CO} = I_{LO} \sqrt{\frac{L_K}{2C_K}} \operatorname{tg} \left( \sqrt{\frac{L_K}{2C_K}} \frac{I_{LO}}{U_B} \right)$$

függvényt kapjuk.

A kapott eredményből látszik, hogy adott kommutáló kör és tápfeszültség esetén az együttvezetési idő arányos a fojtó kezdeti áramával, és  $U_{CO}$  és  $I_{LO}$  között meghatározott függvénykapcsolat van.

A kommutáció alatt a tirisztorra addig jut negatív zárófeszültség, ameddig a vele párhuzamosan kapcsolt dióda vezet.

A tirisztor kíméleti ideje a 6. ábra alapján:

$$t_K = \frac{T_{inv}}{4} + \frac{t_e}{2}$$

A működéshez természetesen teljesülnie kell a következő egyenlőtlenségnek:

$$t_q < t_K$$

ahol  $t_q$  a tiriszortípus szabadáválási ideje.

Ismeretes, hogyha a tirisztor bekapcsolási folyamata alatt a félvezetőn átfolyó áram meredeksége a tiriszortípusra megadott értéknél nagyobb, a tirisztorban keletkező nagy teljesítménycsúcs a félvezetőelem tönkremenését okozhatja.

A vizsgált inverterkapcsolásban a kezdeti árammeredekség értéke:

$$\left. \frac{di}{dt} \right|_{t=0} = \frac{U_B \cdot U_{CO}}{L_K}$$

Ha a bekapcsolási veszteséget csökkenteni akarjuk, a tirisztor dióda párokkal telítődő fojtótekerceket kell sorba kapcsolni [6].

A visszavezető diódák vezetésének megszűnése után a tirisztorra ugrásszerűen tér vissza a pozitív zárófeszültség, amely túlzottan nagy feszültség-mereedséget eredményezhet, és a tirisztorok nem szándékolt bekapcsolásához, illetve zárlat kialakulásához vezethet.

A nagy  $\frac{dU}{dt}$  ellen a félvezetővel párhuzamosan kapcsolt  $R_v - C_v$  taggal védekezünk.

Részletesen nem elemezzük a  $\frac{dU}{dt}$  csökkentés módjait

[4] [5] [6], de megjegyezzük, hogy mivel a  $\frac{dU}{dt}$  maxi-

mális értéke a védőkörben folyó áram második deriváltjának szélső értékével arányos, így a feszültség-mereedség maximális értéke a tápfeszültség nagyságán kívül a védőkörben folyó áram jellegető is függ.

Az inverter  $R_v - C_v$  elemei a gyakorlatban olyan értékűek, hogy az inverter kommutációját és egyes üzemi állapotait gyakorlatilag nem befolyásolják.

Az inverter kapcsolás kimeneti feszültségének közép- és effektív értéke:

$$U_{CK \text{ közép}} = \frac{1}{T_{inv}} \int_0^{T_{inv}} U_{CK}(t) dt = \frac{2}{T_{inv}} \left[ -2U_{CO} \sqrt{\frac{L_K C_K}{2}} \sin \alpha - U_B \left( \frac{T_{inv}}{2} - t_e \right) \cdot \left( U_B - U_{CO} \right) \sqrt{L_K C_K} \sin \beta + I_{LO} L_K (\cos \beta - \cos \alpha) \right]$$

$$\text{és } U_{CK \text{ eff}} = \sqrt{\frac{1}{T_{inv}} \int_0^{T_{inv}} U_{CK}^2(t) dt} = \sqrt{\frac{2}{T_{inv}} \left\{ \frac{U_{CO}^2}{2} (t_e + T) + U_B^2 \left( \frac{T_{inv}}{2} - t_e \right) \cdot \frac{(U_B - U_{CO})^2}{2} \right\}}$$

$$\left(\frac{T_{inv}}{2} - t_e \cdot \sigma\right) \cdot 2U_B(U_B - U_{CO}) \sqrt{L_K C_K} \sin \beta \cdot I_{LO} L_K$$

$$\left[\frac{I_{LO}}{2C_K} \left(\frac{T_{inv}}{2} - t_e - \sigma\right) \cdot 2U_B(1 - \cos \beta) - (U_B - U_{CO}) \sin^2 \beta - \right.$$

$$\left. - \frac{U_{CO}}{2} \sin^2(2\alpha) + \frac{I_{LO}}{4C_K} (t_e - \sigma)\right] \cdot \frac{1}{2}$$

ahol:  $\alpha = \sqrt{\frac{2}{L_K C_K}} \frac{t_e}{2}$

$$\beta = \frac{1}{\sqrt{L_K C_K}} \left(\frac{T_{inv}}{2} - t_e\right)$$

$$\sigma = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{L_K C_K}{2}} \sin \left(2 \sqrt{\frac{2}{L_K C_K}} t_e\right)$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{L_K C_K}}{2} \sin \left[ \sqrt{\frac{2}{L_K C_K}} \left(\frac{T_{inv}}{2} - t_e\right) \right]$$

Az inverter veszteségmentesnek feltételezve, programozható zsebszámológép segítségével meghatároztuk különféle  $f_{inv}/f_r$  hányadosok esetére az inverter jellemző áram-, feszültség- és időértékeit.

A kiszámított értékeket relatív egységekben az 1. táblázat és a 10. a-d) ábrák tartalmazzák.

1. táblázat

Az inverter relatív egységekben adott idő-, áram- és feszültségértékeit az  $f_{inv}/f_r$  hányadosok függvényében

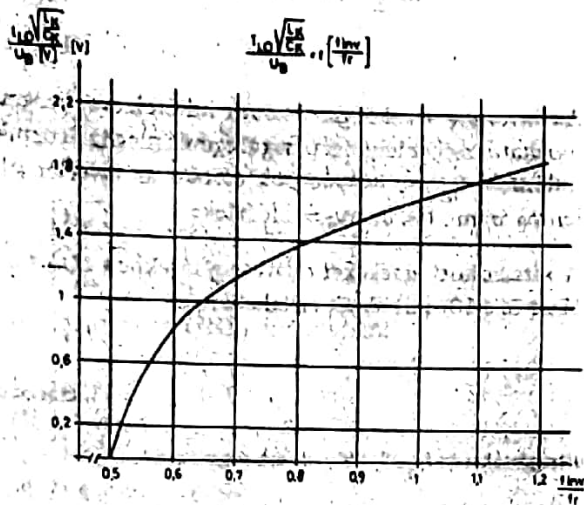
$\frac{f_{inv}}{f_r}$	$\frac{t_e \cdot f_r}{\mu\text{sec kHz}}$	$t_k f_r$ /usec kHz/	$\frac{I_{LO} \sqrt{L_K}}{C_K} / U_B$	$\frac{U_{CO}}{U_B}$	$\frac{U_{CK \text{ közép}}}{U_B}$	$\frac{U_{CK \text{ eff}}}{U_B}$	$\frac{U_{CK \text{ max}}}{U_B}$	$\frac{U_Z}{U_B}$
0,5	0	500	0	0	1	1,23	2	3
0,52	30,33	500	0,19	0,0184	1,03	1,24	2	3
0,53	62,05	498,46	0,39	0,0784	1,07	1,27	2	3
0,56	89,75	495	0,56	0,1688	1,11	1,29	2	3
0,58	113,29	489,46	0,71	0,2787	1,15	1,32	2,01	3,01
0,6	133,29	482,26	0,84	0,4015	1,19	1,36	2,03	3,03
0,63	150,97	473,67	0,95	0,5345	1,24	1,4	2,06	3,06
0,66	166,48	464,11	1,05	0,6777	1,3	1,45	3,09	3,09
0,69	180,47	453,86	1,13	0,833	1,36	1,5	3,15	3,15
0,72	192,38	442,51	1,21	0,988	1,42	1,57	3,21	3,21
0,76	205,95	431,98	1,29	1,1977	1,52	1,66	3,31	3,31
0,80	218,14	420,76	1,37	1,4219	1,62	1,77	3,43	3,43
0,85	230,33	409,54	1,45	1,6912	1,76	1,91	3,6	3,6
0,900	242,79	398,46	1,53	2,0291	1,93	2,1	3,84	3,84
0,96	255,95	387,66	1,61	2,4789	2,18	2,37	4,18	4,18
1,03	270,35	377,55	1,7	3,1282	2,56	2,78	4,72	4,72
1,11	286,28	368,27	1,8	4,1826	3,19	3,48	5,66	5,66
1,20	305,12	360,38	1,92	6,3076	4,5	4,92	7,64	7,64
1,32	328,38	354,7	2,06	13,4	8,97	9,87	13,57	14,57

A táblázatban alkalmazott jelölések összefoglalva:

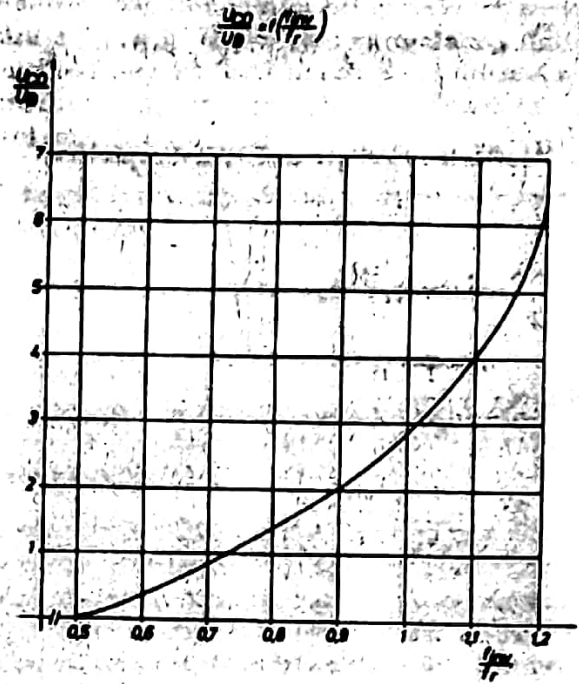
- $f_{inv}$  - az inverter működési frekvenciája
- $f_r$  - az inverter  $L_K$ ;  $C_K$  tagokból álló rezgőkörnek rezonancia frekvenciája  $f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_K C_K}}$
- $t_e$  - az együttvezetési idő
- $t_k$  - a kíméleti idő
- $U_B$  - a tápláló egyenfeszültség
- $I_{LO}$  - a fojtótekercs kezdeti árama

- $U_{CO}$  - a kondenzátor kezdeti feszültsége
- $U_{CK \text{ közép}}$  - az inverter kimeneti feszültségének átlagértéke
- $U_{CK \text{ eff}}$  - az inverter kimeneti feszültségének effektív értéke
- $U_{CK \text{ max}}$  - az inverter kimeneti feszültségének max. értéke
- $U_Z$  - a tirisztorra jutó pozitív zárófeszültség maximális értéke

A kiszámított értékekből látszik, hogy az inverter működési frekvencia rezgőkör rezonancia frekvencia viszony növelése esetén az  $I_{LO}$ ,  $U_{CO}$  és ezzel együtt  $t_e$ ,  $U_{CK}$  és  $U_Z$  értékei monoton növekednek  $t_K$  értéke pedig csökken.

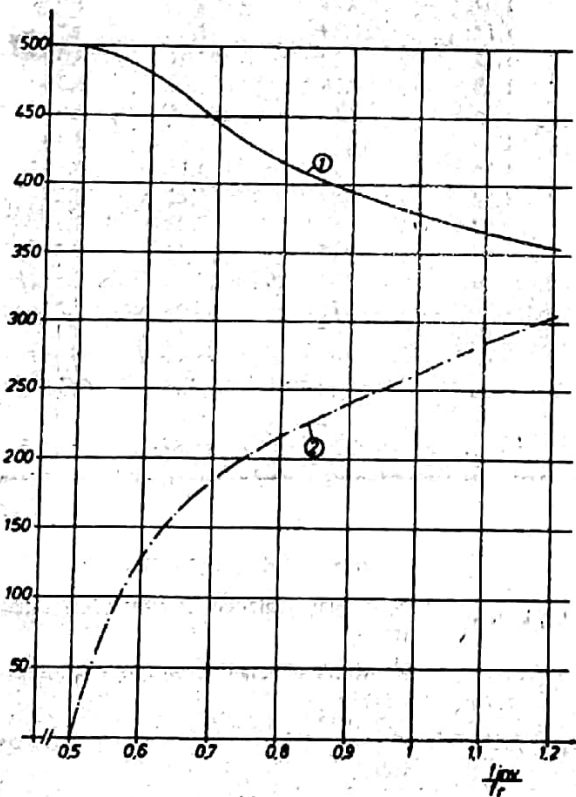


10. a)



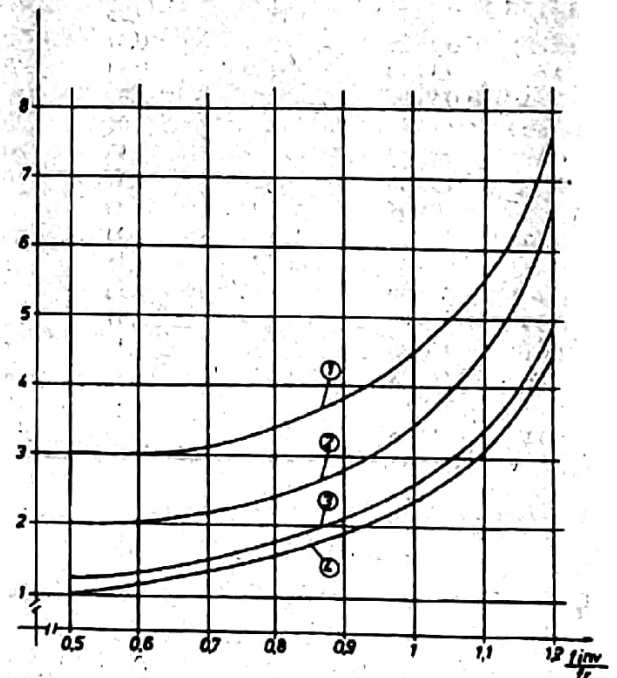
10. c)

- ①  $t_K f_r = f \left( \frac{I_{inv}}{I_r} \right)$   
 $t_K f_r$  (µsec kHz)  
 $t_e f_r$  (µsec kHz)
- ②  $t_e f_r = f \left( \frac{I_{inv}}{I_r} \right)$



10. b)

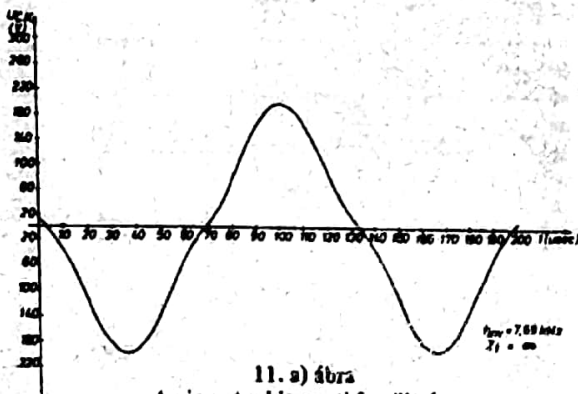
- $\frac{U_Z}{U_B}$  ①  $\frac{U_Z}{U_B} = f \left( \frac{I_{inv}}{I_r} \right)$   
 $\frac{U_{CKmax}}{U_B}$  ②  $\frac{U_{CKmax}}{U_B} = f \left( \frac{I_{inv}}{I_r} \right)$   
 $\frac{U_{CKmin}}{U_B}$  ③  $\frac{U_{CKmin}}{U_B} = f \left( \frac{I_{inv}}{I_r} \right)$   
 $\frac{U_{CKkőrsép}}{U_B}$  ④  $\frac{U_{CKkőrsép}}{U_B} = f \left( \frac{I_{inv}}{I_r} \right)$



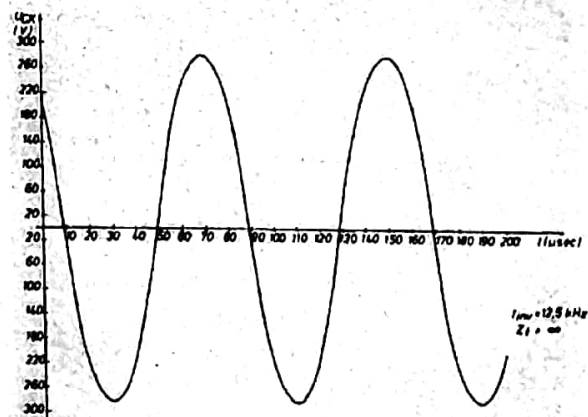
Az inverter relatív egységekben ábrázolt idő-, áram- és feszültségértékei az  $f_{inv}/f_r$  hányadosok függvényében

$C_K = 4,4 \mu\text{F}$ -os kommutáló kondenzátorral,  $L_K = 30 \mu\text{H}$  kommutációs fojtótekerccsel, és  $U_{B1} = U_{B2} = 100 \text{ V}$ -ról működő inverter kapcsolás számított értékei az inverterfrekvencia függvényében

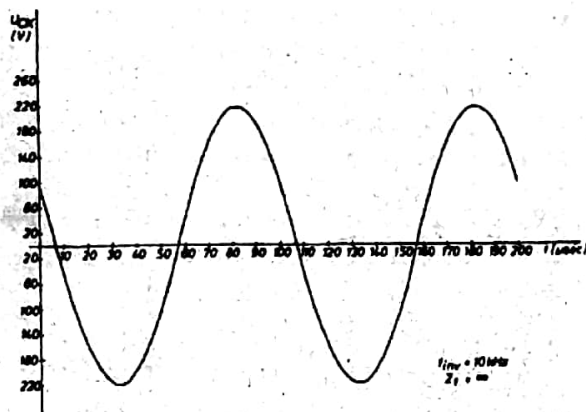
$f_{\text{inv}}/\text{kHz}$	$\frac{f_{\text{inv}}}{f_r}$	$t_e/\mu\text{sec}$	$t_k/\mu\text{sec}$	$I_{LO}/\text{A}$	$U_{CO}/\text{V}$	$U_{CK \text{ közép}}/\text{V}$	$U_{CK \text{ eff}}/\text{V}$	$U_{CK \text{ max.}}/\text{V}$	$U_Z/\text{V}$
6,93	0,5	0	36,10	0	0	100,1	122,53	200	300
7,14	0,52	2,19	36,10	7,31	1,84	103,12	124,38	200	300
7,41	0,53	4,48	35,99	14,94	7,84	106,94	126,74	200,07	300,07
7,69	0,56	6,48	35,74	21,60	16,88	110,8	129,26	200,43	300,43
8	0,58	8,18	35,34	27,27	27,87	114,96	132,22	201,33	301,33
8,33	0,6	9,64	34,82	32,12	40,15	119,36	135,63	203	303
8,7	0,63	10,90	34,20	36,32	53,45	124,27	139,73	205,61	305,61
9,09	0,66	12,02	33,51	40,05	67,77	129,63	144,52	209,39	309,39
9,52	0,69	13,03	32,77	43,43	83,3	135,78	150,3	214,58	314,58
10	0,72	13,89	31,95	46,3	98,8	142,47	156,88	220,84	320,84
10,53	0,76	14,87	31,19	49,58	119,77	151,61	166,1	230,91	330,91
11,11	0,80	15,57	30,38	52,51	142,19	162,18	177,07	243,4	343,4
11,76	0,85	16,63	29,57	55,44	169,12	175,63	191,31	260,36	360,36
12,50	0,90	17,53	28,77	58,444	202,91	193,42	210,43	284,01	384,01
13,33	0,96	18,48	27,99	61,61	247,89	218,28	237,42	318,47	418,47
14,29	1,03	19,52	27,26	65,05	312,82	255,63	278,38	372,25	472,25
15,38	1,11	20,67	26,59	68,92	418,26	318,8	347,84	465,58	565,58
16,67	1,20	22,03	26,02	73,44	630,76	449,69	492,47	664,31	764,31
18,18	1,32	23,71	25,61	79,0317	1339,64	896,79	987,17	1356,68	1456,68



11. a) ábra  
Az inverter kimeneti feszültsége  
 $f_{\text{inv}} = 7,69 \text{ KHz}$ ;  $Z_t = \infty$ ;  $Q = \infty$



11. c) ábra  
Az inverter kimeneti feszültsége  
 $f_{\text{inv}} = 12,5 \text{ KHz}$ ;  $Z_t = \infty$ ;  $Q = \infty$

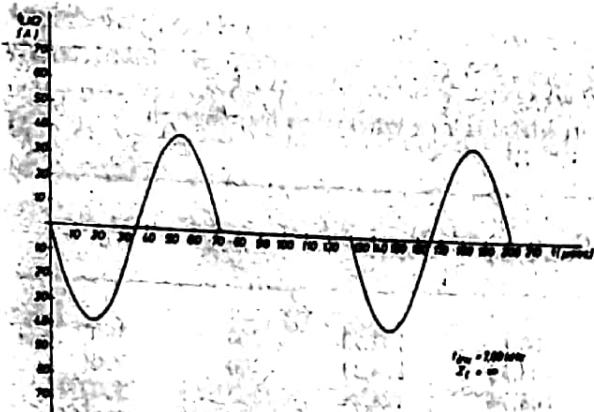


11. b) ábra  
Az inverter kimeneti feszültsége  
 $f_{\text{inv}} = 10 \text{ KHz}$ ;  $Z_t = \infty$ ;  $Q = \infty$

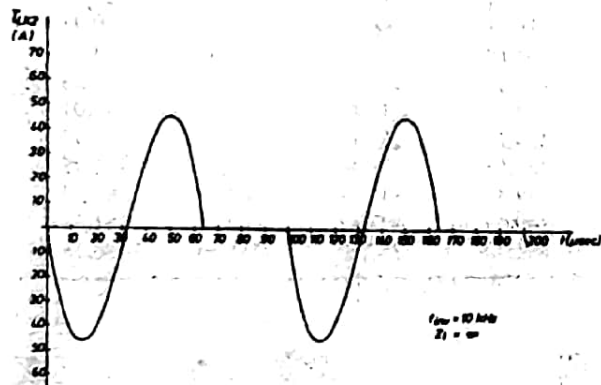
A 2. táblázat egy  $C_K = 4,4 \mu\text{F}$  kommutáló kondenzátorral és  $L_K = 30 \mu\text{H}$  kommutációs fojtótekerccsel  $U_{B1} = U_{B2} = 100 \text{ V}$ -ról működő inverterkapcsolás számított jellemző értékeit tartalmazza.

Zsebszámológép segítségével kiszámítottuk, majd felrajzoltuk az említett kommutáló körrel rendelkező inverter kimeneti feszültségét és az  $I_{LK2}$  - fojtótekerccs áramát három különféle gerjesztő frekvencia esetén (11. a-c, 12. a-c ábra).

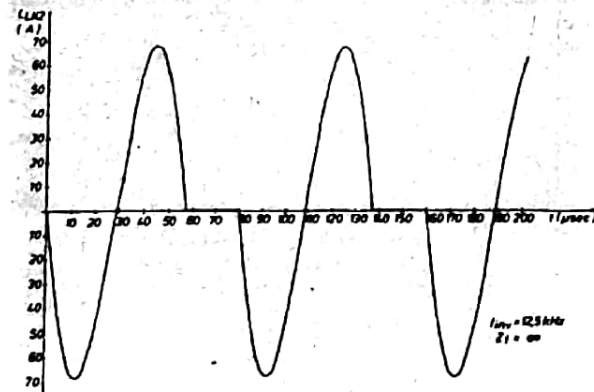




12. a) ábra  
Az  $I_{LK2}$  fojtótekeres árama,  
 $f_{inv} = 7,69 \text{ KHz}$ ;  $Z_t = \infty$ ;  $Q = \infty$



12. b) ábra  
Az  $I_{LK2}$  fojtótekeres árama  
 $f_{inv} = 10 \text{ KHz}$ ;  $Z_t = \infty$ ;  $Q = \infty$

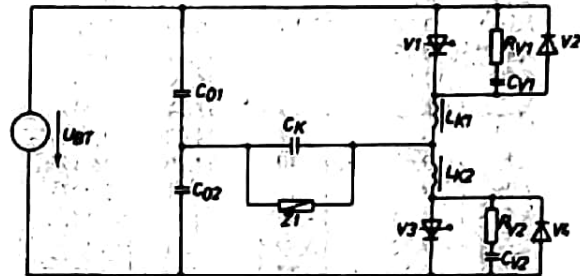


12. c) ábra  
Az  $I_{LK2}$  fojtótekeres árama  
 $f_{inv} = 12,5 \text{ KHz}$ ;  $Z_t = \infty$ ;  $Q = \infty$

#### A mintakapcsolás mérési eredményei

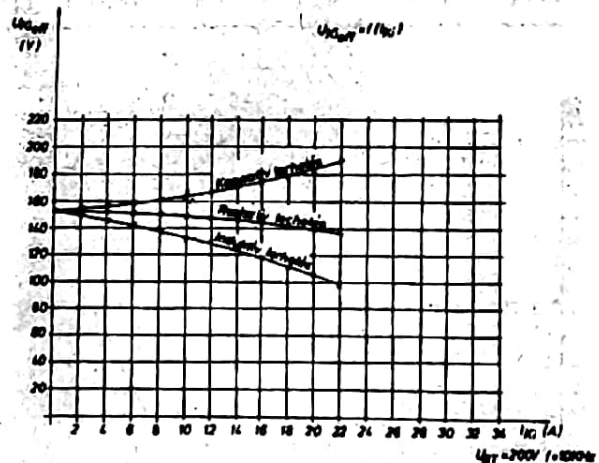
A 13. ábrán látható áramkörti elemekkel megépített inverterkapcsoláson végeztünk méréseket, rezisztív, induktív és kapacitív terhelések esetén.

A mérési eredményeket a 14. a–d ábrák foglalják össze, míg a 15. a–c ábrákon a megépített inverter jellemző jelalakjainak fényképfelvételei láthatók. A mérési eredményekből is látszik, hogy a különböző terhelések megváltoztatják a rezgőkör rezonancia frekvenciáját, ill. csillapítását, így a kimeneti feszültség nagysága, csúcs- és formátényezője függ a terheléstől (14. a–b ábrák).

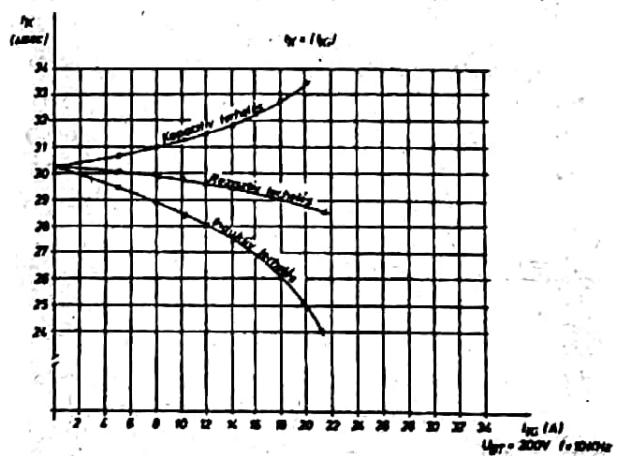


$C_{V1}, C_{V2} = 0,22 \mu\text{F}$      $R_{V1}, R_{V2} = 18 \Omega$   
 $C_{01}, C_{02} = 68 \mu\text{F}$      $V_1, V_3 = 1,20\text{F}$   
 $C_K = 4,4 \mu\text{F}$      $V_2, V_4 = 1R 70\text{MFL}$   
 $L_{K1}, L_{K2} = 30 \mu\text{H}$      $U_{BT} = 200\text{V}$

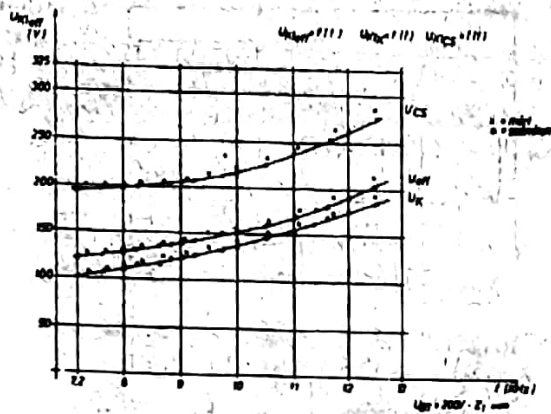
13. ábra  
A mintakapcsolás kapcsolási rajza



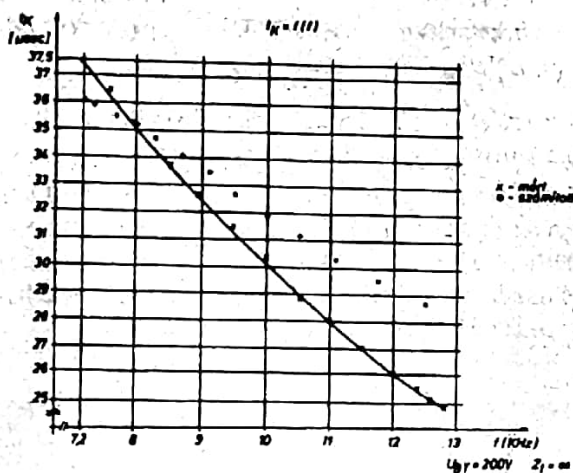
14. a)



14. b)



14. c)



14. d)

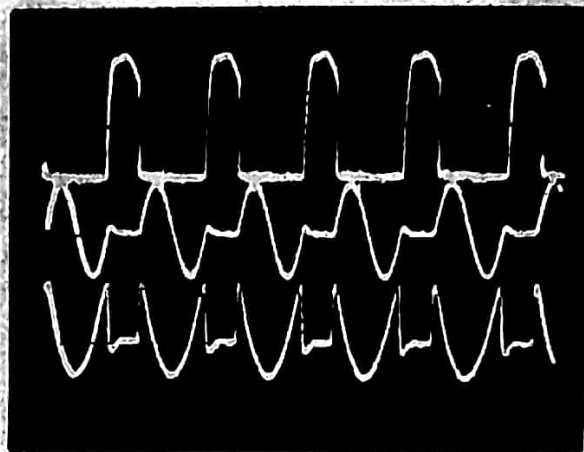
A mintakapcsolás jelleggörbéi

A 14. c. ill. a 14. d ábrákon látható, hogy az üresjárásban mért értékek (a nagy körjóság miatt) jól megközelítik a végtelen körjóságra számítható értékeket. Az eltérést a véges körjóság okozza.

### Ipari alkalmazás

Az inverter felhasználásra került egy változtatható frekvenciájú és kimeneti feszültségű 2 kVA, 15 kV, 10 kHz névleges kimeneti jellemzőkkel rendelkező nagy feszültségű műanyag fólia felületkezelő berendezésben. A berendezés blokkvázlata látható a 16. ábrán. A készülék frekvenciáját a gyújtóimpulzusok frekvenciájával, kimeneti feszültségét pedig a vezérelt egyenirányító kimeneti feszültségével lehet változtatni. Az inverter kimenetére kötött nagy feszültségű, középfrekvenciás transzformátor állítja elő a felületkezeléshez szükséges nagy feszültséget.

A konstrukciós kialakításnál figyelembe kellett venni a viszonylag nagy működési frekvenciából adódó járulékos veszteségek (magnövekedett skin hatás, ör-



15. a) ábra

A rezgőkörös inverter jelalakjai

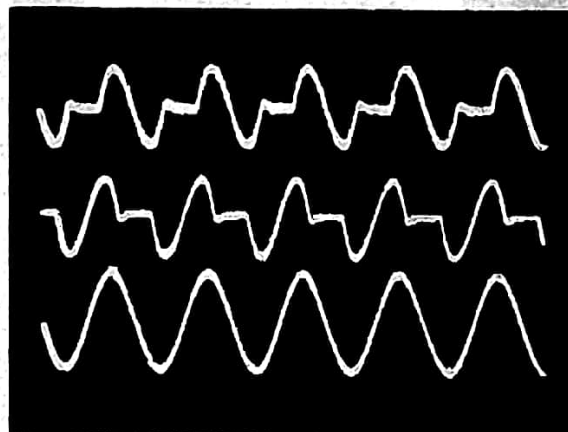
Felső jelalak: a V1 tirisztor feszültsége ( $150 \frac{V}{osztás}$ ;  $50 \frac{\mu s}{osztás}$ )

Középső jelalak: az  $L_{K1}$  fojtótekercsen átfolyó áram

( $53 \frac{A}{osztás}$ ;  $50 \frac{\mu s}{osztás}$ )

Alsó jelalak: az  $L_{K1}$  fojtótekercsen lévő feszültség

( $195 \frac{V}{osztás}$ ;  $50 \frac{\mu s}{osztás}$ )



15. b) ábra

A rezgőkörös inverter jelalakjai

Felső jelalak: az  $L_{K1}$  fojtótekercsen átfolyó áram

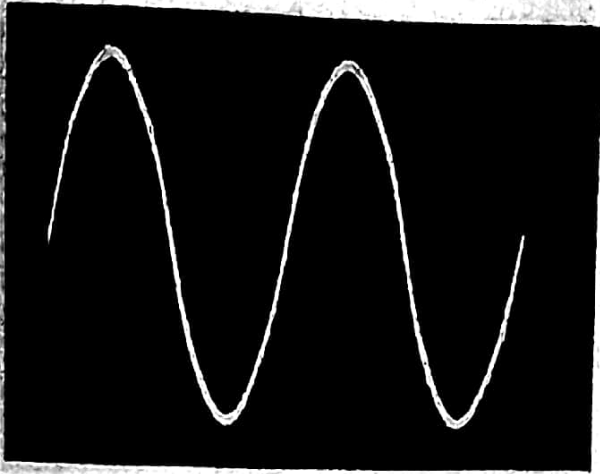
( $60 \frac{A}{osztás}$ ;  $50 \frac{\mu s}{osztás}$ )

Középső jelalak: az  $L_{K2}$  fojtótekercsen átfolyó áram

( $60 \frac{A}{osztás}$ ;  $50 \frac{\mu s}{osztás}$ )

Alsó jelalak:  $C_K$  kondenzátoron átfolyó áram

( $60 \frac{A}{osztás}$ ;  $50 \frac{\mu s}{osztás}$ )

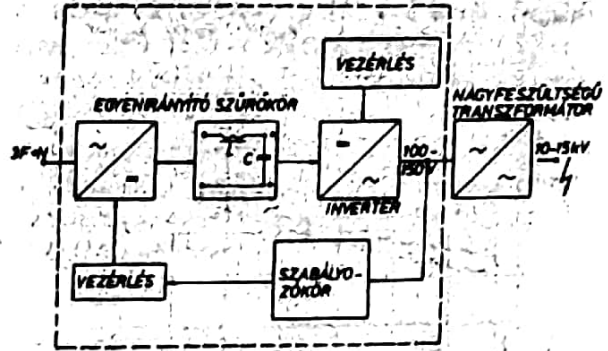


15. c) ábra  
A kimeneti feszültség

$$\text{Kimeneti feszültség } U_{CK} \cdot \left( 66 \frac{V}{\text{osztás}} ; 20 \frac{\mu s}{\text{osztás}} \right)$$

vényáramú és hiszterézis veszteségek) hatását. Ezért az inverterrészben alkalmazott induktív elemek ferritmagra, extrahajlékony lapos szalagfonat tekercseléssel készültek.

A párhuzamosan kapcsolt kondenzátorok minimális áramosztási hibáját a sínezés geometriai szimmetriájá-

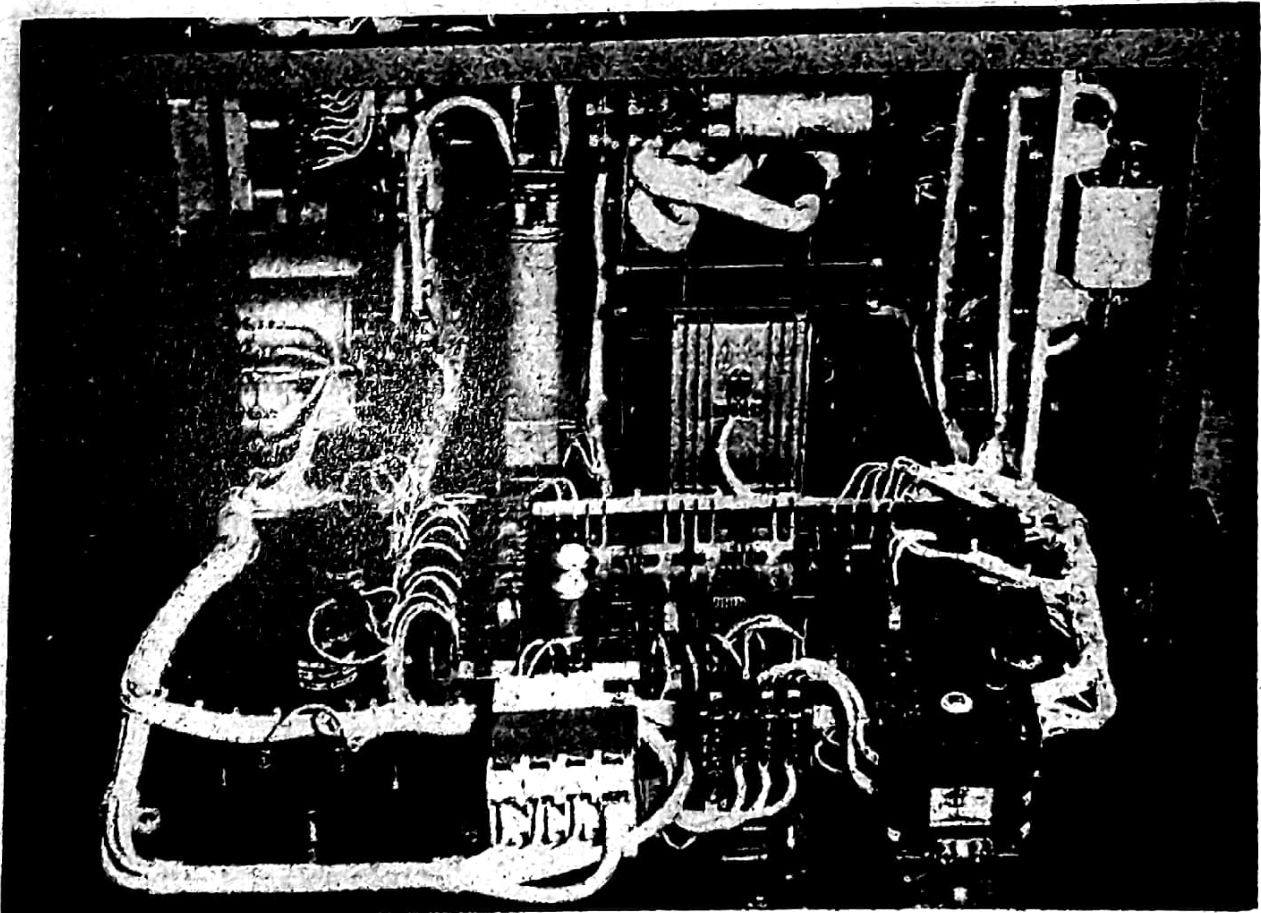


16. ábra  
A felületkezelő berendezés blokkvázlata

val biztosítottuk. A melegedő alkatrészek hűtésére a kisebb készülékméret érdekében alkalmazott (ventilátoros) levegőhűtés szolgál.

A készülék fényképfelvétele a címképen és a 17. ábrán látható.

Az inverter az említett alkalmazási példán kívül előnyösen alkalmazható indukciós hevítőkhoz; középfrekvenciás generátorokhoz, hegesztőberendezésekhez és minden olyan helyen, ahol középfrekvenciás váltakozó áramú táplálás szükséges.



17. ábra  
A felületkezelő berendezés

- [1] NEVILLE MAPHAM: An SCR Inverter with Good Regulation and Sine-Wave output. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY AND GENERAL APPLICATIONS Marc (Apr. 1967. 176-187)
- [3] By JOHN C. HEY: The widening world of the scr. Electronics, September 21. 1964. (78-85)
- [4] WILLIAM McMURRAY: Optimum snubbers for power semiconductors. Reprinted from IEEE Conference

- Record of sixth Annual Meeting of Industry and Applications Group. (885-893) 1971.
- [6] Tirisztortechnika. Műszaki Könyvkiadó, 1974. (211-218)
- [2] Л.С. БАЙРИЕВА - И.Г. БУРЕ - В.В. ШЕВЧЕНКО: Статистический преобразователь для питания низковольтных потребителей электропоездов постоянного тока. Электротехника, 1975. 5. (35-41)
- [5] Л.В. БИРЭНИЕКС: Импульсные преобразователи постоянного тока „Энергия” 1974. (203-208)

**hírek • hírek • hírek • hírek • hírek • hírek • hírek • hírek • hírek • hírek • hírek**

## Kedves Rendelőnk, kedves Olvasónk!

A Gépészeti Információs Osztály újabb szolgáltatással szeretné segíteni az Önök tájékoztatását.

Az 1979-es évben a Gépgyártás-technológiai Célprogram mellékleteként 3 szakosított tömörítvénygyűjteményt jelentettünk meg, a GTC 13 témakörének megfelelően. E sorozat következő, 4. füzet a gyártóeszköz-fejlesztéssel foglalkozik.

*Új fejlesztések a szerszámanyagok területén*  
címmel.

Tartalma:

- I. Gyorsacélok bevonatolása, hőkezelése
- II. A keményfémek fejlődése
- III. Forgácsoló kerámia
- IV. Szuperkemény szerszámanyagok

A sorozat 5. füzetének témaköre

*A hegesztéstechnológia új eredményei*

Tartalma:

- I. Védőgázos hegesztés
- II. Fedettívű hegesztés
- III. Lángvágás

A 6. füzet címe:

*Az automatizálás újabb eredményei a sajtolóiparban*

Tartalma:

- I. Az alakítástechnika mechanikus és hidraulikus sajtóinak fejlődési irányai
- II. Fémalakítás a 2. EMO kiállításon
- III. Korszerű sajtólási technológia megvalósítására alkalmas automata présgépek

- IV. Számítógép vezérlésű lyukasztó sajtók
- V. Új konstrukciós elvek a kivágó sajtológépeknél
- VI. CNC vezérlésű lemezajlító sajtó

A világ szakirodalmában 1979-ben megjelent cikkek gyűjteménye tájékoztatást ad a fejlődés jelenlegi helyzetéről.

Egy kötet ára: 400,- Ft

Megrendelhető:

a KG-INFORMATIK Gépészeti Információs Osztályán  
Ügyintéző: Győrfi Istvánné Telefon: 316-593  
Budapest, V., Arany János u. 24. 1051

A megrendeléstől számított 10 napon belül szállítunk!

Az első 3 füzet címe:

NC gépek a gépgyártásban

Védőgázos hegesztések tömör és porbeles huzallal

NC vezérlésű megmunkálóközpontok és szerszám-gépek

Korlátozott példányszámban még kaphatók!  
Várjuk szíves érdeklődésüket!

## *Kiszorítja-e az elektromos függősín-pálya a függőkonvejort?*

Az elektromos függősín-pálya rugalmasságát, sokoldalúságát nagyra értékelik és a jövő anyagmozgató eszközeinek tartják a szakemberek. Nem új divatról van szó, hanem a levegőben való anyagmozgatás rendszerének megváltoztatásáról. 1978-ban a Párizsi Anyagmozgató Kiállításon bemutatott egy elektromos függősín-pályát, amely az anyagmozgató berendezések új generációja. Lehetőséget nyújt az energiatakarékosra és a beruházási költségek is kisebbek.

(Manutention, 1979. október.)