1. Egyenirányító- és stabilizátor-kapcsolások

Szakirodalom:

1. Herpy Miklós: Analóg integrált áramkörök. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1974. 2. kiadás

2. Tietze - Schenk: Analóg és digitális áramkörök. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1974. 2. kiadás

3. Ferenczi Ödön: Feszültségstabilizátorok, akkumulátortöltők. Műszaki Könyvkiadó, Bp. 1976.

4. D. Nührmann: Tápegységek, stabilizátorok, akkumulátortöltők, szabályozó áramkörök, tirisztoros és triackapcsolások. OMIKK, 1988.

Műszerek és kellékek:

Digitális multiméter 3 db
Oszcilloszkóp
Tápegység
Hálózatba kapcsolható mérődoboz, mérőpanel, 723-as doboza, pákatranszformátor

Elektronikus készülékeink csaknem mindegyike egyenáramú elektromos energiát igényel működéséhez, tehát egy vagy több tápfeszültséget kell előállítanunk meghatározott áramterhelésre méretezve. Csak a hordozható készülékek csekély hányadát látják el kizárlólag egyenáramú feszültségforrásokkal (mint pl. az autórádió, kvarcvezérlésű karóra, terepen használható műszerek, stb.), a többi berendezést teljesen vagy részben a váltakozóáramú hálózat látja el a működéséhez szükséges energiával. Magyarországon az egyfázisú 220 V, 50 Hz-es hálózat áll rendelkezésre. Mint ismeretes, a váltakozóáram használata abból a szempontból is előnyös, hogy a feszültség transzformátorral a kívánt értékre átalakítható.

A letranszformált váltakozóáramú energiát a teljesítmény egyenirányítók segítségével alakítják át egyenáramú energiává. Jelenleg már szinte kizárólag szilicium diódákat használnak e célra.

Az egyenirányított és szűrőkondenzátorokkal "kisimított" feszültség azonban nem alkalmas az áramkörök táplálására, mivel a feszültség értékét a terhelés is befolyásolja. Ezért az egyenirányító fokozatot stabilizátor fokozat követi, ami mind a bemeneti feszültségingadozásokat, mind a terhelés változása következtében fellépő változásokat kiegyenlíti, és így állandó értékű, stabil egyenfeszültséget (feszültséggenerátor), ill. egyenáramot (áramgenerátor) biztosít. A tervező feladata az adott bemeneti feszültségváltozások és adott terhelőellenállás (és terhelésingadozások) hatását ellensúlyozó stabilizátoregység méretezése.

Méréseink első részében a hálózati feszültséget egyenirányító diódás kapcsolásokkal és szűrőfokozatokkal ismerkedünk meg, míg a további feladatok a különféle, diszkrét elemekből felépített, ill. integrált áramkörös stabilizátoregységek vizsgálatait tartalmazzák.

A második fejezet diszkrét elemekből felépített, ún. áteresztő tranzisztoros alapkapcsolásokat tartalmaz. Ezek bonyolultabb változatait hibajelerősítővel egészítik ki, ill. áramkorlátozó fokozattal látják el.

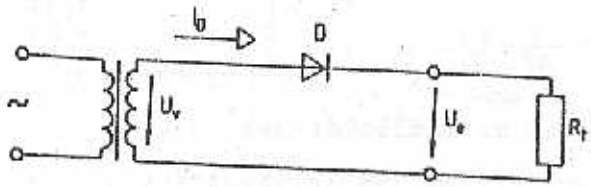
Napjainkban már a legtöbb célra rendelkezésre állnak az integrált áramkörös stabilizátor egységek, ezért a diszkrét elemes kapcsolásokat csak akkor használják, ha valamilyen speciális igényt kell kielégíteni. Ezek az IC-k két nagy csoportra oszthatók:

- állandó feszültségű kimenettel rendelkezők
- univerzális stabilizátorok.

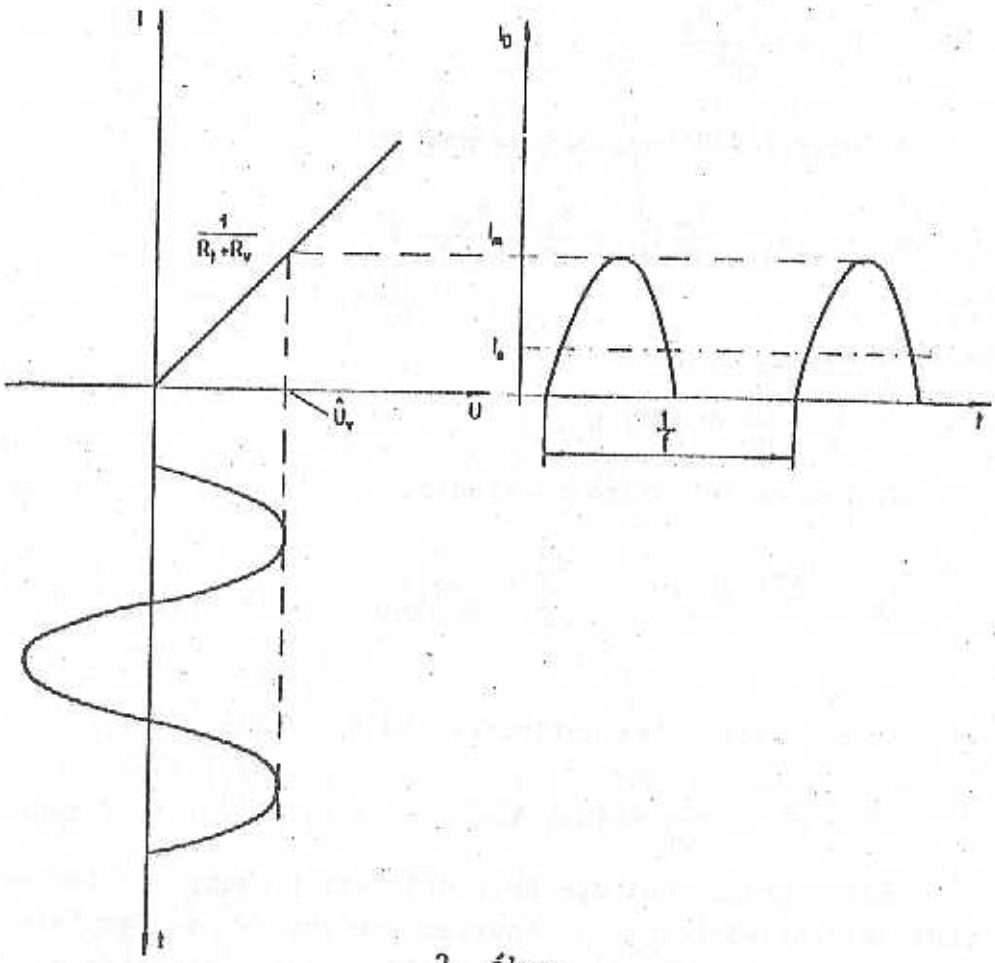
A harmadik fejezetben az állandó feszültségű, ún. hárompólusú IC-ket vizsgáljuk, míg a negyedik fejezetben egy univerzális stabilizátor kapcsolási példájával ismerkedünk meg.

1. Teljesítmény egyenirányítók vizsgálata

A transzformátor primér tekercsét a hálózatra kapcsoljuk. A transzformátor szekunder tekercséről nyert váltakozó feszültségből a dióda csak a polaritásának megfelelő félperiódust engedi át. A terhelő ellenálláson megjelenő lüktető egyenfeszültség, ill. a diódán átfolyó áram komponensei Fourier-sorfejtással határozhatók meg.



1. ábra



2. ábra

Az egyutas egyenirányító kapcsolási rajza az 1. ábrán látható. A diódát és a terhelő ellenállást egyszerűsített, töréspontos karakterisztikával jellemezhetjük a 2. ábrán látható módon. Ennél a dióda küszöbfeszültségét (nyitó feszültségét) elhanyagolhatjuk. A transzformátor és a dióda veszteségeit az R_v ellenállás foglalja magában, R_t a terhelő ellenállás. Az ábrán feltüntetett I_e egyenáramú komponens értéke sorfejtéssel határozható meg:

$$\boxed{I_e = \frac{1}{\pi} I_m,}$$

ahol I_m az áram maximális értéke.

A leadott egyenáramú teljesítmény:

$$P_e = \frac{I_m^2 R_t}{\pi^2}.$$

Az egyenfeszültség értéke pedig:

$$U_e = I_e R_t = \frac{I_m}{\pi} R_t = \frac{\hat{U}_v}{\pi} \frac{R_t}{R_t+R_v}$$

ha $R_v \ll R_t$:

$$\boxed{U_e = \frac{\hat{U}_v}{\pi} \approx 0{,}32\ \hat{U}_v.}$$

Az összes teljesítményfelvétel:

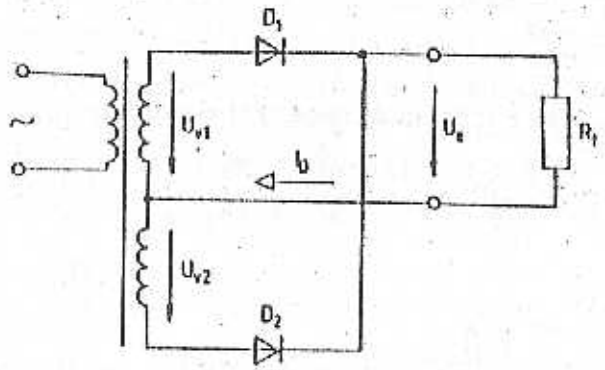
$$P_ö = \frac{I_{eff}^2}{2} (R_v+R_t) = \frac{I_m^2}{4} (R_v+R_t).$$

Az egyenirányítás hatásfoka, ha $R_v \ll R_t$:

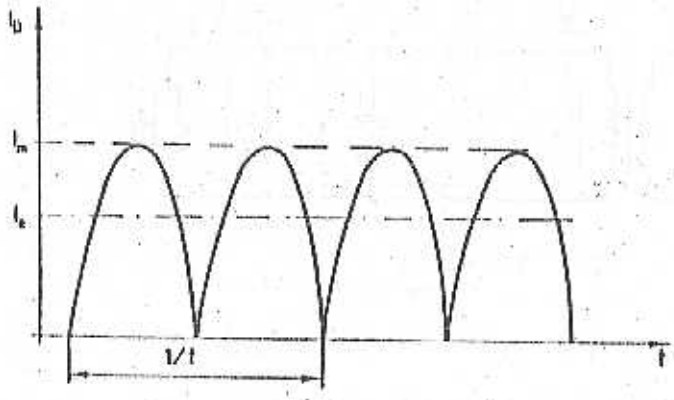
$$\eta = \frac{P_e}{P_ö} = \frac{4}{\pi^2} \approx 40{,}5\ \%.$$

Ezt a hatásfokot úgy kell értelmezni, hogy a fennmaradó teljesítményrész a Fourier-komponenseknek megfelelő váltakozóáramú teljesítmény formájában jut a terhelésre.

Lényegesen jobb hatásfok érhető el a kétutas egyenirányítóval, amelynek kapcsolási rajza a 3. ábrán látható. A már ismert módszerrel megszerkesztett diódaáram jelalakja látható a 4. ábrán.



3. ábra



4. ábra

Jól érzékelhető, hogy az

$$I_e = \frac{2\,I_m}{\pi}$$

értékű egyenáramú komponens az előző érték kétszerese. Ennek megfelelően az egyenáramú teljesítmény:

$$P_e = \frac{4\,I_m^2}{\pi^2}\,R_t$$

és az összes felvett teljesítmény:

$$P_ü = \frac{I_m^2}{2}\,(R_v + R_t).$$

Az $R_v \ll R_t$ feltételezéssel a hatásfok:

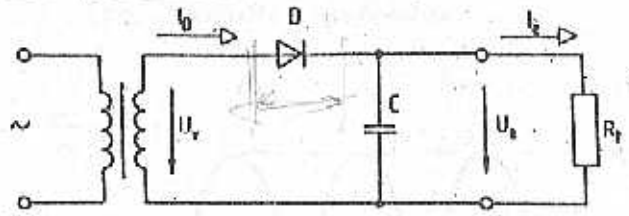
$$\eta = \frac{P_c}{P_ö} = \frac{8}{\pi^2} \approx 81\ \%.$$

Az egyenfeszültség átlagértéke pedig:

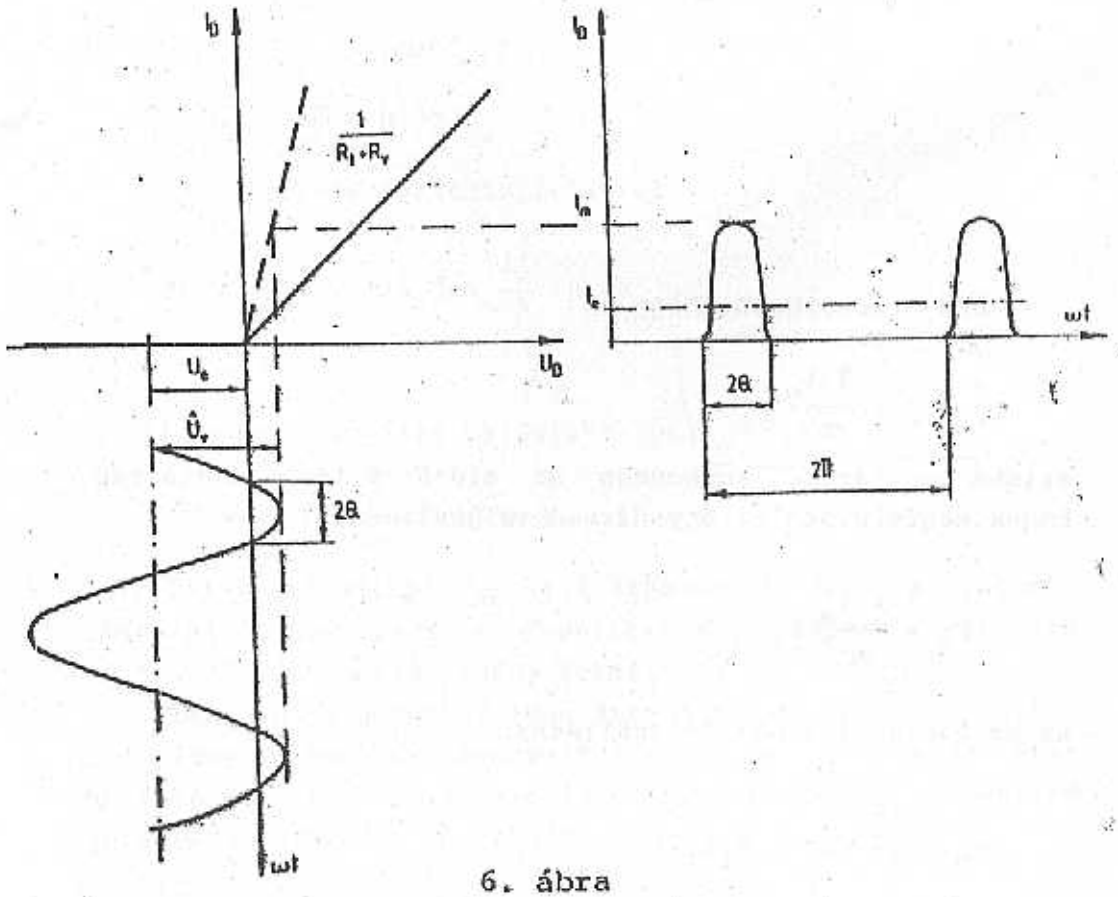
$$U_e = I_e R_t = \frac{2\ I_m}{\pi} R_t = \frac{2\ \hat{U}_v}{\pi} \frac{R_t}{R_v + R_t},$$

ha $R_v \ll R_t$:

$$U_e = \frac{2\ \hat{U}_v}{\pi} \approx 0{,}64\ \hat{U}_v.$$

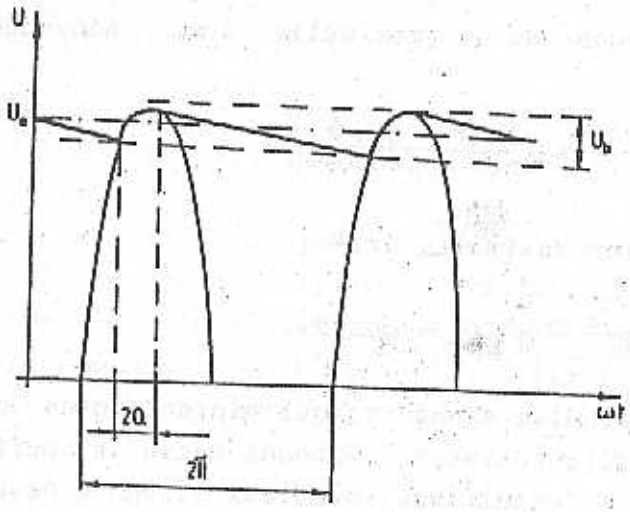


5. ábra



6. ábra

Ha a terheléssel párhuzamosan nagyértékű kondenzátort kapcsolunk, akkor puffer-kondenzátoros egyenirányítót kapunk. Ez egyutas változatban az 5. ábra szerinti kapcsolású, működési vázlata pedig a 6. ábrán látható. A kimeneti feszültséget a 7. ábrán tüntettük fel.



7. ábra

Bekapcsolás után a C kondenzátor néhány periódus alatt feltöltődik, a 6. és a 7. ábrákon már az állandósult állapotot ábrázoltuk. A C kondenzátor a dióda szelephatása miatt csak a terhelő ellenálláson keresztül sülhet ki. Egy periódus alatt a kondenzátort töltő és kisülő töltésmennyiség egymással egyenlő. Ha R_t és C is nagy, tehát

$$R_t C \gg \frac{1}{2\pi f_h},$$

ahol f_h a hálózat frekvenciája, akkor a kimeneti egyenfeszültség a váltakozófeszültség csúcsértékével azonos és az egyenirányítási hatásfok csaknem 100 %.

Állandósult állapotban a kondenzátoron lévő feszültség előfeszíti a diódát, így azon áram csak a 2Θ folyási szögnek megfelelő idő alatt folyik (lásd a 6. ábrát!), akkor történik a kondenzátor feltöltése. Az egyenfeszültség átlagértéke a pufferkondenzátoron:

$$\boxed{U_e \approx \hat{U}_v \cos\Theta}$$

a közelítés pontossága 20 %-nál jobb, ha $\Theta < 60^\circ$ és 10 %-nál jobb, ha $\Theta < 30^\circ$.

Az egyenáram átlagértéke:

$$\boxed{I_e = \frac{U_e}{R_t}.}$$

Az átlagos és a maximális áram hányadosa csak Θ függvénye:

$$f(\Theta) = \frac{I_e}{I_m} = \frac{\sin\Theta - \cos\Theta}{\pi(1 - \cos\Theta)},$$

ahol I_m az áram maximális értéke:

$$I_m = \frac{\hat{U}_v - U_e}{R_v} \approx \frac{\hat{U}_v}{R_v}(1 - \cos\Theta).$$

A felhasználás szempontjából nagyon fontos, hogy mekkora váltakozófeszültségű komponens marad a pufferkondenzátoron. Ezt a feszültséget búgófeszültségnek nevezzük, általában csak alapharmonikusával vesszük figyelembe:

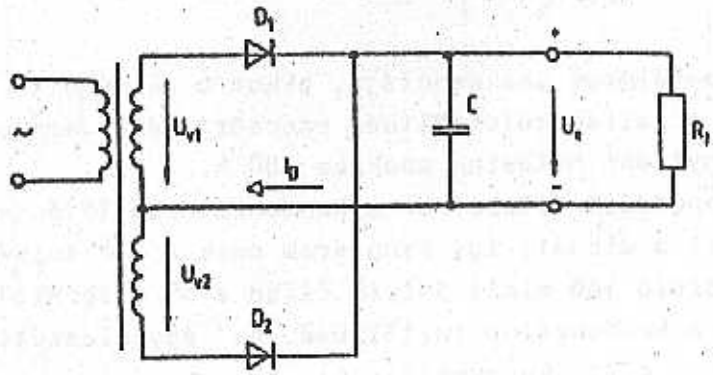
Egyenlőre

$$U_b = \frac{1}{C} I_e \Delta T$$

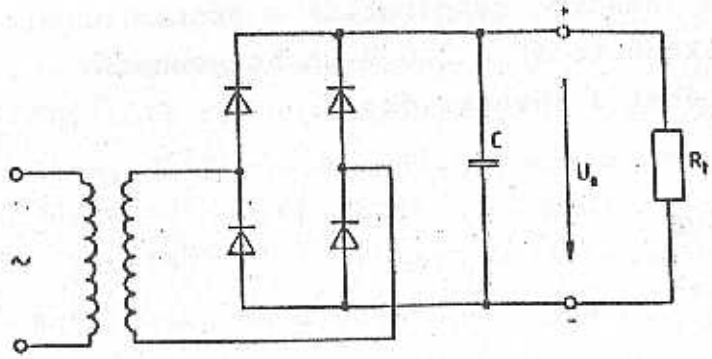
ahol

$$\Delta T = \frac{2\pi - 2\Theta}{2\pi f_h}.$$

A kétutas pufferkondenzátoros egyenirányító kapcsolása a 8. ábrán látható.

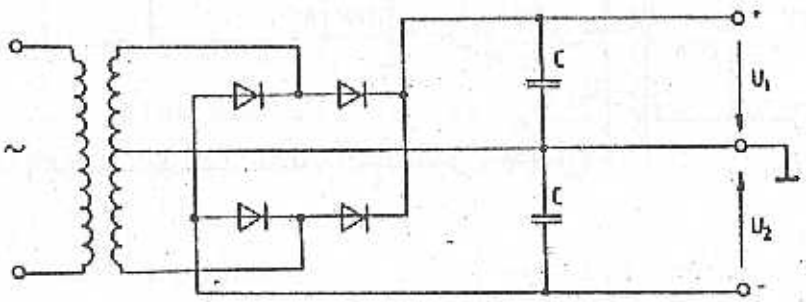


8. ábra



9. ábra

Mivel a két szekunder tekercs elkészítése nehézséget okozhat, egyetlen szekunder tekercs és négy dióda felhasználásával készíthetjük el a 9. ábra szerinti Graetz-kapcsolást, ami működését tekintve szintén kétutas. A korszerű készülékek gyakran szimmetrikus kettős tápfeszültséget igényelnek. Ezt az igényt a kétutas egyenirányító kibővítésével elégíthetjük ki, ahogy azt a 10. ábra mutatja.



10. ábra

A gyakorlatban az utolsó három egyenirányító típust alkalmazzák. Ezekre igazak az egyutas pufferkondenzátoros egyenirányítóra alkalmazott összefüggések, azzal a különbséggel, hogy

$$\Delta T = \frac{\pi - 2\theta}{2\pi f_h}$$

lesz.

A bekapcsolási jelenségekkel kapcsolatban el kell mondani, hogy $U_e = 0$ esetén az I_m nagyon nagy lesz, főleg, ha korszerű toroid vasmagos transzformátort használunk, aminek belső ellenállása rendkívül kicsi. A nagy csúcsáram károsíthatja a diódákat vagy a pufferkondenzátort.

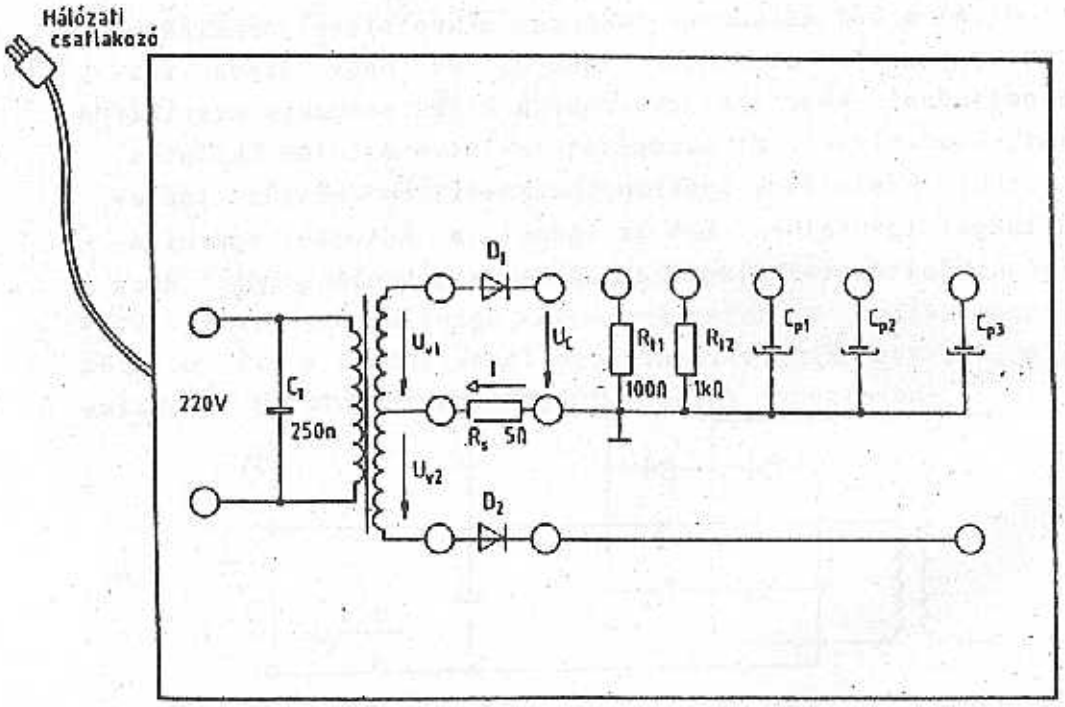
A méréshez a 11. ábra szerinti felépítésű mérőpanel áll rendelkezésre, amelybe beépítettük a transzformátort. A hálózati csatlakozó tehát a 220 V-ba helyezhető! A puffer-kondenzátorok értékei a következők:

$C_{p1} = 10\ \mu F$

$C_{p2} = 100\ \mu F$

$C_{p3} = 470\ \mu F.$

Az R_s ellenálláson eső feszültség mérésével a dióda áramát lehet viszonylag kis hibát okozva meghatározni.



11. ábra

Mérési feladatok:

1.1. Terheletlenül mérjük meg a transzformátor kimeneti U_{v1} és U_{v2} feszültségeit és számítsuk ki a transzformátor áttételét.

$A = \frac{U_{pr}}{U_{sz}} = \frac{N_{pr}}{N_{sz}} = \frac{I_{sz}}{I_{pr}}$

1.2. A D_1 dióda és az R_{t1} ellenállás bekötésével állítsunk össze egyutas egyenirányítót. Mérjük meg terhelt állapotban az U_{v1} feszültséget. Mérjük meg az R_{t1} ellenálláson fellépő egyenirányított feszültség egyen- és váltakozóáramú komponensét. A R_s ellenálláson mérjük meg a dióda egyen- és váltakozóáramú összetevőjét. Ezeket a méréseket digitális multiméterrel végezzük el (DC, majd AC állásban!).

Oszcilloszkópon vizsgáljuk, majd rajzoljuk le az egyenirányított feszültség, és a diódaáram jelalakjait. Az ábrázolás során jelöljük meg a periódusjellemzőket és a folyási szöget.

1.3. Ismételjük meg az 1.2. feladatot az R_{t2} bekapcsolásával az R_{t1} helyett!

1.4. Kapcsoljuk párhuzamosan az R_{t1} ellenállással a C_{p1} kondenzátort és végezzük el az 1.2. feladatban leírtakat.

1.5. A D_2 diódát is felhasználva készítsünk kétutas egyenirányítót, ismételjük meg ebben a beállításban is az 1.2. feladatot.

1.6. Ismételjük meg az 1.5. feladatot a C_{p3} bekapcsolsával.

1.7. Vizsgáljuk meg az egyenirányított feszültség egyen- és váltakozóáramú komponensét különféle C_p értékek és R_t értékek mellett.

1.8. Igazolja számítással mind egyutas, mind kétutas egyenirányító esetében az U_e és I_e (egyenfeszültség, ill. áram átlagértéke) nagyságára vonatkozó összefüggéseket, és hasonlítsa össze a mért értékekkel. A képletben szereplő R_v-t vegye 2 Ohmnak. A mennyiségek értelmezéséhez vegye figyelembe a 2., 4. és a 6. ábrát!

Egyutas:

$U_e = \frac{\hat{U}}{\pi}$ $R_v = 2\Omega$

$U_e = \frac{\hat{U}}{\pi} \cdot \frac{R_t}{R_t + R_v}$

Kétutas:

$U_e = \frac{2\hat{U}}{\pi}$

$U_e = \frac{2\hat{U}}{\pi} \cdot \frac{R_t}{R_t + R_v}$

$R_v = 2\Omega$

2. Áteresztő tranzisztoros kapcsolások

A 12. ábrán az áteresztő tranzisztoros feszültségstabilizátor alapkapcsolása látható. A stabilizált kimeneti feszültség:

$$U_{ki} = U_Z - U_{BE}$$

2. mód

3. Hárompólusú szabályozó IC-k alkalmazásai

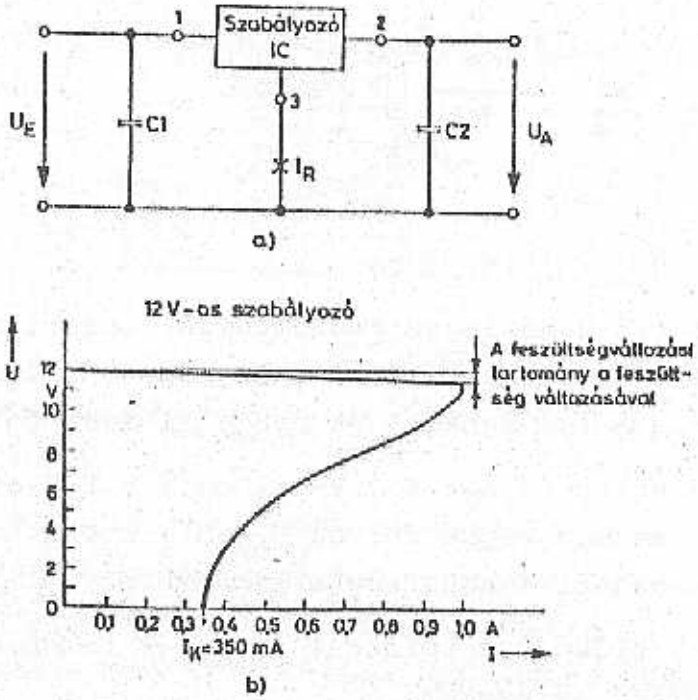
Számos gyártó cég készít hárompólusú szabályozó integrált áramköröket fix feszültségekkel. A jelenleg forgalomban lévő áramkörök feszültségei:

5 V, (6 V), 8 V, (10 V), 12 V, 15 V, 18 V, 24 V.

A zárójelbe tett értékűek viszonylag ritkák. Valamennyi egység + és - feszültségű változatban is rendelkezésre áll. Áram szempontjából a következő típusok állnak rendelkezésre:

A típus: 0,1 A; B típus: 0,5 A; C típus: 1,5 A; D típus: 3 A.

A hárompólusú szabályozó alapkapcsolását a 15. ábra mutatja be. A 15.b. ábra a feszültségszabályozási jelleggörbét szemlélteti. A 15.a. ábrán feltüntetett I_R nyugalmi áram tipikus értéke 5 mA.



15. ábra

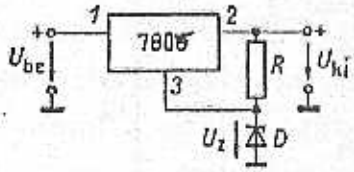
Az integrált áramkörök közismert gerjedékenysége miatt szükség van a C1 és C2 kondenzátorokra. C1 értéke legyen legalább

0,47 μF, míg C2 értékét általában 0,1... 1 μF között választják meg. A digitális technikában fellépő impulzusterhelés esetére ajánlatos C2-vel párhuzamosan még egy 100 nF-os kerámiakondenzátort is kapcsolni.

Fix feszültségű stabilizátorokat a 15.a. ábra mintájára igen egyszerűen készíthetünk. Előfordulhat azonban, hogy olyan feszültségre van szükségünk, ami nem szerepel az értéksorban. Ekkor is használhatók a hárompólusú stabilizátorok némi kiegészítéssel. Ugyancsak készíthetők e stabilizátorokból áramgenerátor-kapcsolások. Méréseink során ilyen különöseges eseteket vizsgálunk meg.

Mérési feladatok:

3.1. A névlegeshez képest nagyobb feszültségű stabilizátort készíthetünk a 16. ábra kapcsolása szerint.



16. ábra

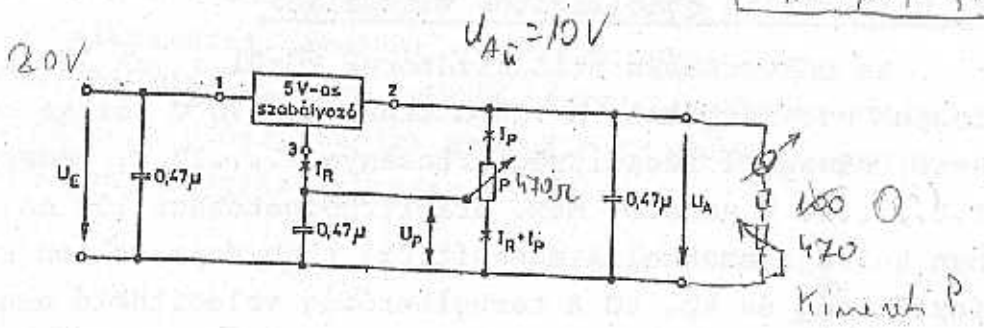
Alkalmazzuk a 7805 (+5 V névleges feszültségű) stabilizátor IC-t. Az R ellenállást úgy kell méretezni, hogy a Z-dióda árama 30 mA legyen. A (3) ágban 5 mA nyugalmi áram folyik!

Állítsa össze a kapcsolást 4,7 V-os, majd 5,6 V-os Z-diódával. Mindkét esetben vegye fel az U_{be}-U_{ki} karakterisztikát +10....+20 V bemeneti feszültségtartományban.

3.2. Alkalmazzon az előző kapcsolásnál R_t = 1 k terhelést és ismételje meg az előző méréseket.

3.3. Változtatható kimeneti feszültségű stabilizátor is készíthető hárompólusú egységgel a 17. ábrán látható kapcsolás segítségével. Állítsa össze a kapcsolást az ábrán feltüntetett értékekkel 7805 stabilizátor IC-vel és P = 470 Ohm-mal.

I_{ki} [mA]	100	200	300	400	500
U_A [V]	10	9,19	8,21	8,31	8,31



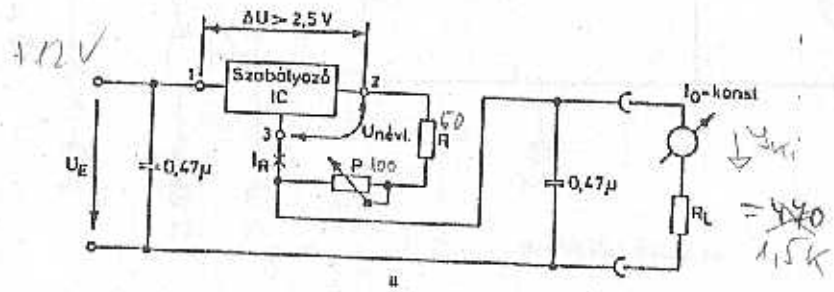
17. ábra

Legyen a bemeneti U_E 20 V értékű. A kimeneti P változtatásával vegye fel a kimeneti I áram- U_A feszültség karakterisztikát.

3.4. Állítsa össze a 18. ábrán látható kapcsolást. A szabályozó IC 7805 típus, R = 50 Ohm és a P potméter 100 Ohmos legyen. Alkalmazzon R_L = ~~100~~ 0 Ohm terhelőellenállást. U_E legyen 12 V.

$I_{min} = \frac{5}{100+50} = 33,3$ mA

$I_{max} = \frac{5}{50} = 100$ mA



18. ábra

Az ábra áramgenerátoros kapcsolást mutat be, a forrásáramot az R és P határozza meg.

Miután beállította a fenti értékekkel a ~~100~~ 50 mA-es forrásáramot, vizsgálja meg a terhelhetőséget. Cserélje ki R_L-et egy ~~15 kohm~~ 470Ω 1,5k-os potméterre, és a bemenetre ~~kapcsolja rá a kétutas egyenirányító kimenetét a 100 μF-os szűrőkondenzátorral.~~ Vegye fel az I_{ki} - R_L karakterisztikát néhány pontban úgy, hogy a potmétert változtatja. Figyelem! Minden mérőpontban külön meg kell mérni a beállított ellenállás értékét. Célszerű csak azokat a pontokat felvenni, ahol az áram értéke már csökkenni kezd.

U_{ki}	5	4,5	4,4	4,3	...
I_{ki}					
$R_L = \frac{U_{ki}}{I_{ki}}$					