

Kapcsolóüzemű tápegységek

Az elektronikus készülékek különféle tápfeszültség és tápáramellátást igényelnek. Ezek kielégítésére alakult ki a különböző típusú és kapcsolási elrendezésű tápegységek meglehetősen nagy választéka. A korszerű készülékek tápellátására szolgáló kis méretű és súlyú, valamint nagy hatásfokú megbízható egységek előállításának problémájára ugyanis egyre több figyelmet fordítanak az egész világon. Ennek egyik oka az, hogy a legújabb integrált áramkörös készülékek méretének és összsúlyának egyre nagyobb részét teszik ki a tápegységek. A másik pedig az, hogy a hagyományos analóg szabályozású tápegységek, szabályozási elvükből kifolyólag alacsony hatásfokkal rendelkeznek és jelentős mennyiségű hőt disszipálnak.

Ez az oka annak, hogy kiterjedt kutatási és fejlesztési munkákat végeztek olyan eszközök és áramkörök előállítására, amik nagy mértékben kielégítik a nagy hatásfok, kis méret és súly elérését célzó programot. Az így tervezett és kivitelezett tápegységeket kapcsolóüzemű egyenfeszültségátalakító tápegységeknek nevezik, amelyek más feszültségszabályozási elvvel rendelkeznek. Az alkatrészgyártó ipar egy sor olyan passzív és aktív elemet hozott létre, amelyek speciálisan a kapcsolóüzemű tápegységekhez készültek.

5.1 A tápegységek típusai

Aszerint, hogy a tápegységnek milyen feszültségérték és frekvencia különbséget kell áthidalni a rendelkezésre álló energiaforrás és az elektronikus berendezés tápigénye közt, különböző típusú átalakítókról beszélhetünk:

1) AC-AC átalakítók: (transzformátorok). Általában a tápegységek döntő többsége tartalmaz transzformátort, vasmagos vagy ferritmagos kivitelben (vasmagos kivitelben a hálózati frekvencián működők, ferritmagos kivitelben a néhány kHz-től néhány száz kHz-ig működő transzformátorok készülnek. Ezen magasabb frekvenciákon a ferritmagos ugyanis kisebb veszteségekkel működik). Feladatuk a váltakozó feszültség értékének növelése vagy csökkentése (frekvenciája állandó marad) és az egység kimenetének és bemenetének galvanikus (egyenáramú) elválasztása. A legnagyobb helyigényű és súlyú alkatrész: a transzformátor, mérete nem csak a kívánt kimeneti teljesítménytől, hanem az alkalmazott frekvenciától is függ. Ugyanis, egy transzformátor primer feszültsége a következő egyenlet által leírt mágneses fluxust hozza létre a vasmagban:

$$u_1 = N_1 \frac{d\Phi}{dt} = \omega N_1 \Phi_{\max} \cos(\omega t) \quad (\text{pillanatnyi érték})$$

A szekunder tekercsben indukált feszültség:

$$u_2 = N_2 \frac{d\Phi}{dt} = \omega N_2 \Phi_{\max} \cos(\omega t) \quad (\text{pillanatnyi érték})$$

A fenti egyenletekben az 1-es index primer oldali, a 2-es index szekunder oldali mennyiségeket, továbbá N -menetszámot, u -indukált feszültség pillanatnyi értékét, ω -körfrekvenciát jelent. A ϕ mágneses fluxus és a B mágneses indukció között a következő összefüggés áll fenn: $\phi = B S$, ahol: S a vasmag keresztmetszete.

$$u_1 = \omega N_1 S B_{\max} \cos(\omega t) \quad \text{illetve} \quad u_2 = \omega N_2 S B_{\max} \cos(\omega t)$$

A fenti egyenletekben szerepel az $\omega N_i S$ szorzat, \Rightarrow tehát ugyanazon elektromos paraméterekkel rendelkező transzformátor nagyobb üzemi frekvencián kevesebb menetszámmal és kisebb vasmag keresztmetszettel rendelkezik.

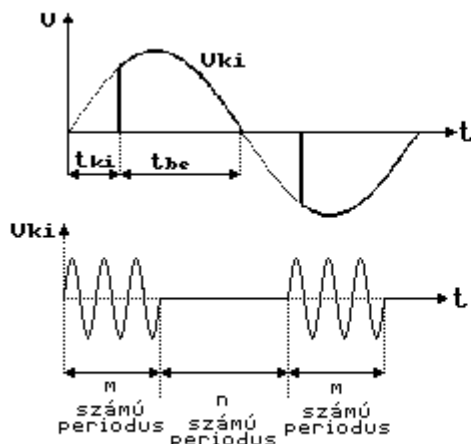
A transzformátorok mellett még léteznek olyan tirisztoros AC-AC átalakítók, amelyek a bemenő feszültség értékén túl annak frekvenciáját is megváltoztatják. (Felhasználhatók szinkron motorok fordulatszámának változtatására és szabályozására.)

2) AC-DC átalakítók: (egyenirányítók). Általában félvezetődiódás és tirisztoros egyenáramú áramkörökkel valósítják meg. Az egyenirányításon kívül, a kimenő egyenfeszültség hullámosságának csökkentését (szűrését) és stabilizálását is elláthatják. Váltakozó feszültségű hálózatról való táplálás esetén használják.

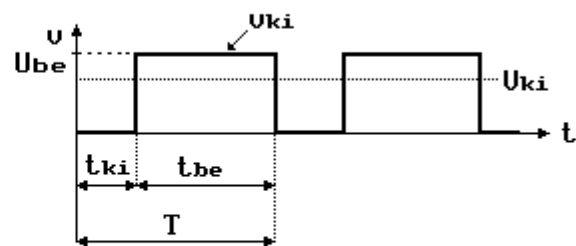
3) DC-AC átalakítók: (inverterek). A bemenő egyenfeszültségből meghatározott frekvenciájú (amplitudójú és fázisú) váltakozó feszültséget előállító elektronikus áramkörök. Mobil vagy nagy fontosságú, váltakozó feszültséget igénylő berendezések (rádióadó, számítógép, telefonközpont) akkumulátorról való tápellátását biztosítják pl. hálózatkimaradás vagy terepen folyó munka esetén.

4) DC-DC átalakítók: (konverterek). Lényegében mindig felbonthatók egy DC-AC és egy AC-DC átalakítóra. A kettő között még szerepelhet egy AC-AC átalakító is. Ez utóbbi esetben olyan konvertert nyerünk, amely galvanikus elválasztást is biztosít. Általában kapcsolóüzemű tápegységekben használatosak.

5) AC szaggatók: (AC-chopperek). Különleges technikai problémát jelent egy váltakozó feszültség igényű fogyasztón (pl. világítás vagy elektromos kemence) a teljesítmény folyamatos és veszteségmentes szabályozása. A bemeneti váltakozó feszültséget félvezetős kapcsolóval periódikusan ki-bekapcsolják úgy, hogy a fogyasztóra jutó feszültség effektív értéke U_{ki} , a kívánt nagyságú legyen (5-1. ábra felső fele). Ezt fázis hasításos szabályzóknak nevezik. A t_{be} / t_{ki} viszony változtatásával, szabályozható a kimenő feszültség. A kimeneti feszültségnek és áramnak igen nagy a felharmónikus tartalma. Ezért a nagyfrekvenciás zavarás elhárítása érdekében megfelelő szűrést és árnyékolást kell alkalmazni. Ezzel szemben léteznek az ún. nullpont kapcsolók, amelyek a bemenő váltakozó feszültség null átmenetein kapcsolnak be ill. ki. (m számú periódust átengednek, n számút pedig nem. 5-1. ábra alsó fele. Így a kimenő feszültség átlag effektív értéke az m / n aránnyal szabályozható). Ez utóbbi esetben a kimenő feszültségnek jóval kisebb a felharmónikus tartalma.



5-1. ábra



5-2. ábra

6) DC szaggatók: (DC-chopperek). Félvezetős szaggatókkal megoldható az egyenfeszültség folyamatos és veszteségmentes változtatása is. A szaggató által előállított négyzetjel kitöltési tényezőjének (t_{be} / T) változtatásával szabályozható a kimenő egyenfeszültség átlagértéke U_{ki} (5-2. ábra).

$$U_{ki} = U_{be} \frac{t_{be}}{T}$$

A kimenő feszültség hullámosságának csökkentése érdekében megfelelő szűrésről itt is gondoskodni kell. DC-choppereket használnak például az egyenfeszültségű motorok fordulatszámának folyamatos szabályozására (pl.: villamos, troli, metró).

5.2 Hálózati tápegységek

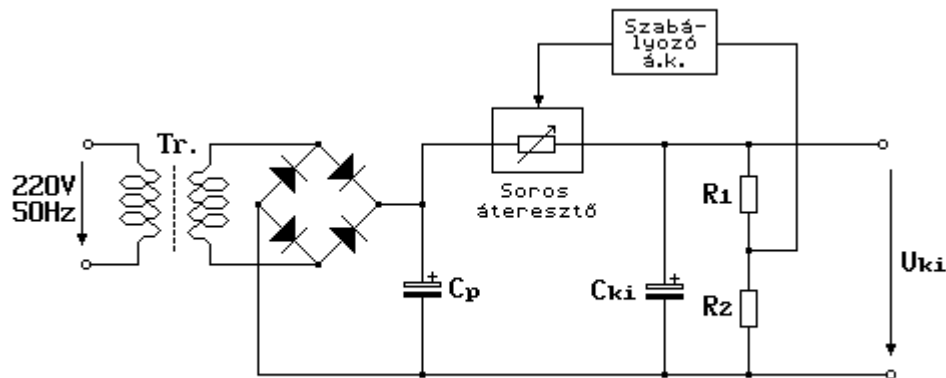
Az elektronikus berendezések döntő hányada kis egyenfeszültségű ($\pm 5 \div \pm 15V$) tápellátást igényelnek. A rendelkezésre álló energiaforrás pedig a legtöbb esetben a hálózati ($\sim 230V$ 50Hz) egyfázisú váltakozófeszültség.

A hálózati tápegységek lehetnek stabilizáltak illetve stabilizálatlanok. A stabilizálás azt jelenti, hogy a tápegység igyekszik kimenő feszültségét a névleges értéken tartani függetlenül a bemenő feszültség és a terhelőáram értékétől. Ez természetesen teljes mértékben nem valósulhat meg, a bemenő feszültség is és a terhelő áram is csak egy előre megadott intervallumon belül változhat.

Aszerint, hogy a hálózati feszültség adott értékre csökkentése és stabilizálása milyen módon valósul meg, léteznek *analóg-disszipatív* rendszerű és *kapcsolóüzemű* szabályozott tápegységek.

5.2.1 Analóg disszipatív rendszerű szabályozott tápegységek és jellemzőik.

Ezeknél a soros áteresztő elemet tartalmazó tápegységeknél (5-3. ábra) a hálózati váltakozó feszültséget egy transzformátor a szükséges értékre csökkenti. A kapott kis értékű váltakozó feszültség egy



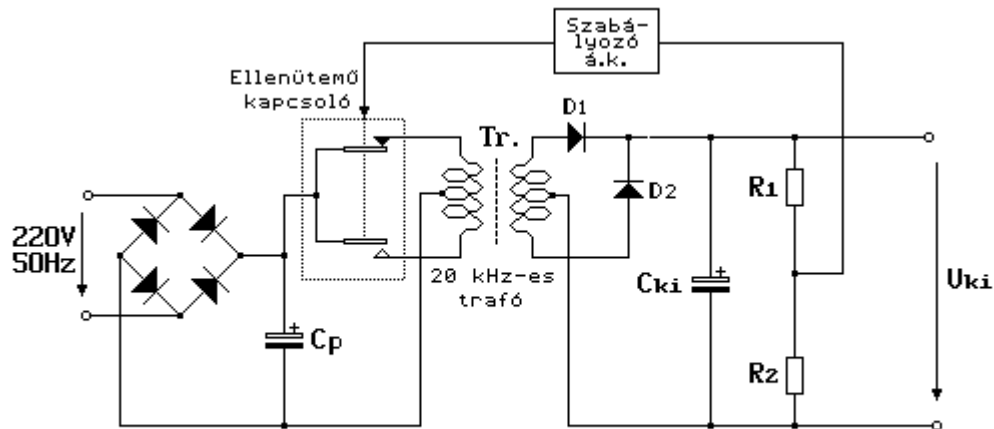
5-3. ábra

egyenirányítóra kerül, amely a kívánt kimeneti feszültségnél néhány V-al nagyobb stabilizálatlan egyenfeszültséget szolgáltat.

A többlet feszültség egy szabályozható beavatkozó elem (a soros áteresztő elem) esik. A soros áteresztő (disszipáló) elem a rajzon egy változtatható ellenállás – a valóságban egy vagy több teljesítmény tranzisztor –, amely lineáris üzemmódban dolgozik. A szabályozó áramkör folyamatosan érzékeli a kimeneti feszültséget és úgy szabályozza az áteresztő tranzisztort (ill. tranzisztorokat), hogy a kimeneti feszültség a kívánt szinten maradjon. (Negatív visszacsatolás!) Az analóg disszipatív rendszerű tápegység igen jó szabályozási jellemzőkkel rendelkezik (magas stabilizálási tényező, kis kimenő ellenállás és alacsony a kimenő feszültség hullámossága), megbízható és nem kelt nagyfrekvenciás zavarokat. Hátránya, hogy az 50 Hz-es hálózati transzformátor nagy méretűvé és súlyossá teszi az egységet, s az áteresztő tranzisztorok hűtőlapjai pedig még tovább növelik a méreteket. Minthogy a stabilizálás disszipatív üzemmódban megy végbe, a hatásfok kicsi. A kis feszültségű tápegységeknél a bemeneti teljesítménynek mintegy 60%-a veszendőbe megy, ezenkívül a hűtésről is gondoskodni kell. Amennyiben a bemeneti feszültség megnövekszik, a kimeneti feszültség gyakorlatilag változatlan marad, csak a soros áteresztő tranzisztoron disszipált teljesítmény növekszik meg.

5.2.2 Kapcsolóüzemű szabályozott tápegységek és jellemzőik

Közvetlenül a hálózati feszültséget egyenirányítva és ezt a nagy egyenfeszültséget viszonylag magas frekvencián (kb. 20 kHz-en) kapcsolgatva egy transzformátorra vezetik. (5-4. ábra). A kimeneti feszültséget a transzformátor szekunder feszültségének egyenirányítása révén kapják meg. A felhasznált kapcsolók többnyire teljesítmény tranzisztorok. A kimenet feszültségét úgy tartják állandó értéken, hogy a kapcsolótranzisztorra jutó meghajtó impulzusok kitöltési tényezőjét, más szóval az impulzusok szélességét modulálják annak megfelelően, hogy mekkora kimeneti teljesítményre van szükség.



5-4. ábra

Mint ahogy a szabályozás impulzusszerű és a feszültségváltozások korrigálásához több impulzusra van szükség, a szabályozási folyamat lassúbb, mint az analóg dissipatív rendszerű tápegység esetében és csökken a stabilizálás jósága is. Az ilyen tápegységek a ki-bekapcsolgatás folytán nagyfrekvenciás zavarokat keltenek és ez, megfelelő elővigyázatossági óvintézkedések hiányában, kisugárzódhat vagy eljuthat más áramkörökbe is. A kapcsolóüzemű tápegység előnye, hogy könnyebb, kisebb, alacsonyabb hőmérsékleten működik és nagy hatásfoka folytán kevésbé költséges a használata.

5.3. Kapcsolóüzemű tápegységek

5.3.1 Kapcsolóüzemű tápegységek energiaátviteli áramkörei

5.3.1.1 Galvanikus elválasztást nem biztosító áramkörök

5.3.1.1.1 Induktív töltőáramkörös feszültségcsökkentő áramkör

Az áramkör működését az 5-5. ábra idődiagramjain követhetik nyomon. Az L áramkorlátozó fojtótekercsen keresztül periodikusan töltik a kimenettel párhuzamosan kötött C_2 kondenzátort. A tranzisztor bekapcsolási időtartama alatt a fojtótekercs feladata többek között az is, hogy az áramot a tranzisztor védelme céljából megfelelő értékre korlátozza. Amikor a tranzisztor vezet, a C_2 kapacitás a fojtótekercsen keresztül töltődik és ez utóbbiban mágneses energia halmozódik fel. Ezen t_{be} bekapcsolási időtartam alatt a fojtótekercs áramának növekedését $\Delta I_{L(be)}$, a következő összefüggés adja:

$$\Delta I_{L(be)} = \frac{U_{be} - U_{ki}}{L} t_{be} = \frac{U_{be} - U_{ki}}{L} \gamma T$$

ahol $\gamma = t_{be} / T$ a kitöltési

tényező.

Abban az esetben amikor a tranzisztor lezár, a fojtótekercs árama tovább folyik a D diódán keresztül, a tárolt energia a terhelés felé továbbítódik. A t_{ki} kikapcsolási időtartam alatt a fojtótekercs áramának csökkenése $\Delta I_{L(ki)}$, a következő:

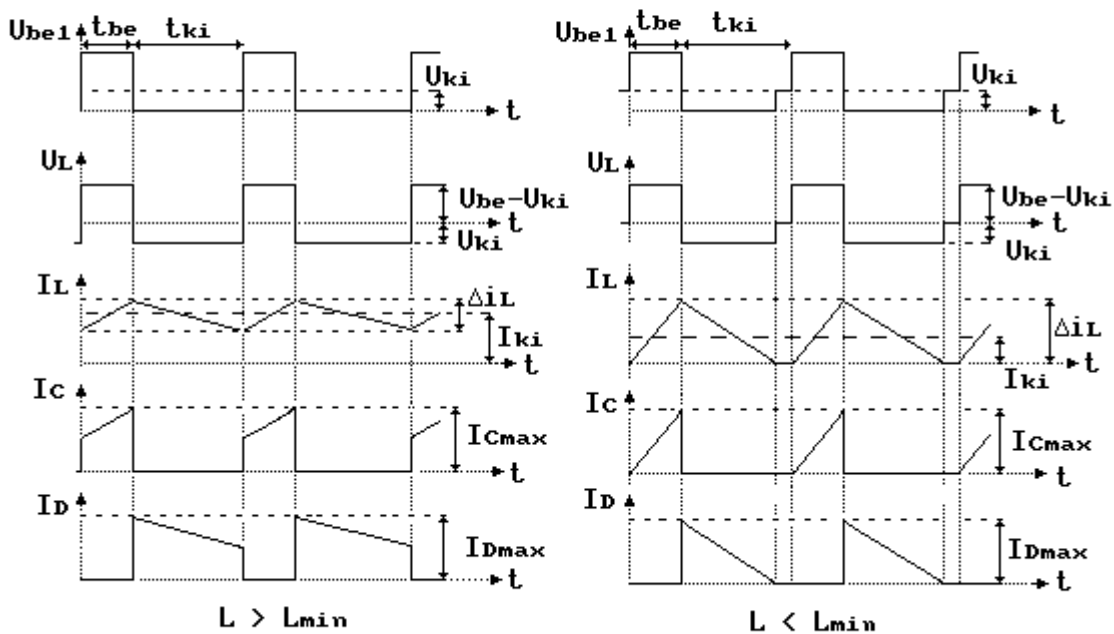
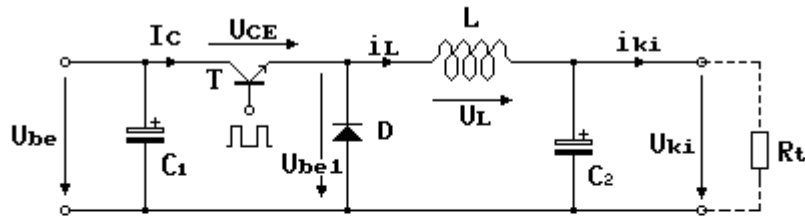
$$\Delta I_{L(ki)} = \frac{U_{ki}}{L} T (1 - \gamma)$$

Egyensúlyt akkor érünk el, amikor a fojtótekeracs áramának növekedése illetve csökkenése egyenlő:

$$\frac{U_{be} - U_{ki}}{L} \gamma T = \frac{U_{ki}}{L} T (1 - \gamma) \Rightarrow U_{ki} = \gamma U_{be}$$

A kimeneti feszültség tehát a kitöltési tényező szabályozásával stabilizálható. A kitöltési tényező mindig $\gamma < 1$, tehát:

$$U_{ki} < U_{be}$$



5-5. ábra

A kimenetre vonatkozóan az L inductivitás a C_2 kondenzátorral aluláteresztő szűrőként, vagyis integráló áramkörként szerepel. Az áramkorlátozási feladatot ellátó fojtótekeracs tehát egyben a szűrő egyik komponense is. Ha végtelen inductitású tekeracet használhatnánk, akkor a kimeneti áramban ingadozást nem észlelnénk. Ekkor a tranzisztor ill. diódaáramok csúcsértéke egyenlő lenne az átlagos terhelőárammal. ($I_{Dmax} = I_{Cmax} = I_{ki}$). A gyakorlatban alkalmazott fojtótekeracsoknál, azok inductitásával fordítottan arányos fűrészfog alakú áram szuperponálódik a kollektor (I_C), ill. diódaáramokra (I_D).

Ha az L inductitás kisebb mint egy előre meghatározott minimális érték (L_{min}), akkor a tekeracs árama egy időtartamra megszűnik, viszont amíg folyik nagy értékű csúcsokat ér el, amely a T tranzisztort és D diódát nagyon igénybe veszik.

Ezek szerint az inductitás minimális (kritikus) (L_{min}) értéke az (amikor az áram éppen nullára csökken a periódus végére), amely az áramingadozás csúcsértékét a minimális terhelőáram kétszeresére korlátozza:

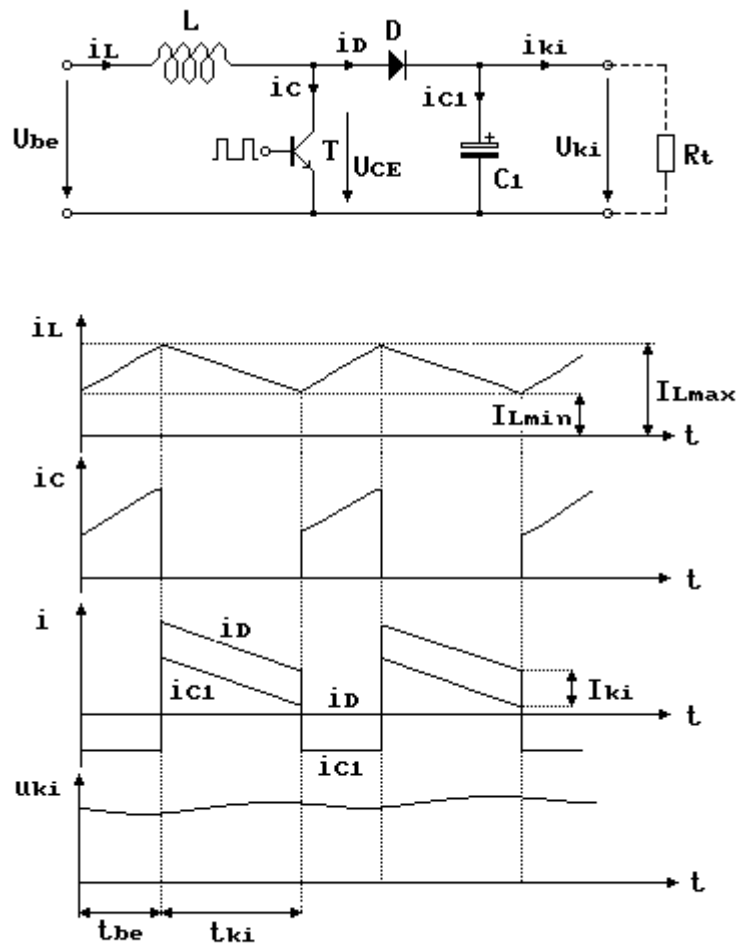
$$\frac{U_{ki}}{L_{min}} T (1 - \gamma) = 2I_{ki}$$

A fojtótekeres tervezésénél figyelembe kell venni a kapcsolóüzemű tápegység által majdan szolgáltatott legkisebb terhelőáramot $I_{ki\min}$. Ezek szerint:

$$L \geq \frac{U_{ki}}{2 I_{ki\min}} T (1-\gamma)$$

5.3.1.1.2 Fojtótekeres feszültségnövelő áramkör

A T tranzisztor bekapcsolásakor az L inductivitás árama lineárisan nő (5-6.ábra), a bekapcsolás pillanatában érvényes $I_{L\min}$ legkisebb értékről a kikapcsolás pillanatában elért $I_{L\max}$ legnagyobb értékre. A D dióda azért szükséges, hogy meggátolja a C_1 kondenzátor kisülését a bekapcsolt (t_{be} alatt) T tranzisztoron keresztül. Ez idő alatt a C_1 kondenzátor fedezi a fogyasztó áramszükségletét.



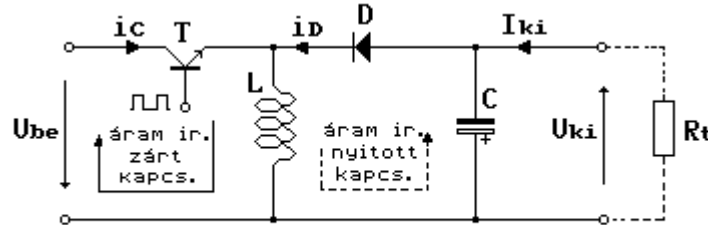
5-6. ábra

A kapcsoló kikapcsolása után az L fojtótekeres árama csökkenni kezd, és a t_{ki} időtartam alatt az $I_{L\max}$ értékről az $I_{L\min}$ értékre csökken. Eközben az inductivitás átadja a benne felhalmozott mágneses energiát a terhelésnek. A tranzisztor kikapcsolásának pillanatában a fojtótekeresben indukált feszültség hozzáadódik a bemeneti feszültséghez. A kimeneti feszültség a kitöltési tényező változtatásával szabályozható.

$$U_{ki} = \frac{U_{be}}{(1-\gamma)}, \quad \text{ha } I_{ki} > I_{ki\min}$$

5.3.1.1.3 Polaritásváltó energiaátviteli áramkör

Amikor a tranzisztor vezet (5-7. ábra), a bemeneti feszültség az induktivitásra kapcsolódik. Ekkor a D dióda nem vezet, a terhelés áramsükségletét a C kondenzátor fedezi. A tekercsen az áram (I_L) lineárisan nő. A tranzisztor kikapcsolásakor a tekercs árama tovább folyik (de ekkor már a mágneses mezejében tárolt energia rovására), a D diódán keresztül (amely kinyit) tölti a C kondenzátort, ill. biztosítja a terhelés áramsükségletét. (megj. U_{be} pozitív földhöz képest, míg U_{ki} negatív.)



5-7. ábra

A kapcsolást még záróüzemű konverternek is nevezik. Záróüzeműnek azért, mert az áramkör kimenetére a teljesítmény átvitele a tranzisztor kikapcsolási időtartama (t_{ki}) alatt történik. Ezzel szemben az előző két áramkör esetében a teljesítmény a t_{be} alatt jut az áramkör kimenetére. Ezeket nyitóüzemű konvertereknek hívják.

Az egyenfeszültség-csökkentő és egyenfeszültség-növelő áramkörök előnye a polaritásváltó áramkörrel szemben az, hogy a kimeneten szükséges energiának csak egy részét kell tárolni az induktivitásban. A szóban forgó áramkörnél viszont a fojtótekercsben, a kimeneten megkívánt teljes energiamennyiséget tárolni szükséges a ciklusidőtartam egy részében. Ezért a polaritásváltó áramkör csak kis teljesítmények esetén kerülhet felhasználásra.

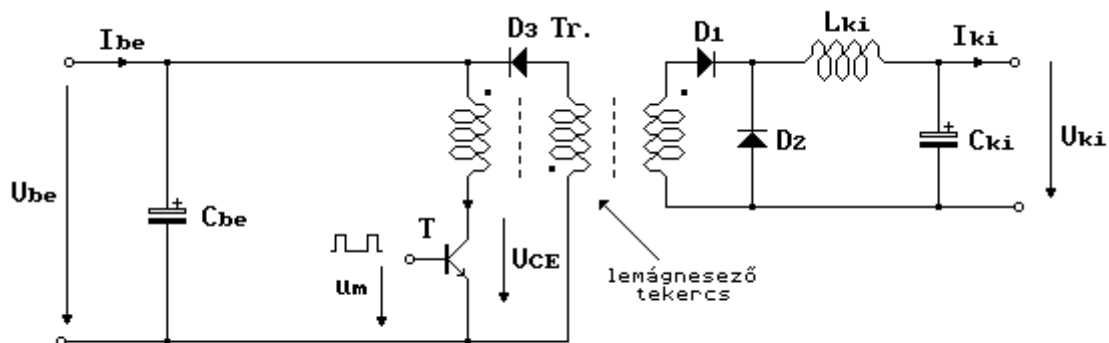
A kimeneti feszültség a tranzisztorra kerülő meghajtóimpulzus kitöltési tényezőjének megfelelő irányú változtatásával tartható állandó értéken. Amikor a tekercs árama sohasem csökken nullára ($L > L_{min}$).

$$|U_{ki}| = |U_{be}| \frac{\gamma}{1-\gamma}$$

5.3.1.2 Galvanikus elválasztást biztosító áramkörök

5.3.1.2.1 Egytranzisztoros nyitóüzemű energiaátviteli áramkör.

E nyitóüzemű energiaátviteli áramkörben (5-8 ábra) a transzformátorhatás révén jut az energia a terhelésre, ha a T tranzisztor vezet. A D_1 diódán keresztül nemcsak a C_{ki} kimeneti kapacitás (ill. fogyasztó) vesz fel energiát, hanem az L_{ki} fojtótekercs is, amely azt mágneses energia formájában tárolja. A T tranzisztor lezárásakor (t_{ki} alatt) az L_{ki} fojtótekercs árama D_2 diódán keresztül a C_{ki} kondenzátorra ill. terhelésre kerül. Az L_{ki} fojtótekercs a C_{ki} kondenzátorral aluláteresztő szűrőt alkot, csökkentve a kimeneti



5-8. ábra

feszültség hullámosságát. U_{ki} a T tranzisztor bázisára jutó impulzus kitöltési tényezőjének változtatásával szabályozható.

A transzformátornak három feladata van:

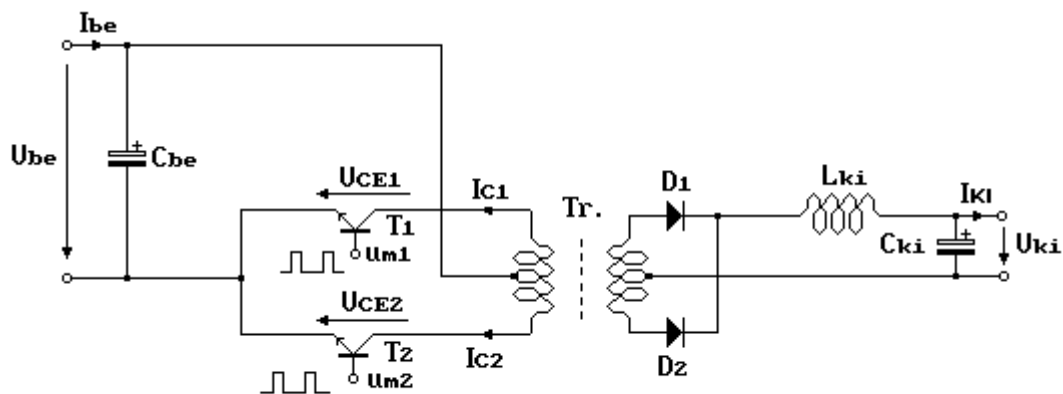
-galvanikus elválasztást biztosít az áramkör bemenete és kimenete között.

-a szükséges kimeneti szintre transzformálja a néhány tíz kHz frekvencián megszagattott bemeneti feszültséget. (Azért használják ezt a frekvenciatartományt, hogy a Tr transzformátor, valamint az aluláteresztő szűrő L_{ki} - C_{ki} mérete kisebb legyen. Lásd 5.1. fejezet).

-a T tranzisztor vezető állapotában a transzformátor által felvett mágneses energia a tranzisztor t_{ki} kikapcsolási időtartama alatt egy járulékos lemágnesező (demagnetizáló) tekercsen és a D_3 diódán át vissza jut a bemenetre. Ezáltal a transzformátor vasmagjának munkapontja nem kerül a telítési tartományba, hanem minden periódus kezdetén ($H=0$). A primer és a demagnetizáló tekercs menetszáma azonos. Ez utóbbit a primerrel együtt (bifilárisan) csévélik. Ezáltal a lehető legszorosabb csatolásban van a primer tekercssel. A tranzisztor kollektor feszültsége (U_{CE}) maximálisan az U_{be} kétszerese lehet. (Ha nem lenne demagnetizáló tekercs, a T tranzisztor kikapcsolása utáni pillanatban U_{CE} egyenlő lenne a bemenő feszültség (U_{be}) plusz a Tr transzformátor primer tekercsének önindukciós feszültségével. Ez utóbbi feszültség elég magas értéket érhetne el.)

5.3.1.2.2 Hagyományos ellenütemű energiaátviteli áramkör

Az 5-9. ábrán bemutatott hagyományos ellenütemű energiaátviteli áramkör, két nyitózemű ellenütemben dolgozó áramkörből tevődik össze. A D_1 és D_2 diódák egyenirányítják a félperiódusonként felváltva működő T_1 és T_2 tranzisztorok által, a szekunder tekercsbe áttranszformált feszültséget.



5-9. ábra

Az ellenütemű működés a hullámosság frekvenciáját megkétszerezi. Így adott L_{ki} C_{ki} értékek mellett a kimeneti feszültség hullámossága kisebb. A T_1 és T_2 tranzisztorokat meghajtó impulzusok kitöltési tényezője legfeljebb 50% lehet.

5.3.2 Kapcsolóüzemű tápegységek szabályzó áramkörei

Az energiaátviteli áramkör kapcsolótranzisztorának bázisára jutó impulzusok többféleképpen modulálhatók. A szabályzó és védőáramkörök a kapcsolóüzemű tápegységek legbonyolultabb áramköri részegységei, amelyek felépíthetők:

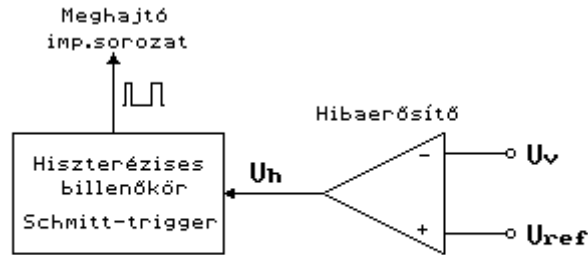
-félvezetős diszkrét áramköri elemekből,

-különböző funkciójú integrált áramkörökből (komparátor, műveleti erősítő, tároló, integrált referenciaforrás),

-speciálisan a kapcsolóüzemű tápegységek céljára készített integrált áramkörökből. Ezek kedvező szabályozási tulajdonságokkal és a tápegység rendszerben létrejövő zavarok elleni védelmet nyújtó gyors beavatkozással működnek.

5.3.2.1 Szabadonfutó öngerjesztéses, Schmitt-triggeres szabályzók.

Lényegében kétpontszabályozást valósítanak meg (5-10. ábra). Kétpontszabályozásról akkor beszélünk, ha a névleges értéknek alsó és felső határa van és a stabilizált érték ezen munkatartományon belül változhat. A kimeneten a névleges érték alsó határának elérésekor bekapcsol a kapcsolótranszisztor és addig marad ebben az állapotban, amíg a kimeneti feszültség el nem éri a felső határt. Az U_v és U_{ref} jel



5-10. ábra

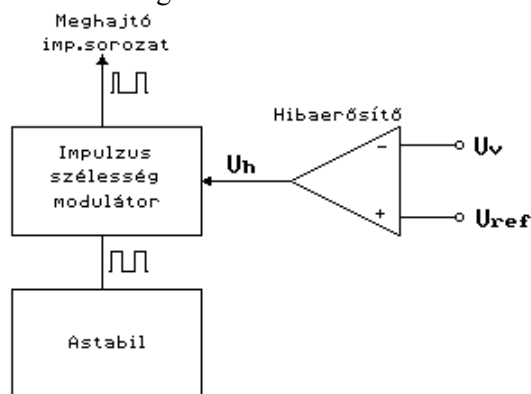
különbségeként megjelenő U_h hibajel hajtja meg a Schmitt-triggeret. ($U_v = k U_{ki}$; ahol $k < 1$; U_v a kimenetről visszavezetett feszültség és azzal arányos, U_{ref} a kapcsolóüzemű tápegység belső referenciafeszültsége). A trigger aszerint nyitja, ill. zárja a kapcsolótranszisztorát, hogy a kimeneti feszültség egy bizonyos értéknél kisebb-e vagy nagyobb.

A bekapcsolási és kikapcsolási időtartam (t_{be} , ill. t_{ki}) a bemeneti feszültség és a terhelés változásainak függvénye. A teljes hurok magában foglalja az energiaátviteli áramkör kapcsolótranszisztorát, a szűrőáramkört, a terhelést, a hibaerősítőt és a Schmitt-triggeret (valamint a meghajtófokozatot). A hurok önrezgő azzal a pillanatnyi frekvenciával, amit az L_{ki} - C_{ki} szűrő, a terhelő impedancia, a bemeneti feszültség, a trigger áramkör hiszterézise stb. határoz meg.

A kimenő feszültség hullámosságának nagyságát elsődlegesen a trigger áramkör hiszterézise, valamint a hibaerősítő erősítése határozza meg. A Schmitt-triggeres szabályzóval rendelkező kapcsolóüzemű tápegység előnye az egyszerű felépítésű szabályzó áramkör, hátránya a kimenő áramtól (terhelés nagyságától) függő kapcsolási frekvencia.

5.3.2.2 Impulzusszélesség modulátoros szabályzók

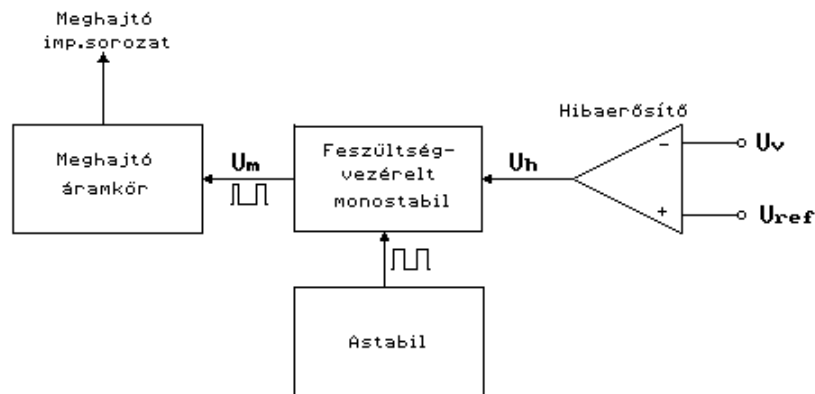
A stabilizálandó kimeneti feszültséget ($U_v = k U_{ki}$) összehasonlítják egy rögzített referencia feszültséggel U_{ref} (5-11. ábra). Az ily módon előállított és kellően felerősített analóg hibajelet ezután az impulzusszélesség modulátorra vezetik. Az impulzusszélesség modulátor állandó frekvenciájú négyszögimpulzust állít elő,



5-11. ábra

amelynek kitöltési tényezője lineárisan változtatható az egyenfeszültségű analóg hibajel értékétől függően, oly módon, hogy a kimenő feszültséget állandó értéken tartsa.

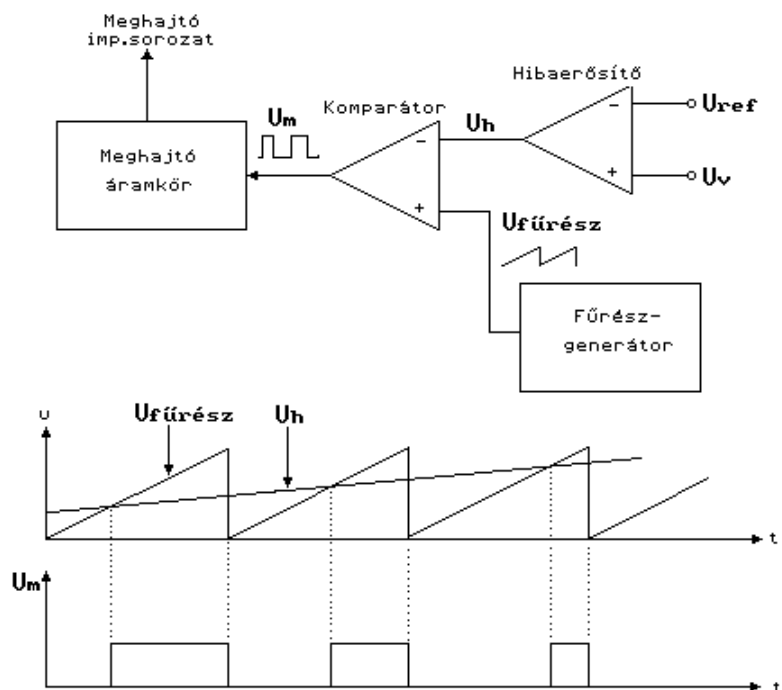
A változó szélességű impulzussorozat létrehozása különbözőképpen oldható meg. Elterjedt megoldás például



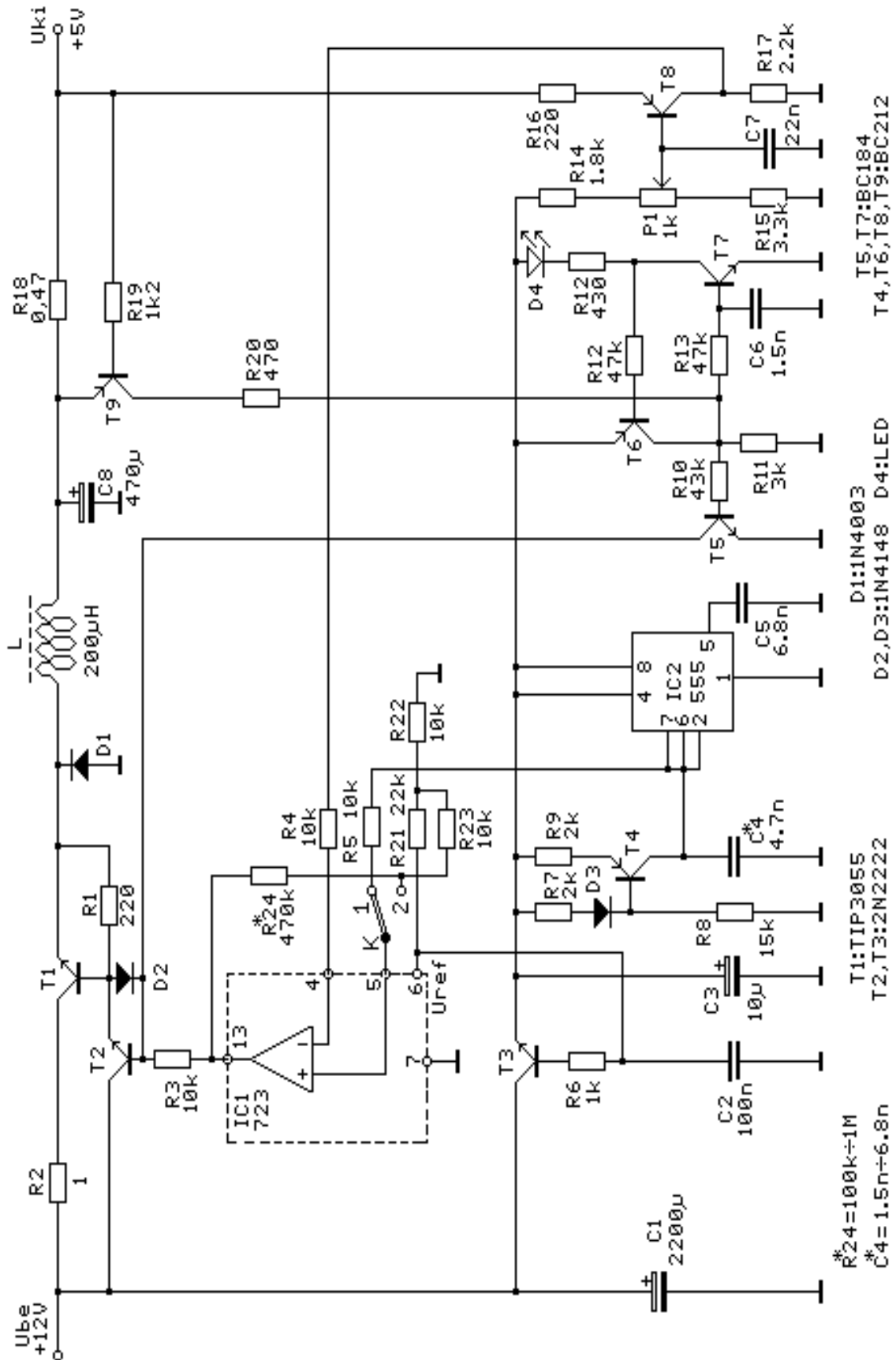
5-12. ábra

az astabil multivibrátorral indított monostabil. Itt a monostabil multivibrátor kimeneti impulzusainak szélességét az időzítőbemenet szintjének változtatásával, vagyis a hibajel pillanatnyi értékével arányosan modulálják (5-12.ábra).

Lehetséges olyan megoldás is, amikor egy fűrészgenerátor jelét vezetik egy komparátor bemenetére. A komparálási szintet a felerősített hibajel pillanatnyi értéke képezi. Így impulzusszélesség modulált jel adódik (5-13.ábra).



5-13. ábra



5-14. ábra

5.4. Mérési feladatok.

A mérés elvégzéséhez elengedhetetlen az 5.3.1.1.1, 5.3.2.1 és 5.3.2.2 fejezetek kifogástalan ismerete, a többiit elegendő egyszer figyelmesen elolvasni!!!

5.4.1 A mérendő áramkör ismertetése:

Az 5-14. ábrán látható kapcsolóüzemű tápegység képezi a mérés tárgyát, amely a következő elektromos jellemzőkkel rendelkezik:

- névleges bemenő feszültség: $U_{beN} = 12V$
- a bemenő feszültség értéke $U_{be} = (10 \div 18V)$ között változhat
- névleges kimenő feszültség: $U_{kiN} = 5V$
- kimenet maximális terhelhetősége: $I_{kiMax} = 1.3A$

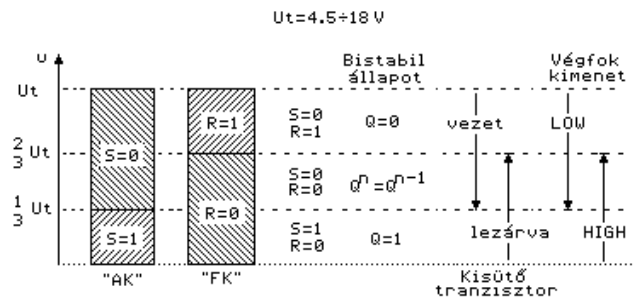
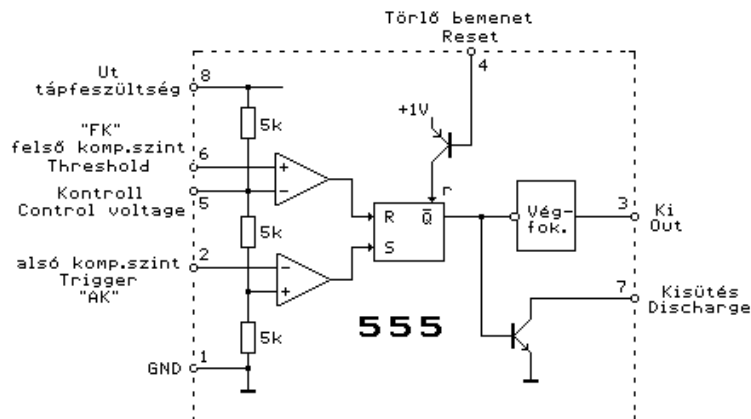
A tápegység energiaátviteli áramköre induktív töltőáramkörös feszültségcsökkentő amely a T_1 , T_2 Darlington kapcsolótranszisztorokból, az L fojtótekerescsből, a D_1 diódából és a C_g kondenzátorból áll.

A tápegység szabályzóáramkörében felhasználásra került egy 723-as típusú analóg feszültség szabályzó IC-ből a komparátor és az integrált referenciaforrás $U_{ref} = 7.1V$.

U_{ref} segítségével T_3 kisteljesítményű analóg feszültség stabilizátorként működik, amely U_{be} -ből állít elő segéd tápfeszültséget a szabályzó áramkör részére.

Felhasználásra került egy másik IC is, az 555-ös típusú timer, amelynek a működését az 5-15. ábrán követhetik nyomon.

A K kapcsolóval megválasztható a tápegység szabályzó áramköre:



5-15. ábra

-K 1-es állásban impulzus szélesség modulátoros szabályzó, amely a T_4 , C_4 , IC_2 -ből alkotott fűrészgenerátorból, T_8 -al megvalósított hibaerősítőből és az IC_1 -ben található komparátorból áll.

-K 2-es állásban öngerjesztéses, Schmitt-triggeres szabályzó, amely a T_8 hibaerősítőből és az R_{23} , R_{24} , IC_1 elemekkel felépített hiszterézises komparátorból áll.

A tápegységet kiegészíti egy ún. védőáramkör, amely az R_{18} áramérzékelő ellenállásból, és T_5 , T_6 , T_7 , T_9 tranzisztorokból áll. Működése a következő: alapállapotban ($I_{ki} < I_{ki\max}$) a T_9 tranzisztor zárva, T_6 , T_7 -ből alkotott bistabil multivibrátor 0 állapotban (T_6 , T_7 zárva, LED nem világít), T_5 tranzisztor zárva. Tehát a T_2 tranzisztor bázisára szabadon eljuthatnak a meghajtó impulzusok a szabályzóáramkör felől. R_{18} értéke olyan, hogy a maximális megengedett terhelőáram elérésekor ($I_{ki} = I_{ki\max}$) az áramérzékelő ellenálláson eső feszültség kinyitja a T_9 tranzisztert. Ekkor R_{11} -en eső feszültség átbillenti a bistabil multivibrátort 1-es állapotba (T_6 , T_7 vezet LED világít), mely állapotát T_9 lezárta után is megőrzi. Az R_{11} -en eső feszültség kinyitja a T_5 tranzisztert, amely a T_1 , T_2 Darlington kapcsolótranzisztor bázisára jutó meghajtó impulzusokat söntöli. Ezáltal a tápegység lekapcsol ($U_{ki} = 0$).

A tápegység újraindítható miután megszűnt a lekapcsolást kiváltó ok (túl nagy terhelőáram vagy rövidzár megszűnte), a bistabil visszabillentésével. A bistabil alapállapotba hozható a bemenő feszültség U_{be} le ill. visszakapcsolásával.

Feladatok:

1.) K 1-es állás. C_4 értéke legyen 4.7nF, az R_T terhelő ellenállás (2db 15Ω-os párhuzamosan) pedig olyan, hogy a kimenőáram $I_{ki}=0.66A$ legyen. A tápegység bemenetére adjon 12V egyenfeszültséget, állítsa be P_1 -et úgy, hogy $U_{ki} = 5.00V$ legyen. Kétsugaras oszcilloszkóppal vegye fel a következő jelalakokat:

-a D_1 diódán U_{D1} , ill. a fűrészgenerátor kimenő feszültségét U_{C4} , amely a C_4 kondenzátoron jelenik meg (mindkettő 0V-hoz képest!) (oszcilloszkóp ábrák: 1-es melléklet, a tengelyeket be kell skálázni, a nevezetes értékeket az ábrán jelölni kell!)

-a kapcsolótranzisztoron U_{CE1} és I_{C1} , megj.: I_{C1} közvetve (R_2 -n eső feszültséggel) jeleníthető meg! Mindkét jelalak egyszerre csak úgy mérhető, ha közös viszonyítási pontnak T_1 kollektorát válassza.

Figyelem: az oszcilloszkóp mérőfejeinek nullpontjait (csipeszeit) **NEHOGY különböző** potenciálú pontokhoz kösse!!! (oszcilloszkóp ábrák: 2-es melléklet, a tengelyeket be kell skálázni, a nevezetes értékeket az ábrán jelölni kell!)

-a fenti ábráról olvassa le a kapcsolótranzisztor szaturációs (leülési) feszültségét!

2) Számítsa ki a kapcsolótranzisztor működési frekvenciáját ha C_4 értéke 4.7nF és vesse össze a kapott eredményt az oszcilloszkópról leolvasottal! Mekkora lesz a működési frekvencia, ha C_4 értéke 1.5 illetve 6.8nF? Ellenőrizze gyakorlatilag a kapott eredményeket!

(Útmutató a fűrészgenerátor frekvenciájának kiszámításához: 1° számítsa ki a T_4 tranzisztorral megvalósított áramgenerátor áramát, 2° számítsa ki az áramgenerátor mennyi idő alatt tölti a C_4 kondenzátort olyan feszültségre, hogy az 555 típusú timer átbillenjen! Lásd jegyzet ábrái!.)

3) Mérje meg a tápegység stabilizálási tényezőjét különböző terhelések esetén!

$$S = \frac{\Delta U_{be}}{\Delta U_{ki}} \Big|_{I_{ki}=\text{állandó}} \quad \gamma = \frac{t_{be}}{T}$$

4) Mérje meg a tápegység kimenő ellenállását különböző bemenőfeszültségek esetén:

$$R_{ki} = \frac{\Delta U_{ki}}{\Delta I_{ki}} \Big|_{U_{be}=\text{állandó}}$$

5) Mérje meg a kimenő feszültség hullámosságát (U_{cs} -cs) különböző kimenőáramoknál és kapcsolási frekvenciákon!

6) Számítsa ki a kimenőáram minimális értékét $I_{ki\min}$ (amelynél a tekercs árama éppen nullára csökken a periódus végére), majd pedig mérje meg! (Ebben a pontban $R_T =$ változtatható ellenállás!)

7) R_T szintén változtatható ellenállás és mérje meg a tápegység maximális kimenő áramát ($I_{ki\max}$) amelynél a túláram-védelem lekapcsol!

8) K 2-es állás. R_{24} értéke legyen $470\text{k}\Omega$. A többi feltétel hasonló az 1)-es pontban leírtakkal. Vegye fel a következő oszcillogrammokat:

-a D_1 diódán U_{D1} , és az IC_1 -ben található műveleti erősítő NI bemenetén (IC_1 5-s láb) U_5 (mindkettő 0V-hoz képest!) (oszcilloszkóp ábrák: 3-as melléklet, a tengelyeket be kell skálázni, a nevezetes értékeket az ábrán jelölni kell!)

-a kapcsolótranszisztoron U_{CE1} és I_{C1} , megj.: I_{C1} közvetve (R_2 -n eső feszültséggel) jeleníthető meg! Mindkét jelalak egyszerre csak úgy mérhető, ha közös viszonyítási pontnak T_1 kollektorát választja.

Figyelem: az oszcilloszkóp mérőfejeinek nullpontjait (csipeszeit) **NEHOGY különböző** potenciálú pontokhoz kösse!!! (oszcilloszkóp ábrák: 4-es melléklet, a tengelyeket be kell skálázni, a nevezetes értékeket az ábrán jelölni kell!)

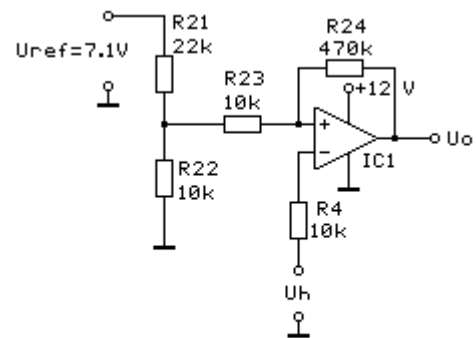
-a fenti ábráról olvassa le a kapcsolótranszisztor szaturációs (leülési) feszültségét!

9) Számítsa ki a műveleti erősítőből és az R_{21} , R_{22} , R_{23} , R_{24} ellenállásokból alkotott Schmitt-trigger küszöbszintjeit U_{ka} , U_{kf} a következő esetekben:

R_{24}	U_{ka}	U_{kf}	U_{cs-cs}
$100\text{k}\Omega$			
$470\text{k}\Omega$			
$1\text{M}\Omega$			

(Útmutató a Schmitt-trigger küszöbszintjeinek kiszámításához 5-16.ábra.) Mekkora lesz a kimenő feszültség hullámossága U_{cs-cs} , a fenti R_{24} ellenállás értékekre? (Az ábrán U_h a T_8 tranzisztorból álló hibaerősítő kimenő feszültsége. A hibaerősítő erősítése $\approx (R_{17} / R_{16}) = 10$. Lásd még 5-14.ábra.)

Ellenőrizze gyakorlatilag az így kiszámított értékeket! A kapcsolási frekvenciákat is mérje meg!



5-16. ábra