Kapcsolóüzemű stabilizátor mérése

Mihalik Gáspár - Szabó Tamás

2009. október 14.

1. Bevezetés

Az elektronikus áramkörök működtetéséhez 5-10% pontossággal előállított egyenfeszültség kell, ami a külső körülmények megváltozása ellenére is csak kis mértékben ingadozik. További követelmény, hogy a hálózati búgófeszültség mértéke csupán néhány mV lehet.

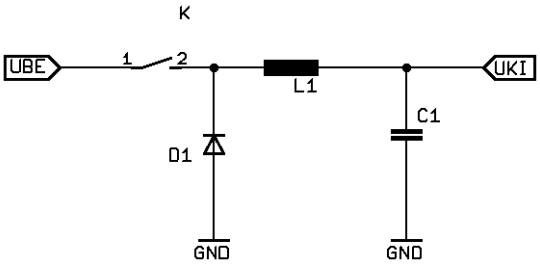
Ezen kívánalmak teljesítésére külön stabilizátor áramkörök használatosak. Két tipikus működési elv szerint működő áramköröket készítenek ma, ami alapján vannak *lineáris* és *kapcsolóüzemű feszültségszabályozók*.

2. Kapcsolóüzemű tápegységek

A lineáris szabályozású stabilizátorok vesztesége jelentős. Ennek oka, hogy az éppen „nem szükséges" feszültség az áteresztő tranzisztoron esik, melynek a terhelő árammal vett szorzata nagy (nagy disszipációs teljesítmény). Ezzel a környezetet melegíti, ami további problémákat és gazdaságtalan működést jelent. Mindezekből az is következik, hogy a kimeneti és a bemeneti feszültségek különbségét növelve, a lineáris stabilizátorok hatásfoka romlik – ugyanis az áteresztő tranzisztoron eső feszültség ekkor nő, így tehát a disszipált teljesítény is nő.

A disszipálódó teljesítmény gyakorlatilag úgy csökkenthető, ha az áteresztő tranzisztor kapcsolóüzemben működik. Ekkor a teljesítmény szorzat áram-, vagy annak feszültség kompnense kis értékű (elméletben zérus). Ehhez egy jól kitalált vezérlési eljárás szükséges, ami a kapcsolót működteti.

Ezeket az áramköröket kapcsolóüzemű stabilizátoroknak (angolul DC-DC converter-eknek) nevezik. Lényegük, hogy két DC rendszer között teremtenek kapcsolatot. A bementi és a kimeneti feszültség vagy áram *aránya* folyamatosan szabályozható, értéke lehet kisebb vagy nagyobb, mint 1 (!). Ezek a kapcsolások alapvetően három elemből állnak: K teljesítménykapcsolóból, L energiatároló tekercsből és C simítókondenzátorból. Az alapvető áramkörök több szempont



1. ábra. Feszültségcsökkentő kapcsolás

szerint is csoportosíthatók: a kimeneti és a bemeneti feszültség aránya, az átalakítás módja, az energiaáramlás irányai szerint. Ebben a leírásban csak az egyiányú, kimeneti feszültségtáplálású, közvetlen átalakítók szerepelnek.

2.1. Feszültségcsökkentő átalakító

A step-down vagy buck átalakító kapcsolási rajza látható az 1. ábrán. Amíg a kapcsoló zárt, addig $U_1 = U_{be}$[1]. Ha a kapcsoló kinyit, akkor a tekercs árama megtartja eredeti irányát, és U_1 addig csökken, amíg a dióda vezet. Az események időtartományban való leírásához a következő összefüggés szolgáltatja a kiindulást:

$$U_L = L\frac{dI_L}{dt} \tag{1}$$

A t_{be} bekapcsolási idő alatt a tekercsen $U_L = U_{be} - U_{ki}$ feszültség van. t_{ki} kikapcsolási idő alatt pedig $U_L = -U_{ki}$ feszültség jelenik meg[2]. Az előző egyenletből az áramváltozás:

$$\Delta I_L = \frac{1}{L}(U_{be} - U_{ki})t_{be} = \frac{1}{L}U_{ki}t_{ki} \tag{2}$$

Ebből a kimeneti feszültség:

$$U_{ki} = \frac{t_{be}}{t_{be} + t_{ki}}U_{be} = \frac{t_{be}}{T}U_{be} = pU_{be} \tag{3}$$

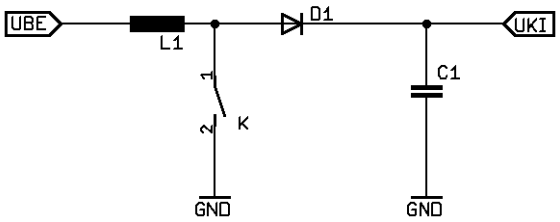
A p a kitöltési tényező. A kapcsolás abban az esetben működik így, ha $I_{ki} > I_{ki\ min}$. Ezért fontos ennek meghatározása:

$$I_{ki\ min} = \frac{1}{2}\Delta I_L = \frac{T}{2L}U_{ki}\left(1 - \frac{U_{ki}}{U_{be}}\right) \tag{4}$$

Abban az esetben, ha az előző feltétel nem teljesül, a kapcsolás nem folytonos üzemben működik. Ilyenkor az előzőekben leírt összefüggések nem, vagy csak némi módosítással igazak. Ennek az állapotnak az a legfőbb tulajdonsága, hogy

[1] U_1 a dióda katódján mérhető feszültség.

[2] Tehát t_{be} a kapcsolótranzisztor bekapcsolt állapotának, t_{ki} pedig kikapcsolt állapotának ideje.



2. ábra. Feszültségnövelő kapcsolás

a tekercs árama nulláig csökken, és bizonyos ideig ott is marad, majd onnan növekedni kezd – ellentétben a folyamatos üzemmel, ahol a tekercs árama egy bizonyos nullánál nagyobb érték körül ingadozik anélkül, hogy a nullát bármikor elérné.

2.2. Feszültségnövelő átalakító

A step-up vagy boost átalakító kapcsolási rajza látható a 2. ábrán. Amíg a kapcsoló nyitott állásban van, $U_{ki} = U_{be} - U_D$. Ha a kapcsoló zár, a tekercsben energia halmozódik fel, ami a kapcsoló újbóli nyitásakor a kimenetre jut, ezzel növelve a bemeneti feszültséget: $U_{ki} = U_{be} + U_L - U_D$.

Az előző pontban leírt összefüggések itt a következő módon számolhatók:

$$U_{ki} = \frac{T}{t_{ki}} U_{be} \tag{5}$$

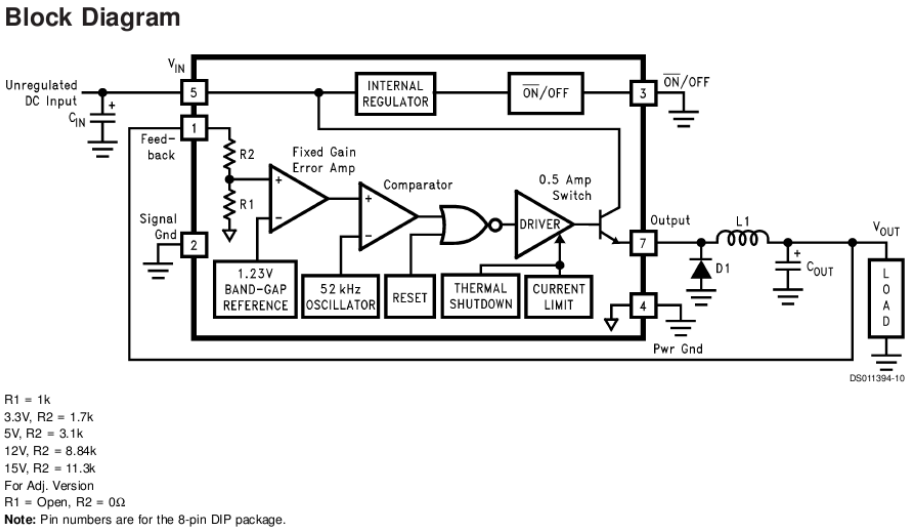
$$I_{ki\ min} = (U_{ki} - U_{be}) \frac{U_{be}^2 T}{U_{ki}^2 2L} \tag{6}$$

2.3. Kapcsolójel előállítása

A kapcsolóüzemű áramköröknél alapvetően fontos a kapcsolótranzisztorok vezérlése. A kapcsolójelnek olyannak kell lennie, hogy a bemeneti feszültségtől függetlenül a kimeneti jelnek állandó értéken kell maradnia. Egy ilyen kapcsolás két blokkból épül fel (ld. 3. ábra): a kimeneti feszültséget és a referenciafeszültséget összehasonlító áramkörből – más néven hibaerősítőből, és az erősített hibajelet egy nagy frekvenciás fűrészjellel összehasonlító erősítőből.

A kimeneti jelet visszacsatolva, az egy műveleti erősítőre jut, amelynek másik bemenetére a referenciafeszültséget vezetik. A különbségi jelet felerősítve viszik tovább a második blokkra, amelynek másik bemenetén a fűrészgenerátor található. Ennek frekvenciája jellemzően $n \cdot 10$ kHz, de kaphatók néhány 100 kHz-en működő típusok is[3]. A két blokk csatlakozására kötnek még egy aluláteresztő szűrőt. Ezzel csökkenthetők a kiemeten jelentkező hirtelen változások keltette nem kívánt vezérlőjel ingadozások. Ezzel a megoldással gyakorlatilag

[3] A laborban mért áramkör működési frekvenciája 52 kHz.



3. ábra. Az LM2574 blokkdiagramja

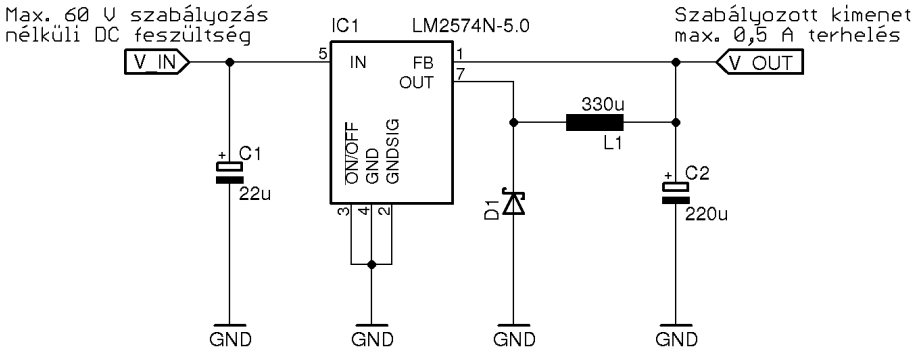
egy PI típusú szabályozóerősítő valósítható meg. A második blokk – a komparátor – kimenetén a tranzisztort vezérlő jel változó kitöltési tényezőjű négyszögjel, amely addig van magas szinten, amíg a a hibaerősítő által létrehozott hibafeszültség értéke nagyobb, mint a fűrészgenerátor pillanatnyi feszültsége. Ha a hibajel értéke alacsonyabb a fűrészgenerátor értékénél, a kapcsolójel is alacsony állapotú.

2.4. Visszahatás a tápláló áramkörre

A kapcsolóüzemű áramkörök nagy hátránya, hogy a nagy frekvenciás kapcsolgatások miatt nem lineáris módon terhelik a tápláló áramkört, így arra jelentős mértékben visszahatnak. Ezt a visszahatást a λ (Power Factor) értékkel jellemzik. Ennek értéke ideális esetben egységnyi, de jellemzően ennél kisebb.

Főleg nagyobb teljesítményeknél fontos a teljesítmény-tényező korrekciója (PFC - Power Factor Correction). Ennek két módja lehetséges: a passzív és az aktív PFC. A passzív PFC egy megfelelően tervezett szűrő, ami a zavaró jelek táphálózatra való visszajutását akadályozza. Ezzel a megoldással 70% feletti PF érhető el.

A másik megoldás az aktív PFC használata. Ez tulajdonképpen az egyenirányító és a bemeneti pufferkondenzátor közé kapcsolt boost DC-DC átalakító, amely speciális vezérlést kap, figyelembe véve a bemeneti feszültség- és áram értékeket, ill. a kimeneti – szabályozott feszültséget. Ezzel a megoldással 98-99%-os PF is elérhető. Tekintve, hogy alkatrészigénye jelentős, a gyártók szívesen spórolják ki gyártmányaikból. Ez a tendencia azért veszélyes, mert különösen a régebbi táphálózatok null-vezetőinek méretezésekor ezt nem vették – nem ve-



4. ábra. Mérési összeállítás

hették figyelembe. A nagy mennyiségű felharmonikus miatt a nullvezetőn folyó áram túllépheti a kisebb ráhagyással tervezett vezetékek áramterhelhetőségét, ami súlyos következményekkel járhat.

3. A méréshez szükséges eszközök

- super-strip panel
- stabilizált tápegység
- oszcilloszkóp
- multiméter (2 db)

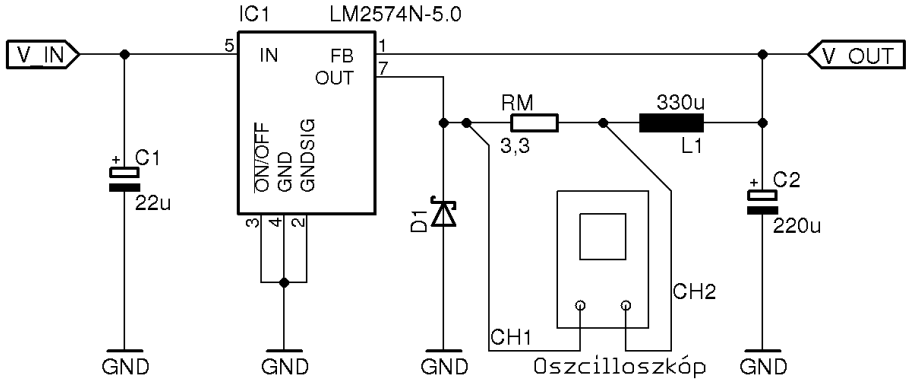
4. Mérési feladatok

4.1. Áramkör összeállítása

Állítsa össze a 4. ábrán látható kapcsolást super strip panel segítségével! Az 50 Ω-os potenciométert állítsa be 30 Ω értékűre, és *kapcsolja terhelésként az áramkör kimenetére*! Ügyeljen arra, hogy lehetőség szerint a külső tápegység föld pontját csak az áramkör 4-es lábához kösse be, és minden további föld potenciál csatlakozást a 4-es lábhoz kössön (így minimalizálhatók a zavaró jelenségek)!

4.2. Feszültség jelalakok vizsgálata

Állítsa be a bemeneti feszültséget 7 V-ra, és mérje meg oszcilloszkóppal az áramkör 7-es lábán, majd az áramkör kimenetén a jelet! A jegyzőkönyvben dokumentálja ezeket, és magyarázza meg a látottakat!



5. ábra. A tekercs áramának mérése

4.3. A tekercs áramának vizsgálata

Módosítsa a kapcsolást az 5. ábrán látható módon, a terhelést pedig hagyja változatlanul! Az oszcilloszkópot diff. módban használja! A mért jelalakból, és a mérőellenállás értéke alapján számolja ki az áram nagyságát, majd a jelalakot és a számítás eredményét rögzítse a jegyzőkönyvben! Ehhez mérje meg az ellenállás pontos értékét, majd a mért jelalak maximális és minimális értékéből, ill. az ellenállás értékéből számítással határozza meg az áram maximális és minimális értékét. Mivel az ellenállás lineáris elem, az áram jelalakja megegyezik a feszültség jelalkjával.

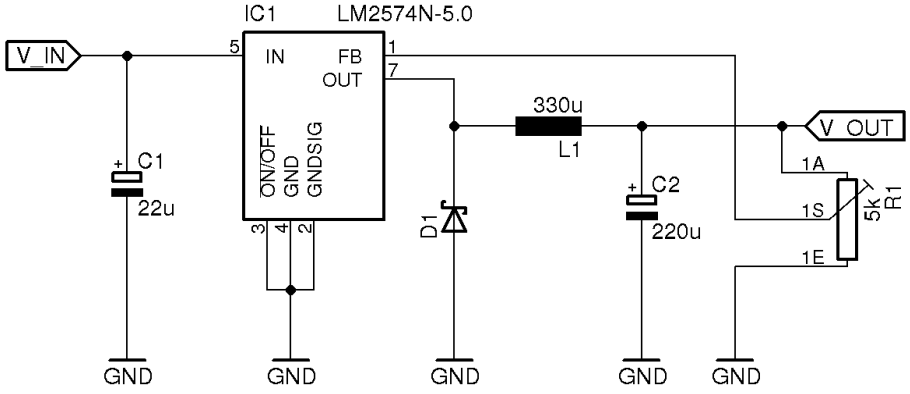
A bemeneti feszültséget kezdje el növelni, és nézze meg a tekercs áramjelalakjának változását! Ezt is rögzítse a jegyzőkönyvben - így számszerint ebben a pontban három jelalakot rögzít (p>0,5; p=0,5; p<0,5 - ahol p a kitöltési tényező)!

4.4. Kitöltési tényező

Az árammméréshez használt mérőellenállást távolítsa el a kapcsolásból! Az oszcilloszkópot kösse ismét a 7-es lábra! Állítsa be a bemeneti feszültséget 7, 10, 15, 20, 25 és 30 V-ra, és jegyezze le a kitöltési tényezőket! Az eredményeket grafikusan is ábrázolja!

4.5. Hatásfok mérése

A bemenet és a kimenet áramait és feszültségeit is mérnie kell ennél a feladatnál. Ennek megfelelően kösse be a műszereket! A bementi feszültséget 7 V-ra állítsa, és jegyezze le a bementi és kimeneti teljesítmények számításához szükséges adatokat! Növelje meg a bemeneti feszültséget 10, 15, 20, 25 és 30 V-ra, és jegyezze le az adatokat! A teljesítményekből kiszámolható a hatásfok, amit ábrázoljon grafikusan a bementi feszültség függvényében!



6. ábra. Változtatható feszültségű stabilizátor

4.6. Változtatható feszültségű stabilizátor

A fix feszültségű stabilzátor átalakítható változtatható feszültségűvé. Ehhez csak egy potenciométerre van szükség, amit megfelelően kell csatlakoztatni az áramkörhöz. Lényege, hogy a kimeneti feszültséget leosztva vezeti a visszacsatolási pontra. Mivel az áramkör úgy szabályoz, hogy a visszacsatolt feszültség 5 V legyen, az osztásarány változtatásával tetszőlegesen növelhető a kimeneti feszültség.

Alakítsa át a kapcsolást az 5 kΩ-os potméter segítségével változtatható feszültségűre: a potméter egyik végét a kimenetre, a másikat a földre, a csuszkáját pedig a visszacsatolási pontra kösse (ld. a 6. ábra)! Terhelésként az 50 Ω-os potenciométert tegye az áramkörbe oly módon, hogy a két végét csatlakoztassa a kiement és a föld közé - ezzel a teljes 50 Ω kerül a kimenetre. 15 V-os bemeneti feszültség mellett állítson be 8, 10 és 14 V-os kimeneti feszültséget, miközben a 7-es ponton mérje folyamatosan a jelalakot! Az eredményeket jegyezze le a jegyzőkönyvbe!

Hivatkozások

[1] U. Tietze, Ch. Schenk (1990) *Analóg és digitális áramkörök.* Budapest, Műszaki Könyvkiadó ISBN 963 10 8209 1

[2] Dr. Megyeri János (2008) *Analóg elektronika.* Budapest, Tankönyvkiadó

[3] Dr. Zsigmond Gyula (2006) *Fejezetek az elektrotechnikából.* Budapest, E+S Biztonságtechnikai és Elektrotechnikai Kft.

[4] Az LM2574 adatlapja