

Többkimenetű kapcsoló üzemi tápegységek tervezési szempontjai

TERJÉKI JÓZSEF
HIKI

Bevezető

Az utóbbi években az elektronikai iparban olyan nagymérvű változás következett be, amely arra kényszerítette a tervezőket, hogy szakítsanak a hagyományos tápellátási rendszerekkel. Ezt elsősorban a nagyfokú integráltság miatti méretcsökkenés és ugyanakkor a nagy energiaigény tette szükségessé. Így előtérbe kerültek a jó hatásfokú, de viszonylag drága kapcsoló üzemi tápegységek.

Az esetek többségében egy rendszeren belül több különböző tápfeszültségre van szükség. Ez a különbség megnyilvánulhat a feszültség értékében, áramigényében, stabilitásában, zajban stb. Nagy rendszerekben egy-egy tápfeszültség terhelhetőség-igénye általában akkora, hogy feszültségenként külön tápegységek alkalmazása is gazdaságos, mivel kimenetenként többször 10...100 Watt teljesítmény szükséges. Kis és közepes teljesítményigény esetén ez nem mindig gazdaságos. Ilyen esetekben célszerű többkimenetű tápegységeket alkalmazni.

Cikkünkben a kis és közepes teljesítményigények ellátására alkalmas (néhányszor 10 és néhányszor 100 W összkimeneti teljesítmény közötti) többkimenetű tápegységek rendszertехnikai kérdéseivel foglalkozunk. A „többkimenetű kapcsoló üzemi tápegység” kifejezés számos rendszertехnikai megoldást fedhet, de mi csak azt a rendszert értjük

rajta, amelyet az 1. ábrán feltüntetett tömbvázlattal mutatunk be.

A rendszert az egykimenetű transzformátoros, kapcsoló üzemi tápegységből származtathatjuk. Az eltérés az, hogy a transzformátornak annyi szekunder tekercse (lehet leágazás is) és szekunderoldali egyenirányítója van, amennyi a kimenetek száma.

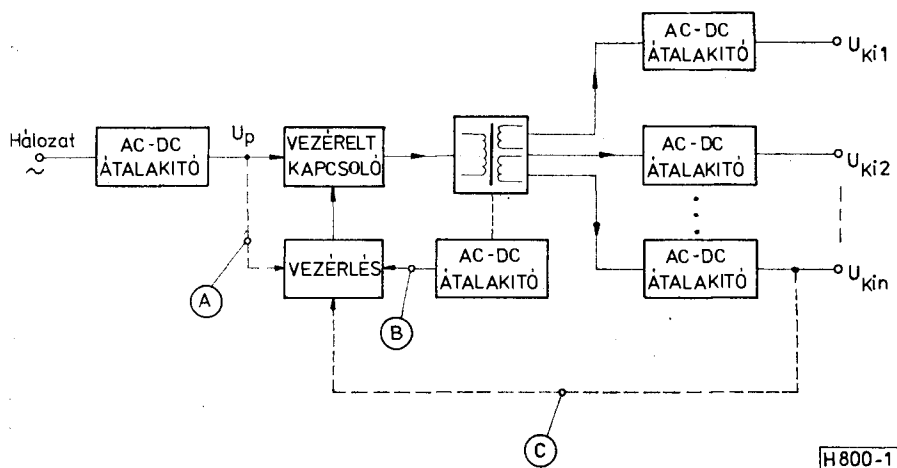
A többkimenetű kapcsoló üzemi tápegységek lehetséges rendszertехnikai felépítése

Egy többkimenetű tápegység rendszerének megválasztásakor a kimenőfeszültségek, illetve áramok értékén túl a legfontosabb paraméter a kimenetek stabilitása. Ebbe a fogalomba sok minden beletartozik, így pl.:

- vonalszabályozás,
- terhelésszabályozás,
- dinamikus terhelésváltozásra keletkező kimenőfeszültség-ugrás,
- „keresztiszabályozás”, más szóval a kimenetek egymásra hatásából keletkező kimenőfeszültség-változás,
- kimeneti zaj stb.

A számos paraméter mellett a vonal- és terhelésszabályozás, valamint a keresztiszabályozás az, ami meghatározza a tápegység rendszertехnikai felépítését. A továbbiakban az egyszerűség kedvéért a stabilitás fogalmat használjuk.

Beérkezett: 1981. II. 16.



1. ábra.

Stabilitás szempontjából egy többkimenetű tápegységnek a következő esetek fordulhatnak elő:

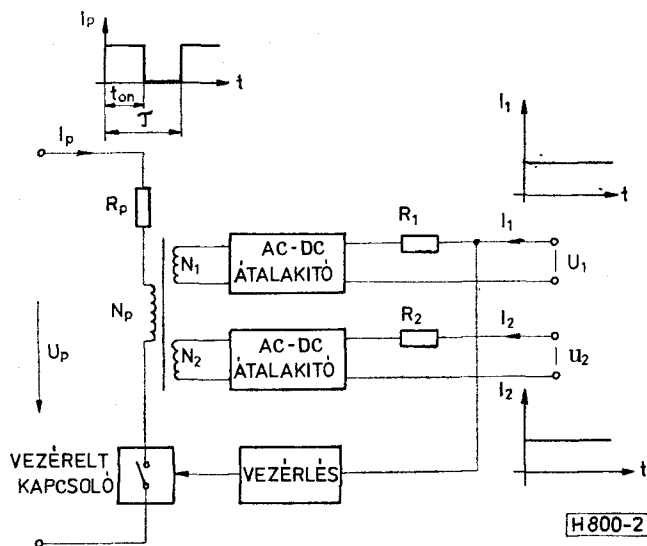
- valamennyi kimenet kis stabilitású,
- egy kitüntetett kimenet nagy stabilitású, a többi lehet kis stabilitású is,
- több vagy valamennyi kimenet nagy stabilitású.

Vizsgáljuk meg, hogy a lehetséges variációkat milyen rendszerrel valósíthatjuk meg. Célunk valamennyi kimenet stabilizálása. Mivel csak az a kimenőfeszültség állandó (adott hibával), amelyre a szabályozást végezzük, több kimenet nagy stabilitásigénye esetén több szabályozó körös rendszert szükséges kialakítani. Nézzük meg milyen lesz a kimenetek stabilitása, ha csak egy szabályozó kört alkalmazunk.

Rendszertechnikai lehetőségek egy szabályozó kör alkalmazása esetén

Egy szabályozó kör esetén meg kell találnunk azt a jellemzőt, amire szabályozva az adott célra optimális megoldást kapjunk.

Az 1. ábrán feltüntettünk három lehetséges jellemzőt (A, B, C, betűkkel jelölve), amelyekre elvégezzük a stabilitásvizsgálatokat. Vizsgálatunkat a 2. ábrán látható egyszerű modell alapján végezzük. Az ábrán koncentráltan egy-egy ellenállással modellezve tüntettük fel a primer és szekunder oldali veszteségeket. A kapcsolót, az AC–DC átalakítót és a transzformátort ideálisnak tekintjük. Az ábrán az R_p ellenállás a primer oldali ohmos veszteségeket – beleértve a transzformátor veszteségét is – és a kapcsoló veszteségét modellezi. R_1 és R_2 a kimenetek szekunder oldali ohmos veszteségét és az egyenirányítók veszteségét modellezi. A transzformátor szórt induktivitásának hatását elhanyagoljuk. Feltételezzük továbbá, hogy a terhelések áramgenerátor jellegűek, vagyis ha változik a kimenőfeszültség, az a terhelő áramot nem változtatja meg. A modell vizsgálata alapján az alábbi következtetéseket vonjuk le.



2. ábra.

Elsőként azt az esetet nézzük meg (minden matematikai analízis nélkül), amikor a szabályozó jelet a bemenőfeszültségből nyerjük, vagyis közvetlenül a bemenőfeszültséget figyeljük (1. ábra A jelű vezérlőjel.) Ha a kimenetek terhelése nem változik, akkor a bemenőfeszültség-változás hatása látszólag kiküszöbölhető. Sajnos ez nem teljesen igaz, mert a primer oldali veszteség változik a kitöltési tényező függvényében. A terhelésváltozás hatására a kimenőfeszültség változik. Bár elvileg használható módszer lenne kis stabilitásigény esetén és közel állandó terhelés mellett, önmagában nemigen használható megoldás.

Ha egy, a többi kimenettől független, állandó terhelésű kimenetről visszacsatolunk, akkor a szabályozási hurok a visszacsatoló tekercs feszültségét állandó értéken tartja (1. ábra B jelű visszacsatolás).

Határozzuk meg a kimenetek feszültségének megváltozását a 2. ábra modellje alapján. A modell alapján a kimenetek feszültségei a következők:

$$U_1 = p \cdot n_1 (U_p - I_p R_p) - R_1 I_1, \quad (1)$$

$$U_2 = p \cdot n_2 (U_p - I_p R_p) - R_2 I_2,$$

ahol $n_1 = \frac{N_1}{N_p}$; $n_2 = \frac{N_2}{N_p}$ a transzformátor áttételei,

$$P = \frac{t_{on}}{T} \text{ az impulzus kitöltési tényezője,} \quad (2)$$

$$I_p = \frac{I_1}{n_1} + \frac{I_2}{n_2} \text{ a primer áramimpulzus értéke.}$$

Tekintsük az U_1 feszültségű kimenetet a szabályozóágnak vagyis biztosítsuk az $I_1 = \text{áll.}$ feltételt. Határozzuk meg az U_2 feszültségű kimenet (amely a tényleges kimeneteket modellezi) feszültségének megváltozását, ha a bemenőfeszültség (U_p) és a terhelő áram (I_2) megváltozik ΔU_p , ill. ΔI_2 értékkel. A feszültségmegváltozást a kimenőfeszültség-függvény teljes differenciáljából nyert hibafüggvénnyel határozhatjuk meg. A szabályozás miatt mind a bemenőfeszültség, mind a kimeneti áram megváltozása a kitöltési tényező megváltozását eredményezi, ezért ennek a hatását is figyelembe kell venni.

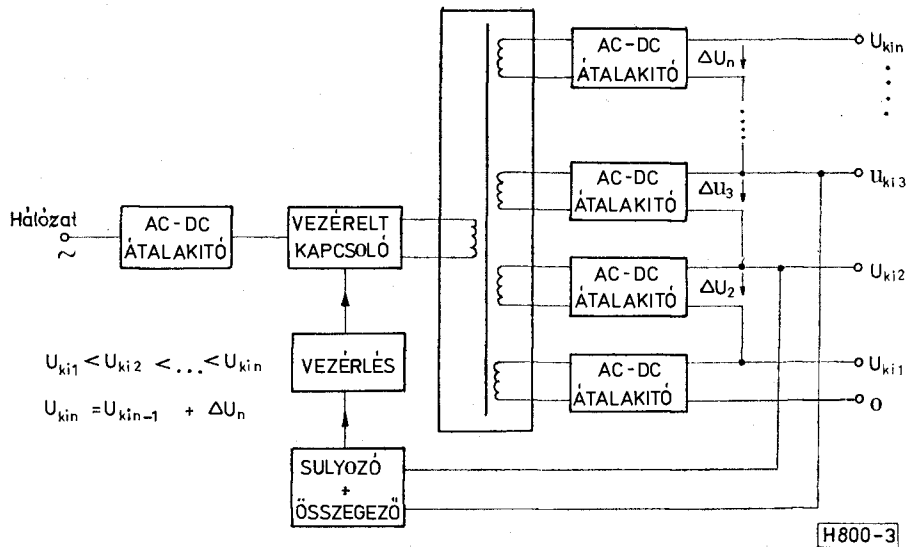
A hibafeszültség a fentiek alapján a következő:

$$\begin{aligned} \Delta U_2 = & \frac{\partial U_2}{\partial U_p} \cdot \Delta U_p + \frac{\partial U_2}{\partial P} \cdot \frac{\partial P}{\partial U_p} \cdot \Delta U_p + \\ & + \frac{\partial U_2}{\partial I_2} \cdot \Delta I_2 + \frac{\partial U_2}{\partial P} \cdot \frac{\partial P}{\partial I_2} \cdot \Delta I_2. \end{aligned} \quad (3)$$

A számítások elvégzése után, amit nem részletezünk, a következő eredményt kapjuk:

$$U_2 = -R_2 \Delta I_2. \quad (4)$$

Vagyis egy állandó terhelésű kimenetre (szabályozóág) szabályozva, a bemenőfeszültség-változás hatása a többi kimeneten sem jelentkezik. Ugyanakkor a kimenetek terhelésváltozásra történő megváltozását is korigálja kismértékben. A terhelés-



3. ábra.

változás hatásából adódó instabilitásnak azt a részét szabályozza ki, amely a primer oldali áram megváltozásából adódik. A kimenetek feszültségváltozása arányos saját kimenő áramuk megváltozásával. Az arányossági tényező a szekunderkör veszteségi ellenállása. A kedvezőbb stabilitási értékek érdekében törekedni kell a szekunder oldali veszteségek minimálisra csökkentésére. A kimenetek stabilitása elérheti a 10...30%-ot az átvitt teljesítménytől függően. Ezt a megoldást általában olcsó, közvetlen hálózati tápegységekben alkalmazzák, pl. tv-vevők tápegysége [1]. Előfordulhat, hogy a független kimenet — amelyikre a szabályozás történik — a vezérlés energiaellátását biztosítja.

Az egyik hasznos kimenetről történő visszacsatolás hatására (1. ábra C jelű visszacsatolás) a szabályozott kimenet feszültségére mind a bemenőfeszültség, mind a terhelésváltozás teljesen hatástalan.

A szabályozatlan kimenetek feszültségének megváltozását, hasonlóan mint az előbb, modellezhetjük az U_2 feszültségű kimenet feszültségének megváltozásával. Az eltérés az előbbihez képest az, hogy most a szabályozott kimenet árama is változik (I_1), ami szintén maga után vonja a kitöltési tényező megváltozását.

Ezek alapján a kimenőfeszültség megváltozása a következőképpen írható fel:

$$\Delta U_2 = \frac{\partial U_2}{\partial U_p} \Delta U_p + \frac{\partial U_2}{\partial P} \cdot \frac{\partial P}{\partial U_p} \cdot \Delta U_p + \frac{\partial U_2}{\partial I_1} \Delta I_1 + \frac{\partial U_2}{\partial P} \cdot \frac{\partial P}{\partial I_1} \Delta I_1 + \frac{\partial U_2}{\partial P} \cdot \frac{\partial P}{\partial I_2} \Delta I_2 + \frac{\partial U_2}{\partial I_2} \Delta I_2. \quad (5)$$

A műveleteket elvégezve azt kapjuk, hogy:

$$\Delta U_2 = R_1 \frac{n_2}{n_1} \Delta I_1 - R_2 \Delta I_2, \quad (6)$$

vagyis a szabályozott kimenet terhelésváltozása a

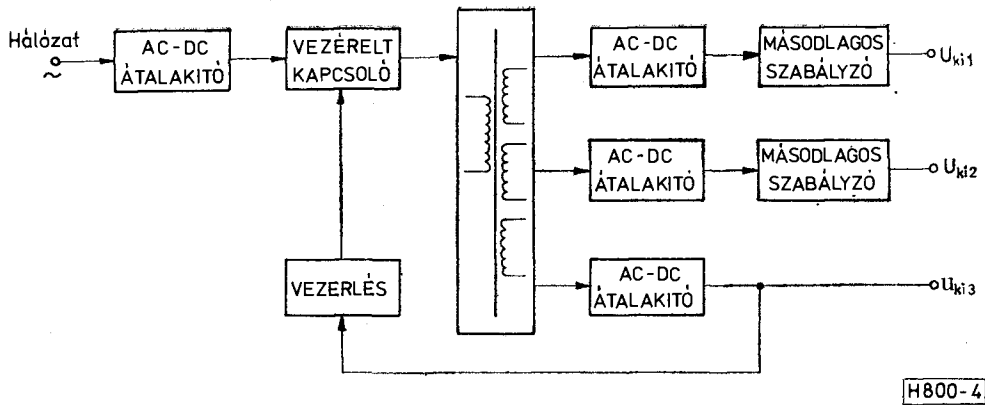
többi kimenet feszültségének jelentős megváltozását okozza. Emellett a szabályozatlan kimenet áramának változása miatt is változik a kimenőfeszültség. Nagy terhelésváltozás esetén ez elérheti az 50%-ot is. Nem túl nagy terhelésváltozás esetén a rendszerrel elérhető, hogy a szabályozatlan kimenetek stabilitása 10...30% legyen. A rendszer leginkább olyan felhasználási területre alkalmas, ahol egy nagy stabilitásigényű, nagy teljesítményű kimenet mellett kis teljesítményű és kis stabilitásigényű kimenetre is szükség van. Ilyen lehet pl. egy TTL logikával felépített rendszer kombinálva analóg áramkörökkel.

A (4) és (6) kifejezésekkel számított eredmények és a valóságos adatok között eltérésre kell számítanunk. Az eltérés egyrészt abból adódik, hogy az alkalmazott elemek nem lineárisak, így a veszteségi teljesítmények ellenállással történő helyettesítése csak jó közelítés lehet. Másrészt — és ez adja a jelentősebb eltérést — elhanyagoltuk a transzformátor szórt inuktivitásainak hatását, ami miatt a számított értéknél rosszabb stabilitás érhető el. Ez okozza azt, hogy a bemenőfeszültség változásának hatására is változik a kimenőfeszültség.

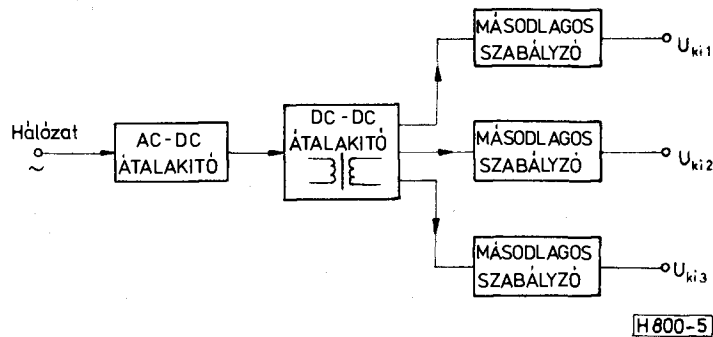
Kedvező stabilitás érhető el valamennyi kimeneten a 3. ábrán bemutatott rendszerrel, amelyet [2] ismertet részletesen. A különböző kimenőfeszültségeket „feszültséglépcsők” soros kapcsolásával állítjuk elő. A feszültséglépcsők értékét a szükséges kimenőfeszültségek különbsége adja. Minden egyes feszültséglépcsőt független tekercs és egyenirányító alkalmazásával állítunk elő.

A szabályozás nem egy kitüntetett kimenetre történik, így nincs nagy stabilitású kimenőfeszültség.

Két megfelelően kiválasztott kimenetről megfelelő súlyozás és összegzés után kapott jellel visszacsatolva érhető el, hogy valamennyi kimenet stabilitása 5 — 10 %-on belül legyen. A rendszer hátránya, hogy a kis feszültségű kimeneteken a nagyobb feszültségű kimenetek árama átfolyik, és ezért azokat túl kell méretezni. Előnye az egyszerű, olcsó felépítés melletti igen jó stabilitás valamennyi kimeneten.



4. ábra.



5. ábra.

Rendszertechnikai lehetőségek több szabályozókör alkalmazása esetén

Mint már említettük csak az a kimenet stabil, amit szabályozunk, ezért minden nagy stabilitásigényű kimenetre szabályozókört kell kialakítani. Erre több lehetőség van. Az egyik igen gyakori rendszer [3] tömb vázlata látható a 4. ábrán.

A közvetlen hálózati tápegység egyik kimenetére történik a szabályozás, és a többi kimenet stabilizálásához másodlagos szabályozókat alkalmazunk. A rendszert főképp olyan esetekben célszerű alkalmazni, amikor egy kimeneten nagy a teljesítményigény, míg a többi kimeneten jóval kisebb teljesítményt kell átalakítani. Ez utóbbi kimenetek feszültségátalakítása ugyanis a kétszeres átalakítás miatt lényegesen rosszabb hatásfokkal lehetséges. Amennyiben a nagy stabilitású kimenetek teljesítményigénye közel azonos, célszerű az 5. ábrán látható rendszert alkalmazni. Ez az előzőtől annyiban tér el, hogy nincs kitüntetett fő kör, hanem minden kimenetet másodlagos szabályozók stabilizálnak [4]. A hálózati DC-DC átalakítót is célszerű szabályozni, hogy a másodlagos szabályozók bemenőfeszültsége ne na-

gyon változzék. Ez kedvezően befolyásolja a másodlagos szabályozók hatásfokát. Kétszeri átalakítás miatt az összh hatásfok eléggé kicsi ennél a rendszer-nél, ezért kisebb teljesítményigények esetén célszerű alkalmazni.

Írásunkban nem törekedtünk teljességre, nem mutattunk be minden lehetséges rendszertechnikai megoldást, ez szinte lehetetlen volna. Célunk az volt, hogy az alapszerek bemutatásával felhívjuk a figyelmet a tápegység rendszertechnikai kiválasztásának fontosságára.

I R O D A L O M

- [1] G. V. Schaik: An introduction to switchedmode power supplies in tv receivers. MULLARD Technical Communications, July 1977 Vol. 14. N. 135
- [2] Girish G. Johari: Regelungsverbesserung für Chopper-Netzteil mit mehreren Stufenausgängen. Solid-State Power Conversion Conference, 1979. München
- [3] Dilip A. Amin—Thane Kriegel: A Multiple-Output Switching Power Supply for Computer Applications. Hewlett-Packard Journal, July 1979
- [4] High Efficiency Switching Power Supplies. RO Catalog, 1979.