

Nagyteljesítményű gyorskapcsoló tranzisztorok meghajtó és kapcsolásiveszteség-csökkentő áramköreinek tervezése

HALÁSZ FERENC
HIKI

A cikk célja, hogy rövid betekintést adjon a korszerű teljesítményátalakítók működését alapvetően befolyásoló, úgynevezett kiegészítő áramkörök működésébe.

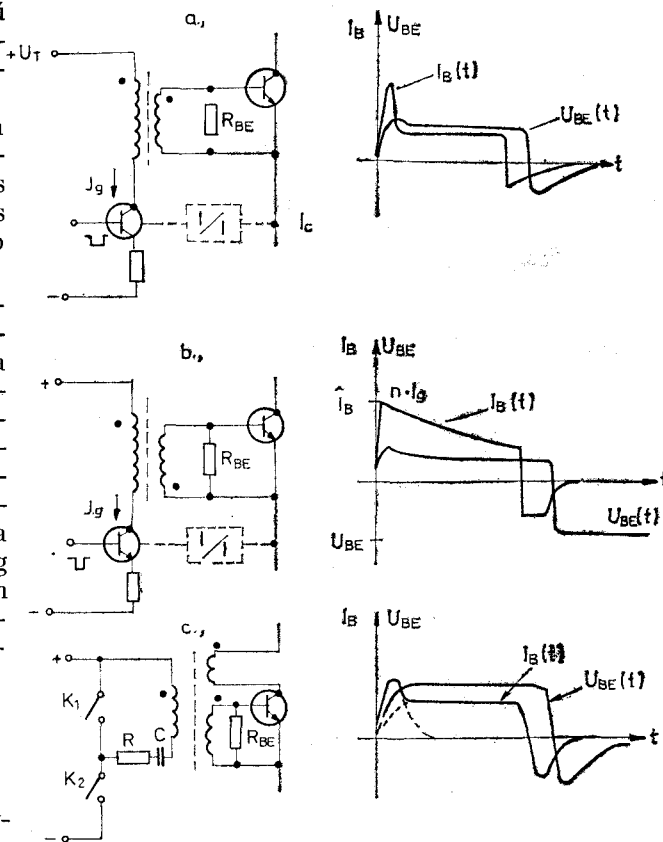
Ezen áramkörök helyes méretezése és alkalmazása esetén a teljesítményátalakító üzeme szélsőséges esetekben is (magas környezeti hőmérséklet, áram- és feszültségtranziensek együttes fellépése) biztonságos marad. Nem következnek be „rejtélyesnek” látszó meghibásodások.

Az üzembiztonság növekedését több tényező javításával tudjuk elérni. Némely ezek közül önmagában is jelentős előnnyel jár azon túlmenően, hogy a megbízhatóságot is növeli. Így például, ha csökkentjük az átkapcsolási veszteségeket, akkor nő a hatásfok, csökken a kapcsoló elem hőmérséklete, „egyszerűbb”, olcsóbb kapcsoló tranzisztorokat alkalmazhatunk. Ezen előnyök következtében kisebb hűtőfelületet lehet alkalmazni, a készülék konstrukciója egyszerűsödik. A felsorolt előnyöket nem mindig a bonyolultabb megoldások alkalmazásával, hanem az egyébként is szükséges elemek (pl. transzformátorok) optimális kivitelével vagy megfelelő méretezésével (pl. RC tagok) tudjuk elérni.

1. A gyakorlatban elterjedt meghajtó áramkörök

A legtöbb esetben a kapcsoló üzemi teljesítményátalakítók galvanikus kapcsolatban vannak a hálózattal. A teljesítményátalakítót vezérlő áramkörök viszont a szabályozott jellemzővel (U_{ki} , I_{ki}) kapcsolatosak, amelyre gyakran kívánalom a hálózattól való galvanikus elválasztás. Így a szabályozási körben leválasztást kell alkalmazni, amely legtöbbször a meghajtó áramkörben valósul meg. Ennek a megoldásnak számos előnye van, így mi is csak ilyen meghajtó áramkörökkel foglalkozunk. Mielőtt azonban rátérnénk tárgyalásukra, felhívjuk a figyelmet két irodalomra, amely a kapcsoló üzemi működés ideális vezérlő jelalakjait is tárgyalja [1, 2].

A meghajtó áramkörök működési elvük szerint három csoportba sorolhatók. E megoldásokat szemlélteti az 1. ábra.



H782-1

1. ábra. Meghajtó áramköri változatok a jellemző áram-feszültség jelalakokkal

Az első (1a) megoldásban a tranzisztor bekapcsolása a meghajtó tranzisztorral egyszerre történik. A bázisáram értékét egy visszacsatolás segítségével módosíthatjuk. A kezdeti, bekapcsolási áramlökés az áramgenerátor vezérlésével megoldható.

Kikapcsoláskor a kihúzó bázisáramot a transzformátor mágnesező árama, valamint a B–E ellenállás biztosítja. A szünetidő alatt a transzformátor le-mágnesezését a B–E ellenállás segítségével végezzük.

Látszólag teljesen azonos megoldást tüntettünk fel az 1b ábrán. A lényeges különbség azonban a működés időbeni leírásából tűnik ki.

A meghajtó transzformátor primer oldali áramgenerátora a transzformátor mágneses energiáját növeli. A szekunder oldal bekötése olyan irányú, hogy a növekvő mágnesező áram által indukált feszültség a kapcsoló tranzisztort lezárja, negatív B–E feszültséget hoz létre.

Ha a primer oldali áramot megszakítjuk, az áram megfordul a szekunder körben, mivel az ellentétes irányú indukált feszültség nyitja a B–E átmenetet. Ennek hatására a tranzisztor vezetni kezd. A kollektoráram figyelésével itt is módosíthatjuk a bázisáramot, de annak csak a kezdeti értékét. A bekapcsolási szakaszban a bázisáram nem befolyásolható a primer oldalról.

A harmadik megoldás (1c) érdekes ötleten alapul [3, 4]. A bázisáramot nem a meghajtó transzformátor primer oldaláról kapjuk, hanem a kollektorkör áramát transzformáljuk a B–E körbe. Energiára csupán a bekapcsoláskor és a kikapcsoláskor van szükség.

A bekapcsolás a K2 kapcsoló bekapcsolásával kezdődik. A primer oldali soros RC tag töltő árama áttranszformálódik a szekunder oldalra és nyitja a B–E diódát. A meginduló kollektoráram a vezetési további részében az áramváltón keresztül fenntartja (mindig arányosan!) a bázisáramot. Kikapcsolásakor a pozitív visszacsatolást kell „legyőznünk” a vezérlő tekeres ellenkező irányú előfeszítésével. Ezt KI kapcsoló bekapcsolásával érjük el.

A szünetidőben a C kondenzátor kisül, a transzformátor lemágnesesződése változó negatív feszültséget kényszerít a B–E diódára.

A három variáció közül egyszerűségét és kedvező nyitó, illetve záró irányú tulajdonságait figyelembe véve az 1b megoldást tartjuk optimálisnak olyan alkalmazásokban, ahol a kollektoráram burkológörbéjének változása a bekapcsolási időtartam alatt elhanyagolható (pl. egyes tápegységekben).

Az alapkapcsolást telítésgátló diódákkal kiegészítve elhagyhatjuk a kollektoráramot figyelő részt. Meg kell említeni viszont, hogy az áramkör ilyenkor fogyaszt a legtöbbet, hiszen a maximális üzemi kollektoráramhoz is elegendő bázisáramot kell a primer oldalról biztosítani.

A telítésgátlás hatására lecsökken a tárolási idő, amely a gyors védelmek hatásosságát növeli. A tárolási idő alatt ugyanis semmiféle védelem nincs, hiszen a kikapcsolásra irányuló vezérlő jel ez alatt az idő alatt fejt ki hatását. Kedvezőtlen esetben a tárolási idő a periódusidőnek 10–20%-át is kiteheti, tehát a működés 10–20%-ában semmiféle védelem nincs. Ez viszont megengedhetetlen egy nagy megbízhatóságú berendezésben.

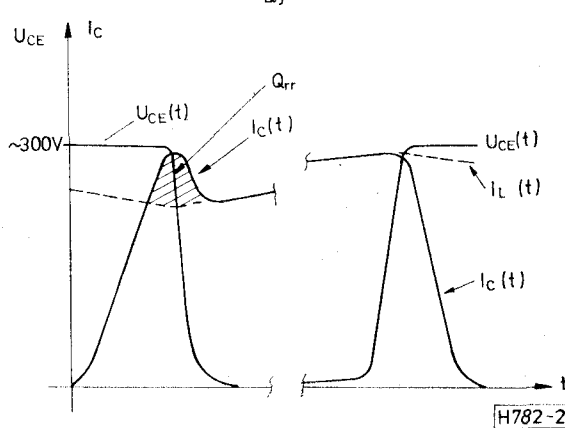
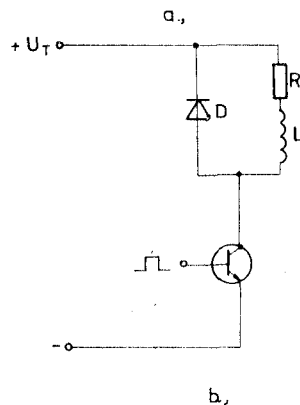
A transzformátor méretezésénél figyelembe veendő szempontok:

– a maximális gerjesztésnél a vasmag ne telítődjön, vagyis:

$$I_{\text{B}} \cdot \frac{B_{\text{max}} \cdot A_{\text{q}}}{A_{\text{L}}} <$$

– a bekapcsolási idő végén is biztosítani kell a tranzisztor telítésbe vezérléséhez szükséges bázisáramot

$$I_{\text{B}} \cdot \frac{U_{\text{sek}} \cdot t_{\text{be max}}}{L_{\text{sek}}} \cong \frac{I_{\text{C}}}{B_{\text{min}}}$$



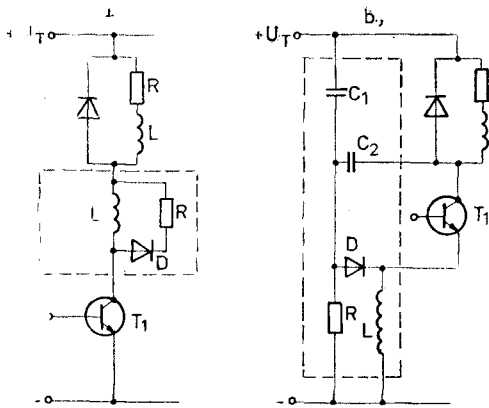
2. ábra. Kapcsoló üzemi teljesítmény átalakítók egyszerűsített kapcsolási rajza és jellemző jelalakjai

2. Kapcsoló tranzisztorok biztonságos működési tartománya, a kapcsolásivesztés-csökkentő áramkörök hatása

Egyes félvezetőgyártók a kifejezetten kapcsoló üzemi működésre szánt tranzisztoraikra megadják a nyitó és záró irányú előfeszítés mellett a biztonságos működési tartományt. Ezek a tartományok a maximális áram, feszültség, disszipáció és a „második letörési” tartomány által határoltak. Impulzus üzemi igénybevétellel általában nagyobb területet használhatunk ki.

Üzem közben a legrövidebb időtartamra sem szabad az előbbi tartományokból kilépni. Ezt megfelelő tranzisztortípus kiválasztásával és átkapcsolásivesztés-csökkentő áramkörök felhasználásával érhetjük el.

A teljesítményátalakító kapcsolások nagy része visszavezethető a 2. ábrán látható kapcsolásra. Rövid elemzés után láthatjuk, hogy a veszteségek jelentős része az átkapcsolások idején keletkezik. Ez önmagában még nem okoz gondot, ha megfelelő lehűtést alkalmazunk. A nagyobb baj az, hogy a kapcsoló tranzisztor igen nagy pillanatnyi disszipációnak van kitéve, ez pedig csökkenti a megbízhatóságot, különösen magas környezeti hőmérséklet esetén. A kapcsolásivesztés-csökkentő áramkörök alkalmazásával a kapcsoló elem az áram- és feszültségváltozás éleit időben úgy eltoljuk, hogy lényegesen lecsökken a disszipáció. Az összes veszteség eset-



$$\frac{U_T}{L} \geq t_r(T_1)$$

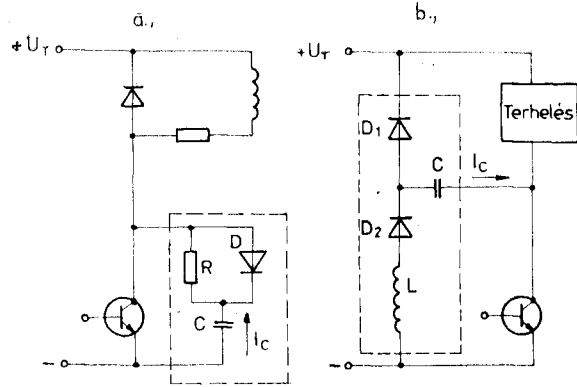
$$3 \frac{L}{R} < t_{off}$$

$$\Delta \hat{U}_{off} = \hat{I}_c \cdot R$$

$$t_{on \min} \geq \pi \sqrt{LC_e}$$

$$t_{off \min} \geq 3 \frac{L}{R}$$

H782-3



$$t_{on} \geq 3RC$$

$$f(I_c) \text{ exp. jellegű}$$

$$P_R = \frac{1}{2} C U_c^2 \cdot f$$

$$P_R \gg R_{knölt}$$

$$t_{on} \geq \left. \begin{array}{l} \\ t_{off} \geq \end{array} \right\} \pi \sqrt{LC}$$

$$f(I_c) \text{ -sin. jellegű}$$

$$R_{knölt} = \frac{1}{T} \int U_{CE \text{ sat}} I_c \cdot V_{CE} dt$$

H782-4

3. ábra. Bekapcsolásivesztés-csökkentő áramkörök

4. ábra. Kikapcsolásivesztés-csökkentő áramkörök

leg még növekszik is, de a hő most már nem a félvezetőt, hanem pl. egy ellenállást melegít. Ez már lényeges előny, és az alkalmazás mellett szól.

Az átkapcsolási veszteségek csökkentésének másik módja az időtartam csökkentése, amit a meghajtással érhetünk el [2]. A 3. ábrán két bekapcsolási veszteségcsökkentő kapcsolást mutatunk be, amelyek közül a *b* változat a kikapcsolásnál is előnyösen viselkedik.

Fő jellemzőjük, és ez minden hasonló jellegű megoldásra igaz, hogy hatásos működésük egy bizonyos korlátot szab a kikapcsolási, illetve a bekapcsolási időre. Ha a működés folyamán ezen időhatárokat túllépjük, akkor nem számíthatunk biztonságos működésre. A legtöbb esetben azonban könnyen teljesíthetjük ezeket a feltételeket. A vázolt bekapcsolásivesztés-csökkentő áramkörök egy alkalmas nagyságú energiamentes induktivitás bekapcsolásával a kezdeti szakaszban felveszik a feszültséget, majd az áram névleges értékre növekedésével egyre kisebb feszültség esik rajtuk. A mágneses energiát a szünetidőben egy ellenálláson hővé alakítják.

Ezek a kapcsolások főleg olyan alkalmazásokban hasznosak, ahol a teljesítménykör szórt induktivitása kicsi, vagy ha a terhelésnek jelentős kapacitív összetevője van.

Előnyösebbek azok a teljesítményátalakító kapcsolások, amelyek a beépített vagy a szórt induktivitások mágneses energiáját nem hővé alakítják, hanem visszatáplálják. E kialakítások főleg a nagy teljesítményű (500 W–2 kW) átalakítóknál elkerülhetlenek.

A 4. ábrán két kikapcsolásivesztés-csökkentő megoldást láthatunk.

Az egyik (4a) változat hagyományosnak mondható, egy kondenzátor töltőárama veszi át a kapcsoló kikapcsolásakor az áramot. A feszültségváltozás meredekségét a kondenzátor nagyságával tudjuk befolyásolni. A tranzisztor bekapcsolásakor az előzőek-

ben feltöltött kondenzátor az *R* ellenálláson keresztül kisül.

A Knöll-féle megoldásban (4b) szintén a bekapcsolási szakasszal kezdődik a folyamat. A kondenzátor az *L* induktivitásnak teljesen átadja energiáját, majd ismét átveszi, de most már fordított irányú feszültség formájában. Így a kezdetben tápfeszültségre feltöltött kondenzátor fél periódusidő alatt elvileg veszteségmentesen átpolarizálódik. A kikapcsoláskor ez az energia a terhelésre jut, így a teljes energiát hasznosítjuk. Ez a megoldás rendkívül előnyös ott, ahol nagy áramokat kell a tranzisztorok kapcsolni, emiatt az átkapcsolásivesztés-csökkentő áramkörben nagy kapacitású kondenzátorokra van szükség. Több kiviteli alakja szabadalmaztatott megoldás.

Összefoglalva, a kapcsolási veszteségek csökkentése a megbízhatóságot növeli. Többféle megoldást választhatunk, de mindenképp tanácsos a teljesítményátalakító ezekkel az áramkörökkel együtt kialakítani. Kisebb teljesítmények esetén (100 W–500 W) általában elegendő a veszteséges megoldások alkalmazása. E teljesítményszint felett azonban fontos szempont, hogy a teljesítményátalakító típusa olyan legyen, hogy kizárja a káros feszültségtranziensek keletkezésének lehetőségét, az átkapcsolásivesztés-csökkentő áramkörök pedig valamilyen módon visszaadják a felhalmozott energiát. A vezérlés alkalmas kialakításával tegyünk eleget a be- és kikapcsolási idő minimumára előírt feltételnek. A tranzisztorot igyekezzünk a lehető legalacsonyabb hőmérsékleten tartani, mert magas réteghőmérsékleten a nehézségek hatványozottan jelentkeznek.

I R O D A L O M

- [1] Kocsis M.: Félvezetős impulzustechnika. Műszaki Könyvkiadó, 1973. Budapest
 [2] W. Hettterscheid: Base Circuit Design for High-

Voltage Switching Transistors in Power Converters. Mullard Tech. Comm. No. 124. 1974

- [3] MBLÉ: Switched mode Power Supplies (katalógus)
[4] Pollak Mercer: Switching transistor drive apparatus. U. K. Pat. No.: 1.516.695

[5] K. Rischmüller: Hochvolttransistoren als Chopper am 380/420 V Netz. Powerconversion. '79 PC. 79.8.3.

[6] H. Knöll: Schaltbetrieb von Leistungstransistoren. Technische Akademie, Esslingen, 1978. szept.
