

DC-DC konverter kétpontos emissziómérőhöz

Dr. Simoncsics László okl. villamosmérnök (simoncsics.laszlo@t-online.hu)

A csőmérőkről szóló sorozat keretében a kétpontos emissziómérő építési leírása a *Rádiótechnika* 2008. júniusi számában [1] jelent meg. A cikk megjelenése után született meg az igény egy telepes táplálású, kétpontos emissziómérő ismertetésére. Ehhez szükség volt egy DC-DC konverterre, amely egy 12 V-os akkumulátor felhasználásával a szükséges fűtőfeszültséget biztosítja, ennek felépítése hasonló a *Rádiótechnika Évkönyve* 2007-ben leírt csőmérő tápegységében alkalmazotthoz, csak ez annak javított változata [2]. A cikkben segítséget kívánunk nyújtani hasonló üzemű DC-DC konverterek más alkalmazásban történő tervezéséhez.

Régi elektroncsöveket ma már főleg használtcikk piacokon és különféle börszéken lehet kapni. Ezek ára folyamatosan kúszik felfelé, ezért ajánlatos egy hordozható csőmérővel felszerelkeznie annak, aki ilyeneket szeretne vásárolni. A fűtőszál meglétének ellenőrzését ugyan egy multiméterrel még el lehet végezni, de a cső többi paraméterére – főleg az emissziót illetően – nincs semmi garancia, a vásárlás után reklamációra pedig ilyen helyen kevés lehetőség adódik.

Tapasztalatom szerint az emisszió ellenőrzésének legegyszerűbb és mégis megbízható módja az ún. kétpontos mérés, aminek részletes indoklását megtalálja az olvasó az említett cikkben. Ennek lényege a követ-



kező: a katalógusban megadott feszültségértékkel felfűtjük a csövet, alacsony, 2-3 V anódfeszültséget adunk rá úgy, hogy egy – az elektródákra kapcsolt – néhány milliampere érzékenységgű műszer végkiterésbe álljon. Ezután lecsökkentjük a fűtőfeszültséget a katalógusérték 60%-ára, amennyiben nem csökken az elektródaáram (katódaáram) a felénél kisebb értékre, akkor a cső még jó, 10% és 50% között gyenge, ez alatt használhatatlan.

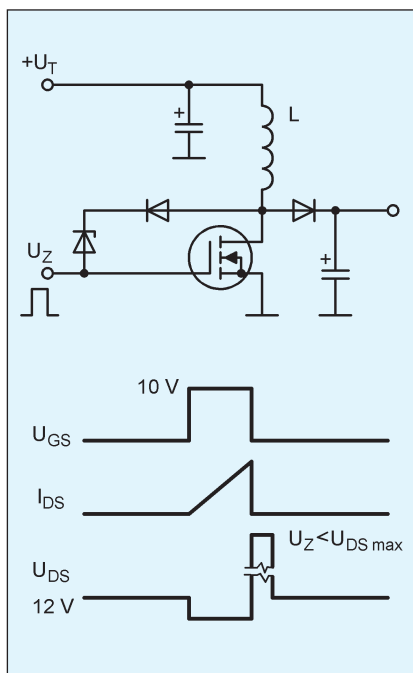
Hálózati táplálású műszernél a fűtőfeszültség csökkentését igen egyszerű módon, a primerterkerics menetszámának növelésével meg tudtuk oldani, bármennyi volt is a kiinduló fűtőfeszültség. Akkumulátoros táplálásnál ez a módszer nem alkalmazható, ezért a fűtőfeszültséget is mérni kell. Az emisszióméréshez szükséges alacsony feszültséget egy szabályozható kimeneti feszültségű stabilizátor IC segítségével tudjuk biztosítani.

A műszer tervezése során az egyetlen probléma volt a szabályozható fűtőfeszültséget szolgáltató, megfelelő teljesítményű és hatásfokú DC-DC konverter méretezése. A cikk nagy része ennek a munkának az ismertetését adja.

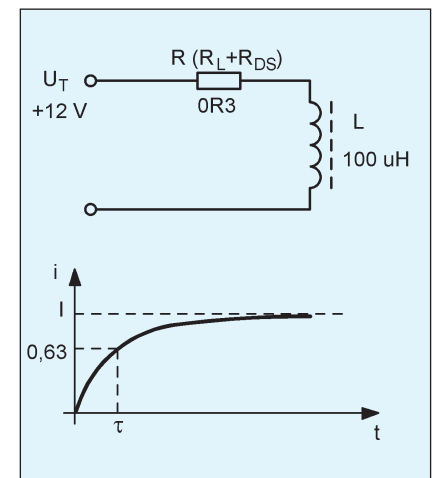
Tervezési szempontok

A félvezető feszültség-átalakítókról szóló legrészletesebb könyv [3] megjelenésének idején még nem voltak kaphatók a korszerű teljesítmény-MOSFET-ek, amelyekre a DC-DC konverterünk működését szeretnénk alapozni. Egy későbbi kiadvány [4] sajnos csak röviden foglalkozik ezek kapcsolóüzemű tápegységben történő felhasználásával. Annyit azért egy táblázatból kiolvashatunk, hogy kisebb teljesítményre (10...100 W) az együtemű, záróüzemű feszültségkonverter alkalmas, és az ilyen típusú feszültség-átalakítók nagy keresztmetszetű, légréses vasmagokat igényelnek. Minél nagyobb a légrés, annál kisebb az A_L és annál magasabb H-értékűl meggyel telítésbe (azonos anyagú és méretű vasnál).

A legnehezebb feladat a megfelelő ferrit fazékmag beszerzése, ezért ez legyen a munka első lépése! A különféle börszéken



1. ábra



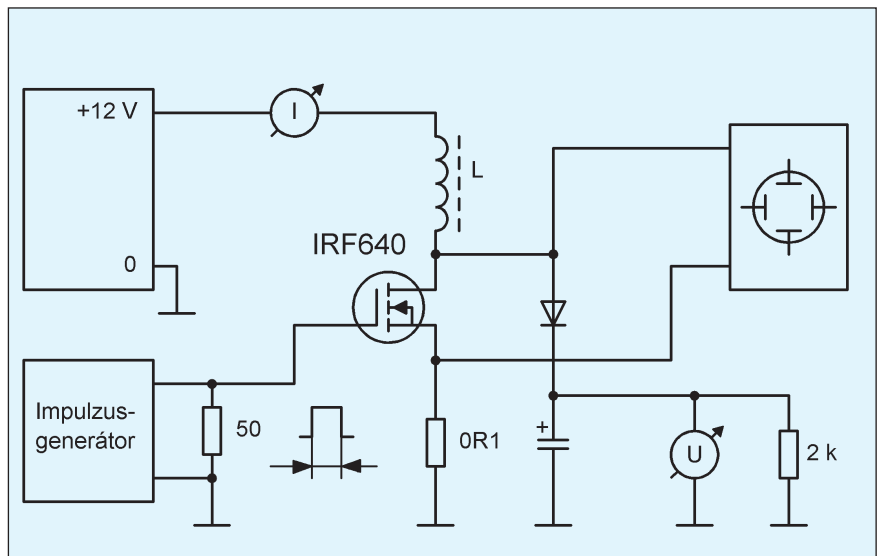
2. ábra

felbukkannak Siemens és HAGY gyártmányú fazékvasak. A mangán-cink ferrit anyagból készült fazékmagok néhány száz kHz-ig használhatók [5], és ha legalább az A_L értéket le tudjuk ezekről olvasni, akkor $A_L = 160$ -as vasból válasszunk 22 mm, $A_L = 250$ -esből 26 mm, $A_L = 400$ -asból 30 mm átmérőjűt [3], vagy ezekhez közel eső méretűt, mert a telítés függ a vasmag méretétől is. Ezután mérjük le a tekercselésre fordítható helyet a csévetesten, és számítsuk ki, hogy el fog-e férni $\varnothing 0,6$ mm-es huzalból a szükséges induktivitású primer és szekunder tekercs! Azért kell ragaszkodnunk ehhez a huzalvastagsághoz, mert – mint látni fogjuk – néhány amper csúcsáramú impulzusok folynak. A később ismertetésre kerülő megoldás alapján 100 μH primer induktivitásra számítsunk, ehhez 25, 20, és 16 menet tartozik a háromféle vason. Az induktivitás értéke az $L = n^2 A_L$ képlet segítségével számítható. Amennyiben nem fér el a tekercselés, nagyobb vasat kell választanunk. Ha nem olvasható le az A_L érték a vasról, akkor az többnyire légrés nélküli vagy idővel letörlődött. Tartsuk az összeszorított két fél fazékvasat a fény felé, látnunk kell a légrést, ezután egy 10 menetes próbatekerces, egy induktivitásmérő és az előbbi képlet segítségével az A_L értéket meg tudjuk határozni.

A záróüzemű konverter működése

Már szerepelt a [2] cikkben, de azért megismételjük. A konverter „lelkét”, a kapcsolótranszisztort és a drain-körben lévő induktivitást az **1. ábrán** tüntettük fel. Az ábrán felrajzoltuk az egyes elektródákon mérhető jelalakokat, a meghajtóimpulzust (U_{GS}), a tekercsen és a MOSFET-en folyó áramot (I_{DS}) és a nyelő feszültségét (U_{DS}).

Az n-csatornás MOSFET-et gyors fel- és lefutású impulzusokkal hajtjuk meg. $U_{GS} = 0$ V feszültségnél a tranzisztor zárva van, az R_{DS} csatorna ellenállása gyakorla-



3. ábra

tilag végtelen, I_{DS} áram nem folyik. A vezérlőimpulzus felfutása (kb. 10 V) után a tranzisztor kinyit, az I_{DS} áram az L induktivitás és az R_{DS} csatorna- és R_L tekercsellenállás által meghatározott ütemben nőni kezd, majd a meghajtóimpulzus lefutása után, amikor a tranzisztor lezár, nagy pozitív feszültséglökés jelenik meg a nyelő elektródán, mert a nyitófázis alatt a tekercsben felhalmozott energiát, – amelynek nagyságát I_{DS} és L határozza meg –, a tekercs a zárófázisban visszatáplálja. Ez az impulzus tölti a diódán keresztül a kondenzátort, ezért hívják ezt záróüzemű konverternek. Amennyiben nincs megfelelő terhelés, a feszültséglökés nagysága tönkretelheti a tranzisztort, ezért van szükség a nyelő és a kapu közötti z-diódás védőkapcsolásra, hogy a feszültség ne haladhassa meg a maximálisan megengedett U_{DS} feszültséget. Az ábra segítségével U_{DS} lefolyásából megérthetjük, hogy miért kell külön szekundertekercset alkalmaznunk (kétszeres helyfoglalás!), mert e nélkül nem tudunk a kimeneti feszültséggel U_T (12 V) értéke alá menni.

Számoljunk!

A záróüzemű konverter működését döntően az I_{DS} áram értéke és jelalakja határozza meg. Mivel ennek a számításához (a

telítést okozó H kivételével) minden adat rendelkezésünkre áll, érdemes előre egy számítást elvégeznünk.

A legtöbb elektrotechnika tankönyvben megtaláljuk a **2. ábrát** és a következő képletet [6]:

$$i = I(1 - e^{-t/\tau}),$$

ahol i a pillanatnyi, I a telítési áram értéke, t a bekapcsolás óta eltelt idő, τ az időállandó.

Az időállandó induktivitások esetében: $\tau = L/R$. Az L induktivitás kedvező értéke a tapasztalatok alapján 100 μH . Az R a körben lévő összes ellenállás, tehát a nyitott állapotban a csatornaellenállás és a tekercs ellenállása. A [7] katalógusból megtudhatjuk, hogy a választott IRF 640 típusú MOSFET $R_{DS(on)}$ értéke 0,18 Ω , a tekercs ellenállását lemérhetjük: $R_L = 0,1$ Ω , a hozzávezetések ellenállására két századot veszünk. Így az összes (egyenáramú) ellenállás $R = 0,3$ Ω . Mivel tápfeszültségünk 12 V, a telítési áram $I = 12/0,3 = 40$ A, az időállandó tehát $\tau = 100 \times 10^{-6} / 0,3 = 333$ μs . Látható, hogy 100 μs meghajtóimpulzus szélességig jóval az időállandó értéke alatt vagyunk, vagyis a görbe kezdeti szakaszán dolgozunk, ami itt egyenesnek tekinthető. A számítás eredményét az **1. táblázatban** közöljük. (Az e-ados kifejezés értékét a „scienti-

1. táblázat

t [μs]	10	20	30	40	50	60
t/τ	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18
e ^{-t/τ}	0,97	0,94	0,91	0,89	0,86	0,84
I [A]	1,2	2,4	3,6	4,4	5,6	6,4

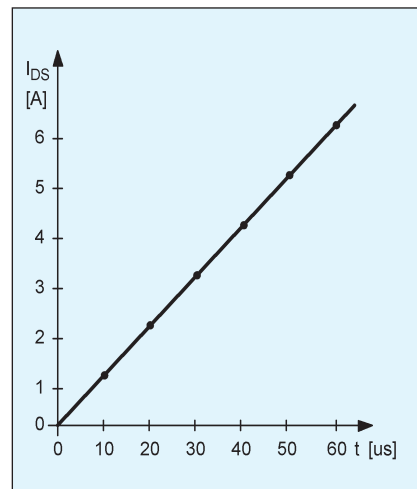
fic” számológépekkel <inv> és <lnx > gombok működtetésével tudjuk meghatározni.)

A képlet és a számolás eredménye természetesen nem veheti figyelembe a ferritmag tulajdonságait, ezért ideális görbének tekinthető. Amennyiben a mért értékek ettől eltérnek, azt a vasmag eredményezi.

Mérések

A mérőkapcsolást a **3. ábra** mutatja. A meghajtó impulzusokat egy 50 Ω kimenőimpedanciájú, állítható impulzusszélességű és ismétlődési frekvenciájú impulzusgenerátor szolgáltatja. Az IRF640 típusú MOSFET forráskörében egy 0,1 Ω-os mérőellenállás van, egy kétsugaras szkóp

mutatja egyrészt az U_{DS} jelformát, másrészt a mérőellenállás segítségével az I_{DS} áram felfutását. A terhelés 2 kΩ, amennyiben a frekvenciával a kimeneten 100 V-os egyenszintet állítunk be (5 W), és mérjük a tápegységről felvett áramot, az átalakítás hatásfokát kiszámíthatjuk. A **2. táblázatban** 8 db, különböző A_L értékű és méretű vas mérési eredményeit közöljük. A választott A_L értéke 160 – 400-ig terjed, az induktivitás 100 μH, a huzalvastagság Ø0,6 mm. A meghajtóimpulzus szélességét addig növeltem, amíg a vas telítésbe nem ment. A mérési eredményekben bizonyos hibát okoz, hogy az adott I_{DS} áramhoz tartozó impulzusszélességet és frekvenciát (helyesebben a periódusidőt) az



4. ábra

oszilloszkóp képernyőjéről olvastam le.

A **3. táblázatban** a jobb áttekinthetőség kedvéért összefoglaltuk a mért induktivitások ferritmagjainak és tekercseinek fontosabb adatait (a 2. táblázatban nem fért el minden).

A **4. ábrán** a számított I_{DS} görbe látható az idő függvényében. Kis áramoknál mind a 8 induktivitás olyan jól követi a számítás

2. táblázat

	1. M1, Ø 23 x 17 mm, $A_L=160$			2. N22, Ø 18 x 14 mm, $A_L=250$			3. M1100, Ø 28 x 23, $A_L=250$			4. 3B7, Ø 18 x 10,5 mm, $A_L=400$		
I_{DS} [A]	Imp. szél. [μs]	Frekvencia [kHz]	Hatásfok [%]	Imp. szél. [μs]	Frekvencia [kHz]	Hatásfok [%]	Imp. szél. [μs]	Frekvencia [kHz]	Hatásfok [%]	Imp. szél. [μs]	Frekvencia [kHz]	Hatásfok [%]
1	10			10			8			7,5		
2	20	25	85	22	25	81	18	28	80	15	30	83
3	30	12,5	81				26	12	78			
4	40	6,6	75				40	6,6	73			
5	55	4	73				50	4,3	70			
6	70	2,5	71				65	2,8	65			

	5. M1, Ø 22 x 13,5 mm, $A_L=400$			6. RM mag, 20 x 16,5, $A_L=400$			7. M1 Ø 22,5 x 17 mm, $A_L=400$			8. M1100, Ø 28 x 23 mm, $A_L=400$		
I_{DS} [A]	Imp. szél. [μs]	Frekvencia [kHz]	Hatásfok [%]	Imp. szél. [μs]	Frekvencia [kHz]	Hatásfok [%]	Imp. szél. [μs]	Frekvencia [kHz]	Hatásfok [%]	Imp. szél. [μs]	Frekvencia [kHz]	Hatásfok [%]
1	10			10			10			9		
2	20	22	81	20	25	73	20	25	83	18	25	83
3	30	11	78				30	11	77	28	10	81
4							40	6,6	74	40	5,8	77
5							45	5,7	63	50	4	69
6										60	3	65