

Teljesítményelektronikai ötletek – 3.

A kapcsolóüzemű tápegység bemeneti szűrőjének csillapítása

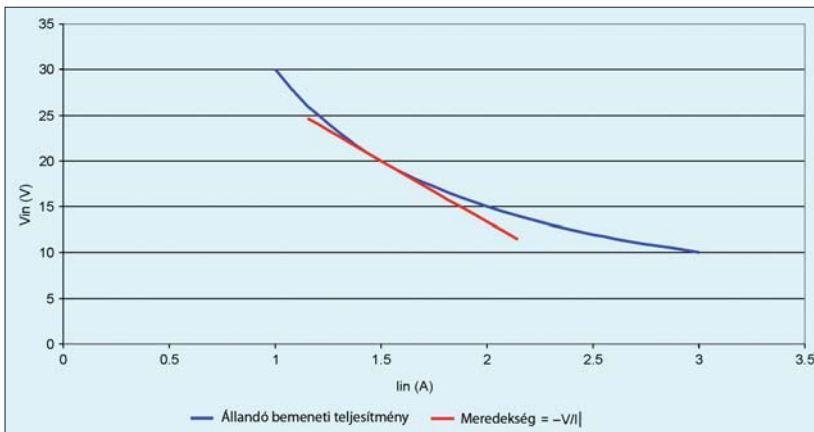
Robert Kollman – Texas Instruments

Kellő átgondolás híján még egy olyan egyszerű áramkör is okozhat kellemetlen meglepetéseket, mint egy kapcsolós tápegység bemeneti szűrője. Erre mutat példát és ajánl megoldást Robert Kollmann teljesítményelektronikai cikksorozatának következő része.

A kapcsolóüzemű feszültség szabályozókat gyakran azért választják a lineáris üzeműek helyett, mivel az előbbieket jóval nagyobb hatásfokkal képesek a bemeneti teljesítményt a terhelés által felhasználhatóvá átalakítani. Sokféle tápegység-topológia ismeretes, de ezek általában hasonlítanak egymásra abból a szempontból, hogy hatásfokuk nagyjából állandó a teljes bemenetifeszültség-tartományban. Ez azt jelenti, hogy a bemeneti teljesítményfelvétel többé-kevésbé állandó, ha a bemeneti feszültség változik is: ha a bemeneti feszültség csökken, az áramfelvétel növekszik, amint azt az 1. ábrán látható diagram is mutatja. Ennek meredeksége (amelynek fizikai tartalma a tápegység bemenete által képviselt dinamikus

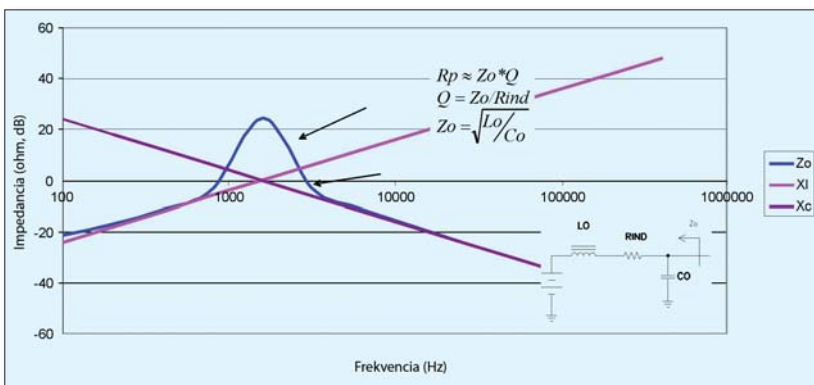
impedancia) negatív érték. Egy kis „matekkal” – a bemeneti feszültség és az áramfelvétel hányadosát kiszámítva – is igazolható, hogy a meredekség (azaz a dinamikus impedancia) negatív. Ez természetesen túlságosan leegyszerűsített modell, mivel a vezérlőhurok befolyásolja a bemeneti impedancia frekvenciafüggését. Sokszor azonban, ha áram üzemmódú vezérlést tételezünk fel, ez az egyszerűsítés megengedhető.

$$P_{in} = V \cdot I \quad V = \frac{P_{in}}{I} \quad \frac{\partial V}{\partial I} = \frac{-P_{in}}{I^2} \quad \frac{\partial V}{\partial I} = -\frac{V}{I}$$

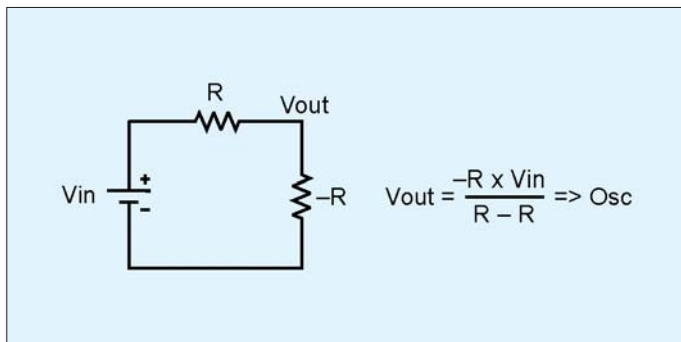


1. ábra Egy kapcsolóüzemű tápegység bemenete negatív impedanciát képvisel

2. ábra Rezonancián a szűrő rezisztív (ohmos) forrásimpedanciát képvisel



A kapcsolóüzemű tápegységeknek nem folytonos a bemeneti árama, amely szűrés híján lehetetlenné teheti akár az egész rendszer működését is. A legtöbb tápellátó rendszerbe a 2. ábrán láthatóhoz hasonló bemeneti szűrőt építenek be. A kondenzátor alacsony impedanciát képvisel a kapcsoló áramára nézve, az induktivitás pedig nagy impedanciát a kondenzátoron keletkező, hullámzó feszültségjelalakra. Ez a nagy impedancia minimálisra csökkenti a kapcsoló áramát. Ha a szűrő forrásimpedanciáját ábrázoljuk a frekvencia függvényében, látható, hogy alacsony frekvencián az gyakorlatilag megegyezik az induktív reaktanciával. A frekvencia növekedésével ez növekszik. Magas frekvencián azonban a kimeneti kondenzátor söntöli ezt az impedanciát. Közepes frekvencián azt látjuk, hogy az induktivitás és a kapacitás rezonanciajelenséget produkál, amelynek következtében a forrásimpedancia erősen megnövekszik. A legtöbb esetben a csúcserőteket úgy lehet megbecsülni, hogy kiszámítjuk a szűrő kimeneti karakterisztikus impedanciáját (Z_o), amely az induktivitás és a kapacitás hányadosának négyzetgyöke. Ez az impedancia a rezonanciafrekvencián egyenlő az induktivitás és a kapacitás impedanciájával. Ezek után vegyük figyelembe a kondenzátor ekvivalens soros ellenállásának (ESR) és a tekercs ellenállásának eredőjét, és számítsuk ki az áramkör Q jósági tényezőjét. Ezekkel és a Z_o és a Q szorzatának kiszámításával elvégezhető a forrásimpedancia csúcserőtéke becslése.

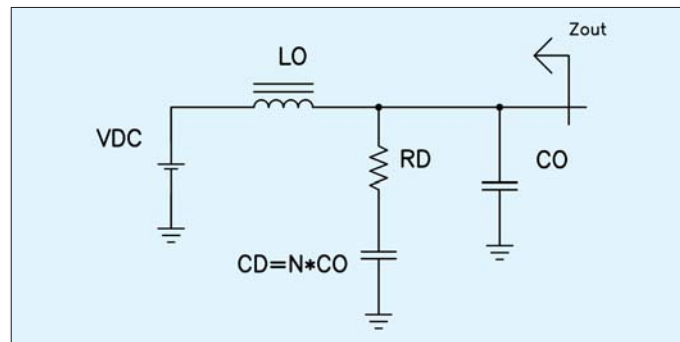


3. ábra Egy rezonáns szűrőből és egy kapcsolóüzemű tápegységből könnyen építhetünk oszcillátort

A 3. ábra mutatja a problémát. Két ellenállást látunk rajta, egyenlő értékkel, de ellenétes előjellel. Ha egy ilyen feszültségosztó osztásviszonyát ki szeretnénk számítani, nullával kellene osztani – ez arra utal, hogy a rendszer csillapítatlanul rezgő oszcillátorként viselkedik. Stabilan, rezgés nélkül működő tápellátó rendszert úgy készíthetünk, ha gondoskodunk arról, hogy a rendszer forrásimpedanciája mindig sokkal kisebb legyen, mint a tápegység bemenő impedanciája. Ennek még minimális bemeneti feszültségnél és maximális terhelésnél is teljesülnie kell, amikor a legalacsonyabb a bemeneti impedancia.

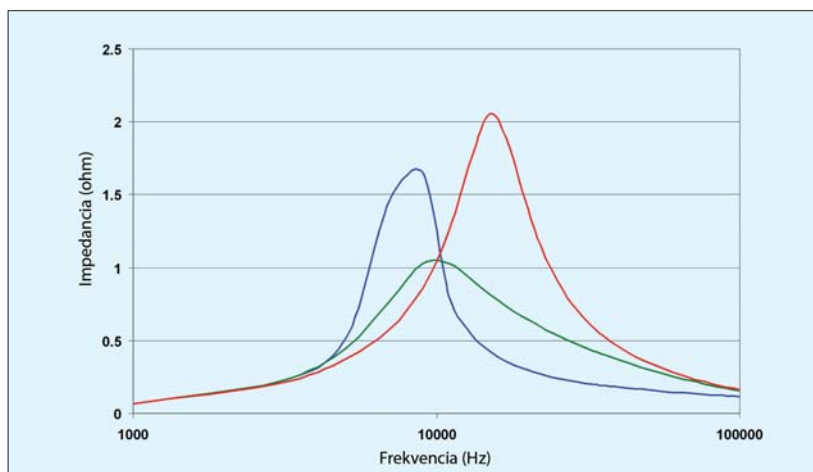
Összefoglalva tehát az eddigieket: láttuk, hogyan válhat a szűrő által képviselt forrásimpedancia fázistolás nélküli, ohmos ellenállássá, és hogyan kerülhet ez kölcsönhatásba egy kapcsolóüzemű tápegység negatív bemeneti impedanciájával. Szerencsétlen esetben ezek az impedanciák akár azonos nagyságúak és ellentétes előjelűek is lehetnek: az eredmény egy öfenntartó oszcilláció. Ennek elkerülésére általános szabályként fogalmazhatjuk meg, hogy a bemeneti szűrő forrásimpedanciája legalább 6 dB-lel legyen kevesebb (azaz legyen fele akkora), mint a kapcsolóüzemű szabályozó bemeneti impedanciájának abszolút értéke. Ezt úgy tekinthetjük, mint egyfajta „biztonsági sávot”, amely minimálisra csökkenti az esélyt az oszcilláció feltételének teljesülésére.

Egy bemeneti szűrő tervezése rendszerint egy bemeneti kapacitás (C_D) kiválasztásával kezdődik (4. ábra) azon az alapon, hogy ennek kell korlátoznia a szűrő kimeneti feszültségének hullámosságát. A következő lépés rendszerint az L_O induktivitás megválasztása, amelynek fő szempontja a megfelelés a készülékre vonatkozó elektromágneses zavarási (EMI) feltételeknek. Amint a fentiekben láttuk, a rezonancia közelében e két alkatrész eredő impedanciája nagy és bizonytalan érték, amely könnyen okozhat instabil működést. A 4. ábra módszert kínál ennek az impedanciának a befolyásolására aképpen, hogy egy ellenállásból (R_D) és egy kapacitásból (C_D) álló soros tagot kapcsolunk párhuzamosan a bemeneti szűrő kimenetével. A szűrő csillapítására elvileg egyetlen, a C_O -val párhuzamosan kapcsolt ellenállás is elég lenne, de az általa okozott teljesítményvesztés legtöbbször elfogadhatatlan mértékben rontaná a hatásfokot. Alternatív megoldás lehet az is, ha egy induktivitásból és ellenállásból álló soros tagot kapcsolunk a szűrő L_O induktivitásával párhuzamosan.



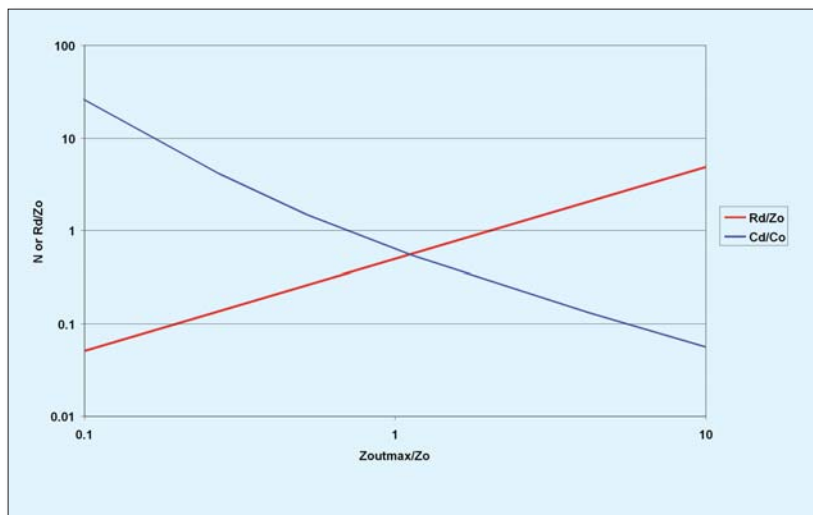
4. ábra Az R_D - C_D soros tag csillapítja a bemeneti szűrő impedanciáját

Érdekes megfigyelni, hogy ha a szűrő többi elemét már kiválasztottuk, az R_D csillapító-ellenállásnak van egy optimális értéke. Az 5. ábra mutatja a szűrő kimeneti impedanciájának változását a csillapító-ellenállás különböző értékeihez. A piros görbe azt az esetet mutatja, amikor a csillapító-ellenállás túl nagy. Ennek szélsőséges esete, ha szakadás van a helyén. Ebben az esetben az impedancia csúcserőve igen nagy, és csak a C_O és L_O megválasztásával lehet befolyásolni. A kék görbe azt az esetet mutatja, ha a csillapító-ellenállás kis értékű, szélsőséges esetben rövidzár.



5. ábra Adott C_D/C_O -arány esetén található egy optimális R_D csillapítóellenállás-értéket

6. ábra Az L_O és C_O megválasztása után az R_D és C_D értékeket a maximális megengedhető forrásimpedancia alapján e diagram szerint lehet megválasztani



Ilyenkor a rezonanciát a C_o és a C_d kapacitás összege és az L_o határozza meg. A zöld görbe mutatja az optimális csillapítás impedanciamenetét. Ezt az értéket könnyű meghatározni numerikus módszerekkel. Az. [1] irodalom zárt formulát ad a számításához.

A 6. ábra nagyon jól használható a csillapító alkatrészek értékének megválasztásához. A diagram az R.D. Middlebrook által kidolgozott, zárt formulán alapuló számítás alapján készült. Az ábra vízszintes tengelyén a csillapított szűrő és a csillapítatlan szűrő $Z_o = (L_o/C_o)^{1/2}$ kimeneti impedanciájának aránya van feltüntetve. A függőleges tengelyen két érték szerepel: a C_d csillapító- és a C_o szűrőkondenzátor aránya (N), valamint az R_D csillapító-ellenállás és a karakterisztikus impedancia aránya. Az ábrát úgy használjuk, hogy először megválasztjuk az L_o és C_o értékét a kívánt Z_o -nak megfelelően. Ezt követően megállapítjuk a bemeneti szűrő forrásimpedanciájának maximális értékét oly módon, hogy a tápegység bemeneti impedanciájának minimális értékét kettővel osztjuk (azaz 6 dB-lel csökkentjük). A tápegység minimális bemeneti impedanciája V_{inmin}^2 / P_{max} . Ebből kiszámítható a 6. ábrán látható diagram vízszintes tengelyén adódó érték. Ezután egyszerűen leolvassuk a csillapító- és a szűrőkondenzátor arányát, valamint a csillapító-ellenállás és a karakterisztikus impedancia arányát.

Példa: egy 10 μ H induktivitásból és 10 μ F-os kondenzátorból álló szűrő karakterisztikus impedanciája $Z_o = (10 \mu\text{H}/10 \mu\text{F})^{1/2} = 1 \Omega$. Ha ezzel egy olyan tápegységet szűrünk, amely 12 W maximális kimenőteljesítményt állít elő 12 V minimális bemeneti feszültségű forrásból, a tápegység bemeneti impedanciája $Z = V^2/P = 12^2/12 = 12 \Omega$. A maximális forrásimpedanciát (Z_{Smax}) célszerű ennek a felére, 6 Ω -ra választani. Keressük meg most a diagram vízszintes tengelyén a $Z_{Smax}/Z_o = 6 \Omega/1 \Omega$ értéket, és itt leolvasható, hogy $C_d/C_o = 0,1$ (azaz $C_d = 1 \mu\text{F}$), illetve $R_D/Z_o = 3$ (azaz $R_D = 3 \Omega$).

Sorozatunk következő folytatása bemutatja, hogyan lehet egy feszültségcsökkentő (buck), kapcsolóüzemű DC/DC-átalakítót egy feszültségcsökkentő/növelő (buck/boost) tápegység felépítéséhez felhasználni.

IRODALOM

- [1] R.D. Middlebrook: Design Techniques for Preventing Input-Filter Oscillations in Switched-Mode Regulators (Proceedings Powercon 5, 1978)

www.power.ti.com

<http://www.ti.com/ww/hu/cikkek-szakirodalom.html>