

DC-DC ÁTALAKÍTÓK KIMENETI FESZÜLTÉG-HULLÁMOSSÁGÁNAK CSÖKKENTÉSE

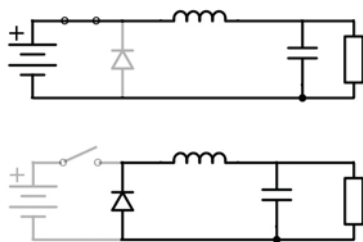
— ALACSONY SOROS ELLENÁLLÁSÚ POLIMERKONDENZÁTOROKKAL

Az integrált áramkörök táplálásához szükséges egyenfeszültséget leggyakrabban DC-DC konverterekkel állítják elő, mivel ezek a lineáris feszültségszabályzóknál jobb hatásfokúak, kisebb fogyasztásúak. Ám a nagyfrekvenciás kapcsolás a kimeneten feszültség-hullámosságot (ripple) és zajt okoz, melynek szűréséről a táplált rendszerek működésének zavartalan biztosítása érdekében gondoskodni kell. Legkézenfekvőbb megoldás a szűrőkondenzátorok használata, melyek ideális jellemzőit írásunkban részletesen tárgyaljuk. A DC-DC átalakítók kimeneti ripple-feszültségének csökkentése alacsony soros ellenállású kondenzátorok használatát igényli, erre az egyik legjobb megoldás a polimerkondenzátor, melynek a többi alacsony ESR-rel rendelkező technológiával szembeni előnyeit a Panasonic PosCap, SP-Cap és Os-Con sorozatain keresztül mutatjuk be



DC-DC átalakítók működése, a ripple-feszültség keletkezése

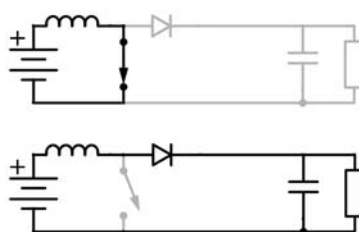
A bemeneti feszültségnél (V_{in}) a kimeneten alacsonyabb feszültséget (V_{out}) előállító DC/DC konvertereket „step-down”, vagy „buck” konvertereknek nevezi a szakirodalom. Működési elvük az 1. ábrán látható ideális áramkör segítségével értelmezhető.



Az áramköri képen látható kapcsoló reprezentálja azt a komponenst, ami a telep folyamatos le- és visszakapcsolásáról gondoskodik, és valójában egy MOSFET vagy egy IGBT. Az induktivitás az energia tárolására szolgál, a telep bekapcsolása utáni tranziens a mágneses mező felépülése folytán feszültségessést indukál, mely a terhelésre jutó feszültséget csökkenti. Ha a kapcsoló a tér felépülésének befejeződése előtt újra kinyit, a kimenetre jutó feszültség folyamatosan a telep feszültsége alatt marad. Ebben a pillanatban a flyback dióda kinyit, újra zárt áramkör jön létre, és az induktivitás mágneses

terében tárolt energia újra elektromos energiává alakul, és áramot hajt át a terhelésen. Addig, amíg a kikapcsolt állapot rövidebb, mint a tekercs mágneses mezejének leépülési ideje, a terhelésen az induktivitás folyamatos áramot hajt át, a kimeneti feszültség átlagértéke pedig a bemeneti feszültség értéke alatt marad.

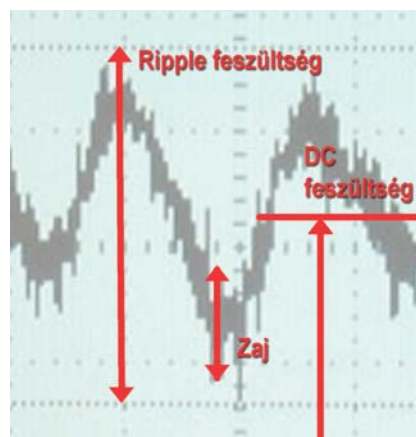
Azokat a DC/DC konvertereket, melyeknek a kimeneti feszültsége a bemeneti feszültségük felett van, step-up, vagy boost konvertereknek nevezzük. Az ideális kapcsolásuk és a működési alapelvük az alább ábrán tekinthető át.



Amikor a kapcsoló bekapcsolt állapotban van, az induktivitás elkezd töltődni, mágneses tere felépül, miközben a terhelésre jutó feszültség nulla. A kapcsoló kikapcsolásakor a tekercsben tárolt mágneses energia ismét elektromos energiává alakul, és a telep mellett másodlagos feszültségforrásként táplálja az áramkört, a diódán keresztül a telep feszültségénél nagyobb feszültséggel kezdi el táplálni a terhelést és tölteni a kimeneti kondenzátort. Amikor a kapcsoló ismét kikapcsol, a kondenzátor elkezd kiszűlni. Ha a kapcsolgatás elég gyors ahhoz, hogy a konden-

zátor a következő ciklus előtt teljesen ne süljön ki, akkor a terhelésre jutó feszültség értéke mindig a bemeneti feszültség felett marad.

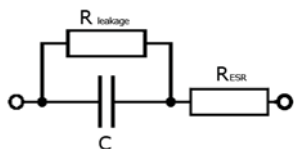
A buck és boost konverterekben a kapcsolgatás rövid idő alatti nagy áramváltozásokat okoz, ami részben a konverter kimeneti induktivitása és kapacitása, részben a parazita induktivitások jelenléte miatt folyamatos feszültségfluktuációt okoz. A kimeneti egyenfeszültség ideális DC komponensére a konverter működési frekvenciájával vagy annak felharmonikusaival egyező frekvenciájú AC komponens rakódik, ezt a jelenséget hívjuk feszültség-hullámosságnak, az AC komponens pedig ripple-feszültségnek. A nagyfrekvenciás AC komponens a nagy dI/dt folytán a konverter parazita induktivitásain keletkező zaj.



A kimeneti ripple-feszültség csökkentése

Az analóg áramkörök – mint például a teljesítményerősítők vagy szenzor IC-k, de a GPS-rendszerek RF szekciója is – nagyon érzékenyek a tápellátás zavarára. A minimális elvárás ilyen esetekben a kimeneti zajszűrő kondenzátor használata. A kondenzátor hivatott az AC komponens szűrés feladatát el látni, amihez kis egyenértékű soros ellenállásra van szükség. Minden fizikai eszköz, így a kondenzátor is véges ellenállású anyagokból készül, hiba lenne csak ideális kapacitással számolni áramköri modellezéskor. Így célszerűen bevezetésre került az ideális kapa-

citással sorba kötött, kis értékű ekvivalens soros ellenállás (ESR – equivalent series resistance), illetve a szigetelődielektrikum szivárgási jelenségét leíró, párhuzamosan kapcsolt szivárgási vagy szigetelési ellenállás (parallel leakage resistance).



Az ESR, ami nagyfrekvencián a kondenzátor váltakozó áramú impedanciája, hőmérséklet- és frekvenciafüggő értékű, mely a dielektrikum ellenállását, a kivezetések, a dielektrikum és a fegyveretek közötti kapcsolódás egyenáramú ellenállását tartalmazza, ideálisan kis érték (általában $0,01 \Omega - 0,1 \Omega$ nagyságrendű).

Minél kisebb az ESR, annál jobban működik a szűrőkondenzátor. Az általánosan használt kondenzátorokban a ripple-áramnak a megengedett legmagasabb értéke szintén fontos jellemző az alkatrész kiválasztásakor, mert eredményeképpen a kondenzátor belsejében hő keletkezik. A komponensre jellemző ESR határozza meg a teljes I^2R -vesztésüket, ami különösen fontos kapcsolóüzemű és teljesítményelektronikai alkalmazásokban. A viszonylag nagy ESR-értékkel rendelkező kondenzátorok nehezebben táplálják a külső áramkört, mert lassabban töltődnek és sünek ki. A folyékony elektrolittal rendelkező alumíniumkondenzátorok ESR-értéke az idővel egyre nő a kiszáradás miatt. Természetesen léteznek nagyon kis ESR-értékű speciális elektrolitkondenzátorok is, azonban szűrési feladatokra általában polimer-, tantál- vagy kerámia-kondenzátorokat kell választani.

Általánosságban elmondható, hogy több párhuzamosan kapcsolt kondenzátorral csökkenthető az eredő ESR-érték.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i}$$

A hagyományos, folyékony elektrolitos alumínium elektrolitkondenzátorok között is vannak viszonylag alacsony ESR-értékkel rendelkező változatok, melyek előnye olcsóságuk és nagy névleges feszültségük. Ezeknek párhuzamos kapcsolásával alacsony ESR-értékek realizálhatók. Ilyenkor azonban az alkatrészek sok helyet foglalnak el, ami a miniatürizálási trendek ellen hat. A folyékony elektrolit esetleges párolgása, a kondenzátor kiszáradása miatt az ESR-érték az élettartam során vagy magas hőmérsék-

letnek való kitettség esetén megnőhet, emiatt érdemes más megoldást keresni.

A legolcsóbb alternatíva a többretegű kerámia-kondenzátorok (MLCC) használata lehet, hiszen nagyon kis ESR-értékűek, nagy megbízhatósággal és kis mérettel rendelkeznek. Ennek a megoldásnak azonban számos hátránya lehet:

- Többféle kerámiaalapú dielektrikummal rendelkező kondenzátor (MLCC, monolit, diszk) a névleges feszültségen erősen veszít a hatásos kapacitásából. Ez a negatív jelenség elsősorban a Class2 /3 ferroelektromos, nonlineáris dielektrikumokat jellemzi, mint például az X7R, X5R, X6S, X7S, X7T, Y5v stb., míg a vezető polimer-dielektrikumú alumínium- és tantálelektrolit kondenzátorok esetén alig figyelhető meg.
- A kapacitásértékük erősen függ a környezeti hőmérséklettől is.
- A kerámia-kondenzátorok dielektrikuma piezoelektromos tulajdonsággal bír, így a méretváltozás okán gyors feszültségváltozásokkor mechanikai rezgés keletkezik, ami akusztikus zajhoz vezet.

Amikor az alkalmazásnak hosszú élettartamú, nagy kapacitású, rendkívül kis méretű, megbízható és nagy hőmérsékleten is alkalmazható kondenzátorra van szüksége, a szilárd elektrolittal rendelkező (pl. tantál) kondenzátorok helyettesíthetik a folyékony elektrolitos alumíniumkondenzátorokat. A tantál-kondenzátorok kompakt kis feszültségű polarizált áramköri elemek, az alumínium elköknél kisebb energiasűrűséggel és szűkebb toleranciával készülnek. A tantál kondenzátor nagy egységnyi méretre eső kapacitással és nagyon alacsony szivárgási árammal rendelkezik, így hosszú ideig képes töltést tárolni, mindezek mellett kiválóan viselkedik nagy hőmérsékleten is ($125 \text{ }^\circ\text{C}$). Ugyanakkora kapacitás mellett az alumíniumelektrolit kondenzátoroknál alacsonyabb ESR-érték szignifikáns előny számos alkalmazási területen. A tantálkondenzátort emellett stabil kapacitás, kis DC szivárgási áram, nagy frekvencián is kis impedancia jellemzi, azonban a feszültségűskékre és a fordított polaritásra nagyon érzékeny. Amennyiben a keletkezett hiba rövidzárlat, az a nagyon vékony dielektrikum miatt könnyen katasztrofális termikus megfűtáshoz vezethet. A dielektrikum hibái mentén, a letörés folytán keletkező szivárgási áram öngyógyító anodizációt indít, ami ideális esetben újraépíti a szigetelő oxidréteget, azonban, ha a felszabaduló energia a hibapontokon túl nagy, akkor a tantál táplálni, a katódként funkcionáló mangán-dioxidból származó oxigén pedig katalizálni fogja az égést, emiatt a tantálkondenzátor egyes

tűzveszélyes helyeken, pl. autóiipari alkalmazásokban egyáltalán nem használható. További hátrányuk az Al elektrolitkondenzátorokkal összehasonlítva a relatív magasabb áruk, de előnyeik miatt a kevésbé költségérzékeny alkalmazásokban, ahol a kis méretek elkerülhetetlenek (mobilkészülékek, okostelefon, tablet, notebook) ideális komponensek.

Panasonic polimerkondenzátorok

Amennyiben a katódként a hagyományos tantálkondenzátorokban szokásos MnO_2 kiváltására polimereket használunk, még több előnyös tulajdonság jelenik meg. A Panasonic POSCAP családjai ugyanazon kapacitásérték mellett sokkal kisebb méretben kínálnak költséghatékonyabb áramköri megoldásokat és további technikai előnyöket. A kisebb fizikai méretek miatt az ESR és ESL (ekvivalens soros ellenállás és induktivitás)-értékek is kisebbek, így az alkalmazott komponensek száma csökkenthető, vagy ugyanakkora helyen magasabb kapacitásérték érhető el, kisebb névleges feszültségen. Az extrém kis ESR miatt a PosCap, illetve az SP-Cap rendkívül jó ripple-eltávolító képességgel rendelkezik. Emellett az ESR és az impedancia széles üzemi hőmérséklet-tartományban ($-55-105 \text{ }^\circ\text{C}$) stabil.

A PosCap technológia önmagában drágább, mint a hagyományos tantálkondenzátorok, azonban a méretcsökkentés lehetőségén keresztül, vagy kevesebb komponens felhasználásával összességében mégis jelentős megtakarítás realizálható. A hagyományos tantálkondenzátorok katódjában lévő MnO_2 helyett használt polimer további előnyös tulajdonsága, hogy még a PosCap letörési feszültségén (a névleges feszültség 2-4 szerese) sem keletkezik láng, ami sok esetben a hagyományos tantálkondenzátoroknál biztonságosabb megoldásokat tesz lehetővé. A PosCap fő felhasználási területe a DC-DC konverterek simító-kondenzátora, az extrém kis ESR miatt a ripple-áram könnyebben halad át a kondenzátoron, így a kimeneten a maradék ripple-feszültség kicsi. A Panasonic rendelkezik egy másik szilárd elektrolitos kondenzátortechnológiával is, ahol az alumínium-fólia-rétegek folyékony elektrolit helyett egy melegítéssel kívánt alakúra formált, szilárd félvezető anyagba vannak ágyazva, ami megvédi a kondenzátort az extrém tranziens hőhatásoktól is. Hagyományos alumíniumelkökkel összevetve ez a struktúra csak az alkalmazott elektrolit anyagában különbözik, a szerves félvezető anyag vezetőképessége százszerosa a folyékony elektroliténak, és még a hagyományos tantálkondenzátorénak is tízszerese. Az újabbban a szerves félvezetők helyett alkalmazott vezetőpolimerek még további veze-

tőképesség növekedést-biztosítanak, az ESR-értékek pedig nagyon alacsony szintre csökkentek, és még nagyon kis hőmérsékleteken sem változnak, ami különösen alkalmasá teszi az ilyen kondenzátorokat az extrém kültéri használatra is. Ahogy azt a PosCap esetben is láttuk, az OS-CON is alkalmas a kész elektronikákban a fizikai méretek csökkentésére, gyakorta egyetlen OS-CON segítségével három konvencionális, egyenként is nagyobb méretű alumíniumelektrolit kondenzátor is kiváltható. Az OS-CON technológia alkalmazásával 20 Celsius-fok hőmérséklet-csökkenés hatására a valószínű élettartam tízszeresére nő.

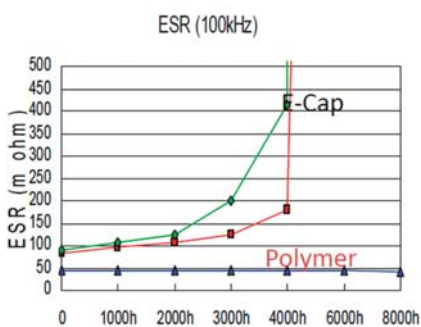
Az előnyök mellett meg kell említeni, hogy a szilárd elektrolittal rendelkező elektrolit kondenzátoroknak a speciális öngyógyító folyamatai miatt a folyékony elektrolittal töltött családoknál magasabb a szivárgási áramuk, emiatt a maximális névleges feszültségük azoknál sokkal alacsonyabb.

Az OS-CON felhasználási területe:

- ipari elektronikai alkalmazások simító-kondenzátora (hosszú élettartama miatt és azért, mert kiküszöböli a DC bias problémáit, azaz a feszültség rákapcsolásával nem változik a kapacitása);
- tápegységek backup és bypass kondenzátorként (nagy áramok esetén is gyors válasz nagy sebességű terhelésváltozásra);
- alacsony ESR-karakterisztikája kiváló zajszűrő tulajdonsággal ruhazza fel, ezért fogyasztói (audio) termékekben aluláteresztő szűrőként is alkalmazható, elhagyható számos más szűrőelem, mint például hagyományos elkók és induktivitások;

A polimerkondenzátorok más technológiákkal szembeni előnyei

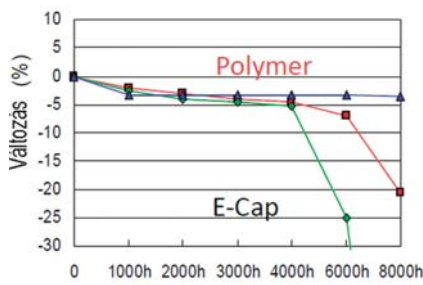
A legfontosabb előny a hagyományos, folyékony elektrolittal rendelkező kondenzátorokkal szemben az alacsony ESR és a kapacitás, valamint az ESR állandósága az élettartam előrehaladtával, illetve a környezeti hőmérséklet emelkedésével, ahogy azt az alábbi ábrák mutatják.



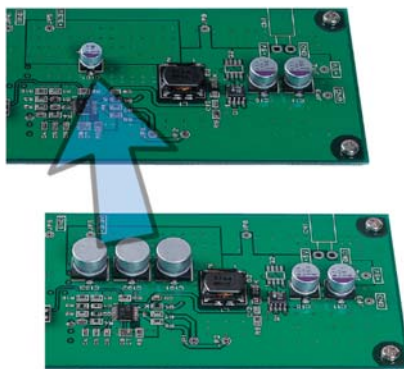
	POLIMER				
	Al E-cap	Hibrid	Szilárd elektrolit*	MLCC	MnO ₂ tantál
RIPPLE áram	Közepes	Magas ✓	Magas ✓	Magas	Közepes
ESR	Közepes	Alacsony ✓	Alacsony ✓	Alacsony	Közepes
Feszültség függőség (DC bias)	Nincs	Nincs ✓	Nincs ✓		Van
Kapacitás feszültség függése	Stabil	Stabil ✓	Stabil ✓	Csökken	Stabil
Kapacitás frekvenciafüggése	Csökken	Stabil ✓	Stabil ✓	Stabil	Csökken
Kapacitás hőmérsékletfüggése	Instabil	Stabil ✓	Stabil ✓	Csökken	Stabil
Becsült élettartam	Korlátozott	Hosszú ✓	Hosszú ✓	Hosszú	Hosszú
Tipikus élettartam (85 C)	5-7 év	10 év ✓	10 év ✓		
Hőmérséklet hatása erre	10°C csökkenés → 2x élettartam	10°C csökkenés → 2x élettartam	20°C csökkenés → 10x élettartam		
Szivárgási áram	Alacsony	Alacsony ✓	Közepes	Alacsony	Alacsony
Input 28V, 100 kHz Kondenzátor igény: 35V, 22uF, 2A _{ripple}	2 db 010x10.2mm	1 db 06.3x7.7mm	1 db 7.3x4.3x1.9mm	4 db 6.1x5.3mm	4 db 7.3x4.3x4.3mm

* SP-Cap, POSCAP, OS-CON

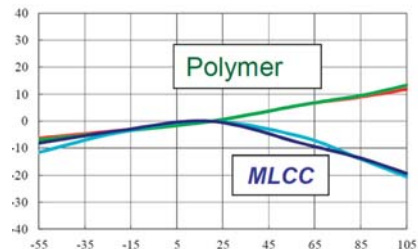
Kapacitás változás (120Hz)



Polimertechnológiával emiatt jelentős helycsökkentés érhető el, a kis ESR-érték eléréséhez párhuzamosan kapcsolt, több E-Cap egyetlen Panasonic kondenzátorral kiváltható.

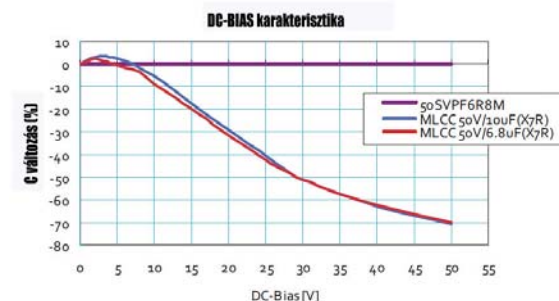


alábbi ábrán látható, hogy a polimerkondenzátor kapacitása a hőmérséklettől függetlenül, valamint a névleges feszültség mellett is állandó marad.



Hibrid kondenzátorok

A piac több vezető gyártója, így a Panasonic és a SUN-Con is speciális kondenzátorokat fejlesztett ki. Az alkalmazott hibrid / EP-CAP technológia a folyékony elektrolitos alumíniumkondenzátorok előnyeit (széles feszültség- és kapacitásértékek, kis szivárgási áram, alacsony ár), valamint a szilárd polimer-elektrolitos kondenzátorok előnyeit (alacsony ESR, magas ripple-áram, hosszú élettartam) ötvözi. Az EP-CAP felépítése hasonló a hagyományos kondenzátorokéra, azonban a tisztán folyékony elektrolit helyett speciális zselés anyagot használnak, a folyékony elektrolitba vezető polimermolekulákat kevernek.



A kerámiakondenzátorok hiányosságait is képes ez a technológia kiküszöbölni. Az

- A hozzáadott vezetőpolimer jobb elektronikai és élettartamtulajdonságokat biztosít.
- Az extrém alacsony ESR a kész elektronikában komoly helymegtakarítást és költségcsökkentést, valamint nagy frekvencián kiváló zajsűrést tesz lehetővé.
- A nagy ripple-áram-átengedő képesség alkalmassá teszi az EP-CAP-et kapcsolóüzemű feszültség szabályzók simító kondenzátoraként.
- A működés széles hőmérséklet-tartományban és alacsony hőmérsékleten is stabil.
- Nincs szükség a kapocsfeszültség csökkentésére, a névleges feszültség garantáltan a kondenzátorra kapcsolható.

KISS ZOLTÁN ÉRTÉKESÍTÉSI VEZETŐ,
ENDRICH BAUELEMENTE VERTRIEBS GMBH
WWW.ENDRICH.HU