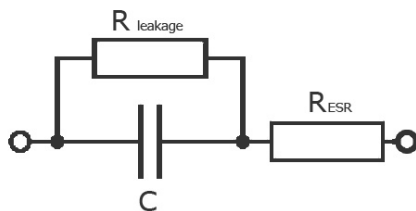




Az alumínium elektrolit kondenzátor majd minden elektronikai áramkör alapvető építőeleme. Az elektronika mind szélesebb körű alkalmazása miatt egyre fontosabb szerepet tölt be a készülékekben, hiszen azok élettartamát nagyban befolyásolja a beépített kondenzátor minősége. Ahhoz, hogy az alkalmazáshoz a tervezés fázisában a legjobb ár/értékarányú komponenseket lehessen kiválasztani, szükség van a piacon fellelhető különböző kondenzátor családok tulajdonságainak mélyreható ismeretére. Ebben a cikkben szeretnénk áttekinteni azokat a kulcsfontosságú tényezőket, melyek alkalmassá vagy adott esetben alkalmatlanná tesznek egyes típusokat az adott applikációban való felhasználásra, áttekintjük a standard és speciális elektrolit kondenzátorok felépítését, jellemzőit, várható élettartamát, előnyeit és hátrányait, valamint speciális alkalmazási területeiket a jól ismert japán SANYO és SUNCON gyártmányain keresztül.

Kondenzátorok általánosságban

A kondenzátorok olyan elektronikai alkatrészek, melyek csak a váltakozó áramot (AC) vezetik, az egyenáramot (DC) nem, képesek az áram DC komponensének blokkolására, energiátárolásra, illetve jelek frekvencia szerinti szűrésére is. A kondenzátor a szigetelő dielektrikummal elválasztott vezető fegyverzeten képes töltés tárolására akár nagyon hosszú ideig is, a töltés növekedése folytán - a dielektrikumban növekvő elektromos tér hatására - az elektródák között arányosan növekszik a feszültség is. A felhalmozott töltés és a hatására megjelenő feszültség közötti arányt a kondenzátorra jellemző kapacitásértékkel definiáljuk, mely a megengedett legnagyobb feszültséggel együtt a legfőbb kondenzátor paraméter. A kondenzátor kapacitása a fegyverzet geometriájától és az alkalmazott dielektrikum jellemzőitől függ.



Amikor folyamatos töltésnövekedés hatására a feszültség egy meghatározott

határérték, a letörési feszültség fölé növekszik, a dielektrikum nem képes egymástól elszigetelni a vezető fegyverzeteket, töltésáramlás hatására a kondenzátor elkezd kiszülni, mely belső felmelegedéshez vezet. Az alkatrész üzemi feszültségét ezért mindig ez alatt a feszültségérték alatt kell tartani. A kapacitás és a maximális feszültség érték meghatározása mellett még egy sor egyéb paramétert is be kell állítani a tervezőnek, ezek meghatározásához azonban először át kell tekinteni a kondenzátorok fizikai jellemzőit.

Áramköri modell – ESR, szivárgási áram, ripple

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 kapacitással sorba kötött, kis értékű ekvivalens soros ellenállás (ESR - equivalent series resistance), illetve a szigetelő dielektrikum szivárgási jelenségét leíró párhuzamosan kapcsolt szivárgási, vagy szigetelési ellenállás (parallel leakage resistance).

A kondenzátor belsejében található dielektrikum természetesen nem tökéletes szigetelőanyag, a fegyverzetek töltése által gerjesztett elektromos tér az anyagban nano Amper nagyságrendű,

úgynevezett szivárgási áramot hajt át. Ez az áram tulajdonképpen a dielektrikum kis hibáinál átszökő elektronok mozgása, mely a tápfeszültség megszűnésekor előbb-utóbb kisüti a kondenzátort. Az ábrán látható áramköri modellben ezt a jelenséget az ideális kapacitással párhuzamosan kapcsolt $R_{leakage}$ ellenállás reprezentálja, melyet a szakirodalom gyakran szigetelési ellenállásnak is hív, és melynek értéke a kondenzátor fajtájától függően nagyon nagy, legnagyobb fólia kondenzátorok esetében. Olyan kondenzátorok esetében, ahol ez az ellenállás viszonylagosan kisebb, mint például folyékony elektrolittal rendelkező alumínium E-cap esetén, a szakirodalom a szivárgási ellenállás elnevezést használja. A kondenzátor szivárgási árama nagyon fontos paraméter, mert minél nagyobb az adott családra jellemző értéke, annál kisebb a kondenzátor töltéstárolási képessége.

Az ESR, ami nagyfrekvencián a kondenzátor váltakozóáramú impedanciája, hőmérséklet és frekvenciafüggő érték, mely a dielektrikum ellenállását, a kivezetések, a dielektrikum és a fegyverzetek közötti kapcsolódás egyenáramú ellenállását tartalmazza, ideálisan kis érték (általában 0.1Ω nagyságrend).

A legtöbb alkalmazásban az egyenfeszültség AC komponenst is tartalmaz, mely váltakozó áramot hajt át a kondenzátoron, ennek az effektív

értékét „ripple” áramnak hívjuk és megengedett legmagasabb értéke szintén fontos jellemző az alkatrész kiválasztásakor, mert eredményeképpen hő keletkezik a kondenzátor belsejében. A komponensre jellemző ESR határozza meg a teljes I²R veszteséget, ami különösen fontos kapcsolóüzemű és teljesítményelektronikai alkalmazásokban. A viszonylag nagy ESR értékkel rendelkező kondenzátorok nehezebben táplálják a külső áramkört, mert lassabban töltődnek és sülnek ki. A folyékony elektrolittal rendelkező alumínium kondenzátorok ESR értéke az idővel egyre nő a kiszáradás miatt. Természetesen léteznek nagyon kis ESR értékű speciális elektrolit kondenzátorok is, melyek elsősorban szűrőkondenzátorként ideálisak.

Folyékony elektrolittal rendelkező kondenzátor élettartam kérdései

Az elektronikus paraméterek folyamatos változásának és a véges élettartamnak a legfőbb oka a folyékony elektrolit az ilyen kondenzátorokban. A folyékony elektroliton átfolyó áram tulajdonképpen az ionok mozgásából ered, a hőmérséklet emelkedésének hatására fellépő viszkozitás csökkenés miatt az ionok könnyebben haladnak, az ESR csökken, a „ripple” áram pedig növekszik. Az elektrolit anyagára jellemző forráspont határozza meg a belső hőt keltő

maximálisan megengedhető „ripple” áram értékét. Az elektronikus paraméterek időbeni változását és végső soron a véges élettartamot az elektrolitban fellépő elektrokémiai reakciók és a kiszáradás együttesen okozzák. Az elektrolit kondenzátorok várható élettartamának leírására és meghatározására általánosan elfogadott modell három fő faktort vesz számításba:

- a hőmérséklet hatásának vizsgálatakor az Arrhenius összefüggésből származtatott úgynevezett tíz kelvin szabályt vesszük figyelembe, az üzemi hőmérséklet 10 fokkal történő csökkenése kétszerezi a várható élettartamot;
- a „ripple” áram hatása fontos tényező, mert ez okozza a belső melegeledést;
- a nagyobb méretű elektrolit kondenzátorok esetében a kapcsolófeszültségnek is komoly hatása van az élettartamra, mert a névleges feszültség közeli és afeletti értékek roncsolják a dielektrikumot, több elektrolitot emészt fel az öngyógyulás folyamata.

A várható élettartam meghatározásához az alábbi formula használható:

$$L=L_0 \times 2^{(T_0-T_1)/10} \times 2^{(dT_0-dT_1)/10}$$

L: Várható élettartam (óra) T_1 ($^{\circ}\text{C}$) hőmérsékleten

L_0 : Garantált élettartam (óra) T_0 ($^{\circ}\text{C}$) hőmérsékleten

T_0 : Maximális üzemi hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$)

T_1 : Aktuális üzemi hőmérséklet ($^{\circ}\text{C}$)

dT_0 : Hőmérsékletváltozás a névleges „ripple” áram okozta felmelegedés hatására ($^{\circ}\text{C}$)

(Suncon furatszerelt ELKO-ra 85°C $dT_0 = 5^{\circ}\text{C}$, 105°C -os típusokra $3-4^{\circ}\text{C}$, SMD típusokra $1.5-3^{\circ}\text{C}$)

dT_1 : Hőmérsékletváltozás az aktuális „ripple” áram okozta felmelegedés hatására ($^{\circ}\text{C}$)

A „ripple” áramértékekkel kifejezve:

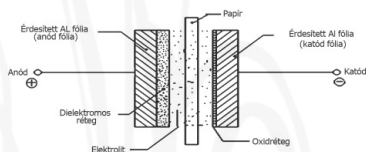
$$L = L_0 \times 2^{(T_0 - T_1)/10} \times 2^{[1 - (I_1/I_0)^2] \times (dT_0)/10}$$

I_0 : Névleges ripple áram (A_{RMS})

I_1 : Aktuális ripple áram (A_{RMS})

Alumínium elektrolit kondenzátorok

Az alumínium elektrolit kondenzátorok két vezető alumínium fólia felhasználásával készülnek, melyek közül az egyiket szigetelő réteg (Al-oxid dielektrikum) borít, köztük pedig folyékony elektrolittal átitatott elválasztó



papír helyezkedik el. A szigetelő dielektrikum réteggel ellátott fólia anódként, a nedves elektrolit a másik fóliával együtt pedig katódként funkcionál. Az elektrolit egy nem fémes, ionos vezető anyag, melynek segítségével más konstrukciókhoz képest nagyobb fajlagos kapacitásérték érhető el. Az ábrán látható rétegzett el. Az ábrán látható rétegzett konstrukciót azután kivezetésekkel ellátva felcsévélik, és alumínium hengerbe helyezik. A folyékony elektrolit alapú kondenzátorok nagy előnye, hogy a dielektrikum magától „gyógyul”, mihesty DC feszültség kapcsolódik a folyadékban lévő lemezekre. Ezt a folyamatot anodizációnak hívják, mely során a dielektrikum hibái mentén keletkezett szivárgási áram elektrolitikus úton a szigetelő oxid réteget addig vastagítja, amíg ez szükséges a feszültség fenntartására. Emiatt előnyösebb a folyékony elektrolit alapú kondenzátorokat folyamatosan töltés alatt tartani. Hátrányuk azonban, hogy a fordított polarizáció esetén még a legkisebb hiba is a dielektrikum gyors leépítéséhez és -öngerjesztő folyamat során- a komponens tönkremeneteléhez vezet. Másik probléma a folyékony elektrolit párolgása, mely kiszáradáshoz, illetve a felszabaduló gázok miatt fellépő nyomás a kondenzátor kilyukadásához, szélsőséges esetben felrobbanásához vezet. Amikor a többnyire savas elektrolit elsőkik, az korrodálja a szomszédos áramköri elemeket a

panelen. Az élettartam vége felé közeledve a dielektrikum már nem képes regenerálódni, tönkremegy, az elektrolit elpárolog, a szivárgási áram megnövekszik, a kiszáradás miatt pedig drasztikusan csökken a kapacitás. A folyékony elektrolitos kondenzátorok előnye alacsony költségük mellett az, hogy nagy egységnyi kapacitásérték érhető el velük, nagy feszültségeken alkalmazhatók, viszont hőmérséklettől erősen függő gyenge szigetelési ellenállásuk okozta viszonylag magas szivárgási áramuk miatt (kb.5-20 μA μF -onként) nem javasolt használatuk tárolási alkalmazásokhoz.

A SUN Electronics Industries az olcsó standard típusok mellett rengeteg speciális alumínium elektrolit kondenzátor sorozatot kínál, léteznek hosszú élettartamú, alacsony ESR értékű változatok is különféle fizikai kivitelekben.

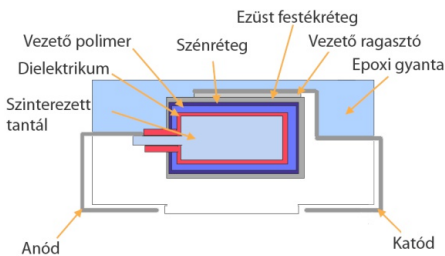
Szilárd (polimer) kondenzátorok

Tantál és Sanyo PosCap sorozat

Amikor az alkalmazásnak hosszú élettartamú, nagy kapacitású, rendkívül kisméretű, megbízható és nagy hőmérsékleten is alkalmazható kondenzátorra van szükség, a szilárd elektrolittal rendelkező (pl. tantál) kondenzátorok helyettesíthetik a folyékony elektrolitos alumínium kondenzátorokat. A Tantál

kondenzátorok kompakt kis feszültségű polarizált áramköri elemek, az alumínium elkőknál kisebb energiasűrűséggel és szűkebb toleranciával készülnek. A rendkívül porózus szinterezett tantál szemcsék alkotják a nagyfelületű anódot, melyen vékony oxid dielektrikumréteg található. 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 °C). Ugyanakkora kapacitás mellett az alumínium elektrolit kondenzátoroknál alacsonyabb ESR érték szignifikáns előny számos alkalmazási területen. A tantál kondenzátort emellett stabil kapacitás, kis DC szivárgási áram, nagy frekvencián is kis impedancia jellemzi, azonban a feszültségtűskékre és a fordított polarításra nagyon érzékeny. Amennyiben a keletkezett hiba rövidzárlat, az a nagyon vékony dielektrikum miatt könnyen katasztrofális termikus megfútasához 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 tantál kondenzátor egyes tűzveszélyes

helyeken, pl. autóiipari alkalmazásokban egyáltalán nem használható. További hátrányuk az Al elektrolit kondenzátorokkal összehasonlítva a relatív magasabb árak, de előnyeik miatt a kevésbé költségérzékeny alkalmazásokban, ahol a kis méretek elkerülhetetlenek (mobil készülékek, okostelefon, tablet, notebook) ideális komponensek.



Amennyiben katódként a hagyományos tantál kondenzátorokban szokásos MnO_2 kiváltására polimereket használunk, még több előnyös tulajdonság jelenik meg. A SANYO POSCAP családjai ugyanazon kapacitásérték mellett sokkal kisebb méretben kínálnak költséghatékonyabb áramkörü 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 rendkívül jó ripple eltávolító képességgel

rendelkezik. Emellett az ESR és az impedancia széles üzemi hőmérséklettartományban ($-55-105^\circ C$) stabil. A konstrukcióban használt vezető polimer szintén öngyógyító tulajdonsággal rendelkezik, a dielektrikum hibái mentén fellépő szivárgási áram automatikusan javítja a szigetelést.

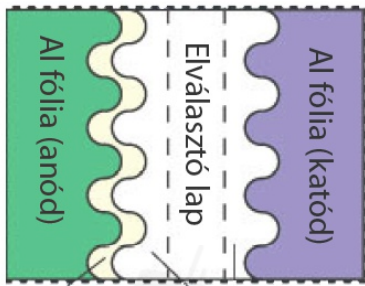
A PosCap technológia önmagában drágább, mint a hagyományos tantál kondenzátorok, azonban a méretcsökkentés lehetőségén keresztül, vagy kevesebb komponens felhasználásával összességében mégis jelentős megtakarítás realizálható. A hagyományos tantál kondenzátorok katódjában lévő MnO_2 helyett használt polimer további előnyös tulajdonsága, hogy még a PosCap letörési feszültségén (a névleges feszültség 2-4 szerese) sem keletkezik láng, ami sok esetben a hagyományos tantál kondenzátoroknál 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 ripple feszültségesés kicsi.

Szilárd Alumínium Elektrolit kondenzátor szerves félvezet elektrolittal (OS-CON)

A SANYO rendelkezik egy másik szilárd elektrolitos kondenzátor technológiával

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 alumínium elkókkal összevetve ez a struktúra csak az alkalmazott elektrolit anyagában különbözik, a szerves félvezető anyag vezetőképessége százszorosa a folyékony elektroliténak, és még a

OS-CON felépítése :



Dielektrikum (oxid réteg) Organikus félvezető elektrolit

hagyományos tantál kondenzátorénak is tízszerese. Az újabban a szerves félvezetők helyett alkalmazott vezető polimerek még további vezetőképesség növekedést biztosítanak, az ESR értékek pedig nagyon alacsony szintre csökkentek, és még nagyon kis hőmérsékleteken sem változnak, ami különösen alkalmassá teszi az ilyen kondenzátorokat az extrém kültéri használatra is. Ahogy azt a PosCap

esetében is láttuk, az OS-CON is alkalmas a kész elektronikákban a fizikai méretek csökkentésére, gyakran egyetlen OS-CON segítségével három konvencionális, egyenként is nagyobb méretű alumínium elektrolit kondenzátor is kiváltható. Az elektrolit kondenzátorok élettartamának tárgyalásakor kitértünk arra, hogy 10 fok üzemi hőmérséklet csökkenés hatására a várható élettartam duplázódik, az OS-CON technológia alkalmazásával 20 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 problematikáját, 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

zajsűrő tulajdonsággal ruházza fel, ezért fogyasztói (audio) termékekben alul áteresztő szűrőként is alkalmazható, elhagyható számos más szűrő elem, mint például hagyományos elkők és induktivitások;

Hibrid kondenzátorok

A SUN Electronics Industries speciális hibrid kondenzátorokat fejlesztett ki, melyek egyedülállóak a piacon.

Az alkalmazott EP-CAP technológia a folyékony elektrolitos Al kondenzátorok 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 hasonlít a hagyományos kondenzátorokra, azonban a folyékony elektrolit helyett speciális zselés anyagot használnak, a folyékony elektrolitba vezető polimer molekulákat kevernek.

A folyékony elektrolit

- kisebb szivárgási árammal is biztosítja a sérült dielektrikum oxid réteg öngyógyulását,
- a pusztán szilárd elektrolitos változatokhoz képest magasabb névleges feszültséget eredményez.

A hozzáadott polimer jobb elektronikai és élettartam tulajdonságokat 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 feszültségszabályzók simító kondenzátoraként.
- A működés széles hőmérséklettartományban és alacsony hőmérsékleten is stabil.
- Nincs szükség a kapocsfeszültség csökkentésére, garantáltan a kondenzátorra kapcsolható a névleges feszültség.

	Gyártó	Hőmérséklet	Kapacitás	Névleges fesz.	Élettartam	ESR	Frekvencia és hőmérsékletfüggés	Szivárgási áram	Megjegyzés
AlE-Cap	SUNCON	Max 125°C	max 6800uF	max 400V	-10 °C 2X hosszabb	Általában magas	Nem lineáris	Alacsony	Autóipari TS16949 AECQ 200
OS-Con	PANASONIC	Max 125°C	max 1500 uF	max 35V	-20 °C 10X hosszabb	Nagyon alacsony	Stabil ESR és C, lineáris	Magas	
PosCap	PANASONIC	Max 125°C	max 2700 uF	max 35V	-20 °C 10X hosszabb	Nagyon alacsony	Stabil ESR és C, lineáris	Magas	Nem gyűlékony
EP-CAP	SUNCON	Max 135°C	max 1000 uF	max 100V	hosszú	Alacsony	Stabil ESR és C, lineáris	Alacsony	Autóipari TS16949 AECQ 200