

Rätt kondensator tänjer systemets livskraft



Välj kondensator med omsorg



Av James C. Lewis, Kemet Electronics Corporation



James Lewis har arbetat i elektronikindustrin i 13 år, med allt från konstruktion till marknadsföring och försäljning. Idag har han titeln Technical Marketing Director, men genom åren har han arbetat som kondensatorexpert, analyserat rf-kretsar samt konstruerat kraftaggregat liksom oscilloskop med fokus på fordon, militärt och industri. På sin fritid gillar han att bygga sådant som piper, blinkar och flyger, oftast med hjälp av Arduino eller Raspberry Pi.

Varhelst elektronisk utrustning används – i hemmet, på arbetet, i bilen eller i försvarsutrustningar – förväntar sig användaren perfekt tillförlitlighet medan själva tekniken ska vara osynlig eller transparent. Många aspekter hos dagens komponenter härrör från detta mål; allt ifrån moderna nm-processer och kapsling till förbättrade komponenter som kondensatorer.

Den senaste utvecklingen på kondensatorsidan och de senaste screeningsmetoderna garanterar att komponenterna i kritiska system, som fordons elektronik, gatubelysningar, flygradar och missilstyr-system, klarar att hantera de olika krav som kan uppstå under dess livslängd.

Kraftaggregat för system som gatubelysning och fordonsdatorer används så gott som ständigt, men måste samtidigt fungera under 10 år; ibland över 20 år. Den operativa livslängden för elektrolytkondensatorer (L_{OP}) kan då vara en begränsande faktor för tillämpningens livslängd.

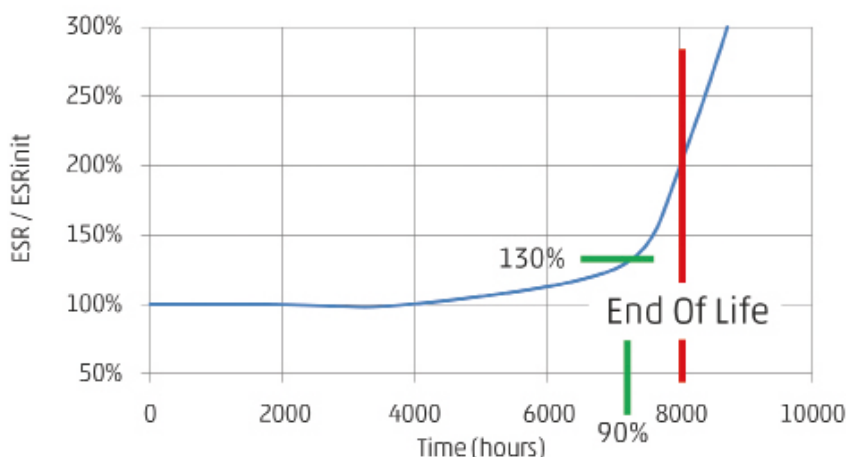
En kondensators EOL (End of Life) kan definieras i termer av förändringar som minskad kapacitans, ökad förlustfaktor ($\tan \delta$), ökad ekvivalent serieresistans (ESR, Equivalent Series Resistance) eller för stor läckström (I_L) jämfört med startvärdet (I_{RL}). I_{RL} kan variera kraftigt mellan olika tillverkare. När det gäller EOL för ESR specificerar vissa tillverkare ett värde på ESR medan andra specificerar en procentuell ändring.

Elektrolytkondensatorer har ofta ett linjärt ökande ESR-värde över tid i drift. De kan också konstrueras för att ha ett mer stabilt ESR. I så fall är det acceptabelt att konstruera för 130 procent av specificerat initialt maximalt ESR. Denna metod fungerar under förutsättning att tillämpningens livstid inte är mer än 90 procent av kondensatorns specificerade livslängd. Förlustfaktorn, $\tan \delta$, har normalt ett åldringsförlopp liknande det för ESR.

KAPACITANSFÖRÄNDRINGEN är också nästan linjär över kondensatorns livstid. Kapacitansen är som lägst vid slutet av livstiden, vilket man måste ta med i beräkningen för att klara tillämpningens krav vid denna tidpunkt. Läckströmmen under den operativa livslängden är normalt betydligt lägre än det specificerade värdet.

Elektrolytkondensatorns konstruktion – såsom elektrolyt och termisk stabilitet, mängden elektrolyt samt konstruktionen av packningen och lock – har stor inverkan på dess operativa livslängd. Även ESR och termisk prestanda är avgörande faktorer som påverkar L_{OP} .

Elektrolyter baserade på gammabutyrolakton är vanligtvis att föredra i kondensatorer konstruerade för hög temperaturstabilitet. Ett sådant exempel är de axiella elektrolytkondensatorerna i familjen Kemet PEG124. Dessa har mycket stabila parametrar, se figur 1, som visar att ESR vanligtvis är inom ± 30 procent av sitt ursprungliga värde under de första 90 procenten av L_{OP} . Tester har dessutom in-



Figur 1. Elektrolytkondensatorer konstruerade för lång operativ livslängd.

dikerat minskande värden, jämfört med ursprungliga värden, under testperioden på 7 000 timmar.

För axiella och single-ended elektrolytkondensatorer uppstår vanligtvis EOL på grund av uttorkning av de inre lindningarna. Konstruktionen av kondensatorn och dess lock kan ha en påtaglig inverkan på lösningens diffusion, därför bör man konstruera för låg diffusion.

SAMTIDIGT MÅSTE VISS diffusion tillåtas, för att minska tryck som alstras av internt genererade gaser som väte. Alltför låg diffusion kan orsaka parameterdrift och till och med katastrofala fel. Axiella elektrolytkondensatorer har normalt ett aluminiumlock som är immunt mot delaminering. Familjen PEG124 har också en specialkonstruerad packning som minimerar diffusion och samtidigt förhindrar inre övertryck.

Kondensatorns ESR kan påtagligt påverka L_{OP} , speciellt vid hög rippelström eftersom den interna värmeutvecklingen och temperaturökningen orsakad av rippelströmmen är proportionell mot ESR. En temperaturökning på 10–12 °C kommer att minska L_{OP} med 50 procent. Följaktligen har låg termisk resistans mellan kon-

densatorns lindningar och omgivningen också en stor inverkan på L_{OP} eftersom den förbättrar den termiska avledningen och därigenom hjälper till att hålla en lägre inre temperatur. Kondensatorns interna termisk resistans har däremot mindre inverkan på temperaturökningen. Viktigast är den termiska resistansen till omgivningen, vilken kan minimeras genom att man placerar kondensatorn så att den får tillräcklig konvektionskyllning och är ansluten till en kylfläns. Kemet:s axiella blyelektrolytkondensatorer PEG225 och PEG226 är optimerade för montering med kylfläns och är konstruerade med extremt låg inre termisk resistans.

MEDAN VISSA UTRUSTNINGAR ständigt används, förblir andra vilande under lång tid tills de plötsligt driftsätts. Då måste man kunna lita på att de fungerar oklanderligt. I denna kategori ingår exempelvis vissa typer av försvarsutrustningar, som ubåtsbaserade ballistiska missiler (SLBM).

Som en del av ett nyligen genomfört vapenuppgraderingsprojekt har ytmonterade tantalkondensatorer fått ersätta hålmonterade tantalkondensatorer, för att på så sätt minska storleken hos elektroniken. Missiler

är konstruerade för en livstid på mer än 20 år, men elektroniken måste starta omedelbart och fungera perfekt närhelst missilen avfyras under denna period.

För att förhindra oacceptabel försämring i kondensatorns prestanda på grund av åldrande är tantalkondensatorer att föredra i tillämpningar som denna. Det är dock känt att tillförlitligheten hos eftermonterade ytmonterade tantalkondensatorer är sämre än den hos hålmonterade kondensatorer. För att vara lämpad måste därför en tantalkondensator kunna klara en omlödningsprocess utan risk för att det uppstår latent defekter som kan leda till fel då missilen avfyras.

Kemet:s ingenjörer erbjöd en lösning på dessa utmaningar genom att specificera ytmonterade tantalkondensatorer med så kallad F-Tech Flawless Technology som genomgått så kallad Simulated-Breakdown Screening (SBDS).

F-Tech-tekniken eliminerar defekter som uppstår i dielektriska skikt under tillverkningen. Vanligtvis är det dessa defekter som orsakar fel i torra tantalkondensatorer. För även om kondensatorntantalpulver är kemiskt rent, adderas ett organiskt smörjmedel under anodtillverkningen som ►



kan fastna och övergå till tantalkarbid under efterföljande sintring. Detta orsakar lokala förtunningar eller partiella porer. Nedkylning av anoden efter sintring kan också fåla ut kristallin tantaloxid i lokala områden som kan ge sprickor i dielektrikat.

F-TECH-TEKNIKEN använder organiska smörjmedel som kan tvättas bort från anoden vid låga temperaturer. Efter tvätt testas nivån av kvarvarande kol i varje produktionsbatch och processen upprepas vid behov tills nivån är likvärdig med den i det ursprungliga pulvret. Även anoderna avoxideras och en särskild passiveringsprocess används för att minimera ytoxidation efter sintring. Dessutom använder F-Tech argonsvetsning för att säkerställa en stark och pålitlig förbindelse mellan tantallådorna och den sintrade anoden.

Traditionellt screenas tantalkondensatorer för dielektriska defekter genom att man testar likspänningsläckaget (DC Leakage, DCL) vid märkspänning. Även om ett högt läckage kan indikera orenheter i dielektrikat, är ett lågt DCL inte en tillförlitlig indikation på ett rent dielektrikat. Proving med hög spänning nära genombrottsspänningen (BDV) är det mest effektiva sättet att upptäcka dolda fel i dielektrikum. Låg genombrottsspänning visar på brister i dielektrikat, medan hög genombrottsspänning visar hög renhet. Dock är BDV-testning destruktiv och kan därför inte användas till att utföra 100 procentig screening. Dessutom kan testning vid högre spänning än märkspänningen skapa felområden som

kan resultera i latent fel i tillämpningen.

Kemet har utvecklat Simulated Breakdown Screening (SBDS) för att hitta tantalkondensatorer med låg BDV, utan att orsaka skador på bra kondensatorer. SBDS analyserar spänningen som funktion av tiden (laddningskurvan) hos en kondensator kopplad i serie med ett motstånd. Före screening bestäms genomsnittligt BDV genom provtagning från samtliga produktionspartier. BDV kan i allmänhet vara upp till $2 \times$ märkspänningen. En spänning som är 1,3 till 1,5 gånger genomsnittligt BDV tillämpas på kondensator/motståndsnätet och kopplas bort antingen när spänningsfallet över kondensatorn når genomsnittligt BDV eller efter cirka en minuts laddning. Den slutliga screeningspänningen korrelerar med enhetens faktiska BDV. Därför kan renheten i dielektrikat utläsas utan att skada kondensatorn. Därmed kan SBDS tillämpas på alla enheterna i ett visst parti.

FÖR ATT GARANTERA att katodens toppbeläggning är tillräcklig för att skydda dielektrikat från termiska och mekaniska påfrestningar, som kan medföra fel vid spänningstillslag, kompletteras F-Tech och SBDS med en så kallad Surge Step Stress Test (SSST).

Vid SSST utsätts ett urval av kondensatorerna för en eller flera omlödningscykler och sedan flera korta spänningpulser med ökande amplitud till dess att alla kortsluts. Felfrekvensen som funktion av pulsspänningen gör att felfrekvensen vid en given spänning kan förutsägas.

Andra tillämpningar som kräver stor tillförlitlighet, som flygradarsystem, kan

utsätta kondensatorer för höga pulslaster som medför extrema påfrestningar om än för en kort tid.

I ett flygburet militärt radarsystem med skyddslackade $330 \mu\text{F}/25 \text{V}$ MnO₂-tanatl-kondensatorer uppstod fel när kondensatorerna utsattes för radarpulser med hög effekt. Felen ledde till sänkt systemprestanda, men också termiska fenomen som oönskade blixtar och rök i flygplanets cockpit.

I de MnO₂-kondensatorer som ursprungligen användes kunde man konstatera att pulsen avslöjade brister som härrör från defekter i dielektrikat, vilka ledde till felen.

FÖR ATT FÖRHINDRA ytterligare fel, ersattes dessa kondensatorer med ytmonterade kondensatorer med en multianodkonstruktion och polymerkatodsystem. Dessa användes i kombination med ett robust testprotokoll kallat Polymer Capacitor Reliability Assessment Test (PCRAT) och SBDS-screening.

Testprotokollet PCRAT kan enbart tillämpas på polymerkondensatorer. Ett urval av kondensatorerna testas under mycket förhöjda spännings- och temperaturförhållanden för att fastställa långsiktig tillförlitlighet. Detta gör att en korrekt felfrekvens kan tilldelas hela partiet.

I de nämnda militära radartillämpningarna medförde kondensatorbyte i kombination med PCRAT och SBDS en avsevärt minskad felfrekvens. Ytterligare en fördel var att antalet kondensatorer i systemet kunde reduceras rejält, från 4 200 till endast 3 100. ■