

Polymer- und Hybrid-Polymerkondensatoren

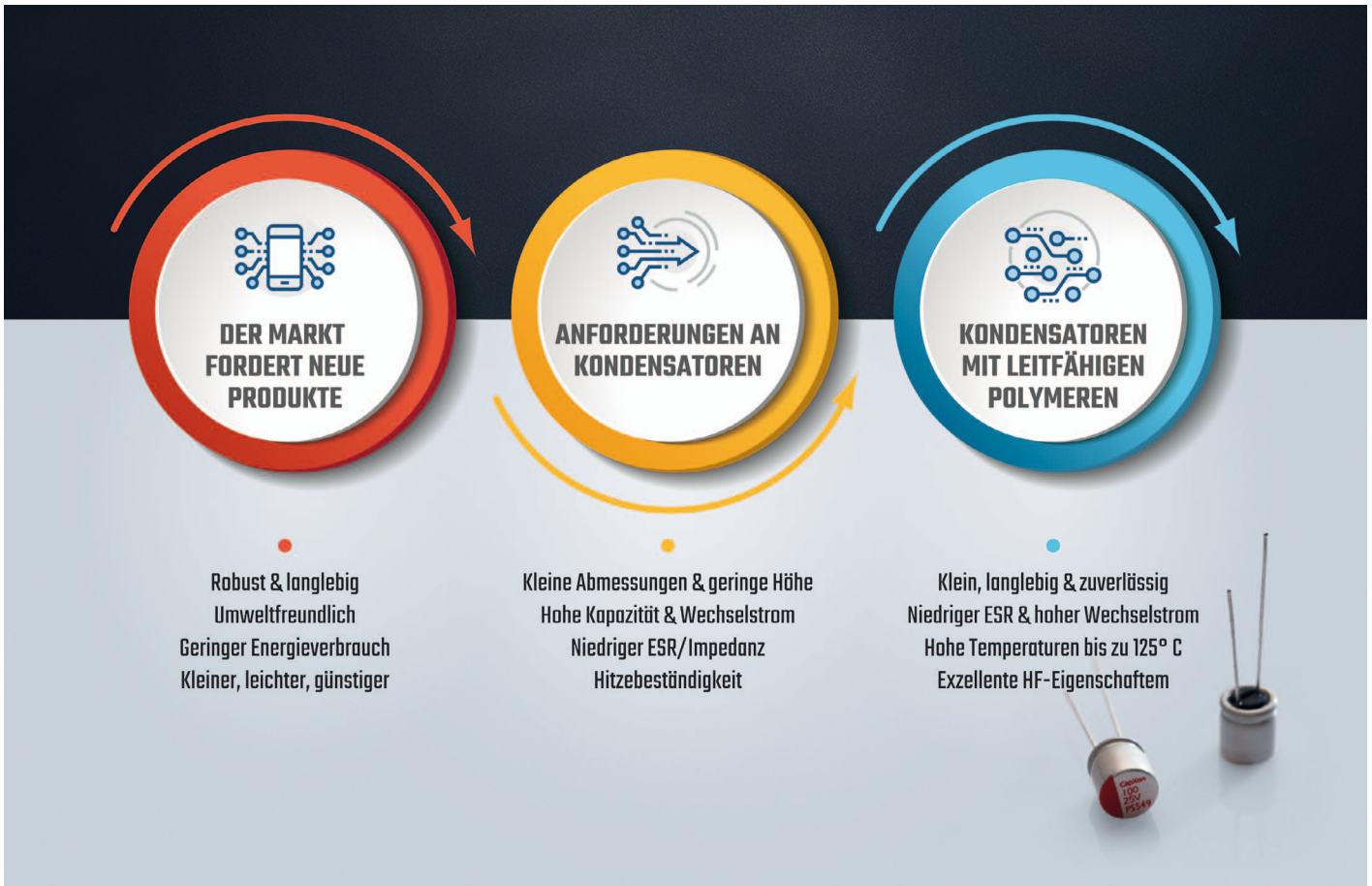


Abb.1: Polymerkondensatoren für die Anforderungen von Heute und Morgen

Elektronische Geräte aller Art sind aus unserem Alltag nicht mehr weg zu denken und haben einen maßgeblichen Einfluss auf die beruflichen und privaten Bedürfnisse. Die Konsumenten fordern robuste, langlebige Produkte die gleichzeitig umweltfreundlich sind, einen geringen Energieverbrauch haben sowie zusätzlich kleiner, leichter und kostengünstiger sein sollen.

Um diesen Ansprüchen gerecht zu werden sind zukunftsweisende Elektronikkomponenten auf dem Vormarsch und werden bestehenden Technologien mehr und mehr den Rang ablaufen.

Passive Bauelemente - Induktivitäten, Kondensatoren oder Widerstände - stehen häufig im Schatten ihrer aktiven Kollegen, der diskreten Halbleiter oder integrierten Schalt-

kreise und werden sehr oft als einfach zu verwendende Komponenten angesehen. Die, im Vergleich zu aktiven Bauteilen, deutlich günstigeren Beschaffungspreise für pas-

Zusätzlich geht die Entwicklung von elektronischen Bauteilen mit neuen Materialien stetig voran, so dass nur eine genaue Betrachtung und sorgfältige Abwägung der jeweiligen

- bauartspezifischen Vor- und Nachteile zum gewünschten Erfolg führen kann. Die Forderung nach
- höheren Kapazitäten und Strömen
- geringeren Ersatz-Serienwiderständen (ESR) oder Impedanzen
- Beständigkeit auch unter hohen Einsatz-temperaturen

Kurz gefasst

Polymer- oder Hybrid-Polymerkondensatoren bieten aufgrund ihrer chemischen Eigenschaften neue Möglichkeiten für Kondensatoren. Beide Arten werden im Folgenden vorgestellt.

sive Bauelemente tun ihr übriges, um diese im Verhalten komplexen Bauelemente zu unterschätzen.

Insbesondere die Auswahl an Kondensatoren mit verschiedensten Dielektrika stellen die Entwickler vor die Qual der Wahl. Welchen Kondensator für welche Applikation?

- verringerten Abmessungen und Gewicht verlangt immer wieder nach neuen Kondensatorkonstruktionen. Polymer- oder Hybrid-Polymerkondensatoren nutzen die Eigenschaften von leitfähigem Kunststoff, dem Polymer. Einfach gesagt, ersetzt dieser



Autoren:
Thomas Steidl (links),
Business Development,
CapXon Europe und
Falko Ladiges (rechts),
Teamleitung PEMCO

WDI AG
www.wdi.ag/de/
CapXon Europe
www.capxongroup.com

Flüssig-Elektrolyt	Feste Polymer	Hybrid-Polymer
4 bis 50 V	2,5 bis 400 V	16 bis 100 V
Geringste Kosten	Höchste Wechselstrombelastbarkeit	Ähnlicher ESR wie Kondensatoren mit leitfähigem Polymer
Nur bedingt einsetzbar bei niedrigen Temperaturen	Stabil über den gesamten Temperaturbereich	Höhere Stabilität als Flüssig-Elektrolyt-Kondensatoren
Limitiertes Leben bei hohen Temperaturen	Extrem lange Lebensdauer	Geringerer Leckstrom als Kondensatoren mit leitfähigem Polymer

Tabelle 1: Prinzipaufbau von Aluminium-Kondensatoren mit verschiedenen Elektrolyten

festen Polymer den flüssigen Elektrolyten, vergleicht man diese Technologie mit der von herkömmlichen Elektrolytkondensatoren. Eine positive Eigenschaft des eingesetzten Polymers ist die hohe elektrische Leitfähigkeit.

Es wird zwischen reinen Polymer- und den sogenannten Hybrid-Polymer-Kondensatoren unterschieden. Wobei in Polymerkondensatoren nur festes Polymer als Elektrolyt verwendet wird und bei Hybrid-Polymerkondensatoren eine Kombination von festem Polymer mit flüssigem Elektrolyt.

Sowohl Polymer als auch Hybrid-Polymer-Konstruktionen bieten zahlreiche Vorteile gegenüber den weit verbreiteten flüssigen Elektrolyt-, Tantal- und Keramik-Kondensatoren, wenn höhere Ansprüche bezüglich

- Lange Lebensdauer
- Sicherheit auch im Fehlerfall
- Stabile elektrische Parameter über eine lange Einsatzdauer, Temperatur und Frequenz
- Zuverlässigkeit auch unter extremen Betriebsbedingungen
- Betrachtung der Gesamtkosten gestellt werden.

Polymer-Elektrolyt und Polymer-Hybrid-Kondensatoren im Vergleich

CapXon entwickelt und fertigt beide Technologien von Polymerkondensatoren. Aufgrund der unterschiedlichen Eigenschaften bedingt durch die Konstruktion sind diese für verschiedenste Applikationen einsetzbar.

Polymer-Elektrolytkondensatoren

In Polymer-Elektrolytkondensatoren wird ein festes, leitfähiges

Polymer als Elektrolyt verwendet. Gemeinsam mit der Stromzuführungsfolie aus Aluminium bildet es die Kathode des Kondensators. Auch die Anode ist als Aluminiumfolie ausgeführt. Beide Folien sind durch Ätzen strukturiert und erreichen damit eine größere Oberfläche und damit im Kondensator eine höhere Kapazität. Anodenseitig wird das Dielektrikum von einer hauchdünnen Aluminiumoxidschicht (Al_2O_3) auf der geätzten Oberfläche gebildet. Die Konstruktion von Folie, Papier und Elektrolyt wird als Kondensatorwickel aus-

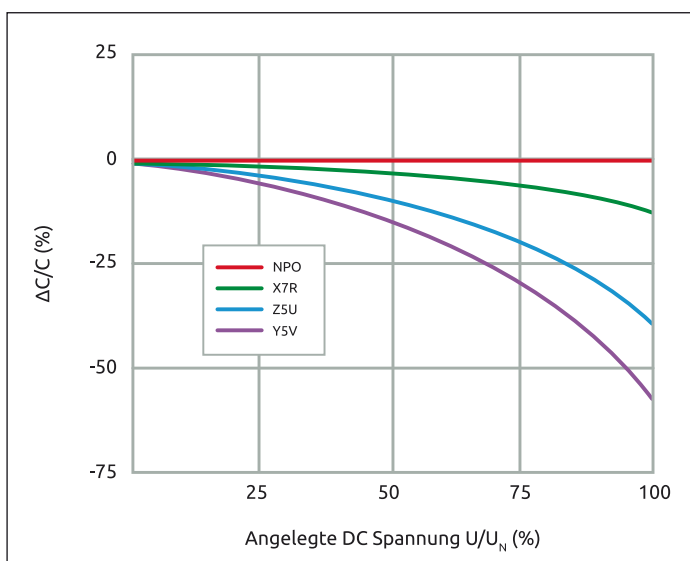


Bild 2: Änderung der Kapazität verschiedener Keramiken als Funktion der angelegten Spannung für einen 25-V-Kondensator

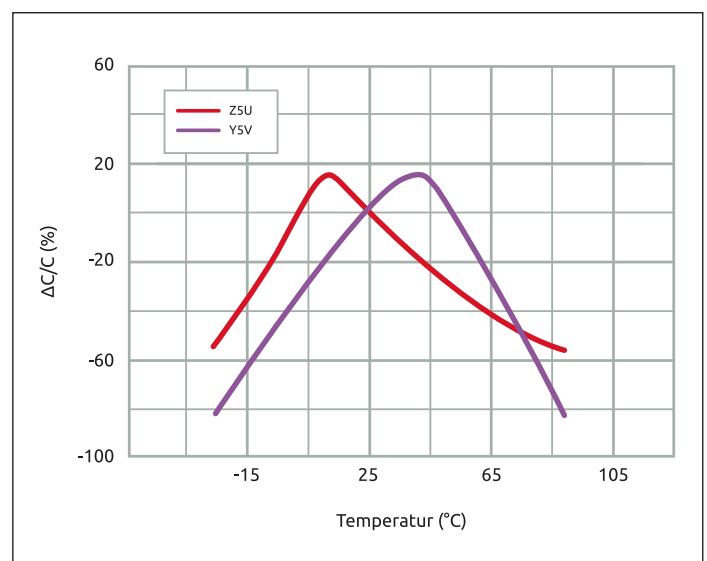


Bild 3: Änderung der Kapazität verschiedener Keramiken als Funktion der angelegten Temperatur

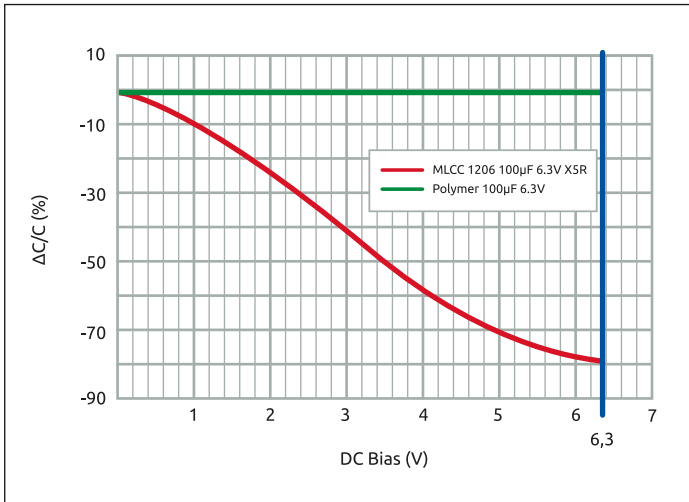


Bild 4: Änderung der Kapazität als Funktion der angelegten Spannung für einen MLCC sowie einen Polymerkondensator

geführt und in einer radialen Variante für Durchstecktechnik (THT) oder oberflächenmontierbar in SMD assembliert. Abhängig von Größe und Baureihe liefern diese Kondensatoren Kapazitäten zwischen 4,7 - 3900 µF und sind in einem Spannungsbereich von 2,5 - 400 V erhältlich. Das wesentliche Merkmal der Polymerkondensatoren von CapXon sind ihre ultra-niedrigen Ersatz-Serienwiderstände (ESR) von 7 mΩ, gemessen bei 100 kHz und zulässige Rippleströme von 7,1 A in den Bechergößen 8 x 11,5 mm sowie 10 x 12,5 mm.

Polymer-Hybrid-Kondensatoren

verwenden eine Kombination aus flüssigem und festem Elektrolyten.

So werden die Eigenschaften von Flüssig-Elektrolyt Elkos mit denen von Feststoff Elkos kombiniert und genau diese Kombination bietet aus den beiden Elektrolyten den besten technischen Kompromiss. Da bei Polymerwerkstoffen die Leitfähigkeit um einige Tausendfache besser ist als bei flüssigen Elektrolyten, resultiert hieraus der niedrige ESR.

Der in den Hybriden zusätzlich enthaltene Elektrolytfilm verbindet sich optimal zwischen der offenporigen Struktur des auf der Aluminiumfolie befindlichen Dielektrikums sowie dem Polymerelektrolyten. Hierdurch entsteht eine größere effektive Kondensatoroberfläche als bei den festen Polymer-Typen. Sie sind im Kapazitätsbereich von 10 bis 560 µF und Spannungen zwischen 16 bis

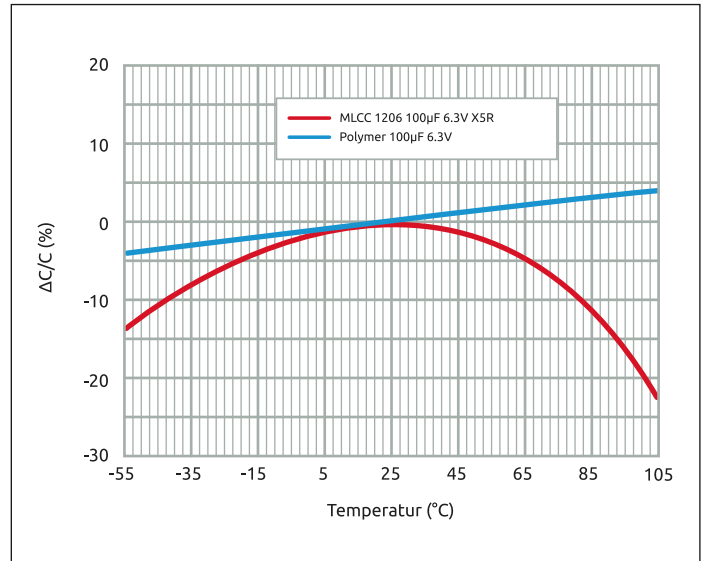


Bild 5: Änderung der Kapazität als Funktion der Temperatur für einen MLCC sowie einen Polymerkondensator

100 V erhältlich. Bedingt durch die geringere Leitfähigkeit des Elektrolytfilms liegen ihre ESR-Werte verglichen mit denen ihrer „festen“ Polymer-Brüder mit 14 bis 120 mΩ ein wenig höher, im Vergleich zu konventionellen Flüssigelektrolytkondensatoren (80 bis 440 mΩ bei vergleichbaren Becherabmessungen), allerdings sehr niedrig. Dies macht sich insbesondere bei Applikationen mit hohen Ausgangsleistungen bemerkbar.

Was bringt der Einsatz von Polymerkondensatoren?

Die sehr geringen ESR-Werte wurden Eingangs bereits mehrfach erwähnt. Diesen sowie den

weiteren positiven elektrischen Eigenschaften wollen wir nun mehr Augenmerk widmen.

Stabilität der elektrischen Parameter über eine lange Einsatzdauer

Vergleicht man die Polymer- oder Polymer-Hybridtechnologie mit keramischen Vielschichtkondensatoren werden die Vorteile deutlich.

Die Kapazität von Keramikkondensatoren ändert sich bei hochkapazitiven Typen mit der angelegten Spannung (siehe Bild 2)

Als Ausgangsmaterial für das Dielektrikum werden Keramiken der Klasse 2 wie X5R, X7R, Y4T oder Z5U verwendet, da sie im Gegensatz zu Klasse-1-Keramiken wie NP0 (COG) eine wesentlich höhere relative Permittivität ϵ_r haben und hierdurch größere Kapazitätswerte möglich machen. Die Kehrseite der Medaille ist allerdings, dass es sich bei Klasse-2-Keramiken um ferroelektrische Materialien handelt bei denen je höher die angelegte Spannung, desto niedriger die Permittivität ist. Die mit höherer Spannung gemessene oder angelegte Kapazität kann auf Werte von -80 % des mit der standardisierten Messspannung von 0,5 oder 1,0 V gemessenen Werts abfallen. Was das für die Schaltung in Filter- und Speicheranwendungen bedeutet braucht hier nicht weiter ausgeführt zu werden. In Audio-Anwendungen ist dies der Grund für harmonische Verzerrungen.

Technologie	Feste Polymer	Hybrid-Polymer
Kapazität	4,7 µF – 3900 µF	10 µF – 560 µF
Nennspannung	2,5 V – 400 V	16 V – 100 V
Max. Temperatur	105 °C / 125 °C	105 °C / 125 °C
ESR	7 mΩ – 120 mΩ	14 mΩ – 120 mΩ

Tabelle 2: Eckparameter von Elektrolytkondensatoren mit festen Polymer und Hybridkondensatoren

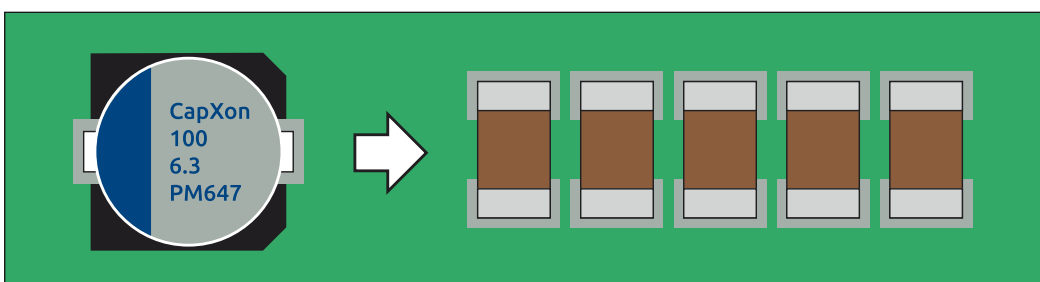


Bild 6: Ein Polymerkondensator ersetzt fünf hochkapazitive MLCC

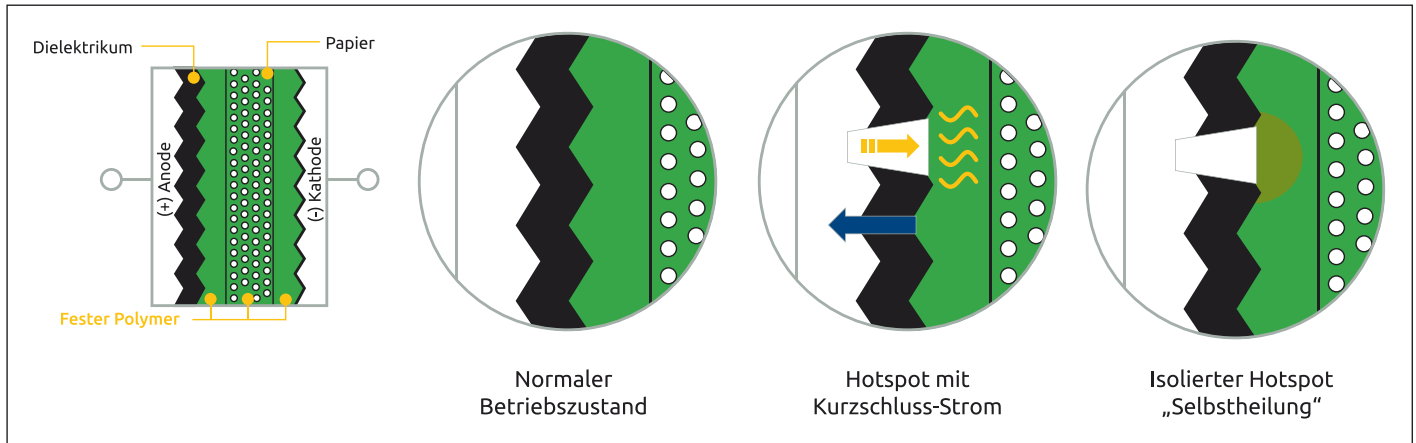


Bild 7: Selbstheilungseigenschaften von Polymerkondensatoren

Zu der Spannungsabhängigkeit kommen erschwerend auch noch der große Temperaturkoeffizient und damit die Temperaturabhängigkeit von Klasse-2-Keramiken hinzu. Je nach verwendetem Material können Kapazitäts-Schwankungen von -80 % über den gesamten Temperaturbereich z. B. von -40 °C bis +85 °C auftreten! (siehe Bild 3).

Alterung

Als weiterer Punkt ist noch die Alterung, also die Abnahme der Kapazität über Zeit zu berücksichtigen. Bei ferroelektrischen Keramik Kondensatoren der Klasse 2 wird dieses Verhalten „Alterung“ genannt. Es tritt in ferroelektrischen Dielektrika auf, wo Domänen der Polarisierung in dem Dielektrikum zur Gesamtpolarisation beitragen. Deren Abbau im Dielektrikum verringert die relative Permittivität ϵ_r , im Laufe der Zeit, so dass die Kapazität von Keramik Kondensatoren der Klasse 2 sinkt. Polymerkondensatoren weisen solch ein Verhalten nicht auf. Sie verhalten sich stabil

über Temperatur, Zeit und angelegte Spannung (siehe Bild 4 und 5).

Insbesondere bei Anwendungen im Automobil oder im industriellen Umfeld wie elektrischen Antrieben, regenerativer Energieerzeugung (Solar, Wind etc.) sind die Geräte und damit auch die elektronischen Bauelemente oft widrigen Umgebungsbedingungen und großen Temperaturschwankungen ausgesetzt. Sinken die Kapazitätswerte, wie im vorherigen Kapitel beschrieben, sehr stark ab, kann es zu Störungen im Betrieb oder im schlimmsten Fall zu Feldausfällen kommen, weshalb Keramik Kondensatoren nur bedingt für solche Einsatzzwecke geeignet sind.

Sicherheitsaspekte

Bei gewöhnlichen keramischen SMD-Vielschichtkondensatoren (MLCC) kann es bedingt durch mechanische oder elektrische Überbeanspruchung zu Beschädigungen des Bauteils kommen. Vibrationen auf Grund von Schockbelastungen oder mechanischem Stress zum

einen, Spannungsbelastungen oberhalb der spezifizierten Nennspannung oder übermäßige Wechselstrombelastung zum anderen, können im schlimmsten Fall einen Kurzschluss des Kondensators auslösen und möglicherweise einen Ausfall des kompletten Gerätes zur Folge haben.

Aufgrund ihrer hauchdünnen Keramiksichten bei hochkapazitiven Typen, etwa 200 bis 300 Lagen mit einer Stärke von wenigen μm , kann es durch zu starke Leiterplattenverbiegungen zur Berührung der Elektroden und letztendlich zum Kurzschluss kommen. Der Kondensator entzündet sich und brennt wie ein Streichholz. Kondensatoren mit festem, leitfähigem Polymer liefern im Fehlerfall, wie dem Durchbruch des Dielektrikums aus Aluminiumoxid, eine extrem hohe Sicherheit.

Selbstheilungseigenschaften von Polymerkondensatoren

An der Durchschlagstelle kommt es zu einem erhöhten Fluss des Rest-

stroms und zu einem örtlichen Hotspot der beschädigten Stelle. Das Polymer erhitzt sich so stark, dass es hochschmelzt und verdampft. Der Durchschlag wird also isoliert und abgekoppelt vom übrigen Material. Vergleichbar mit Filmkondensatoren wird von „Selbstheilung“ gesprochen. Allerdings sei nicht verschwiegen, dass die geheilte Stelle nicht mehr für die Kapazität des Kondensators zur Verfügung steht.

Hybrid-Polymerkondensatoren beinhalten außer dem leitfähigen Kunststoff noch einen geringen Anteil eines flüssigen Elektrolyten. Dieser bewirkt einen Stromfluss an der durchgeschlagenen Stelle, welche wiederum eine Oxidation des Dielektrikums bewirkt und die ehemals schadhafte Stelle wieder elektrisch nutzbar macht.

Anwendungen

Mit all den genannten technischen Vorteilen werden Polymer- und Hybridkondensatoren für mehr und mehr Anwendungen interessant und dringen in Anwendungsfelder vor die bisher anderen Kondensator-technologien vorbehalten waren.

Polymer offeriert:

- Stabile elektrische Eigenschaften über Jahre
- Keine Kapazitätsdrift über Temperatur oder angelegter Spannung
- Einsetzbar auch bei sehr niedrigen Temperaturen

und ist somit eine zu bevorzugende Kondensator-technologie für Entkopplung, Back-Up, Bypass, Glättung und Filteranwendungen. ◀

	Worst Case	Al Polymer 100 μF 6,3 V $\pm 20\%$	MLCC 100 μF 6,3 V $\pm 20\%$ X5R
Nominal Wert		100 μF	100 μF
Nominal Toleranz	Polymer: -20 % MLCC: -20 %	80 μF	80 μF
$\Delta C/C$ (DC Bias) bei 6,3 V	Polymer: 0 % MLCC: -75 %	80 μF	20 μF
$\Delta C/C$ (Temp.) bei 85 °C	Polymer: +5 % MLCC: -15 %	84 μF	17 μF
Ergebnis		84 μF	17 μF

Tabelle 3: Worst-Case-Betrachtung der Kapazitätsabnahme von MLCC im Vergleich zu Aluminium-Polymer-Kondensatoren