

ELECTROLYTIC  
**CAPACITORS**

Juni 2018

**CapXon White Papers**

**Technologie von  
Conductive PolymerKondensatoren  
Conductive Hybrid Kondensatoren**



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.

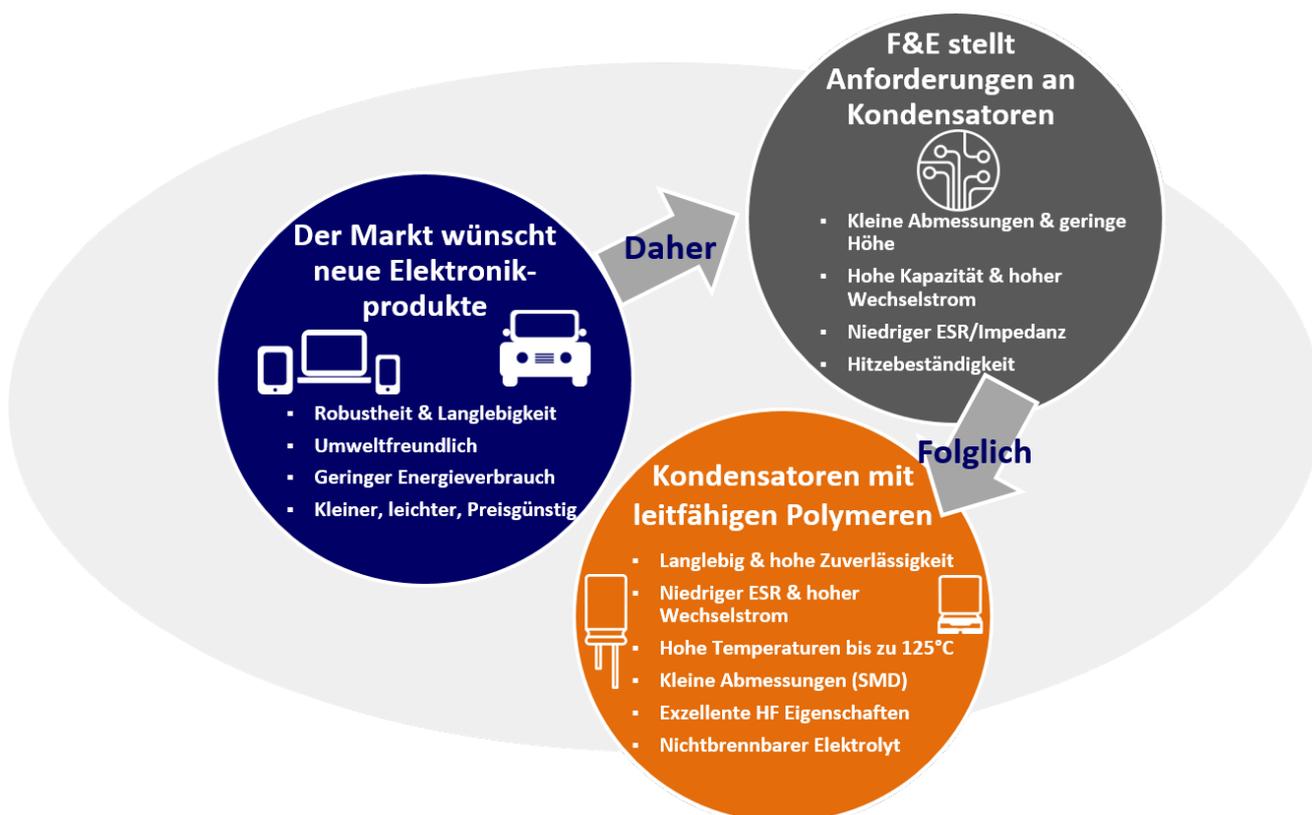


Abb. 1: Polymerkondensatoren für die Anforderungen von heute und morgen

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 Schaltkreise und werden sehr oft als einfach zu verwendende Komponenten angesehen. Die, im Vergleich zu aktiven Bauteilen, deutlich günstigeren Beschaffungspreise für passive Bauelemente tun ihr übriges um diese im Verhalten komplexen Bauelemente zu unterschätzen.

Insbesondere die Auswahl an Kondensatoren mit verschiedensten Dielektrika stellen den Entwickler/in vor die Qual der Wahl. Welchen Kondensator für welche Applikation? 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
- verringerten Abmessungen und Gewicht

verlangt immer wieder nach neuen Kondensator-konstruktionen. Polymer- oder Hybrid-Polymer-kondensatoren nutzen die Eigenschaften von leitfähigem Kunststoff, dem Polymer. Einfach gesagt ersetzt dieser feste 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 flüssigen Elektrolyt.

Sowohl Polymer als auch Hybrid-Polymer-Konstruktionen bieten zahlreiche Vorteile gegenüber

den weit verbreiteten flüssigen Elektrolyt-, Tan-tal- und Keramik-kondensatoren wenn höhere Ansprüche bezüglich

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

gestellt werden.

## POLYMERKONDENSATOREN VON CAPXON

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

Flüssig-Elektrolyt	Fester Polymer	Hybrid-Polymer
4 bis 650 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

Abb. 2: Prinzipaufbau von Aluminium-Kondensatoren mit verschiedenen Elektrolyten

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 ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) auf der geätzten Oberfläche gebildet. Die Konstruktion von Folie, Papier und Elektrolyt wird als Kondensatorwickel ausgeführt und in einer radialen Variante für Durchstecktechnik (THT) oder oberflächenmontierbar in SMD assembliert. Abhängig von Größe und Baureihe liefern diese Kondensatoren Kapazitäten zwischen  $4,7\text{-}3900\mu\text{F}$  und sind in einem Spannungsbereich von  $2,5\text{-}400\text{V}$  erhältlich. Das wesentliche Merkmal unserer Polymerkondensatoren sind ihre ultra-niedrigen Ersatz-Serienwiderstände (ESR) von  $7\text{m}\Omega$ , gemessen bei  $100\text{kHz}$  und zulässige Rippleströme von  $7,1\text{A}$  in den Bechergrößen  $8\times 11,5\text{mm}$  sowie  $10\times 12,5\text{mm}$ .

**Polymer-Hybrid-Kondensatoren** verwenden eine Kombination aus flüssigem und festem Elektrolyten. So werden die Eigenschaften von flüssigen 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 enthaltenen Elektrolytfilm verbindet sich optimal zwischen der offenporigen Struktur des auf der Aluminiumfolie befindlichen Dielektrikums sowie dem Polymer-

elektrolyten. Hierdurch entsteht eine größere effektive Kondensatoroberfläche als bei den festen Polymer-Typen. Sie sind erhältlich im Kapazitätsbereich von  $10$  bis  $560\mu\text{F}$  und Spannungen zwischen  $16$  bis  $100\text{V}$ . Bedingt durch die geringere Leitfähigkeit des Elektrolytfilms liegen ihre ESR-Werte verglichen mit denen ihrer „festen“ Polymer-Brüder mit  $14$  bis  $120\text{m}\Omega$  ein wenig höher, im Vergleich zu konventionellen Flüssigelektrolytkondensatoren ( $80$  bis  $440\text{m}\Omega$  bei vergleichbaren Becherabmessungen), allerdings sehr niedrig. Dies macht sich insbesondere bei Applikationen mit hohen Ausgangsleistungen bemerkbar.

Technologie	Fester Polymer	Hybrid Polymer
Kapazität	$4,7\mu\text{F} - 3900\mu\text{F}$	$10\mu\text{F} - 560\mu\text{F}$
Nennspannung	$2,5\text{V} - 400\text{V}$	$16\text{V} - 100\text{V}$
Max. Temperatur	$105^\circ\text{C} / 125^\circ\text{C}$	$105^\circ\text{C} / 125^\circ\text{C}$
ESR	$7\text{m}\Omega - 120\text{m}\Omega$	$14\text{m}\Omega - 120\text{m}\Omega$

*Tabelle 1: Eckparameter von Elektrolytkondensatoren mit festen Polymer und Hybridkondensatoren*

## 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 anderen Kondensatoren werden die Vorteile deutlich.

Die Kapazität von **Keramikkondensatoren** ändert sich bei hochkapazitiven Typen mit der angelegten Spannung.

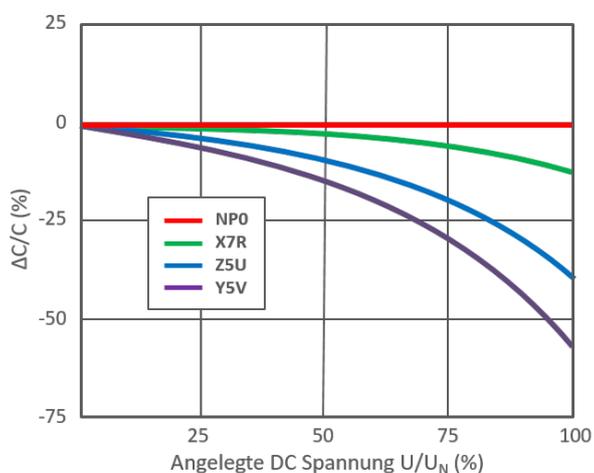


Abb. 3: Änderung der Kapazität verschiedener Keramiken als Funktion der angelegten Spannung für einen 25V-Kondensator

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  $\epsilon_r$  haben und hierdurch größere Kapazitätswerte möglich machen.

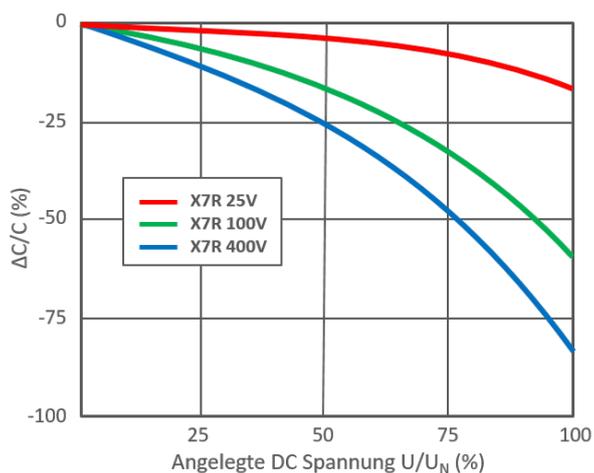


Abb. 4: Änderung der Kapazität für X7R-Keramiken bei verschiedenen Nennspannungen

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 oder Speicheranwendungen bedeutet braucht hier nicht weiter ausgeführt zu werden. In Audio-Anwendungen ist dies der Grund für harmonische Verzerrungen.

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

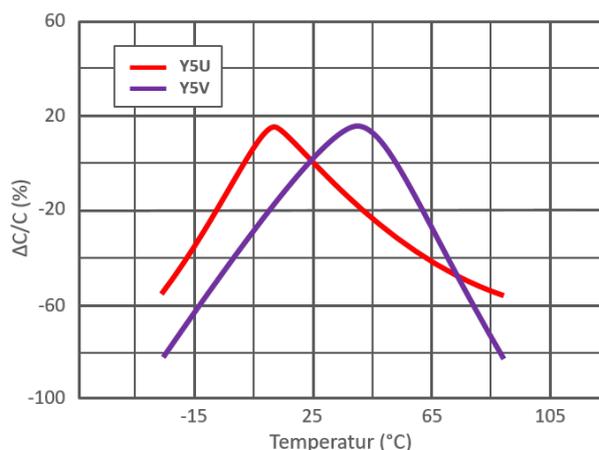


Abb. 5: Änderung der Kapazität verschiedener Keramiken als Funktion der angelegten Temperatur

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 Polarisation in dem Dielektrikum zur Gesamtpolarisation beitragen. Deren Abbau im Dielektrikum verringert die relative

Permittivität  $\epsilon_r$  im Laufe der Zeit, so dass die Kapazität von Keramikkondensatoren der Klasse 2 sinkt.

**Polymerkondensatoren** weisen solch ein Verhalten nicht auf. Sie verhalten sich stabil über Temperatur, Zeit und angelegte Spannung (siehe Abb. 6 und 7).

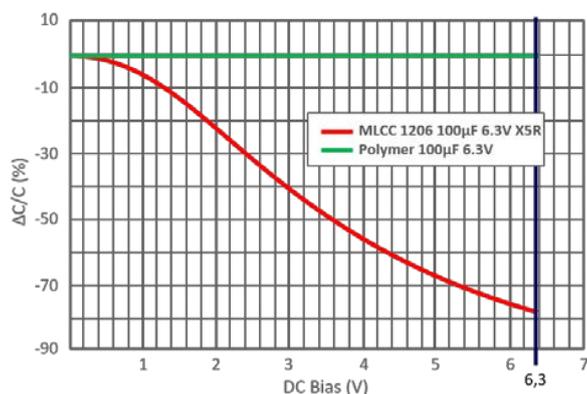


Abb. 6: Änderung der Kapazität als Funktion der angelegten Spannung für einen MLCC sowie einen Polymerkondensator

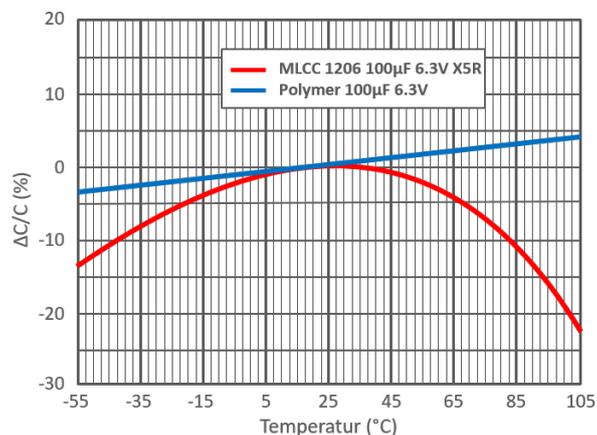


Abb. 7: Änderung der Kapazität als Funktion der Temperatur für einen MLCC sowie einen Polymerkondensator

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 Keramikkondensatoren nur bedingt für solche Einsatzzwecke geeignet sind.

	Worst case	Al Polymer 100 μF 6.3V ±20%	MLCC 100 μF 6.3V ±20% X5R
Nominal Wert		100 μF	100 μF
Nominal Toleranz	Polymer: -20% MLCC: -20%	80 μF	80 μF
ΔC/C (DC Bias) at 6.3V	Polymer: 0 MLCC: -75%	80 μF	20 μF
ΔC/C (Temp.) at 85°C	Polymer: +5% MLCC: -15%	84 μF	17 μF
<b>Ergebnis</b>		<b>84 μF</b>	<b>17 μF</b>

Tabelle 2: Worst Case Betrachtung der Kapazitätsabnahme von MLCC im Vergleich zu Aluminium-Polymer Kondensatoren

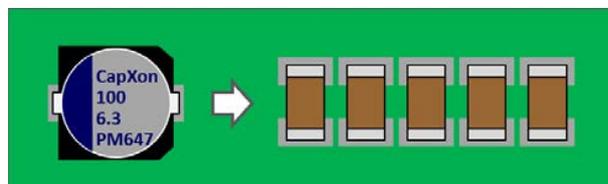


Abb. 8: Ein Polymerkondensator ersetzt fünf hochkapazitive MLCC

## WIE STEHT ES MIT FLÜSSIGELEKTROLYT-KONDENSATOREN?

Auch Aluminiumkondensatoren mit Flüssigelektrolyt sind immer ein Kompromiss für solche Anwendungen, aufgrund ihrer hohen Volumenkapazität werden oft Ihre bauartbedingten Nachteile übersehen. Aufgrund des flüssigen Elektrolyten sind die Kondensatoreigenschaften sehr abhängig von der Temperatur, da die Bewegung der Ladungsträger direkt abhängig von der Viskosität des Elektrolyten ist.

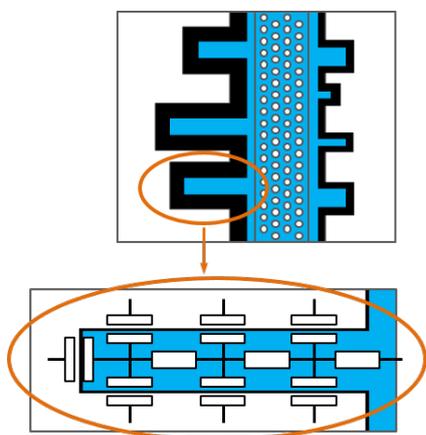


Abb. 9: Tunnelkapazität von Flüssigelektrolyt-Kondensatoren

Zusätzlich bildet der Elektrolytwiderstand mit den in die Aluminiumfolie geätzten Tunnelkapazitäten ein RC-Netzwerk. Im Bereich hoher Frequenzen trägt die Tunnelkapazität nicht mehr zu Gesamtkapazität bei und sorgt somit für einen starken Kapazitätsabbau über Frequenz.

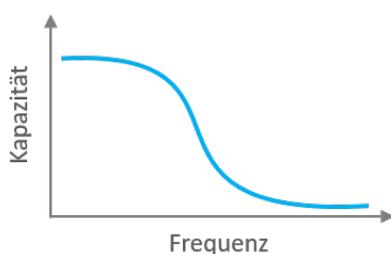


Abb. 10: Kapazitätsabbau über Frequenz für Flüssigelektrolyt-Kondensatoren

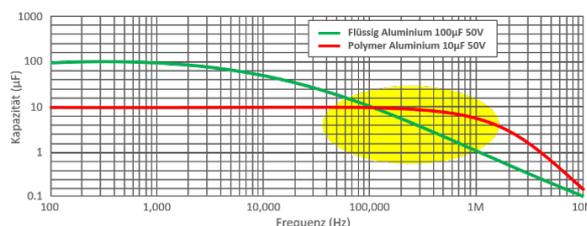


Abb. 11: Abhängigkeit der Kapazität von der Frequenz für Flüssigelektrolyt und Polymerkondensatoren

Abbildung 11 zeigt einen typischen Kapazitätsverlauf über Frequenz. Bei höheren Frequenzen baut die Kapazität des Flüssigelektrolyt-Kondensators sehr stark ab. Bei 100 kHz sind von den 100 µF Nominalkapazität nur noch 10 µF übrig. Speziell im gelb hinterlegten Bereich, also zwischen 100 kHz bis in den MHz-Bereich sind solche Kondensatoren nur noch bedingt geeignet während Polymerkondensatoren ihre Kapazität behalten.

## UND WAS IST MIT TANTAL-KONDENSATOREN?

Tantal-Kondensatoren mit Elektrolyten aus Mangandioxid  $MnO_2$  müssen um eine sicheren Einsatz zu gewährleisten mit einer reduzierten Spannung von 50% Ihrer Nennspannung betrieben werden. Bei einem 50V Bauteile bedeutet dies eine maximal zulässige DC-Spannung von 25V welche keinesfalls mit zusätzlichen Spannungsrrippeln überlagert werden darf, da die Kondensatoren ansonsten frühzeitig ausfallen. Solche ein Herabsetzen der Einsatzspannung bedeutet eine Vergrößerung der Bauform und steigert die Kosten des Bauteils.

	Eingangsfiler	Ausgangsfiler
Kondensator Nennspannung	Maximal zulässige Betriebsspannung	Maximal zulässige Betriebsspannung
4,0 V	2,5 V	2,5 V
6,3 V	3,6 V	3,3 V
10 V	6,0 V	5,0 V
16 V	10 V	6,0 V
20 V	12 V	10 V
25 V	15 V	12 V
35 V	24 V	15 V
50 V	28 V	24 V
63 V	36 V	31 V

Tabelle 3: Empfohlene Spannungsreduzierung für Tantal-Kondensatoren bei Betriebstemperaturen unter 85°C

Neben der reduzierten Einsatzspannung sind auch die Hochfrequenzeigenschaften von Tantal-Kondensatoren zu berücksichtigen, wenn sie beispielsweise als Glättungs-Kondensator in hochgetakteten DC/DC Wandlern verwendet werden. Ihre Kapazitätsdrift ist sehr stark frequenzabhängig was bei der Schaltungsdimensionierung unbedingt einkalkuliert werden muss.

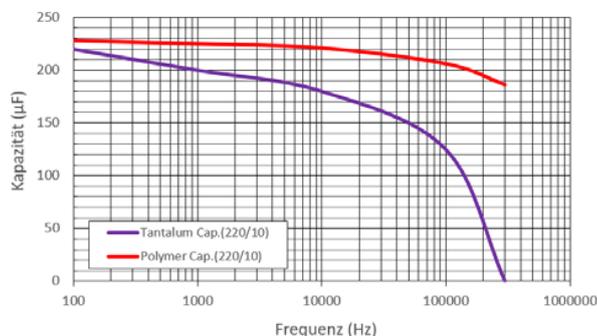


Abb. 12: Kapazitätsabhängigkeit von Frequenz für Tantal- und Aluminium-Polymerkondensatoren

Eine hohe Kapazitätsdrift über Frequenz macht eine höhere Nominalkapazität notwendig, was sich negativ auf den Kosten und den Platzaspekt auswirkt. Bei einer geforderten Kapazität von 1500 µF und 100 kHz Schaltfrequenz müssen im obigen Beispiel 12 Stück der Tantal-Kondensatoren aber nur 8 Stück der Aluminium-Polymerkondensatoren eingesetzt werden.

Kondensator	Tantal 220 µF 10 V	Aluminium Polymer 220 µF 10 V
Kapazität bei 100 kHz	125 µF	206 µF
Benötigte Kapazität bei 100kHz	1500 µF	1500 µF
Benötigte Menge	12 Stück	8 Stück

Tabelle 4: Anzahl benötigter Kondensatoren für die geforderte Gesamtkapazität von 1500 µF bei einer Frequenz von 100 kHz

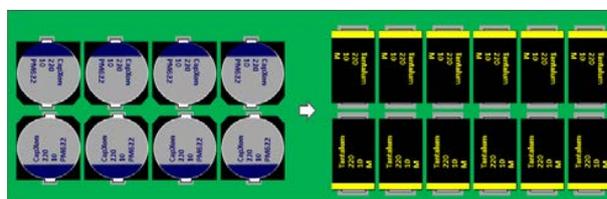


Abb. 13: Baugrößenvergleich Polymer- zu Tantal-Kondensatoren

Polymer oder Polymer-Hybridkondensatoren leisten konstruktionsbedingt einen wesentlichen Beitrag die benötigte Kapazität auch über einen großen Temperaturbereich, bei hohen Frequenzen und den für sie festgelegten Nennspannungen zu garantieren.

## EXTREM LANGE LEBENSDAUER

Um auf geringsten Bauraum eine hohe Kapazität bei gleichzeitig akzeptablen Kosten zu erreichen blieb bisher nur der Weg Aluminiumkondensatoren mit flüssigem Elektrolyten zu verwenden.



Außer den temperatur- und frequenzbedingten Nachteilen ist immer die Lebensdauer dieser Kondensatoren zu berücksichtigen. Dort wo Wärme, welche durch ohmsche Verluste erzeugt wird, unwesentlich ist – zum Beispiel in Zeitgeberschaltungen – ist es möglich eine Lebenszeitbetrachtung unter Verwendung der Faustformel

von Arrhenius zu machen. D.h. eine Verdoppelung der Lebensdauer wird mit 10°C Temperatursenkung des Elkos erreicht. Diese vereinfachte Betrachtung ist für einen Kondensator in einem Netzteil nicht möglich, da der Temperaturanstieg durch ohmsche Verluste während des Auf- und Entladens nicht vernachlässigt werden kann. Der maßgebliche Einfluss des Wechselstroms muss berücksichtigt werden.

Durch die Verwendung eines flüssigen Elektrolyten, ergeben sich Veränderungen der elektrischen Eigenschaften über die Zeit.

Auch bei Raumtemperatur kommt es zur Ausgasung von Teilen des Elektrolyten, welcher trotz des abgedichteten Gehäuses durch die Dichtung diffundiert.

Infolgedessen verliert ein Aluminium-Elektrolytkondensator während der Zeit langsam aber ständig Elektrolyt - das Bauteil trocknet aus. Je niedriger die Temperatur des Kondensators, desto langsamer der Austrocknungsprozess, folglich eine längere Lebensdauer.

Die Umgebungstemperatur und die Wärmewicklung durch ohmsche Verluste bei Stromfluss, bestimmen die Temperatur des Elkos und damit den Austrocknungsprozess. Durch die Abnahme an Menge des flüssigen Elektrolyten im Kondensator, nehmen die ohmschen Verluste (ESR) zu, weil weniger Elektrolyt vorhanden ist, der den Ladungsträgertransport von und zur Anode übernimmt. Gleichzeitig verringert sich die Kapazität, da der Elektrolyt nicht mehr mit allen Poren der Gesamtoberfläche auf der geätzten Anode in Kontakt ist.

Bei **Polymerkondensatoren** kann der feste Elektrolyt nicht austrocknen, weder durch die Umgebungstemperatur noch den Temperaturanstieg im Kondensator. Einzig die durch die Temperatur im Bauteil verbundene Einwirkung auf Materialien und Wandlung der Leitfähigkeit begrenzen die Lebensdauer. Die Arrhenius-Regel, findet auch für Polymerkondensatoren ihre Anwendung. Hier **Verzehnfacht** sich die Lebensdauer, verringert sich die Temperatur des Elkos um 20°C.

Aluminium-Kondensator mit flüssigem Elektrolyt	Hybrid Polymer Kondensator	Aluminium-Kondensator mit festem, leitfähigem Polymer
$L_x = L_0 \cdot 2^{\frac{T_0 + \Delta T_0 - T_x - \Delta T_x}{10K}}$	$L_x = L_0 \cdot 2^{\frac{T_0 + \Delta T_0 - T_x - \Delta T_x}{10K}}$	$L_x = L_0 \cdot 10^{\frac{T_0 + \Delta T_0 - T_x - \Delta T_x}{20K}}$
<p>10°C Temperatursenkung = Doppelte Lebensdauer</p>	<p>10°C Temperatursenkung = Doppelte Lebensdauer</p>	<p>20°C Temperatursenkung = 10-fache Lebensdauer</p>
<p>2000 h @ 105°C, zugesichert Bei 65°C Lebensdauer: 32000 h oder 3,7 Jahre</p>	<p>2000 h @ 105°C, zugesichert Bei 65°C Lebensdauer: 32000 h oder 3,7 Jahre</p>	<p>2000 h @ 105°C, zugesichert Bei 65°C Lebensdauer: 200000 h oder 22,8 Jahre</p>

Abb. 14: Gegenüberstellung der Lebensdauern von Elektrolytkondensatoren mit flüssigen Elektrolyten und festen, leitfähigen Polymeren unter Berücksichtigung der Umgebungstemperatur und der zusätzlichen Erwärmung des Anwenderstroms.

- $L_x$  : Erwartete Lebensdauer (Std.) bei tatsächlicher Anwendungstemperatur
- $L_0$  : Spezifizierte Lebensdauer (Std.) bei maximaler, zulässiger Kondensatortemperatur, Wechselstrombelastung und Spannung (**Datenblatt**)
- $T_0$  : Maximal zulässige Kondensatortemperatur (°C) (**Datenblatt**)
- $T_x$  : Tatsächliche Anwendungstemperatur (°C)
- $\Delta T_0$  : Kerntemperaturanstieg (°C) durch interne Erwärmung aufgrund des maximal zulässigen Nennwechselstroms
- $\Delta T_x$  : Kerntemperaturanstieg (°C) durch interne Erwärmung aufgrund des tatsächlichen Anwenderstroms

## SICHERHEITASPEKTE

Bei gewöhnlichen Aluminiumkondensatoren mit flüssigen Elektrolyten kann es bedingt durch mechanische oder elektrische Überbeanspruchung zu Beschädigungen an der Oxidschicht 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.



Auch keramischen SMD- Vielschichtkondensatoren (MLCC) sind nur eingeschränkt gegen mechanischen Stress immun. Aufgrund ihrer hauchdünnen Keramiksichten bei hochkapazitiven Typen, etwa 200 bis 300 Lagen mit einer Stärke von wenigen  $\mu\text{m}$ , 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.**

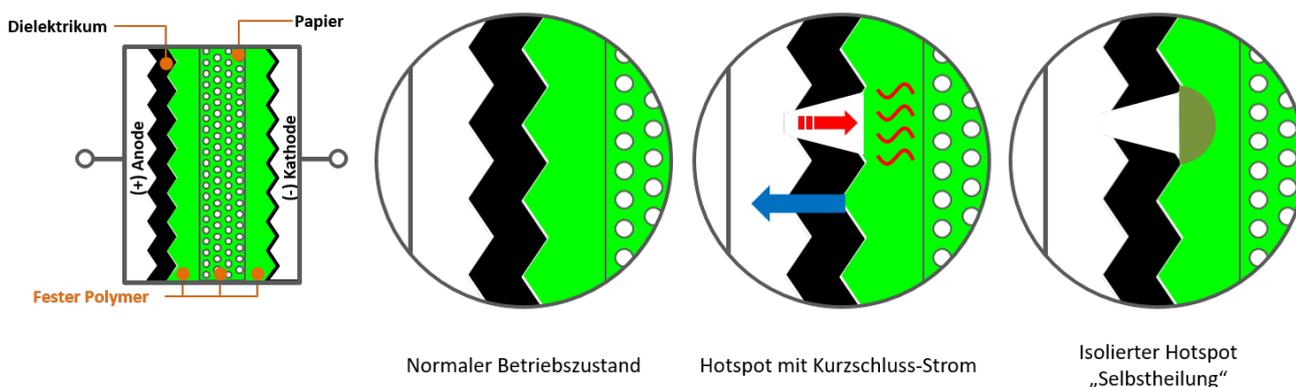


Abb. 15: Selbstheilungseigenschaften von Polymerkondensatoren

An der Durchschlagsstelle kommt es zu einem erhöhten Fluss des Reststroms und zu einem örtlichen Hotspot der beschädigten Stelle. Das Polymer erhitzt sich so stark, dass es hochohmig wird 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.

	Flüssig-Elektrolyt	Leitfähiger Polymer	Hybrid-Polymer
Kapazität bei hohen Frequenzen	×	⊙	○
ESR bei hohen Frequenzen	×	⊙	○
Leckstrom	⊙	△	⊙
Hoher Ripple-Strom	×	⊙	△
Hohe Nennspannung	⊙	△	△
Temperatur Verhalten	×	⊙	○
Verhalten bei niedrigen Temperaturen	×	⊙	○
Lebensdauer	△	⊙	○
Ausfallmodus	Offen	Kurzschluss	Offen

Exzellent > Schlechter    ⊙ > ○ > △ > ×

Tabelle 5: Vergleich von Flüssig-Elektrolyt, Hybrid-Polymer und Polymer-Kondensatoren

## ANWENDUNGEN

Die technischen Vorteile von Polymer und Hybrid-Polymer-Kondensatoren wurden in den obigen Ausführungen erläutert. In den folgenden Abschnitten betrachten wir die vielseitigen Einsatzgebiete der Polymertechnik und den über sie entstehenden Nutzen in den Anwendungen.

## ENTKOPPLUNG

Digitale ICs benötigen während ihres Betriebs impulsartig hohe Ströme, die Oberwellen enthalten, so dass unter Umständen die Versorgungsspannung einbricht. Dies würde für die übrigen Schaltungsteile gravierende Auswirkungen haben. Der Entkoppelkondensator speichert Energie und muss in der Lage sein sie sehr schnell wieder abgeben zu können. Er puffert also und hält die Spannung für die Schaltung stabil. Zusätzlich hat er die Aufgabe für die Oberwellen eine kurze Schleife zu bilden um einen Rückfluss über die Zuleitung in die Versorgung zu verhindern. Ist er nicht vorhanden oder in der Lage die Oberwellen abzuleiten, entsteht eine große Oberschwingungsstromschleife vom IC zur Versorgungsleitung und die daraus gebildete Antennen produziert ein sehr hohes Emissionsrauschen. Ein guter Entkoppelkondensator muss eine ausreichend große Kapazität und eine sehr niedrige Impedanz haben. Er verhindert wirksam, dass der vom IC produzierte AC-Anteil in die Quelle fließen kann.

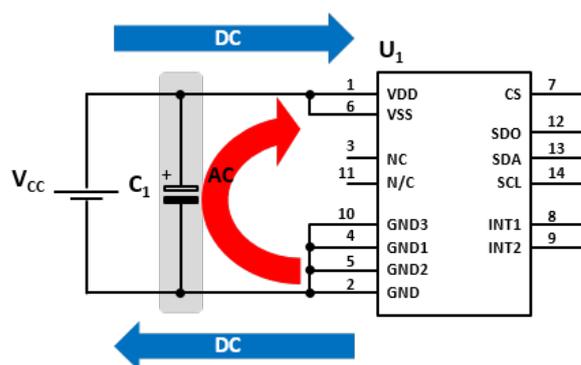


Abb. 16: Funktion eines Entkoppelkondensators

Die Impedanz  $Z$  eines realen Kondensators setzt sich aus den kapazitiven ( $X_C$ ), resistiven (ESR) und induktiven ( $X_L$ ) Widerständen zusammen. Er wird über die nachfolgende Gleichung berechnet und mittels des vereinfachten Ersatzschaltbildes dargestellt.

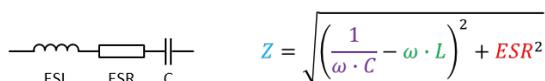


Abb. 17: Vereinfachtes Ersatzschaltbild sowie Impedanz-Gleichung eines realen Kondensators

Der ESR ist die einzige **temperaturabhängige** Größe in der Ersatzschaltung aber unabhängig von der Frequenz.  $X_C$  als auch  $X_L$  weisen eine starke **Frequenzabhängigkeit** auf.

Abbildung 18 veranschaulicht das Impedanzverhalten eines Flüssigelektrolyt-Kondensators über Frequenz. Bei niedrigen Frequenzen  $\leq 100\text{Hz}$  ist der induktive Anteil vernachlässigbar und die Impedanz wird ausschließlich durch die Kapazität bestimmt, was durch die fallende, violette Gerade dargestellt ist. Im mittelfrequenten Bereich von  $10\text{kHz}$  kommt mehr und mehr der frequenzunabhängige ESR, als rote Gerade, zum tragen. Steigt die Frequenz auf Werte von  $\geq 100\text{kHz}$  dominiert mehr und mehr der induktive Widerstand, erkennbar als steigende, grüne Gerade. Aus der Addition ergibt sich die hellblaue Impedanzkurve. Da der ESR temperaturabhängig ist, bestimmt er maßgeblich bei mittleren Frequenzen die Impedanz und es hängt **entscheidend vom verwendeten Elektrolyten ab**, ob die Impedanz zwischen z.B.  $-20^\circ\text{C}$  und  $+20^\circ\text{C}$  um den 1-fachen oder 10-fachen Wert steigt.

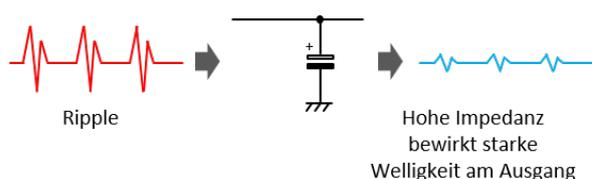
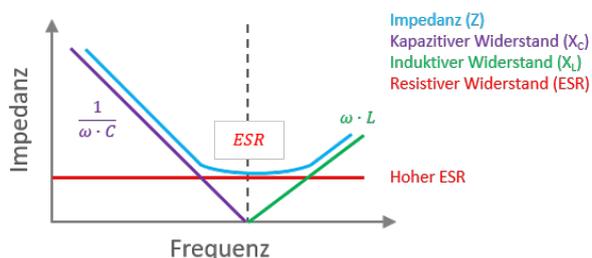


Abb. 18: Impedanzkurve eines Flüssigelektrolyt-Kondensators und Auswirkung auf die AC Welligkeit

Die Impedanzkurve von Polymerkondensatoren ähnelt der eines idealen Kondensators. Durch die extrem niedrige Impedanz in der Nähe der Resonanzfrequenz (gestrichelte graue Linie), hervorgerufen durch den deutlich geringeren ESR ist diese Technologie bestens geeignet als Entkopplung um Oberwellen in digitalen, statischen und Audioanwendungen zu filtern. Die AC-Welligkeit verringert sich um ein Vielfaches verglichen mit Tantal-Kondensatoren oder Elkos mit flüssigen Elektrolyten.

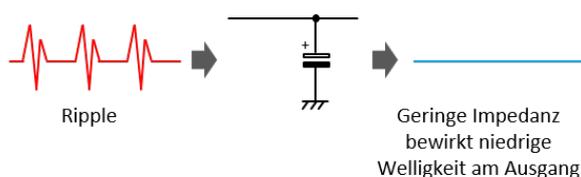
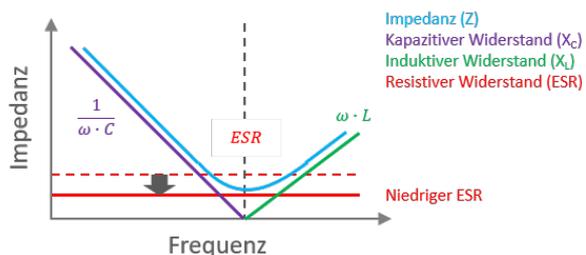


Abb. 19: Impedanzkurve eines Polymerkondensators und Auswirkung auf die AC Welligkeit

## BACK-UP SCHALTUNG

Flüssig-Aluminium-E-Caps, auch Low-ESR-Typen, können aufgrund des ESR nicht auf Hochgeschwindigkeitslaständerungen bei hohen Strömen reagieren. Der hohe ESR verhindert eine schnelle elektrische Ladung und Entladung der Kapazität. Polymerkondensatoren mit ihren extrem niedrigen ESR von bis zu  $7\text{m}\Omega$  sind in der Lage auf hohe Strombedarf zu reagieren und Lastwechsel entsprechen schnell zu kompensieren. Das Polymermaterial unterstützt hierbei den stabilen Betrieb der Last. Typische Anwendungen sind Back-up Schaltungen von Mikroprozessoren, CPUs oder FPGAs wo der Strombedarf zwischen 5A und 100A in Mikrosekunden liegen kann.

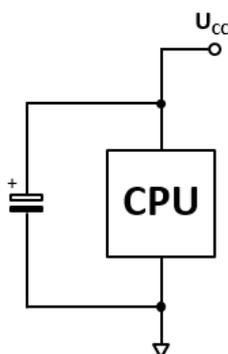


Abb. 20: Typische Back-up Schaltung einer Zentralen Prozessor Einheit (CPU)

- Niedriger ESR lässt schnelles laden und entladen zu
- Fähig auf große Stromübergänge mit hoher Geschwindigkeit zu reagieren
- Polymer unterstützt den stabilen Betrieb der Ladung

## GLÄTTUNG

Elektronische Baugruppen für industrielle Anwendungen wie Wechselrichter erneuerbarer Energien (Solar/Wind), Motorantriebe oder Schaltnetzteile sind von ihren rauen Umgebungsbedingungen und Anforderungen prädestiniert

für Polymerkondensatoren. Ihr ESR ist nicht temperaturabhängig und lässt somit innerhalb des für den Kondensator spezifizierten Temperaturbereichs einen sicheren Betrieb zu.

Industriegeräte sind im Gegensatz zu Consumer-Produkten für einen langfristigen Zeitraum ausgelegt. Ein gutes Beispiel sind Solarwechselrichter welche bis zu 20 Jahren sicher und zuverlässig arbeiten sollen. Die darin befindliche Leistungselektronik bestehend aus DC/DC-Wandler, Zwischenkreis und AC/DC-Wandler wird mittels Kontrolleinheiten über Digitale Signal Prozessoren (DSP) gesteuert. Für die Versorgung der Kontrolleinheiten sind entsprechende DC/DC Wandler notwendig die aus Hochspannungspegeln eine z.B. 15V-Spannung generieren.

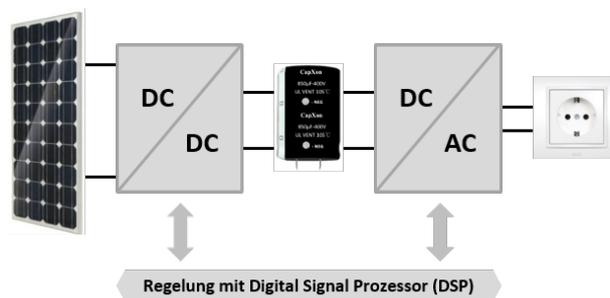


Abb. 21: Blockschaltbild eines Solar-Wechselrichters

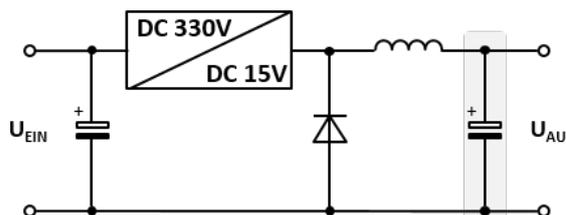


Abb. 22: Stromversorgung des DSP

In der Regel werden keramische Kondensatoren MLCC oder flüssige Aluminium-E-Caps als Ausgangskondensator der Stromversorgung für die Kontrolleinheit (15V DC-Seite) verwendet.

Allerdings wirken sich bei MLCC deren Kapazitätsabhängigkeit gegenüber Temperatur und angelegter Spannung negativ auf die Umgebungsbedingungen aus. Flüssige Aluminium-E-Caps sind aufgrund ihrer limitierten Lebensdauer sehr genau auszulegen.

Die Kapazität der Polymerkondensatoren nimmt weder durch die angelegte Spannung noch durch die Umgebungstemperatur. Gleichzeitig bieten sie eine 10-fache Lebensdauer bei Reduzierung ihrer Umgebungstemperatur um 20°C.

### Polymer offeriert:

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

Polymer Elko	Flüssiger Elko
105 °C → 2.000 h	105 °C → 2.000 h
95 °C → 6.300 h	95 °C → 4.000 h
85 °C → 20.000 h	85 °C → 8.000 h
75 °C → 63.000 h	75 °C → 16.000 h

Tabelle 6: Faustformel nach Arrhenius für Polymer und Flüssig-Elektrolytkondensatoren

### FILTERSCHALTUNGEN

Filter sind überall dort notwendig wo empfindliche Schaltungsteile vor Störungen geschützt oder die negativen Auswirkungen reduziert werden sollen. Beispielsweise sind bei DC/DC-Wandlern wie Aufwärts- und Abwärtstopologien die Eingangs- als auch auf der Ausgangsseite störfähig. Einerseits erzeugt das Schaltregler-IC durch die Schaltfrequenz sowie durch Schaltübergänge selbst die Störungen zum anderen gibt es vielseitige Einkopplungen über die Leiterplatte welche, massive Störungen hervorrufen können. Als Filter werden Serienschaltungen aus Induktivitäten und Kondensatoren (LC-,  $\pi$ - oder

T-Filter) eingesetzt die einen Tiefpass bilden. Der Tiefpass lässt fast alle Signalamplituden unterhalb seiner Grenzfrequenz durch während er oberhalb dieser Frequenz die Signalamplituden wirksam dämpft.

Sehr oft werden Aluminium-Kondensatoren mit flüssigem Elektrolyten aufgrund ihrer hohen Kapazität zur Erhöhung des Wirkungsgrades in den Filtern eingesetzt. Allerdings ist ihr ESR um ein vielfaches höher als der von Polymerkondensatoren, was sich speziell bei Filtern für hohe Frequenzen durch ein spürbares Rauschen bemerkbar macht. Verwendet man nun Kondensatoren mit leitfähigen Polymeren und sehr kleinen ESR wird die Verstärkung des Filters erhöht und letztendlich das Rauschen signifikant unterdrückt. Beispielsweise können unter Umständen bei  $\pi$ -Filtern die Anzahl der Komponenten reduziert werden was zu einer Senkung der Kosten und gleichzeitig Verringerung des Platzbedarfes auf der Leiterplatte führt.

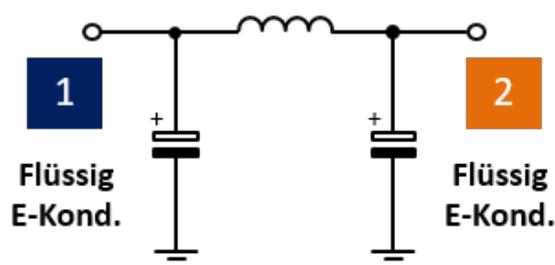


Abb. 23:  $\pi$ -Filter mit Flüssig Aluminium-Elektrolytkondensatoren und Filterinduktivität

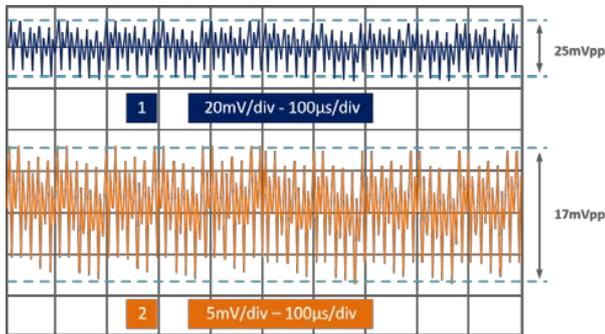


Abb. 24: Starkes Rauschen hervorgerufen durch den hohen ESR der Flüssig-Aluminium-Elektrolytkondensatoren

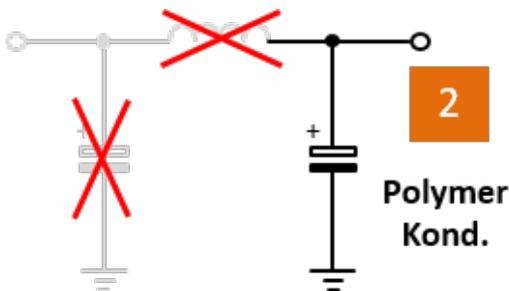


Abb. 25:  $\pi$ -Filter mit Polymerkondensator anstatt Flüssig-Elektrolyt und Filterinduktivität

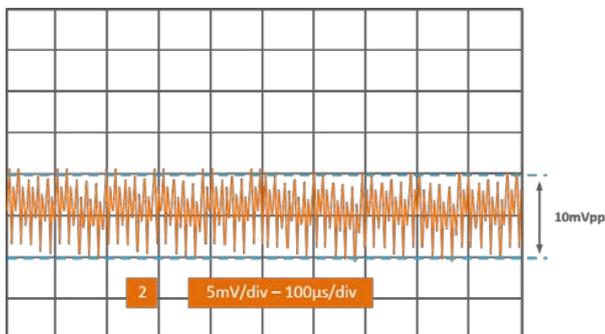


Abb. 26: Deutlich verbesserte Performance und geringes Rauschen durch den Polymerkondensator und dessen sehr niedrigen ESR

## EINSATZ IM AUTOMOBIL

Sämtliche Serien entsprechen den Qualitätsanforderungen in automobilen Anwendungen:



- Produktions-Freigabe-Verfahren „PPAP Level 3“ - Bemusterung aller Produktions- und Ersatzteile für die Automobilindustrie

- Prüfung der Polymer- und Hybridpolymer-Kondensatoren gemäß Standard AEC-Q200
- Produktion in unser IATF 16949 zertifizierten Fertigungsstätte in Shenzhen



Abb. 27: Zertifizierung nach IATF16949



## VERFÜGBARE PRODUKTE

Die folgenden Übersichten veranschaulichen alle bei CapXon verfügbaren Serien und deren Eckparameter für Polymer- und Hybridkondensatoren. Das Portfolio wird ständig erweitert und die bisher machbaren Grenzen nach oben verschoben. Unsere Entwicklung arbeitet permanent an:



- verkleinerten Abmessungen

- höheren Spannungen (Polymer bis 400V und Hybrid-Polymer bis 100V)
- geringeren ESR
- höheren Kapazitäten
- längeren Lebensdauern bei hohen Temperaturen

Auf diese Weise werden Polymer- und Hybridkondensatoren mit all den genannten technischen Vorteilen für mehr und mehr Anwendungen interessant und dringen in Anwendungsfelder vor die bisher anderen Kondensatorstechnologien vorbehalten waren.

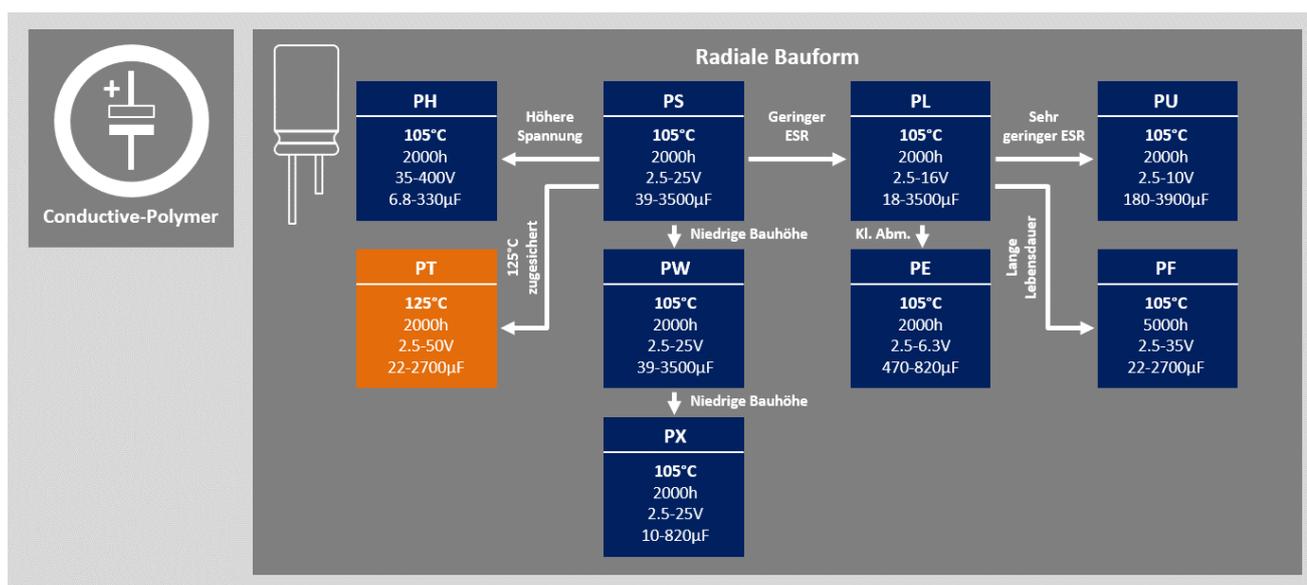


Abb. 28: Übersicht radialer Aluminium-Polymerkondensatoren

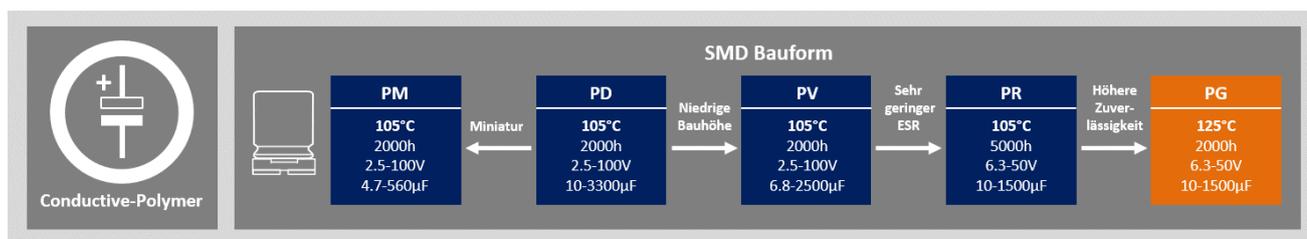


Abb.29: Übersicht SMD Aluminium-Polymerkondensatoren

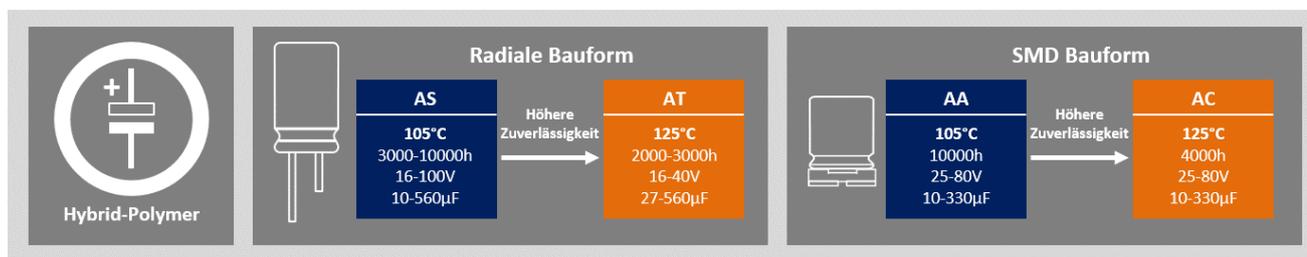


Abb. 30: Übersicht radiale und SMD Hybrid-Polymerkondensatoren

Für weitere Informationen besuchen Sie unsere Homepage <http://www.capxongroup.com/en/>

1. Specification and description for the component(s) are subject to change without notice
2. Operation conditions (ambient temperature, ripple current, thermal resistance, etc.) may affect the lifetime of a capacitor, please consult CapXon for life time calculation in your application.
3. For aerospace or military application and for life-saving or life-sustaining applications please consult us before design-in in your application.
4. Under no circumstance, CapXon warrants that any CapXon product is suitable for the purposes intended for your application, even CapXon knows the application. It is buyer's duty and obligation to check and make sure that CapXon's products are suitable for the purposes intended and select the correct and proper CapXon product.
5. Except for the written express warranties, CapXon DO NOT, impliedly, by assumption or whatever else, warrant, undertake, promise any other warranty or guaranty for CapXon's Products.

1. 零件的規格和說明 □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □
2. 操作條件（環境溫度、紋波電流、熱阻等）可能會影響電容器的壽命，您應用的壽命計算請諮詢 Capxon。
3. 對於航太或軍事應用以及安全維持生命的應用，在 您導入設計應用之前請向本公司諮詢。
4. 在任何情況下，Capxon不保證任何Capxon產品符合您應用之預期目的，即使Capxon知悉該應用。檢查並確保Capxon產品符合預期目的以及選擇正確和適當的Capxon產品是買方的義務。
5. 除書面明示保證外，Capxon對於Capxon產品不以 假設或任何其他方式暗示保證、承擔、承諾任何其他保證或擔保。

Contact us for any question on usage of our products inside your application, like safety, lifetime, reliability or assembling and mounting. Please refer to the guidelines inside the catalogue and the disclaimer.

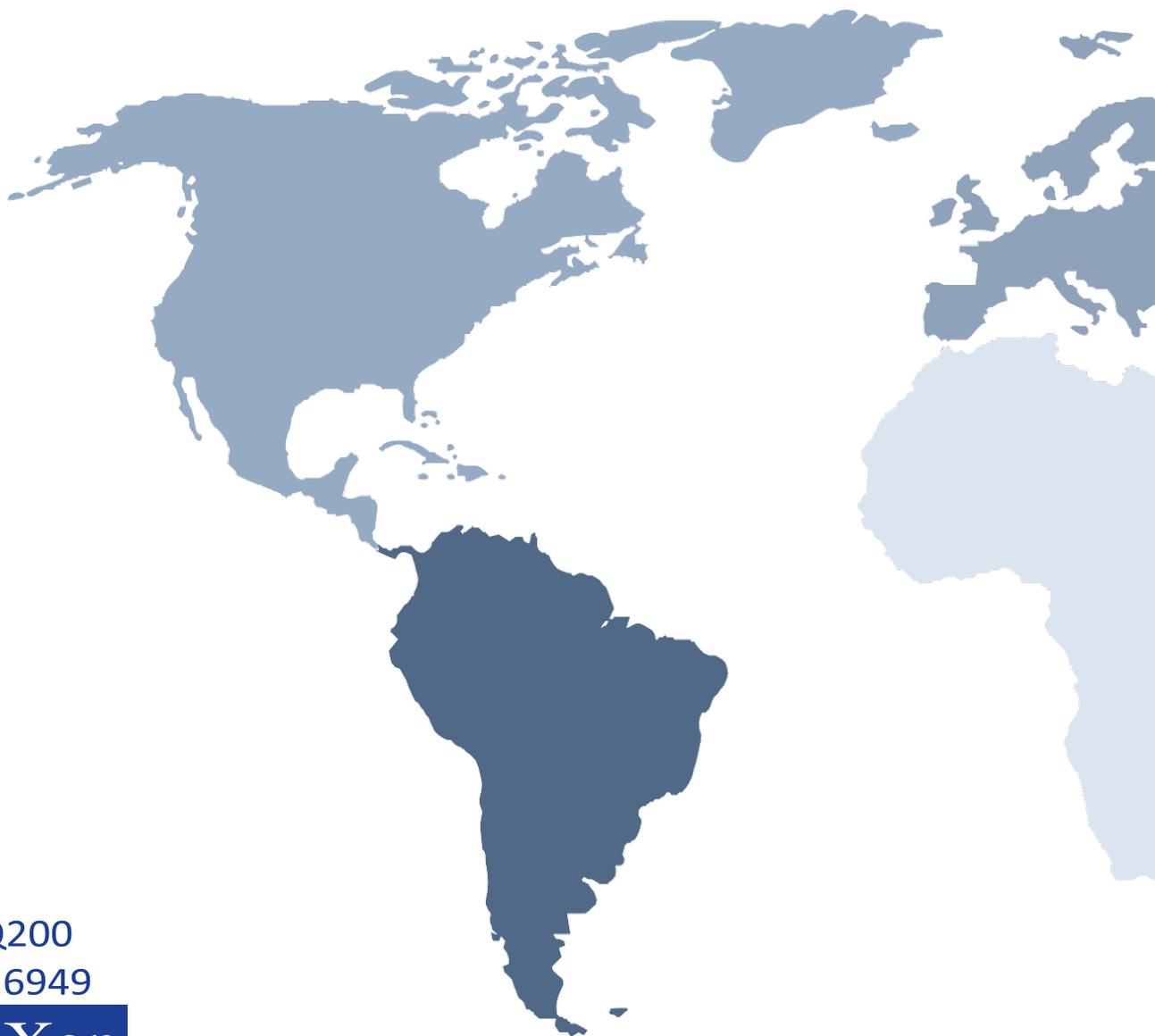
For further information visit our website: [www.capxongroup.com](http://www.capxongroup.com)







<http://www.capxongroup.com>



AEC-Q200  
IATF 16949

CapXon

英屬維京群島商凱普松科技股份有限公司  
台灣分公司

**Capxon Technology Limited Taiwan Branch**

新北市汐止區大同路二段157號5樓

5F, No. 157, Da Tung Road, Sec. 2, XiZhi Dist.,

New Taipei City, 22183, Taiwan R. O. C.

TEL: +886-2-8692-6611

E-mail: sales@capxon.com.tw

英屬維京群島商凱普松科技股份有限公司  
台灣分公司－歐洲辦事處

**Capxon Europe Office**

Schwalbenweg 11, 72793 Pfullingen, Germany

TEL: +49-151-11355795

E-mail: sales@capxon-europe.com

豐賓電子（深圳）有限公司

**Capxon Electronic (Shen-Zhen) Co., Ltd.**

518106 廣東省深圳市光明新區公明街道塘尾社區松白路4132號(塘尾工業區)

No.4132, Songbai Road, Tangwei Village, Gongming Sub-district,  
Guangming New District, Shenzhen City, Guangdong, China

Post Code: 518106

TEL: +86-755-2717-7888

E-mail: sales@capxon.com.cn

豐賓電子（深圳）有限公司－蘇州辦事處

**Capxon Electronic (Shen-Zhen) Co., Ltd. – Su-Zhou Office**

江蘇省蘇州市高新區錦峰路158號3樓

Room 301-2, Building 22, NO.158 Jinfeng Road, Suzhou, China

TEL: +86-0512-68780980

E-mail: sales@capxon.com.cn