

Whitepaper

Dauerhaft zuverlässige Entstörung mit X- und Y- Folien- Funkentstörkondensatoren

Einleitung

X- und Y- Folienkondensatoren werden zur Funkentstörung elektronischer Geräte in externen EMV-Filtern oder in direkt auf der Leiterplatte bestückten Filter-Anwendungen eingesetzt. Darüber hinaus schützen sie das elektronische Gerät vor netzseitigen Überspannungen (Transienten) und unterdrücken leitungsgebundene Rückwirkungen des elektronischen Geräts auf das Versorgungsnetz.

Die Anzahl an elektronischen Geräten steigt seit Jahren kontinuierlich an, und dieser Trend gewinnt zunehmend an Dynamik. So werden herkömmliche Glühbirnen durch elektronisch getaktete Energiesparlampen und LED-Birnen ersetzt. Künftig werden immer mehr Wohngebäude und Fabriken durch elektronisch betriebene LED-Röhren beleuchtet. Alte, Quecksilberhaltige Straßenlaternen werden durch moderne LED-Straßenlaternen mit elektronischen Vorschaltgeräten ersetzt. Der Ausstieg aus der Atomkraft hat eine zunehmende Verbreitung von Wechselrichtern zur Folge, die eine aus Sonnen- oder Windkraft gewonnene Gleichspannung in Wechselspannung umwandeln. Energieeffizienz-Gesetze erfordern die Verwendung von elektronisch gesteuerten Motoren und Antrieben wie z.B. elektronisch gesteuerte Heizungspumpen. Immer mehr Haushaltsgeräte wie z.B. Kühlschränke und Kühltruhen sind mit energiesparenden elektronischen Steuerungen anstatt von mechanischen Steuerungen ausgestattet. Moderne Induktionsherde finden zunehmend in Küchen Einzug. Elektro- und Hybridfahrzeugen werden in den kommenden Jahren durch Ladestationen über das Versorgungsstromnetz aufgeladen. Durch die Energiewende gewinnen Anwendungen aus dem Bereich Smart Meter („Intelligente“ elektronische Stromzähler), Smart Home und Smart Grid zunehmend an Bedeutung.

Nur wenn sich sämtliche dieser am Stromnetz befindlichen Produkte nicht gegenseitig stören, kann ein reibungsloses Nebeneinander dieser Produkte funktionieren.

In der Vergangenheit wurden zur Stromversorgung von elektronischen Geräten hauptsächlich Linearnetzteile verwendet. Konstruktionsbedingt verursachten diese linear geregelten Trafonetzteile keine hohen EMV-Belastungen. Folglich kam es zu relativ wenigen EMV-bedingten Störfällen von elektronischen Geräten am Netz. Daher wurde der tatsächlichen Einhaltung der EMV-Grenzwerte über die gesamte Lebensdauer eines elektronischen Geräts hinweg wenig Aufmerksamkeit gewidmet.

Aktuell werden elektronische Geräte anstatt mit Linearnetzteilen hauptsächlich mit effizienteren, aber störungskritischeren Schaltnetzteilen betrieben. Jedoch wird in der Praxis nach wie vor - so lange es zu keinen Störfällen kommt – die Einhaltung der Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) eines elektronischen Geräts zumeist nur zu dem Zeitpunkt gemessen, zu dem dessen CE-Konformität belegt werden muss. Dies ist in der Regel vor dem Inverkehrbringen des Geräts durch den Hersteller der Fall.

Die EMV eines elektronischen Gerätes gewinnt jedoch zunehmend an Bedeutung. Denn es gibt immer mehr elektronische Geräte am Netz, die für ihre reibungslose Funktion und einen ungestörten Betrieb auf eine ausreichende Netzqualität angewiesen sind. Dies sind z.B. viele Produkte aus dem Bereich Smart Meter, Smart Home und Smart Grid. Mit dem europaweiten Rollout von Smart Metern werden dann praktisch in jedem Haushalt elektronische Geräte installiert sein, die für ihre fehlerfreie Funktion auf eine Netzqualität mit zuverlässig begrenzten Störspannungen und Störströmen angewiesen sind. Es ist davon auszugehen, dass die zuständigen Behörden den Störverursacher, der den Betrieb solcher Produkte stört, genau identifizieren werden und zur Behebung der Störung auffordern werden.

Somit kommt der wirksamen und zuverlässigen Entstörung von elektronischen Geräten über deren gesamten Betriebsdauer eine zunehmend wichtige Bedeutung zu. Daher ist es wichtig, dass die Lebensdauererwartung der zur Entstörung verwendeten X- und Y- Funkentstörkondensatoren der des betreffenden elektronischen Geräts entspricht. Ob sich dies in der Praxis tatsächlich so verhält, wurde jedoch bisher keine große Beachtung geschenkt.

Im Gegensatz zu Aluminium-Elektrolyt-Kondensatoren, die in Lebensdauer-Klassen (z.B. 85°C/2.000 Stunden, 105°C/10.000 Stunden) eingeteilt sind, gibt es bei Folienkondensatoren keine solchen Kategorisierungen in Bezug auf ihre minimale Lebensdauererwartung. Dies kann dazu führen, dass dieselben X- und Y- Funkentstörkondensatoren sowohl in low-cost Konsumerelektroniken als auch in deutlich anspruchsvolleren und langlebigeren Leistungselektroniken eingesetzt werden. Dies wäre jedoch nur akzeptabel, wenn X- und Y- Funkentstörkondensatoren keiner Alterung unterliegen. Dies ist jedoch nicht der Fall. Wie alle metallisierten Folienkondensatoren unterliegen sie einer Alterung, welche maßgeblich durch die Einflussfaktoren Temperatur, Spannung und Feuchtigkeit bestimmt wird.

Ziel dieses Whitepapers ist es, für X- und Y- Folienkondensatoren einen beschleunigten Lebensdauer-Test (ALT-Test, Accelerated Life Test) vorzustellen. Mit diesem Test können die zu erwartenden Alterungsprozesse der Folienkondensatoren während der gesamten Lebensdauer des elektronischen Geräts offengelegt werden. Der Test berücksichtigt dabei sämtliche relevanten Einflussfaktoren auf die Alterung von metallisierten Folienkondensatoren.

Der Hersteller eines elektronischen Geräts soll mit diesem beschleunigten Lebensdauertest selbst sicherstellen können, dass die zur Verwendung vorgesehenen X- und Y- Folienkondensatoren tatsächlich eine ausreichende Lebensdauererwartung für seine Applikation besitzen. Daher wird die Aufnahme eines solchen beschleunigten Lebensdauertests in den Bauteile-Qualifizierungsprozess empfohlen.

Nur wenn die X- und Y- Funkentstörkondensatoren zuverlässig ihre spezifizierte Funktion erfüllen, sind dauerhaft begrenzte Emissions- und Immunitätswerte eines elektronischen Geräte entsprechend den gültigen EMV-Grenzwertkurven gewährleistet. Nur dann ist die CE-Konformität des elektronischen Geräts über seine gesamte Lebensdauer hinweg gewährleistet.

Störungsarten:

Folgende elektromagnetische Unverträglichkeiten ergeben sich aus dem Betrieb von elektronischen Geräten:

Störspannungen (Leitungsgebundene Störaussendung):

- Symmetrische (Gegentakt-) Störungen
- Asymmetrische (Gleichtakt-) Störungen

Störstrahlung (Feldgebundene Störaussendung):

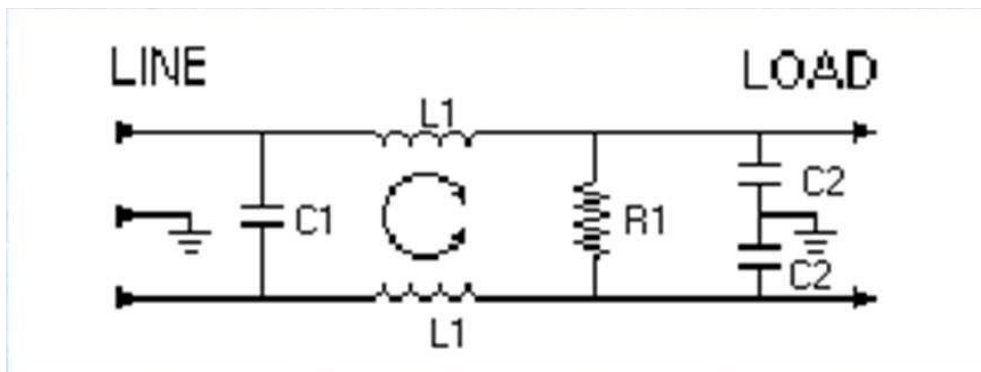
- Überwiegend asymmetrische Störungen auf Leitungen von oder zum Gerät, die dann als „Antennen“ wirken.
- Abstrahlung des Geräts selbst.

Bevor elektronische Geräte in den Verkehr gebracht werden, müssen sie die Einhaltung der entsprechend ihrer Geräteklasse gültigen Grenzwertkurven z.B. der EN 55011_22 belegen, um ihre CE-Konformität nachzuweisen.

Entstörung durch Netzfilter - Aufbau und Funktion

Netzfilter werden in elektronischen Geräten eingesetzt um die Einhaltung der gültigen EMV-Grenzwertkurven in Bezug auf deren maximal zulässigen Immunitäts- und Emissionswerte zu gewährleisten.

Typischer Aufbau von Netzfiltern:



X-Kondensator (C1):

- zwischen Phase und Neutraleiter oder zwischen zwei Phasen geschaltet.
- dämpft symmetrischen Störanteil (Gegentakt-Störspannungen, differential mode noise).
- leitet hochfrequente Störsignale gegen Masse ab.
- schließt hochfrequente Störungen zwischen den Zuleitungen kurz.

Y-Kondensator (C2):

- zwischen Phase respektive Neutraleiter und berührbarem, schutzgeerdetem Apparategehäuse (PE) angeschlossen.
- dämpft asymmetrischen Störanteil (Gleichtaktstörungen, common mode noise).
- Schließt hochfrequente Störungen gegen Erde kurz.
- Ableitstrom darf nicht unzulässig erhöht werden.

Drossel (L1):

- Bei symmetrischer Störquelle (periodisch öffnender bzw. schließender Schalter, z.B. Triac) und bei asymmetrischer Störquelle (z.B. Oszillator für Mikroprozessor).
- Erhöht die Impedanz des symmetrischen und des asymmetrischen Störstromkreises.
- Verringert die durch Schaltfrequenz & deren Harmonische entstehenden Störströme.

Testergebnisse eines beschleunigten Lebensdauertests von X2- und Y2-Folienkondensatoren:

Aus dem Aufbau eines Netzfilters ergibt sich die Bedeutung einer dauerhaft zuverlässigen Funktion von X- und Y- Funkenstörkondensatoren.

Jedoch unterliegen handelsübliche X- und Y- Folienkondensatoren einer Anfälligkeit für unkontrollierte Kapazitätsverluste aufgrund einer klimatischen Alterung durch die Präsenz einer ungewünschten Luftfeuchtigkeit im Kondensatorinneren.

Zum einen wird dies durch entsprechende Ausfälle bei Anwendungen von X2-Kondensatoren in kapazitiven Stromversorgungen belegt. In dieser Applikation wird ein X2-Kondensator in Serie zur Netzspannung geschaltet und ist funktionskritisch für die Anwendung - im Gegensatz zu netzparallelen („across-the-line“) Filter-Anwendungen. Betroffene Anwender berichten von Extremfällen, in denen bereits nach weniger als einem Jahr ein großer Kapazitätsverlust (> 50%) von X-Kondensatoren festgestellt wurde und es daher zu Feldausfällen kam. Als Fehlerursache stellte sich eine Korrosion der Folienmetallisierung der X2-Kondensatoren aufgrund von Feuchtigkeitseinflüssen heraus.

Zum anderen kann die Anfälligkeit für solch eine klimatische Alterung aufgrund von Luftfeuchtigkeit durch einen Klimatest mit den Parametern Temperatur, Feuchtigkeit und Spannung belegt werden.

Im folgenden Beispiel wurden je 10 X2-Kondensatoren mit 0.68 μ F und 305Vac der handelsüblichen Ausführung von namhaften Herstellern sowie die entsprechenden 10 X2-Kondensatoren der feuchtigkeitsrobusten THB-Version von HJC (THB-X2) getestet. Die Testbedingungen waren 85°C, 85% RH und 240Vac für 1000 Stunden.

Ebenso wurde der Test durchgeführt mit 10 Y2-Kondensatoren mit 0,001 μ F und 300Vac einer handelsüblichen Ausführung sowie mit 10 entsprechenden Y2-Folienkondensatoren der feuchtigkeitsrobusten THB-Version von HJC (THB-Y2).

Die Kapazitätswerte wurden bei Raumtemperatur nach einer Erholungszeit von 24 Stunden gemessen. Die folgenden Bilder zeigen die Mittelwerte der Kapazitätsveränderung.

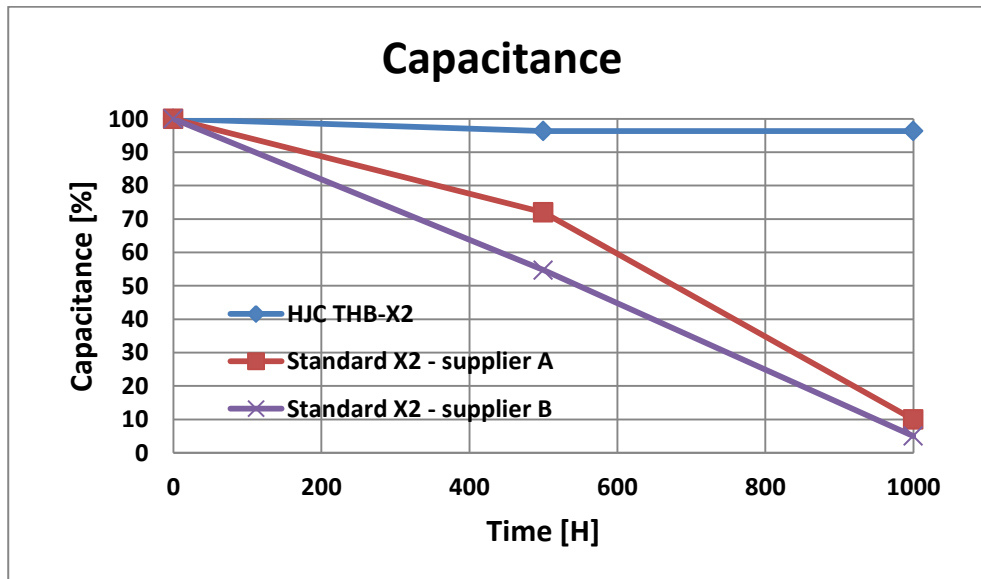


Bild 1: THB-X2 Kondensatortyp MKP-684K0305AB1221U von HJC (X2, 0,68 μ F/305Vac in THB-Ausführung (feuchtigkeitsrobuste Version)) sowie die entsprechenden handelsüblichen X2 Kondensatoren. Kapazitäts-Veränderung in einem Test mit den kontinuierlichen Bedingungen 85°C Temperatur, 85% RH Feuchtigkeit und 240Vac.

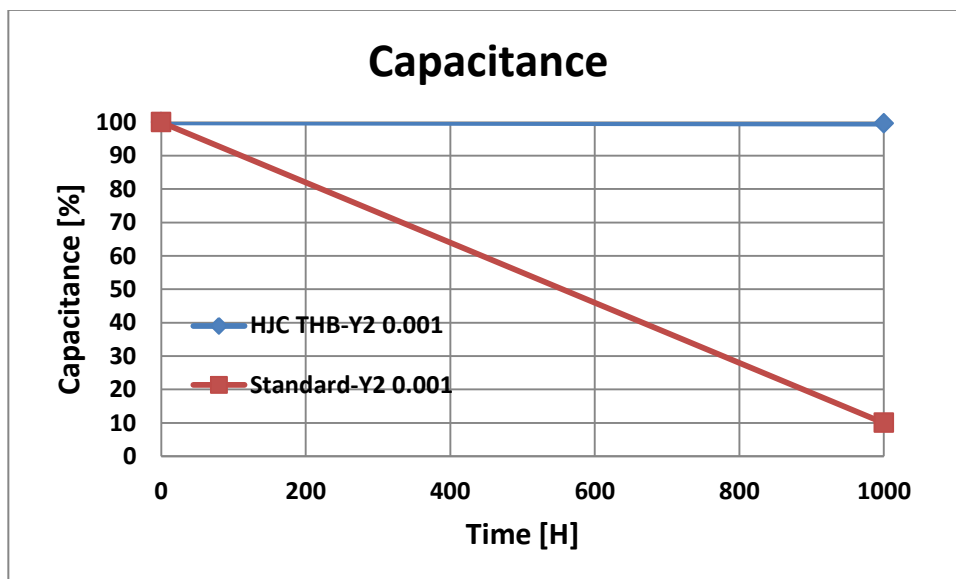


Bild 2: THB-Y2 Kondensatortyp Y2X1102K0300AB1101U von HJC (Y2, 0,001 μ F/300Vac in THB-Ausführung (feuchtigkeitsrobuste Version)) sowie entsprechende handelsübliche Y2-Kondensatoren. Kapazitäts-Veränderung in einem Test mit den kontinuierlichen Bedingungen 85°C Temperatur und 85% RH Feuchtigkeit und 240Vac.

Die Ergebnisse belegen, dass in der Praxis bei handelsüblichen X2- und Y2-Folienkondensatoren eine hohe Gefahr für deutliche Kapazitätsverluste bei einer gleichzeitigen Beanspruchung mit Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Spannung gegeben ist. Erfahrungen aus dem Feld zeigen, dass sich in der Praxis die entsprechenden Auswirkungen je nach Einsatzbedingungen bereits nach wenigen Jahren (< 2-3 Jahre) einstellen können.

Ursachen von Kapazitätsverlusten::

Aufbau von metallisierten Folienkondensatoren:

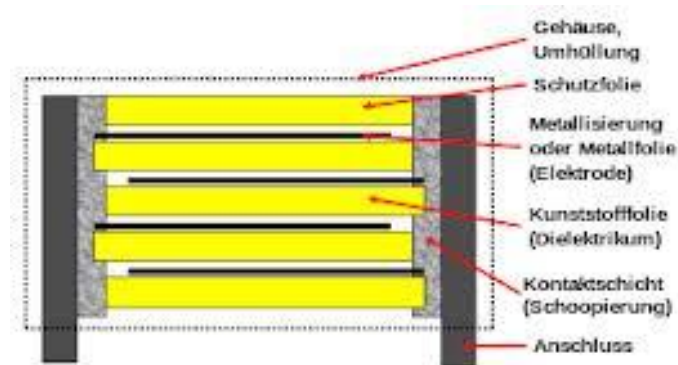


Bild 3: Prinzipdarstellung des Aufbaus eines metallisierten Folienkondensators
(Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Kunststoff-Folienkondensator>)

Kapazitätsverluste eines Folienkondensators werden durch Selbstheilvorgänge sowie durch einen Belagabbau der Elektroden-Metallisierung verursacht.

X- und Y- Folienkondensatoren sind selbstheilend. Hohe Spannungsimpulse im Stromnetz führen zu hohen Stromimpulsen im Kondensator. Aufgrund der hohen lokalen Stromdichte kommt es zu einem punktuellen Kurzschluss zwischen den metallisierten Elektroden. Infolge der hohen Lichtbogentemperatur verdampfen sowohl das Dielektrikum in der Durchschlagstelle als auch die metallischen Folienbeläge, die nur eine Stärke von etwa 0,02 bis 0,05 μm haben, in der Umgebung der Durchschlagstelle. Die Kurzschlussursache wird förmlich weggebrannt, wobei der entstehende Dampfdruck den Lichtbogen des Kurzschlusses auch noch ausbläst. Dieser Vorgang, der sich in Mikrosekunden abspielt, führt zu einem Isolierhof, der die Fehlstelle inaktiv schaltet.

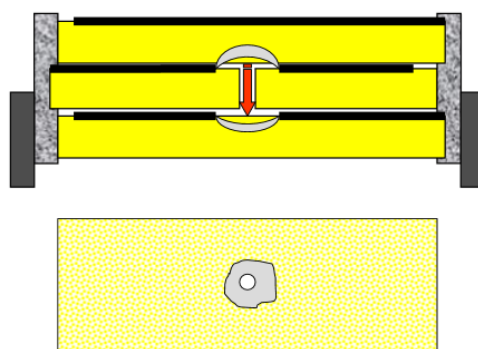


Bild 4: Schematische Darstellung der Selbstheilung bei einem punktuellen Kurzschluss

(Quelle: <http://de.wikipedia.org/wiki/Kunststoff-Folienkondensator>)

Die Selbstheilung korreliert mit Verlust von Elektrodenoberfläche. Auftretende Kapazitätsverluste aufgrund von Selbstheilungen sind relativ gering.

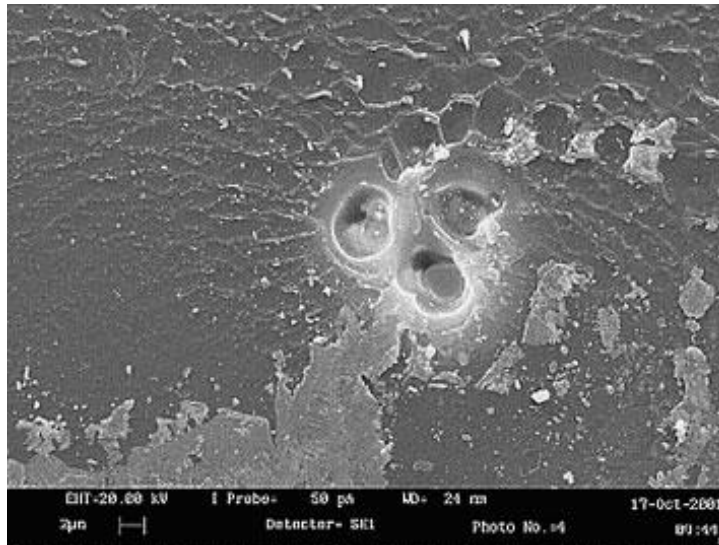


Bild 5: Selbstheilungspunkte in einem Polypropylen-Film bei starker Vergrößerung
(Quelle: <http://www.era.co.uk/case-studies/failure-in-metallised-polypropylene-capacitors/>)

Kommt es dagegen zu starken Kapazitätsverlusten, sind diese maßgeblich auf eine Korrosion der Folienmetallisierung aufgrund der Präsenz einer unerwünschten Feuchtigkeit zurückzuführen. Bei einem Korrosionsprozess in der Folienmetallisierung (Zink und/oder Aluminium) baut sich der Metallisierungsbelag ab, was zu einer Verdünnung der Metallschicht bis hin zu einem Verlust von Elektrodenoberfläche führt. Die Folge ist ein entsprechender Kapazitätsverlust. Die chemischen Vorgänge einer Korrosion der Metallisierung laufen beschleunigt unter der Präsenz von Feuchtigkeit und Spannung ab.



Bild 6: Folienmetallisierung, bei der eine starke Korrosion aufgetreten ist.

Sollte es zu einem starken Einwirken von Luftfeuchtigkeit kommen, kann dies zu einem entsprechend hohen Verlust der Elektrodenoberfläche führen. Dies führt zu einem entsprechend starken bis hin zu einem nahezu völligen Kapazitätsverlust.

Bei Präsenz von Feuchtigkeit an der Folienmetallisierung ist die Gefahr für einen korrosionsbedingten Verlust an Elektrodenoberfläche umso höher, je dünner (hochohmiger) die Metallisierungsschicht ist. Die Elektroden haben dann einem Korrosionsprozess weniger Material entgegenzusetzen.

Eine zu dicke Metallisierung beeinträchtigt jedoch einen Selbstheilvorgang, da in einem Selbstheilprozess umso mehr Energie aufgewendet werden muss, je mehr Metallisierung mit hoher Energie lokal isoliert (verdampft) werden soll. Eine durch zu viel Energieaufwand entstehende zu große Hitze kann das Plastik-Dielektrikum beschädigen und damit die Spannungsfestigkeit des Dielektrikums reduzieren.

Für die Herstellung eines metallisierten Folienkondensators mit langer Lebensdauererwartung gilt es daher grundsätzlich, für das Dielektrikum und die Elektrodenmetallisierung den bestmöglichen Kompromiss aus geforderter Spannungsfestigkeit, Impulsfestigkeit sowie hoher Feuchtigkeitsbeständigkeit unter Beibehaltung der Selbstheilungseigenschaften zu wählen.

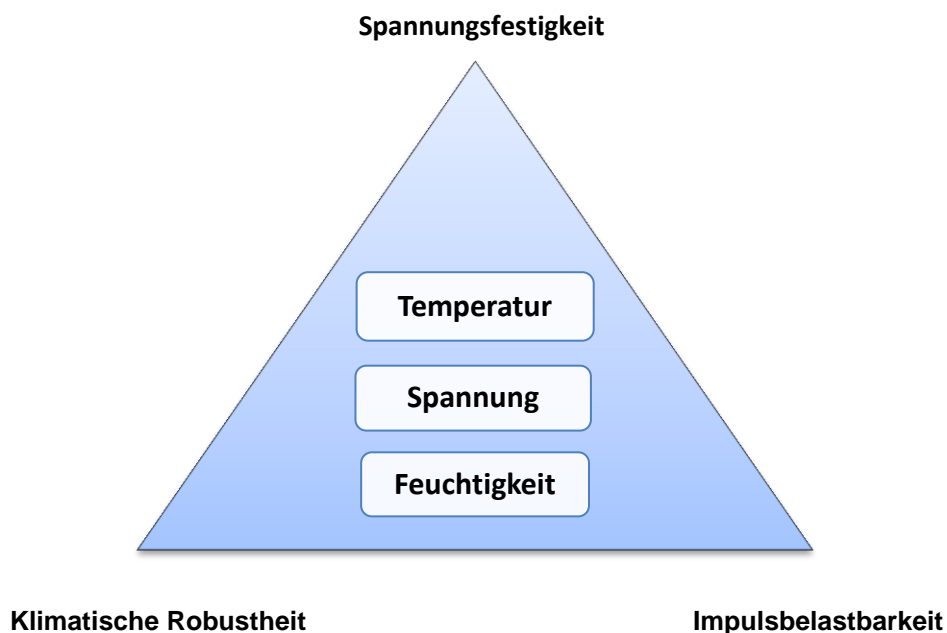


Bild 7: Wesentliche Einflussfaktoren auf die Lebensdauer eines metallisierten Folienkondensators.

Eine Fokussierung auf nur ein Ziel kann die die anderen Ziele gefährden, da die verschiedenen Ziele unterschiedliche Dicken von Dielektrikum und Metallisierung erfordern. Daher erfordert das Design eines metallisierten Folienkondensators immer einen Kompromiss, der sämtlichen Zielen gerecht wird.

Aktuelle IEC-Norm

In der Norm IEC 60384-14 sind sämtliche Tests definiert, mit denen die Sicherheit und die Normenkonformität von X- und Y- Funkentstörkondensatoren nachgewiesen werden müssen. Diese Norm sieht auch einen Test vor, der zum Zweck hat, die Feuchtigkeitsbeständigkeit des Kondensators zu prüfen. Jedoch entspricht dieser Test nicht den im Betrieb herrschenden Bedingungen, da er nur mit den Parametern Temperatur und Luftfeuchtigkeit durchgeführt wird, jedoch ohne Spannung. An einem Funkenstörkondensator in einem Filter auf der AC-Seite liegt hingegen permanent die Netzspannung an.

Aktuelle IEC-Norm bezüglich der Feuchtigkeitsbeständigkeit:

X- und Y- Funkentstörkondensatoren:

IEC 60384-14 4.12 (Damp heat)

→ 40°C, 90-95% Feuchtigkeit, mindestens 21 Tage, ohne Spannung!

Jedoch verläuft unter der gleichzeitigen Präsenz von Feuchtigkeit und Spannung eine Feuchtigkeitskorrosion der Folienmetallisierung beschleunigt ab, was sich in einem schnelleren Kapazitätsverlust in einem Vergleichstest zeigt:

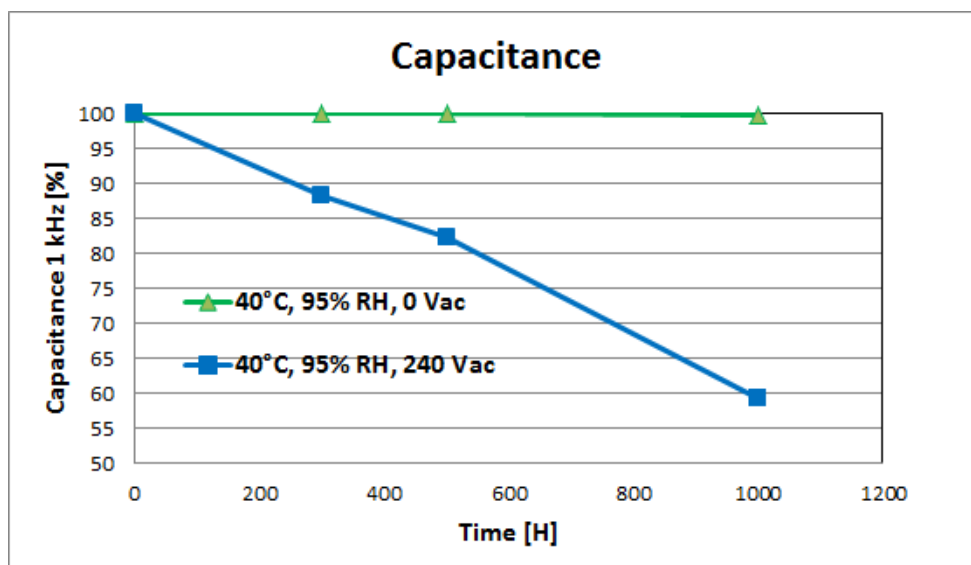


Bild 8: Mittelwerte des Kapazitätsverlusts über die Zeit

- Grün: Standard X2-Kondensatoren von HJC gemäß aktueller IEC 60384-14, getestet mit den Bedingungen des Punkts 4.12 der IEC-Norm (40°C / 95% RH).

- Blau: Standard X2-Kondensatoren von HJC gemäß aktueller IEC 60384-14, getestet mit den Bedingungen des Punkts 4.12 plus zusätzlich Spannung (40°C / 95% RH und 240Vac).

Die im Bild 8 dargestellten X2-Kondensatoren verfügen über eine spezifizierte Kapazitätstoleranz von +/-10%.

Die Testauswertung belegt, dass die selben Kondensatoren, der den Test 4.2 (damp heat test) der aktuellen Norm IEC 60384-14 mit sehr gutem Ergebnis besteht (grüne Kurve der Darstellung), ihre spezifizierte Kapazität bereits nach ca. 250 Stunden verlassen (blaue Kurve), wenn zu der im Test 4.2 definierten Temperatur von 40°C und Feuchtigkeit von 95% zusätzlich noch die Netzspannung angelegt wird.

HJC hat zahlreiche Vergleichsmessungen mit den entsprechenden Serien des Wettbewerbs durchgeführt, die ebenfalls gemäß der aktuellen Norm IEC 60384-14 spezifiziert sind. Der in Bild 8 dargestellte stark unterschiedliche Kapazitätsdrift zwischen einem Test bei 40°C und 90% RH ohne Spannung und einem Test mit 40°C, 90% RH mit Spannung wurde immer bestätigt.

Diese Konditionen sind nicht unbedingt als Extrembedingungen zu betrachten, denn ja nach Einbauort (z.B. an der Decke in elektronischen Vorschaltgeräten) und nach klimatischen Verhältnissen können selbst bei indoor-Anwendungen diese Umgebungsbedingungen vorherrschen. In der Applikation liegt ein X2-Kondensator permanent an der Netzspannung an, daher muss die Spannung in einem aussagekräftigen Test unbedingt berücksichtigt werden.

Durch entsprechende Versuche kann leicht nachvollzogen werden, dass die in der Praxis vorzufindende Kombination aus „Temperatur & Luftfeuchtigkeit & Spannung“ bei metallisierten Folienkondensatoren zu einem schnelleren Alterungsprozess und einem höheren Kapazitätsverlust führen kann als die Kombination aus nur „Temperatur & Luftfeuchtigkeit“ oder aus nur „Temperatur & Spannung“.

Eine Erklärung, warum die aktuelle IEC-Norm einen Feuchtigkeitsbeständigkeitstest ohne Spannung vorsieht, kann darin liegen, dass die Norm ursprünglich vor vielen Jahren erstellt wurde. In der Folge könnte es versäumt worden sein, das Feuchtigkeitsbeständigkeitskriterium entsprechend den Trends der Kosteneinsparung sowie der Verwendung von immer dünneren metallisierten Folien (Stichwort Miniaturisierung) zu verschärfen. Dadurch wurde es ermöglicht, zunehmend dünnere metallisierte Folien zu verwenden, ohne dass die für X- und Y-Funktstörkondensatoren gültigen Kriterien der Spannungsfestigkeit und Impulsbelastbarkeit verletzt werden. Jedoch geht diese Entwicklung zu Lasten der klimatischen Robustheit.

Es kann festgestellt werden, dass eine Feuchtigkeitsbeständigkeit von X- und Y-Funktstörkondensatoren während des Betriebs nicht zufriedenstellend durch eine Erfüllung der Norm IEC 60384-14 nachgewiesen werden kann. Da der Test 4.12 (Damp heat Test) ohne Spannung durchgeführt wird, stellt er letztendlich keinen Betriebstest, sondern nur einen als Lagerungstest anzusehenden Test dar.

Von HJC vorgeschlagener beschleunigter Lebensdauertest für X- und Y-Funkentstörkondensatoren:

HJC hat Belege dafür gefunden, dass Luftfeuchtigkeit die Langzeitfunktionalität von metallisierten Folienkondensatoren beeinträchtigt. Ebenso gibt es aufgetretene Qualitätsmängel von X2- Folienkondensatoren im Feld, die eindeutig auf die unerwünschte Präsenz von Luftfeuchtigkeit im Kondensatorinneren zurückzuführen sind. Ob diese Luftfeuchtigkeit bereits während des Produktionsprozesses in den Kondensator eingeschlossen wurde, oder ob sie von außen in den Kondensator eingedrungen ist, lässt sich nicht mit Sicherheit bestimmen.

Um die nötigen Konsequenzen aus diesen Vorfällen zu ziehen, hat HJC zwei wichtige Maßnahmen eingeleitet, um die Robustheit gegen eine klimatische Alterung und somit die Lebensdauererwartung der X2- und Y2- Funkentstörkondensatoren zu erhöhen:

- die Einführung eines neuen Designs für X2- und Y2- Funkentstörkondensatoren unter der Verwendung von Materialien mit einer niedrigeren Wasser-Diffusionsrate, verbunden mit der Erhöhung des Dampf-Diffusionswegs und der Erweiterung von Diffusionsbarrieren. Wichtige Bausteine sind neben der geeigneten metallisierten Folie das Kondensator-Gehäuse und die Vergussmasse, sowie ein Produktionsprozess bei entsprechender Kontrolle des Raumklimas.

- die Einführung verschärfter Testkonditionen, um die Eignung des Kondensators zu verifizieren, von einer feuchten Umgebung unbeeinflusst zu bleiben.

Die in dem Testlabor von HJC durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass es notwendig ist, die drei Einflussfaktoren Temperatur, Feuchtigkeit und Spannung zu kombinieren, um die langfristige Robustheit des Kondensator-Aufbaus gegen eine klimatische Alterung zu überprüfen.

Ob in Filter-Anwendungen eine ausreichend robuste und dichte Ausführung der X- und Y- Funkentstörkondensatoren ausgewählt wurde und ob diese Kondensator ohne den Einschluss von Luftfeuchtigkeit hergestellt wurden, lässt sich durch einen beschleunigten Lebensdauertest mit folgenden Parametern nachweisen:

- **85°C, 85% Luftfeuchtigkeit, 240Vac, 1000 Stunden.**

Es gelten folgende Kriterien für ein Bestehen des Tests:

- $\Delta C/C \leq 10\%$
- $\Delta \tan \delta / \tan \delta \leq 200\%$ Bei 1 kHz, sowie bei 10 kHz oder 100 kHz. Der Verlustfaktor bei diesen Frequenzen darf im Test maximal um den Faktor 3 ansteigen.
- Insulation resistance $\geq 50\%$ of the initial value.

Die Messung des $\tan \delta$ bei einer höheren Frequenz als 1 kHz, z.B. bei 10 kHz oder bei 100 kHz, erfolgt um die Korrosionsbeständigkeit der Schopplungskontakte nachzuweisen.

In diesem beschleunigten Lebensdauertest wird sowohl der Einschluss einer ungewünschten Luftfeuchtigkeit im Kondensatorinneren während des Herstellungsprozesses sowie eine ungenügende Dichtheit des Kondensatoraufbaus nachgewiesen. Die Testkriterien sind dazu geeignet, beides nachzuweisen.

Sollte ein X- oder ein Y- Folienkondensator entweder während seiner Verwendung in der Applikation oder in dem beschleunigten Lebensdauer-Test eines der drei Kriterien nicht erfüllen, hat er sein Lebensdauerende (End-of-Life) erreicht. Das Lebensdauerende beschreibt den Zeitpunkt, ab welchem der Folienkondensator nicht mehr seine spezifizierten Werte erfüllt.

Entsprechend der Applikation können als Kriterien auch eine kürzere Testdauer, ein höherer Kapazitätsverlust oder ein stärkerer Anstieg des $\tan \delta$ während der vorgesehenen Verwendungsdauer als zulässig definiert werden. Es ist dabei zu berücksichtigen, dass die Erhöhung des $\tan \delta$ (ESR) direkt proportional zur Erhöhung der Verlustleistung und des Temperaturanstiegs des Kondensators ist. Werden die Kriterien für ein Bestehen des Tests zu groß gewählt, besteht die Gefahr, dass der erlaubte stärkere Alterungsprozess unkontrollierbare dynamische Ausmaße annimmt.

Dieser Test wird häufig THB-Test (Temperature, Humdity, Bias) oder 85/85-Test genannt. Bias ist die englische Bezeichnung für eine konstante Spannung. Anstatt „85/85-Test“ sollte besser die genauere Bezeichnung „85/85-Test mit Spannung“ gewählt werden.

Beispiel einer geeigneten Auswertung des $\tan \delta$ in einem Messprotokoll:

Nr	1 KHz Cs		$\Delta C / C$	tan δ 10 KHz		$\Delta \tan \delta / \tan \delta$	IR	
	Initial (μF)	After Test (μF)		Initial (10^{-4})	After Test (10^{-4})		Initial (G Ω)	After Test (G Ω)
1	60.36	60.83	0.78 %	117.0	162.0	38.5 %	1.25	0.64
2	60.58	60.74	0.26 %	117.0	149.0	27.4 %	1.25	0.22
3	60.38	59.66	-1.19%	120.0	154.0	28.3 %	1.32	0.54
\bar{X}	60.44	60.41	0.05 %	118.0	155.0	31.4 %	1.273	0.47
MAX	60.58	60.83	-0.41%	120.0	162.0	35.0 %	1.320	0.64
MIN	60.36	59.66	1.16 %	117.0	149.0	27.4 %	1.250	0.22
R	0.12	0.65	-435.18%	1.73	2.56	47.8 %	0.04	0.22

Um die Veränderungen des $\tan \delta$ eindeutig interpretieren zu können, empfiehlt sich eine Angabe des $\tan \delta$ in [E-4]. Gemäß den zugrunde liegenden Kriterien ist maximal eine Verdreifachung des $\tan \delta$ während des Tests erlaubt. Wählt man eine Angabe in [E-4], so ist es im Gegensatz zu einer Angabe in [1] oder in [%] leicht nachzuvollziehen, ob dieses Kriterium erfüllt wurde.

Es kann zu Fehlinterpretationen kommen, wenn für den $\tan \delta$ bei Verhältniswert-Einheiten oder bei [1]-Einheiten eine Angabe in [%] verwendet wird. Da der $\tan \delta$ bereits einen Verhältniswert (Quotient aus Wirk- und Blindanteil des Scheinwiderstandes) darstellt, empfehlen sich folgende eindeutige Angaben:

- a) $\tan \delta$: [10-4]
- b) $\Delta \tan \delta / \tan \delta$: [%]
- c) $\Delta \tan \delta$: [10-4]

Dieser Test mit 85°C, 85% Luftfeuchtigkeit und Spannung für 1.000 Stunden wird bereits seit Jahren in den Qualifizierungsprozessen von Halbleitern angewandt.

Neben HJC praktizieren bereits andere Folienkondensator-Hersteller, vor allem aus Japan, diesen Test ebenfalls, da er in verkürzter Zeit die klimatische Robustheit eines metallisierten Folienkondensators in der Applikation prüft.

Führende Hersteller von Smart Meter haben diesen THB-Test (85/85-Test mit Spannung) in den Qualifizierungsprozess von metallisierten Folienkondensatoren aufgenommen, nachdem es verstärkt zu Feldausfällen von X2-Kondensatoren kam, die auf eine unzulässige klimatische Alterung zurückführbar waren. Mit einem Bestehen dieses Tests schließen diese Anwender gemäß dem Hallberg-Peck-Berechnungsmodell auf eine Lebensdauererwartung der getesteten Kondensatoren von 20 Jahren in ihrer Applikation.

Auch gibt es mittlerweile Automotive-Hersteller, die eine komplett bestückte Leiterplatte in einem THB-Test testen. Durch den Test wurden diese Anwender erst aufmerksam auf die Anfälligkeit von metallisierten Folienkondensatoren für eine beschleunigte klimatische Alterung bei einer Präsenz von Luftfeuchtigkeit und Spannung.

Die herkömmlichen X2- und Y2- Funkentstörkondensatoren von HJC entsprechen der aktuellen IEC-Norm 60384-14 und bestehen diesen THB-Test nicht. Vergleichsmessungen mit anderen Herstellern sowie Untersuchungen von Kunden belegen, dass dies genauso bei den Vergleichsprodukten der meisten Wettbewerber der Fall ist.

Getestete handelsübliche X1- Folienkondensatoren bestehen diesen Test mit 85°C, 85% RH und 240Vac ebenfalls nicht.

Dagegen bestehen die feuchtigkeitsrobusten Funkentstörkondensatoren der THB-X2- sowie der THB-Y2- Serie von HJC diesen Test mit sehr guten Ergebnissen. Somit leisten sie einen wichtigen Beitrag zur konstanten Beibehaltung der ursprünglichen Form der Einfügungsdämpfungskurve eines elektronischen Geräts sowie dessen dauerhafter CE-Konformität.

Bedeutung von robusten Schoppierungskontakten:

Neben einer klimatisch robusten und eine Selbstheilung erlaubende Elektroden-Metallisierung kommt der Robustheit der Schoppierungskontakte eine maßgebliche Rolle für die Lebensdauererwartung von metallisierten Folienkondensatoren zu.

Metallisierte Folienkondensatoren besitzen die Fähigkeit, hohe Spannungs- bzw. Stromimpulse aufnehmen oder abgeben zu können. Daher müssen alle konstruktiven Teile des Folienkondensators den auftretenden Spitzenstrom bis zu einer zulässigen internen Temperaturerhöhung vertragen können. Hier sind die Kontaktbereiche der Schoppierung mit den Elektroden als eine Begrenzung der Stromtragfähigkeit zu sehen. Diese Kontaktierung besteht letztendlich aus einer Vielzahl punktförmiger Kontakte, die den kritischen Bereich des Kondensator-Innenwiderstands darstellen. Durch Stromfluss wird insbesondere in diesen Kontaktpunkten Wärme erzeugt, die punktuell zu so hohen Temperaturen führen kann, dass es zu einem Abbrennen des Kontaktes kommen kann (<http://de.wikipedia.org/wiki/Kunststoff-Folienkondensator>).

Darüber hinaus werden die Schoppierungskontakte durch eine klimatische Alterung belastet, wenn es zu einer Korrosion der Kontaktmetallisierung (z.B. Zink, Zinn, Aluminium) kommt.

In der Anwendung können X- und Y- Funkentstörkondensatoren mit hohen dU/dt-Impulsen aus dem Versorgungsnetz belastet werden. Entsprechend der Kapazität des Kondensators führen diese dU/dt-Impulse zu hohen Stromimpulsen durch den Kondensator:

$$\text{Strom } i(t) = C \cdot dU/dt.$$

So führt ein Spannungsimpuls im Versorgungsnetz mit 100V/μsec bei einem X2-Kondensator mit 1μF zu einem Stromimpuls von ca. 100A/μsec. Aufgrund der stetig ansteigenden Anzahl von nichtlinearen Verbrauchern nimmt die Belastung des Versorgungsnetzes mit wesentlich höheren Störspannungen kontinuierlich zu.

Die punktförmigen Schoppierungskontakte können die Wärmeentwicklung von solch hohen Stromimpulsen umso weniger überstehen, je mehr sie bereits durch eine Korrosion aufgrund einer klimatischen Alterung vorgeschädigt sind. Wenn die Schoppierungskontakte aufgrund dieser Beschädigungen ihre Stromtragfähigkeit verlieren, steigt der ESR entsprechend an. Die Erhöhung des ESR ist direkt proportional zur Erhöhung der Verlustleistung und zum Temperaturanstieg des Kondensators. Daher müssen die Schoppierungskontakte eine hohe Robustheit gegen eine Korrosion und gegen hohe Stromimpulse besitzen, um nicht einen unkontrollierten Anstieg des ESR verursachen zu können.

Aus diesen Gründen ist es wichtig, die Korrosionsbeständigkeit der Schoppierungskontakte zu überprüfen. Dies kann durch eine Messung des $\tan \delta$ bei

einer höheren Frequenz als 1kHz erfolgen, z.B. bei 10 kHz oder bei 100 kHz. Ebenso soll *nach* dem THB-Test (85/85-Test mit Spannung) der in der IEC 60384 unter dem Punkt 4.13 definierte Impulsspannungstest bestanden werden.

Bei einwandfrei funktionierenden Selbstheilungsvorgängen und gutem Lagendruck zwischen den Folien führen die Stromimpulse im Mikrosekundenbereich zu kleinen isolierten Fehlstellen in der Elektrodenmetallisierung und Dielektrikum, die sich in einem relativ geringen Kapazitätsverlust und Anstieg des Verlustfaktors auswirken.

Sollte der Lagendruck jedoch nicht ausreichend hoch sein, kann es in Luftspalten zwischen den Folien zu Lufteinschlüssen kommen. Durch eine Ionisation dieser Luft aufgrund eines zu hohen elektrischen Feldes kann dies zu einer Korona- oder Teilentladung führen.

Wie bei einer klimatischen Korrosion führen Korona- oder Teilentladungen ebenfalls zu einer lokalen Entmetallisierung der Folie mit einem entsprechenden Kapazitätsverlust. Durch Spannungsimpulse im Versorgungsnetz, die über der Durchschlagfestigkeit der Lufteinschlüsse liegen, werden die mit Glimmentladungen vergleichbaren Korona- oder Teilentladungen gezündet. Mit der Netzspannung wird dieser Prozess am Leben gehalten. Dieser Vorgang setzt Kondensatoren voraus, die aufgrund eines ungenügenden Folien-Lagendrucks solche Lufteinschlüsse erlauben.

In einem THB-Test (85/85-Test mit Spannung) weist ein Kondensator seine optimale Verdichtung der Folienlagen ohne Luftspalte nach. Kommt es in diesem beschleunigten Lebensdauertests zu keinen auffälligen Kapazitätsverlusten, beweist der Kondensator neben seiner klimatischen Robustheit auch seine gute Verarbeitung, die keine Korona- oder Teilentladungsvorgänge entstehen lässt.

Bei der Ausheilung und der Belastung der Kontakte sind hohe Energiedichten die Ursache für Veränderungen. Der Belagabbau durch Korrosion verschärft die Bedingungen, so dass die Vorgänge - einmal angestoßen - beschleunigt ablaufen.

Bedeutung des richtigen Kondensator-Designs für sein Fail Safe-Verhalten und die Betriebssicherheit des Endgeräts:

Im Internet wird von Fällen berichtet, wonach es im Betrieb zu einem explosionsartigen Aufreißen des Stahlgehäuses von PV-Wechselrichter kam. Es wird beschrieben, dass dies durch Kondensatoren auf der AC-Seite verursacht wurde, welche Gase in das Wechselrichter-Innengehäuse freigesetzt haben. Dort haben sich diese Gase angesammelt bis sie explosionsartig entzündet wurden.

Die Fehlerursache bei diesen Kondensatoren ist in einer nicht einwandfrei funktionierenden Selbstheilung zu suchen!

Während eines Selbstheilungsprozesses kommt es im Kondensator für die Dauer der Selbstheilung an der betroffenen Fehlstelle der Elektrode zu einer sehr hohen lokalen Energiedichte. Diese hat an dieser Stelle eine kurzzeitig hohe Temperatur zur Folge, welche wieder erlischt, sobald die Fehlstelle isoliert ist. Wird die Selbstheilung jedoch nicht vollständig abgeschlossen, kann diese Temperatur nicht erlöschen und sie kann in einer Art Lawineneffekt die benachbarten Folienschichten schädigen. In diesem Prozess kann durch eine Karbonisierung des Kunststoff-Dielektrikums ein Gasgemisch freigesetzt werden. In Extremfällen kann dieses Gasgemisch zu Gasdruck und explosionsartigen Verdampfen führen. Um diese Sicherheitsgefährdung ausschließen zu können, ist es sehr wichtig, dass Selbstheilprozesse einwandfrei und vollständig funktionieren.

Selbstheilprozesse können dann nicht erfolgreich abgeschlossen werden, wenn eine zu dicke Metallisierung vorliegt.

Dieser Tatsache ist unbedingt Rechnung zu tragen bei der Bestimmung der Kriterien für ein Bestehen des THB-Tests (85/85-Test mit Spannung). Durch die Kriterien müssen sowohl eine hohe Robustheit des Kondensators gegen eine klimatische Alterung nachgewiesen werden können, als auch einwandfrei funktionierende Selbstheilprozesse. Beide Ziele können sich widersprechen. Denn um das Ziel einer klimatischen Robustheit zu erreichen, kann vom Kondensator-Hersteller eventuell eine zu dicke Metallisierung gewählt worden sein. Dies würde dann die Selbstheileigenschaften des Kondensators gefährden.

So kann zwar eine dicke Metallisierung einem einsetzenden Korrosionsprozess mehr Material entgegensetzen. Andererseits muss dann bei einer Selbstheilung mehr Energie aufgebracht werden, um die Fehlstelle in der Metallisierung zu verdampfen. Ist die Metallisierung zu dick, kann der Selbstheilungsprozess nicht abgeschlossen werden. Die Energieentwicklung würde dann nicht gestoppt werden. Wenn dieser Prozess letztendlich zu einer Ausgasung führt, kann dies die Betriebssicherheit des Endgeräts gefährden.

Zu einer Ausgasung aus dem Kondensator kann es kommen, wenn sich der Kondensator im Betrieb über die thermische Zersetzungstemperatur des Kunststoff-Dielektrikums erhitzt. Diese liegt bei Polyester bei ca. 235°C und bei Polypropylen bei ca. 220°C.

Aus diesem Grund ist es wichtig, bei einem THB-Test nicht nur die Veränderung der Kapazität zu betrachten. Es ist aus Gründen der Betriebssicherheit ebenso wichtig, den Anstieg des Verlustfaktors $\tan \delta$ gemäß den geschilderten Kriterien zu verifizieren. Nur wenn der Anstieg des $\tan \delta$ bei Überlast unter Kontrolle bleibt, kann es nicht zu einem unkontrollierten Anstieg des ESR und der Verlustleistung - mit der Folge eines unkontrollierten Anstieg der Kondensator-Temperatur - kommen.

Der Ausfallmodus des Kondensators muss ein Fail Safe-Verhalten zeigen. Dies beinhaltet, dass der Kondensator im Betrieb niemals so heiß werden kann, dass es

zu einer Ausgasung kommen kann. Dies ist dann gewährleistet, wenn der Kondensator entsprechend seiner Anwendungsbelastungen und seiner Lebensdauererwartung korrekt dimensioniert ist und sorgfältig hergestellt wurde, sowie wenn seine Selbsttheileigenschaft einwandfrei gewährleistet ist. Dies ist mit den korrekt definierten Kriterien für das Bestehen eines THB-Tests (85/85-Test mit Spannung) nachprüfbar.

Mögliche Auswirkungen einer klimatischen Alterung oder eines Ausfalls von Funkentstörkondensatoren:

Bei X2-Folienkondensatoren:

- Kontinuierlicher bis hin zum nahezu vollständigen Kapazitätsverlust.
- Bei Ausfall werden sie hochohmig und hängen funktionslos in der Schaltung.
- Störströme können dadurch nicht mehr kurzgeschlossen werden.
- Da der symmetrische Zweig nicht mehr belastbar ist, suchen sich Störströme einen anderen Weg.
- Wenn die symmetrische Ableitung gegen N nicht mehr gegeben ist, dann kommt es zu Asymmetrien.
- Asymmetrischer Störanteil wird größer.

→ Verschlechterung der EMV!!

Bei Y-Folienkondensatoren:

- Kontinuierlicher bis hin zum nahezu vollständigen Kapazitätsverlust.
- Bei Ausfall werden sie hochohmig und hängen funktionslos in der Schaltung.
- Die Störungen bleiben auf dem symmetrischen Zweig, da asymmetrische Ableitung gegen Erde nicht mehr möglich ist.
- Asymmetrischer Störanteil sucht sich seinen Weg über andere Ableitmöglichkeiten, dadurch Ausbreitungen (z.B. über Gehäuse) überall.
- Störspannung und Störfeldstärke erhöhen sich.

→ Verschlechterung der EMV!!

Kapazitive Ableitströme entstehen als Folge von hohen Gleichtakt-Ableitströmen. Wenn sich die Kapazität eines Y-Kondensators verringert wird der Ableitstrom geringer. Dies ist jedoch nicht konstruktiv, da die asymmetrischen Störanteile durch den Y-Kondensator gezielt abgeleitet werden sollten.

Wenn X- und Y- Kondensatoren altern oder ausfallen, erhöht sich die Gefahr einer Sättigung bei stromkompensierten EMV-Drosseln:

- Ableitströme sind Gleichtaktströme.
- Ableitströme verursachen Magnetisierung von stromkompensierten Drosseln.

- Bei Sättigung wirkt die Drossel nicht.
- Ist die Drossel in Sättigung, erzeugt sie Oberwellenanteile und wird zum Störer.
- Zusätzlicher Oberwellenanteil erzeugt Verluste, dadurch zusätzliche Verlustleistung des Geräts.
- Netzeingangsfiler kann zum Störer werden, wenn die Drossel in Sättigung ist.

Ripple-Strom Aufteilung in getakteten Elektroniken mit internen X-Kondensator, am Beispiel eines PV-Wechselrichters:

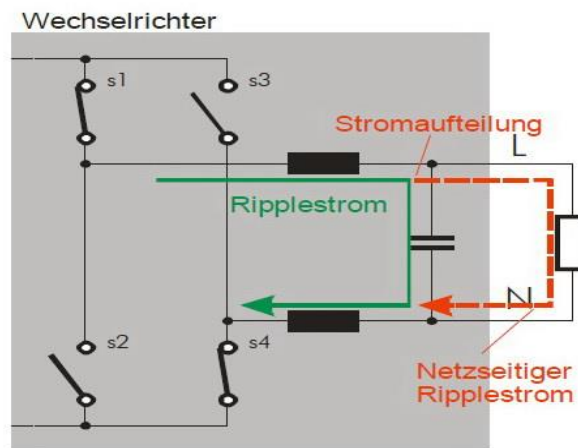


Bild 9: Ripple-Strom Aufteilung zwischen internem X-Kondensator und niederohmiger Netzimpedanz.

Quelle: „EMV 2010, Grenzwertlücke – Wechselrichter stört Elektrizitätszähler, Jörg Kirchhof, Fraunhofer IWES“).

Bei niedriger Netzimpedanz:

Störstrom-Aufteilung aufgrund des X-Kondensators zwischen Geräteseitigem Ripplestrom und Netzseitigem Ripplestrom.

Jedoch bei starker Alterung oder Ausfall dieses X-Kondensators:

Mögliche Zunahme des netzseitigen Ripplestroms!!

In den Fachgrundnormen sind AC-Störaussendungsgrenzwerte für den Frequenzbereich von 0 Hz bis 2 kHz definiert. Die hochfrequenten Störaussendungen werden im Bereich zwischen 150 kHz und 30 MHz normativ begrenzt. Jedoch wurde das EMV-Verhalten in der Frequenzlücke zwischen 3 kHz

und 150 kHz in den Fachgrundnormen und den meisten Produktfamilien-Normen bisher nicht geregelt. Die Taktfrequenz der meisten Schaltnetzteile, Wechselrichter, Elektronische Vorschaltgeräte, getaktete Leistungselektroniken etc. liegt in diesem normativ nicht regulierten Frequenzbereich zwischen 3kHz und 150kHz. Die Taktfrequenz und deren Harmonische dieser elektronischen Geräte erzeugen taktfrequente Rippleströme (Gegentakt-Störströme). Diese Rippleströme teilen sich gemäß der Impedanz der X-Kondensatoren und des Netzes auf. Die Netzimpedanz wird durch die Spannungsebene, die Netz- sowie Verbraucherstruktur und den Lastgang im Netz bestimmt. Tageszeitabhängig können Netze sehr niederimpedant sein, z.B. bei verteilten kapazitiven Lasten/Schaltnetzteilen, der Zuschaltung von Verbrauchern und Umschaltungen in der Energieverteilung.

Aufgrund des Spannungsquellen-Verhaltens der internen Störquellen eines solchen elektronischen Geräts mit X-Kondensator kann es in der Praxis gleichzeitig dazu kommen, dass manche Geräte die EMV-Norm an der klassischen Netznachbildung bestehen und in einem niederimpedanten Netz hohe netzseitige Störströme produzieren. Genormte EMV-Messverfahren berücksichtigen keinen Ripplestrom.

Diese netzseitigen Störströme können unter Umständen über die Betriebsdauer des elektronischen Geräts hinweg sogar noch zunehmen. Im elektronischen Gerät kommt es zu einer Störstrom-Teilung zwischen internem X-Kondensator und niederohmiger Netzimpedanz. Da jedoch ein Ausfall des X-Kondensators in einer netzparallelen „across-the-line“ Anwendung nicht kritisch für die Funktion des Endgeräts ist, wird dies in den meisten Fällen vom Anwender nicht wahrgenommen. Das elektronische Gerät wird dann weiterhin am Netz betrieben, ohne dass jedoch der X-Kondensator seine vorhergesehene Funktion erfüllt. Dies hat zur Folge, dass in einem niederimpedanten Stromnetz die netzseitigen Rippleströme während der verbleibenden Betriebsdauer des elektronischen Gerätes weiter zunehmen können.

Ein X-Kondensator am Netzeingang stellt nicht nur das Tor vom Stromnetz zur elektronischen Schaltung, sondern genauso in umgekehrter Richtung das Tor von der Schaltung zum Stromnetz dar. Eine starke Alterung oder ein Ausfall des X-Kondensators führt zu einer entsprechenden Erhöhung der EMV-Werte des elektronischen Geräts sowie zu einer möglichen Zunahme der netzseitigen Rippleströme.

Diese netzseitigen Rippleströme könnten umso mehr zunehmen, je mehr solcher elektronische Geräte am Netz sind und je mehr dieser Geräte trotz eines Ausfall der X-Kondensatoren weiter betrieben werden. Dies könnte zu schwerwiegenden Folgen führen, wie z.B. der Reduzierung der Lebensdauer von anderen sich am Netz befindlichen elektronischen Geräten mit ungenügender Störfestigkeit, oder der Beeinflussung der Messgenauigkeit von elektronischen Stromzählern.

Lufffeuchtigkeit als System-Destabilisator

Die Präsenz von unerwünschter Luftfeuchtigkeit im Kondensatorinneren kann zu einer Destabilisierung des gesamten Kondensator-Systems führen.

Mögliche Folgen einer solchen Luftfeuchtigkeit im Kondensatorinneren sind:

Verlust von Kapazität:

- vermehrte Selbstheilvorgänge um den dielektrischen Durchschlag herum (Feuchtigkeit beschleunigt diese Vorgänge).
- Feuchtigkeitskorrosion der Elektrodenmetallisierung.
- vermehrte Korona- oder Teilentladungsvorgänge.
(Feuchtigkeit reduziert die Fähigkeit des in Folienlagen eingeschlossenen Luftgemisches, einer Ionisierung aufgrund eines zu hohen elektrischen Feldes standzuhalten. Dies kann dazu führen, dass es auch zu Korona-Entladungen in Gebieten des Kondensators mit niedrigerem elektrischen Feld kommt.)

Anstieg des Verlustfaktors $\tan \delta$:

- verstärkte klimatische Alterung des Dielektrikums.
- Feuchtigkeitskorrosion der Elektrodenmetallisierung.
- Feuchtigkeitskorrosion in den Schoppierungskontakten.
- Komplettabriss der Schoppierungskontakte (Feuchtigkeit kann diesen Vorgang beschleunigen).

Bei mangelnder Sorgfalt in der Produktion kann unerwünschte Feuchtigkeit bereits während des Produktionsprozesses in das Kondensatorinnere eingeschlossen werden. Darüber hinaus kann Feuchtigkeit während des Betriebs des elektronischen Geräts aufgrund einer ungenügenden Dichtigkeit der Kondensatorverkapselung (Kunststoffbecher und Vergussmasse) in den Kondensator gelangen.

Wie in diesem Whitepaper dargelegt, kann die Präsenz von Feuchtigkeit im Kondensatorinneren gravierende Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit von X- und Y-Folienkondensatoren besitzen. Jedoch schreibt die gültige IEC-Norm nur einen unzureichenden Feuchtigkeitsbeständigkeits-Test vor. Darüber hinaus ist ein Ausfall dieser Kondensatoren in Filteranwendungen nicht kritisch für die Funktion des Endgeräts. Diese Umstände ermöglichen es sowohl Herstellern und Kunden, sich auf eine Miniaturisierung und auf eine Kostenreduktion zu fokussieren, solange die IEC-Norm erfüllt wird.

Um zu gewährleisten, dass für sämtliche Marktteilnehmer die gleichen Regeln gelten, sollte die Norm IEC 60384-14 im Punkt 4.12 (Damp heat) entsprechend den aktuellen Erkenntnissen schnellstmöglich aktualisiert werden.

Fazit:

Die EMV (Elektromagnetische Verträglichkeit) eines elektronischen Geräts über seine gesamte Lebensdauer hinweg wird sowohl in Bezug auf die Emission (Störaussendung) als auch auf die Immunität (Störfestigkeit) zunehmend bedeutender. Ansonsten wird es kein reibungsloses Nebeneinander der steigenden Anzahl von elektronischen Geräten am Stromnetz geben.

Wenn die elektronische Schaltung gemäß ihrer Spezifikation zuverlässig funktioniert, stellt die EMV während der gesamten Lebensdauer des elektronischen Gerätes das einzige potentielle Risiko für eine Qualitätsreklamation der Elektronik durch den Kunden dar.

Für eine dauerhaft zuverlässige Entstörung eines Endprodukts über seine gesamte Lebensdauer hinweg ist die stabile Einhaltung der spezifizierten Kapazitätswerte der X- und Y- Funkenstörkondensatoren wichtig. Jedoch belegen Laborversuche und Feldausfälle deren Anfälligkeit für eine klimatische Alterung aufgrund von Feuchtigkeitseinflüssen.

Ein Kapazitätsverlust der X- und Y- Kondensatoren hat Folgen für die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) eines elektronischen Geräts. Es besteht dadurch die Gefahr, dass die gültigen Grenzwertkurven nicht mehr eingehalten werden und dann die CE-Konformität des elektronischen Gerätes nicht mehr gegeben ist.

Darüber kann es in einem niederimpedanten Stromnetz durch eine starke Alterung oder eines Ausfalls der X-Kondensatoren in Netzfiltern zu einem Anstieg der netzseitigen Rippleströme kommen.

Für Hersteller von elektronischen Geräten ist es daher wichtig, dass die verwendeten X- und Y- Funkenstörkondensatoren ihre spezifizierten Eigenschaften über die gesamte Lebensdauer des Endprodukts hinweg zuverlässig erfüllen.

Metallisierte Folienkondensatoren zeichnen sich durch zahlreichen technische Vorzügen aus. Dazu zählen z.B. ein niedriger Verlustfaktor, eine geringe Abhängigkeit der Kapazität und des Verlustfaktors von der Temperatur und der Frequenz. Sie sind für Wechselspannung und Gleichspannung geeignet und sie verfügen über eine hohe Stromtragfähigkeit. Darüber hinaus besitzen sie eine hohe Spannungsfestigkeit und Impulsbelastbarkeit und sind in hohen Kapazitätswerten verfügbar. Aufgrund Ihrer Selbsttheileigenschaft sind X- und Y-

Funkentstörkondensatoren hervorragend geeignet, selbst hohe Spannungsimpulse im Stromnetz und die daraus resultierenden hohen Stromimpulse durch den Kondensator in Mikrosekunden lokal zu isolieren.

Jedoch sind metallisierte Folienkondensatoren keine statischen Bauelemente. Vielmehr unterliegen sie wie die meisten elektronischen Bauelemente Alterungsprozessen. Daher muss von dem Anwender darauf geachtet werden, dass die Lebensdauererwartung der zur Verwendung vorgesehenen X- und Y-Funkentstörkondensatoren der seines Endgeräts entspricht. Fehler-Ursachen-Analysen von vorzeitig im Feld ausgefallenen Folien-Funkentstörkondensatoren kommen zu dem Ergebnis, dass der Hauptgrund von massiven Feldausfällen in einem hohen Kapazitätsverlust aufgrund eines Einwirkens von Luftfeuchtigkeit liegt.

Die aktuelle Norm 60384-14 für Funkentstörkondensatoren erweist sich als nicht ausreichend, um zuverlässig die Robustheit eines Kondensators gegen eine klimatische Alterung in der Applikation zu überprüfen. Diese Norm sieht zum Überprüfen der Feuchtigkeitsbeständigkeit (Punkt 4.12, damp heat test) nur einen als Lagerungstest anzusehenden Test, jedoch keinen Betriebstest vor.

Den Erkenntnissen von betroffenen Kunden zufolge ist das aktuelle Risiko groß, eine ungenügende Kapazitätsstabilität von handelsüblichen X- und Y-Funkentstörkondensatoren nach wenigen Jahren in der Applikation vorzufinden, obwohl diese Kondensatoren die aktuelle Norm IEC 60384-14 erfüllen.

Da ein starker Kapazitätsverlust oder ein Ausfall eines X- und Y-Kondensators nicht kritisch für die Funktion des Endgeräts ist, können auch weiterhin Funkentstörkondensatoren mit einer ungenügenden Lebensdauererwartung hergestellt und eingesetzt werden, solange sie nur die aktuelle Version der IEC-Norm 60384-14 erfüllen. Solange diese Norm nicht um einen wirklichen Betriebstest erweitert wird, wird diese Haltung jedoch der Schlüsselposition eines X-Kondensators als Tor zwischen der elektronischen Schaltung und dem Stromnetz nicht gerecht.

Der zuverlässigen Funktion eines X-Kondensators über die gesamte Lebensdauer des elektronischen Geräts hinweg muss wieder mehr Stellenwert entsprechend seiner tatsächlichen Bedeutung beigemessen werden. Für verantwortungsvolle Hersteller von elektronischen Geräten empfiehlt es sich, nicht auf eine Aktualisierung der Norm IEC 60384-14 zu warten. Vielmehr sollten bereits jetzt nur solche X- und Y-Funkentstörkondensatoren eingesetzt werden, die eine ausreichende Robustheit gegen die gleichzeitige Beanspruchung durch Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Spannung belegen. Darüber hinaus müssen diese Kondensatoren bei Überlastung nachweislich eine einwandfrei funktionierende Selbstheilung sowie eine Fail-Safe-Eigenschaft besitzen.

Für die Überprüfung der klimatischen Robustheit unter Berücksichtigung der Selbstheilungseigenschaften wurde in diesem Whitepaper ein geeigneter beschleunigter

Lebensdauertest (THB-Test, 85/85-Test mit Spannung) für X- und Y-Folienkondensatoren vorgestellt. Durch eine hohe Kapazitätsstabilität lässt sich mit diesem Test auch die Robustheit der Kondensatoren gegen mögliche Korona- oder Teilentladungen ermitteln.

Elektronische Geräte werden heute mit einer Lebensdauererwartung zwischen 50.000 Stunden und 200.000 Stunden hergestellt. Zur Qualitätssicherung dieser Produkte empfiehlt es sich für deren Hersteller, diesen beschleunigten Lebensdauertest in den eigenen Bauteile-Qualifizierungsprozess aufzunehmen. Mit dem Bestehen dieses Tests weisen die X- und Y-Funkentstörkondensatoren ihre Qualifizierung nach, in Filter-Anwendungen die gleiche Lebensdauererwartung zu besitzen wie die Induktivitäten.

Das elektronische Gerät wird somit durch das EMV-Filter während seiner gesamten Lebensdauer konstant und sicher gemäß dem ursprünglichen Verlauf seiner Einfügungsdämpfungskurve entstört (Emission), und seine ursprüngliche Störfestigkeit bleibt gewährleistet (Immunität). Darüber hinaus wird ausgeschlossen, dass vorher kurzgeschlossene Störströme in die Umgebung gelangen und möglicherweise andere Geräte stören.

Autoren:

Han Chi Mi / Entwicklungsleiter HJC

Dieter Burger / dbTec electronics GmbH / HJC Vertriebsbüro Europa,

Email: dieter.burger@dbtec-electronics.com

Anmerkung:

Die in diesem Whitepaper aufgeführten Testergebnisse beruhen auf Untersuchungen, die in dem Labor von HJC durchgeführt wurden. Sie dienen als Beleg für die Relevanz des diskutierten Themas, besitzen jedoch keinen Anspruch auf Allgemeingültigkeit für alle im Markt vorzufindenden Folienkondensatoren. Daher ist jeder, der die Ergebnisse anzweifelt, herzlich aufgefordert, seine eigenen Untersuchungen durchzuführen. In diesem Fall empfehlen wir, dieselben Testbedingungen und Testkriterien anzuwenden. Somit wird eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse gewährleistet. Darüber hinaus wird ausgeschlossen, dass es mit der Zeit unübersichtlich viele unterschiedliche Testmethoden im Markt gibt. Vielmehr wird damit ermöglicht, dass sich ein für alle Marktteilnehmer gemeinsamer Standard für einen beschleunigten Lebensdauertest von metallisierten Folienkondensatoren herausbilden kann.