

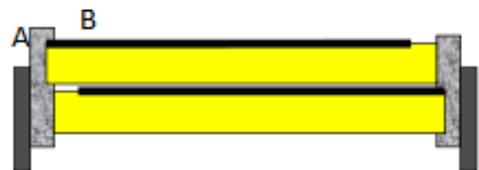
Der verstärkte Ausfall von X2 und Y2 – Kondensatoren ist nicht allein auf einen möglichen Herstellermangel, oder auf eindringende Feuchtigkeit allein zurück zu führen. Die Qualität vieler Hersteller ist beachtlich und dennoch häufen sich die Ausfälle!

Es ist nicht verwunderlich, dass Geräte und Anlagen nach anfänglicher 100%iger Funktionsweise nach wenigen Wochen und Monaten nur noch Teilfunktionen aufweisen und danach ganz ausfallen.

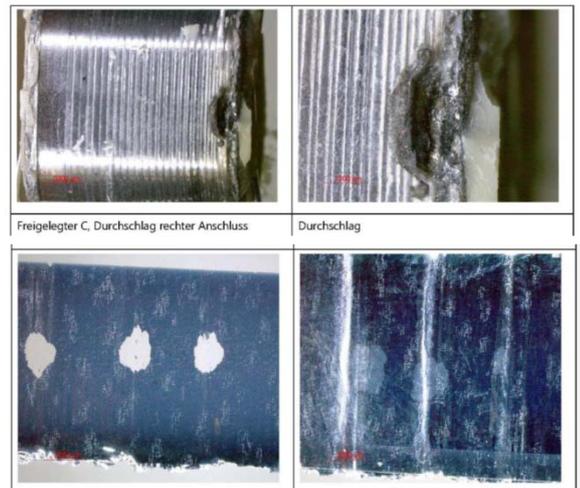
Woran liegt das fragen sich zum Beispiel viel Smart Meter Hersteller.

Hier die Antwort:

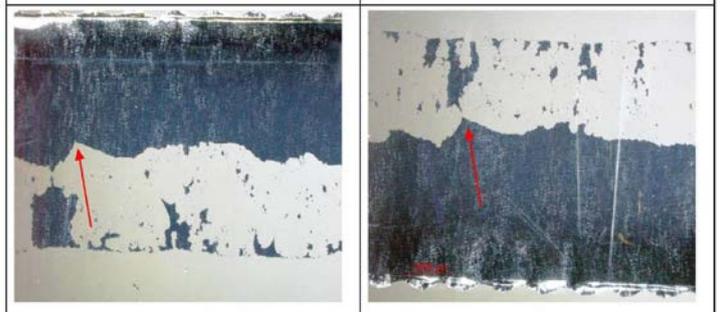
- 1) 1-10KV/ μ s (dU/dt) – Werte, welche durchaus inzwischen häufig im Stromnetz auftreten, verursachen einen überhöhten Stromanstieg im Kondensator (Bauteile u. Platine).
- 2) Der überhöhter Stromwert – verursacht beim Kondensator das Freibrennen zwischen Anschlußdraht (A) und der Schuppierschicht, sowie zwischen Wickelfolie und der Schuppierschicht. (B)
- 3) Dadurch entstehen „hohe“ Übergangswiderstände, welche den ESR massiv verändern.
- 4) Erste Isolationsdurchschläge im Dielektrikum weisen runde Löcher in der Folie auf. Dies ist die erste Stufe der Zerstörung.
- 5) Durch die dU/dt – Spitzenwerte entstehen in der Folge sehr hohe Ströme und dadurch auch extrem überhöhte Temperaturen im Kondensator
- 6) Die extremen Temperaturunterschiede (Erhitzen – Abkühlen) verändern das Vergussmaterial im Becher (Epoxidharz) in seine Konsistenz und beschleunigt das Ausgasen des Härter. Das Epoxidharz wird dadurch brüchig und porös (Mikroskop – Analyse)
- 7) Feuchtigkeit kann zusätzlich eindringen
- 8) Durch die extrem hohen I – Werte (teilweise bis 11.000 Ampere) und dem eindringenden Feuchteanteil verdampft die Metallisierungsschicht bei wiederholten dU/dt – Belastungen. Die Zerstörung ist damit eingeleitet.



Fall 1, Nr. 8558, Kondensator 470nF, Kapazitätsverlust 93%

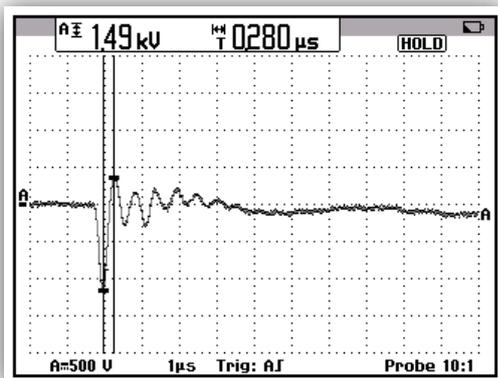


- 9) Zum Teil blähen sich die Kondensatoren auf, wenn die entstehenden Verdampfungsgase das Epoxidharz nicht durchdringen können. Wenn ein Durchlaß im Harz erfolgt, dringt zudem noch Feuchtigkeit ein und beschleunigt den Zerstörungsprozess.
- 10) Die Metallisierung löst sich komplett auf



Sachverhalt:

Ein handelsüblicher X2 – Kondensator in der Größe von $2,2\mu\text{F}$ wird vom Hersteller mit einer maximalen dU/dt - Verträglichkeit von $150 - 200\text{V}/\mu\text{s}$ definiert. Bei einer Angabe von $200\text{V}/\mu\text{s}$ handelt es sich bereits um einen qualitativ sehr hochwertigen Kondensator.



Durch die Spannungsbelastungen, je nach Umgebung- u. Netzverhältnissen können im Netz zwischen $1 - 10\text{KV}/\mu\text{s}$ gemessen werden. Inzwischen sind $3-5\text{KV}/\mu\text{s}$ keine Seltenheit mehr.

Hier ein typischer und inzwischen weit verbreiteter $5,32\text{KV}/\mu\text{s}$ dU/dt - Puls

Dieses dU/dt wird vorrangig durch Schütze, defekte Schalter, Induktionsanlagen, Schweißgeräte, Röntgengeräte in Laboren, Kurzschlüsse, aber auch überwiegend durch Frequenzumformer (FU) (Aufzüge), Stromrichter (SR), Solarwechselrichter (SWR) (NV), Thyristorsteuerungen, Schaltnetzteile, Phasenanschnittsteuerungen (Dimmer) u.v.m. verursacht.

Diese dU/dt – Werte erzeugen im Kondensator einen erhöhten Strom!

Die Ladung die ein Kondensator enthält wird mittels der folgenden Formel ermittelt:

Die Kapazität (Ladung) eines Kondensators ist Zeitkonstant, daher kann dieser aus der Ableitung ausgeklammert werden. $\frac{dQ}{dt} = I$

Daraus entsteht:

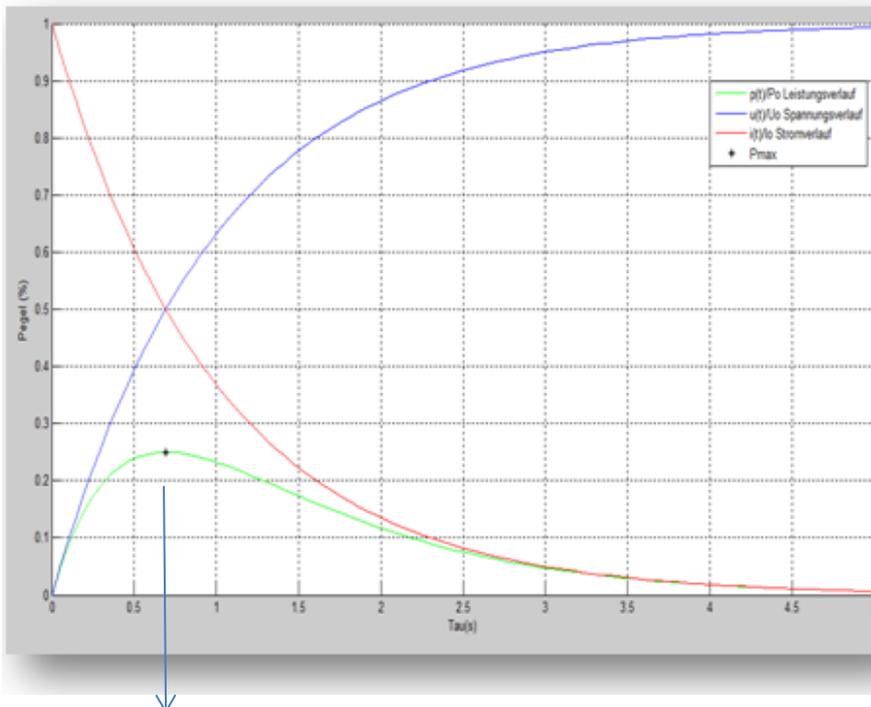
$$I = C \times \frac{dU}{dt}$$

Aus dieser Formel wird ersichtlich, dass ein großes $\frac{dU}{dt}$ einen großen Strom zur Folge hat und der Strom in Abhängigkeit dieses Spannungshubes ausreichende Energie zur Zerstörung des Bauteils / z.Bsp. Kondensator besitzt.

Beispiel 1: 2,2µF; dU=5KV/µs;	I = 11.000Ampere
Beispiel 2: 2,2µF; dU=10KV/µs;	I= 22.000 Ampere
Beispiel 3: 2,2µF; dU=5KV/ms;	I= 11 Ampere
Beispiel 4: 2,2µF; dU=10KV/ms;	I= 22 Ampere
Beispiel 5: 2,2µF; dU=200V/µs;	I= 440 Ampere

Potentielle Energie zum Beispiel an einem 2,2µF Kondensator

$$\Rightarrow E_{max} = U_0 \times I_0 \times 0,5^2$$



Daraus ergibt sich:

- 5KV/µs = 13.75MW
- 10KV/µs = 55MW
- 5KV/ms = 13KW
- 10KV/ms = 55KW
- 200V/µs = 22KW
- 200V/ms = 22W

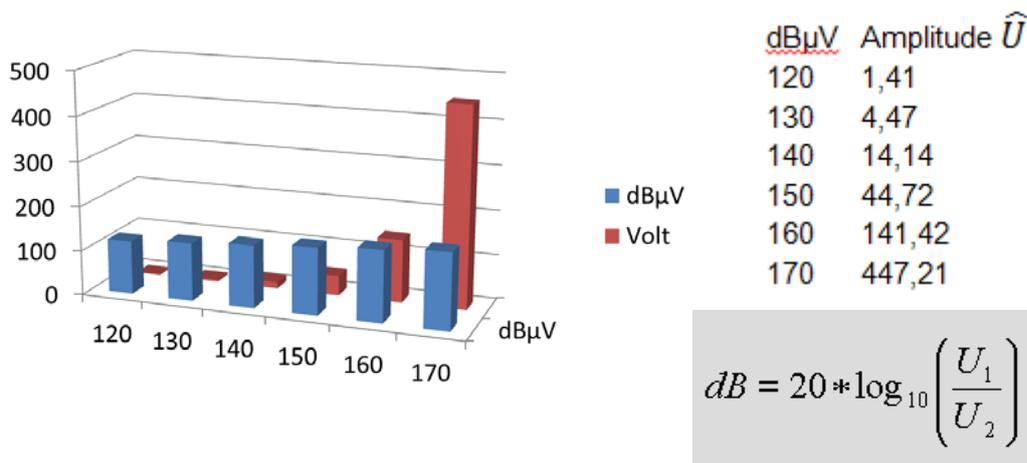
Zeitlicher maximaler Leistungswert

Alle die genannten dU/dt – Quellen entstehen im unteren Frequenzbereich (2-200KHz)

Typische Taktfrequenzen:

Frequenzumrichter	5 – 20kHz
USV-Anlagen	15 – 25kHz
Schaltnetzteile	20 – 300kHz
Leuchten EVG's	20 – 200kHz
Induktions – Schweißanlagen	150 - 200KHz

und erzeugen dadurch auch noch einen inzwischen messbaren Störspannungspegel in einem normalen Haushalts – Versorgungsnetz (250VAC) von bis zu 160dBµV. von 1kHz – 500kHz



$$dB = 20 * \log_{10} \left(\frac{U_1}{U_2} \right)$$

Störspannungen von ca. 160dBµV verursachen einen zusätzlichen Spitzen - Spannungswert im Netz von bis zu 141V und beschleunigen dadurch den oben genannten Zerstörungsprozess zusätzlich.

Fazit:

Entgegen der allgemeinen Annahme, dass ein dU/dt – Spitzenwert im μs – Bereich (Burst ist nicht die richtige Definition) keine zerstörerische Energie besitzt, zeigt die Praxis, dass diese Annahme falsch ist. Die Grundzüge der Normen EN 61000-4-4, und 61000-4-5 welche die Störfestigkeit und Immunität eines Gerätes nachweisen soll, reicht bei weitem nicht mehr aus, denn die Testparameter stammen aus den 80iger Jahren, wo noch fast ausschließlich Trafo - Netzteile die Netzqualität bestimmte.

Bauelemente wie Kondensatoren mussten in der Vergangenheit immer kleiner werden. Die Folienstärken und die Metallisierung auf den Folien reduzierten sich von 7μ auf 3μ .

Ferrite wurden nicht nach frequenzabhängiger Eignung in EMV – Mitteln eingesetzt, sondern hauptsächlich nach Baugröße und kleinsten Preis.

Daher ist es nicht verwunderlich, dass selbst bei geringen asymmetrischen Störströmen von wenigen mA das Kernmaterial in die Sättigung geht und dadurch keine Filterwirkung zustande kommt, sondern in vielen Fällen der Filter noch zur zusätzlichen Netzbelastung wird.

Lösungsansatz!

- 1) Bestehende Normen, wie zum Beispiel die EN 55011 bis 55022 müssen auf den Frequenzbereich von derzeit 150KHz bis 30 MHz auf 1KHz bis 30 MHz erweitert und der maximale Störgrenzwert im Bereich von 1KHz – 150KHz stufenweise von 80dB μ V auf 60 dB μ v reduziert werden**
- 2) Die aktuellen surge und burst – Normen müssen den aktuellen Netzbelastungen angepasst werden und damit auch...**
- 3) die zu verwendeten Bauelemente klassifiziert und ausreichend immunisiert werden**
- 4) Die zu verwendenden Bauelement für EMV – Maßnahmen, vorrangig Ferrite, müssen in der Lage sein, energiereiche Transienten und dU/dt – Größen aufzunehmen und zu absorbieren. Dies ist umso wichtiger zur Eliminierung von Störspannungen im KHz – Bereich. Kondensatoren müssen ebenfalls in der Lage sein hohe asymmetrische Ströme zu vertragen, aber auch den dU/dt – Belastungen von bis zu 10KV μ s zu widerstehen. Dabei kommt es ebenso bei Kondensatoren darauf an, dass der ESR konstant bleibt und der Kondensator selbst keine Störreflektionen auslöst.**

Diese technischen Lösungen en (3-4) basieren nicht auf einer gewünschten Ideologie, oder Theorie, sondern werden von Bajog electronic in allen Filterprodukten, welche zum Teil seit über 22 Jahren im Dauerbetrieb , ohne Leistungsverlust betrieben werden, nachgewiesen.

Filter für das Militär, für Mess- u. Testkabinen, Hochspannungslabore, Mittelspannungsanwendungen (35.000V), wie Wind, - Wasser,- Solar,- Bio,- u. Heizkraftanlagen, sowie dU/dt – Filter in Aufzügen unterstehen einer täglichen Prüfung durch ihren Einsatzzweck, denn TE – Messungen, EMV – Messungen würden zu keinem zulassungsfähigem Ergebnis führen, wenn die Kabinen selbst und speziell die verwendeten Filter nicht die erforderlichen Leistungsdaten erfüllen würden.

Speziell im Aufzugsbereich würden ältere Motoren sofort mit Isolationsdurchschlägen und Kurzschlüssen reagieren, wenn das eingesetzte dU/dt – Filter an Leistung verlieren würde und die im FU – Ausgang erzeugten dU/dt – Größen von 10KV μ S nicht auf max. 500V μ s reduziert würden. Auch hier sind diese Filter zum Großteil seit 1990 - 1993 in allen Schindler – Aufzügen im Dauerbetrieb.