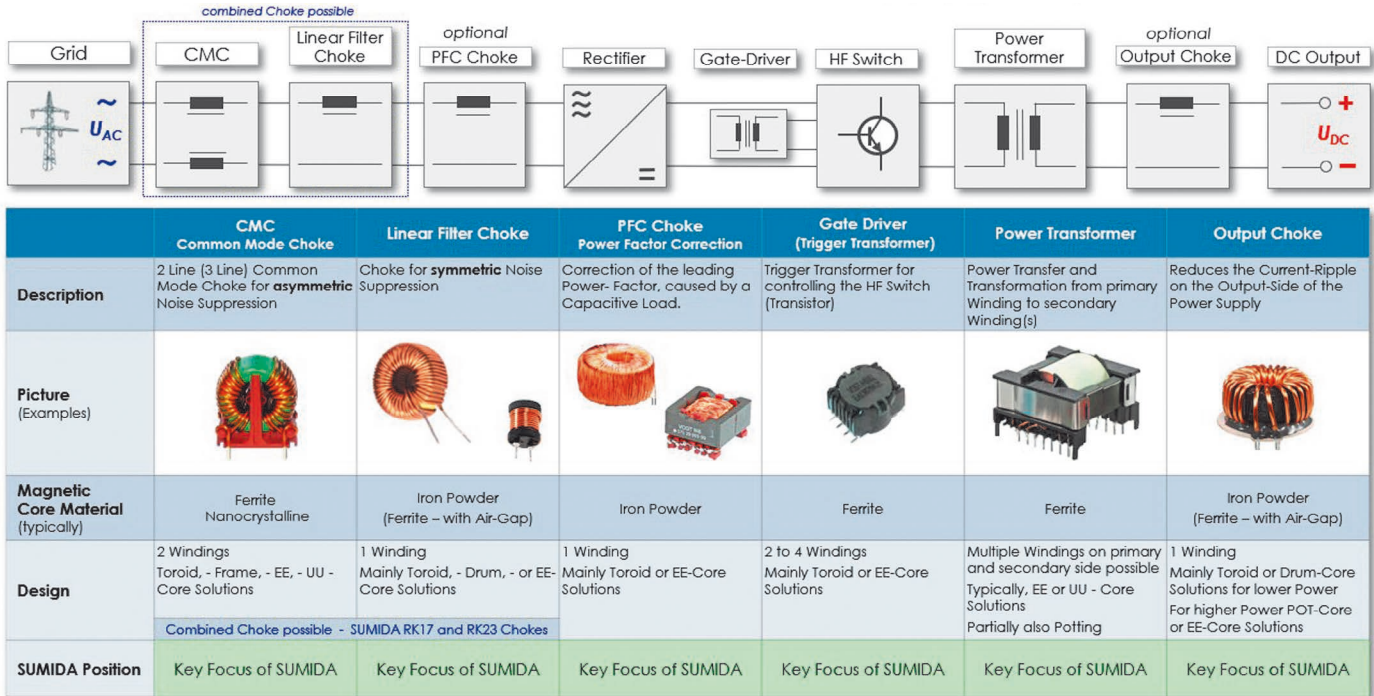


## Passive Bauelemente in modernen Schaltnetzteilen

# Verborgene Spezialisten



**Bild 1: Sumida deckt alle Induktivitäten für Schaltnetzteile ab und realisiert teilweise und vollständig applikationsspezifische Komponenten © Sumida**

Schaltnetzteile werden gerne als „Low-Budget-Anwendung“ abgetan, dabei verbergen sich in ihrem Inneren spezialisierte Bauelemente, ohne die sie nicht effizient arbeiten können. Welche passiven Komponenten dazu gehören und wie sie unter anderem für Betriebssicherheit sorgen können, zeigt dieser Fachbeitrag auf.

### Induktivitäten

Bild 1 zeigt die induktiven Komponenten in einem SMPS (Switch Mode Power Supply) am Beispiel von Sumida. Der Hochfrequenz-(HF) Trafo und weitere Induktivitäten bilden den Kern eines Schaltnetzteils (Switch Mode Power Supply, SMPS). Im Eingangsbereich sind die Entstör-Komponenten angeordnet, die für eine Unterdrückung von Störspannungen und Strömen auf den Netz-Zuleitungen sorgen.

### Stromkompensierte Drosseln

(Common-Mode-Chokes), auch Gleichtaktrosseln genannt, unterdrücken asymmetrische Störungen, die auf beiden Leitungen im Gleichtakt vorhanden sind. Sie sind in der Regel mit hochpermeablen Ferritkernen oder nanokristallinen Kernmaterialien aufgebaut.

### Lineare Filterdrosseln

der Gegentaktrosseln dämpfen symmetrische Störungen. Die meisten Modelle haben einen Eisenpulver-Ringkern oder einen Ferrit-EE-Kern mit Luftspalt, doch auch

offene Kernformen wie Stab- oder Garnrollendrosseln sind möglich.

In manchen Fällen sind Gleichtakt- und Gegentaktrossel in einem Bauelement kombiniert. Das bedeutet weniger Bauteile und damit weniger Flächenbedarf sowie Kosten. In diesem Fall übernimmt die Streuinduktivität der Gleichtaktrossel die Funktion der Gegentaktrossel, ein magnetischer Bypass kann hier als Verstärker dienen.

### Power-Factor-Correction-Drosseln

Optional lassen sich die Entstördrosseln durch Power-Factor-Correction- (PFC) Drosseln ergänzen, die für eine sinusförmige Stromaufnahme sorgen und damit der Leistungsfaktor-Korrektur dienen. Die aktiven PFC-Stufen enthalten wie die Drosseln zur Glättung des Ausgangsstromes entweder Eisenpulver- oder Ferritkerne mit Luftspalt.

### Gatedriver-Transformatoren

(Trigger-Transformatoren) dienen der Ansteuerung des Power-Schalttransistors (MOSFETs und IGBTs). Sie basieren in der Regel auf

kleineren Ferritkern-Geometrien als die Drosseln und zeichnen sich durch eine geringe Wicklungs- und Koppelkapazität sowie eine niedrige Streuinduktivität aus. Üblicherweise sind sie auf Isolationsspannungen von 1,5 kV bis 5 kV ausgelegt und in THT- oder SMD-Ausführung verfügbar.

### Leistungsübertrager

(Power-Transformers) aus Ferritkernen sind das Herz eines Schaltnetztes. Sie sorgen zum einen für die Leistungsübertragung von der Primär- auf die Sekundärseite des



**Bild 2: X-Y-Kondensatoren tragen meist ein oder mehrere Prüfzeichen wie auf den Fotos zu erkennen ist © Kemet**

Autoren:  
 Christian Kasper  
 Technical Expert Capacitors,  
 Jürgen Geier,  
 Technical Expert  
 Ceramic Capacitors,  
 Jochen Neller  
 Technical Expert Inductors,  
 Bert Weiss,  
 Technical Expert Resistors  
 Rutronik  
 www.rutronik.com

Unterklasse	Nennspannung	Impulsfestigkeit	Testspannung
X1	275 Vac, 400 Vac, 440 Vac, 760 Vac	4k Vac	2,5/2,6 kVac
X2	250 Vac, 275 Vac, 400 Vac	2,5 kVac	1075 Vdc; 1,5 kVdc
Y1	250 Vac, 300 Vac, 400 Vac, 500 Vac	8 kVac	4 kVac
Y2	250 Vac, 300 Vac, 400 Vac	4 kVac	2,5/2,6 kVac

**Tabelle 1: Unterteilung der X- und Y-Kondensatoren in verschiedene Prüf-/Impuls-Spannungen**

Netzteils, zum anderen sind sie für die sichere galvanische Trennung von Primär- und Sekundärseite verantwortlich. Da die Ausgangsseite des Netzteils häufig offen und damit berührbar ist, wird diese Trennung in Sicherheitsnormen geregelt und ist bei der Auslegung des Trafos zwingend zu berücksichtigen.

Für die Leistungsübertrager werden bewährte weichmagnetische und verlustarme Werkstoffe mit hoher Sättigungsflussdichte verwendet. Ihre Baugröße reduziert sich mit zunehmender Schaltfrequenz des Netzteils. So benötigen die Übertrager bei Schaltfrequenzen zwischen 500 kHz und 1 MHz weniger Rohstoffe, was sich positiv auf die Umweltbilanz und Nachhaltigkeit des Netzteils auswirkt – ein Aspekt, der zunehmend in den Fokus rückt.

## Induktivitäten nach Maß

Neben den Standard-Induktivitäten werden auch applikationsspezifische angeboten. Bei Leistungsübertragern sind das beispielsweise Modelle mit mehreren verschiedenen Ausgangsspannungen. Das können Varianten bestehender Bauteile sein, die auf Basis von Standard-Vormaterialien und bestehenden Technologien auf eine spezielle Anwendung eines Kunden zugeschnitten werden. Dabei kommen auch standardisierte Kernformen und magnetische Materialien (z. B. Standard EE, UU, ETD, EVD, EFD-, EP-, RM-, ER-, PQ-, Toroid- usw. Kernformen)

sowie Standard-Kunststoffkomponenten (Spulenkörper, Gehäuse und Grundplatten) zum Einsatz.

## Spezielle Geometrien

Immer häufiger gibt es jedoch Anforderungen, die sich nur mit komplett kundenspezifischen Komponenten erfüllen lassen, die auf neuen Magnetkern-Geometrien und teilweise sogar auf neuen magnetischen Materialzusammensetzungen, eigenen Kunststoffteilen sowie neuen Fertigungstechnologien basieren. Diese vollkommen applikationsspezifischen Geometrien eignen sich lediglich für eine ganz bestimmte Anwendung – für diese aber perfekt, sowohl hinsichtlich Geometrie und Größe als auch hinsichtlich ihrer elektrischen Funktion. Das gilt zum Beispiel für High-Power-Transformatoren für Half-Bridge-, Full-Bridge- oder LLC-Topologien in einem Leistungsbereich bis 30 kW. Sie kommen etwa in Photovoltaik-Invertern oder DC/DC-Convertern in E-Fahrzeug- oder High-Power-DC-Charging- (HPC) Applikationen zum Einsatz.

## Kondensatoren

Kondensatoren übernehmen in Schaltnetzteilen vielerlei Funktionen. AC-Kondensatoren auf der Netzseite (Primärseite) dienen hauptsächlich dazu, Störimpulse zu unterdrücken bzw. zu filtern. Hierfür lassen sich Keramik- oder Folienkondensatoren nutzen. Werden sie

zwischen Phase und Nullleiter eingesetzt, ist es wichtig, dass sie X2- oder X1-zertifiziert sind. Für den Einsatz zwischen Phase und Schutzleiter ist zwingend eine Y-Klassifizierung erforderlich. Da diese eine höhere elektrische und mechanische Sicherheit im Vergleich zu X-Kondensatoren aufweist kann es z. B. nicht zu Kurzschlüssen durch eine Fehlfunktion des Kondensators kommen.

Da X-Kondensatoren zwischen Phasen oder Nullleiter geschaltet werden, sind bei diesen keine so hohen Sicherheitsanforderungen wie bei Y-Kondensatoren erforderlich.

## Unterteilung

Die X- und Y-Kondensatoren werden entsprechend den Anforderungen der IEC 60384-14 weiter in verschiedene Prüf-/Impuls-Spannungen unterteilt und als X2- und X1- bzw. Y2- und Y1-Typen bezeichnet. Die häufigsten Kombinationen sind X1Y2 und X1Y1. Üblich sind die aus Tabelle 1 ersichtlichen Unterteilungen.

Zudem sind auf den meisten X- und Y-Kondensatoren Prüfzeichen wie ENEC, VDE, UL oder CQC zu finden, da die Bauteile hinsichtlich dieser Normen geprüft sein müssen (Bild 2).

## Temperature-Humidity-Biased-Klassen

zeigen die Robustheit von Folienkondensatoren. Wer Folienkondensatoren wählt, sollte prüfen, ob die Applikation eine erhöhte Temperature-

Humidity-Biased- (THB) Klasse verlangt. Damit ist gewährleistet, dass die Kondensatoren ausreichend robust gegen Feuchtigkeit – und folglich gegen Korrosion – sind, um die gewünschte Lebensdauer der Applikation sicherzustellen.

Der Temperatur-Feuchtigkeits-Bias-Test ist ein anerkannter Standard für beschleunigte Lebensdauerests. Dabei geht es darum, den Alterungsprozess von Kondensatoren zu beschleunigen und in zwei verschiedenen Tests zu messen, ob diese bei einer gegebenen Temperatur, relativen Luftfeuchtigkeit und Nennspannung über eine definierte Zeit hinweg ihre Kapazität, ihren Verlustfaktor und Isolationswiderstand beibehalten.

Drei Level (Grades) werden unterschieden (Tabelle 2).

Keramikkondensatoren kommen wegen der meist relativ kleinen erforderlichen Kapazitätswerte überwiegend als Y-Kondensatoren im Wertebereich zwischen 10 pF und 4,7 nF zum Einsatz. Sie sind jedoch mit maximal 22 nF verfügbar.

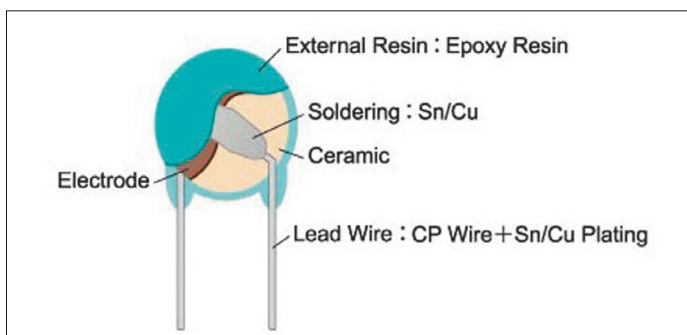
Neben den bislang genannten Klassifizierungen unterscheidet man Kondensatoren auch nach ihrer Zielapplikation in Commercial, Industrial oder Automotive und nach ihrer Bauart.

## Radiale Typen

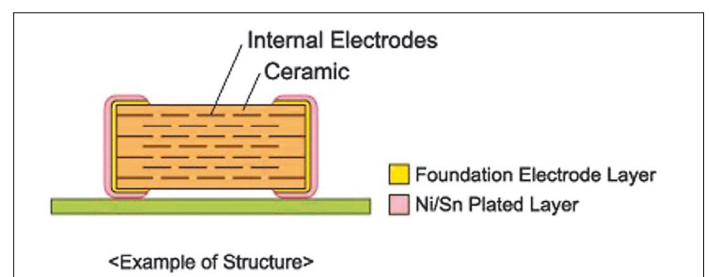
Was die Bauart angeht, sind radiale Typen als Single Layer am gebräuchlichsten und bekanntesten. Dabei handelt es sich um Keramik-Einfachscheiben mit Rastermaßen von 5 und 7,5 mm bei X#Y2- bzw. 10 und 12,5 mm bei X#Y1-Versionen (Bild 3).

## SMD-Typen

Darüber hinaus gibt es inzwischen aber auch viele SMD-Typen als X2-, Y2- oder X1Y2- Versionen



**Bild 3: Aufbau eines radialen Single Layer Kondensators © Murata**



**Bild 4: Schnitt durch einen MLCC © Murata**

# Passive Bauelemente

Grade (I) – Robustness under Humidity	
Test A: 40 °C / 93 % R.H. (Relative Humidity), 21 Days Rated Voltage	Test B: 85 °C / 85 % R.H. (Relative Humidity), 168 Hours Rated Voltage
Grade (II) – Robustness under High Humidity	
Test A: 40 °C / 93 % R.H., 56 Days Rated Voltage	Test B: 85 °C / 85 % R.H., 500 Hours Rated Voltage
Grade (III) – High Robustness under High Humidity	
Test A: 60 °C / 93 % R.H., 56 Days Rated Voltage	Test B: 85 °C / 85 % R.H., 1.000 Hours Rated Voltage

Tabelle 2: THB-Klassen nach IEC 60384-14 AMD1:2016 © Vishay

als Multi Layer Ceramic Capacitor (MLCC) sowie Y1- bzw. X1Y1-Versionen als Single Layer Kunststoff-umpresst mit Leadframes zur SMD-Montage. Diese bringen gegenüber den bedrahteten, radialen Ausführungen vor allem Vorteile durch geringeres Volumen und niedrigere Bauhöhe sowie höhere Entstörgrade bei gleichen Kapazitätswerten (Bild 4).

## Hochvolt-Elektrolytkondensator

Nach dem eingangsseitigen AC-Filter und der ersten Gleichrichtung kommt in Schaltnetzteilen als Puffer meist ein Hochvolt-Elektrolytkondensator zum Einsatz. Hierfür empfehlen sich Modelle mit niedrigem ESR bei hoher Lebensdauer.

Auch auf der Sekundärseite dreht sich alles um einen niedrigen ESR der Kondensatoren. Denn damit lassen sich hohe Ausgangströme realisieren und die Restwelligkeit der Ausgangsspannung soweit möglich minimieren. Hierfür werden meist Low-ESR-Elektrolytkondensatoren genutzt. Zusätzliche parallele Keramik-Kondensatoren filtern mögliche ausgangsseitige HF-Störungen.

## Widerstände

Widerstände übernehmen in Schaltnetzteilen vielfältige Aufgaben: Sie kommen unter anderem als

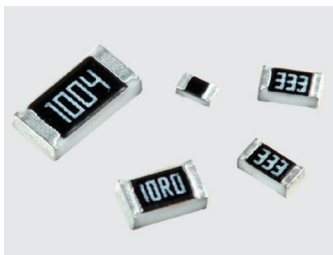


Bild 5: Für verschiedene Aufgaben sind in Schaltnetzteilen unterschiedliche Widerstände im Einsatz. © Yageo

Bleeder- bzw. Ableitwiderstand und als Vorladewiderstand zum Einsatz, zum Schutz vor Überspannungen und Überströmen sowie zur Strommessung (Bild 5).

Der Bleeder-Widerstand dient dem Entladen des Kondensators, denn dieser könnte sonst auch bei ausgeschalteter Stromversorgung einen Stromschlag verursachen. Bei geregelten Niederspannungsnetzteilen ist er nicht zwingend nötig und bei linearen Spannungsreglern oder Schaltnetzteilen mit schneller Tastverhältnissteuerung wird er nicht gebraucht, um eine konstante Gleichspannung aufrechtzuerhalten. Für diese Anwendung werden High-Ohmic-/High-Voltage-Serien genutzt.

## Vorladewiderstand

Als Vorladewiderstand für die Buffer-Kondensatoren dienen typischerweise axiale, bedrahtete Sicherheitswiderstände. Denn sie bringen einen niedrigen Widerstandswert und eine hohe Impulsfestigkeit mit.

Zudem werden Widerstände für die Erkennung der Phasenlage der AC-Spannung verwendet, um ein exakteres Teiler-Verhältnis zu erzielen. Hierfür eignen sich Dünnschicht-MELF-Widerstände mit einer herausragenden Impulslastfähigkeit sowie Flachchip-Präzisionswiderstände in Dünnschicht-Technologie.

## Varistoren

„klemmen“ Überspannungen ab und schützen so den nichtinvertierenden Eingang des Komparators. Diese Aufgabe übernehmen Überspannungs-Metalloxidvaristoren. Durch ihre halogenfreie, hochtemperaturbeständige Silikonbeschichtung arbeiten sie bei einer Betriebstemperatur von bis zu 125 °C und haben eine Höchststrombelastbarkeit bis zu 13 kA.

## Widerstände für Überstromschutz und Strommessung

Beim Einschalten leistungsstarker Verbraucher treten kurzfristig sehr hohe Ströme auf, die Schäden am System hervorrufen können. Als Einschaltstrom-Begrenzer bzw. Überstromschutz kommen PTC- und NTC-Thermistoren zum Einsatz. Sie können auch für die Temperaturmessung genutzt werden, da sich ihre elektrische Leitfähigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur verändert.

Am einfachsten können hohe Einschaltströme mit niederohmigen Leistungswiderständen begrenzt werden. Im Normalbetrieb entsteht an diesen Widerständen jedoch eine relativ hohe Verlustleistung. Deshalb empfiehlt sich hierfür die Nutzung von NTC- oder PTC-Thermistoren. Werden sie kombiniert, bieten sie die größten Vorteile.

## NTC-Thermistor

Die wichtigsten Auswahlkriterien für den NTC-Thermistor sind der maximale Strom und der Nennwiderstand (R25). Dieser muss mindestens so groß sein, dass er durch die Schaltung in Serie mit der Last den Strom auf einen Wert begrenzt, der noch nicht die Sicherung auslöst und keine Schäden an anderen Bauteilen verursacht. Der maximale Strom wird durch die Leistung der Last bestimmt. Dabei gilt es auch das Derating des NTC-Thermistors zu berücksichtigen.

## PTC-Thermistoren

Für eine sichere Strombegrenzung bei hochkapazitiven Kondensatoren in Gleichstrom-Zwischenkreisen eignen sich PTC-Thermistoren. Aufgrund des hohen Stromflusses erwärmen sie sich und werden hochohmig und somit eigen-sicher. Dadurch begrenzen sie

den Strom bei einem Kurzschluss im Zwischenkreis auf gefahrlose Werte. Sie sind für Spannungen von 260 bis 560 VDC ausgelegt, bieten bei 25 °C Widerstände von 22 bis 1100 Ω und verfügen je nach Typ über Zulassungen nach UL, IECQ und VDE sowie AEC-Q200-Qualifizierung.

## Strommessung

Ein weiterer Einsatzbereich von Widerständen in Schaltnetzteilen ist die Verwendung zur Strommessung. Dafür nutzt man niederohmige Shunt-Widerstände. Über den Spannungsabfall am Widerstand kann der Stromfluss detektiert und ausgewertet werden. Ideal dafür sind Vollmetall-Widerstandselemente aus Mangan-Kupfer- und Nickel-Chrom-Aluminium-Legierung die durch ihre Materialeigenschaften sehr niedrige Temperaturkoeffizienten aufweisen und gleichzeitig induktionsarm sind. Ist das Widerstandselement ein Metallstreifen, lassen sich Widerstandswerte hinunter bis zu 15 μΩ erreichen (Bild 6).

## Fazit

Passive Bauteile spielen in Schaltnetzteilen eine nicht zu unterschätzende Rolle, denn sie übernehmen vielfältige Aufgaben. Ihre Bedeutung nimmt sogar zu, sodass die Hersteller daran arbeiten, ihre Performance immer weiter zu verbessern. Es bleibt also spannend zu beobachten, wohin die Reise der technischen Entwicklungen geht. Alle genannten Bauelemente sind von Rutronik mit einer großen Vielfalt in allen Bauformen und Leistungsklassen verfügbar. Kundenspezifische Lösungen gerade bei den Induktivitäten und abhängig von den geforderten Stückzahlen sind selbstverständlich auch eine mögliche Option. ◀

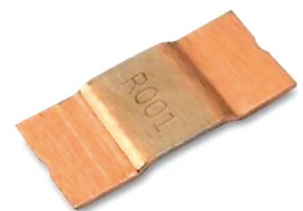


Bild 6: Widerstandselemente aus Vollmetall eignen sich zur Strommessung. © Yageo