

Hochlastdraht versus Power Film

Zwei Widerstandstechnologien im Vergleich



(Bild: Shutterstock_Kanr2425/WDI)

Typische Widerstände, die in der Leistungselektronik sowie in Wechselrichterschaltungen zum Einsatz kommen, sind Leistungsfilmwiderstände und drahtgewickelte Widerstände. Die Kenntnis, durch welche Eigenschaften sich die beiden Widerstandstypen jeweils auszeichnen, erleichtert die Bauteileauswahl. Von Falko Ladiges

Alle Merkmale des Leistungsfilmwiderstands (Power Film) und des drahtgewickelten Widerstands finden sich in der inneren Struktur der einzelnen Widerstände wieder. Nutzt man einen Leistungsfilmwiderstand, so wird dieser an den Kühlkörper angeschlossen. **Bild 1** zeigt, dass das Widerstandsmaterial des Leistungsfilmwiderstands (Ni-Cr-Dünnschicht oder Rutheniumoxid, RuO₂-Dickschicht, rot) in engem Kontakt mit hochwärmeleitender Keramik (grün gefärbt) steht; die Keramik ist mit dem metallischen Kupferflansch (orange) thermisch mechanisch verbunden. Die Wärmeentwicklung des Widerstands wird von der Keramik zum

Flansch geleitet und durch den Kühlkörper gekühlt. Die Fläche des Widerstandsfilms und die Dicke der wärmeleitenden Keramiken bestimmen dabei die Kühlleistung des Widerstands. Bei einem 100-W-Leistungsschichtwiderstand im TO247-Gehäuse beträgt der Wärmewiderstand vom Widerstand zum Flansch 1,3 °C/W.

Drahtgewickelte Widerstände werden an einer Metallplatte oder einem Chassis befestigt. Wie in **Bild 2** dargestellt, ist eine Metallkappe und ein Anschluss an beiden Enden eines wärmeleitenden Keramikzylinders (Kern) angebracht; ein Widerstandsdraht wird schraubenförmig um den Kern gewickelt, und die

Anschlüsse des Drahtes sind mit den Kappen verschweißt.

Der Widerstandsdraht wird mit einer genau definierten Spannung um den Kern gewickelt. Um zu verhindern, dass sich der Widerstandsdraht vom Kern abhebt, schützt eine mehrschichtige, harte und hitzebeständige Harzschicht den Widerstandsdraht, sodass er in engem Kontakt mit dem Kern steht. Das geschützte Wicklungswiderstandselement befindet sich in der Mitte eines Aluminiumgehäuses, das von beiden Seiten mit wärmeleitendem Harz gefüllt ist.

Die erzeugte Wärme überträgt sich vom Draht auf die Schutzschicht und

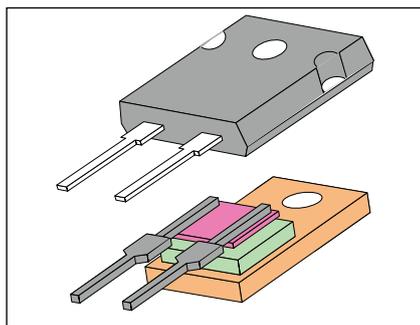
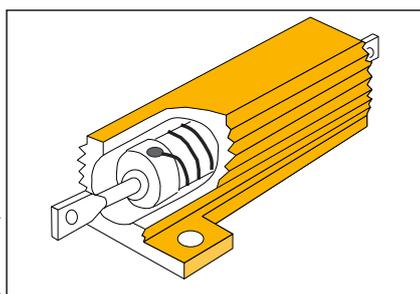


Bild 1. Struktur eines 100-W-Leistungsfilmwiderstands. (Bild: WDI)



(Bild: WDI)

Bild 2. Struktur eines 50-W-drahtgewickelten Hochlastwiderstands im Aluminiumprofilgehäuse.

auf das gefüllte Harzmaterial, in Folge wird die Wärme über das Aluminiumgehäuse (Kühlrippen und Montagefläche) abgegeben. Der Wärmewiderstand zwischen Widerstandsdraht und Aluminiumgehäuse wird im Allgemeinen nicht offengelegt. Die Außenabmessungen des Leistungsfilmwiderstands sind kleiner als die des metallummantelten drahtgewickelten Widerstands.

Frequenzeigenschaften von Widerstand und Impedanz

Der benannte Ohmwert des Widerstands bezieht sich auf den Betrieb bei Gleichstrom und kommerzieller Frequenz. Wird der zum Widerstand fließende Strom oder die angelegte Spannung hochfrequent, ändert sich der Widerstandswert, das heißt, es ändert sich der Effektivwert der Impedanz vom Gleichstrom-Widerstandswert.

Bei Gleichstrom-Lastwiderständen (zum Beispiel zur Bewertung von Batterieleistung) ist es nicht erforderlich, die Frequenzabhängigkeit der Impedanz zu berücksichtigen. Bei Anwendungen in der Leistungselektronik (Impulsschaltungen) bei denen Schalttechnik zum Einsatz kommt, wird jedoch

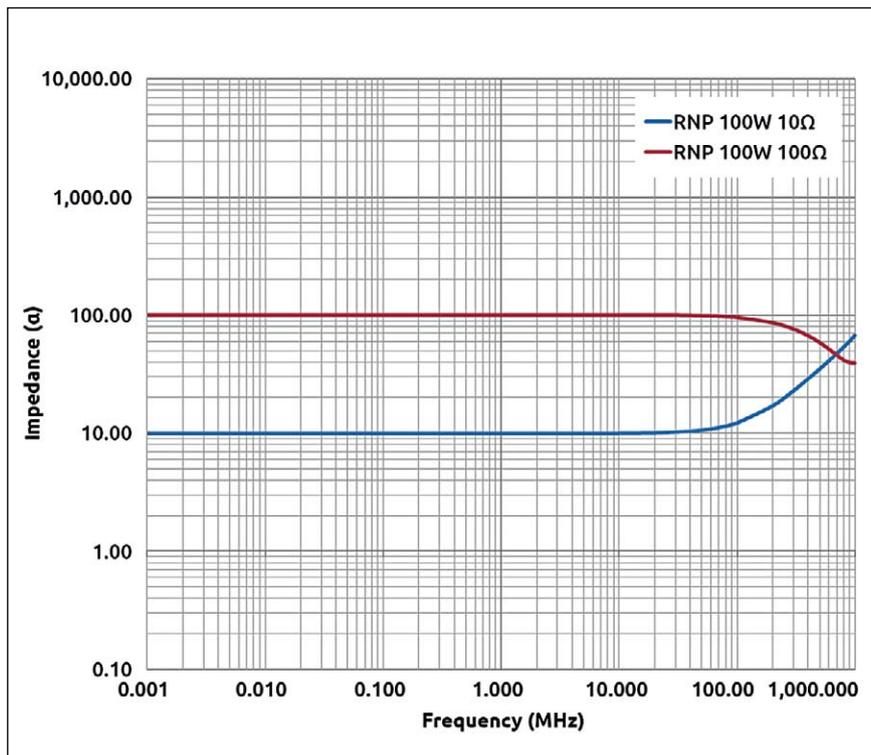


Bild 3. Impedanz-Frequenz-Eigenschaften eines 100-W-Leistungsfilmwiderstands. (Bild: WDI)

die Impulswellenform verbreitert und somit die Frequenz erhöht, sodass die Impedanzmerkmale des Widerstands nicht ignoriert werden können. Mit anderen Worten: Elektronische Bauteile, die bei Gleichstrom und kommerziellen Frequenzen einen Widerstand darstellen, weisen bei hohen Frequenzen Eigenschaften auf, die nicht mehr als Widerstände gelten.

Es ist bekannt, dass Widerstände durch Ersatzschaltungen des reinen Widerstands R , der Parallelkapazität C und der Serieninduktivität L dargestellt werden können. Diese Schaltung $R-C-L$ kann die Hochfrequenzeigenschaften des tatsächlichen Widerstandes ausdrücken. Die Serieninduktivität wird dabei durch die physikalischen Abmessungen eines Widerstands, durch den der Strom fließt, beeinflusst. Der Strompfad eines Leistungsfilmwiderstands ist daher kleiner als bei einem drahtgewickelten Widerstand.

Aus **Bild 3** geht hervor, dass der Leistungsfilmwiderstand von $10-100\Omega$ einen reinen Widerstand von DC bis 100 MHz zeigt, der $L-C-R$ -Resonanzpunkt wird bei 1 GHz oder mehr erreicht. Im Gegensatz dazu zeigen drahtgewickelte Widerstände von $10-100\Omega$ einen reinen

Widerstand nur von DC bis 1 MHz , $L-C-R$ -Resonanzpunkte werden ab etwa 10 MHz erzeugt.

Da der Resonanzpunkt dazu neigt, das sogenannte Klingeln zu verstärken, sind Dämpfungswiderstand und Filterwiderstand des Pulswechselrichters für den Einsatz von Leistungsfilmwiderständen geeignet. Eine Verwendung von Wickelwiderständen ist zu vermeiden.

Impulsleistung und kurzzeitige Überlasteigenschaften

Widerstände sind mit einer eindeutigen Nennleistung spezifiziert. Diese Nennleistung gibt an, wie viel Leistung sich in Wärme umwandeln lässt, wenn ein geeignetes Kühlsystem verwendet wird. Andererseits kann der Widerstand in kurzer Zeit eine große, über die Nennleistung hinausgehende Menge an Leistung abgeben.

Bei $0,1$ bis fünf Sekunden dauernden Überlastungen spricht man von kurzzeitigen Überlastungen, längere Überlastungen über mehrere Minuten oder Stunden werden als kontinuierlich bezeichnet. Ein drahtgewickelter Widerstand kann im abgekühlten

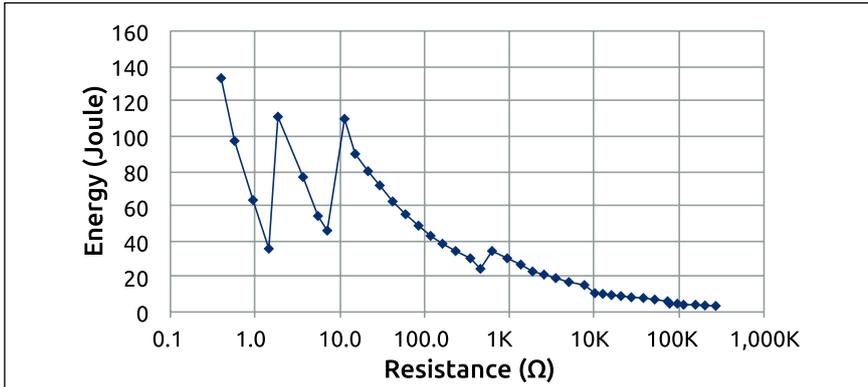


Bild 4. Ohmscher Widerstand gegenüber der zulässigen Energie eines 50-W-Hochlast-Drahtwiderstands im Aluminiumprofilgehäuse. (Bild: WDI)

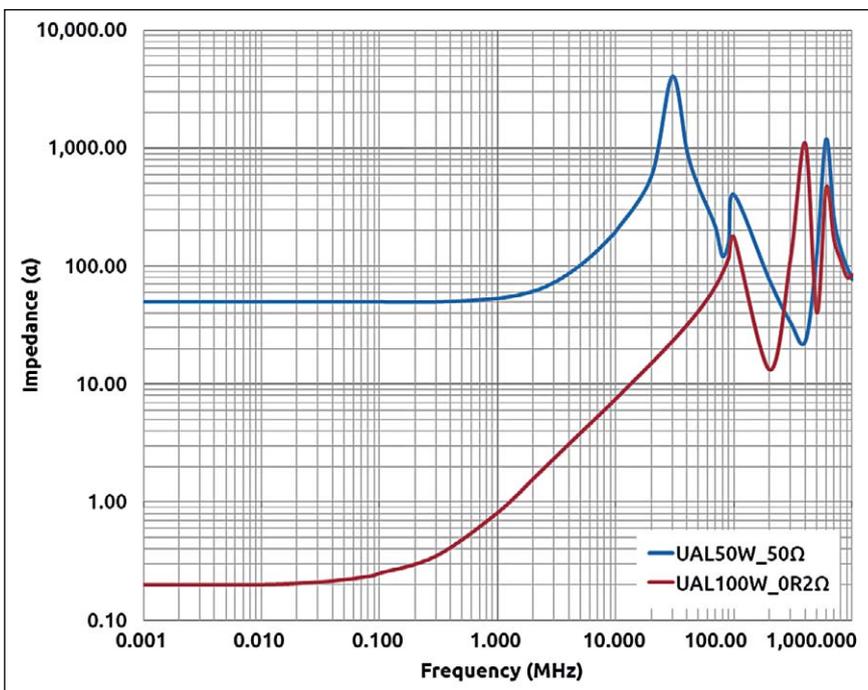


Bild 5. Impedanz-Frequenz-Eigenschaften eines 50-W- und 100-W-Hochlastdrahtwiderstands im Aluprofilgehäuse. (Bild: WDI)

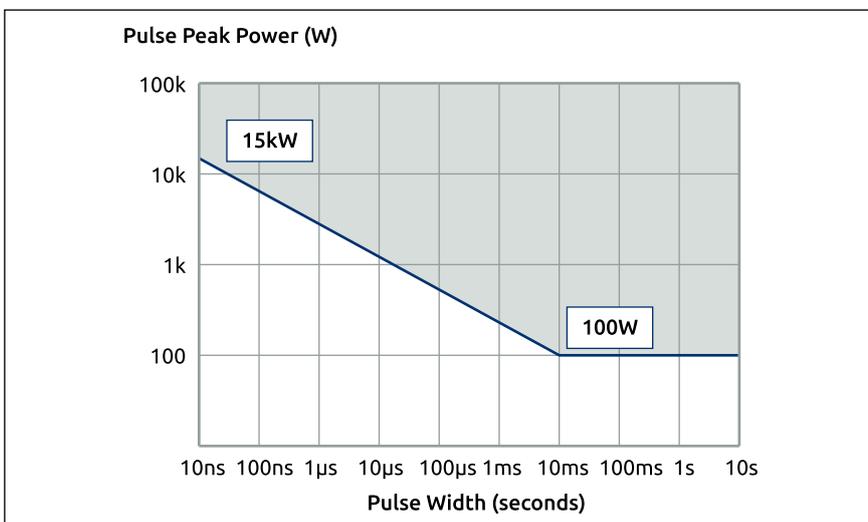


Bild 6. Impulshaltige Leistung eines 100-W-Leistungsfilmwiderstands im Dauerbetrieb. (Bild: WDI)

Zustand bis zu fünf Sekunden lang die fünffache Nennleistung aufnehmen. Ein 50-W-Widerstand kann in dieser Zeit bis zu 250 W aufnehmen ohne Schaden zu nehmen. Wird dem Leistungsfilmwiderstand trotz adäquater Kühlung innerhalb von fünf Sekunden die fünffache Leistung (fünfmal 100 W, oder zwei- bis dreimal 200 W) abverlangt, so brennt der Widerstand durch und fällt innerhalb der Zeit aus.

Bei drahtgewickelten Widerständen ist für kurzzeitige Überlastungen mit einer Dauer von 0,1 Sekunden oder weniger die in **Bild 4** dargestellte Widerstandsenergiekurve maßgeblich, die in der Regel für jeden Widerstandstyp angegeben wird. Der Widerstandswert ist der ohmsche Wert des Widerstands, die Energie entspricht der angelegten Leistung multipliziert mit der Dauer. Im Fall eines 1-Ω-Widerstands kann somit eine Energie von bis zu 62 Joule auf den Widerstand einwirken. Mit anderen Worten: die Spitzenleistung beträgt 620 W für 0,1 Sekunde, 6.200 W für 0,01 Sekunde, 62 kW für 1 ms. Bei noch kürzeren Pulsen von 1 μs oder 0,1 μs (wie in **Bild 5** gezeigt) geht die Funktion als Widerstand in diesem Bereich durch Blindwiderstandskomponenten des Widerstands verloren.

Der Grund für die Unstetigkeit der Kurve in Bild 4 liegt in dem unterschiedlichen Durchmesser des Widerstandsdrahtes, der innerhalb des drahtgewickelten Widerstands verwendet wird. Die Fähigkeit, diese große elektrische Energie in Wärme umzuwandeln, ist darauf zurückzuführen, dass der Widerstandsdraht über eine große Wärmekapazität verfügt und selbst eine kurze Zeit Wärme speichern kann. Die Wärmekapazität lässt sich mit dieser Formel berechnen:

$$P_t = E(\text{Joule}) = mc\Delta T$$

mit
 m = Masse (kg)
 c = 461 Joule / kg °C Ni – Cr
 ΔT = Temperaturerhöhung

Im Leistungsfilmwiderstand wird die Impulsüberlastungsleistung als Dauerhaftigkeitscharakteristik der Impulsleistung dargestellt (**Bild 6**). Dabei handelt es sich nicht um eine einmalige

Überlast aus dem Kühlzustand, sondern um den Standardbetrieb, wenn die Impulsleistung kontinuierlich mit einem Tastverhältnis von 0,01 angelegt wird. Bei einer Impulsbreite von 1 ms sind nur 200 W zulässig, aber wenn man diese in Energie umwandelt, sind es nur 0,2 Joule (berechnet mittels $200(W) \times 0,001(s)$). Das ist ein sehr viel kleinerer Wert im Vergleich zu den 62 Joule des oben berechneten drahtgewickelten Widerstands.

Der charakteristische Unterschied zwischen Bild 4 und Bild 6 besteht darin, dass der Widerstandsdraht des drahtgewickelten Widerstands über eine große Masse und eine große Wärmekapazität verfügt sowie darüber hinaus Wärme für eine kurze Zeit speichern kann, sodass er große Energiemengen von 10 ms bis zu mehreren Sekunden speichern und die Leistung in Wärme umwandeln kann. Daher eignet sich der drahtgewickelte Widerstand als Bremswiderstand eines Motorantriebes oder als Widerstand gegen den Einschaltstrom eines Kondensators.

Fazit Der Leistungsfilmwiderstand eignet sich für die Umwandlung von Energie bei geringer Impulsbreite in Wärme, zum Beispiel als Dämpfungswiderstand oder Oberwellenfilter-Dämpfungswiderstand. Wenn der Leistungsfilmwiderstand als Bremswiderstand oder Ladestromschutz verwendet wird, darf er nur innerhalb der Nennleistung eingesetzt werden.

Dagegen sind metallumhüllte drahtgewickelte Widerstände optimale Widerstände für Gleichstrom oder kommerzielle Frequenzlast, wie etwa als Einschaltstromschutz oder Bremswiderstand. Sie müssen sorgfältig ausgelegt werden, wenn sie in Hochfrequenz-Pulsschaltungen zum Einsatz kommen sollen. kv



Falko Ladiges
ist Teamleader PEMCO
bei WDI.