

Vor- und Nachteile

Vergleich verschiedener Widerstandstypen

Die Elektronikindustrie hat sich im Laufe der letzten beiden Jahrzehnte mit einer bemerkenswerten Geschwindigkeit entwickelt. Neue Technologien und Weiterentwicklungen haben dazu beigetragen, dass die Bauteile immer kleiner wurden, zugleich geraten die Hersteller diskreter Bauelemente zunehmend unter Druck, Bauteile mit nahezu idealen Eigenschaften zu entwickeln. Der Beitrag vergleicht Folien-, Dünnschicht-, Dickschicht- und Draht-Widerstände.

Ein wichtiger Bauteiltyp sind Chipwiderstände. Für solche Widerstände besteht heute ein großer Bedarf, in vielen Schaltungen sind sie unverzichtbar. Sie benötigen weniger Platz als diskrete, umhüllte Widerstände und erfordern vor dem Bestücken weniger Vorbereitung. Mit zunehmender Beliebtheit dieses Bauteiltyps werden auch dessen elektrische Eigenschaften immer wichtiger. Wichtige Eigenschaften sind u. a.: ESD-Festigkeit, Thermospannung (EMF, Thermal Electromotive Force), Temperaturkoeffizient des Widerstands (TCR, Temperature Coefficient of Resistance), Eigenerwärmung (Leistungskoeffizient), Langzeitstabilität und Rauschen. Nachfolgend werden die folgenden Widerstandstechnologien miteinander verglichen: Folie, Dünnschicht, Dickschicht und Draht. Drahtwiderstände sind zwar nicht im Chip-Format verfügbar, werden aber oft mit Präzisionsanwendungen assoziiert. Deshalb werden sie in diesen Vergleich einbezogen, wiewohl sie vom Gewicht und von den Abmessungen her nicht für alle Anwendungen geeignet sind.

Jeder dieser Widerstandstypen hat gewisse Nachteile, die sich negativ auf die Gesamteigenschaften auswirken – das betrifft insbesondere die Kurz- und Langzeitstabilität, den Frequenzgang und das Rauschen. **Tabelle 1** gibt einen kurzen Überblick über die Vor- und Nachteile der verschiedenen Widerstandstechnologien. Man erkennt die miteinander zusammenhängenden Auswirkungen von thermischem und mechanischem Stress auf die

Technology	Temperature Coefficient of Resistance (TCR) -55°C to +125°C, +25°C Ref.	Initial Tolerance	End of Life Tolerance	Load Life Stability at +70°C, Rated Power 2000 Hours and 10,000 Hours	ESD	Thermal Stabilization	Noise (dB)
Bulk Metal Foil	0.2 ppm/C	From 0.005%	< 0.05%	0.005%	25,000 V (50 ppm) 0.01% (100 ppm)	<1 Second	-42
High Precision Thin Film	5 ppm/C	From 0.05%	< 0.4%	0.05%	2500 V (500 ppm) 0.15% (1500 ppm)	> few minutes	-20
Precision Thick Film	50 ppm/C	From 0.5%	< 5%	0.5%	2000 V (5000 ppm) 2% (20,000 ppm)	> few minutes	+20
Wirewound	3 ppm/C	From 0.005%	< 0.5%	0.05%	5000 V (500 ppm) 0.15% (1500 ppm)	> few minutes	-35

Tabelle 1: Bestmögliche Spezifikationen verschiedener Widerstandstechnologien.

elektrischen Eigenschaften des Widerstands.

Stress, ganz gleich, ob mechanischer oder thermischer, verändert die elektrischen Eigenschaften eines Widerstands. Wenn sich infolge mechanischer oder sonstiger Einwirkungen die Form, Länge, Geometrie, Beschaffenheit oder molekulare Struktur ändert, ändern sich auch die elektrischen Parameter. Die Zusammenhänge werden durch die folgende elementare Gleichung beschrieben:

$$R = \rho L/A$$


dabei ist R = Widerstandswert in Ohm, ρ = spezifischer Materialwiderstand in Ohm · Meter (ändert sich mit der Temperatur), L = Länge des Widerstandselements in Meter (ändert sich mit der Temperatur und durch mechanischen Stress), A = Querschnittsfläche des Widerstandselements in Quadratmeter.

Wenn Strom durch ein Widerstandselement fließt, entsteht Wärme; dadurch ändert sich der Widerstandswert und die

Materialien, aus denen das Bauteil besteht, dehnen sich je nach Temperaturerhöhung mehr oder weniger stark aus. Umgebungstemperaturänderungen haben die gleiche Wirkung. Ein ideales Widerstandselement würde diese natürlichen Phänomene in ein selbstausgleichendes, stabilitätsförderndes System einbinden, das seine physikalische Integrität durch den gesamten Widerstandsfertigungsprozess hindurch beibehält und es überflüssig macht, die Wärme- und Stress-Einflüsse in der Anwendung zu kompensieren.

Präzisions-Drahtwiderstände

Ein Drahtwiderstand besteht aus einem isolierten Draht mit einem bestimmten Durchmesser, der auf einen Körper gewickelt ist. Der Widerstandswert und die anfänglichen Charakteristiken werden durch den Drahtdurchmesser, die Drahtlänge und die verwendete Materiallegierung bestimmt. Präzisions-Drahtwiderstände haben eine höhere ESD-Festigkeit und rauschen weniger als Dünn- oder


AUTOR

Hernik Yuval ist Director Application Engineering Foil Resistors bei der Vishay Precision Group, Inc.



all-electronics.de
ENTWICKLUNG. FERTIGUNG. AUTOMATISIERUNG



Entdecken Sie weitere interessante
Artikel und News zum Thema auf
all-electronics.de!

Hier klicken & informieren!



Dickschichtwiderstände. Sie haben außerdem einen niedrigeren Temperaturkoeffizienten und eine höhere Stabilität.

Während des Fertigigungsprozesses und durch die späteren Wärmeeinwirkungen in der Anwendung erleidet der Draht jedoch irreversible Verformungen. Als Folge davon können sich die elektrischen Eigenschaften des Widerstandselements erheblich verändern. Dadurch, dass der Draht zu einer Spule gewickelt ist, haben Drahtwiderstände zudem eine Induktivität und weil die Wicklungen eng nebeneinander liegen, haben sie auch noch eine Kapazität. Durch die Induktivität und Kapazität verschlechtern sich die Hochfrequenzeigenschaften des Widerstands, insbesondere bei Frequenzen oberhalb 50 kHz. Enger TCR-Gleichlauf und hohe Widerstandsverhältnis-Stabilität sind in Präzisionsanwendungen extrem wichtige Eigenschaften. Da Drahtwiderstände mit unterschiedlichen Werten auch unterschiedliche thermo-mechanische Eigenschaften aufweisen, variiert deren Stabilität in der Anwendung, und Widerstandsverhältnisse ändern sich im Laufe der Lebensdauer des Endprodukts. Hinzu kommt, dass beim Einbau des Widerstands in die Leiterplatte oft Zugspannungen auf die axialen Zuleitungen einwirken, ebenso kann das Gehäuse infolge mechanischer Einwirkungen Druckbelastungen ausgesetzt sein. Beide Effekte können den Widerstandswert verändern, ganz gleich, ob ein Strom durch den Widerstand fließt oder nicht.

Dünnschichtwiderstände

Dünnschichtwiderstände bestehen aus einem Keramiksubstrat und einer darauf abgeschiedenen Metallschicht mit einer Dicke zwischen 50 Å zu 250 Å. Sie ermöglichen höhere Widerstandswerte pro Flächeneinheit als Draht- oder Folienwiderstände und sind zudem preisgünstiger. Dadurch sind Dünnschichtwiderstände recht kostengünstige und platzsparende Lösungen für Anwendungen, die hohe Widerstandswerte und mittlere Genauigkeit erfordern.

Für die verschiedenen Wertebereiche von Dünnschichtwiderständen werden verschiedene Schichtdicken verwendet. Zur

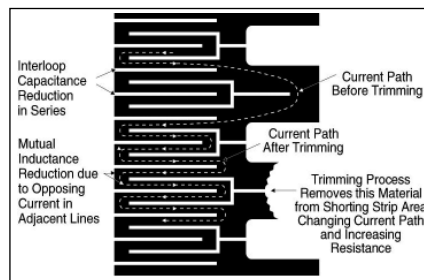


Bild 1: Die schwarzen Flächen sind Folie, die weißen Flächen sind herausgeätzte Bereiche. Die Feineinstellung der Folienwiderstände erfolgt durch die gezielte Entfernung interner Verbindungen (gestrichelt markiert).

Erhöhung der Stabilität werden Dünnschichtwiderstände künstlich gealtert. Je nach Schichtdicke (Widerstandswertebereich) werden dafür unterschiedliche Prozesse angewandt. Durch die chemisch/mechanische Alterung bei erhöhter Temperatur oxidiert außerdem die Widerstandslegierung. Zudem wird der Temperaturkoeffizient durch die suboptimale Schichtdicke negativ beeinflusst. Ein hochohmiger Dünnschichtwiderstand hat eine erheblich schlechtere Langzeitstabilität, weil die dünnere Schicht wesentlich empfindlicher für Oxidation ist.

Wegen ihrer geringen Metallmasse sind Dünnschichtwiderstände außerdem wesentlich empfindlicher für Selbstätzung in feuchter Umgebung.

Dickschichtwiderstände

Dickschichtwiderstände sind zwar wesentlich weniger genau als Folien-, Draht- oder Dünnschichtwiderstände, dafür aber erheblich vielseitiger einsetzbar. Sie sind wegen ihrer viel größeren Widerstandsdichte (hoher Widerstand/kleine Abmessungen) in fast allen Arten von Schaltungen zu finden – auch in weniger anspruchsvollen Funktionsblöcken von Präzisionsschaltungen. Sie haben eine hö-

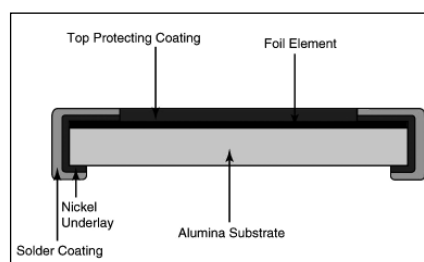


Bild 2: Struktur eines Bulk-Metal-Folienwiderstands.

here Grenzfrequenz – ähnlich wie Dünnschicht- oder Folienwiderstände – rauschen aber von allen derzeit gebräuchlichen Widerstandstypen am stärksten.

Für das starke Rauschen von Dickschichtwiderständen ist deren granulare Struktur verantwortlich. Je höher der Widerstandswert bei gegebener Größe, desto geringer ist der Metallgehalt, desto stärker das Rauschen und desto geringer die Stabilität. Der Glasanteil der Dickschichtwiderstandsstruktur bildet während der Nachbehandlung des Widerstands eine Glasphasen-Schutzschicht; der Widerstand ist dadurch beständiger gegen Feuchtigkeit als Dünnschichtwiderstände.

Folienwiderstände

Ein Folienwiderstand wird hergestellt, indem eine bestimmte Folienlegierung mit bekannten, kontrollierbaren Eigenschaften auf ein spezielles Keramiksubstrat aufgebracht wird; die Materialien sind so aufeinander abgestimmt, dass sich ein thermo-mechanisches Kräftegleichgewicht ergibt – das ist wichtig für den Temperaturkoeffizienten und die Stabilität. Anschließend wird ein Widerstandsmuster in einem ultragenauen Verfahren in die Folie fotogeätzt. Durch diesen Prozess und die spezielle Folie/Keramik-Kombination wird ein einzigartiger Eigenschaftsmix erreicht: kleiner Temperaturkoeffizient, kleiner Leistungskoeffizient (PCR, power TCR), hohe Langzeitstabilität, Induktivitätsfreiheit, geringe Kapazität, geringe Thermospannung, hohe ESD-Festigkeit, schnelle thermische Stabilisierung und geringes Rauschen – das alles bei ein und demselben Widerstand.

Diese Eigenschaften tragen zu einer hohen Systemstabilität und -zuverlässigkeit bei, ohne dass Kompromisse zwischen Genauigkeit, Stabilität und schneller thermischer Stabilisierung eingegangen werden müssen. Bulk-Metal-Folienwiderstände werden mit hoher Genauigkeit auf den gewünschten Widerstandswert getrimmt, indem interne „Kurzschlussverbindungen“ gezielt entfernt werden. Der Widerstandswert wird schrittweise erhöht, indem die markierten Bereiche in Bild 1 unterbrochen werden; die Schrittweite für die Widerstandserhöhung wird dabei immer kleiner. ►

Die hervorragenden Temperaturkoeffizienten von $\pm 1 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ (serienmäßig) über den Temperaturbereich von 0°C bis $+60^\circ\text{C}$ ($0,05 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ für Z-Foil-Widerstände) ergeben sich aus den Eigenschaften der Legierung und deren thermo-mechanischer Abstimmung auf das Substrat.

Bei der planaren Folie reduzieren die parallelen Muster im Widerstandselement-Design die Induktivität; die maximale Gesamtinduktivität des Widerstands beträgt $0,08 \text{ uH}$. Die Kapazität beträgt maximal $0,05 \text{ pF}$. Ein $1\text{-k}\Omega$ -Widerstand hat eine Einschwingzeit von weniger als 1 ns bis 100 MHz . Die Anstiegszeit ist zwar vom Widerstandswert abhängig, allerdings bei Widerständen mit kleineren oder größeren Werten nur unwesentlich länger als bei mittleren Werten. Die Widerstände produzieren kein Überspringen – das ist besonders wichtig bei Hochgeschwindigkeitsschaltern, beispielsweise in Signalwandlern.

Bild 2 zeigt das prinzipielle Design eines oberflächenmontierbaren Chip-Folien-

widerstands. Die Folientechnologie ermöglicht eine Kombination aus sehr erwünschten und bisher nicht realisierbaren Spezifikationen, so z.B.: Kleine Temperaturkoeffizienten ($0,05 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ von 0°C bis $+60^\circ\text{C}$), Toleranzen bis hinab zu $\pm 0,005\%$ (bei hermetischer Abdichtung bis hinab zu $\pm 0,001\%$), Load-Life-Stabilität $\pm 0,005\%$ (50 ppm) bei $+70^\circ\text{C}$ und Nennleistung über 2000 Stunden , Widerstandsgleichlauf $0,1 \text{ ppm}/^\circ\text{C}$ von 0°C bis $+60^\circ\text{C}$ und ESD-Festigkeit bis 25 kV . Hermetisch dichte Widerstände bieten eine nachgewiesene Shelf Life Stability von 2 ppm ($\Delta R/R$) absolut über 6 Jahre .

Wie genau und stabil muss ein Widerstand sein?

Natürlich braucht nicht jeder Entwickler für sein Design Widerstände, die auf höchste Präzision und Stabilität gezüchtet wurden. Die Auswahl eines passenden Widerstandstyps hängt von den jeweiligen Anforderungen der Anwendung ab. Bei der Betrachtung einzelner Parameter

darf man die Wirtschaftlichkeit des Ganzen nicht aus den Augen verlieren. So kann es beispielsweise kostengünstiger sein, einen (teureren) Widerstand mit überlegenen Spezifikationen einzusetzen, wenn dadurch auf eine aufwändige Kompensationsschaltung verzichtet werden kann. Kosteneinsparungen können u. U. auch dadurch erzielt werden, dass Präzision in den Widerständen „konzentriert“ wird statt in aktiven Bauteilen, weil bei aktiven Bauteilen ein wenig Mehr an Präzision gleich sehr viel mehr Geld kostet; das ist bei Widerständen nicht der Fall. Aus unserer Sicht das Wichtigste ist, dass durch den Einsatz von Folienwiderständen neue Designs mit bislang unerreichbaren Eigenschaften ermöglicht werden. (jj)

	infoDIRECT	551e/1210
	Link zu Altron	
www.elektronik-industrie.de		