

Leistungswiderstände für den automobilen Einsatz

Wenn drahtgewickelte Leistungswiderstände in Automotive-Applikationen eingesetzt werden, muss neben der Dauerleistung auch die Pulsbelastbarkeit beachtet werden.

BERTRAM SCHOTT, ADRIAN MICHAEL *

Schon immer werden drahtgewickelte Leistungswiderstände bezüglich ihrer Leistung spezifiziert. In der Elektromobilität ist diese Spezifikation jedoch unzureichend. Das Hauptanwendungsgebiet im automobilen Einsatz ist das Laden oder Entladen von großen Kondensatoren (Soft Start). Dabei ist nicht nur die Kenntnis der Dauerleistung des Widerstandes notwendig, sondern auch die der Pulsbelastbarkeit. Durch eine Kombination aus theoretischen Grundlagen und Finite-Elemente-Simulationen der elektrischen und thermischen Belastung dieser Widerstände kann die Pulsbelastbarkeit drahtgewickelter Leistungswiderstände über einen weiten Pulsdauerbereich sehr gut

bestimmt werden. Die Ergebnisse können generalisiert und Kundenspezifikationen hinsichtlich der Einsetzbarkeit schnell beantwortet werden.

Drahtwickel ermöglichen Pulsbelastbarkeit

Drahtgewickelte Leistungswiderstände sind üblicherweise bezüglich ihrer Dauerleistung spezifiziert. Wird Draht als Widerstands-

element verwendet, kann dieses, aufgrund der relativ hohen Wärmekapazität des Drahtes, relativ viel Energie aufnehmen, wobei der Temperaturanstieg moderat ausfällt. Daher eignen sich drahtgewickelte Leistungswiderstände bestens für Applikationen mit Pulsbelastungen.

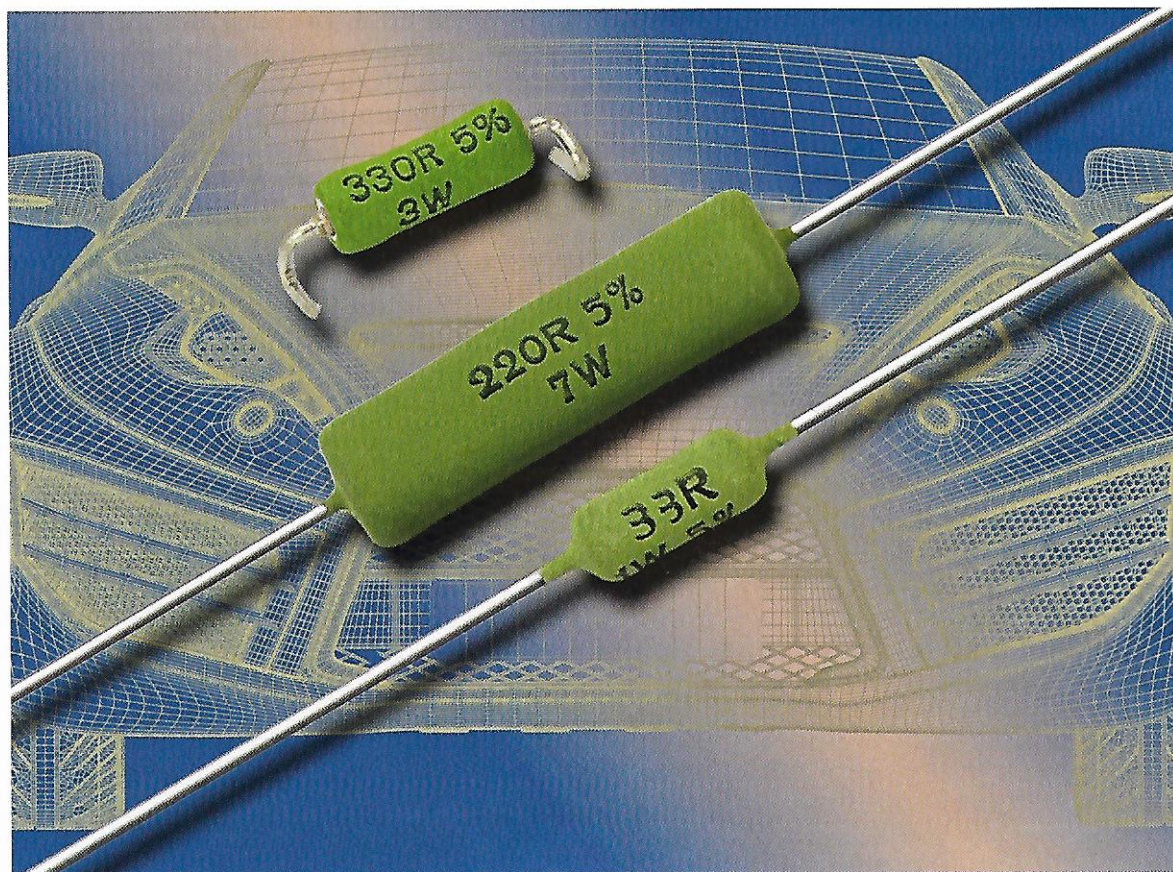
Durch den immer häufigeren Einsatz z.B. in Frequenzumrichtern wird auch die Spezifikation der Aufnahmefähigkeit von Pulsbe-



* Bertram Schott
... R&D Power Resistors, Draloric/
Beyschlag Division, bei der Vishay
Electronic GmbH in Selb.



* Adrian Michael
... Product Marketing Power Resistors,
Draloric/Beyschlag Division, bei der
Vishay Electronic GmbH in Selb.



Bilder: Vishay

Drahtgewickelte Leistungswiderstände:
Beim Einsatz im Automobil muss unbedingt auch deren Pulsbelastbarkeit berücksichtigt werden.

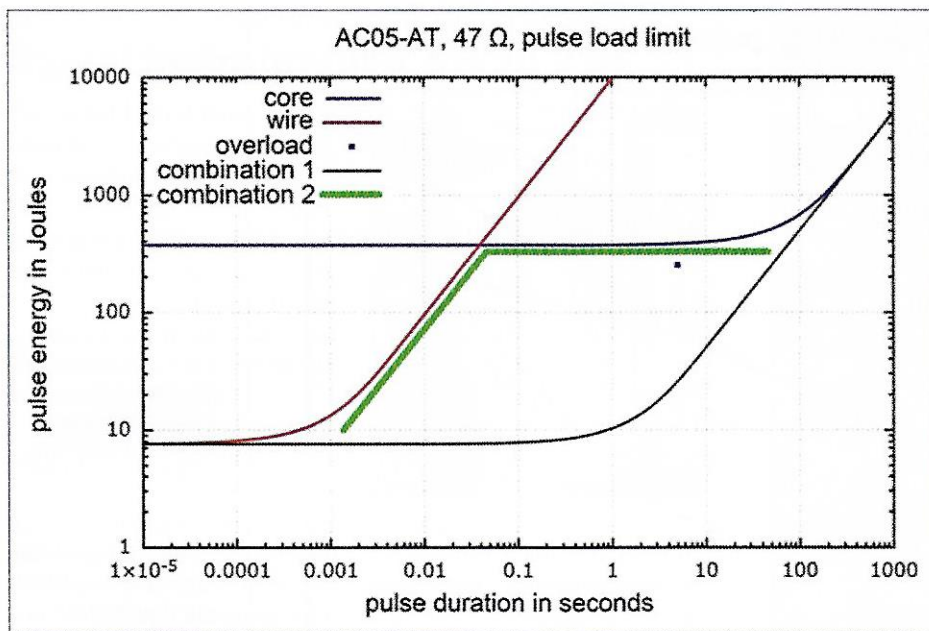


Bild 1: Grenzen der Pulsbelastbarkeit für den Körper eines AC05 (blaue Kurve) und dessen Widerstands-drahts bei $R = 47 \Omega$ (rote Kurve). Beide Kurven werden oft kombiniert: Kombination 1 (schwarze Kurve) unterschätzt die mögliche Überlast (blauer Punkt); Kombination 2 (grüne Linie) überschätzt die Pulsbelastbarkeit im Bereich des gezeigten Knicks (bei ca. 0,05 s).

lastungen immer wichtiger. Dies geschieht oft exemplarisch durch Angabe der maximal zulässigen Leistung für einen Puls mit einer gewissen Dauer oder der damit verbundenen Pulsenergie. Hin und wieder werden auch die maximal zulässigen Energien oder Leistungen für Pulse mit unterschiedlichen Dauern angegeben.

Berechnung der maximal zulässigen Pulsbelastbarkeit

Wird der Widerstand nun einer Pulsbelastung ausgesetzt, deren Dauer im Bereich nicht-adiabatischer Randbedingungen liegt und schwierig mit den im Datenblatt angegebenen Werten für Kurzzeitimpulse vergleichbar ist, so ist die Berechnung der maximal zulässigen Pulsbelastbarkeit für diesen Fall keinesfalls trivial. Aber eine Kombination aus theoretischen Grundlagen und Finite-Elemente-Simulationen der elektrischen und folglich thermischen Belastung des Widerstands machen es möglich.

Elektromobilität benötigt Pulsbelastbarkeit

In der Elektromobilität ist die Begrenzung des Lade- und Entladestroms von Kondensatoren eine typische Anwendung für drahtgewickelten Leistungswiderstände, da dabei hohe Pulsbelastungen für die Widerstände auftreten. Zur einfachen Gestaltung der Fertigung werden gerne mehrere kleine drahtgewickelten Leistungswiderstände auf ein PCB gelötet. Für diese Applikation liegt bei

Vishay der Fokus auf der AC-AT Serie^[1], die als erste ihrer Art nach AEC-Q200 Automotive qualifiziert wurde.

Eine elektrische Pulsbelastung erzeugt Wärme

Um den thermischen Effekt eines elektrischen Pulses auf einen Widerstand bewerten zu können, muss man das Abkühlen des Widerstandes betrachten. Effektiv geschieht das beispielsweise dadurch, dass man annimmt, dass Newtonsche Abkühlung vorliegt, d.h. dass die zeitliche Abnahme der Temperatur proportional der Temperaturdifferenz zwischen heißem Widerstand und dessen kühlerer Umgebung ist, und dass die Temperatur der Umgebung konstant bleibt. Übertragen auf das Widerstandselement, also den heißen Draht, besteht dessen Umgebung (in unserem Fall der AC-Serie) aus Zement. Die folgenden Überlegungen können aber auch auf glasierte oder sandgefüllte drahtgewickelte Leistungswiderstände übertragen werden.

Maximale Pulsbelastbarkeit des gesamten Widerstandes

Die Annahme Newtonsche Abkühlung, und damit der Proportionalität von zeitlicher Änderung der Temperatur und maximaler Temperatur des Drahtes bzw. des Widerstands, führt dazu, dass die Temperaturen von Draht und gesamtem Widerstand durch Exponentialfunktionen beschrieben werden können^[2]. Die entsprechenden Grenzen der

Extrem zuverlässig Panasonic



schukat.com

SCHUKAT
electronic

Melden Sie sich jetzt an!
Bei Angabe des Codes „EP2019“ erhalten Sie 10 % Rabatt auf den aktuellen Preis!

3D GEDRUCKTE ELEKTRONIK

10.07.2019, VCC, Würzburg

Die dreidimensionale Zukunft der Elektronik

Informieren Sie sich über Technologien, Chancen und Herausforderungen im Zeitalter von 3D und Industrie 4.0

www.3d-gedruckte-elektronik.de

Eine Veranstaltung von **PRAXIS** -

einer Marke der **VOGEL COMMUNICATIONS GROUP**

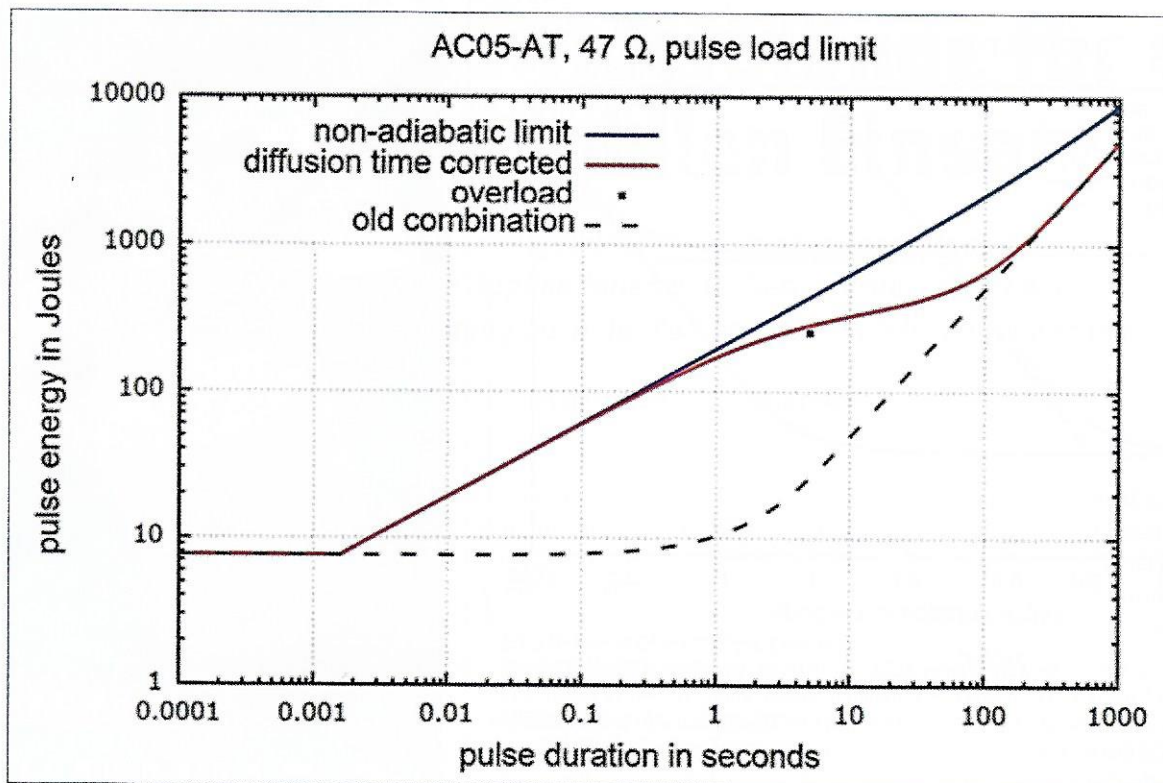


Bild 2: Maximal zulässige Pulsbelastung für nicht-adiabatische Randbedingungen aus Sicht des Drahtes (blaue Kurve) und mit passender charakteristische Zeit für thermische Diffusion korrigiert (rote Kurve). Zum Vergleich eine übliche Grenzkurve mit deutlicher Unterschätzung der Pulsbelastbarkeit im Bereich von ca. 0,1 bis 10 s Pulsdauer (schwarz gestrichelte Kurve).

Pulsbelastbarkeit sind für den Körper eines AC05, 47 Ω , und dessen Widerstandsdrahts in Bild 1 in blau bzw. rot gezeigt. Die maximale Pulsbelastbarkeit des gesamten Widerstandes wird in der Regel durch eine einfache Kombination beider Kurven dargestellt. Eine Möglichkeit ist eine Exponentialfunktion vom Typ der Newtonschen Abkühlung, Kombination 1 in Bild 1, die jedoch weit unterhalb der üblichen Überlastbarkeit von zehnfacher Nennleistung für fünf Sekunden liegt, und damit die Pulsbelastbarkeit in diesem Bereich deutlich unterschätzt. Eine zweite Möglichkeit, Kombination 2 in Bild 1, überschätzt jedoch die Pulsbelastbarkeit im Bereich des gezeigten Knicks (bei ca. 0,05 s), da die Erwärmung des Widerstandskörpers bei der Berechnung für den Draht nicht berücksichtigt wird.

Finite-Elemente-Simulation der Pulsbelastung

Finite-Elemente- (FE) Simulationen der Wärmeströmung und der Temperaturverteilung im AC05-Widerstand führen bei einer pulsierenden Wärmequelle im Draht, aufgrund einer elektrischen Pulsbelastung, neben der Erwärmung des Drahtes und darauf folgender Abkühlung auch zur entsprechenden Erwärmung des gesamten Widerstands mit einer gewissen Verzögerung. In der FE-Simulation spielt die Dauer der Pulsbelastung keine Rolle, sofern die Randbedingungen richtig gewählt sind. So lassen sich die

Temperaturen von Draht und Widerstand für beliebige Pulsdauern, von adiabatisch aus Sicht des Drahtes (Millisekunden-Bereich) bis quasi zu Dauerlast des gesamten Widerstands (100-s-Bereich), simulieren. Durch die Vorgabe maximal zulässiger Temperaturen im Draht lässt sich so die maximal zulässige elektrische Pulsbelastung ermitteln.

Generalisierung durch Skalierung

Die durch einige FE-Simulationen erhaltenen Ergebnisse lassen sich durch Skalierung mit der charakteristischen Zeit für thermische Diffusion des Drahts bezüglich der Pulsdauer generalisieren. Daraus kann ein Korrekturfaktor in die Exponentialfunktion eingebracht werden, die die Temperatur gemäß der Newtonschen Abkühlung beschreibt.

Nicht-adiabatische Randbedingungen

Mit den genannten Korrekturfaktoren lässt sich die maximal zulässige Pulsbelastung für nicht-adiabatische Randbedingungen aus Sicht des Drahtes berechnen (Bild 2, nicht-adiabatisches Limit). Diese konvergiert aber für lange Pulsdauern nicht gegen die Pulsbelastbarkeit des gesamten Widerstands. Benutzt man jedoch für relativ lange Pulsdauern zur Skalierung die charakteristische Zeit für thermische Diffusion des gesamten Widerstands, so konvergiert die Grenzkurve

der Pulsbelastbarkeit unter nicht-adiabatischen Randbedingungen gegen die Grenzkurve für die kontinuierliche Belastbarkeit des Widerstands (Bild 2).

Übertragung auf andere R-Werte und Typen

Die Ergebnisse der FE-Simulation der thermischen Eigenschaften eines bestimmten Widerstands (hier des AC05 mit 47 Ω) lassen sich durch geeignete Skalierung generalisieren und daher ohne weitere Finite-Elemente-Simulationen nicht nur auf alle Widerstandswerte (Drahtkonfigurationen) des AC05, sondern auf alle AC-Typen übertragen, da sich diese in ihrer Bauart sehr ähnlich sind. Das Verfahren ist sogar auf alle anderen ähnlichen drahtgewickelten Widerstände, z.B. die G200-Serie^[3], ohne zusätzliche FE-Simulationen übertragbar und daher extrem effizient. Für den Anwender hat das den Vorteil, dass Fragen nach der Pulsbelastbarkeit kompetent und sehr schnell beantwortet werden können. // TK

Vishay

Literatur:

- [1] <http://www.vishay.com/doc?28730> (AC, AC-AT).
- [2] Bertram Schott. Estimating the pulse performance of wirewound power resistors. VDE Proceedings of PCIM Europe 2017, Nuremberg, Germany, May 2017. <https://www.vde-verlag.de/proceedings-de/564424056.html>.
- [3] <http://www.vishay.com/doc?21002> (G200).