

Die 3-Leiterschaltung für DMS-Viertelbrücken

Einführung

Seit der Erfindung des elektrischen Dehnmessstreifens (DMS) im Jahre 1938 war für die allermeisten kommerziell gefertigten DMS-Messinstrumente die Wheatstone-Brücke die bevorzugte Messschaltung. Das liegt zu einem großen Teil an einigen wichtigen, dieser Schaltung innewohnenden Vorteilen:

1. Mit ihr können die kleinen Widerstandsänderungen, die in DMS aufgrund kleinster Dimensionsänderungen der Messobjektoberfläche entstehen, bestimmt werden.
2. Sie ergibt für das unbelastete Messobjekt ein Ausgangssignal Null.
3. Temperaturbedingte Widerstandsänderungen in den DMS-Schaltungen lassen sich kompensieren.

In unterschiedlichen Abstufungen tragen diese Faktoren in wesentlicher Weise zu genauen DMS-Messungen bei.

Bei der Mehrheit aller DMS-Anwendungen, die dem Zweck der Bestimmung von Spannungszuständen in der Oberfläche von Messobjekten dienen, werden individuelle DMS-Elemente eingesetzt, sei es als einzelne Linear-DMS oder als Elemente von DMS-Rosetten, und sie werden in der Wheatstone-Brückenschaltung als sogenannte Viertelbrücken arrangiert. In den folgenden Abschnitten wird diskutiert, wie die Art und Weise, in der diese Viertelbrückenschaltung verdrahtet wird, die Genauigkeit der Dehnmessdaten beeinflusst.

Die Wheatstone'sche Brückenschaltung

Die Wheatstone'sche Brückenschaltung besteht in ihrer einfachsten Form (Abb. 1) aus vier Widerständen (R_1 , R_2 , R_3 , R_4), die auch Brückenarme genannt werden und die, seriell/parallel angeordnet, aus einer Spannungsquelle E gespeist werden. Die Verbindungspunkte, geformt durch benachbarte Brückenarme und die Zuleitungen der Speisespannung, sind die Eingangsecken der Schaltung, während die Verbindungspunkte, die aus Brückenarmenpaaren und den Messsignalleitungen (e_0) bestehen, die Ausgangsecken der Schaltung darstellen. Es ist in diesem Zusammenhang beachtenswert, dass die Eingangsecken jeweils den Ausgangsecken benachbart sind und sich dazwischen immer ein Brückenarm befindet.

Weiter wird man beobachten, dass bei einer exakten Symmetrie der Widerstände links und rechts einer gedachten Linie, die die beiden Ausgangsecken verbindet, das Aus-

gangssignal e_0 exakt Null sein wird, in welchem Falle man die Brückenschaltung als "abgeglichen" bezeichnet.

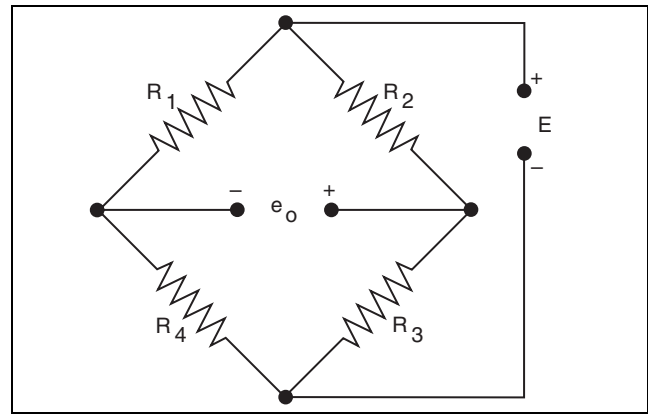


Abb. 1 - Prinzipschaltbild der Wheatstone'schen Brückenschaltung

Die 2-Leiterschaltung

Wird bei einer ursprünglich abgeglichenen Brückenschaltung einer der Widerstände in Abb. 1 durch einen DMS mit exakt dem gleichen Widerstandswert wie die restlichen Widerstände ersetzt, dieser mit zwei Leitern in die Schaltung eingefügt, und die Leiter zum DMS haben einen vernachlässigbar kleinen Widerstand, bleibt die Schaltung abgeglichen. Das ist jedoch eine theoretische Situation, denn in der Praxis werden die beiden Leiter zum DMS immer einen messbaren Widerstand R_L aufweisen, wie aus Abb. 2 hervorgeht. Weil nun die beiden Zuleitungen in Serie zum DMS zwischen den beiden benachbarten Verbindungspunkten liegen, wird der Brückenarm die Größe $R_{DMS} + R_{L1} + R_{L2}$ annehmen. Daraus ergibt sich eine empfindliche Störung der Widerstandssymmetrie, die Brückenschaltung wird "verstimmt", und die Ausgangsspannung e_0 wird nicht mehr Null sein.

Begegnet man einer nur moderaten Initialbrückenverstimmung, kann diese mathematisch vom späteren gemessenen Dehnungswert abgezogen werden; eine größere Brückenverstimmung ist allerdings geeignet größere Probleme hervorzurufen. Hier ein Beispiel: Ein 6m langes kupfernes 2-Leiterkabel der Größe AWG26 (Leiterdurchmesser 0,4mm) hat bei Raumtemperatur einen Widerstand von ca. $1,7\Omega$. Eingesetzt bei der 2-Leiterverdrahtung eines 120Ω -DMS und an ein Messinstrument mit einer K-Faktoreinstellung von 2,00 angeschlossen, würde das eine

Die 3-Leiterschaltung für DMS-Viertelbrücken

Brückenverstimmung hervorrufen, die einem Dehnungswert von $7000\mu\text{m/m}$ entspricht. Ein derartiger Offset kann den zur Verfügung stehenden Messbereich erheblich einschränken, und er müsste berücksichtigt werden, wenn für die bestimmten Wheatstone-Brückenschaltungen eigene Unlinearität korrigiert werden soll (Siehe Instruktions Bulletin TN-507 von Vishay Micro-Measurements). Des weiteren müssen die Leiter als parasitäre Widerstände im DMS-Brückenweig der Wheatstone-Brückenschaltung betrachtet werden, die zu einer Erniedrigung des DMS-K-Faktors führen, was wiederum ein niedrigeres Ausgangssignal zur Folge hat. Bei moderaten Leiterwiderständen entspricht diese Desensibilisierung in etwa dem Verhältnis von Leiterwiderstand zu DMS-Widerstand. Im vorliegenden Beispiel wäre das ein Empfindlichkeitsverlust von ca. 1,5%.

Und schließlich kann es zu einem noch ernsteren Problem kommen, wenn sich während der Messung die Temperatur der Leiter ändert. Kupferleiter ändern, von Raumtemperatur ausgehend, bei einer Temperaturänderung von 55K ihren Widerstand um etwa 22%. Für den 120Ω -DMS in Abb. 2 würde das bei einer Temperaturänderung von 5,5K einen Fehler bedeuten, der ca. $156\mu\text{m/m}$ entspricht oder, in Spannung ausgedrückt, bei einem Bauteil aus Stahl 32N/mm^2 .

Alle drei genannten Effekte werden mit steigendem Leiterwiderstand schwerwiegender. Natürlich werden die Probleme durch den Einsatz von DMS mit 350Ω geringer, aber die Messfehler können damit nicht vollkommen verhindert werden. Die im nächsten Abschnitt beschriebene 3-Leiterschaltung wird jedoch den Empfindlichkeitsverlust reduzieren und das Problem der Initialbrückenverstimmung sowie die Fehler aus der Temperatureinwirkung auf die Verdrahtung eliminieren.

Die 3-Leiterschaltung

Bei der 3-Leiterschaltung wird der Ausgangspunkt der negativen Ausgangsspannung vom Widerstand R_4 der Brückenschaltung zum Ende des Leiters R_{L3} an der Anschlussfahne des DMS verlegt. Auf diese Weise bilden der DMS (Widerstand R_G) und R_{L1} einen Brückenweig und R_{L2} mit dem Widerstand R_4 den benachbarten Brückenweig. Wenn die Leiter R_{L1} und R_{L2} von gleicher Art und Länge sind, wird ihr Widerstand gleich sein und die beiden entsprechenden Brückenweige werden folglich auch gleich sein. Damit ist die Brückenschaltung entlang der gedachten Linie zwischen den Ausgangseckpunkten widerstandssymmetrisch und die Brücke abgeglichen. Und ungeachtet aller Temperaturänderungen der Leiter bleibt sie abgeglichen, solange die Leiter die gleiche Temperatur haben. Dazu kommt, dass der Empfindlichkeitsverlust im Vergleich zur 2-Leiterschaltung halbiert wird, weil nur eine Leiterlänge in Serie zum DMS liegt. Der dritte Leiter R_{L3} in Abb. 3 dient lediglich der Signalspannungsführung, liegt nicht in Serie mit irgendeinem Brückenweig und hat demzufolge keinerlei Einfluss auf den Brückenabgleich oder der Temperaturstabilität der Schaltung.

Aus den bisherigen Darlegungen ist offenbar geworden, dass die 3-Leiterverdrahtung gegenüber der 2-Leiterschaltung eine ganze Reihe von Vorteilen bietet. Unter einigen speziellen Versuchsbedingungen jedoch, z. B. wenn Signale über Schleifringe oder Stecker weitergeführt werden müssen, ist es möglich, dass für die 3-Leiterschaltung nicht genügend Verbindungspunkte zur Verfügung stehen. In solchen Fällen ist die 2-Leiterverdrahtung zwischen DMS und dem nächsten weiterführenden Stecker unumgänglich, aber von dort sollte man dann in 3-Leiterschaltung zum Instrument weiter gehen und die Gesamtlänge der 2-Leiterschaltung so kurz wie möglich halten.

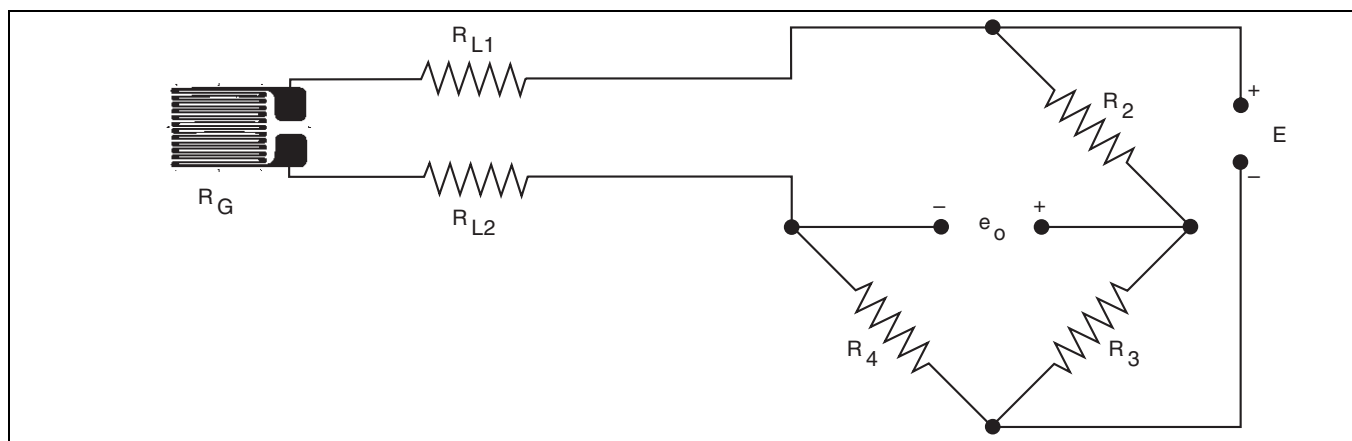


Abb. 2 - 2-Leiter Viertelbrückenschaltung

Die 3-Leiterschaltung für DMS-Viertelbrücken

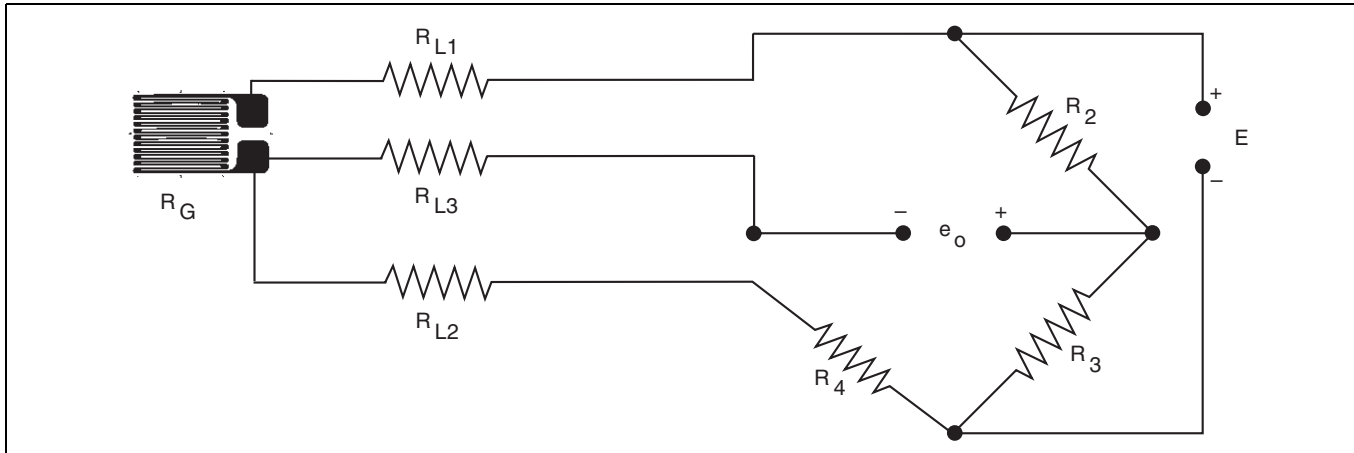


Abb. 3 - 3-Leiter-Viertelbrückenschaltung

Die bisherige Diskussion gilt hauptsächlich für die Messung statischer Dehnungen, wenn Instrumente angewandt werden, bei denen zwischen Brückenteil und Verstärker eine DC-Kopplung stattfindet. Bei Messungen rein dynamischer Dehnungen, bei denen es lediglich auf die Erfassung der Amplitudenwerte ankommt, kann manchmal die 2-Leiterschaltung wirksam eingesetzt werden. Man benutzt dann einen Messverstärker, der die AC-Kopplung des Eingangssignals vorsieht und somit alle statischen Signale, z. B. temperaturbedingte Widerstandsänderungen der Brückenverdrahtung, abblockt.

Zusammengefasst bestehen die Vorteile der 3-Leiterschaltung darin, dass sie einen wirklichen Brückenabgleich bietet, für eine automatische Kompensation aller Temperatureinwirkungen auf die Brückenverdrahtung sorgt und, verglichen mit der 2-Leiterschaltung, eine erhöhte Messempfindlichkeit mit sich bringt. Folglich ist die 3-Leiterschaltung die empfohlene Art der Brückenverdrahtung bei DMS-Viertelbrückenschaltungen zur Messung statischer Dehnungen. Wie oben beschrieben, beschränkt sich die Anwendung der 2-Leiterschaltung auf spezielle Einsatzfälle, wenn es um die Messung rein dynamischer Signale mit AC-gekoppelten Instrumenten geht oder bei statischen Messungen, bei denen die Länge der 2-Leiterverdrahtung kurz gehalten werden kann.