

Zur Einschränkung von Rauschsignalen bei DMS - Messungen

EINFÜHRUNG

Dehnungsmessungen müssen oft in Gegenwart von elektrischen und/oder magnetischen Feldern durchgeführt werden, was zu einer Überlagerung der Dehnungsmesssignale durch elektrisches Rauschen führen kann. Werden diese Rauschsignale nicht unter Kontrolle gehalten, können ungenaue Messwerte oder Fehlinterpretationen der Messsignale die Folge sein. In schwereren Fällen kann elektrisches Rauschen das Messsignal unerkennbar machen. Um die Probleme des elektrischen Rauschens unter Kontrolle zu halten und das Signal/Rausch-Verhältnis zu maximieren, ist es zuerst notwendig, die verschiedenen Arten und Charakteristika von Rauschsignalen sowie die Ursachen des Rauschens zu verstehen. Dieses Verstehen vorausgesetzt, wird es möglich die jeweils effektivsten Maßnahmen zur Unterdrückung des Rauschens bei gegebenen Instrumentationsproblemen anzuwenden.

Die vorliegende Arbeit macht einige der häufiger vorkommenden Ursachen für Rauschsignale kenntlich und beschreibt die Art und Weise, wie Rauschsignale in DMS-Messschaltungen hervorgerufen werden. Die Arbeit beschränkt sich auf elektrisches Rauschen, das externe oder magnetische Ursachen hat. Auf Effekte aus nuklearen oder thermischen Quellen wird nicht eingegangen, ebenso wenig werden solche aus veränderlichen Kabelwiderständen oder aus Übergangswiderständen von Schaltern, Schleifring-Übertragern oder dergl. behandelt. Nach einer Diskussion von Ursachen für elektrisches Rauschen, werden entsprechend den verschiedenen Kopplungsmechanismen, Methoden zur Vermeidung elektrischen Rauschens dargestellt. Die in dieser Arbeit enthaltenen Informationen gelten gleichermaßen für analoge und digitale Systeme, bei denen Gleichspannungsverstärker zum Einsatz kommen; sie sind ebenso für Trägerfrequenzsysteme anwendbar.

VERURSACHER FÜR ELEKTRISCHES RAUSCHEN

So gut wie jede elektrische Vorrichtung, die elektrische Energie produziert, verbraucht oder weiterleitet, ist ein potenzieller Verursacher für elektrisches Rauschen. Man kann im Allgemeinen sagen, dass die verursachten Rauschsignale umso höher sind, je höher der Strom oder Spannungspegel ist und je näher sich die DMS-Schaltung bei der verursachenden elektrischen Vorrichtung befindet. Im Folgenden sind eine Reihe häufig vorkommender Verursacher für elektrisches Rauschen aufgelistet:

- Wechselstrom-Netze
- Motoren und Anlasser
- Transformatoren
- Relais
- Generatoren
- Rotierend und translatorisch bewegte Maschinenteile
- Elektro-Schweißgeräte
- Schwingungserreger, Shaker
- Leuchtstoffröhren
- Radiosender
- Elektrische Stürme
- Lötkolben

Rauschen von diesen genannten Verursachern kann grundsätzlich zwei Kategorien zugeordnet werden: Elektrostatisches Rauschen und magnetisches Rauschen. Beide Arten unterscheiden sich grundsätzlich voneinander und erfordern demzufolge auch unterschiedliche Maßnahmen zu ihrer Unterdrückung. Unglücklicherweise jedoch werden die aufgelisteten Verursacher meistens eine Kombination der beiden Typen elektrischen Rauschens produzieren, was die Schwierigkeiten bezüglich einer gewünschten Reduzierung des Rauschens erhöhen kann.

Elektrostatische Felder werden durch die Gegenwart von elektrischen Spannungen hervorgerufen, ob Strom fließt oder nicht. Alternierende elektrische Felder bringen mithilfe des Phänomens der kapazitiven Kopplung Rauschsignale in DMS-Schaltungen ein. Dabei werden Ladungen mit entsprechend alternierenden Vorzeichen in jedem beliebigen elektrischen Leiter hervorgerufen werden, der dem elektrischen Feld ausgesetzt ist (Abb. 1).

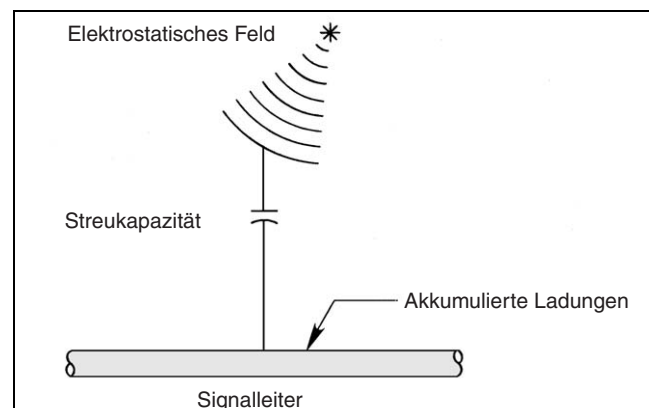


Abb. 1 - Elektrostatische Rausch-Kopplung

Zur Einschränkung von Rauschsignalen bei DMS - Messungen

Leuchtstoffröhren gehören zu den häufiger vorkommenden Verursachern elektrostatischen Rauschens.

Magnetfelder werden gewöhnlich entweder durch elektrischen Stromfluss oder durch die Gegenwart von Permanentmagneten hervorgerufen. Motoren und Transformatoren sind typische Beispiele für Quellen magnetischer Felder durch Stromfluss, das Magnetfeld der Erde ein Beispiel für Permanentmagnetismus. Um in einem elektrischen Leiter eine Rauschspannung (EMK - elektromagnetische Kraft) hervorzurufen, muss der Leiter die Flusslinien eines Magnetflusses "schneiden". Elektrische Generatoren arbeiten nach diesem Prinzip. Im Falle eines alternierenden Feldes, wie es sich z. B. um den Leiter eines 50Hz Wechselstrom-Netzes aufbaut, wird in einem stationären Leiter, der sich im Einflussbereich des alternierenden Feldes befindet, entsprechend alternierende Spannung induziert (Abb. 2). Entsprechend entsteht in einem Leiter, der sich durch das Feld eines Permanentmagneten bewegt, etwa das Magnetfeld der Erde, ebenso eine Rauschspannung. Da die meisten Stahllegierungen ferromagnetisch sind, werden sie existierende Magnet-Flusslinien umlenken und sie durch in der Nähe befindliche elektrische Leiter "schneiden" lassen. Das ist die Ursache dafür, dass in Messsignalleitungen in der Nähe bewegter Maschinenteile häufig elektrische Rauschspannungen hervorgerufen werden.

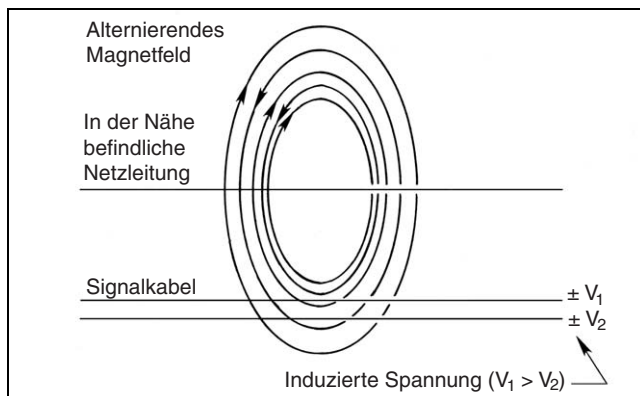


Abb. 2 - Elektromagnetische Rausch-Kopplung

ERKENNUNG VON RAUSCHEN UND ABHILFEMAßNAHMEN

Um das Vorhandensein von Rauschspannungen und deren Größe einwandfrei feststellen zu können, sollte man für die DMS-Messungen Instrumente einsetzen, die mit einer simplen, aber höchst wirkungsvollen Vorrichtung ausgestattet sind: Einem Schalter zum Abschalten der Brückenspeisespannung. Damit kann dann sehr leicht festgestellt werden, ob am Verstärkerausgang ein Rauschsignal anliegt oder nicht, denn bei abgeschalteter Brückenspeisespannung kann ein Signal am Ausgang kein Dehnungssignal sein. Damit ist eine sehr effektive Möglichkeit gegeben, die Wirksamkeit von Erdungs- und Schirmmaßnahmen zu überprüfen, und diese können gegebenenfalls modifiziert

werden, bis eine Minimierung von Rauschsignalen erreicht wird. Alle Geräte der Vishay Micro-Measurements sind mit diesem wichtigen Schalter zur Abschaltung der Brückenspeisespannung ausgerüstet.

Die folgenden Abhilfemaßnahmen können getroffen werden, um das Problem des Rauschens bei einer gegebenen Messkette unter Kontrolle zu halten:

1. Wenn nicht schon bekannt, sollten tolerierbare Rausch-Spannungspegel in entsprechenden Einheiten (Millivolt, Rekorderausschlag in cm oder dergl.) bestimmt werden. Das geschieht mithilfe eines entsprechenden Messgeräts (Oszilloskop, X/Y-Rekorder, etc.).
2. Es sollten zuerst Verursacher von Rauschen beachtet werden, die den Brückenverstärker direkt betreffen, ohne dass an diesen externe Schaltkreise angeschlossen sind. Zu diesem Zweck müssen alle angeschlossenen DMS-Schaltungen abgeklemmt und dann die Signal-Eingangsbuchsen (+S/-S) des Verstärkers mit einem Widerstand kurzgeschlossen werden, der einer für die Verstärkeranwendung typischen Eingangsimpedanz entspricht, also einem Widerstand mit einem Wert zwischen 120Ω und $1k\Omega$. Wird jetzt am Ausgang übermäßiges Rauschen festgestellt, sollte man
 - a) die Messkette auf Erdschleifen prüfen (mehr als eine Erdungsstelle in der Messkette),
 - b) der Vermutung nachgehen, ob das Rauschen von der Netzversorgung verursacht wird,
 - c) wenn möglich, die Verstärkungseinstellung weitmöglichst reduzieren und die Brückenspeisespannung weitmöglichst erhöhen.
3. Ist auf diese Weise das durch den Brückenverstärker selbst aufgenommene Rauschen in befriedigender Weise minimiert, wendet man sich den extern angeschlossenen Schaltungen zu. Die DMS-Brückenschaltungen oder Messwertaufnehmer werden angeschlossen und zwar mit den im aktuellen Messfall notwendigen Messkabeln, und die Brückenspeisespannung wird abgeschaltet. Alles Rauschen, das jetzt zusätzlich beobachtet wird, muss logischerweise über die angeschlossenen DMS oder Kabel hereinkommen. Verändert sich die Ausgangsspannung, wenn das Gerätegehäuse mit dem Finger berührt wird, ist das ein Anzeichen für ungenügende Erdung oder für die Einstreuung von Radiofrequenzen.
4. Bei immer noch abgeschalteter Brückenspeisespannung sollte jetzt die mit DMS versehene Teststruktur belastet werden. Wird danach zusätzliches Rauschen beobachtet, muss das irgendwie in Zusammenhang mit der Belastungsvorrichtung stehen (Elektromotoren oder dergl.), oder die DMS bzw., die Kabel bewegen sich bei Belastung in einem Feld, sodass eine EMK hervorgerufen wird.

Zur Einschränkung von Rauschsignalen bei DMS - Messungen

5. Jetzt sollte das Testteil wieder entlastet und die Brückenspeisespannung eingeschaltet werden. Jetzt wird ein Brücken-Nullabgleich vorgenommen, und jede Änderung der Ausgangsspannung nach diesem Vorgang ist eine Nullpunktdrift, die nichts mit Rauschen zu tun hat. Sie kann durch Selbsterwärmungseffekte am DMS (siehe dazu auch Tech Note TN-502) oder andere zeitabhängige Widerstandsänderungen hervorgerufen sein.

REDUZIERUNG VON ELEKTROSTATISCHEM RAUSCHEN

Die einfachste und effektivste Schranke gegen elektrostatisches Rauschen ist eine elektrisch leitende Schirmung mit der Wirkungsweise eines Faraday'schen Käfigs. Diese fängt Ladungen auf, die ansonsten das signalführende Kabel erreichen würden. Die so aufgefangenen Ladungen müssen allerdings über eine hinreichende Erdung oder auf ein befriedigend funktionierendes Referenzpotenzial abgeleitet werden. Ist keine hinreichend niedrigohmige Ableitung vorhanden, können diese Ladungen in die Messsignalleitung über die Kapazität zwischen Schirm und Leitung eingekoppelt werden (Abb. 3).

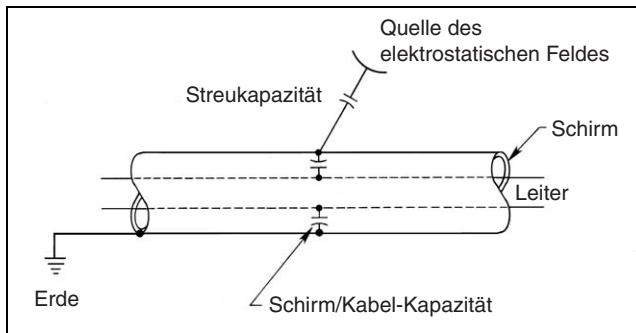


Abb. 3 - Elektrostatische Schirmung

Die am meisten angewandten Kabelschirmungen bestehen aus dünnem Drahtgeflecht oder elektrisch leitender Folie. Der Schirm aus Drahtgeflecht bietet eine etwa 95%-ige Kabelabdeckung und besitzt einen charakteristisch niedrigen Widerstand. Folienschirmung, obwohl gewöhnlich hochohmiger als Drahtgeflecht, deckt das Kabel zu 100% ab und ist leichter zu erden.

Hier sind zwei Beispiele kommerziell erhältlicher Kabeltypen mit den beiden unterschiedlichen Schirmungen:

- Drahtgeflecht: Typ 430-FST, 4-Leiter-Kabel, verdreht (Vishay Micro-Measurements)
- Folien-Schirm: Typ 422-DSV (Vishay Micro-Measurements)

Wenn Mehrleiter-Kabel in größeren Längen benötigt werden, muss mit eventuellem Übersprechen zwischen den einzelnen Leitern gerechnet werden. Bei Kabellängen von über 15m können beträchtliche Rauschspannungspegel durch magnetische oder elektrostatische Kopplung in empfindlichen Leitern induziert werden. Obwohl z. B. in Spei-

sespannungs-Leitern nur etwa ein Millivolt Rauschen geführt wird, kann in die Signalleitungen ein problematischer Millivolt-Rauschpegel eingekoppelt werden. Dieser Rauschübertragung kann begegnet werden, indem paarweise geschirmtes Kabel, ein Paar für die Brückenspeisespannung und ein Paar für die Signalleitungen, verwendet werden.

Diese Kabelkonstruktion wird durch den Kabeltyp 422 DSV repräsentiert. Wird solches Kabel eingesetzt, ein individueller Schirm pro Leitungspaar also, sollte die Erdung des Kabels instrumentenseitig erfolgen. Elektromagnetische Kopplung zwischen dem Leiterpaar für die Brückenspeisung und dem für die Signalführung kann weiter reduziert werden, wenn beide Paare jeweils in sich verdreht sind.

Die Kapazität zwischen Schirm und Leiter kann für große Kabellängen auch beträchtliche Werte annehmen, da die Größe dieser Kapazität proportional der Kabellänge ist. Das führt dazu, dass selbst gut geerdete Schirmungen immer noch zu merkbareren Rauschpegeln in empfindlichen Leitern führen können. Um diesen Effekt zu minimieren, bieten einige DMS-Instrumente die Möglichkeiten des Anschlusses von "potenzialfreien" geschirmten Kabeln (Verstärkersystem Mod. 2300 der Vishay Micro-Measurements). Das bedeutet, dass die Kabelschirmung auf einem Spannungsniveau gehalten wird, der einer durchschnittlichen Signalspannung oder der Gleichtakt-Spannung entspricht. In dieser Anordnung ist die Spannungsdifferenz zwischen Schirm und Leiter im Wesentlichen Null und die Kapazität zwischen beiden so vermindert, dass nur minimale Rauschübertragung auftreten kann. Das Resultat ist also eine in Bezug auf Rauschprobleme passive Schirmung. Dieses ganze Arrangement wird "Treiber-Schirm" genannt. Damit das alles gut funktioniert ist es wichtig, dass der Treiber-Schirm nur an einem Ende mit dem Treiber-Schirm-Kontakt am Instrumenten-Eingangsstecker verbunden wird. Der Treiber-Schirm ist gewöhnlich noch von einer zweiten Schirmung umgeben, die an einem Ende geerdet wird.

Eine andere, oft übersehene Ursache für Rauschen ist zu niedriger Widerstand vom DMS zur Masse, also einem elektrisch leitenden Testteil oder ein zu niedriger Widerstand zwischen Kabel und Masse. Werden gewisse Widerstandswerte unterschritten, kann es zu erheblicher Übertragung von Rauschen kommen, da selbst offenbar gut geerdete Teststrukturen Träger von signifikanten Rauschspannungspegeln sein können. Es ist nicht ungewöhnlich, dass mit DMS versehene, nominell geerdete Testobjekte tatsächlich mit Rauschspannungspegeln in der Größenordnung von Volt behaftet sind. Dazu kommt natürlich, dass jede DMS-Installation auf einem elektrisch leitenden Bauteil einen Kondensator im klassischen Sinn darstellt, welcher geeignet ist, Rauschen vom Testobjekt in den DMS einzukoppeln. Im Sinne dieser Überlegungen sollten Test-

Zur Einschränkung von Rauschsignalen bei DMS - Messungen

objekte immer hinreichend gut geerdet sein, und die Isolationswiderstände gegen Masse sollten auf richtige Größe routinemäßig geprüft werden.

Bevor die Messkabel am DMS befestigt werden, sollte mit einem geeigneten Instrument der Isolationswiderstand gegen Masse gemessen werden. Der DMS-Installations-Tester Mod. GIT 1300 der Vishay Micro-Measurements ist speziell für solche Zwecke geschaffen. Im Allgemeinen wird ein Isolationswiderstand von 10000M Ω als Minimum für eine einwandfreie funktionierende Messstelle erachtet. Werte die unter diesem genannten Widerstand liegen, sind normalerweise Hinweise auf nicht einwandfreie DMS-Installationen, die sich mit der Zeit und mit den mechanischen Belastungen (Dehnung), denen sie ausgesetzt werden, weiter verschlechtern. Weiter muss beachtet werden, dass der Isolationswiderstand mit steigenden Temperaturen niedriger wird, wodurch besonders bei Messungen, die bei höheren Temperaturen stattfinden, besondere Aufmerksamkeit in dieser Hinsicht erforderlich ist.

Nach Fixierung der Kabel am DMS sollten folgende Widerstandsmessungen durchgeführt werden: Leiter gegen Masse, Schirm gegen Masse, Leiter gegen Schirm. Wegen produktionsbedingter technischer Unvollkommenheiten der Kabel dürfen diese Widerstände um weniges niedriger sein, als der Isolationswiderstand DMS/Masse. Bei Kabeln, die beträchtlich niedrigere Widerstandswerte aufweisen, sollte jedoch eine genauere Untersuchung der Ursachen vorgenommen und diese beseitigt werden, um potenzielle Probleme hinsichtlich Rauschens zu vermeiden.

REDUZIERUNG VON ELEKTROMAGNETISCHEM RAUSCHEN

Die effektivste Vorgehensweise, um magnetisch induziertes Rauschen zu minimieren, besteht nicht darin, wie man vielleicht denken könnte, die das Rauschen aufnehmenden Teile der Messkette magnetisch abzuschirmen. Die wirksamste Maßnahme besteht vielmehr darin, dass die Rauschpegelspannungen in gleicher Größe an beiden Eingangsbuchsen des Verstärkers anliegen (Abb. 4).

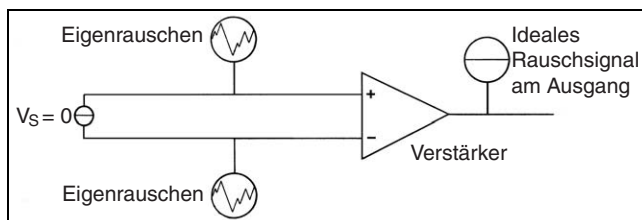


Abb. 4 - Auslöschung von Rauschen durch
Gleichtaktunterdrückung des Verstärkers

Bei genauerer Überprüfung stellt man fest, dass sich alle konventionellen DMS-Brückenschaltungen, ob Viertelbrücke (2-Leiter oder 3-Leiter), Halb- oder Vollbrücke, letztendlich in Bezug auf das dem Verstärker zugeführte Signal auf die in Abb. 4 gezeigte Schaltung reduzieren las-

sen. Dieses gilt auch für die sogenannte "gedrehte" oder asymmetrische Brückenschaltung. Für die Wirksamkeit des in Abb. 4 gezeigten Prinzips zur Eliminierung des Rauschens ist es allerdings notwendig, dass der eingesetzte Verstärker gute Werte zur Gleichtaktunterdrückung zeigt. Beachtung muss auch der DMS-Verdrahtung und in der Nähe verlaufenden Netzleitungen geschenkt werden. Denn es ist klar, dass abhängig von der Entfernung zu Netzleitungen ein Gradient der magnetischen Feldstärke bestehen muss, wie aus Abb. 2 ersichtlich ist. Die Rauschspannungspegel V_1 und V_2 , die in den Signalleitungen induziert werden, sind somit abhängig vom Abstand dieser Leitungen zur Quelle des Magnetfelds. Ein Verdrillen der Signalleitungen stellt einen gleichen Abstand her, gleiche Rauschspannungen werden in jedem Leiter induziert, die sich gemäß der Schaltung Abb. 4 gegenseitig aufheben. Natürlich könnten auch die als Quelle des Magnetfelds fungierenden Netzspannung führenden Leiter verdrillt werden, um eine Herabsetzung der Stärke des Magnetfelds zu erreichen.

Zumindest theoretisch gilt der Satz, dass je höher die Verdrillungsdichte pro gegebener Kabellänge umso besser der gewünschte Effekt ist. Kommerziell erhältliche verdrillte Kabel besitzen für die meisten Anwendungen eine hinreichende Verdrillungsdichte. In Umgebungen mit hohen Magnetfeldern jedoch, z. B. in der Nähe von Elektromotoren, Generatoren oder Transformatoren, kann eine viel engere Verdrillung notwendig werden. In Extremfällen mag einfaches, wenn auch dichtes Verdrillen, sogar inadäquat sein und speziell verwebtes Kabel notwendig werden. Darüber später mehr.

Beim Anbringen der Kabel an die DMS sollte man so vorgehen, dass die Kabel direkt am DMS fixiert werden, ohne dass Lötstützpunkte zwischengeschaltet werden. DMS der Serie CEA (Vishay Micro-Measurements) sind hinsichtlich dieser Forderung ideal geeignet. Ihre Lötanschlussfahnen sind kupferplattiert, sodass die Messkabel in bequemer Weise direkt angelötet werden können. Wie in Abb. 5 dargestellt, können sowohl die DMS-Auswahl wie auch die Anordnung der Kabel großen Einfluss auf die Empfindlichkeit der Messstellen hinsichtlich magnetischer Felder haben. Man bemerkt, dass bei den zu bevorzugenden Kabelanordnungen eng verdrillte Drähte vorliegen und damit empfindliche Drahtschlaufengrößen minimiert werden. Flachbandkabel sind bezüglich der Aufnahme von Rauschspannungen sehr empfindlich und sollten vermieden werden. Ist die Anwendung von Flachbandkabel unvermeidlich, ist einer Leiterbelegung wie in Abb. 6b gezeigt der Vorzug zu geben. Weiterhin muss darauf geachtet werden, jede überflüssige Kabellänge überhaupt zu vermeiden. Lässt sich aus spezifischen Anwendungsgründen in Einzelfällen solches nicht vermeiden, dürfen solche Kabelbereiche niemals (z. B. aus Platzersparnisgründen) in Spulenform (Abb. 7a) ausgelegt werden. Treten solche

Zur Einschränkung von Rauschsignalen bei DMS - Messungen

Kabelbereiche in einer Messstrecke auf, sollten sie wie in Abb. 7b gezeigt, einmal eingefaltet und zur Halbspule zusammengedreht werden. Auf diese Weise wird jede rechtsdrehende Schlaufe sofort durch eine linksdrehende kompensiert. Das gilt für die Signalleitungen genauso wie für die Speisespannungsleitungen.

Eine geerdete, elektrisch leitende Schirmung, die im Falle elektrostatischen Rauschens einen guten Schutz darstellt, funktioniert bei magnetischem Rauschen leider nicht. Abschirmungen für Magnetfelder beruhen auf einem anderen Wirkungsprinzip. Ihre Aufgabe ist es, den Magnetfluss in geeigneter Weise um den Leiter herumzuführen, anstatt ihn zu eliminieren. Schirmungen gegen Magnetfelder werden daher aus Werkstoffen hoher Permeabilität wie Eisen oder anderen ferromagnetischen Materialien hergestellt. Begegnet man magnetisch bedingten Rauschspannungsproblemen, die von 50 oder 60Hz Versorgungsnetzen herrühren, man hat es also mit relativ niedrigen Frequenzen zu tun, ist eine Dicke des Schirmungsmaterials von 2,5mm notwendig, bevor ein hinreichender Abschirmungseffekt erzielt wird. Das gilt für Eisen als Schirmungsmaterial. Dichtwandige Eisenrohre als Kabelführungen könnten also zur Reduzierung magnetisch bedingten Rauschens angewandt werden. Es existieren jedoch Legierungen, die eine besonders hohe Permeabilität aufweisen und die zum Zweck der Abschirmung gegen Magnetfelder entwickelt worden sind. Zu diesen zählt z. B. Mu-Metall®. Solche Werkstoffe erweisen sich bereits mit erheblich niedrigeren Wanddicken als sehr effektiv. Allerdings erweist es sich im Großen und Ganzen immer noch als Bestes, die Ursache des Rauschens in ihrer Intensität entweder zu minimieren oder ganz auszuschalten.

EXTREME UMGEBUNGSBEDINGUNGEN

Die vorhergehenden Abschnitte haben sich auf die Standardmethoden zur Reduzierung von Problemen des Rauschens beschränkt, die für eine Mehrheit von Einsatzfällen in der DMS-Messtechnik anwendbar sind. Die folgenden Abschnitte beschäftigen sich mit Methoden, die notwendig werden können, wenn extrem hohe Rauschspannungspegel zu erwarten sind oder man solchen während der Messung begegnet.

ELEKTROSTATISCHE FELDER

Hat man es mit Frequenzen von 20kHz oder weniger zu tun, sollte man es im Allgemeinen vermeiden, die Schirmung an mehr als einem Punkt zu erden. Die Begründung dafür liegt in der Gefahr, dass mehrere Erdungspunkte auf unterschiedliche Spannungspotenziale treffen können, was einen Stromfluss in der Schirmung hervorrufen würde. Der Stromfluss in solchen "Erdschleifen" würde sofort Rauschen in den Signalleitungen bedeuten, da ja ein Transformatoreffekt auftreten würde.

Lange Kabel in einer extrem rauschgefährdeten Umgebung

sind eine andere Sache. Bei langen Kabeln kann die Schirmungsimpedanz, besonders bei hochfrequentem Rauschen, Werte annehmen, die der Forderung nach einer Erdleitung niedrigen Widerstands zur Ableitung der in der Schirmung akkumulierten Ladungen nicht mehr gerecht wird. Um in solchen Fällen eine effektivere Schirmung zu erreichen, sollte sie an beiden Enden geerdet und, wenn notwendig, noch weitere Erdungspunkte über die Kabellänge eingeführt werden. Diese Erdungspunkte sollten so angeordnet sein, dass sie sich vorzugsweise in der Nähe identifizierter Rauschstörquellen befinden. Mehrfach-Erdungen können auch bei Einstreuungen von Radiofrequenzen notwendig werden. Unter solchen Umständen können die Schirmung oder Teile von ihr Antennenwirkung annehmen. Es ist dann am sinnvollsten, die beste und wirksamste Anordnung der Erdungspunkte experimentell zu bestimmen.

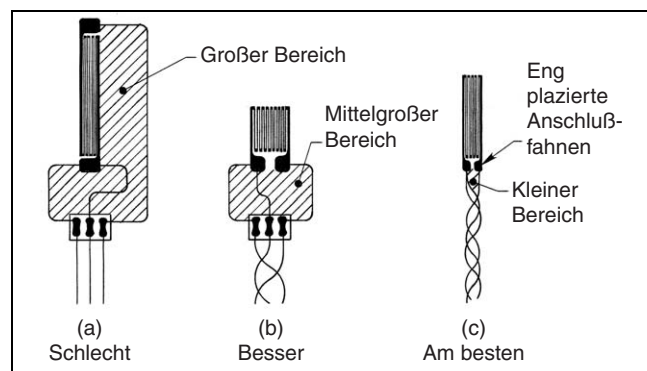


Abb. 5 - DMS-Auswahl und Verdrahtungstechnik

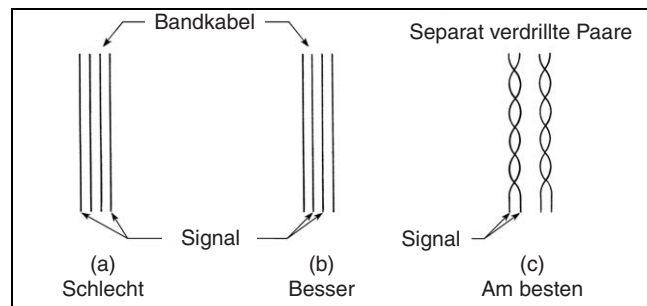


Abb. 6 - Kabelvergleich

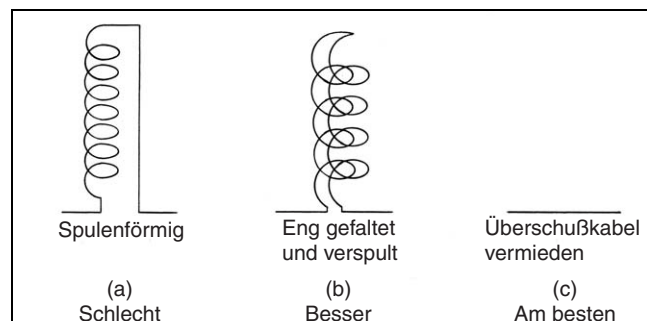


Abb. 7 - Behandlung überschüssiger Kabellängen

Zur Einschränkung von Rauschsignalen bei DMS - Messungen

Obwohl im allgemeinen Kabel und Verdrahtung bei DMS-Schaltungen hauptverantwortlich für die Rauschspannungsprobleme sind, kann der DMS selbst natürlich auch Rauschen auffangen. Hier kann in relativ einfacher Weise Abhilfe geschaffen werden, indem man einfach den DMS und die unmittelbar exponierten Anschlussdrähtchen mit Aluminiumfolie abdeckt. Ist das Testobjekt selbst klein und elektrisch leitend, sollte Aluminiumfolie mit elektrisch leitendem Kleber benutzt werden, um die den DMS abdeckende Folie, die Kabelschirmung und das Testobjekt miteinander zu verbinden. Elektrisch leitende Epoxyharze können bei der Installation der Folien als Kleber gute Dienste leisten.

Befinden sich die DMS-Installationen auf Maschinenteilen oder anderen großen, elektrisch leitenden Testobjekten, muss der Vermeidung von Erdschleifen bezüglich der Schirmung besondere Beachtung geschenkt werden. Die den DMS abschirmende Folie sollte jetzt vom Testobjekt elektrisch isoliert sein, das Objekt jedoch mit einem Erdungskabel hohen Querschnitts an einem singulären Erdungspunkt in der Nähe des Brückenverstärkers geerdet werden. Außerdem sollte darauf geachtet werden, dass die Abschirmfolie keinen Kurzschluss in der DMS-Verdrahtung bewirkt. Hat das benutzte Messkabel zwei Schirmungen, sollten auch zwei Schirmungsfolien am DMS eingesetzt werden. Dieses geschieht derart, dass beide Schirmungen (DMS-Schirmungsfolien und Kabelschirmungen) nur instrumentenseitig verbunden sind.

Hier erscheint ein Wort zu den Erdungsverbindungen angebracht. Man sollte sich vor Augen führen, dass alle elektrischen Leiter durch ihren ohm'schen Widerstand als auch durch ihren Blindwiderstand charakterisiert sind. Folglich sollte der Qualität von Erdleitern besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Die Erdleitung sollte immer aus Kupferdraht hohen Querschnitts bestehen und so kurz wie möglich sein. Ist der nächste verlässliche Erdungspunkt zu weit entfernt, kann eine 2m lange Kupferstange, in die Erde getrieben, einen hinreichend verlässlichen Erdungspunkt darstellen.

ELEKTROMAGNETISCHE FELDER

Wie bei elektrostatischen Feldern sind es auch bei elektromagnetischen Feldern die Drähte und Kabel, in denen Rauschspannungen induziert werden. Liegen elektromagnetische Felder mit steilen Gradienten vor, wie sie z. B. in der Nähe von Elektromotoren, Generatoren oder ähnlichen Quellen von Magnetfeldern zu erwarten sind, kann sich normale Kabelverdrillung als unzulänglich erweisen. Denn sogar wenn das von beiden Leitern aufgenommene Rauschen genau gleich ist (wie in Abb. 4 dargestellt), wäre das Rauschen am Verstärkerausgang nur dann Null, wenn die Gleichtaktunterdrückung des Verstärkers unendlich groß wäre, was natürlich nicht möglich ist. Um nun Gleichtakt-Rauschspannungen zu minimieren, gibt es spezielle,

"gewebte" Kabelkonstruktionen, bei denen spiralförmige Induktionsschleifen an den Kabelenden vermieden werden (Abb. 8). Zur maximalen Ausschaltung elektrostatischer Felder werden Leiter aus Kabelpaaren hergestellt, d. h. es wird ein Leiter aus einer Webebene mit einem Leiter aus der anderen Webebene parallel geschaltet, sodass das eigentlich aus vier Leitern bestehende Kabel zum 2-Leiter-Kabel wird. Wie in Abb. 8 illustriert, werden also die Leiter 1 und 2 sowie die Leiter 3 und 4 zu jeweils einem Leiter verbunden. Dieser Kabeltyp ist im Großen und Ganzen unempfindlich gegen elektromagnetische Feldgradienten und zwar in Kabellängsrichtung als auch quer dazu. Das Kabel ist unter der Bezeichnung INTER-8 WEAVE bekannt und wird geliefert von MAGNETIC SHIELD DIVISION, Perfection Mica, 740 Thomas Drive, Bensenville, Illinois 60106, USA.

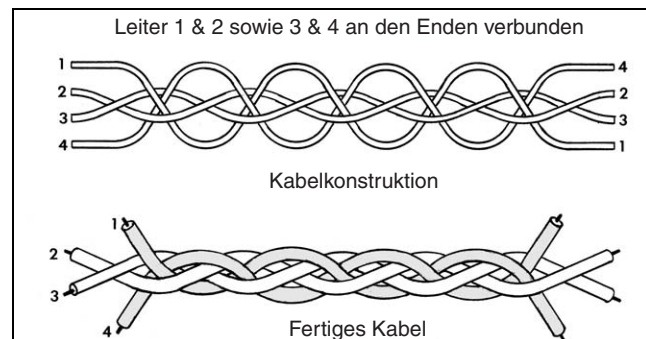


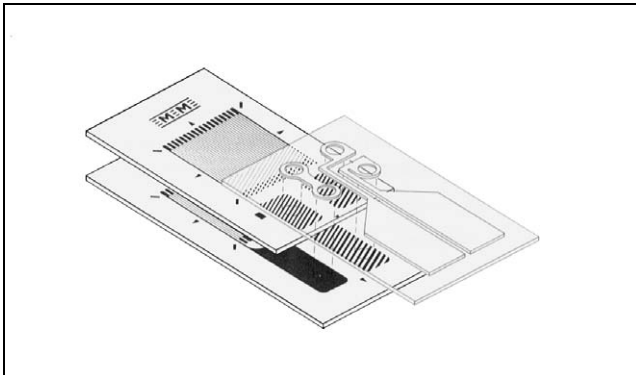
Abb. 8 - Verwebtes Kabel zur Reduzierung der Einwirkung elektromagnetischer Felder

Obwohl der DMS weit weniger häufig die wesentliche Komponente ist, die Rauschspannungen aufnimmt, besitzen doch verschiedene Gittergeometrien verschiedene diesbezügliche Empfindlichkeiten. Liegen z. B. die Gitteranschlussfahnen eines DMS parallel nebeneinander an einem DMS-Ende, stellt dies eine günstigere Situation dar, als wenn je eine Anschlussfahne an beiden Gitterenden liegt. Wie in Abb. 5 gezeigt, ist die Empfindlichkeit eines DMS hinsichtlich der Aufnahme von Rauschspannungen im Wesentlichen durch die Größe der Induktionsschleife bestimmt, die er aufgrund seines Aufbaus bildet. Es ist klar, dass kleine DMS mit dicht beieinanderliegenden Gitterlinien a priori unempfindlicher sind, als große DMS.

Bei extremen Magnetfeldern, insbesondere solchen mit sehr großen Feldstärkegradienten, können zusätzliche Maßnahmen erforderlich werden. Für solche Umstände hat die Vishay Micro-Measurements eine spezielle DMS-Serie entwickelt, die Serie H. DMS der Serie H bestehen aus zwei vollständig identischen kongruent und elektrisch isoliert übereinander liegenden Gittern. Beide Gitter sind in Serie verschaltet, wodurch der Strom in beiden Gittern in jeweils gegensinnige Richtung fließt, wodurch die durch Magnetfelder in den Gittern induzierten Spannungen sich gegenseitig kompensieren. Der Aufbau dieser DMS ist

Zur Einschränkung von Rauschsignalen bei DMS - Messungen

dann besonders wirksam, wenn die Richtung der Magnetfeldgradienten parallel zur Oberfläche geht, also in der DMS-Ebene verläuft. Der hier beschriebene Doppeltgitter-DMS der Serie H wird als ein Brückenarm einer Wheatstone-Brückenschaltung betrachtet und im Allgemeinen mit einem gleichen DMS zur Halbbrücke ergänzt. Natürlich ist eine Ergänzung mit einem Präzisions-Fixwiderstand auch möglich. Ansonsten werden zur Installation der DMS die bekannten Prozeduren angewandt. Als Kleber sind jedoch die Vishay Micro-Measurements Kleber M-Bond 600 oder M-Bond 610 vorzuziehen, da diese dünnste Kleberschichten gewährleisten und damit ein Minimalabstand zwischen Gitter und der Oberfläche des Testobjekts erreicht wird. Zwei Typen dieser induktionsfreien DMS der Serie H sind von der Vishay Micro-Measurements lieferbar, einmal der Linear-DMS H06A-AC1-125-700 und zum anderen die 3-Element-Rosette H06A-AD3-125-700. Beide haben einen Widerstand von 700Ω (zweimal 350Ω). Weitere Details sind dem Vishay Micro-Measurements DMS-Katalog entnehmbar.



Nichtinduktive DMS der Serie H (Explosionszeichnung)

Bei der Auswahl von DMS, die bei Anwesenheit von starken Magnetfeldern zur Anwendung kommen sollen, muss neben den Überlegungen zu DMS-Größe und Geometrie besonderes Augenmerk auf die Gitterlegierung gelegt werden. Ist die Gitterlegierung selbst magnetisch werden Magnetfelder Kräfte auf sie ausüben. Ist sie magnetoresistiv, ergeben sich bei Anwesenheit von Magnetfeldern falsche Widerstandsänderungen. In ähnlicher Weise wird das Gitter bei Magnetfeldeinfluss Längenänderungen unterliegen, wenn die Gitterlegierung magnetorestriktiv ist. Daraus folgt, dass bei DMS-Einsätzen in Magnetfeldern keine DMS mit Isoelastic-Gitterlegierung verwendet werden sollten, da diese sowohl stark magnetoresistiv als auch magnetorestriktiv sind. Im Gegensatz dazu sind Konstantan und Karma-Legierung vergleichsweise frei von magnetischen Effekten. Bei kryogenen Temperaturen und in sehr starken Magnetfeldern (7 - 70 Tesla) wird Konstantan jedoch äußerst magnetoresistiv, weshalb unter solchen Umständen DMS mit Gittern aus Karma-Legierung den Vorzug finden.

Wenn nötig, können DMS gegen Einflüsse von elektromagnetischen Feldern bis zu einem gewissen Grad abgeschirmt werden, wozu z. B. Mu-Metall® eingesetzt wird. Zwei oder mehr Schichten aus Mu-Metall® können notwendig werden, um einen bemerkbaren Effekt zum Beseren zu bewirken, aber selbstverständlich nur dann, wenn das Magnetfeld selbst nicht unter dem DMS liegt. Bei Feldern höherer Frequenzen muss das Schirmungsmaterial in Bezug auf die zu erwartenden Frequenzen hinreichende Permeabilität aufweisen.

ZUSÄTZLICHE EMPFOHLENE LITERATUR ZU DIESEM THEMA:

- Freyrik, H.S., et. al., "Nickel-Chromium Strain Gages for Cryogenic Stress Analysis of Super-Conducting Structures in High Magnetic Fields." *Proceedings of the Seventh Symposium on Engineering Problems of Fusion Research*, October, 1977.
- Hayt, W.H., Jr., *Engineering Electromagnetics*. New York: McGrawHill Book Company, 1967.
- Klipec, B.E., "How to Avoid Noise Pickup on Wire and Cable." *Instruments & Control Systems* **50**, No. 12: 27-30 (1977).
- Krigman, Alan, "Sound and Fury: The Persistent Problem of Electrical Noise." *In-Tech* **32**, No. 1: 9-20 (1985). (Extensive bibliography).
- McDermott, Jim, "EMI Shielding, and Protective Components." *EDN* **24**, No. 16:165-176 (1979).
- Morrison, Ralph, *Grounding and Shielding Techniques in Instrumentation*, 2nd Ed. New York: John Wiley & sons, Inc., 1977.
- Severinsen, J., "Gaskets that Block EMI." *Machine Design* **47**, No. 19: 74-77 (1975).
- Sitter, R.P., "RFI - What It Is and How to Control It, Part 11: Reduction of Interference." *Instrumentation Technology* **25**, No. 10: 59-65 (1978).
- * Stein, Peter, K., "Spurious Signals Generated in Strain Gages, Thermocouples and Leads." *Lf/MSE Publication No. 69*, April 1977.
- * Stein, Peter K., "The Response of Transducers to Their Environment, The Problem of Signal and Noise." *Lf/MSE Publication No. 17*, October 1969.
- "Strain Gages Operate in 50 000-Gauss Magnetic Fields For Fusion Research." *Epsilonics* (published by Vishay Micro-Measurements, Inc.) **II**, No. 3: 4 (1982).
- White, D.R.J., *Electromagnetic Interference and Compatibility*, Vol. 3, Germantown, Maryland: Don White Consultants, 1973.