

AEG Messwiderstände (Normale)

Diese Beschreibungen gelten bei den Normalwiderständen im Gittergehäuse sowohl für AEG als auch für H&B Typen, da sie absolut baugleich sind!

Die Unterlagen stammen aus den 1960er und 1970er Jahren und behandeln ausführlich für den Interessenten diese Widerstände. Die Bilder sind von mir.



AEG Widerstandsdekade (0,1Ohm bis 100kOhm)

Massiver niederohmiger Schalter der Dekade



Dekadeneinzelwiderstände (gewickelt)



Dr.-Ing. Andreas EBINGER

Herstellung und Technologie von Präzisions- und Normalwiderständen

DK 621.317.732

Genauere Widerstände werden in der Messtechnik bei nahezu allen Vorrichtungen benutzt. Hauptsächlich dienen sie dabei in den verschiedensten Schaltungen und Anordnungen zur Messung von Strömen, Spannungen, Widerständen und verwandten Größen. Obwohl solche Widerstände schon seit Anbeginn des elektrischen Messens verwendet werden, ist doch durch die auch bei ihnen fortschreitende Entwicklung ein Überblick interessant.

Zu den wichtigsten Bauteilen der Feinmesstechnik zählen die Präzisionswiderstände, die entweder als Einzelwiderstände, z. B. in der Form von Normalwiderständen, oder als Widerstandssätze mit einstellbaren Widerstandswerten ausgeführt werden. Von letzteren eignen sich für Laboratorien und Prüffelder besonders die Präzisions-Kurbelwiderstände [1] wegen ihrer vielseitigen Verwendbarkeit und ihrer bequemen Handhabung. Sie enthalten mehrere dekadisch gestufte Widerstandssätze — Einer, Zehner, Hunderter usw. — mit meist neun oder zehn gleichen Stufen. Solche Dekaden, deren Widerstandswert sich mit einem Drehschalter (Kurbelschalter) stufenweise einstellen läßt, bilden auch die Grundbausteine von Präzisions-Meßbrücken, -Kompensatoren und anderen Feinmeßgeräten für Gleich- und Wechselstrom.

Sofern Präzisionswiderstände und Widerstandsapparate für amtliche Messungen, z. B. zur Eichung und Kontrolle von Elektrizitätszählern verwendet werden sollen, unterliegen sie den Beglaubigungsvorschriften, die die ehemalige Physikalisch-Technische Reichsanstalt (PTR), heute Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), aufgrund langjähriger Beobachtungen erlassen hat [2]. Danach sind nur einige wenige Widerstandswerkstoffe zugelassen, von denen praktisch nur das Manganin® für die industrielle Fertigung Bedeutung hat. Außerdem sind besondere Verarbeitung- und Behandlungsvorschriften gegeben, durch die die Güte der Widerstände, in erster Linie ihre Genauigkeit und ihre Konstanz, auf lange Zeit sichergestellt werden soll.

Neben diesen Feinmeßwiderständen für höchste Genauigkeitsansprüche gibt es eine zweite Gruppe, die technischen Meßwiderstände, Meßbrücken, Kompensatoren usw., die wegen ihrer zahlreichen Anwendungen in der messtechnischen Praxis eine bedeutsame Rolle spielen. Sie sind von den amtlichen Messungen ausgenommen, daher bestehen für sie keine Beschränkungen hinsichtlich der verwendeten Widerstandswerkstoffe. Ihre Herstellung ist, wenn auch weniger aufwendig, so doch grundsätzlich die gleiche wie die der Präzisionswiderstände.

Widerstandswerkstoffe

Die verschiedenen Anforderungen, die an die Werkstoffe [3] für Präzisionswiderstände gestellt werden, lassen sich nicht vollkommen, sondern jeweils nur bis zu einem gewissen Grade erfüllen. Zusätzlich bedarf es dann noch eines erheblichen Aufwandes hinsichtlich der Konstruktion und der Verarbeitungstechnik, um aus einem solchen Material Widerstände mit den gewünschten Eigenschaften herzustellen. Von den Widerstandswerkstoffen werden hauptsächlich folgende Eigenschaften verlangt: Der spezifische Widerstand soll möglichst hoch sein, damit ein bestimmter Widerstandswert mit geringstem Materialaufwand zu erreichen ist; der Widerstands-Temperaturkoeffizient (TK) soll verschwindend klein sein, denn der Widerstand soll in seinem Wert sowohl durch Änderungen der Umgebungs-

temperatur als auch durch seine betriebsmäßige Eigenerwärmung möglichst unbeeinflusst bleiben; die Thermospannung gegen Kupfer muß so klein wie möglich sein, damit bei empfindlichen Gleichstrommessungen keine störenden Thermospannungen an den Anschlüssen der Widerstände auftreten. Zudem müssen Zusammensetzung und Feinstruktur des Materials Gewähr für eine ausreichende zeitliche Konstanz der daraus hergestellten Widerstände bieten. Da diese Voraussetzungen bei den reinen Metallen insbesondere wegen ihres hohen Temperaturkoeffizienten nicht gegeben sind, verwendet man als Widerstandswerkstoffe durchweg Legierungen geeigneter Zusammensetzung. Für die weitere Verarbeitung des Materials ist es wichtig, daß es sich leicht verformen, d. h. zu Blechen oder Bändern walzen und zu Drähten bis herunter zu kleinsten Durchmessern ziehen läßt, ohne dabei unzulässig hart und spröde zu werden, und schließlich ist gute Lötbarkeit eine für die Fabrikation notwendige Voraussetzung.

Für beglaubigungsfähige Präzisionswiderstände und Widerstandsapparate, die auch für amtliche Messungen verwendbar sein sollen, dient als Widerstandswerkstoff ausschließlich das Manganin®, eine von der Isabellenhütte (Dillenburg) hergestellte Legierung aus Kupfer, Mangan und Nickel (Tafel 1). Die Abhängigkeit des spezifischen Widerstandes von der Temperatur wird durch die in Bild 1 dargestellten Kurven der Herstellerfirma wiedergegeben. Diese zeigen durchweg den für Manganin und manganinähnliche Legierungen charakteristischen parabolischen Verlauf. Die Streuung der Kurven stellt eine beträchtliche Erschwernis für die Widerstandsfertigung dar, sie ist bedingt durch geringe Schwankungen in der Legierungszusammensetzung und durch unterschiedliche Verarbeitungsbedingungen des Materials (Walzen, Ziehen, Glühen, Lackieren, Umspinnen). Man muß daher zunächst von jeder angelieferten Drahtrolle oder Blechtafel den Widerstands-Temperaturverlauf messen. Für die zu fertigenden Widerstände wird dann je nach der vorgesehenen Belastbarkeit und dem Grad der betriebsmäßig zu erwartenden Eigenerwärmung das Material so ausgesucht, daß man vorwiegend im Bereich der geringsten Widerstandsänderung, d. h. im Kurvenmaximum arbeitet. Aus den Kurven ist ersichtlich, daß sich für Manganin ein bestimmter TK-Wert nicht angeben läßt; denn er kann bei 20 °C zwischen -10 und $+20 \cdot 10^{-6}/\text{grd}$ liegen. Der Nickelgehalt des Manganins und Zusätze von Spurenbeimengungen bewirken eine Verringerung der Thermospannung gegen Kupfer auf $< 1 \mu\text{V}/\text{grd}$, so daß auch sehr genaue und empfindliche Gleichstrommessungen nicht durch Thermospannungen infolge von Stromwärme oder sonstwie bedingten Temperaturdifferenzen gestört werden.

Außer Manganin sind noch drei weitere Werkstoffe für beglaubigungsfähige Widerstände zugelassen. Davon haben das Novokonstant der Vereinigten Deutschen Metallwerke Altena und die Widerstandslegierung 306 der Isabellenhütte ähnliche elektrische, thermische und mechanische Eigenschaften wie Manganin, sind jedoch beide nicht handelsüblich. Als besonders vorteilhaft hat sich eine Goldchromlegierung mit 2,05% Chromgehalt erwiesen. Durch geeignete Temperung im Vakuum oder in einem neutralen Gas gelingt es, den Temperaturkoeffizienten praktisch auf Null herabzusetzen. Zum Schutz gegen Oxydation und Luftfeuchtigkeit werden solche Goldchromwiderstände in mit Argon gefüllte Glasgefäße eingeschmolzen [4]. Ein derart hoher Aufwand an Material und Verarbeitung ist allerdings nur für einzelne besonders hochwertige Normalwiderstände vertretbar. Bei der industriellen Herstellung von Präzisionswiderständen scheidet Goldchrom daher aus, so daß man praktisch nur auf Manganin angewiesen ist.

® Registriertes Warenzeichen

AEG Messwiderstände

Für den nichtamtlichen Bedarf dagegen, vor allem für technische Widerstände und Meßgeräte, bei denen die Anforderungen namentlich in bezug auf die Konstanz geringer sind, finden einige weitere Widerstandslegierungen Verwendung, von denen die hauptsächlichsten mit ihren Eigenschaften in Tafel 1 aufgeführt sind. Hierunter ist an erster Stelle Isa-Ohm® zu nennen, eine vor wenigen Jahren neu herausgebrachte Chromnickelart mit besonders günstigen elektrischen Daten. Der spezifische Widerstand ist dreimal so hoch wie der des Manganin, was speziell für die Herstellung von Hochohmwiderständen und für die Miniaturbauweise erhebliche Vorteile bringt. In Bild 2 sind (nach Angaben der Isabellenhütte) die Kurven für die Temperaturabhängigkeit des Widerstandes dargestellt. Sie haben im Vergleich zu Manganin einen flachgestreckten Verlauf und lassen erkennen, daß man mit ausgesuchtem Material, etwa entsprechend der Kurve 3, sehr kleine TK-Werte in einem erweiterten Arbeitsbereich erzielen kann. Da auch die Thermospannung gegen Kupfer außerordentlich gering ist, stellt Isa-Ohm einen beachtlichen Fortschritt für die Widerstandstechnik dar. Es ist zu erwarten, daß die Versuche über das Langzeitverhalten des Materials auch eine Zulassung für beglaubigungsfähige Widerstände rechtfertigen.

Wegen seines hohen spezifischen Widerstandes von $1,0 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ wurde Centanin® [5] namentlich bei raumsparenden Ausführungen gern verwendet, es dürfte aber wohl im Laufe der Zeit durch das noch vorteilhaftere Isa-Ohm abgelöst werden. Größere wirtschaftliche Bedeutung dagegen haben nach wie vor die preisgünstigen Legierungen Konstantan® (VDM) und Isotan® (Isabellenhütte), die sich im Gegensatz zu dem härteren Isa-Ohm leicht verarbeiten lassen. Der weite Bereich positiver und negativer TK-Werte bietet vielfache Möglichkeiten zur Temperaturkompensation gegen Widerstände oder andere Bauelemente mit entgegengesetztem Temperatureinfluß. In vielen Fällen, z. B. in Wechselstromkreisen oder auch bei Widerständen für höhere Gleichspannungen, ist die relativ hohe Thermospannung des Materials gegen Kupfer nicht von Nachteil.

Präzisionswiderstände

Die Widerstandsmaterialien kommen entweder in Form gewalzter Bleche und Bänder oder aber als gezogene Stäbe und Drähte in den Handel. Der Verarbeitungsprozeß von der Schmelze bis zur endgültigen Form ist, insbesondere bei den hochwertigeren Sorten, sehr mühsam und aufwendig; denn die elektrischen Eigenschaften des Materials werden in starkem Maße von den Verarbeitungsbedingungen beeinflusst. Dabei spielen Verformungsgrad, die Zahl der Züge und der Zwischenführungen, Abkühlungsgeschwindigkeit, Drahtstärke und andere Faktoren eine ausschlaggebende Rolle. Durch alle mechanischen Beanspruchungen und Verformungen, schließlich auch durch das Lackieren und Umspinnen der Drähte, werden Änderungen der elektrischen Werte verursacht, die bei der Steuerung des Fertigungsablaufs mit zu berücksichtigen sind. Ebenso erfordert aber auch die Weiterverarbeitung zu fertigen Widerständen größte Sorgfalt und Gewissenhaftigkeit in der Fabrikation, wenn wirkliche Spitzenergebnisse erzielt werden sollen. Das sei im folgenden am Beispiel der Präzisions-Dekadenwiderstände dargestellt.

Tafel 1: Widerstandswerkstoffe für Präzisionswiderstände

Werkstoff	Zusammensetzung in Gew.-%	Spez. Widerstand $\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$	TK bei 20 °C in $10^{-4}/\text{grad}$	Thermospannung gegen Cu in $\mu\text{V}/\text{grad}$
Manganin®	86 Cu, 12 Mn, 2 Ni	0,43	± 10	-0,6
Isa-Ohm®	71 Ni, 21 Cr, 3 Cu	1,32	± 10	+0,5
Centanin®	67 Cu, 27 Mn, 5 Ni	1,00	± 20	+3
Konstantan®			+40 ¹	
und Isotan®	55 Cu, 44 Ni	0,50	-80	-40

¹ Auf Wunsch engere Toleranzen, z. B. $\pm 10 \cdot 10^{-4}/\text{grad}$

Bild 1: Temperaturabhängigkeit des Widerstandes von Manganin

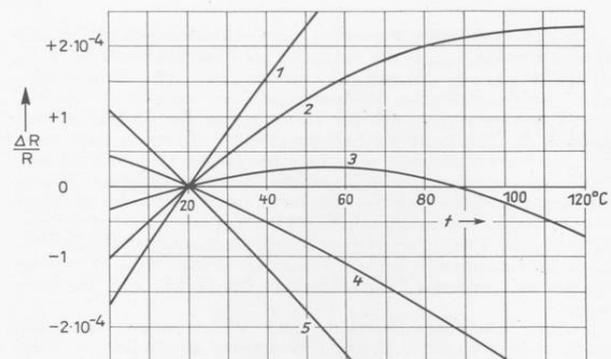
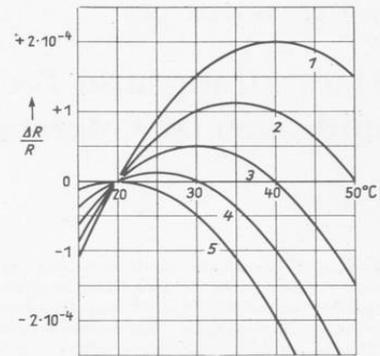


Bild 2: Temperaturabhängigkeit des Widerstandes von Isa-Ohm

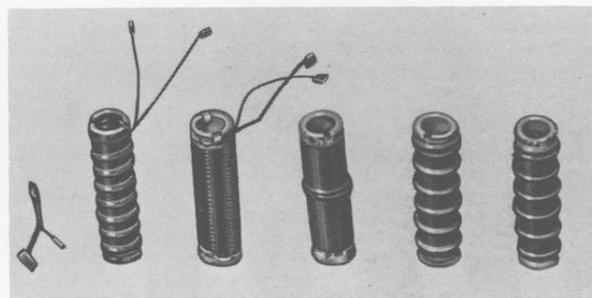


Bild 3: Widerstandseinheiten von 0,1 Ω bis 10 k Ω

Wie schon eingangs erwähnt, werden Präzisionswiderstände meist als dekadische Widerstandssätze ausgeführt. Die einzelnen Widerstandselemente, Einheiten von 0,01 Ω und dekadischen Vielfachen dieses Wertes bis 10 k Ω , in Sonderfällen bis 100 k Ω , sind aus Manganin gefertigt und in Form von blanken Bändern oder isolierten Drähten auf keramische Spulenkörper gewickelt (Bild 3). Lediglich die kleinsten Einheiten werden ohne Träger zu einer Schleife, Locke oder dgl. gebogen. Die Abmessungen der Spulenkörper werden durch die Dauerbelastbarkeit der einzelnen Widerstandselemente bestimmt, die bei den abgebildeten Spulen, wie vielfach üblich, je 1 W beträgt. Gegebenenfalls versteht man die hochohmigeren Spulen noch mit einer geeigneten Isolierschicht zum Schutz gegen vorübergehende, kurzzeitige Feuchtigkeitseinwirkungen.

Nach einer Vorjustierung der Widerstände werden die Wicklungsenden mit kupfernen Anschlußdrähten oder Anschlußstücken versehen. Da sich Manganin nicht mit der für Präzisionswiderstände erforderlichen Sicherheit wechlöten läßt, müssen gemäß den Vorschriften der PTB für alle Verbindungen Silberhartlote verwendet werden, die relativ hohe Löttemperaturen — 700 °C und mehr — erfordern. Dabei ist zu beachten, daß vor allem dünne Drähte bei zu starker Erhitzung verbrennen und dann leicht abbrechen können. Außerdem neigt das Mangan bei Temperaturen oberhalb von 150 °C zu selektiver Oxydation, so daß eine mit Kupfer angereicherte Oberfläche entsteht, die einen steileren Anstieg der Widerstands-Temperaturkurve bewirkt. Dadurch kann die Temperaturabhängigkeit namentlich der niederohmigen Widerstände, die aus kurzen Manganinblechen oder -stäben bestehen, merklich verschlechtert werden. Daher ist beim Hartlöten von Manganin ganz besondere Vorsicht geboten. Nach der Montage der Spulen können die angelötenen Kupferanschlüsse dann ihrerseits durch Weichlötlötung mit ihren Befestigungspunkten verbunden werden.

Um die Widerstände auch für Wechselstrommessungen verwenden zu können, wickelt man die Spulen besonders induktivitäts- und kapazitätsarm. So bestehen die in Bild 3 dargestellten Einheiten zu 1 Ω und 10 Ω aus bifilarem Manganinband mit einer isolierenden Zwischenlage, die 100-Ω-Spulen aus zwei hintereinandergeschalteten Hälften bifilar gewickelten Drahtes, und die hochohmigeren Spulen haben eine fünffach unterteilte Chaperon-Wicklung, wobei jede der fünf in Reihe geschalteten Abteilungen aus zwei Drahtlagen gegenläufig gewickelt ist. Die unterschiedlichen Wicklungsarten stellen für die einzelnen Widerstandswerte das jeweilige Optimum hinsichtlich geringster Zeitkonstante dar [6]. Bei sachgemäßem Einbau, induktivitäts- und kapazitätsarmer Verlegung der Innenschaltung und vollständiger elektrostatischer Abschirmung der gesamten Widerstandsordnung läßt sich dann der Anwendungsbereich bis zu Frequenzen von 20 kHz oder gar 50 kHz ausweiten, je nach der Höhe der Widerstandswerte und den Anforderungen an die Betrags- und Phasengenauigkeit.

Eine hohe Abgleichgenauigkeit ist natürlich nur dann sinnvoll, wenn sie auch über längere Zeit erhalten bleibt. Die Beglaubigungsvorschriften der PTB lassen zwar Änderungen der Widerstandswerte bis maximal 0,005% innerhalb eines Jahres zu, doch strebt die heutige Technik höhere Konstanz an. Daher werden die fertiggewickelten Widerstandsspulen mit großer Sorgfalt zunächst künstlich, anschließend zeitlich gealtert, um eine völlige Entspannung und ein homogenes Gefüge des Widerstandsmaterials zu erreichen, ohne die eine ausreichende zeitliche Konstanz der Widerstandswerte nicht gewährleistet ist. Bei Verwendung von weichgeglühtem, gut abgelagertem Material genügt je nach dem verlangten Gütegrad vielfach schon eine zehnstündige Erwärmung auf 140 °C, für sehr dünne Drähte sowie für hartes und neu angeliefertes Manganin wird eine Alterung bis zu dreimal 24 Stunden bei 140 °C empfohlen. Dennoch lassen sich nicht alle zeitlichen Änderungen durch künstliche Alterung restlos vorwegnehmen, so daß es darüber hinaus noch einer langen Lagerzeit bedarf, bis die Widerstandselemente genügend ausgealtert sind und für die Weiterverarbeitung freigegeben werden können.

Nach Ablauf dieser Zeit werden je zehn gleiche Widerstandseinheiten zu einer Dekade zusammengestellt und gemeinsam mit einem Drehschalter auf eine Isolierstoffplatte montiert (Bild 4). Von der Präzision derartiger Schalter hängt es ab, ob die hohe Genauigkeit der einzelnen Widerstandselemente auch bei jeder Schalterstellung mit genügender Reproduzierbarkeit gesichert ist. Kontaktmaterial, Ausführung und Andruck der Kontaktglieder müssen so gewählt und aufeinander abgestimmt sein, daß selbst bei langjährigem Dauerbetrieb keine unzulässige Abnutzung eintritt und daß der Schalterwiderstand zwischen den Kontaktstücken und dem Schleifring extrem klein — etwa 0,2 mΩ — bleibt. Der Schalter wird durch einen handlichen Drehknopf betätigt, der auf die Achse aufgesetzt wird und der gleichzeitig die Ziffernscheibe trägt. Äußerer Druck auf den Drehknopf wird von der Achse aufgenommen und nicht auf die Kontaktglieder übertragen, so daß der Kontaktwiderstand unbeeinflusst bleibt. Zur Pflege solcher Schalter wird empfohlen, Kontakte und Schleifringe von Zeit zu Zeit mit einem Lappen

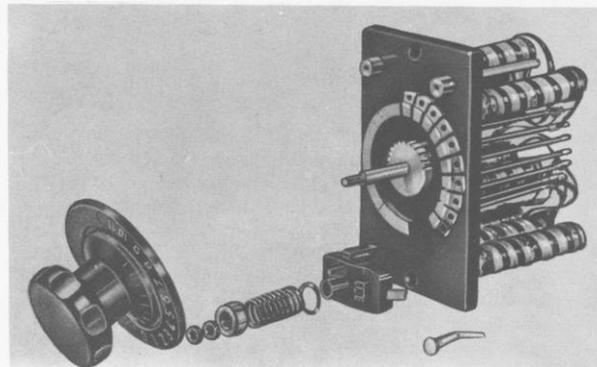


Bild 4: Drehschalter für Präzisionswiderstände



Bild 5: Präzisions-Spannungsteiler als Beispiel für einen Kurbelwiderstand mit 3 Dekaden (Bilder: AEG)

zu reinigen, der mit Petroleum leicht angefeuchtet ist. Anschließend ist dann ein säurefreies Schalterfett, z. B. gelbe (ungebleichte) Vaseline, hauchdünn aufzutragen. Die früher häufiger verwendeten Stöpselschalter [7] zeichneten sich bei entsprechend präziser Ausführung durch äußerst geringe Übergangswiderstände aus. Sie wurden jedoch in neuerer Zeit mehr und mehr durch die bequemer zu handhabenden Drehschalter ersetzt, die z. B. für Kompensatoren vorgeschrieben und für manche Schaltungen aus meßtechnischen Gründen nicht zu entnehmen sind.

Bei der in Bild 4 dargestellten Konstruktion sind die Kontaktstücke auf der Rückseite mit Kupferstäben verlötet, die zum Anschluß der Widerstandselemente dienen. Erst nach beendeter Montage, wenn also die gegen Verformung empfindlichen Enden der Manganinwicklung nicht mehr gebogen werden, kann der endgültige Feinabgleich vorgenommen werden. Dazu haben die Kontaktsegmente auf ihrer Oberseite neben der Kontaktbahn konische Bohrungen zum Einstecken von Potentialstößeln. Alle Einzelwiderstände sind zwischen diesen Potentialpunkten exakt definiert und auf ihren genauen Wert abgeglichen. Die Potentialstößel ermöglichen das Messen und Nachprüfen jeder einzelnen Widerstandsstufe und die Verwendung der Widerstandssätze als Spannungsteiler.

Die kompletten Widerstandsdekaden bilden die Grundbausteine für Präzisions-Kurbelwiderstände, Meßbrücken, Kompensatoren u. ä. Je nach Bedarf werden bis zu sechs solcher Dekaden in ein grau lackiertes Metallgehäuse (Bild 5) eingebaut und — gleichzeitig zum Schutz gegen Staub und Verschmutzung — mit einer Blechkappe abgedeckt, aus der die Drehknöpfe herausragen. Das mit einer Erdungsklemme versehene Metallgehäuse schirmt die Widerstände und die Innenschaltung wirksam gegen elektrostatische Einflüsse ab. Durch Schaulöcher in der Frontplatte können die Widerstandswerte entsprechend den jeweiligen Schalterstellungen abgelesen werden. Die Abdeckung ist nach Lösen zweier Rändelschrauben abzunehmen. Dann lassen sich die Drehknöpfe abziehen, und die Kontakte sind zur Reinigung und Pflege zugänglich.

Präzisionswiderstände werden grundsätzlich in absoluten Ohm, der Widerstandseinheit des seit 1.1.1948 international eingeführten MKSA-Systems, abgeglichen. Die garantierte Ab-

gleichtoleranz beträgt bei den Widerstandseinheiten von 10Ω an aufwärts $\pm 0,01\%$ des Nennwerts, bei $1\text{-}\Omega$ -Widerständen $\pm 0,02\%$ und bei kleineren Einheiten $\pm 0,1\%$, jeweils bezogen auf eine Temperatur von 20°C . Diese Toleranzgrenzen werden, sachgemäße Behandlung der Widerstände vorausgesetzt, auch auf lange Zeit gewährleistet. Sie gelten für eine Belastung bis zu 1 W für jedes Widerstandselement, entsprechend einer Temperaturerhöhung von etwa 15 grd . Bei etwa halber Genauigkeit sind die Widerstände ohne Schaden vorübergehend bis maximal 2 W je Spule belastbar, darüber hinaus können jedoch u. U. bleibende Widerstandsänderungen auftreten. Der Nullwiderstand, d. h. der Widerstandswert, der zwischen den Anschlußklemmen gemessen wird, wenn alle Kurbeln auf Null stehen, beträgt für eine Dekade nur etwa $1\text{ m}\Omega$. Er ist bedingt durch den Schalter und die Verdrahtung und kann bei genauen Messungen durch Addition zum eingestellten Wert berücksichtigt werden.

Schrifttum:

- [1] Präzisions-Kurbelwiderstände. ATM-Blatt Z 112—2 (1953).
- [2] Bekanntmachung über die Beglaubigung elektrischer Präzisionswiderstände und Normalelemente durch die Physikalisch-Technische Reichsanstalt vom 24. 3. 1939. Amtsblatt der PTR, 15. Reihe, Nr. 3, S. 53.
- [3] Ebinger, A.: Widerstandslegierungen für Meß- und Regelwiderstände. Elektro-Welt 1 (1956) 7, S. 163—165.
- [4] Schulze, A., und Eicke, H.: Über Goldchrom-Normalwiderstände. Z. angew. Physik 4 (1952) 9, S. 321—324.
- [5] Hetzel, W., und Melchert, F.: Untersuchungen über die Eignung von „Cantanin“-Drähten für Präzisionswiderstände. Z. Instrumkde. 68 (1960), 11, S. 264—270.
- [6] Hohle, W., und Woelken, H.: Die Zeitkonstante elektrischer Widerstände. AEG-Mitt. (1940) 9/10, S. 191—195.
- [7] Palm, A.: Meßwiderstände mit Stöpsel- und Drehschalter. ATM-Blatt Z 112—1 (Okt. 1948), S. T 107—110.

Dr.-Ing. Andreas EBINGER

Herstellung und Technologie von Präzisions- und Normalwiderständen

Teil 2

DK 621.317.732

Das Ohm als Einheit des elektrischen Widerstandes wurde von der Londoner Konferenz im Jahr 1908 international festgelegt als der Widerstand einer Quecksilbersäule von bestimmter Länge und bestimmtem Querschnitt unter wohl definierten Bedingungen. Anstelle dieses umständlich zu handhabenden Urnormals bediente man sich in den Staatsinstituten für den praktischen Gebrauch sogenannter Subnormale. Das sind sorgfältig hergestellte, ausgewählte Manganindrahtwiderstände, die durch Vergleichsmessungen an das Quecksilbernornal angeschlossen wurden und deren Konstanz durch jahrelange Beobachtungen sichergestellt und ständig überwacht wurde.

Industriell hergestellte Gebrauchsnormale

Mit Wirkung vom 1. 1. 1948 ab wurden in den Mitgliedsstaaten der Meterkonvention statt der bisherigen internationalen Einheiten die absoluten elektrischen Einheiten eingeführt, die sich aus den vier Grundeinheiten Meter, Kilogramm, Sekunde, Ampere ableiten. Das dadurch festgelegte absolute Ohm wird, ebenso wie vordem die internationale Widerstandseinheit, durch Gruppen von Normalwiderständen verkörpert, denen jetzt lediglich andere Zahlenwerte zugeordnet sind. Für die Umrechnung gilt: $1\Omega_{\text{int}} = 1,00049\Omega_{\text{abs}}$. Ein solcher Stamm von Subnormalen repräsentiert dann jeweils das nationale Ohm des betreffenden Landes. Davon werden nun die eigentlichen Gebrauchsnormale abgeleitet, Normalwiderstände von 1Ω und dekadischen Vielfachen und Bruchteilen dieses Wertes. Sie werden industriell hergestellt und von dem zuständigen Staatsinstitut auf Antrag geprüft und beglaubigt.

Normalwiderstände dieser Art haben eine zweifache Aufgabe: sie dienen sowohl zur Widerstandsmessung als auch zur Strommessung. Im ersten Fall wird der unbekannte, zu messende Widerstand mit einem Normalwiderstand möglichst gleicher Größenordnung in einer Brücken- oder Kompensationsschaltung verglichen. Bei der Strommessung dagegen wird mit Hilfe eines Kompensators der Spannungsabfall gemessen, den der zu bestimmende Strom beim Durchfließen eines Normalwiderstandes an dessen Klemmen erzeugt. In beiden Fällen muß die Span-

nung am Normalwiderstand so groß sein, daß ausreichende Empfindlichkeit für die Meßschaltung erzielt wird. Damit diese Bedingung auch bei der Messung niederohmiger Widerstände und hoher Stromstärken erfüllt ist, werden Normalwiderstände üblicherweise für eine Dauerbelastung bis maximal 10 W bemessen. Dabei ist es völlig gleichgültig, ob sie zu Strommessungen oder zu Widerstandsmessungen benutzt werden, und daher bestehen auch grundsätzlich keinerlei Unterschiede in der Bauweise. Die kennzeichnende Eigenschaft ist einzig und allein die höhere Belastbarkeit gegenüber jenen Arten von Normalwiderständen, die als Subnormale oder für ähnliche Zwecke Verwendung finden.

Dazu gehören beispielsweise die $1\text{-}\Omega$ -Normalwiderstände nach Thomas [8], Manganindrahtwiderstände allerhöchster Präzision, deren Konstanz durch ein besonderes Alterungsverfahren und durch Einbau in luftdicht verschlossene Gehäuse auf ein Höchstmaß gesteigert wurde. Für solche Widerstände wird vom National Bureau of Standards (NBS) in Washington der Wert auf $\pm 1 \cdot 10^{-6}$ genau bescheinigt (certified), bezogen auf die im NBS aufbewahrte Ohm-Einheit, die aber selbst nur auf einige Milliontel gesichert ist [9]. Die hohe Meßgenauigkeit setzt natürlich exakt definierte Meßbedingungen voraus; danach dürfen die Widerstände nur mit $0,01\text{ W}$ in einem umgerührten Ölbad belastet werden. Ähnliches würde auch für Normalien anderer Ausführung — z. B. Goldchrom-Normalwiderstände — gelten, die in wissenschaftlichen Instituten oder Laboratorien vornehmlich als meßtechnische Ausgangsbasis (als Hauptnormal) zum Anschluß von Gebrauchsnormalen dienen sollen.

Die üblichen Normalwiderstände (Bild 6) für den praktischen Gebrauch sind jedoch für 10 W Belastung in ruhender Luft (ohne künstliche Ventilation) dimensioniert. Das erfordert gegenüber den vorher beschriebenen 1-W -Präzisions-Dekadenwiderständen größere Abmessungen, Auswahl besonderer Manganisorten mit geeignetem Widerstands-Temperatur-Verlauf, eine abgewandelte Technik und vor allem ein höheres Maß an Meß- und Prüfarbeit. Im übrigen aber ist die Herstellungsweise grundsätzlich die gleiche. Drahtwiderstände werden auf ein Keramik- oder Metallrohr gewickelt, während die nieder-

ohmigen Widerstände unterhalb 1 Ω aus Manganinblechstreifen genügenden Querschnitts geformt und zwischen zwei Kupfer-Anschlußbolzen hart eingelötet werden. Getrennte Strom- und Potentialanschlüsse dienen dazu, den Widerstand exakt und unbeeinflusst vom Widerstand der Zuleitungen zu definieren.

Abgesehen von gewissen Sonderausführungen für spezielle Meßaufgaben, werden Normalwiderstände als Einzelwiderstände ausgeführt. Das Widerstandselement wird in ein perforiertes

ohne daß dabei die zugesicherten Toleranzgrenzen überschritten werden. Bei Bedarf kann man den Widerstand in ein wasser-gekühltes, gut umgerührtes Öl- oder Petroleumbad einsetzen und ihn dann je nach dem Grad der Kühlung mit einem Mehrfachen der Nennleistung belasten, um auf diese Weise einen größeren Spannungsabfall und damit höhere Meßempfindlichkeit zu erzielen.

Tafel 2: Toleranzangaben für Normalwiderstände in Milliontel

	Normalwiderstände	
	für 10 W	für 0,1 W
Toleranzanforderungen laut Beglaubigungsordnung der PTR/PTB	± 300	± 300
Angaben im Beglaubigungsschein:		
Meßwert für 20 °C bei Belastung mit < 1 W, gerundet auf	± 10	± 10
für 5 Jahre gewährleistet auf	± 50	± 50
Meßwert für 20 °C bei Belastung mit 1/5, 2/5 und 3/5 des Nennstroms, angegeben auf	± 100	
gewährleistet auf	± 200	
NBS-Washington gewährleistet für 1 Jahr		
Normalwiderstände auf	± 100	± 20
Thomas-Widerstände (0,01 W) auf		± 2
Normalwiderstände nach Bild 6:		
Abgleichtoleranz für 20 °C bei Belastung mit < 1 W	± 10	
Gewährleistete Toleranz für 20 °C bei Belastung mit Nennstrom	± 200	
bei Belastung mit 1/10 des Nennstroms	± 100	
Im Prüfprotokoll wird angegeben:		
Meßwert für 20 °C bei Belastung mit < 1 W;		
Kurve für Abhängigkeit des Widerstandes von der Temperatur bei Belastung mit < 1 W;		
Kurve für Abhängigkeit des Widerstandes von der Belastung (in Luft) bis Nennstrom		

Metallgehäuse eingebaut, das eine gute Durchlüftung ermöglicht und mit einer Klemmenplatte aus Isolierstoff abgedeckt ist (Bild 6). In Luft ist der Normalwiderstand bei einer Umgebungstemperatur von etwa 20 °C dauernd mit 10 W belastbar,

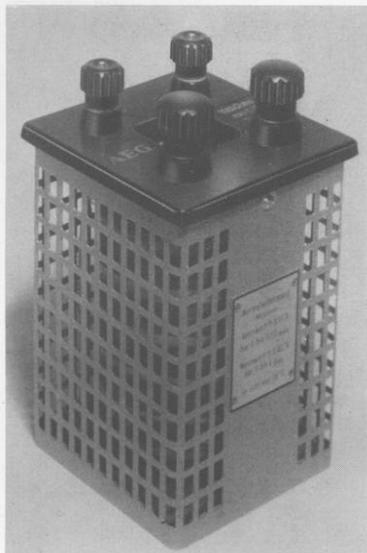


Bild 6: Normalwiderstand für 10 W Belastung in Luft (AEG)

Genauigkeitsfragen

Die im Jahr 1939 von der damaligen Physikalisch-Technischen Reichsanstalt erlassenen Beglaubigungsvorschriften [2] waren in erster Linie auf das gesetzliche Meßwesen (Zähler-eichung) und auf die dort vorliegenden Genauigkeitsanforderungen zugeschnitten. Für diesen Bereich wird es auch heute noch als ausreichend angesehen, wenn die zwischen 15 und 25 °C gemessenen Werte der Normalwiderstände um nicht mehr als ±0,03% vom Nennwert abweichen. Unabhängig davon werden im Beglaubigungsschein die Meßwerte genauer angegeben, wie aus Tafel 2 ersichtlich ist.

Die Beglaubigung beschränkt sich nun nicht allein auf eine Überprüfung der Widerstandswerte, sondern schließt dadurch, daß die Gültigkeit eines Beglaubigungsscheins auf fünf Jahre begrenzt ist, implizit auch eine fünfjährige Gewähr für die Einhaltung der Toleranzen ein. Für den nichtamtlichen Bedarf jedoch ist eine solche Gewährleistung im allgemeinen nicht erforderlich, unter Umständen sogar unerwünscht; denn sie verlangt naturgemäß einen entsprechend weiteren Toleranzbereich und schmälert damit die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber dem Ausland, das nicht an die Beglaubigungsvorschriften gebunden ist. So werden für gewisse Widerstandstypen, z. B. Bauelemente für Rechenanlagen, von ausländischen Herstellern Fehlergrenzen von ±1 · 10⁻⁵ angegeben, wogegen für die vorher genannten Normalwiderstände, die nach allgemeiner Ansicht das Höchste an Präzision und Genauigkeit darstellen sollten, „nur“ ±0,02% gewährleistet wird. Für den Sachkundigen liegt es allerdings auf der Hand, daß ein solcher Vergleich völlig abwegig ist, da die beiden Angaben ganz unterschiedlichen Aussagewert haben. Im einen Fall ist daraus lediglich zu ersehen, daß der Widerstandswert eines vielleicht mit 0,5 W oder weniger belastbaren Bauelements auf ±1 · 10⁻⁵ genau abgeglichen wurde, wobei noch zu ergänzen wäre: „bezogen auf das nationale Ohm des Landes“. Die zweite Angabe dagegen ist ungleich viel weitreichender; denn sie schließt neben anderem eine fünfjährige Gewährleistung der PTB für die Einhaltung der Toleranzgrenzen bei jedweder Belastung des Widerstandes zwischen 0 und 10 W ein.

Ansichts dieser Sachlage ergibt sich von selbst die Notwendigkeit, klar zu unterscheiden zwischen amtlichem und nicht-amtlichem Meßwesen. Demgemäß sind die Bestimmungen der Beglaubigungsordnung nur auf den amtlichen Zuständigkeitsbereich der PTB, nicht jedoch auch auf den übrigen Marktanteil, für den sie gar nicht gedacht waren, anzuwenden. Um den gesteigerten Anforderungen von Industrie und Forschung auf dem Gebiet des nichtamtlichen Meßwesens Rechnung zu tragen, ist die PTB bereit, auf Antrag die Augenblickswerte von Normalwiderständen ohne zeitliche Gewährleistung mit größtmöglicher Genauigkeit zu messen und — relativ zu ihrem Hauptnormal — auf ±1 · 10⁻⁶ genau anzugeben, vorausgesetzt natürlich, daß Art und Güte der betreffenden Normale eine solche Handhabung rechtfertigen [9]. Den Meßgeräteherstellern ist damit die Möglichkeit gegeben, ihre Hausnormale, die die meßtechnische Grundlage ihrer Fabrikation bilden, mit der höchsten realisierbaren Genauigkeit an die Ohm-Einheit der PTB anzuschließen. Damit sind dann die Voraussetzungen geschaffen für einen erheblich genaueren Abgleich von Präzisionswiderständen und für die Zusicherung engerer Toleranzgrenzen.

Schrifttum

[8] Thomas, J. L.: A new design of precision resistance standard. J. Res. NBS 5 (1930), S. 295.
 —: Stability of double-walled manganin resistors. J. Res. NBS 36 (1946), S. 107—110.
 [9] Schrader, H.-J.: Genauigkeit von Grundnormalien der elektrischen Meßtechnik. Z. Instrumkde. 71 (1963), 2, S. 57—58; ebenso auch ETZ-A 84 (1963), 6, S. 208—209, und ETZ-B 15 (1963), 7, S. 186.

DK 621.316.842 : 621.317.732

Präzisions- und Normalwiderstände

Gerhard Siegfried

Präzisionswiderstände zum Aufbau genauester Meßgeräte und Normalwiderstände zu ihrer Prüfung werden in verschiedenen Ausführungsformen hergestellt. Die Eigenschaften – wie Aufbau, Abgleichgenauigkeit (bis auf besser als 0,001 %), zeitliche Konstanz – werden beschrieben.

Die in der elektrischen Meßtechnik geforderte Genauigkeit in den vergangenen Jahren sprunghaft angestiegen. In allen Zweigen der Technik werden elektrische Meß-, Regel- und Prüfgeräte verwendet, die den hohen Forderungen nach sehr kleiner Meßunsicherheit von nur 0,01 % bis 0,001 % oder noch weniger gerecht werden müssen. Alle diese Geräte enthalten Präzisionswiderstände, auf deren Güte die Genauigkeit der Messung basiert.

Präzisionswiderstände sind Einzelwiderstände, die zum Einbau in Geräte oder Anlagen bestimmt sind. Als Widerstandsmaterial wird Manganindraht, -band oder -blech verwendet. Durch die jahrzehntelangen Erfahrungen beim Verarbeiten der Widerstandslegierung Manganin konnten die Wickel- und Alterungsmethoden so vervollkommen werden, daß die Präzisionswiderstände die für Geräte höchster Präzision erforderlichen Eigenschaften haben. Das wirkt sich in hohem Maße auf die zeitliche Konstanz des Widerstandes aus. Bei der Herstellung und Verarbeitung entstehen im Draht innere Gefügespannungen, die erst im Laufe von vielen Jahren abnehmen. Mit der Änderung der Gefügespannungen ändert sich aber auch der Widerstandswert. Durch eine thermische Alterung wird der Abklingvorgang wesentlich beschleunigt.

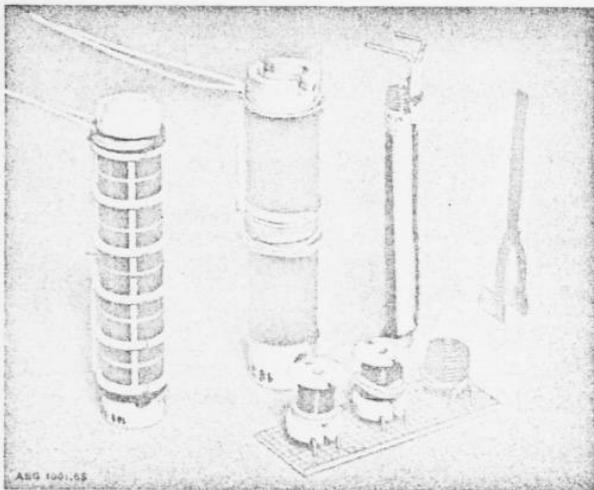


Bild 1. Ausführungsformen von Präzisionswiderständen Typ 1 W und Typ 0,3 W

Wenn die Wicklung außerdem nicht unter äußeren mechanischen Spannungen steht, ändert sich der Widerstand nach kurzer Lagerungszeit nur noch in der Größenordnung von 0,001 %/Jahr. Aus der gleichen Manganindrahtcharge gewickelte Widerstände ändern sich relativ zueinander noch wesentlich weniger.

Präzisionswiderstände werden auf Spulenkörpern für die Nennlast 1 W und 0,3 W hergestellt (Bild 1). Bei der 1-W-Ausführung sind die kupfernen Anschlußenden frei herausgeführt. Die 0,3-W-Ausführung ist besonders für die Verwendung in gedruckten Schaltungen vorgesehen. Der Widerstand endet daher an zwei am Spulenkörper befestigten Lötflächen, die auch eine Vierpolausführung zulassen. Alle Verbindungen Kupfer-Manganin sind mit Silberlot hart gelötet. Die Erwärmung beträgt bei Nennleistung 15 bzw. 20 grad. Für bestimmte Anwendungszwecke wird das Manganin nach seiner Widerstandstemperaturkurve (Bilder 5 und 6) so ausgesucht, daß deren Scheitelpunkt in der Nähe der Betriebstemperatur liegt. Eine kleine Änderung der Umgebungstemperatur hat dann nur eine verschwindend kleine Widerstandsänderung zur Folge. Sie beträgt etwa $-0,6 \cdot 10^{-6}$ für 1 grad.

Präzisionswiderstände werden von $0,1 \Omega$ bis $100\,000 \Omega$ hergestellt. Als Einzelwiderstand sind sie in den Größen bis zu 1Ω auf 0,1 % abgleichbar. Eingebaut ist ein Abgleich bis auf 0,003 % möglich, der bei einer Widerstandskette von gleichartigen 1Ω - bis 10Ω -Widerständen sogar auf besser als 0,001 % untereinander gesteigert werden kann. Ab 10Ω aufwärts sind sie auf 0,003 %, in Sonderfällen auch relativ zueinander auf 0,001 % oder besser abgleichbar.

Dank fehlwinkelarmer Wicklung sind die Präzisionswiderstände auch für Wechselstrom verwendbar (Tabelle 1).

Normalwiderstände sollen die Maßeinheit des elektrischen Widerstands verkörpern. Neben ihrer Anwendung als Widerstandsnorm zur Prüfung von Geräten sind sie in der elektrischen Meßtechnik zur Strom-, Spannungs- und Leistungsmessung in Verbindung mit Normelementen und Kompensatoren unentbehrlich. Es sind Einzelwiderstände, die aus Manganindraht oder -blech hergestellt werden. Sie sind vierpolig ausgebildet, um den Widerstandswert genau definieren zu können.

Äußerlich fällt der AEG-Normalwiderstand durch seine Gehäuseform auf: gegenüber der bekannten zylindrischen Ausführung hat seine viereckige Form den großen Vorteil, daß

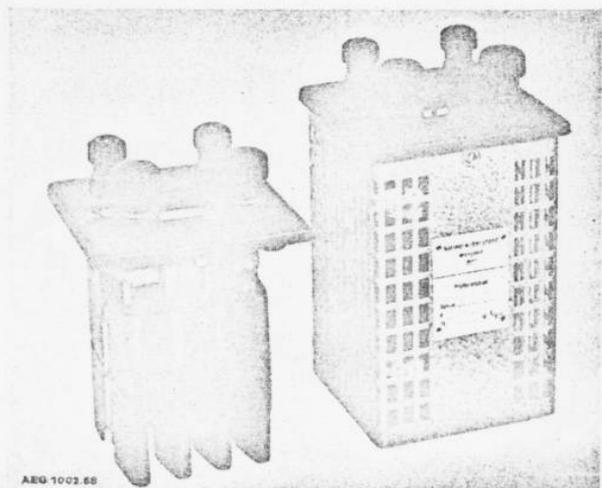


Bild 2. Normalwiderstand mit und ohne Gehäuse

Tabelle 1. Zeitkonstante von Präzisionswiderständen, Widerstandsänderung in Abhängigkeit von der Frequenz

Typ	Widerstand Ω	Zeitkonstante $\cdot 10^3$ s	Widerstandsänderung bei			
			500 Hz	2 kHz	10 kHz	20 kHz
1 W	1	+ 0,03	$\ll 1 \cdot 10^{-5}$	$+ 0,07 \cdot 10^{-5}$	$+ 1,8 \cdot 10^{-5}$	$+ 7 \cdot 10^{-6}$
	10	- 0,09	$\ll 1 \cdot 10^{-5}$	$- 0,6 \cdot 10^{-5}$	$- 16 \cdot 10^{-5}$	$- 64 \cdot 10^{-5}$
	10^2	+ 0,01	$\ll 1 \cdot 10^{-5}$	$\ll 1 \cdot 10^{-5}$	$+ 0,2 \cdot 10^{-5}$	$+ 0,8 \cdot 10^{-5}$
	10^3	$\pm 0,01$	$\ll 1 \cdot 10^{-5}$	$\ll 1 \cdot 10^{-5}$	$\pm 0,2 \cdot 10^{-5}$	$\pm 0,8 \cdot 10^{-5}$
	10^4	- 0,3	$- 0,45 \cdot 10^{-5}$	$- 7 \cdot 10^{-5}$	$- 180 \cdot 10^{-5}$	$- 720 \cdot 10^{-5}$
	10^5	- 0,3	$- 0,45 \cdot 10^{-5}$	$- 7 \cdot 10^{-5}$	$- 180 \cdot 10^{-5}$	$- 720 \cdot 10^{-5}$
0,3 W	10^{-1}	+ 1,5	$+ 11 \cdot 10^{-6}$	$+ 180 \cdot 10^{-5}$	$+ 4,5 \cdot 10^{-3}$	$+ 18 \cdot 10^{-3}$
	1	+ 0,3	$+ 0,45 \cdot 10^{-5}$	$+ 7 \cdot 10^{-5}$	$+ 180 \cdot 10^{-6}$	$+ 720 \cdot 10^{-5}$
	10	+ 0,05	$\ll 1 \cdot 10^{-5}$	$+ 0,2 \cdot 10^{-5}$	$+ 5 \cdot 10^{-5}$	$+ 20 \cdot 10^{-5}$
	10^2	$\pm 0,01$	$\ll 1 \cdot 10^{-5}$	$\ll 1 \cdot 10^{-5}$	$\pm 0,2 \cdot 10^{-5}$	$\pm 0,8 \cdot 10^{-5}$
	10^3	+ 0,1	$\ll 1 \cdot 10^{-5}$	$+ 0,8 \cdot 10^{-5}$	$+ 20 \cdot 10^{-5}$	$+ 80 \cdot 10^{-5}$
	10^4	$\pm 0,1$	$\ll 1 \cdot 10^{-5}$	$\pm 0,8 \cdot 10^{-5}$	$\pm 20 \cdot 10^{-5}$	$\pm 80 \cdot 10^{-5}$
	10^5	- 0,5	$- 2,5 \cdot 10^{-4}$	$- 20 \cdot 10^{-5}$	$- 500 \cdot 10^{-5}$	$- 2 \cdot 10^{-3}$

bei gleichem Platzbedarf zum Aufstellen ein wesentlich größerer Raum zum Einbau eines Widerstandes zur Verfügung steht, der damit eine größere wärmeableitende Oberfläche erhalten kann. Die meisten Meßschaltungen beruhen auf einem Spannungsvergleich. Bei einem niederohmigen Meßwert ist daher eine hohe Belastbarkeit erforderlich. Da diese Widerstände aus Blechen aufgebaut werden, ergibt ein Gehäuse mit quadratischer Grundfläche bessere Abkühlungsverhältnisse als ein zylindrisches Gehäuse mit gleichem Platzbedarf (Bild 2).

Die Drähte und Bleche der Widerstandslegierung Manganin werden bei der Herstellung von Normalwiderständen besonders sorgfältig ausgesucht und behandelt. Die Verbindung zwischen Manganin und den herausgeführten Anschlußbolzen aus Kupfer wird durch Hartlötung hergestellt. Die Drähte liegen ohne Wickelspannung um den Spulenkörper aus Porzellan, die Bleche werden spannungsfrei an die Kupferschenkel der Stromanschlußbolzen gelötet. Die seit vielen Jahren erprobte Methode der thermischen Alterung, die mit Registriergeräten überwacht wird, sorgt für eine genügende Homogenisierung des Legierungsgefüges. Bei allen Normalwiderständen wird in regelmäßigen Abständen der Widerstandswert im Vergleich zum *Hausnormal* gemessen und dadurch das Abklingen der Widerstandsänderung in Abhängigkeit von der Zeit festgestellt. Wie aus dem Diagramm Bild 3 hervorgeht, ändert sich der Widerstand kurze Zeit nach der thermischen Alterung auf Grund der Fertigungsmethoden nur noch bis zu $4 \cdot 10^{-6}$ während der Dauer von drei Monaten. Die Widerstandsänderung klingt nach etwa einem Jahr auf $1 \dots 2 \cdot 10^{-6}/\text{Jahr}^1$ ab.

Das *Hausnormal* besteht aus mehreren 1- Ω -Normalwiderständen aus der Fertigung des Jahres 1958. Einer davon wird zur Kontrolle regelmäßig an die Widerstandseinheit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt angeschlossen, so daß der Wert des *Hausnormal*s auf besser als $1 \cdot 10^{-6}$ im Vergleich zur Widerstandseinheit der PTB bekannt ist. Seine zeitliche Konstanz von besser als $1 \cdot 10^{-6}/\text{Jahr}$ zeigt Bild 4. Entsprechend dem Anwendungszweck werden bei gleicher Abmessung zwei Arten von Normalwiderständen gefertigt. Vorwiegend zum Messen von Strömen und zum Anschluß an Thomsonbrücken ist der 10-W-Typ bestimmt. Manganindraht bzw. Manganinblech sind bei diesem Typ nach folgenden Gesichtspunkten ausgesucht: Die für Manganin typische Parabelform der Widerstandstemperaturkurve soll so verlaufen, daß der Widerstand bis zur maximalen Leistung nicht mehr als $\pm 2 \cdot 10^{-4}$ vom Nennwert¹⁾ abweicht. Die Widerstände werden so abgeglichen, daß sie bei 20 °C nicht mehr als $50 \cdot 10^{-6}$ vom Nennwert abweichen. Nach VDE 0410,

1) typischer Wert

Teil 4/5.67 [1] können sie mit der Leistungsangabe 0...1...6 (10) W in die Klasse 0,01 eingestuft werden, da sie, wie das Kurvenblatt Bild 5 zeigt, zwischen 0 und 1 W innerhalb von $100 \cdot 10^{-6}$ liegen und sich im Einflußbereich zwischen 1 und 6 W höchstens um die Klassentoleranz von $\pm 100 \cdot 10^{-6}$ ändern. Über die Forderung von VDE 0410, Teil 4, hinaus wird durch Wahl der Temperaturkurve und des Abgleichwertes bei 20 °C im allgemeinen erreicht, daß die Widerstände bis 6 W Belastung sogar innerhalb von $100 \cdot 10^{-6}$ vom Nennwert liegen. Auf einem Prüfprotokoll werden für jeden Widerstand vom 10-W-Typ der auf $10 \cdot 10^{-6}$ abgerundete Widerstand für 20 °C und Kurven für die Temperaturabhängigkeit und für die Lastabhängigkeit des Widerstandes angegeben (Bild 5).

Die Normalwiderstände des 1-W-Typs sind für sehr genaue Messungen bestimmt, bei denen eine Belastung durch großen Meßstrom nicht in Frage kommt. Da sie durch Strom nicht warm werden bzw. eine geringe Erwärmung durch Eintauchen in Petroleum vollständig abgeführt wird, wird mit ihnen praktisch nur bei Meßraumtemperatur gearbeitet. Um den Einfluß der Raumtemperatur auf die Widerstandsänderung so gering wie möglich zu halten, werden für diesen Widerstandstyp Manganindraht und -blech so ausgesucht oder kombiniert, daß bei der üblichen Meßraumtemperatur 20 bis 25 °C die

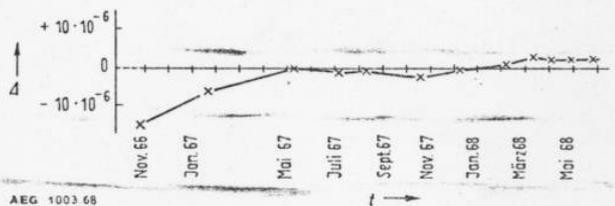


Bild 3. Widerstandsänderung in Abhängigkeit von der zeitlichen Alterung (Normalwiderstand 10 Ω , Typ 1 W)

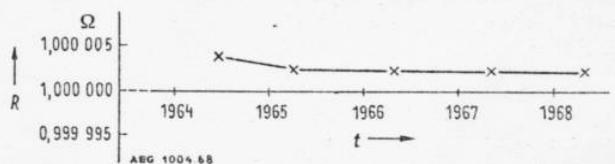


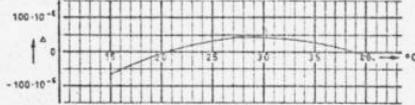
Bild 4. Widerstandsänderung des 1- Ω -Hausnormal's Nr. 58 008 in Abhängigkeit von der Zeit

AEG Messwiderstände

Der Widerstand, gemessen in Petroleum bei 20°C bei einer Belastung < 1 W beträgt:

$$R_{20} = 0,00000000 \Omega \text{ abs}$$

Aenderung des Widerstandes (Belastung < 1 W) in Abhängigkeit von der Temperatur
 $R_t = R_{20} (1 + \alpha \cdot \Delta t)$



Aenderung des Widerstandes in Abhängigkeit von der Belastung in Luft nach einer Belastungsdauer von etwa 80 Minuten bei einer Meßraumtemperatur von etwa 20 °C
 $R_{Lu} = R_{20} (1 + \beta \cdot \Delta I)$

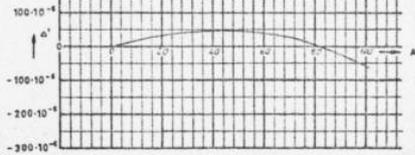


Bild 5. Temperatur- und Belastungskurven; Ausschnitt aus dem Prüfprotokoll eines Normalwiderstandes vom 10-W-Typ

Tabelle 2. Zeitkonstante von Normalwiderständen

Normalwiderstand Ω	Zeitkonstante μs
10 ⁻²	etwa + 9
10 ⁻¹	etwa + 3
1	etwa + 1
10	etwa + 0,2
10 ²	- 0,1
10 ³	± 0,05
10 ⁴	+ 0,1 ... + 0,2
10 ⁵	- 0,3 ... - 0,8

Temperaturkurve möglichst flach verläuft (Bild 6) und der Temperatureinfluß auf besser als 10⁻⁶ des Widerstandswertes rechnerisch berücksichtigt werden kann.
 Die Widerstände des 1-W-Typs werden nach der thermischen Alterung in vollklimatisierten Räumen gelagert und in regel-

Zur Prüfung befand sich der Widerstand in einem Petroleumbad von 20°C. Der Meßstrom betrug 30 mA (Belastung < 1 W). Dabei wurde als Widerstandswert gemessen:

$$R_{20} = 10,00005 \Omega \text{ abs}$$

Dieser Widerstandswert wurde im Vergleich zu der im Hause aufbewahrten Widerstandseinheit festgestellt, die in regelmäßigen Abständen mit der Widerstandseinheit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Institut Berlin, verglichen wird.
 Die Meßsicherheit ist < 5 · 10⁻⁶.

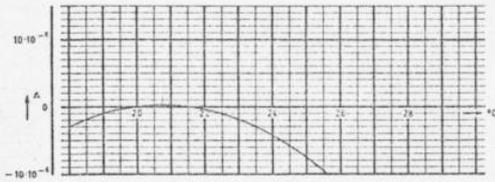


Bild 6. Temperaturkurve; Ausschnitt aus dem Prüfprotokoll eines Normalwiderstandes vom 1-W-Typ

mäßigen Abständen mit einer Genauigkeit von 1 · 10⁻⁶ gemessen. Damit läßt sich das Abklingen der zeitlichen Nachalterung kontrollieren und sicherstellen, daß nur beruhigte Widerstände ausgeliefert werden, deren Widerstandsänderung auf 1 ... 2 · 10⁻⁶/Jahr¹) abgeklungen ist. Diese Widerstände werden nach VDE 0410, Teil 4, in Genauigkeitsklassen bis zu 0,001 geliefert und haben dabei die Leistungsangabe 0 ... 0,3 ... 1 (3) W. Im zugehörigen Prüfprotokoll wird der Widerstandswert auf 1 · 10⁻⁶ angegeben. Aus der Temperaturkurve sind Widerstandsänderungen in Abhängigkeit von der Temperatur auf 0,1 · 10⁻⁶ ablesbar (Bild 6).
 Normalwiderstände sind auch für Wechselstrom verwendbar. Tabelle 2 zeigt die mittleren Werte der Zeitkonstanten. Für Widerstände ab 1000 Ω werden die genauen Werte im Prüfprotokoll angegeben.
 E 21-FR

Schrifttum

[1] VDE 0410, Teil 4/5.67: Bestimmungen für elektrische Meßgeräte. Teil 4: Gleichstrom-Präzisionswiderstände.

1 Ohm Normalwiderstand baugleich mit AEG



Geschäftliche Mitteilung

Hersteller: Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft, Berlin-Grünwald

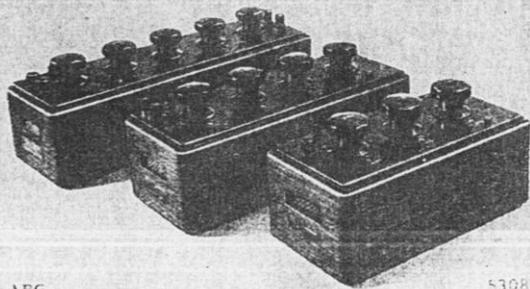
Z 112-2

April 1953

Präzisions-Kurbelwiderstände

DK 621.316.82

Zu den wichtigsten Geräten der Feinmeßtechnik gehören die Präzisionswiderstände, die entweder als Normalwiderstände mit nur einem einzigen Festwert oder als Widerstandssätze mit einstellbaren Widerstandswerten ausgeführt werden. In Laboratorien und Prüffeldern haben sich insbesondere die Präzisions-Kurbelwiderstände wegen ihrer vielseitigen Verwendbarkeit und bequemen Handhabung bestens bewährt. Die von der AEG in verschiedenen Größen hergestellten Präzisions-Kurbelwiderstände (Bild 1) enthalten 3-6 dekadische Widerstandssätze, von denen jeder einzelne je nach Wunsch 9, 10 oder 11 gleiche Stufen — Einer, Zehner, Hunderter usw. — hat. Mit Hilfe des Kurbelschalters ist es dann möglich, den Widerstandswert einer solchen Dekade stufenweise zu variieren, so daß man beispielsweise mit einem 4 Dekaden-Widerstand $9 \times (1000 + 100 + 10) \Omega + 10 \times 1 \Omega$ jeden Widerstandswert zwischen 0 und 10000 Ω in Stufen von 1 zu 1 Ω einzustellen vermag.



AEG

53081

Bild 1. Präzisions-Kurbelwiderstände.

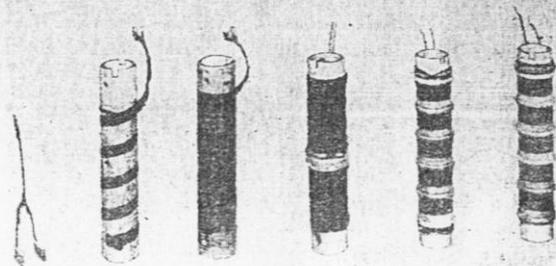
Diese Widerstände entsprechen in allen Punkten, sowohl hinsichtlich der Bauart als auch der elektrischen Eigenschaften, den Beglaubigungsvorschriften der PTR¹. Sie sind wie alle AEG-Feinmeßgeräte der Nachkriegsfertigung auf absolute Ohm abgeglichen und gewährleisten dank der hohen Präzision ihrer Ausführung höchste Genauigkeit unter den verschiedensten Betriebsbedingungen.

Die Widerstandsspulen. Die einzelnen Stufen der verschiedenen Dekaden werden durch Widerstandseinheiten von 0,1 Ω und den dekadischen Vielfachen dieses Werts bis 10000 Ω , in Sonderfällen bis 100000 Ω , gebildet. Die Einheiten werden in Form von blanken Manganinbändern oder Lack-Seiden-isolierten Manganindrähten auf keramische Spulenkörper gewickelt (Bild 2), auf denen die Wicklung mit Schellack — gleichzeitig Feuchtigkeitsschutz — festgelegt wird. Lediglich die 0,1 Ω -Einheit besteht aus einer bifilaren Manganinband-Schleife ohne Spulenkörper. Die Widerstandseinheiten sind an den beiden Enden mit hart angelöteten Kupfer-Anschlußstücken versehen.

Um die Widerstände auch bei Wechselstrom verwenden zu können, werden sie besonders induktivitäts-

und kapazitätsarm, d. h. mit kleiner Zeitkonstante, gewickelt: die kleinen Werte bis zu 10 Ω aus bifilarem Manganinband mit einer Ölseiden-Zwischenlage, die 100 Ω -Spulen aus zwei hintereinandergeschalteten Hälften bifilar gewickelten Drahts und die höhohmigeren Spulen mit nach Wagner und Wertheimer fünffach unterteilter Chaperönwicklung, wobei jede der 5 hintereinander geschalteten Abteilungen aus 2 Drahtlagen gegenläufig gewickelt ist. Die Wahl der für die verschiedenen Widerstandswerte günstigsten Wicklungsart, ferner induktivitäts- und kapazitätsarme Verlegung der Linienschaltung sowie vollständige elektrostatische Abschirmung der gesamten Widerstandsordnung ermöglichen, die Widerstände bis zu Frequenzen von 20-50 kHz zu verwenden, je nach der Höhe der Widerstandswerte und den Anforderungen an die Betrags- und Phasengenauigkeit².

Bei den Präzisions-Widerständen genügt nicht nur eine hohe Abgleichgenauigkeit, sondern es wird darüber hinaus erwartet, daß die Widerstandswerte über lange Zeit ausreichend konstant bleiben. Nach den Vorschriften der PTR dürfen die jährlichen Widerstandsänderungen nicht mehr als 0,005% betragen. Deshalb werden die fertiggewickelten Widerstandsspulen thermisch und zeitlich mit großer Sorgfalt gealtert, um eine völlige Entspannung und ein homogenes Gefüge des Widerstandsmaterials zu erreichen. Nach erfolgtem Einbau werden sie auf absolute Ohm abgeglichen, und zwar die Widerstände von 10 Ω an aufwärts auf mindestens $\pm 0,02\%$, die kleineren Werte auf mindestens $\pm 0,1\%$ genau, jeweils bezogen auf eine Temperatur von 20° C. Diese Toleranzgrenzen werden — sachgemäße Behandlung vorausgesetzt — auch auf lange Zeiten garantiert.



AEG

53082

Bild 2. Widerstandsspulen.

Widerstandswerkstoff. Damit die Widerstände auch bei von 20° C abweichenden Betriebstemperaturen ihren Wert möglichst unverändert beibehalten, ist zu ihrer Herstellung ein Material mit kleinstem Widerstands-Temperaturkoeffizienten (TK) erforderlich. Hierfür hat sich Manganin, eine Cu-Mn-Ni-Legierung mit

einem spezifischen Widerstand von $0,43 \Omega/\text{m}/\text{mm}^2$, in jahrzehntelanger Erprobung bestens bewährt. Es hat zudem eine geringe Thermospannung gegen Kupfer und Messing ($1 \cdot 10^{-6} \text{ V}/\text{grd}$), so daß auch bei sehr genauen Gleichstrommessungen an den Anschlußpunkten der Manganinwiderstände keine störenden Thermospannungen durch Stromwärme oder sonstwie bedingte Temperaturdifferenzen auftreten können. In Bild 3 sind einige für Manganin charakteristische Widerstands-Temperaturkurven dargestellt, deren Verlauf recht unterschiedlich sein kann, je nach seiner Verarbeitung (Walzen, Ziehen, Glühen, Lackieren). Aus den Kurven ist er-

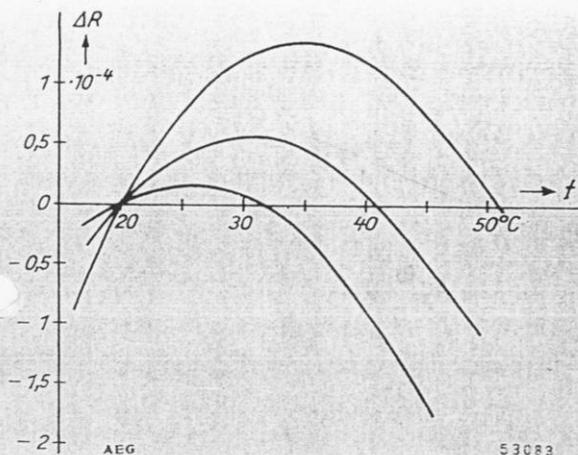


Bild 3. Widerstands-Temperaturkurven für Manganin.

sichtlich, daß sich für Manganin ein bestimmter TK-Wert nicht angeben läßt, er kann bei 20°C zwischen -10 und $+20 \cdot 10^{-6}/^\circ$ liegen. Man erkennt ferner, daß die garantierten Genauigkeitsgrenzen von $\pm 0,02\%$ so lange eingehalten werden, als man bei 20°C Raumtemperatur mit der Erwärmung nicht über 15°C hinausgeht, das entspricht einer Belastung von 1 W pro Spule. Bei entsprechend verminderter Genauigkeit können die Widerstände unbedenklich bis maximal 2 W pro Spule belastet werden, darüber hinaus jedoch treten u. U. bleibende Widerstandsänderungen auf.

Schalter. Größte Sorgfalt wurde auf die Präzision des Kurbelschalters verwendet, um die hohe Genauigkeit der einzelnen Widerstandselemente auch in jeder beliebigen Kombination sicherzustellen. Material, Ausführung und Andruck der Kontaktglieder wurden daher so gewählt, daß einerseits keine unzulässige Abnutzung selbst bei langjährigem Dauerbetrieb eintritt und daß andererseits ein außerordentlich kleiner Schalterwiderstand — etwa $0,2 \text{ m}\Omega$, gemessen zwischen Kontaktstück und Schleifring — erreicht wird. Wie Bild 4 zeigt, sind die einzelnen Kontakte und der Schleifring auf einer Hartgummiplatte montiert. Sie werden von einem Bürstenfederpaket überstrichen, das in ein Führungsstück aus Preßstoff eingelassen und gegen die Achse isoliert ist. Der Schalter wird durch einen handlichen Drehknopf betätigt, der gleichzeitig

die Zifferscheibe trägt und ohne weitere Befestigung auf die Achse aufgesetzt wird. Äußerer Druck auf den Drehknopf wird von der Achse aufgenommen, ohne den Kontaktdruck und den Kontaktwiderstand zu beeinflussen. Zur Pflege des Schalters empfiehlt es sich, Kontakte und Schleifring von Zeit zu Zeit mit einem mit Petroleum angefeuchteten Lappen zu reinigen und dann mit einem Hauch gelber (ungebleichter) Vaseline zu überziehen.

Die Kontaktstücke sind auf der Unterseite mit den in Bild 4 sichtbaren Kupferstäben hart verlötet, die zum Anschluß der Widerstandsspulen dienen. Auf der Oberseite haben sie neben der Kontaktbahn konische Bohrungen zum Einstecken von Potentialstößeln. Alle Einzelwiderstände sind zwischen diesen Potentialpunkten exakt definiert und auf ihren genauen Wert abgeglichen. Die Potentialstößel ermöglichen die Messung und Nachprüfung der einzelnen Widerstandsspulen und die Verwendung der Widerstandsätze als Spannungsteiler.

Einbau. Die Widerstandsdekaden sind in polierte Nußbaumholz-Gehäuse eingebaut und zum Schutz gegen Staub und Lichteinwirkung mit einer Blechkappe abgedeckt, aus der lediglich die Anschlußklemmen und die Drehknöpfe herausragen. Zur elektrostatischen Abschirmung ist in das Holzgehäuse noch ein besonderer Blechkasten eingesetzt; er wird mit den Schalterachsen und der Abdeckplatte, die eine besondere Erdungsklemme trägt, leitend verbunden. Die Widerstandswerte, welche den jeweiligen Kurbelstellungen entsprechen, sind durch Schaulöcher in der Abdeckplatte abzulesen, in denen die betreffenden Zahlen der Zifferscheiben erscheinen. Die Abdeckung kann nach Lösen von 2 Rändelschrauben abgehoben werden. Dann lassen sich die Drehknöpfe ohne weiteres abziehen, und die Kontakte sind zur Pflege zugänglich.

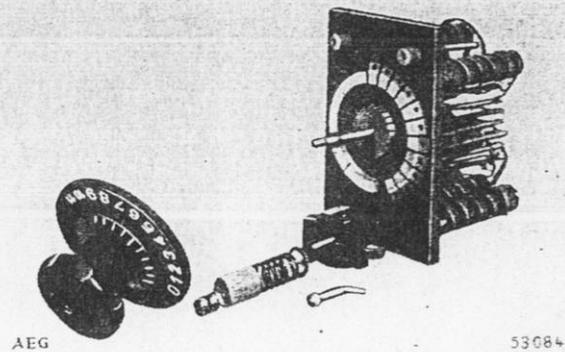


Bild 4. Kurbelschalter für Präzisions-Widerstände.

Der Nullwiderstand, das heißt der Widerstandswert, der zwischen den Anschlußklemmen gemessen wird, wenn alle Kurbeln auf Null stehen, beträgt pro Dekade nur etwa $1 \text{ m}\Omega$. Er ist bedingt durch den Schalter und die Verdrahtung und kann bei genauen Messungen durch Addition zum eingestellten Wert berücksichtigt werden.

Schrifttum

1. Aufsatzblatt der PTR, 15. Reihe, Nr. 3, S. 55. — 2. AEG-Mitteilungen (1940), Heft 9/10, S. 191.



Meß-Widerstände, -Stromwandler

Widerstände

Listenblatt
mit technischen Daten

1 EU 1.1

(Blatt 1 von 2 Blättern)

Ausgabe November 1970

| Widerstandswert |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 |
| 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 | 10000 |
| 100000 | 100000 | 100000 | 100000 | 100000 | 100000 | 100000 | 100000 | 100000 | 100000 |

Normal-Widerstände WLN

Klasse 0,01

hoch belastbar bis 10 W

Abweichung vom Nennwert:

$$\pm 50 \cdot 10^{-6}$$

Istwert: sicher auf $20 \dots 40 \cdot 10^{-6}$ nach Widerstandswert

Temperaturkoeffizient: $10 \dots 15 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$

Widerstandsmaximum: bei $30 \dots 35^{\circ}\text{C}$

Wärmewiderstand: etwa 3 K/W

Gehäuse: perforiertes Blech; Isolierplatte

Abmessungen über alles: 100 mm × 190 mm × 100 mm

Ausschnitt für den Einbau: 95 mm × 95 mm; Einbautiefe 150 mm

Weitere technische Daten siehe Tabelle auf nächster Seite.

Normal-Widerstände WLN

Klasse 0,002 ($10^{-4} \Omega$ WLN 110 Klasse 0,005)

belastbar bis 1 W

Abweichung vom Nennwert:

$$\pm 10 \dots 30 \cdot 10^{-6} \text{ nach Widerstandswert}$$

Istwert: sicher auf $5 \dots 25 \cdot 10^{-6}$ nach Widerstandswert

Temperaturkoeffizient: $0 \dots 5 \cdot 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ bei 20°C

Widerstandsmaximum: bei $20 \dots 27^{\circ}\text{C}$

Gehäuse: perforiertes Blech; Isolierplatte

Abmessungen über alles: 100 mm × 190 mm × 100 mm

Ausschnitt für den Einbau: 95 mm × 95 mm; Einbautiefe 150 mm

Weitere technische Daten siehe Tabelle auf nächster Seite.

Wird die Bezugs-temperatur t durch ansteigende Meßtemperatur oder durch Veränderung eines Temperaturwertes (z.B. bei Temperaturänderung) verändert, so gewährt das Meßgerät eine Temperaturkorrektur (bei Temperatur für das Maximum der Temperaturkurve) an dem Widerstandswert. Die Temperaturkorrektur ist in der Tabelle auf Seite 2 angegeben.

Wird die Bezugs-temperatur t durch ansteigende Meßtemperatur oder durch Veränderung eines Temperaturwertes (z.B. bei Temperaturänderung) verändert, so gewährt das Meßgerät eine Temperaturkorrektur (bei Temperatur für das Maximum der Temperaturkurve) an dem Widerstandswert. Die Temperaturkorrektur ist in der Tabelle auf Seite 2 angegeben.

Ausführungen

Normal-Widerstände hoch belastbar	kg ca.	L-Nr.	Preis
WLN 1	100 000 Ω	0,9	4317-132
WLN 2	10 000 Ω	0,9	4317-131
WLN 3	1 000 Ω	0,9	4317-129
WLN 4	100 Ω	0,9	4317-128
WLN 5	10 Ω	1,0	4317-127
WLN 6	1 Ω	1,1	4317-125
WLN 7	0,1 Ω	0,8	4317-123
WLN 8	0,01 Ω	1,1	4317-122
WLN 9	0,001 Ω	1,2	4317-121
WLN 10	0,0001 Ω	1,9	4317-119

niedrig belastbar	kg ca.	L-Nr.	Preis
WLN 11	100 000 Ω	0,9	4317-142
WLN 22	10 000 Ω	0,9	4317-141
WLN 33	1 000 Ω	0,9	4317-139
WLN 44	100 Ω	0,9	4317-138
WLN 55	10 Ω	1,0	4317-126
WLN 66	1 Ω	1,1	4317-124
WLN 77	0,1 Ω	0,8	4317-137
WLN 88	0,01 Ω	1,1	4317-136
WLN 99	0,001 Ω	1,2	4317-135
WLN 110	0,0001 Ω	1,9	4317-134

Bestelltext (bei Gewünschtes einsetzen)

WLN... Normal-Widerstand Ω
L-Nr. 4317-... Preis

AEG Messwiderstände

Normal-Widerstände sollen die Maßeinheit des elektrischen Widerstandes verkörpern. Neben ihrer Anwendung als Widerstandsnormale zur Prüfung von Geräten sind sie in der elektrischen Meßtechnik zur Strom-, Spannungs- und Leistungsmessung in Verbindung mit Normal-Elementen und Kompensatoren unentbehrlich. Es sind Einzelwiderstände, die aus Manganindraht oder -blech hergestellt werden. Sie sind vierpolig ausgebildet, um den Widerstandswert genau definieren zu können. Normal-Widerstände sind auch für Wechselstrom verwendbar. Die typischen Werte für die Zeitkonstante sind in den Tabellen (Seite 2 dieses Listenblattes) angegeben. Ab 1000 Ω werden die genauen Werte in Prüfscheinen angegeben.

Außerlich fällt der HB-Normal-Widerstand durch seine Gehäuseform auf: gegenüber der bekannten zylindrischen Ausführung hat seine viereckige Form den großen Vorteil, daß bei gleichem Platzbedarf zum Aufstellen ein wesentlich größerer Raum zum Einbau eines Widerstandes zur Verfügung steht, der damit eine größere wärmeableitende Oberfläche erhalten kann. Die meisten Meßschaltungen beruhen auf einem Spannungsvergleich. Bei einem niederohmigen Meßwert ist daher eine hohe Belastbarkeit erforderlich. Da diese Widerstände aus Blechen aufgebaut werden, ergibt ein Gehäuse mit quadratischer Grundfläche bessere Abkühlungsverhältnisse als ein zylindrisches Gehäuse mit gleichem Platzbedarf (Bild 1).

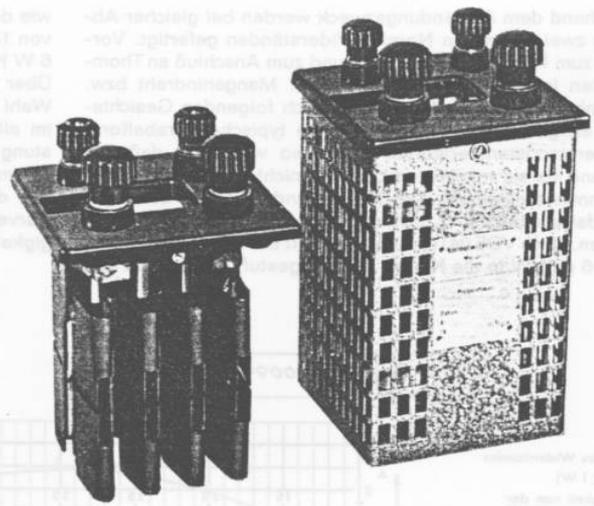


Bild 1 Normal-Widerstand ohne und mit Gehäuse

Die Drähte und Bleche der Widerstandslegierung Manganin werden bei der Herstellung von Normalwiderständen besonders sorgfältig ausgesucht und behandelt. Die Verbindung zwischen Manganin und den herausgeführten Anschlußbolzen aus Kupfer wird durch Hartlötung hergestellt. Die Drähte liegen ohne Wickelspannung um den Spulenkörper aus Porzellan, die Bleche werden spannungsfrei an die Kupferschenkel der Stromanschlußbolzen gelötet. Die seit vielen Jahren erprobte Methode der thermischen Alterung, die mit Registriergeräten überwacht wird, sorgt für eine genügende Homogenisierung des

Legierungsgefüges. Bei allen Normalwiderständen wird in regelmäßigen Abständen der Widerstandswert im Vergleich zum Hausnormal gemessen und dadurch das Abklingen der Widerstandsänderung in Abhängigkeit von der Zeit festgestellt.

Wie aus dem Diagramm Bild 2 hervorgeht, ändert sich der Widerstand kurze Zeit nach der thermischen Alterung auf Grund der Fertigungsmethoden nur noch bis zu $4 \cdot 10^{-6}$ während der Dauer von drei Monaten. Die Widerstandsänderung klingt nach etwa einem Jahr auf $1 \dots 2 \cdot 10^{-6}$ /Jahr ab.

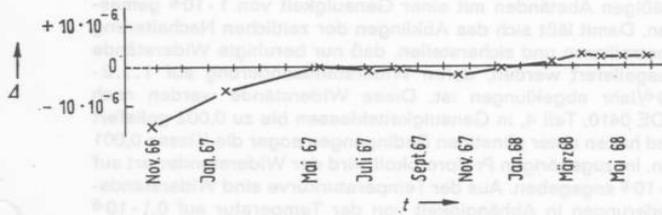


Bild 2 Widerstandsänderung in Abhängigkeit von der zeitlichen Alterung (Normal-Widerstand) 10 Ω , Typ 1 W

Das Hausnormal besteht aus mehreren 1- Ω -Normal-Widerständen. Es wird zur Kontrolle regelmäßig an die Widerstandseinheit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt angeschlossen, so daß der Wert des Hausnormals auf besser als $1 \cdot 10^{-6}$ im Vergleich zur Widerstandseinheit der PTB bekannt ist. Seine zeitliche Konstanz von besser als $1 \cdot 10^{-6}$ /Jahr zeigt Bild 3.

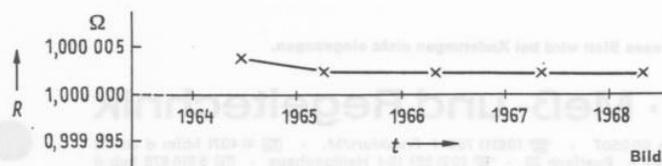


Bild 3 Widerstandsänderung des 1- Ω -Hausnormals in Abhängigkeit von der Zeit

Entsprechend dem Anwendungszweck werden bei gleicher Abmessung zwei Arten von Normal-Widerständen gefertigt. Vorwiegend zum Messen von Strömen und zum Anschluß an Thomsonbrücken ist der 10-W-Typ bestimmt. Manganindraht bzw. Manganinblech sind bei diesem Typ nach folgenden Gesichtspunkten ausgesucht: Die für Manganin typische Parabelform der Widerstandstemperaturkurve soll so verlaufen, daß der Widerstand bis zur maximalen Leistung nicht mehr als $\pm 2 \cdot 10^{-4}$ vom Nennwert abweicht. Die Widerstände werden so abgeglichen, daß sie bei 20 °C nicht mehr als $50 \cdot 10^{-6}$ vom Nennwert abweichen. Nach VDE 0410 können sie mit der Leistungsangabe 0...1...6 (10) W in die Klasse 0,01 eingestuft werden, da sie,

wie das Kurvenblatt Bild 4 zeigt, zwischen 0 und 1 W innerhalb von $100 \cdot 10^{-6}$ liegen und sich im Einflußbereich zwischen 1 und 6 W höchstens um die Klassentoleranz von $\pm 100 \cdot 10^{-6}$ ändern. Über die Forderung von VDE 0410, Teil 4, hinaus wird durch Wahl der Temperaturkurve und des Abgleichwertes bei 20 °C im allgemeinen erreicht, daß die Widerstände bis 6 W Belastung sogar innerhalb von $100 \cdot 10^{-6}$ vom Nennwert liegen. Auf einem Prüfprotokoll werden für jeden Widerstand vom 10-W-Typ der auf $10 \cdot 10^{-6}$ abgerundete Widerstand für 20 °C und Kurven für die Temperaturabhängigkeit und für die Lastabhängigkeit des Widerstandes angegeben.

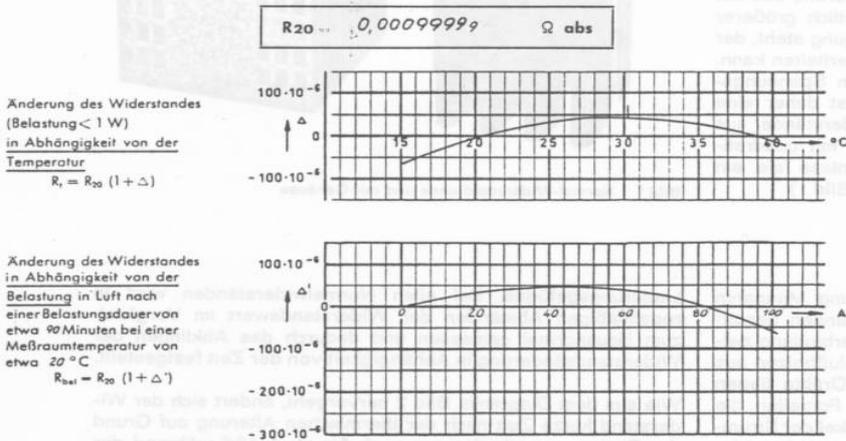


Bild 4 Temperatur- und Belastungskurven; Ausschnitt aus dem Prüfprotokoll eines Normal-Widerstandes vom 10-W-Typ

Die Normal-Widerstände des 1-W-Typs sind für sehr genaue Messungen bestimmt, bei denen eine Belastung durch großen Meßstrom nicht in Frage kommt. Da sie durch Strom nicht warm werden bzw. eine geringe Erwärmung durch Eintauchen in Petroleum vollständig abgeführt wird, wird mit ihnen praktisch nur bei Meßraumtemperatur gearbeitet. Um den Einfluß der Raumtemperatur auf die Widerstandsänderung so gering wie möglich zu halten, werden für diesen Widerstandstyp Manganindraht und -blech so ausgesucht oder kombiniert, daß bei der üblichen Meßraumtemperatur 20 bis 25 °C die Temperaturkurve möglichst flach verläuft (Bild 5) und der Temperatureinfluß auf besser als 10^{-6} des Widerstandswertes rechnerisch berücksichtigt werden kann.

Die Widerstände des 1-W-Typs werden nach der thermischen Alterung in vollklimatisierten Räumen gelagert und in regelmäßigen Abständen mit einer Genauigkeit von $1 \cdot 10^{-6}$ gemessen. Damit läßt sich das Abklingen der zeitlichen Nachalterung kontrollieren und sicherstellen, daß nur beruhigte Widerstände ausgeliefert werden, deren Widerstandsänderung auf $1 \dots 2 \cdot 10^{-6}$ /Jahr abgeklungen ist. Diese Widerstände werden nach VDE 0410, Teil 4, in Genauigkeitsklassen bis zu 0,002 geliefert und halten unter günstigen Bedingungen sogar die Klasse 0,001 ein. Im zugehörigen Prüfprotokoll wird der Widerstandswert auf $1 \cdot 10^{-6}$ angegeben. Aus der Temperaturkurve sind Widerstandsänderungen in Abhängigkeit von der Temperatur auf $0,1 \cdot 10^{-6}$ ablesbar (Bild 5).

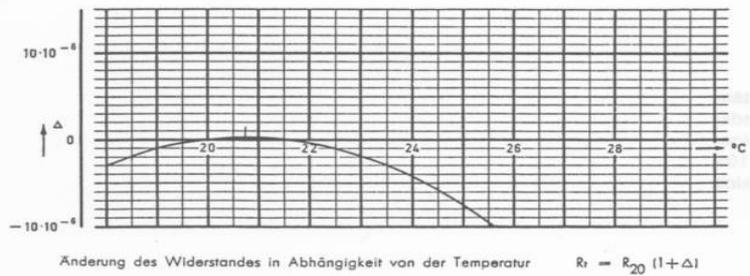


Bild 5 Temperaturkurve; Ausschnitt aus dem Prüfprotokoll eines Normal-Widerstandes vom 1-W-Typ

Änderungen der technischen Ausführungen vorbehalten. Dieses Blatt wird bei Änderungen nicht eingezogen.



Hartmann & Braun · Meß- und Regeltechnik

Hartmann & Braun AG · 6 Frankfurt 90 · Postfach 90 0507 · (0611) 799-1 Frankfurt/M. · 414071 hbfm d sowie
 Hartmann & Braun AG · 5628 Heiligenhaus/Bz. D'orf · Postfach 25 · (02126) 12-1 Heiligenhaus · 8 516 878 hub d
 Hartmann & Braun AG · Vertrieb Minden · 495 Minden/Westf. · Postfach 1535 · (0571) 83-1 Minden/Westf. · 97 867 hbsfml d

Listenblatt 1 EU 1.1 Bl. 1
 199 / 11.70 / K

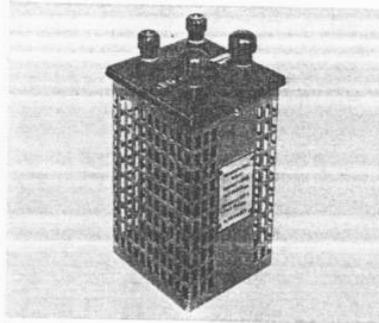
Normalwiderstände sind Einzelwiderstände, bei denen durch Materialauswahl, Konstruktion und spezielle Fertigungsmethoden die Voraussetzungen für ausgezeichnete zeitliche Konstanz und damit entsprechend genaue Angabe des Widerstandswertes gegeben sind.

Als Widerstandsmaterial wird besonders ausgesuchtes Manganin verwendet, das bei den im Betrieb auftretenden Temperaturen möglichst kleine Widerstandsänderungen aufweist. Bekanntlich durchläuft der spezifische Widerstand der Legierung Manganin je nach Charge bei Temperaturen zwischen 20 und 40 °C ein relatives Maximum. Für hochbelastbare Widerstände wird deshalb Material ausgewählt, das seinen höchsten Widerstand etwa bei der Temperatur annimmt, die sich bei Belastung mit 60 bis 70 % des Nennstromes einstellt. Die absolute Widerstandsänderung ist dann zwischen unbelastetem Zustand und Höchstlast ein Minimum.

Für Widerstände, bei denen die Erwärmung durch die umgesetzte Leistung vernachlässigt werden kann, wird dagegen ein Material ausgesucht, das sein relatives Maximum bei 20 bis etwa 25 °C hat, da dann die Temperaturabhängigkeit unter den üblichen Laborbedingungen am geringsten ist.

Für die zeitliche Konstanz des Widerstandes ist neben einer ausreichenden natürlichen Alterung auch die Konstruktion von ausschlaggebender Bedeutung. Normalwiderstände mit den Nennwerten unter 1 Ω werden aus Manganinblech gefertigt, wobei die Bleche bei den niedrigen Nennwerten so dick sind, daß eine selbsttragende Konstruktion möglich ist. Nur die Widerstände mit höheren Nennwerten müssen eine mechanische Abstützung erhalten, weil das Blech naturgemäß dünner ist und z. B. bei Transportbeanspruchungen nicht verformt werden darf. Die Normalwiderstände von 1 Ω an aufwärts sind aus Draht hergestellt, der zur Erreichung einer genügend kleinen Zeitkonstante entweder bifilar oder in mehreren Abteilungen mit Umkehrwicklung aufgewickelt wird. Um die Beeinflussung der Wicklung durch den Wickelkörper klein zu halten, ist bei den mittleren Werten, bei denen der Widerstandsdraht fast noch freitragend angeordnet werden könnte, die Wicklung nahezu lose auf den Wickelkörper aufgeschoben und nur am Anfang und am Umkehrpunkt durch eine Befestigung gesichert.

Bei den höchsten Werten läßt sich infolge des geringen Drahtdurchmessers dieses Verfahren nicht mehr anwenden.



Deshalb wird bei diesen Widerständen die Wicklung auf herkömmliche Weise aufgebracht und nachträglich vom Wickelzug entlastet.

Während bei den Widerständen unter 1 Ω die Blechoberfläche die entstehende Wärme unmittelbar an die Luft (oder an das Petroleum) abgeben kann, ist bei den mittleren und hohen Werten der Wickelkörper nicht nur Träger des Widerstandsmaterials, sondern auch wichtig als Koppelglied für die Abführung der Wärme. Die bei den einzelnen Nennwerten vorhandene Oberfläche reicht auf jeden Fall aus, die im Widerstand umgesetzte Leistung an die umgebende Luft abzugeben. Falls die für Luftkühlung angegebene Belastbarkeit nicht ausreicht oder aber die Temperatur auf einen genau definierten Wert eingestellt werden soll, können die Normalwiderstände in ein Petroleumbad eingehängt werden. Der Aufbau ist petroleumfest und das Gehäuse so ausgebildet, daß die Kühlflüssigkeit nach Herausheben der Widerstände aus dem Bad schnell und rückstandslos ablaufen kann.

Um den recht unterschiedlichen Anforderungen der Praxis zu entsprechen, stehen von jedem Nennwert zwei verschiedene Ausführungen zur Auswahl, die sich hauptsächlich durch den Temperaturgang des Widerstandsmaterials und in der Belastbarkeit unterscheiden. Die hochbelastbaren Widerstände werden vorwiegend als Gebrauchsnormale für Brückenmessungen und zu Strommessungen in Verbindung mit Kompensatoren benutzt. Die niedrigbelastbaren Widerstände sind grundsätzlich für die gleichen Aufgaben bestimmt, ermöglichen aber in Verbindung mit möglichst empfindlichen Nullinstrumenten eine höhere Meßgenauigkeit, so daß sie neben eigentlichen Meßaufgaben häufig als sogenannte Hausnormale zur Überwachung der Gebrauchsnormale dienen.

Allen Widerständen wird ein Protokoll beigelegt, in dem der Widerstandswert gemessen in Petroleum bei 20 °C und

einer Belastung < 1 W sowie die Widerstandsänderungen als Funktion der Temperatur aufgeführt sind. Für Widerstände mit mindestens 100 Ω wird zusätzlich die Zeitkonstante eingetragen. Bei den hochbelastbaren Widerständen werden außerdem für normale Aufstellung in Luft die Widerstandsänderungen in Abhängigkeit von der Belastung angegeben.

Jeder Normalwiderstand kann mit Beglaubigungsschein der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) geliefert werden, wobei entsprechend der Beglaubigungsvorschrift entweder die Widerstandswerte des praktisch unbelasteten Widerstandes oder die bei Belastung angegeben werden. Auf Wunsch wird auch ein Prüfschein der PTB mitgeliefert, in dem der Widerstand des Normals bei einer Belastung < 1 W mit einer Toleranz von ± 0,001 % oder besser gemessen ist.

Die Normalwiderstände sind in perforierte graue Blechgehäuse eingesetzt; die überstehende Deckplatte erlaubt einen leichten Einbau in Meßtische.

Abmessungen (einschl. Deckplatte und Klemmen)

100 mm × 100 mm × 190 mm

Ausschnitt für den Einbau

95 mm × 95 mm

Einbautiefe

150 mm

AEG Messwiderstände

Die folgenden Kopien stammen aus dem AEG Hilfsbuch.

meßbereiche mit Vorwiderständen, bei hohen Spannungen zweckmäßiger mit Wandlern.

Elektrodynamische Präzisionsinstrumente werden hauptsächlich zur genauen Leistungsmessung bei Gleich- und Wechselstrom gebaut. Sie zeigen dann bei Einphasen-Wechselstrom die Wirkleistung unabhängig von der Kurvenform an, bei Drehstrom – je nach der besonderen Schaltung – die Wirk- oder Blindleistung nach der Ein-, Zwei- oder Dreileistungsmesser-Methode. Frequenzbereich und Meßbereichserweiterung wie bei den Dreheiseninstrumenten. Es gibt Sonderausführungen für große Phasenverschiebungen (z. B. für Verlustmessungen an Elektroleuchten); sie haben Vollausschlag schon bei $\cos\varphi = 0,2$ oder $0,1$.

Seit dem Aufkommen der digitalen Spannungsmesser und seit es gelungen ist, die Genauigkeit der Normale und der Subnormale der Elektrotechnik wesentlich zu steigern, ist die Bedeutung der analog anzeigenden Präzisions-Meßinstrumente zugunsten der Digitalgeräte zurückgegangen. Es gibt heute digitale Spannungsmesser, die – allerdings bei entsprechend hohem Aufwand – eine Anzeigeunsicherheit von nur $0,001\%$ aufweisen.

5.4 Präzisionswiderstände

Präzisionswiderstände für genaue Messungen werden entweder als Normalwiderstände mit nur einem einzigen Festwert (Einzelwiderstände) oder als Widerstandssätze mit einstellbaren Widerstandswerten (Mehrfachwiderstände) hergestellt [16].

5.4.1 Dekadenwiderstände

Für den Gebrauch in Laboratorien und Prüffeldern eignen sich besonders die *Drehschalterwiderstände*

wegen ihrer vielseitigen Verwendbarkeit und ihrer bequemen Handhabung. Die verschiedenen Baugrößen enthalten in dekadischer Anordnung drei bis sechs Widerstandssätze (*Widerstandsdekaden*), von denen jeder einzelne je nach Wunsch 9, 10 oder auch 11 gleiche Stufen – Einer, Zehner, Hunderter usw. – hat. Mit einem Drehschalter kann man dann den Wert der einzelnen Widerstandsdekaden stufenweise variieren, so daß z. B. mit einem Vierdekadenwiderstand $9 \cdot (1000 + 100 + 10) \Omega + 10 \cdot 1 \Omega$ jeder Widerstandswert zwischen Null und 10000Ω in Stufen von 1Ω zu 1Ω einstellbar ist. Solche Widerstandsdekaden bilden auch die Bausteine für Spannungsteiler, Meßbrücken und Kompensatoren.

Die einzelnen Stufen der Dekaden werden durch hochwertige Widerstandselemente mit dekadischen Werten von $0,1 \Omega$ bis $10 \text{ k}\Omega$, in Sonderfällen sogar bis $100 \text{ k}\Omega$, gebildet. Kleinste Stufen sind $0,1 \Omega$, bisweilen auch $0,01 \Omega$. Bei einer noch kleineren Stufung würden die Übergangswiderstände der Schalterkontakte merklich ins Gewicht fallen.

Als Widerstandsmaterial dienen sorgfältig ausgesuchte Drähte, Bänder oder Bleche aus *Manganin* oder *Isa-Ohm*. Das sind Speziallegierungen mit hohem spezifischem Widerstand, kleinstem Widerstands-Temperaturkoeffizienten und geringer Thermospannung gegen Kupfer. Für Widerstände und Meßeinrichtungen, die für amtliche Messungen bestimmt sind, ist von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) allein Manganin zugelassen, da nur für dieses Material jahrzehntelange Erfahrungen hinsichtlich der Langzeitkonstanz vorliegen.

Widerstandselemente von etwa 1Ω an aufwärts werden aus Draht, seltener aus Band, ohne nennenswerte mechanische Spannungen auf Spulenkörper (meist

Wicklungen eines
1k Ohm
Normalwiderstands



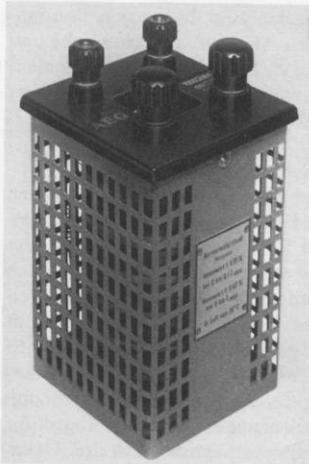


Bild 5/11. Normalwiderstand

fördert die gute Wärmeabfuhr und ermöglicht das Einsetzen der Widerstände in ein Öl- oder Petroleumbad. Die Isolierstoff-Abdeckplatte trägt vier Anschlußklemmen: zwei für die Stromzuführung und zwei als Potentialklemmen, zwischen denen der Widerstand exakt definiert ist.

Für unterschiedliche Verwendungszwecke werden besondere Typen gefertigt, z. B. Normalwiderstände gleicher Abmessungen als 10-W-Typ und als 1-W-Typ. Die erstgenannte Ausführung dient vornehmlich zum Messen größerer Stromstärken (etwa $> 1 \text{ A}$) und niederohmiger Widerstände in der Thomsonbrücke. Sie entsprechen bei 6 W Belastung (in ruhender Luft) der Klasse 0,01 nach VDE 0410 [18], bei 10 W der Klasse 0,02. Sie werden so abgeglichen, daß ihr Widerstandswert bei 20°C um nicht mehr als $50 \cdot 10^{-6}$ vom Nennwert abweicht.

Die 1-W-Normalwiderstände – vorwiegend mit Werten von 1Ω und 10Ω – sind für sehr genaue Vergleichsmessungen bestimmt, bei denen der Meßstrom genügend klein gehalten werden kann, der Widerstand also praktisch bei Raumtemperatur bzw. bei

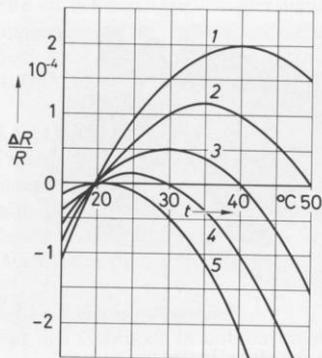


Bild 5/12. Temperaturabhängigkeit des Widerstandes von Manganin

der Temperatur der Kühlflüssigkeit betrieben wird. Für diese Ausführung werden Manganinsorten gewählt, deren Widerstands-Temperaturkurve im Bereich von 20°C bis 25°C möglichst flach verläuft (Kurve 5 in Bild 5/12). Damit sind Widerstands-Temperaturkoeffizienten in der Größenordnung von $1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ erreichbar. Solche Widerstände werden unter ständiger Kontrolle ihrer Werte gelagert und erst dann ausgeliefert, wenn ihre zeitlichen Änderungen auf etwa $1 \cdot 10^{-6}$ je Jahr abgeklungen sind. Allen Normalwiderständen beider Ausführungen wird ein Prüfprotokoll beigegeben mit genauer Angabe des gemessenen Widerstandswerts und mit Kurven für seine Temperatur- und Belastungsabhängigkeit.

5.5 Meßbrücken und Kompensatoren

5.5.1 Meßbrücken

5.5.1.1 Gleichstrom-Einfachmeßbrücke

Zum Messen von (ohmschen) Widerständen werden durchweg Gleichstrommeßbrücken verwendet. Bild 5/13, oben zeigt die grundsätzliche Schaltung einer

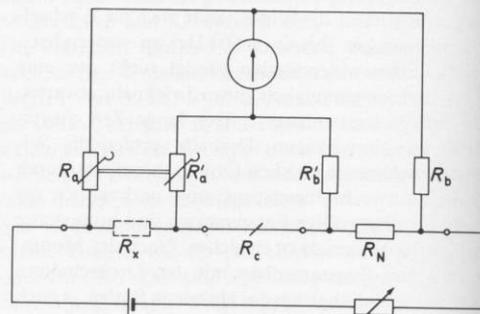
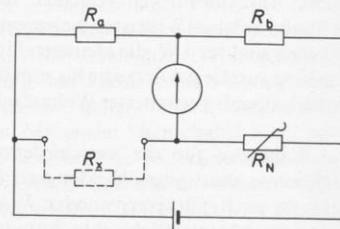


Bild 5/13. Meßbrücken-Prinzipschaltpläne

oben: Präzisions-Einfachmeßbrücke

(Wheatstone-Meßbrücke)

unten: Präzisions-Doppelmeßbrücke

(Thomson-Meßbrücke)

R_x zu messender Widerstand

R_N Vergleichswiderstand

R_a, R_b Verhältniswiderstände

R'_a, R'_b Überbrückungswiderstände

R_c Verbindungswiderstand

AEG Messwiderstände

Materialwerte vom Hersteller: Isabellenhütte (Dillenburg)

MANGANIN®				
Cu Mn 12 Ni				
Werkstoff-Nr. 2.1362				
Hauptbestandteile	Main components	Eléments principaux	Componentes principales	% Cu Ni Mn Cr 86 2 12 -
Spez. elektr. Widerstand bei 20° C	Electrical Resistivity at 20° C	Résistivité à 20° C	Resistividad a 20° C	0,43 $\frac{\text{Ohm} \times \text{mm}^2}{\text{m}}$
Mittlerer Temperaturbeiwert des elektr. Widerstandes bei 20° C $\frac{1 \times 10^{-6}}{\text{Grad}}$	Temp. Coeff. of resistance at 20° C $\frac{1 \times 10^{-6}}{\text{°C}}$	Coeff. de temp. de la résistance à 20° C $\frac{1 \times 10^{-6}}{\text{°C}}$	Valor del coeficiente de temp. de la resistencia a 20° C $\frac{1 \times 10^{-6}}{\text{°C}}$	< ± 10
Thermospannung gegen Kupfer zw. 0-100° C $\frac{\text{Microvolt}}{\text{Grad}}$	Thermal EMF vs. copper betw. 0-100° C $\frac{\text{microvolts}}{\text{per °C}}$	Force électromotrice par rapport au cuivre entre 0-100° C $\frac{\text{Microvolt}}{\text{Degré C}}$	Fuerza electromotriz con respecto a Cu entre 0 y 100° C microvolt/° C	- 0,6
Mittlere lineare Wärmedehnzahl x 10 ⁻⁶ zw. 20-100° C $\frac{1}{\text{Grad}}$	Coeff. of thermal linear expansion x 10 ⁻⁶ betw. 20-100° C per ° C	Coeff. moyen d'extension thermique x 10 ⁻⁶ entre 20-100° C $\frac{1}{\text{Degré C}}$	Coeficiente medio de expansión lineal térmica x 10 ⁻⁶ entre 20 y 100° C por ° C	18
Schmelzpunkt Grad C	Melting Point ° C	Point de fusion ca. Degré C	Punto de fusión ° C	960
Dichte bei 20° C $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	Density at 20° C $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	Densité à 20° C $\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$	Densidad a 20° C g/cm ³	8,4

Auf einer der nächsten Seiten sind zwei Beispiele von Herstellerprüfprotokolls zu sehen. Die Seriennummern wurde gekürzt.

AEG Messwiderstände

Widerstand Typ	Klasse	Abgleich 10^{-6}	typ. Wert 10^{-6}	Meß-unsicherheit 10^{-6}	Zeitkonstante T μs	max. Strom in Luft A	max. Strom in Petroleum A	Widerstand zwischen Potentialstelle und Anschlußklemme für	
								Strom $\mu\Omega$	Spannung $\mu\Omega$
WLN 1	0,01	50	30	20	-0,3...-0,8	0,009	0,01	2×20	2×20
WLN 2	0,01	50	30	20	+0,1...+0,2	0,03	0,1	2×20	2×20
WLN 3	0,01	50	30	20	$\pm 0,05$	0,1	0,3	2×20	2×20
WLN 4	0,01	50	30	20	-0,1	0,3	1	2×20	2×20
WLN 5	0,01	50	30	20	$\sim +0,2$	1	3	2×20	2×20
WLN 6	0,01	50	30	20	$\sim +1$	3	10	2×20	2×20
WLN 7	0,01	50	30	20	$\sim +3$	10	30	2×20	2×20
WLN 8	0,01	50	30	25	$\sim +9$	30	100	2×20	2×20
WLN 9	0,01	50	30	30		100	300	2×20	2×20
WLN 10	0,01	50	30	40		300	600	2×10	2×20

Wird die Bezugstemperatur t durch entsprechende Meßraumtemperatur oder durch Verwendung eines Thermostaten oder Petroleumbades so gewählt, daß sie nicht weiter als 3,5 K von t_{max} . (der Temperatur für das Maximum der Temperaturkurve) entfernt liegt, dann erfüllen die Normalwiderstände im allgemeinen sogar nach VDE 0410, Teil 4, die Bedingungen der Genauigkeitsklasse 0,005.

max. Strom bei Klasse 0,005

WLN 11	0,002	20	10	10	-0,3...-0,8	0,003	0,005	2×20	2×20
WLN 22	0,002	10	10	10	+0,1...+0,2	0,01	0,017	2×20	2×20
WLN 33	0,002	10	10	7	$\pm 0,05$	0,03	0,05	2×20	2×20
WLN 44	0,002	10	10	5	-0,1	0,1	0,175	2×20	2×20
WLN 55	0,002	10	10	7	$\sim +0,2$	0,3	0,55	2×20	2×20
WLN 66	0,002	10	10	5	$\sim +1$	1	1,75	2×20	2×20
WLN 77	0,002	20	10	10	$\sim +3$	3	5,5	2×20	2×20
WLN 88	0,002	20	10	15	$\sim +9$	10	17,5	2×20	2×20
WLN 99	0,002	20	10	20		30	55	2×20	2×20
WLN 110	0,005	30	10	25		100	175	2×10	2×20

Wird die Bezugstemperatur t durch entsprechende Meßraumtemperatur oder durch Verwendung eines Thermostaten oder Petroleumbades so gewählt, daß sie nicht weiter als 3,5 K von t_{max} . (der Temperatur für das Maximum der Temperaturkurve) entfernt liegt, dann erfüllen die Normalwiderstände im allgemeinen sogar nach VDE 0410, Teil 4, die Bedingungen der Genauigkeitsklasse 0,001.

Wicklungen des 1 Ohm Normalwiderstands



AEG

ALLGEMEINE ELEKTRICITÄTS-GESELLSCHAFT
FABRIKEN REINICKENDORF

Prüfprotokoll

für Normalwiderstand Nr 52

100 Ω abs

Der Normalwiderstand besteht aus **Manganin** und ist entsprechend den Bedingungen der Bekanntmachung über die Beglaubigung elektrischer Präzisionswiderstände vom 24. März 1939 (Amtsblatt der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt 15. Reihe Nr 3 S. 54) einschließlich 1. Ergänzung vom 8. März 1946 und 3. Ergänzung vom 1. März 1950 gefertigt.

Der Normalwiderstand darf bei Verwendung in Luft mit maximal 0,3 A belastet werden.

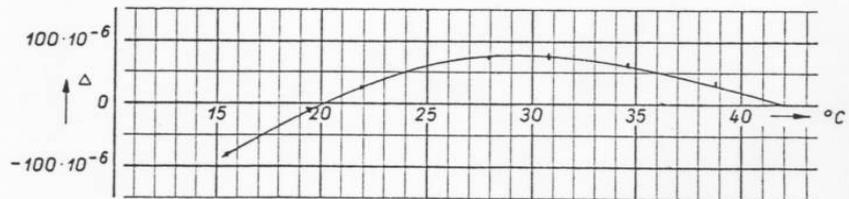
In Petroleum ist mindestens der 3-fache Wert zulässig, wenn durch ausreichende Wärmeableitung die Übertemperatur $< 15^\circ\text{C}$ gehalten wird.

Der Widerstandswert, gemessen in Petroleum bei 20°C bei einer Belastung $< 1\text{ W}$, beträgt:

$$R_{20} = 100,00_0 \quad \Omega \text{ abs}$$

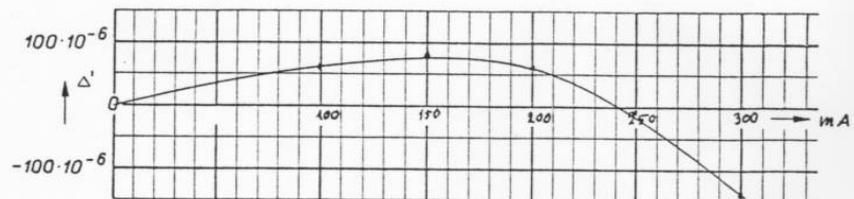
Änderung des Widerstandes
(Belastung $< 1\text{ W}$)
in Abhängigkeit von der
Temperatur

$$R_t = R_{20} (1 + \Delta)$$



Änderung des Widerstandes
in Abhängigkeit von der
Belastung in Luft nach
einer Belastungsdauer von
etwa 90 Minuten bei einer
Meßraumtemperatur von
etwa 20°C

$$R_{\text{bei}} = R_{20} (1 + \Delta')$$



Berlin-Reinickendorf, den 13. 3. 62

AEG-FABRIKEN REINICKENDORF
Meßgeräte-Prüffeld

Stup

Der Normalwiderstand soll über möglichst lange Zeit praktisch konstant bleiben. Es empfiehlt sich daher, ihn in geschlossenen Räumen bei möglichst konstanter Temperatur ($20^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$) und — besonders bei Widerständen $\approx 100\ \Omega$ — einer mittleren relativen Luftfeuchtigkeit aufzubewahren. Man kann daher Normalwiderstände z. B. in einem luftdicht verschließbaren Kasten aufbewahren, in dem zur Erhaltung einer Luftfeuchtigkeit von etwa 50% sich ein Schälchen mit einer Lösung von H_2SO_4 und H_2O (45 Gew.-Teile H_2SO_4 auf 100 Teile der Lösung) befindet.

AEG Messwiderstände

Technische Werte 10-W-Typ

Nennstrom I_n bei Aufstellung in ruhender Luft von 20 °C	Maximalstrom bei Kühlung durch Petroleum von 20...30 °C	Nennwert Ω	Abweichung vom Nennwert bei 20 °C (R_{20})	Angabe von R_{20} ist im Prüfschein gerundet auf	Wert für R_{20} ist als sicher anzusehen auf	Abweichung von R_{20} bei					Gew.	E-Nr	Preis ¹⁾				
						Aufstellung in ruhender Luft von 20 °C und Belastung mit				25 °C				30 °C			
						10 % (~0.1W)	30 % (~1 W)	70 % (~5 W)	100 % I_n (~10 W)								
A	A	Ω									kg	446-022-	DM				
300	600	10^{-4}	$\pm 50 \times 10^{-6}$ (± 50 ppm)	10×10^{-4}	20×10^{-4}	0	+20... +50 $\times 10^{-4}$	+50... +200 $\times 10^{-4}$	-300 ...0 $\times 10^{-4}$	+20... +80 $\times 10^{-4}$	+20... +120 $\times 10^{-4}$	1,9 1,2 1,1 0,8 1,1 1,0 0,9 0,9 0,9	111 112 113 114 115 116 117 118 119 120	645,- 535,- 445,- 425,- 375,- 360,- 360,- 355,- 355,- 380,-			
Temperaturkoeffizient bei 20 °C			$10 \dots 15 \times 10^{-4}/\text{grad}$			Widerstandsmaximum bei			$30 \dots 36 \text{ °C}$			Obertemperatur bei Aufstellung in Luft			$\sim 3 \text{ grad/W}$		
Maximale Obertemperatur in Luft			$\sim 30 \text{ grad}$														

Technische Werte 1-W-Typ

Nennstrom I_n bei Aufstellung in ruhender Luft von 20 °C	Nennwert Ω	Abweichung vom Nennwert bei 20 °C (R_{20})	Angabe von R_{20} ist im Prüfschein gerundet auf	Wert für R_{20} ist als sicher anzusehen auf	Abweichung von R_{20} bei Aufstellung in ruhender Luft von 20 °C und Belastung mit I_n	Temperaturkoeffizient		Widerstandsmax. bei	Über-temperatur bei I_n	Gew.	E-Nr	Preis ¹⁾
						bei						
						20 °C	25 °C					
A	Ω									kg	446-022-	DM
100	10^{-4}	$\pm 50 \times 10^{-6}$	1×10^{-4}	20×10^{-4}	$-15 \dots +25 \times 10^{-4}$	$0 \dots +5$	$-5 \dots +1$	$20 \dots 27 \text{ °C}$	$\sim 3 \text{ grad}$	1,9	131	770,-
30	10^{-3}	$\pm 20 \times 10^{-6}$		20×10^{-4}	$-15 \dots +25 \times 10^{-4}$	$\times 10^{-4}/\text{grad}$	$\times 10^{-4}/\text{grad}$			1,2	132	670,-
10	10^{-2}	$\pm 20 \times 10^{-6}$		20×10^{-4}	$-20 \dots +50 \times 10^{-4}$					1,1	133	580,-
3	10^{-1}	$\pm 20 \times 10^{-6}$		20×10^{-4}	$-20 \dots +50 \times 10^{-4}$					0,8	134	550,-
1	1	$\pm 10 \times 10^{-6}$		5×10^{-4}	$-15 \dots +25 \times 10^{-4}$					1,1	135	510,-
0,3	10	$\pm 10 \times 10^{-6}$		5×10^{-4}	$-15 \dots +25 \times 10^{-4}$					1,0	136	510,-
0,1	10^2	$\pm 20 \times 10^{-6}$		20×10^{-4}	$-15 \dots +25 \times 10^{-4}$					0,9	137	495,-
0,03	10^3	$\pm 20 \times 10^{-6}$		20×10^{-4}	$-15 \dots +25 \times 10^{-4}$					0,9	138	490,-
0,01	10^4	$\pm 20 \times 10^{-6}$		20×10^{-4}	$-15 \dots +25 \times 10^{-4}$					0,9	139	490,-
0,003	10^5	$\pm 20 \times 10^{-6}$		20×10^{-4}	$-15 \dots +25 \times 10^{-4}$					0,9	140	520,-

1) Alle Preise für Normalwiderstände einschließlich AEG-Prüfprotokoll; Mehrpreis für PTB-Prüfschein entsprechend Gebührenordnung der PTB.

Frequenzgang der Normalwiderstände nach Messungen der PTB von Dr. Ramm 1980

Grundsätzlich sind diese Widerstände nur für Gleichstrom geeignet.

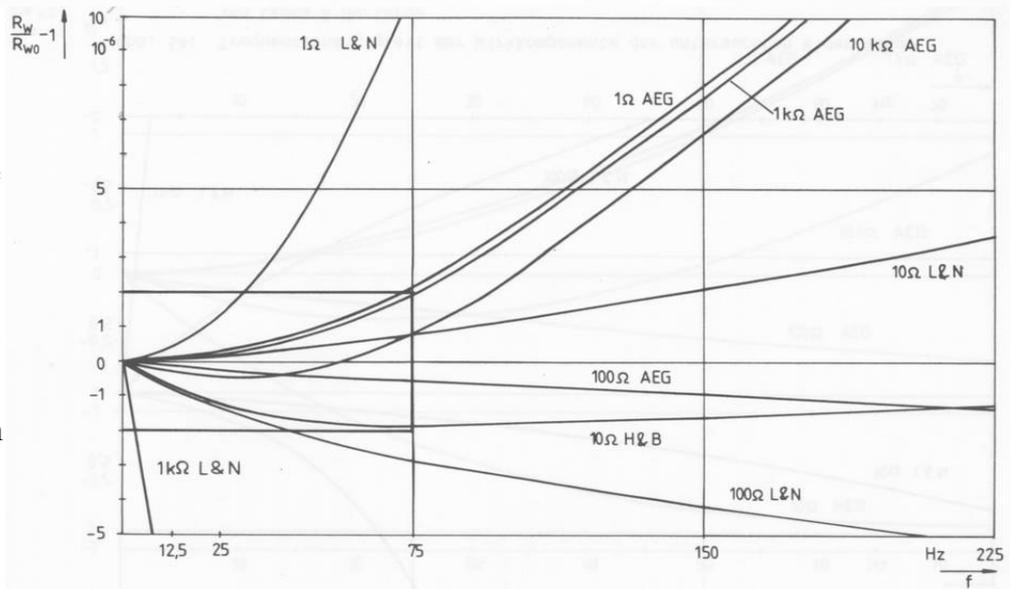


Abb. 53: Frequenzabhängigkeit der Wirkkomponente der untersuchten Gleichstrom-Präzisionswiderstände (s. auch Abb. 54 und 55)



1. Hausnormal

Das Hausnormal besteht aus einem Satz von 10-Normalwiderständen. Diese Widerstände werden in konstantem Klima aufbewahrt und dienen, außer zum Anschluß an das PTB-Normal, nur zum Aufbau der Gebrauchsnormale.

2. Relative Meßunsicherheit

Sie gibt an, mit welcher Unsicherheit der Prüfling an das Hausnormal angeschlossen wurde und enthält die Meßunsicherheit zwischen Haus- und Gebrauchsnormal, sowie zwischen Gebrauchsnormal und Prüfling.

3. Temperaturabhängigkeit

Der spezifische Widerstand des Manganins steht nicht in einem einfachen Verhältnis zur Temperatur. Der Temperaturkoeffizient, das ist der partielle Differentialquotient $\alpha = \partial R / \partial t$, ist seinerseits eine Funktion der Temperatur. Im Gebiet der Arbeitstemperatur des Normalwiderstandes werden die Zusammenhänge durch folgende Gleichung dargestellt:

$$R_t = R_0 [1 + \alpha_0 (t - t_0) + \beta (t - t_0)^2] \quad (1)$$

Hierin bedeutet:

- R_t Widerstandswert bei der Temperatur t
- R_0 Bezugswert des Widerstandes (z. B. R_{20})
- t_0 zugehörige Bezugstemperatur (z. B. 20°C)
- α_0 Temperaturkoeffizient $\partial R / \partial t$ bei Bezugstemperatur (z. B. α_{20})
- β im gesamten Temperaturbereich gültige Konstante, deren mittlerer Wert $-0,5 \cdot 10^{-6}/\text{K}^2$ beträgt.

Die Widerstandstemperaturkurve im Prüfschein stellt diese Gleichung graphisch dar. Der Δ_t -Wert entspricht dem 2. u. 3. Term der Gleichung.

Das bei der Temperatur t_{max} liegende Widerstandmaximum ist durch einen roten Strich gekennzeichnet. An dieser Stelle ist der Temperaturkoeffizient $\alpha = 0$. Hiervon ausgehend läßt sich der Temperaturkoeffizient für jede andere Betriebstemperatur t nach folgender Gleichung ermitteln:

$$\alpha_t = -2\beta (t - t_{\text{max}}) \quad (2)$$

Beispiel: $t = 25^\circ\text{C}$, $t_{\text{max}} = 23^\circ\text{C}$, $\beta = -0,5 \cdot 10^{-6}/\text{K}^2$

$$\alpha_{25} = 2 \frac{-0,5 \cdot 10^{-6}}{\text{K}^2} (25 - 23) \text{ K}$$

$$= -2 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{K}}$$

K ist die Internationale Einheit der Temperatur. Auf den Schmelzpunkt des Eises bezogene Temperaturwerte werden jedoch mit $^\circ\text{C}$ bezeichnet. K-Schritte und Gradschritte der Celsiuskala sind identisch, deshalb werden Differenzen zweier Temperaturwerte auch in K angegeben.

4. Luftfeuchtigkeit

Die für die hohe Konstanz des Normalwiderstandes während seiner Lagerung notwendige Luftfeuchtigkeit stellt sich z. B. in einem luftdicht verschließbaren Behälter, in dem sich eine Schale mit verdünnter Schwefelsäure (45 Gew.-Teile H_2SO_4 , 55 Gew.-Teile H_2O) befindet, automatisch auf ca. 50% ein.

5. Zeitkonstante

Die Zeitkonstante wurde im Substitutionsverfahren bei 2000 Hz gemessen. Ist sie im Prüfschein nicht besonders angegeben, gelten folgende typische Werte:

Normalwiderstand Ω	0,01	0,1	1	10	100
Zeitkonstante μs	+9	+3	+1	+0,2	-0,1

Prüfschein

Normalwiderstand

Hartmann & Braun · Meß- und Regeltechnik

Normalwiderstand Typ 1W.

Nennwert: 10 000 Ω_{abs} Fertigungsnummer: 88
 Klasse: 0,002

Der Normalwiderstand besteht aus MANGANIN®. Er entspricht den Bestimmungen für elektrische Meßgeräte VDE 0410 Teil 4 „Gleichstrom-Präzisionswiderstände“ sowie den Bedingungen der Bekanntmachung über die Beglaubigung elektrischer Präzisionswiderstände vom 24. März 1939 (Amtsblatt der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt 15. Reihe, Nr. 3, S. 54) einschließlich 1. Ergänzung vom 8. März 1946 und 3. Ergänzung vom 1. März 1950.

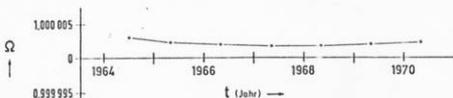
Der Normalwiderstand ist auf besser als $10 \cdot 10^{-4}$ seines Nennwertes abgeglichen.

Die Prüfung des Normalwiderstandes wurde bei 20°C vorgenommen. Der Meßstrom betrug 2 mA . Da diese Normalwiderstände sich bei Belastung nur um etwa 3 K je Watt erwärmen, ist die Messung praktisch ohne Eigenwärmerung durchgeführt worden.

Im Vergleich (mit dem Hausnormal¹⁾) wurde mit einer relativen Meßunsicherheit²⁾ von $10 \cdot 10^{-4}$ folgender Wert gemessen:

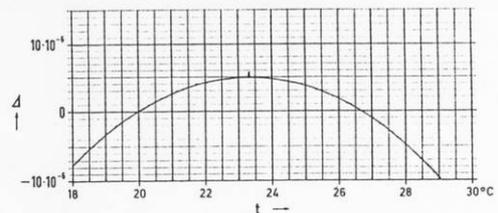
Widerstandswert $R_{20} = 10\,000,02 \Omega_{\text{abs}}$

Das Hausnormal wird regelmäßig mit dem Normal der PTB, Institut Herlin, verglichen. Der Vergleich wird mit einer relativen Meßunsicherheit von $1 \cdot 10^{-4}$ durchgeführt. Die Stammwiderstände des Hausnormals verändern ihre Werte untereinander pro Jahr um weniger als $2 \cdot 10^{-4}$.



Widerstandsänderung des 10- Ω -Hausnormals in Abhängigkeit von der Zeit

Der Normalwiderstand wurde außerdem bei mindestens vier Temperaturen zwischen 18 und 30°C gemessen³⁾. Relative Meßunsicherheit bei den Widerstandsmessungen $1 \cdot 10^{-4}$. Unsicherheit bei den Temperaturbestimmungen kleiner als $0,2 \text{ K}$. Die Meßergebnisse sind graphisch dargestellt.



Änderung des Widerstandes in Abhängigkeit von der Temperatur

$$R_t = R_{20} (1 + \Delta_t)$$

Für die Umrechnung des Widerstandswertes R_{20} nach Gleichung (1) S. 4 in Widerstandswerte für andere Temperaturen gelten:

$$\alpha_{20} = 2,97 \cdot 10^{-6}/\text{K} \quad \beta = -0,45 \cdot 10^{-6}/\text{K}^2$$

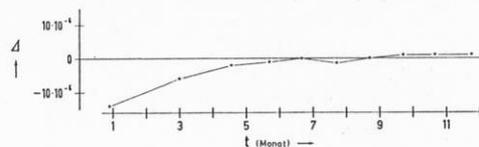
Hiernach ergibt sich für $t = 25^\circ\text{C}$:

$$\alpha_{25} = -1,53 \cdot 10^{-6}/\text{K} \quad R_{25} = 10\,000,06 \Omega_{\text{abs}}$$

Der Normalwiderstand ändert seinen Wert im ersten Jahr um weniger als $5 \cdot 10^{-4}$, wenn er bei konstanter Temperatur ($20^\circ\text{C} \pm 10 \text{ grd}$) und einer relativen Luftfeuchtigkeit⁴⁾ von etwa 50% aufbewahrt wird. Er darf während dieser Zeit auch nicht mit mehr als 3 W belastet werden.

Diese kleine zeitliche Widerstandsänderung, die von Jahr zu Jahr geringer wird, läßt sich aus dem Verhalten des Widerstandes während der Fertigung ableiten.

Die graphische Darstellung gibt die für den Verlauf der zeitlichen Alterung typischen Werte an.



Widerstandsänderung in Abhängigkeit von der Alterungszeit

Die Zeitkonstante⁵⁾ beträgt bei diesem Normalwiderstand $\tau = +151 \text{ ns}$

26.6.1970 Datum

Technische Qualitätskontrolle
 I.A. *[Signature]*