

Über Hochohmwiderstände und ein neues Verfahren zu ihrer Prüfung.

Von G. Leithäuser.

Hochohmwiderstände benutzt man in der Hochfrequenztechnik seit der Einführung des Audions als Ableitungswiderstände am Gitterkondensator. Sie erschienen in der Praxis als „Silitwiderstände“, bestehend der Hauptsache nach aus Siliziumkarbid. Im Laufe des Krieges wurde unabhängig voneinander an mehreren Stellen, so auch vom Verfasser, der Widerstandsverstärker gefunden, bei dem man diese leicht greifbaren Widerstände zunächst einsetzte. Aber es zeigten sich sehr bald Mängel, auf die vom Verfasser bereits im Jahre 1919 hingewiesen wurde¹⁾. Es zeigte sich damals bereits, daß sich durch Feuchtigkeitseinflüsse eine Elektrolythaut ausbilden kann, die den Widerstandswert erheblich fälscht. Schon damals wurde auch auf Widerstände aus dünnen Metallschichten hingewiesen, deren Herstellung durch Kathodenzerstäubung später gelungen ist. Mit der Einführung des Rundfunks und der Vielfachanwendung der Hochohmwiderstände in Widerstandsverstärkern stieg das Bedürfnis nach einwandfreien Gebilden dieser Art in starkem Maße. Es erschienen bald im Handel Fabrikate, bei welchen die Stromführung durch eine leitende Materialschicht auf einem isolierenden Träger erfolgte. Selbstverständlich war es nicht einfach, eine Widerstandskonstruktion zu finden, welche den in der Praxis auftretenden Bedingungen völlig genüge, und erst die Ausbildung zahlreicher Prüfmethoden hat es erlaubt, Widerstände auf den Markt zu bringen, die selbst an wichtigen Stellen von Empfängern und Verstärkern eingeschaltet, sich den verschiedenen Betriebsbedingungen anpassen und kein Versagen des Gerätes aufkommen lassen.

Von den zahlreichen Bedingungen, die die Güte eines Hochohmwiderstandes für Zwecke der Hochfrequenztechnik ausmachen, sind die wichtigsten Widerstandskonstanz und geringer Temperaturkoeffizient, hohe Belastbarkeit, Fehlen von Phasenwinkeln und dielektrischer Nachwirkung, Freiheit

von Mikrophongerauschen, kurzzeitige Überlastbarkeit und große Lebensdauer²⁾.

Bei den Handelsfabrikaten der Hochohmwiderstände aus leitender Schicht auf isolierendem Material besteht die Widerstandsschicht meistens aus Kohlenstoff, aus Karbiden oder aus Metalloxyden. Bei allen diesen Stoffen ist Feuchtigkeitseinfluß zu erwarten. Durch geeignete Behandlung der Widerstandsmasse kann man denselben weit zurückdrängen. Es ist hierfür zumeist Behandlung in besonderen Kammern bei 20° C. und 100 % rel. Luftfeuchtigkeit nötig, wobei sich die Beobachtungen der Änderungen über lange Zeiten erstrecken müssen. Bei der Herstellung geeigneten chemischen Materials sowie seiner Behandlung und Prüfung ist das Vorgehen der Steatit-Magnesia A. G. im Dralowid-Werk vorbildlich gewesen.

Die Verbindung der leitenden Schicht mit der isolierenden Trägermasse wird besondere Schwierigkeiten machen und auch die Güte des Widerstandes in hohem Maße beeinflussen. In Verbindung mit der Gestalt ist dieser Punkt für die Belastbarkeit maßgeblich. Die abzustrahlenden Wärmemengen sind wegen der üblichen geringen Größe schwer unterzubringen. Man ist bereits dazu übergegangen, bei Hochohmwiderständen in Kraftverstärkern Leistungen bis zu $\frac{1}{2}$ W/cm² abzugeben. Die dabei auftretende Übertemperatur muß von dem Widerstand so weit ertragen werden, daß keine dauernde Veränderung seines ursprünglichen Wertes nach Aufhören der Belastung zurückbleibt. Ferner sind auch geringe Temperaturkoeffizienten des Widerstandes notwendig. Da die Temperaturkoeffizienten der Hochohmwiderstände wegen des verwendeten Materials meist negativ sind, ist es zweckmäßig, sie so klein wie möglich zu halten, da sonst bei geringer Überlastung der Widerstand immer kleiner wird, wodurch der Strom anwächst und der Widerstand schließlich durchbrennen kann. In Abb. 1 sind

¹⁾ G. Leithäuser, Jahrb. drahtl. Tel. 14, S. 156.

²⁾ Riepka, V. D. E. Fachberichte 1928, S. 91.

Tafel 1.

0,1 Watt			0,4 Watt			0,8 Watt			1,0 Watt		
R	E	I	R	E	I	R	E	I	R	E	I
Meg.-Ohm	Volt	Milliamp.	Meg.-Ohm	Volt	Milliamp.	Meg.-Ohm	Volt	Milliamp.	Meg.-Ohm	Volt	Milliamp.
0,01	31,6	3,16	0,01	63,3	6,33	0,01	89,5	8,95	0,01	100	10,0
0,02	44,7	2,24	0,02	89,5	4,47	0,02	126,6	6,33	0,02	141,5	7,1
0,025	50	2,00	0,025	99,3	3,97	0,025	140,4	5,61	0,025	158	6,33
0,03	54,8	1,83	0,03	109,6	3,65	0,03	155	5,17	0,03	173	5,77
0,05	70,7	1,41	0,05	141,4	2,83	0,05	200	4,00	0,05	223,5	4,47
0,07	83,7	1,19	0,07	167,4	2,39	0,07	236,7	3,38	0,07	264,5	3,78
0,1	100	1,00	0,1	200	2,00	0,1	282,8	2,83	0,1	316	3,16
0,2	141,4	0,71	0,2	282,8	1,41	0,2	400	2,00	0,2	447	2,23
0,3	173	0,58	0,3	346,4	1,15	0,3	489,8	1,64	0,3	548	1,83
0,5	223	0,45	0,5	447	0,90	0,5	633	1,27	0,5	707	1,41
1,0	316	0,32	1,0	633	0,63	1,0	895	0,89	1,0	1000	1,00
1,5	387	0,26	1,5	775	0,52	1,5	1096	0,73	1,5	1225	0,82
2,0	447	0,22	2,0	894	0,45	2,0	1260	0,93	2,0	1415	0,71
2,5	500	0,20	2,5	1000	0,40	2,5	1415	0,57	2,5	1582	0,63
3,0	548	0,18	3,0	1096	0,37	3,0	1550	0,52	3,0	1733	0,58
4,0	633	0,16	4,0	1260	0,32	4,0	1782	0,45	4,0	2000	0,50
5,0	707	0,14	5,0	1415	0,28	5,0	2000	0,40	5,0	2235	0,45
10,0	1000	0,10	10,0	2000	0,20	10,0	2828	0,28	10,0	3160	0,32

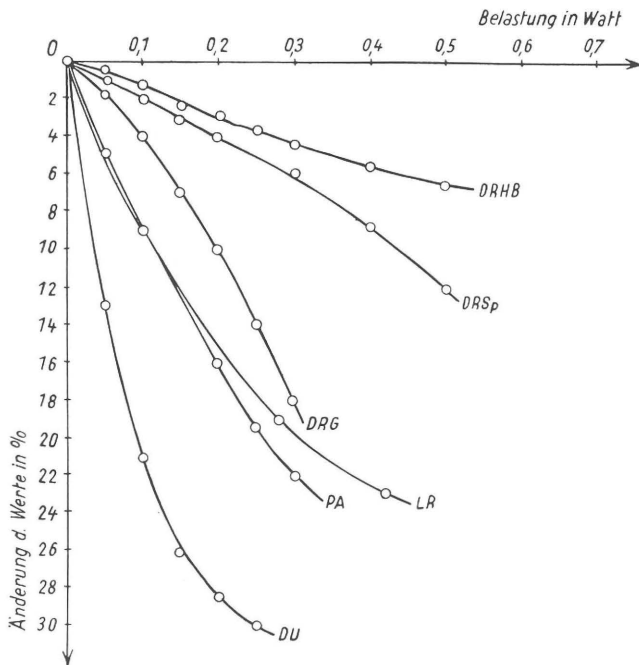


Abb. 1. Widerstandsänderung mit der Belastung bei verschiedenen Fabrikaten.

die prozentischen Änderungen des Widerstandswertes als Funktion der Belastung für verschiedene handelsübliche Fabrikate aufgetragen. So ist beispielsweise bei dem Fabrikat D. U. der Widerstandswert bei einer Belastung mit 0,2 Watt schon auf $\frac{2}{3}$ seines Wertes gesunken. Auf die Bedeutung der ausreichenden Belastbarkeit ist vom Verfasser bereits im Jahre 1921 hingewiesen worden³⁾.

³⁾ G. Leithäuser, Jahrb. drahtl. Tel. 17, S. 29.

Eine handliche Berechnungstabelle für die Untersuchung der Belastungen gibt Tafel 1.

Wegen der elektrisch leitenden Schicht der Hochohmwiderstände, die aus einer Häufung elektrisch leitender Teilchen, die aneinander gelagert sind, besteht, treten bei Hochfrequenz leicht Erscheinungen auf, die für den Verwendungszweck nachteilig sein können. So kann eine elektrische Aufladung des gewissermaßen schwammigen Materials eintreten, durch welche eine Art dielektrischer Nachwirkung bedingt ist. Auf Grund der gleichen Ursache können die Widerstände in Verstärkern die Erscheinung des Rauschens zeigen. Es sind also besondere Prüfmethode erforderlich, um die Geräuschfreiheit fabrikmäßig hergestellter Widerstände zu garantieren. Ein solches Verfahren ist beispielsweise von Riepka⁴⁾ angegeben worden, welcher den Vergleich des Widerstandes bezüglich seiner Geräuscherzeugung in einer Meßanordnung durchführt, in der ein bestimmtes Geräusch durch den Barkhausenschen Umagnetisierungseffekt hervorgebracht wird.

In der Praxis wird die Widerstandsbestimmung der Fertigfabrikate meistens durch Gleichstrommessung vorgenommen. Da bei Widerständen von 100 000 und mehr Ohm nur noch sehr schwache Ströme beim Messen auftreten, so braucht man hochempfindliche Instrumente, von denen Kreuzspulinstrumente, die direkt den Quotienten von Spannung und Strom angeben, wohl

⁴⁾ Riepka, D. R. P. 460 440.

die geeignetsten sind. Dennoch scheint ein solches Prüfverfahren weniger geeignet zu sein, da die Widerstände bei ihrer Verwendung meist in Stromkreise eingesetzt werden, in denen Wechselströme, oft sehr hoher Frequenz, fließen. Auf Anregung der Steatit-Magnesia A.-G. hat daher der Verfasser ein anderes Verfahren entwickelt, zumal da aus der Praxis immer wieder Fälle gemeldet wurden, in denen Widerstände älteren Fabrikates, die nur schwache elektrische Belastung aufwiesen, bei Hochfrequenzempfang zerstört wurden. Es lag daher nahe, die Widerstände einer Hochfrequenzprüfung zu unterziehen.

Die ersten Versuche wurden mit einem Hochfrequenzgenerator von 10 Watt vorgenommen. Mit dem Schwingungskreis einer Röhre wurde ein abgestimmter Energieentziehungskreis gekoppelt, dessen Spannung sich durch eine parallelgeschaltete Serie von Prüf Widerständen ausglich. Die Anzahl der Widerstände wurde so bemessen, daß man die gesamte Stromstärke mit Thermoelement oder empfindlichem Hitzdrahtamperemeter messen konnte. Es zeigte sich sehr bald, daß sich die Widerstände je nach ihrer Herstellungsart oder ihrem Material verschieden verhielten. Einige Minuten der Belastung genügten bereits, um ihr Verhalten bei Hochfrequenz festzustellen. In der folgenden Zusammenstellung ist diese Tatsache deutlich erkennbar. In jeder Serie wurden zwei Widerstände für die Prüfung benutzt.

Serie A.	Vor Belastung	Nach Belastung
Wid. 1 . . .	488 000	485 000
Wid. 2 . . .	495 000	495 000
Serie B.		
Wid. 1 . . .	522 000	479 000
Wid. 2 . . .	498 000	468 000
Serie C.		
Wid. 1 . . .	495 000	469 000
Wid. 2 . . .	487 000	443 000
Serie D.		
Wid. 1 . . .	392 000	404 000
Wid. 2 . . .	388 000	420 000

Am besten und einwandfrei erweisen sich die Widerstände der Serie A, während bei den anderen Widerständen große Abweichungen auftreten, die diese zur Verwendung in Hochfrequenzkreisen wenig geeignet erscheinen lassen. Auf Grund dieser Erkenntnisse hat das Dralowidwerk sich

entschlossen, jeden fertiggestellten Hochohmwiderstand, der für Rundfunkzwecke verwendet werden soll, einer Hochfrequenzprüfung zu unterwerfen. Man findet auf diese Weise die „hochfrequenzkranken“ Exemplare sofort heraus. Es machen sich bei der Behandlung mit Hochfrequenzströmen die kleinsten Inhomogenitäten der leitenden Schicht sofort bemerkbar, indem sich an den betreffenden Stellen hohe Spannungsfälle ausbilden, welche stille Entladungen, Ionisation des umgebenden Gases zur Folge haben,

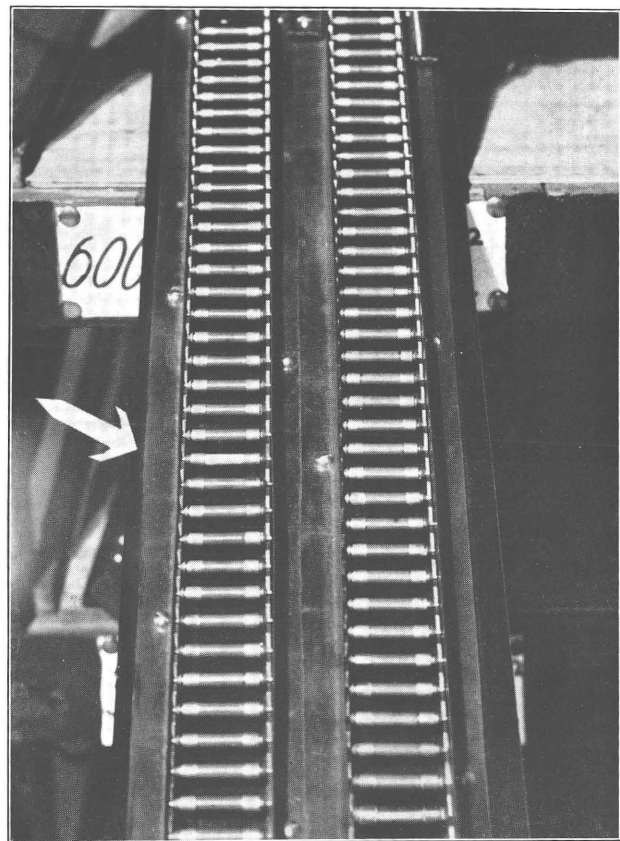


Abb. 2. Ausbrennen fehlerhafter Widerstände bei der Hochfrequenzprüfung.

die bei Fortdauer der Belastung sogar zu Glimm- oder Funkenentladungen ausarten können. Ein solcher Funkenübergang ist in Abb. 2 zu sehen, in welcher die zu prüfenden Widerstände in ihren Prüfhaltern zu sehen sind. Die Beobachtung der Leuchterscheinungen an solchen inhomogenen Stellen ist von großem Interesse. Es zeigt sich, daß von winzigen leuchtenden Pünktchen aus die Entladung zunächst meist in bläulicher Form sich immer mehr ausbreitet, um schließlich in helle Funkenentladungen überzugehen.

Die technische Durchführung verlangt erhebliche Hochfrequenzenergien. Für die Prüfung von 50 000 Stück mit 1 Watt Belastbarkeit wären bereits 50 kW einzusetzen. Man könnte mit Hochfrequenzmaschinen solche Leistungen wohl erreichen. Einfacher hingegen ist für diese Zwecke die Verwendung eines Löschfunkensenders, der sich ohne Gefahr überlasten läßt und auch zu keinen

schlauchisolierter Leitung dem Belastungsgestell zugeführt. Auf diesem werden die zu untersuchenden Widerstände mit Hilfe auswechselbarer Belastungsbretter in den Stromkreis eingeschaltet (Abb. 3). Das Gestell und die Belastungsbretter sind so bemessen, daß durch Aneinanderkoppeln neuer Einheiten eine Erweiterung in den Zeiten des Hochbetriebes möglich wird.



Abb. 3. Prüfstand für Hochfrequenzbelastung.

Störungen führt, da er keinen strahlenden Antennenkreis besitzt und nicht an Erde zu liegen braucht. Der Aufbau dieser Anordnung und die technische Durchführung ist von Riepka einwandfrei gelöst worden. Der Löschfunkensender wurde mit einer Sekundärspule ausgerüstet (Abb. 3), von der eine große Anzahl von Teilspannungen abgenommen werden kann. Die Höhe dieser Teilspannung läßt sich jeweilig einstellen. Bei Belastung tritt in diesen Teilspulen ein nur sehr geringer Spannungsabfall auf. Die Spannung wird mittels gummi-

Das Verfahren der Hochfrequenzbelastung zur Prüfung von Hochohmwiderständen hat sich in der Praxis sehr bewährt, so daß so geprüfte Widerstände, die in Hochfrequenzkreisen Verwendung finden, nicht mehr durchbrennen. Es führt auch zur Entdeckung von Störungen in der Fabrikation. So ist es eine wertvolle Ergänzung zu den bislang verwendeten Methoden der Prüfung geworden.

(Eingegangen am 22. Juni 1929.)