Einfluss des Papiers auf die Eigenschaften des Hartpapiers

Autor(en): **Schwaner, K. / Soós, R.**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins : gemeinsames Publikationsorgan des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins (SEV) und des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE)**

Band (Jahr): **58 (1967)**

Heft 3

PDF erstellt am: **31.05.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-916221

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Einfluss des Papiers auf die Eigenschaften des Hartpapiers

Von *K. Schwaner* und *R. Soós*, Budapest

621.315.614.61

In chemischer und in physikalischer Hinsicht verschiedene technische Papiere — acetyliertes Papier, mit Hadernzellstoff gemischtes und aus reinem Natronzellstoff hergestelltes Papier — wurden auf ihre Brauchbarkeit als Trägermaterial für die Herstellung hochwertiger Hartpapiere geprüft. Dabei wurde festgestellt, dass das acetylierte Papier in Kombination mit modifiziertem Cresol/Resolharz bezüglich seiner elektrischen Eigenschaften und der Feuchtigkeits- oder Wasserbeständigkeit über den anderen Papiersorten steht. Die elektrischen Eigenschaften und die Wasserbeständigkeit der mit Hadernzellstoff und technischen Natronzellstoffpapieren hergestellten Hartpapiere lassen sich durch eine Vorimprägnierung des Papiers mit einem wasserlöslichen Phenolharz verbessern; im allgemeinen aber erreichen sie nicht die Qualitätskennzahlen der mit acetyliertem Papier hergestellten Hartpapiere. Ferner wurde festgestellt, dass eine Zugabe von dehydratisiertem Rizinusöl bzw. mit diesem Öl gefertigten Alkydharzen zum Imprägnierharz einen negativen Einfluss auf die elektrischen Eigenschaften nur jener Hartpapierplatten ausüben, welche nicht aus acetyliertem Papier hergestellt wurden.

Des papiers techniques différents au point de vue chimique et physique — du papier acétylé, du papier mélangé à la pâte, aux chiffons et du papier de pâte cellulosique pure à la soude — ont été éprouvés au point de vue de leur aptitude en qualité de matériel-support pour la confection des stratifiés de haute qualité. Il fut constaté à cette occasion, que le papier acétylé, combiné à une résine résolique modifiée, dépasse de loin les autres sortes de papier du point de vue de ses propriétés électriques, de sa résistance à l'humidité et à l'eau. Les propriétés électriques et la résistance à l'eau des stratifiés confectionnés au moyen de pâte cellulosique, de pâte de chiffons et de papier à pâte de soude, peuvent être améliorées par une imprégnation préalable du papier au moyen d'une résine phénolique soluble dans l'eau; ce papier n'atteindra généralement pas les caractéristiques qualitatives des stratifiés confectionnés au moyen de papiers acétylés. Il fut en outre constaté, qu'une adjonction d'huile de ricin déshydratée, respectivement les résines d'imprégnation alkydes confectionnées à l'aide de cette huile, n'exerçaient une influence négative que sur les propriétés électriques des stratifiés ne provenant pas de papier acétylé.

1. Allgemeiner Teil

Hartpapier ist ein heterogen aufgebautes Material. Seine Hauptbestandteile sind Papier- und Harzbindemittel, welche auf die Ausbildung seiner Eigenschaften einen entscheidenden Einfluss ausüben.

Die Rolle des Harzbindemittels wurde vom Autor schon festgestellt; hier soll nur über Resultate im Zusammenhang mit einigen speziellen Papiersorten berichtet werden.

Die Eigenschaften des Hartpapiers werden in erster Linie durch die Papierqualität bestimmt. Diese wird wiederum durch die bei der Papierherstellung verwendeten Zellulosesorten, den Mahlgrad, die Konstruktion und das Arbeitsprinzip der papierherstellenden Maschinen usw. wesentlich beeinflusst. Die Versuche sind besonders ausgeprägt und günstig, wenn chemisch modifizierte Zelluloserohstoffe verarbeitet oder fertige Papiere nachträglich chemisch verändert werden.

Die chemische Veränderung der Papiere hat sich in letzter Zeit relativ gut eingeführt (Cyanoethylierung, Acetylierung). Dabei blockiert man partiell oder vollständig die Hydroxylgruppen der Cellulose, womit u. a. erreicht wird, dass sich die Feuchtigkeits- bzw. Wasseraufnahme und -Beständigkeit der Papiere und dementsprechend der daraus hergestellten Hartpapiere verbessert. Die elektrischen Eigenschaften werden bekanntlich durch Wasser ungünstig beeinflusst, weshalb zum Beispiel die chemische Veränderung diesbezüglich zweifellos als günstig angesehen werden kann. Was die Feuchtigkeitsaufnahme und elektrische Eigenschaften anbetrifft, weist das acetylierte Papier bessere Eigenschaften auf als das cyanoethylierte Papier. Die reduzierte Feuchtigkeitsaufnahme chemisch veränderter, insbesondere acetylierter Papiere ermöglicht ein schnelleres und leichteres Trocknen, garantiert die Masstoleranzen der Hartpapiere und verbessert deren dielektrische Eigenschaften [1; 2][1]).

Durch die sog. Vorimprägnierung des Papiers erzielt man eine Verbesserung bezüglich Wasseraufnahme ähnlich derjenigen, die durch eine chemische Veränderung des Papieres (Acetylierung) erreicht wird, wobei der Effekt allerdings nur

Eigenschaften der verwendeten Papiere

Tabelle I

Eigenschaften	Bezeichnung des Papiers			
	AP_1	AP_2	P_1	P_1
Gewicht g/m²	52	76	82	60...62
Dicke mm	0,075...0,085	0,13...0,14	0,14...0,16	0,08
Saughöhe[1]) II mm	0	0	35...40	16
I mm	0	0	28...32	15
Reisslänge II m	4220	4740	4000...4500	6000...6200
I m	3460	2315	2600...3200	4000...4400
Aschengehalt %	0,32	0,48	0,5...0,7	max. 1,0
Feuchtigkeit %	—	—	max. 7	7...8
Acetylierungsgrad %	34	38	0	0

[1]) nach *Klemm*, 10 min.

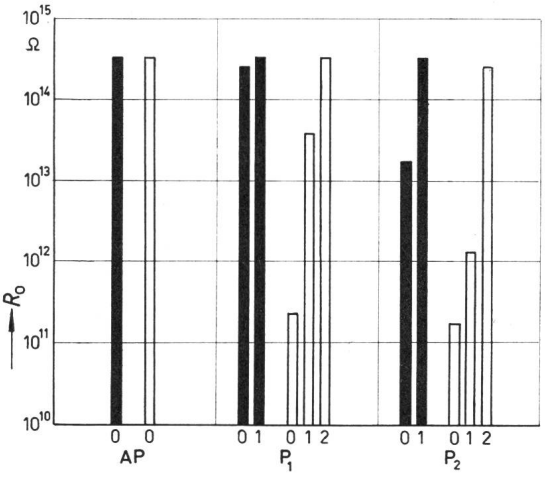


Fig. 1
Spezifischer Oberflächenwiderstand R_0 verschiedener und verschieden behandelter (imprägnierter) Papiere
AP acetyliertes Papier; P_1 Hadernzellstoff enthaltendes Papier; P_2 technisches Natronzellstoff-Papier
Vorbehandlung der Papiere: "a" "a + b" (Angaben siehe Tabelle II)
Bezeichnung der verwendeten Papiere und Harze siehe Tabellen I und II

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Elektrische Eigenschaften der verwendeten Papiere gemessen bei 20 °C, 50...60 % rel. F. nach ungarischer Norm MSZ 1691-60

Tabelle II

Harzgehalt und elektrische Eigenschaften	Bezeichnung des Papiers									
	AP_1		AP_2		P_1			P_2		
	0	2	0	2	0	1	2	0	1	2
Harzauftrag bei Vorimprägnierung					—	17...20		—	15...18	
Gesamtharzgehalt bezogen auf das Papiergewicht %	—	183	—		—		204	—		150
Harzanteil im Hartpapier %	—	64,5	—		—		67	—		60
Spezifischer Oberflächenwiderstand R_0 nach Vorbehandlung «a» Ω	$>5 \cdot 10^{14}$	$>5 \cdot 10^{14}$	$>5 \cdot 10^{14}$		$3...5 \cdot 10^{14}$	$>5 \cdot 10^{14}$	$>5 \cdot 10^{14}$	$2,7 \cdot 10^{13}$	$>5 \cdot 10^{14}$	$>5 \cdot 10^{14}$
nach Vorbehandlung «a + b» Ω	$>5 \cdot 10^{14}$	$>5 \cdot 10^{14}$	$>5 \cdot 10^{14}$		$2...5 \cdot 10^{11}$	$6 \cdot 10^{13}$	$4,4 \cdot 10^{14}$	$2,4 \cdot 10^{11}$	$1 \cdot 10^{12}$	$3,8 \cdot 10^{14}$
Dielektrischer Verlustfaktor tg δ bei 800 Hz $\cdot 10^{-4}$	58	69	—		200...400	68	128	450	182	55
Dielektrizitätskonstante ε bei 800 Hz	1,9	2,6	1,8		2,2...2,3	1,9	2,4	2,8	3,6	2,0

0 Papiere nicht imprägniert; *1* Papiere mit wasserlöslichem Phenolharz «VF 2» vorimprägniert; *2* Papiere vorimprägniert (wie *1*), dann mit Harz M-6171 durchimprägniert.

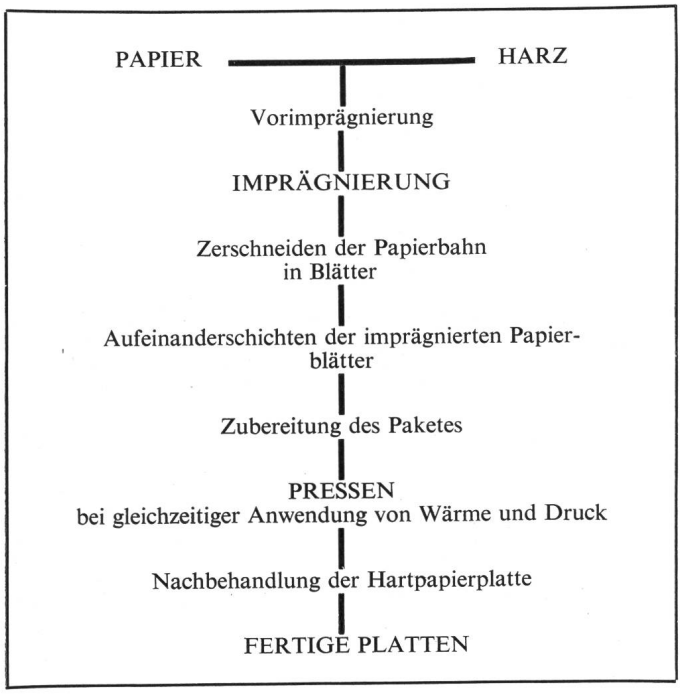
Vorbehandlung der Papiere mit Harzen: «*a*» während 4 h bei 70 °C; «*a+b*» während 4 h bei 70 °C und während 96 h bei 20 °C und 80 % rel. F.

in einer Verzögerung — im Gegensatz zu einer absoluten Reduktion im Falle der Acetylierung — besteht.

Unter Vorimprägnierung versteht man einen, dem eigentlichen Imprägnierungsvorgang vorangehenden Arbeitsprozess, bei welchem man das Papier, oder allgemein den Träger mit ca. 10...20 Gewichtsprozent der Lösung eines Harzes durchtränkt. Dieses erfährt eine Polykondensationsreaktion (Phenol-, Harnstoff-, Melamin-, Formaldehyd-Harz etc.). dringt leicht in die Kapillaren der Cellulosefaser ein und geht eventuell mit den Hydroxylgruppen der Cellulose eine chemische Bindung ein.

Schematische Darstellung der Arbeitsvorgänge bei der Herstellung von Hartpapieren

Tabelle III



In diesem Aufsatz wird über die eigenschaftsbildende Rolle der in der Herstellung von Hartpapieren angewandten technischen Papiersorten berichtet, welche in Ungarn zur Herstellung elektrisch hochwertiger Isolierstoffe benutzt werden.

Es wurden folgende Papiersorten verwendet:

1. Papier bestehend aus einem Gemisch von Hadernzellstoff und Sulphitzellstoff (bezeichnet mit P_1).
2. Technisches Natronzellstoffpapier (Bezeichnung P_2).
3. Acetyliertes Natronzellstoffpapier bezeichnet mit AP_1 bzw. AP_2).

Die Eigenschaften dieser Papiersorten sind in den Tabellen I und II zusammengestellt.

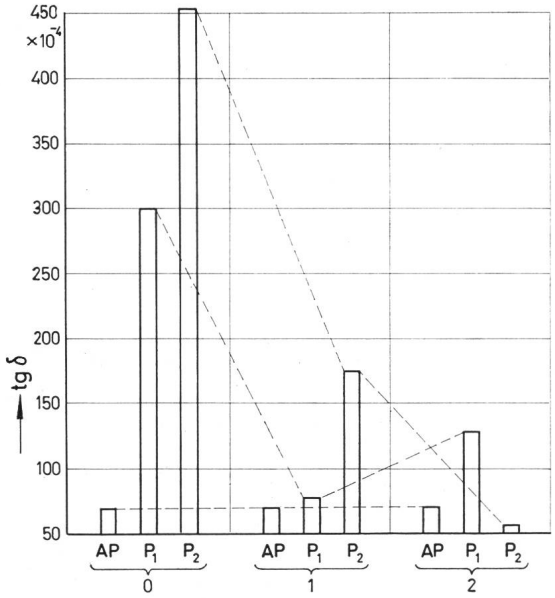


Fig. 2

Dielektrischer Verlustfaktor tg δ verschiedener und verschieden behandelter (imprägnierter) Papiere

Papiere vorbehandelt gemäss "a + b"

Weitere Bezeichnungen siehe Tab. I und II

2. Experimenteller Teil

Die Herstellung der Hartpapiere setzt sich aus mehreren Arbeitsvorgängen zusammen (Tabelle III). Während dieser Arbeit werden die Veränderungen der elektrischen Eigenschaften des Papiers, d. h. der aus Harz und Papier zusammengestellten Kombinationen bis zur Ausbildung der fertigen Hartpapierplatte, geprüft.

Bei der Herstellung der Hartpapierplatten hat man das Hadernpapier (P_1) und das technische Natronzellstoffpapier (P_2) mit einem wasserlöslichen Phenolharz [Typ *VF-2*[2]), Verhältnis Phenol zu Formaldehyd 1 : 1,5 (Ammoniak als Katalysator), chemisch vorbehandelt. Das acetylierte Papier hingegen wurde in seinem herkömmlichen Zustande verwendet.

Die vorbehandelten Papiere sowie das acetylierte Papier wurden mit den Lösungen der mit Epoxydharz modifizierten Cresol-Anilin-Formaldehyd-Resol-Harze (Bezeichnung M 554[2]) bzw. M 6171[2]) imprägniert. Das Lösungsmittel war eine Mischung von Aethanol und Cyklohexanon. Die Eigenschaften der nichtimprägnierten, vorimprägnierten und durchimprägnierten Papiere sind in Tabelle II wiedergegeben.

Eine bestimmte — der Dicke der fertigen Hartpapierplatte entsprechende Anzahl von imprägnierten Papierbogen — wurden zu einem Paket zusammengestellt und in einer Etagenpresse — bei gleichzeitiger Anwendung von Druck und Wärme (spezifischer Druck 90 kg/cm², Temperatur1 65...170 °C) — zu Platten verpresst. Die Eigenschaften der fertigen Platten sind in den Tabellen IVa und IVb aufgeführt. Diese Tabellen enthalten die Resultate zahlreicher Versuche mit den drei erwähnten Papiertypen und mit verschiedenen Imprägnierharzen. Zusammen mit den Figuren 3 und 4, welche sich auf Daten dieser Tabelle stützen, geht daraus der Zusammenhang hervor, welcher zwischen dem strukturellen Aufbau sowie der chemischen Natur der einzelnen Papiersorten und schliesslich den Eigenschaften des Hartpapiers bestehen.

[2]) Nähere Beschreibung dieser Harze:

VF-2: Phenol-Formaldehyd, Molverhältnis 1 : 1,5
Katalysator NH_4OH, 25%ige wässrige Lösung
Spezifisches Gewicht = 1,14...1,16 g/cm³
Viskosität nach Höppler bei 20 °C 36...80 cSt
Gehalt an Trockensubstanz 55...60 %
Gelzeit bei 160 °C 220...290 s

M-554: p-m-Cresol/Anilin/Formaldehyd,
Molverhältnis 1 : 0,145 : 1,76
Epoxydiertes Resolharz, 18...20 % (bezogen auf Cresolgewicht)
Katalysator NH_4OH, 25%ige wässrige Lösung
Erweichungspunkt 45...55 °C
Freies Cresolgehalt 9...11 %
Löslich in Benzol
Gelzeit bei 160 °C 265...400 s

M-6171: Harz «M-554» mit höherem Epoxydharzgehalt, indem man zu M-554 ein flüssiges Epoxydharz, z. B. Epikote 834, gelöst in Aceton, zugibt.
Erweichungspunkt des Harzes 44...50 °C
Gelzeit bei 160 °C 220...250 s

Mit verschiedenen Papieren und verschiedenen Imprägnierharzen hergestellte Hartpapiere

Tabelle IVa

Bezeichnung	Papier	Imprägnierharze	
A	AP_1	M-6171	
B	P_1	VF-2 + M-6171	
C	AP_1	M-554	
D	P_1	M-554	
E	P_1	VF-2 + M-554	
F	AP_1	M-6171	verändert mit dehydriertem Rizinusöl
G	P_1	VF-2 + M-6171	verändert mit dehydriertem Rizinusöl
H	AP_1	M-554	verändert mit 2% Nitrilkautschuk
I	P_1	VF-2 + M-554	verändert mit 2% Nitrilkautschuk
K	P_2	VF-2 + M-6171	
L	P_2	VF-2 + M-6171	

Eigenschaften der mit verschiedenen Papieren und verschiedenen Imprägnierharzen hergestellten Hartpapiere (gemessen bei 20 °C, 50...60 % rel. F.) nach ungarischer Norm MSZ 1691–60, (entspricht DIN 7735).

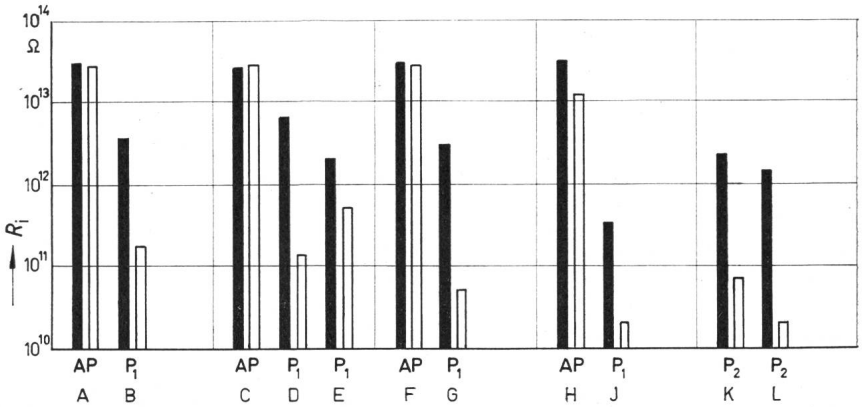
Tabelle IV b

Bezeichnung		A	B	C	D	E	F	G	H	I	K	L
Plattendicke	mm	1,5	1,66	1,79	1,70	2,67	1,48	1,47	1,45	1,55	1,56	1,48
Wasseraufnahme während 96 h	%	—	1,02	0,62	2,38	0,62	1,40	1,52	1,47	1,50	4,15	3,82
1)	mg	8,4	8,6	—	—	—	14,8	14,4	14,5	13,5	35,7	30,1
Innerer Widerstand R_i nach Vorbehandlung «a»	Ω	$>5\cdot10^{13}$	$5{,}46\cdot10^{12}$	$4\cdot10^{13}$	$8{,}03\cdot10^{12}$	$1{,}93\cdot10^{12}$	$>5\cdot10^{13}$	$2{,}46\cdot10^{12}$	$>5\cdot10^{13}$	$5{,}16\cdot10^{11}$	$3{,}53\cdot10^{12}$	$1{,}7\cdot10^{12}$
nach Vorbehandlung «a+b»	Ω	$4{,}6\cdot10^{13}$	$2{,}53\cdot10^{11}$	$4{,}3\cdot10^{13}$	$1{,}46\cdot10^{11}$	$6{,}43\cdot10^{11}$	$4{,}26\cdot10^{13}$	$7\cdot10^{10}$	$1{,}36\cdot10^{13}$	$2{,}63\cdot10^{10}$	$8{,}5\cdot10^{10}$	$3{,}06\cdot10^{10}$
Spezifischer Oberflächenwiderstand R_0 nach Vorbehandlung «a»	Ω	$>5\cdot10^{14}$	$1{,}8\cdot10^{14}$	—	$>5\cdot10^{14}$	$>5\cdot10^{14}$	$>5\cdot10^{14}$	$3{,}3\cdot10^{14}$	$3{,}0\cdot10^{14}$	$3{,}0\cdot10^{13}$	$1{,}5\cdot10^{14}$	$2{,}0\cdot10^{14}$
nach Vorbehandlung «a+b»	Ω	$3{,}7\cdot10^{14}$	$1{,}27\cdot10^{14}$	$>5\cdot10^{14}$	$3{,}15\cdot10^{14}$	$4{,}9\cdot10^{13}$	$>5\cdot10^{14}$	$3{,}4\cdot10^{10}$	$2{,}6\cdot10^{14}$	$6{,}33\cdot10^{11}$	$93\cdot10^{13}$	$2{,}0\cdot10^{14}$
Dielektrischer Verlustfaktor tgδ bei 800 Hz	$\cdot10^{-4}$	72	88	70	43	60	46	88	136	664	144	200
Dielektrizitätskonstante ε bei 800 Hz		3,7	4,1	3,8	3,3	3,5	3,0	3,7	3,6	4,5	4,3	4,2
Harzauftrag	%	184	173	174	122	156	151	46	150	145	154	160
Harzanteil im Hartpapier	%	68	64	64	55	61	60	59	60	58	61	62

[1]) gemessen nach British Standard 2706.

Die Bedeutung von a und b siehe Tabelle II.

Fig. 3
Widerstand zwischen Stöpseln verschiedener und mit verschiedenen Harzen hergestellter (imprägnierter) Hartpapiere
Bezeichnungen siehe Tab. I, II und IV



3. Auswertung der Resultate

Die Versuche hatten zum Ziel, über den Zusammenhang der Wasserabsorption mit den elektrischen Werten Aufschluss zu erhalten.

Zur Herstellung der für die Starkstrom- und Fernmeldetechnik geeigneten Hartpapier-Isolierstoffe dürfen nur Rohpapiere guter Qualität verwendet werden. Diese Forderung steht bei der Hartpapierfabrikation an erster Stelle. Ein ungeeignetes, zum Beispiel strukturell falsch aufgebautes Papier kann schon zum vornherein derart hohe Wasserabsorption und schlechte elektrische Eigenschaften besitzen, dass keine chemische oder irgendeine andere Nachbehandlung eine wirksame Verbesserung mehr bringen kann. Deshalb kommt der Auswahl der richtigen Papiersorten allergrösste Bedeutung zu.

Die drei geprüften Papiersorten unterscheiden sich voneinander in ihrer Morphologie und chemischen Struktur. Wie aus Tabelle I ersichtlich ist, zeigen die drei Papiersorten einen grossen Unterschied hinsichtlich der Wasserabsorption. Die Figuren 1 und 2 weisen auf die spezifischen Unterschiede des Oberflächenwiderstandes R_0 und des dielektrischen Verlustfaktors tgδ hin. Das acetylierte Papier (AP) besitzt die günstigsten Werte und die anderen zwei Papiersorten (P_1 und P_2) müssten, um dieselben Werte zu erreichen, chemisch vorbehandelt oder vorimprägniert werden. Die Werte des Oberflächenwiderstandes R_0 gemessen nach der Vorbehandlung «a + b» Fig. 1) zeigen deutlich die Vorteile der acetylierten Papiere. Man ersieht daraus, dass die Papiere P_1 und P_2 erst nach Durchtränken mit Imprägnierharz, jedoch noch nicht durch das Vorimprägnieren die Werte der acetylierten Papiere erreichen können. Daraus folgt, dass die chemische Veränderung — insbesondere die Acetylierung — der Zellulose eine wichtige Rolle für die Reduktion der Wasserabsorption sowie für eine Verbesserung der elektrischen Eigenschaften spielt. Im gleichen Sinne, jedoch im allgemeinen nicht so ausgeprägt, wirkt eine Phenolharzvorbehandlung, deren positiver Einfluss damit erklärt werden kann, dass das Harz die Zellulosefaser umgibt und die Hohlräume zwischen den Fasern ausfüllt, wodurch die Möglichkeit des Eindringens der Feuchtigkeit verringert wird [1].

Die erhaltenen Resultate zeigen naturgemäss eine gewisse Streuung, weshalb die mitgeteilten Daten nicht als absolute Werte sondern nur als Werte informativer Natur zu betrachten sind. Fig. 3 und 4 geben Werte des Widerstandes zwischen Stöpseln (R_i) und des Oberflächenwiderstandes (R_0) wieder. Die Papiere P_1 und P_2 wurden in allen Fällen mit VF-2-Harz vorimprägniert. Ausser den Harzen M-554 und M-6171 als Imprägnierharz, wurden auch mit dehydratisiertem Rizinusöl und Nitrilkautschuk modifizierte Formulierungen verwendet.

Obwohl für die verschiedenen Papiere das gleiche Verfahren zur Imprägnierung angewandt wurde, erreichen die mit den Papieren P_1 (Hadernpapier + Sulfitzellulose) und P_2 (Natronzellulose) hergestellten Hartpapiere bezüglich Widerstand zwischen Stöpseln bei weitem nicht die Werte von Hartpapierplatten mit acetyliertem Papier.

Naturgemäss sind die Unterschiede noch grösser nach einer Vorbehandlung «a + b» (siehe Tab. III).

Bei den Messungen des spezifischen Oberflächenwiderstandes R_0 (Fig. 4) — durchgeführt auf einem dichten, mit vernetztem Harz bedecktem Plattenstück — lassen sich nur nach der Vorbehandlung «a + b» deutliche Differenzen feststellen. Es ist beachtenswert, dass bei Platten auf Natronzellstoffpapier (P_2) ebenfalls hohe Werte gemessen wurden.

Aus den Resultaten des Widerstandes zwischen Stöpseln und des Oberflächenwiderstandes geht die durch die Acetylierung erreichte hervorragende Verbesserung der Zellulose deutlich hervor. Umgekehrt ist der schädliche Einfluss der Feuchtigkeit auf die nicht acetylierten Papiere P_1 und P_2 offensichtlich. Weder das vorimprägnierende noch das imprägnierende Harz scheinen genügend in die Kapillaren der Zellulose einzudringen. Mit den OH-Gruppen kommt keine chemische Bindung zustande [1], so dass das Wasser mit der Zeit ungehindert in das Hartpapier eindringen kann. Daraus folgt eindeutig, dass es — zur Erreichung hoher dielektrischer Eigenschaften von Hartpapierplatten — unbedingt notwendig ist, die hydrophile Eigenschaft des Zellulosemoleküls durch Bindung oder Blockierung der OH-Gruppen zu reduzieren. Eine Möglichkeit hiezu — und zwar die einzige, die sich bisher in industriellem Maßstab realisieren liess, bildet die partielle Acetylierung unter Erhaltung der Faserstruktur [1; 2].

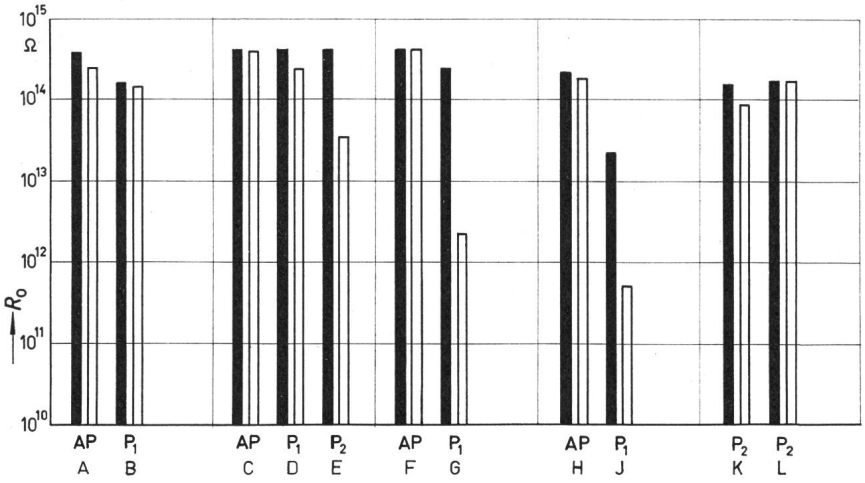


Fig. 4
Spezifischer Oberflächenwiderstand R_0 verschiedener und mit verschiedenen Harzen hergestellter (imprägnierter) Hartpapiere
Bezeichnungen siehe Tab. I, II und IV

Es wäre aber ein Irrtum, alles mit den bereits erwähnten Auffassungen erklären zu wollen. Da es sich um ein heterogenes System handelt, ist auch das Imprägnierharz ein wesentlicher Faktor in der Beeinflussung der dielektrischen Werte. Aus Fig. 1 — enthaltend Messungen mit verschiedenen Harzkombinationen — ist ersichtlich, dass:

a) Über eine bestimmte Grenze die mengenmässige Zunahme des Epoxydharzanteiles ohne Einfluss auf die Resultate bleibt;

b) Die Vorimprägnierung mit VF-2-Harz den inneren Isolationswiderstand des in feuchter Umgebung benützten Hartpapiers verbessert;

c) Eine — in der Fachliteratur oft empfohlene — Zugabe von dehydriertem Rizinusöl bewirkt, dass das Harzgefüge aufgelockert wird und damit zur Möglichkeit des leichteren Eindringens der Feuchtigkeit beiträgt, d. h. die Werte der Feuchtigkeitsbeständigkeit und des elektrischen Widerstandes verschlechtert;

d) Eine Zugabe des hitzebeständigen Nitrilkautschuks (Perbunan 3310) bewirkt, dass alle Werte vermindert werden. Dieser unerwartete Effekt ist voraussichtlich dadurch zu erklären, dass Nitrilkautschuk bei der Härtung von Phenol-Cresol-Harz in Gel-Zustand gerät, und das in ihm zurückbleibende bzw. wasserhaltige Lösungsmittel Einschlüsse bildet;

e) Der ungleichmässige innere Aufbau des technischen Natronzellstoffpapiers verringert in starkem Masse den Einfluss des veränderten Cresol-Resolharzes. Dies wird bestätigt durch den negativen Effekt, welcher sich nur bei den Werten des inneren Isolationswiderstandes bemerkbar macht, nicht hingegen bei den Werten des Oberflächenwiderstandes, wo das dichte, vernetzte Gefüge des Imprägnierharzes zum Ausdruck kommt.

Die Hitzebeständigkeit der verschiedenen Papiere ist für die beim Pressen angewandte Temperatur gut; es wurde keine Gasbildung beobachtet. Deshalb fällt bei Hartpapieren die Möglichkeit der Bildung von aus dem Papierabbau stammenden Gaseinschlüssen als Ursache für eine Verschlechterung der Widerstandswerte ausser Betracht.

Literatur

[1] *W. Dieterle:* Acetyliertes Papier als Isoliermaterial für die Elektrotechnik. Bull. SEV 46(1955)22, S. 1045...1065.

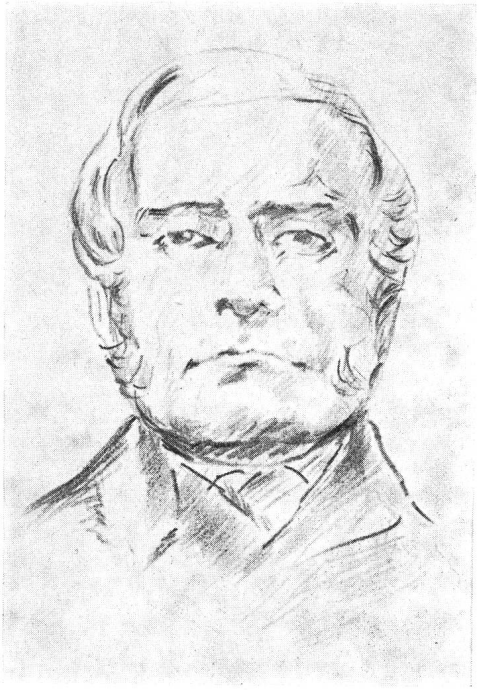
[2] *W. Dieterle:* Neuere Erkenntnisse bei der Anwendung acetylierter Papiere in der Elektrotechnik. Bull. SEV 55(1964)5, S. 198...213.

Adresse der Autoren:

Dr. *Karl Schwaner* und Dr. *Rudolf Soós,* Forschungslaboratorium der Elektro-Isolier- und Kunststoff-Fabrik, Budapest (Ungarn).

FELIX SAVART

1791—1841



Der vor 175 Jahren am 30. Juni 1791 in Mezières geborene Savart wurde Arzt, diente zunächst bis 1816 beim Militär in Strassburg und kam dann als Professor ans Collège de France nach Paris. Er studierte im besondern den Gehörsinn und kam so zur Akustik. Eine Abhandlung über Saiteninstrumente öffnete ihm, auf Empfehlung seines Kollegen *Biot,* den Zugang zur Académie des Sciences.

Savart konstruierte einen Lautstärkemesser, studierte die Wirkungen von kurzen und flexiblen Rohren auf die Schalleitung, baute eine Lockpfeife und eine Maschine mit gezähnten Rädern, bei deren Drehung durch Beblasen mit einem Luftstrom oder durch Streifenlassen einer Lamelle verschieden hohe Töne bekannter Frequenz erzeugt werden konnten. Besonders wichtig waren aber die Versuche, die Savart zusammen mit *Biot* über das von elektrischen Strömen erregte Magnetfeld unternahm. Das Ergebnis ist allgemein bekannt unter dem Namen «Biot-Savartsches Gesetz» oder als «Rechte-Hand-Regel». Die Regel gibt an, wie bei einer stromdurchflossenen Spule Stromrichtung und Richtung des Magnetfeldes zusammenhängen. *H. Wüger*

Nachrichten- und Hochfrequenztechnik — Télécommunications et haute fréquence

Funken und Lichtbögen an elektrischen Kontakten

621.3.066.6 : 621.3.015.54

[Nach *M. J. B. Turner* und *B. R. G. Swinnerton:* Sparking and arcing in electrical machines. Proc. IEE 113(1966)8, S. 1376...1386]

Beim Öffnen und Schliessen von Kontakten sowie bei elektrischen Maschinen mit Schleifringen und Kollektoren kann es immer zu Funken- und Lichtbogenbildung kommen. Die Funken und Lichtbögen schädigen die Kontakte, die Schleifringe und Kollektoren und sind häufig ein Zeichen dafür, dass in dem geschalteten Kreis oder an der Maschine etwas nicht in Ordnung ist. Es ist daher wichtig, die Funken- und Lichtbogenbildung von Kontakten bzw. von den verwendeten Materialien zu untersuchen.

Beim Öffnen und Schliessen eines Kontaktpaares, das aus Kupfer und Graphit besteht, hat die Polarität der Spannung einen Einfluss auf die Erosion, die durch die Funkenbildung verursacht wird. Wenn der Graphitkontakt (Fig. 1a) positive Spannung gegenüber dem Kupferkontakt erhält, setzt beim Öffnen des Kontaktes Lichtbogenbildung bei einer Spannung von 20...22 V ein. Durch die Lichtbogenbildung wird Graphit auf der Kupferfläche deponiert. Wenn hingegen der Graphitkontakt positive Spannung erhält, beginnt die Lichtbogenbildung bereits bei einer Spannung zwischen 12...14 V. Bei dieser Lichtbogenbildung wird Material von der Kupferoberfläche abgetragen. Auf der Kupferoberfläche sind Spuren von geschmolzenem Kupfer zu erkennen.