Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 53 (1962)

Heft: 25

Artikel: Selbstklebende Elektroisolationen

Autor: Haudenschild, H.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-917001

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.08.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

durch sehr kleine Zeitkonstanten charakterisiert sind, ist der Wickel und speziell die Oxydschicht, an welcher die elektrischen Ladungen gebunden sind, sehr raschen Kräfteänderungen ausgesetzt, welche die Oxydschicht, wenn sie nicht genügend widerstandsfähig ist, beschädigen. Solange der Kondensator an Spannung liegt, werden die geschwächten Stellen nachformiert (eine vollkommene Heilung der geschwächten Stellen wird mit dem Betriebselektrolyten jedoch kaum möglich sein). Ein anomaler Reststromanstieg wird nicht beobachtet. Bei der spannungslosen Lagerung kann der Elektrolyt jedoch durch diese schwachen Stellen die Schicht angreifen, zerstören, was zur bekannten Reststromvergrösserung führt.

Ein ähnliches Verhalten des Reststromes wird bei spannungsloser Lagerung unter erhöhter Temperatur beobachtet, auch wenn die Kondensatoren vor der Lagerung keinen Ladungen und Entladungen ausgesetzt waren. Bei erhöhter Temperatur nimmt bei den meisten heute gebräuchlichen Elektrolyten die Aggressivität derart zu, dass die Oxydschicht ihr nicht zu widerstehen vermag. Sie wird angegriffen und die Folge davon ist wieder ein Reststromanstieg.

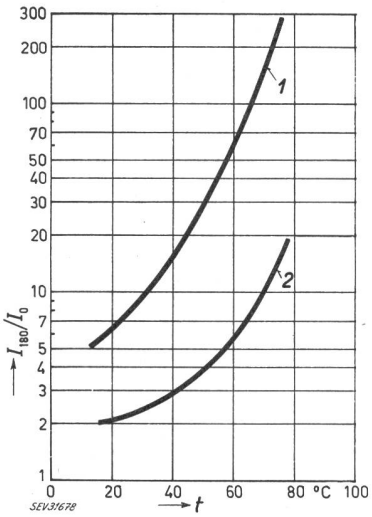


Fig. 9

Reststromverhältnis I_{180}/I_0 eines 250-µF/500-V-Kondensators gebaut mit Anoden, die nach verschiedenen Methoden formiert wurden, in Abhängigkeit der Lagertemperatur t

I_{180} Reststrom nach 180 Tagen spannungsloser Lagerung; I_0 Reststrom zu Beginn der Lagerzeit (Reststromwert = 1-Minutenwert)
1 ungenügend, mangelhaft formiert; *2* gut formiert

Es ist nun gelungen, durch besondere Formiermethoden die Anoden mit einer mechanisch widerstandsfähigeren Schicht zu versehen, welche auch dem verstärkten Angriff eines aggressiveren Elektrolyten weitgehend widersteht. In Fig. 9 ist das Verhalten von Kondensatoren, gebaut mit Anoden, die nach gewöhnlichen und speziellen Verfahren formiert wurden, während der spannungslosen Lagerung in Funktion der Lagertemperatur einander gegenüber gestellt. Für das Verhalten der Kondensatoren bei spannungsloser Lagerung nach vorangehenden Schaltungen sei nochmals auf Fig. 2 verwiesen. Aus diesen Darstellungen geht die Überlegenheit der Kondensatoren mit nach speziellen Methoden formierten Anoden deutlich hervor.

4. Zusammenfassung

Die früher oft beobachtete Abnahme der Kapazität von Aluminium-Elektrolyt-Kondensatoren nach häufigen und vor allem raschen Entladungen kann durch entsprechende Dimensionierung der Kondensatoren, d. h. durch richtige Wahl der Kathoden verhindert werden. Auch ist es heute möglich, den hauptsächlich bei Hochvolt-Kondensatoren festgestellten übermässigen Reststrom-Anstieg während der spannungslosen Lagerung bei Raumtemperatur, nachdem die Kondensatoren einer grösseren Anzahl Ladungen und Entladungen ausgesetzt waren, dank spezieller Formier-Methode, in normalen Grenzen zu halten. Kondensatoren, ausgerüstet mit nach dieser Spezial-Methode formierten Anoden, zeigen auch während der spannungslosen Lagerung bei erhöhter Temperatur ein bezüglich Reststrom verbessertes Verhalten.

Adresse des Autors:
G. Naef, dipl. Ingenieur, Standard Telephon und Radio AG, Seestrasse 395, Zürich 38.

Selbstklebende Elektroisolationen

Von *H. Haudenschild*, Zürich

621.315.616.96–416

1. Einleitung

Selbstklebende Elektroisolationen, vielfach als Elektroklebebänder bezeichnet, dienen unter dieser Benennung in erster Linie als Hilfsmittel in der Elektrowicklerei. Neue verbesserte Trägermaterialien und Klebstoffe erheben Elektroklebebänder zu vollwertigen Elektroisolationen, die zur Vereinfachung ihrer Anwendung selbstklebend sind.

Herkömmliche Isolationsmaterialien, wie z. B. Papier oder Baumwolle werden im Zuge der Entwicklung mehr und mehr durch Kunststoff-Filme ersetzt.

Obschon das Angebot von Klebebändern sehr umfangreich ist, eignen sich längst nicht alle Klebebänder zur Verwendung als selbstklebende Elektroisolationen. Rein äusserlich betrachtet, besteht eine selbstklebende Elektroisolation, wie jedes Klebeband aus einem Trägermaterial und einem Klebstoff. Dies ist aber auch praktisch alles, was visuell von Klebeband zu Klebeband verglichen werden kann. Zur Herstellung von Elektroklebebändern können nur ausgesuchte Trägermaterialien und Klebstoffe verwendet werden. Trägermaterialien müssen chlorfrei sein und dürfen Chlor höchstens in gebundener Form enthalten, wie das z. B. bei Polyvinylchloridfolien der Fall ist. Papier- und Baumwollträger müssen mit wasserabstossenden Mitteln imprägniert werden, um ihre Feuchtigkeitsempfindlichkeit zu vermindern. Die verwendeten Klebstoffe dürfen keinen Schwefel enthalten, auch dann nicht, wenn es wärmehärtende Klebstoffe sind, da sonst die Gefahr einer chemischen Korrosion von Leitermaterialien, die in Berührung mit dem Klebstoff kommen, zu gross ist. Vom Trägermaterial hängt es ab, ob der ideale elektrolytische Korrosionsfaktor 1,0 oder

dessen grösste Annäherung erreicht wird, damit mit Sicherheit vorausgesagt werden kann, dass solche Elektroisolationen auch bei Verwendung auf feinsten Kupferdrähten keine Korrosion und somit keinen Drahtunterbruch hervorrufen.

Eine selbstklebende Elektroisolation muss vor ihrer Verwendung auf verschiedene Eigenschaften untersucht werden, damit für die Konstruktion das richtige Band gefunden werden kann.

Selbstklebende Elektroisolationen werden nach folgenden Gesichtspunkten beurteilt:

a) Trägermaterialien

1. Selbstklebende Kunststoff-Folien (Gruppe 411)
2. Selbstklebende Papiere und Gewebe (Gruppe 412)
3. Selbstklebende Schichtstoffe (Gruppe 413)

(Die Einteilung entspricht der «Enzyklopädie der elektrischen Isolierstoffe» des SEV)

b) Klebstoffe

1. Klebstoffarten
2. Thermosetting Klebstoffe
3. Wärmebehandlung von Thermosetting Klebstoffen

c) Temperaturbeständigkeit

1. Grenztemperaturwerte
2. Änderung der Materialeigenschaften bei höhern Temperaturen

d) Prüfung

1. Vergleich der elektrischen Durchschlagfestigkeit verschiedener Trägermaterialien
2. Quantitative Bestimmung der elektrolytischen Korrosion
3. Vergleich des elektrolytischen Korrosionsfaktors verschiedener Trägermaterialien

2. Trägermaterialien

2.1 Selbstklebende Kunststoff-Folien

Es gelangen vor allem die folgenden Kunststoff-Folien als Trägermaterialien für selbstklebende Elektroisolationen zur Anwendung.

Celluloseazetat
Polyaethylen
Polyvinylchlorid (PVC)
Polyaethylen-Terephtalat (Polyesterfilm)
Polytetrafluoraethylen
Silikongummi und Polyvinylfluorid (im Entwicklungsstadium)

Celluloseazetat stammt wie Baumwolle und Cellophan aus der Gruppe der cellulosehaltigen Materialien. Baumwolle setzt sich zusammen aus unmodifizierten Cellulosemolekülen. Kombiniert mit Füllern und kalandriert wird aus der Cellulose Papier gewonnen. Solche Materialien werden durch Temperatur und Feuchtigkeit stark beeinflusst. Feuchtigkeit setzt die elektrischen Eigenschaften cellulosehaltiger Materialien stark herab und die Folge ist Korrosion, weil sich Cellulosemoleküle in organischen Säuren zersetzen. Durch Weichmacher (meistens Glycerin in Wasser gelöst) flexibel und elastisch gemachte Cellulose, (Cellophan benannt), darf als Elektroklebeband unter keinen Umständen Verwendung finden.

Klebebänder mit Cellophanträger finden als Hilfsmittel im Büro und Haushalt weit verbreitete Verwendung, und es besteht immer wieder die Gefahr, dass solche Klebebänder in eine Wicklerei, sogar in eine Feindrahtwicklerei gelangen. Auch die übrigen cellulosehaltigen Trägermaterialien, wie Baumwolle und Papier, dürfen nur mit äusserster Vorsicht in Wicklereien eingesetzt werden, jedenfalls nicht bei Kupferdrähten unter 0,2 mm Durchmesser, und nur dann, wenn es sich um ausgesuchte, für die Elektroindustrie bestimmte Trägermaterialien handelt.

Anders verhält es sich mit Celluloseazetat, einer mit chemisch modifizierten und elektrisch stabilen Weichmachern behandelten Cellulose. Celluloseazetatfilme können im Temperaturbereich bis 150 °C (Wärmeklasse A) selbst auf Feindrähten verwendet werden. Bei Überschreiten der Grenztemperatur besteht die Gefahr des Freiwerdens von Essigsäure und daher wiederum der Korrosion. Für Anwendungen die eine höhere Temperaturbeständigkeit voraussetzen als 105 °C, auch dann, wenn Imprägnierlacke ausgehärtet werden müssen, sollte ein Azetatfilm besser durch einen Polyesterfilm ersetzt werden.

Polyvinylchlorid (kürzer auch PVC genannt) findet unter allen Kunststoff-Filmträgern für Elektroklebebänder die weit verbreitetste Anwendung. Von den Weich-PVC-Bändern werden vor allem folgende Eigenschaften gefordert:

Hohe Durchschlagsfestigkeit
Hohe Anpassungsfähigkeit
Sonnenlicht-, Regen- und Schneebeständigkeit
Beständigkeit gegen Flugbenzin
Alkalibeständigkeit
Öl- und Feuchtigkeitsbeständigkeit

Gute PVC-Klebebänder sind, falls sie angerundet werden, selbstlöschend, schlechte Bänder brennen mit offener Flamme teilweise sogar explosionsartig weiter.

Die mechanischen Eigenschaften von PVC werden durch die Einfärbung des Trägermaterials beeinträchtigt (mit Ausnahme der schwarzen Bänder). Farbige Bänder haben daher eine geringere Dehnung als schwarze oder transparente, es sei denn, dass an Stelle des Trägers der Klebstoff eingefärbt wird. Weich-PVC hat einen beschränkten Einsatzbereich in Bezug auf seine Temperaturbeständigkeit. Durch die Wahl geeigneter Weichmacher kann der Temperaturbereich nach oben oder nach unten verschoben, nicht aber erweitert werden.

Beispiele:

Kältebeständige Bänder —20...+ 70 °C
Normaler Temperaturbereich 0...90 °C
Erhöhter Temperaturbereich 15...105 °C

Da die obere Temperaturgrenze von PVC-Plastikklebebändern relativ niedrig ist, muss jede Verwendung der Bänder auf Wicklungen, deren Imprägnierung ausgehärtet oder die sich im Betrieb erwärmen, vermieden werden. Wird die Grenztemperatur überschritten, besteht die Gefahr des Freiwerdens von Salzsäure.

Die Forderung nach korrosionsfreien Elektroklebebändern, nach Filmen besserer Temperaturbeständigkeit und bessern elektrischen Eigenschaften wächst ständig, denn auch an die Elektroapparate und -Maschinen werden erhöhte Anforderungen gestellt. Diese höhern Forderungen bestehen vor allem auch in der nicht klar umschriebenen «Tropenbeständigkeit». *Polyaethylen Terephtalat (Polyesterfilm)* erfüllt viele Forderungen dadurch, dass es sich um einen Kunststoff handelt, der folgende ausgezeichnete Eigenschaften aufweist:

Geringe Filmdicke und gute Anpassungsfähigkeit
Ausgezeichnete mechanische Eigenschaften (Kantenreissfestigkeit, Fig. 1)

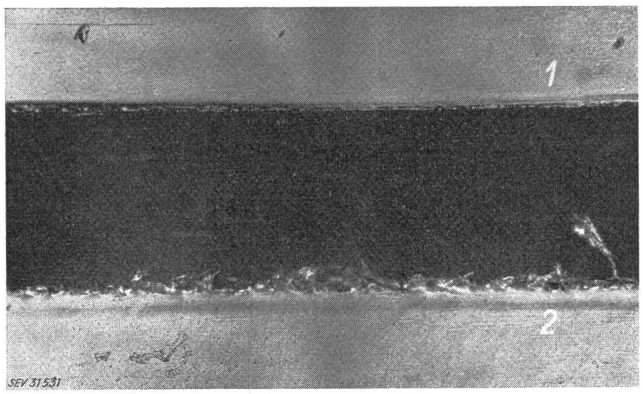


Fig. 1
Vergrösserung der Kanten zweier Filmbänder
1 saubere Schnittkante eines Polyesterfilms; *2* schlechte Schnittkante eines Polyesterfilms

Beste chemische und Lösungsmittelbeständigkeit
Höchste Durchschlagfestigkeit
Sehr gute Isolationswerte
Guter Schutz gegen Feuchtigkeit
Gute Temperaturbeständigkeit

Polyesterfilmklebebänder werden bereits in der Gesamtdicke von 0,025 mm hergestellt und weisen in dieser Dicke schon eine Durchschlagfestigkeit von 3000 V auf. Diese geringe Filmdicke ermöglicht auch «ölbeständige» Elektroklebebänder herzustellen, also solche die selbst unter Öl haften (vorausgesetzt, dass sie «trocken» aufgeklebt wurden).

Polyesterfilmklebebänder können für Dauertemperaturen von 130 °C (Wärmeklasse B) eingesetzt werden. Ihre Alterungsbeständigkeit ist umso höher, je besser die Ventilation gewährleistet ist, da der Filmträger durch Hydrolyse beeinflusst wird. Polyesterfilmklebebänder, vor allem solche mit wärmehärtendem Klebstoff, sind Universalklebebänder der Wicklerei, besonders der Feindraht-Wicklerei.

Polytetrafluoraethylen (Teflon) ist als der thermoplastische Kunststoff mit den besten physikalischen Eigenschaften der neuern Elektroisolationen bekannt. Eine dieser Eigenschaften ist auch die eines hervorragenden Trennmittels. Eine besondere Behandlung in flüssigen Alkalimetallen, hat es indessen ermöglicht, auch Polytetrafluoraethylen klebefähig zu machen.

Für viele Anwendungen bei denen selbstklebende Elektroisolationen eingesetzt werden, ist die Geschmeidigkeit und Anpassungsfähigkeit eines Bandes, wie z. B. eines PVC-Klebebandes notwendig. Handelt es sich aber gleichzeitig um thermisch beanspruchte Isolationen, so kann PVC nicht mehr zur Anwendung gelangen. Diese Lücke füllt *Silikongummi* als Trägermaterial selbstklebender Isolationen aus. Silikongummi ist selbst über einen Temperaturbereich von —65...180 °C elastischer und geschmeidiger als Weich-PVC im Bereiche normaler Raumtemperatur. Besonders hervorzuheben sind die gute Lichtbogenbeständigkeit, Kriechstromfestigkeit und Ozonbeständigkeit selbstklebender Elektroisolationen auf Silikongummi-Basis.

Es ist verständlich, dass Hersteller von Klebebändern alle Kunststoffilme auf ihre Eignung als selbstklebende Elektroisolationen prüfen und oft ältere Kunststoffe allmählich durch neuere Kunststoffe mit verbesserten Eigenschaften ersetzten. So sind heute *Polyaethylenklebebänder* seltener anzutreffen, obschon Polyaethylen sich sehr gut für Isolationen eignet. Die ungenügende Witterungsbeständigkeit führte aber dazu, dass Polyaethylen als Elektroklebeband für viele Anwendungen durch PVC-Klebebänder verdrängt wurde. Polyaethylenbänder sind Isolierbänder für die Kabelindustrie, und dank ihrer guten Koronabeständigkeit besonders als Hochspannungsisolierbänder geschätzt. Werden solche Isolationen der Witterung ausgesetzt, müssen sie mit PVC-Klebebändern abgedeckt und geschützt werden. Hochspannungsisolierbänder auf Polyaethylenbasis können indessen auf einen Klebstoff verzichten, da die Bänder unter Zug aufgewickelt, lagenweise verschweissen.

Als Versuchsprodukt existiert ein Klebeband mit dem als sehr feuchtigkeits- und witterungsbeständig bekannten Polyvinylfluoridfilm (Tedlar).

2.2 Selbstklebende Papiere und Gewebe

Obschon Kunststoff-Filme unter den Trägermaterialien für selbstklebende Elektroisolationen die Spitze eroberten, konnten die Papiere bisher ihre Bedeutung beibehalten.

Der richtigen Aufbereitung eines als Elektroisolation verwendeten Papieres muss indessen volle Beachtung geschenkt werden. Die normale Glyzerinsättigung von industriellen Papieren macht diese hygroskopisch, was zur Erzielung einer genügenden Elastizität erwünscht ist. Bei Verwendung eines solchen Papieres als Klebebandträger würde die eingeschlossene Feuchtigkeit als Elektrolyt wirken und auf Kupferdrähten Kupfersulfat $CuSO_4$ (blau), Kupferchlorid $CuCl_2$ (grün) oder Kupfersulfid CuS (schwarz) enstehen lassen. Den Chemikern der Minnesota Mining & Manufacturing Co., USA, dem Hersteller der Scotch Elektroklebebänder, ist es gelungen, ein schwefel- und chlorfreies Papier herzustellen. Als Träger für Klebebänder wird dieses Papier zusätzlich mit einem Lack imprägniert (Fig. 2) der die Isolation selbst vor aggressiven Lösungsmitteln schützt. Auf diese Weise behandelte Papiere weisen einen erstaunlich hohen, dem idealen Wert 1,0 angenäherten, elektrolytischen Korrosionsfaktor auf. Trotzdem muss vermieden werden, solche Klebebänder auf Kupferdrähten unter 0,2 mm Durchmesser einzusetzen. Auf keinen Fall dürfen Malerabdeckbänder und Verpackungsklebebänder als selbstklebende Elektroisolationen verwendet werden.

Da Papier in der Regel eine gewisse Steifigkeit aufweist, werden für Anwendungen, die eine grössere Ge-

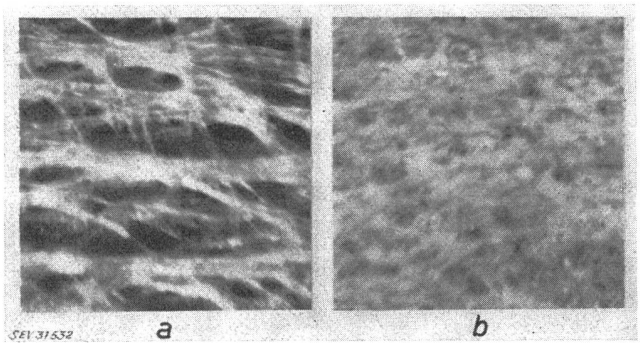


Fig. 2
Wirkung der Lackierung auf Papierbänder
a Papier unlackiert; *b* Papier lackiert (Zur Erhöhung der elektrischen Eigenschaften wird zur Imprägnierung neuerdings auch Epoxyharz verwendet)

schmeidigkeit erfordern, Crêpepapiertypen vorgeschlagen.

Die Gefahr der elektrolytischen Korrosion, wie sie bei ungeeigneten Papieren zu befürchten ist, kann auch bei ungeeignetem Baumwollgewebe als Trägermaterial erwartet werden. Chlor- und schwefelfreie Baumwollgewebe sind als selbstklebende Bänder besonders im Motorenbau immer noch sehr beliebt, weil sie sehr geschmeidig sind und besonders weil sie gut imprägniert werden können. Ein imprägniertes Baumwollklebeband weist Eigenschaften auf, die einem Öltuch ähnlich sind. Bei Gewebebändern ist vorwiegend der Klebstoff-Film massgebend für die Beurteilung der elektrischen Durchschlagfestigkeit des Klebebandes.

Celluloseazetatgewebe haben sich als selbstklebende Elektroisolationen besonders im Spulenbau für Abdeckungen im Schalttafelbau, zum Bündeln von Drähten und als bedruckte Spulen- und Drahtbezeichnungen durchgesetzt. Die elektrischen und mechanischen Eigenschaften solcher Bänder müssen bei diesen Anwendungen meistens dem saubern Aussehen und der rationellen Fabrikation als Argument für die Verwendung dieser selbstklebenden Isolationen Platz machen. Das im Gegensatz zum Film weichmacherfreie Material hält dieselben thermischen Banspruchungen aus und kann dauernd bis 105 °C eingesetzt werden. Besondere wärmehärtende Klebstoffe verhindern, dass sich Drahtbezeichnungen während der Imprägnierung lösen, vorausgesetzt, dass der Klebstoff vorher ausgehärtet wurde.

Unter den Gewebeklebebändern sind die *Glasgewebe*-Elektroklebebänder heute wohl die wichtigsten. Sie werden für die zahlreichen Anwendungen im Motorenbau, im Bau thermischer Apparate, usw. eingesetzt, wo eine hohe Temperaturbeständigkeit der Isolation gefordert wird, auch dann, wenn solche Isolationen noch imprägniert werden müssen. Je nach Temperaturanforderungen werden die Bänder mit einem bis 130 °C beständigen oder mit einem bis 180 °C beständigen Klebstoff ausgerüstet. Oft werden Glasgewebebänder nicht wegen ihrer guten Temperaturbeständigkeit sondern auf Grund der hohen Zugfestigkeit des Glasgewebes verwendet. Die Zugfestigkeit dünner Glasfäden ist derart hoch, dass epoxyvorimprägnierte Glasbänder selbst an Stelle von Stahlsaiten für Rotorbandagen bei Motoren verwendet werden können.

3. Selbstklebende Schichtstoffe

Schichtstoffe werden für Anwendungen bevorzugt, wo es nützlich erscheint, die Vorzüge mehrerer Trägermaterialien zu vereinigen. Durch eine Lamination zwischen Film und Gewebe wird z. B. die Geschmeidigkeit eines Elektroklebebandes beibehalten, dessen elektrische Durchschlagfestigkeit jedoch erhöht. Sehr oft dienen Gewebe und Filze auch zur Polsterung von Filmbändern, um deren mechanische Festigkeit zu erhöhen. Solche Bänder eignen sich besonders zur Isolation von Lötstellen. Filme können auch als Trägermaterial dienen um einzelne längsgerichtete Fasern zusammenzuhalten, d. h. für Bänder die sich durch ihre sehr hohe Zugfestigkeit auszeichnen. Sie dienen zur Fixation von Drahtenden auf Spulen.

Glasgewebe können vorteilhaft auch als Träger von Kunststoffimprägnierungen dienen. Beispielsweise gelangen flexible Epoxyharze, verstärkt durch ein Glasgewebe, zum Einsatz, welche sich besonders für imprägnierte und harzvergossene Spulen eignen, da sowohl Giess- wie Imprägnierharz mit dem Elektroklebeband eine feste Verbindung eingehen.

Es sind folgende Schichtstoffe als Trägermaterialien für Elektroklebebänder handelsüblich:

Eigenschaften von Trägermaterialien

Tabelle I

Material	Eigenschaften							
	Dicke mm	Zugfestigkeit kg/cm	Bruchdehnung %	Klebekraft g/cm	Durchschlagfestigkeit V	Isolationswiderstand (bei 95 % rel. F) M Ω	Leitfähigkeit µS	Elektrolytischer Korrosionsfaktor
Selbstklebende Kunststoff-Folien								
Cellulose Azetatfilm	0,09	4,5	15	570	5 000	$0{,}5 \cdot 10^4$	2	1,0
Polyvinylchlorid Film	0,18	3,6	175	335	9 500	$1 \cdot 10^6$	1	1,0
	0,25	5,4	250	335	11 500	$1 \cdot 10^6$	1	1,0
	0,5	10	350	335	19 000	$1 \cdot 10^6$	1	1,0
Polythaeylen Terephtalatfilm	0,025	1,8	100	225	3 000	$1 \cdot 10^6$	1	1,0
	0,065	5,4	140	500	4 500	$1 \cdot 10^6$	1	1,0
	0,09	9	140	500	6 500	$1 \cdot 10^6$	1	1,0
Polytetrafluoraethylenfilm	0,085	9	150	165	8 500	$5 \cdot 10^5$	2	1,0
	0,18	42	200	165	13 500	$5 \cdot 10^5$	2	1,0
Silikongummi	0,38	2	600	150	10 000	$1 \cdot 10^6$	1	1,0
Selbstklebende Papiere und Gewebe								
Krepp-Papier	0,25	3,6	12	285	1 250	15	66 000	0,85
Lack-Papier	0,13	8,1	3,5	570	1 500	15	66 000	0,85
Glasgewebe (Wärmeklasse B)	0,18	30	5	480	1 750	1 000	1 000	0,95
Glasgewebe (Wärmeklasse H)	0,16	30	5	170	3 000	600	1 666	0,95
Azetatgewebe	0,2	9	15	450	2 000	45 000	22	1,0
Baumwollgewebe	0,25	9	10	540	2 000	75	13 000	0,9
Selbstklebende Schichtstoffe								
Azetatfilm / Papier	0,18	9	4	560	5 000	200	5	0,9
Azetatfilm / Azetatgewebe	0,23	9	10	390	5 000	50 000	2	1,0
Azetatfilm / Azetatfasern	0,28	45	12	450	5 000	200	5	0,95
Polyesterfilm / Polyesterfilz	0,18	7,2	40	615	4 500	$0{,}5 \cdot 10^6$	1	1,0
Epoxyharz / Glasgewebe	0,12	18	5	450	5 000	$3 \cdot 10^3$	333	1,0

Papier [1]) / Azetatfilm
Azetatgewebe [1]) / Azetatfilm
Polyesterfilz [1]) / Polyesterfilm
Azetatfasern [1]) / Azetatfilm
Glasgewebe / Epoxyharz

Die Temperaturbeständigkeit solcher Bänder richtet sich jeweils nach der schwächsten Komponente und beträgt für:

Azetatfilme	105 °C
Polyesterfilme	130 °C
Epoxyharz	155 °C

Über die Eigenschaften von Trägermaterialien selbstklebender Elektroisolationen orientiert Tabelle I.

3. Die Klebestoffe

3.1 Klebstoffarten

Die Klebstoffe bilden einen wichtigen Bestandteil der Gesamtisolation. Sie werden bei selbstklebenden Elektroisolationen verschiedenen Beanspruchungen unterworfen, vor allem elektrischen, thermischen und chemischen.

Klebstoffe sind besonders bei Gewebeklebebändern mitbestimmend für die Grösse der elektrischen Durchschlagfestigkeit. Sie müssen Temperaturen wie sie bei der Aushärtung von Imprägniermitteln oder im Betrieb entstehen, aushalten und dürfen von Lacklösungsmitteln nicht angegriffen werden. Ungeeignete Klebstoffe lösen sich im Imprägnierlack und verunreinigen das Lackbad. Sie sollen sich auch chemisch mit lösungsmittelfreien Harzen vertragen, und bei der Aushärtung keine Blasen bilden. In jüngster Zeit wurden Klebstoffe entwickelt die selbst von Isolierölen und synthetischen Isolierflüssigkeiten nicht angegriffen werden.

Die an die Klebestoffe gestellten Anforderungen können nicht mit einem einzigen Klebstoff-Typ erfüllt werden, besonders auch deshalb nicht, weil es nutzlos wäre auf thermisch nicht beständige Klebebänder, wärmebeständige Klebstoffe aufzubringen.

Die Klebstoffarten können wie folgt unterteilt werden:

a) Thermoplastischer Klebstoff auf Basis synthetischen Gummis mit guter Witterungs- und Alterungsbeständigkeit für Plastik(PVC)-Elektroklebebänder und Korrosionsschutzbänder.

b) Ölbeständiger Klebstoff für besondere Polyesterfilmklebebänder.

c) Wärmehärtender (thermosetting) Klebstoff für Anwendungen bei imprägnierten Spulen. Dieser Klebstoff kann thermisch ausgehärtet werden, dadurch wird seine Lösungsmittelbeständigkeit und Klebkraft erhöht. Härtezeit 1 h bei 150 °C oder 2 h bei 130 °C.

d) Wärmehärtender Klebstoff wie unter c) beschrieben, der jedoch bereits im nicht ausgehärteten Zustand eine sehr hohe Lösungsmittelbeständigkeit aufweist (Klebstoff 4X). Diese Eigenschaft ist besonders bei Verwendung von Kunststoffen als Elektroisolation wesentlich, da diese für viele Anwendungen infolge ihres geringen Feuchtigkeitsgehaltes eine Vortrocknung, wenn nicht vollständig erübrigen, so doch den Prozess stark verkürzen. In solchen Fällen würde die Zeit nicht ausreichen, Klebstoffe wie sie unter c) beschrieben sind, auszuhärten. Solche Klebstoffe werden im Zuge einer ständigen Qualitätsverbesserung in erster Linie auf Gewebeklebebänder aufgebracht, weil

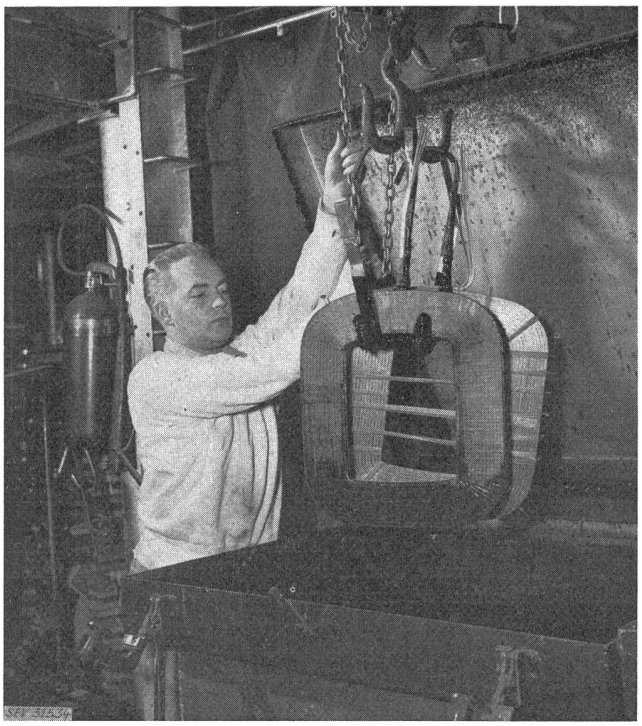


Fig. 4
Wärmebehandlung von mit Thermosetting-Bändern isolierten Spulen

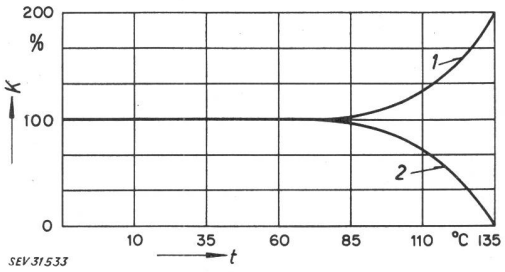


Fig. 3
Klebkraft und Lösungsmittelbeständigkeit von Klebstoffen selbstklebender Elektroisolationen
K Klebkraft; *t* Temperatur
1 Thermosetting Klebstoffe (wärmehärtend); *2* thermoplastische Klebstoffe

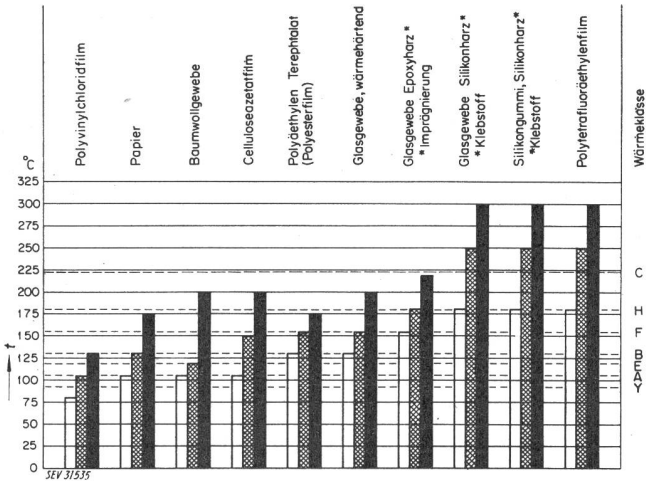


Fig. 5
Temperaturbeständigkeit selbstklebender Elektroisolationen
Dauerbetriebstemperatur — Überlastung (Stunden)
kurzzeitige Überlastung (Minuten)
t Temperatur

[1]) klebestoffseitiges Material.

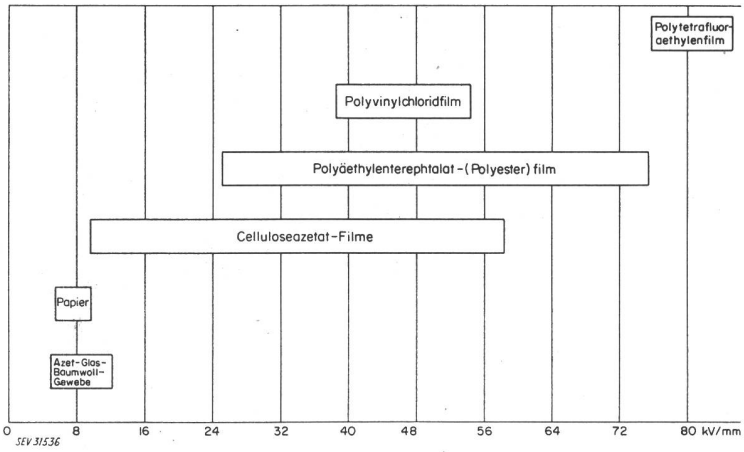


Fig. 6
Elektrische Durchschlagsfestigkeit verschiedener Trägermaterialien von selbstklebenden Elektroisolationen

deren Klebstoffe gegenüber einem Angriff von Lacklösungsmitteln am meisten ausgesetzt sind.

e) Wärmebeständiger Klebstoff für alle selbstklebenden Elektroisolationen der Wärmeklasse H (180 °C) auf Silikonbasis. Dieser Klebstoff ist wärmehärtend.

3.1.1 Thermosetting Klebstoff

Thermosetting heisst die Eigenschaft eines Stoffes, wenn er eine bleibende physikalische und chemische Änderung durch Wärmeeinfluss erleiden in der Lage ist. Bei Wärmehärtung verdichtet sich das Gefüge des Klebstoffes und bringt folgende Vorteile:

a) *Erhöhung der Klebkraft.* Die Wärmebehandlung des Klebstoffes bringt ungefähr eine Verdoppelung der anfänglichen Klebkraft (Fig. 3). Dennoch bleibt die Klebeverbindung elastisch und führt zu sehr guten Werten bei der Prüfung der Alterungsbeständigkeit. Ein wärmebehandelter Klebstoff wird durch Temperaturwechsel nicht mehr beeinflusst.

b) *Hohe Lösungsmittelbeständigkeit.* Thermosetting Klebstoffe besitzen nach der Wärmebehandlung eine wesentlich erhöhte Beständigkeit gegen Lösungsmittel der Tränklacke. Diese Eigenschaft ist besonders wichtig bei der Verwendung von Xylol oder Toluol als Lösungsmittel von Tränklacken. Der Klebstoff ist besonders im gehärteten Zustand auch gegenüber lösungsmittelfreien Harzen sehr beständig. Bei den Elektroklebebändern mit Thermosetting-Klebestoff tritt keine Gasabgabe und eine damit verbundene Blasenbildung bei der Aushärtung auf. Dadurch wird ein rasches und dauerhaftes Festhalten von Isolationen am richtigen Ort gewährleistet. Die Klebekraft ändert sich während der Imprägnierung nicht, so dass die Drahtpakete festgehalten werden und sich nicht verschieben.

c) *Hohe Wärmebeständigkeit.* Thermosetting-Klebstoffe verhindern ein Weichwerden und Schmieren des Klebstoffes unter Wärmeeinfluss. Dies ist ein grosser Vorteil gegenüber gewöhnlichen Klebstoffen, die weich werden und dadurch bei schnell laufenden Rotoren sogar ein Herausschleudern von Wicklungen zulassen. Ein Weichwerden von Klebstoffen kann auch ein Verschieben der Isolationen und Leitern zur Folge haben und dadurch die Lebensdauer von Apparaten und Maschinen verkürzen.

3.1.1.1 Die Wärmebehandlung von Scotch Thermosetting-Klebestoffen

Die Wärmebehandlung von Elektroklebebändern mit Thermosetting-Klebestoff ist abhängig von der Betriebstemperatur. Die normale Wärmebehandlung beträgt 2 h bei 130 °C oder 1 h bei 150 °C. Diese Temperaturen müssen am Klebeband gemessen werden (nicht Ofentemperaturen). Bei der Aufheizung grosser Spulen ist der effektive Zeitaufwand zur Aushärtung des Klebstoffes also etwas länger.

In den meisten Fällen geschieht die Wärmebehandlung des Klebstoffes gleichzeitig mit der Vortrocknung der Wicklung vor dem Imprägnieren (Fig. 4). Ausgehärtete Klebstoffe lösen sich nicht im Imprägniermittel.

4. Temperaturbeständigkeit (Fig. 5)

1. Die Grenztemperaturwerte

Die Bemessung von Dauerbetriebstemperatur sowie von längeren und kurzfristigen Überlastungen sind wichtige Festlegungen der Konstrukteure elektrischer Maschinen und Apparate. Es ist nicht möglich für selbstklebende Elektroisolationen eine definierte Temperaturklassifikation bekanntzugeben. Hohe Temperaturen, Feuchtigkeit, chemische und mechanische Beanspruchungen verändern die Eigenschaften von Elektroklebebändern.

2. Änderung der Eigenschaften von selbstklebenden Elektroisolationen bei höhern Temperaturen (Tab. II)

Die Auswirkungen, die eine Temperaturüberschreitung für ein Trägermaterial haben kann, müssen bekannt sein. Nicht nur die vorzeitige Alterung und der Ausfall der Isolation, sondern auch nachteilige Erscheinungen, wie die Ausscheidung von Säuren bei Kunststoff-Filmen können für den vorzeitigen Ausfall eines Apparates oder einer Maschine verantwortlich gemacht werden.

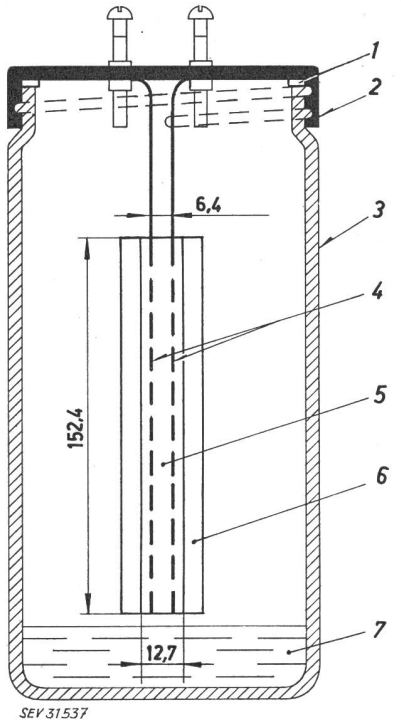


Fig. 7
Glasgefäss zur Prüfung der Korrosionsfestigkeit
Masse in mm
1 Gummidichtung; *2* Bakelitdeckel; *3* Glasgefäss; *4* Kupferdrähte; *5* Prüfling; *6* Unterlage auf Azetatgewebe; *7* Wasser

Änderung der Eigenschaften von Klebebändern bei höheren Temperaturen

Tabelle II

Trägermaterial	Temperatur dauernd °C	Temperatur kurzzeitig Tage °C	Temperatur kurzzeitig min °C	Eigenschaftsänderung
Polyvinylchlorid	80	105	135	Wird bei 80 °C weich. Bei 105 °C verdampft der Weichmacher und das Material versprödet. Bei höhern Temperaturen besteht Korrosionsgefahr wegen Salzsäureausscheidung.
Papier	105	130	175	Bei 105 °C verschlechtern sich die elektrischen Eigenschaften stark (weniger stark, wenn das Material vor Luftsauerstoff geschützt ist). Bei 130 °C beginnen Klebstoff und Träger langsam und bei 175 °C rasch voneinander zu lösen und zu zerfallen.
Baumwolle	105	120	200	Bei 110 °C beginnt die mechanische Festigkeit von Baumwolle rasch abzunehmen (weniger rasch, wenn das Material vor Luftsauerstoff geschützt ist). Bei 130 °C beginnt langsam, bei 200 °C sehr schnell der Zerfall von Träger und Klebstoff.
Celluloseazetat	105	150	200	Bei 130 °C beginnt sich der Klebstoff vom Träger zu lösen (bei Gewebe weniger als bei Film). Bei 120 °C beginnt die Flexibilität des Trägers langsam, bei 200 °C sehr rasch abzunehmen. Bei höhern Temperaturen besteht Korrosionsgefahr wegen Essigsäureausscheidung.
Polyaethylenterephtalat	130	155	175	Bei 130 °C beginnt der Klebstoff spröde zu werden. Bei 135 °C verliert der Träger leicht seine Flexibilität. Bei 175 °C wird Polyesterfilm innert kurzer Zeit sehr brüchig und spröde.
Glasgewebe, wärmehärtend	130	155	200	Glasgewebebänder sind thermisch nur durch die Imprägnierung und den Klebstoff begrenzt. Der wärmehärtende Klebstoff besitzt eine Wärmebeständigkeit von 130 °C und härtet aus.
Glasgewebe, Epoxyharz	155	180	220	Glasgewebebänder sind thermisch nur durch die Imprägnierung und den Klebstoff begrenzt. Die Epoxyimprägnierung hält dauernd 155 °C aus, versprödet aber bei höhern Temperaturen.
Glasgewebe, Silikonharz	180	250	300	Glasgewebebänder sind thermisch nur durch die Imprägnierung und den Klebstoff begrenzt. Der Silikonkleber hält dauernd 180 °C aus. Bei 150 °C tritt eine leichte Versteifung auf, bei 300 °C zerfällt der Klebstoff infolge Zersetzung von Silikaten.
Silikongummi, Silikonharz	180	250	300	Bei 250 °C tritt eine Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften des Trägers auf. Bei 300 °C zerfällt der Klebstoff infolge Zersetzung von Silikaten.
Polytetrafluoraethylen	180	250	300	Bei 300 °C verliert Polytetrafluoraethylen seine mechanische Festigkeit und scheidet Fluorgase aus, der Klebstoff zerfällt infolge Zersetzung von Silikaten.

5. Prüfung

5.1. Allgemeines

Bei Elektroklebebändern werden folgende physikalische Eigenschaften geprüft:

Elektrische Durchschlagsfestigkeit;
Klebkraft;
Reissfestigkeit;
Brennbarkeit;
Isolationswiderstand;
Elektrischer Korrosionsfaktor.

5.2. Vergleich der elektrischen Durchschlagfestigkeit verschiedener Trägermaterialien (Fig. 6).

Sehr hohe elektrische Durchschlagfestigkeiten bieten Kunststoff-Film-Klebebänder und unter ihnen vor allem Polyesterfilmbänder. Die geringsten Werte werden von den Gewebebändern erreicht, wo einzig der Klebstoff-Film für die elektrische Durchschlagfestigkeit massgebend ist. Bei Thermosetting-Klebstoffen kann die Durchschlagsfestigkeit durch Aushärtung des Klebstoffes noch erhöht werden.

5.3 Prüfung auf Korrosionsfähigkeit (3M-Methode)

Ein Klebeband darf womöglich keinen Anlass dazu geben den mit ihm bewickelten Draht zu korrodieren. Aus diesem Grunde werden Klebebänder auf ihre korrosive Wirkung untersucht und das Resultat in einem Faktor ausgedrückt, der bei Fehlen jeglicher korrosiven Wirkung gleich 1 sein kann. Klebebänder auf Feindrähten, die nicht einen Korrosionsfaktor von 1,0 erreichen, dürfen nicht verwendet werden, da besonders bei scharfen Krümmungen oder bei Haarrissen an der Lackierung innert kurzer Zeit Korrosionen auftreten, die den Draht zerstören.

Eine strenge Prüfung bedeutet die in den USA übliche 3M-Methode, die kurz beschrieben werden soll.

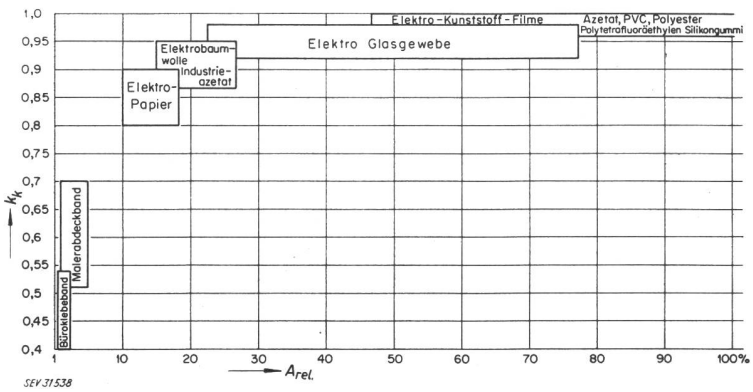
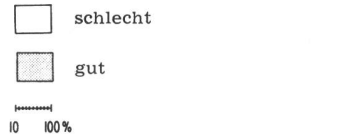


Fig. 8
Elektrolytischer Korrosionsfaktor und relative Alterungsbeständigkeit selbstklebender Elektroisolationen
k_k elektrolytischer Korrosionsfaktor; $A_{rel.}$ relative Alterungsbeständigkeit

Fig. 9
Eigenschaften selbstklebender Elektroisolationen



Die zu prüfenden Klebebänder werden auf eine Länge von 152,4 mm (= 6″) geschnitten. Auf das Band sind zwei gleich dicke Kupferdrähte, bekannter Zugfestigkeit parallel zu einander, in einer Entfernung von 6,4 mm (= 1/4″), aufgeklebt. Um das so entstandene Gebilde stabiler zu machen, wird es auf eine Unterlage von Azetatgewebe gelegt und so in ein Glasgefäss gebracht. In das Gefäss werden 200 cm^3 destilliertes Wasser mit einer Leitfähigkeit von $5 \cdot 10^{-4}$ S eingefüllt und dann der Prüfling so am luftdicht schliessenden Deckel befestigt, dass er nicht in das Wasser hineinragt (Fig. 7). Die Kupferdrähte werden mittels Durchführung durch den Deckel geführt und bei der Prüfung einer Gleichspannung von 250 V ausgesetzt. Nun wird das Aggregat in einem Wärmeschrank einer Temperatur von 50 ± 1 °C ausgesetzt. Die Dauer der Prüfung beträgt 20 h, 3 Tage oder 1 Woche. Während dieser Zeit schlagen sich die sich entwickelnden Dämpfe des destillierten Wassers auf den Prüfling nieder und lösen aus dem Klebeband (Prüfling) mehr oder weniger korrosionsverursachende Materialien aus, die zusammen mit den niedergeschlagenen Wasserdämpfen ein Elektrolyt zwischen den unter Spannung stehenden Kupferdrähten bilden. Die Folge der Elektrolytbildung ist, dass zwischen den Drähten ein Strom fliesst, der das Kupfer vom positiven Draht zum negativen abbaut. Damit ändert sich auch die Zugfestigkeit der Drähte. Die Differenz der beiden Zugfestigkeiten ist für die Elektrolytbildung, also auf die Lösbarkeit korrosiver Stoffe der Klebebänder, charakteristisch. Die Bestimmung des Korrosionsfaktors geschieht durch Mittelung von 10 Messresultaten (Tabelle III).

Korrosionsfaktorbestimmung einiger Materialien

Tabelle III

Trägermaterial des Klebebandes	Messungen (%)				Mittelwert	Korrosionsfaktor
	A	B	C	D		
Azetatgewebe	0	0,5	0	1,2	0,4	0,996
Baumwollgewebe	30,7	35,0	35,0	34,0	34	0,66
Hadernpapier	42,5	37,2	42,5	45	42	0,58
Butylgummibehandeltes Papier	23,8	27,4	23,8	36,3	25	0,75
Alkydharzbehandeltes Papier	29,2	28,6	23,7	22,5	26	0,74

Über den Korrosionsfaktor in Funktion der Alterungsbeständigkeit orientiert Fig. 8.

Zuletzt seien noch die wichtigsten Eigenschaften von selbstklebenden Elektroisolationen zusammengestellt (Fig. 9).

Adresse des Autors:
H. Haudenschild, Cellpack AG, Wohlen (AG).

Die Zenerdiode [1])

Von *A. Gerlach*, Freiburg i. Br.

621.382.2.072.2

Der Aufsatz gibt einen Überblick über die physikalischen Grundlagen, die Herstellungsverfahren, die elektrischen Eigenschaften, sowie einige Anwendungsmöglichkeiten von Zenerdioden.

L'auteur donne un aperçu des bases physiques, procédés de fabrication, propriétés électriques et principales applications des diodes Zener.

1. Physikalische Grundlagen

Die Sperrkennlinien aller Halbleiterdioden zeigen einen ähnlichen Verlauf. Der Strom nimmt mit wachsender Spannung zunächst nur wenig zu. Erst wenn eine bestimmte Grenzspannung überschritten wird, steigt er, besonders bei Siliziumdioden, sehr rasch auf grosse Werte. Zur Aufklärung der physikalischen Vorgänge in diesem Abbruchgebiet haben Arbeiten von *C. Zener* beigetragen, die er vor fast 30 Jahren über Durchbrucherscheinungen am festen Dielektrikum gemacht hat. Deswegen werden Dioden, die für den Betrieb in diesem Abbruchgebiet speziell ausgelegt sind, Zenerdioden genannt, auch wenn, wie das bei Dioden mit grösseren Abbruchspannungen der Fall ist, der sog. «Zenereffekt» nicht für den Kennlinienabbruch bestimmend ist, sondern die besonders von *Mc Kay* aufgestellte Theorie des Lawinendurchbruches.

[1]) Vortrag, gehalten an der Elektronik-Tagung der Schweizerischen Fernseh-, Elektronik-, Radio/Phono-Ausstellung vom 31. August 1962 in Zürich.