Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke

Band: 51 (1960)

Heft: 8

Artikel: Aus der Technologie der Wasserkraftgeneratoren : die Statorwicklungen

Autor: Abegg, K.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-917029

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: 08.08.2025

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

leerlaufender Leitungen und Transformatoren, in einem Fall beim Abschalten langer 220-kV-Kabel.

Ein Auftrag betraf die Stossprüfung einiger 220-kV-Transformatoren in der Anlage vor ihrer Inbetriebnahme. Dabei wurden erstmals beide fahrbaren Stoss-Generatoren in Serie verwendet, um die erforderliche Stoßspannung von 1050 kV zu erzeugen. Es ist durchaus möglich, in Freiluft-Anlagen, wo der nötige Platz zur Verfügung steht, solche Prüfungen in der spannungslosen Anlage durchzuführen und das Verhalten der Transformatoren mit dem KO-Wagen zu kontrollieren.

Messungen wurden sodann an der grossen Erdung der 220-kV-Anlage Biasca ausgeführt, um Form und Höhe des Erdungstrichters zu bestimmen und die Zulässigkeit des Zusammenschlusses der Erdung mit dem Geleise der SBB zu beweisen. Ein Forschungsauftrag betraf den Schutzwert von Metallmänteln an Mess- und Steuerkabeln in einer 220-kV-Anlage gegenüber Überspannungen, die beim Betätigen von Trennern und Schaltern in den Sekundärkreisen entstehen.

2. Sitzungen

Das Arbeitskomitee hielt im Berichtsjahr drei Sitzungen ab, in denen die laufenden Geschäfte erledigt und die Mitgliederversammlungen vorbereitet wurden. Die ersten zwei wurden von Direktor W. Hauser †, die dritte von Direktor W. Zobrist präsidiert. Zu den laufenden Geschäften gehörte auch die Abrechnung des Ausbaus von Däniken und Mettlen und die Deckung eines dabei entstandenen Defizits. In der Frühlings-Mitgliederversammlung, die vom zurücktretenden Präsidenten, Direktor W, Hauser † präsidiert wurde, referierte E. Vogelsanger über Messungen am Spannungstrichter der 220-kV-Schaltanlage Biasca der Blenio-Werke. Daran schloss sich eine ergiebige Diskussion über Erdungsfragen. In der Herbst-Mitgliederversammlung, die erstmals vom neuen Präsidenten, Direktor W. Zobrist, präsidiert wurde, referierte der Versuchsleiter über den Schutzwert metallischer Mäntel an Mess- und Steuerkabeln, was Anlass zu interessanten theoretischen Betrachtungen gab.

Dem scheidenden Präsidenten, Direktor W. Hauser †, wurde der herzliche Dank der FKH für seine wertvolle Führung und Mitarbeit ausgesprochen und daran erinnert, dass die Finanzierung des Ausbaus der Versuchseinrichtungen seiner Initiative und seinem persönlichen Einsatz zu verdanken sind.

K. Berger

Aus der Technologie der Wasserkraftgeneratoren: Die Statorwicklungen

Vortrag, gehalten an der Diskussionsversammlung des SEV am 18. November 1959 in Bern,

von *K. Abegg*, Zürich

621.313.322-82

1. Einleitung

Die technologischen Aufgaben im Generatorbau sind derart vielgestaltig, dass eine umfassende Behandlung in der zur Verfügung stehenden Zeit nicht möglich ist und notgedrungen zum blossen Aufzählen mannigfaltiger Fragen im Zusammenhang mit Stahlbau-, Festigkeits-, Isolations-, Kühlungs-, Lagerungs- und ähnlichen Problemen führen würde. Aus diesem Grunde soll im folgenden *ein* Hauptgebiet behandelt werden, das im Generatorenbau von ausschlaggebender Bedeutung ist.

2. Die Statorwicklungen von Wasserkraftgeneratoren

Es darf wohl mit Recht behauptet werden, dass die Statorwicklung eines der wichtigsten, wenn nicht das wichtigste Bauelement der elektrischen Grossmaschine darstellt. Sie erfüllt die Hauptaufgabe jedes Generators: die Erzeugung elektrischer Energie aus rotierenden Magnetfeldern. Die verschiedenen Betriebsbedingungen und Bauformen der Wasserkraftgeneratoren führen zwangsläufig auch zu verschiedenen Wicklungstypen, die im folgenden kurz miteinander verglichen werden sollen.

2.1 Die Wicklungsarten

Die Wicklungen von Wasserkraftgeneratoren können in zwei grundsätzlich verschiedene Arten unterteilt werden: Stabwicklungen (Fig. 1) und Spulenwicklungen (Fig. 2). Während sich die Stabwicklungen mit 1...2 sog. Kunststäben pro Nut vor allem in Europa durchgesetzt haben, ist es in den USA üblich, geschlossene Spulen mit 4 und mehr Leitern pro Nut zu verwenden.

Die Stabwicklungen (Fig. 3) lassen sich unterteilen in:

a) Zweischichtwicklungen, sei es mit zylindrischer oder kegelförmiger Anordnung der Wicklungsköpfe, und

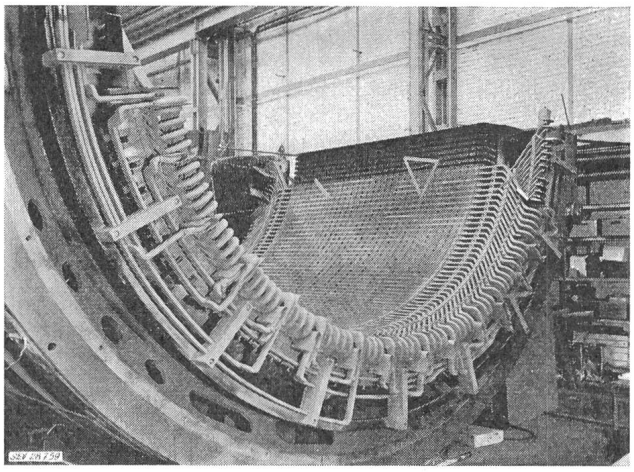

Fig. 1
Zweischicht-Stabwicklung eines 80-MVA-Generators, 13 kV, 500 U./min

b) Einschichtwicklungen, für Sonderaufgaben, wie Einphasen-Bahngeneratoren.

Die Spulenwicklungen (Fig. 4) zerfallen analog in:

a) Zweischicht-Formspulen oder Spreizspulen, die heute auch in der Schweiz für Maschinen mit mehr als 2 Leitern pro Nut vermehrte Bedeutung gewinnen, und

b) Einschicht-Formspulen oder konzentrische Spulen, die — früher häufig angewandt — heute praktisch vollständig aus den Statoren von Wasserkraftgeneratoren verschwunden sind.

Trotzdem Spulenwicklungen gewisse fabrikatorische Vorteile aufweisen und wenige, kleine Lötstellen erfordern, konnte sich diese Wicklungsart in

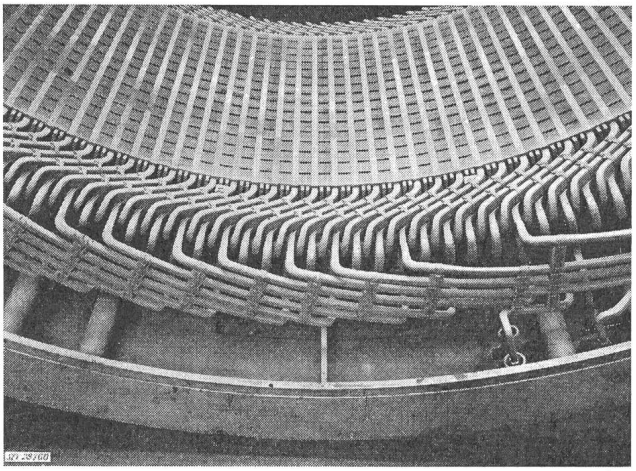

Fig. 2
Zweischicht-Formspulenwicklung eines 28-MVA-Generators, 13,8 kV, 327 U./min

der Schweiz für Statoren mit 2 Leitern pro Nut nicht durchsetzen. Hier behauptet nach wie vor die Stabwicklung das Feld mit ihrem einfachen Wicklungsaufbau, mit ihrer Sicherheit bezüglich Windungsschluss und dem einfachen Wicklungs-Ein- und Aus-

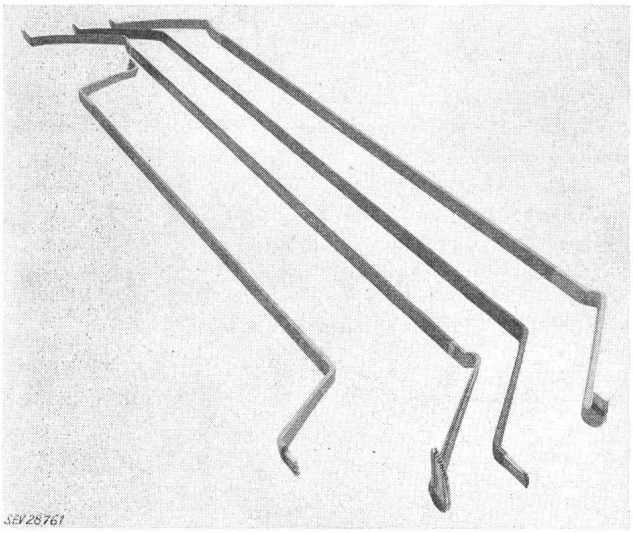

Fig. 3
Statorstäbe
links: Teilleiterbündel-Stab einer Wellenwicklung
rechts: drei Röbelstäbe einer Schleifenwicklung in verschiedenen Fabrikationsstufen

bau bei Störungen. Der relativ geringfügige Nachteil dieser Wicklungsart, je eine Lötstelle an beiden Enden, ist dabei im Vergleich zum komplizierten Ein- und Ausbau von Zweischicht-Formspulen unbedeutend. Die Formspulen sind dort am Platz, wo kleine Maschinen mit relativ hohen Spannungen eine Mehrzahl von Serieleitern pro Nut verlangen.

Zur Reduktion der zusätzlichen Cu-Verluste durch Stromverdrängung in der Nut werden bei Stabwicklungen heute fast ausschliesslich Kunststäbe verwendet, deren bekanntester Vertreter der Röbelstab (Fig. 5) ist. Er besteht aus 2 Teilleiterpaketen, welche in der Nut derart verflochten sind, dass jeder Leiter jede Lage innerhalb des Stabes

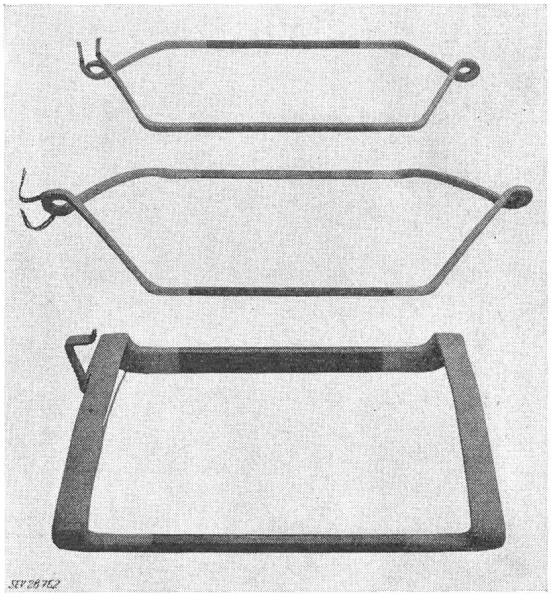

Fig. 4
Formspulen
von oben nach unten:
— Zweischicht-Formspule (Spreizspule) mit Serieleiterbündeln aus blanken Teilleitern
— Zweischicht-Formspule mit lack-glas-isolierten Serieleitern
— Einschicht-Formspule (konzentrische Spule)

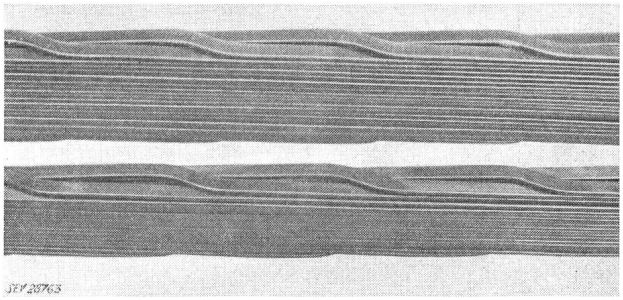

Fig. 5
Röbelstab
geflochtene Teilleiter
oben: mit Glas-Lack-Isolation
unten: mit reiner Lackisolation

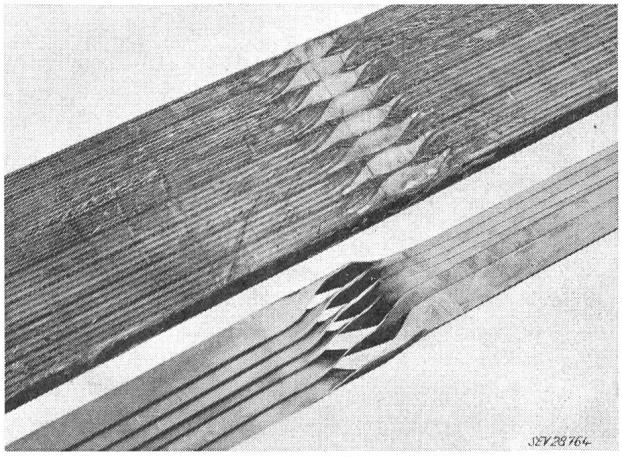

Fig. 6
Teilleiterbündel-Stab
180 °-Verdrillung der Teilleiterbündel in der Nutmitte

einnimmt. Damit wird in jedem Teilleiter die induzierte Nutstreuspannung gleich, so dass die Teilleiter an beiden Enden durch einfache Ösen miteinander verlötet werden können. Ein weiterer Vorteil des Röbelstabes, die beliebig wählbare Stabhöhe, vermag jedoch bei relativ kleinen Stäben, deren Höhe

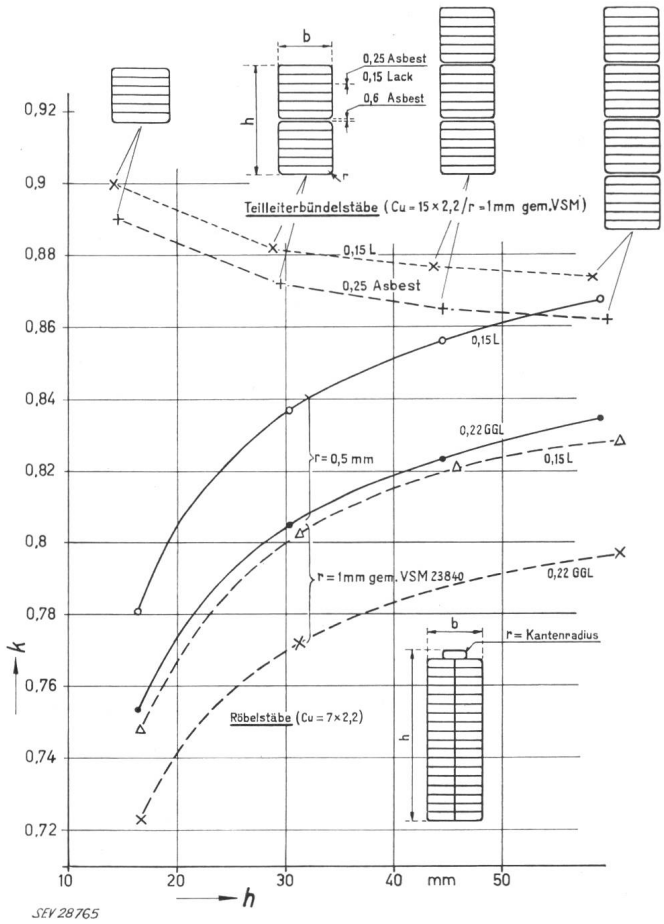

Fig. 7
Kupferfüllung von Kunststäben
k Kupferfüllung; *h* Höhe, *b* Breite des Kupferelementes; *GGL* Teilleiter 2 × glasumsponnen und lackiert; *L* lackierte Teilleiter;

$$k = \frac{\text{Kupferquerschnitt}}{h \times b}$$

× *oben:* Teilleiterbündel-Stäbe mit lackierten Teilleitern, Isolationsauftrag beidseitig: 0,15 mm

× *unten:* Röbelstäbe mit glas-lack-isolierten Teilleitern, Isolationsauftrag beidseitig: 0,22 mm

+ Teilleiterbündel-Stäbe mit Asbest-Zwischenlagenisolation 0,25 mm dick

△ Röbelstäbe mit lackisolierten Teilleitern, Isolationsauftrag beidseitig: 0,15 mm

•, ○ Röbelstäbe analog ×, △ jedoch mit reduzierten Kupfer-, Kantenradien: r = 0,5 mm

angenähert gleich der Breite ist, den Nachteil der schlechten Kupferfüllung nicht zu kompensieren. Aus diesem Grunde werden in solchen Grenzfällen, oder bei Serieleiter-Stabwicklungen, mit Vorteil Teilleiterbündel-Stäbe verwendet, die in der Mitte der Nut um 180° verdrillt sind (Fig. 6). Fig. 7 zeigt eine Gegenüberstellung der Kupferfüllung von Teilleiterbündelstäben und äquivalenten Röbelstäben mit verschiedenen Isolationen.

Damit stellt sich das erste Isolationsproblem:

2.2 *Die Teilleiter-Isolation*

Obwohl die Spannungsdifferenz zwischen den einzelnen Teilleitern im Maximum einige Volt beträgt, ist es aus 2 Gründen üblich, die Teilleiter mit Isoliermaterial der Wärmeklasse B oder höher zu isolieren:

a) Die Isolation liegt im Kupfer eingebettet und erreicht daher die höchsten Kupfertemperaturen;

b) Eine vorzeitige Alterung der Teilleiterisolation führt zu Teilleiterschlüssen, örtlichen Überhitzungen und damit zu schwerwiegenden Sekundärschäden.

Während in früheren Jahren die einzelnen blanken Teilleiter der Röbelstäbe durch mühsames Einschieben von Zwischenlagen aus Mica, Asbest oder Glasasbest gegeneinander isoliert werden mussten, wird heute vorwiegend das rationellere Verfahren vorisolierter Leiter verwendet. Für folienisolierte Stäbe werden glas-lack-isolierte Leiter bevorzugt, deren beidseitiger Isolationsauftrag 0,2...0,25 mm beträgt. Die Glaszwischenlagen verhüten auch dann Teilleiterschlüsse, wenn Glimmeffekte infolge zufälliger Lufteinschlüsse den Lackanteil zerstören. Für vakuumimprägnierte Stäbe, bei denen Glimmschäden praktisch ausgeschlossen sind, ist heute Lackisolation der Wärmeklasse F mit einem beidseitigen Auftrag von ca. 0,15 mm erhältlich.

Als Isolation für Teilleiterbündelstäbe werden gebraucht:

a) Glas-Asbest-Zwischenlagen von 0,2...0,25 mm Dicke für folienisolierte Stäbe;

b) Speziallack-isolierte Teilleiter für vakuumimprägnierte Stäbe.

Spulenwicklungen werden in den meisten Fällen mit glas-lack-isolierten Teilleitern (GGL), ähnlich den Röbelstäben, hergestellt, wenn es sich um Teilleiterbündel-Spulen handelt. Für Serieleiterspulen sind Lack-Glas-Lack-Isolationen (LGL, LGuL) zu empfehlen, da diese Isolationen im Betrieb unter Umständen Überspannungen ausgesetzt sind.

2.3 *Die Wicklungsisolation*

Ähnlich wie bei den Wicklungsarten lassen sich zwei grundsätzlich verschiedene Isolationsverfahren unterscheiden:

a) Das Folien- oder Haefely-Verfahren, wie es seit 1910 in Europa verwendet wird;

b) Das Band-Verfahren oder Continuous Taping, wie es seit 1930 in den USA üblich ist.

Beim Bandverfahren werden Mica-Papier-Bänder oder Mica-Glas-Bänder durchgehend im Nutenteil und Wicklungskopf, halb überlappt, aufgewickelt und anschliessend mit einem Bindemittel unter Vakuum imprägniert. Die Isolation weist dabei den Vorteil eines homogenen Aufbaues, frei von Lufteinschlüssen, auf und gestattet, die Ausladungen der Wicklungsköpfe auf minimalsten Werten zu halten.

Das Folienverfahren verlangt grundsätzlich verschiedene Isolationen für den geraden Nutenteil und die Wicklungsköpfe und hat dadurch einen Übergang zwischen diesen Isolationen zur Folge, die sog. Stoßstelle, welche konstruktiv eine gewisse Aufmerksamkeit erfordert. Für den Nutenteil werden Micafolien verwendet, die bereits mit einem Bindemittel versehen sind, während die Wickelköpfe nach

dem Bandverfahren mit Mica- oder ähnlichen Isolierbändern umwickelt und vakuumimprägniert werden.

In neuester Zeit sind Verfahren entwickelt worden, die auf einer Kombination der Folien- und Bandtechnik beruhen. Es handelt sich dabei um mit Kunstharz vorimprägnierte Bänder, welche ähnlich dem Continuous-Taping-Verfahren durchgehend aufgewickelt werden. Da das Bindemittel in den Bändern enthalten ist, erübrigt sich das Vakuumimprägnieren; die Vakuumbehandlung selbst muss jedoch vor der Polymerisation beibehalten werden, um Lösungsmittel abzuziehen, welche für die Erhaltung der Bandflexibilität unerlässlich sind.

Als wichtigstes Isoliermaterial für Wicklungsisolationen gilt heute nach wie vor der Glimmer, seien es die traditionellen Glimmerschuppen, deren Fläche mehrere cm^2 umfassen, seien es die modernen Glimmerpapiere, welche aus künstlich erzeugten, kleinen Glimmerschüppchen von wenigen mm^2 hergestellt werden. Durch zahlreiche Versuche wurde bestätigt, dass die hohen 1-Minuten-Durchschlagsfestigkeiten von 20...25 kV/mm, welche für Nutenisolationen infolge der knappen Platzverhältnisse angestrebt werden müssen, nur durch glimmerhaltige Isolationen erreicht werden. Wohl ist es heute möglich, Kunstharzfolien und Giesskörper herzustellen, die kurzzeitig und bei geringen Dicken elektrische Festigkeitswerte bis 100 kV/mm aufweisen. Bei lang anhaltenden Spannungsbeanspruchungen fallen jedoch diese hohen Anfangswerte infolge von Glimmerscheinungen sehr rasch ab. Auch temperaturbeständige Siliconkautschuk-Isolationen, wie sie neuerdings in den USA entwickelt wurden, weisen gegenüber Glimmerisolationen den Nachteil kleinerer dielektrischer und thermomechanischer Festigkeit auf.

Die Glimmerschuppen müssen durch geeignete Bindemittel miteinander verklebt und mit Trägermaterialien, welche aus fabrikatorischen und Festigkeitsgründen notwendig sind, verbunden werden. Es hat sich dabei gezeigt, dass Art und Qualität dieser Bindemittel von ausschlaggebender Bedeutung für das spätere Betriebsverhalten, insbesondere für die Alterungsbeständigkeit der Wicklungsisolationen, sind. Die Entwicklungsarbeiten auf dem Gebiet der Isolationen konzentrieren sich daher in erster Linie auf die Bindemittel, wobei besonders die moderne Kunstharzchemie in den letzten 20 Jahren die Voraussetzungen für wesentliche Fortschritte geschaffen hat.

Grundsätzlich kann unterschieden werden zwischen thermoplastischen und thermoelastischen Bindemitteln, wobei als typische Vertreter der Asphalt einerseits, Epoxyharze anderseits zu erwähnen sind.

Thermoplastische Materialien bewähren sich für Isolationen in Maschinen mittlerer Grösse mit relativ kleinen Eisenlängen und mässigen Betriebs-Temperaturen. Sie sind billig, lassen sich leicht verarbeiten und zeichnen sich durch gute dielektrische Werte aus, ganz besonders dann, wenn sie zur Vakuumimprägnierung von Micabändern verwendet werden. Der einzige Nachteil asphaltimprägnierter Isolationen liegt in ihrer mangelhaften thermomechanischen Festigkeit: Bei Temperaturen über 120 °C können mechanische Beschädigungen, hervorgerufen durch die Wärme-Dilatationen des Wicklungskupfers, die Isolationen zerstören. Es handelt sich bei diesen Schäden um die gefürchteten Kriecherscheinungen, sei es die Bandwanderung am Nutaustritt bandisolierter Wicklungen, seien es die Staucheffekte der Nutenisolation in den Kühlschlitzen des Statorblechkörpers. Durch Modifikation des Bindemittels oder durch besondere Massnahmen, welche das Aufquellen thermoplastischer Isolationen in den Kühlschlitzen verhindern, ist es heute möglich, Asphaltisolationen auch in Wasserkraftgeneratoren grosser Leistung zu verwenden.

Während und nach dem Krieg stieg der Bedarf an elektrischer Energie in allen Ländern derart rasch an, dass der Ausbau der Kraftwerke damit vielerorts nicht mehr Schritt halten konnte. Es blieb häufig keine andere Wahl, als die Generatoren längere Zeit zu überlasten und das Risiko von Wicklungsschäden in Kauf zu nehmen. Solche Schäden liessen denn auch nicht lange auf sich warten und führten leider besonders zum Ausfall grosser Einheiten, deren Isolationen thermomechanisch stark beansprucht wurden. Es ist daher nicht verwunderlich, dass heute alle Kraftwerkbetriebe vermehrt Wicklungen hoher Lebensdauer verlangen, das heisst Isolationen, die auch bei längerer thermischer Überlastung standhalten. Dieser Wunsch kann nur erfüllt werden, wenn die Fabrikation von Isolationen hoher thermomechanischer Festigkeit gelingt, das heisst von Isolationen, welche ihre elektrischen, dielektrischen und mechanischen Eigenschaften bei den wechselnden Betriebsbedingungen auch bei hohen Temperaturen unverändert beibehalten. Es wird heute allgemein versucht, dieses Ziel durch Verwendung thermofester oder — noch besser — thermoelastischer Kunstharze als Bindemittel zu erreichen. Die Anforderungen, die an Kunstharz-Bindemittel gestellt werden, sind dabei verschieden, je nachdem, ob es sich um ein Kunstharz zum Vorimprägnieren von Folien und Bändern oder um ein Imprägnierharz für vakuumimprägnierte Wicklungen handelt.

Es liegt auf der Hand, dass der fabrikatorische Vorteil vorimprägnierter Folien und Bänder durch eine Reihe fabrikatorischer Nebenbedingungen für das Bindemittel erkauft werden muss, welche für die Qualität der Isolation selbst von untergeordneter Bedeutung sind. Es handelt sich beispielsweise um Forderungen wie:

a) Lagerfähigkeit im vorimprägnierten Zustand;

b) Klebefreiheit im vorimprägnierten Zustand;

c) Gute Flexibilität trotz minimalstem Lösungmittelgehalt;

d) Kein Gelieren während der Wickelarbeit usw.

Solche Forderungen erschweren das Hochzüchten der dielektrischen und thermomechanischen Eigenschaften ausserordentlich.

Bei Imprägnierharzen beschränken sich die fabrikatorischen Nebenbedingungen auf Lagerfähigkeit und gutes Imprägniervermögen, so dass Harze entwickelt werden konnten, die bedeutend bessere thermische Eigenschaften aufweisen. Fig. 8 zeigt die Temperaturabhängigkeit der dielektrischen Verluste von Kunstharzen zum Vorimprägnieren und von Vakuumimprägnierharzen.

Wie die weiteren Ausführungen zeigen werden, ist es damit möglich, Isolationen zu fabrizieren, deren Wärmefestigkeit diejenige thermoplastischer Isolationen weit übertrifft. Bei den als Bindemittel verwendeten Kunstharzen ist jedoch einer Eigenschaft besondere Aufmerksamkeit zu schenken: der Glimmbeständigkeit. Spezielle Untersuchungen in Glimmzellen haben gezeigt, dass Asphaltprodukte den Einwirkungen von Glimmentladungen besser widerstehen als Kunstharze, die, ähnlich wie der organische Schellack, rasch zerstört werden. Trotzdem in neuester Zeit glimmbeständigere, metallorganische Epoxyharze entwickelt wurden, ist es unerlässlich, Kunstharz-Bindemittel vor Glimmangriffen zu schützen, was wiederum nur durch die früher erwähnten Glimmerbarrieren geschehen kann. Spezialversuche in Glimmzellen bestätigten die interessante Tatsache, dass die Schutzwirkung von Glimmerpapieren bedeutend besser als diejenige der grossen Glimmersplittings ist, weshalb heute immer mehr Firmen ihre Kunstharz-Isolationen auf Glimmerpapieren, wie Samica, Romica usw. aufbauen. Die volle Ausschöpfung der Vorteile des Glimmerpapiers ist allerdings nur dann möglich, wenn neben der Bindemittelfrage eine Reihe fabrikatorischer Feinheiten beachtet und streng kontrolliert werden. Die Missachtung dieses fabrikatorischen «know-how» führt zu schlechten Ergebnissen bezüglich Spannungsfestigkeit und gar oft zu falschen Schlüssen in der Beurteilung dieses neuen Isolierstoffes.

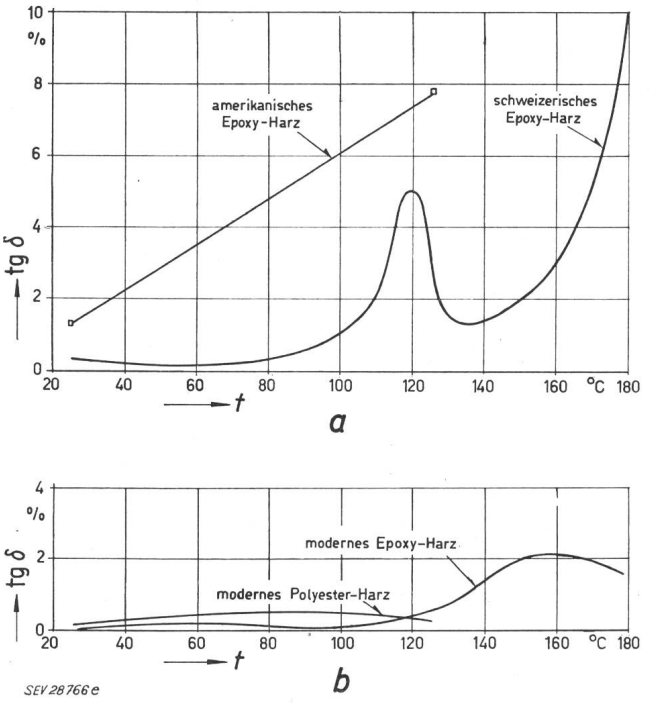

Fig. 8

Temperaturabhängigkeit des tg δ verschiedener Kunstharze

a Kunstharze zum Vorimprägnieren
b Vakuum-Imprägnierharze

Die Trägermaterialien Papier, Kunstfasern, Glas oder Asbest spielen sowohl für die Verarbeitung als auch für die mechanische Festigkeit der Isolationen eine Rolle und werden nach Massgabe der verlangten Wärmeklasse gewählt. Es hat sich dabei gezeigt, dass auch sog. Klasse-A-Material, wie Papier, im Verband mit geeigneten Bindemitteln, höhere Temperaturen aushält, ohne wesentliche Alterungserscheinungen zu erleiden. Diese Feststellung bestätigt die bekannte Tatsache, dass nicht die einzelnen Isolierstoffe, sondern vielmehr das Isoliermaterial in seiner Gesamtheit beurteilt werden muss.

2.3.1 Folien-Isolationen

Folien-Isolationen können folgendermassen unterteilt werden:

a) Schellack-Micafolium-Umpressungen, in Gebrauch seit ca. 1910;

b) Asphalt-Micafolium-Umpressungen, seit ca. 1930;

c) Kunstharz-Micafolium-Umpressungen, seit ca. 1950.

Die Betriebserfahrungen mit den bekannten Schellack-Micafolium-Umpressungen haben gezeigt, dass trotz einer wesentlichen Verschlechterung der dielektrischen Eigenschaften dieses organischen Bindemittels eine genügende thermomechanische Festigkeit erzielt wird, um den Betrieb während Jahrzehnten sicherzustellen. Schellackisolationen liefern damit den Beweis, dass *ein* Kriterium allein, in diesem Fall der tg δ, für die Beurteilung der Qualität einer Nutenisolation nicht massgebend ist.

Im Gegensatz dazu ist das dielektrische Verhalten von Asphalt-Micafolium-Isolationen bedeutend besser, vorausgesetzt, dass Bindemittel verwendet werden, deren Lösungsmittel während der Verarbeitung entweichen können. Infolge der Thermoplastizität des Asphaltes sind diese Umpressungen bei höheren Temperaturen mechanisch wenig widerstandsfähig und neigen zu Kriecherscheinungen.

Im Bestreben, die relativ guten thermomechanischen Eigenschaften der Schellackmicafolien und die guten dielektrischen Resultate der Asphaltisolationen in *einem* Folium zu vereinigen, wurden zu Beginn der 50er Jahre Kunstharzmicafolien entwikkelt. Es zeigte sich dabei sehr bald, dass mit Epoxyharzen bessere Klebefähigkeit sowohl auf dem Wicklungskupfer, als auch zwischen den Glimmerschuppen erzielt wurde, als beispielsweise mit den billigeren, bei hohen Temperaturen jedoch spröderen Polyesterharzen. Eine weitere Überraschung brachte die Feststellung, dass mit Glimmerpapieren bedeutend bessere Wärmefestigkeitswerte als mit den grossen Glimmerschuppen erreicht werden. Diese Tatsache beruht vermutlich auf der kleineren mechanischen Beanspruchung der Samicapartikel und dünneren Bindemittelfilme im Verlauf der Wärmedilatationen des Nutenkupfers infolge wechselnder Belastung.

Die Vorteile von Nutenisolationen aus Micafolien liegen einerseits in der relativ einfachen Herstellungsmethode, anderseits in der Möglichkeit, mechanisch feste, widerstandsfähige Isolationen in den Nuten und flexiblere Isolationen in den Wicklungsköpfen zu wählen. Der Übergang zwischen Nutenisolation und Wicklungskopf-Umbändelung zwingt jedoch den Konstrukteur, die Isolationshülse des Nutenteils durchführungsartig über das Eisen hinausragen zu lassen. Wie aus Fig. 9 hervorgeht, sind dabei die Ausladungen von der Isolationsdicke abhängig und werden primär durch die Prüfspannung

bestimmt, mit welcher der Wicklungsstab während der Fabrikation kontrolliert wird. Durch Ableitanstriche auf Karborundumbasis ist es möglich, den Spannungsgradienten auf der Hülsenoberfläche der-

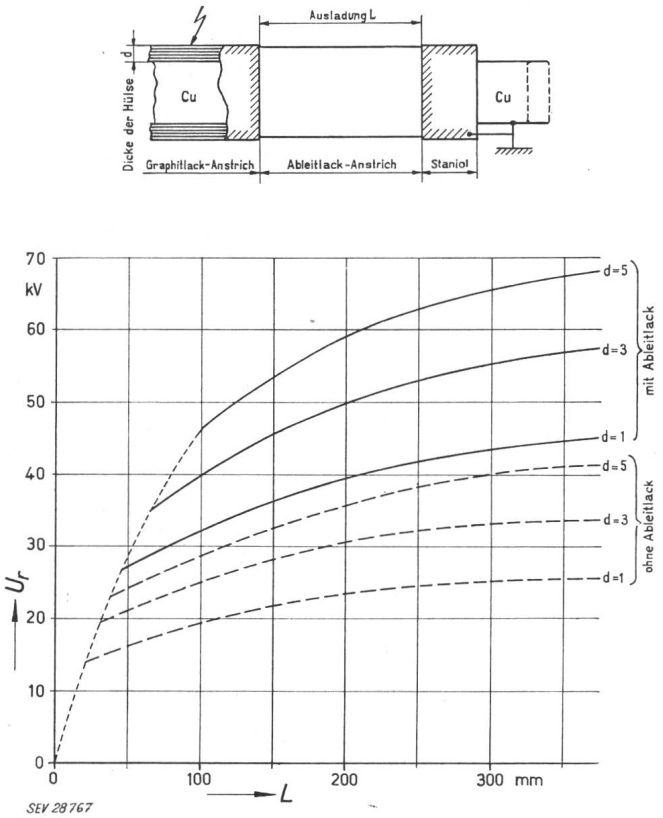

Fig. 9

50-Hz-Randüberschlag-Spannung U_r von Nutenisolationen

L Ausladung der Nutenisolation

art zu beeinflussen, dass eine wesentliche Steigerung der Randüberschlagspannung erzielt wird. Trotz dieser Massnahme sind bei Hochspannungsmaschinen Ausladungen in der Grössenordnung 150...250 mm notwendig, welche eine unerwünschte Vergrösserung der Wicklungskopfausladungen und damit der Maschinenlänge zur Folge haben.

Für die Ausladungen der Wickelköpfe ist ferner der Abstand zwischen den einzelnen Spulenschenkeln massgebend, dessen Grösse durch Glimmeffekte im Wickelkopf und kühlungstechnische Erwägungen bestimmt wird. In Fig. 10 ist der Einsatz verschiedener Glimmerscheinungen dargestellt. Es ist dabei üblich, die minimalen Luftdistanzen im Spulenkopf derart zu wählen, dass bei den höchsten Betriebsspannungen keine wandernden Büschelentladungen auftreten. Eine Gefährdung der Isolation ist allerdings erst dann zu erwarten, wenn stillstehende Stielbüschel entstehen, in deren Fusspunkten derart hohe Temperaturen auftreten, dass Perforation des Glimmers eintreten kann. Während der kurz dauernden, hohen Prüfspannungen können Stielbüschelentladungen ohne Gefahr zugelassen werden, so dass sich teure konstruktive Massnahmen zur Vergrösserung der Abstände zwischen den Spulenschenkeln verschiedener Phasen erübrigen.

Die Nachteile der Folien-Isolationen, grosse Wickelkopfausladungen mit ihren Konsequenzen bezüglich Preis und Wirkungsgrad sowie die Erschwerung einer rationellen Fabrikation infolge einer Vielzahl von Isoliermitteln und Isolierverfah-

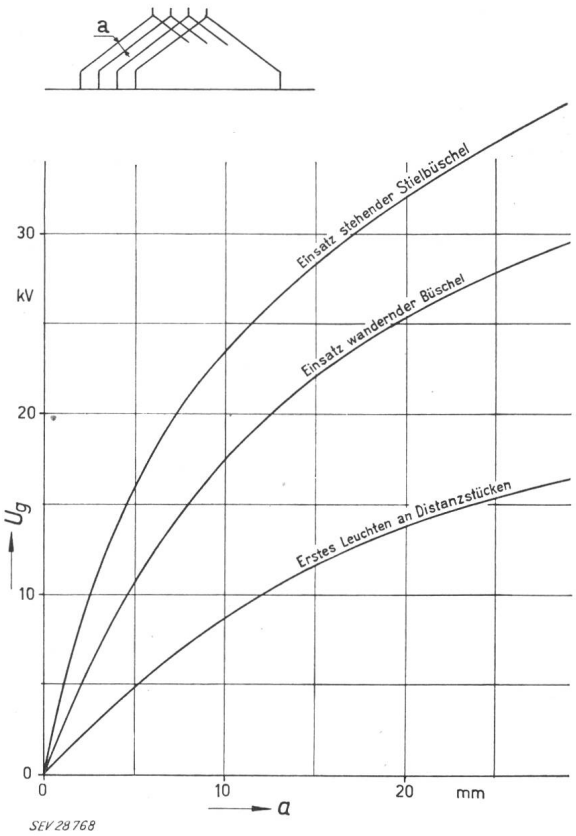

Fig. 10

Glimmeinsatz-Spannungen U_g in Wicklungsköpfen

Asphaltimprägnierte Micaband-Isolation mit Glimmschutz-Anstrich

a Luftdistanz im Spulenkopf

ren hatten zur Folge, dass neuerdings auch in Europa vermehrt

2.3.2 Band-Isolationen

angewendet werden. Der Gewinn an Ausladung und damit an Kupfer und Wirkungsgrad ist dabei gerade bei den Wasserkraftgeneratoren mit ihren relativ kleinen Eisenlängen und zum Teil hohen Polzahlen sehr wesentlich. Je nach Eisenlänge und Höhe der Nennspannung sind Reduktionen der Windungslänge zwischen 5 und 20 % möglich.

Die in den USA entwickelte und heute auch in Europa vielfach verwendete, durchgehende Isolation mit Glimmerbändern, die nachträglich je nach Isolationsauftrag mehrmals mit Asphalt unter hohem Vakuum (ca. 0,05 mm Hg) imprägniert werden, kann auch heute noch als billige und qualitativ gute Isolation für Wasserkraftgeneratoren verwendet werden. Störungen mit dieser Isolation, die sich besonders durch gute dielektrische Werte auszeichnet, sind nur dann zu befürchten, wenn es sich um Maschinen mit sehr grossen Eisenlängen und relativ hohen Betriebstemperaturen handelt, die ausserdem durch häufige Laständerungen die Isolation mechanisch stark beanspruchen. Aus diesen Gründen versagten nach dem zweiten Weltkrieg in den Vereinigten Staaten eine Reihe grosser Turbogeneratoren infolge von Bandverschiebungen und Rissbildungen, besonders am Nutaustritt. Es war die Firma Westinghouse, welche als erste ein neues Bindemittel auf Polyesterbasis entwickelte und eine kunstharzim-

prägnierte Micabandisolation auf den Markt brachte. Während die Dauerwärmebeständigkeit dieser Isolation mit 130...140 °C bereits einen wesentlichen Fortschritt gegenüber den thermoplastischen und modifizierten Asphalt-Isolationen darstellt, war es in neuester Zeit möglich, durch Verwendung modifizierter Epoxyharze Werte zwischen 150...160 °C zu erzielen. Auch hier bewähren sich Glimmerpapierbänder ausgezeichnet und liefern homogene Isolationen von bisher unerreichter thermomechanischer Festigkeit. Die Feuchtigkeitsbeständigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen chemische Einflüsse sind weitere Merkmale solch warmfester, vakuumimprägnierter Kunstharz-Isolationen.

Fig. 11 zeigt einen Vergleich der dielektrischen Verlustwinkelwerte verschiedener Folien und Band-Isolationen in Funktion der Temperatur. Dieser Verlauf stellt gleichzeitig ein Mass für die Warmfestigkeit des Isoliermaterials dar und dokumentiert die Fortschritte, welche durch Verwendung von Kunstharzbindemitteln erreicht wurden.

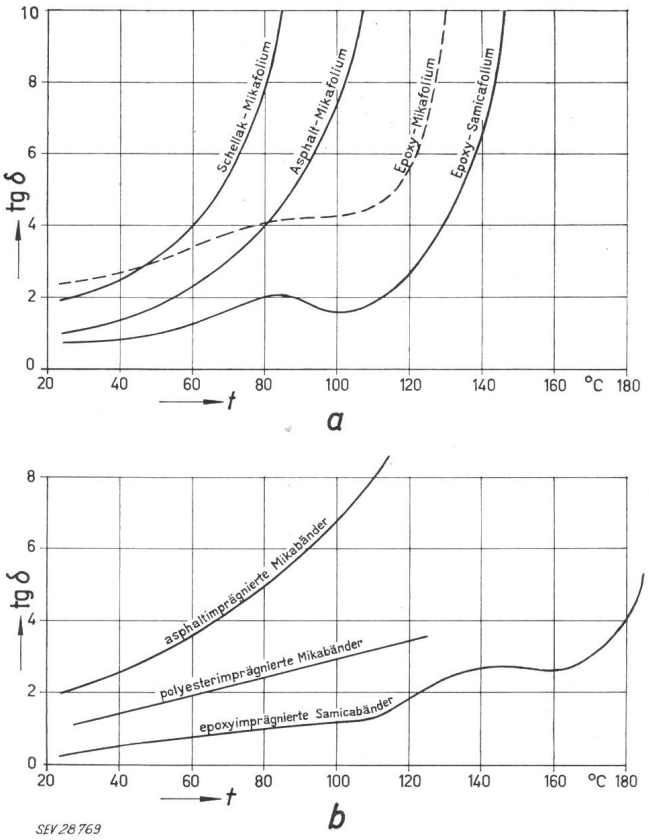

Fig. 11

Temperaturabhängigkeit des tg δ verschiedener Isolationen

a Vorimprägnierte Folien-Isolationen; *b* Vakuumimprägnierte Bandisolationen; *t* Temperatur

In Fig. 12 werden Verlustfaktorkurven in Funktion der Spannung miteinander verglichen. Für Kunstharz-Isolationen kann dabei verlangt werden, dass auch durch das Aufheizen der Isolationen bis an die Grenze ihrer Dauerwärmebeständigkeit keine Änderungen des dielektrischen Verhaltens eintreten.

Nach diesem Überblick über Aufbau und Eigenschaften der Wicklungen von Wasserkraftgeneratoren seien noch kurz einige Fragen der erwähnt:

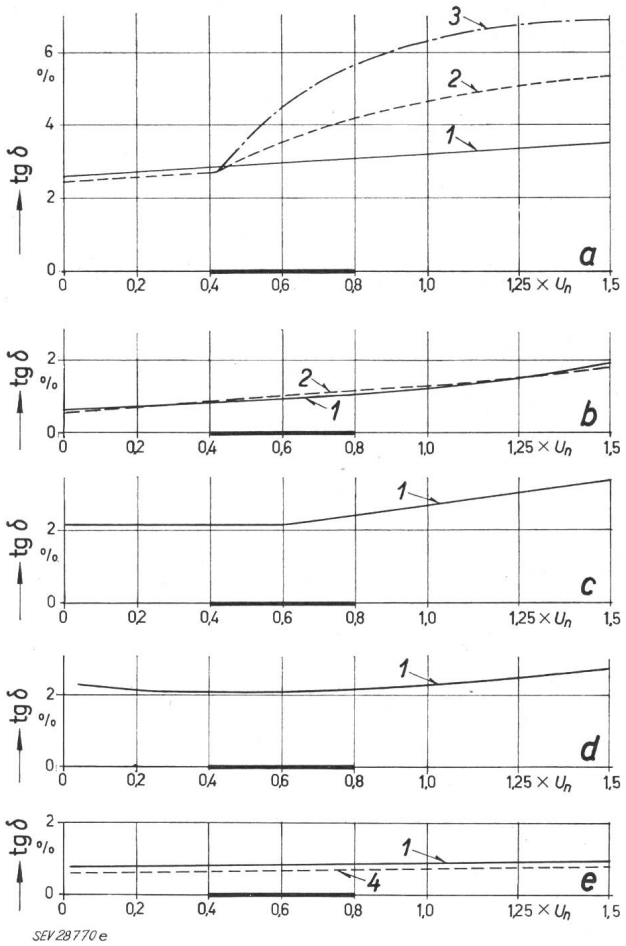

Fig. 12

Spannungsabhängigkeit des tg δ verschiedener Isolationen

a Schellack-Micafolium; *b* Epoxy-Samicafolium; *c* mit Polyester vorimprägniertes Samicaband; *d* asphalt-vakuumimprägnierte Micabänder; *e* epoxy-vakuumimprägnierte Samicabänder

1 Neuzustand; *2* 1 Zyklus bis 120 °C; *3* 100 Zyklen bis 120 °C; *4* 1 Zyklus bis 150 °C

U_n Nennspannung

0,4...0,8 U_n Betriebsbereich der Klemmenspulen

3. Kontrolle von Statorwicklungen

Es ist dabei grundsätzlich zu unterscheiden zwischen:

a) Fabrikationskontrollen an neuen Wicklungen zur Ausscheidung qualitativ mangelhafter Wicklungsteile, und

b) Alterungskontrollen im Betrieb, welche die Isolationsqualität in Funktion der Zeit überwachen und Aussagen über die weitere Lebenserwartung der Wicklung gestatten sollen.

3.1 Die Fabrikationskontrollen

basieren auch heute noch auf zwei seit Jahrzehnten mit Erfolg verwendeten Prüfverfahren:

a) Prüfung mit hohen Wechselspannungen zur Gewährleistung eines bestimmten Spannungsniveaus und zur Ausscheidung mechanisch beschädigter oder inhomogener Isolationen;

b) Ionisationskontrolle zur Überwachung der Fabrikationsgüte.

Während die untere Grenze der 50-Hz-Prüfspannungen durch die Normen vorgeschrieben ist und normalerweise 2 × Nennspannung + 1 bzw. + 3 kV beträgt, stellt sich für den Konstrukteur die Frage nach der obersten zulässigen Grenze für Zwischenkontrollen während der Fabrikation. Es ist eine bekannte Tatsache, dass übersetzte Prüfspannungen Schäden im Dielektrikum einleiten, die im späteren Betrieb zu Störungen führen können. Die theoretische Erfassung dieses Phänomens steckt noch in den Kinderschuhen und bietet besonders bei geschichteten Isolierstoffen grosse Schwierigkeiten. Der Konstrukteur ist daher heute noch auf eigene Erfahrungswerte angewiesen, die ihm gestatten, im Sinne einer scharfen Qualitätsauslese hohe Prüfspannungen anzuwenden und dennoch eine genügende Sicherheit gegen ungewolltes Einleiten von Isolationsfehlern zu besitzen. Zur Abschätzung der maximalen Prüfspannungen können Durchschlag-Zeit-Kennlinien herangezogen werden. Solche Kennlinien zeigen einen raschen Abfall der Durchschlagspannungen bei kleinen Zeiten (ca. 20 % in der ersten Minute) und einen langsameren Abfall mit zunehmender Zeit (weitere 20 % bis zu einer Stunde). Trotz weiterem Absinken der Durchschlagwerte in Funktion der Zeit kann daher für kurze 1-Minuten-Prüfungen als obere Grenze beispielsweise die 1-Stunden-Haltespannung gewählt werden.

Die Prüfung mit kurzzeitigen hohen Gleichspannungen drängt sich besonders bei der Einzelstab-Prüfung auf, da diese Prüfmethode die Isolationen weniger stark beansprucht als die 1-Minuten-Prüfung mit 50 Hz und dennoch dielektrisch schlechte Stäbe mit genügender Sicherheit ausscheidet. Leider sind die Untersuchungen über den Korrelationsfaktor, welcher die einer bestimmten 50-Hz-Prüfspannung äquivalente Gleichspannung festlegt, noch nicht so weit gediehen, dass allgemein gültige Richtlinien erlassen werden können. Daher hat auch hier der Konstrukteur nach eigenem Ermessen zu handeln, wobei üblicherweise Korrelationswerte zwischen 1,6 und 2,0 gewählt werden.

Stoßspannungsprüfungen werden bei Stabwicklungen, deren Isolationen einfacher mit 50-Hz- oder Gleichspannung geprüft werden, nur vereinzelt angewandt. Es hat sich dabei gezeigt, dass die Stossspannungen so hoch gewählt werden müssten, dass bei normalen Maschinen Randüberschläge am Nutaustritt auftreten, bevor die äquivalente Beanspruchung der Nutenisolation erreicht wird. Die 1|50-Stoss-Randüberschläge, welche bei Nutumpressungen gemessen wurden, entsprechen angenähert den Scheitelwerten der 50-Hz-Randüberschlagspannungen. Damit würden übertrieben grosse Ausladungen der Nutenisolationen notwendig, die ganz besonders dann unbegründet sind, wenn die Maschinenwicklungen durch Transformator-Blockschaltungen oder Überspannungsableiter gegen stossartige Überspannungen geschützt sind.

Die Stoßspannungsprüfung ist sehr gut geeignet zur Kontrolle der Windungsisolation von Spulenwicklungen, wobei die Höhe der Prüfspannung von der Anordnung der Serieleiter in der Spule sowie davon abhängt, ob die betreffende Maschine direkt auf Freileitung arbeitet oder durch einen Transformator geschützt ist. Für die Prüfung stehen 2 Verfahren zur Verfügung, die einander ungefähr ebenbürtig sind:

a) Prüfung nach *Rylander*, und

b) Prüfung nach *Wellauer*.

In beiden Fällen wird der Prüfling mit einer gleichen, zweiten Spule verglichen und mit Hilfe eines angekoppelten Messkreises festgestellt, ob der Spannungsverlauf, hervorgerufen durch die Entladung einer Kapazität über eine Funkenstrecke, in beiden Spulen gleich oder verschieden ist.

Die Ionisationskontrolle von neuen Statorwicklungen lässt sich durchführen durch Messung der Ionisation mit der Scheringbrücke (tg δ-Messung) oder einen Ionisationstester (z. B. Renaudin-Apparat des Laboratoire Central des Industries Electriques) in Funktion der Spannung oder in Funktion der Temperatur (Wärmetest).

Der stetige Verlauf der Ionisationswerte in Funktion der Spannung zeugt von einwandfreier Fabrikation und ist charakteristisch für eine Isolation ohne Hohlräume. Lufteinschlüsse oder Hohlräume beginnen bei einer bestimmten Spannung zu glimmen, was im tg-δ-Verlauf durch den bekannten Ionisationsknick nachgewiesen werden kann. Bei modernen Kunstharzisolationen, insbesondere bei Kunstharz-Folien-Isolationen, hat sich eine zusätzliche Messung, die Temperaturabhängigkeit der dielektrischen Verluste, als zweckmässig erwiesen. Als Kriterium dieses sog. Wärmetestes wird dabei gefordert, dass der bei Raumtemperatur gemessene Verlauf der tg-δ-Kurve in Funktion der Spannung vor und nach dem Aufheizen auf Temperaturen bis 120 °C unverändert bleibt. Die Erfüllung dieser Bedingung zeigt, dass das Isoliermaterial genügend auspolymerisiert ist und die notwendige Klebekraft besitzt, um den mechanischen Zusammenhang der Isolation auch bei Betriebstemperatur sicherzustellen. Änderungen des Ionisationsverlaufes, im besonderen das Auftreten eines Ionisationsknickes nach dem Wärmetest, weisen darauf hin, dass die Qualität des Isoliermaterials mangelhaft war, oder dass durch fehlerhafte Wickeltechnik Lösungsmittel in der Isolation eingeschlossen sind, welche den anfänglich scheinbar guten Zusammenhang der Isolation sprengen.

3.2 Alterungskontrollen von Statorwicklungen im Betrieb

Diese Kontrollen, die in den letzten 10 Jahren vor allem von der Electricité de France (EdF) entwickelt und auf breiter Basis ausgebaut wurden, sollen gestatten, durch zerstörungsfreie Prüfmethoden bei minimalstem Zeitaufwand während der Revisionen, einen Hinweis auf die momentane Qualität der Wicklung und ihre weitere Lebenserwartung zu erhalten.

Obwohl die EdF ihre Kontrollmethoden schon bei einer grossen Zahl verschiedener Generatoren angewandt und viel Erfahrungsmaterial gesammelt hat, können heute noch keine bestimmten Werte für die sichere Beurteilung des Isolationszustandes einer Maschine gegeben werden. Insbesondere ist es nicht möglich, durch eine einmalige Messung den Alterungszustand der Isolation zu beurteilen, ein Pro-

blem, das infolge der Vielfalt an Wicklungs- und Isolationsarten ausserordentlich kompliziert ist. Vielmehr ist man gezwungen, durch die laufende Wiederholung bestimmter Kontrollen Veränderungen in der Isolation einer bestimmten Wicklung zu registrieren, um — basierend auf Erfahrungen mit ähnlichen Wicklungen und künstlichen Alterungsversuchen — frühzeitig den zunehmenden Zerfall der Isolation zu erkennen und die notwendigen Massnahmen einleiten zu können.

Die Alterungskontrollen von Wicklungen im Betrieb zerfallen in 2 Teile:

a) äussere, visuelle Untersuchungen,

b) innere, elektrische Prüfungen.

Die visuelle Kontrolle der Wicklung vermittelt dem erfahrenen Fachmann ein Bild über ihren allgemeinen Zustand und gibt ihm einen Fingerzeig dafür, welche elektrischen Prüfungen in erster Linie durchgeführt werden müssen. Die äusseren Untersuchungen umfassen:

a) Kontrolle des Verschmutzungsgrades, besonders bei offenen Maschinen und Generatoren mit Kanalanschluss;

b) Kontrolle der Nutenisolation bezüglich thermo-mechanischer Schäden wie Bandverschiebungen, Aufquellungen oder Stauchungen in den Kühlschlitzen und am Nutaustritt;

c) Glimmerscheinungen am Nutaustritt;

d) Kontrolle der Wicklungsköpfe auf Deformationen und Isolationsbeschädigungen durch Kurzschlusskräfte. Aufquellen, insbesondere von thermoplastischen Kopfisolationen, und Zustand von Abstützungen, Bandagen und Anstrich.

Die elektrischen Prüfungen lassen sich in 3 Hauptgruppen unterteilen:

a) Ionisationskontrollen;

b) Prüfungen mit Gleich- und Wechselspannung;

c) Temperaturkontrollen.

Die Ionisationskontrollen verfolgen das Ziel, den Zustand der Isolation durch Überwachung der inneren Ionisation zu überprüfen. Es ist dabei üblich, vorerst nur eine allgemeine Ionisationskontrolle durchzuführen und erst in kritischen Fällen lokale Ionisationsuntersuchungen mit besonderen Prüfsonden zur Ermittlung fehlerhafter Wicklungsteile anzuwenden.

Prüfungen mit kleinen Gleichspannungen liegen die Untersuchungen von *Maxwell* an geschichteten Dielektrika zugrunde, die gezeigt haben, dass beim plötzlichen Anlegen einer Gleichspannung folgende Ströme zu unterscheiden sind:

a) Ladestrom, der mit zunehmender Ladung der Wicklungskapazität rasch abklingt;

b) Nachlade- oder Absorptionsstrom, dessen Grösse hauptsächlich durch den Aufbau und damit durch den Zustand der Ionisation gegeben ist und der bedeutend langsamer als der Ladestrom abklingt.

c) Isolations- oder Ableitstrom, gegeben durch die Leitfähigkeit der Isolation selbst sowie durch die Ableitung auf der Oberfläche infolge Feuchtigkeit und Verschmutzung.

Während der Ladestrom zur Beurteilung von Isolationen von untergeordneter Bedeutung ist, kann der Absorptionsstrom — oder der äquivalente Vorgang beim Entladen der Wicklungskapazität: der Resorptionsstrom — zusammen mit dem Ableitstrom als Alterungskriterium benützt werden. Als Vergleichswert wird üblicherweise der bei ca. 500 V nach einer Minute gemessene und auf 1 V und 1 F Wicklungskapazität bezogene Resorptionsstrom gewählt. Neben der Temperatur beeinflusst vor allem die Feuchtigkeit die Resorptionsvorgänge, weshalb gleichzeitig mit den Resorptionsmessungen eine Feuchtigkeitskontrolle durch Messung des sog. Polarisationsindexes vorgenommen wird. Der Polarisationsindex ist definiert als Verhältnis der Ströme, gemessen nach einer und nach 10 min, ein Wert, der bei konstanter Temperatur vor allem in Funktion der Feuchtigkeit und des Verschmutzungsgrades variiert.

Die Isolationskontrollen mit hohen Gleichspannungen sind heute noch umstritten, da man sich über die Frage des Korrelationsfaktors noch nicht im klaren ist. Auch die früher verbreitete Ansicht, dass bei Gleichspannungsprüfungen keine Ermüdungserscheinungen in der Isolation zu erwarten sind, wurden durch neuere Untersuchungen widerlegt, wo anhand von Messungen an stark gealterten Isolationen schon Ermüdungserscheinungen bei Gleichspannung gemessen wurden, die 30 und weniger Prozent des Durchschlagwertes betragen.

Da Gleichspannungsprüfungen keine volle Gewähr gegen ungewollte Wicklungsbeschädigungen bieten, wird auch heute noch vielfach eine Kontrolle des Isolationsniveaus mit 50-Hz-Wechselspannung durchgeführt, wobei üblicherweise 80 % der Prüfspannung nach Norm nicht überschritten werden. Auch dieser Prüfung haftet der Nachteil jeder Spannungsprüfung an, dass den effektiven Betriebsverhältnissen nur wenig Rechnung getragen wird. So werden Wicklungsteile in der Nähe des Sternpunktes mit voller Spannung geprüft und dabei vielleicht beschädigt, trotzdem im normalen, symmetrischen Betrieb diese Teile kleine Spannungen gegen Erde aufweisen.

Zur Ergänzung der erwähnten elektrischen Kontrollen können auch Temperaturkontrollen zu Hilfe genommen werden. Diese Messungen basieren auf der Tatsache, dass Alterungserscheinungen der Isolation auch ihre Wärmeleitfähigkeit beeinflussen. Es ist daher möglich, durch periodische Kontrollen des Temperaturgefälles innerhalb der Isolation bei gleichen Betriebsbedingungen die Alterung der Isolation zu verfolgen.

Das Problem der Qualitätsbeurteilung von Wicklungen ist derart weitschichtig und mit praktischen Erfahrungen verbunden, dass sich eine Koordination der Anstrengungen und ein zweckmässiger Erfahrungsaustausch aufdrängt. Während die EdF in Frankreich diese Aufgabe übernommen hat, sind es in der Schweiz vor allem die Elektromaschinenbauer, die sich in den letzten Jahren dieser Fragen angenommen haben. In Erkenntnis dieser wichtigen Aufgabe bauen sie ihre Service-Equipen weiter aus, Equipen, deren Aufgabe vor allem darin besteht, in

enger Zusammenarbeit mit den Isolationsforschungszentren einerseits und den Elektrizitätsunternehmen anderseits den Isolationszustand der gelieferten Generatoren periodisch zu überprüfen. Damit wird die Möglichkeit der Kundenberatung geschaffen und gleichzeitig ein wesentlicher Beitrag für die Weiterentwicklung der Isolationen grosser Generatoren geleistet.

Wie auf andern Gebieten des Grossmaschinenbaues zeigt sich auch hier eine Tatsache, der besonders bei Isolationsfragen grosse Bedeutung zukommt: Die eminente Wichtigkeit der engen Zusammenarbeit zwischen Konstrukteur und Betriebsmann. Sie allein stellt den Fortschritt auf dem Gebiet der Konstruktion grosser Wasserkraftgeneratoren sicher, einen Fortschritt, der imstande sein wird, auch in Zukunft die Deckung des rasch steigenden Bedarfes an elektrischer Energie mit betriebssicheren Maschinen zu gewährleisten.

Literatur

[1] *Laffoon, C. M., C. F. Hill, G. L. Moses* und *L. J. Berberich:* A New High-Voltage Insulation for Turbine-Generator Stator Windings. Trans. AIEE Bd. 70(1951), Part 1, S. 721...730.

[2] *Moses, G. L.:* Alternating and Direct Voltage Endurance Studies on Mica Insulation for Electric Machinery. Trans. AIEE Bd. 70(1951), Part 1, S. 763...769.

[3] *Moses, G. L.:* Diskussionsbeitrag zu [4]. Trans. AIEE Bd. 77 (1958), Part 3: Power App. and Syst., Nr. 36, S. 367...369. (bes. S. 368).

[4] *Flynn, E. J., C. E. Kilbourne* und *C. D. Richardson:* An Advanced Concept for Turbine-Generator Stator-Winding Insulation. Trans. AIEE Bd. 77(1958), Part 3: Power App. and Syst., Nr. 36, S. 358...365.

[5] *Nowak, P.* und *F. Weber:* Epoxydharze und ihre Verwendung in der Elektrotechnik. ETZ-B Bd. 10(1958), Nr. 4, S. 101...107.

[6] *Narcy, J.* und *G. Leroy:* Le contrôle en service de l'isolation des grandes machines synchrones. Bull. sci AIM Bd. 71(1958), Nr. 9/10, S. 740...771.

[7] *Abegg, K., Ch. Caflisch* und *F. Knapp:* Isolationen hoher Festigkeit für Generatoren grosser Leistung. Bull. Oerlikon Bd. -(1959), Nr. 332, S. 8...21.

Adresse des Autors:
K. Abegg, Ingenieur, Waldmeisterweg 5, Zürich 6/57.

Technische Mitteilungen — Communications de nature technique

Die Problematik der Konjunkturprognose

338.97

[Nach *E. Böhler:* Die Problematik der Konjunkturprognose. Ind. Organisation. Bd. 28(1959), Nr. 9, S. 257...260]

Es ist interessant festzustellen, dass die Menschheit auf der einen Seite in der Politik, in der Wirtschaft und im täglichen Leben bestrebt ist, nach Prognosen zu handeln, auf der anderen Seite aber diese wieder anzweifelt, sei es aus prinzipiellen Gründen, oder sei es weil viele Prognosen sich als falsch erwiesen haben.

Vorerst sei festgehalten, dass es im allgemeinen nicht möglich ist, eine totale Wirtschaftsprognose zu stellen, denn die Wirtschaft hängt nicht allein von wirtschaftlichen Faktoren ab, sondern auch von politischen, technischen, gesellschaftlichen und psychologischen, die aber alle ihrer eigenen Gesetzmässigkeiten genügen und vom Gesichtspunkt der Wirtschaft aus, deren Gesetzmässigkeit stören. Eine treffende Aussage über die Wirtschaftsentwicklung wäre daher nur möglich, wenn die Entwicklung der erwähnten Faktoren auch mitberücksichtigt werden könnte, was aber nicht der Fall ist. Eine Wirtschafsprognose kann nur einzelne, aber nicht alle wirksamen Wirtschaftsfaktoren erfassen. Die Tendenz der erfassten Faktoren kann daher infolge der nicht erfassten oder nicht erfassbaren Faktoren von der Wirklichkeit stark abweichen.

Diese und noch einige andere Gründe verursachen, dass der Konjunkturbeobachter nur die Entwicklungstendenzen wirtschaftlicher Faktoren angeben kann, wenn er voraussetzt, dass alle anderen Umstände sonst gleichbleiben. Damit kann aber eine Prognose nur einen hypothetischen Charakter besitzen.

Trotz dieser Feststellung ist es dem Unternehmer nicht möglich, darauf zu verzichten, sich eine Vorstellung über die zukünftige Entwicklung der Wirtschaft zu machen. Um ein richtiges Bild zu erhalten, sollte er aber auch seinen Instinkt benützen, welcher zwar keine rationelle Prognose erlaubt, doch gegebenenfalls den einzuschlagenden Weg weisen kann. Leider ist es in der heute mehr und mehr kanalisierten und rationalisierten Wirtschaft immer weniger möglich den Instinkt zu brauchen, denn dieser kommt nur dann zur Geltung, wenn das rationelle Bewusstsein seine Hilflosigkeit anerkennt.

Trotz allem ist der Praktiker heute auf eine verstandesmässige Konjunkturanalyse angewiesen. Diese wird gewissermassen zum Grundstein der Geschäftspolitik, weil sie auf quantitative Beobachtungen wie Planung für Verkauf, Einkauf und Finanzierung usw. ausgerichtet ist. Die in aller Welt wirkenden Konjunktur-Institute stellen sich die Aufgabe, diese Entwicklungen zu verfolgen. Auf längere Frist jedoch können solche Prognosen aus den bereits erwähnten, nicht erfassten oder nicht erfassbaren Gründen dem Unternehmer nicht dienen.

Der Erfolg der Konjunkturbeobachtung liegt auch nicht allein im Inhalt der Prognosen, sondern eher darin, dass der Unternehmer angeregt wird nachzudenken über die Entwicklung aller jener Faktoren, die in der Prognose nicht berücksichtigt werden konnten. Er muss sich dann dabei auch Rechenschaft geben über den Erfolg seines Unternehmens, über den Verkauf, Fertigwaren- und Rohmateriallager und vieles andere mehr. Durch dieses Nachdenken gelangt er zu den letzten Elementen der Gesamtkonjunktur, wie Konsum, Investitionen in Lagern, Export, Ausgaben der öffentlichen Wirtschaft usw., damit er die Bewegung der Gesamtkonjunktur rechtzeitig zu erfassen in der Lage ist. *E. Schiessl*

Militärische Anwendungen der Infrarottechnik

621.383.2 : 623

[Nach *L. W. Nichols, W. A. Craven, R. W. Powell* u. a.: Military Applications of Infrared Techniques. Proc. IRE Bd. 47(1959), Nr. 9, S. 1611...1624]

Raketenzielsucher und «Homers»

Die Verwendung der Infrarot- (IR-)-Technik zur selbsttätigen Zielortung und -lenkung drängt sich auf; viele militärisch wichtige Ziele strahlen grössere IR-Wärmebeträge ab. Die ersten Versuche wurden 1930 in Deutschland gemacht; im 2. Weltkrieg gelang es, Kolbenmotor-Bomber bis auf 5 km Entfernung «infrarot aufzuspüren».

Amerikanischen und britischen Anstrengungen ist es zu verdanken, dass diese Entwicklungen weitergeführt wurden und begünstigt durch die Entwicklung von Strahlflugzeugen einerseits, verbesserter Bleisulfidempfängerzellen anderseits zu beachtlichen Erfolgen geführt haben. Heute liegen leistungsfähige IR-Abwehrsysteme vor; als erfolgreichstes gilt die Luft-Luft-«Homing»-Rakete auf Strahlflugzeuge.

Der Raketenzielsucher fasst die Information über die Lage seines Zieles optisch auf und wandelt sie in Lenkstellbewegung. Geometrisch folgt er einer vorgeschriebenen Bahn, an deren Ende der Schnittpunkt mit der Zielbahn ist. Der Kurs steuert sich so (z. B. konstanter Seitensichtwinkel oder Schielwinkel zum Ziel), dass sowohl Raketenzielsucher und Ziel sich gleichzeitig im Treffpunkt treffen. Das Steuer- und Lenksystem ist ein geschlossenes Regelsystem.

In einem Raketenzielsucher müssen viele gegensätzliche technische Forderungen harmonisiert werden:

Gewünschte physikalische Charakteristiken	*Besondere technologische Einbauforderungen im Raketenkopf*
Weite Teleskopöffnung (zwecks grosser Reichweite)	Begrenzte Öffnung (wegen Platz und Gewicht)
Hohe optische Auflösung auf weite Entfernung	Kurze axiale Teleskopbrennweiten (wegen Länge)
Optische Schärfekorrekturen und -einstellungen	Feste unverstellbare Elemente (wegen Stabilität und Fertigung)