Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 76 (1985)

Heft: 19

Artikel: Aktuelle Probleme bei Leistungstransformatoren

Autor: Kreuzer, J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904690

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: 14.07.2025

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

Aktuelle Probleme bei Leistungstransformatoren

Bericht über das 17. CIGRE-Colloquium «Transformatoren», 24.–28. Juni 1985 in Helsinki

An diesem Colloquium wurden folgende Vorzugsthemen behandelt:

1. Anwendung neuer Materialien im Transformatorenbau
2. Erfahrungen mit der neuen dielektrischen Prüfung nach CEI-Publ. 76/Teil 3
3. Untersuchungsmethoden an Transformatoren im Betrieb

1. Neue Materialien

1.1 Magneteisenmaterial niedriger Verluste

Die Hauptfrage drehte sich um die Langzeitstabilität nach den bisherigen Erfahrungen über beide Grundmaterialien: hochwertige kornorientierte FeSi-Bleche (HiB/Japan) und amorphes Eisenkernmaterial (Metglas/USA). Hier herrscht ganz offensichtlich ein starker, aber gesunder Wettkampf, von welchem man noch nicht abschätzen kann, wer ihn gewinnt. Zurzeit deckt das HiB-Blech zumindest bei Mittel- und Grosstransformatoren noch allein den Markt. Bei kleinen Transformatoren mit sog. Wickelkernen gewinnt aber in USA das amorphe dünne Bandmaterial von 0,025 mm zunehmend an Bedeutung.

Für geschichtete Kerne stellt das Metglas (*Allied*) noch ganz erhebliche Fertigungsprobleme (Schneiden, Schichten, Glühen, Stabilitätskriterien), wogegen jetzt bereits Blechdicken von 0,13–0,25 mm und bald auch Bandbreiten von etwa 300 mm zur Verfügung stehen. Der neuere Entwicklungsschritt vermeidet den komplizierten Glühprozess der Kerne beim Benutzer, das Material bleibt aber weiterhin empfindlich und temperaturabhängig. Vergleiche von Metallglas mit den heutigen besten HiB-Blechen:

Verlustziffer (v)	nur ⅓ bis ¼
Koerzitivkraft (H_c)	etwa ½
Remanenz (B_r)	etwa gleich
Sättigung (B_s)	1,6 T statt 2,0 T
Nenninduktion	1,35 T statt 1,75 T
Magnetisierung	steigt ab 1,35 T stark an
Magnetostriktion	etwa 10mal so hoch
Füllfaktor	0,9 zu 0,97
Maximale Dauerbetriebstemperatur	$\leq$ 125 °C
Preis je nach Sorte	8...11 SFr./kg

Bei den HiB-Blechen wurden Verlustreduktionen durch Laserbehandlung von 20% genannt und Geräuschminderungen um 5 dB (A), was jedoch nach den Erfahrungen in der Schweiz zu hoch gegriffen ist. Die besten Verlustziffern liegen heute bei etwa 0,9 W/kg für 1,7 T und 50 Hz; Prognosen für die nächsten fünf Jahre gehen auf etwa 0,6 W/kg.

1.2 Nichtzellulose-Isolationsmaterial

Hier wurde von *P. Boss*, BBC-Sécheron, anhand umfangreicher Laborstudien ein breites Vergleichsspektrum aufgezeigt.

Das *Upgraded-Paper* oder thermostabilisierte Papier hat in Europa wenig Chancen. *Nomex* ist ziemlich teuer und wird daher nur in Spezialfällen benutzt (Bahntransformatoren). Ständig verbesserte Lackisolation hat gute Zukunft (Drilleiter), Epoxid-Verfestigung erhöht die Stabilität und Kurzschlussfestigkeit. Insgesamt ist jedoch in Öltransformatoren kaum zu erwarten, dass man in absehbarer Zeit von der bewährten Papier- und Transformerboard-Isolation sowie von den Schichtholz-Presskonstruktionen Abstand nehmen wird.

1.3 Flüssiges Synthetikmaterial

Im Zusammenhang mit der Substitution von PCB in Transformatoren ist dieses Thema hochaktuell. *J. Schober*, BBC-Baden, brachte eine gute Übersicht zu den flüssigen Isoliermaterialien in bezug auf die elektrischen, chemischen, physikalischen und sonstigen Eigenschaften.

Silikonöl kann bei langdauernden inneren Kurzschlüssen, die allerdings Bruchteile von Minuten erreichen müssen, zu Bränden und Explosionen führen. Gegen Aussenbrände ist es dagegen recht temperaturbeständig. Der Preis liegt ein Mehrfaches über dem Mineralölniveau. Im Lastschalter ist Silikonöl nur bedingt geeignet, ausserdem hat es zufolge der grösseren Viskosität schlechtere Kühlungseigenschaften. Von einem deutschen EVU wurde empfohlen, die sehr seltenen Ölbrände nicht überzubewerten und dafür eher eine höhere thermische Überlastbarkeit der Transformatoren anzustreben. Das kostengünstige Mineralöl wird in nächster Zukunft kaum verdrängt werden.

1.4 Gasisolierte Transformatoren

Dieses Thema wurde besonders von japanischer Seite forciert. In USA ist man nach anfänglichem Enthusiasmus (Boston 1981) zurückhaltender geworden. Die meisten europäischen Hersteller beobachten die Situation abwartend, denn vor allem die Kostenseite kann in Relation zu Silikon- und Giessharztransformatoren gegenwärtig nicht überzeugen. Dazu kommt noch, dass nach dem «PCB-Schock» bei den Benutzern eine verständliche «Giftskepsis» zurückgeblieben ist und auch Lichtbogengase in SF_6-Transformatoren nicht als harmlos angesehen werden (letztere sind eben nicht ganz vergleichbar mit den bewährten, voll gekapselten SF_6-Schaltanlagen). Hauptsächlich Japan wird das Gebiet weiter verfolgen und darüber berichten.

1.5 Neues Konstruktionsmaterial

Der Trend geht auf Vermeidung von Stahl in Wicklungsnähe; die Zusatzverluste sind ein Thema, das in der Schweiz zufolge der hohen Kapitalisierungskosten schon vor 10 Jahren aufgegriffen wurde. Gesamthaft wird allseits bei Einführung neuer Materialien zu Vorsicht gemahnt, da Rückschläge oft erst nach einigen Betriebsjahren auftreten und die Auswirkungen enorm sein können.

2. Erfahrungen mit CEI-Publ. 76-3 (1980), troisième partie: niveaux d'isolement et essais diélectriques

Im CENELEC ist die Harmonisierung dieses Dokumentes noch immer nicht been-

Adresse des Autors
Dr. *J. Kreuzer*, BBC-Sécheron S.A., 1211 Genève 21.

det. Die Frage, wer die neue CEI-Methode I oder II vollinhaltlich benütze, wurde durchwegs negativ beantwortet. Alle verwenden beispielsweise bei 400 kV Kombinationen oder überhaupt beide Methoden parallel und dabei noch mit zusätzlichen Abweichungen.

Die Frage «Verteuert die Methode II die Transformatoren?» wurde vom Schweizer Vertreter mit «Ja, in speziellen Fällen» beantwortet (Drehstromtransformatoren mit Kabel- oder SF_6-Anschlüssen und bei Autoschaltungen mit Polreglern).

Es darf an dieser Stelle erwähnt werden, dass in einigen SEV-Berichten über die CIGRE auf die Problematik von Teil 3 hingewiesen wurde, die sich nun weltweit zeigt. Was bringt eine CEI-Prüfmethodik, die niemand einhält? Gesprächsweise stellen heute sogar Benutzer die Frage, ob der wesentlich kostspieligere Prüfaufwand wenigstens die Qualität und Betriebssicherheit der Transformatoren verbessere. Dies kann man mit gewissen Einschränkungen aber doch bejahen.

Prüfung von Reparaturtransformatoren

Hier gab es seitens der USA einen interessanten Hinweis:

Prüfspannung in % der Nennspannung U_N	Prüfdauer
1,5 U_N	5 min
1,4 U_N	12 min
1,3 U_N	36 min
1,2 U_N	120 min

Die Wahl trifft der Abnehmer.

Fehlerstatistik

Die WG 12.05 hat ihren Abschlussbericht «Survey on Failures of Large Power Transformers» 1980 in Electra veröffentlicht. Im Anschluss daran wurde berichtet, dass in Schweden die Hauptfehler im Betrieb nach etwa einem Monat, in USA innerhalb von drei Jahren auftreten.

Zum Thema *Resonanzfehler* kamen von einem deutschen EVU folgende zwei bemerkenswerten Anregungen: Keine kompliziert verschachtelte Wicklungen; mehr Papierauftrag als Leiterisolation. Dies beleuchtet das Problem der Resonanz vielleicht etwas anders als das Ergebnis der diesbezüglichen WG 12.07.

Im grossen und ganzen hat die Weltfehlerrate abgenommen; der Schluss ist jedoch verfrüht, dies den verschärften Prüfmethoden zuzuschreiben.

Zusammenfassung

- Die meisten Benutzer und Hersteller lehnen sich an die Publ. CEI 76/Teil 3 an, niemand benützt sie jedoch exakt.
- Nur in einigen Ländern werden Generatortransformatoren verschärft geprüft.
- Der BIL der HV-Nullpunkte ist stark verschieden. In USA ist bei starrer Erdung die Wechselprüfspannung generell 34 kV, 1 min, und der Nullpunkt wird nie gestossen.
- Strossproben und Schaltwellen des Wicklungseinganges sind sehr unterschiedlich; in der Schweiz werden drei positive und drei negative Wellen verwendet; der Stosspegel für 220 kV mit BIL 1050 ist der höchste in ganz Europa.
- Die Prüfgepflogenheiten bei Reparaturtransformatoren sind besonders verschieden.
- Die Transformatorauslegung wird nur in Sonderfällen durch die Prüfmethoden I oder II beeinflusst.
- Abgeschnittene Wellen werden selten verlangt, sie sind bei verschachtelten Wicklungen aber auch nicht besonders gefährlich; gleiches gilt für Keilwellen.
- Nichtlineare Indikationen bei Impulstests werden nur in USA benutzt.
- Weitere zusätzliche Prüfmethoden (Resonanz) erachtet man nicht als nötig.
- Keine zu tiefen BIL speziell bei Methode II.
- 500 pC bzw. 300 pC nach CEI-Publ. 76/Teil 3 scheinen eher zu hoch.
- In USA sind bereits neue Revisionen dieser Publikation in Ausarbeitung.

Ein spektakulärer Film über einen finnischen Grosstransformatoren-Brand (400 MVA/400 kV) im Anschluss an eine Lastschalterexplosion beendete die Aussprache zu diesem Vorzugsthema. Zum Glück verhalten sich «Fehler» allgemein zu solchen mit Brandfolge wie > 1000:1.

3. Untersuchungsmethoden im Betrieb

3.1 Direkte Hot-Spot-Messung

Vom Schweizer Delegierten *J. Kreuzer* wurden Testerfahrungen mit der Fiber-Optik-Methode (Luxtron) präsentiert. Diese ist gut geeignet für Erwärmungsläufe und Entwicklungstätigkeit, aber schlecht benutzbar zur kontinuierlichen Betriebsüberwachung; dieselbe Meinung wurde auch von den meisten Teilnehmern vertreten.

Besonders geeignet ist diese Direktmethode für Hochstromtransformatoren, bei welchen die indirekte Methode über die Widerstandsmessung sehr mangelhaft ist. Allgemein ist man jedoch der Meinung, dass alle bisher bekannten Hot-Spot-Messmethoden noch einer mehrjährigen Erprobung bedürfen, ehe man sie auch im Betrieb erfolgreich verwenden kann.

3.2 Teilentladungsmessung und -ortung

- Chemische Methoden (Ölanalyse)
- Elektromagnetische Methoden (Oszillogramme)
- Akustische Methoden (äussere und innere)

Auch hier bedürfen die heute zur Verfügung stehenden Apparate noch einer intensiveren Erprobung, ehe sie der breiten Betriebsanwendung voll entsprechen. Der Entwicklungstrend ist jedoch zu begrüssen, da Fehler teilweise frühzeitig erkannt und damit grosse Defekte verhindert werden können.

3.3 Gas- und Ölanalysen

Diese Technik gewinnt bei der Betriebsüberwachung zunehmend an Bedeutung. Aus der Ölanalyse bezüglich gelöster Gase können etwa 90% der Fehlerursachen diagnostiziert werden. Der sog. «Bottle-test» ist aber wegen dem schlechten Gewichtsverhältnis nur für die Grundlagenforschung interessant. Der Feuchtigkeitsgehalt des Öles gibt wenig Aufschluss, da er in keinem guten Verhältnis zur viel wichtigeren Papierfeuchtigkeit steht.

Interessant ist der Hinweis, dass Inox-Stahl zusammen mit Öl den H_2-Gehalt ansteigen lässt, welcher dann einen TE-Fehler vortäuschen kann. Es darf daher nie H_2 allein, sondern es müssen auch die anderen Gase gleichzeitig beurteilt werden.

Immer wieder wird auch auf die nötige Ölüberwachung der Durchführungen und Lastschalter hingewiesen. Dort liegt heute ein grosser Teil der Betriebsfehler.

3.4 Mechanische Veränderungen

Von schweizerischer Seite wurde auf neuere Indikationsmethoden hingewiesen (vgl. *J. Kreuzer:* Entwicklungsschwerpunkte bei Verteiltransformatoren, Bulletin SEV/VSE 9/1985). Die Präzision der Messung erfordert einige Erfahrung im Hinblick auf die Auswertungen und Prognosen.

3.5 Mikroprozessoren

Über den Wert und die Möglichkeiten speziell integrierter Systeme gab es grosse Meinungsverschiedenheiten, auch was die Preisfrage anbelangt. Dabei wurde von den USA auf die Publikation von K. P. Lau und S. L. Nilson in IEEE PAS 104 (1985) hingewiesen.

4. Stand der Arbeiten

Working-Groups (WG)

WG 12.07 Resonanz: Die Arbeiten sind abgeschlossen. Es folgt ein Bericht in ELECTRA.

WG 12.08 Overloading: interner Zwischenbericht in Arbeit.

WG 12.09 Hot Spot: Im Anlaufen.

WG 12.10 Keilwellen, erzeugt durch Leistungsschalter in SF_6-Anlagen: Projekt.

Studien-Komitee (SC 12)

An der CIGRE 1986 ist der 28. August 1986 der Transformatortag: Folgende Vorzugsthemen wurden festgelegt:

1. HV-DC-(Hochspannungs-Gleichstrom), Gleichrichter- und Ofentransformatoren,
2. Hot-Spot-Lokalisation und -Messung (Helsinki 1985),
3. Neue Materialien (Helsinki 1985).

Das Kolloquium 1987 soll vom 5. bis 10. Oktober 1987 in Florenz stattfinden.