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: 68 (1977)

Heft: 14

Artikel: Gedanken zur technisch-wissenschaftlichen Ingenieurtätigkeit dargelegt an Lösungsbeispielen in elektrischen Maschinen

Autor: Neidhöfer, G.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915050

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: 15.07.2025

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

BULLETIN des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins
de l'Association Suisse des Electriciens
des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätswerke
de l'Union des Centrales Suisses d'Electricité

Elektrotechnik — Electrotechnique

Gedanken zur technisch-wissenschaftlichen Ingenieurtätigkeit dargelegt an Lösungsbeispielen in elektrischen Maschinen

Von G. Neidhöfer

621.313.3

Es werden Empfehlungen an den technisch-wissenschaftlich tätigen Ingenieur herangetragen, die es ihm ermöglichen sollen, seine Arbeitsweise vermehrt auf das Ziel technischer Lösungsfindung auszurichten und bestimmte theoretische Aufgaben in Verbindung mit konstruktiv-gestalterischen Massnahmen besser zu lösen. Vorgehen und Erfolg werden an Problemlösungen in grossen Turbogeneratoren und Schenkelpol-Synchronmaschinen gezeigt.

L'auteur adresse des recommandations à l'ingénieur s'occupant de science appliquée lui permettant d'ordonner sa méthode de travail principalement dans le but de trouver une solution d'ordre technique et de mieux résoudre certains problèmes théoriques par des formes de construction et de présentation appropriées. La manière de procéder et les résultats sont montrés dans le cas de grands turbo-alternateurs et de machines synchrones à pôles saillants.

1. Einleitung

Die nachstehende Betrachtung setzt sich mit der Arbeitsweise des wissenschaftlich tätigen Ingenieurs auseinander und stellt sie in engeren Zusammenhang mit der Entwicklung technischer Erzeugnisse. Die fortschreitende Technik führt zu einer immer differenzierteren Arbeitsteilung, so auch zu einer wachsenden Trennung der Tätigkeiten des Ingenieur-Theoretikers einerseits und des Ingenieur-Konstrukteurs andererseits [1] [1]). Doch hängt der Erfolg technisch-wissenschaftlicher Bemühungen weitgehend davon ab, in welchem Masse sich die gewonnenen Erkenntnisse auf die Weiterentwicklung von Geräten, Systemen und Verfahren auswirken und wieweit sie zum Erreichen optimaler Lösungen beitragen. Ideales technisches Schaffen besteht darin, dass theoretische Arbeiten und konstruktiv/schöpferische Massnahmen ineinandergreifen und sich jeweils ergänzen.

Für den Konstruktionsbereich hat die moderne Fachlehre Regeln hervorgebracht, z. B. [2; 3], die das Gestalten technischer Geräte systematisieren und das methodische Entwerfen fördern. Daran anknüpfend werden nun Empfehlungen an den technisch-wissenschaftlich tätigen Ingenieur herangetragen, die seine Arbeitsweise straffen und sie vermehrt auf das Ziel technischer Lösungsfindung ausrichten sollen. Die Leitlinien werden dabei anhand von Problemen und Lösungsbeispielen in elektrischen Grossmaschinen dargelegt.

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

Die elektrische Maschine stellt in konstruktiver wie funktioneller Hinsicht ein vielschichtiges Objekt dar. Ihre Struktur ist primär auf die Erfüllung der Hauptaufgabe, nämlich der elektromechanischen Energiewandlung zugeschnitten. Doch müssen auf engem Raum auch alle unterstützenden Abläufe gesichert sein, wobei sich aus dem Grundaufbau der Maschine gewisse Schranken und Erschwernisse ergeben. Beispiele hierfür sind die Hochspannungsisolationen von Wicklungen im beengten Nuten- und Stirnraum, deren kraftfluss- wie beanspruchungsgerechte Abstützung gegen dynamische Kräfte sowie intensive Kühlsysteme zur Abfuhr der Verlustwärme in elektrisch und magnetisch aktiven Teilen. Weiterhin dürfen sich unerwünschte Nebeneffekte nur in begrenztem Umfang auswirken, weil sie keinen Beitrag zur Grundfunktion erbringen, wohl aber die Beanspruchungen erhöhen und die Betriebsgüte herabsetzen können. Beispiele für parasitäre Erscheinungen sind magnetische Streufelder, Feld- und Spannungsverzerrungen, Oberwellen, Wirbelströme, Zusatzverluste und Erwärmungen, Rüttelkräfte, Vibrationen und Geräusche. Weil die Ursachen hierzu mit wachsender Leistungsdichte stark zunehmen, sind bei höher ausgenützten Maschinen besondere Konstruktionsmassnahmen nötig. Diese haben möglichst auch die Nachteile der unvollkommenen Maschinengeometrie, insbesondere also die Rand- und Endeffekte zu mildern. Schliesslich bleibt der für alle elektromagnetischen Einrichtungen nachteilige Umstand zu erwähnen, dass es – entgegen dem elektrischen Feld – keinen ausdrücklichen Isolator für magnetische Felder gibt.

2. Regeln für gezieltes technisch-wissenschaftliches Arbeiten

Da mit wachsender Leistungsdichte die mit den Hauptabläufen verbundenen Nebeneffekte in der elektrischen Maschine und auch strukturseitige Einflüsse an Bedeutung gewinnen, werden sie zwangsläufig Gegenstand verstärkter Lösungsbemühungen. Ihre theoretische Untersuchung kann indessen wegen der meist komplexen Zusammenhänge einen grossen Aufwand erfordern. Letztlich soll aber jede Bemühung auf das übergeordnete Ziel, also auf das sichere Erfüllen der technischen Hauptfunktion ausgerichtet bleiben. Deshalb muss eine technisch-wissenschaftliche Aufgabe grundsätzlich im Rahmen des Gesamtproblems gesehen werden; gleichermassen ist eine Angemessenheit im Untersuchungsaufwand zu wahren.

Zur zielgerichteten Arbeitshaltung gehört weiterhin eine bewusste Skepsis sowohl zur Problemstellung wie auch gegenüber dem zugehörigen technischen Objekt. Nie darf es allein darum gehen, ein zu behandelndes Phänomen als unwiderruflich hinzunehmen und ihm in theoretischen Studien vorbehaltlos nachzuspüren. Was ausserdem dazu gehört, ist das Suchen und Erkennen von Zusammenhängen zwischen Phänomen und Struktur, um gegebenenfalls die Aufgabe in Verbindung mit gestalterischen Massnahmen besser lösen zu können. Damit lässt sich eine erste Empfehlung formulieren:

1. Technisch-wissenschaftliche Aufgaben sind unter ständiger Beachtung der graduellen Bedeutung des Problems und der strukturseitigen Beeinflussbarkeit der Phänomene zu behandeln.

In einer Konstruktion auftretende Phänomene sind für die Funktion förderlich oder unnütz. Die Grundstruktur einer technischen Einrichtung wird mit Vorteil so ausgebildet, dass die Nutzeffekte sinnvoll und eindeutig ablaufen [2]. Nun lässt sich in Weiterführung dieser Logik eine Struktur auch derart ausbauen, dass die unerwünschten Nebenerscheinungen eingedämmt oder ganz unterbunden werden. Diese bewährte Konstruktionsregel, nämlich

2. Strukturen entwickeln, welche die Hauptfunktion fördern und unnütze Nebeneffekte behindern bzw. unterbinden,

sollte vermehrt auch bei theoretisch-analytischen Arbeiten Eingang finden. So darf sich die Untersuchung einer parasitären Erscheinung nicht auf reine Aussagen über Wirkung und Folgen beschränken. Wenn immer möglich soll sie Hinweise erbringen, wie einem unerwünschten Effekt durch systemseitige bzw. konstruktive Massnahmen begegnet werden kann. In diesem Sinne kann also die Lösung einer technisch-wissenschaftlichen Aufgabe letztlich am Reissbrett erfolgen, indem das gestellte Problem an der Wurzel erfasst und auf geeignete Weise entschärft bzw. behoben wird.

Man kann diese Gedanken aus einem anderen Blickwinkel heraus noch weiterführen. Es ist bekannt, dass die bei theoretischen Arbeiten oftmals notwendigen Annahmen in der Praxis nur angenähert zutreffen und dass sie sich niemals von selbst erfüllen. Handelt es sich gar um einschneidende Voraussetzungen, so sollte man bestrebt sein, sie durch konstruktive Massnahmen gezielt herbeizuführen [4]. Erst dadurch wird der Studiengegenstand einer sicheren Analyse zugänglich, und die inneren Abläufe lassen sich besser überblicken. Die entsprechende Empfehlung soll daher lauten:

3. Transparente, berechenbare Gebilde schaffen.

Anordnungen sind dann besonders gut durchschaubar, wenn die inneren Vorgänge eindeutig ablaufen und sich in geregelter Weise ausbilden können, d. h. wenn sie weitgehend kanalisiert und kontinuierlich sind. Durch Befolgen der zugehörigen Regel:

4. Kanalisation und Kontinuität der inneren Vorgänge anstreben,

erreicht man Eindeutigkeit wie Klarheit der Abläufe und eine Ordnung der Funktionen. Man gelangt also zu übersehbaren Zuständen, Wirkungen und Beanspruchungen. Gleichzeitig wird auch die Berechenbarkeit des Objektes im Sinne der Regel 3 gefördert.

Dass ein Befolgen vorstehender Regeln zu einer Vervollkommnung des Studienobjekts führen kann und letztlich zu echtem technischen Fortschritt verhilft, sei an einigen Problemlösungen gezeigt.

3. Lösungsbeispiele in elektrischen Maschinen

Betrachtet werden elektrische Grossmaschinen, d. h. Synchronmaschinen der Turbo- und Schenkelpolbauweise. Beide Maschinenarten haben, ausgelöst durch den wachsenden Energiebedarf, besonders im letzten Vierteljahrhundert eine starke Weiterentwicklung erfahren. Am auffälligsten ist dabei die Zunahme der Einheitsleistung [5]. Während z. B. vor 25 Jahren die Höchstleistung von Turbogeneratoren bei rund 150 MVA lag, sind heute Grossturbogruppen (Fig. 1) bis rund 1500 MVA gebaut und in Betrieb. Der grösste in Bau befindliche vierpolige Turbogenerator hat eine Leistung von 1635 MVA [6].

Der Anstieg der Maschinenleistungen wurde einerseits durch Vergrösserung der Gesamtabmessungen, vor allem aber durch Erhöhung der Leistungsdichte erreicht. Wie Fig. 2 zeigt, hat die Ausnützungsziffer c, d. h. die volumen- und drehzahlspezifische Leistung, während der vergangenen 25 Jahre bei Turbogeneratoren um den Faktor von rund 5 zugenommen. Daran ist der Ankerstrombelag A, als Mass für die stromseitige Ausnützung, allein mit einer Steigerungsrate von fast 4 beteiligt. Wenn man z. B. bedenkt, dass alle stromabhängigen Effekte bei unveränderter Maschinen-

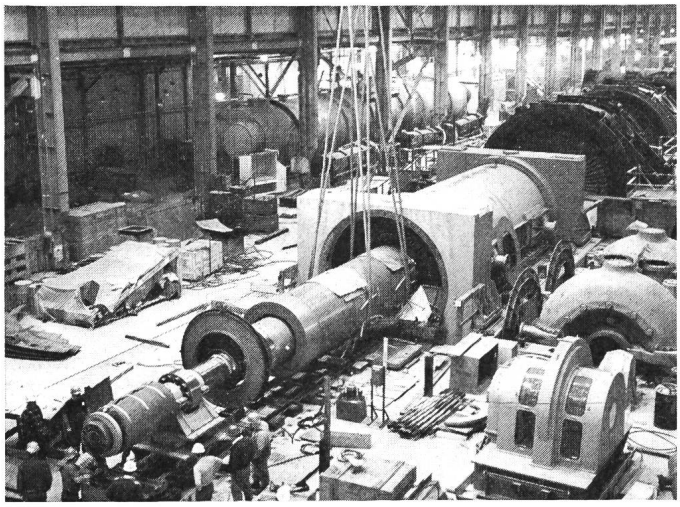


Fig. 1 Turbogruppe mit vierpoligem Turbogenerator 1333 MVA, 60 Hz im Kraftwerk

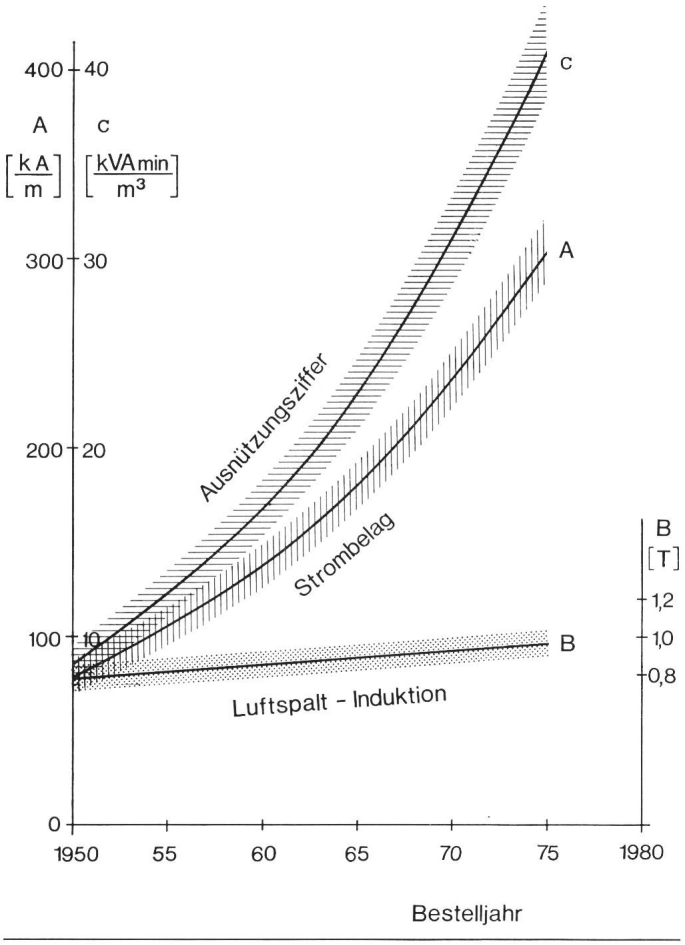


Fig. 2 Entwicklung der magnetischen und elektrischen Ausnützungen bei Turbogeneratoren

struktur quadratisch mit A wachsen, so wird deutlich, dass hier eine Fülle von Entwicklungsmassnahmen [7; 8] zu bewältigen war. Es ging besonders darum, intensive Kühlsysteme zu schaffen und alle Nebenverluste zu senken, die nicht unmittelbar an die Leitung von elektrischem Strom und magnetischem Wechselfluss gebunden sind.

Auch beim Schenkelpoltyp hat die verstärkte Kühlung, insbesondere eine solche durch Wasser in Stator und Rotor [9], die ausführbaren Grenzleistungen weit nach oben verschoben.

3.1 Direkte Leiterkühlung

Grössere Strombeläge führen zu höheren Stromdichten und vermehrter Stromwärme. Soll dabei die Wicklungserwärmung mit Rücksicht auf die Temperaturbeständigkeit der Isolierstoffe in gesetzten Grenzen bleiben, so muss die Kühlung intensiviert werden. Dies gelingt vornehmlich durch Wahl geeigneter Kühlmittel und durch unmittelbares Heranführen des Kühlmittels an die Wärmequellen, d. h. durch direkte Übernahme der Wärme am Entstehungsort. Dadurch können bedeutend grössere Wärmestromdichten übertragen werden als bei indirekten Lösungen, womit sich auch wesentlich höhere elektrische Stromdichten beherrschen lassen (Fig. 3). Beispiele für *direkt gekühlte Maschinenwicklungen* sind in Fig. 4 und 6 zu sehen.

Die technischen Vorteile der direkten Kühlung sind offensichtlich und allgemein bekannt. Im Licht der aufgestellten Entwicklungsregeln stellt sich die direkte Kühlung im Vergleich zur indirekten Lösung wie folgt dar:

– Das Kühlungsproblem ist durch strukturseitige Massnahmen, d. h. durch Entwicklung günstigerer Kühlsysteme, durchgreifend gelöst worden (Regel 1).

– Die Stromtragfähigkeit der Wicklungen wurde entscheidend gehoben bei gleichzeitiger Entschärfung der Erwärmungsprobleme (Regel 2).

– Der Kühlvorgang ist übersichtlich und eindeutig. Kühlmittel- und Wärmeströmung sowie die Übertemperaturen lassen sich mit einfachen Gesetzen der Strömungs- und Wärmelehre sicher berechnen (Regel 3).

– Kühlmittel- und Wärmeströme sind streng geführt, d. h. voll kanalisiert (Regel 4).

Ideale Beispiele für die Entwicklungsregeln 2 bis 4 sind Maschinen mit *vollständiger Flüssigkeitskühlung* [6; 9]. Dort ist jeder Bauteil mit nennenswerter Wärmeerzeugung in das Kühlsystem einbezogen. Neben der Wasserkühlung von Stator- und Rotorwicklung gehört dazu auch eine Kühlung

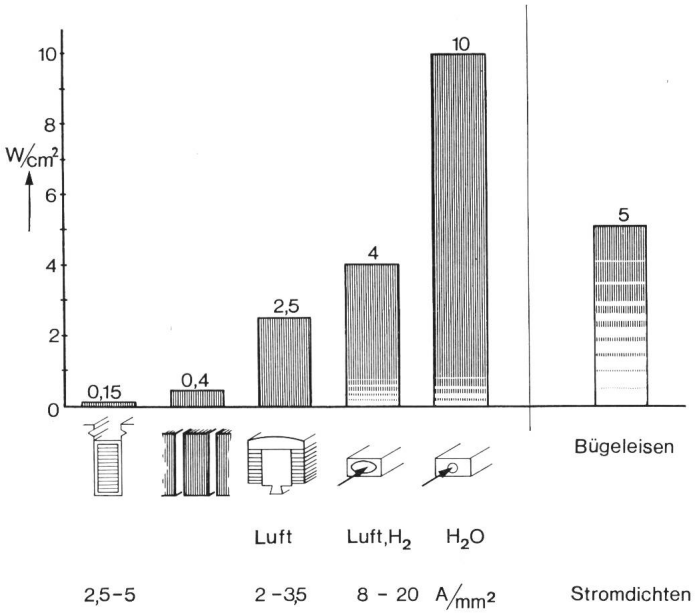


Fig. 3 Wärmestromdichten bei Aktivteilen elektrischer Maschinen

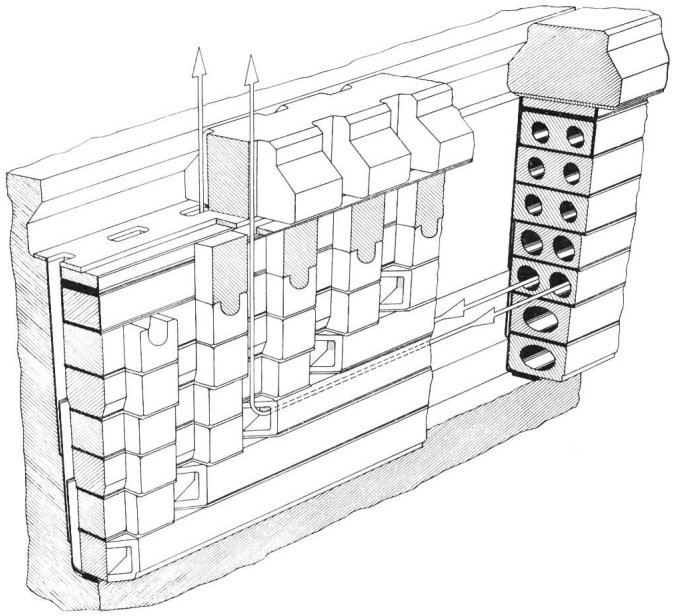


Fig. 4 Nut und Gasauslass eines Turborotors mit direkter Kühlung der Erregerleiter durch Wasserstoff

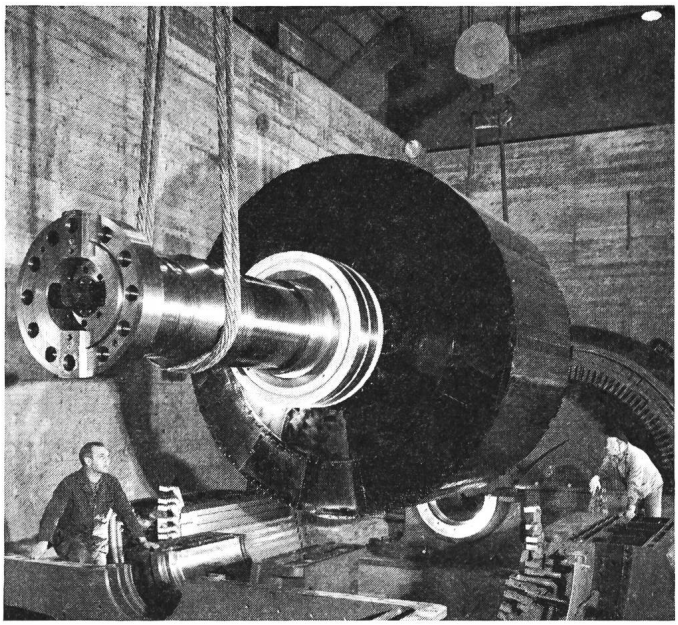


Fig. 5 Wassergekühlter Schenkelpolläufer eines Wasserkraftgenerators

des Statorblechkörpers und der Pressplatten mittels Wasser bzw. Öl. Über die technischen Vorteile hinaus sind damit auch günstige Voraussetzungen für die allgemeine Weiterentwicklung geschaffen. So kann man durch kalorimetrische Messung der einzelnen Kühlzweige einen direkten Einblick in die Verlustbilanz erhalten. Dadurch gelingt es beispielsweise, die sonst nur global bekannten Zusatzverluste in ihre Anteile und nach Entstehungsort aufzuspalten und bei Neukonstruktionen gezielte Gegenmassnahmen zu treffen.

Auch die *Wasserkühlung im Läufer* von Schenkelpolmaschinen (Fig. 5) stellt ein interessantes Beispiel dar [9]. Man darf, ohne den luftgekühlten Schenkelpolläufer besonders abzuwerten, hier festhalten, dass sich sein aerodynamisches Verhalten nicht leicht erfassen lässt und dass ausserdem seine Eigenventilation hinsichtlich Wirksamkeit und Leistungsbedarf nur bedingt günstig ist. Gegenüber einer Oberflächenbelüftung erweist sich die Innenkühlung der Polspulen durch Wasser als weitaus wirksamer und eindeutiger. Dank Kanalisation des Kühlmittelstromes und Wärmeflusses (Regel 4) sind Transparenz und Berechenbarkeit (Regel 3) des Schenkelpolläufers nachhaltig gefördert. Weil nun eine Belüftung der Polspulen nicht mehr nötig ist, können die Pollücken abgedeckt werden, was jegliche Luftwirbel in den Pollücken und die Luftförderung des Polrades ausschaltet: niedrige Ventilationsverluste und verminderte Lüftungsgeräusche sind das Ergebnis einer solchen Ausgestaltung des Schenkelpolläufers im Sinne der Regel 2.

3.2 Sonderverdrillte Roebelstäbe

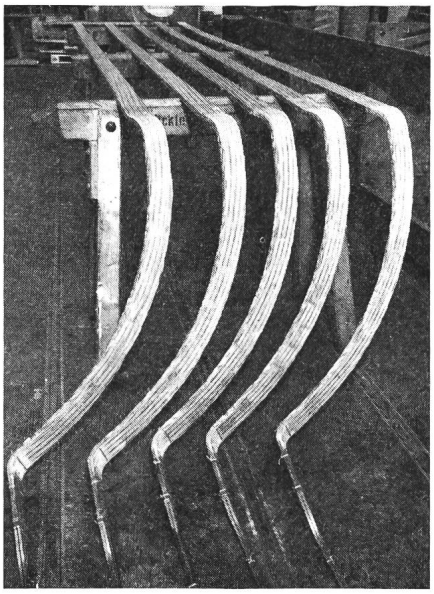
Mit steigendem Strombelag nehmen nicht nur die Stromdichten der Wicklungen zu, sondern es wächst auch die Intensität der Streufelder in Nut- und Stirnraum. Dadurch können in Wechselstromwicklungen erhebliche Zusatzverluste durch Wirbelströme und besonders durch Schlingströme entstehen.

Eine Basislösung zur Kompensation von Schlingspannungen in Wicklungsstäben ist durch das Roebelprinzip gegeben. Mittels gleichmässiger Verdrillung der Teilleiter um 360° über die Aktivlänge wird das Nutquerfeld voll ausgeglichen, das über der Nuthöhe einen beliebigen Verlauf haben darf, der seinerseits längs des Stabes in der Nut gleichbleibend ist. So konnte es zunächst als aussichtslos erscheinen, dass dem Stirnstreufeld mit seinem verwickelten räumlichen Verlauf durch ähnliche Massnahmen begegnet werden könne. Tatsächlich kamen, besonders im vergangenen Jahrzehnt, viele theoretische Arbeiten heraus, die sich mit Schlingstromverlusten durch Stirnfelder befassten und sich auf die Grösse dieser Verluste konzentrierten, d. h. deren Existenz als gegeben hinnahmen. Dies muss als Verstoss gegen die Regel 1 angesehen werden. Hier ist echter technischer Fortschritt nämlich gleichbedeutend mit Massnahmen, die auf eine Verminderung der Zusatzverluste [10] zielen. Tatsächlich lässt sich – in konsequenter Beachtung der Regeln 1 und 2 – das Stirnfeld qualitativ derart analysieren, dass die wichtigsten Feldkomponenten und gewisse Symmetrien im Raum erkennbar werden. Dann wird auch offensichtlich, dass eine Verdrillung des Evolvententeils im Stirnbügel (Fig. 6) eine weitgehende Kompensation des Streufeldes im Wickelkopf bewirkt [10]. So ist also der schlingstromarme, d. h. sonderverdrillte Roebelstab die echte Lösung des Problems (Regel 1 und 2). Die noch verbleibenden Wirbelstrom-Zusatzverluste lassen sich durch geeignete Teilleiterabmessungen klein halten und in elementarer Weise berechnen (Regel 3).

3.3 Lamellierte Pressplatte

Ein weiterer Bauteil, auf den das Stirnstreufeld einwirkt, sind die Pressplatten des Statorblechkörpers. In Pressplatten herkömmlicher Art können bedeutende Zusatzverluste mit örtlicher Konzentration und entsprechende Heisspunkte auf-

Fig. 6
Roebelstäbe mit 180° Stirnbügelverdrillung und mit Innenkühlung durch Wasser



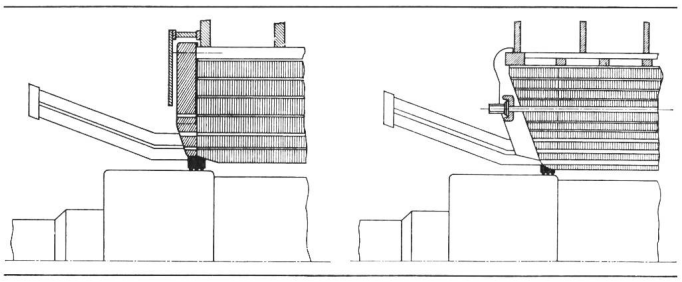


Fig. 7 Endbereich eines Turbogenerators
links: mit massiver einteiliger Pressplatte
rechts: mit lamellierter konischer Pressplatte

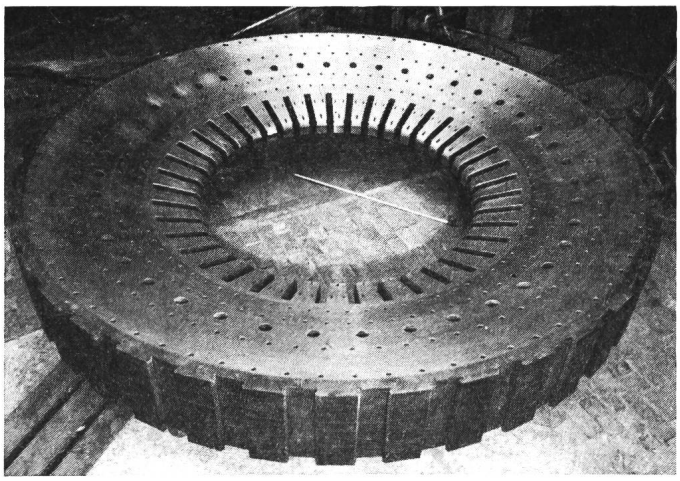


Fig. 8 Lamellierte Pressplatte aus verklebten Elektroblech-Segmenten nach Darrieus [11]

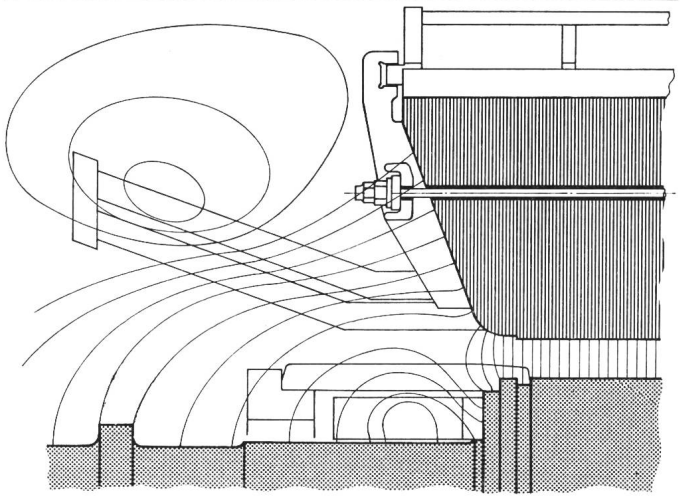


Fig. 9 Stirnraumfeld eines Turbogenerators mit lamellierter Pressplatte

treten. Dies beeinflusst nicht nur den Wirkungsgrad, sondern auch die Betriebssicherheit der Maschine und deren Fähigkeit, unter abnormalen Bedingungen (z. B. bei stärkerer Untererregung oder in asynchroner Weise) betrieben zu werden.

Der eigentliche Kern des Problemkreises liegt im schroffen Übergang vom Aktivteil zum Stirnraum (Fig. 7 links) sowie im Fehlen eines magnetischen Isolators bzw. einer echten Magnetflusskanalisation ausserhalb des Blechkörpers. Dieselben Umstände, besonders die Randeffekte und unstetigen Konturverläufe, sowie die Rückwirkung induzierter Ströme erschweren jede genaue Berechnung des räumlichen Stirnfeldes und seiner Wirkungen. Es verwundert deshalb nicht, dass in vielen theoretischen Arbeiten höchster Qualifikation versucht wird, die Phänomene im Stirnraum und in den angrenzenden Bereichen näher zu ergründen.

Hier dürfte nun die lamellierte Pressplatte [11] als konstruktionsseitiger Lösungsbeitrag von Bedeutung sein, durch den die geschilderten Probleme durchgreifend entschärft wurden. Fig. 7 rechts und Fig. 8 zeigen den Aufbau dieser unkonventionellen Pressplatte. Sie wird durch Aufstapeln und Verkleben gestanzter Elektrobleche zu einem Ring gewonnen, der durch Überdrehen der einen Seite eine konische Aussenkontur erhält. Der Statorblechkörper wird mit axial durchgehenden Zugbolzen und mit unmagnetischen Ankern, die gleichmässig an der Aussenfläche der Pressplatten aufliegen, zusammengepresst. Die konische Flanke der lamellierten Pressplatte wirkt wie ein kontinuierliches Auslaufen des aktiven Blechkörpers und Luftspaltes ins Unendliche. Wie das Feldbild in Fig. 9 beweist, wird auf diese Weise ein stetiger Übergang der Felddichten zwischen Luftspalt und Stirnraum erreicht; ausserdem findet ein grosser Teil des Stirnstreufeldes einen definierten Rückschluss im künstlich verlängerten Blechkörper. Die Empfehlung von Kanalisation und Kontinuität der Abläufe nach Regel 4 wird also in bester Weise erfüllt.

Ebenso sind Transparenz und Berechenbarkeit der Anordnung gemäss Regel 3 durchgreifend gefördert. Besonders die stetigen Konturverläufe am Eisenende, die nur schwache Rückwirkung der Wirbelströme in den Blechtafeln auf das ankommende Feld und die daraus folgenden klaren Spiegelungsbedingungen sind es, die ideale Voraussetzungen für einfachere und schlüssige Feldanalysen schaffen.

Durch die günstige Einführung des Stirnfeldes in die lamellierte Pressplatte sind die Ummagnetisierungsverluste im Platteninnern gleichmässig verteilt und raumspezifisch kaum höher als im aktiven Blechkörper. Als Fortschritt gegenüber herkömmlichen Ausführungen ergeben sich daher relativ niedrige Zusatzverluste und ausgesprochen schwache Erwärmungen in diesem recht exponierten Maschinenteil. Im Sinne der Regel 2 sind also Zusatzverluste und Erwärmung als parasitäre Effekte nachhaltig vermindert; die Hauptfunktion wurde insofern gefördert, als die Maschine gegenüber abnormalen Betriebsweisen unempfindlicher geworden ist. Ein ebenso wichtiger Fortschritt besteht darin, dass durch diese konstruktive Lösung der Weg zu noch höheren Strombelägen, d. h. zu weiter erhöhten Leistungsdichten der Zukunft geebnet wurde.

Alles umfassend besagt hier die Regel 1: Das anstehende Problem kann durch rein technisch-wissenschaftliche Untersuchungen zwar erhellt, aber nicht entschärft werden. Ebenso besteht die echte technische Lösung nicht in der Bekämpfung von Einzelsymptomen, sondern in der Entwicklung eines tauglichen Konstruktionsteils, der ein Aufkommen der widrigen Phänomene verhindert und somit das ursprüngliche Problem grundsätzlich behebt.

Literatur

[1] *C. Brader:* «Engpass-Konstruktion» aus der Sicht der Elektromechanik. Feinwerktechnik 71(1967)1, S. 4...8.

[2] *G. Pahl:* Grundregeln für die Gestaltung von Maschinen und Apparaten. Konstruktion 25(1973)7, S. 271...277.

[3] *W. Beitz:* Bewertungsmethoden als Entscheidungshilfe zur Auswahl von Lösungsvarianten. Konstruktion 24(1972)12, S. 493...498.

[4] *A. Leyer:* Irrungen und Wirrungen in der Gleitlagerforschung. Versuch einer Beseitigung tiefgreifender Gegensätze zwischen Theorie und Wirklichkeit. Technica 21(1972)2, S. 67...82.

[5] *K. Abegg:* Das Wachstum der Turbogeneratoren. Bull. SEV 64(1973)26, S. 1692...1703.

[6] *N. Krick* und *R. Noser:* Das Wachstum von Turbogeneratoren. Brown Boveri Mitt. 63(1976)2, S. 148...155.

[7] *G. Neidhöfer* et *M. Therby:* Développement des turbo-alternateurs de grande puissance. Quelques problèmes et leur solution particulière. Bull. Sci. AIM 88(1975)3, p. 279...287.

[8] *K. Abegg* und *J. Kreuzer:* Maschinen und Transformatoren. Bull. SEV/VSE 67(1976)21a, S. 1184...1189.

[9] *K. Baltisberger:* Betriebserfahrungen mit wassergekühlten Synchronmaschinen. Bull. SEV 64(1973)26, S. 1704...1710.

[10] *G. Neidhöfer:* Innenkühlung von Roebelstäben und Massnahmen zur Verminderung der Zusatzverluste. Scientia Electr. 14(1968)3, S. 49...72.

[11] *G. Darrieus:* Détermination et tracé des champs à trois dimensions. Application aux têtes de bobines, notamment des turbo-alternateurs. Rev. Gén. Electr. 76(1967)3, p. 333...354.

Adresse des Autors

Prof. Dr. *Gerhard Neidhöfer,* BBC Aktiengesellschaft Brown, Boveri & Cie, Abt. T 1-E, 5401 Baden.