



Doctoral Thesis

Beitrag zur Theorie eines asynchronen Turbogenerators mit massivem Rotor und serieerregtem Erreger

Author(s):

Bratoljić, Tihomir

Publication Date:

1968

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-000085652> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. Nr. 4070

**Beitrag zur Theorie eines asynchronen
Turbogenerators mit massivem Rotor
und serieerregtem Erreger**

ABHANDLUNG

zur Erlangung der Würde eines
Doktors der technischen Wissenschaften
der

EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von

Tihomir Bratoljić

dipl. El. Ing. Universität Zagreb

geboren am 11. Mai 1927

jugoslawischer Staatsangehöriger

Angenommen auf Antrag von

Prof. A. Dutoit, Referent

Prof. Dr. K. Berger, Korreferent

1968

Bamberg

Bamberger Fotodruck

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit ist der Untersuchung eines asynchronen Turbogenerators mit dreiphasig bewickeltem Rotor und serieerregtem Erreger gewidmet, der auf einen Vorschlag von G. Darrieus zurückgeht. Die wesentlichen Merkmale dieses Asynchrongenerators sind massive Bauweise des Rotors und relativ grosse Serieerregung. Diese beiden Merkmale verleihen dem Generator charakteristische Eigenschaften, die erforscht werden sollten.

Das mit der massiven Bauweise des Rotors zusammenhängende Problem besteht in der Erfassung des Einflusses von Wirbelströmen, die im Asynchronbetrieb in massiven Rotor-teilen induziert werden. Einer vollständigen und exakten Lösung der Maxwell'schen Feldgleichungen stellen sich dabei hauptsächlich zwei Schwierigkeiten entgegen: die komplizierte Geometrie des Rotors und die durch Eisensättigung verursachte Nichtlinearität des Problems. Diese Arbeit bezweckte, mit Hilfe einiger weniger plausibler Annahmen eine analytische Theorie der Maschine aufzustellen, um einen Einblick in die für das Maschinenverhalten wesentlichen Zusammenhänge zu ermöglichen. Der Einfluss der Wirbelströme im massiven Rotor lässt sich bei Betrachtung des Betriebszustandes mit einseitiger Einspeisung der Maschine besonders deutlich hervorheben. Daher wurde im Teil I der Arbeit das Verhalten der Maschine bei offener Erregerwicklung behandelt. Eine übersichtliche mathematische Behandlung und Darstellung der Lösungen wurde dabei insbesondere dank Verwendung des Begriffes der Wellenimpedanz, bzw. der Wellenadmittanz des Rotors erreicht. Zur Berechnung der Wellenadmittanz bei kleinem Schlupf eignet sich besonders

gut die sogenannte "homogene" Theorie, deren Grundannahme darin besteht, dass der wirkliche Rotor zwar in radialer Richtung in mehrere magnetisch verschiedene und z.T. sogar anisotrope konzentrische Zonen oder Schichten aufgeteilt wird, die aber in Umfangsrichtung homogen sind. Im Rahmen der "homogenen" Theorie ist es möglich gewesen, den Einfluss der Rotorkrümmung zu erfassen, womit auch die Feldverhältnisse bei extrem kleinen Schlupffrequenzen, einschliesslich des Synchronismus, richtig berücksichtigt werden. Die obere Grenze der Schlupffrequenz, bis zur welchen die "homogene" Theorie verwendet werden darf, ist durch das Auftreten der Feldverdrängung an die Zahnflanken gegeben. Für den oberhalb dieser Grenze definierten Bereich der grossen Schlupffrequenzen wurde ebenfalls eine geeignete Theorie entwickelt, die dem in der Umlaufsrichtung inhomogenen Aufbau des Rotors Rechnung trägt ("inhomogene" Theorie). Die Abkürzungen "homogene" und "inhomogene" Theorie beziehen sich somit ausschliesslich auf die Rotoreigenschaften in tangentialer Richtung (Umlaufsrichtung). Das letzte Kapitel des ersten Teils der Arbeit ist schliesslich einer approximativen Behandlung des Sättigungseinflusses gewidmet, wobei vom Extremfall einer rechteckigen Magnetisierungskennlinie des Eisens ausgegangen wurde.

Im Teil II der Arbeit wurden zunächst mit ähnlichen Methoden die Berechnungsformeln für die in den Vierpolgleichungen der Maschine benötigten Impedanzen Z_{12} und Z_{22} abgeleitet. Anschliessend wurde das Verhalten des ganzen Regelsatzes bei verschiedenen Ausführungen des Erregers untersucht, wobei der Hauptgenerator selbst als Vierpol behandelt wurde. Zu Vergleichszwecken wurden als Spezialfälle auch ein Generator mit geblechtem Rotor, so-

wie eine normale einachsig serieerregte Synchronmaschine diskutiert.

Die abgeleiteten allgemeinen Beziehungen, sowie die numerisch durchgerechneten Ergebnisse für eine als Beispiel 30 MVA-Maschine zeigen, dass der untersuchte Asynchron-generator interessante Betriebseigenschaften aufweist, die auch gewisse Vorteile im Vergleich zu herkömmlichen Turbo-generatoren bieten. Zur vollkommenen mechanischen und thermischen Symmetrie des Rotors, die eine gute Laufruhe versprechen, kommen auch vorteilhafte elektrische Stabilitätsverhältnisse, insbesondere im stark untererregten Gebiet hinzu. Theoretisch beste Eigenschaften hinsichtlich der Stabilität im untererregten Gebiet lässt dabei eine Maschine mit idealer und vollständiger Serieerregung erwarten. Eine solche Maschine würde den Schlupf $s = 0$ aufweisen und sie würde somit eine Synchronmaschine mit idealer Serieerregung in zwei Achsen ("Konstantfluss-Generator") darstellen. Der praktischen Realisierung einer idealen vollständigen Serieerregung stellen sich jedoch kaum überwindliche Schwierigkeiten entgegen und schon die kleinste Abweichung vom Synchronismus bewirkt bei grosser Serieerregung das Aufkommen starker störender Nebeneffekte. Diese werden durch die Hysterese des Erregers und durch die magnetische Kopplung zwischen den einzelnen Erregerwicklungen des Erregers hervorgerufen und durch grosse Serieerregung, die ja eine Rückkopplung des Erregers darstellt, um so mehr verstärkt, je vollständiger die Serieerregung ist. Aus diesem Grunde ist es empfehlenswert, die Serieerregung etwas abzuschwächen und den Erreger zusätzlich mit einer mittels eines Frequenzwandlers gespeisten Fremderregung auszurüsten, die

auf einfachste Weise eine richtige Schlupf- und Blindlastregelung ermöglicht. Durch diese Kompromisslösung lassen sich immer noch hervorragende Stabilitätseigenschaften im untererregten Gebiet erreichen.

Was den Einfluss der Wirbelströme im Eisen anbetrifft, ist festzustellen, dass dieser Einfluss auch bei einer relativ grossen Serieerregung (z.B. Kompensationsgrad 0,8) beachtlich ist. Bei einer Maschine ohne Serieerregung ist dieser Einfluss sogar so stark, dass im normalen Betriebsbereich der Schlupf einer Maschine mit massivem Rotor etwa zwei Mal kleiner ausfällt als mit einem geblechten Rotor. Den grössten Beitrag zur Drehmomentbildung durch die Wirbelströme liefern dabei die Rotorzähne und es wurde gezeigt, dass die Berücksichtigung der Rotornutung unerlässlich ist, da bei deren Vernachlässigung die wesentlichen Auswirkungen der Wirbelströme nicht erfasst werden. Durch Vergleiche mit einem nutenlosen Rotor wurde ferner gezeigt, dass beim genuteten Rotor bei kleinem Schlupf ein bedeutend stärkerer Einfluss der Rotorkrümmung vorhanden ist und dass im Gegensatz zum nutenlosen Rotor die Auswirkung der Sättigung auch beim grösseren Schlupf nur schwach ist.

Die abgeleiteten Beziehungen in Form der Schlupfabhängigkeit der Vierpolgleichungen können auch als Frequenzgänge der Maschinenimpedanzen aufgefasst werden. Die Kenntnis dieser Frequenzgänge eröffnet die Möglichkeit, mittels bekannter Beziehungen beliebige Ausgleichsvorgänge durchzurechnen. Ausser der unmittelbaren Anwendung beim untersuchten Asynchrongenerator bildet die aufgestellte Theorie daher auch eine Grundlage für eine Verfeinerung der Theorie der transienten Vorgänge in Turbogeneratoren klassi-

scher Bauweise, die bisher nur unter weitgehender Vereinfachung der tatsächlichen Rotorausführung behandelt wurden.