

Ermitteln der Rotorströme bei einer stromrichtergespeisten Synchronmaschine

ABHANDLUNG
Zur Erlangung des Titels

DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN
der
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE
ZÜRICH

vorgelegt von
WERNER BEAT VETTER
dipl. Ing. ETH
geboren am 29. September 1959
von Tägerschen (TG) und Märwil (TG)

Angenommen auf Antrag von:
Prof. Dr. Ing. habil. K. Reichert, Referent
Dr. Ing. A. Meyer, Korreferent

Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der sechssträngigen, stromrichtergespeisten Synchronmaschine mit einem massiven Vollpolrotor. Derartige Maschinen werden vorwiegend bei schnelllaufenden drehzahlvariablen Antrieben eingesetzt [25],[35]. Durch die Stromrichterspeisung werden als Folge der Statorstromoberwellen und der Luftspaltfeldharmonischen Dämpferströme im Dämpferkäfig und im Rotoreisen induziert. Das Ziel dieser Arbeit ist es nun, diese Ströme für verschiedene Betriebsarten exakt zu berechnen und die örtlich auftretenden Verluste zu ermitteln.

In einem ersten Schritt wird die in der Maschinentheorie klassische Raumzeigertheorie auf vielsträngige Systeme mit nicht sinusförmigen Luftspaltfeldern erweitert. So kann schlussendlich gezeigt werden, dass bei Berücksichtigung aller Luftspaltfeldharmonischen keine Reduktion des Systemranges stattfindet und so die Raumzeigertransformation keine Vorteile mehr mit sich bringt.

Für die vollständige Synchronmaschine wird ein mathematisches Modell aufgestellt. Da nun aber bereits in früheren Arbeiten [1],[7],[20],[22] gezeigt wurde, dass für die Berechnung der Statorströme und des Erregerstroms ein einfaches Rotormodell ausreicht, werden für die Ermittlung der Dämpferströme die äusseren Ströme als gegeben betrachtet. Dadurch müssen nur noch die Differentialgleichungen des Rotors gelöst werden und der Systemrang reduziert sich beträchtlich.

Die Differentialgleichungen werden mit einem einschrittigen impliziten Integrationsverfahren gelöst. In Anlehnung an das in der Literatur bekannte Differenzen-Leitwert-Verfahren [13] wird ein sogenanntes Differenzen-Widerstands-Verfahren hergeleitet. Dieses Verfahren hat gegenüber dem Differenzen-Leitwert-Verfahren den Vorteil, dass sich magnetische Kopplungen sehr einfach realisieren lassen.

Um die theoretischen Resultate zu verifizieren, wurden Messungen an einer stromrichter gespeisten Synchronmaschine durchgeführt. Mit Rogowski-Spulen wurden die Dämpferstabströme in drei verschiedenen Dämpferstäben erfasst und aufgezeichnet. Der Vergleich der Messungen mit den Berechnungen ergibt eine sehr gute Übereinstimmung.

Schlussendlich wird gezeigt, dass mit dem Modell auch das Verhalten netzgespielter Synchronmaschinen und insbesondere die Belastung der Dämpferwicklung und des massiven Eisens bei symmetrischer und unsymmetrischer Speisung, sowie bei inneren Störungen (z.B. Bruch eines Dämpferstabs) untersucht werden kann. Die verschiedenen Betriebsarten werden durchgerechnet und die dabei auftretenden Dämpferströme und Verluste genau bestimmt.

Abstract

This thesis deals with a six-phase converter-fed synchronous machine of solid iron rotor. That kind of machine is mainly used for variable high speed drives [25],[35]. Due to stator current harmonics and magnetic field harmonics damper currents are induced in the machine's damper bars and iron teeth. It's the aim of this thesis to exactly calculate these currents and in turn, to determine the spatial losses on the rotor's surface for different operating modes.

First, the classical space-phasor concept for electrical machines is extended to m -phase systems of none sinusoidal air-gap fields. It's shown that the system can't be simplified by a space-phasor-transformation which consider higher field harmonics

Hence, a new mathematical model is stated for the entire synchronous machine. Previous research [1],[7],[20],[22] has already shown, that a simple rotor model is sufficient for calculating the stator currents and the excitation currents. Therefore, the external currents are assumed as to be given for the calculation of these damper currents. The rotor's differential equations only have to be solved which reduces the system's rank considerably.

The solution procedure relies on a one-step implicit integration method. Based on the well known "Differenzen-Leitwert-Verfahren" [13] the so called "Differenzen-Widerstands-Verfahren" is established. This method has decisive advantage that magnetic couplings can be accounted for much easier.

To verify theoretical results, measurements were carried out on a converter-fed synchronous machine. Damper-bar currents for three different damper bars were measured by means of Rogowski-coils. Measurements compared to calculated results do agree very well.

Finally, it is shown that there is a possibility to investigate the behavior of synchronous machines, particularly stresses on damper winding and the solid iron rotor for symmetrical and unsymmetrical power supplies. Stresses on damper winding are as well analyzed in case of internal damage (e.g. a broken damper bar) and are calculated for different operational modes.