

Prom. Nr. 2409

# **Metadyn-Schnellerregung von Synchronmaschinen**

Von der  
Eidgenössischen Technischen  
Hochschule in Zürich

zur Erlangung

der Würde eines Doktors  
der technischen Wissenschaften  
genehmigte

## **PROMOTIONSARBEIT**

vorgelegt von

**ARMIN HENRI SANDMEIER**

dipl. El.-Ing. ETH

S. M. Mass. Inst. of Tech.

E. E. Mass. Inst. of Tech.

von Seengen (Kt. Aargau)

Referent: Herr Prof. Ed. Gerecke

Korreferent: Herr Prof. Ed. Dünner

Juris-Verlag Zürich  
1954

## EINLEITUNG

Mit dem gewaltigen Anwachsen der Belastungen und der damit verbundenen Leistungssteigerung der Kraftnetze hat sich in den vergangenen drei Jahrzehnten auch die Frage nach Erregersystemen für Generatoren, die schon von alters her ein Problem darstellten, erneut in zwingender Form erhoben. Das Hauptaugenmerk ist dabei auf die Konstruktion von Erregern mit höherer Ausgleichsgeschwindigkeit und damit besserer Regelung der Generatorspannung gerichtet. Verbesserungen in dieser Hinsicht tragen ausserdem dazu bei, den Stabilitätsbereich zu erweitern und die Stabilität von Synchronmaschinen im Parallelbetrieb zu erhöhen. Weiterhin hat man klar erkannt, dass mit Schnellerregern das Absinken beziehungsweise Ansteigen der Generatorklemmenspannung beim Ein- bzw. Ausschalten einer grossen Last viel wirkungsvoller vermindert werden kann.

Aus diesen Gründen wurde bei der Konstruktion von Erregern dem Haupterregere und den Vorstufen einschliesslich Regler stets besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Um das Erregerproblem zufriedenstellend zu lösen, verwendet man bei einem konventionellen Erreger eine gewöhnliche Gleichstrommaschine mit guter Ausgleichscharakteristik als Haupterregere. Durch eine verfeinerte Technik wie zum Beispiel Erzielung höherer Sättigungswerte in der Magnetisierung, Konstruktion aller magnetischen Teile aus Dynamoblech und Verwendung zusätzlicher Wicklungen können zwar erhebliche Verbesserungen erzielt werden, doch ist die Wirkungsweise einer konventionellen Gleichstrommaschine stets gewissen Beschränkungen unterworfen. Ein wesentlicher Schritt vorwärts in der Entwicklung von Erregersystemen kann jedoch durch das Metadyn-Prinzip, eine Verallgemeinerung der Gleichstrommaschine, vollzogen werden, wodurch der Weg zu neuen Möglichkeiten erschlossen wird. Das Metadynprinzip ist zwar schon lange bekannt, doch hat man erst in neuester Zeit seine Anwendung für Erregersysteme ernsthaft in Betracht gezogen.

Der Metadyn-Erregere ist eine Verallgemeinerung der Gleichstrommaschine, wobei neben den üblichen Bürsten noch zusätzliche Bürsten eingeführt werden. Wegen der Verwendung der Ankerrückwirkung zu Erregerzwecken kann jede gewünschte Charakteristik erzielt werden. Als erste ankererregte Maschine kann man vielleicht den Rosenberg-Dynamo ansehen,

der zur Beleuchtung von Zügen benutzt wurde. Doch erst durch die von Pestarini (1) gegebene grundlegende Metadyn-Theorie wurden die vielseitigen Möglichkeiten dieses Maschinentyps voll erschlossen. Das Hauptmerkmal der Maschine besteht darin, dass man ihr jede gewünschte äussere Charakteristik geben kann. Dies ist der Hauptgrund für ihre vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten und erklärt ihre erfolgreiche Verwendung in vielfältiger Form als Generator, Motor, Transformator oder in Kombinationen wie zum Beispiel bei Problemen der Traktion, der Steuerung industrieller Prozesse, der Servotechnik oder bei Reguliernsystemen, um nur einige Fälle herauszugreifen. Wenn man die hier behandelte Metadyn-Erregermaschine durch ihre hervorstechendste Eigenschaft kennzeichnen wollte und dabei andere Charakteristika für einen Augenblick beiseite liesse, so könnte man sie als eine Konstant-Strommaschine bezeichnen. Dies schliesst automatisch mit ein, dass sie sich durch eine hohe Ausgleichsgeschwindigkeit auszeichnet und dadurch im scharfen Gegensatz zu den konventionellen Gleichstrommaschinen steht, welche im wesentlichen Konstant-Spannungsmaschinen sind und daher einen langsameren Ausgleich besitzen.

Die Ueberlegenheit des Metadyn-Erregers hinsichtlich der Ausgleichsgeschwindigkeit macht seine Verwendung als Schnellerreger von grossen Generatoren besonders erfolgversprechend. Einige Untersuchungen in dieser Richtung wurden bereits ausgeführt (1) (13) (14) und analytische Resultate veröffentlicht, doch in den meisten Fällen handelt es sich dabei um eine weitgehend vereinfachte Behandlung dieses Problems, wobei mehr Wert auf die Diskussion des physikalischen Verhaltens eines Metadyn-Erregers gelegt ist als auf eine genaue Analyse des Ausgleichsverhaltens. In einigen Fällen wurden auch vergleichende experimentelle Untersuchungen durchgeführt, um die theoretische Behandlung der Metadyn zu verifizieren. Doch fehlt bis heute eine grundlegende und ausführliche Analyse des Metadyn-Erregers, und dieser Umstand gab Anlass zu der hier vorliegenden Arbeit.

Die Methode, nach der das vorliegende Problem in Angriff genommen wurde, besteht darin, dass man aus der Lösung der Differentialgleichungen das Verhalten des Erregersystems mit der hier vorgeschlagenen Anordnung des Metadyn-Erregers diskutiert. Für die in den Gleichungen auftretenden

---

( ) Zahlen in runden Klammern verweisen auf das Literaturverzeichnis

Parameter wurden Werte eingesetzt, die einem Erreger entsprechen, der für einen gegebenen Generator konstruiert wurde. Da der Metadyn-Erreger als gegengekoppeltes System angesehen werden kann, konnten die wirkungsvollen Methoden der Servo-Technik angewendet werden.

Der Einfachheit halber wurde zunächst das lineare Verhalten der Maschine studiert. Doch zeigte sich bald, dass die durch Sättigung verursachten Nichtlinearitäten mit erfasst werden müssen, wenn man genaue Aussagen über das Ausgleichsverhalten machen will. Die Sättigung kann dadurch berücksichtigt werden, dass man für die Umgebung eines Arbeitspunktes einen Bereich bestimmt, innerhalb welchem das Verhalten der Maschine als linear angesehen werden kann. Auf diese Weise lassen sich relativ rasch wertvolle Ergebnisse erzielen, da das System in einem solchen Bereich linearisiert ist. Diese Methode ist jedoch auf kleine oder mittlere Amplitudenänderungen beschränkt. Im Rahmen dieser Arbeit wurde für einige Arbeitspunkte die maximale Amplitudenänderung bestimmt, für welche man noch innerhalb des linearen Bereiches bleibt, der dem Arbeitspunkt zugeordnet ist. Für grosse Störungen wie zum Beispiel Wegnahme oder Anlegen von Vollast an die Generatorklemmen kommt der Einfluss der Sättigung auf die Ausgleichscharakteristik zur vollen Auswirkung, und die einzige Möglichkeit zur Lösung eines so komplexen nichtlinearen Problems besteht darin, dass man Analogie-Rechengeräte verwendet. Besondere Sorgfalt ist der richtigen Uebertragung des Metadyn-Systems auf das Rechengerät, in welchem zwei Nichtlinearitäten enthalten sind, zu widmen, da sowohl in der Längsachse wie auch in der Querachse Sättigung auftreten kann.

Die in dieser Arbeit erhaltenen Ergebnisse berechtigen zur Auffassung, dass nur eine grundlegende und ausführliche Analyse die volle Wirkungsweise des Metadyn-Erregers erkennen lässt. Die Ergebnisse einer solchen vollständigen Untersuchung sind weiterhin notwendig als wertvolle Hinweise für die Konstruktion einer Maschine, da offensichtlich eine auf den stationären Zustand beschränkte Untersuchung nicht imstande ist, das Ausgleichsverhalten des Erreger-Generator-Systems vollständig zu beschreiben.

Die Ergebnisse lassen klar erkennen, warum und wie bei einem Metadyn-Erreger Schnellerregung möglich ist und welche Gründe für die Ueberlegenheit des Metadyn-Erregers gegenüber einem äquivalenten konventionellen Erreger massgebend sind. Es sei der Hoffnung Ausdruck gegeben, dass diese Arbeit dazu beitragen möge, auf dem durch den Metadyn-Erreger neu erweiterten Gebiet zunehmendes Interesse zu erwecken.