

Prom. Nr. 3442

**Investigation
of a thyatron- or thyristor-controlled synchronous
motor by simulation on an analog computer**

THESIS

presented to

THE SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY, ZURICH

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

by

Mohamed Mahmoud Bayoumi

B.Sc. Electrical Engineering
Citizen of Egypt

Accepted on the recommendation of
Prof. ED. GERECKE and Prof. A. DUTOIT

Buchdruckerei Berichthaus

Zurich 1963

10. SUMMARY AND CONCLUSION

This thesis deals with the investigation of a thyatron controlled synchronous motor.

The motor was examined experimentally, but it was found that the measurements made directly on the machine do not give a complete picture of its behaviour, e.g. it was not possible to measure the instantaneous value of the electromagnetic torque, or the currents in the damper windings. It is possible to investigate the behaviour of each quantity belonging to the machine if it is mathematically analyzed. Since the synchronous machine is in general complicated, and since the insertion of the thyatrons or silicon-controlled rectifiers in its stator increases this complexity, it was found more convenient to use an analog computer as a means of solving this problem.

The system was solved for the single- and the three-phase cases. The stator currents, voltages and fluxes were transformed at first on the (α, β) stationary axes and then on the (d, q) moving axes. Thus the whole transformation was separated into a linear and a nonlinear one. This has the advantage of greatly reducing the necessary number of multipliers. It was then possible to take oscillograms for all the quantities of interest, especially the currents flowing in both the damper windings in the transient and the steady states. Oscillograms were also taken for the instantaneous value of the electromagnetic torque and for the voltage across the thyatrons in both the transient and steady states.

The external characteristic curves were calculated, also the loci of the fundamental component of the stator currents were plotted against that of the stator voltage with α' as a parameter. The behaviour of the air gap flux vector was studied for a certain operating point and the armature reaction flux vector was deduced. This was drawn once with respect to the stationary axes and another with respect to the moving axes. The effect of the sudden variation of the applied voltage on the different oscillograms was shown. The oscillograms show how the motor functions as a generator for a short time and then back to the motor action through the sudden decrease of the applied d.c. voltage U_d . This is most obvious when the oscillograms of the electromagnetic torque and that of the current i_q are considered. The effect of the sudden variation of the mechanical torque was also studied.

The pulses controlling the synchronous machine in our case were obtained from voltages taken from a tachometer mounted on the shaft of the machine. It is proposed that these pulses may be obtained from a separate source, so that the speed may be varied by varying the frequency of that source.

In the publication made by Prof. ED. GERECKE [21], the problem was calculated after making some simplifications. All the resistances in the a.c. side were neglected and the inductance in the d.c. side was assumed to be infinitely large. However, an agreement to a great extent can be noted between the oscillograms obtained in this thesis and those got in the mentioned paper. The angle α' in this thesis equals $(60 + \psi)$ in that paper. The simulation of the motor in this thesis was executed on two types of computers, the first on a "Donner" type and the second on a PACE one. The simulation on the Donner computer demanded the building of a circuit simulating the thyatron effect. This contained 18 gates, 15 bistable multivibrators, 15 Schmitt triggers and two saw tooth generators.

The comparators already built in the PACE analog computer were made use of to simulate the thyratrons.

ZUSAMMENFASSUNG

Untersuchung eines kommutatorlosen Gleichstrommotors, bestehend aus einer Drehstrom-Synchronmaschine und einem Wechselrichter, durch Simulation auf einem Analogrechner.

Zweck der Arbeit ist die Untersuchung aller Ströme und Spannungen sowie des Drehmomentes eines kollektorlosen Gleichstrommotors. Dieser besitzt eine normale dreiphasige, in Stern geschaltete Statorwicklung und ein Polrad mit ausgeprägten Polen, einer Erregerwicklung und zwei in der Längs- bzw. Querachse angeordneten Dämpferwicklungen. Die Speisung erfolgt von einer Gleichspannungsquelle aus über eine Glättungsinduktivität und über eine dreiphasige, mit sechs steuerbaren Ventilen (Thyatronen oder Thyristoren) ausgerüstete Brückenschaltung. Zunächst wurde ein 4-kW-Motor experimentell untersucht. Die Steuerung der Ventile erfolgte von einem auf der Motorwelle angebrachten dreiphasigen Tachogenerator aus. Es wurden die Oszillogramme aller zugänglichen Ströme und Spannungen im Ein- und Dreiphasenbetrieb aufgenommen und ferner das Drehmoment elektronisch gemessen. Ferner wurden alle für die anschließenden Berechnungen nötigen Daten der Maschine ermittelt.

Für die theoretische Untersuchung wurde zunächst das Dreiphasensystem des Stators in ein ruhendes Zweiphasensystem umgewandelt und dieses nach der Zweiachsentheorie in ein mit dem Polrad synchron rotierendes Zweiachsensystem übergeführt. Über die Kurvenform der Ströme und Spannungen wurden keine Annahmen gemacht. Ferner wurden der Erregerstrom sowie die beiden Dämpferströme in die Rechnung einbezogen. Zudem waren die Verschiedenheit des magnetischen Widerstandes in der Längs- und Querachse sowie die verschiedenen Streuungen und eine veränderliche Drehzahl zu berücksichtigen. Es handelt sich also um ein hochgradig nichtlineares System, weshalb die Laplace-Transformation nicht verwendet werden konnte. Für die Koordinatentransformationen wurden die benötigten Matrizen ermittelt. Ferner mußten die Schaltbedingungen der Ventile formuliert werden.

Die Nachbildung wurde alsdann auf total sechs kleinen Analogrechnern (Donner, Kalifornien) vorgenommen. Da die Zahl der Multiplikatoren auf acht beschränkt war, mußte die Programmierung unter Verwendung

der vorhandenen Mittel durchgeführt werden, was Differentiationen bedingte. Für die Erzeugung der Zündimpulse wurde ein transistorisierter sechsphasiger Impulsgenerator gebaut. Es gelang dann, sowohl im Einphasen- wie im Dreiphasenbetrieb die Oszillogramme aller Spannungen und aller Ströme, ja sogar der beiden Dämpferströme, aufzunehmen. Die Übereinstimmung mit den experimentell ermittelten war befriedigend, jedoch zeigten sich zufolge der Differentiation einige Unschönheiten.

Daher wurde das Problem nochmals auf dem von der ETH inzwischen angeschafften großen Analogrechner «PACE 231-R» programmiert, wobei es durch Umformung des Gleichungssystemes gelang, ohne irgendwelche Differentiationen auszukommen. Es ergaben sich nun sehr saubere Oszillogramme aller Ströme und Spannungen sowie des elektromagnetischen Drehmomentes. Dieses zeigt neben dem konstanten Wert einen mit der dreifachen Statorfrequenz leicht pulsierenden Anteil. Ferner wurden alle Oszillogramme ebenfalls bei transienten Zuständen, wie plötzlichem Belasten, bei plötzlicher Änderung des Lastmomentes und bei schrittweiser Veränderung der speisenden Gleichspannung, ermittelt. Es zeigte sich dabei, daß die Maschine kurzzeitig als Generator arbeitet und Gleichstrom an die Speisequelle zurückliefert.