

# Fachpraktikum

## Elektrische Maschinen

### Versuch 2:

## Synchronmaschine

Theorie & Fragen

Basierend auf den Unterlagen von

LD Didactic

Entwickelt von

Thomas Reichert

am Institut von

Prof. J. W. Kolar

Februar 2013

## Vorbereitung vor dem Praktikumsnachmittag

Lesen Sie bitte **vor dem Versuchsnachmittag** den Theorieteil sowie die Versuchsanleitung zur Synchronmaschine durch. Ausserdem ist das Ausfüllen der Theorieaufgaben vor dem Praktikum obligatorisch, um die praktischen Versuche durchführen zu dürfen.

## Theorie zur Synchronmaschine

Basierend auf den folgenden Quellen:

- Versuchsunterlagen von LD Didactic
- G. Müller und B. Ponick, "Grundlagen elektrischer Maschinen", WILEY-CCH Verlag GmbH & Co. KGaA
- Eckhard Spring, „Elektrische Maschinen – Eine Einführung, Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Die Synchronmaschine gehört zur Familie der Induktionsmaschinen und besteht aus einem polarisierten Rotor und einem Stator mit dreiphasiger Wicklung, in welcher ein Drehfeld erzeugt wird. Die Polarisierung des Rotors kann entweder über eine Erregerwicklung oder mittels Permanentmagneten erzeugt werden. Darüber hinaus kann zwischen einer gleichmässigen Vollpol-Variante (Abb. 1a) mit konstantem Luftspalt und einer Schenkelpolvariante (Abb. 1b) mit ausgeprägten Polen unterschieden werden.

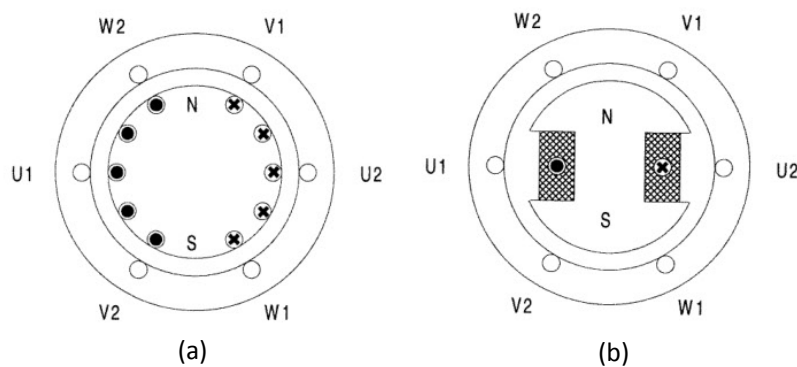


Abb. 1: Vollpolmaschine (a) und Schenkelpolmaschine (b), beide mit Polpaarzahl  $p = 1$

In diesem Versuch wird eine Schenkelpolmaschine verwendet, wobei der Rotor mittels einer an Gleichspannung angeschlossenen Erregerwicklung polarisiert wird. Die Synchronmaschine verdankt ihren Namen der Tatsache, dass im Betrieb der Rotor synchron mit dem Drehfeld des Stators rotiert. Dabei kann zwischen Motor- und Generatorbetrieb unterschieden werden.

## Die Synchronmaschine als Motor

Im Motorbetrieb wird die Wicklung des Stators an ein dreiphasiges Spannungssystem, z.B. das dreiphasige Spannungsnetz, angeschlossen. Die Drehgeschwindigkeit hängt schliesslich vom Aufbau der Maschine, insbesondere der gewählten Polpaarzahl  $p$  der Stator- und Rotorwicklung ab. Wenn die Statorwicklung mit einer Grundfrequenz  $f_0$  gespeisen wird, dann ergibt sich die Drehzahl  $n$  zu

$$f = 60 \cdot \frac{f_0}{p} \text{ rpm} \quad (1.1)$$

Aufgrund der ausgeprägten Pole der Schenkelpolmaschine ist der Luftspalt im Bereich der Polachse (Längsachse, d-Achse) kleiner als im Bereich der Pollücke (Querachse, q-Achse). Eine in der Polachse

wirkende Durchflutung erzeugt daher eine grössere Luftspaltinduktion als eine in der Querachse wirkende Durchflutung. Daher wird die Statordurchflutung in diesem Fall in eine Längs- und in eine Querkomponente zerlegt. Somit kann das folgende Ersatzschaltbild gezeichnet werden:

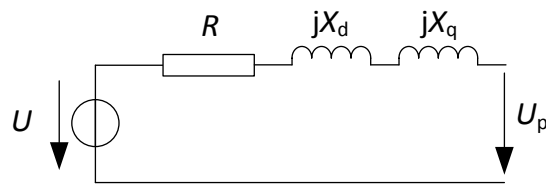


Abb. 2: Ersatzschaltbild mit Längs- und Querreaktanz, sowie Polradspannung  $U_p$

Die Polradspannung  $U_p$  ist die vom erregten Rotor induzierte Spannung in der Statorwicklung. Diese weicht je nach Betriebsfall voreilend (Generator) oder nacheilend (Motor) von der Netzspannung  $U$  ab. Der Winkel zwischen diesen beiden Spannungen wird Polradwinkel  $\delta$  genannt. Dieser wächst mit zunehmender Last an, wobei bei  $90^\circ$  maximales Moment erzeugt wird. Dieser Wert darf jedoch nicht überschritten werden, da die Maschine sonst ausser Tritt gerät und pendelt. Ferner kann über die Erregung die Blindleistung (kapazitiv oder induktiv) beeinflusst werden, weswegen Synchronmaschine oft auch als Phasenschieber eingesetzt werden. Abb. 3. zeigt ein typisches Zeigerdiagramm für eine Maschine im Generatorbetrieb bei ohmsch-induktiver Last ( $R=0$ ).

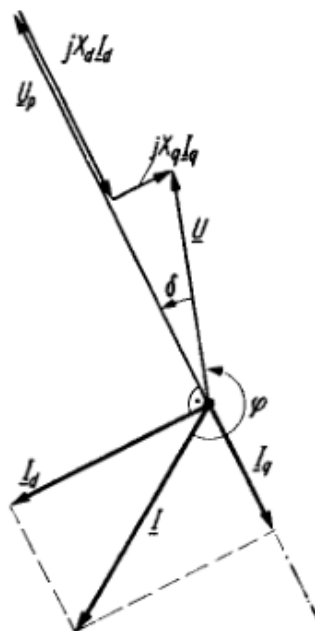


Abb. 3: Typisches Zeigerdiagramm für Generatorbetrieb mit ohmsch-induktiver Last

## Die Synchronmaschine als Generator

Im Generatorbetrieb wird der Rotor extern angetrieben (z.B. mittels einer Wasserturbine), wodurch die induzierte Polradspannung zur treibenden Kraft wird. Die Ausführung der Synchronmaschine mit einer Erregerwicklung beim Rotor hat den Vorteil, dass über die Rotorspannung (Erregung) die

Statorspannung aktiv beeinflusst werden kann. Anstelle der Netzspannung kann nun eine Last gehängt werden (siehe Abb. 4).

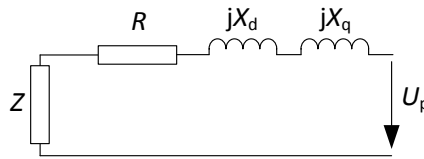


Abb 4. Ersatzschaltbild für Generatorbetrieb mit Last Z.

## Synchronisation mit dem Netz

Bei einem Versuch werden Sie die Maschine im Generatorbetrieb extern antreiben und anschliessend mit dem bestehenden Netz synchronisieren. Dabei muss neben der Frequenz, der Spannung und der Phasenfolge insbesondere auch die Phasenlage synchronisiert werden, bevor die beiden Teilsysteme verbunden werden können. Für diesen Zweck werden sogenannte Synchronisierschaltungen eingesetzt, etwa die bekannte Dunkelschaltung. Dabei werden 6 LEDs im Stern angeordnet und jeweils 2 gegenüberliegende an die zu verbindenden Phasen der Maschine und des Netzes gehängt. Bei falscher Phasenlage entsteht somit eine Spannung und die LEDs leuchten auf. Im richtigen Moment erlöschen alle LEDs und die Maschine kann mit dem Netz verbunden werden. Alternativ kann eine Helldrehschaltung verwendet werden. Im Vergleich zu vorhin werden die LED-Anschlüsse zweier Phasen der Maschine vertauscht. Somit wird im optimalen Zeitpunkt nur noch die 2 LEDs der nicht vertauschten Phase erlöschen. Dafür erkaufte man sich den Vorteil, dass nun die LEDs bei abweichender Frequenz insgesamt rotieren. Je nach Drehrichtung muss die Maschinendrehzahl dann erhöht oder verringert werden.

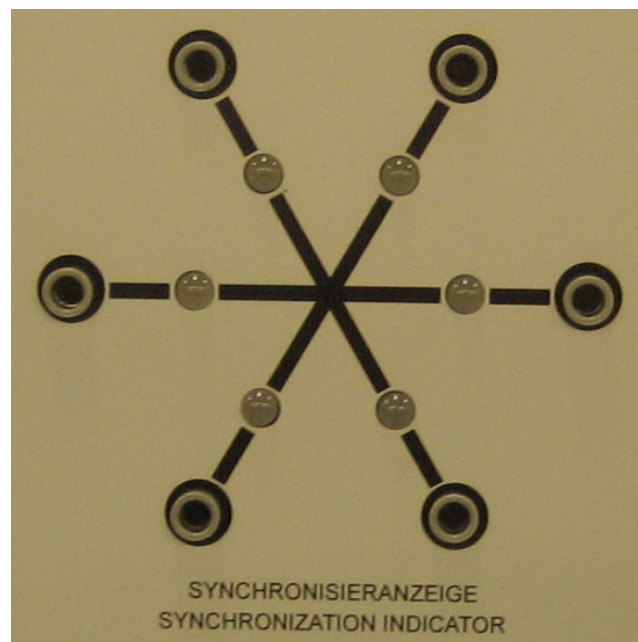


Abb. 5: Synchronisierschaltung mit 6 LEDs

## Theoriefragen zur Synchronmaschine

Beantworten Sie die folgenden Fragen **vor dem Versuchsnachmittag**. Die Lösungen werden zu Beginn des Versuchsnachmittags mit den Assistenten besprochen. Das Bearbeiten der Aufgaben ist Voraussetzung für die Teilnahme am Praktikumsversuch.

### Aufgabe 1:

Wie schnell kann eine direkt ans 50 Hz Netz angeschlossene Synchronmaschine maximal drehen (in  $\text{min}^{-1}$ )?

---

### Aufgabe 2:

Wie muss in diesem Fall die Polpaarzahl des Rotors gewählt werden? \_\_\_\_\_

### Aufgabe 3:

Wie schnell dreht eine direkt ans 50 Hz Netz angeschlossene Synchronmaschine, deren Rotor aus 4 Nord- und 4 Südpolen besteht (in  $\text{min}^{-1}$ )?

---

### Aufgabe 4:

Was bezeichnen die Polradspannung und der Polradwinkel?

---

---

### Aufgabe 5:

Der Wirkungsgrad einer Maschine bezeichnet das Verhältnis von aufgenommener zu abgegebener Leistung. Wie gross ist die abgegebene mechanische Leistung?

---

Wie gross ist die aufgenommene elektrische Leistung? \_\_\_\_\_

---

### Aufgabe 6:

Welche 4 Bedingungen müssen bei einer Netzsynchronisierung erfüllt sein?

---

### Aufgabe 7:

Eine mit dem Netz synchronisierte Synchronmaschine soll induktive Blindleistung ins Netz liefern. Muss Sie dazu über- oder untererregt werden?

---