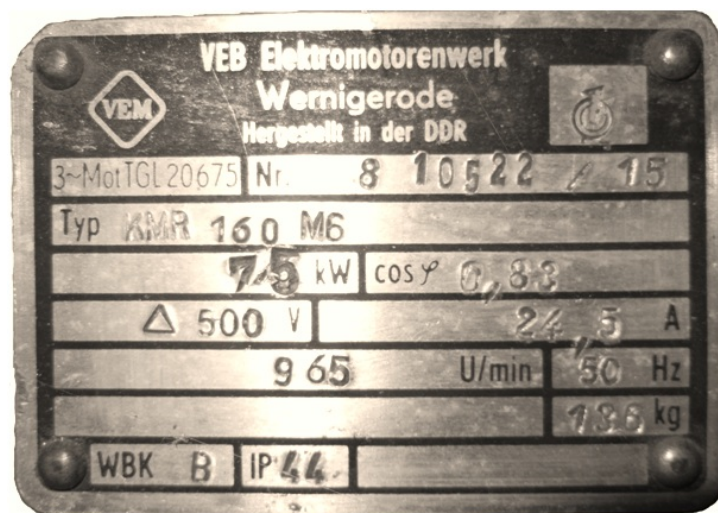


Zusammenfassung
der Drehzahlermittlung
einer

Drehstromasynchronmaschine

Fabrikat: VEB, Typ: KMR 160 M6

zur Verwendung als Generator
im Kleinwasserkraftwerk Niedermühle



Leibetseder Manuel
Graz / Feldkirchen, Dezember 2011

Aufgabenstellung

Ziel der folgenden Berechnung ist die Ermittlung der Generatorwellendrehzahl und in Folge die Bestimmung des Generatorriemenscheibendurchmessers. Grundprinzip dabei ist die Gleichsetzung der Turbinenleistung abzüglich oder unter Vernachlässigung der Riemenverluste mit der tatsächlichen, mechanischen Generatorleistung. Jene Kennlinien welche die Betriebscharakteristik der Drehstromasynchronmaschine [DASM] beschreiben, werden durch die punktweise Berechnung des elektrischen Ersatzschaltbildes ermittelt.

Angaben

- **Typenschilddaten der DASM:**

| | |
|--|------------------|
| Spannung [V]: | 500 |
| Leistung [kW]: | 15 |
| Schaltung: | Δ |
| Synchrondrehzahl n_s [min^{-1}]: | 1000 (bei 50 Hz) |

- **Ersatzwiderstände der DASM:**

| | |
|--------------------------------------|--------|
| R_{1w} [Ω]: (bei 120 °C) | 1,2920 |
| R'_{2w} [Ω]: (bei 120 °C) | 1,3780 |
| R_{Fe} [Ω]: | 1119 |
| $X_{1\sigma}$ [Ω]: | 2,782 |
| $X'_{2\sigma}$ [Ω]: | 3,495 |
| X_h [Ω]: | 88,061 |

sämtliche Werte gelten für sinusförmige Spannung!

- **Elektrische Daten des Netzes:**

| | |
|----------------|-----|
| Spannung [V]: | 400 |
| Frequenz [Hz]: | 50 |

Das Ersatzschaltbild

Das in in Abb. 1 dargestellte Ersatzschaltbild einer Drehstromasynchronmaschine [DASM] dient als Grundlage für die weiteren Berechnungen. Es zeigt die beiden interagierenden Teile der Maschine:

1. den Stator, mit Index 1 bezeichnet
2. den Läufer, mit Index 2 bezeichnet

welche jeweils durch ihren ohmschen Widerstand R_{1w} bzw. R'_{2w} und ihre Reaktanzen $X_{1\sigma}$ bzw. $X'_{2\sigma}$ dargestellt werden. Weiters sind noch die Magnetisierungs- und Eisenverluste als R_{Fe} und X_h zusammengefasst eingezeichnet.

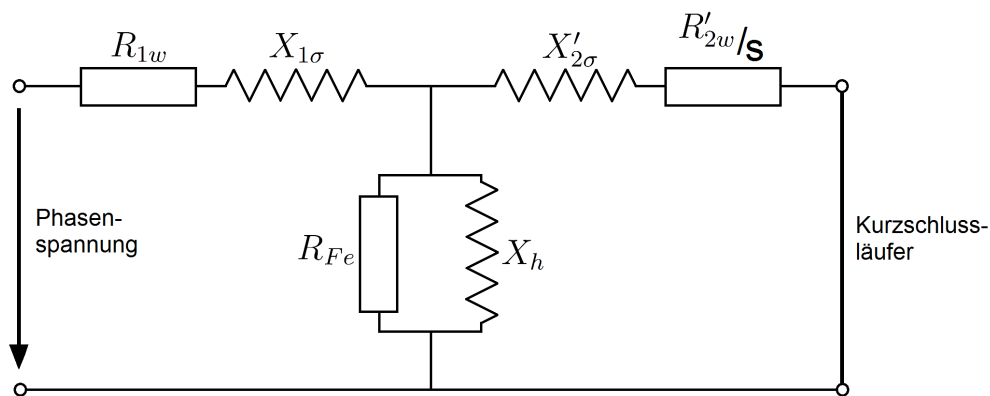


Abbildung 1: Ersatzschaltbild der DASM

Zur Berechnung muss der ohmsche Läuferwiderstand R'_{2w} durch den Schlupf s dividiert werden. Der Schlupf ist folgendermaßen definiert:

$$s = \frac{n_s - n_2}{n_s} \quad (1)$$

Wobei n_s die Drehfeld- oder Synchrondrehzahl und die n_2 die Läuferdrehzahl darstellt.

Hinweis: Die im Ersatzschaltbild dargestellte Schaltung stellt nur eine der drei „Phasen“ der DASM dar. Es sind folglich drei in Δ -Schaltung verknüpfte Ersatzschaltbilder zu berechnen!

Prinzip der Berechnung einer Stromortskurve (*Ossanna - Kreis*)

Die Stromortskurve stellt auf zwei rechtwinklig zueinander stehenden Koordinatenachsen den Wirk- und den Blindstrom der Maschine in Abhängigkeit des Schlupfes dar. Die vertikale Achse wird i. A. dem Wirkstrom [I_{Re}] zugeordnet, die horizontale Achse demnach dem Blindstrom [I_{Im}]. Für die folgende Betrachtung wird nur der rechte Teil, also die Ortskurve des Statorstromes in Betracht gezogen. siehe Abb. 2

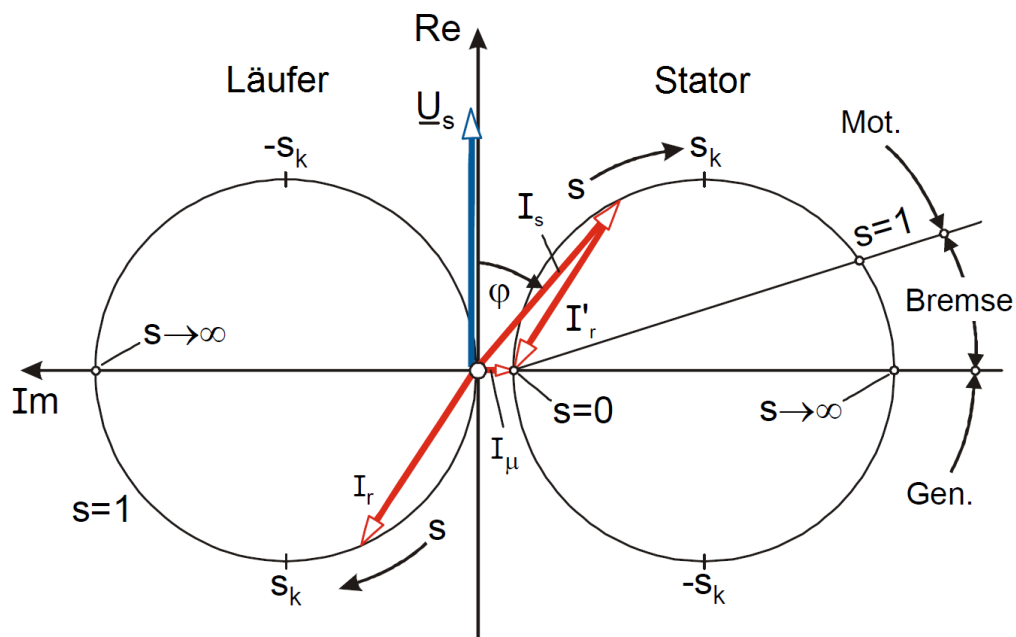


Abbildung 2: Stromortskurve schematisch

Die Strecke zwischen Koordinatenursprung und einem beliebigen Punkt auf der rechten Seite des Diagramms kann sodann als Gesamtstrom des Stators interpretiert werden. - Es ist also jener Strom welcher über die elektrischen Leitungen von oder zur Maschine fließen muss. Durch Veränderung des Schlupfes (Drehzahl) verändert sich auch der Betrag und die Phasenlage des Stromes, sodass dieser näherungsweise eine Kreisbahn beschreibt. Abhängig

vom Schlupf (auf Netzfrequenz bezogener Drehzahlwert) wirkt die DASM als Motor, Generator oder Bremse. Auf die vertikale Achse wird ebenso die Spannung aufgetragen und von ihr ausgehend der Phasenwinkel φ . Der Leistungsfaktor $\cos(\varphi)$ ist demnach jener Anteil des Gesamtstromes welcher in dieselbe Richtung zeigt wie die Spannung. - Es ist der Wirkstrom, welcher vom Motor zur Erzeugung mechanischer Leistung eingesetzt wird. Genau umgekehrt verhält es sich beim Betrieb einer DASM als Generator. Der Blindstrom hingegen, wird von der Maschine lediglich für die ständige Ummagnetisierung des Eisens benötigt und erzeugt keine unmittelbar nutzbare Leistung. Ein Versuch, die beiden Begriffe Wirk- und Blindstrom anschaulich zu erklären, befindet sich im nachfolgenden Kapitel.

Prinzip der Blindleistungskompensation (*Wirk- und Blindstrom*)

Nachfolgende Erklärung beruht auf die intensive Befassung des Autors (kein Elektrotechniker!) mit dem Thema. Nirgendwo war eine Beschreibung von Wirk- und Blindstrom bzw. der Wirkweise einer Blindleistungskompensationsanlage zu finden, welche einfach genug war, um alle aufkommenden Fragen von Nichtfachmännern befriedigend zu beantworten.

Am Ende ist man, nicht nur Sprichwörtlich, auf den Hund gekommen.

Auch wenn für das folgende Gedankenmodell keine Garantie auf Richtigkeit gegeben werden kann, es erklärt bisher alles Unklare auf die denkbar einfachste, wenn auch unkonventionelle Weise. Es sollte Ihnen gerade deshalb, als Leser mit möglicherweise demselben Erklärungsbedarf, nicht vorenthalten werden. Fachleute werden ersucht, die Erklärung trotzdem zu studieren und gegebenenfalls bei Denkfehlern diese zu rezensieren.

Man stelle sich einen Hund vor, der vor einem Wagen auf Schienen gespannt ist.

Anm.: Es ist mir aufgefallen, dass ein Hund desöfteren leicht aus der Spur läuft, also die Leine nicht exakt in dieselbe Richtung zeigt, wie die eigentliche Bewegungsrichtung (deshalb ein Hund und kein Pferd).

Nehmen wir also an, dass sich also ein Wagen auf Schienen bewegt, dieser nicht Entgleisen kann und davor ein Hund gespannt ist, welcher seiner Eigenart nach immer neben (rechterhand) und nie auf den Schienen läuft. Der Hund hat außerdem eine „Eigengeschwindigkeit“ von welcher er nur abweicht, wenn er dazu gezwungen wird und die Leine zwischen Wagen und Hund ist immer leicht gespannt.

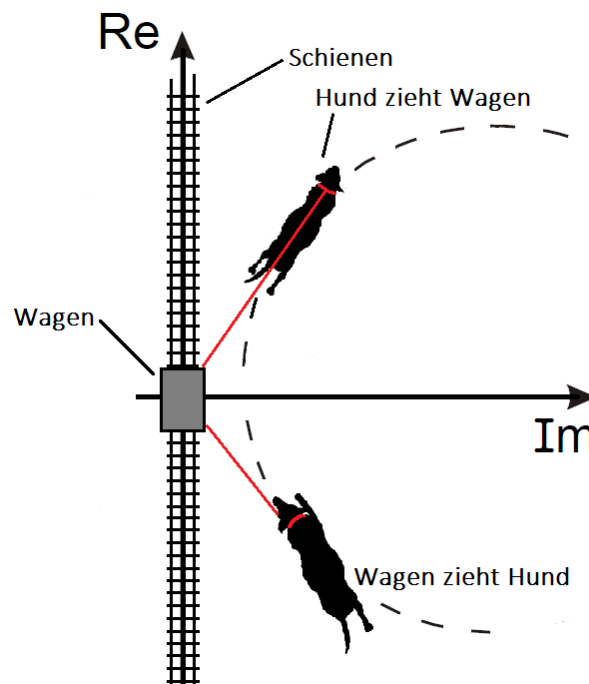


Abbildung 3: Gedankenmodell zum Blindstrom

Nun die Analogie dieses Modells zur DASM:

Der mit seiner „Eigengeschwindigkeit“ laufende Hund stellt das Stromnetz mit konstanter Netzfrequenz dar.

Der Wagen ist das Pendant zum mechanischen Teil der DASM also den Rotor. Ist dieser beladen, so stellt dies die Last dar.

Die Spannung zeigt in Richtung der Schienen und der Strom wäre die Kraft in der Leine.

Zieht nun der Hund an der Leine, so wird er den unbeladenen Wagen solange beschleunigen, bis dieser seine „Eigengeschwindigkeit“ hat. - Die DASM beschleunigt bis zur Synchrondrehzahl und läuft danach im Leerlauf. Der Hund läuft NEBEN dem Wagen her und weder Hund noch Wagen ziehen oder werden gezogen. Die Leine hat nur so stark wie nötig angezogen

und steht im rechten Winkel zu den Schienen. Die Kraft in der Leine, die nur dazu dient, dass sich angenommen der Hund nicht stolpert, stellt den Blindstrom dar. Dieser beWIRKt nichts, er muss aber aufrecht gehalten werden, damit das System Hund - Wagen funktionsfähig bleibt. (nicht in Abb. 3 eingezeichnet)

Würde man die Leine loslassen und somit die Verbindung von Hund und Wagen trennen, so wäre das als würde man die DASM vom Stromnetz trennen.

Definitionsgemäß ist der induktive Blindstrom (wie der einer DASM) positiv. Das Vorzeichen sagt aber, anders als beim Wirkstrom, nichts darüber aus ob man Leistung vom Netz bezieht oder liefert, sondern lediglich ob der Strom der Spannung nachhinkt oder vorausseilt bzw. im Gedankenmodell: Auf welcher Seite der Hund zieht. vgl. die Abb. 3 und 4

1. DASM bezieht Leistung vom Netz:

Der Wagen wird beladen und dadurch abgebremst. Der Hund muss nun den Wagen in Richtung der Schienen ziehen, damit dieser nicht zu langsam wird. - Die DASM arbeitet im Motorbetrieb.

Die Kraft in der Leine wird zunehmen und auch die Richtung der Leine muss sich ändern, damit der Hund auch der Last entgegenWIRKEn kann. Der Hund zieht nun auch in Richtung der Schienen an und wird dabei unter seine „Eigengeschwindigkeit“ gebremst. - In der DASM wird demnach der Strom vom Betrag her größer und die „Richtung“ des Stromes, also seine Phasenlage, ändert sich ebenfalls. Die Drehzahl des Rotors sinkt unter die Synchrondrehzahl. (siehe Stromortskurve)

2. DASM liefert Leistung ans Netz:

Der Wagen wird von einer äußeren Kraft angetrieben und dadurch beschleunigt. Der Hund will aber nicht schneller als seine „Eigengeschwindigkeit“ laufen und wird somit vom Wagen nachgezogen. - Die DASM arbeitet als Generator.

Die Kraft in der Leine wird ebenso zunehmen nur, dass sie diesmal in die entgegengesetzte WIRK-Richtung zeigt. Der Hund läuft nun etwas schneller als ihm lieb ist hinter dem Wagen her. Da der Hund die Schienen nicht überschreiten kann, bleibt aber das Vorzeichen des nicht WIRKsamen Stromes gleich. - In der DASM wird demnach der Strom vom Betrag her wiederum größer und die Drehzahl steigt über die Synchrondrehzahl an. Der Wirkstrom wird negativ, der Blindanteil des Stromes bleibt aber vom Vorzeichen her gleich. (siehe Stromortskurve)

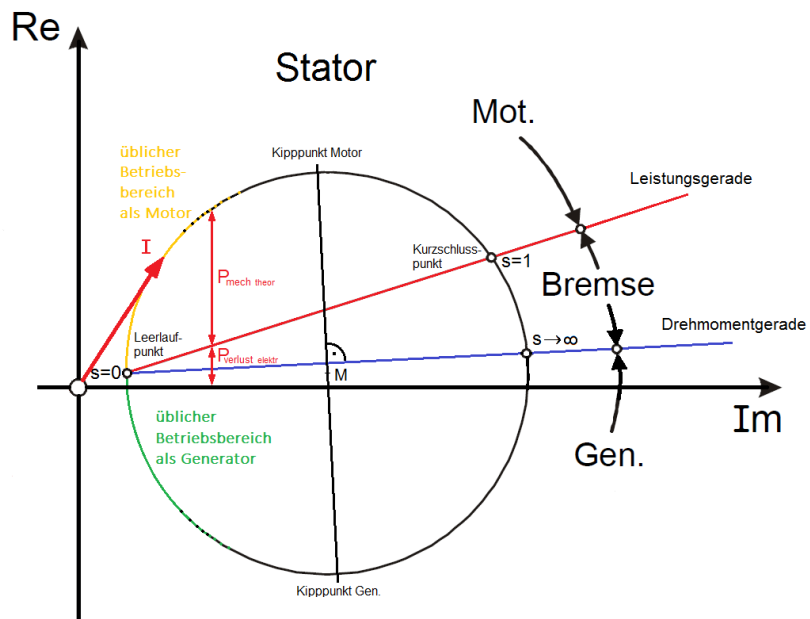


Abbildung 4: Stromortskurve Statorstrom

Literaturverzeichnis

- [1] Email von Hr. Hahnenkamp Gerald, VEB Motorenwerke Werningerode vom 28. Juli 2011
Inhalt: Zahlenwerte der Ersatzwiderstände

- [2] Anleitung zur Konstruktion eines Ossanna-Kreises, TU Darmstadt
URL: http://www.ew.tu-darmstadt.de/media/ew/vorlesungen_4/ema/konstr_ossanna.pdf
Stand: 28. Dez. 2011

- [3] Höger W., Scriptum zur VO EMA, TU München, letzte Akt.: Feb. 11
URL: http://www.hoeger-mechatronik.de/Lehre-Dateien/aktuell-Dateien/Skript_EMA_SS2011.pdf
Stand: 28. Dez. 2011

- [4] Cänders W.-R., Sriptum zur VO, TU Braunschweig
URL: http://www.pslib.cz/pe/skola/studijni_materialy/motory/indukcni_motor/Asynchronmaschine_3.pdf
Stand: 28 Dez. 2011