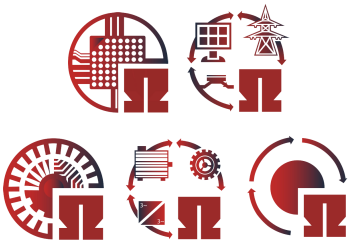
ohm Technische Hochschule Nürnberg

Juli 2024, No 9

ELSYS Note



Max Kloss und die Elektrotechnik

Dieses ELSYS Note bietet einen kompakten Überblick über die Asynchronmaschine (ASM), einschließlich ihres Aufbaus, Funktionsprinzips und ihrer vielfältigen Anwendungen. Die ASM arbeitet nach dem Induktionsprinzip. Ihre robuste Bauweise macht sie zur bevorzugten Wahl für industrielle Antriebe, Haushaltsgeräte, Elektrofahrzeuge und Windkraftanlagen.

Die Asynchronmaschine

Die Asynchronmaschine (ASM), auch Induktionsmaschine genannt, ist eine weit verbreitete elektrische Maschine in der Industrie, geschätzt für ihre Robustheit und Zuverlässigkeit. Ihr Funktionsprinzip basiert auf dem Induktionsprinzip: Ein dreiphasiger Wechselstrom erzeugt im Ständer ein rotierendes Magnetfeld, welches Ströme im Rotor induziert. Diese Ströme erzeugen ein Magnetfeld, das ein Drehmoment auf den Rotor ausübt und ihn in Bewegung setzt.

Käfigläufer

Im späten 19. Jahrhundert entwickelten Galileo Ferraris und Nikola Tesla die grundlegenden Ideen zur ASM. Michael Dolivo-Dobrowolsky, ein russischer Ingenieur und später Schweizer Bürger, verbesserte diese Konzepte und konstruierte den weit verbreiteten Dreiphasen-Käfigläufermotor [1]. Als Leiter der Entwicklung bei der AEG in Berlin erfand er den Käfigläufer und setzte das Dreiphasensystem erfolgreich um, was den Bau eines zuverlässigen und effizienten Motors ermöglichte.
Die ASM ist aufgrund ihrer einfachen und kostengünstigen Konstruktion für zahlreiche Anwendungen ideal, von industriellen Antrieben bis zu Haushaltsgeräten. Sie findet auch in modernen Anwendungen wie Elektrofahrzeugen und Windkraftanlagen Verwendung und kann sowohl direkt am Netz als auch mit einem Umrichter betrieben werden.

Funktionsprinzip

Die prinzipielle Funktionsweise der Asynchronmaschine (ASM) basiert auf dem Induktionsprinzip, bei dem ein rotierendes Magnetfeld im Stator eine Spannung im Rotorkäfig induziert. Diese Spannung führt zu Rotorströmen. Aufgrund des Schlupfes s, der entsteht, wenn die Drehzahl des Rotors geringer ist als die Drehzahl des rotierenden Magnetfelds im Stator, wirkt das Magnetfeld der Rotorströme dem Statorfeld entgegen. Die Interaktion dieser Magnetfelder erzeugt ein Drehmoment, das den Rotor in Bewegung versetzt.
Der Schlupf s wird definiert als:

$$s = \frac{n_1 - n}{n_1} \quad \text{mit} \quad n_1 = \frac{f}{p} \tag{1}$$

wobei n_1 die Synchrondrehzahl und n die tatsächliche Drehzahl des Rotors ist. Die Synchrondrehzahl n_1 hängt von der Frequenz f des Netzstroms und der Polpaarzahl p ab.

Mit steigendem Schlupf erhöht sich das Drehmoment der Maschine, bis es einen maximalen Wert erreicht, den sogenannten Kipppunkt oder das Kippmoment. Das charakteristische Verhalten des Drehmoments in Abhängigkeit von der Drehzahl lässt sich durch die Klossche Formel beschreiben (benannt nach Max Kloss [2]). Die Klossche Formel gibt das Drehmoment M als Funktion des Schlupfes s an [3]:

$$M = M_{\text{kipp}} \cdot \frac{2}{\left(\frac{s}{s_{\text{kipp}}} + \frac{s_{\text{kipp}}}{s}\right)} \tag{2}$$

wobei M_{kipp} das maximale Kippmoment und s_{kipp} der Schlupf beim maximalen Kippmoment ist. Dieses Prinzip wird in Abb. 1 veranschaulicht.

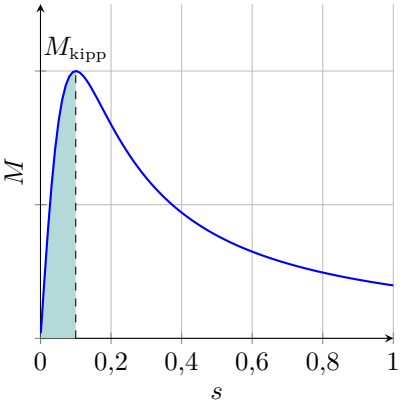
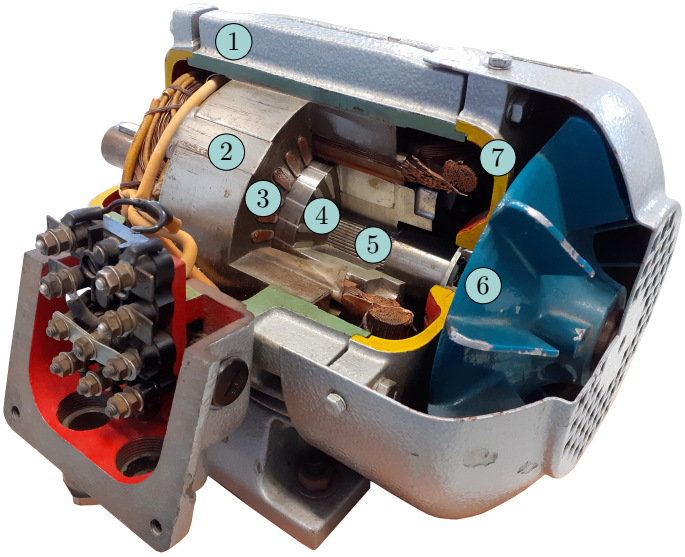
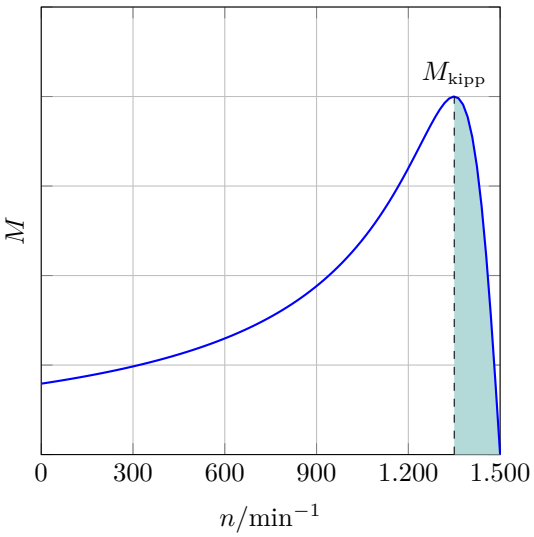


Abb. 1: Funktionsprinzip der ASM



(a) Oberflächengekühlte ASM



(b) Drehmoment-Drehzahl-Kennlinie $M = f(n)$

Abb. 2: Die Asynchronmaschine

Aufbau der ASM

Die Asynchronmaschine (ASM) besteht aus mehreren essentiellen Komponenten, die typischerweise in einem oberflächengekühlten Drehstrom-Normmotor angeordnet sind, wie in Abb. 2(a) dargestellt. Das Besondere an diesem Bild ist, dass ein Viertel des Motors ausgeschnitten wurde, sodass der Stator mit Wicklung, der Rotor mit Käfigwicklung und die Welle deutlich zu erkennen sind. Diese Teile sind die wesentlichen Bestandteile der Maschine.

Das Gehäuse (1) ist aus Grauguss oder Aluminium gefertigt und dient der Wärmeableitung. Es enthält das Ständerblechpaket (2) mit der Ständerwicklung aus Runddraht (3). Der Rotor (4) ist mit einer Käfigwicklung versehen und auf der Welle (5) montiert, die über das Lagerschild mit Rillenkugellager (7) zentriert wird.

Ein drehrichtungsunabhängiger Radiallüfter (6) ermöglicht den Betrieb in beiden Drehrichtungen. Diese Komponenten arbeiten zusammen, um das charakteristische Drehmoment und die Leistungsabgabe der ASM zu erzeugen.

Die Kennlinie der ASM wird typischerweise als Funktion der Drehzahl dargestellt, wie in Abb. 2(b) zu sehen ist. Der Motor wird so betrieben, dass das Drehmoment unterhalb des Kippmoments bleibt. In dem Diagramm wäre das zwischen $1.350\,\text{min}^{-1}$ und $1.500\,\text{min}^{-1}$. Es ist wichtig anzumerken, dass die Kloss'sche Formel [3] eine Vereinfachung darstellt und der tatsächliche Verlauf je nach spezifischer Geometrie und Werkstoffwahl es Käfigläufers variieren kann.

Schlussfolgerung

Die Asynchronmaschine (ASM) überzeugt durch ihr robustes Design, ihre Zuverlässigkeit und ihre Vielseitigkeit im Betrieb sowohl am Netz als auch mit einem Umrichter. Diese Eigenschaften machen sie zur bevorzugten Wahl für eine Vielzahl industrieller Anwendungen, von Antrieben in Fabriken bis hin zu modernen Anwendungen wie Elektrofahrzeugen und Windkraftanlagen.

Verweise

[1] *VDE-Chronik Elektrische Motoren und Antriebe*. Zuletzt besucht: 06.07.2024. URL: https://www.vde.com/de/etg/arbeitsgebiete/informationen/chronik-motoren-antriebe.

[2] *Max Kloss*. TU Berlin. Zuletzt besucht: 07.07.2024. URL: https://cp.tu-berlin.de/person/1332.

[3] Max Kloß. „Drehmoment und Schlüpfung des Drehstrommotors“. *Archiv für Elektrotechnik* V.3 (1916). DOI: 10.1007/BF01659756.