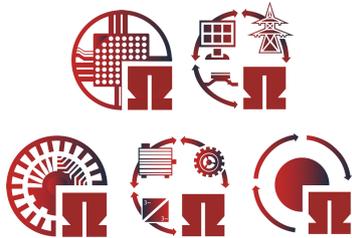


ELSYS Note



Die Kurven von Werner Nürnberg

Werner Nürnberg entwickelte bereits in den 1950er Jahren analytische Verfahren zur Auslegung von Asynchronmaschinen – basierend auf realen Messdaten. Seine Methoden verbinden Erfahrung mit Effizienz und zeigen, wie kreative Ansätze auch heute noch relevant sind – gerade im Zusammenspiel mit numerischen Verfahren und KI in der modernen Antriebsauslegung.

Grenzen der Analytik

Analytische Berechnungsmethoden sind nach wie vor attraktiv, da sie in der Regel sehr schnelle Ergebnisse liefern. Doch sobald Sättigungseffekte eine entscheidende Rolle spielen, geraten rein analytische Ansätze schnell an ihre Grenzen – die Berechnungen werden komplex und schwer beherrschbar. Hier schaffen numerische Methoden wie die Finite-Elemente-Methode (FEM) Abhilfe, allerdings auf Kosten der Rechenzeit.

In der frühen Entwicklung dieser Verfahren lag der Schwerpunkt vor allem auf dem physikalischen Verständnis. Die gezielte Kombination analytischer Modelle mit Messdaten stand damals noch nicht im Vordergrund – obwohl sie heute zunehmend an Bedeutung gewinnt.

Daten und Kombination

Ein möglicher Ausweg liegt in der Kombination beider Ansätze. Und wenn zu einem konkreten Entwurfsfall bereits viele Daten vorliegen, kann im Prinzip sogar eine einfache Dreisatzrechnung weiterhelfen – insbesondere in Verbindung mit modernen, KI-gestützten Verfahren. Um diese Methoden sinnvoll zu kombinieren, ist jedoch ein tiefes Verständnis der zugrunde lie-

genden physikalischen Zusammenhänge erforderlich. Hier kommt der Mensch ins Spiel – mit seiner Erfahrung, Kreativität und der Fähigkeit, zu abstrahieren.

Beispiel ASM

In dieser ELSYS Note legen wir daher den Fokus auf genau diesen menschlichen Faktor innerhalb der gesamten Entwicklungskette. Als Fallbeispiel betrachten wir einen der wichtigsten Antriebe in der industriellen Praxis: den Asynchronmotor. Trotz seiner scheinbar einfachen Bauweise ist die dahinterliegende Physik komplex – eine energieeffiziente Auslegung erfordert tiefgreifendes Know-how. Hinzu kommen moderne Anforderungen wie die Einhaltung aktueller Effizienzklassen gemäß IEC-Normen.

Methode von Nürnberg

Wie sich dennoch analytische Verfahren erfolgreich einsetzen lassen, zeigt das Werk von Werner Nürnberg. Bereits im Jahr 1952 veröffentlichte er Ansätze zur analytischen Auslegung von Asynchronmaschinen (ASM) – zu einer Zeit, in der Computer in heutiger Form noch nicht existierten [1]. Sein Schlüssel zum Erfolg: die systematische Auswertung vorhandener Ent-

würfe und Messdaten real gebauter Maschinen. Aus dieser Datensammlung leitete Nürnberg wichtige Zusammenhänge ab, die er in seinem Buch detailliert beschreibt.

Zentrale Kurven

Zwei bedeutende Kurven, die aus diesen Messdaten gewonnen wurden, stehen im Zentrum dieser Note: der Abplattungsfaktor α (Zahn) und die reduzierte BH -Kurve (Joch). Die Maschine wird dabei in zwei charakteristische Bereiche unterteilt – das Joch und die Zähne, jeweils im Stator und Rotor (siehe Abb. 2). Da diese Bereiche unterschiedliche Sättigungszustände aufweisen, müssen sie separat berücksichtigt werden.

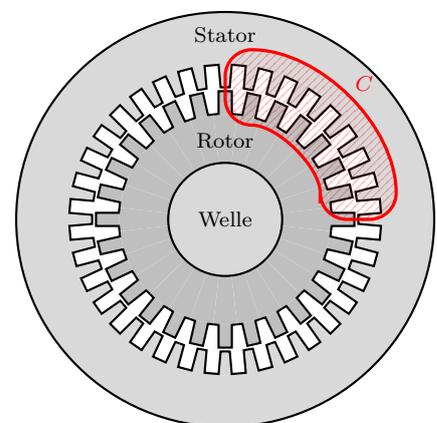


Abb. 1: ASM Geometrie

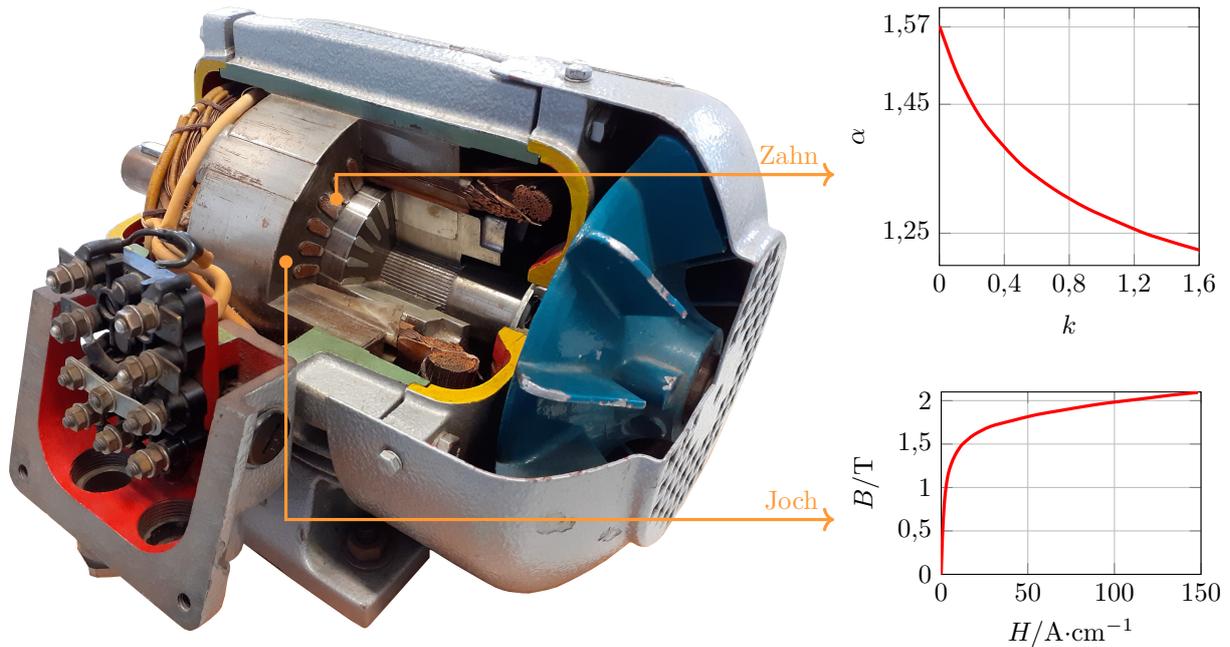


Abb. 2: Die Abplattungsfaktor α und die Reduzierte BH -Kurve für den Entwurf der Asynchronmaschine

Für die Zähne ist der Abplattungsfaktor entscheidend. Er wird aus den geometrischen Abmessungen des Motors berechnet und liefert eine Indikation über den magnetischen Sättigungszustand. Damit lässt sich der Magnetisierungsbedarf sehr genau abschätzen.

Das Joch hingegen ist in der Regel weniger stark gesättigt. Die reduzierte BH -Kurve berücksichtigt dies und hilft, Streufelder und Geräuschentwicklung außerhalb des Motors zu begrenzen. Mit diesen beiden Kurven gelingt es, mithilfe überschaubarer analytischer Überlegungen hocheffiziente Maschinen zu entwerfen. Die Grundlage hierfür bildet jedoch stets die sorgfältige Auswertung vorhandener Messdaten.

Fehlerfälle

Dieser Ansatz hat allerdings auch seine Grenzen. Die Daten gelten in der Regel nur für den stationären Betrieb – Fehlerfälle sind darin meist nicht abgebildet. Bei Fehlern wie z.B. einem dynamischen Klemmenkurzschluss ändern sich die magnetischen Belastungen des Eisenkreises erheblich. Dadurch gelten die üblichen Kennlinien nicht mehr. In einer Studie konnte gezeigt werden, wie bei einem solchen Fehlerfall die Sättigung die Maschinenparameter deutlich beeinflusst und das Strom- und Spannungsverhalten stark verändert [2].

Hier kam die Finite-Elemente-Methode zum Einsatz, um die relevanten Parameter unter Fehlerbedingungen zu identifizieren. Daraus

ließen sich gezielte Anpassungen für analytische Modelle ableiten. Dieses Beispiel zeigt, wie aus vorhandenen Daten optimierte Rechenansätze entwickelt werden können – nicht nur für den Normalbetrieb, sondern auch für kritische Situationen.

Fazit

Trotz aller Fortschritte in der numerischen Simulation und KI bleibt der entscheidende Faktor der kreative Mensch. Im Vergleich zu Nürnbergs manueller Herangehensweise steht uns heute eine Vielzahl datengetriebener und KI-unterstützter Methoden zur Verfügung. Sie eröffnen neue Wege, um Zusammenhänge schneller zu erkennen und die Entwicklung energieeffizienter Antriebe weiter voranzutreiben.

Verweise

- [1] Werner Nürnberg. *Die Asynchronmaschine*. 2. Aufl. Springer-Verlag, 1976. DOI: 10.1007/978-3-642-53099-9.
- [2] N. Retière und M. Ivanès. „Study methods of induction traction motor three phase short circuits“. *The European Physical Journal of Applied Physics* 3 (1998), S. 263–271. DOI: 10.1051/epjap:1998229.