

Fehlerdiagnose an Asynchronmaschinen mit Kurzschlussläufern

KEY-Words:

Vorbeugende Maschineninstandhaltung – Körperschallanalyse – Statorstromanalyse – Streufeldanalyse

Einleitung

Heutige industrielle Produktionsanlagen weisen eine wachsende Komplexität auf. Häufig überschreiten die Kosten der durch Motorfehler verursachten Produktionsausfälle die Reparatur- oder Ersatzkosten der Maschine um ein Vielfaches. In Verbindung mit der deutlichen Verringerung des Personaleinsatzes insbesondere im Bereich der Instandhaltung erhalten Technologien und Verfahrensweisen zur vorbeugenden Maschineninstandhaltung besondere Bedeutung. Dies gilt natürlich auch für die industriell häufig eingesetzten Asynchronmaschinen mit Kurzschlussläufern. Auch bei diesen sehr robusten Antrieben treten Betriebsausfälle auf. Als häufigste mechanische Ausfallursachen sind hierbei Lagerschäden zu verzeichnen. Bei den elektrischen Ausfallursachen sind im wesentlichen Stab- und Ringbrüche der Kurzschlussläufer zu nennen.

Ziel aktueller Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten sind deshalb Verfahren und Geräte zur Maschinenüberwachung, die während des Anlagenbetriebs eine Zustandsdiagnose der Antriebskomponenten ermöglichen. Wegen ihrer Robust-

und Einfachheit ist die Asynchronmaschine mit Kurzschlussläufer der am häufigsten eingesetzt Industrieantrieb. Der prinzipbedingte Nachteil des schleifringlosen Rotors dieses Maschinentyps ist der erhöhte Schwierigkeitsgrad bei der Erkennung von Rotorfehlern, da ohne Demontage der Maschine eine direkte messtechnische Bestimmung der Rotoreigenschaften nicht möglich ist.

Synopse einzusetzender Diagnoseverfahren

Zur Zeit existieren schon Überwachungssysteme [1, 2], die sowohl Off-line- oder On-line-Verfahren nutzen, um Aussagen über den aktuellen Maschinenzustand zu gewinnen. Die hierbei eingesetzten Verfahren reichen von einfachen Erfassungen der Gehäuse-, Lager- Kühlmittel- und Wicklungstemperaturen über Schwingungs- und Stromüberwachungen, die Überschreitungen von Grenzwerten melden bzw. Abschaltungen auslösen, bis hin zu komplexen Mehrkanalüberwachungssystemen, die Spektral- und Trendanalysen nutzen, um Maschinenfehler zu diagnostizieren. Eine Übersicht der in der Literatur dargestellten Methoden ist der Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1:
Methoden der Zustandsüberwachung

Methode	Verfahren				On-line	Off-line
	Trendanalyse	Grenzwertüberwachung	Spektralanalyse	Mustererkennung		
Temperaturanalyse	■				■	
Isolationswiderstandsmessung	■	■				■
Wicklungswiderstandsmessung	■					■
Hochspannungsprüfung		■				■
Stoßspannungsanalyse	■			■		■
Teilentladungsmessung	■				■	■
Analyse der Leistungsaufnahme	■	■			■	
Körperschallanalyse	■		■		■	
Motorstromanalyse	■		■		■	
Streufeldanalyse	■		■		■	

KONTAKT:
Prof. Dr.-Ing.
Andreas Mollberg
Fachbereich
Elektrotechnik und
Informationstechnik
Konrad-Zuse-Str. 1
56075 Koblenz

Analyse des Körperschalls

Eine Zustandsdiagnose mittels Wicklungs- und Isolationswiderstandsmessungen, Hochspannungsprüfung sowie Stoßspannungs- und Teilentladungsmessungen erfordert die Außerbetriebsetzung des Antriebs. Hingegen werden Körperschallsignale mit Hilfe von Piezo-Vibrationsensoren während des Betriebs aufgenommen. Die Körperschallanalyse hat sich in der industriellen Praxis als eine sehr leistungsfähige Methode zur Beurteilung von Lager- und Getriebschäden erwiesen.

Allerdings lässt die Auswertung des Körperschalls ebenfalls Rückschlüsse auf elektrische Maschinenfehler zu. Die Strombeläge von Stator und Rotor einer Asynchronmaschine mit p Polpaaren und das damit verkettete magnetische Luftspaltfeld lassen sich mit Hilfe der Drehfeldtheorie als Überlagerung von Drehfeldern verschiedener Polpaarzahlen p_v und Kreisfrequenzen ω_v der Strombelagsamplituden \hat{A}_v bzw. der Flussdichteamplituden B_v darstellen. Nur die mit der synchronen Kreisfrequenz ω_1/p bzw. die mit der Schlupfkreisfrequenz $s\omega_1$ auftretenden Strombelags- und Luftspaltdrehfelder sind hinsichtlich der Antriebsaufgabe der Asynchronmaschine Nutzkomponenten. Eine ideale Maschine würde nur diese Komponenten aufweisen.

Aus den konstruktiven Merkmalen einer Asynchronmaschine (z. B. aus der Nutungs- und Wicklungscharakteristik) und durch unvermeidliche Fertigungstoleranzen (z. B. Exzentrizitäten) resultieren zusätzliche Drehfeldkomponenten, die zeitabhängige parasitäre Drehmomente und radial wirkende Kräfte erzeugen.

Neben der schon erwähnten mechanischen Anregung von Körperschall sind also auch Auswirkungen der magnetischen Felder auf die Körperschallemission festzustellen. Durch Magnetostraktion werden Körperschallsignale der Netzfrequenz, der Nutpassierfrequenz, und der Drehzahl einschließlich zugehöriger Oberschwingungen und Seitenbänder erzeugt, deren Ausprä-

gungen abhängig vom Betriebs- und Fehlerzustand der jeweiligen Maschine sind und deshalb zur Maschinenüberwachung genutzt werden können [3].

Analyse des magnetischen Streuflusses

Die erwähnten magnetischen Drehfelder der Asynchronmaschine wirken nicht nur im Inneren des Maschinengehäuses. Jede sich im Betrieb befindende Maschine ist von einem magnetischen Streufeld umgeben. Dies eröffnet eine weitere Möglichkeit, ohne Betriebsunterbrechung Informationen über den Maschinenzustand zu gewinnen. Die Erfassung des magnetischen Streuflusses der Asynchronmaschine kann mit Hilfe einer Feldspule erfolgen, die außen in der Nähe des Maschinengehäuses befestigt wird. Die Auswertung der in dieser Spule durch das magnetische Streufeld induzierten Spannung lässt Rückschlüsse auf den Last- und Fehlerzustand der Maschine zu.

Analyse der Statorströme

Da sowohl mechanische als auch elektromagnetische Unregelmäßigkeiten der Maschine in den Zeitverläufen der Statorströme ihren Niederschlag finden, sind die bei der Körperschallanalyse und bei der Bewertung des magnetischen Streuflusses eingesetzten Verfahren zur digitalen Signalfilterung auch auf die Statorstromaufnahme zur Maschinenfehlerdiagnose anzuwenden [4]. Die Signalerfassung kann auch hier, wie bei der Körperschall- und der Streufeldanalyse, unter Einsatz von Strommesszangen ohne Betriebsunterbrechung erfolgen.

Ziel des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens

Die theoretischen Zusammenhänge zwischen häufig auftretenden Maschinenfehlern und zugehöriger Spektren von Körperschall-, Streufluss- und Statorstromverläufen sind der Literatur zu entnehmen. Allerdings finden sich

unterschiedliche Angaben zu den anzuwendenden Messverfahren und den in der Praxis zur Diagnose abgeleiteten Kenngrößen. Weiterhin sind nur Angaben für den Netzbetrieb von Asynchronmaschinen verfügbar.

Hieraus ergibt die Vorgehensweise im Rahmen des beschriebenen F&E-Vorhabens. Asynchronmaschinen werden definiert geschädigt. Körperschall-, Streufluss- und Statorstromsignale der zunächst fehlerfreien und der dann geschädigten Maschinen werden während des Prüfstandsbetriebs erfasst und ausgewertet. Die Abbildung 1 zeigt eine Asynchronmaschine mit Körperschallsensor und Feldspule während des Prüfstandslaufs.

Ziel ist die Entwicklung eines Diagnosesystems für Niederspannungs-Asynchronmaschinen, das Informationen über den Last- und Fehlerzustand zur Verfügung stellt. Nach der prinzipiellen Bewährung des zu entwickelnden Diagnosesystems im Prüfstandsbetrieb sind Feldversuche

im industriellen Einsatz vorgesehen. Danach soll die Erweiterbarkeit des zu entwickelnden Diagnosesystems auf umrichter gespeiste Asynchronmaschinenantriebe beurteilt werden.

Literatur

- [1] Nicholas, J. R.: Motor electrical monitoring and condition analysis, Maintenance Technology. Vol. 9, No. 9, S. 22-28, 1996.
- [2] Mollberg, A.: Analysis of failures in three-phase-squirrel cage induction motors, Proceedings of the Tenth International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection, New Delhi, Indien, November 2001
- [3] Klein, U.: Schwingungsdiagnostische Beurteilung von Maschinen und Anlagen, Verlag Stahleisen GmbH, Düsseldorf, S. 145-150, 2000.
- [4] Kliman, G. B.: Methods of motor current signature analysis, Electric Machines and Power Systems, Vol. 20, No. 4, S. 463-474, 1992.

Abbildung 1:
Asynchronmaschine
mit Körperschall-
sensor- und Feld-
spule

