

Abstrahlrichtcharakteristik einer Geschalteten Reluktanzmaschine

Sebastián Fingerhuth¹, Knut Kasper²

¹ Institut für Technische Akustik, RWTH Aachen, Deutschland, Email: sfi@akustik.rwth-aachen.de

² Institut für Stromrichtertechnik und Elektrische Antriebe, RWTH Aachen, Deutschland

Einleitung

Geschaltete Reluktanzmaschinen (GRM) haben ein großes Einsatzpotenzial in der Industrie, speziell im Haushaltsgeräte- und im Automobilbereich. Einige Aspekte der Schwingungs- und Geräusentstehung dieser Maschinen können anwendungsabhängig optimiert werden.

In dieser Arbeit wird erstmalig die phasengenaue Abstrahlrichtcharakteristik einer vierphasigen 8/6 GRM präsentiert, die mittels numerischer Methoden und entsprechender Messungen ermittelt wurde.

Geschaltete Reluktanzmaschinen

Geschaltete Reluktanzmaschinen (GRM) arbeiten nach dem Prinzip der Reluktanzkraft, im Gegensatz zu den meisten anderen Maschinen, bei denen die Lorentzkraft genutzt wird. Nur der Stator hat Spulen, die sequenziell eingeschaltet werden. Ein magnetischer Fluss entsteht, welcher dann Drehmoment erzeugt und den Rotor dreht, um die Reluktanz zu minimieren. Wenn der Rotor ausgerichtet ist, steht der Rotorzahn einem Statorzahn gegenüber, ein Minimum der Reluktanz wird erreicht und der magnetische Fluss ist maximal. Zu diesem Zeitpunkt wird die Phase ausgeschaltet und die nächste eingeschaltet. Wegen diesem Ein- und Ausschalten ist das Strom- und Kraftsignal impulsartig und nicht monofrequent sinusförmig. Deshalb wird der Stator auch mit den harmonischen der Grundfrequenz angeregt und ein tonhaltiges Geräusch wird abgestrahlt [2] [3] [4].

Es entsteht dabei nicht nur Drehmoment sondern auch eine starke Kraft, die den Stator radial „staucht“ und die Eigenmoden des Stators anregt [1].

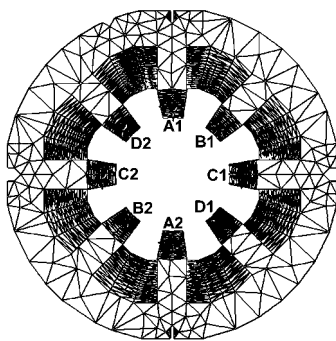


Abbildung 1: Schnitt des Stators

Bei einer vierphasigen 8/6 Maschine tritt gleichzeitig bei beiden gegenüberstehende Statorzähne einer Phase (Zähne A1 und A2 in Abbildung 1) eine radiale Kraft

nach innen auf. Zeitliche verschoben geschieht das gleiche bei den Zähnen der Phase C, die senkrecht zu denen der Phase A stehen. Für die Phasen B und D gilt das gleiche, zeitlich um eine viertel Periode und räumlich um 45° versetzt. Insgesamt gesehen ist die Kraftanregung an den Statorzähnen zusammengesetzt aus zwei zeitlich und räumlich versetzten Quadropolen.

Messung der Abstrahlrichtcharakteristik

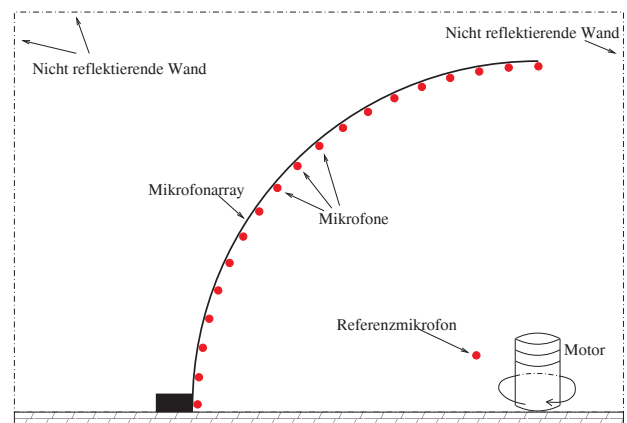


Abbildung 2: Messaufbau im reflexionsarmen Raum.

Für die Messung wurde ein Prüfstand gebaut mit einer Wirbelstrombremse als Lastmaschine. Der Prüfstand wurde in einem reflexionsarmen Raum aufgestellt mit der Wirbelstrombremse im Boden versenkt, damit nur die GRM über dem Boden steht. In einem Abstand von 2 Meter wurde ein Viertel-Bogen-Mikrofonarray (Radius 2 Meter) mit 19 Mikrofonen aufgestellt (siehe Abbildung 2). Der Motor wurde bei einer Drehzahl von 3385 UpM unter Last betrieben und nach jeder Aufnahme um 10° gedreht, um insgesamt eine Messung von einer Viertelkugel um den Motor zu erhalten. Die Signale wurden für die 19 Mikrofone im Mikrofonarray synchron mit einer 24-Kanal Hardware aufgenommen. Nach jeder Messung wurde der Motor ausgeschaltet (um ihn um 10° zu drehen und ihn abzukühlen). Um die einzelnen Messungen vergleichen zu können, muss die relative Phasenlage der Messungen zueinander bekannt sein, auch nach jedem Ausschalten und Hochfahren der Maschine. Dafür wurde immer das Stromsignal aufgenommen, welches als Referenzimpuls diente. So ist es möglich, nicht nur den Pegel an jeder Mikrofonposition zu messen, sondern auch die relative Phase an allen Positionen. Die hier gezeigten Ergebnisse konzentrieren sich auf die relative Phasenlage des Schalldrucks.

In Abbildung 3 sieht man die Phasenlage der aufgenom-

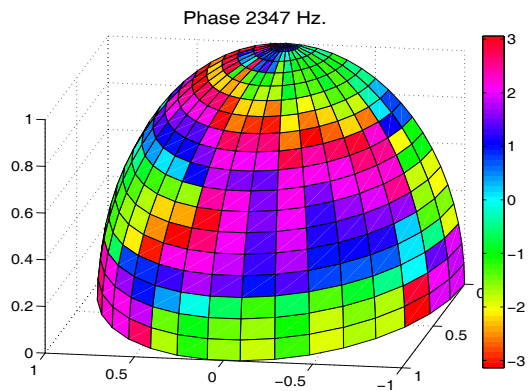


Abbildung 3: Ergebnis der Messung der Abstrahlcharakteristik (Phase) bei 2350 Hz

menen Signale bei der Frequenz mit maximalem Pegel (2347 Hz), farblich kodiert. Zu erkennen sind Flächen mit relativ ähnlicher Phase, gefolgt (in azimuthaler Richtung) von Flächen mit einem Phasenunterschied von π rad. In Polar-Richtung sind auch Phasensprünge zu sehen. Die erwartete Hauptabstrahlrichtung ist radial, mit wenig Abstrahlung in axialer Richtung.

Berechnung der Abstrahlrichtcharakteristik FEM/BEM

Numerische Methoden erlauben, Moden und Eigenfrequenzen von Strukturen zu berechnen. Mit den Kraftverläufen an jedem Statorzahn kann die Schwingungen an Punkten auf der Oberflächen eines Körpers (Finite Element Method, FEM) berechnet werden. Die Abstrahlung in Luft wird mit der Boundary Element Method (BEM) berechnet. Auf diese Weise wurde die Abstrahlung eines stark vereinfachten CAD-Modells des Stators (Zylinderstruktur mit Statorzähnen ohne Gehäuse) simuliert. Ein Schnitt des CAD-Modells ist in Abbildung 1 zu sehen. Aus der Spektralanalyse der Messung ist deutlich zu erkennen, dass bei ca. 2300 Hz eine Resonanzfrequenz liegt. Die numerische Berechnung der Eigenmoden des vereinfachten Stators ergeben eine Resonanzfrequenz bei 2430 Hz, d.h. eine Mode-2-Schwingung (Quadrupol mit den Zähnen A1 und A2 gegenphasig zu C1 und C2. S. Abbildung 1). Für die anderen zwei Polpaare, die um 45° gedreht sind (Zähne B und D) liegt die berechnete Quadrupolresonanz bei 2890 Hz.

Berechnet wurde der Schalldruckpegel und die Phase an den Punkten im Raum, wo die Mikrofone des Mikrofonarrays positioniert waren. Das Ergebnis der Simulation bei 2430 Hz, also die Mode-2-Schwingung der Zähne A und C, ist in Abbildung 4 zu sehen, welches ein ähnliches Muster hat wie die Messung. Flächen mit gleicher Phase gefolgt von Flächen mit gedrehter Phase.

Analytisches äquivalentes Modell

Unter der Voraussetzung, dass der Kraftpuls an zwei entgegengesetzten Statorzähnen gleichzeitig zieht und sich dieses für die anderen Zähne und Phasen wieder-

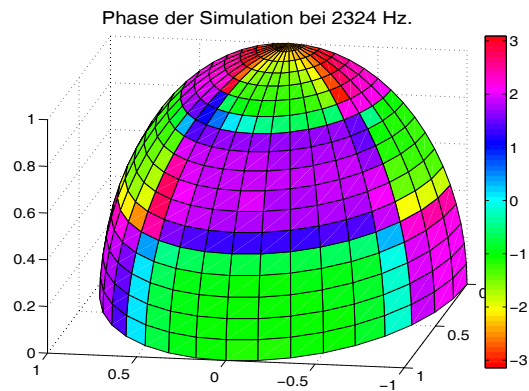


Abbildung 4: Simulation der Abstrahlung (Phase) eines vereinfachten Statormodells

holt (s. oben), kann die Abstrahlung des Stators als die Überlagerung von zwei Quadrupolzeilen gesehen werden. Die endliche Länge der Zeile ist der Grund der Phasensprünge in der Elevationsrichtung (Si-Funktion). Die Gesamtstrahlung beinhaltet auch weitere Moden, doch aus den Messergebnissen ist zu erkennen, dass mit der Quadrupolanregung vor allem beide Mode-2 Schwingungen abstrahlen. Somit kann der von einer GRM erzeugte Schalldruck in einer horizontal Ebene einfach als die Addition der beiden Mode-2-Strahler angenähert werden.

Schlussfolgerungen und Zusammenfassung

Der Vergleich der Messung der Phase der Abstrahlung einer GRM im Abstand von zwei Metern mit der numerischen Simulation eines vereinfachten Modells zeigen Übereinstimmung und bestätigen die Erwartungen []. Die Kenntnis der Abstrahlrichtcharakteristik kann dazu genutzt werden, Geschaltete Reluktanzmaschinen in Zukunft akustisch günstiger einzubauen, bzw. aufzustellen.

Literatur

- [1] Colby, R.S. and Mottier, F.M. and Miller, T.J.E., Vibration modes and acoustic noise in a four-phase switched reluctance motor, IEEE Transactions on Industry Applications, 32, 1357-1364, (1996).
- [2] Fingerhuth, S., Kasper, K., Klemenz, M., Fiedler, J., Vorländer, M., De Doncker, R., Bewertung der Geräuschqualität von Geschalteten Reluktanzmaschinen durch psychoakustische Größen, Proc. Fortschritte der Akustik DAGA 05, (2005).
- [3] Fingerhuth, S. and Kasper, K. and De Doncker, R. and Vorländer, M., Evaluación psicoacústica en motores de reluctancia conmutada, Proceedings FIA 2006. V Congreso Iberoamericano de Acustica, (2006).
- [4] Fiedler, J. O. , Kasper, K. A. , De Doncker, Rik W., Spectral Composition of Stator Vibrations Resulting from Modal Superposition in SRM., 3rd IEE International Conference Power Electronics Machines and Drives PEMD, Dublin, (2006).