

Elektrisches Ersatzschaltbild für Lager von Elektromotoren

Referent: Matthias Hirte, Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Institut für Medizintechnik, Postfach 4120, Magdeburg, Deutschland, matthias.hirte@ovgu.de

Co-Autoren: Prof. Ralf, Vick, Lehrstuhl für Elektromagnetische Verträglichkeit, Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Institut für Medizintechnik, Postfach 4120, Magdeburg, Deutschland, ralf.vick@ovgu.de

Abstract

In elektrischen Maschinen können Ströme über die Lager auftreten. Diese Ströme sind problematisch, da sie die Lebensdauer von den Lagern deutlich verkürzen können. In der Literatur sind die Ursachen und Auswirkungen diese Ströme beschrieben [1][2]. Weitere Veröffentlichungen geben Simulationsmodelle und Ersatzschaltbilder für die Quellen und Übertragungspfade der Lagerströme an [3]. Die elektrischen Eigenschaften des Lagers werden meist vernachlässigt. Außerdem werden in zunehmendem Maße bei Drehstrommaschinen die Umrichter direkt in das Motorgehäuse eingebaut. Das Motorgehäuse (und damit auch das Lager) muss in der Lage sein, die vom Umrichter erzeugten Störungen abzuschirmen. Um die Schirmwirkung abschätzen zu können, müssen die elektrischen Eigenschaften des Lagers bekannt sein. Diese sind in der Literatur nur unzureichend angegeben. In [2], ist ein einfaches Ersatzschaltbild für ein Wälzlager angegeben.

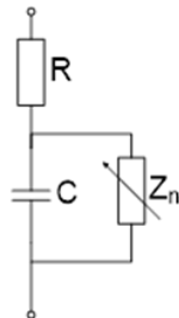


Abbildung 1: einfaches Ersatzschaltbild für ein Wälzlager [2]

Der nichtlineare Widerstand Z_n beschreibt die elektrische Entladung innerhalb des Schmierfilms des Lagers. Dieser Effekt ist vorrangig für den schnelleren Alterungsprozess auf Grund von Lagerströmen verantwortlich. Für hochfrequente Störungen ist dieses Ersatzschaltbild nur bedingt geeignet.

In diesem Paper wird das Ersatzschaltbild für hochfrequente Störströme erweitert und die Bestimmung der Parameter für die einzelnen Ersatzelemente beschrieben. Es wird außerdem untersucht inwieweit die Parameter von der Bewegungssituation des Lagers abhängig sind.

Aufbau eines Lagers

Ein Lager besteht aus einer inneren Lageschale, die mit der Welle verbunden ist, und äußeren Lagerschale, die mit dem Gehäuse verbunden ist. Dazwischen befinden sich Kugeln, die das Lager beweglich machen. Zur Reduzierung der Reibung und zur Verringerung des Verschleißes ist an den Berührungsflächen ein Schmierstoff aufgebracht [4]. Bei einem klassischen aufgebauten Lager sind Lagerschalen aus einem Metall (z.B. Stahl oder Edelstahl) und der Schmierfilm aus einem Öl (z.B. Mineralöl). Lager aus Keramik oder Kunststoff werden auf Grund ihrer sehr abweichenden elektrischen Eigenschaften in diesem Paper nicht berücksichtigt

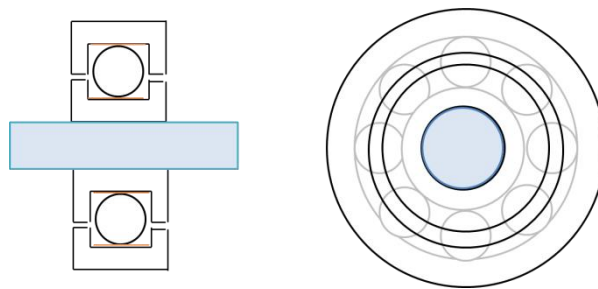


Abbildung 2: Aufbau eines Wälzlagers (Seiten- und Frontansicht)

Abgeleitetes Ersatzschaltbild

Die elektrischen Eigenschaften werden vorrangig von dem Übergang von den beiden Lagerschalen zu den Kugeln bestimmt. Maßgeblich sind das verwendete Schmiermittel, sowie das Abstand zwischen Lagerschale und Kugeln. Das allgemeine Ersatzschaltbild für einen Übergang ist in Abbildung 3 dargestellt. In Abhängigkeit von der Leitfähigkeit des Schmierstoffs und der Berührungsfläche zwischen Kugeln und Lagerschalen wirkt der Übergang mehr ohmisch oder mehr kapazitiv. Die Impedanz Z_n bildet das nichtlineare Verhalten des Übergangs wieder. Bei höheren Spannungen kann es zu Entladungen kommen.

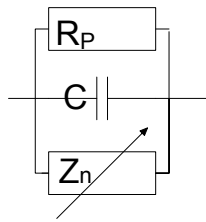


Abbildung 3: Ersatzschaltbild eines Übergangs von der Lagerschale zu den Kugeln

Die Lagerschalen und die Kugeln eines als ohmscher Widerstand beschrieben werden, so dass sich das Ersatzschaltbild für das komplette Lager wie in darstellen.

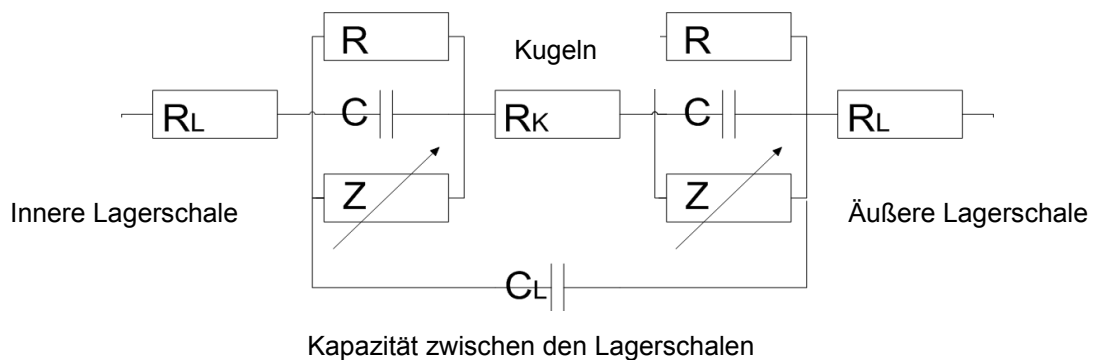


Abbildung 4: gesamtes Ersatzschaltbild eines Wälzlagers

Durch Zusammenfassen der einzelnen Teilelemente kann das Ersatzschaltbild zusammengefasst werden. Eine Zusammenfassung ist möglich, da nur die Außenwirkung des Lagers untersucht werden soll.

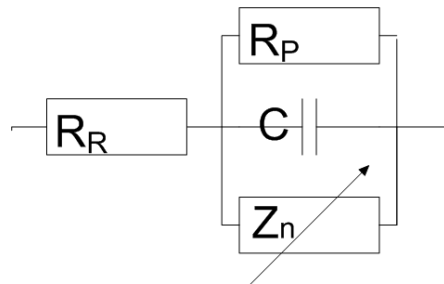


Abbildung 5: Vereinfachtes Ersatzschaltbild für ein Wälzlager

Bei den durchgeführten Arbeiten ist auf Bestimmung des nichtlinearen Widerstandes Z_n wurde verzichtet worden. Er wird nur bei größeren Spannungen am Lager wirksam, die hier nicht weiter untersucht werden.

Ermittlung der Ersatzparameter

Für eine theoretische Ermittlung der Ersatzgrößen R_r , R_p , C und Z_n ist stark von dem Abstand zwischen den Lagerschalen und den Kugeln abhängig. Die Dicke des Schmierfilms ist schwer vorherzusagen. Auf eine theoretische Berechnung wurde deshalb verzichtet und eine messtechnische Herangehensweise gewählt. Die Bestimmung der Parameter wurde mit einem Impedanzanalysator im Frequenzbereich von 9 kHz bis 110 MHz durchgeführt. Sie wurden bei drei unterschiedlichen Belastungssituationen ermittelt. Zunächst wurde ein Lager im unbewegten Zustand ohne Druck auf der inneren Lagerschale vermessen (Unbelastet). Die zweite Messung erfolgte bei einem unbewegten Lager, bei dem innere Lagerschale an die Äußere gedrückt wurde (Druck). Die dritte Messung erfolgte bei einem bewegten Lager ohne Druck auf die Lagerschale (Bewegung). Um diese einzelnen Belastungssituationen messen zu können, wurde immer über zwei Lager gemessen. Die beiden äußeren Lagerschalen wurden jeweils mit einem Port des Impedanzanalysators verbunden. Die Anschlüsse wurden möglichst niederinduktiv ausgeführt. Die beiden inneren Lagerschalen wurden mit einer Welle verbunden. Der Messaufbau ist in Abbildung 6 angegeben.

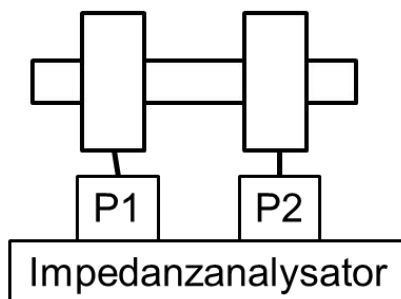


Abbildung 6: Schematische (links) und reale (rechts) Darstellung des Messaufbaus

Es wurden der Betrag (Abbildung 7) und der Phasenwinkel (Abbildung 8) der gesamten Impedanz Z_g zwischen den beiden Ports des Impedanzanalysators gemessen.

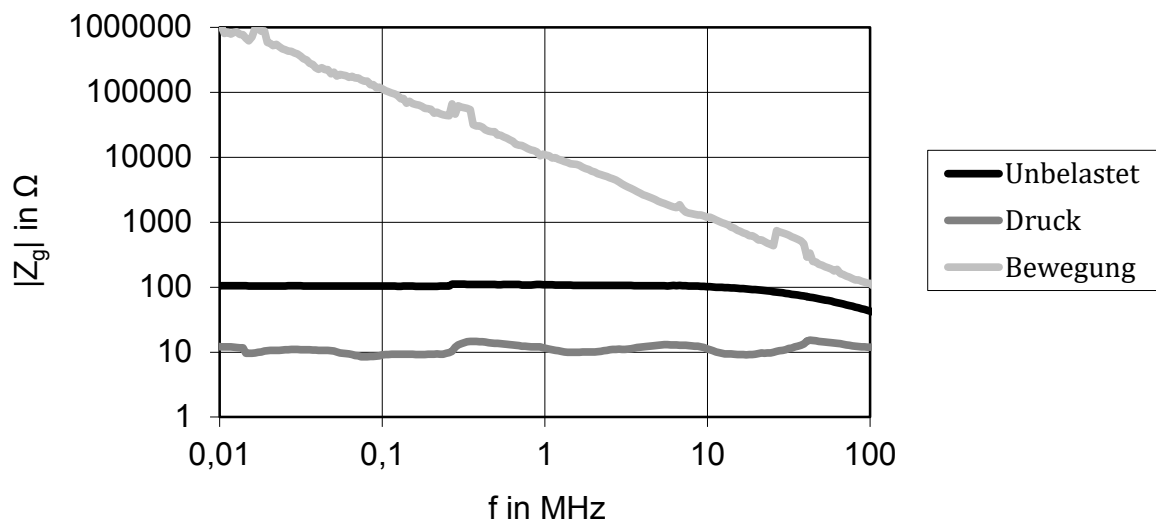


Abbildung 7: Betrag der Impedanz für die drei Belastungszustände

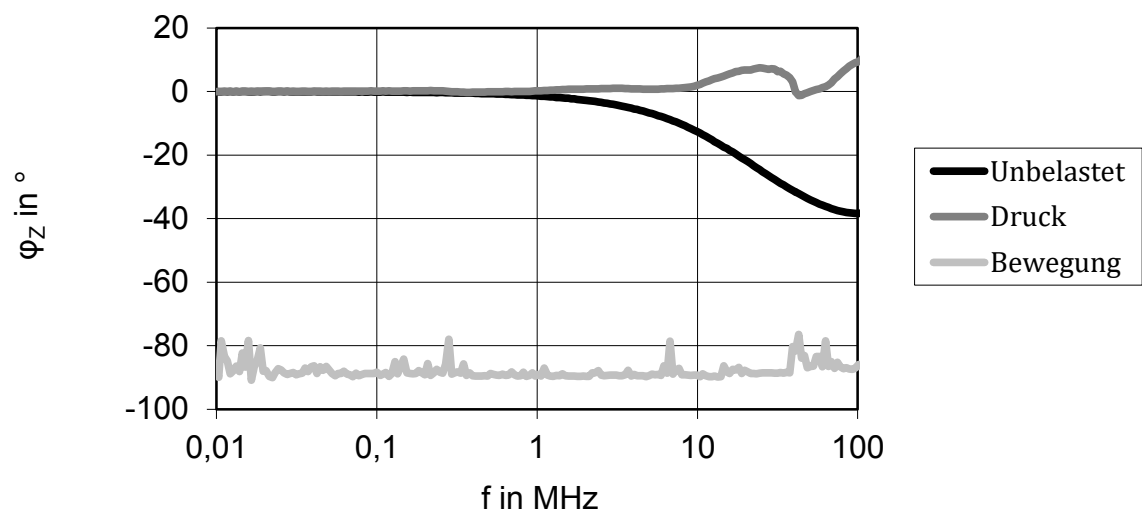


Abbildung 8: Phasenwinkel der Impedanz bei den drei Belastungszuständen

Die Belastungszustände zeigen im untersuchten Frequenzbereich sehr unterschiedliches Verhalten. Im unbelasteten Fall zeigt es das typische Verhalten einer Parallelschaltung aus einem Kondensator und einem Widerstand. Bei dem mit Druck belasteten Lager ist die Impedanz über den gesamten Frequenzbereich rein ohmisch, wohingegen sie bei einer bewegten Welle rein kapazitiv ist. Grundsätzlich kann das abgeleitete Ersatzschalt für alle drei Zustände verwendet werden, die einzelnen Parameter müssen jedoch auf die Belastungssituation angepasst werden. Die abgeleiteten Werte für den ohmschen Widerstand und die Kapazität des Ersatzschaltbildes sind in Tabelle 1 dargestellt. Da über Impedanz über zwei Lager in

Reihe gemessen wurde, ist der Betrag der Impedanz (unter der Annahme, dass die beiden Lager gleich sind und die Welle keinen Einfluss hat) für ein Lager zu halbieren. Für die Fälle bei denen die Grenzfrequenz nicht innerhalb des gemessenen Frequenzbereichs lag, konnte nur ein Parameter exakt bestimmt werden. Eine Vergrößerung des Messbereichs war mit der verwendeten Messtechnik nicht möglich. Es war außerdem nicht möglich die Größe des Reihenwiderstandes des abgeleiteten Ersatzschaltbildes zu bestimmen, da er erst bei höheren Frequenzen wirksam wird. Er ist in jedem Fall kleiner als der Parallelwiderstand.

Tabelle 1: Abgeleitete Ersatzparameter für ein Lager für einzelne Belastungszustände

	R in Ω	C in pF
Unbelastet	Ca. 50	Ca. 100
Druck	5	<100
Bewegung	>1M	30

Der ohmische Anteil der Impedanz ist extrem stark von der Belastungssituation abhängig. Bei dem unbelasteten Fall schwankte er außerdem bei der Wiederholung der Messung, so dass er auch eine Abhängigkeit von der Ruhelage hat. Zusätzlich könnten weitere Abhängigkeiten bestehen (z.B. Drehzahl), die nicht weiter untersucht wurden. Um das Ersatzschaltbild anwenden zu können, sind die Parameter für die genaue Belastungssituation zu bestimmen. Der kapazitive Anteil weniger von der Belastungssituation abhängig.

Zusammenfassung und Ausblick

Es wurde ein Ersatzschaltbild für ein Wälzlager erstellt. Es konnte gezeigt werden, dass das Ersatzschaltbild grundsätzlich anwendbar ist. Die einzelnen Parameter sind jedoch sehr stark von der Belastungssituation des Lagers abhängig. Um das Ersatzschaltbild nutzen zu können, sind die Parameter für die jeweilige Belastungssituation zu bestimmen. Eine Umrechnung der Parameter von einer zu einer anderen Belastungssituation war mit der durchgeführten nicht möglich. Eine solche Umrechnung ist eventuell möglich, wenn exakte Kennlinien von Belastungsparameter (wie Drehzahl und Gewicht auf der Welle) aufgenommen werden können. Die Untersuchungen wurden an einem einzelnen Lager durchgeführt. Das Ersatzschaltbild ist auf andere Lager übertragbar. Inwieweit sich die einzelnen Parameter von Lager zu Lager unterscheiden, muss noch untersucht werden.

Literaturangaben

- [1] ABB, „Lagerströme in modernen AC-Antriebssystemen“, Technische Anleitung Nr. 5, 2001
- [2] M. R. Rezaei, „Jahresbericht 2003“ TU Braunschweig 2003
- [3] Annette Muetze, „Bearing Currents in Inverter-Fed AC-Motors“ Universität Darmstadt, 2004
- [4] Schaeffler, „Schmierung von Wälzlagern“, TPI 176, 2013