Drehgeberschutz durch Einbau isolierter Kugellager

Frequenzumrichter gefährden Lager von Elektromotoren

LOTHAR WILHELMY, HERBERT LESSER

Durch Unsymmetrien im elektromagnetischen Kreis sowie durch kapazitive Einkopplungen von Umrichtern bilden sich elektrische Ströme entlang der Wellen von Antriebssträngen aus. Diese Ströme schaden dem Drehzahlgeber im Antriebsstrang nicht, wenn man isolierte Lager im Sensor verwendet oder wenn man ihn mit Schleifkontakten bzw. isolierenden Kupplungen ausstattet.

Mögliche Ursachen für den Wellenstrom

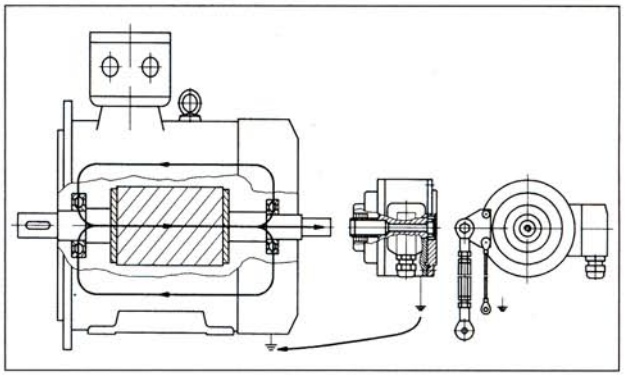
Bei Kraftwerksgeneratoren ist das Phänomen schon lange bekannt: Beidseitig des Rotors tritt eine kleine Spannungsdifferenz auf, die sich als Wellenstrom über die Lager kurzschließen würde, wenn nicht Schleifkontakte für eine Ableitung nach Erde sorgten. Auch bei großen Motoren mit einer Leistung über 100 kW oder Motoren, die ursprünglich für den Betrieb am Netz ausgelegt wurden und nunmehr von schnellen Frequenzumrichtern gespeist werden, ist mit Wellenströmen zu rechnen. Die Lager verhalten sich nicht wie ein ohmscher Widerstand, sondern weisen wegen des Schmierfilms zunächst isolierende Eigenschaften auf. Ab einer Übergangsspannung von zirka 0,8 V wird der Schmierfilm überwunden, wobei es wegen der örtlich hohen Stromkonzentration zu Abbrand kommen kann. Bei einer Stromdichte in der Größenordnung von 1 A/mm^2 ist mit bleibenden Schäden im Lager zu rechnen. Wegen der punktförmigen Auflage bilden sich Schmelzkrater, die als typisches Schadensbild Riffeln in der gesamten Lauffläche zeigen (**Bild 1**). Als Ursachen für die zwar kleine, wegen des geringen inneren Widerstandes aber sehr hohe Ströme erzeugende Spannung kommen folgende Ursachen in Betracht (**Bild 2**):

- Unsymmetrien im magnetischen Kreis: Unerwünschte magnetische Flüsse induzieren Wechselspannungen in der von Welle, Lager und Gehäuse gebildeten Schleife. Eine solche Unsymmetrie kann beispielsweise durch eine exzentrische Lagerung des Rotors verursacht werden, da der magnetische Widerstand an den Stellen des größten und kleinsten Luftspalts stark unterschiedlich ist. Von diesem Effekt sind Asynchronmaschinen im Vergleich zu Synchronmaschinen wegen ihres kleineren Luftspalts stärker betroffen.
- Kapazitive Einkopplung: Frequenzumrichter rufen kapazitiv auf den Rotor übertragene Ströme hervor, die über die Lager nach Erde abfließen wollen. Moderne Antriebe, die von Frequenzumrichtern mit hoher Zwischenkreisspannung und schnell schaltenden IGBTs angesteuert werden, sind gemäß $i = C_K\, du/dt$ besonders betroffen. C_K ist dabei die Koppelkapazität und du/dt die Anstiegsgeschwindigkeit der Spannung an der Motorwicklung.
- Fremdspannungen: Unzureichend isolierte oder ihrerseits Wellenströme generierende Arbeitsmaschinen übertragen eine Potentialdifferenz auf die Motorwelle, die einen Weg nach Erde sucht.
- Elektrostatischer Effekt: Nicht antistatisch ausgerüstete Keil- und Zahnriemen oder auch Schmierstoffe können zu einer elektrostatischen Aufladung der rotierenden Maschinenteile führen.
- Unipolar-Spannungen: Maschinen mit Gleitlagern, deren Welle wegen Unsymmetrien in der Wicklung axial von einem Magnetfeld durchsetzt wird, können zwischen Anfang und Ende der Lagerschalen einen kleinen Spannungsunterschied aufweisen, der nach dem Unipolar-Prinzip insbesondere bei hochtourigen Antrieben entsteht. Bei einreihigen Kugellagern kann dieser Effekt nicht auftreten, da nur eine kurze axiale Auflagefläche vorhanden ist.

1: Von Wellenströmen geschädigte Kugellager sind durch eine riffelförmige Lauffläche gekennzeichnet

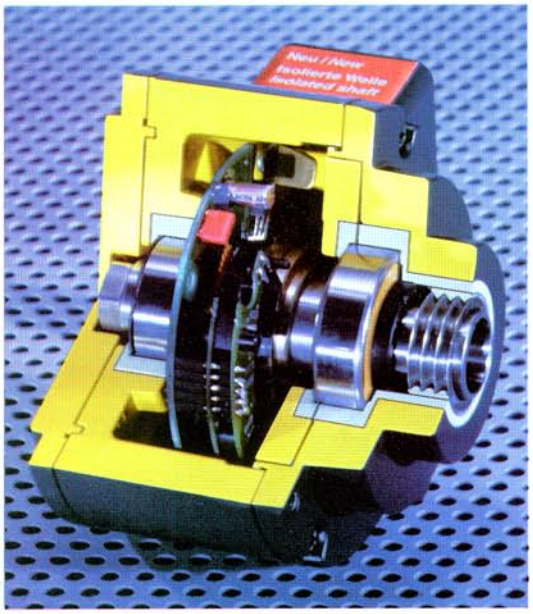
Wellenströme müssen vermieden werden

Wenn ungeregelte Motoren auf Umrichterbetrieb umgestellt oder Motoren an schnellen Frequenzumrichtern betrieben werden, sollte unbedingt kontrolliert werden, ob Wellenströme auftreten, da andernfalls nach einer gewissen Zeit mit Lagerschäden zu rechnen ist. Eine Abhilfe am Motor selbst ist nachträglich normalerweise nicht möglich. Da jedoch für die Drehzahlregelung oftmals ein Digitaltacho (Drehimpulsgeber) an den Motor angebaut werden



2: Potentialdifferenzen zwischen den beiden Seiten des Rotors führen zu Wellenströmen, die auch die angebauten Komponenten gefährden

Dr.-Ing. Lothar Wilhelmy ist Vorstand und Herbert Lesser Konstruktionsleiter der Hübner Elektromaschinen AG in 10967 Berlin



3: Hohlwellen-Digital-Tachos HOG 10 von Hübner werden in der neuesten Version serienmäßig mit isolierter Lagerung ausgestattet

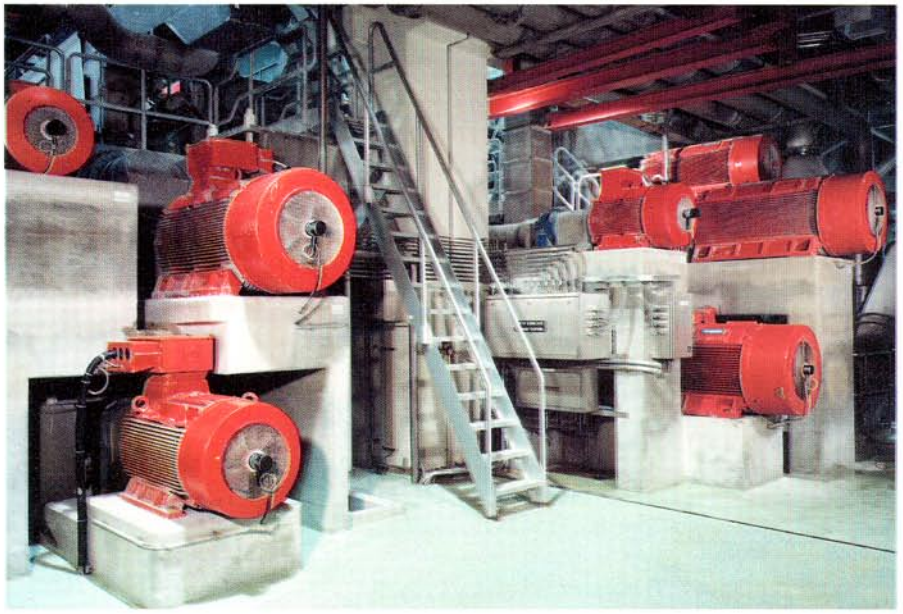
4: HOG 10

muß, kann dieser den Schutz übernehmen, sofern er, wie der Typ HOG 16 von Hübner Berlin, als Option mit einem Schleifkontakt ausgestattet ist. Kapazitiv übertragene, vom Frequenzumrichter herrührende Ströme finden so eine niederohmige Verbindung parallel zu den Kugellagern vor.

Eine neue, von den Wälzlager-Herstellern praktizierte Lösung stellen isolierte Lager dar. In einem Plasma-Beschichtungsverfahren wird Aluminiumoxid (Al_2O_2) aufgebracht, dem zur Verbesserung der Zähigkeit Titanoxid (TiO_2) beigemischt wird. Die weniger als 50 µm dicke Keramikschicht wird, um das Eindringen von elektrisch leitenden Medien in die Poren zu unterbinden, mit einer Kunststoffflüssigkeit versiegelt. Die Durchschlagspannung liegt über 100 V, ist also völlig ausreichend für die kleinen Potentialunterschiede in der Welle.

Ein so geschützter Motor verlagert das Problem der Wellenströme auf den angebauten Hohlwellen-Digitaltacho (Bild 2), sofern nicht entsprechende Vorkehrungen getroffen werden. Auf den ersten Blick sieht es so aus, daß es ausreichend sein müßte, wenn lediglich die Drehmomentstütze, die den Geber am Mitdrehen hindert und die mit dem geerdeten Motorgehäuse verbunden ist, isoliert aufgebaut wird. Die Wellenströme sollten dann nicht über die Lager des Gebers und dessen Gehäuse nach Erde und dann zum Motorgehäuse fließen können. Das Gebergehäuse ist jedoch nach den VDE-Vorschriften zu erden. Außerdem ist damit zu rechnen, daß die Schirmung des Signalkabels an Erde liegt. Eine isolierte Drehmomentstütze reicht somit als Problemlösung nicht aus. Um einen Stromfluß über die Lager des Gebers zuverlässig zu unterbinden, müssen auch im Geber die Lager isoliert eingebaut sein. Die Hohlwellen-Digitaltachos des Typs HOG 10 von Hübner (**Bild 3**) werden deshalb in der neuesten Version mit dieser Technik ausgestattet. Die Drehmomentstütze kann deshalb – wie bisher – ganz aus Metall bestehen.

Bei den im Maschinen- und Anlagenbau weit verbreiteten Digitaltachos mit Euroflansch B 10 und Welle 11 mm oder auch bei den DC-Tachos mit den gleichen Anbaumaßen läßt sich die elektrische Verbindung zwischen der Motor- und der Tachowelle auf einfache Weise mit einer Kupplung auftrennen, die teilweise aus isolierenden Materialien aufgebaut ist. Die Federscheibenkupplung K 35 von Hübner ist deshalb auf der Seite, an die der digitale oder analoge Tacho angebaut wird, mit einem hochtemperaturfesten, mechanisch robusten Kunststoff lieferbar.



5: HOG 10 an den Antrieben einer Papiermaschine