



Quelle: aicandy – stock.adobe.com

Wenn die Maschine zu laut wird

Bestimmen von Geräuschquellen in elektrischen Maschinen

Die Geräuschquelle in einem Elektromotor zu bestimmen ist oft schwieriger als sie zu korrigieren. Ein methodischer Ermittlungsansatz kann jedoch die Möglichkeiten eingrenzen und die Lösung des Problems erleichtern – mit einer Einschränkung.

Diese Einschränkung bezieht sich auf die Motorkonstruktion. Ist das Geräusch auf sie zurückzuführen (z. B. einen Herstellungsfehler oder eine Anomalie), kann eine Lösung praktisch unmöglich sein. Lassen Sie uns vor diesem Hintergrund die primären Geräuschquellen von Elektromotoren überprüfen, seien es magnetische, mechanische oder durch Luftströmungen verursachte. Des Weiteren finden Sie Möglichkeiten, diese Geräuschquellen zu reduzieren oder zu beseitigen.

Magnetisches Rauschen

Magnetisches Rauschen in einem Motor (auch bekannt als »elektromagnetisches« oder »elektrisches« Rauschen) entsteht durch mechanische Kräfte (z. B. Druck), die durch die Anziehung und Abstoßung magnetisierter Teile in seinem magnetischen Wechsel-

feld erzeugt werden. Das magnetische Wechselfeld regt Vibrationen und Geräusche mit doppelter Netzfrequenz (z. B. Brummen) an, jedoch nur, wenn der Motor unter Spannung steht. Hier ein einfacher Tipp: Wenn das Geräusch sofort aufhört, wenn die Stromversorgung unterbrochen wird, ist seine Quelle magnetisch.

Magnetisches Rauschen ist in der Regel die zweitgrößte Geräuschquelle für 2- und 4-polige Motoren (Luftströmungsgeräusche kommen an erster Stelle) und kann bei Motoren mit sechs oder mehr Polen die Hauptquelle sein. Dies liegt in erster Linie daran, dass langsam laufende Kerne einen geringeren Jochquerschnitt aufweisen als höher laufende Kerne mit weniger Polen (Bild 1), was sie anfälliger für Verformungen macht und zu größeren Amplitudenschwingungen durch kleinere Kräfte führt. Motoren mit langsame-

rer Drehzahl und sechs oder mehr Polen sind aufgrund kleinerer Luftspalte und der Auswirkungen der Exzentrizität von Lager- und Gehäusepassungen außerhalb der Toleranz anfällig für höhere Geräuschpegel.

Ist das magnetische Rauschen die Hauptquelle des Geräuschs, nimmt das Gesamtgeräusch des Motors tendenziell zu, je höher die Last ist (Tabelle 1). Normalerweise ist der Unterschied im Gesamtgeräuschpegel bei Leerlauf und Vollast bei 2- und 4-poligen Motoren gering, kann aber bei Motoren mit sechs oder mehr Polen erheblich sein.

Motorkonstrukteure halten magnetische Geräusche derart in Schach, indem sie den Luftspalt größtmöglich ansetzen (unter Beibehaltung eines akzeptablen Leistungsfaktors). Sie können auch die magnetischen Kräfte reduzieren, die sich aus Luftspaltschwankungen ergeben und im Allgemeinen

Tabelle 1: Schallleistungspegel in dB bei Nennlast im Vergleich zum Leerlauf

Nennleistung P_N in kW	8-polig	6-polig	4-polig	2-polig
$1,0 < P_N \leq 11$	8	7	5	2
$11 < P_N \leq 37$	7	6	4	2
$37 < P_N \leq 110$	6	5	3	2
$110 < P_N \leq 400$	5	4	3	2
$400 < P_N \leq 2200$	4	3	2	2
$2200 < P_N$	4	3	2	1

Hinweis 1: Schallleistungspegel in dB bei Nennlast im Vergleich zum Leerlauf für TEFC-Motoren nach IEC 60034-9.
 Hinweis 2: Diese Tabelle gibt den maximal zu erwartenden Anstieg bei Nennlast an, der zu jedem angegebenen Leerlaufwert hinzuzurechnen ist.
 Hinweis 3: Die Werte gelten sowohl für 50-Hz- als auch für 60-Hz-Netze.

den Leistungsfaktor verbessern, indem sie einen längeren Kern verwenden, um die Luftspalt-Flussdichte zu verringern.

Eine weitere Überlegung ist, dass geschlossene Streustege niemals zu einer Zunahme des magnetischen Rauschens führen, was erklärt, warum Konstrukteure Rotoren mit geschlossenen Streustege bevorzugen. Sie bevorzugen auch halbgeschlossene Streustege mit minimalen Öffnungen für zufällig gewickelte Statornuten, obwohl breitere Streuöffnungen das Einsetzen der Wicklungen erleichtern würden.

Weitere Ursachen für Motorgeräusche

Nachfolgend gebe ich Ihnen noch einige weitere Gründe für Motorgeräusche an, die teilweise auch mit dem magnetischen Rauschen in Verbindung gebracht werden können:

Schlupfgeräusch: Eine verwandte Form des magnetischen Rauschens ist das Schlupfgeräusch. Diese relativ leisen, niederfrequenten Schwebungen von höherfrequenten Komponenten sind zu beanstanden, da sie intermittierend (zeitweilig aussetzend) sind. Da sie eine Funktion des Schlupfes sind, machen sich die Geräusche unter Last stärker bemerkbar, wobei die Frequenz direkt mit dem Schlupf variiert. Gründe dafür können eine offene Rotorstange oder ein offener Endring sein, jedoch sind Schlupfgeräusche in der Regel mit einem Defekt in der Gleichförmigkeit des Käfigläufers verbunden. Eine Abhilfe ist in diesem Fall meist ein neuer Rotor.

Nuttschrägung: Die Schrägung der Stator- oder Rotornuten (typisch für einen Motor) reduziert das magnetische Rauschen, aber es gibt keinen Konsens über die optimale Menge oder auch nur eine genaue Methode, um die Auswirkungen auf das erzeugte Geräusch zu berechnen. Ein häufiger Vorschlag ist, den Rotor, um mindestens einen Rotor- oder Statorschlitz zu neigen (je nachdem, was weniger Schlitz hat). Alles andere wird das magnetische Rauschen nicht nennenswert reduzieren, und größere Schräglagen verschlechtern normalerweise die Motorleistung.

Ungleicher Luftspalt: Ein ungleichmäßiger Luftspalt bewirkt eine unausgeglichene magnetische Anziehungskraft mit stärkeren Magnetkräften in Richtung des minimalen Luftspalts (Bild 2). Dies kann den Stator, den Rotor und den Rahmen verformen und gleichzeitig elektromagnetisches Rauschen erzeugen. Der Betrieb des Motors mit reduzierter Spannung ist ein einfaches Diagnosewerkzeug. Wenn der Motor beispielsweise bei voller Spannung laut ist, aber bei der Hälfte der Nennspannung gut klingt, konzentrieren Sie sich auf den Luftspalt und Ursachen wie ein falsch bearbeitetes Gehäuse oder ein exzentrischer Rotor.

Ursachen für einen ungleichen Luftspalt sind:

- Exzentrischer Rotor und/oder Stator

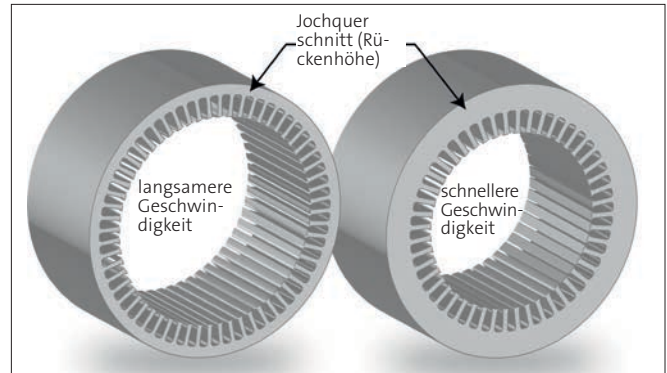


Bild 1: Vergleich des Jochquerschnitts in 2-poligen und 6-poligen Statorkernen

- eine gebogene Welle
- Wellenzapfen aus Rundlauf mit Rotorkörper gefräst
- Lagergehäuse (oder Gleitlager) nicht konzentrisch
- Endhalterung zum Stator passt nicht konzentrisch
- ein verzerrter Rahmen.

Fertigungsvariationen beeinflussen das magnetische Rauschen von Motoren mit langsamerer Drehzahl stärker als bei 2-poligen Motoren. Das liegt daran, dass Motoren mit vier oder mehr Polen einen viel kleineren Luftspalt haben als 2-polige Motoren, was die Fehlerspanne kleiner macht. Beispielsweise könnte der Luftspalt für einen 6-poligen Motor, der einen Stator mit einem Außendurchmesser von 22" (560mm) besitzt auch 0,022" (0,55mm) betragen, während der eines

PARTZSCH

SAVE THE DATE

6. PARTZSCH PRAXISTAG

12 · 10 · 2023

Jetzt anmelden!
Die Teilnehmeranzahl ist begrenzt!

www.partzsch.de



2-poligen Motors mit gleichen Stator-Abmessungen 0,055" (1,4 mm) betragen könnte.

Mechanische Geräusche

Zu den Quellen mechanischer Geräusche in einem Motor gehören ein loser Stator Kern, verschlissene, beschädigte oder schlecht geschmierte Lager und Reibung an internen Komponenten. Darüber hinaus kann jeder strukturelle Teil des Motors, der mit seiner Eigenfrequenz angeregt wird, zur Quelle von Luftschall werden.

Quelle: beide Bilder T. Bishop, EASA

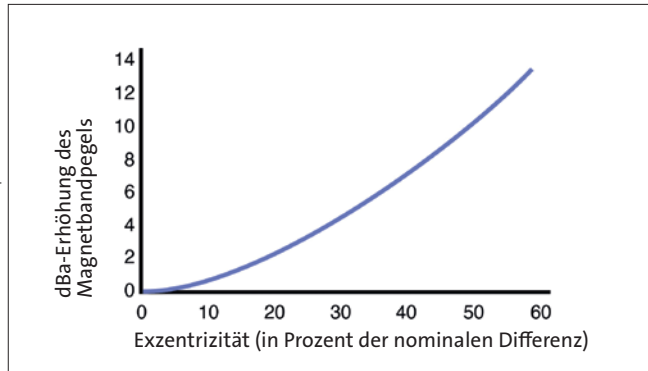


Bild 2: Prozentuale Exzentrizität des Luftspalts im Vergleich zum Anstieg des Geräuschpegels (dB)

Loser Stator Kern

Ein Stator Kern, der lose im Rahmen steckt, verursacht ein summendes Geräusch. Bei Motoren mit gewalztem Stahlrahmen ist dies leicht zu überprüfen, indem Sie bei laufendem Motor mit einem Hammer auf die Außenseite des Rahmens (Gehäuse) klopfen. Wenn das Klopfen die Passung von Rahmen zu Kern verformt, ändert sich der Geräuschpegel oder hört sogar auf. Streng genommen ist die Quelle dieses Geräusches magnetisch, so dass das Geräusch auch aufhört, wenn die Stromversorgung unterbrochen wird.

Geräusche durch Lager

Lager sind eine häufige Quelle für mechanische Geräusche in Motoren. Exzessiv laute Lager können z. B. auf ungleichmäßige Kugeln oder Rollen, klappernde Kugel- oder Rollhalter, schlechte Oberflächenbeschaffenheit oder Exzentrizität zurückzuführen sein. Neben Trittschall können diese Bedingungen zu Resonanzanregungen von Lagergehäusen, Luftleitblechen (Leitblechen) und anderen Teilen führen, die Geräusche effizient abstrahlen.

Einige Quellen von Lagergeräuschen sind unterschiedlich und leicht zu identifizieren. Zum Beispiel:

- Standriefen erzeugen ein tiefes Geräusch
- Schmutz in den Lagern verursacht ein schrilles Geräusch
- das Schleudern von Kugeln oder Walzen bei niedrigen Temperaturen mit unzureichender Schmierung erzeugt ein hochfrequentes Geräusch
- ein intermittierendes Knallgeräusch ist oft auf das Fett zurückzuführen
- Geräusche im Frequenzbereich von 100 Hz bis 300 Hz sind charakteristisch für Wälzlager und können auf den Durchgang der Kugeln oder Rollen zurückzuführen sein. In der Regel hat das Rauschen eine geringe Amplitude und ist nicht physikalisch schädlich, es sei denn, es regt die Eigenfre-

quenzen anderer Motorteile an und verursacht schädliche Vibrationen.

Eine Möglichkeit, Lagergeräusche zu reduzieren und zu dämpfen, besteht darin, die Lager axial mit einer Wellenscheibe vorzuspannen. In der Regel übt die Unterlegscheibe eine Kraft auf den Außenring eines axial freien Kugellagers (typischerweise das Nichtantriebsende) aus, um das Innenspiel zwischen ihm und dem gesperrten Lager zu beseitigen. Dies führt dazu, dass jede Kugel in jedem Lager der gleichen Laufbahn folgt, wodurch die Geräusche von Kugeln, die in der Laufbahn und im Käfig klappern, verringert und gleichzeitig hochfrequente Vibrationen reduziert werden. Die Lagervorspannung verbessert auch die dynamische Balance, indem sie Lagerlockerungen eliminiert. Eine hohe Lagervorspannung erzeugt jedoch niederfrequente Geräusche und kann die Lager möglicherweise überhitzen.

Reibungsgeräusche in einem Lager entstehen durch unzureichende Schmierung, die einen schnellen intermittierenden Kontakt zwischen zwei Gleitflächen ermöglicht, der hohe Schlagschwingungen erzeugt. Das Geräusch an der Kontaktstelle ist hochfrequent und klingt wie zischende Luft. Bei der

Übertragung auf einen resonanten Teil im Inneren des Motors erzeugt die Stoßvibration kreischende Geräusche.

Reibung bei internen Bauteilen

Neben verschlissenen oder beschädigten Lagern sind weitere Quellen mechanischer Geräusche innerhalb des Motors die physische Reibung des externen Lüfters und der Abdeckung, des internen Lüfters und des Luftabweisers sowie des Rotors und des Stators. Um diese Probleme zu beheben, müssen die Lüfter richtig platziert und die Rotor-Stator-Konzentrizität auf die korrekte Toleranz gebracht werden.

Luftschall

Wie bereits erwähnt, kann ein neues Strukturteil eines Motors zu einer Quelle von Luftschall werden, wenn er mit ausreichender Energie bei seiner Eigenfrequenz angeregt wird. Zum Beispiel kann die Rotationsunwucht selbst keine hörbaren Luftgeräusche abgeben, aber sie kann als Energiequelle für Vibrationen dienen. Die Schwingung wird dann durch die Tragkonstruktion übertragen und am Resonanzbauteil in Luftschallwellen umgewandelt, wodurch der schwingende Teil als Geräuschquelle erscheint.

Über die EASA

Die EASA (Electrical Apparatus Service Association) wurde 1933 in den USA gegründet und vertritt mittlerweile mehr als 1900 Unternehmen in 62 Ländern. Die Organisation ist führend bei Verkauf, Instandhaltung und Reparaturen elektrischer und mechanischer Maschinen. Sie versorgt Mitglieder weltweit mit Marktinformationen und Bildungsangeboten und hilft ihnen so dabei, sich als Anbieter von Gesamtlösungen für elektrische und mechanische Betriebsmittel und Systeme zu etablieren.

Die EASA beschäftigt eigene Ingenieure, die den Mitgliedsunternehmen bei spezifischen Problemen technischen Support bieten. Sie geben z. B. Auskunft über aktu-

elle Industriestandards, so etwa zur Herstellung von Elektrolechen und Drähten sowie für die Prüfung von Maschinen. Bei der Wartung und Instandsetzung von elektrischen Maschinen, wo es keinen einheitlichen Standard gibt, liefert die EASA zusammengetragene Erfahrungen. Die Organisation verfügt über umfassende Dokumentationen und Datenbanken, Aufzeichnungen von Wickeldaten, Betriebsdaten von Maschinen und Getrieben, Hinweise zu Lagerschmierstoffen, Herstellerkontakte sowie Typenverzeichnisse. Darüber hinaus veranstaltet die Organisation Lehrgänge, Schulungen und Webinare zum Beispiel zum Thema Explosionsschutz (Quelle: www.menzel-motors.com/de/verbaende).

Wenn ein Luftleitblech, eine Tropfabdeckung oder ein ähnliches Bauteil vibriert, kann die Anwendung von schalldämpfendem Material häufig die Vibrationsbewegung unter Verwendung der inneren Reibung des Materials in Wärmeenergie umwandeln. Ein Beispiel hierfür wäre die Verwendung von bei Raumtemperatur vulkanisierendem RTV-Silikon zwischen einem Luftleitblech und einer Endhalterung, um Geräusche zu reduzieren.

Poröse, schallabsorbierende Materialien können auch die Emissionen von Luftschall reduzieren, die im Motor entstehen, indem sie die Energie von Schallwellen, die in ihre Poren eindringen, in Wärmeenergie umwandeln. Die Absorptionsfähigkeit dieser Materialien nimmt mit ihrer Dichte, Dicke und Dichtheit bzw. Porenstruktur zu. Wenn möglich, sollte die Barriere die Quelle vollständig umschließen. Ein potenzieller Nachteil von schallabsorbierendem Material besteht darin, dass es den Luftstrom oder die Wärmeübertragung einschränken und somit die Motortemperatur erhöhen kann.

Seitenlärm durch Luftströmungen

Seitenlärm, der in der Regel den größten Teil des Geräusches eines Elektromotors ausmacht, tritt am häufigsten bei Hochgeschwindigkeitsmotoren (z. B. 2- und 4-polig) auf. Da es durch turbulente Luftströmungen an Hindernissen in der Nähe des rotierenden Teils verursacht wird, die Luft bewegen, besteht der beste Weg, dies zu reduzieren, darin, die Hindernisse zu minimieren. Seitenlärm unterscheidet sich von den meisten Motorgeräuschquellen da-

durch, dass es im Fahrtwind und nicht in den Motoranteilen entsteht. In der Regel handelt es sich um breitbandiges Rauschen (großer Frequenzbereich) ohne nennenswerte Reintonanteile (sinusförmige Wellenform).

Der größte Teil des Seitenlärms größerer Motoren mit offenem Gehäuse stammt von der Lüfterwirkung der Rotorstäbe, nicht von den Kühlgebläsen oder Lamellen. Aus diesem Grund wird eine Verkleinerung des Lüfterdurchmessers wahrscheinlich nicht zu einer großen Geräuschreduzierung führen, aber sie könnte den Kühlluftstrom erheblich reduzieren.

Große offene Motoren mit radialen Entlüftungskanälen durch den Rotor und den Stator können irritierende Reintonkomponenten des Luftstromgeräusches erzeugen, typischerweise bei einer Frequenz über 1000 Hz. Dieses Geräusch, das oft als Sireneffekt bezeichnet wird, ist auf plötzliche Unterbrechungen des Luftstroms zurückzuführen, der die radialen Kanäle des Rotors verlässt. Das Versetzen der Rotorkanäle in Bezug auf die Statorkanäle kann dazu beitragen, die Lautstärke dieses Geräusches zu verringern.

Bei vollständig gekapselten, lüftergekühlten (TEFC) Motoren ist die Verringerung des externen Lüfterdurchmessers oder die Änderung des Lüfertyps eine gute Möglichkeit, die Geräuschentwicklung zu reduzieren, insbesondere bei unidirektionalen Anwendungen. Durch die Verkleinerung eines Lüfter- oder Entlüftungswegs läuft der Motor jedoch heißer, was die Lebensdauer des Schmiermittels und der Wicklung verkürzt. Eine Vergrößerung des Abstands zwischen dem Lüfter

und den stationären Teilen oder ein symmetrischer Abstand der Lüfterblätter kann auch das Lüfterblattfrequenzgeräusch eines TEFC-Motors reduzieren.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass Luft, die um oder gegen Oberflächen strömt, Turbulenzen erzeugt und eine potenzielle Quelle für störendes Rauschen ist. Aus Sicht des Luftstromdesigns sind hier einige Überlegungen, die Hersteller aufbringen, um Probleme mit Windgeräuschen zu vermeiden:

- beseitigen Sie scharfe Kanten und Grate an allen Teilen, die mit dem Luftstrom in Berührung kommen
- minimieren Sie abrupte Änderungen der Luftstromrichtung
- halten Sie die Begrenzungsflächen glatt
- sorgen Sie für allmähliche Änderungen des Querschnitts des Luftstrompfads. ●

FÜR SCHNELLESER

Motorengeräusche zu analysieren oder deren Herkunft eindeutig zu bestimmen ist kein leichtes Unterfangen und häufig schwieriger als die Beseitigung

Der Beitrag gibt Anwendern eine Hilfestellung bei der Analyse und zeigt dabei verschiedene Ursachen von Geräuschen auf – beginnend bei magnetischem Rauschen bis hin zu Lärm durch Luftströmungen



Autor:

Tom Bishop,
Spezialist für technische
Unterstützung bei der EASA

Garantiert zuverlässig,
langlebig und sicher.

Tränkharze
Vergussharze
Überzugslacke
Flexible Isoliermaterialien

Polyester (-imid)
Epoxid

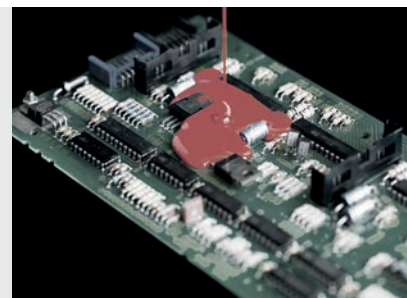
Polybutadien

Alkyd

Polyurethan

Abgestimmte und nachhaltige
Lösungen durch jahrzehntelange
Erfahrung und der richtigen Chemie

Prüfdienstleistungen
Beratung
Entwicklung



Umweltfreundliche
Isolierungssysteme

KONTAKT:

✉ dolphs@vonroll.com

☎ +33 (0)478 04 59 95

🌐 www.dolphs.com

