

Pendeldrehmoment und Rastmoment in Elektromotoren

Agenda

1. Was ist das Pendelmoment
2. Warum wir das Pendelmoment betrachten
3. Messgeräte zur Beurteilung des Pendelmoments

Was ist das Pendelmoment

Was ist das Pendelmoment
Was ist die Drehmoment-

Was ist das Pendelmoment
Was ist die Drehmoment-
• Welligkeit

Was ist das Pendelmoment

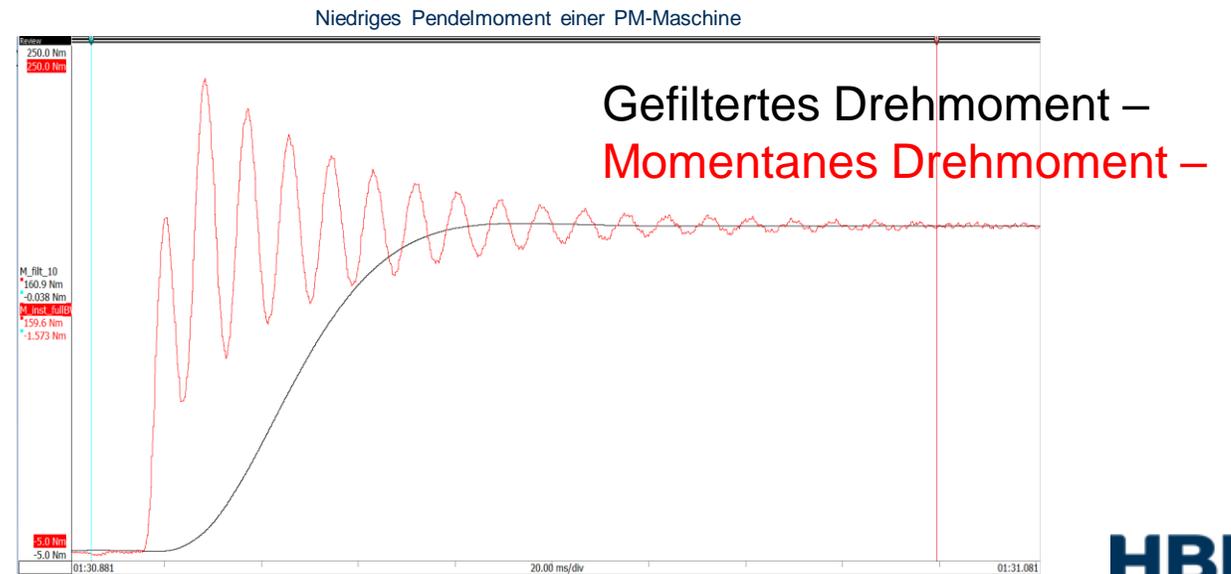
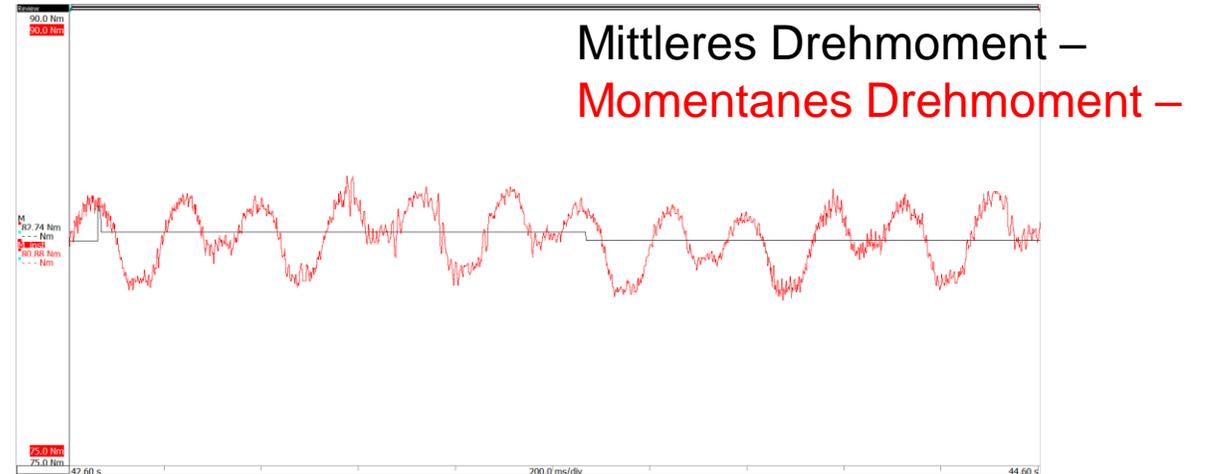
Was ist die Drehmoment-

- **Welligkeit**
- **Schwingung**

Was sind Torque-Ripple

Das Pendelmoment ist → eine periodische Störung des Drehmoments

- Drehmoment ist nicht statisch
- Drehmoment weist Welligkeit durch Anregung und Konstruktion auf
- Viele Prüfstände zeigen ein stark gefiltertes Drehmoment
- Das Pendelmoment hat eine Frequenz und eine Amplitude



Transiente Drehmomentschwankungen und hohes Pendelmoment

Woher kommt das Pendelmoment?

Permanentmagnet

- Magnetinteraktion mit Stator-Schlitzen
 - Rastmoment
- Magnete können nicht ausgeschaltet werden

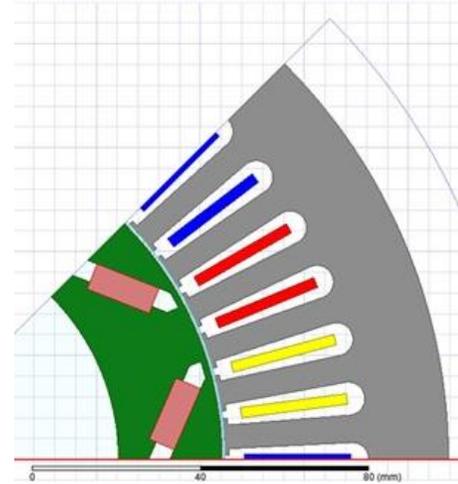
Geschaltete Reluktanz

- Impulsstrom
- Harte Drehmomentimpulse

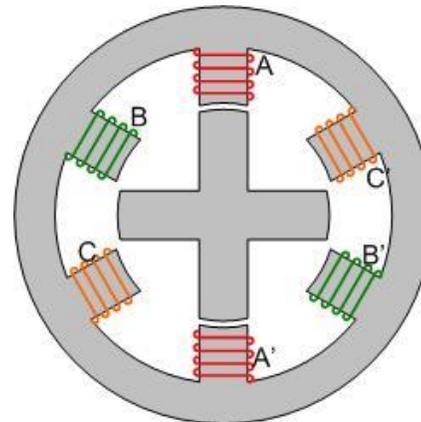
Induktionsmaschine

- Induziertes Feld auf Rotor
- Interaktion von Feld und Nuten

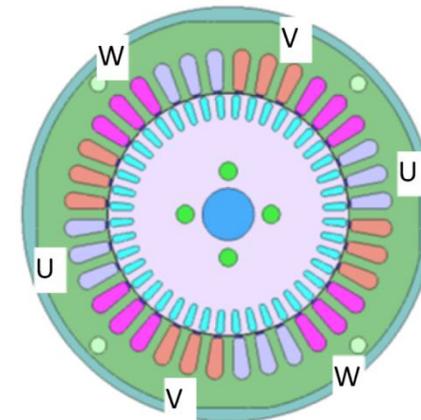
Permanentmagnet-Motoren



Geschaltete Reluktanz



Induktionsmaschine

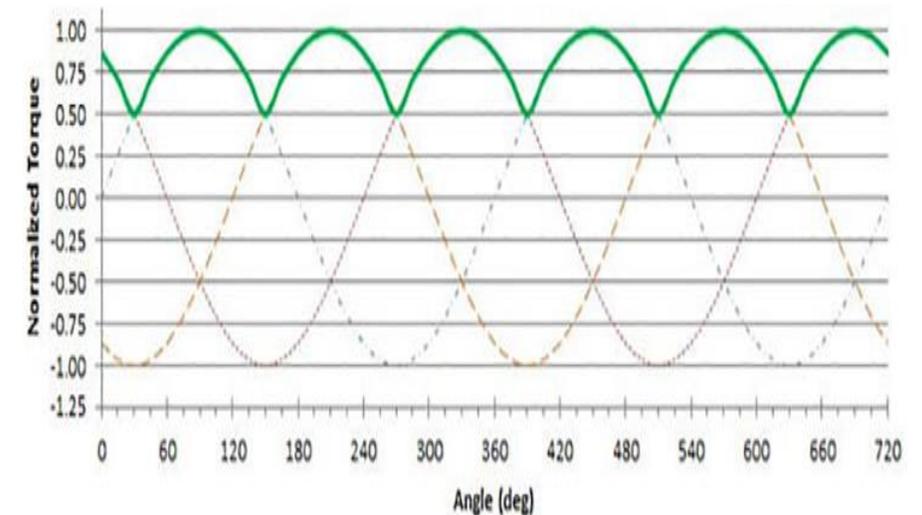
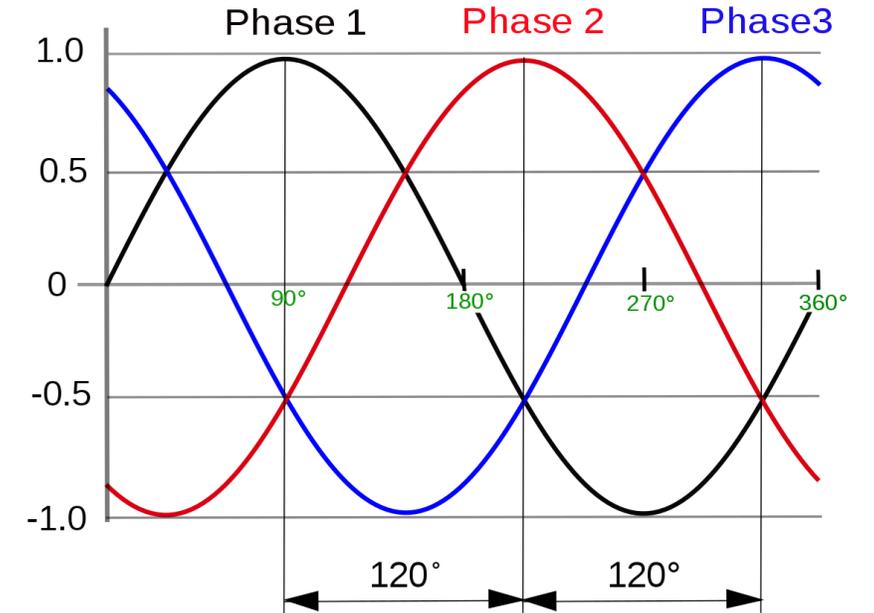


Verschiedene Maschinentypen haben unterschiedliche Arten von Pendelmoment

Woher kommt das Pendelmoment?

Wechselspannungs-Anregung

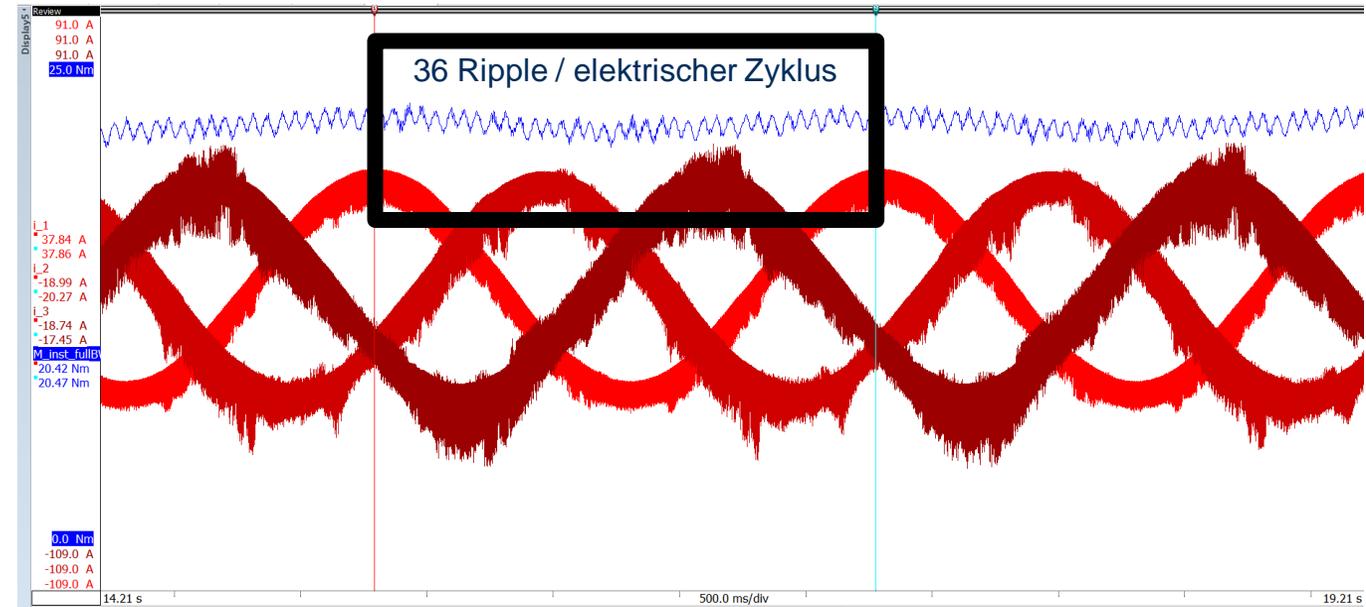
- Drehmoment folgt den Stromspitzen
- Beeinflusst durch die Wicklung der Maschine
- Reagiert auf Oberschwingungen im Strom
 - Steuerungstechnik
 - Schaltfrequenz
- Frequenz und Amplitude sind proportional zu Phasen und Drehzahl



Dreiphasige Anregung und daraus resultierende Drehmomentausgabe

Pendelmoment von PM-Motoren

- Prüfung bei niedriger Drehzahl
- Viele Ripple
 - Magnetinteraktion mit Stator-Schlitzen
 - Anregung
 - Steuerungstechnik
- Welligkeit ist eine Funktion der Konstruktion
- Welligkeit ist proportional zur Frequenz der Anregung



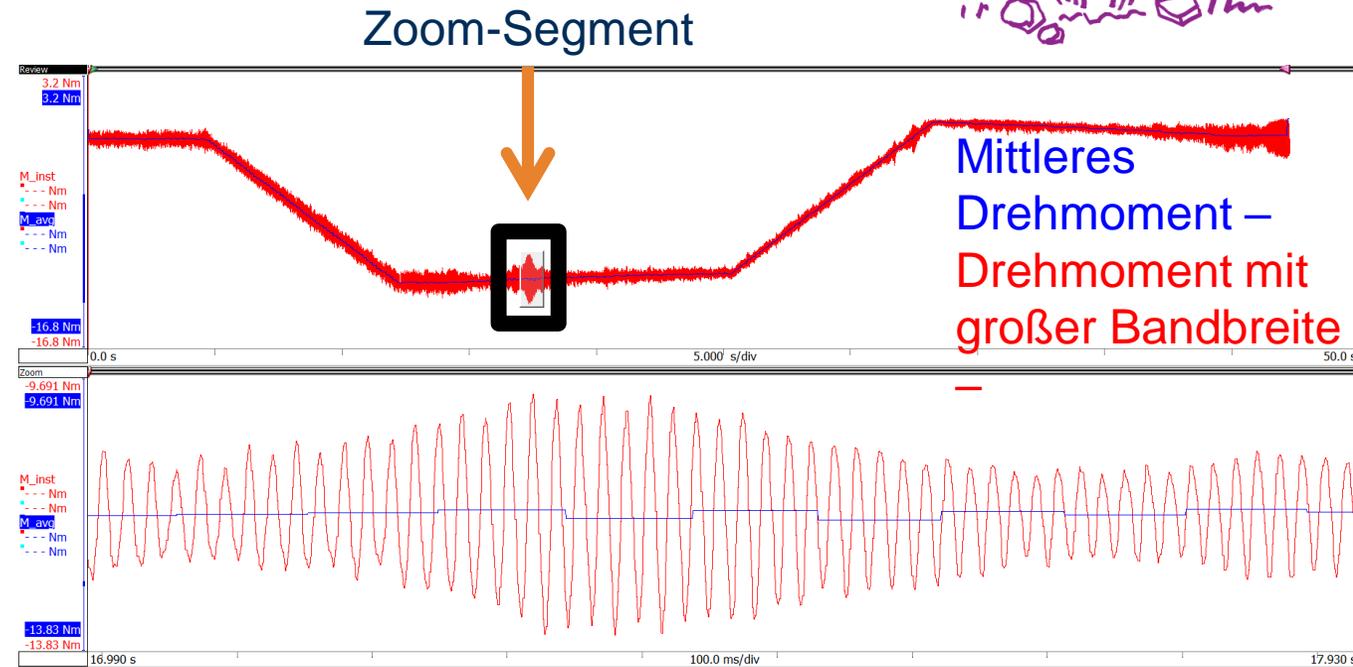
Dreiphasige Motoranregung in rot und daraus resultierendes Pendelmoment in blau

Warum wir das Pendelmoment betrachten

Schwingung, Störgeräusch und Materialermüdung



- Pendelmoment führt zu Schwingungen
 - Schaltwiederholungen (Prellen) in Getrieben
 - Bedenken hinsichtlich Lebensdauer und Betriebsfestigkeit
- Pendelmoment kann Strukturen anregen
 - Zu Störgeräuschen führen
 - Zu Resonanzschwingungen führen
- Die Frequenz der Welligkeit ist proportional zur Konstruktion und der elektrischen Frequenzen
 - Steuerungstechnik
 - Frequenz der Schaltvorgänge



Warum das Drehmoment so wichtig für Motoren ist

→ Wirkungsgrad

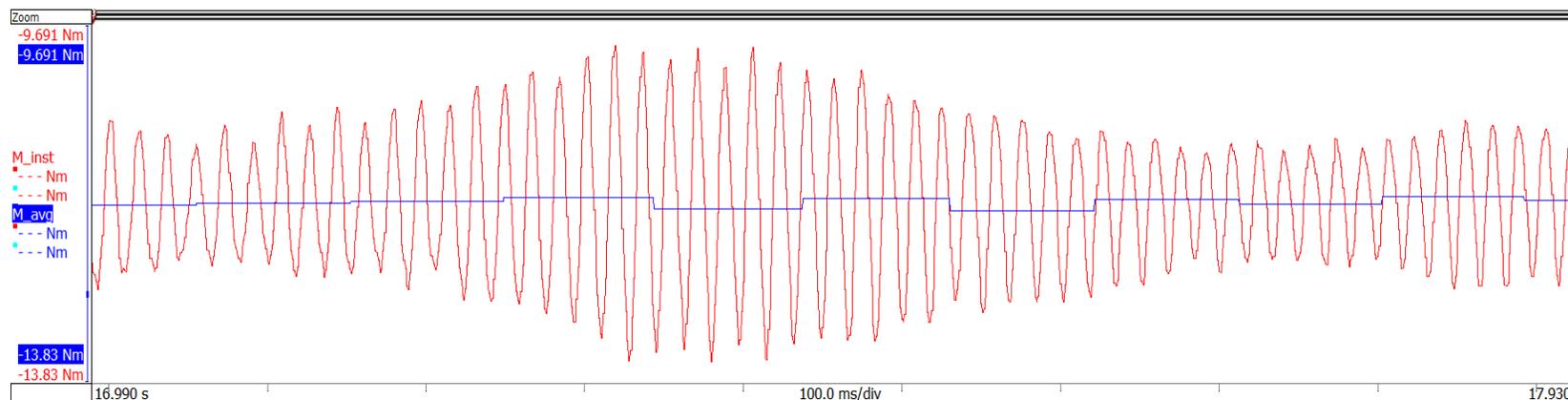
Verbrennungsmotor

- Motorwirkungsgrad 30-40 %
- Ein Fehler von 3 % in einem Motor ergibt 39 % statt 36 %
- Das glauben wir!

Elektromotor

- Motorwirkungsgrad 85-98 %
- Ein Fehler von 3 % in einem Motor ergibt 101 % statt 98 %
- Das ist unmöglich!

- Benötigt werden hochgenaue Drehmoment- und Drehzahlwerte, die im Durchschnitt **KLEINE** Ungenauigkeiten ergeben
- 80 kW @ 20.000 U/min → 2093 Rad/s x 38.22 Nm → 0,25 Nm Offset beträgt 500 W → 0,625 %



Anwendererfahrung

- Manchmal kann man das Pendelmoment spüren
 - Fahrzeug
- Manchmal möchte man das Pendelmoment spüren
 - Drehmomentkupplung Akkuschauber
- Schwingung kann sehr gefährlich sein
 - Schwingung an einem Flügel

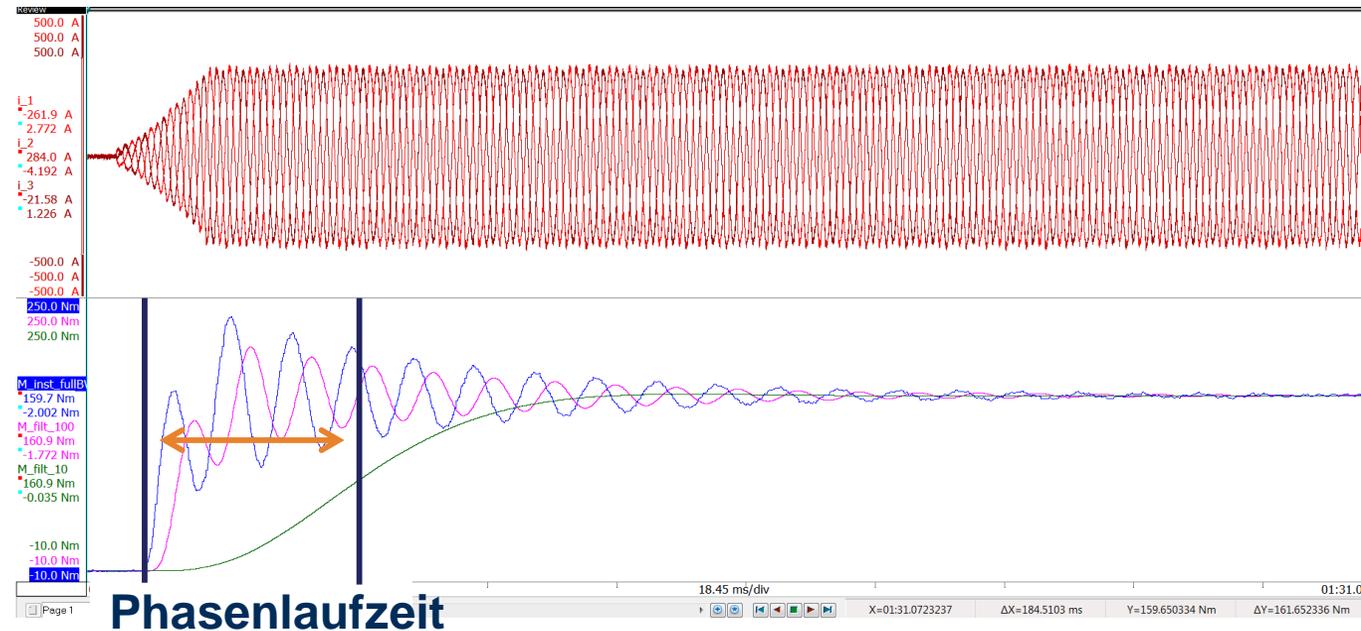


Messung des Pendelmoments

Genauigkeit, Bandbreite und zeitliche Synchronität

- Test mit Lastsprung
- Gefilterte Version verliert Amplitudeninformationen und weist Phasenversatz auf
- Für die Kalibriersteuerung ist ein zeitlicher Abgleich erforderlich
- Filter verändern die für den Wirkungsgrad verwendeten Daten
 - Führt zu sehr langsamen Tests
 - Führt zu falschen Daten

Drehmoment voller Bandbreite –
Drehmoment mit 100-Hz-Filter –
Drehmoment mit 10-Hz-Filter –



Oben – Dreiphasige Anregung für eine elektrische Maschine mit einer Laststufe
Unten – Zyklisches Drehmoment mit unterschiedlichen Filterraten

Erforderliche Ausstattung

- Drehmomentsensor mit Genauigkeit und Bandbreite zur Einhaltung der Anforderungen
- Störsichere Drehmomentkommunikation
 - Analoge Signale sind in einer PWM-Umgebung anfällig für Störeinflüsse
 - Drehmomentsensoren von HBM verwenden einen Frequenzausgang, der die Störanfälligkeit reduziert
- Erfassungssystem, das das Drehmoment mit einer für die Bandbreite ausreichenden Rate aufzeichnet
- Erfassungssystem, das mit anderen Signalen von Interesse kompatibel ist
 - Elektrische Signale
 - Schwingung



HBM

- eDrive Motor-Leistungsanalysator
 - Genauigkeit und dynamische Leistung
 - Erweiterbar
 - Rohdatenaufzeichnung
 - Hohe Abtastrate
 - Zeitlicher Abgleich mechanischer und elektrischer Messungen
- Erstklassige Drehmomentaufnehmer
 - Genauigkeit bis **0,02 %**
 - Bandbreite bis **6 kHz**
- **Kombination von eDrive und Drehmomentsensoren für die Analyse des Pendelmoments**
 - Drehmomentsensor mit hoher Genauigkeit zeigt kleine Änderungen des Drehmoments
 - Hohe Bandbreite zeigt Details zu hohen Frequenzen
 - Hohe Abtastrate und zeitliche Synchronität ermöglichen die Analyse der Zeit- und Frequenzdaten



Vielen Dank, für Ihre Aufmerksamkeit

Fragen?

Dann schreiben Sie uns an:

webinare@hbm.com

Website besuchen
zum Thema
„Electric Power
Testing“

