

Messen des Pendelmoments in elektrischen Maschinen

HBM eDrive Testing

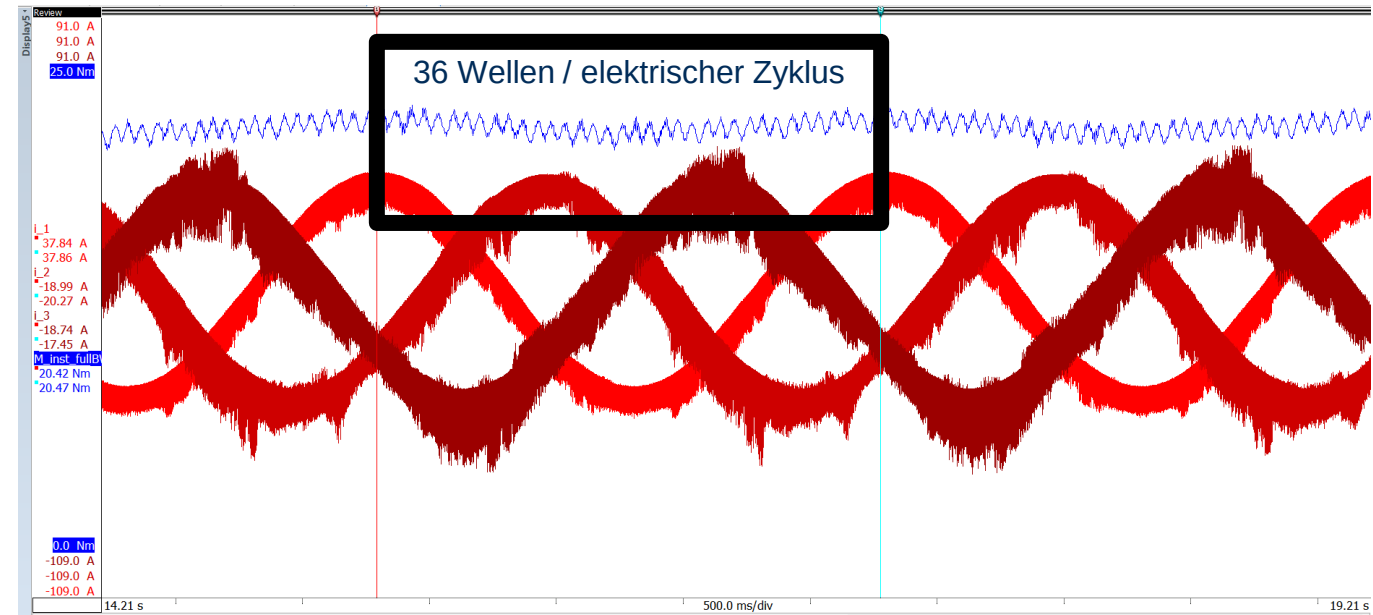
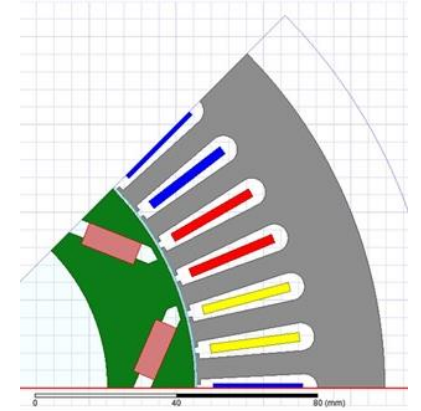
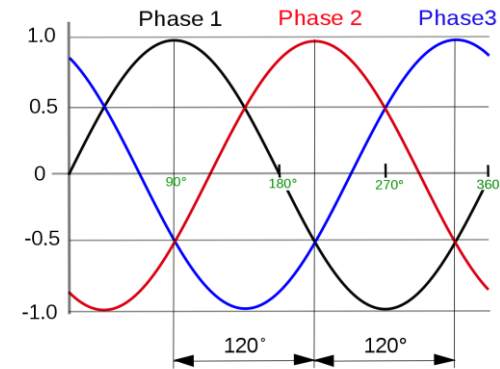
Agenda

1. Wiederholung des Pendelmoments
2. Überlegungen zur Messung des Pendelmoments
3. Beispiele für das Pendelmoment
4. Frequenzanalyse
5. Messung

Wiederholung des Pendelmoments

Pendelmoment von AC-Motoren

- Zyklische Störung des Drehmoments
- Durch Konstruktion verursacht
 - Magnete
 - Schlitz
- Verursacht durch Anregung
 - 3-phasige Anregung
 - Inverterumschaltung
- Frequenz der Welligkeit ist proportional zur Drehzahl



Dreiphasige Motoranregung in rot und daraus resultierendes Pendelmoment in blau

Warum das Pendelmoment eine Rolle spielt

- Anwendererfahrung
 - Manchmal kann man Pendelmoment spüren
 - Manchmal möchte man das Pendelmoment spüren
 - Schwingungen können sehr gefährlich sein
- Schwingungen, Störgeräusche und Materialermüdung
 - Pendelmoment führt zu Schwingungen
 - Verursacht Schaltwiederholungen (Prellen)
 - Pendelmoment kann Strukturen anregen



Messen des Pendelmoments

Erforderliche Ausstattung

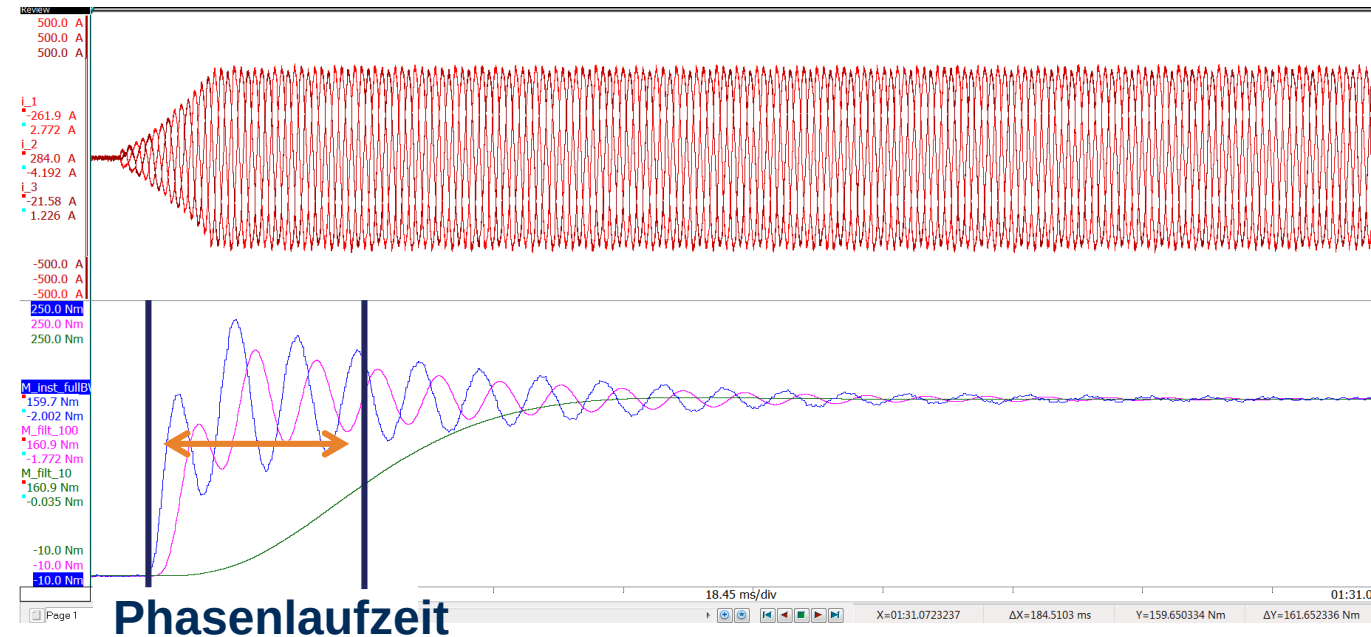
- Drehmomentsensor mit Genauigkeit und Bandbreite zur Einhaltung der Bandbreite
- Störsichere Drehmomentkommunikation
 - Analoge Signale sind in einer PWM-Umgebung anfällig für Störeinflüsse
 - Drehmomentsensoren von HBM verwenden einen Frequenzausgang, der die Störanfälligkeit reduziert
- Erfassungssystem,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



Genauigkeit, Bandbreite und zeitlicher Abgleich von Transienten

- Prüfmaschine bei 7500 U/min mit Laststufe von 0 bis 150 Nm
- Gefilterte Version verliert Amplitudeninformationen und weist Phasenlaufzeit auf
- Stark gefiltert weist große Phasenlaufzeit auf und verliert alle Amplituden-/Freq-Informationen
- Phasenlaufzeit kann von Filtern in Drehmomentsensoren herrühren
- Für die Kalibriersteuerung ist ein zeitlicher Abgleich erforderlich

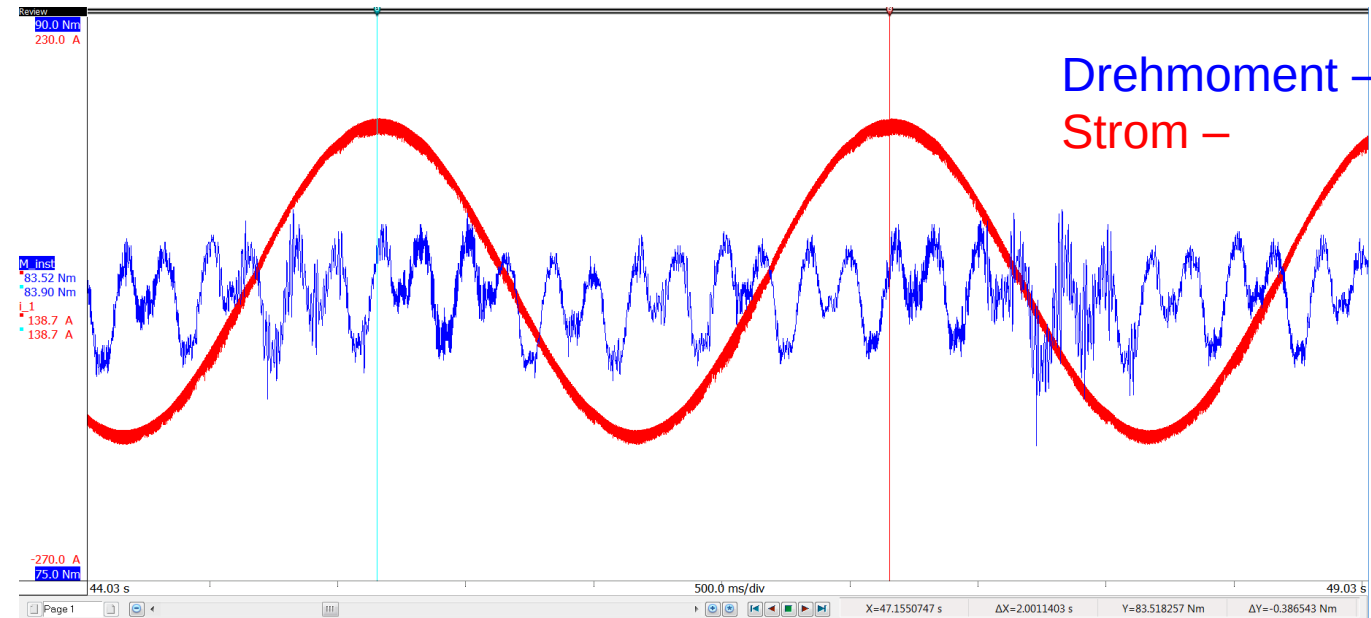
Drehmoment voller Bandbreite –
Drehmoment mit 100-Hz-Filter –
Drehmoment mit 10-Hz-Filter –



Beispiele für das Pendelmoment

Pendelmoment von PM-Motoren

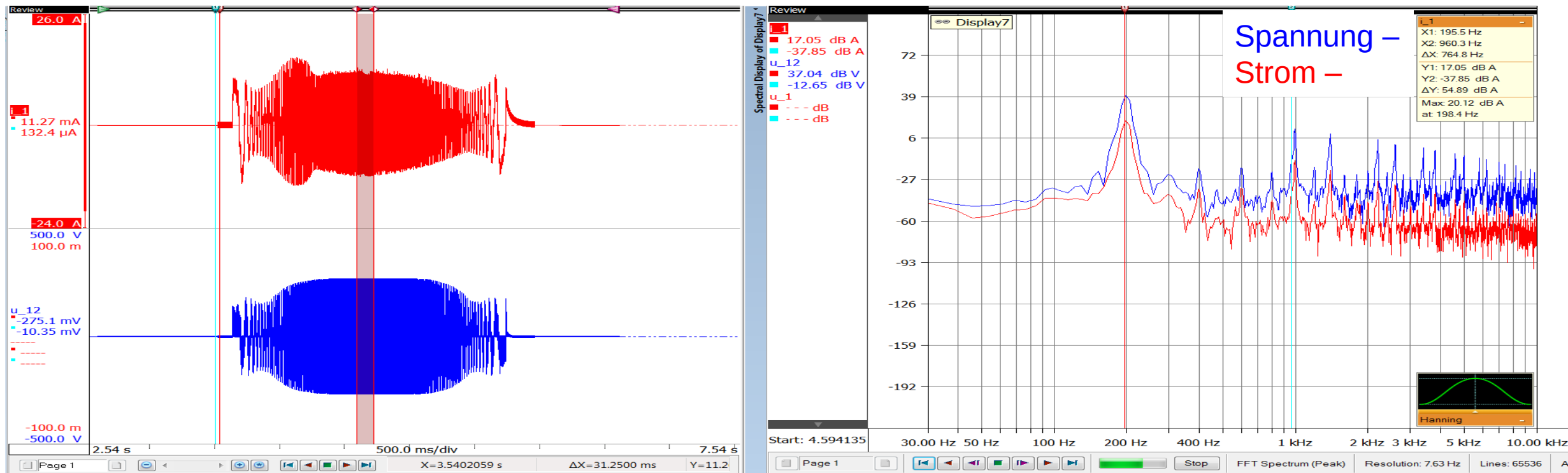
- Erfordert Genauigkeit und Bandbreite
 - Genauigkeit, um der Amplitude vertrauen zu können
 - Bandbreite, um den Frequenzgehalt anzuzeigen
- Charakterisierung von Magneten unter unterschiedlichen Belastungsbedingungen
- Rotorstruktur kann anhand der Drehmomentantwort identifiziert werden
 - V-förmige IPM
- Verstehen des Rastmoments und des Prozentsatzes des Pendelmoments



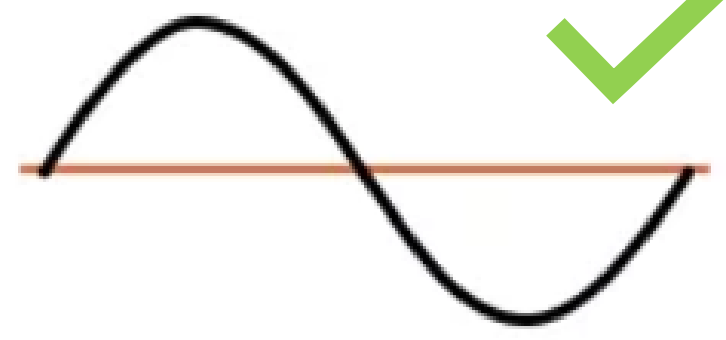
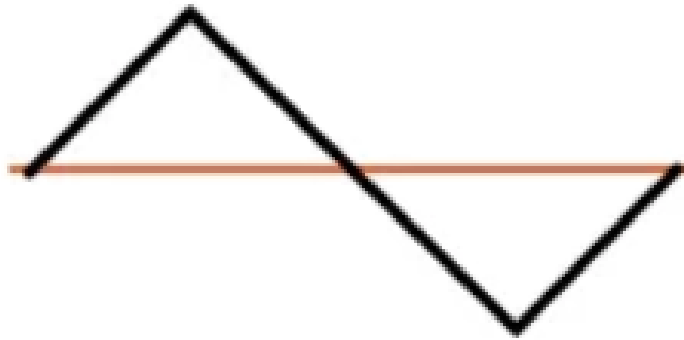
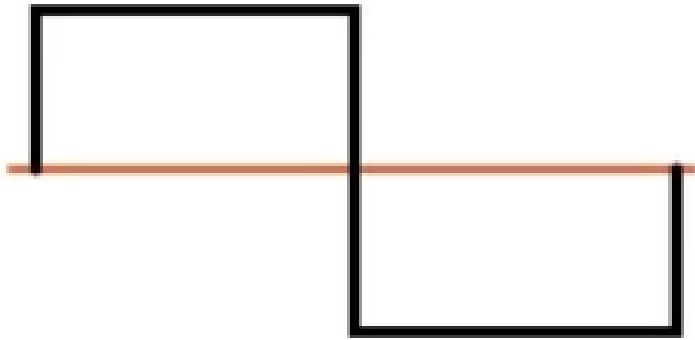
Stabiles Pendelmoment bei niedriger Drehzahl

Symmetrisch belastetes 3 Phasen System

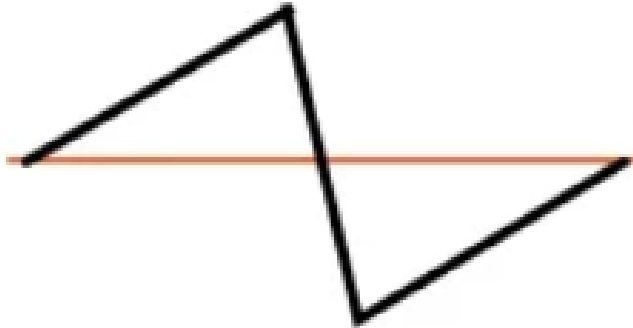
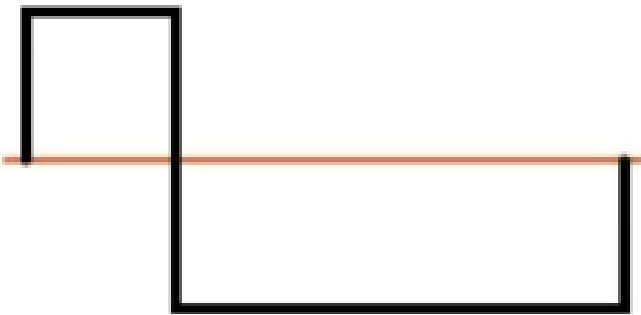
- kleine 2n und 3n Harmonische
- Erste Erkennbare ist die 5. Harmonische



Ausschluss der 2n Harmonischen

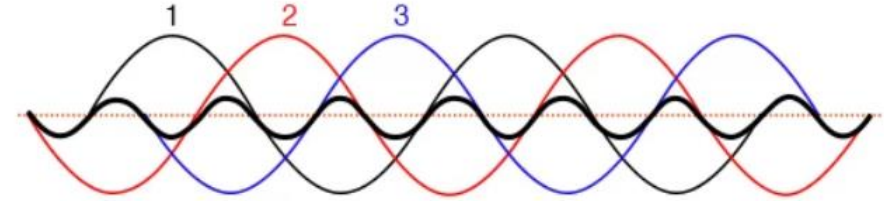


Falls jede Halbwelle symmetrisch über die Zeit ist und die Polarität der Halbwellen unterschiedlich ist verschwinden die 2n Harmonischen.



Ausschluss der 3n Harmonischen

- Symetrische Belastung erzeugt keine 3n Harmonischen
- Unsymetrische Belastung erzeugt 3n Harmonische die sich auf Grund der Phasengleichheit im Neutralleiter überlagern.
- Dies gilt für die 3, 6, 9, 12, ... Harmonische



Phase sequence = **A-B-C**

	A 0°	B 120°	C 240°
Fundamental			
	A' 3 x 0° (0°)	B' 3 x 120° (360° = 0°)	C' 3 x 240° (720° = 0°)
3rd harmonic			

Höhere Harmonische

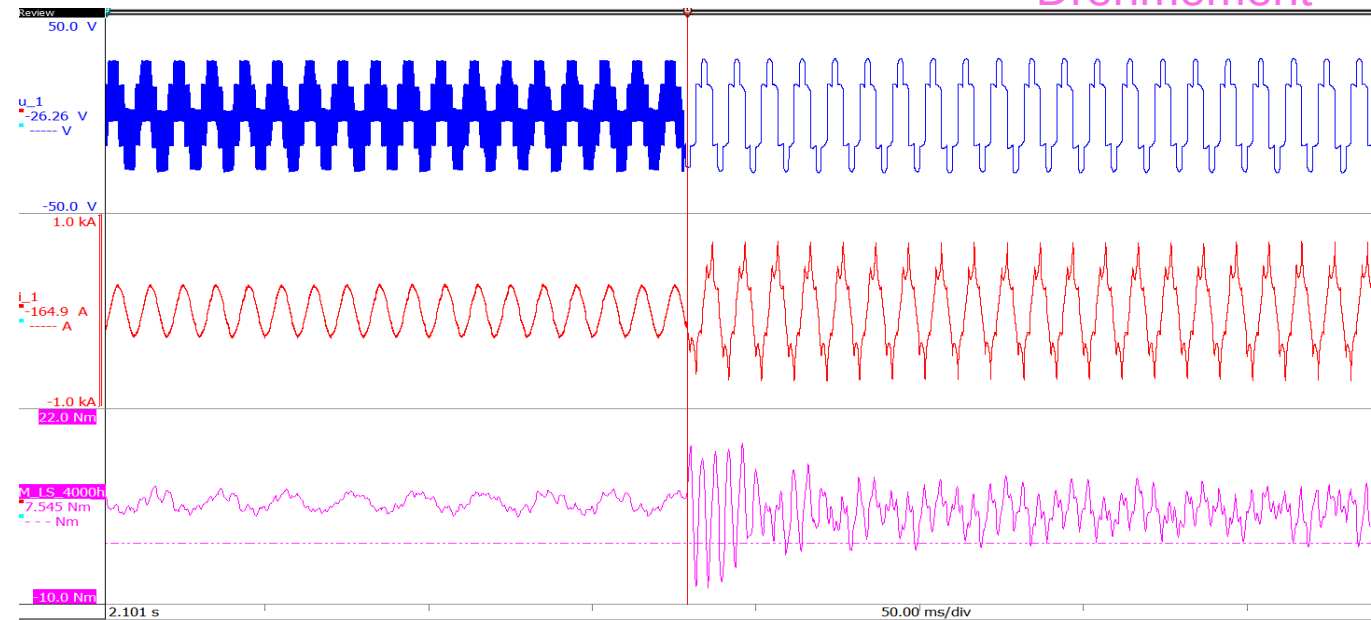
- $3n$ Harmonische erzeugen kein Drehmoment.
(3, 6, 9, ... Harmonische)
- Harmonische mit der Permutation ABC erzeugen positives Drehmoment.
(7, 13, 19, ... Harmonische)
- Harmonische mit der Permutation CBA erzeugen negatives Drehmoment.
(5, 11, 17, ... Harmonische)

Fundamental	A 0°	B 120°	C 240°	A-B-C
3rd harmonic	A' $3 \times 0^\circ$ (0°)	B' $3 \times 120^\circ$ ($360^\circ = 0^\circ$)	C' $3 \times 240^\circ$ ($720^\circ = 0^\circ$)	<i>no rotation</i>
5th harmonic	A'' $5 \times 0^\circ$ (0°)	B'' $5 \times 120^\circ$ ($600^\circ - 720^\circ = -120^\circ$)	C'' $5 \times 240^\circ$ ($1200^\circ - 1440^\circ = -240^\circ$)	C-B-A
7th harmonic	A''' $7 \times 0^\circ$ (0°)	B''' $7 \times 120^\circ$ ($840^\circ - 720^\circ = 120^\circ$)	C''' $7 \times 240^\circ$ ($1680^\circ - 1440^\circ = 240^\circ$)	A-B-C
9th harmonic	A'''' $9 \times 0^\circ$ (0°)	B'''' $9 \times 120^\circ$ ($1080^\circ = 0^\circ$)	C'''' $9 \times 240^\circ$ ($2160^\circ = 0^\circ$)	<i>no rotation</i>

Pendelmoment von PM-Motoren → Steuerungsänderung

- Steuerungsänderungen sind eine gute Gelegenheit, Drehmomenttransienten zu betrachten
- Wechsel von PWM zu 6-stufig (glatte Sinuswelle wird gezackt)
- Frequenz der Welligkeit steigt mit Steuerungsänderung
- Negative Drehmomentschwankungen
- Schaltfrequenz beeinflusst Frequenz des Pendelmoments

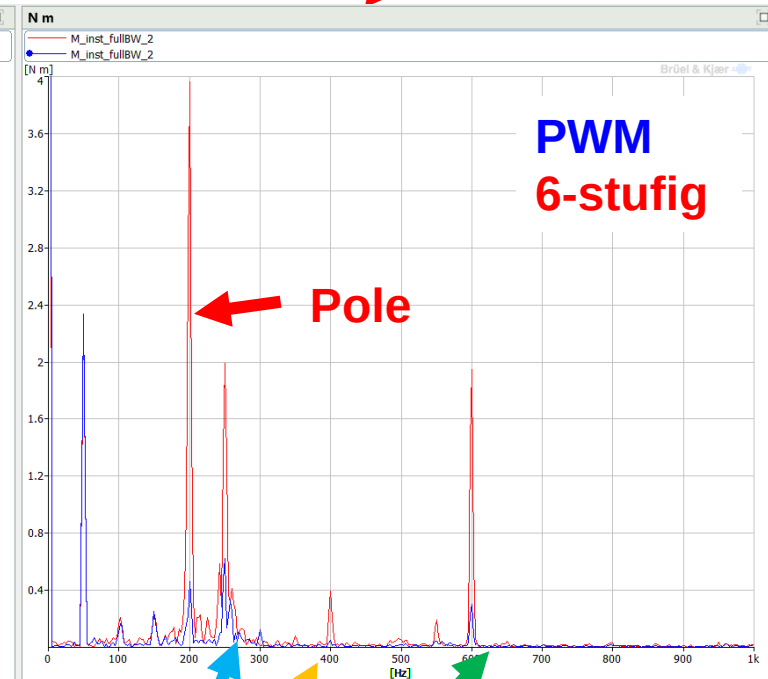
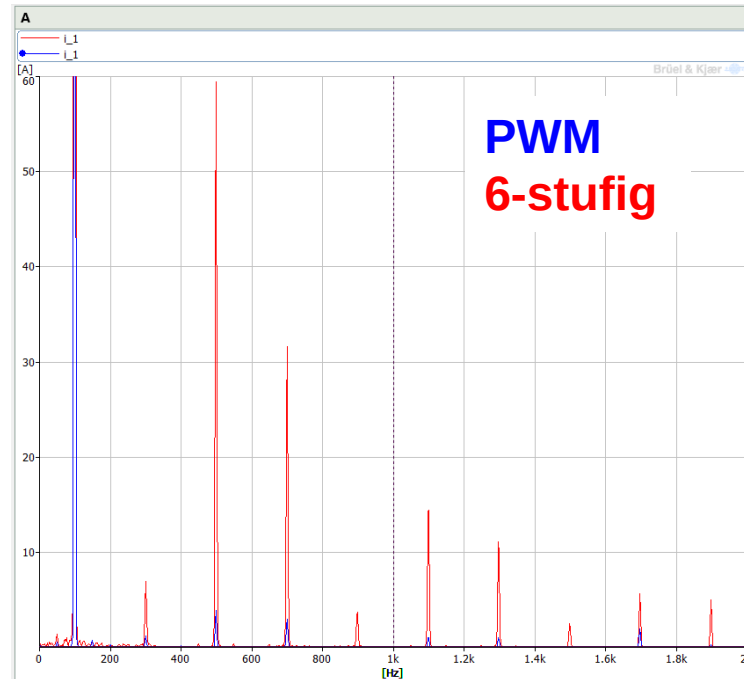
Spannung –
Strom –
Drehmoment –



Oben – Spannung für Steuerungsänderung PWM zu 6-stufig
Mitte – Strom für Steuerungsänderung PWM zu 6-stufig
Unten – Drehmoment für Steuerungsänderung PWM zu 6-stufig

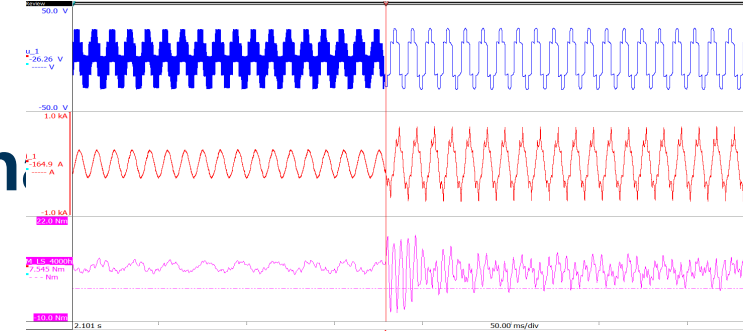
Spannung, Strom und Drehmoment-Frequenzgeh

- Grundschiwingung und Drehstrom sowie Drehmoment sind ähnlich
- 6-stufiger Strom hat deutlich höheren Strom-Oberschwingungsanteil in PWM
 - 5., 7., 11., ...
- Drehmoment hat deutlich höheren Oberschwingungsanteil bei 6-stufig
 - 4x, 5x, 8x, 10x, 12x Drehfrequenz
 - Mit Strom verknüpft



Frequenzspektrum für den Vergleich von Strom und Drehmoment bei PWM und 6-stufigem Betrieb

5. elektrische Oberschwingung
Konstruktion
Schaltvorgang

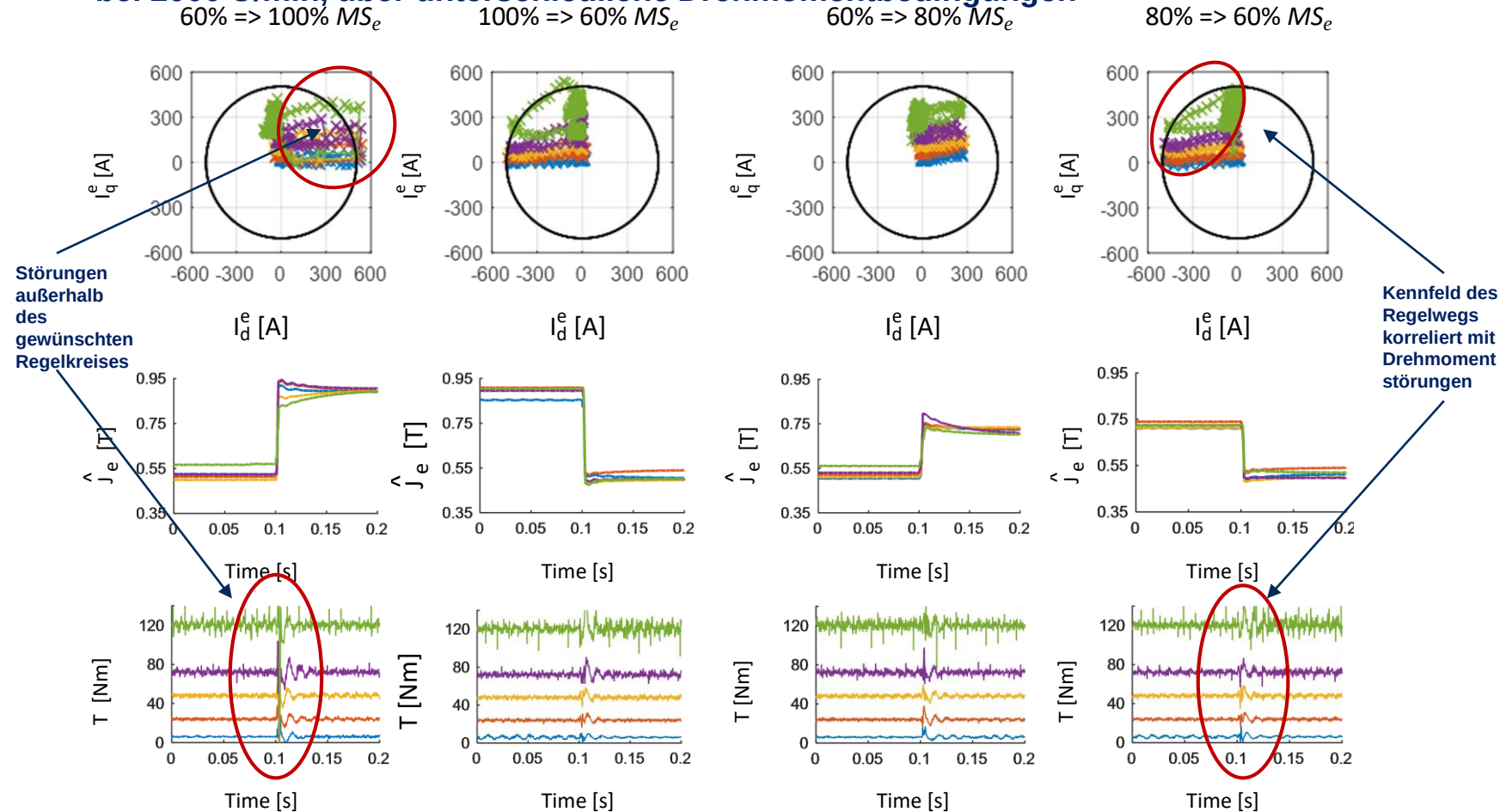


Vergleich von elektrischen und Drehmomentsignalen bei Steuerungsänderung

Übergänge:

MS-Änderung für ansteigende und absteigende Kombinationen von MS_e -Ebenen

bei 2000 U/min, über unterschiedliche Drehmomentbedingungen



Vielen Dank, für Ihre Aufmerksamkeit

Fragen?

Dann schreiben Sie uns an:

webinare@hbm.com

Website besuchen
zum Thema
„Electric Power
Testing“

