

## Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieses Dokuments ist 2019-01-01.

### Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	6
Nationaler Anhang NA (informativ) Zusammenhang mit europäischen und internationalen Dokumenten .....	6
Nationaler Anhang NB (informativ) Literaturhinweise.....	7
Einleitung .....	9
1 Anwendungsbereich .....	11
2 Normative Verweisungen .....	11
3 Begriffe und Abkürzungen .....	11
3.1 Begriffe .....	11
3.2 Abkürzungen .....	14
4 Ursachen und Auswirkungen von Wickelkopfschwingungen im Ständer .....	14
5 Messung der Strukturdynamik von Ständerwickelköpfen im Stillstand .....	15
5.1 Allgemeines .....	15
5.2 Experimentelle Modalanalyse .....	16
5.2.1 Allgemeines .....	16
5.2.2 Messgeräte.....	17
5.2.3 Durchführung der Messungen.....	18
5.2.4 Auswertung der gemessenen frequenzabhängigen Übertragungsfunktionen, Bestimmung der Moden .....	21
5.2.5 Bestandteile des Prüfberichts.....	21
5.2.6 Auswertung der Ergebnisse .....	22
5.3 Analyse des Referenzpunkts (Driving-Point-Analyse, DPA).....	23
5.3.1 Allgemeines .....	23
5.3.2 Messeinrichtung .....	23
5.3.3 Durchführung der Messungen.....	23
5.3.4 Auswertung der gemessenen frequenzabhängigen Übertragungsfunktionen, Bestimmung der Moden .....	24
5.3.5 Bestandteile des Prüfberichts.....	24
5.3.6 Auswertung der Ergebnisse .....	25
6 Messung von Wickelkopfschwingungen während des Betriebs.....	25
6.1 Allgemeines .....	25
6.2 Messausrüstung .....	26
6.2.1 Allgemeines .....	26
6.2.2 Schwingungswandler .....	26
6.2.3 Elektrooptische Wandler für faseroptische Systeme.....	28
6.2.4 Durchführungen bei wasserstoffgekühlten Maschinen .....	28

	Seite
6.2.5 Datenerfassung .....	28
6.3 Installation der Sensoren .....	29
6.3.1 Einbauort der Sensoren .....	29
6.3.2 Bewährte Installationspraxis .....	30
6.4 Wichtigste zu erfassende dynamische Kennlinien .....	31
6.5 Ermittlung der Betriebsschwingungsformen .....	31
6.6 Angaben des Prüfberichts .....	32
6.7 Auswertung der Ergebnisse .....	33
7 Wiederholungsmessungen zur Erkennung von Strukturveränderungen .....	33
7.1 Allgemeines .....	33
7.2 Fingerprint-Messungen, Betriebsgrößen und ihre Vergleichbarkeit .....	33
7.3 Wahl der Messaktionen .....	36
7.4 Aspekte hinsichtlich Zustand der Maschine und ihrer Historie .....	37
Anhang A (informativ) Hintergrundinformationen zu „Ursachen und Auswirkungen von Wickelkopfschwingungen im Ständer“ .....	38
A.1 Dynamik des Ständerwickelkopfes .....	38
A.1.1 Schwingungsformen und Betriebsschwingungsformen .....	38
A.1.2 Anregung von Wickelkopfschwingungen im Ständer .....	39
A.1.3 Wichtige Schwingungskenngrößen von Ständerwickelköpfen .....	39
A.1.4 Einfluss der Betriebsgrößen .....	42
A.2 Erhöhte Wickelkopfschwingungen im Ständer .....	42
A.2.1 Allgemeine Aspekte erhöhter Schwingungen .....	42
A.2.2 Zunahme von Wickelkopfschwingungen im Ständer über die Zeit und mögliche Hilfsmaßnahmen .....	43
A.2.3 Übergangszustände als Ursache für Strukturveränderungen .....	44
A.2.4 Spezielle Aspekte hinsichtlich der Hauptisolierung .....	45
A.3 Betriebsschwingungsform globaler Wickelkopfschwingungen im Ständer .....	45
A.3.1 Allgemeines .....	45
A.3.2 Für das globale Schwingungsverhalten relevante Kraftverteilungen .....	45
A.3.3 Idealisiertes globales Schwingungsverhalten während des Betriebs .....	46
A.3.4 Allgemeines Schwingungsverhalten von Ständerwickelköpfen .....	48
A.3.5 Positionierung von Sensoren zur Messung des globalen Schwingungspegels .....	51
A.4 Betriebsschwingungsform lokaler Wickelkopfschwingungen im Ständer .....	52
Anhang B (informativ) Bildliche Datendarstellung .....	54
B.1 Allgemeines .....	54
B.2 Messungen im Stillstand .....	55
B.3 Messungen während des Betriebs .....	58
Literaturhinweise .....	64

**Bilder**

Bild 1 – Wickelkopf im Ständer eines Turbogenerators (links) und einer Großmaschine (rechts) mit parallelen Schaltverbindungen .....	9
Bild 2 – Beispiel für die Wickelkopfabstützung einer indirekt gekühlten Maschine .....	10
Bild 3 – Messaufbau mit Nummerierung der Messpunkte und Angabe der Anregungsorte .....	20
Bild 4 – Vereinfachte Ursache-Wirkung-Kette für Ständerwickelkopfschwingungen und beeinflussende Betriebsgrößen.....	36
Bild A.1 – Darstellung typischer globaler Schwingungsformen .....	41
Bild A.2 – Beispiel einer Rotationskraftverteilung für $p = 1$ .....	46
Bild A.3 – Beispiel für die rotierende Welle einer Betriebsschwingungsauslenkung für $p = 1$ .....	47
Bild A.4 – Darstellung von zwei Schwingungsformen mit unterschiedlicher Ausrichtung im Raum (Beispiel für $p = 1$ ).....	49
Bild A.5 – Nichtrotierende betriebliche Schwingungsauslenkungsform (Beispiel für $p = 1$ ).....	50
Bild A.6 – Amplituden- und Phasenverteilung für einen allgemeinen Fall.....	51
Bild A.7 – Zentriert in den Wicklungszonen positionierte Sensoren zur Messung des globalen Schwingungspegels .....	51
Bild A.8 – Messung des globalen Schwingungspegels mit sechs in den Wicklungszonen zentriert positionierten gleichmäßig verteilten Sensoren .....	52
Bild A.9 – Beispiel – Sensorpositionen zur Messung der lokalen Schwingung des Wicklungsanschlusses relativ zum globalen Schwingungspegel.....	53
Bild B.1 – Messanordnung mit Nummerierung der Messpunkte und Kennzeichnung der Anregungspunkte .....	54
Bild B.2 – Beispiel für eine Linearitätsprüfung: Kraftsignal und Abweichung der jeweiligen FRFs .....	55
Bild B.3 – Beispiel für eine Reziprozitätsprüfung: FRFs im Vergleich.....	55
Bild B.4 – Beispiel – Zwei Überlagerungsplots der gleichen Übertragungsfunktionen, jedoch für unterschiedliche Größen .....	56
Bild B.5 – Schwingungsformen von Vier-, Sechs- und Achtknotenschwingungen mit Eigenfrequenzen, Messung in einer Ebene .....	57
Bild B.6 – Schwingungsform einer typischen Vierknotenschwingung mit unterschiedlichen Ansichtsrichtungen (Ständerwickelkopf und äußerer Stützring) .....	57
Bild B.7 – Beispiel – Amplitude und Phase für dynamische Nachgiebigkeit und Kohärenz.....	58
Bild B.8 – Zwei Pole, 60-Hz-Generator – Zeitliche Entwicklung der Schwingungsbreite, gemessen durch zehn am Ständerwickelkopf und einen am Ständerblechpaket angebrachten Beschleunigungsaufnehmer.....	58
Bild B.9 – Zwei Pole, 60-Hz-Generator – Zeitliche Entwicklung der Wickelkopfschwingungen und Wicklungstemperatur bei konstantem Ständerstrom .....	59
Bild B.10 – Zwei Pole, 60-Hz-Generator – Zeitliche Entwicklung von Wickelkopfschwingungen und Ständerströmen bei konstanter Wicklungstemperatur .....	59
Bild B.11 – Zwei Pole, 60-Hz-Generator – Beispiel für Veränderung des Schwingungspegels bei vergleichbaren Betriebsbedingungen.....	60
Bild B.12 – Zwei Pole, 60-Hz-Generator – Rohdaten Schwingungssignal, Kurvenform der Beschleunigung .....	61
Bild B.13 – Zwei Pole, 60-Hz-Generator – Schnelle Fouriertransformation und doppelt integriertes Schwingungssignal, Verschiebungsspektrum.....	61
Bild B.14 – Zwei Pole, 60-Hz-Generator – Verschiebungsspektrum.....	62

	Seite
Bild B.15 – Zwei Pole, 60-Hz-Generator – Geschwindigkeitsspektrum .....	62
Bild B.16 – Zwei Pole, 60-Hz-Generator – Beschleunigungsspektrum.....	63
<b>Tabellen</b>	
Tabelle 1 – Knotenzahl der höchsten Eigenschwingungsform im betreffenden Frequenzbereich und Mindestanzahl an Messstellen .....	20
Tabelle 2 – Mögliche Messaktionen im Hinblick auf verschiedene Aspekte der Ursache-Wirkung-Kette .....	37