

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist 2018-12-01.

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	8
Nationaler Anhang NA (informativ) Zusammenhang mit europäischen und internationalen Dokumenten	9
Nationaler Anhang NB (informativ) Literaturhinweise.....	10
Einleitung	12
1 Anwendungsbereich.....	13
2 Normative Verweisungen	13
3 Begriffe	14
4 Kenngrößen des Systems	16
4.1 Allgemeines	16
4.2 Erläuterungen zum System	16
4.3 Drehmoment-Drehzahl-Betrachtungen	16
4.4 Anforderungen an die elektrischen Maschinen	21
5 Verluste und ihre Auswirkungen (bei Induktionsmaschinen mit Speisung durch Spannungszwischenkreis-Umrichter).....	23
5.1 Allgemeines	23
5.2 Entstehungsort der zusätzlichen aufgrund von Umrichterspeisung entstandenen Verluste und Möglichkeiten ihrer Reduzierung.....	24
5.3 Umrichtermerkmale zur Verkleinerung der Verluste in elektrischen Maschinen.....	25
5.4 Einsatz von Filtern zur Reduzierung zusätzlicher aufgrund von Umrichterspeisung entstandener Maschinenverluste	26
5.5 Auswirkungen der Temperatur auf die Lebenserwartung	26
5.6 Bestimmung des Wirkungsgrades der elektrischen Maschine.....	27
6 Geräusche, Schwingungen und Pendelmomente.....	27
6.1 Geräusche	27
6.2 Schwingungen (außer Drehschwingungen)	30
6.3 Drehschwingungen.....	31
7 Elektrische Beanspruchung der Maschinenisolierung	31
7.1 Allgemeines	31
7.2 Gründe.....	31
7.3 Dielektrische Wicklungsbeanspruchung.....	33
7.4 Begrenzungen und Verantwortlichkeiten.....	34
7.5 Möglichkeiten zur Verkleinerung der Spannungsbeanspruchung.....	36
7.6 Begrenzung der Isolierungsbeanspruchung.....	36
8 Lagerströme	37
8.1 Ursachen von Lagerströmen in umrichtergespeisten elektrischen Maschinen.....	37
8.2 Erzeugung von hochfrequenten Lagerströmen.....	38

	Seite
8.3	Common-Mode-Kreis 39
8.4	Strefeld-Kapazitäten..... 40
8.5	Auswirkungen von großen Lagerströmen 41
8.6	Schutzmaßnahmen gegen Schäden durch hochfrequenten Lagerstrom 42
8.7	Zusätzliche Betrachtungen zu Lagerströmen bei umrichter gespeisten Hochspannungs- Maschinen 44
8.8	Schutzmaßnahmen bei Lagern in Hochspannungsmaschinen mit Speisung aus Stromzwischenkreis-Umrichtern 45
9	Installation 45
9.1	Erdung, Potentialausgleich und Kabelführung 45
9.2	Drosseln und Filter 51
9.3	Anpassung des Leistungsfaktors 52
9.4	Kompaktmaschinen (elektrische Maschine und Antriebsmodule integriert) 53
10	Zusätzliche Betrachtungen zu permanentmagneterregten Synchronmaschinen mit Speisung aus Spannungszwischenkreis-Umrichtern 53
10.1	Kenngößen des Systems 53
10.2	Verluste und ihre Auswirkungen 54
10.3	Geräusche, Schwingungen und Pendelmomente..... 54
10.4	Elektrische Beanspruchung der Maschinenisolierung 54
10.5	Lagerströme 54
10.6	Besondere Aspekte bei Permanentmagneten 54
11	Zusätzliche Betrachtungen zu Hochspannungs-Käfigläufermaschinen mit Speisung aus Spannungszwischenkreis-Umrichtern 54
11.1	Allgemeines 54
11.2	Kenngößen des Systems 55
11.3	Verluste und ihre Auswirkungen 56
11.4	Geräusche, Schwingungen und Pendelmomente..... 56
11.5	Elektrische Beanspruchung der Maschinenisolierung 57
11.6	Lagerströme 59
12	Zusätzliche Betrachtungen zu Synchronmaschinen mit Speisung durch Spannungszwischenkreis-Umrichter 59
12.1	Kenngößen des Systems 59
12.2	Verluste und ihre Auswirkungen 59
12.3	Geräusche, Schwingungen und Pendelmomente..... 59
12.4	Elektrische Beanspruchung der Maschinenisolierung 59
12.5	Lagerströme 59
13	Zusätzliche Betrachtungen zu Käfigläufermaschinen mit Speisung aus Block-Stromzwischenkreis-Umrichtern 60
13.1	Kenngößen des Systems (siehe Bild 30 und Bild 31) 60
13.2	Verluste und ihre Auswirkungen 61
13.3	Geräusche, Schwingungen und Pendelmomente..... 63

	Seite
13.4 Elektrische Beanspruchung der Maschinenisolierung	63
13.5 Lagerströme	63
13.6 Zusätzliche Betrachtungen für 6-strängige Käfigläufermaschinen	64
14 Zusätzliche Betrachtungen für Synchronmaschinen mit LCI-Versorgung	64
14.1 Kenngrößen des Systems	64
14.2 Verluste und ihre Auswirkungen.....	65
14.3 Geräusche, Schwingungen und Pendelmomente	65
14.4 Elektrische Beanspruchung der Maschinenisolierung	65
14.5 Lagerströme	65
15 Zusätzliche Betrachtungen zu Induktionsmaschinen mit Versorgung durch Stromzwischenkreis-Umrichter mit Pulsbreitenmodulation (PWM CSI).....	66
15.1 Kenngrößen des Systems (siehe Bild 34).....	66
15.2 Verluste und ihre Auswirkungen.....	67
15.3 Geräusche, Schwingungen und Pendelmomente	67
15.4 Elektrische Beanspruchung der Maschinenisolierung	67
15.5 Lagerströme	67
16 Induktionsmaschinen mit Schleifringläufer mit Versorgung durch Spannungszwischenkreis- Umrichter im Läuferkreis	67
16.1 Kenngrößen des Systems	67
16.2 Verluste und ihre Auswirkungen.....	67
16.3 Geräusche, Schwingungen und Pendelmomente.....	68
16.4 Elektrische Beanspruchung der Maschinenisolierung	68
16.5 Lagerströme	68
17 Weitere Maschinen-/Umrichter-Systeme.....	68
17.1 Antriebe mit Versorgung aus Direktumrichtern	68
17.2 Induktionsmaschinen mit Schleifringläufer mit Versorgung durch Stromzwischenkreis- Umrichter im Läuferkreis	70
18 Zusätzliche Betrachtungen zu für eine Drehzahl bemessene Induktionsmaschinen im Rahmen von IEC 60034-12 mit Versorgung durch Spannungszwischenkreis-Umrichter	70
18.1 Drehmomentabschläge bei Umrichterbetrieb.....	70
18.2 Verluste und ihre Auswirkungen.....	72
18.3 Geräusche, Schwingungen und Pendelmomente.....	72
18.4 Elektrische Beanspruchung der Maschinenisolierung	72
18.5 Lagerströme	73
18.6 Höchste sichere Betriebsdrehzahl.....	74
19 Zusätzliche Betrachtungen zu Synchron-Reluktanzmaschinen mit Speisung aus Spannungszwischenkreis-Umrichtern	74
19.1 Kenngrößen des Systems	74
19.2 Verluste und ihre Auswirkungen.....	74
19.3 Geräusche, Schwingungen und Pendelmomente	74
19.4 Elektrische Beanspruchung der Maschinenisolierung	75

	Seite
19.5 Lagerströme	75
19.6 Besondere Aspekte bei Synchron-Reluktanzmaschinen	75
Anhang A (normativ) Umrichter-Kenngrößen	76
A.1 Arten von Umrichter-Steuerverfahren	76
A.1.1 Allgemeines	76
A.1.2 Betrachtungen zu den Umrichterarten	77
A.2 Erzeugung der Umrichter-Ausgangsspannung (für Spannungszwischenkreis-Umrichter)	78
A.2.1 Puls-Weiten-Modulation (PWM)	78
A.2.2 Hysterese-Regelung („sliding mode“)	78
A.2.3 Einfluss der Schaltfrequenz	78
A.2.4 Mehr-Ebenen-Umrichter	80
A.2.5 Parallelbetrieb von Umrichtern	80
Anhang B (informativ) Frequenzspektra der Ausgangsspannung von Zwei-Ebenen-Spannungszwischenkreis-Umrichtern	81
Anhang C (informativ) Spannungen an der Stromversorgungsschnittstelle zwischen Umrichter und elektrischer Maschine	85
Bilder	
Bild 1 – Drehmoment-Drehzahl-Verhalten	17
Bild 2 – Umrichter-Ausgangsstrom	18
Bild 3 – Beispiele möglicher Kennlinien der Umrichter-Ausgangsspannung/Frequenz	20
Bild 4 – Beispiel für die Abhängigkeit der durch Oberschwingungen P_h hervorgerufenen Maschinenverluste, bezogen auf die Verluste P_{f1} bei Betriebsfrequenz f_1 , von der Schaltfrequenz f_s bei Versorgung aus einem Zwei-Ebenen-Spannungszwischenkreis-Umrichter	24
Bild 5 – Beispiel der gemessenen Verluste P_L als Funktion der Frequenz f und der Versorgungsart	25
Bild 6 – Zusätzliche Verluste ΔP_L einer elektrischen Maschine (gleiche elektrische Maschine wie in Bild 5) aufgrund des Umrichterbetriebs als Funktion der Schaltfrequenz f_p bei 50 Hz Drehfrequenz	26
Bild 7 – Lüftergeräusch in Abhängigkeit von der Lüfterdrehzahl	28
Bild 8 – Schwingungsformen des Ständerblechpakets	29
Bild 9 – Typische Spannungsstöße an den Klemmen einer aus einem PWM-Umrichter gespeisten elektrischen Maschine	32
Bild 10 – Typische Spannungsstöße in einer Phase an den Umrichter- und an den Maschinenklemmen (2 ms/Einheit)	33
Bild 11 – Einzelner Stoß aus Bild 10 mit kurzer Anstiegszeit (1 μ s/Einheit)	33
Bild 12 – Definition der Anstiegszeit t_r der Spannung an den Maschinenklemmen	33
Bild 13 – Spannung an der ersten Windung in Abhängigkeit von der Anstiegszeit	34
Bild 14 – Teilentladungsimpuls als Folge eines durch den Umrichter verursachten Spannungsstoßes an den Maschinenklemmen (100 ns/Einheit)	37
Bild 15 – Mögliche Lagerströme	38
Bild 16 – Maschinen-Kapazitäten	40

	Seite
Bild 17 – Kraterbildung durch EDM-Durchschläge (Kraterdurchmesser 30 µm bis 50 µm).....	41
Bild 18 – Querrillen durch hohen Lagerstrom.....	41
Bild 19 – Potentialausgleichslitze zwischen Klemmenkasten und Gehäuse einer elektrischen Maschine	46
Bild 20 – Beispiele für geschirmte Maschinenkabel und Verbindungen.....	48
Bild 21 – Parallele symmetrische Verkabelung von Umrichter und elektrischer Maschine hoher Leistung	49
Bild 22 – Umrichter-Verbindungen mit 360° HF Kabelstutzen, Demonstration des „Faraday-Käfigs“	49
Bild 23 – Maschinen-Endverschluss mit 360°-Verbindung.....	50
Bild 24 – Verbindung des Kabelschirms.....	50
Bild 25 – Eigenschaften von Schutzmaßnahmen.....	52
Bild 26 – Schema eines typischen Drei-Ebenen-Umrichters.....	55
Bild 27 – Ausgangsspannung und -strom eines typischen Drei-Ebenen-Umrichters.....	55
Bild 28 – Typische Spannung an der ersten Windung ΔU (in Prozent der Leiter-Erde-Spannung) als Funktion von du/dt	57
Bild 29 – Materialien zur Isolierung von Mittelspannungs- und Hochspannungs-Formspulen und zum Schutz vor Spannungsbeanspruchungen.....	58
Bild 30 – Schema eines Block-Stromzwischenkreis-Umrichters	60
Bild 31 – Strom- und Spannungskurven von Block-Stromzwischenkreis-Umrichtern	60
Bild 32 – Einfluss der Umrichterspeisung auf die Verluste einer Induktionsmaschine mit Käfigläufer (Baugröße 315 M, Grundausführung N) bei Betrieb mit den Bemessungswerten von Drehmoment und Drehzahl	62
Bild 33 – Schema und Spannungs- und Stromkurven einer Synchronmaschine mit Versorgung durch einen Stromzwischenkreis-Umrichter.....	64
Bild 34 – Schema eines gepulsten Stromzwischenkreis-Umrichters	66
Bild 35 – Spannungen und Ströme von gepulsten Stromzwischenkreis-Umrichtern	66
Bild 36 – Schema eines Direktumrichters.....	68
Bild 37 – Kurvenformen von Spannung und Strom eines Direktumrichters	69
Bild 38 – Grundschiwingungsspannung U_1 in Abhängigkeit von der Betriebsfrequenz f_1	71
Bild 39 – Abschlagfaktor für das Drehmoment einer Induktionsmaschine mit Käfigläufer in Grundausführung N, IC 0141 (Eigenkühlung) in Abhängigkeit von der Betriebsfrequenz f_1 (Beispiel).....	72
Bild 40 – Grenzkennlinie der zulässigen Impulsspannung \hat{U}_{LL}/U_N (Spitzenwert der Leiterspannung unter Berücksichtigung von Reflexion und Dämpfung) an den Maschinenklemmen in Abhängigkeit von der Anstiegszeit t_r	73
Bild A.1 – Auswirkungen der Schaltfrequenz auf die Maschinen- und die Umrichterverluste.....	79
Bild A.2 – Auswirkung der Schaltfrequenz auf das Geräusch.....	79
Bild A.3 – Auswirkungen der Schaltfrequenz auf Drehmomentschwankungen	79
Bild B.1 – Kurvenform der Leiterspannung u_{LL} bei Betrieb am Spannungszwischenkreis-Umrichter mit der Schaltfrequenz $f_s = 30 f_1$ (Beispiel).....	81
Bild B.2 – Typische Frequenzspektra der Umrichter-Ausgangsspannung.....	82
Bild B.3 – Typische Frequenzspektra der Umrichter-Ausgangsspannung.....	82

	Seite
Bild B.4 – Typische Spektren der Umrichter-Ausgangsspannung	83
Bild B.5 – Typische Zeitverläufe des Maschinenstroms.....	83
Bild B.6 – Typische Zeitverläufe des Maschinenstroms.....	84
Bild C.1 – Beispiel für typische Spannungskurven und –parameter eines Zwei-Ebenen-Umrichters in Abhängigkeit von der Zeit an den Maschinenklemmen (Leiter-Leiter-Spannung; entnommen aus IEC/TS 61800-8)	85
Tabellen	
Tabelle 1 – Maßgebliche Einflussfaktoren auf das Drehmoment-Drehzahl-Verhalten	18
Tabelle 2 – Betrachtungen zum Entwurf elektrischer Maschinen	21
Tabelle 3 – Eigenschaften elektrischer Maschinen zur Umrichteranpassung	22
Tabelle 4 – Betriebsspannung an den Maschinenklemmen in Einheiten von U_N , bei der ein zuverlässiger Betrieb elektrischer Maschinen ohne spezielle Vereinbarungen zwischen Hersteller und Systemverantwortlichen möglich ist	35
Tabelle 5 – Wirksamkeit von Gegenmaßnahmen gegen Lagerströme.....	42