

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
Einleitung.....	7
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen.....	7
3 Begriffe.....	8
4 Kenngrößen des Systems.....	10
4.1 Allgemeines.....	10
4.2 Erläuterungen zum System.....	10
4.3 Drehmoment-Drehzahl-Betrachtungen	10
4.4 Anforderungen an die Motoren	14
5 Verluste und ihre Auswirkungen (bei Induktionsmotoren mit Speisung durch U-Umrichter)	16
5.1 Allgemeines.....	16
5.2 Entstehungsort der zusätzlichen aufgrund von Umrichterspeisung entstandenen Verluste und Möglichkeiten ihrer Reduzierung	16
5.3 Umrichtermerkmale zur Verkleinerung der Motorverluste	17
5.4 Einsatz von Filtern zur Reduzierung zusätzlicher aufgrund von Umrichterspeisung entstandener Motorverluste	18
5.5 Temperatur und Lebenserwartung	18
5.6 Bestimmung des Motorwirkungsgrades.....	19
6 Geräusche, Schwingungen und Pendelmomente	19
6.1 Geräusche.....	19
6.2 Schwingungen (außer Drehschwingungen).....	22
6.3 Drehschwingungen	23
7 Elektrische Beanspruchung der Motorisolierung	23
7.1 Allgemeines.....	23
7.2 Gründe	23
7.3 Dielektrische Wicklungsbeanspruchung	26
7.4 Begrenzung der Isolierungsbeanspruchung.....	27
7.5 Verantwortlichkeiten.....	27
7.6 Umrichter-Eigenschaften	28
7.7 Möglichkeiten zur Verkleinerung der Spannungsbeanspruchung	29
7.8 Auswahl des Motors.....	29
8 Lagerströme.....	30
8.1 Ursachen von Lagerströmen in umrichtergespeisten Motoren.....	30
8.2 Erzeugung von hochfrequenten Lagerströmen	30
8.3 Common-Mode-Kreis.....	32
8.4 Streufeld-Kapazitäten	32
8.5 Auswirkungen von großen Lagerströmen.....	34

	Seite
8.6	Schutzmaßnahmen gegen Schäden durch hochfrequenten Lagerstrom34
8.7	Zusätzliche Betrachtungen zu Lagerströmen bei umrichter gespeisten Hochspannungs- Motoren37
8.8	Schutzmaßnahmen bei Lagern in Hochspannungsmotoren mit Speisung aus I-Umrichtern38
9	Installation38
9.1	Erdung, Potentialausgleich und Kabelführung38
9.2	Drosseln und Filter44
9.3	Kompaktmotoren (Motor und Antriebsmodule integriert)45
10	Zusätzliche Betrachtungen zu permanentmagneterregten Synchronmotoren mit Speisung aus U-Umrichtern46
10.1	Kenngößen des Systems46
10.2	Verluste und ihre Auswirkungen46
10.3	Geräusche, Schwingungen und Pendelmomente46
10.4	Elektrische Beanspruchung der Motorisolierung46
10.5	Lagerströme46
10.6	Besondere Aspekte bei Permanentmagneten47
11	Zusätzliche Betrachtungen zu Hochspannungs-Käfigläufermotoren mit Speisung aus U-Umrichtern47
11.1	Allgemeines47
11.2	Kenngößen des Systems47
11.3	Verluste und ihre Auswirkungen48
11.4	Geräusche, Schwingungen und Pendelmomente49
11.5	Elektrische Beanspruchung der Motorisolierung49
11.6	Lagerströme51
12	Zusätzliche Betrachtungen zu Synchronmotoren mit Speisung durch U-Umrichter51
12.1	Kenngößen des Systems51
12.2	Verluste und ihre Auswirkungen51
12.3	Geräusche, Schwingungen und Pendelmomente51
12.4	Elektrische Beanspruchung der Motorisolierung51
12.5	Lagerströme52
13	Zusätzliche Betrachtungen zu Käfigläufermotoren mit Speisung aus Block-I-Umrichtern52
13.1	Kenngößen des Systems52
13.2	Verluste und ihre Auswirkungen53
13.3	Geräusche, Schwingungen und Pendelmomente53
13.4	Elektrische Beanspruchung der Motorisolierung54
13.5	Lagerströme54
13.6	Zusätzliche Betrachtungen für 6-strängige Käfigläufermotoren54
14	Zusätzliche Betrachtungen für Synchronmotoren mit LCI-Versorgung54
14.1	Kenngößen des Systems54
14.2	Verluste und ihre Auswirkungen56

	Seite
14.3 Geräusche, Schwingungen und Pendelmomente	56
14.4 Elektrische Beanspruchung der Motorisolierung	56
14.5 Lagerströme	56
15 Zusätzliche Betrachtungen zu Induktionsmotoren mit Versorgung durch I-Umrichter mit Pulsbreitenmodulation (PWM CSI)	56
15.1 Kenngrößen des Systems.....	56
15.2. Verluste und ihre Auswirkungen	57
15.3 Geräusche, Schwingungen und Pendelmomente	57
15.4 Elektrische Beanspruchung der Motorisolierung	57
15.5 Lagerströme	57
16 Weitere Motor-/Umrichter-Systeme	58
16.1 Antriebe mit Versorgung aus Direktumrichtern.....	58
16.2 Induktionsmotoren mit Schleifringläufer mit Versorgung durch I-Umrichter im Läuferkreis	59
16.3 Induktionsmotoren mit Schleifringläufer mit Versorgung durch U-Umrichter im Läuferkreis.....	59
Anhang A (normativ) Umrichter-Kenngrößen	61
Anhang B (informativ) Frequenzspektra der Umrichter-Ausgangsspannung	65
Anhang C (informativ) Geräuschzunahme als Folge von Umrichterspeisung	68
Literaturhinweise	69
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen.....	70
Bild 1 – Drehmoment-Drehzahl-Verhalten	11
Bild 2 – Umrichter-Ausgangsstrom	11
Bild 3 – Kennlinien der Umrichterausgangsspannung/Frequenz.....	13
Bild 4 – Beispiel der gemessenen Verluste P_L als Funktion der Frequenz f und der Versorgungsart	17
Bild 5 – Zusätzliche Verluste ΔP_L eines Motors (gleicher Motor wie in Bild 4) aufgrund des Umrichterbetriebs als Funktion der Schaltfrequenz f_p bei 50 Hz Drehfrequenz.....	18
Bild 6 – Lüftergeräusch in Abhängigkeit von der Lüfterdrehzahl	20
Bild 7 – Schwingungsformen.....	21
Bild 8 – Typische Spannungsstöße an den Klemmen eines aus einem PWM-Umrichter gespeisten Motors	24
Bild 9 – Typische Spannungsstöße in einer Phase an den Umrichter- und an den Motorklemmen (2 ms/Einheit)	25
Bild 10 – Einzelner Stoß aus Bild 9 mit kurzer Anstiegszeit (1 μ s/Einheit)	25
Bild 11 – Definition der Anstiegszeit t_r der Spannung an den Motorklemmen.....	26
Bild 12 – Spannung an der ersten Windung in Abhängigkeit von der Anstiegszeit.....	26
Bild 13 – Teilentladungsimpuls als Folge eines durch den Umrichter verursachten Spannungsstoßes an den Motorklemmen (100 ns/Einheit).....	27
Bild 14 – Grenzkurven der Impulsspannung U_{pk} , gemessen zwischen den Motorklemmen von zwei Strängen, in Abhängigkeit der Anstiegszeit t_r	28
Bild 15 – Mögliche Lagerströme.....	31

	Seite
Bild 16 – Motor-Kapazitäten	33
Bild 17 – Kraterbildung durch EDM-Durchschläge (Kraterdurchmesser 30 µm bis 50 µm).....	34
Bild 18 – Querrillen durch hohen Lagerstrom.....	34
Bild 19 – Potentialausgleichslitze zwischen Klemmenkasten und Gehäuse eines Motors.....	39
Bild 20 – Beispiele für geschirmte Motorkabel und Verbindungen.....	40
Bild 21 – Parallele symmetrische Verkabelung von Umrichter und Motor hoher Leistung	41
Bild 22 – Umrichter-Verbindungen mit 360° HF Kabelstutzen, Demonstration des „Faraday-Käfigs“	42
Bild 23 – Motor-Endverschluss mit 360°-Verbindung.....	42
Bild 24 – Verbindung des Kabelschirms.....	43
Bild 25 – Eigenschaften von Schutzmaßnahmen	45
Bild 26 – Schema eines typischen Drei-Ebenen-Umrichters	47
Bild 27 – Ausgangsspannung und -strom eines typischen Drei-Ebenen-Umrichters	48
Bild 28 – Typische Spannung an der ersten Windung U (in Prozent der Leiter-Erde-Spannung) als Funktion von du/dt	49
Bild 29 – Materialien zur Isolierung von Mittelspannungs- und Hochspannungs-Formspulen und zum Schutz vor Spannungsbeanspruchungen	50
Bild 30 – Schema eines Block-I-Umrichters	52
Bild 31 – Strom und Spannungskurven von Block-I-Umrichtern.....	52
Bild 32 – Schema und Spannungs- und Stromkurven eines Synchronmotors mit Versorgung durch einen I-Umrichter.....	55
Bild 33 – Schema eines gepulsten I-Umrichters	56
Bild 34 – Spannungen und Ströme von gepulsten I-Umrichtern	57
Bild 35 – Schema eines Direktumrichters	58
Bild 36 – Kurvenformen von Spannung und Strom eines Direktumrichters.....	58
Bild A.1 – Auswirkungen der Schaltfrequenz auf die Motor- und die Umrichterverluste	63
Bild A.2 – Auswirkung der Schaltfrequenz auf das Geräusch.....	64
Bild A.3 – Auswirkungen der Schaltfrequenz auf Drehmomentschwankungen	64
Bild B.1 – Typische Frequenzspektra der Umrichter-Ausgangsspannung	65
Bild B.2 – Typische Frequenzspektra der Umrichter-Ausgangsspannung	65
Bild B.3 – Typische Spektra der Umrichter-Ausgangsspannung	66
Bild B.4 – Typische Zeitverläufe des Motorstroms.....	66
Bild B.5 – Typische Zeitverläufe des Motorstroms.....	67
Tabelle 1 – Alphabetische Querverweisliste mit Begriffen	8
Tabelle 2 – Maßgebliche Einflussfaktoren auf das Drehmoment-Drehzahl-Verhalten	12
Tabelle 3 – Betrachtungen zum Motorentwurf	14
Tabelle 4 – Motoreigenschaften	15
Tabelle 5 – Wirksamkeit von Gegenmaßnahmen gegen Lagerströme.....	35
Tabelle C.1 – Geräuschzunahmen.....	68