

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen	6
3.1 Begriffe	6
3.2 Symbole und Abkürzungen	8
3.2.1 Ventil- und Simulationsdaten	8
3.2.2 Kennwerte von Halbleiterbauelementen	9
3.2.3 Kennwerte weiterer Bauteile	9
3.2.4 Betriebsparameter	9
3.2.5 Verlustparameter	10
4 Allgemeine Bedingungen	10
4.1 Allgemeines	10
4.2 Grundsätze der Verlustbestimmung	11
4.3 Kategorien der Ventilverluste	11
4.4 Methoden der Verlustberechnung	12
4.5 Eingabeparameter	12
4.5.1 Allgemeines	12
4.5.2 Eingabedaten für numerische Simulationen	12
4.5.3 Eingabedaten aus numerischen Simulationen	13
4.5.4 Daten der Stromrichterstation	13
4.5.5 Betriebsbedingungen	14
5 Leitungsverluste	14
5.1 Allgemeines	14
5.2 IGBT-Leitungsverluste	15
5.3 Dioden-Leitungsverluste	16
5.4 Weitere Leitungsverluste	17
6 Gleichspannungsabhängige Verluste	18
7 Verluste in den Gleichstromkondensatoren des Ventils	18
8 Schaltverluste	19
8.1 Allgemeines	19
8.2 IGBT-Schaltverluste	19
8.3 Dioden-Schaltverluste	20
9 Weitere Verluste	20
9.1 Verluste des Beschaltungskreises	20
9.2 Leistungsaufnahme der Ventilelektronik	21
9.2.1 Allgemeines	21
9.2.2 Stromversorgung aus der Sperrspannung über jedem IGBT	22

	Seite
9.2.3 Stromversorgung aus dem Gleichstromkondensator	22
10 Ventilgesamtverluste je HGÜ-Station	23
Anhang A (informativ) Beschreibung von Leistungsverlustmechanismen in MMC-Ventilen.....	25
A.1 Einführung in die MMC-Stromrichtertopologie	25
A.2 Beanspruchungen durch Ventilspannung und -strom	27
A.2.1 Vereinfachte Analyse mit Spannung und Strom in gleicher Phasenlage	27
A.2.2 Verallgemeinerte Analyse mit einer Phasenverschiebung zwischen Spannung und Strom.....	28
A.2.3 Effekte der Injektion der dritten Oberschwingung	29
A.3 Leitungsverluste in MMC-Bausteinen.....	30
A.3.1 Beschreibung der Leitpfade	30
A.3.2 Leitungsverluste in Halbleitern	35
A.3.3 Verluste des Gleichstromkondensators des MMC-Bausteins	38
A.3.4 Weitere Leitungsverluste	39
A.4 Schaltverluste	39
A.4.1 Beschreibung von Zustandsänderungen.....	39
A.4.2 Analyse von Zustandsänderungen während einer Periode	41
A.4.3 Arbeitsbeispiel für Schaltverluste	41
A.5 Weitere Verluste	43
A.5.1 Verluste an der Beschaltung	43
A.5.2 Gleichspannungsabhängige Verluste.....	44
A.5.3 Leistungsaufnahme der Ventilelektronik	46
A.6 Anwendung weiterer Ventilvarianten.....	49
A.6.1 Allgemeines	49
A.6.2 Zweipunkt-MMC-Baustein in Vollbrückenordnung	49
A.6.3 Mehrpunkt-MMC-Bausteine	50
Literaturhinweise.....	52
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	53
Bilder	
Bild 1 – Zwei grundlegende Varianten von MMC-Bausteinen	14
Bild 2 – Leitpfade in MMC-Bausteinen	15
Bild A.1 – Phaseneinheit des modularen Mehrpunkt-Stromrichters (MMC) in einer grundlegenden Zweipunkt-Halbbrückenordnung mit Teilmodulen.....	25
Bild A.2 – Phaseneinheit des kaskadierten Zweipunkt-Stromrichters (CTLC) in einer Halbbrückenordnung	26
Bild A.3 – Grundlegende Funktion von MMC-Stromrichtern	27
Bild A.4 – MMC-Stromrichter mit der Darstellung der Zusammensetzung des Ventilstroms.....	28
Bild A.5 – Zeigerdiagramm mit einer Darstellung von Netzwechselfspannung, Stromrichterwechselfspannung und Stromrichterwechselstrom	29

	Seite
Bild A.6 – Effekt der Injektion einer Oberschwingung der 3. Ordnung auf Stromrichterspannung und -strom	30
Bild A.7 – Zwei funktional gleichwertige Varianten eines Zweipunkt-MMC-Bausteins in Halbbrückenordnung	31
Bild A.8 – Leitende Zustände in einem Zweipunkt-MMC-Baustein in Halbbrückenordnung	32
Bild A.9 – Typische Leitungsmuster für den Wechselrichterbetrieb (links) und den Gleichrichterbetrieb (rechts).....	33
Bild A.10 – Beispiel eines Stromrichters mit nur einem MMC-Baustein je Ventil für die Darstellung des Schaltverhaltens	33
Bild A.11 – Beispiel für Schaltereignisse im Wechselrichterbetrieb	34
Bild A.12 – Beispiel für Schaltereignisse im Gleichrichterbetrieb.....	34
Bild A.13 – Ventilstrom und mittlerer gleichgerichteter Ventilstrom	36
Bild A.14 – IGBT- und Dioden-Schaltenergie als Funktion des Kollektorstroms	40
Bild A.15 – Ventilspannung, Ventilstrom und Schaltverhalten für ein hypothetisches MMC-Ventil, das aus fünf Teilmodulen besteht	42
Bild A.16 – Stromversorgung aus den IGBT-Anschlüssen	47
Bild A.17 – Stromversorgung aus den IGBT-Anschlüssen in einer Zelle.....	48
Bild A.18 – Stromversorgung aus dem Gleichstromkondensator im Teilmodul.....	48
Bild A.19 – Zweipunkt-MMC-Baustein in Vollbrückenordnung.....	49
Bild A.20 – Vier mögliche Varianten eines Dreipunkt-MMC-Bausteins.....	50
Tabellen	
Tabelle 1 – Beiträge zu den Ventilverlusten in verschiedenen Betriebsarten.....	24
Tabelle A.1 – Harte Schaltereignisse	39
Tabelle A.2 – Weiche Schaltereignisse.....	41
Tabelle A.3 – Zusammenfassung der Schaltereignisse aus Bild A.15	43