

**Bestimmung der Leistungsverluste in Spannungszwischenkreis-Stromrichtern
(VSC) für Hochspannungsgleichstrom- (HGÜ-)Systeme –
Teil 2: Modulare Mehrstufen-Stromrichter**

Inhalt

| | Seite |
|---|-------|
| 1 Anwendungsbereich | 6 |
| 2 Normative Verweisungen | 6 |
| 3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen | 6 |
| 3.1 Begriffe | 6 |
| 3.2 Symbole und Abkürzungen | 8 |
| 4 Allgemeine Bedingungen..... | 10 |
| 4.1 Einleitung | 10 |
| 4.2 Grundsätze der Verlustbestimmung | 11 |
| 4.3 Kategorien der Ventilverluste | 11 |
| 4.4 Methoden der Verlustberechnung | 12 |
| 4.5 Eingabeparameter | 12 |
| 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 |
| 10 Ventilgesamtverluste je HGÜ-Station | 23 |
| Anhang A (informativ) Beschreibung von Leistungsverlustmechanismen in MMC-Ventilen..... | 25 |
| A.1 Einführung in die MMV-Stromrichtertopologie..... | 25 |
| A.2 Beanspruchungen durch Ventilspannung und -strom | 27 |
| A.3 Leitungsverluste in MMC-Bausteinen..... | 30 |
| A.4 Schaltverluste | 39 |
| A.5 Weitere Verluste | 44 |
| A.6 Anwendung weiterer Ventilvarianten | 49 |
| Literaturhinweise..... | 52 |

Bilder

| | |
|--|----|
| Bild 1 – Zwei grundlegende Varianten von MMC-Bausteinen..... | 14 |
| Bild 2 – Leitpfade in MMC-Bausteinen | 15 |
| Bild A.1 – Phaseneinheit des modularen Mehrstufen-Stromrichters (MMC) in einer grundlegenden zweistufigen Halbbrückenordnung mit Teilmodulen | 25 |
| Bild A.2 – Phaseneinheit des kaskadierten Zweistufen-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 |
| Bild A.6 – Effekt der Injektion einer Oberschwingung der 3. Ordnung auf Stromrichterspannung und -strom | 30 |
| Bild A.7 – Zwei funktional gleichwertige Varianten eines Zweistufen-MMC-Bausteins in Halbbrückenordnung..... | 31 |
| Bild A.8 – Leitende Zustände in einem Zweistufen-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 – Zweistufiger MMC-Baustein in Vollbrückenordnung..... | 49 |
| Bild A.20 – Vier mögliche Varianten eines dreistufigen MMC-Bausteins..... | 50 |

Tabellen

| | |
|---|----|
| Tabelle 1 – Beiträge zu den Ventilverlusten in verschiedenen Betriebsarten..... | 23 |
| Tabelle A.1 – Harte Schaltereignisse | 39 |
| Tabelle A.2 – Weiche Schaltereignisse..... | 40 |
| Tabelle A.3 – Zusammenfassung der Schaltereignisse aus Bild A.15 | 43 |