

## Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieses Dokuments ist 2014-07-01.

### Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	7
Nationaler Anhang NA (informativ) Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen.....	8
Nationaler Anhang NB (informativ) Literaturhinweise.....	9
1 Anwendungsbereich.....	10
2 Normative Verweisungen .....	10
3 Begriffe .....	10
3.1 Allgemeines .....	10
3.2 Kurzzeichen.....	11
3.3 Begriffe zu Leistungshalbleitern .....	12
3.4 VSC-Topologien .....	12
3.5 VSC-Übertragung.....	15
3.6 Betriebszustände.....	16
3.7 Typprüfungen .....	18
3.8 Produktionsprüfungen .....	18
3.9 Stichprobenprüfungen .....	19
3.10 Begriffe der Isolationskoordination .....	19
3.11 Leistungsverluste.....	19
4 Überblick über die VSC-Übertragung.....	20
4.1 Grundlagen zum VSC-Übertragungsbetrieb .....	20
4.1.1 Der Spannungszwischenkreis-Stromrichter als Blackbox.....	20
4.1.2 Prinzipien der Wirk- und Blindleistungsregelung.....	21
4.1.3 Betriebsprinzipien einer VSC-Übertragungsanordnung.....	22
4.1.4 Anwendungen der VSC-Übertragung .....	23
4.2 Vorgesehene Lebensdauer .....	23
4.3 VSC-Übertragungskonfigurationen .....	23
4.3.1 Allgemeines .....	23
4.3.2 Gleichstromkreisfigurationen .....	24
4.3.3 Monopolare Konfiguration .....	24
4.3.4 Bipolare Konfiguration .....	25
4.3.5 Parallelschaltung von zwei Stromrichtern .....	25
4.3.6 Reihenschaltung von zwei Stromrichtern.....	26
4.3.7 Parallel- und Reihenschaltung von mehr als zwei Stromrichtern.....	26
4.4 Halbleiter für die VSC-Übertragung.....	26
5 Topologien von Stromrichtern für die VSC-Übertragung .....	28
5.1 Allgemeines .....	28

	Seite	
5.2	Stromrichtertopologien mit VSC-Ventilen des „Schalter“-Typs.....	28
5.2.1	Allgemeines.....	28
5.2.2	Betriebsprinzip .....	29
5.2.3	Topologien .....	29
5.3	Stromrichtertopologien mit VSC-Ventilen vom Typ „Regelbare Spannungsquelle“ .....	32
5.3.1	Allgemeines.....	32
5.3.2	MMC-Topologie mit VSC-Stufen in Halbbrückentopologie.....	33
5.3.3	MMC-Topologie mit VSC-Stufen in Vollbrückentopologie .....	35
5.3.4	CTL-Topologie mit VSC-Zellen in Halbbrückentopologie .....	35
5.3.5	CTL-Topologie mit VSC-Zellen in Vollbrückentopologie.....	35
5.4	Überlegungen zur Auslegung von VSC-Ventilen .....	36
5.4.1	Zuverlässigkeit und Ausfallart .....	36
5.4.2	Strombemessung .....	36
5.4.3	Anforderungen in Bezug auf transiente Ströme und Spannungen .....	36
5.4.4	Diodenanforderungen .....	37
5.4.5	Zusätzliche Einzelheiten des Entwurfs .....	37
5.5	Andere Stromrichtertopologien .....	38
5.6	Sonstige Einrichtungen für VSC-Übertragungsanordnungen.....	38
5.6.1	Allgemeines.....	38
5.6.2	Leistungskomponenten einer VSC-Übertragungsanordnung.....	38
5.6.3	VSC-Stationsleistungsschalter.....	39
5.6.4	OberschwingungsfILTER auf der Seite des Wechselstromnetzes.....	39
5.6.5	FunkstörungsfILTER.....	39
5.6.6	Kuppeltransformatoren und Phasendrosseln.....	39
5.6.7	Ventildrossel.....	40
5.6.8	Gleichstromkondensatoren .....	40
5.6.9	Gleichstromdrossel .....	42
5.6.10	Gleichtakt-Sperrdrossel.....	43
5.6.11	Gleichstromfilter .....	43
5.6.12	Widerstandsbremssystem.....	43
6	Überblick über VSC-Regler.....	43
6.1	Allgemeines.....	43
6.2	Betriebsarten und Betriebsoptionen.....	44
6.3	Energieübertragung .....	45
6.3.1	Allgemeines.....	45
6.3.2	Telekommunikation zwischen Stromrichterstationen.....	46
6.4	Blindleistungs- und Wechselspannungsregelung .....	46
6.4.1	Wechselspannungsregelung.....	46
6.4.2	Blindleistungsregelung.....	46

	Seite
6.5	Schwarzstartfähigkeit ..... 47
6.6	Einspeisung aus einem Windenergiepark ..... 47
7	Stationärer Betrieb ..... 48
7.1	Belastbarkeit im stationären Betrieb ..... 48
7.2	Stromrichterleistungsverluste ..... 49
8	Dynamisches Betriebsverhalten ..... 49
8.1	Wechselstromnetzstörungen ..... 49
8.2	Gleichstromnetzstörungen ..... 50
8.2.1	Fehler in Gleichstromkabeln ..... 50
8.2.2	Fehler in Gleichstromfreileitungen ..... 50
8.3	Interne Fehler ..... 50
9	HGÜ-Leistungsanforderungen ..... 51
9.1	Oberschwingungsbezogene Leistung ..... 51
9.2	Wellenverzerrung ..... 52
9.3	Grundfrequenz und Oberschwingungen ..... 52
9.3.1	Dreiphasen-Zweipunkt-VSC ..... 52
9.3.2	Modulation mit selektiver Auslöschung von Oberschwingungen ..... 54
9.3.3	Mehrpuls- und Mehrpunkt-Stromrichter ..... 55
9.4	Oberschwingungsspannungen in Stromversorgungssystemen, die durch den Betrieb von VSC verursacht werden ..... 55
9.5	Überlegungen zur Auslegung von Oberschwingungsfiltren (Wechselstromseite) ..... 56
9.6	Gleichstromseitige Filterung ..... 56
10	Umweltauswirkungen ..... 56
10.1	Allgemeines ..... 56
10.2	Hörbare Geräusche ..... 57
10.3	Elektrische und magnetische Felder (EMF) ..... 57
10.4	Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) ..... 57
11	Prüfung und Inbetriebnahme ..... 58
11.1	Allgemeines ..... 58
11.2	Prüfungen im Werk ..... 59
11.2.1	Prüfungen an Bauelementen ..... 59
11.2.2	Regelsystemprüfungen ..... 59
11.3	Inbetriebnahmeprüfungen/Systemprüfungen ..... 59
11.3.1	Allgemeines ..... 59
11.3.2	Prüfungen vor Inbetriebnahme ..... 60
11.3.3	Teilsystemprüfungen ..... 60
11.3.4	Systemprüfungen ..... 60
Anhang A (informativ)	Funktionsspezifikationsanforderungen für VSC-Übertragungssysteme ..... 65
Anhang B (informativ)	Bestimmung von VSC-Ventil-Leistungsverlusten ..... 73

	Seite
Literaturhinweise .....	82
<b>Bilder</b>	
Bild 1 – Wesentliche Bauelemente einer VSC-Station.....	11
Bild 2 – Modell eines allgemeinen Spannungszwischenkreis-Stromrichters (Wechselstromfilter sind nicht dargestellt).....	20
Bild 3 – Prinzip der Wirkleistungsregelung.....	21
Bild 4 – Prinzip der Blindleistungsregelung.....	22
Bild 5 – Punkt-zu-Punkt-VSC-Übertragungsanordnung.....	22
Bild 6 – VSC-Übertragung mit einem symmetrischen Monopol.....	24
Bild 7 – VSC-Übertragung mit einem asymmetrischen Monopol mit metallischer Rückleitung.....	25
Bild 8 – VSC-Übertragung mit einem asymmetrischen Monopol mit Erdrückleitung.....	25
Bild 9 – VSC-Übertragung in bipolarer Konfiguration.....	25
Bild 10 – Parallelschaltung von zwei Stromrichtergruppen.....	26
Bild 11 – Symbol eines Ausschalt-Halbleiterbauelements und der zugehörigen Freilaufdiode.....	27
Bild 12 – Symbol eines IGBT und der zugehörigen Freilaufdiode.....	27
Bild 13 – Darstellung eines 3-Phasen-Zweipunktstromrichters und der dazugehörigen Wechselstromwellenform für eine Phase.....	30
Bild 14 – Einphasen-Wechselstromausgang für Zweipunktstromrichter mit PWM-Ansteuerung beim 21-Fachen der Grundfrequenz.....	30
Bild 15 – Darstellung eines Dreiphasen-Dreipunkt-NPC-Stromrichters und der zugehörigen Wechselstromwellenform für eine Phase.....	31
Bild 16 – Einphasen-Wechselstromausgang für Dreipunkt-NPC-Stromrichter mit PWM-Ansteuerung beim 21-Fachen der Grundfrequenz.....	32
Bild 17 – Elektrisches Äquivalent für einen Stromrichter mit VSC-Ventilen, der als regelbare Spannungsquelle fungiert.....	33
Bild 18 – VSC-Ventilplatzanordnung und äquivalente Schaltung in MMC-Topologie in Halbbrückentopologie.....	34
Bild 19 – Stromrichterblockanordnung mit MMC-Topologie in Halbbrückentopologie.....	34
Bild 20 – VSC-Ventilplatzanordnung und äquivalente Schaltung in MMC-Topologie mit Vollbrückentopologie.....	35
Bild 21 – Typischer SSOA für den IGBT.....	36
Bild 22 – Eine Zweipunkt-VSC-Brücke mit abgeschalteten IGBTs.....	37
Bild 23 – Darstellung einer VSC-Gruppe als Wechselspannung mit dem Betrag $U$ und dem Phasenwinkel $\delta$ , einer Reaktanz nachgeschaltet.....	44
Bild 24 – Konzept der Vektorsteuerung.....	45
Bild 25 – VSC-Leistungsregler.....	45
Bild 26 – Wechselspannungsregler.....	46
Bild 27 – Ein typisches vereinfachtes PQ-Diagramm.....	48
Bild 28 – Schutzkonzept einer VSC-Station.....	51
Bild 29 – Wellenformen für Dreiphasen-Zweipunkt-VSC.....	53

	Seite
Bild 30 – Spektren der Spannungsüberschwingungen eines Zweipunkt-VSC mit Trägerfrequenz bei der 21. Harmonischen .....	54
Bild 31 – Leiterausgangsspannung für die Modulation mit selektiver Auslöschung von Überschwingungen (SHEM).....	55
Bild 32 – Ersatzschaltung beim PCC vom VSC .....	56
Bild B.1 – Durchlassspannung eines IGBTs oder einer Freilaufdiode .....	74
Bild B.2 – Stückweise lineare Darstellung der IGBT- oder Freilaufdioden-Durchlassspannung.....	75
Bild B.3 – IGBT-Schaltverluste als Funktion des Kollektorstroms.....	78
Bild B.4 – Freilaufdioden-Erholungsverlust als Funktion des Stroms.....	80