

DIN EN 61803



ICS 29.200

Ersatz für
DIN EN 61803:2000-07
Siehe Anwendungsbeginn

**Bestimmung der Leistungsverluste in Hochspannungsgleichstrom-
(HGÜ-)Stromrichterstationen mit netzgeführten Stromrichtern
(IEC 61803:1999 + A1:2010);
Deutsche Fassung EN 61803:1999 + A1:2010**

Determination of power losses in high-voltage direct current (HVDC) converter stations with line-commutated converters (IEC 61803:1999 + A1:2010);
German version EN 61803:1999 + A1:2010

Détermination des pertes en puissance dans les postes de conversion en courant continu à haute tension (CCHT) munis de convertisseurs commutés par le réseau (CEI 61803:1999 + A1:2010);
Version allemande EN 61803:1999 + A1:2010

Gesamtumfang 35 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 1999-04-01 angenommene Europäische Norm und die am 2010-12-01 angenommene Änderung A1 als DIN-Norm ist 2011-09-01.

Daneben darf DIN EN 61803:2000-07 noch bis 2013-12-01 angewendet werden.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN IEC 61803/A1:2009-09.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 331 „Leistungselektronik“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom SC 22F „Power electronics for electrical transmission and distribution systems“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu dieser Publikation angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

A1

Die Änderung A1 wurde in den Text eingearbeitet und durch eine senkrechte Linie mit der Beschriftung A1 am linken Seitenrand gekennzeichnet.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 61803:2000-07 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Der Begriff der Lasten der erforderlichen Stationshilfsbetriebe wurde ergänzt.
- b) Die Spezifikation der Referenz-Normalaußentemperatur wurde durch eine Anmerkung präzisiert.
- c) Die Bestimmung der Verluste durch Stationshilfsbetriebe wurde überarbeitet, die Bestimmung anderer Verluste marginal angepasst.

Frühere Ausgaben

DIN EN 61803: 2000-07

**Bestimmung der Leistungsverluste
in Hochspannungsgleichstrom- (HGÜ-)Stromrichterstationen
mit netzgeführten Stromrichtern
(IEC 61803:1999 + A1:2010)**

Determination of power losses in high-voltage
direct current (HVDC) converter stations with
line-commutated converters
(IEC 61803:1999 + A1:2010)

Détermination des pertes en puissance dans
les postes de conversion en courant continu à
haute tension (CCHT) munis de
convertisseurs commutés par le réseau
(CEI 61803:1999 + A1:2010)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 1999-04-01 und die A1 am 2010-12-01 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

Zentralsekretariat: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2010 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 61803:1999 + A1:2010 D

Vorwort

Der Text des Schriftstücks 22F/51/FDIS, zukünftige 1. Ausgabe von IEC 61903, ausgearbeitet von dem SC 22F „Power electronics for electrical transmission and distribution systems“ des IEC/TC 22 „Power electronics“ wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 1. April 1999 als EN 61803 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2000-01-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2002-04-01

Anhänge, die als „normativ“ bezeichnet sind, gehören zum Norminhalt.

Anhänge, die als „informativ“ bezeichnet sind, enthalten nur Informationen.

In dieser Norm sind die Anhänge A und ZA normativ und die Anhänge B und C informativ.

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 61803:1999 wurde von CENELEC ohne irgendeine Abänderung als Europäische Norm angenommen.

Vorwort zu A1

Der Text des Schriftstücks 22F/214/CDV, zukünftige Änderung 1 zu IEC 61803:1999, ausgearbeitet von dem SC 22F „Power electronics for electrical transmission and distribution systems“ des IEC TC 22 „Power electronic systems and equipment“, wurde der IEC-CENELEC Parallelen Abstimmung unterworfen und von CENELEC am 2010-12-01 als Änderung A1 zu EN 61803:1999 angenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN und CENELEC sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die Änderung auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2011-09-01
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der Änderung entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2013-12-01

Der Anhang ZA wurde von CENELEC hinzugefügt.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Änderung 1:2010 zur Internationalen Norm IEC 61803:1999 wurde von CENELEC als Änderung zur Europäischen Norm ohne irgendeine Abänderung angenommen.

In der offiziellen Fassung ist unter „Literaturhinweise“ zu der aufgelistete Norm die nachstehende Anmerkung einzutragen:

IEC 61378-2:2001 ANMERKUNG Harmonisiert als EN 61378-2:2001 (nicht modifiziert).

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
Vorwort zu A1	2
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe und Symbole	5
3.1 Begriffe	5
3.2 Buchstabensymbole	6
4 Allgemeines	7
4.1 Einleitung	7
4.2 Umgebungsbedingungen	7
4.2.1 Referenz-Normalaußentemperatur	8
4.2.2 Referenz-Normaltemperatur des Kühlmittels	8
4.2.3 Referenz-Normalluftdruck	8
4.3 Betriebsparameter	8
5 Bestimmung der Geräteverluste	9
5.1 Verluste der Thyristorventile	9
5.1.1 Thyristordurchlassverluste je Ventil	9
5.1.2 Thyristorstromausbreitungsverluste je Ventil	10
5.1.3 Weitere Stromleitungsverluste je Ventil	10
5.1.4 Gleichspannungsabhängige Verluste je Ventil	11
5.1.5 Dämpfungsverluste je Ventil (widerstandsabhängiger Anteil)	12
5.1.6 Dämpfungsverluste je Ventil (Anteil durch Änderung der Kondensatorenergie)	12
5.1.7 Abschaltverluste je Ventil	13
5.1.8 Drosselverluste je Ventil	13
5.1.9 Gesamtverluste des Ventils	14
5.1.10 Temperatureinflüsse	14
5.1.11 Leerlaufverluste je Ventil	14
5.2 Verluste des Stromrichtertransformators	15
5.2.1 Allgemeines	15
5.2.2 Leerlaufverluste	15
5.2.3 Betriebsverluste	15
5.2.4 Leistungsverluste durch Hilfsbetriebe	16
5.3 Verluste durch Wechselstromfilter	17
5.3.1 Allgemeines	17
5.3.2 Kondensatorverluste in Wechselstromfiltern	17
5.3.3 Drosselverluste in Wechselstromfiltern	17
5.3.4 Widerstandsverluste in Wechselstromfiltern	18
5.3.5 Gesamtverluste durch Wechselstromfilter	18

	Seite
5.4 Verluste durch Kompensationskondensatorbatterien	18
5.5 Verluste durch Kompensationsdrosseln	18
5.6 Verluste der Gleichstromglättungsdrossel	19
5.7 Verluste durch Gleichstromfilter	19
5.7.1 Allgemeines	19
5.7.2 Verluste durch Gleichstromfilterkondensatoren	20
5.7.3 Verluste durch Gleichstromfilterdrosseln	20
5.7.4 Verluste durch Gleichstromfilterwiderstände	21
5.7.5 Gesamtverluste des Gleichstromfilters	21
5.8 Verluste durch Stationshilfsbetriebe	21
5.9 Verluste von Reihenfiltern	22
5.10 Weitere Verluste	23
Anhang A (normativ) Berechnung der Oberschwingungsströme und -spannungen	29
A.1 Oberschwingungsströme in Stromrichtertransformatoren	29
A.2 Oberschwingungsströme in den Wechselstromfiltern	29
A.3 Oberschwingungsspannungen auf der Gleichstromseite	30
A.4 Gleichstromseitige Oberschwingungsströme in der Glättungsdrossel	30
Anhang B (informativ) Typische Stationsverluste	31
Anhang C (informativ) Literaturhinweise	32
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	33
Bild 1 – Typische HGÜ-Geräte für einen Pol (Hilfsbetriebe nicht dargestellt)	24
Bild 2 – Vereinfachtes Dreiphasenschaltbild eines 12-pulsigen HGÜ-Stromrichters	25
Bild 3 – Vereinfachtes Ersatzschaltbild eines typischen Thyristorventils	25
Bild 4 – Kurvenverläufe von Strom und Spannung an einem Ventil im 12-pulsigen Stromrichter (Kommutierungsüberschwingen nicht dargestellt)	26
Bild 5 – Thyristor-Durchlasskennlinie	27
Bild 6 – Leitungsstrom und entsprechender Spannungsabfall	27
Bild 7 – Aufteilung der Kommutierungsimpedanz zwischen L_1 und L_2	28
Bild 8 – Thyristorstrom während der Sperrerrholzeit	28

1 Anwendungsbereich

Die vorliegende Norm gilt für alle netzkommutierten Hochspannungsgleichstrom- (HGÜ)-Stromrichterstationen, die für den Leistungsaustausch in Netzen von Energieversorgungsunternehmen verwendet werden. Die Norm setzt die Anwendung von 12-pulsigen Thyristorstromrichtern voraus, kann aber auch bei besonderer Beachtung von abweichenden Bedingungen für 6-pulsige Thyristorstromrichter verwendet werden.

In einigen Anwendungsfällen können Synchron- oder statische Blindleistungskompensatoren an die Wechselstromsammelschiene der HGÜ-Stromrichterstation angeschlossen sein. Die Verfahren zur Bestimmung der Verluste solcher Einrichtungen sind in der vorliegenden Norm nicht enthalten.

Das vorliegende Schriftstück stellt eine Reihe von genormten Verfahren zur Bestimmung der Gesamtverluste von HGÜ-Stromrichterstationen vor. Typische HGÜ-Geräte sind im Bild 1 dargestellt. Die Verfahren schließen alle Teile, außer den vorstehend genannten, ein und behandeln Leerlauf- und Betriebsverluste in Verbindung mit ihren Berechnungsverfahren, die, wo immer möglich, gemessene Parameter verwenden.

Bauarten von Stromrichterstationen, die gegenüber der in der vorliegenden Norm zugrunde gelegten typischen Bauart neuartige Bauelemente oder Schaltungsanordnungen enthalten, oder mit unüblichen, die Verluste beeinflussenden Hilfsschaltungen ausgerüstete Bauarten müssen nach ihren eigenen Eigenschaften bewertet werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60076-1, *Power transformers – Part 1: General*

IEC 60076-6, *Power transformers – Part 6: Reactors*

IEC 60633, *Terminology for high-voltage direct current (HVDC) transmission*

IEC 60700-1, *Thyristor valves for high voltage direct current (HVDC) power transmission – Part 1: Electrical testing*

IEC 60747-6, *Semiconductor devices – Part 6: Thyristors*

IEC 60871-1, *Shunt capacitors for a.c. power systems having a rated voltage above 1 000 V – Part 1: General*

3 Begriffe und Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1 Begriffe

3.1.1

Verluste durch Hilfsbetriebe

zur Speisung von Hilfsbetrieben der Stromrichterstation erforderliche elektrische Leistung. Die Verluste durch Hilfsbetriebe hängen davon ab, ob die Station im Leerlauf betrieben oder belastet wird; im Lastfall sind die Verluste durch Hilfsbetriebe von der Höhe der Belastung abhängig.

3.1.2

Leerlaufverluste

in einem Gerät verursachte Verluste, wobei die Stromrichterstation bei blockierten Stromrichtern zugeschaltet ist und alle Hilfsbetriebe für die sofortige Lastaufnahme eingeschaltet sind

3.1.3

Betriebspunkt

Dieser Begriff legt den Gleichstrom, die Gleichspannung, den Zündwinkel, die Wechselspannung und die Stellung des Stufenschalters des Stromrichtertransformators fest, bei denen die Stromrichterstation betrieben wird.

3.1.4

Betriebsverluste

von einem Gerät bei einem vorgegebenen Betriebspunkt verursachte Verluste bei eingeschalteter Stromrichterstation und mit Stromrichtern in Betrieb

3.1.5

Bemessungslast

diese Last ist auf den Betrieb bei den Nennwerten von Gleichstrom, Gleichspannung, Wechselspannung und Zündwinkel des Stromrichters bezogen. Vom Wechselstromnetz wird angenommen, dass es die Nennfrequenz aufweist und die Spannungen der drei Phasen den Nennwert besitzen sowie symmetrisch sind. Die Stellung des Stufenschalters des Stromrichtertransformators und die Anzahl der angeschlossenen Wechselstromfilter und Blindleistungskompensationselemente muss mit dem Betrieb bei Bemessungslast und Nennbedingungen übereinstimmen.

3.1.6

Gesamtverluste der Station

Der Gesamtverlust der Station ist die Summe aller Betriebs- oder Leerlaufverluste und der entsprechenden Verluste durch Hilfsbetriebe.

3.1.7

Lasten der erforderlichen Stationshilfsbetriebe

Lasten, deren Ausfall die Leistungsübertragungsfähigkeit der HGÜ-Station beeinflusst (z. B. Ventilkühlung), sowie die Lasten, die bei einem vollständigen Ausfall der Wechselstromversorgung in Betrieb bleiben müssen (z. B. Batterieladegeräte, Antriebe)

ANMERKUNG Die gesamten „Betriebsverluste“ minus der „Leerlaufverluste“ können als gleichwertig zu den „last-abhängigen Verlusten“ wie in der Praxis herkömmlicher Wechselstromstationen betrachtet werden.

3.2 Buchstabensymbole

α Steuerwinkel (Zündverzögerungswinkel), in rad

μ Überlappungswinkel (Kommutierungswinkel), in rad

f Frequenz des Wechselstromnetzes, in Hz

I_d Gleichstrom, in A

I_n Effektivwert des Oberschwingungsstromes der Ordnung n , in A

L_1 auf die Ventilwicklung bezogene Induktivität, in H, zwischen der Kommutierungsspannungsquelle und dem Punkt der gemeinsamen Kopplung zwischen im Stern und Dreieck geschalteten Wicklungen. L_1 muss alle äußeren Induktivitäten zwischen den Netzwicklungsanschlüssen des Transformators und dem Anschlusspunkt des Wechselstromoberschwingungsfilters enthalten.

L_2 auf die Ventilwicklung bezogene Induktivität, in H, zwischen dem Punkt der gemeinsamen Kopplung zwischen im Stern und Dreieck geschalteten Wicklungen und dem Ventil. L_2 muss die gesättigte Induktivität der Ventildrosseln enthalten.

m elektromagnetischer Kommutierungseinbruch-Kopplungsfaktor $m = \frac{L_1}{L_1 + L_2}$

n Ordnungszahl der Oberschwingung

N_t Anzahl der in Reihe geschalteten Thyristoren je Ventil

P Leistungsverlust eines Betriebsmittels der Einrichtung, in W

Q_n Qualitätsfaktor (Q -Faktor) bei der Oberschwingungszahl n

A1		R	Widerstandswert, in Ω
		U_d	Gleichspannung, in V
		U_n	Effektivwert der Oberschwingungsspannung n -ter Ordnung, in V
A1		U_{v0}	Effektivwert der ventileseitigen Leerlaufspannung zwischen den Wechselstromanschlüssen des Stromrichtertransformators ohne Oberschwingungen, in V
		X_n	induktiver Blindwiderstand bei der Oberschwingung n -ter Ordnung, in Ω

4 Allgemeines

4.1 Einleitung

Lieferanten müssen im Detail wissen, wie und wo Verluste entstehen, da diese die Bemessungswerte der Bauelemente und Geräte beeinflussen. Käufer sind an einer nachweisbaren Verlustgröße interessiert, die einen unvoreingenommenen Angebotsvergleich zulässt, und an einem Verfahren, mit dem nach der Lieferung die vom Lieferanten garantierten Anforderungen an das Betriebsverhalten objektiv bewertet werden können.

Als allgemeines Prinzip wäre es wünschenswert, den Wirkungsgrad einer HGÜ-Stromrichterstation durch direkte Messung ihrer Leistungsverluste zu bestimmen. Versuche, die Stationsverluste durch Subtraktion der gemessenen Ausgangsleistung von der gemessenen Eingangsleistung zu bestimmen, lassen jedoch erkennen, dass solche Messungen mit einer systemimmanenten Ungenauigkeit behaftet sind, besonders wenn sie bei Hochspannung durchgeführt werden. Die Verluste einer HGÜ-Stromrichterstation sind bei voller Last im Allgemeinen kleiner als 1 % der übertragenen Leistung. Daher ergeben die Verluste, die als kleine Differenz zweier großer Werte gemessen werden, wahrscheinlich keine ausreichend genaue Aussage zu den wirklichen Verlusten.

Es kann unter besonderen Umständen möglich sein, eine zeitweilige Prüfschaltung einzurichten, bei der zwei Stromrichter aus derselben Wechselstromquelle betrieben werden und in der auch ihre Gleichstromanschlüsse miteinander verbunden sind. In dieser Schaltung ist die Leistung, die aus der Wechselspannungsquelle aufgenommen wird, gleich den Verlusten. Die Wechselspannungsquelle muss jedoch auch die Blindleistungstützung und die Kommutierungsspannung an die beiden Stromrichter liefern. Auch hier gibt es wieder praktische Schwierigkeiten bei der Messung.

Um die vorstehend beschriebenen Probleme zu vermeiden, normt das vorliegende Schriftstück ein Verfahren zur Berechnung der Verluste der HGÜ-Stromrichterstation durch Summierung der Verluste, die für jedes Gerät berechnet wurden. Das genormte Berechnungsverfahren hilft dem Käufer, die vorliegenden Angebote sinnvoll zu vergleichen. Es lässt außerdem eine einfache Erstellung von Kennlinien des Betriebsverhaltens für den breiten Bereich der Betriebsbedingungen zu, in dem das Betriebsverhalten bekannt sein muss. Da ein kostengünstiges experimentelles Verfahren, das für eine objektive Bewertung der Verluste während der Typprüfungen verwendet werden kann, nicht vorliegt, ist das Berechnungsverfahren die nächstbeste Alternative, da sie, wo immer möglich, experimentelle Werte verwendet, die aus Messungen an einzelnen Einrichtungen oder Bauelementen unter Bedingungen erhalten wurden, die den im tatsächlichen Betrieb auftretenden äquivalent sind.

Es ist wichtig zu beachten, dass die Leistungsverluste jedes Gerätes sowohl von den Umgebungsbedingungen abhängen, unter denen es betrieben wird, als auch von den Betriebsbedingungen oder den Lastspielen, denen es unterworfen ist. Die Umgebungs- und Betriebsbedingungen müssen daher für jedes Gerät auf der Grundlage der Umgebungs- und Betriebsbedingungen der vollständigen HGÜ-Stromrichterstation festgelegt werden.

4.2 Umgebungsbedingungen

Für die Bestimmung der Leistungsverluste in HGÜ-Stromrichterstationen müssen eine Reihe von genormten Referenz-Umgebungsbedingungen verwendet werden.

4.2.1 Referenz-Normalaußentemperatur

Als Referenz-Normaltemperatur für die Bestimmung der Gesamtverluste der Stromrichterstation muss eine Trockenthermometer-Temperatur der äußeren Umgebung von 20 °C verwendet werden. Die entsprechende Temperatur am Verdunstungsthermometer muss (wo erforderlich) vom Anwender festgelegt werden. Die entsprechende Temperatur der Ventilhalle wird vom Lieferanten festgelegt.

ANMERKUNG Wenn nicht festgelegt, wird eine Feuchtlufttemperatur von 14 °C empfohlen, was näherungsweise einer Trockenlufttemperatur von 20 °C bei 50 % relativer Luftfeuchte entspricht.

4.2.2 Referenz-Normaltemperatur des Kühlmittels

Wo für Geräte Zwangskühlung verwendet wird, kann die Durchflussgeschwindigkeit und Temperatur des Kühlmittels die Erwärmung und die damit verbundenen Verluste dieser Geräte beeinflussen. Die vom Anwender und Lieferanten vereinbarten Temperaturen und Durchflussgeschwindigkeiten des Kühlmittels müssen deshalb bei der Bestimmung der Verluste verwendet werden.

4.2.3 Referenz-Normalluftdruck

Bei der Bewertung der Gesamtverluste der Stromrichterstation muss als Referenz-Luftdruck der auf die Aufstellungshöhe der in Frage kommenden Anlage korrigierte Normalluftdruck (101,3 kPa) verwendet werden.

4.3 Betriebsparameter

Die Verluste einer HGÜ-Stromrichterstation sind von ihren Betriebsparametern abhängig.

Die Verluste von HGÜ-Stromrichterstationen werden in drei Kategorien eingeteilt, die Leerlaufverluste, die Betriebsverluste und die Verluste durch Hilfsbetriebe.

Die Betriebsverluste und die Verluste durch Hilfsbetriebe werden vom Betriebspunkt beeinflusst, weil die Anzahl bestimmter Arten von eingeschalteten Geräten (beispielsweise Oberschwingungsfilter und Kühleinrichtungen) vom Betriebspunkt abhängen können und weil sich die Verluste einzelner Geräte selbst mit dem Betriebspunkt ändern.

Verluste von HGÜ-Stromrichterstationen müssen bei (symmetrischer) Nennspannung und Nennfrequenz des Wechselstromnetzes bestimmt werden. Es muss davon ausgegangen werden, dass sich der Stufenschalter des Transformators in der Stellung befindet, die der Nennspannung des Wechselstromnetzes entspricht oder die durch die Anlagensteuerung entsprechend der Betriebsbedingung vorgegeben wird.

Die Betriebsverluste müssen für die vom Anwender festgelegten Betriebspunkte ermittelt werden oder, wenn keine solchen Bedingungen festgelegt sind, bei der Bemessungslast. Für jeden Betriebspunkt müssen die Wechselspannung der Ventilwicklung, der Gleichstrom, der Zündwinkel des Stromrichters, die Blindleistungskompensation und die zugeschalteten Oberschwingungsfilter mit dem entsprechenden Betriebspunkt und anderen festgelegten Anforderungen an das Betriebsverhalten, beispielsweise bezogen auf die Oberschwingungsverzerrungen und Blindleistung, übereinstimmen. Bezüglich Kühl- und anderen Hilfseinrichtungen ist davon auszugehen, dass sie, soweit es für die Referenz-Normaltemperatur (siehe 4.2.1 und 4.2.2) erforderlich ist, zum Betrieb bei der entsprechenden Last angeschlossen sind.

In der Leerlaufbetriebsart müssen die Transformatoren zugeschaltet und die Stromrichter blockiert sein. Alle Filter und Blindleistungs-Kompensationseinrichtungen müssen abgeschaltet sein, außer jenen, die zur Aufrechterhaltung des Betriebes im Leerlauf erforderlich sind, zum Beispiel, um die festgelegten Anforderungen an die Blindleistung zu erfüllen. Hilfsbetriebe und Hilfseinrichtungen (z. B. Kühlwasserpumpen), die für die sofortige Lastaufnahme der Stromrichterstation erforderlich sind, müssen angeschlossen sein.

5 Bestimmung der Geräteverluste

5.1 Verluste der Thyristorventile

Der Mechanismus der Entstehung von Verlusten bei blockierten Ventilen (Leerlaufverluste) unterscheidet sich von denen, die für den bestimmungsgemäßen Betrieb gelten (Betriebsverluste). Betriebsverluste werden in 5.1.1 bis 5.1.10 und Leerlaufverluste in 5.1.11 behandelt. Verluste durch Hilfsbetriebe sind Gegenstand von 5.8.

Ein vereinfachtes Dreiphasenschaltbild eines 12-pulsigen HGÜ-Stromrichters ist in Bild 2 dargestellt. Die einzelnen Ventile sind in der Reihenfolge gekennzeichnet, in der sie leitend sind.

A1 | In Bild 3 ist ein vereinfachtes Ersatzschaltbild eines typischen Ventils dargestellt. Das Symbol th fasst die Wirkungen von N_t Thyristoren zusammen, die in dem Ventil in Reihe geschaltet sind. C_{AC} und R_{AC} sind die entsprechenden zusammengefassten Werte der RC-Dämpfungsstromkreise, die für die Spannungsaufteilung und Überspannungsunterdrückung verwendet werden. R_{DC} entspricht den Gleichspannungs-Aufteilungswiderständen und weiteren ohmschen Anteilen, die Verluste bewirken, wenn das Ventil die Spannung blockiert. Diese Größe schließt auch die Wirkungen des Thyristorsperrstromes ein (siehe 5.1.4 und 5.1.11). C_S enthält sowohl Streukapazitäten als auch Kondensatoren zum Aufteilen von Stoßspannungen (falls verwendet). L_S stellt sättigbare Drosseln dar, die für die Begrenzung der Stromanstiegsbeanspruchung (di/dt) auf sichere Werte und die Verbesserung der Aufteilung rasch ansteigender Spannungen verwendet werden. R_S enthält die Widerstände der stromleitenden Bauteile des Ventils, wie z. B. Sammelschienen, Kontaktwiderstände, Wicklungswiderstand der sättigbaren Drosseln usw. Leistungsverluste in den Ventil-Überspannungsableitern (nicht dargestellt) werden vernachlässigt.

In Bild 4 sind als Beispiel Strom- und Spannungskurvenverläufe am Ventil 1 (nach Bild 2) dargestellt, wenn es in der Gleichrichter- und Wechselrichterbetriebsart betrieben wird. Im Beispiel ist gezeigt, dass die Zündzeitpunkte der Ventile des oberen Brückenteils um 30° gegenüber den Ventilen des unteren Brückenteils verschoben sind, verursacht durch die Phasenverschiebung der beiden Sekundärwicklungen. Die Länge der Stromflusszeiten beträgt für jedes Ventil 130° ($2\pi/3 + \mu$). Im Sinne der vorliegenden Norm wird der Ventilstrom während der Kommutierungen als sich linear ändernd angenommen, während in Wirklichkeit die Ventilströme dem Verlauf der Sinuswellen folgen. Diese Vereinfachung hat einen vernachlässigbaren Einfluss auf die sich ergebenden Verluste, während die trapezförmige Kurvenform die Berechnungen bedeutend vereinfacht. Die durch das Ventil blockierte Spannung zeigt Kommutierungseinbrüche, die durch Kommutierungen zwischen einzelnen Ventilen hervorgerufen werden.

5.1.1 Thyristordurchlassverluste je Ventil

Diese Verlustkomponente ist das Produkt aus dem Durchlassstrom $i(t)$ und der entsprechenden idealen Durchlassspannung, wie es in den Bildern 5 und 6 dargestellt ist. Unter der Voraussetzung, dass der Brückengleichstrom gut geglättet ist, muss die Gleichung für P_{V1a} verwendet werden. Für den Fall, dass der Effektivwert der nach A.4 bestimmten Oberschwingungsströme auf der Gleichstromseite 5 % der Gleichstromkomponente überschreitet, muss statt dessen die Gleichung für P_{V1b} verwendet werden.

$$P_{V1a} = \frac{N_t \cdot I_d}{3} \left[U_0 + R_0 \cdot I_d \cdot \left(\frac{2\pi - \mu}{2\pi} \right) \right]$$

$$P_{V1b} = \frac{N_t \cdot I_d \cdot U_0}{3} + \frac{N_t \cdot R_0}{3} \left(I_d^2 + \sum_{n=12}^{n=48} I_n^2 \right) \left(\frac{2\pi - \mu}{2\pi} \right)$$

Dabei ist

- U_0 die stromunabhängige Komponente der Durchlassspannung des durchschnittlichen Thyristors (siehe Anmerkung), in V;
- R_0 der Anstieg der Durchlasskennlinie des durchschnittlichen Thyristors (siehe Anmerkung), in Ω ;
- I_n der berechnete Effektivwert des Oberschwingungsstromes n -ter Ordnung im Gleichstrombrückenanschluss nach A.4.