

Wechselstromschaltgeräte für Spannungen über 1 kV Hochspannungs-Wechselstrom-Leistungsschalter Einstufung

DIN
VDE 0670
Teil 102

Diese auch vom Vorstand des Verbandes Deutscher Elektrotechniker (VDE) e.V. genehmigte Norm ist damit zugleich eine **VDE-Bestimmung** im Sinne von VDE 0022. Sie ist unter obenstehender Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der etz Elektrotechnische Zeitschrift bekanntgegeben worden.

A.c. switchgear and controlgear for voltages above 1 kV;
High-voltage a.c. circuit-breakers;
Rating
Appareillage pour courant alternatif de tension supérieure à 1 kV;
Disjoncteur à courant alternatif à haute tension;
Caractéristiques assignées

Mit
DIN VDE 0670 Teil 1000/08.84
Ersatz für
DIN 57670 Teil 102/
VDE 0670 Teil 102/02.82

Zusammenhang mit dem CENELEC-Harmonisierungsdokument HD 348 S3:1989 und mit der von der International Electrotechnical Commission herausgegebenen Publikation IEC 56:1987, vierte Ausgabe, „High-voltage alternating-current circuit-breakers“ (siehe Erläuterungen).

Aufteilung von HD 348 S3 auf DIN VDE 0670 Teil 101 bis 106 (siehe Erläuterungen).

Hinweise auf IEC 694 beziehen sich auf die Ausgabe 1980.

Hinweise auf DIN VDE 0670 Teil 1000 beziehen sich auf die Ausgabe August 1984 (siehe Erläuterungen). Diese Norm enthält die allgemein für Hochspannungsgeräte gültigen Festlegungen der grundlegenden Norm DIN VDE 0670 Teil 1000 = HD 448 = IEC 694, die vorrangig für alle im Aufgabenbereich des K 432 liegenden Normen der Reihe DIN VDE 0670 gilt.

Nach DIN VDE 0670 Teil 1000, Abschnitt 4.1, entspricht die Nennspannung der oberen Grenze der höchsten Spannung der Netze, für welche das Schaltgerät vorgesehen ist.

Eine Neufestlegung dieser Bezeichnung kann erst nach Überarbeitung von DIN VDE 0670 Teil 1000 im Rahmen der Harmonisierung durch CENELEC vorgenommen werden.

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm (VDE-Bestimmung) gilt ab 1. Dezember 1992.

Daneben gilt DIN 57670 Teil 102/VDE 0670 Teil 102/02.82 noch bis zum 31. Mai 1994.

Der Norm-Inhalt war als Entwurf DIN VDE 0670 Teil 102/04.86 veröffentlicht.

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	2
2 Betriebsbedingungen	2
3 Begriffe	2
4 Einstufung	2
Tabellen 1 bis 10	5
Bilder 8 bis 14	18
Anhang AA Berechnung von Einschwingspannungen für Abstandskurzschluß aus den Nenngößen	23
Anhang BB Einschaltströme von Kondensatorbatterien	26
Erläuterungen	28

Fortsetzung Seite 2 bis 29

Deutsche Elektrotechnische Kommission im DIN und VDE (DKE)

1 Anwendungsbereich

Siehe IEC 56 (= DIN VDE 0670 Teil 101).

2 Betriebsbedingungen

Siehe IEC 56 (= DIN VDE 0670 Teil 101).

3 Begriffe

Siehe IEC 56 (= DIN VDE 0670 Teil 101).

4 Einstufung

Ein ordnungsgemäß instandgehaltener und eingestellter Leistungsschalter muß alle im Betrieb auftretenden Beanspruchungen beherrschen, vorausgesetzt, daß diese die Nenngrößen nicht überschreiten.

Zur Einstufung eines Leistungsschalters einschließlich seiner Betätigungs- und Hilfseinrichtungen werden die folgenden Größen gewählt:

- (A) Nenngrößen, die bei allen Leistungsschaltern anzugeben sind:
 - a) Nennspannung
 - b) Nenn-Isolationspegel
 - c) Nennfrequenz
 - d) Nenn(betriebs)strom
 - e) Nenn-Kurzzeitstrom
 - f) Nenn-Stoßstrom
 - g) Nenn-Kurzschlußdauer für Leistungsschalter, die nicht mit einem Primärauslöser ausgerüstet sind.
 - h) Nenn-Versorgungsspannung der Ein- und Ausschaltvorrichtungen und der Hilfsstromkreise
 - i) Nennfrequenz der Ein- und Ausschaltvorrichtungen und der Hilfsstromkreise
 - j) Nenn-Überdrücke der Druckgasversorgung für Betätigung und Lichtbogenlöschung
 - k) Nenn-Kurzschlußausschaltstrom
 - l) Nenn-Einschwingspannung bei Klemmenkurzschluß
 - m) Nenn-Kurzschlußeinschaltstrom
 - n) Nennschaltfolge
- (B) Nenngrößen, die in den folgenden besonderen Fällen anzugeben sind:
 - o) Nenngrößen bei Abstandskurzschluß für dreipolige Leistungsschalter, die für einen direkten Anschluß an Freileitungen vorgesehen sind und eine Nennspannung von 52 kV und darüber und einen Nenn-Kurzschlußausschaltstrom von mehr als 12,5 kA aufweisen.
 - p) Nenn-Freileitungsausschaltstrom (Nenn-Ausschaltstrom beim Ausschalten einer unbelasteten Freileitung) für dreipolige Leistungsschalter, die zum Schalten von Freileitungen vorgesehen sind und eine Nennspannung von 72,5 kV und darüber haben.
- (C) Nenngrößen, die auf Verlangen anzugeben sind:
 - q) Nenn-Ausschaltstrom unter Asynchronbedingungen
 - r) Nenn-Kabelausschaltstrom
 - s) Nenn-Kondensatorausschaltstrom
 - t) Nenn-Kondensatorparallelausschaltstrom
 - u) Nenn-Kondensatoreinschaltstrom
 - v) Nenn-Ausschaltstrom für kleine induktive Ströme
 - w) Nenn-Schaltzeiten

4.1 Nennspannung

Nach IEC 694 (= DIN VDE 0670 Teil 1000), Abschnitt 4.1.

4.2 Nenn-Isolationspegel

Nach IEC 694 (= DIN VDE 0670 Teil 1000), Abschnitt 4.2.

4.2.1 Nennspannungen bis 72,5 kV

Nach IEC 694 (= DIN VDE 0670 Teil 1000), Abschnitt 4.2.1 und Tabelle 1, mit Ausnahme der Spalten 3, 5 und 7.

Tabelle 1

Nennspannungen Serie II für USA und Kanada entfällt.

4.2.2 Nennspannungen von 100 kV bis 245 kV

Nach IEC 694 (= DIN VDE 0670 Teil 1000), Abschnitt 4.2.2 und Tabelle 3, mit Ausnahme der Spalten 3 und 5.

4.2.3 Nennspannungen ab 300 kV

Nach IEC 694 (= DIN VDE 0670 Teil 1000), Abschnitt 4.2.3, mit folgender Ergänzung:

Normwerte der Nenn-Stehschaltstoßspannung über den offenen Leistungsschalter sind in IEC 694 (= DIN VDE 0670 Teil 1000), Tabelle 4, Spalte 5, angegeben.

Bei Synchronisierschaltungen, bei denen gleichzeitig eine erhebliche Schaltüberspannung auftritt, wie z.B. beim Zuschalten einer langen Leitung, kann möglicherweise die Isolationsfestigkeit eines Standard-Leistungsschalters ausreichend sein. Es wird vorgeschlagen, in solchen Fällen, die einer Vereinbarung zwischen Hersteller und Betreiber unterliegen, entweder einen Leistungsschalter mit höherer Nennspannung oder einen Leistungsschalter zu verwenden, bei dem eine erschwerte dielektrische Prüfung über den offenen Leistungsschalter durchgeführt wird. Hierfür ist die Nenn-Stehschaltstoßspannung über den offenen Leistungsschalter in IEC 694 (= DIN VDE 0670 Teil 1000), Tabelle 4, Spalte 6, angegeben.

4.3 Nennfrequenz

Nach IEC 694 (= DIN VDE 0670 Teil 1000), Abschnitt 4.3.

4.4 Nenn(betriebs)strom und Erwärmung

Nach IEC 694 (= DIN VDE 0670 Teil 1000), Abschnitte 4.4.1 und 4.4.2, mit folgenden Ergänzungen:

Die Werte der Nenn(betriebs)ströme sind aus den nachstehenden Normwerten auszuwählen:

400; 630; 800; 1250; 1600; 2000; 2500; 3150; 4000; 5000; 6300 A

Anmerkung: Die oben angegebenen Werte sind aus der Reihe R 10 ausgewählt. Falls nötig, sollten höhere als die angegebenen Werte auch aus dieser Reihe gewählt werden.

Ist der Leistungsschalter mit in Serie geschalteten Zusatzgeräten, wie Primärauslöser, ausgerüstet, so ist der Nenn(betriebs)strom des Zusatzgerätes der Effektivwert des Stromes, welchen das Zusatzgerät dauernd ohne Beschädigung bei seiner Nennfrequenz führen kann. Dabei darf die Übertemperatur die in IEC 694 (= DIN VDE 0670 Teil 1000), Tabelle 5, angegebenen Werte nicht übersteigen.

4.5 Nenn-Kurzzeitstrom

Nach IEC 694 (= DIN VDE 0670 Teil 1000), Abschnitt 4.5, mit folgender Ergänzung:

Der Nenn-Kurzzeitstrom ist gleich dem Nenn-Kurzschlußausschaltstrom (siehe Abschnitt 4.101).

4.6 Nenn-Stoßstrom

Nach IEC 694 (= DIN VDE 0670 Teil 1000), Abschnitt 4.6, mit folgender Ergänzung:

Der Nenn-Stoßstrom ist gleich dem Nenn-Kurzschlußein-schaltstrom (siehe Abschnitt 4.103).

4.7 Nenn-Kurzschlußdauer

Nach IEC 694 (= DIN VDE 0670 Teil 1000), Abschnitt 4.7, mit folgender Ergänzung:

Die Angabe einer Nenn-Kurzschlußdauer ist für Leistungsschalter mit Primärstromauslöser nicht erforderlich, vorausgesetzt, daß bei Einsatz in einem Stromkreis mit einem unbeeinflussten Ausschaltstrom gleich dem Nenn-Kurzschlußausschaltstrom der resultierende Strom während der Ausschaltzeit des mit der Nenn-Schaltfolge schaltenden Leistungsschalters vom Leistungsschalter geführt werden kann. Der Überstromauslöser ist hierbei auf die größte Zeitverzögerung eingestellt.

4.8 Nenn-Versorgungsspannung der Ein- und Ausschaltvorrichtungen und der Hilfsstromkreise

Nach IEC 694 (= DIN VDE 0670 Teil 1000), Abschnitt 4.8, mit folgender Ergänzung:

Die festgelegte obere Grenze der Versorgungsspannung für die Einschaltpule muß 105 % der Nenn-Versorgungsspannung betragen.

4.9 Nennfrequenz der Ein- und Ausschaltvorrichtungen und der Hilfsstromkreise

Nach IEC 694 (= DIN VDE 0670 Teil 1000), Abschnitt 4.9.

4.10 Nenn-Überdrücke der Druckgasversorgung für Betätigung und für Lichtbogenlöschung

Werte des Überdruckes bei der Füllung des Leistungsschalters.

Für den Nenn-Überdruck der Druckgasversorgung für die Betätigung gilt IEC 694 (= DIN VDE 0670 Teil 1000), Abschnitt 4.10.

Für den Nenn-Überdruck der Druckgasversorgung für die Lichtbogenlöschung werden keine Normwerte angegeben.

4.101 Nenn-Kurzschlußausschaltstrom

Der Nenn-Kurzschlußausschaltstrom ist der höchste Kurzschlußstrom, den der Leistungsschalter unter den in dieser Norm vorgeschriebenen Anforderungen in einem Stromkreis mit einer betriebsfrequenten wiederkehrenden Spannung entsprechend der Nennspannung des Leistungsschalters und einer Einschwingspannung nach Abschnitt 4.102 ausschalten können muß. Für dreipolige Leistungsschalter bezieht sich die Wechselstromkomponente auf einen dreiphasigen Kurzschluß. Gegebenenfalls sind die den Abstandskurzschluß betreffenden Bestimmungen des Abschnittes 4.105 zu berücksichtigen.

Der Nenn-Kurzschlußausschaltstrom wird durch zwei Werte gekennzeichnet:

- den Effektivwert der Wechselstromkomponente, abgekürzt „Nenn-Kurzschlußstrom“ und
- die auf den Scheitelwert des Nenn-Kurzschlußstromes bezogene Gleichstromkomponente.

Anmerkung: Wenn die Gleichstromkomponente 20 % nicht überschreitet, wird der Nenn-Kurzschlußausschaltstrom allein durch den Effektivwert der Wechselstromkomponente gekennzeichnet.

Zur Bestimmung der Wechsel- und Gleichstromkomponente siehe Bild 8.

Der Leistungsschalter muß imstande sein, unter den oben erwähnten Bedingungen alle Kurzschlußströme bis zu einem Nenn-Kurzschlußausschaltstrom auszuschalten, der eine beliebige Wechselstromkomponente bis zum Nennwert und eine zugehörige beliebige bezogene Gleichstromkomponente bis zum festgelegten Wert enthalten kann.

Außerdem gilt:

- a) Bei Spannungen unterhalb der Nennspannung ist der Leistungsschalter imstande, seinen Nenn-Kurzschlußausschaltstrom auszuschalten.

Anmerkung: Leistungsschaltern mit Nennspannungen bis einschließlich 72,5 kV, die nachgewiesene Nenn-Kurzschlußausschaltströme I bei zwei verschiedenen Nennspannungen U haben, können Zwischenwerte zugeordnet werden, wobei die Zwischenwerte zwischen den nachgewiesenen Nennwerten in logarithmischer Darstellung $\lg U$ als Funktion von $\lg I$ auf einer Geraden liegen. Im Zweifelsfalle sind Versuche durchzuführen, um die Gültigkeit dieser Interpolation zu bestätigen.

- b) Für Spannungen oberhalb der Nennspannung wird für Leistungsschalter mit Ausnahme des in Abschnitt 4.106 vorgesehenen Falles kein Ausschaltstrom festgelegt.

4.101.1 Wechselstromkomponente des Nenn-Kurzschlußausschaltstromes

Der Effektivwert der Wechselstromkomponente des Nenn-Kurzschlußausschaltstromes ist aus den nachfolgenden Werten auszuwählen:

6,3; 8; 10; 12,5; 16; 20; 25; 31,5; 40; 50; 63; 80; 100 kA.

Anmerkung: Obige Werte sind aus der Reihe R 10 ausgewählt. Falls erforderlich, sind höhere Werte ebenfalls aus der Reihe R 10 auszuwählen.

4.101.2 Gleichstromkomponente des Nenn-Kurzschlußausschaltstromes

Die bezogene Gleichstromkomponente ist wie folgt zu ermitteln:

- a) Bei einem Leistungsschalter, der direkt durch den Kurzschlußstrom ohne Hilfsenergie ausgelöst werden kann, muß die bezogene Gleichstromkomponente einem Zeitintervall τ entsprechen, das gleich der kleinsten Ausschaltzeit des Leistungsschalters ist.
- b) Bei einem Leistungsschalter, der nur durch Hilfsenergie in irgendeiner Form ausgelöst werden kann, muß die bezogene Gleichstromkomponente einem Zeitintervall τ entsprechen, das gleich der kleinsten Ausschaltzeit des Leistungsschalters plus einer halben Periode der Nennfrequenz ist.

Die oben erwähnte kleinste Ausschaltzeit ist die kürzeste unter beliebigen Betriebsbedingungen, bei einer Ausschaltung oder einem Ein-Aus-Schaltspiel, erreichbare Ausschaltzeit des Leistungsschalters.

Der bezogene Wert der Gleichstromkomponente hängt vom Zeitintervall τ ab. Die zeitliche Abhängigkeit für den Normalfall (Zeitkonstante 45 ms) ist in Bild 9 angegeben.

Anmerkung: Für spezielle Anwendungen, beispielsweise wenn ein Leistungsschalter in der Nähe eines Generators angeordnet ist, kann die der Ausschaltzeit des Leistungsschalters entsprechende bezogene Gleichstromkomponente höher als die in Bild 9 angegebenen Werte sein. Diese beruhen

auf einer vernachlässigbaren Abnahme der Wechselstromkomponente des Kurzschlußstromes und auf einem exponentiellen Abfall der Gleichstromkomponente auf 80 % ihres Anfangswertes innerhalb von 10 ms, d.h. einer Zeitkonstanten von etwa 45 ms. In diesem Fall soll die erforderliche bezogene Gleichstromkomponente in der Anfrage festgelegt und die Prüfung zwischen Hersteller und Betreiber vereinbart werden.

4.102 Nenn-Einschwingspannung bei Klemmenkurzschluß

Die Nenn-Einschwingspannung bei Klemmenkurzschluß, die sich auf den Nenn-Kurzschlußausschaltstrom nach Abschnitt 4.101 bezieht, ist die Bezugsspannung, welche den Grenzwert der unbeeinflussten Einschwingspannung von Stromkreisen bildet, die der Leistungsschalter im Falle eines Kurzschlusses mit Nenn-Kurzschlußausschaltstrom an seinen Anschlüssen ausschalten können muß.

4.102.1 Darstellung des Verlaufes der Einschwingspannung

Der Verlauf der Einschwingspannung hängt vom Aufbau der jeweils vorliegenden Stromkreise ab.

In einigen Fällen, insbesondere in Netzen mit Spannungen über 100 kV und dort, wo die Kurzschlußströme im Verhältnis zum maximalen Kurzschlußstrom des Netzes relativ groß sind, enthält die Einschwingspannung einen Anfangsteil mit großer Steilheit, an den sich ein Zeitintervall mit einer niedrigeren Steilheit anschließt. Dieser typische Verlauf wird im allgemeinen genügend genau durch eine Hüllkurve dargestellt, die aus drei geraden, durch vier Parameter definierten Linienzügen besteht.*)

In anderen Fällen, insbesondere in Netzen mit einer Spannung kleiner als 100 kV oder in Netzen mit Spannungen größer als 100 kV unter Bedingungen, bei denen die Kurzschlußströme im Verhältnis zu den größten Kurzschlußströmen des Netzes klein sind und über Transformatoren eingespeist werden, ist die Einschwingspannung näherungsweise eine gedämpfte Schwingung mit einer einzigen Frequenz. Dieser Verlauf wird genügend genau durch eine Hüllkurve dargestellt, die aus zwei geraden, durch zwei Parameter definierten Linienzügen besteht.*)

Diese Darstellung durch zwei Parameter bildet einen Sonderfall der Darstellung durch vier Parameter.

Eine am Einbauort des Leistungsschalters auf der Speise-seite vorhandene Kapazität bewirkt eine kleinere Steilheit der Spannung während der ersten Mikrosekunden der Einschwingspannung. Dies wird durch Einführen einer fiktiven Zeitverzögerung berücksichtigt.

Jeder Teil der Einschwingspannung kann die Ausschaltleistung eines Leistungsschalters beeinflussen. Für bestimmte Arten von Leistungsschaltern kann der allererste Beginn der Einschwingspannung von Bedeutung sein. Dieser Teil der Einschwingspannung, Anfangs-Einschwingspannung genannt, wird durch Schwingungen kleiner Amplituden verursacht, die durch Reflexionen an der ersten größeren Diskontinuität auf der Sammelschiene entstehen. Die Anfangs-Einschwingspannung ist hauptsächlich durch die Anordnung der Sammelschiene und des Leitungsfeldes in der Schaltanlage bestimmt. Die Anfangs-Einschwingspannung ist eine Erscheinung, die dem

Abstandskurzschluß sehr ähnlich ist. Im Vergleich zum Abstandskurzschluß ist der erste Spannungsscheitel ziemlich niedrig, die Zeit bis zum ersten Scheitel ist jedoch außerordentlich kurz, d.h., er tritt innerhalb der ersten Mikrosekunden nach Strom-Null auf. Aus diesem Grunde wird die Ausschaltung möglicherweise im thermischen Bereich beeinflusst.

Falls ein Leistungsschalter ein Nenn-Ausschaltvermögen für Abstandskurzschluß hat, werden die Forderungen hinsichtlich der Anfangs-Einschwingspannung als erfüllt angenommen, wenn die Abstandskurzschlußprüfungen mit einer Leitung ohne Zeitverzögerung durchgeführt werden (siehe IEC 56 (= DIN VDE 0670 Teil 104), Abschnitt 6.104.5.2).

Da die Anfangs-Einschwingspannung proportional dem Wellenwiderstand der Sammelschiene und dem Strom ist, darf sie für metallgekapelte Schaltanlagen wegen des niedrigen Wellenwiderstandes und für Schaltgeräte mit Nenn-Kurzschlußausschaltströmen unter 25 kA vernachlässigt werden.

4.102.2 Darstellung der Nenn-Einschwingspannung

Zur Darstellung der Nenn-Einschwingspannung werden folgende Parameter verwendet:

a) 4-Parameter-Linienzug (siehe Bild 10)

- u_1 erste Bezugsspannung, in kV
- t_1 Zeit, nach der u_1 erreicht wird, in μ s
- u_c zweite Bezugsspannung (Scheitelwert der Einschwingspannung), in kV
- t_2 Zeit, nach der u_c erreicht wird, in μ s

b) 2-Parameter-Linienzug (siehe Bild 11)

- u_c Bezugsspannung (Scheitelwert der Einschwingspannung), in kV
- t_3 Zeit, nach der u_c erreicht wird, in μ s

c) Verzögerungslinie der Nenn-Einschwingspannung (siehe Bild 10 und 11)

- t_d Anfangspunkt der Nenn-Verzögerungslinie auf der Zeitachse, in μ s
- u' Bezugsspannung für Endpunkt der Nenn-Verzögerungslinie, in kV
- t' Zeit, nach der u' erreicht wird, in μ s

Die Verzögerungslinie beginnt auf der Zeitachse bei der Zeitverzögerung t_d , läuft dann parallel zum ersten Teil des Referenzlinienzuges und endet bei einer Spannung u' (Zeitpunkt t').

d) Anfangs-Einschwingspannung (siehe Bild 12)

- u_i Bezugsspannung (Scheitelwert der Anfangs-Einschwingspannung), in kV
- t_i Zeit, nach der u_i erreicht wird, in μ s

Die Steilheit der Anfangs-Einschwingspannung hängt von der Größe des unterbrochenen Stromes, ihre Amplitude von der Entfernung der ersten Diskontinuität auf der Sammelschiene ab. Die Nenn-Anfangs-Einschwingspannung wird dargestellt durch einen Referenzlinienzug bestehend aus:

1. einer geraden Linie zwischen Ursprung und dem Punkt (u_i ; t_i),
2. einer horizontalen, geraden Linie vom Punkt (u_i ; t_i), welche die Verzögerungslinie der festgelegten Einschwingspannung im Punkt A schneidet.

*) Methoden zum Zeichnen der Hüllkurven der Einschwingspannung sind in IEC 56 (= DIN VDE 0670 Teil 104), Anhang FF, angegeben.

4.102.3 Normwerte der Nenn-Einschwingspannung

Normwerte der Nenn-Einschwingspannung werden für dreipolige Leistungsschalter für Nennspannungen unter 100 kV durch zwei Parameter festgelegt. In Tabelle 2 A sind Werte für Nennspannungen der Serie I angegeben.

Für Nennspannungen ab 100 kV werden vier Parameter verwendet. In Tabelle 2 C sind Werte für Nennspannungen von 100 kV bis 170 kV und für einen Polfaktor von 1,3 an-

gegeben. Tabelle 2 D enthält die für diesen Spannungsbe-
reich entsprechenden Werte für einen Polfaktor von 1,5.
Tabelle 2 E enthält Werte für Nennspannungen ab 245 kV.

Für Nenn-Kurzschlußausschaltströme größer als 50 kA und Nennspannungen ab 100 kV kann es gerechtfertigt und wirtschaftlich sein, Leistungsschalter zu verwenden, die, was die Steilheit der Einschwingspannung angeht, weniger leistungsfähig sind. Solche Fälle sind zwischen Hersteller und Betreiber zu vereinbaren.

Tabelle 2 A. Normwerte der Nenn-Einschwingspannung bei Klemmenkurzschluß
Nennspannungen Serie I
Darstellung durch zwei Parameter, Polfaktor 1,5

1	2	3	4	5	6	7
Nenn- spannung U	Einschwingspannung			Verzögerungslinie		
	Scheitelwert	Zeitpunkt	Steilheit	Anfangspunkt	Endpunkt	
	u_c	t_3	u_c/t_3	t_d	u'	t'
kV	kV	μs	kV/ μs	μs	kV	μs
3,6	6,2	40	0,15	6	2,1	19
7,2	12	52	0,24	8	4,1	25
12	20	60	0,34	9	6,9	29
17,5	30	72	0,42	11	10	35
24	41	88	0,47	13	14	42
36	62	108	0,57	16	21	52
52	89	132	0,68	7	30	51
72,5	124	166	0,75	8	41	64

$$u_c = 1,4 \cdot 1,5 \cdot \sqrt{\frac{2}{3}} U;$$

$$u' = \frac{1}{3} u_c;$$

$$t_d = 0,15 t_3 \text{ für } U < 52 \text{ kV};$$

$$t_d = 0,05 t_3 \text{ für } U \geq 52 \text{ kV}$$

Tabelle 2 B. Normwerte der Nenn-Einschwingspannung bei Klemmenkurzschluß
Nennspannungen Serie II (USA und Kanada) entfällt

Tabelle 2 C. Normwerte der Nenn-Einschwingspannung bei Klemmenkurzschluß
 Nennspannungen von 100 kV bis 170 kV
 Darstellung durch vier Parameter, Polfaktor 1,3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nenn- spannung U kV	Einschwingspannung					Verzögerungslinie		
	Erste Bezugsspan- nung u_1	Zeitpunkt t_1	Scheitel- wert u_c	Zeitpunkt t_2	Steilheit u_1/t_1	Anfangs- punkt t_d	Endpunkt	
							u'	t'
	kV	μs	kV	μs	kV/ μs	μs	kV	μs
100	106	53	149	159	2,0	2	53	29
123	131	65	183	195	2,0	2	65	35
145	154	77	216	231	2,0	2	77	40
170	180	90	253	270	2,0	2	90	47

$$u_1 = 1,3 \sqrt{\frac{2}{3}} U$$

$$u_c = 1,4 u_1$$

$$u' = 0,5 u_1$$

$$t_2 = 3 t_1$$

Tabelle 2 D. Normwerte der Nenn-Einschwingspannung bei Klemmenkurzschluß
 Nennspannungen von 100 kV bis 170 kV
 Darstellung durch vier Parameter, Polfaktor 1,5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nenn- spannung U kV	Einschwingspannung					Verzögerungslinie		
	Erste Bezugs- spannung u_1	Zeitpunkt t_1	Scheitel- wert u_c	Zeitpunkt t_2	Steilheit u_1/t_1	Anfangs- punkt t_d	Endpunkt	
							u'	t'
	kV	μs	kV	μs	kV/ μs	μs	kV	μs
100	122	61	171	183	2,0	2	61	33
123	151	75	211	225	2,0	2	75	40
145	178	89	249	267	2,0	2	89	46
170	208	104	291	312	2,0	2	104	54

$$u_1 = 1,3 \sqrt{\frac{2}{3}} U$$

$$u_c = 1,4 u_1$$

$$u' = 0,5 u_1$$

$$t_2 = 3 t_1$$

Tabelle 2 E. **Normwerte der Nenn-Einschwingspannung bei Klemmenkurzschluß**
Nennspannungen ab 245 kV
Darstellung durch vier Parameter, Polfaktor 1,3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nennspannung U kV	Einschwingspannung					Verzögerungslinie		
	Erste Bezugsspannung u_1	Zeitpunkt t_1	Scheitelwert u_c	Zeitpunkt t_2	Steilheit u_1/t_1	Anfangspunkt t_d	Endpunkt	
							u'	t'
	kV	μs	kV	μs	kV/ μs	μs	kV	μs
245	260	130	364	390	2,0	2	130	67
300	318	159	446	477	2,0	2	159	82
362	384	192	538	576	2,0	2	192	98
420	446	223	624	669	2,0	2	223	113
525	557	279	780	837	2,0	2	279	141
765	812	406	1137	1218	2,0	2	406	205

$$u_1 = 1,3 \sqrt{\frac{2}{3}} U$$

$$u_c = 1,4 u_1$$

$$u' = 0,5 u_1$$

$$t_2 = 3 t_1$$

Sowohl für die Zweiparameter- als auch für die Vierparameter-Darstellung wird in den Tabellen mit u_c/t_3 bzw. u_1/t_1 auch die Steilheit angegeben, welche zusammen mit dem Scheitelwert u_c der Einschwingspannung zur Kennzeichnung verwendet werden kann.

Die in den Tabellen angegebenen Werte sind unbeeinflusste Werte. Sie gelten für Leistungsschalter für die allgemeine Übertragung und Verteilung in dreiphasigen Netzen, die Transformatoren, Freileitungen und kurze Kabellängen enthalten.

Für Einphasensysteme oder falls die Leistungsschalter unter härteren Bedingungen eingesetzt werden, müssen die Werte zwischen Hersteller und Betreiber vereinbart werden, und zwar insbesondere in den folgenden Fällen:

- Leistungsschalter in Generatorableitungen
- Leistungsschalter hinter Transformatoren, die mehr als 50 % des Nenn-Kurzschlußausschaltstromes des Schalters liefern, ohne daß zwischen Leistungsschalter und Transformator eine merkliche zusätzliche Kapazität vorhanden ist.
- Leistungsschalter unmittelbar vor oder hinter Drosselspulen zur Kurzschlußstrombegrenzung.

In Fällen mit einem ausgedehnten Kabelnetz unmittelbar auf der Speiseseite kann es wirtschaftlicher sein, Leistungsschalter zu verwenden, deren Nenn-Einschwingspannung eine niedrigere Steilheit hat; dann müssen die Werte zwischen Hersteller und Betreiber vereinbart werden.

Tabelle 3. **Normwerte der Nenn-Anfangseinschwingspannung**
Nennspannungen ab 100 kV

1	2	3	4
Nennspannung U kV	Faktor*) f_i		Zeitpunkt t_i μs
	50 Hz	60 Hz	
100	0,046	0,056	0,4
123	0,046	0,056	0,4
145	0,046	0,056	0,4
170	0,058	0,070	0,5
245	0,069	0,084	0,6
300	0,081	0,098	0,7
362	0,092	0,112	0,8
420	0,092	0,112	0,8
525	0,116	0,140	1,0
765	**))	**))	**))

*) Die Scheitelwerte u_i der Anfangseinschwingspannung ergeben sich durch Multiplikation des Faktors f_i mit dem Effektivwert des Kurzschlußausschaltstromes

**) Werte in Vorbereitung

Die Prüfung mit Nenn-Kurzschlußausschaltströmen wird mit der Nenn-Einschwingspannung bei Klemmenkurzschluß nach Abschnitt 4.102 durchgeführt. Für Prüfungen mit Kurzschlußausschaltströmen kleiner als der Nennwert sind andere Einschwingspannungen festgelegt (siehe IEC 694 (= DIN VDE 0670 Teil 1000), Abschnitt 6.104.5). Zusätzliche Anforderungen gelten für Leistungsschalter mit Nennspannungen ab 52 kV, mit Nenn-Kurzschlußausschaltströmen über 12,5 kA, die möglicherweise unter Abstandskurzschlußbedingungen schalten müssen (siehe Abschnitt 4.105).

4.102.4 Normwerte der Nenn-Anfangseinschwingspannung

Anmerkung: Durch die Werte der Tabelle 3 gelten drei- und einpolige Fehler als abgedeckt. Die Werte beruhen auf der Annahme, daß die Sammelschiene zusammen mit den Bauteilen, die mit ihr verbunden sind (Stützisolatoren, Strom- und Spannungswandler, Trennschalter usw.), annähernd durch einen Ersatzwellenwiderstand Z_i von etwa 260 Ohm nachgebildet werden kann. Die Beziehung zwischen f_i und t_i ist dann:

$$f_i = t_i \cdot Z_i \cdot 2\pi f \cdot \sqrt{2}$$

wobei f die Nennfrequenz des Leistungsschalters ist.

4.103 Nenn-Kurzschlußeinschaltstrom

Der Nenn-Kurzschlußeinschaltstrom (siehe Bild 8) eines Leistungsschalters ist der der Nennspannung zugehörige Einschaltstrom; er muß 2,5mal so groß sein wie der Effektivwert der Wechselstromkomponente des Nenn-Kurzschlußausschaltstromes des Leistungsschalters (siehe Abschnitt 4.101).

4.104 Nennschaltfolge

Es gibt zwei alternative Nennschaltfolgen wie folgt:

a) O – t – CO – t' – CO

Falls die Zeitintervalle nicht festgelegt sind, gilt:
 $t = 3$ min, für Leistungsschalter, die nicht für Schnellwiedereinschaltung bestimmt sind;
 $t = 0,3$ s, für Leistungsschalter, die für Schnellwiedereinschaltung bestimmt sind (Pausenzeit);
 $t' = 3$ min.

Anmerkung: Für Leistungsschalter, die für Schnellwiedereinschaltung bestimmt sind, werden anstelle von $t' = 3$ min auch $t' = 15$ s (für Nennspannungen bis 52 kV) und $t' = 1$ min angewendet.

b) CO – t'' – CO

mit:
 $t'' = 15$ s, für Leistungsschalter, die nicht für Schnellwiedereinschaltung bestimmt sind. Es bedeuten:

- O Öffnen des Schalters,
- CO Schließen des Schalters, unmittelbar (d.h. ohne beabsichtigte Verzögerung) gefolgt von einem Öffnen des Schalters,
- t, t', t'' Zeitintervalle zwischen aufeinanderfolgenden Schaltungen,
- t, t' sollten immer in Minuten oder in Sekunden angegeben werden,
- t'' sollte immer in Sekunden angegeben werden.

Wenn die Pausenzeit einstellbar ist, müssen die Einstellungsgrenzen angegeben werden.

4.105 Nenngrößen bei Abstandskurzschluß

Nenngrößen bei Abstandskurzschluß sind für solche dreipoligen Leistungsschalter erforderlich, die für einen direkten Anschluß an Freileitungen vorgesehen sind und die eine Nennspannung ab 52 kV sowie einen Nenn-Kurzschlußausschaltstrom von mehr als 12,5 kA haben. Diese Größen beziehen sich auf das Ausschalten einphasiger Erdkurzschlüsse in Netzen mit niederohmig geerdetem Sternpunkt.

Anmerkung: Die einpolige Prüfung bei Leiter-Erde-Spannung ist für alle Arten von Abstandskurzschlüssen ausreichend. Dabei ist unwesentlich, daß in Netzen mit isoliertem Sternpunkt oder mit Erdschlußkompensation bei einphasigen Erdschlüssen keine Abstandskurzschlußbedingungen auftreten.

Es wird angenommen, daß der Stromkreis für einen Abstandskurzschluß aus einem Speisekreis und aus einer kurzen Leitung auf der Lastseite des Leistungsschalters (siehe Bild 13) mit folgenden Nenngrößen zusammengesetzt ist.

a) Nenngrößen des Speisekreises:

Spannung gleich der Leiter-Erde-Spannung $U/\sqrt{3}$, entsprechend der Nennspannung U des Leistungsschalters.

Kurzschlußstrom bei Klemmenkurzschluß gleich dem Nenn-Kurzschlußausschaltstrom des Leistungsschalters.

Unbeeinflusste Einschwingspannung bei Klemmenkurzschluß, gegeben durch die Normwerte in den Tabellen 4 A, 4 B und 4 C.

Parameter der Anfangseinschwingspannung, abgeleitet aus Tabelle 3.

b) Nenngrößen der Leitung:

Normwerte des Nenn-Wellenwiderstandes Z , des Nenn-Scheitelfaktors k und der Zeitverzögerung t_{dL} , angegeben in Tabelle 5.

Das Verfahren zur Berechnung der Einschwingspannungen aus den Nenngrößen ist in Anhang AA angegeben.

Bestimmung der leitungsseitigen Zeitverzögerung und der Steilheit der leitungsseitigen Einschwingspannung siehe Bild 14.

4.106 Nenn-Ausschaltstrom unter Asynchronbedingungen

Der Nenn-Ausschaltstrom unter Asynchronbedingungen ist der höchste Strom, den der Leistungsschalter unter den in dieser Bestimmung vorgeschriebenen Bedingungen bei der unten angegebenen Wiederkehrspannung ausschalten können muß.

Die Angabe eines Nenn-Ausschaltstromes unter Asynchronbedingungen ist nicht zwingend vorgeschrieben. Wenn ein Nenn-Ausschaltstrom unter Asynchronbedingungen angegeben wird, gilt folgendes:

- a) Die betriebsfrequente wiederkehrende Spannung muß $2,0/\sqrt{3}$ mal Nennspannung für Netze mit niederohmiger Sternpunktterdung und $2,5/\sqrt{3}$ mal Nennspannung für andere Netze betragen.
- b) Die Einschwingspannung ist folgenden Tabellen zu entnehmen:
 - 4 A für Leistungsschalter mit Nennspannungen unter 100 kV, vorgesehen für Netze ohne niederohmige Sternpunktterdung.

Tabelle 4 A. Normwerte der Nenn-Einschwingspannung für den Speisekreis bei Abstandskurzschluß
Nennspannungen Serie I
Darstellung durch zwei Parameter

1	2	3	4	5	6	7
Nennspannung U	Einschwingspannung			Verzögerungslinie		
	Scheitelwert u_c	Zeitpunkt t_3	Steilheit u_c/t_3	Anfangspunkt t_d	Endpunkt	
					u'	t'
kV	kV	μs	kV/ μs	μs	kV	μs
52 72,5	59 83	132 166	0,45 0,50	7 8	20 28	51 64

$$u_c = 1,4 \sqrt{\frac{2}{3}} U$$

$$u' = \frac{1}{3} u_c$$

$$t_d = 0,05 t_3$$

Tabelle 4 B. Normwerte der Nenn-Einschwingspannung für den Speisekreis bei Abstandskurzschluß
Nennspannungen Serie II (USA und Kanada) entfällt

Tabelle 4 C. Normwerte der Nenn-Einschwingspannung für den Speisekreis bei Abstandskurzschluß
Nennspannungen ab 100 kV
Darstellung durch vier Parameter

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Nennspannung U	Einschwingspannung					Verzögerungslinie		
	Erste Bezugsspannung u_1	Zeitpunkt t_1	Scheitelwert u_c	Zeitpunkt t_2	Steilheit u_1/t_1	Anfangspunkt t_d	Endpunkt	
							u'	t'
kV	kV	μs	kV	μs	kV/ μs	μs	kV	μs
100	82	41	114	123	2,0	2	41	22
123	100	50	141	150	2,0	2	50	27
145	118	59	166	177	2,0	2	59	32
170	139	69	194	207	2,0	2	69	37
245	200	100	280	300	2,0	2	100	52
300	245	122	343	366	2,0	2	122	63
362	296	148	414	444	2,0	2	148	76
420	343	171	480	513	2,0	2	171	88
525	429	214	600	642	2,0	2	214	109
765	625	312	874	936	2,0	2	312	158

$$u_1 = \sqrt{\frac{2}{3}} U$$

$$u_c = 1,4 u_1$$

$$u' = 0,5 u_1$$

$$t_2 = 3 t_1$$