

5 Merkmale der Versorgungsspannung

5.1 Allgemeines

Zur Festlegung und Beurteilung der Qualität der elektrischen Versorgungsspannung ist die Norm DIN EN 50160 maßgeblich. In diesem Zusammenhang muss folgendes bemerkt werden (Zitat aus dem informativen Anhang):

„Diese Norm legt für die Phänomene, für die das möglich ist, die üblicherweise zu erwartenden Wertebereiche fest, in denen sich die Merkmale der Versorgungsspannung ändern. Für die übrigen Merkmale liefert die Norm bestmögliche Anhaltswerte, mit denen in Netzen zu rechnen ist. Obwohl diese Norm offensichtlich Bezüge zu den Verträglichkeitspegeln hat, ist es wichtig, ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass diese Norm sich auf die elektrische Energie im Sinne von Merkmalen der Versorgungsspannung bezieht. Sie ist keine Norm für Verträglichkeitspegel.“

DIN EN 50160 stellt keine elektrotechnische Sicherheitsbestimmung dar und erhält daher keine VDE-Klassifikationsnummer. Zielsetzung der Beurteilung der Netzrückwirkungen von Verbrauchs- und Erzeugungsanlagen ist die Einhaltung der in der Norm genannten Merkmale der Spannung. DIN EN 50160 beschreibt die Merkmale der Versorgungsspannung in Wechselstromnetzen der Elektroenergieversorgung aller Spannungsebenen unter normalen Betriebsbedingungen. Die Spannungsebenen sind definiert als:

Niederspannung: $U_n \leq 1 \text{ kV}$

Mittelspannung: $1 \text{ kV} < U_n \leq 36 \text{ kV}$

Hochspannung: $36 \text{ kV} < U_n \leq 150 \text{ kV}$

Die in DIN EN 50160 aufgeführten Werte stellen keine Verträglichkeitspegel oder Grenzwerte zur Bewertung der Elektromagnetischen Verträglichkeit dar, sondern beschreiben Wertebereiche, innerhalb derer sich die Versorgungsspannung unter normalen Betriebsbedingungen üblicherweise ändern kann.

Es ist bei den in DIN EN 50160 aufgeführten Merkmalen zu unterscheiden zwischen solchen, die durch die Angabe von Pegeln eindeutig festgelegt sind (andauernde Phänomene genannt) wie z.B. Netzfrequenz, Oberschwingungsspannungen, Flicker und solchen, für die Anhaltswerte gegeben sind (Spannungsereignisse genannt) wie z.B. Spannungseinbrüche und Unterbrechungen der Versorgungsspannung.

Normale Betriebsbedingungen beinhalten nicht

- vorübergehende Versorgungsmaßnahmen
- außergewöhnliche Wetterbedingungen und Naturkatastrophen
- Störungen durch Dritte
- Versorgungsengpässe, verursacht durch äußere Ereignisse

Durch vertragliche Regelungen zwischen Netznutzer und Netzbetreiber kann DIN EN 50160 in Teilen oder vollständig außer Kraft gesetzt werden.

DIN EN 50160 ist anzuwenden auf die Spannung an der Übergabestelle (Anschlusspunkt einer Netznutzeranlage bzw. Kundenanlage an das öffentliche Netz, besser: Verknüpfungspunkt). Die Norm unterscheidet zwischen

Versorgungsspannung U

Effektivwert der Spannung an der Übergabestelle zu einem bestimmten Zeitpunkt über ein bestimmtes Intervall. Die Versorgungsspannung kann dabei an verschiedenen Punkten des Netzes unterschiedlich sein. Die tatsächliche Versorgungsspannung ist für einige der aufgeführten Merkmale, z.B. für Flicker, der Bezugswert.

Nennspannung U_n

Spannung, durch die ein Netz bezeichnet wird.

Vereinbarte Versorgungsspannung U_c

Die vereinbarte Versorgungsspannung ist im Niederspannungsnetz gleich der Nennspannung. Im Mittelspannungsnetz kann die Spannung zwischen dem Netzbetreiber und dem Netznutzer an dessen Übergabestelle vereinbart werden.

5.2 Andauernde Phänomene (Pegelwerte)

Die angegebenen Werte gelten für alle Spannungsebenen, Unterschiede zwischen Nieder-, Mittel- und Hochspannungsnetzen werden besonders erwähnt.

Frequenz

10-Sekunden Mittelwert der Grundfrequenz

für Netze mit synchroner Verbindung zu einem Verbundnetz

50 Hz \pm 1% während 99,5% eines Jahres

50 Hz + 4% / - 6% während 100% der Zeit

für Netze ohne synchrone Verbindung zu einem Verbundnetz

50 Hz \pm 2% während 95% einer Woche

50 Hz \pm 15% während 100% der Zeit

Spannungsänderungen

10-Minuten-Mittelwerte des Effektivwertes

für Netze mit Verbindung zu Übertragungsnetzen

$U = U_n \pm 10\%$ während 95% einer Woche

$U = U_n + 10\% / - 15\%$ alle Werte

für Netze ohne Verbindung zu Übertragungsnetzen oder für entlegene Kunden

$U_n + 10\% / - 15\%$ sollte nicht überschritten werden

Für Hochspannungsnetze werden wegen der geringen Anzahl der direkt versorgten Netznutzer keine Grenzwerte angegeben.

Schnelle Spannungsänderungen

für Niederspannungsnetze

$\Delta u \leq 5\%$, unter bestimmten Umständen bis zu 10% mehrmals kurzzeitig am Tag

für Mittelspannungsnetze

$\Delta u \leq 4\%$, unter bestimmten Umständen bis zu 6% mehrmals kurzzeitig am Tag

für Hochspannungsnetze

werden keine Grenzwerte angegeben.

Flickerstärke

$$P_{it} \leq 1$$

während 95% der Woche

unter der Annahme, dass der Flickerabwärts-Koeffizient zwischen den Netzebenen gleich 1 ist, siehe hierzu Kapitel 6.5.

Grenzwerte und ggf. Abhilfemaßnahmen müssen so gewählt werden, dass die P_{it} -Werte im Niederspannungsnetz $P_{it} \leq 1$ bleiben.

Spannungsunsymmetrie

95% der 10-Minuten-Mittelwerte des Effektivwertes einer Woche

$$U_{\text{gegen}}/U_{\text{mit}} \leq 2\%$$

Bei teilweise ein- und zweiphasigem Anschluss von Netznutzern im NS-Netz sowie in manchen Gegenden an den Drehstromübergabestellen (MS- und HS-Netz) $U_{\text{gegen}}/U_{\text{mit}} \leq 3\%$.

Oberschwingungsspannungen

95% der 10-Minuten-Mittelwerte des Spannungseffektivwertes einer Woche nach Tabelle 5.1

$$\text{THD}_U \leq 8\% \text{ für Oberschwingungsordnungen } \nu = 2 \dots 40$$

Tabelle 5.1 Pegelwerte für Oberschwingungsspannungen in Prozent der Grundschwingungsspannung

Ungeradzahlige Oberschwingungen keine Vielfache von 3		Ungeradzahlige Oberschwingungen Vielfache von 3		Geradzahlige Oberschwingungen	
ν	U_ν / U_n in %	ν	U_ν / U_n in %	ν	U_ν / U_n in %
5	6,0	3	5,0	2	2,0
7	5,0	9	1,5	4	1,0
11	3,5	15	0,5	6 ... 24	0,5
13	3,0	21	0,5		
17	2,0				
19	1,5				
23	1,5				
25	1,5				

Zwischenharmonische

Angaben über gesicherte Erfahrungswerte sind derzeit in Beratung.

Netz-Signalübertragungsspannungen

3-Sekunden-Mittelwerte der Signalspannungen über 99% eines Tages kleiner als die Angabe in Bild 5.1.

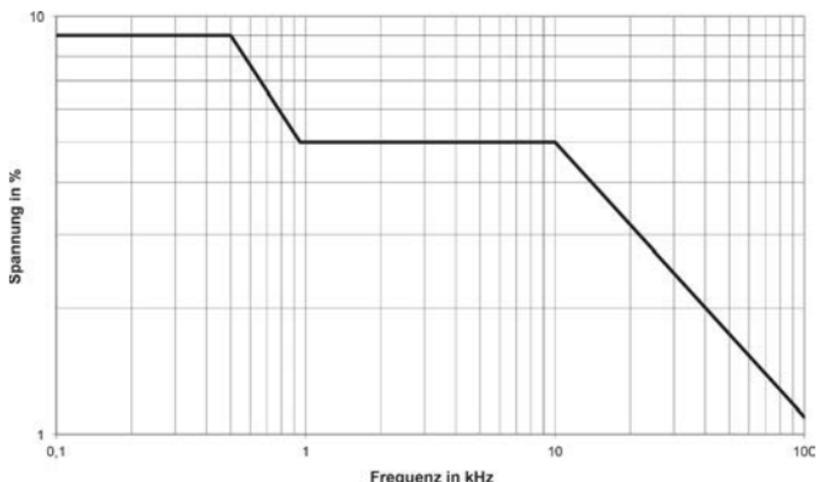


Bild 5.1 Netzsignalübertragungsspannungen in NS-Netzen, Grenzwerte als relative Spannung in Prozent der Nennspannung

In einigen Netzen werden auch Signalübertragungsspannungen mit Frequenzen oberhalb 100 kHz genutzt.

5.3 Spannungseignisse (Anhaltswerte)

Unterbrechungen der Versorgungsspannung

Es wird unterschieden zwischen kurzen und langen Unterbrechungen. Anhaltswerte für lange Unterbrechungen liegen zurzeit in einheitlicher Form in Europa noch nicht vor. Typischerweise treten weniger als 10 bis 50 Ereignisse pro Jahr mit Zeitdauern $t > 3$ min auf. Anhaltswerte für kurze Unterbrechungen der Versorgungsspannung findet man in IEC 61000-2-8 (UNIPED-Statistik). In Abhängigkeit von Netzform und Netzbetreiber liegen typische Anhaltswerte bei 10 bis 500 Ereignissen pro Jahr, wobei 70% aller Unterbrechungen zwischen $t < 1$ s ... 3 s betragen.

Spannungseinbrüche der Versorgungsspannung

Einbruchtiefe (Restspannung $U_{\text{Rest}} \leq 90\%$) und Häufigkeit von Spannungseinbrüchen müssen nach EN 61000-4-30 (VDE 0847-4-30) gemessen werden. In Abhängigkeit von Netzform und Netzbetreiber liegen typische Anhaltswerte bei 10 bis 1000 Ereignissen pro Jahr, wobei die überwiegende Anzahl der Ereignisse weniger als $t < 1$ s beträgt und die Restspannung größer als 40% bleibt. Spannungseinbrüche sind einzuteilen nach ihrer Dauer (5 Klassen zwischen 10 ms ... 60 s) und ihrer Restspannung (5 Klassen zwischen 5% ... 90%).

Überhöhungen der Versorgungsspannung

Höhe (Überspannung $U_{\text{Ü}} \geq 110\%$) und Häufigkeit von Überhöhungen müssen nach EN 61000-4-30 (VDE 0847-4-30) gemessen werden. Anhaltswerte für Überspannungen findet man in IEC/TR 61000-2-14, für Niederspannungsnetze in IEC/TR 62066. In Abhängigkeit von Netzform und Netzbetreiber liegen typische Anhaltswerte bei 10 bis 1000 Ereignissen pro Jahr, wobei die überwiegende Anzahl der Ereignisse weniger als $t < 1$ s beträgt und die Restspannung größer als 40% bleibt. Spannungsüberhöhungen sind einzuteilen nach ihrer Dauer (3 Klassen zwischen 10 ms ... 60 s) und ihrer Höhe (2 Klassen: 110% ... 120% und $> 120\%$)

Fehler in Netzen auf der Oberspannungs-Seite von Transformatoren können auf der Niederspannungs-Seite zeitweilige Überspannungen $U_{\text{max}} \leq 1,5$ kV zwischen Außenleiter und Erde verursachen. In Mittelspannungs-Netzen ist die zu erwartende zeitweilige Spannungsüberhöhung von der Art der Sternpunktbehandlung (niederohmig bzw. geerdet: $U_{\text{Ü}} < 1,7 U_{\text{c}}$; isolierter Sternpunkt oder Erdschlusskompensation: $U_{\text{Ü}} < 2,0 U_{\text{c}}$) abhängig.

Transiente Überspannungen

Transiente Überspannungen werden durch Schalthandlungen und direkte und eingekoppelte Blitzüberspannungen verursacht. Typischerweise liegen Überspannungswerte im Niederspannungsnetz bei $U_{\text{max}} < 6$ kV mit Anstiegszeiten im Mikrosekundenbereich. Amplituden von Schaltüberspannungen sind im Allgemeinen niedriger als die von Blitzüberspannungen, die Zeitauern (Anstiegszeiten und Abfallzeiten) von Schaltüberspannungen sind im Allgemeinen höher als die von Blitzüberspannungen. Maßgeblich ist die Wirkung des Energieinhaltes der Überspannung.

5.4 Übersicht

Tabelle 5.2 zeigt zusammenfassend eine Übersicht über die einzelnen Merkmale der Spannung sowie deren Mess- und Bewertungsparameter.

Tabelle 5.2 Merkmale der Spannung sowie deren Mess- und Bewertungsparameter

Störphänomen	NS	MS	Bewertungsgröße	Mittelungszeitraum	Bewertungsdauer	Häufigkeit
Frequenz (Verbundnetz)	49,5 Hz ... 50,5 Hz ($\pm 1\%$) 47 Hz ... 52 Hz (+ 4% / - 6%)		Mittelwert	10 s	1 Woche	99,5% 100%
Frequenz (Inselnetz)	49 Hz ... 51 Hz ($\pm 2\%$) 42,5 Hz ... 57,5 Hz ($\pm 15\%$)		Mittelwert	10 s	1 Woche	95% 100%
Langsame Spannungsänderungen	230 V $\pm 10\%$ 230 V + 10%/-15%	$U_c \pm 10\%$	RMS	10 min	1 Woche	95% 100%
Schnelle Spannungsänderungen	5% max. 10%	4% max. 6%	RMS	10 ms	1 Tag	100%
Flicker (P_f)	$P_f \leq 1$		Algorithmus	2 h	1 Woche	95%
Spannungseinbrüche (≤ 1 min)	Einige 10 bis 1000 pro Jahr (unter 85% U_c)		RMS	10 ms	1 Jahr	100%
Kurze Versorgungsunterbrechungen (≤ 3 min)	Einige 10 bis mehrere 100 pro Jahr (unter 1% U_c)		RMS	10 ms	1 Jahr	100%
Zufällige lange Versorgungsunterbrechungen (> 3 min)	Einige 10 bis 50 pro Jahr (unter 1% U_c)		RMS	10 ms	1 Jahr	100%
Zeitweilige netzfrequente Überspannungen	$\leq 1,5$ kV	1,7 ... 2,0 U_c	RMS	10 ms	k.A.	100%
Transiente Überspannungen	≤ 6 kV	Isolationskoordination	Scheitelwert	--	k.A.	100%
Spannungsunsymmetrie	2% 3% in Sonderfällen		RMS	10 min	1 Woche	95%
Oberschwingungsspannungen	THD $\leq 8\%$ Einzelpegel bis $n = 40$: Tabellenwerte		RMS	10 min	1 Woche	95%
Zwischenharmonische Spannungen	In Beratung					
Signalspannungen	Diagramm	Diagramm 9 kHz ... 95 kHz in Beratung	RMS	3 s	1 Tag	99%