



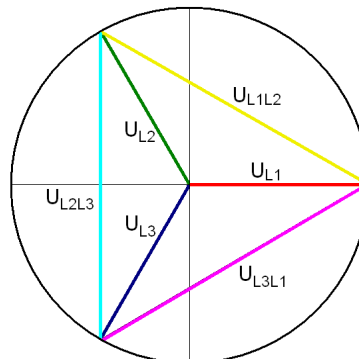
## Qualität des Stromnetzes

### EN 50160

Die europäische Norm EN 50160 (Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen) definiert die in Europa zu minimal zu erwartende Spannungsqualität des Versorgungsnetzes auf der 230/400 Volt-Ebene an der Übergabestelle zum Kunden unter Betriebsbedingungen.

Als normale Betriebsbedingungen gilt der Betriebszustand in einem Versorgungsnetz, bei dem die Nachfrage gedeckt, Schalthandlungen im normalen Mass durchgeführt und Fehler oder Störungen durch automatische Schutzsysteme behoben werden, ohne dass aussergewöhnliche Umstände durch äussere Einflüsse oder Versorgungsengpässe vorliegen.

Ideal ist die Versorgungsspannung sinusförmig mit einer Frequenz von 50 Hertz und der entsprechenden Amplitude von 230 Volt von Polleiter gegen Erde oder 400 Volt zwischen zwei Polleitern. Die drei Polleiter bilden ein Dreiphasensystem mit exakt  $120^\circ$  Phasenverschiebung untereinander.



Während des Betriebes treten durch Lastschwankungen, Schaltvorgänge und Störeinflüsse verschiedener Herkunft Veränderungen an diesen Parametern auf: Frequenz, Amplitude und Kurvenform unterliegen ständigen Änderungen.

Nicht vergessen werden darf, dass der Stromkunde selber einen erheblichen Einfluss auf die Spannungsqualität ausübt.



## Quantifizierte Grössen der Spannungsqualität

### Oberschwingungen (harmonisch/interharmonisch)

Oberschwingungen sind periodische Verzerrungen des Sinussignals (Spannung, Strom oder Leistung). Sie werden durch nichtlineare Lasten verursacht und entstehen also an der Last.

Nichtlineare Komponenten sind zum Beispiel Bauteile wie Thyristoren, IGBT und Dioden. Diese finden breiten Einsatz in Gleichstromversorgungen (Schaltnetzteile), Computern, elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) und Dimmern, sowie Stromrichtern und Frequenzumrichtern in Motorantrieben.

Oberschwingungsströme sind Verzerrungsblindströme und haben damit ähnliche Eigenschaften wie Blindströme. Sie erhöhen den Gesamtstrom und belasten damit das Netz, ohne dass sie eine effektiv am Verbraucher wirksame Leistung bewirken.

Als Harmonische bezeichnet man eine Überlagerung der 50 Hz-Grundwelle (Welle 1. Ordnung) mit Signalen, deren Frequenz einem ganzzahligen Vielfachen der Grundfrequenz entspricht. Die Ordnungszahl gibt den Faktor an (z.B.: 5. Ordnung = 5. Oberschwingung = 250 Hz)

Inter- oder Zwischenharmonische sind ebenfalls Überlagerungen der 50 Hz-Grundwelle, deren Frequenzen jedoch einem gebrochenen Vielfachen der Grundfrequenz entsprechen.

### THD (Total Harmonic Distortion) = Verzerrungs- oder Gesamtklirrfaktor

Damit wird das Verhältnis oder der Anteil des Gesamteffektivwert aller Oberschwingungen zum Effektivwert der Grundschwingung bezeichnet.

Nach EN 50160 (1999) darf der Wert 8 % nicht überschreiten.

### Crest-Faktor oder Scheitelfaktor

Der Scheitelfaktor beschreibt das Verhältnis zwischen Spitzenwert (Scheitelwert) und Effektivwert einer elektrischen Wechselgrösse. Weicht der Scheitelwert beim sinusförmigen Wechselstrom von 1,41 ab, so sind Störungen vorhanden.

### Mitsystem

Oberschwingungen mit rechtem Drehfeld ([1., 4., 7., 10., ...]) - auch als Mitsystem bezeichnet - sind „normale“ Komponenten und in jedem symmetrischen Drehstromsystem vorhanden. Sie verursachen in Motoren einen schnelleren Anlauf als die Grundschwingung und erhöhtes Drehmoment.

### Gegensystem

Oberschwingungen mit linkem Drehfeld (2., 5., 8., 11., ...) - auch Gegensystem genannt - verursachen in Motoren einen langsameren Anlauf als die Grundschwingung, ein verringertes Drehmoment (Bremseffekt) und Hitzeentwicklung.

### Nullsystem

Oberschwingungen mit Null-Sequenz (3., 6., 9., 12., ...) - auch Nullsystem genannt - erzeugen kein Drehfeld und können bei asymmetrischer Last in einem 4-Leiter-System auftreten. Die Ströme addieren sich im Neutralleiter, was Überhitzungsgefahr durch Überlastung bedeuten kann.



## Gleichstrombelastung

Netze mit nichtlinearen Lasten enthalten oft auch einen Gleichstromanteil. Dieser kann zur Arbeitspunktverschiebung und sogar Sättigung von magnetischen Kreisen (Transformatoren, Stromwandlern) führen.

## Netzasymmetrien

Spannungsasymmetrien verursachen z.B. in Statorwicklungen von Motoren extrem asymmetrische Ströme. An Asynchronmaschinen können bei Spannungsasymmetrien von 2% bereits Schäden auftreten.

## Spannungsschwankungen

Als Spannungsschwankungen bezeichnet man allgemein Amplitudenänderungen für einen Zeitraum, der länger als die Periodendauer ist. Dabei werden Spannungseinbrüche (Absinken [Dip] des Effektivwertes auf 90 % der Nennspannung), Spannungsüberhöhungen (Anstieg [Swell] des Effektivwertes auf über 110 % der Nennspannung), Spannungsunterbrechungen (Einbruch [Interruption] auf unter 1 % der Nennspannung) und Flicker unterschieden.

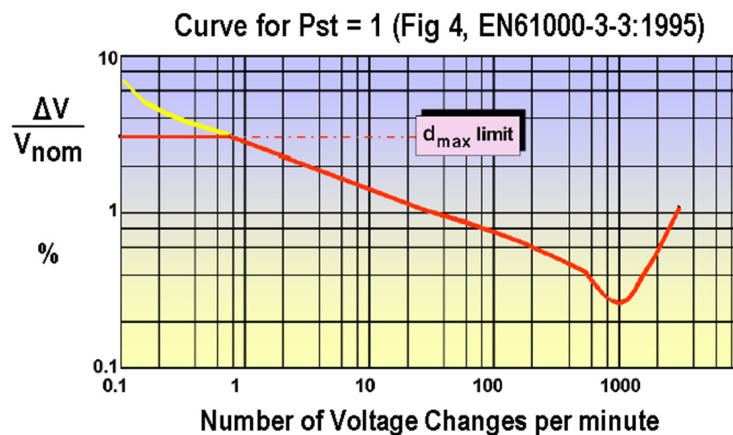
## Flicker

Flicker (Pst, Plt) quantifiziert Helligkeitsschwankungen oder Lichtflimmern von Leuchten, die durch Spannungsschwankungen mit einer Frequenz von etwa 0,005 bis 35 Hz verursacht werden. Die Messung erfolgt nach einem in der EN 61000-4-15 festgelegten Rechenverfahren.

Nicht nur die menschliche Psyche kann negativ durch das Flimmern der Beleuchtung beeinflusst werden, sondern auch zu Störungen führen bei Regelvorgängen, Brems- oder Beschleunigungsmomenten, Versorgungsspannungsschwankungen in elektrischen und elektronischen Geräten.

Als Grundlage für die Flickermessung dient eine 230V/60W Referenz-Glühlampe, deren Helligkeitsschwankungen für Menschen gerade erkennbar sind. Der Mensch reagiert unterschiedlich auf die Frequenz der Helligkeitsschwankungen, am empfindlichsten bei etwa 8Hz.

Die Flickermessung basiert also auf einem psycho-physiologischen Modell, das im Messgerät mit Filterbänken nachgebildet wird.



*Spannungsänderungen, die zu wahrnehmbaren Helligkeitsschwankungen führen*

Der Unterschied zwischen dem Kurzzeitflicker Pst und dem Langzeitflicker Plt ist der Betrachtungszeitraum. Pst wird während 10 Minuten ermittelt. 12 aufeinanderfolgende Pst-Werte ergeben über eine spezielle Mittelungsvorschrift (kubischer Mittelwert) den Plt-Wert. Somit ist Plt ein 2-Stunden-Mittelwert.

## Transienten

Transienten sind schnelle Spitzen im Spannungs- bzw. Stromsignal. Sie können über eine so hohe Energie verfügen, dass empfindliche elektronische Geräte gestört oder sogar beschädigt werden. Sie treten bei



Schalthandlungen, Störereignissen und beim Auslösen von Schmelzsicherungen auf. Die Steilheit des Stromabrisses ist für Transienten bis zu mehreren Tausend Volt die Ursache.

Geräte, die häufig Transienten ausgesetzt sind, besitzen ein hohes Ausfallrisiko. Auswirkungen sind zum Beispiel Datenverluste in digitalen Anlagen aller Art, Datendurchsatzschwankungen, Isolationsdefekte, Anfachen von Resonanzen und Netzteilanfänge.

## **Frequenz**

Das Einhalten der Frequenz wird genau spezifiziert. Im Normalfall ist die Netzfrequenz so genau und stabil, dass sie als Zeitstandard für Uhren dient. Die Frequenz bleibt aber nur dann konstant, wenn zu jedem Zeitpunkt die Erzeugerleistung gleich der Verbraucherleistung ist.

Durch Rückwirkungen und Lastwechseln in Stromversorgungsnetzen kann diese jedoch beeinflusst werden. Speziell in Inselnetzen können grössere Frequenzschwankungen oft beobachtet werden.

DIN VDE 0838-1 - Rückwirkungen in Stromversorgungsnetzen, die durch Haushaltgeräte und durch ähnliche elektrische Einrichtungen verursacht werden

## **Energie und Leistung**

### **Wirkarbeit P**

Die Wirkarbeit ist die effektiv im Verbraucher umgesetzte Nutzarbeit. Sie pulsiert mit der doppelten Netzfrequenz. Bei einem rein resistiven Verbraucher ist sie stets positiv.

### **Blindarbeit Q**

Die Blindarbeit pendelt mit der doppelten Netz-Frequenz zwischen Quelle und Verbraucher hin- und her. Sie bewirkt keinen Nutzen, sondern führt zur Mehrbelastung der Stromleiter und dadurch zu einer Zunahme der Stromwärmeverluste.

### **Scheinarbeit S**

Die Scheinarbeit ist das Produkt aus dem Effektivwert der Spannung und dem Effektivwert des Stroms. Bei einem rein resistiven Verbraucher sind Wirkarbeit und Scheinarbeit identisch. Enthält der Verbraucher jedoch Speicherelemente, wie Induktivität oder Kapazität, ist die Scheinarbeit stets grösser als die Wirkarbeit.

## **Grundwellen-Leistungsfaktor $\cos \varphi$ und Gesamtleistungsfaktor $\lambda$**

Mit steigendem Oberschwingungs-Verzerrungsblindleistungsanteil werden die Eisenverluste in Trafos und Motoren sowie die Neutralleiterbelastung in die Höhe getrieben. Eine Überhitzung der Komponenten sind die Folge, auch Kondensatoren (z.B. in Kompensationsanlagen) und Drosseln. Eine besondere Bedeutung gilt hier für den Neutralleiter durch hohe Brandgefahr in unzugänglichen Gebäudeteilen.

Weiterhin verursachen Oberschwingungen Laufunruhe in Motoren durch resultierende Drehfelder mit anderer Frequenz und/oder Richtung. Sie verschlechtern den Wirkungsgrad (Verzerrungsblindleistung), rufen Überspannung durch Anfachen von Resonanzerscheinungen oder Fehlauflösungen von Schutzschaltern hervor.

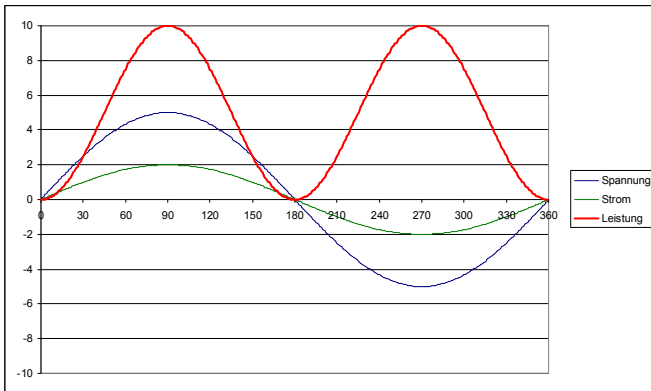
Oberschwingungen werden ebenfalls über Transformatoren in andere Spannungsebenen übertragen. Die Störwirkung des magnetischen Feldes von Oberschwingungsbehafteten Betriebsmitteln ist wegen der höheren Frequenzen grösser.

Gleichrichter mit Glättungskondensatoren sind eine wichtige Ursache von Oberschwingungsströmen. Speziell Büroelektronik kann den Anteil der dritten Oberschwingung so hoch treiben, dass der Neutralleiterstrom den sicheren Bereich verlässt.

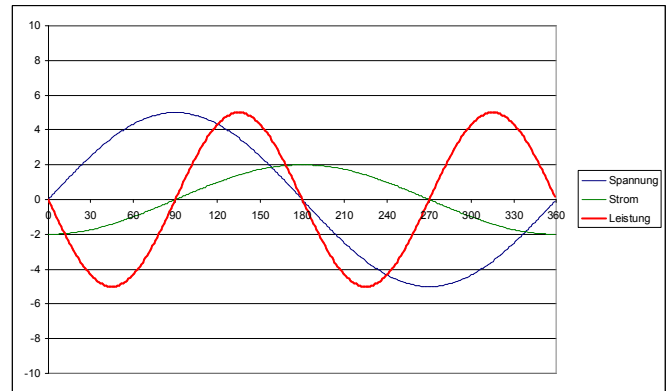
Wenn Telefon- und Signalleitungen in der Nähe verlegt sind, müssen auch höhere Oberschwingungen ab der zwanzigsten Ordnung beachtet werden, denn diese liegen im Sprachband.



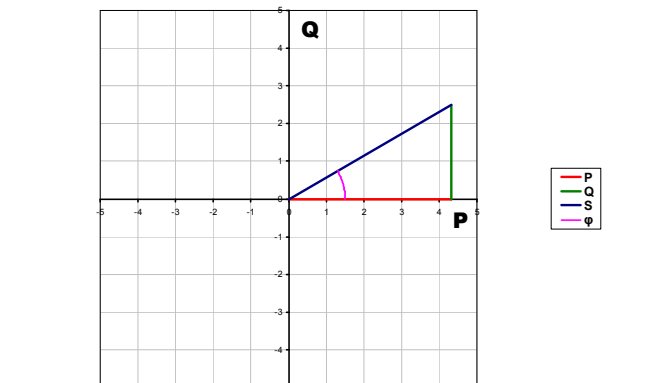
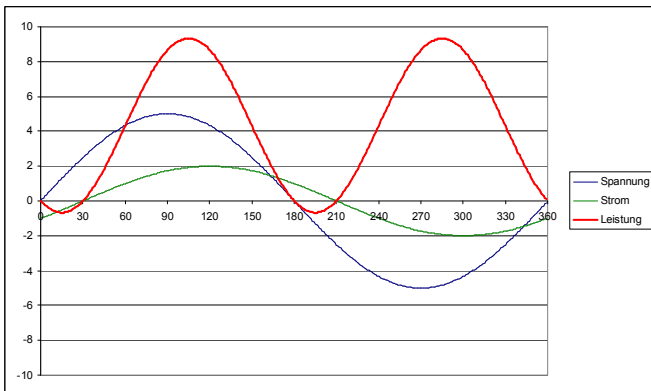
### Grafische Beispiele zur Verdeutlichung der Begriffe



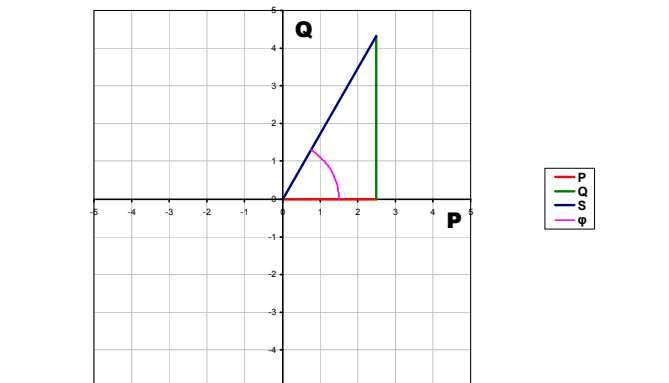
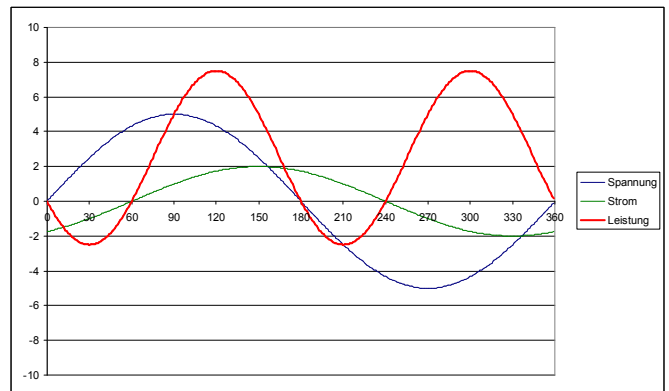
$\varphi=0^\circ$ ;  $P=5$ ;  $Q=0$ ;  $S=5$ ;  $\cos(\varphi)=1.0$   
Reine Nutzarbeit, rein resistive Last



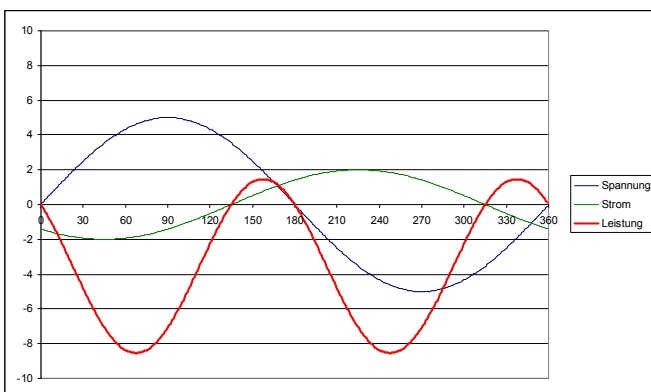
$\varphi=90^\circ$ ;  $P=0$ ;  $Q=5$ ;  $S=5$ ;  $\cos(\varphi)=0$   
rein induktive Last



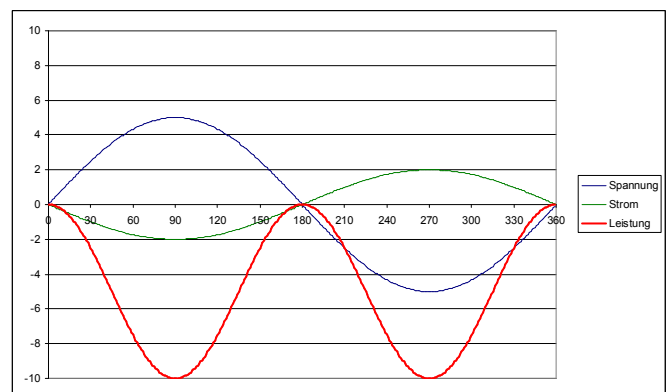
$\varphi=30^\circ$ ;  $P=4.33$ ;  $Q=2.5$ ;  $S=5$ ;  $\cos(\varphi)=0.866$   
Last mit induktivem Anteil



$\varphi=60^\circ$ ;  $P=2.5$ ;  $Q=4.33$ ;  $S=5$ ;  $\cos(\varphi)=0.5$   
Last mit grossem induktivem Anteil



$\varphi=135^\circ$ ;  $P=-3.535$ ;  $Q=3.535$ ;  $S=5$ ;  $\cos(\varphi)=-0.707$   
Last liefert Wirkarbeit zurück (Asynchron-Generator)



$\varphi=180^\circ$ ;  $P=-3.535$ ;  $Q=3.535$ ;  $S=5$ ;  $\cos(\varphi)=-1$   
Reine Wirkarbeitsrücklieferung