



7 Wechsel- und Drehstromtechnik

Die Energieversorgung durch den VNB (Verteilungsnetzbetreiber) erfolgt mit Wechselspannung, weil Transformatoren (Seite 395) Wechselspannung nahezu verlustlos umformen, z. B. von 10 kV auf 0,4 kV. Im geschlossenen Stromkreis hat die Wechselspannung einen Wechselstrom zur Folge.

7.1 Kenngrößen der Wechselstromtechnik

7.1.1 Periode und Scheitelwert

Versuch: Legen Sie die Ausgangsspannung eines Funktionsgenerators parallel an einen Gleichspannungsmesser (Zeigermessinstrument, Nullstellung in Skalenmitte) und an den Y-Eingang eines Oszilloskops (Bild a). Stellen Sie beim Generator „Sinusspannung“ ein und verändern Sie die Frequenz von kleineren Werten zu größeren Werten, z. B. von 0,1 Hz bis 1 kHz.

Der Zeiger des Messinstrumentes pendelt zunächst langsam hin und her, während der Elektronenstrahl des Oszilloskops sich im Rhythmus des Zeigers auf- und abbewegt. Bei höheren Frequenzen bleibt der Zeiger in der Skalenmitte stehen, der Elektronenstrahl des Oszilloskops zeigt jedoch auf dem Schirm das Bild einer Wechselspannung, eine Sinuskurve (Bild b).

Die Wechselspannung ändert sich ständig zwischen einem positiven und einem negativen Höchstwert (Bild b). Ein solcher Höchstwert wird auch als **Scheitelwert**¹ \hat{u} , Spitzenwert oder Amplitude² bezeichnet. Die Differenz aus dem positiven und dem negativen Scheitelwert ergibt den **Spitze-Tal-Wert** \hat{u} (auch u_{ss} = Spitze-Spitze-Wert). Das Hin- und Herpendeln der Spannung zwischen einem positiven und einem negativen Scheitelwert wiederholt sich regelmäßig; die Spannung ändert sich periodisch³.

Eine **Periode** besteht aus zwei **Halbperioden** (Bild b). Die Zeitdauer einer ganzen Periode bezeichnet man als **Periodendauer** oder Schwingungsdauer T ; sie wird in Sekunden gemessen.

Wechselstrom und Wechselspannung werden durch die Kurzbezeichnung AC⁴ gekennzeichnet.

7.1.2 Frequenz und Periodendauer

Die Anzahl der Perioden je Sekunde nennt man **Frequenz** f (Häufigkeit). Die Einheit der Frequenz ist das **Hertz**⁵ (Einheitenzeichen Hz).

Die Frequenz ist umso größer, je kleiner die Periodendauer ist. Die Frequenz ist der Kehrwert der Periodendauer.

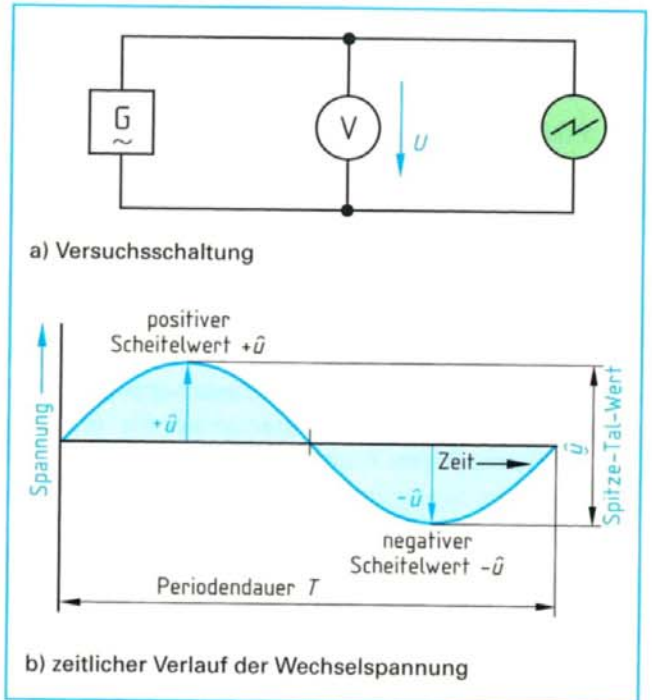


Bild: Wechselspannungsmessung

Frequenz und Periodendauer

$$f = \frac{1}{T}$$

$$[f] = \frac{1}{s} = 1 \text{ Hz}$$

f Frequenz

T Periodendauer, Zeitdauer einer vollständigen Schwingung



1 Hertz = 1 Periode je Sekunde

1 Kilohertz = 1 kHz = 1 000 Hz = 10^3 Hz

1 Megahertz = 1 MHz = 1 000 000 Hz = 10^6 Hz

Beispiel:

Welche Periodendauer hat ein Wechselstrom bei Netzfrequenz 50 Hz?

Lösung:

$$f = \frac{1}{T}; \Rightarrow T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50 \text{ Hz}} = \frac{1}{50 \cdot \frac{1}{s}} = 0,02 \text{ s} = 20 \text{ ms}$$

¹ \hat{u} (sprich: u-Dach)

² amplitudo (lat.) = Größe, Weite, Schwingungsweite

³ Periode (griech.) = Zeitabschnitt

⁴ AC = Abkürzung für **A**lternating **C**urrent (engl.) = Wechselstrom

⁵ Heinrich Hertz, deutscher Physiker, 1857 bis 1894

² λ griech. Kleinbuchstabe lambda



7.1.4 Frequenz und Polpaarzahl

Versuch: Stellen Sie einen drehbar gelagerten Dauermagneten in der Nähe einer Spule mit vielen Windungen auf (Bild 1), z. B. mit 1000 Windungen. Schließen Sie an die Spule einen Gleichspannungsmesser an (Zeigermessinstrument, Nullstellung in Skalenmitte). Drehen Sie den Dauermagneten mit unterschiedlicher Drehzahl.

Das Messgerät zeigt eine Wechselspannung an, deren Frequenz mit der Umdrehungsfrequenz des Dauermagneten zunimmt.

Durch Drehung des Magneten ändert das Magnetfeld in der Spule seine Richtung und Stärke. Dadurch wird in der Spule eine Wechselspannung u induziert, deren Periodendauer T so groß ist wie die Zeit für eine Umdrehung des Magneten. Ähnlich wird in der Energietechnik mit **Innenpolmaschinen** Wechselspannung erzeugt (Bild 2).

Durch Drehung des Magneten bei der Innenpolmaschine (Bild 2) ändert sich der magnetische Fluss, der die feste Spule im Ständer der Maschine durchdringt. In der Ständerspule wird eine Wechselspannung induziert (Induktionsgesetz). Diese Wechselspannung erreicht den größten Wert, wenn der magnetische Fluss durch die Spule seine Richtung ändert. Wenn der magnetische Fluss durch die Spule am größten ist, aber seine Stärke nicht ändert, wird auch keine Spannung induziert.

Die induzierte Spannung u ist immer so gepolt, dass der entstehende Induktionsstrom mit seinem Magnetfeld nach der Lenzschen Regel dem Auf- und Abbau des ursächlichen Magnetfeldes entgegenwirkt.

Dreht sich bei einer Maschine mit der Polpaarzahl $p = 1$ (Bild 2) das Polrad in der Sekunde 50-mal, so hat die entstehende Wechselspannung die Frequenz $f = 50$ Hz.

Bei einer Maschine mit der Polpaarzahl $p = 2$ (Bild 3) entsteht bei gleicher Umdrehungsfrequenz (Drehzahl) die doppelte Frequenz $f = 100$ Hz.

7.1.5 Zeitlicher Verlauf von Wechselgrößen

In der Elektrotechnik unterscheidet man insbesondere Rechteck-, Sinus- und Sägezahnspannungen (Bild 4).

Eine Wechselgröße liegt vor, wenn während einer Periode die Flächenanteile im positiven und negativen Bereich gleich groß sind.

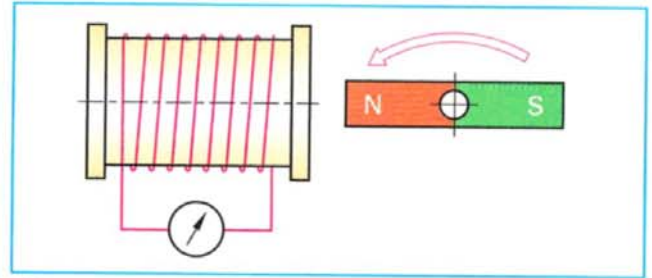


Bild 1: Erzeugung von Wechselspannung

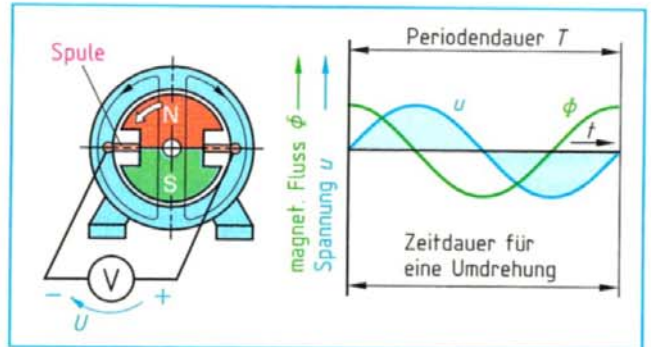


Bild 2: Innenpolmaschine mit einem Polpaar

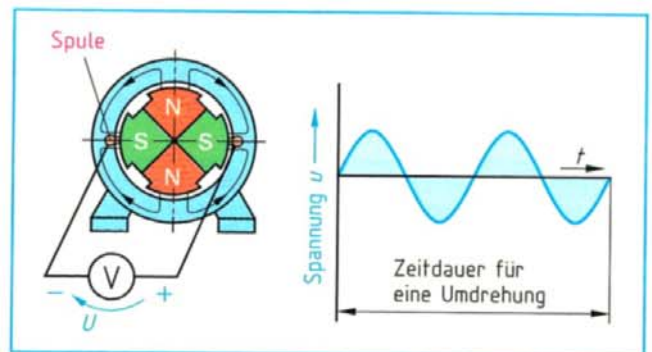


Bild 3: Innenpolmaschine mit zwei Polpaaren

Frequenz und Polpaarzahl

$$f = p \cdot n$$

$$[f] = \frac{1}{s} = \text{Hz}$$

- f Frequenz
- p Polpaarzahl
- n Umdrehungsfrequenz (Drehzahl)

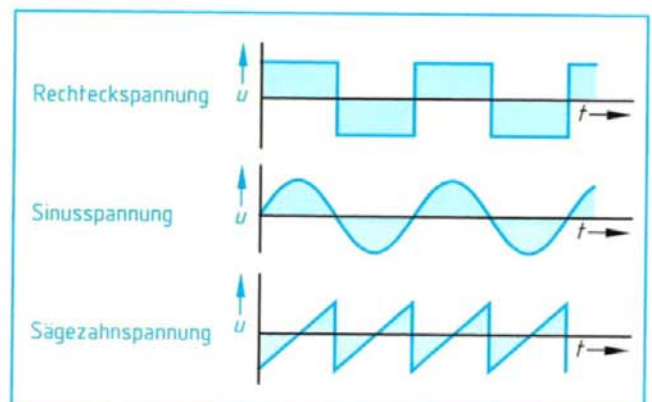


Bild 4: Beispiele von Wechselspannungen



In der Steuerungstechnik, Regelungstechnik und Datentechnik wird häufig mit **Spannungsimpulsen** und **Stromimpulsen** gearbeitet. Bei Spannungsimpulsen und bei Stromimpulsen ist eine Spannung oder ein Strom nur kurzzeitig vorhanden (**Tabelle**).

Nach einem Impuls folgt eine spannungslose bzw. eine stromlose Pause.

Bei einem **Pulsvorgang** folgen die Einzelimpulse periodisch aufeinander (**Tabelle**). Bei Wechselimpulsen wechselt der Strom bzw. die Spannung während einer Periode die Richtung.

Je nach Impulsform und Schwingungsanteil unterscheidet man verschiedene Impulse (**Tabelle**). In der Digitaltechnik werden häufig **Rechteckimpulse** und **Nadelimpulse** als Taktsignale verwendet. Nadelimpulse entstehen, wenn man z. B. eine RC-Schaltung mit Rechteckimpulsen ansteuert (**Bild 1**).

In der Energietechnik werden **Sinusimpulse**, z. B. bei der Gleichrichtung (**Seite 240**), und **Schwingungspakete** bei Vielperiodensteuerungen (Schwingungspaketsteuerungen) (**Seite 251**) eingesetzt.

Wichtige Impulsgrößen sind die Impulsdauer t_i , die Periodendauer T (**Tabelle**) und der Tastgrad g . Bei Impulsen unterscheidet man die Vorderflanke, die Rückflanke und das Dach (**Bild 2**). Die Impulsflanken sind umso steiler, je kürzer die **Anstiegszeit**¹ t_r und die **Abfallzeit**² t_f sind.

Tabelle: Impulsarten

| | |
|-------------------|--|
| Rechteckimpulse | |
| Nadelimpulse | |
| Sinusimpulse | |
| Schwingungspakete | |

Pausendauer und Impulsdauer

$$g = \frac{t_i}{T}$$

$$T = t_i + t_p$$

$$f = \frac{1}{T}$$

g Tastgrad
 T Periodendauer
 t_i Impulsdauer
 t_p Pausendauer
 f Frequenz

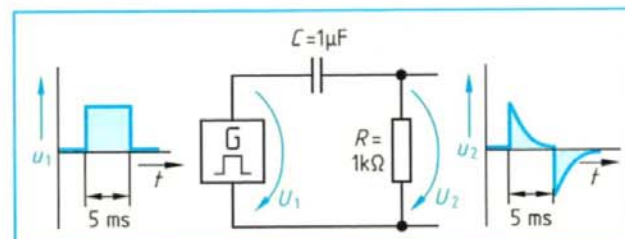


Bild 1: Erzeugung von Nadelimpulsen

Wiederholungsfragen

- 1 Was versteht man unter Frequenz?
- 2 Welche Frequenz hat das Wechselspannungsnetz in Europa?
- 3 Wie ändert sich die Frequenz, wenn die Periodendauer verdoppelt wird?
- 4 Wie groß ist die maximale Ausbreitungsgeschwindigkeit einer elektromagnetischen Welle?
- 5 Wie berechnet man die Frequenz, wenn die Polpaarzahl und die Drehzahl einer Innenpolmaschine gegeben sind?
- 6 Was versteht man unter a) einem Spannungsimpuls und b) einem Stromimpuls?
- 7 Mit welchem Messinstrument misst man den zeitlichen Verlauf von Wechselspannungen?
- 8 Welche Impulsdauer ergibt sich bei einem Rechteckimpuls mit der Frequenz 1 kHz?

¹ von to rise (engl. = ansteigen)

² von to fall (engl. = fallen)

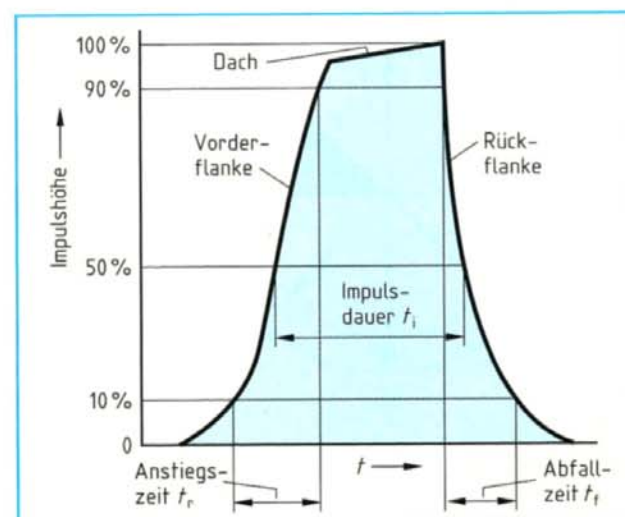


Bild 2: Kenngrößen beim Impuls