

Lektion 2: Spannung und Strom

Übersicht:

- Die elektrische Spannung
- Spannungsmessung
- Reihenschaltung
- Der elektrische Strom
- Stromstärke
- Ladungsmenge
- Wechselstrom, Wechselspannung
- Frequenz
- Periodendauer
- Effektivwert

Die elektrische Spannung

Sie wissen sicher, dass in einem Atom gleich viel negative Ladungen (Elektronen) und positive Ladungen (Protonen) vorhanden sind. Nach außen ist ein Atom und damit das gesamte Material, das aus diesen Atomen besteht, elektrisch neutral.

Gelingt es irgendwie, dieses natürliche Gleichgewicht zwischen den positiven und den negativen Ladungen aufzubrechen (zu stören), so werden die voneinander getrennten verschiedenen Ladungen das Bestreben haben, durch die Anziehungskräfte wieder zusammen zu kommen.

Definition: Das Ausgleichsbestreben unterschiedlicher elektrischer Ladungen nennt man elektrische Spannung.

Das Trennen der Ladungen bei einer Spannungsquelle geschieht durch Energiezufuhr, zum Beispiel Reibung (Glasslab), chemische Vorgänge (Batterie, Akkumulator), durch Bewegungen eines Magneten in einer Drahtschleife (Induktion beim Generator), durch Wärmewirkung (Thermoelement), durch Belichtung (Photoelement), durch Druck (Piezoeffekt beim Feuerzeug) und so weiter.

Die Elektrode (Anschlussklemme) einer Spannungsquelle, an welcher Elektronenüberschuss herrscht, ist der Minuspol, denn die negative Ladung der Elektronen überwiegt. Am Pluspol einer Spannungsquelle herrscht Elektronenmangel.

Alle Bauelemente in der Elektrotechnik stellt man zeichnerisch durch ein (genanntes) Schaltzeichen dar. Eine Batterie wird zum Beispiel durch folgendes Zeichen dargestellt.

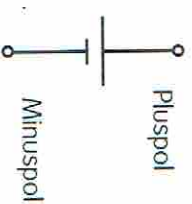


Bild 2-1: Schaltzeichen für eine Batterie

Das Formelzeichen für die elektrische **Spannung** ist **U** (merke: Unterschied). Die **Einheit** für die Spannung ist das **Volt**, abgekürzt **V**.

Beispiele

- Die Netzspannung im Haushalt beträgt $U = 230 \text{ V}$ (früher 220 V).
- Die Spannung eines Akkumulators im PKW beträgt $U = 12 \text{ V}$.

Neben dieser Einheit Volt (V) verwendet man Vielfache und Teile dieser Einheit. Wie es beispielsweise beim Meter Kilometer, Millimeter und Mikrometer gibt, verwendet man in der Elektrotechnik Kilovolt, Millivolt oder Mikrovolt.

$$\begin{aligned} 1 \text{ kV} &= 10^3 \text{ V} = 1000 \text{ V} \\ 1 \text{ mV} &= 10^{-3} \text{ V} = \frac{1}{1000} \text{ V} \\ 1 \text{ }\mu\text{V} &= 10^{-6} \text{ V} = \frac{1}{1000000} \text{ V} \end{aligned}$$

Es gibt sehr hohe und sehr niedrige Spannungen. Im Amateurfunk verarbeitet ein guter Empfänger Signale, die mit einer Spannung von weniger als ein Mikrovolt ($1 \text{ }\mu\text{V} = 1 \text{ Millionstel V}$) von der Antenne geleitet werden, zu brauchbaren Lautstärken. In Sendern arbeiten starke Endstufen manchmal mit Röhren, die mit Spannungen von mehr als 2 Kilovolt betrieben werden.

Spannungsmessung

Die Spannung kann mit einem Spannungsmesser (Voltmeter) zwischen zwei Punkten einer Schaltung gemessen werden, zwischen denen ein Potenzialunterschied herrscht. Der Spannungsmesser muss parallel zur zu messenden Spannung geschaltet werden.

Ein Spannungsmesser wird rund gezeichnet (Anzeigergerät). Er erhält als Zusatzsymbol ein V für die Einheit. Er wird immer zur zu messenden Spannung *parallel* geschaltet.

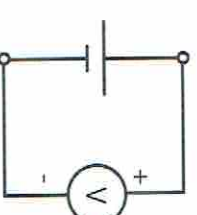


Bild 2-2: Schaltung für den Spannungsmesser

Beim Anschluss eines Spannungsmessers ist auf die Polarität zu achten, das heißt: Der Pluspol des Spannungsmessers wird an die Plusklemme der Batterie und der Minuspol an die Minusklemme angeschlossen. Es gibt elektronische Messgeräte (digitale Messgeräte), die eine automatische Umschaltung vornehmen. Die Polarität wird hierbei durch ein Plus- oder Minuszeichen angezeigt. Siehe auch Lektion 17: Messtechnik!

Alle Spannungen über 50 Volt sind lebensgefährlich. Ein Berühren kann tödlich sein.

Deshalb darf bei Spannungen über 42 Volt nach den Vorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker (VDE) das zufällige Berühren Spannung führender Teile nicht möglich sein. Bei Spannungen über 50 Volt sind besondere Schutzmaßnahmen erforderlich, die in Lektion 18 beschrieben werden.

Reihenschaltung von Spannungsquellen

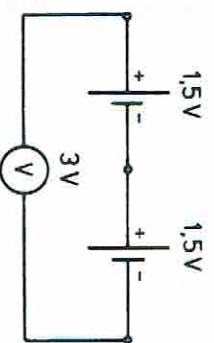


Bild 2-3: Reihenschaltung von zwei Spannungsquellen

Mehrere Spannungsquellen, zum Beispiel handelsübliche 1,5-V-Zellen, lassen sich zu so genannten *Batterien* zusammenschalten. Bild 2-3 zeigt: Schaltet man zum Beispiel zwei Zellen von je 1,5 Volt so hintereinander, dass der Pluspol der einen mit dem Minuspol der anderen zusammengeschaltet wird, misst man mit einem Spannungsmesser eine Gesamtspannung von 3 Volt.

Man nennt diese Schaltung eine Reihenschaltung oder Serienschaltung von Spannungsquellen.

Merken Sie sich: In einer **Reihenschaltung** addieren sich die Teilspannungen zur Gesamtspannung.

Haben Sie einen Spannungsmesser? Als Funkamateure sollten Sie ein Vielfachmessgerät besitzen, denn Sie werden immer wieder in die Verlegenheit kommen, eine Spannung oder einen Strom messen zu wollen.

Messen Sie bitte einmal die Gesamtspannung der im Bild 2-4 gezeigten „Gegengerhenschaltung“, bei der die Batterien so hintereinander (in Reihe) geschaltet sind, dass sich die beiden Pluspole oder die beiden Minuspole berühren.

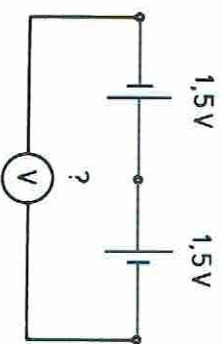
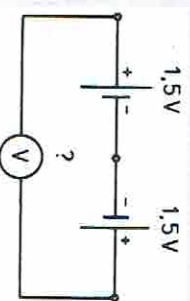


Bild 2-4: Gegengerhenschaltung von zwei Spannungsquellen

Bei der Gegengerhenschaltung werden die beiden Spannungen voneinander subtrahiert (abgezogen). Bei der Schaltung im Bild 2-4 messen Sie bei genau gleichen Teilspannungen eine Gesamtspannung von null Volt.

Prüfungsfrage TB201
Welche Spannung zeigt der Spannungsmesser?



A 3 V B 0 V C -3 V D 1,5 V

Es lassen sich beliebig viele Einzelzellen zu einer hohen Gesamtspannung zusammenschalten. Beim Bleiakkumulator, wie er im Auto verwendet wird, werden zum Beispiel 6 Zellen von je 2 Volt so hintereinander geschaltet, dass die Gesamtspannung 12 Volt beträgt.

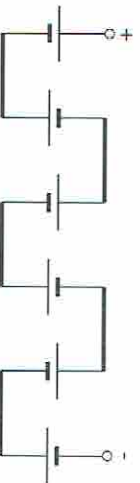


Bild 2-5: Schaltung eines Akkus für 12 V aus 6 Zellen von je 2 V

Der elektrische Strom

Elektrische Spannung entsteht durch Ladungstrennung. Verbindet man nach dieser Trennung die beiden Pole einer Spannungsquelle mit einem elektrischen Leiter, findet ein Ladungsausgleich statt. Den Ladungsausgleich nennt man elektrischen Strom.

Die Bewegung von Ladungsträgern allein ist noch kein elektrischer Strom, denn die Elektronen bewegen sich unter dem Einfluss der Temperatur ständig regellos umher. Erst wenn die Bewegung der Ladungsträger im Mittel in einer Richtung verläuft, findet ein Ladungstransport statt. In diesem Fall spricht man von elektrischem Strom.

Für die Stromrichtung wurde früher die Richtung vom Pluspol zum Minuspol festgelegt. Man nennt diese Definition der Stromrichtung „technische Stromrichtung“. Erst später fand man heraus, dass in Wirklichkeit die Ladungsträger in umgekehrter Richtung fließen. In Lektion 13 wird noch näher darauf eingegangen. Bearbeiten Sie hier schon mal die **Prüfungsfrage TB203!**

Ein elektrischer Strom kann nur fließen, wenn eine Spannungsquelle vorhanden ist, an die ein geschlossener Stromkreis angeschlossen ist. Ein geschlossener Stromkreis besteht aus der Spannungsquelle, dem so genannten *Verbraucher* (z.B. Glühlampe) und den Verbindungsleitungen (Bild 2-6).



Bild 2-6: Der geschlossene Stromkreis

Prüfungsfrage TB204

Kann in folgender Schaltung von zwei gleichen Spannungsquellen Strom fließen?



Bild 2-7: Zur Prüfungsaufgabe TB204

Antwort: Nein, denn es ist kein geschlossener Stromkreis vorhanden. Es handelt sich hier nur um die Reihenschaltung von zwei Spannungsquellen.

Die Stromstärke

Definition: Das Formelzeichen für die elektrische **Stromstärke** ist **I** (merke: Intensität). Die **Einheit** der elektrischen Stromstärke ist das **Ampere**, Abkürzung **A**.

$$1 \text{ Milliampere} = 1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A} = \frac{1}{1000} \text{ A}$$

$$1 \text{ Mikroampere} = 1 \text{ }\mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A} = \frac{1}{1000000} \text{ A}$$

Um über den elektrischen Strom eine Aussage machen zu können, muss man ihn mit geeigneten Anzeigeräten messen. Die Stromstärke wird gemessen, indem man einen Strommesser (Amperemeter) in den geschlossenen Stromkreis einschleift. Dazu muss eine Verbindungsleitung aufgetrennt und der Strommesser „in Reihe“ geschaltet werden (Bild 2-8). Mehr zur Strom- und Spannungsmessung finden Sie in Lektion 17: Messtechnik!

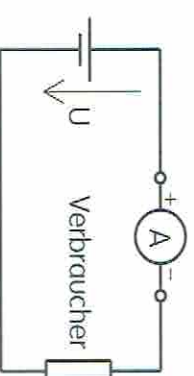


Bild 2-8: Schaltung für den Strommesser

Ladungsmenge

Beim Strom handelt es sich um die Bewegung von elektrischen Ladungsträgern. Wenn der Strom eine Zeitlang geflossen ist, hat man eine bestimmte Ladungsmenge transportiert. Es gilt der Zusammenhang *Ladungsmenge Q ist Stromstärke I mal Zeit t*, als Formel geschrieben

$$Q = I \cdot t$$

Die Einheit der Ladungsmenge ergibt sich aus dieser Formel als abgeleitete Einheit Ampere mal Sekunden oder kurz Ampere-sunden, abgekürzt As. Für diese Einheit Amperekunde hat man eine neue Einheit definiert. Man hat sie Coulomb genannt und mit C abgekürzt.

$$1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s} = 1 \text{ As}$$

Aufgabe: Tragen Sie zur Übung die Formelbuchstaben und die Abkürzungen der Einheiten in folgende Tabelle ein.

Größe	Formelzeichen	Einheit
Ladungsmenge		
Spannung		
Strom		

Akkus können relativ große Ladungsmengen speichern, deshalb verwendet man hier die Einheit Amperestunden. Es gilt:

$$1 \text{ Stunde} = 60 \text{ Minuten} = 3\,600 \text{ Sekunden}$$

$$1 \text{ h} = 60 \text{ min} = 3\,600 \text{ s}$$

Beispiel: Ein Akku wird 10 Stunden lang mit einer Stromstärke von 5,5 Ampere geladen. Wie groß ist die aufgenommene Ladungsmenge in Amperestunden?

Lösung: $Q = I \cdot t = 5,5 \text{ A} \cdot 10 \text{ h} = 55 \text{ Ah}$

Der Akku hat eine Ladungsmenge von 55 Amperestunden aufgenommen.

Prüfungsfrage TB205

Wie lange könnte man mit einem voll geladenen Akku mit 55 Ah einen Amateurfunk-Empfänger betreiben, der einen Strom von 0,8 Ampere aufnimmt?

- A 68 Stunden und 75 Minuten
- B Genau 44 Stunden
- C 6 Stunden 52 min und 30 s
- D 68 Stunden und 45 Minuten

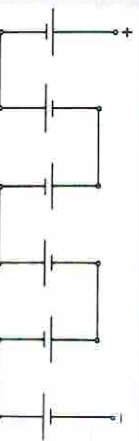
Lösung: Es wird nach der Zeit t gefragt. Stellt man die Formel $Q = I \cdot t$ nach der Zeit t um, erhält man

$$t = \frac{Q}{I} = \frac{55 \text{ Ah}}{0,8 \text{ A}} = 68,75 \text{ h}$$

Die Einheiten Ampere im Zähler und im Nenner kürzen sich heraus und es ergibt sich eine Zeit von 68,75 Stunden. Die 0,75 Stunden müssen wir noch in Minuten umrechnen, $0,75 \cdot 60 \text{ min} = 45 \text{ min}$.

Prüfungsaufgabe TB202

Folgende Schaltung eines Akkus besteht aus Zellen von je 2 V. Jede Zelle kann 10 Ah Ladung liefern. Welche Daten hat der Akku?



- A 12 V / 60 Ah B 12 V / 10 Ah
- C 2 V / 10 Ah D 2 V / 60 Ah

Tipp: Jede Zelle liefert z.B. 1 Stunde lang 10 A. Der Strom, der aus einer Zelle heraus in die nächste Zelle fließt, bleibt bei der Reihenschaltung erhalten, also liefert der Akku auch 1 Stunde lang 10 A, also 10 Ah.

Wechselstrom/-spannung

Bisher wurde in diesem Lehrgang eine gleich bleibende Bewegungsrichtung der Ladungsträger angenommen. Dies nennt man Gleichstrom. Ändert sich die Bewegungsrichtung der Ladungsträger ständig, fließt also der Strom hin und her, spricht man von Wechselstrom beziehungsweise als Ursache des Stromes von Wechselspannung.

Fließt beispielsweise eine Zeitlang der Strom gleichmäßig in eine Richtung – sagen wir: Plusrichtung – und danach eine Zeitlang in Minusrichtung, also umgekehrt, kann man diese Tatsache grafisch in Form eines Diagramms darstellen. Man zeichnet eine horizontale Linie, welche die Zeit darstellt, und beschriftet sie mit t (time). Senkrecht wird der Strom I aufgetragen. Werte oberhalb der t -Achse bedeuten Plusrichtung, Werte unterhalb bedeuten Minusrichtung des Stroms. Bild 2-9 A stellt dann den eben beschriebenen Wechselstrom dar. Man nennt diese Kurvenform nach ihrem Aussehen „rechteckförmig“.

In der Praxis sieht der technische Wechselstrom aus der Netzsteckdose anders aus. Er entspricht der Kurvenform im Bild 2-9 B. Man nennt diese Form „sinusförmig“. Eine solche Wechselspannung, bei der sich die Kurvenform regelmäßig wiederholt, heißt periodische Wechselspannung. Die Periode ist die Zeit, bis sich der Vorgang wiederholt.

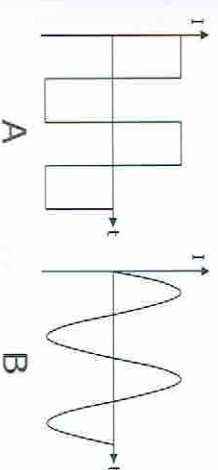


Bild 2-9: Formen von Wechselstrom
A: rechteckförmig, B: sinusförmig

Frequenz

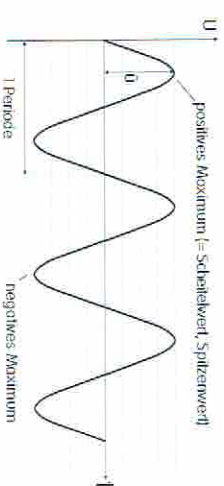


Bild 2-10: Sinusförmige Wechselspannung

Die Anzahl der Perioden je Sekunde ist die Frequenz f einer Wechselspannung mit der Einheit Hertz (Hz).

$$1 \text{ Hertz} = 1 \text{ Periode je Sekunde}$$

$$1 \text{ Hz} = \frac{1}{\text{s}}$$

Maßeinheit	Abk.	Angabe in Hz
1 Kilohertz	1 kHz	10^3 Hz 1 000 Hz
1 Megahertz	1 MHz	10^6 Hz 1 000 000 Hz
1 Gigahertz	1 GHz	10^9 Hz 1 000 000 000 Hz

Das Stromnetz in Europa hat 50 Perioden pro Sekunde, also 50 Hertz. In den USA beträgt die Frequenz 60 Hertz. Tonfrequenz zur Übertragung von Sprache oder Musik zum Beispiel enthält die Frequenzen 20 Hz bis 20 kHz. Der Frequenzbereich zur Übertragung von Sprache beträgt im Amateurfunk 300 Hz bis 3 kHz. Hochfrequenz ist der Bereich zur Funkübertragung. Er enthält den Frequenzbereich von zirka 100 kHz bei Langwelle bis weit in den Gigahertzbereich hinein für Satellitenfunk.

Prüfungsfragen

Bearbeiten Sie nun die Prüfungsfragen **TB606**, **TB701** und **TB702**.

Das Thema „nicht-sinusförmige Signale“ wird im Lehrgang zur Klasse A sehr ausführlich behandelt. Die Frage TB702 können Sie mit dem Wissen aus diesem Lehrgang nicht beantworten.

Periodendauer

Die Zeitdauer T für eine vollständige Schwingung (1 Periode, siehe Bild 2-10) nennt man Periodendauer. Sie beträgt für unseren Haushaltsstrom eine fünfzigstel Sekunde.

$$\frac{1}{50} \text{ s} = 0,02 \text{ s} = 20 \text{ ms}$$

Allgemein kann mit folgender Formel die Periodendauer aus der Frequenz errechnet werden.

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

wobei auch hier die Einheiten in ihrer Grundform Sekunde und Hertz eingesetzt werden.

Prüfungsaufgabe TB607

Die Periodendauer von $50 \mu\text{s}$ entspricht einer Frequenz von
A 200 kHz **B** 2 MHz
C 20 kHz **D** 20 MHz

Die Lösungen finden Sie am Ende des Buches im Anhang 2.

Umgekehrt ist

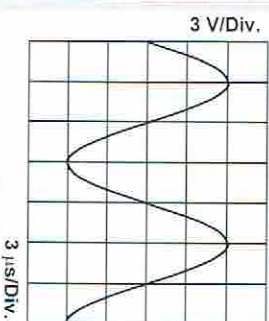
$$f = \frac{1}{T}$$

Üblicherweise benutzt man diese Formel, um aus einer Periodendauer die Frequenz zu ermitteln, denn auf dem Bildschirm eines Oszilloskops kann man die Periodendauer ganz gut ablesen. In dem Diagramm der folgenden Aufgabe ist horizontal die Zeit im Maßstab $3 \mu\text{s}$ pro Zeiteinheit (Kästchen, Division) aufgetragen.

Um die folgende Aufgabe zu lösen, müssen Sie die Periodendauer bestimmen, indem Sie die Anzahl der Kästchen für eine volle Periode zählen und diese Anzahl mit der Zeiteinheit pro Kästchen multiplizieren.

Prüfungsaufgabe TB610

Welche Frequenz hat die in diesem Oszillogramm dargestellte Spannung?



A 83,3 kHz **B** 833,3 kHz
C 8,3 MHz **D** 83,3 MHz

Lösung: Zunächst wird die Periodendauer abgelesen. Es sind 4 Kästchen für eine Schwingung. Ein Kästchen hat $3 \mu\text{s}$.

$$T = 4 \cdot 3 \mu\text{s} = 12 \mu\text{s}$$

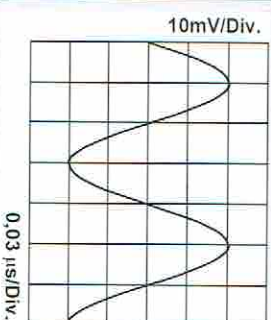
Die Formel wird nach f umgestellt und dieser Wert eingesetzt.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{12 \mu\text{s}} = \frac{1}{12 \cdot 10^{-6} \text{ s}} = \frac{10^6}{12} \text{ s}^{-1}$$

$$f = \frac{1000000}{12} \text{ Hz} = 83333,33 \text{ Hz} = \underline{\underline{83,3 \text{ kHz}}}$$

Prüfungsfrage TB611

Welche Frequenz hat das in diesem Schirmbild dargestellte Signal?



A 8,33 kHz **B** 16,7 MHz
C 8,33 MHz **D** 833 kHz

Effektivwert

Stellen Sie sich folgenden Versuch vor: Sie legen eine Glühlampe an eine bestimmte Gleichspannung. Anschließend wiederholen Sie den Vorgang mit einer Wechselspannung, die Sie so lange verändern, bis die Glühlampe genau so hell leuchtet wie zuvor mit der Gleichspannung. Betrachten Sie nun die eingestellten Werte wieder in einem Diagramm, so stellen Sie fest, dass der höchste Wert der Wechselspannung höher liegt als die Gleichspannung. Genauer gesagt liegt die Gleichspannung bei ca. 70% des Maximalwerts der Wechselspannung. Diesen Wert nennt man Effektivwert der Wechselspannung U_{eff} . Da der Effektivwert einer gleich großen Gleichspannung entspricht, schreibt man dafür häufig auch nur den Großbuchstaben U .

Beispiel:

Die Netzwechselspannung im Haushalt beträgt $U = 230 \text{ Volt}$.

Bei einem sinusförmigen Verlauf der Wechselspannung kann man einen einfachen Zusammenhang zwischen dem Maximalwert (Scheitelwert oder Spitzenwert) U_{max} und dem Effektivwert U_{eff} nachweisen.

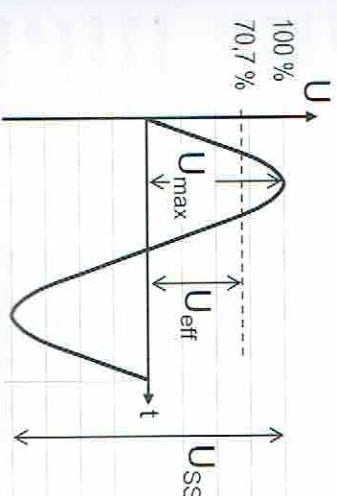


Bild 2-11: Spitzenwert, Spitze-Spitze-Wert und Effektivwert einer Sinusgröße

Wenn der Scheitelwert einer sinusförmigen Wechselspannung bekannt ist, kann man den Effektivwert mit folgender Formel berechnen. Eine mathematische Ableitung können wir uns hier ersparen.

$$U_{\text{eff}} = \frac{U_{\text{max}}}{\sqrt{2}}$$

Prüfen Sie mal mit dem Taschenrechner:

$$\sqrt{2} = 1,414$$

und der Kehrwert davon

$$\frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{1}{1,414} = 0,707$$

$$\text{Also } U_{\text{eff}} = 0,707 \cdot U_{\text{max}}$$

Der Effektivwert einer sinusförmigen Wechselspannung beträgt etwa 70,7 % des Scheitelwertes. Gleiches gilt auch für den Strom. In der Praxis rechnet man häufig einfach mit 0,7 oder 70 Prozent. Wird bei einer Wechselspannung oder bei einem Wechselstrom keine nähere Angabe gemacht, ist grundsätzlich der Effektivwert gemeint.

Prüfungsfrage TB612

Eine sinusförmige Wechselspannung hat einen Spitzenwert von 12 Volt. Wie groß ist der Effektivwert der Wechselspannung?

A 6 V **B** 8,5 V
C 17 V **D** 24 V

$$\text{Lösung: } U = 0,707 \cdot 12 \text{ V} = \underline{\underline{8,49 \text{ V}}}$$

Bei Messungen mit dem Oszilloskop kann man den Wert von der positiven Spitze bis unten zur negativen Spitze leichter ablesen. Man nennt ihn Spitze-Spitze-Wert U_{ss} (Bild 2-11). Der Spitze-Spitze-Wert ist also doppelt so groß wie der Spitzenwert.

Bearbeiten Sie **Frage TB613!**