

Grundlagen für die Elektronik

Teil 5: Die Wechselstromtechnik

Wenn in unseren vorherigen Teilen der Grundlagen-Reihe von einer Spannungsquelle die Rede war, so handelte es sich grundsätzlich um Gleichspannungsquellen. Der fließende Strom bewegte sich also immer nur in gleicher Richtung.

Im Gegensatz dazu versteht man unter Wechselstrom jene Stromart, bei der die Stromstärke sich periodisch in Größe und Richtung ändert. Hierbei muß es sich nicht unbedingt um die Sinusform handeln, sondern es kommen beliebige andere Funktionen in Betracht, wenn sie die genannten Bedingungen erfüllen. Wir werden uns jedoch ausschließlich mit dem sinusförmigen Wechselstrom befassen.

6. Der Wechselstrom

Wie bereits im Vorwort erwähnt, ändert der Wechselstrom periodisch seine Größe und Richtung. Wesentlich dabei ist die Periodizität, also die zeitliche Folge eines immer wiederkehrenden gleichen Verlaufs. Durch die Eigenschaften des Wechselstromes bietet dieser die Möglichkeit der Transformation. Es läßt sich somit nahezu jede beliebige Spannung erzeugen. Doch auch einige Nachteile müssen wir beim Einsatz des Wechselstromes in Kauf nehmen, wie wir später noch sehen werden.

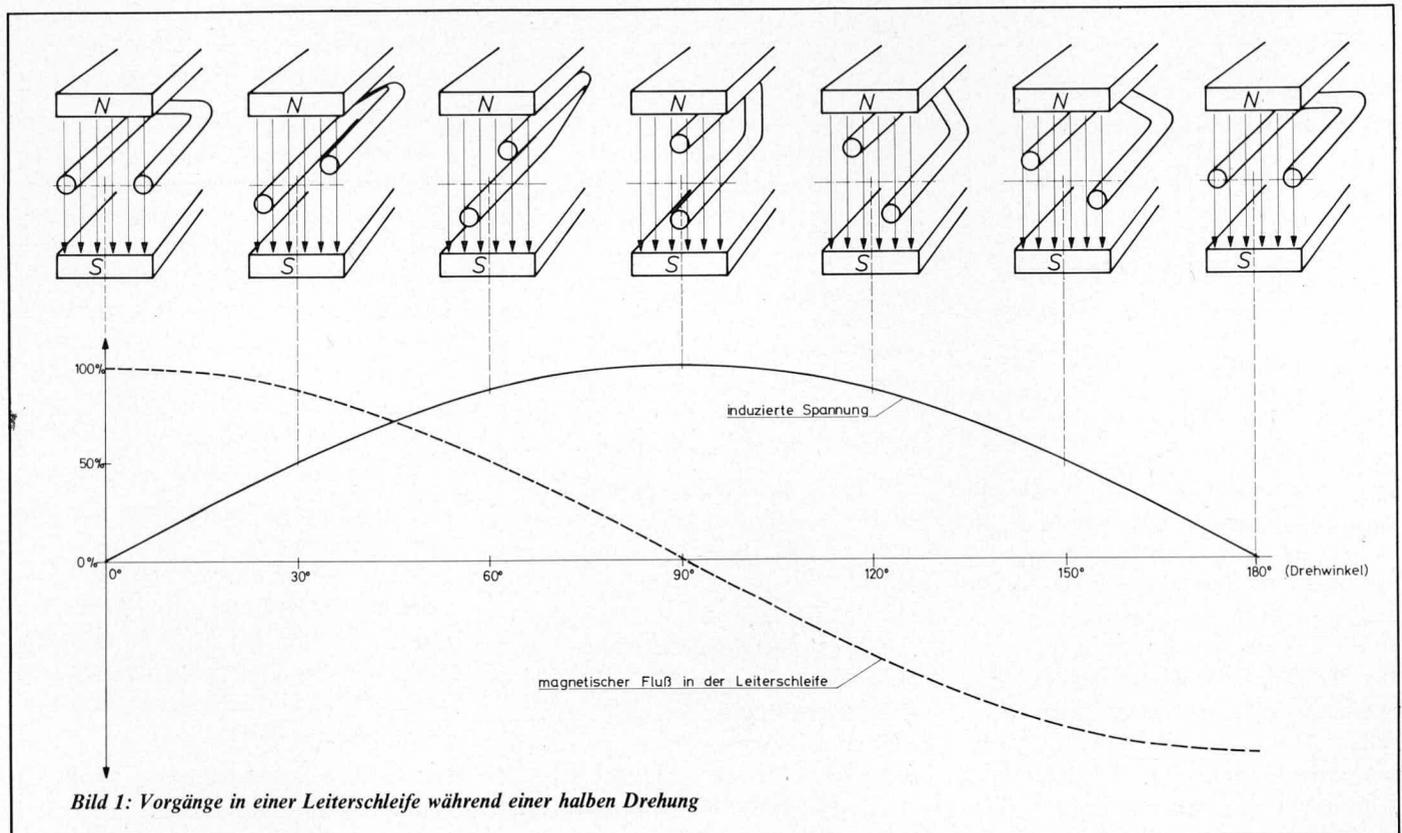
6.1 Erzeugung einer Wechselfspannung

In der elektrischen Energietechnik werden Wechselfspannungen weit überwiegend durch elektromagnetische Spannungsinduktion aufgrund des Induktionsgesetzes erzeugt, wie es im Teil 4 unter 5.6 angesprochen wurde. Dabei handelt es sich in der Hauptsache um Spannungserzeugung durch Drehung, also rotatorische Relativbewegung zwischen magnetischem Feld und Leiterwindungen. Auch in der Nachrichtentechnik werden gelegentlich zur Erzeugung niedriger Frequenzen umlaufende Maschinen ver-

wendet, während man bei höheren Frequenzen mit Oszillatorschaltungen z. B. aus Röhren bzw. Transistoren arbeitet.

6.1.1 Spannungserzeugung durch Rotation

Nach unseren Feststellungen im Teil 4 ist es prinzipiell gleichgültig, ob man zur Spannungserzeugung eine Spule in einem drehenden Magnetfeld dreht oder ob die Windungen feststehen und sich das Magnetfeld bewegt. Nachfolgend wollen wir eine drehende Leiterschleife im statischen Magnetfeld betrachten.



Bei der gleichförmigen Drehung einer Leiterschleife in einem homogenen (gleichförmigen) Magnetfeld entsteht in der Leiterschleife eine sinusförmige Induktionsspannung. Diese Spannung ändert ihre Richtung und ihre Größe. Je größer die Flußänderungsgeschwindigkeit (Drehgeschwindigkeit der Leiterschleife) ist, desto größer ist die induzierte Spannung. Heute ist es üblich, die Wechselspannung für die Energietechnik mit einer Innenpolmaschine zu erzeugen. Hierbei ist ein rotierendes elektromagnetisches Feld von einer stationären Spule umgeben.

6.1.2 Die Kreisfrequenz

Die Kreisfrequenz hat in der Wechselstromtechnik eine große Bedeutung, und soll deshalb hier angesprochen werden.

Das Polrad einer zweipoligen Maschine dreht sich, wie wir in Bild 3 gesehen haben, bei der Entstehung einer Periode einmal um einen Winkel von 360° . Bei elektrotechnischen Berechnungen wird dieser Winkel nicht in Grad, sondern im Bogenmaß angegeben. Maßgebend ist die Länge eines Bogens im Einheitskreis mit dem Radius $r = 1$. Der Gesamtumfang

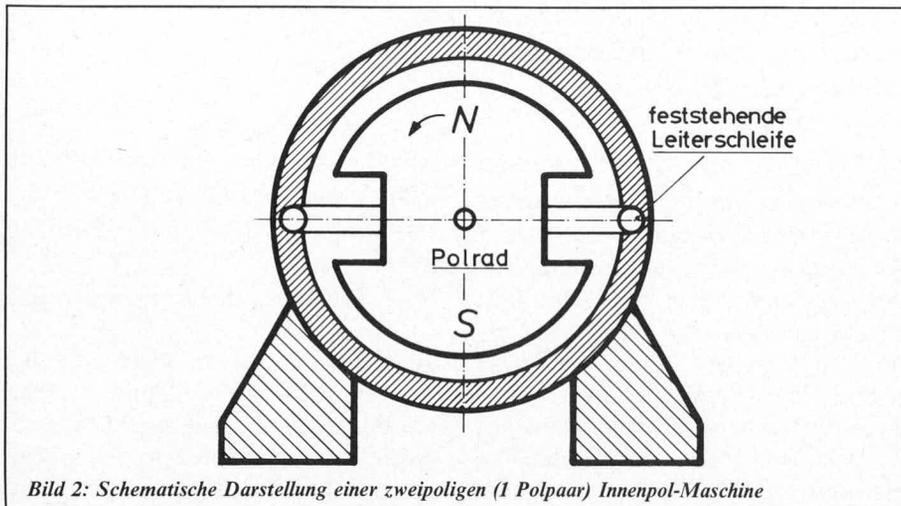


Bild 2: Schematische Darstellung einer zweipoligen (1 Polpaar) Innenpol-Maschine

Wenn das Polrad dieses Generators sich einmal um 360° gedreht hat, so entsteht eine Spannung, wie sie in nachstehendem Bild gezeigt ist:

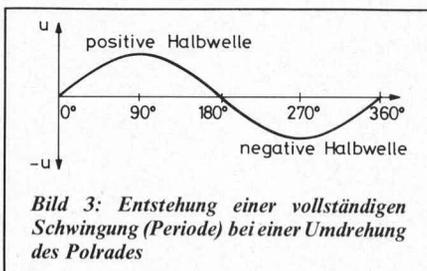


Bild 3: Entstehung einer vollständigen Schwingung (Periode) bei einer Umdrehung des Polrades

Einen gesamten Schwingungszug mit einer positiven und einer negativen Halbwelle bezeichnet man als eine Periode; oder im Bogenmaß als $2 \cdot \pi$ (Pi). Verständlicherweise hängt die erzeugte Frequenz, die Schnelligkeit, mit der die Perioden entstehen, von der Drehzahl des Generators ab. Dreht sich ein zweipoliger Generator, wie er in Bild 2 schematisch dargestellt ist, in der Sekunde 50 mal, dann hat die entstehende Wechselspannung die Frequenz „f“ von 50 Hertz ($\text{Hz} = 1/\text{s}$). Ein vierpoliger Generator (2 Polpaare) würde bei gleicher Drehzahl bereits eine Frequenz von 100 Hertz erzeugen.

beträgt somit 2π , entsprechend 360° . Werden „f“ vollständige Kreisumdrehungen je Sekunde abgeschlossen, dann ergibt dieses eine zurückgelegte Strecke von $2 \cdot \pi \cdot f$. Dieses Produkt heißt Kreisfrequenz und trägt das Formelzeichen „ ω “ (Omega). Wir wissen alle, daß unsere Netzfrequenz 50 Hz beträgt (50 vollständige Spannungsperioden pro Sekunde), und wollen nun hierzu die Kreisfrequenz errechnen:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \frac{1}{\text{s}} = 314 \text{ s}^{-1}$$

Die Kreisfrequenz unserer Netzspannung hat demnach den Wert 314 s^{-1} ; der Einheitsname Hertz (Hz) wird nur für die Frequenz „f“ benutzt.

6.2 Werte des Wechselstromes

Eine Wechselstromgröße ändert ihren augenblicklichen Wert ständig zwischen Null und den beiden Scheitelwerten. Es entsteht somit die Frage, durch welchen kennzeichnenden Wert man zweckmäßig angibt, wie groß eine Wechselspannung oder auch ein Wechselstrom nun eigentlich ist. Bei Sinusgrößen könnte man dazu den Scheitelwert, auch „Dachwert“ oder Amplitude genannt, benutzen. Aber dieser

tritt ja nur vorübergehend auf, so daß er nur in seltenen Fällen über die Wirkung der Wechselgrößen maßgebend ist. Man verwendet daher überwiegend Mittelwerte.

6.2.1 Der Augenblickswert einer Wechselspannung

Der Momentanwert z. B. einer Sinusspannung ändert sich fortlaufend während einer Periode. Mit Hilfe der Gleichung

$u = \hat{u} \cdot \sin \alpha$ (u-Dach \cdot sin alpha) läßt sich über den gesamten Verlauf einer Schwingung in jedem Moment der augenblickliche Spannungs- oder Stromwert errechnen.

u = Momentanwert der Spannung
 \hat{u} = (u-Dach) Scheitelspannung bzw. Amplitude

$\sin \alpha$ = Sinus des Drehwinkels beim Momentanwert

Beispiel:

Wie groß ist der Spannungswert einer Sinusschwingung bei 30° , wenn die Amplitude 100 Volt beträgt?

Lösung:

$$u = \hat{u} \cdot \sin \alpha = 100 \text{ V} \cdot \sin 30^\circ = 100 \text{ V} \cdot 0,5 = 50 \text{ V}$$

Wir können daran feststellen, daß eine Sinusschwingung bereits nach 30° fünfzig Prozent ihres Maximalwertes erreicht.

Diese Berechnung gilt für alle Sinusfunktionen.

6.2.2 Der Effektivwert

Wohl die größte Bedeutung bei den Wechselspannungen und -strömen kommt dem Effektivwert zu.

Würde man versuchen, eine Wechselspannung mit einem einfachen Drehspulmeßwerk zu messen, so ergäbe sich keine Anzeige. Der Zeiger würde im Verlauf einer Schwingung zuerst zur einen und dann zur anderen Seite ausschlagen wollen. Aufgrund der Masse des Zeigers kann dieser den schnellen Veränderungen nicht folgen und verharrt beim Wert „Null“. Beim angezeigten Wert handelt es sich um den „linearen Mittelwert“.

Um aber einen brauchbaren Wert des Wechselstromes zu erhalten, vergleicht man seine Wärmewirkung mit der Wärmewirkung eines Gleichstromes, der die gleiche Wärmeleistung erbringt. Die augenblickliche Wärmeleistung beim Wechselstrom errechnet sich mit: $p = R \cdot i^2$

Zeichnet man die Funktion vom Quadrat des Wechselstromes, so erkennt man, daß diese Kurve die doppelte

Frequenz hat und ganz im positiven Bereich verläuft. Der Mittelwert der quadratischen Funktion ist folglich $i^2/2$.

Ersetzt man den Mittelwert vom Quadrat des Wechselstromes „ i “ durch das Quadrat des Gleichstromes „ I “ von gleicher Wirkung, dann ist $I^2 = i^2/2$.

Die Wurzel aus diesem Wert nennt man Effektivwert, und er hat das Formelzeichen „ I “.

$$I = \sqrt{\frac{i^2}{2}} = \frac{i}{\sqrt{2}}$$

Führt man die gleiche Betrachtung für die Spannung durch, so erhält man für die Effektivwerte folgende Beziehungen:

$$I_{\text{eff}} = I = \frac{i}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot i$$

$$U_{\text{eff}} = U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}} = 0,707 \cdot \hat{u}$$

| gilt nur für
sinusförmige
Funktionen

Effektivwerte werden immer mit großen Buchstaben angegeben, womit der Index „eff“ entfallen kann.

Das Verhältnis des Maximalwertes zum Effektivwert bezeichnet man als „Scheitelfaktor“. Wie wir gesehen haben, hat dieses Verhältnis bei Sinusfunktionen den Wert $\sqrt{2}$.

$$\hat{u} = U \cdot \sqrt{2}; \quad \hat{i} = I \cdot \sqrt{2}$$

Der Spitzenwert unserer Netzspannung läßt sich mit dieser Beziehung wie folgt errechnen:

$$U = 220 \text{ Volt}$$

$$\hat{u} = 220 \text{ Volt} \cdot \sqrt{2} = 311 \text{ Volt}$$

Die Amplitude bzw. der Maximalwert unserer Netzspannung beträgt demnach 311 Volt.

Der Vollständigkeit halber möchten wir auch noch den Spitze-Spitze-Wert erwähnen. Dieser Wert ergibt sich aus der Addition des positiven und des

negativen Maximalwertes, ohne Berücksichtigung des Vorzeichens. Für unser oben gerechnetes Beispiel bedeutet das:

$$U_{\text{SS}} = 2 \cdot 311 \text{ Volt} = 622 \text{ Volt}$$

Zur Verdeutlichung dieser Angabe wird der Formelbuchstabe (z. B. U oder I) mit dem Index „ss“ versehen.

Als Zusammenfassung dieses Abschnittes wollen wir die Definition für den Effektivwert wie folgt festhalten:

Der Effektivwert eines Wechselstromes ist der Wert, der in einem Widerstand die gleiche Wärmewirkung hat wie ein Gleichstrom von der Größe des Effektivwertes.

Im nächsten Teil der Grundlagen-Reihe werden wir uns u. a. mit der Zeigerdarstellung sowie mit den Begriffen Wirkwiderstand, Blindwiderstand und Scheinwiderstand beschäftigen.

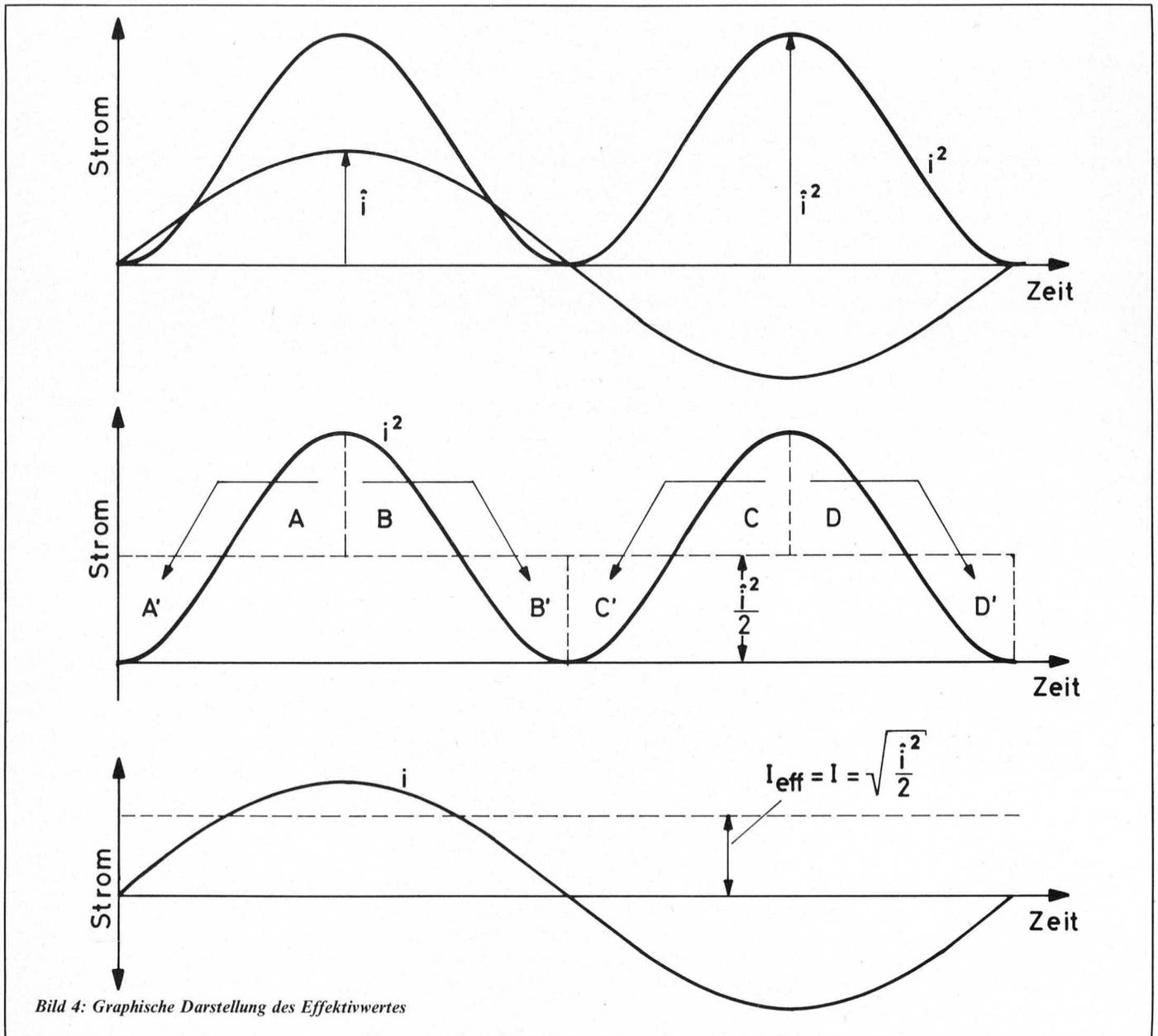


Bild 4: Graphische Darstellung des Effektivwertes