

Transport elektrischer Energie

Energieumwandlung im ohmschen Widerstand

Physikalische Vorgänge in elektrischen Schaltungen sind in technischer Hinsicht besonders wichtig, da wir mit elektrischen Geräten mechanische Arbeit oder Wärme „erzeugen“ (genauer: elektrische Energie in mechanische Arbeit oder Wärme umwandeln) wollen.

Viele elektrische Bauteile (wie eine Glühlampe) verhalten sich in einem Stromkreis zumindest in guter Näherung als ohmscher Widerstand. Ist der Wert des Widerstands R , und besteht zwischen seinen Enden eine Spannung (Potentialdifferenz) U , so fließt ein elektrischer Strom mit Stromstärke

$$I = \frac{U}{R}. \quad (1)$$

Gleichzeitig gibt der Widerstand Energie in Form von Wärme (die sekundär in Licht umgewandelt werden kann) ab. Die diesem Energiefluss entsprechende Leistung (umgewandelte Energie pro Zeitintervall) ist durch

$$P = U I = \frac{U^2}{R} = R I^2 \quad (2)$$

gegeben.

Einfache Herleitung: Während eines Zeitintervalls Δt fließt eine elektrische Ladung Δq durch den Widerstand, d.h. sie durchläuft eine Potentialdifferenz U und erhält daher vom elektrischen Feld gemäß die kinetische Energie $\Delta q U$. Die entsprechende in die Ladungsträger hineingepumpte Leistung ist gleich $P = U \Delta q / \Delta t = U I$. Durch diesen Prozess erhöht sich aber die Stromstärke nicht (ein Effekt, den man sich grob als „Reibung“ vorstellen kann), was bedeutet, dass die Ladungsträger diese Energie (durch Stöße) in Form von Wärme abgeben.

Wird an einen ohmschen Widerstand eine *Wechselspannung* mit Amplitude U_0 angelegt (was der Fall ist, wenn wir eine Glühlampe oder einen Heizstrahler an die Steckdose anschließen), so gelten (1) und (2) zu jedem Zeitpunkt. Da U und I nun nicht mehr konstant sind, sondern oszillieren, ändert sich auch die Leistung (2) ständig mit der Zeit. Eine quantitative Betrachtung ergibt, dass die *mittlere* Leistung mit Hilfe der Formel

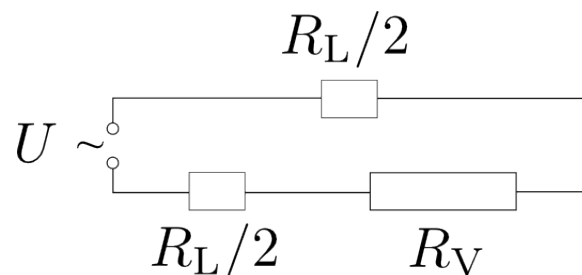
$$P = \frac{U_0^2}{2R} = \frac{U_{\text{eff}}^2}{R} \quad (3)$$

berechnet werden kann, wobei $U_{eff} = U_0 / \sqrt{2}$ die so genannte *effektive Spannung* ist.¹ In unserem Stromnetz ist $U_{eff} = 230 \text{ V}$ und $U_0 \approx 325 \text{ V}$ bei einer Frequenz von 50 Hz. Wird die Leistung (3) auf eine Sekunde bezogen, sind damit 50 Schwingungsperioden erfasst.

Das bedeutet, dass sich Wechselstrom in energetischer Hinsicht wie Gleichstrom verhält, wenn für die Spannung und die Stromstärke die effektiven Werte verwendet werden.

Transport elektrischer Energie und Leitungsverluste

Von besonderer Bedeutung für die moderne Energieversorgung ist die Übertragung elektrischer Energie über große Entfernungen und die dabei auftretenden Verluste. In vereinfachter Weise kann diese Situation so modelliert werden:



Dabei steht die Spannungsquelle (U) für ein **Kraftwerk**, R_L für den ohmschen Widerstand der **Fernleitung** und R_V für den Gesamtwiderstand aller **Verbraucher**. Der von R_L verursachte Leistungsverlust ist durch $P_L = I^2 R_L$ gegeben. (Überall in diesem Stromkreis fließt der gleiche Strom I). Die übertragene Gesamtleistung ist gleich $P_{ges} = U I$. Das Verhältnis

$$\frac{\text{verlorene Leistung}}{\text{Gesamtleistung}} = \frac{P_L}{P_{ges}} = \frac{I^2 R_L}{U I} = \frac{I R_L}{U} = \frac{P_{ges} R_L}{U^2} \quad (4)$$

gibt den Anteil der Verluste an der gesamten übertragenen Leistung an. Wie kann er minimiert werden? Da R_L (bei gegebenen Leitungen) nicht geändert werden kann und die gesamte übertragene Leistung P_{ges} (die Leistung des Kraftwerks) ebenfalls vorgegeben ist, ist die einzige Variable, die verändert werden kann, die Spannung U . Ein Blick auf (4) zeigt, dass der Anteil der Verluste umso kleiner ist, je größer U gewählt wird. Das ist der Grund dafür, dass zur Übertragung elektrischer Energie über große Entfernungen Hochspannung (380 kV) verwendet wird.

¹ Analog wird $I_{eff} = I_0 / \sqrt{2}$ die effektive Stromstärke genannt, wobei I_0 die maximale Stromstärke ist. Angaben von Spannung und Stromstärke im Wechselstromkreis beziehen sich immer auf diese effektiven Werte.

Aufgabe: Eine 300 km lange Aluminiumleitung mit einem Querschnitt von 3 cm^2 besitzt einen Widerstand von etwa 30Ω . Berechnen Sie

Wie groß ist der Anteil verlorener Energie (in Prozent), wenn ein 100 MW-Kraftwerk Verbraucher in 150 km Entfernung über einer derartige Leitung versorgt,

- bei einer Spannung von 110 kV?
- bei einer Spannung von 380 kV?