

Warum braucht man Trafos zur Energieübertragung?

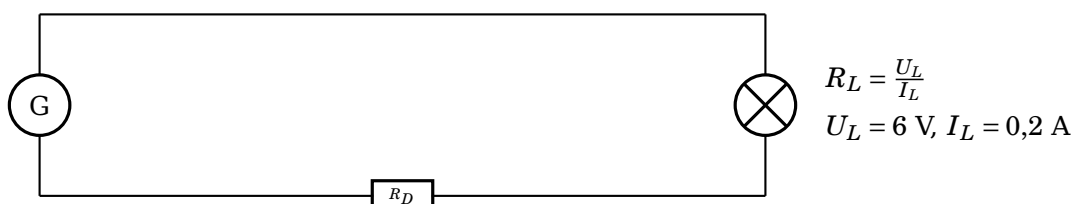
Inhaltsverzeichnis

1 Entfernte Glühlampe	1
1.1 Zeichnen Sie eine Ersatzschaltung	1
1.2 Lampenwiderstand, Leistungsaufnahme der Lampe?	2
1.3 Widerstand der Fernleitung	2
1.4 Generator mit 6 V in Betrieb	2
1.5 Generator mit 15 V in Betrieb	2
1.6 Bereit gestellte Leistung P des Generators	2
1.7 Relativer Leistungsverlust	2
2 Das Kraftwerk Stade	2
2.1 Am Generator sei $U = 220$ V, wie groß ist die Stromstärke I ?	2
2.2 Wie groß ist die Verlustleistung P_V ?	3
2.3 Fernleitungswiderstand	3
2.4 Leitungsquerschnitt A	3
2.5 Wie groß ist der Durchmesser einer solchen Leitung?	3
3 Entfernte Glühlampe mit Transformator (Trafo)	3
3.1 Zeichnen Sie eine Ersatzschaltung	3
3.2 Stromstärke in der Fernleitung	4
3.3 Wie groß ist die Verlustleistung P_V ?	4
3.4 Wie groß ist die relative Verlustleistung?	4

1 Entfernte Glühlampe

Eine Lampe (ausgelegt für 6 V und 0,2 A) soll 2 km entfernt von einer Stromquelle betrieben werden. Die Leitung besteht aus Kupferdraht mit der Querschnittsfläche $1,5 \text{ mm}^2$.

1.1 Zeichnen Sie eine Ersatzschaltung



1.2 Lampenwiderstand, Leistungsaufnahme der Lampe?

$$\text{Lampenwiderstand } R_L = \frac{U_L}{I_L} = \frac{6}{0,2} \Omega = 30 \Omega$$

$$\text{Leistungsaufnahme der Lampe } P = U \cdot I = 6 \cdot 0,2 \text{ W} = 1,2 \text{ W}.$$

1.3 Widerstand der Fernleitung

Der Kupferdraht überbrückt die 2 km hin und auch wieder 2 km zurück. Die Länge beträgt folglich mindestens 4000 m. Der Widerstand ist

$$R_D = \rho \cdot \frac{l}{A} = 0,0178 \cdot \frac{4000}{1,5} \Omega \approx 47,5 \Omega$$

1.4 Generator mit 6 V in Betrieb

Am Generator sind nun $U = 6 \text{ V}$, wie groß ist der Strom I durch die Lampe?

Die Widerstände sind in Reihe, dh. es gibt nur einen Strom I der durch den einen Stromkreis fließt. Der Widerstand ist $R_G = R_D + R_L \approx 47,5 \Omega + 30 \Omega = 77,5 \Omega$. Der Strom ist dann

$$I = \frac{U}{R} \approx \frac{6}{77,5} \text{ A} \approx 0,08 \text{ A}$$

1.5 Generator mit 15 V in Betrieb

Am Generator sind nun $U = 15 \text{ V}$, $I = 0,2 \text{ A}$, wie groß ist dann die Verlustleistung P_V , die durch die Zuleitungen entsteht?

$$P_V = R_D \cdot I^2 \approx 47,5 \cdot 0,2^2 \text{ W} = 1,9 \text{ W}$$

1.6 Bereit gestellte Leistung P des Generators

Am Generator sind $U = 15 \text{ V}$, $I = 0,2 \text{ A}$, wie groß ist dann die bereit gestellte Leistung P ?

$$P = U \cdot I = 15 \cdot 0,2 \text{ W} = 3 \text{ W}$$

1.7 Relativer Leistungsverlust

Wie groß ist in diesem Fall der relative Leistungsverlust $\frac{P_V}{P}$?

$$\frac{P_V}{P} = \frac{1,9}{3} \approx 0,63 = 63\%$$

Ein Großteil (fast zwei Drittel) der vom Generator bereit gestellten Energie verpufft als Wärme von der Leitung in die Umwelt!

2 Das Kraftwerk Stade

Das Kraftwerk Stade (40 km von Hamburg entfernt) gibt eine Leistung P von 600000 kW ab. Die Kraftwerke rechnen mit einem relativen Leistungsverlust von 5%.

2.1 Am Generator sei $U = 220 \text{ V}$, wie groß ist die Stromstärke I ?

$$P = U \cdot I \implies I = \frac{P}{U} = \frac{600000}{220} \text{ kA} \approx 2727 \text{ kA}.$$

$$\text{Bei } U = 230 \text{ V wäre die Stromstärke entsprechend } I = \frac{P}{U} = \frac{600000}{230} \text{ kA} \approx 2609 \text{ kA}.$$

2.2 Wie groß ist die Verlustleistung P_V ?

$$\frac{P_V}{P} = 5\% \Rightarrow P_V = 0,05 \cdot P$$

$$P_V = 0,05 \cdot 600000 \text{ kW} = 30000 \text{ kW} = 30 \text{ MW.}$$

2.3 Fernleitungswiderstand

Wie groß dürfte der Fernleitungswiderstand zwischen Stade und Hamburg höchstens sein?

$$P_V = R_D \cdot I^2 \Rightarrow R_D = \frac{P_V}{I^2} = \frac{30 \text{ MW}}{2727^2 \text{ kA}^2} \approx 4 \mu\Omega$$

2.4 Leitungsquerschnitt A

Welchen Leitungsquerschnitt A hat ein solcher Widerstand aus Kupferdraht?

$$R_D = \rho \cdot \frac{l}{A} \Rightarrow A = \rho \cdot \frac{l}{R_D}$$

$$A \approx 0,0178 \cdot \frac{80000}{0,000004} \text{ mm}^2 = 356 \text{ m}^2.$$

2.5 Wie groß ist der Durchmesser einer solchen Leitung?

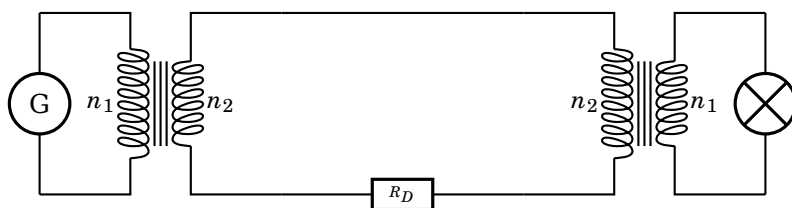
$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \Rightarrow d = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} \approx 21,29 \text{ m}$$

Einen so dicken Draht hat die Welt noch nicht gesehen. Die technischen Probleme beim Verlegen bzw. Biegen wären enorm, das Risiko, dass jemand so einen Kupferschatz klaut, auch!

3 Entfernte Glühlampe mit Transformator (Trafo)

Wir transformieren 6 V vom Generator mit einem Trafo auf 120 V bei der Fernleitung. Am Ende der Fernleitung wird die Spannung wieder auf 6 V herab transformiert.

3.1 Zeichnen Sie eine Ersatzschaltung



Die Trafos transformieren die Spannung um den Faktor 20 (120 V zu 6 V):

$$\frac{n_2}{n_1} = 20$$

(Anm.: Die Zeichnung ist nur eine Skizze des Ersatzschaltbildes. $n_2 > n_1$ obwohl die skizzierte Windungszahl der ersten Spule dies nicht nahe legt!)

3.2 Stromstärke in der Fernleitung

Der Lampenstrom beträgt 0,2 A. Wie groß ist etwa die Stromstärke in der Fernleitung?

Wenn die Spannung um den Faktor 20 erhöht wird, muss die Stromstärke gleichzeitig um den Faktor 20 sinken. $I_1 = 0,2 \text{ A}$, $I_2 = \frac{n_1}{n_2} \cdot I_1 = \frac{0,2}{20} \text{ A} = 0,01 \text{ A}$.

3.3 Wie groß ist die Verlustleistung P_V ?

$$P_V = R_D \cdot I^2 \approx 47,5 \cdot 0,01^2 \text{ W} \approx 0,005 \text{ W} = 5 \text{ mW}.$$

3.4 Wie groß ist die relative Verlustleistung?

$$\frac{P_V}{P} \approx \frac{0,005}{3} \approx 0,002 = 0,2\%$$

Der Energietransport mit „Hochspannung“ führt also zu einer drastischen Reduzierung des Energieverlustes! Ohne „Hochspannung“ war der Energieverlust höher als die Nutzenergie (siehe 1.7).