

## 3.2 Quellen/Spannungs- und Leistungsanpassung

### 3.2.1 Erzeugung, Übertragung und Verbrauch

In der Elektrotechnik gibt es mindestens zwei Möglichkeiten, den Energiefluss zwischen Quelle und Verbraucher zu optimieren. Einmal geht es um maximale Leistung am Verbraucher, einmal um minimale Verluste außerhalb des Verbrauchers.

### 3.2.2 Energieübertragung und Wirkungsgrad

In der Energieübertragung (Abbildung 1) ist die Elektrizität Träger von Energie. Die Energie ist kostbar (ein knappes Gut, wie man es in Wirtschaft nennt) und daher teuer. Man möchte möglichst viel von dieser kostbaren Ware zum Verbraucher retten; möglichst wenig soll im Generator oder auf dem Weg verloren gehen.

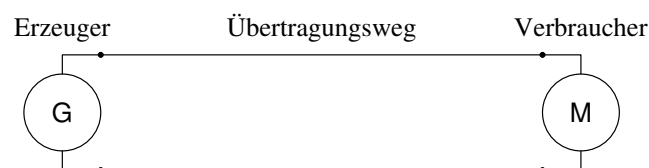


Abbildung 1: Energieübertragung vom Generator zum Motor

Deshalb gibt es ein Maß dafür, wie gut das gelungen ist, nämlich den Wirkungsgrad  $\eta$ :

$$\eta = \frac{P_2}{P_g} \quad (1)$$

Dieser Wirkungsgrad soll möglichst hoch sein.

### 3.2.3 Richtige Wahl von $R_L$ in der Energieübertragung

In der Energietechnik soll der Wirkungsgrad  $\eta$ , also das Verhältnis  $\frac{P_L}{P_g}$ , möglichst groß sein, am besten nahe an 1. Für  $P_L$  bekommt man:

$$P_L = \frac{U_0^2 \cdot R_L}{(R_L + R_i)^2}$$

Und für  $P_g$ :

$$P_g = \frac{U_0^2}{R_i + R_L}$$

Für  $\eta$  kommt heraus:

$$\eta = \frac{R_i}{R_L + R_i} \quad (2)$$

Abbildung 2 zeigt den Verlauf des Wirkungsgrades.

### 3.2.4 Spannungsanpassung

Ohne Verbraucher, also im sogenannten Leerlauf ( $R_L = \infty$ ) ist  $\eta = 1$ . Im sogenannten Kurzschlussfall ( $R_L = 0$ ) ist  $\eta = 0$ . Dazwischen ist der Wirkungsgrad  $\eta$  umso größer, je größer  $R_L$  im Vergleich zu  $R_i$  ist. In der Energietechnik sollte man eine Übertragung also am besten nahe dem Leerlauf betreiben. Diese Optimierung nennt man *Spannungsanpassung*. Bei Spannungsanpassung gilt:

$$R_L R_i \text{ und } U_L \sim U_g \quad (3)$$

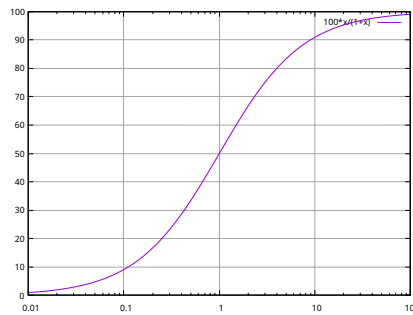


Abbildung 2: Verlauf von  $\eta$ , angegeben in Prozent; x-Achse ist Verhältnis  $R_L : R_i$

### 3.2.5 Nachrichtenübertragung und Nutzungsgrad

In der Nachrichtenübertragung (Abbildung 3) ist die Elektrizität Träger von Information. Die Nachrichten-Energie ist kostbar, und zwar in dem Sinn, dass mit viel Nachrichten-Energie ein hoher Signal-/Rausch-Abstand erreicht wird und damit eine hohe Informationsrate (Datenrate) übertragen werden kann.

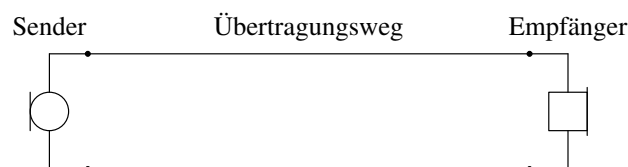


Abbildung 3: Nachrichtenübertragung vom Mikrofon zum Hörer

Hier kommt es darauf an, dass möglichst viel Nachrichten-Energie beim Empfänger ankommt (koste es, was es wolle!). Das Maß dafür, wie gut dieses Ziel erreicht wird, heißt Nutzungsgrad und hat das Symbol  $N$ :

$$N = \frac{P_2}{P_{2,max}} \quad (4)$$

Dieses Maß soll möglichst hoch sein, es ja soll möglichst viel Nachrichten-Energie beim Empfänger ankommen. Dagegen es ist egal, wieviel Nachrichten-Energie beim Sender oder auf dem Übertragungsweg verlorenging.

### 3.2.6 Richtige Wahl von $R_L$ in der Nachrichtenübertragung

Zuerst zur Nachrichtentechnik: Wie ist  $R_L$  gegenüber  $R_i$  zu wählen, dass  $P_2$  möglichst groß (und damit  $N = 1$ ) ist? Dazu dient ein Versuch (Abbildung 4):

a) Versuchsziel:

Bei einer gegebenen Quelle ( $U_0 = 5\text{ V}$  und  $R_i = 50\ \Omega$ ) soll derjenige Lastwiderstand  $R_L$  gefunden werden, bei dem  $P_2 = P_{2,max}$  gilt.

b) Aufbau:

- Spannungsquelle mit künstlichem Vorwiderstand  $R_i = 50\ \Omega$
- Lastwiderstände:  $\infty$  (Leerlauf),  $150\ \Omega$ ,  $100\ \Omega$ ,  $50\ \Omega$ ,  $20\ \Omega$ ,  $0\ \Omega$  (Kurzschluss)
- Messgeräte für  $U_L$  und  $I_L$

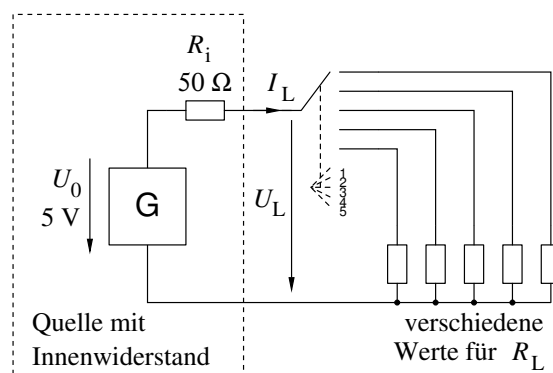


Abbildung 4: Versuchsaufbau

c) Messergebnisse:

| $R_L$        | $U_L$  | $I_L$  | $P_L$ (errechnet) |
|--------------|--------|--------|-------------------|
| $\infty$     | 5 V    | 0 mA   | 0 mW              |
| 150 $\Omega$ | 3,75 V | 25 mA  | 94 mW             |
| 100 $\Omega$ | 3,33 V | 33 mA  | 111 mW            |
| 50 $\Omega$  | 2,5 V  | 50 mA  | 125 mW            |
| 20 $\Omega$  | 1,43 V | 71 mA  | 102 mW            |
| 0 $\Omega$   | 0 V    | 100 mA | 0 mW              |

d) Auswertung:

Bei  $R_L = R_i$  ist  $P_L = P_{L,max}$  und  $N = 1$ .

### 3.2.7 Leistungsanpassung

Um aus einer Quelle die maximale Leistung entnehmen zu können  $N = 1$ , wählt man also Lastwiderstand gleich Innenwiderstand:

$$R_L = R_i \quad (5)$$

Diesen Zustand nennt man *Leistungsanpassung*. Bei Leistungsanpassung gilt für die Spannung am Verbraucher:

$$U_{L,a} = \frac{U_0}{2} \quad (6)$$

Für die Stromstärke gilt bei Leistungsanpassung:

$$I_a = \frac{U_0}{2} = \frac{U_0}{2 \cdot R_i} \quad (7)$$

Damit erhält man für die maximal entnehmbare Leistung  $P_{L,max}$ :

$$P_{L,max} = U_{L,a} \cdot I_a = \frac{U_0^2}{4 \cdot R_L} \quad (8)$$

Wenn man die Reihenschaltung komplett berechnet, erhält man für den Nutzungsgrad  $N$ :

$$N = \frac{P_L}{P_{L,max}} = \frac{4}{\frac{R_L}{R_i} + 2 + \frac{R_i}{R_L}} \quad (9)$$

Abbildung 5 zeigt den Verlauf des Nutzungsgrades. Wie man aus den Versuchsergebnissen sieht, ist das Maximum bei  $R_L = R_i$  nicht sehr scharf: Auch bei leichter Abweichung erhält man noch fast die maximale Leistung.  $R_L$  und  $R_i$  sollten grob in der gleichen Größenordnung liegen.

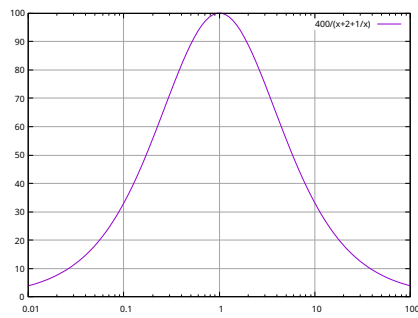


Abbildung 5: Verlauf von  $N$ , angegeben in Prozent; x-Achse ist Verhältnis  $R_L : R_i$