ERKLÄRBÄR

Serie Elektronik · Folge 2 · Advanced

ADVANCED

LEHRERINFO ZUM VIDEO · GYMNASIUM / MATURA / ABITUR

Gemischte Schaltungen – Advanced

FACH	STUFE	DAUER	VIDEO
Physik	Gymnasium, Sek II	14:58 min	youtube.com/@Erklaerbaer

01 Lernziele

Nach dem Video können die Schülerinnen und Schüler …

- die Ausgangsspannung eines belasteten Spannungsteilers berechnen und die Faustregel $I_{quer} \geq 10 \cdot I_{Last}$ begründen,
- Netzwerke mit mehreren Spannungsquellen mit Knoten- und Maschenregeln als lineares Gleichungssystem lösen und Vorzeichen deuten,
- Aufbau, Abgleichbedingung und Vorteile der Wheatstone-Brücke erklären (Pt100, Dehnungsmessstreifen, Nullabgleich),
- Leerlaufspannung und Innenwiderstand einer Ersatzspannungsquelle bestimmen und damit Lastfälle schnell berechnen,
- begründen, warum ein Spannungsteiler keine Stromversorgung ist.

02 Voraussetzungen

Kirchhoffsche Regeln, Teilerregel, Innenwiderstand von Messgeräten und Quellen (Folge 1 Advanced); Zusammenfassen gemischter Schaltungen (Folge 2 Grundlagen); lineare Gleichungssysteme mit drei Unbekannten.

03 Ablauf des Videos

ZEIT	KAPITEL	INHALT
0:00	Einstieg	Teiler 2 × 10 kΩ an 12 V: mit 10-kΩ-Last nur 4 V statt 6 V PAUSE-FRAGE · Ident · Serien-Fahrplan
1:03	Was du brauchst	Zusammenfassen, rückwärts rechnen, Kirchhoff
1:34	Der belastete Spannungsteiler	Herleitung $U_{aus} = U \cdot (R_2 \| R_L)/(R_1 + R_2 \| R_L)$ · Kurve $U_{aus}(R_L)$
2:57	Wie stark darf man belasten?	Faustregel Querstrom · Preis: Dauerstrom · Analogeingang eines Mikrocontrollers · Voltmeter aus Folge 1
3:55	Netzwerke mit zwei Quellen	Wohnmobil: Ladegerät 16 V/1 Ω, Akku 12 V/0,5 Ω, Kühlbox 5 Ω · Zählpfeile · Knoten- und Maschengleichungen

5:22	Das Gleichungssystem lösen	Einsetzen → I_3 = 2,5 A, I_2 = 1 A, I_1 = 3,5 A · Probe · Vorzeichen
6:29	Die Wheatstone-Brücke	Abgleich $R_1/R_2 = R_3/R_4$ PAUSE-FRAGE · Offset weg, Schwankungen kompensiert · Nullabgleich
7:58	Brücken in der Praxis	Pt100 bei 50 °C → $U_B \approx 0{,}44$ V · Küchenwaage mit Dehnungsmessstreifen
9:00	Die Ersatzspannungsquelle	Thévenin: U_0 = 6 V, R_i = 5 kΩ → Einstiegsrätsel in einer Zeile
10:03	Projekt-Baustein	Teiler 1 kΩ/3 kΩ als „Netzteil“: R_i = 750 Ω, mit 100 Ω nur ≈ 1 V → Regler nötig
10:49	Prüfungsfallen	Fünf Prüfungsfallen
11:49	Zusammenfassung	Das Wichtigste in fünf Punkten
12:25	Quiz	4 Fragen, 2 zum Rechnen

04 Typische Prüfungsfallen

- **Teilerregel trotz Last** – die Last liegt parallel zu R_2.
- **Zählpfeile** mitten in der Rechnung gewechselt; negatives Ergebnis als Fehler gedeutet.
- **Zu wenige oder abhängige Gleichungen** – jede neue Masche muss ein neues Bauteil enthalten.
- **Abgleichbedingung** falsch zugeordnet (Verhältnisse nicht auf dieselbe Seite bezogen).
- **Ersatzquelle:** beim Innenwiderstand die Spannungsquelle nicht durch einen Draht ersetzt.

05 Einsatz im Unterricht

Einstieg mit Experiment: Teiler 2 × 10 kΩ an 12 V, Ausgang mit und ohne 10-kΩ-Last messen. Video bis zur Pause-Frage, Vermutungen sammeln.

Brücke: Brücke aus drei Festwiderständen und einem NTC oder Pt1000, Brückenspannung beim Erwärmen mit der Hand messen.

Gleichungssystem: Kapitel 4 und 5 als Vorlage; Aufgabe 3 mit wechselnder Last durchrechnen lassen (Vorzeichenwechsel).

Ersatzquelle messen: Leerlaufspannung und Spannung unter bekannter Last messen, daraus R_i bestimmen – Brücke zu Folge 1 (reale Quellen).

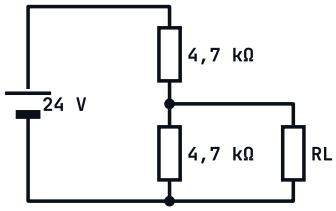
06 Hinweise und Quellen

- Pt100: 100 Ω bei 0 °C, Temperaturkoeffizient $\alpha = 3{,}85 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{K}^{-1}$ (IEC 60751); bei 50 °C ≈ 119,3 Ω.
- Dehnungsmessstreifen: $\Delta R/R = k \cdot \varepsilon$ mit $k \approx 2$; bei Dehnungen im Bereich 10^{-4} liegt $\Delta R/R$ unter einem Promille.
- Ersatzspannungsquelle nach Léon Thévenin (1883), in Deutschland oft Helmholtz-Thévenin-Theorem. Das Wohnmobil-Beispiel ist ein vereinfachtes Modell (lineare Quellen mit festem Innenwiderstand).

NAME _____ KLASSE _____ DATUM _____

Netzwerke, Brücken, Ersatzquellen

1 Belasteter Spannungsteiler ●○○

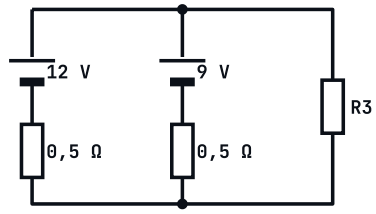


Ein Teiler aus $R_1 = R_2 = 4{,}7\ k\Omega$ liegt an 24 V.
a) Berechne die Leerlaufspannung.
b) Berechne die Ausgangsspannung für $R_L = 47\ k\Omega$ und für $R_L = 4{,}7\ k\Omega$.
c) Um wie viel Prozent weicht die Spannung jeweils ab?

2 Teiler dimensionieren ●●●

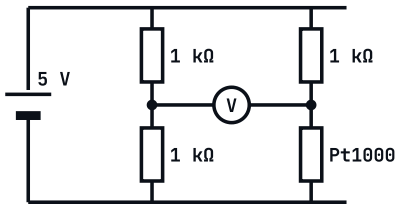
Aus 12 V sollen 5 V für einen Sensor werden, der 1 mA zieht. Nach der Faustregel soll durch R_2 der zehnfache Laststrom fliessen.
a) Bestimme R_1 und R_2 so, dass mit Last genau 5 V anliegen. b) Welche Leistung nimmt die Schaltung aus der 12-V-Quelle auf, und wie viel davon erreicht den Sensor?

3 Netzwerk mit zwei Quellen ●●●



Quelle 1: 12 V, R_{i1} = 0,5 Ω. Quelle 2: 9 V, R_{i2} = 0,5 Ω. Beide und ein Verbraucher R_3 liegen parallel.
a) Stelle für R_3 = 5 Ω die Knoten- und Maschengleichungen auf und berechne alle drei Ströme. Der Zählpfeil von I_2 zeigt in Quelle 2 hinein.
b) Rechne für R_3 = 1 Ω. Deute das Vorzeichen von I_2.

4 Temperaturmessung mit Brücke ●●○



Eine Brücke aus drei Widerständen mit 1 kΩ und einem Pt1000 (1000 Ω bei 0 °C, +3,85 Ω pro °C) liegt an 5 V.
a) Wie gross ist die Brückenspannung bei 0 °C? b) Berechne sie bei 100 °C.
c) Begründe, warum Schwankungen der Versorgungsspannung bei 0 °C keinen Messfehler verursachen.

5 Nullabgleich ●○○

In einer Brücke ist R_1 = 220 Ω, R_2 = 470 Ω. Abgeglichen ist sie, wenn der Regelwiderstand R_3 auf 1,2 kΩ steht. Berechne den unbekannten Widerstand R_x an der Stelle von R_4.

6 Ersatzspannungsquelle ●●○

Ein Teiler aus R_1 = 6 kΩ (oben) und R_2 = 3 kΩ (unten) liegt an 12 V.
a) Bestimme U_0 und R_i der Ersatzspannungsquelle. b) Berechne damit die Spannung an R_L = 2 kΩ und an R_L = 18 kΩ.
c) Ab welchem Lastwiderstand bleiben mindestens 90 % der Leerlaufspannung erhalten?

7 Projekt: Teiler als Netzteil? ●●○

Ein Teiler aus 1 kΩ und 3 kΩ macht aus 12 V die gewünschten 9 V.
a) Berechne die Ausgangsspannung bei Lasten von 1 kΩ und 100 Ω. b) Wie klein müsste der Innenwiderstand eines 9-V-Netzteils sein, damit die Spannung bei 100 mA um höchstens 5 % sinkt?

8 Quiz aus dem Video ●○○

a) Teiler 2 × 20 kΩ an 10 V, Last 20 kΩ. Spannung an der Last?

☐ 5 V ☐ 3,3 V ☐ 2,5 V

b) Ersatzquelle U_0 = 9 V, R_i = 1 Ω, Last 8 Ω. Spannung an der Last?

☐ 8 V ☐ 9 V ☐ 1 V

c) Für einen Strom ergibt sich −2 A. Das bedeutet …

☐ verrechnet ☐ kein Strom ☐ 2 A gegen den Zählpfeil

Lösungen

1 Belasteter Teiler

a) **12 V**. b) 4,7 kΩ ∥ 47 kΩ ≈ 4,27 kΩ ⇒ U = 24 V · 4,27/8,97 ≈ **11,4 V**; 4,7 kΩ ∥ 4,7 kΩ = 2,35 kΩ ⇒ U = 24 V · 2,35/7,05 = **8,0 V**. c) **−4,8 %** bzw. **−33 %**.

2 Teiler dimensionieren

a) Durch R_2: 10 mA bei 5 V ⇒ **R_2 = 500 Ω**. Durch R_1: 10 mA + 1 mA = 11 mA bei 7 V ⇒ **R_1 ≈ 636 Ω** (Normwerte z. B. 620 Ω / 510 Ω, nachrechnen). b) P = 12 V · 11 mA = **132 mW**, davon erreichen den Sensor nur 5 V · 1 mA = **5 mW** (≈ 4 %).

3 Netzwerk

a) K: $I_1 = I_2 + I_3$; M1: 12 V = 0,5 Ω · I_1 + 5 Ω · I_3; M2: 5 Ω · I_3 = 9 V + 0,5 Ω · I_2. Lösung: **I_1 = 4 A, I_2 = 2 A, I_3 = 2 A**, Klemmenspannung 10 V (Quelle 2 wird geladen). b) Klemmenspannung U: (12 − U)/0,5 = (U − 9)/0,5 + U/1 ⇒ **U = 8,4 V**, I_3 = 8,4 A, I_1 = 7,2 A, **I_2 = −1,2 A**: Der Strom fliesst gegen den Zählpfeil – Quelle 2 wird entladen und liefert 1,2 A.

4 Brücke mit Pt1000

a) Alle vier gleich ⇒ **U_B = 0**. b) R(100 °C) = 1385 Ω; Mittelpunkt mit Sensor: 5 V · 1385/2385 ≈ 2,90 V; anderer Mittelpunkt 2,50 V ⇒ **U_B ≈ 0,40 V** (Sensor unten). c) Im Abgleich teilen beide Teiler im selben Verhältnis – eine Änderung der Versorgung verschiebt beide Mittelpunkte gleich, die Differenz bleibt 0.

5 Nullabgleich

$R_1/R_2 = R_3/R_x$ ⇒ $R_x = R_3 \cdot R_2/R_1$ = 1200 Ω · 470/220 ≈ **2,56 kΩ**.

6 Ersatzspannungsquelle

a) **U_0 = 12 V · 3/9 = 4 V**, **R_i = 6 kΩ ∥ 3 kΩ = 2 kΩ**. b) R_L = 2 kΩ: **2 V**; R_L = 18 kΩ: 4 V · 18/20 = **3,6 V**. c) $R_L/(R_i + R_L) \geq 0{,}9$ ⇒ **$R_L \geq 9 \cdot R_i$ = 18 kΩ**.

7 Teiler als Netzteil

U_0 = 9 V, R_i = 750 Ω. a) 1 kΩ: 9 V · 1000/1750 ≈ **5,1 V**; 100 Ω: 9 V · 100/850 ≈ **1,06 V**. b) ΔU ≤ 0,45 V bei 0,1 A ⇒ **$R_i \leq 4{,}5$ Ω** – das schafft nur eine Regelung (Z-Diode + Längstransistor, Folge 8/9).

8 Quiz

a) **3,3 V** · b) **8 V** · c) **2 A gegen den Zählpfeil**