ERKLÄRBÄR

Serie Elektronik · Folge 3 · Advanced

ADVANCED

LEHRERINFO ZUM VIDEO · GYMNASIUM / MATURA / ABITUR

Spannungsteiler und Leistung – Advanced

FACH	STUFE	DAUER	VIDEO
Physik	Gymnasium, Sek II	12:37 min	youtube.com/@Erklaerbaer

01 Lernziele

Nach dem Video können die Schülerinnen und Schüler …

- die Leistungsformeln $P = U \cdot I = I^2 \cdot R = U^2/R$ herleiten und situationsgerecht anwenden,
- die Leistungsanpassung an einer Ersatzspannungsquelle begründen und $P_{max} = U_0^2/(4R_i)$ berechnen,
- den Wirkungsgrad $\eta = R_L/(R_i + R_L)$ bestimmen und erklären, warum Versorgungsnetze nicht angepasst sind,
- Belastbarkeit mit Derating beurteilen und das belastete Potentiometer berechnen,
- Leitungswiderstände und Verlustleistungen in Kabeln berechnen,
- das Messprinzip des FI-Schutzschalters und die Verlustleistung eines Längsreglers erklären.

02 Voraussetzungen

Ersatzspannungsquelle und belasteter Spannungsteiler (Folge 2 Advanced), $P = U \cdot I$ und Stromkosten (Folge 3 Grundlagen), Umformen und Ableiten einfacher Funktionen (für die Herleitung des Maximums optional).

03 Ablauf des Videos

ZEIT	KAPITEL	INHALT
0:00	Einstieg	Batterie 12 V / 2 Ω: 1, 2 oder 10 Ω Last? PAUSE-FRAGE · Ident · Serien-Fahrplan
1:06	Was du brauchst	Ersatzquelle, $P = U \cdot I$, 1 kWh = 3,6 MJ
1:32	Drei Formen der Leistung	$I^2 \cdot R$ und U^2/R aus dem Ohmschen Gesetz · Reihe vs. parallel · Glühlampe 60 W ≈ 880 Ω
2:27	Leistungsanpassung	Tabelle 1 / 10 / 2 Ω · Kurve $P_L(R_L)$ · P_{max} = 18 W
3:22	Wirkungsgrad	η = 50 % bei Anpassung · Netz nicht angepasst · Antennen, Lautsprecher, MPP-Tracker
4:19	Erwärmung und Derating	0,25 W bis 70 °C, 0 bei 155 °C · 100 °C → 0,16 W · Faustregel 50 %

5:12	Das belastete Potentiometer	10 kΩ an 10 V, Last 10 kΩ: Mitte 4 V statt 5 V · Kennlinien
6:00	Leitungen und Querschnitt	R = ρl/A · 25 m, 1,5 mm² → 0,58 Ω · Heizlüfter → 44 W im Kabel · Kabeltrommel
7:07	So misst der FI-Schutzschalter	Summenstromwandler · Restfeld · Spule · 30 mA, < 0,3 s
7:53	Projekt-Baustein	Längstransistor: 7 V · 0,5 A = 3,5 W · Kühlkörper · η ≈ 56 %
8:46	Prüfungsfallen	Fünf Prüfungsfallen
9:39	Zusammenfassung	Das Wichtigste in fünf Punkten
10:12	Quiz	4 Fragen, 3 zum Rechnen

04 Typische Prüfungsfallen

- **U²/R mit der Quellenspannung** statt der Spannung am Bauteil.
- **Anpassung und Wirkungsgrad verwechselt** – maximale Leistung heisst nicht maximaler Wirkungsgrad.
- **Leitungslänge** nur einfach gerechnet (Hin- und Rückleiter!).
- **Einheiten:** 1 kWh = 3,6 MJ; mm² nicht in m² umrechnen, ρ ist in Ω·mm²/m angegeben.
- **Belastbarkeit** ohne Derating beurteilt.

05 Einsatz im Unterricht

Experiment Anpassung: Flachbatterie mit Vorwiderstand (Ersatz-R_i), Lastwiderstände variieren, U und I messen, $P_L(R_L)$ zeichnen.

Mathematik: Maximum von $P_L(R_L) = U_0^2 R_L/(R_i+R_L)^2$ per Ableitung bestätigen.

Kabel: Spannungsabfall an einem langen dünnen Kabel unter Last messen (Kleinspannung!).

Sicherheit: Aufgabe 7 diskutieren – wovor schützt der FI, wovor nicht?

06 Hinweise und Quellen

- Derating-Werte (70 °C / 155 °C) sind typisch für Metallschicht-Widerstände; massgebend ist das jeweilige Datenblatt.
- Spezifischer Widerstand von Kupfer ρ ≈ 0,0175 Ω·mm²/m bei 20 °C. FI-Schutzschalter (RCD) nach EN 61008: Auslösung bei $I_{\Delta n}$ innert 300 ms, bei $5{\cdot}I_{\Delta n}$ innert 40 ms.
- MPP-Tracking bei Solaranlagen ist mit der Leistungsanpassung verwandt, Solarzellen sind aber keine linearen Quellen.

NAME _____ KLASSE _____ DATUM _____

Leistung, Anpassung, Wärme

1 Herleitung ●○○

Leite aus $P = U \cdot I$ und dem Ohmschen Gesetz die Formen $P = I^2 \cdot R$ und $P = U^2/R$ her. Begründe, welche Form sich für Reihen- und welche für Parallelschaltungen eignet.

2 Wasserkocher bei Unterspannung ●○○

Ein Wasserkocher hat 2200 W an 230 V. a) Berechne Widerstand und Strom. b) Welche Leistung hat er, wenn die Netzspannung um 10 % sinkt (R konstant)? Um wie viel Prozent sinkt die Leistung?

3 Leistungsanpassung ●●○

Eine Quelle hat $U_0 = 6$ V und $R_i = 1{,}5\ \Omega$. a) Berechne die Leistung an $R_L = 0{,}5\ \Omega$, $1{,}5\ \Omega$ und $4{,}5\ \Omega$. b) Bestimme P_{max} und den Wirkungsgrad bei Anpassung und bei $4{,}5\ \Omega$.

4 Derating ●●○

Ein Widerstand hat 0,6 W Nennleistung bis 70 °C; bei 155 °C ist die zulässige Leistung null. Er sitzt in einem Gehäuse mit 120 °C und setzt 0,2 W um. Ist das zulässig? Wie viel Reserve bleibt?

5 Belastetes Potentiometer ●●●

Ein Potentiometer mit 1 kΩ liegt an 5 V, am Schleifer hängt eine Last mit 1 kΩ. Berechne die Schleiferspannung bei 25 %, 50 % und 75 % Stellung und vergleiche mit dem unbelasteten Fall.

6 Gartenkabel ●●○

Eine Gartenpumpe (1000 W, 230 V) hängt an einem 50 m langen Kabel. Vergleiche 1,0 mm² und 1,5 mm² (ρ_{Cu} = 0,0175 Ω·mm²/m): Leitungswiderstand, Verlustleistung im Kabel und Spannungsabfall (Strom näherungsweise aus der Nennleistung).

7 Grenzen des FI ●○○

Eine Person steht isoliert auf einer Holzleiter und berührt mit beiden Händen gleichzeitig Aussen- und Neutralleiter. Löst der FI-Schutzschalter aus? Begründe mit seinem Messprinzip.

8 Längsregler ●●○

Ein Längsregler macht aus 18 V stabile 12 V bei 1 A. a) Verlustleistung und Wirkungsgrad? b) Wie ändern sich beide, wenn die Eingangsspannung auf 24 V steigt? c) Warum wählt man die Eingangsspannung nur so hoch wie nötig?

9 Quiz aus dem Video ●○○

a) 9 V, R_i = 3 Ω. Last für maximale Leistung?

☐ 1 Ω ☐ 3 Ω ☐ 9 Ω

b) Wirkungsgrad bei Leistungsanpassung?

☐ 100 % ☐ 50 % ☐ 25 %

c) Längsregler 15 V → 5 V bei 0,2 A. Wärme im Transistor?

☐ 1 W ☐ 2 W ☐ 3 W

Lösungen

1 Herleitung

U = R·I einsetzen: P = R·I·I = **I²·R**; I = U/R einsetzen: P = U·U/R = **U²/R**. In Reihe ist I gleich → I²·R (P ~ R); parallel ist U gleich → U²/R (P ~ 1/R).

2 Wasserkocher

a) R = U²/P = 230²/2200 ≈ **24 Ω**, I = P/U ≈ **9,6 A**. b) P ~ U²: P = 2200 W · 0,9² = **1782 W**, also **−19 %**.

3 Anpassung

a) 0,5 Ω: I = 3 A, P = **4,5 W**; 1,5 Ω: I = 2 A, P = **6 W**; 4,5 Ω: I = 1 A, P = **4,5 W**. b) P_{max} = 36/6 = **6 W** bei η = **50 %**; bei 4,5 Ω η = 4,5/6 = **75 %** – fast gleiche Leistung wie bei 0,5 Ω, aber viel besserer Wirkungsgrad.

4 Derating

Zulässig bei 120 °C: 0,6 W · (155 − 120)/(155 − 70) ≈ **0,25 W**. 0,2 W sind **zulässig**, aber nur mit rund 20 % Reserve – die 50-%-Faustregel ist verletzt; besser einen 1-W-Typ.

5 Belastetes Potentiometer

25 %: 250 Ω ∥ 1 kΩ = 200 Ω ⇒ U = 5 V · 200/950 ≈ **1,05 V** (statt 1,25 V); 50 %: 333 Ω ⇒ **2,0 V** (statt 2,5 V); 75 %: 429 Ω ⇒ 5 V · 429/679 ≈ **3,16 V** (statt 3,75 V). Die Kennlinie hängt durch.

6 Gartenkabel

I ≈ 1000/230 ≈ 4,35 A; Länge hin + zurück 100 m. 1,0 mm²: R = **1,75 Ω**, P = **≈ 33 W**, ΔU ≈ **7,6 V**. 1,5 mm²: R ≈ **1,17 Ω**, P ≈ **22 W**, ΔU ≈ **5,1 V**.

7 Grenzen des FI

Nein. Der Strom fliesst über den Aussenleiter hin und über den Neutralleiter zurück – durch den Körper, aber ohne Differenz. Der Summenstromwandler sieht kein Restfeld. Der FI schützt nur vor Fehlerströmen zur Erde, nicht vor Durchströmung zwischen L und N.

8 Längsregler

a) P = 6 V · 1 A = **6 W**, η = 12/18 ≈ **67 %**. b) 24 V: P = **12 W**, η = **50 %**. c) Jedes Volt zu viel wird im Transistor zu Wärme (grösserer Kühlkörper, schlechterer Wirkungsgrad); die Eingangsspannung muss nur knapp über U_{aus} plus Regelreserve liegen.

9 Quiz

a) **3 Ω** · b) **50 %** · c) **2 W**