

Skisockenwärmer

Optimierung der Leistungsregelung

Laurin Weitzel

Simulation mit pSpice

8. Februar 2023

Übersicht

1 Einleitung

- Problemstellung
- Optimierungsparameter

2 Lösungsansätze

- Widerstandsregler
- Operationsverstärker
- Verbesserungsvorschlag

3 Auswertung

- Vergleich der Ansätze
- Fazit

Problemstellung

- Kalte Füße beim Skifahren
 - ▶ Elektronisch beheizte Skisocken
 - ▶ Integrierte Batterie
- Verbrannte Füße beim Skifahren
- Begrenzte Batteriekapazität
 - ▶ Maximierung des Wirkungsgrades



Abbildung: Definitiv nicht ich. Zur Verfügung gestellt von:
www.pexels.com/de-de/@visitalmaty/

Optimierungsparameter

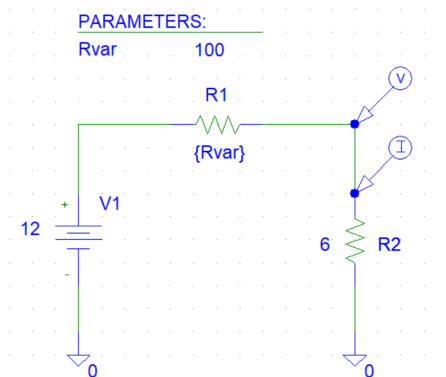
- Kosten

- ▶ Leistungselektronik
- ▶ Batterie
- ▶ Optimierung des Wirkungsgrades

- Nutzerfreundlichkeit

- ▶ Batterie soll den ganzen Tag lang halten
- ▶ Regelung möglichst einfach gestalten

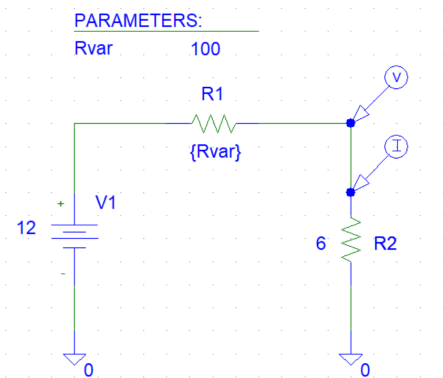
Widerstandsregler



- Einfache Leistungsanpassung
 - ▶ z.B. durch Potentiometer
 - ▶ Keine zusätzlichen Bauteile
- Schlechter Wirkungsgrad
 - ▶ Viel Leistung an R1

Abbildung: Aufbau eines einfachen Spannungsteilers als Leistungsregelung.

Widerstandsregler



$$R_{ges} = R_1 + 6 \Omega$$

$$I_{ges} = \frac{12 V}{R_{ges}}$$

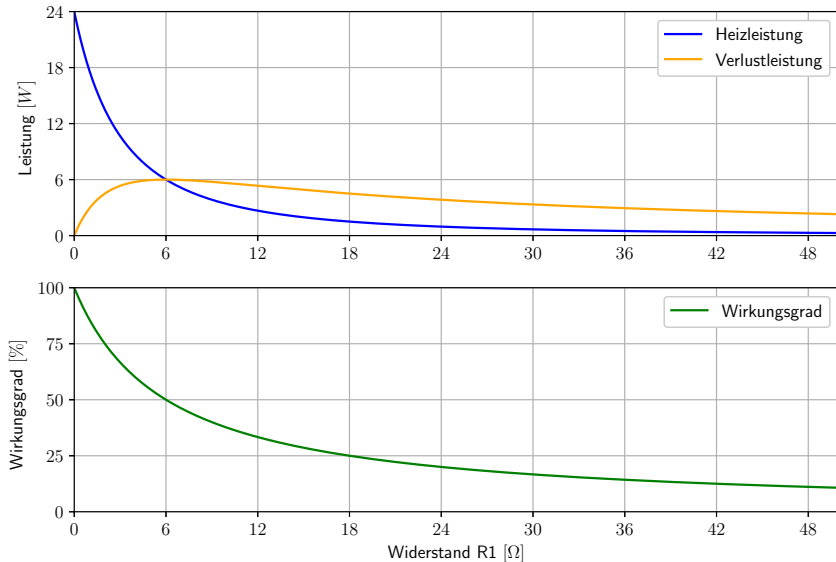
$$P_{heiz} = I_{ges}^2 R_2 = (12 V)^2 \frac{6 \Omega}{(R_1 + 6 \Omega)^2}$$

$$P_{verlust} = I_{ges}^2 R_1 = (12 V)^2 \frac{R_1}{(R_1 + 6 \Omega)^2}$$

$$\eta = \frac{P_{heiz}}{P_{heiz} + P_{verlust}}$$

Abbildung: Aufbau eines einfachen Spannungsteilers als Leistungsregelung.

Leistungsregelung durch Widerstand



Operationsverstärker (OPV)

PARAMETERS:

f1	50
pw	50

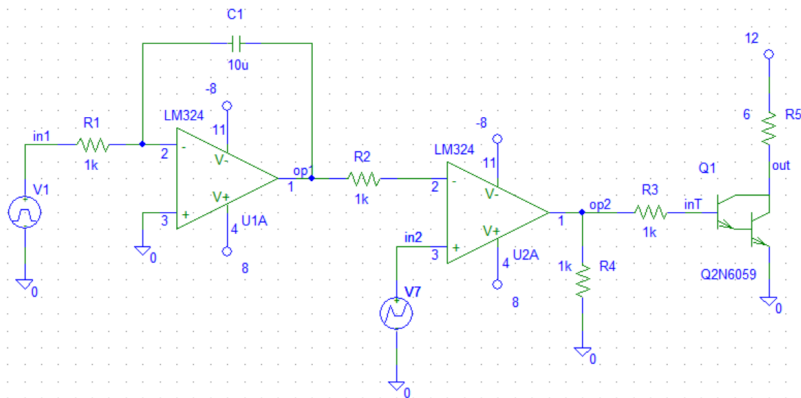
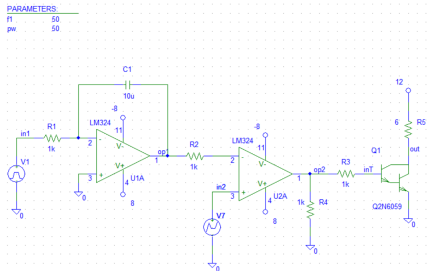


Abbildung: Aufbau mit Operationsverstärkern als Leistungsregelung.

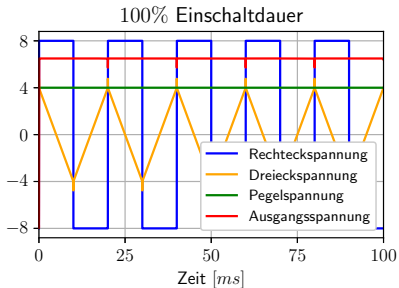
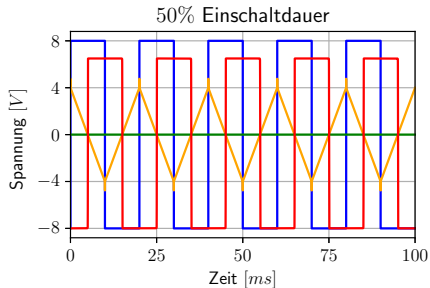
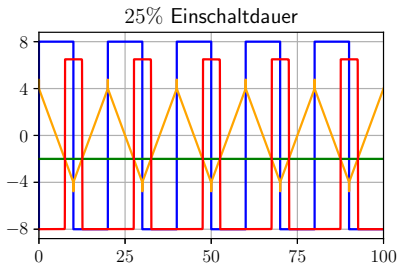
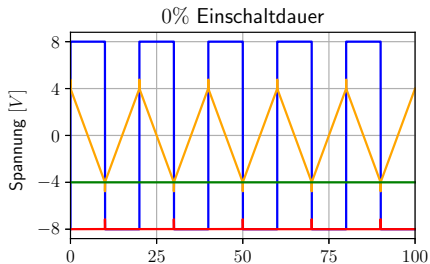
Operationsverstärker (OPV)



- Präzise Leistungsanpassung
 - ▶ Ausgangsleistung linear von Schwellspannung abhängig
- Hoher Wirkungsgrad
 - ▶ Leistung der OPV verschwindend klein

Abbildung: Aufbau mit Operationsverstärkern als Leistungsregelung.

Leistungsregelung durch Operationsverstärker



Operationsverstärker (OPV)

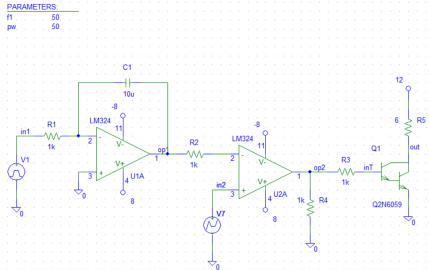


Abbildung: Aufbau mit Operationsverstärkern als Leistungsregelung.

Mit der Einschaltdauer (duty cycle) α gilt für die Heizleistung:

$$P_{\text{heiz},\mu}(\alpha) = P_{\text{heiz}}\alpha = U_{R5,\text{an}} I_{R5,\text{an}}\alpha$$

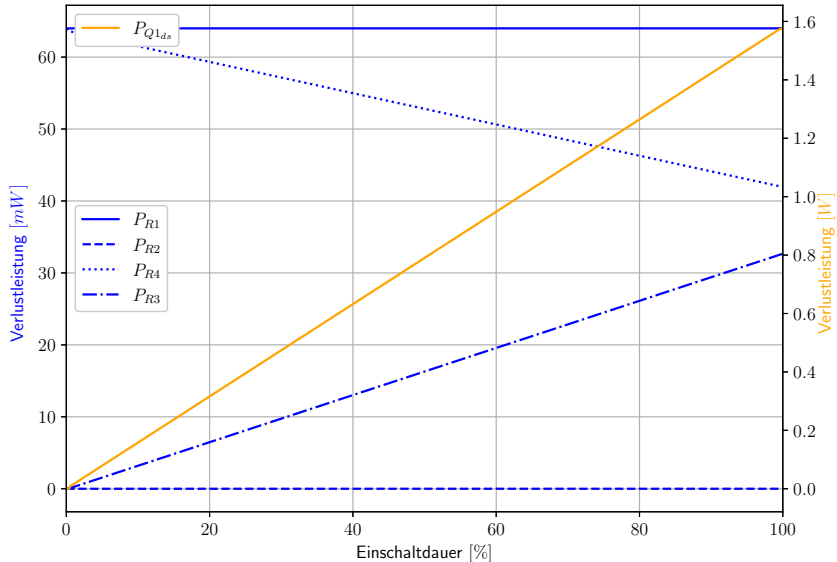
Für die Verlustleistung (vereinfacht):

$$P_{\text{verlust},\mu}(\alpha) = P_{\text{verl,var}}\alpha + P_{\text{verl,konst}}$$

Und daraus folgt für den Wirkungsgrad:

$$\eta = \frac{P_{\text{heiz}}\alpha}{(P_{\text{heiz}} + P_{\text{verl,var}})\alpha + P_{\text{verl,konst}}}$$

Verlustleistungen OPV



Verbesserungsvorschlag

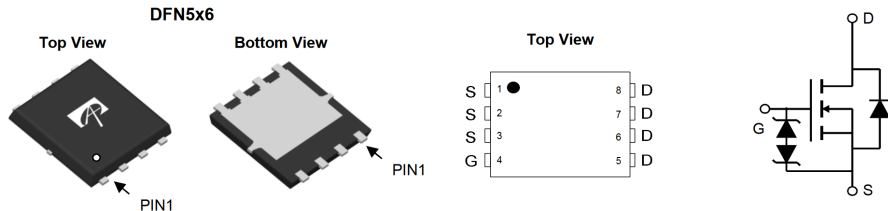
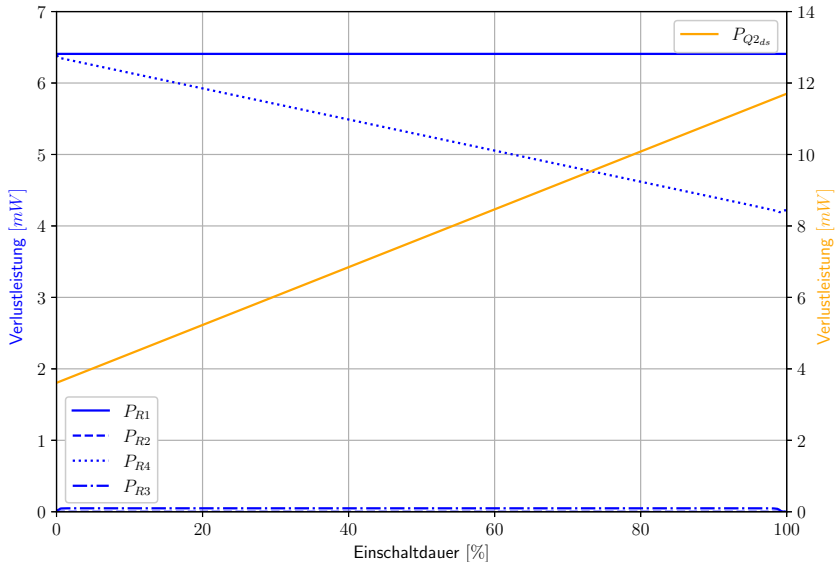


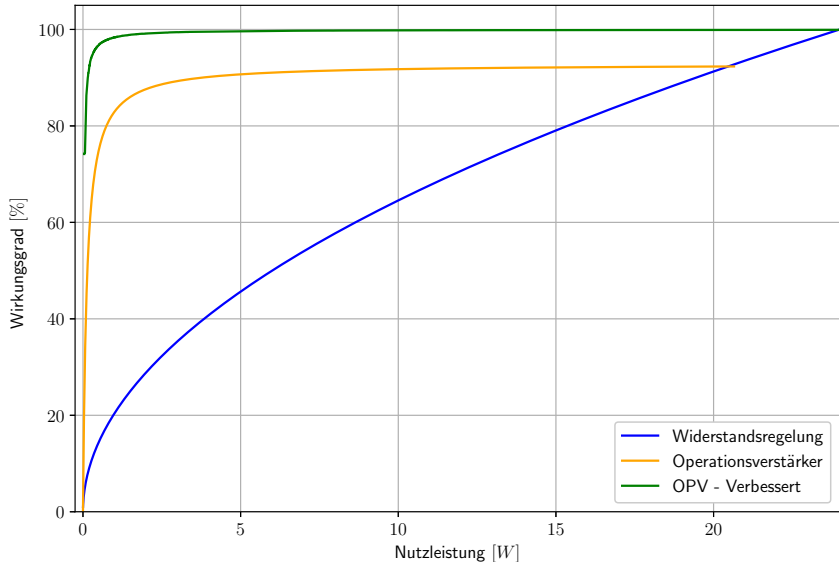
Abbildung: Leistungs MOSFET (AON6266E) für besseren Wirkungsgrad.

- Wirkungsgrad
 - ▶ $P_{R3} \approx 0$ (Geringe Leistung am Gate)
 - ▶ $P_{Q2_{ds}} \ll P_{Q1_{ds}}$
- Kosten bei Stückzahl 3000: 0,20876 €

Verlustleistungen MOSFET



Vergleich des Wirkungsgrades



Potentiometer

- Schlechter Wirkungsgrad
- Unwirtschaftlich

Operationsverstärker

- Konstanter Wirkungsgrad
- Günstig

OPV mit MOSFET

- Bester Wirkungsgrad
- Am günstigsten

Viel Aufmerksamkeit für Ihren Dank!

Projekt:

<https://www.github.com/stienek/pspice-abschlussprojekt>