

1. Aufbau der Spannungsregelung

Der schematische Aufbau der Spannungsregelung ist Abbildung 4 zu entnehmen. Sie zeigt den Spannungsregler mit der notwendigen Minimalbeschaltung. Der eingezeichnete Spannungsregler besitzt drei Anschlüsse – unregelte Eingangsspannung, geregelte Ausgangsspannung und die Vergleichsspannung. Dieser Ansatz versucht die Ausgangsspannung U_{OUT} durch Modulation der Referenzspannung zu variieren. Dazu wird der Knotenpunkt $R1/R2/R3$ mit einer zusätzlichen Spannung beaufschlagt. Sie führt zu einem veränderten Potential an dem Regler Eingang U_{REF} . Da dieser Punkt ein fixes Potential besitzt, wird der Regler die Spannung am Punkt U_{OUT} solange verändern, bis sich am Spannungsteiler $R1/R2$ die fixe Referenzspannung wieder einstellt. In Folge kann durch die Modulation der Referenz- die Ausgangsspannung gesteuert werden.

Die folgende Herleitung befasst sich mit der analytischen Bestimmung der notwendigen Widerstände.

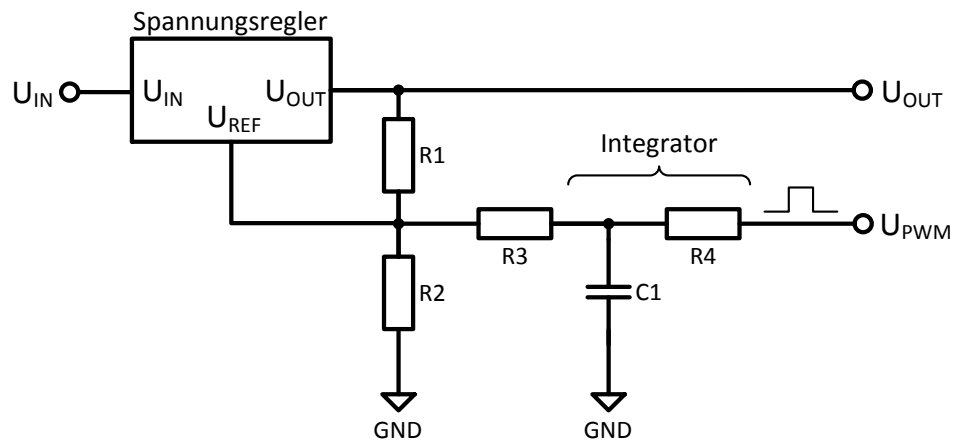


Abbildung 1: Schematischer Aufbau der Regelung

ESB1 (Verwendung von Ersatzspannungsquellen):

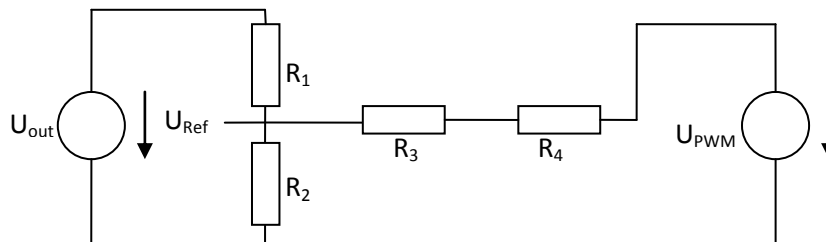


Abbildung 2: Ersatzspannungsquellenschaltbild des Reglers

Da die Berechnungen der benötigten Potentiale und Widerstände mit den Ersatzspannungsquellen relativ schwierig zu bewältigen ist, wird der Übergang zu Ersatzstromquellen erforderlich.

ESB2 (Verwendung von Ersatzstromquellen):

Die Berechnung wird mittels des Knotenpotentialverfahrens durchgeführt.

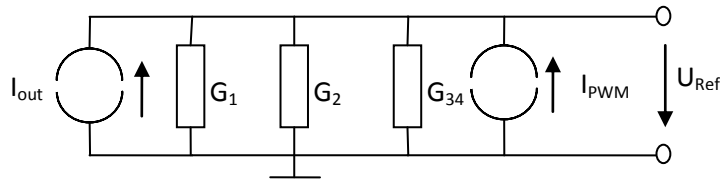


Abbildung 3: Ersatzstromquellenschaltbild

Allgemeine Dimensionierungsgleichung der Widerstände:

$$I_{out} = I_{q1} = \frac{U_{out}}{R_1}; \quad I_{PWM} = I_{q2} = \frac{U_{PWM}}{R_3 + R_4};$$

$$G_{34} = \frac{1}{R_3 + R_4}; \quad G_1 = \frac{1}{R_1}; \quad G_2 = \frac{1}{R_2};$$

$$(G_1 + G_2 + G_{34}) \cdot U_{Ref} = I_{q1} + I_{q2}$$

$$G_1 + G_2 + G_{34} = \frac{I_{q1} + I_{q2}}{U_{Ref}}$$

$$G_1 + G_2 + G_{34} = \frac{U_{out}}{R_1 \cdot U_{Ref}} + \frac{U_{PWM}}{(R_3 + R_4) \cdot U_{Ref}} = \frac{1}{U_{Ref}} \left(\frac{U_{out}}{R_1} + \frac{U_{PWM}}{R_3 + R_4} \right)$$

$$G_1 + G_2 = \frac{1}{U_{Ref}} \left(\frac{U_{out}}{R_1} + \frac{U_{PWM}}{R_3 + R_4} \right) - \frac{1}{R_3 + R_4}$$

Berechnung von $U_{out,max}$ unter Bedingung $U_{PWM} := 0$

$$G_1 + G_2 = \frac{1}{U_{Ref}} \left(\frac{U_{out,max}}{R_1} \right) - \frac{1}{R_3 + R_4}$$

$$G_2 = \frac{U_{out,max}}{U_{Ref}} \cdot \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_3 + R_4} - \frac{1}{R_1}$$

$$G_2 = \frac{(R_3 + R_4) \cdot U_{out,max} - R_1 \cdot U_{Ref} - (R_3 + R_4) \cdot U_{Ref}}{R_1 \cdot (R_3 + R_4) \cdot U_{Ref}}$$

$$G_2 = \frac{(R_3 + R_4) \cdot (U_{out,max} - U_{Ref}) - R_1 \cdot U_{Ref}}{R_1 \cdot (R_3 + R_4) \cdot U_{Ref}}$$

$$R_2 = \frac{R_1 \cdot (R_3 + R_4) \cdot U_{Ref}}{(R_3 + R_4) \cdot (U_{out,max} - U_{Ref}) - R_1 \cdot U_{Ref}}$$

Berechnung von $U_{out,min}$ unter Bedingung $U_{PWM} := U_{PWM,max}$

$$\begin{aligned}
 G_1 + G_2 &= \frac{1}{U_{Ref}} \left(\frac{U_{out,min}}{R_1} + \frac{U_{PWM,max}}{R_3 + R_4} \right) - \frac{1}{R_3 + R_4} \\
 \frac{1}{R_1} + \frac{(R_3 + R_4) \cdot (U_{out,max} - U_{Ref}) - R_1 \cdot U_{Ref}}{R_1 \cdot (R_3 + R_4) \cdot U_{Ref}} &= \frac{1}{U_{Ref}} \cdot \left(\frac{U_{out,min}}{R_1} + \frac{U_{PWM,max}}{R_3 + R_4} \right) - \frac{1}{R_3 + R_4} \\
 \frac{(R_3 + R_4) \cdot U_{Ref} + (R_3 + R_4) \cdot (U_{out,max} - U_{Ref}) - R_1 \cdot U_{Ref}}{R_1 \cdot (R_3 + R_4) \cdot U_{Ref}} &= \frac{1}{U_{Ref}} \cdot \left(\frac{U_{out,min}}{R_1} + \frac{U_{PWM,max}}{R_3 + R_4} \right) - \frac{1}{R_3 + R_4} \\
 \frac{(R_3 + R_4) \cdot U_{out,max} - R_1 \cdot U_{Ref}}{R_1 \cdot (R_3 + R_4) \cdot U_{Ref}} &= \frac{1}{U_{Ref}} \cdot \left(\frac{U_{out,min}}{R_1} + \frac{U_{PWM,max}}{R_3 + R_4} \right) - \frac{1}{R_3 + R_4} \\
 \frac{(R_3 + R_4) \cdot U_{out,max} - R_1 \cdot U_{Ref} + R_1 \cdot U_{Ref}}{R_1 \cdot (R_3 + R_4) \cdot U_{Ref}} &= \frac{1}{U_{Ref}} \cdot \left(\frac{U_{out,min}}{R_1} + \frac{U_{PWM,max}}{R_3 + R_4} \right) \\
 \frac{(R_3 + R_4) \cdot U_{out,max}}{R_1 \cdot (R_3 + R_4)} &= \frac{U_{out,min}}{R_1} + \frac{U_{PWM,max}}{R_3 + R_4} \\
 \frac{1}{R_1} \cdot (U_{out,max} - U_{out,min}) &= \frac{U_{PWM,max}}{R_3 + R_4} \\
 \frac{1}{R_1} &= \frac{U_{PWM,max}}{U_{out,max} - U_{out,min}} \cdot \frac{1}{R_3 + R_4} \\
 \boxed{R_1 = \frac{(R_3 + R_4) \cdot (U_{out,max} - U_{out,min})}{U_{PWM,max}}}
 \end{aligned}$$

Berechnung von U_{out} in Abhängigkeit von $R_1 - R_4$ und U_{Ref}

$$\begin{aligned}
 G_1 + G_2 &= \frac{1}{U_{Ref}} \left(\frac{U_{out}}{R_1} + \frac{U_{PWM}}{R_3 + R_4} \right) - \frac{1}{R_3 + R_4} \\
 \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} &= \frac{1}{R_1} \cdot \frac{U_{out}}{U_{Ref}} + \frac{1}{R_3 + R_4} \cdot \frac{U_{PWM}}{U_{Ref}} - \frac{1}{R_3 + R_4} \\
 \frac{1}{R_2} &= \frac{(R_3 + R_4) \cdot U_{out} + R_1 \cdot U_{PWM} - R_1 \cdot U_{Ref}}{R_1 \cdot (R_3 + R_4) \cdot U_{Ref}} - \frac{1}{R_1} \\
 \frac{1}{R_2} &= \frac{(R_3 + R_4) \cdot U_{out} + R_1 \cdot U_{PWM} - R_1 \cdot U_{Ref} - (R_3 + R_4) \cdot U_{Ref}}{R_1 \cdot (R_3 + R_4) \cdot U_{Ref}} \\
 - \frac{R_3 + R_4}{R_1 \cdot (R_3 + R_4) \cdot U_{Ref}} \cdot U_{out} &= \frac{R_1 \cdot U_{PWM} - R_1 \cdot U_{Ref} - (R_3 + R_4) \cdot U_{Ref}}{R_1 \cdot (R_3 + R_4) \cdot U_{Ref}} - \frac{1}{R_2} \\
 U_{out} &= -R_1 \cdot U_{Ref} \left(\frac{R_1 \cdot U_{PWM} - R_1 \cdot U_{Ref} - (R_3 + R_4) \cdot U_{Ref}}{R_1 \cdot (R_3 + R_4) \cdot U_{Ref}} - \frac{1}{R_2} \right)
 \end{aligned}$$

$$U_{out} = -\frac{R_1}{R_3 + R_4} U_{PWM} + \frac{R_1}{R_3 + R_4} U_{Ref} + U_{Ref} + \frac{R_1}{R_2} U_{Ref}$$

$$U_{out} = U_{Ref} \left(1 + \frac{R_1}{R_3 + R_4} + \frac{R_1}{R_2} \right) - \frac{R_1}{R_3 + R_4} U_{PWM}$$

2. Dimensionierungsbeispiel

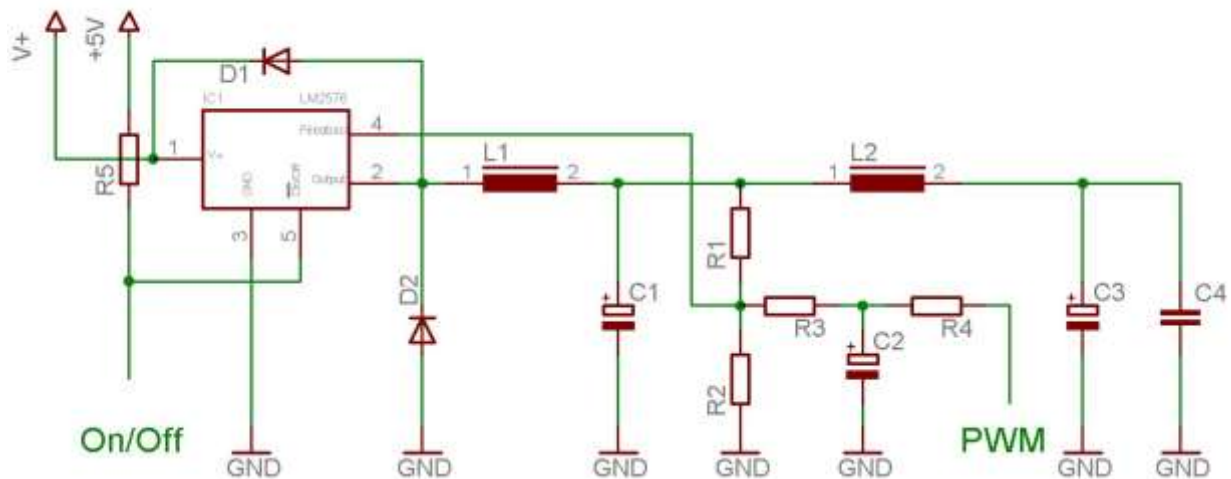


Abbildung 4: Spannungsregelung – schematisch

$$U_{out,max} = 22V; \quad U_{out,min} = 10V; \quad U_{PWM,max} = 5V; \quad R_3 = R_4 = 4,7k\Omega$$

$$R_1 = \frac{(4,7 \cdot 10^3 + 4,7 \cdot 10^3) \cdot (22 - 10)}{5} = 22560 \approx 22,6k\Omega$$

$$R_2 = \frac{(4,7 \cdot 10^3 + 4,7 \cdot 10^3) \cdot 22,6 \cdot 10^3 \cdot 1,23}{(4,7 \cdot 10^3 + 4,7 \cdot 10^3) \cdot (22 - 1,23) - 22,6 \cdot 10^3 \cdot 1,23} = 1560 \approx 1,58k\Omega$$

$$U_{PWM} = 5V \rightarrow U_{out} = 9,75V; \quad U_{PWM} = 0V \rightarrow U_{out} = 21,78V$$