

Elektronik-Grundpraktikum

betreut durch Manuel Geisler

Julia Kisela
Rainer Bauerle

18.10.2016

① Theoretische Grundlagen

Der Bipolartransistor

Transistor als Verstärker

Emitterschaltung

Kollektorschaltung

Operationsverstärker

Grundsaltungen mit Operationsverstärkern

② Messungen

Verstärker in Emitterschaltung

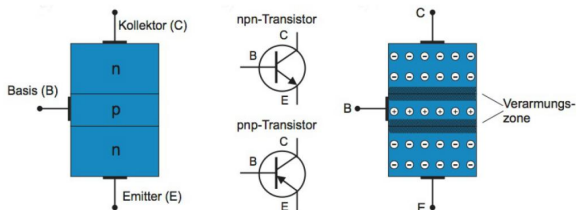
Verstärker in Kollektorschaltung

PID-Regler

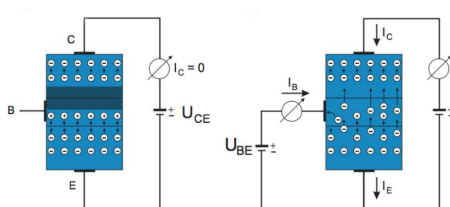
PID-Drehzahl-Regelung

③ Fazit

Der Bipolartransistor



Aufbau und Schaltsymbole eines Bipolartransistors

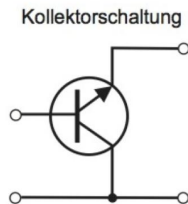
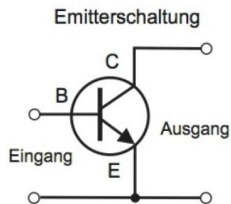


Funktionsprinzip eines Bipolartransistors

- kleiner Basisstrom steuert deutlich größeren Kollektorstrom
- Kollektorstrom annähernd linear zum Basisstrom ($I_C = \beta I_B$ mit $\beta = 20 - 1000$)

Verstärkerschaltungen

- Verstärker meist 4 Anschlüsse
- Transistor 3 Anschlüsse
- \Rightarrow 3 verschiedene Grundschaltungen



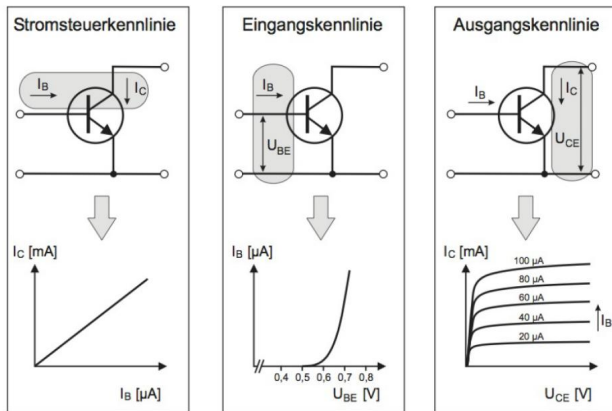
Verstärkerschaltungen

- Verstärker meist 4 Anschlüsse
- Transistor 3 Anschlüsse
- \Rightarrow 3 verschiedene Grundschaltungen

| | Emitterschaltung | Kollektorschaltung |
|----------------------|------------------|--------------------|
| Eingangsimpedanz | Mittel | Groß |
| Ausgangsimpedanz | Groß | Klein |
| Stromverstärkung | Groß | Groß |
| Spannungsverstärkung | Groß | 1 |
| Phasenverschiebung | 180° | 0° |

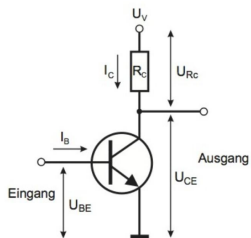
Emitterschaltung

Zur Beschreibung der Eigenschaften: Kennlinien



Spannungsverstärkung

Ohmsches Gesetz: Spannungsabfall über Widerstand

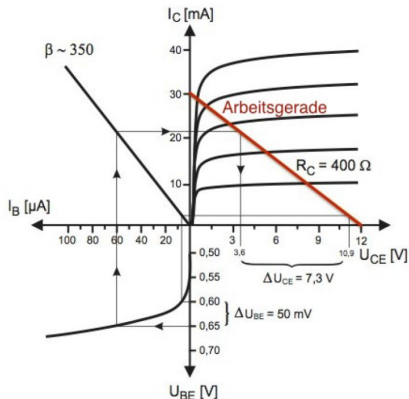


Kirchhofsche Maschenregel

$$\begin{aligned}U_{CE} &= U_V - U_{Rc} \\ &= U_V - R_C I_C \\ \Rightarrow I_C &= \frac{U_V}{R_C} - \frac{U_{CE}}{R_C}\end{aligned}$$

Einfache Verstärkerschaltung

Verstärkung ermitteln



Arbeitsgerade

$$I_C = \frac{U_V}{R_C} - \frac{U_{CE}}{R_C}$$

Verstärkung

- Spannung:
 $V_U \approx 150$
- Strom:
 $V_I \approx 350$

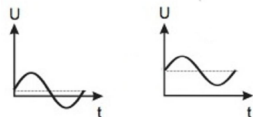
Maximale Verlustleistung

- Ausgangsspannung hängt von R_C ab
- Leistung in Transistor \rightarrow Wärme
- Minimaler Kollektorwiderstand über maximale Verlustleistung:

$$P = U_{CE} I_C \Leftrightarrow I_C = \frac{P}{U_{CE}}$$

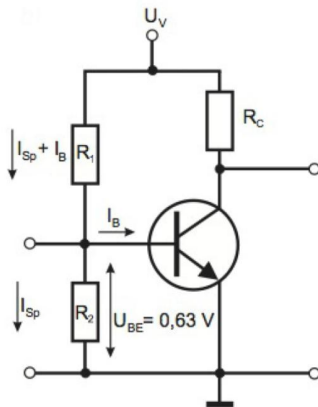
Arbeitspunkt

- maximale Dynamik (\Rightarrow Vorspannung)
- wenig Verzerrungen



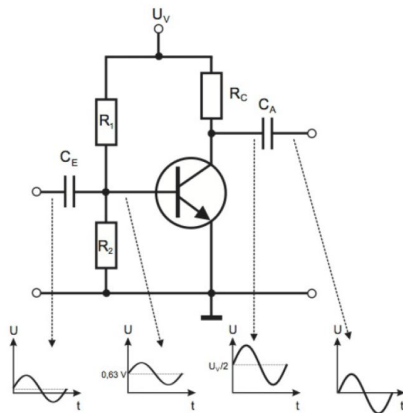
Offset für maximale Dynamik

Verstärkerschaltung



Einstellung des Arbeitspunktes mit Spannungsteiler

Verstärkerschaltung

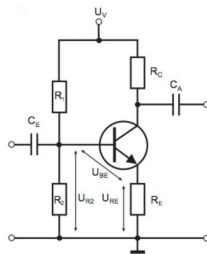


Kapazitive Ein- und Auskopplung

Stromgegenkopplung

Problem

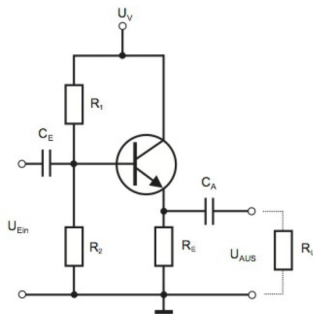
- Arbeitspunkt stark Temperatur abhängig
- Dimensionierung erfordert große Genauigkeit
- \Rightarrow Stromgegenkopplung



Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung

Kollektorschaltung

Kollektor als Bezugspotenzial von Ein- und Ausgangssignal.



Eigenschaften

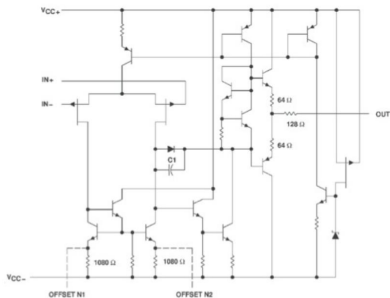
- Spannungsverstärkung $V_U \approx 1$
- hoher Eingangs-, kleiner Ausgangswiderstand
 \Rightarrow Impedanzwandler

Kollektorschaltung mit Stromgegenkopplung

Operationsverstärker

Anwendungen

- einfache Einstellung der Verstärkung
- keine Einstellung des Arbeitspunkts notwendig
- analoge Operationen: addieren, subtrahieren, invertieren, integrieren, differenzieren, ...

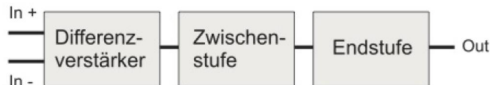


Schaltbild

Operationsverstärker

Anwendungen

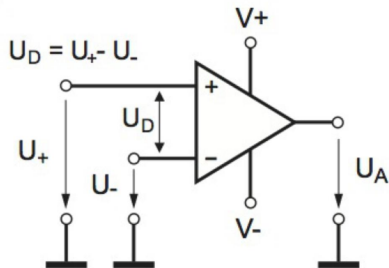
- einfache Einstellung der Verstärkung
- keine Einstellung des Arbeitspunkts notwendig
- analoge Operationen: addieren, subtrahieren, invertieren, integrieren, differenzieren, ...



Blockschaltbild

Eigenschaften eines Operationsverstärkers

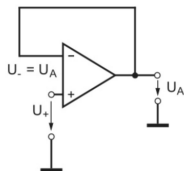
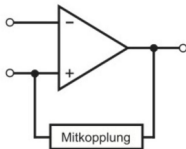
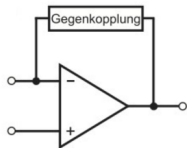
- Nur Spannungsdifferenz an beiden Eingängen wird verstärkt.
- Ausgangsspannung $U_A = V_0(U_+ - U_-) = V_0 U_D$ mit $V_0 = 10^4$ bis 10^6
- großer Eingangs- und kleiner Ausgangswiderstand



Schaltbild eines Operationsverstärkers

Rückkopplung

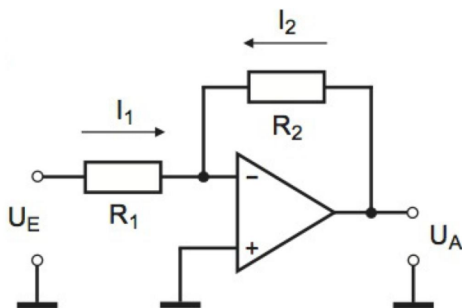
Für Praxis Verstärkung zu groß \Rightarrow Rückkopplung



Arten der Rückkopplung und Funktionsprinzip der Gegenkopplung

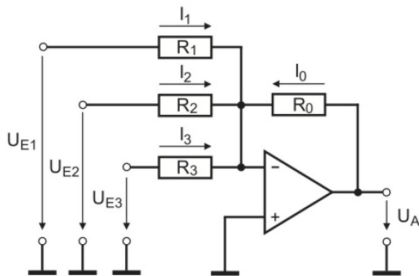
Gegenkopplung: $U_D = U_+ - U_- = 0$

Invertierender Verstärker



Schaltbild eines invertierenden Verstärkers

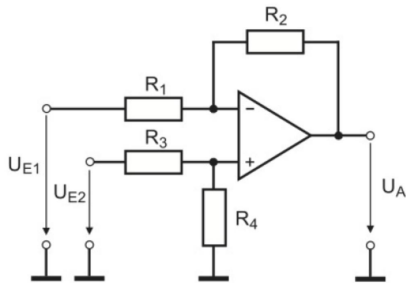
$$\text{Verstärkung: } V = -\frac{R_2}{R_1}$$



Summierer

Widerstände gleich groß:

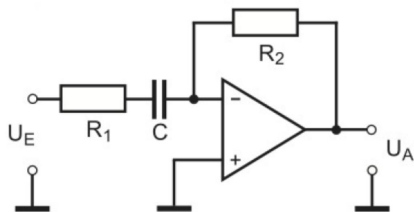
$$U_A = -(U_{E1} + U_{E2} + U_{E3})$$



Differenzverstärker

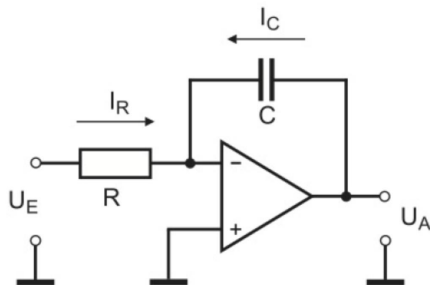
Bei $R_1 = R_3$ und $R_2 = R_4$:

$$U_A = \frac{R_2}{R_1}(U_{E2} - U_{E1})$$



Differentiator

$$U_A = -R_2 C \frac{dU_E}{dt}$$



Integrator

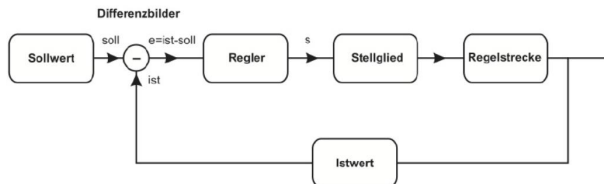
$$U_A = -\frac{1}{RC} \int U_E dt$$

Reglertypen

Ziel: Analoge Regelung (z.B. phys. Größe soll unabhängig von äußeren Störungen konstant bleiben)

Anforderungen

- Stabilität
- Genauigkeit
- Geschwindigkeit



Proportionalregler

Stellwert s_P proportional zur Regelabweichung: $s_P = K_P e$

Eigenschaften

- kurze Einregelzeit
- kleine Überschwingungen
- Regelabweichung

Integralregler

Stellwert s_I proportional zum zeitlichen Mittel der Regelabweichung:

$$s_I = K_I \int e(t) dt$$

Eigenschaften

- träge für kleine K_I
- Überschwingungen für große K_I
- geringe Regelabweichung

⇒ PI-Regler zur Vereinigung der positiven Eigenschaften von P- und I-Regler

Differentialregler

Stellwert s_D proportional zur zeitlichen Änderung der Regelabweichung:

$$s_D = K_D \frac{d}{dt} e(t)$$

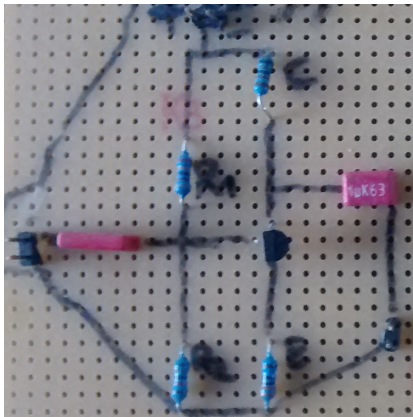
Eigenschaften

- allein ohne Bedeutung
- stationäre Regelabweichung
- sehr hohe Geschwindigkeit

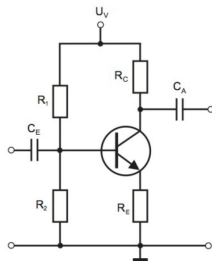
⇒ PD-Regler für zeitkritische Vorgänge

⇒ PID-Regler für zeitkritische Vorgänge ohne Regelabweichung

Verstärker in Emitterschaltung

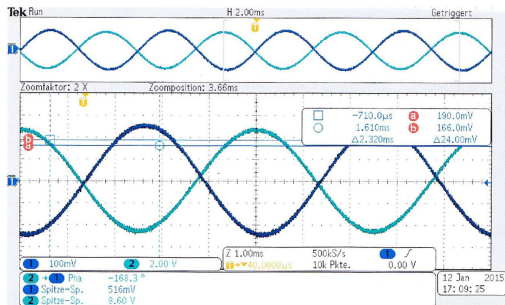


Versuchsaufbau



Schaltplan

Ziel: Verstärkung von $V = 20$ und Überprüfung der dimensionierten Werte für die Bauteile

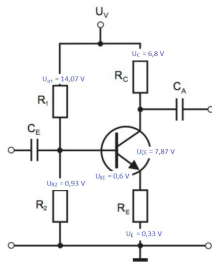


Emitterschaltung mit Ein- (Kanal 1) und Ausgangsspannung (Kanal 2) bei einer Eingangsamplitude von 0,5 V

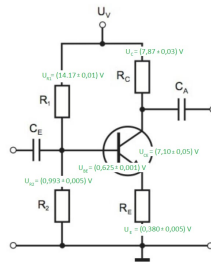
gemessene Verstärkung: $V_{gem} = 18,6 \pm 0,3$

gemessene Phasenverschiebung: $\sim 170^\circ$

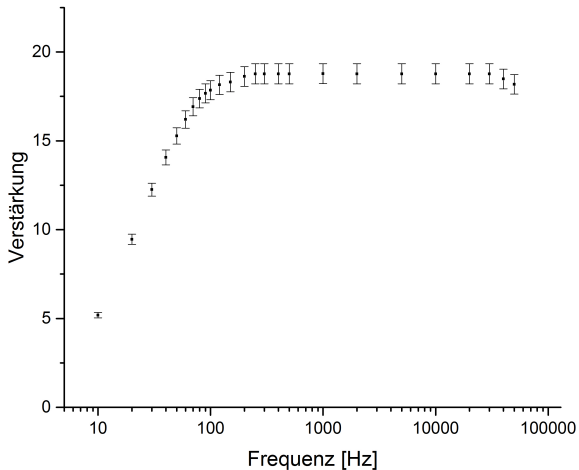
Überprüfung der Dimensionierung



Theoretische Werte

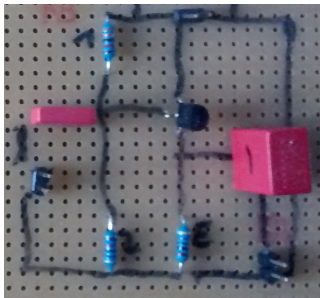


Gemessene Werte

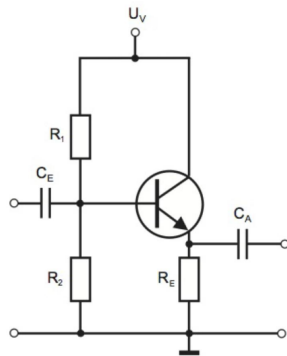


Frequenzgang für die Emitterschaltung

Verstärker in Kollektorschaltung

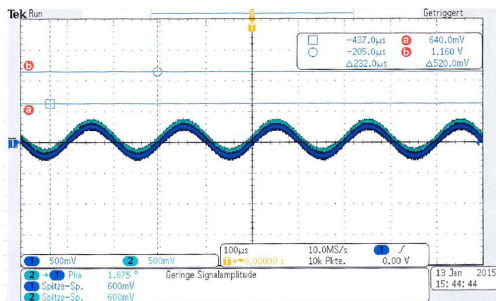


Versuchsaufbau



Schaltplan

Ziel: Verstärkung von $V = 1$ und Überprüfung der dimensionierten Werte für die Bauteile

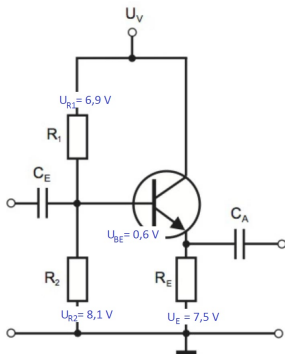


Kollektorschaltung mit Ein- (Kanal 1) und Ausgangsspannung (Kanal 2) bei einer Eingangsamplitude von 0,6V

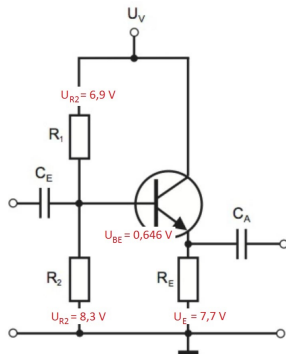
gemessene Verstärkung: $V_{gem} = 1,0 \pm 0,1$

gemessene Phasenverschiebung: $\sim 0^\circ$

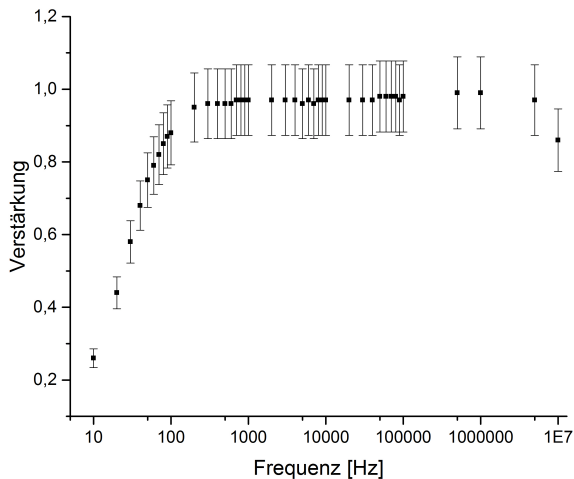
Überprüfung der Dimensionierung



Theoretische Werte

Alle Werte $\pm 10 \%$

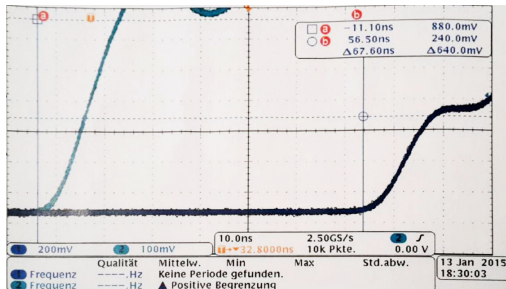
Gemessene Werte



Frequenzgang für die Kollektorschaltung

Messung der Länge eines Koaxialkabels

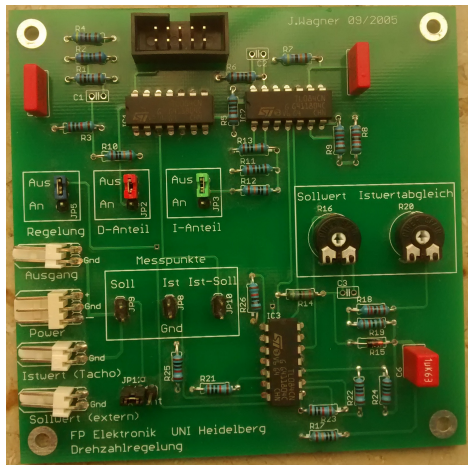
Mit Meterstab gemessene Länge: $l_1 = (13,0 \pm 0,2) \text{ m}$



Signale vor (Kanal 1) und nach (Kanal 2) dem Koaxialkabel

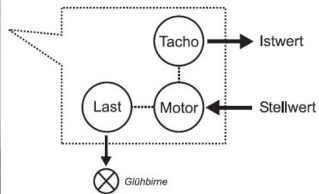
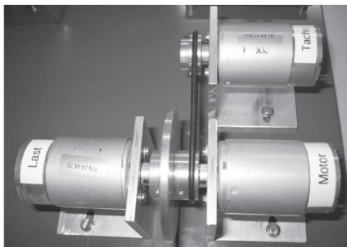
zeitliche Verschiebung: $\Delta t = (65,7 \pm 3,0) \text{ ns} \Rightarrow l_2 = (13,14 \pm 0,60) \text{ m}$

PID-Regler zur Drehzahlregelung eines Motors



Bestückte Platine

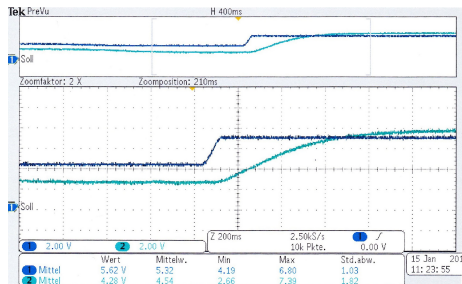
PID-Regler zur Drehzahlregelung eines Motors



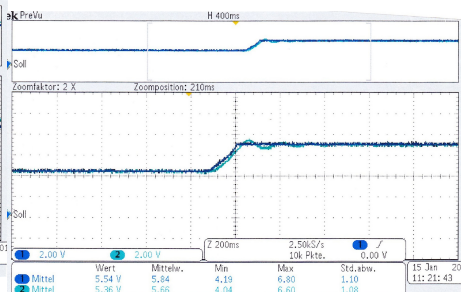
Motor

Reglereigenschaften: P-Regler

Anlegen einer Rechtecksspannung

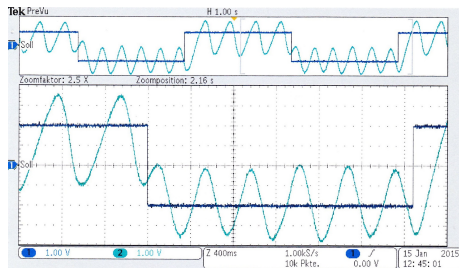


Ist- (Kanal 2) und Sollwert (Kanal 1) ohne Regelung

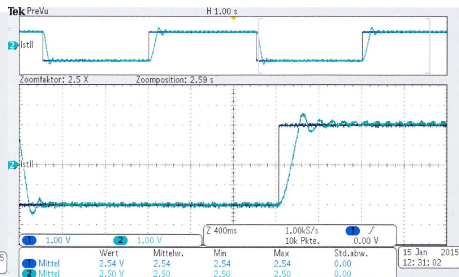


P-Regelung mit $K_P \sim 50 \text{ Skt}$

Reglereigenschaften: PI-Regler

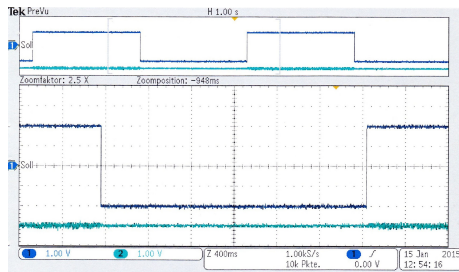


$K_P \sim 0 \text{ Skt}$ und $K_I \sim 50 \text{ Skt}$

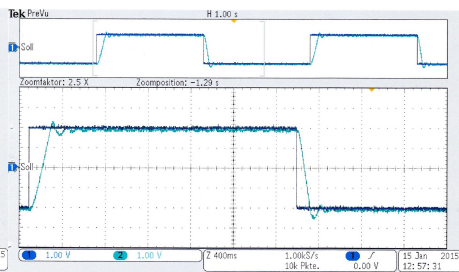


$K_P \sim 50 \text{ Skt}$ und $K_I \sim 0 \text{ Skt}$

Reglereigenschaften: PD-Regler

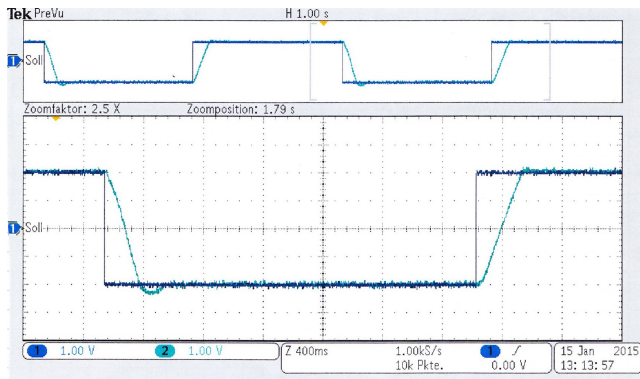


$K_P \sim 0 \text{ Skt}$ und $K_D \sim 50 \text{ Skt}$



$K_P \sim 50 \text{ Skt}$ und $K_D \sim 0 \text{ Skt}$

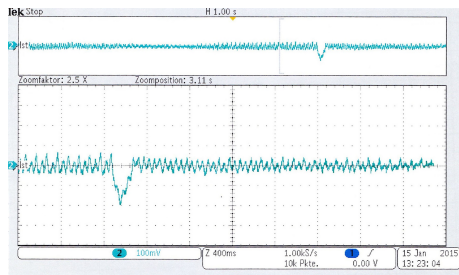
Reglereigenschaften: PID-Regler



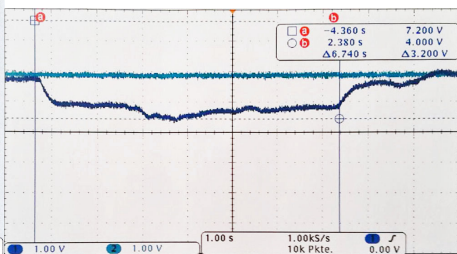
$$K_P = 100 \text{ Skt}, K_I = 80 \text{ Skt} \text{ und } K_D = 40 \text{ Skt}$$

PID-Drehzahl-Regelung

Anschalten einer Glühbirne



PID-Regelung unter Last



Last ohne PID-Regelung
(Bild von anderer Gruppe)

Fazit

- Messergebnisse größtenteils Erwartungen entsprochen
- Dimensionierte und gemessene Größen bei Verstärker in Emitterschaltung weichen voneinander ab
- Erfolg bei PID-Regler

Persönliches Fazit

- Gute Einführung in analoge Elektronik
- Löten gelernt
- Ausführliche Anleitung
- Schlechte Kabel

Quellen



J. WAGNER „E01 Elektronik-Grundpraktikum“, Heidelberg 2014.