

# Elektronikpraktikum, Hintergrund

Arne Babenhauserheide

Universität Heidelberg

21. April 2009

# Was haben wir gemacht?

- Dimensionierung und Aufbau von 2 Transistorschaltungen
- Drehzahlregler für einen Elektromotor
- Löten gelernt

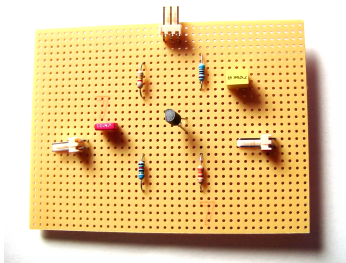
## Physikalische Motivation

- Eigene Schaltungen löten
- Regelungstechnik wichtig: Fertigungsstraßen, Robotik, ...

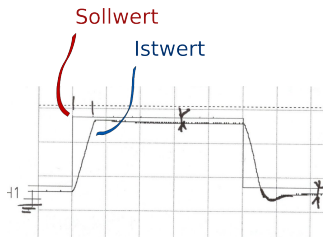
## Direkter Nutzen für uns

- Black-Box aufbrechen
- Elektronikkenntnisse auffrischen
- Bedeutung von Elektrik für Elektronik

# Wohin wollen wir?



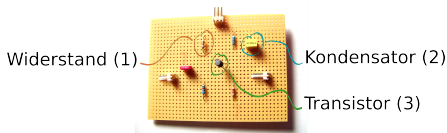
(a) 2 Transistorschaltungen



(b) Drehzahlregler, PID

# Was haben wir?

Um unsere Schaltung aufzubauen konnten wir direkt auf einige Grundbestandteile zurückgreifen.



## Genutzte Bausteine

- 1 Widerstand
- 2 Kondensator
- 3 Transistor
- 4 Operationsverstärker

# Widerstände

Die Proportionalität zwischen Strom und Spannung wurde erst 1826 entdeckt.



Früher



Heute

## Die Normreihen

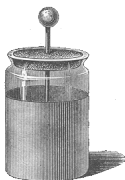
- Definierte Größen: Anzahl der Werte pro Dekade
- Praktikum: Normreihe E12,  $10^1$  bis  $10^5$ :

1,0 / 1,2 / 1,5 / 1,8 / 2,2 / 2,7 / 3,3 / 3,9 / 4,7 / 5,6 / 6,8 / 8,2

# Kondensatoren

Auch wenn sie komplexer wirken, waren Kondensatoren bereits weit vor der Zeit von Ohm in Verwendung. Der erste Kondensator war die Leidener Flasche (1754).

Früher



Heute

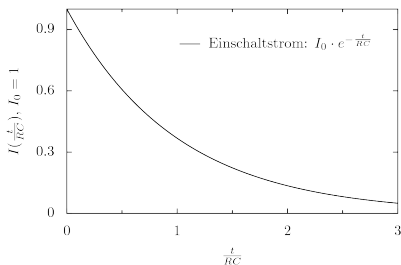
## Kapazitäten von Kondensatoren

- Leidener Flasche: 5nF
- Praktikum: 100nF bis 10 $\mu$ F

# Kondensatoren im Wechselstrom

## Frequenzabhängiger Scheinwiderstand

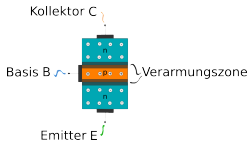
- Ladungsstrom
- Hochfrequenter Wechselstrom: Leiter
- Niederfrequent: Isolator



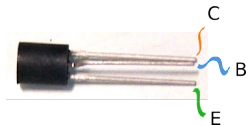
(k) Ladungsstrom:  $I(t) = I_{max} \cdot e^{-\frac{t}{RC}}$

# Transistoren

Transistoren wurden schon 1925 theoretisch erfunden. Bis sie praktisch funktionierten vergingen 9 Jahre, und für die ersten Bipolartransistoren mussten wir weitere 13 Jahre warten. Heute sind sie fast überall.



Schema



Unser Transistor

## Funktionsweise

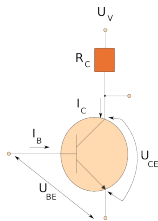
- Elektronen von Emitter (E) zu Basis (B) gehen an Kollektor (C)
- Emitter-Basis-Spannung steuert Kollektorstrom



# Transistor-Kennlinienfelder

Um die verschiedenen Charakteristika von Transistoren einfach aufzuzeichnen, werden Kennlinienfelder genutzt.

Die Urheberrechtslage der Zeichnung der Kennlinienfelder ist leider unklar, daher findet sich hier kein Bild.

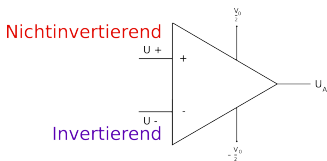


## Ablesemethode

- Kollektorspannung aus Basis-Emitter Spannung
- Im Uhrzeigersinn ablesen

# Operationsverstärker

Aus mehreren Transistoren erhalten wir Operationsverstärker, mit denen wir leichter Rechenschaltungen aufbauen können.



(p) Symbol

$$U_A = V_0(U_+ - U_-) = V_0 \cdot U_D$$

(q) Grundformel

## Regel I

Gegengekoppelt: Differenzspannung der Eingänge Null.

## Regel II

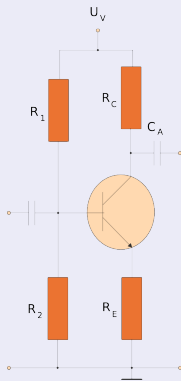
Eingangsströme vernachlässigbar.

# Zusammenfassung

- Widerstände in Normreihen
- Kondensatoren als Frequenzfilter
- Transistoren als Verstärker
- Operationsverstärker zum Rechnen.

# Wie können wir das kombinieren?

## Transistoren verwenden



- Verhalten anpassen:

Widerstände für Ein- und Ausgangsleistungen, Kondensatoren für Arbeitspunkt.

- Beispiel

1: Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung und Arbeitspunkt-Stabilisierung:

Nicht benötigte Spannung

am Emitterwiderstand. Verstärkung:  $\frac{R_C}{R_E}$ .

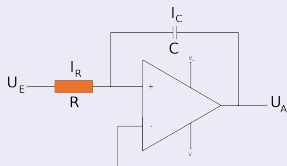
- Beispiel 2: Kollektorschaltung. Kollektor und Basis haben gleiche Erde - hinter Emitter abgreifen. Keine Verstärkung. Variierbarer Eingangs- und niedriger Ausgangswiderstand.

# Operationsverstärker nutzen

## Möglichkeiten

- Analog rechnen: Summierer, Subtrahierer, Integrierer, ...
- Verstärkt nur Spannungsdifferenz - weniger Störungen.

## Integrierer



$$I_R = \frac{U_E}{R}, \quad I_C = C \cdot \frac{dU_A}{dt}, \quad I_R = -I_C$$

$$U_E = -RC \cdot \frac{dU_A}{dt}, \quad U_A = -\frac{1}{RC} \int U_E dt$$

# Regelungstechnik realisieren

## Ziel

Ein System in ein bestimmtes Verhalten oder einen bestimmten Zustand lenken. Istwert zu Sollwert.

## Merkmale

- Stabilität
- Genauigkeit
- Geschwindigkeit

# Regelungstypen

- Zweipunktregler: Bimetallstreifen.
- Proportionalregelung: Ungenau.
- Integralregelung: Schnell aber instabil.
- Differenzialregler: Dämpft nur.

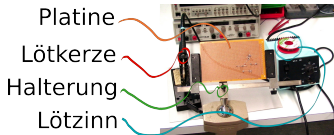
## Realisieren

- 1 Subtrahierer: Differenzspannung
- 2 Regelungen: Anpassungssignal
- 3 Stellglied

# Praktisches Löten

## Werkzeug: Platine, Lötkerze und Lötzinn

- Platine in Halterung
- Elemente aufgesteckt - Rückseite metallisch.



(r) Werkzeug



(s) Lötunkt

## Handarbeit

- Wenig Zinn, ganzer Plattenring, Leitungen flach.
- Nicht zu heiß: Höchstens 5s am Stück.  
Wir waren häufig zu lange an Lötstellen; Vielleicht ein Grund für unsere Abweichungen.



# Zusammenfassung

- Transistoren anpassen
- Operationsverstärker zum Rechnen
- Regelungstechnik Merkmale und Typen
- Löten

# Einschub: Leitungen

## Reflexionen an Enden

- Offene Enden
- Abschlusswiderstand R
- Reflexionsfaktor r (Z: Impedanz des Kabels):

$$r = \frac{R - Z}{R + Z}$$

## Länge eines Kabels messen

Lichtgeschwindigkeit in Kabeln ist etwa 60%  $c_{\text{Vakuum}}$ .

Länge aus Phasenverschiebung der reflektierten Welle  $\Delta t$ :

$$l_{\text{Kabel}} = \frac{\Delta t}{2} \cdot c_{\text{Kabel}}$$

# Wie können wir unser Ergebnis prüfen?

## Regelung

Quantitativ:

- Oszilloskop an Drucker

## Spannungen, Ströme und Widerstände

- Multimeter für Ströme in Reihe, für Spannungen parallel
- Potenziometer für Eingangswiderstände als Vorwiderstand

# Was wollen wir genau?

Diese Frage ist der Unterschied zwischen Physik und Basteln.  
Bevor wir das erste Schaltelement löten, berechnen wir, welche Elemente wir benötigen.

## Dimensionierung

Viele einfache Rechnungen:

- Transistor-Kennlinienfelder
- $U = R \cdot I$
- Knotenregel (Ladungserhaltung)
- Maschenregel (Energieerhaltung, konservatives Feld)

Beispiel: Emitterschaltung

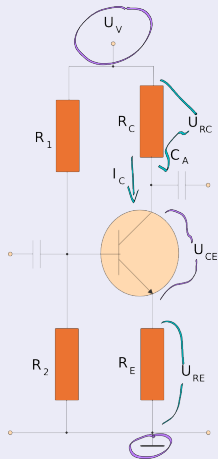
# Dimensionierung - Emitterschaltung

## Beispielrechnung: Kollektorwiderstand $R_C$

Versorgungsspannung:  $U_V = 15V$

Spannungsverstärkung:  $V_U = 20$

Kollektorstrom  $I_C = 1mA$



$$U_V - U_{CE} = U_{RC} + U_{RE} = I_C \cdot (R_C + R_E)$$

$$I_C = \frac{U_V - U_{CE}}{R_C \cdot \left(1 + \frac{1}{V_U}\right)}; V_U = \frac{R_C}{R_E}$$

$$R_C = \frac{U_V}{2 \cdot I_C \cdot \left(1 + \frac{1}{V_U}\right)}; U_{CE} \text{ sei } \frac{U_V}{2}$$

$$R_C = 7,143k\Omega$$

Nächster Widerstand aus E12:  $6,8 \cdot 10^3\Omega$

# Ergebnisse - Emitter- und Kollektorschaltung

## Emitterschaltung

Auswertung (Verstärkung, etc.), inklusive Fehler und Vergleich mit Theorie.

## Kollektorschaltung

Auswertung (Verstärkung, etc.), inklusive Fehler und Vergleich mit Theorie.

## Kabelmessung

Länge und Impedanz.

# Ergebnisse - Regelkreis

PI PD PID

## Schlussfolgerung

Wir erreichen das Optimum mit dem PID Regler und  $P=55$ ,  $I=15$ ,  $D=55$ , da der PID-Regler fast die schnelle Reaktionszeit des PI Regler besitzt und gleichzeitig dessen Nachschwingen minimiert.

# Aktuelle Forschung in HD

Was für verwandte Forschungsthemen gibt es dazu zur Zeit in HD?  
Beispiele: Sensoren im KIP und Robotik.



# Zusammenfassung

- Wir haben zwei funktionierende Transistorschaltungen gelötet. Der Transistor hatte die doppelte der angegebenen Verstärkung.
- Reflexionen ermöglichen die Längenmessung eines Kabels.
- Der PID Regler hat die besten Regelungseigenschaften: Er ist genau, stabil und schnell.

Fehler minimieren:

- Jede Lötstelle nur höchstens 5s lang erhitzen.

# Rückmeldung

- Die Anleitung ist sehr umfangreich, aber auch nötig.
- Schaltpläne: Theorie wird real.
- Das Löten macht Spaß.
- Kabelmessung: Netzwerktechnologie plötzlich verstanden.
- Verbesserungsidee: Kabelimpedanz etwas deutlicher hervorheben.
- Hinweis: Dimensioniert zu Hause gründlich! Ein Fehler dabei kostet massiv Zeit.

# Ende

## Materialien:



Jens Wagner - Anleitung Fortgeschrittenenpraktikum E01



U. Straumann - Elektronik für Physiker (Skript)



Leidener Flasche - Public Domain: <http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Leid-flasch.gif>



Bipolarer Transistor - Public Domain:

[http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Bipolar\\_Junction\\_Transistor\\_PNP\\_Structure.png](http://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Bipolar_Junction_Transistor_PNP_Structure.png)

Anmerkung: Die Präsentation des Theorieteils dauert etwas zu lang (30 min statt 20min) und ich habe die Ergebnisse rausgelassen (unklare Urheberrechtslage und Differenzen über die Art der Auswertung). Diese Präsentation ist damit unvollständig, aber wenn ich etwas auf meiner Seite veröffentliche, will ich auch dazu stehen können.