



BERGISCHE
UNIVERSITÄT
WUPPERTAL

BERGISCHE UNIVERSITÄT WUPPERTAL

ELEKTRONIK PRAKTIKUM

Datenerfassung mit dem Computer

Verfasser:

Henrik JÜRGENS

Frederik STROTHMANN

Tutoren:

Hans-Peter KIND

Peter KNIELING

Marius WENSING

22. Januar 2015

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Einleitung | 2 |
| 2 | Umwandlung digitaler in analoge Signale, DAC | 2 |
| 2.1 | DAC mit binärem Netzwerk | 2 |
| 2.2 | DAC mit R-2R-Netzwerk | 4 |
| 3 | Umwandlung analoger in digitale Signale, ADC | 5 |
| 3.1 | ADC mit Zählverfahren und mit Approximationsverfahren | 5 |
| 4 | Zeit- und Frequenzmessung | 10 |
| 4.1 | Bau einer Stoppuhr | 10 |
| 4.2 | Bau eines Frequenzzählers | 12 |
| 5 | Fazit | 13 |

1 Einleitung

Dieser Versuch beschäftigt sich mit den Fragestellungen, wie man digitale in analoge Signale umwandelt, wie ein Computer kontinuierliche Spannungswerte erzeugen kann, wie analoge Werte digitalisiert werden können, wie ein Digitalvoltmeter kontinuierliche Spannungswerte erfassen, digital anzeigen kann und wie sich Zeiten oder Frequenzen messen lassen.

2 Umwandlung digitaler in analoge Signale, DAC

In diesem Versuchsabschnitt werden verschiedene Digital-Analog-Converter gebaut und untersucht. Realisiert werden ein Digital-Analog-Converter mit Binär- und R-2R-Netzwerk.

2.1 DAC mit binärem Netzwerk

In diesem Versuchsteil wird ein DAC mit einem Binärnetzwerk aufgebaut. Der Nachteil dieses Aufbaus ist, dass für hohe Auflösungen genaue Widerstände benötigt werden. Die Ausgangsspannung bestimmt sich mit:

$$U_A = U_0 \cdot \frac{\text{Binärwert}}{2^n - 1} \quad (1)$$

Dabei ist n die Bitgröße des Eingangssignals.

Verwendete Geräte

Es werden das Versuchsboard, das Zusatzboard, ein PC, ein Steckaufsatz und n Widerstände der Größe 2^j ($j=1, \dots, n$) verwendet.

Versuchsaufbau

In Abbildung 1 ist der Schaltplan eines ADCs mit binärem Widerstandsnetzwerk zu sehen. Die Schaltung wird mit dem Versuchsboard und einem Binärnetzwerk realisiert.

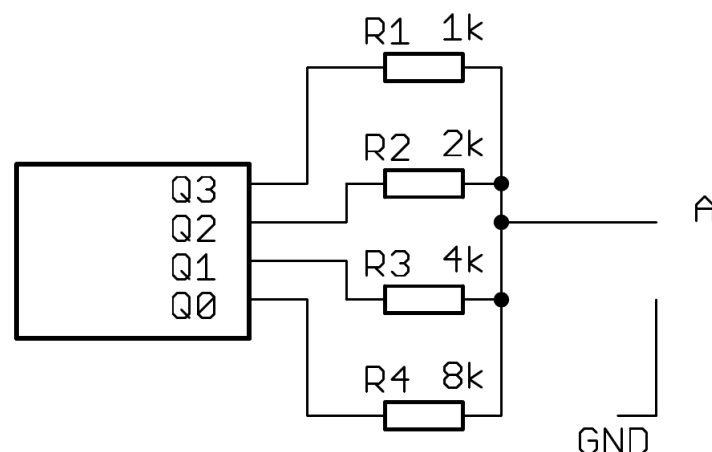


Abbildung 1: Schaltplan für ein DAC mit binärem Widerstandsnetzwerk¹

¹Abbildung entnommen von http://www.atlas.uni-wuppertal.de/~kind/ep11_14.pdf am 18.01.2015

Versuchsdurchführung

Der größte Widerstand ($1,3\text{M}\Omega$) wird an die erste Binärstelle angeschlossen und an jede weitere Binärstelle jeweils die Hälfte des vorherigen Widerstandes. Das Widerstandsnetzwerk wird auf das Versuchsboard gesteckt. Zuerst werden die ersten 4 Bits, danach die ersten 8 Bits verwendet und mit dem Oszilloskop das Ausgangssignal aufgenommen. Die Messung wird mit dem Befehl c gestartet. Der Mikrocontroller übernimmt in diesem Fall die Funktionen des Oszillators und des Binärzählers.

Auswertung

Bei der Messung wird ein treppen-artiger Verlauf der Ausgangsspannung erwartet. Die Differenz zwischen zwei Stufen ergibt sich nach Gleichung 1 mit $\frac{U_0}{2^n - 1}$. Für die 4 Bits ergab sich der Verlauf in Abbildung 2, die einzelnen Stufen sind deutlich zu sehen. Die Auflösung liegt bei einem fünfzettel.



Abbildung 2: Aufnahme der Ausgangsspannung mit 4 Widerständen

Die Aufnahme des Kurvenverlaufs für 8 Bit ist in Abbildung 3 zu sehen. Die Stufen sind nicht zu erkennen, dies liegt an der Auflösung, die bei einem 255-stel liegt.

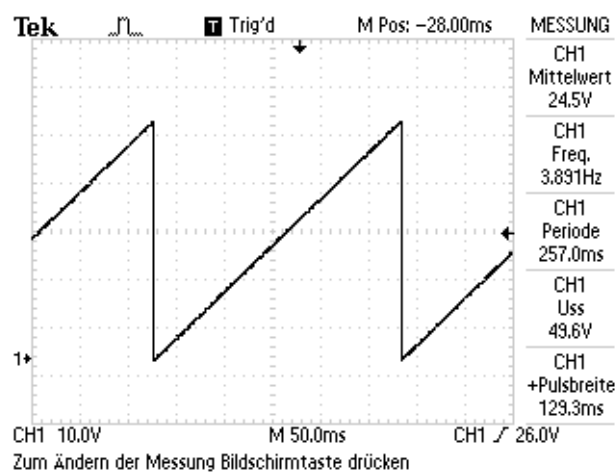


Abbildung 3: Aufnahme der Ausgangsspannung mit 8 Widerständen

2.2 DAC mit R-2R-Netzwerk

In diesem Versuchsteil wird ein DAC mit einem R-2R-Netzwerk untersucht. Der Vorteil dieses Aufbaus ist, dass nur zwei verschiedene Widerstände benötigt werden, die ein Verhältnis von 1:2 haben. Die Auflösung bestimmt sich mit:

$$U_A = U_0 \cdot \frac{\text{Binärwert}}{2^n} \quad (2)$$

Verwendete Geräte

Es werden das Versuchsboard, das Zusatzboard, ein PC und ein Steckaufsatz mit einem R-2R Widerstandsnetzwerk verwendet.

Versuchsaufbau

Der Schaltplan eines R-2R Netzwerkes ist in Abbildung 4 zu sehen. Dieses Netzwerk wird auf das Zusatzboard gesetzt.

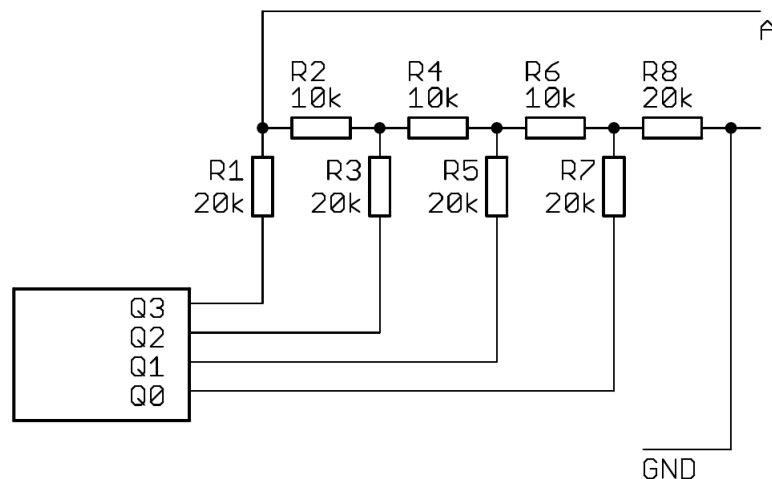


Abbildung 4: Schaltplan für einen R-2R Netzwerk²

Versuchsdurchführung

Das für acht Bit ausgelegte R-2R-Netzwerk wird auf das Versuchsboard gesteckt. Die Messung wird mit dem Befehl c gestartet und das Ausgangssignal mit dem Oszilloskop untersucht.

Auswertung

Für den zeitlichen Verlauf wird ein Treppen-artiger Verlauf erwartet. Dabei ist die Auflösung höher, da die Ausgangsspannung nach Gleichung 2 bestimmt wird. Die Höhe einer Stufe ergibt sich mit $\frac{U_0}{2^n}$. In dem verwendeten Aufbau entspricht dies einer Stufenhöhe von einem 256-stel. Der Verlauf auf dem Oszilloskop ist in Abbildung 5 zu sehen. Aufgrund der hohen Auflösung sind die einzelnen Stufen nicht mehr zu erkennen.

²Abbildung entnommen von http://www.atlas.uni-wuppertal.de/~kind/ep11_14.pdf am 18.01.2015

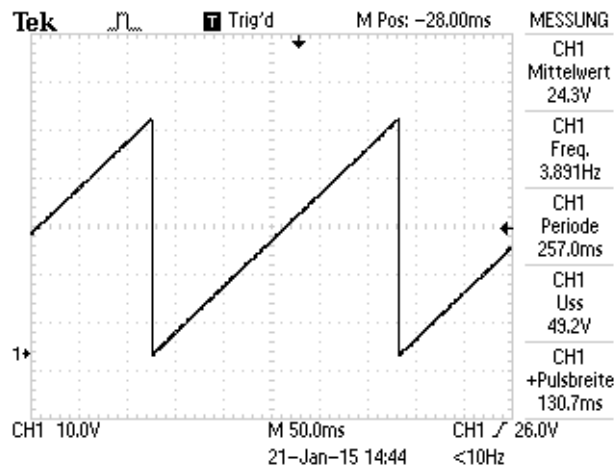


Abbildung 5: Aufnahme der Ausgangsspannung

Diskussion

Beide Messungen sind wie erwartet verlaufen. Da für das R-2R Netzwerk nur ein 8 Bit großes Netzwerk zur Verfügung stand, können nur die beiden 8 Bit großen ADC verglichen werden. Betrachtet man die beiden Aufnahmen, Abbildung 3 für das Binärnetzwerk und Abbildung 5 für das R-2R Netzwerk, ist kein Unterschied zu erkennen. Theoretisch sollten sich mit dem R-2R Netzwerk bessere Ergebnisse erzielen lassen, da es kaum von den Fehlern der Widerstände abhängt.

3 Umwandlung analoger in digitale Signale, ADC

In diesem Versuchsabschnitt werden verschiedene Analog-Digital-Converter mit Hilfe des Boards aus Versuch 10 gebaut.

3.1 ADC mit Zählverfahren und mit Approximationsverfahren

In diesem Versuchsteil wird ein ADC mit Zählverfahren und ein ADC mit Approximationsverfahren gebaut.

Der ADC mit Zählverfahren verwendet einen Binärzähler und ein R-2R Netzwerk um die Referenzspannung zu erzeugen. Der Stand des Binärzählers wird gespeichert, wenn der Komparator eine 0 ausgibt. Das Bitmuster des Zählers entspricht der digitalen Version des analogen Signals. Der Nachteil des Verfahrens ist, dass der Aufwand zur Digitalisierung des Signals $\mathcal{O}(2^n)$ beträgt.

Der ADC mit Approximationsverfahren besteht aus einer Steuereinheit, einem R-2R Netzwerk und einem Komparator. Die Steuereinheit schaltet die Referenzspannung auf den halben Maximalwert. Wenn der Ausgang des Komparators auf 1 eins geht, wird die Referenzspannung auf $\frac{3}{4}$ der Maximalspannung gesetzt. Falls der Ausgang des Komparators auf 0 steht wird das aktuelle Bit auf 0 gesetzt und die Referenzspannung auf $\frac{1}{4}$ der Maximalspannung gesetzt. Der Vorteil dieses Verfahren ist, dass es wesentlich schneller als das Zählverfahren ist. Der Aufwand beträgt $\mathcal{O}(n)$.

Verwendete Geräte

Es werden das Board aus Versuch 10, ein Zusatzboard, ein Oszilloskop und ein Netzgerät verwendet.

Versuchsaufbau

Der Versuchsaufbau besteht aus dem Board von Versuch 10 und einem neuen Zusatzboard, in dem alle notwendigen Komponenten integriert sind.

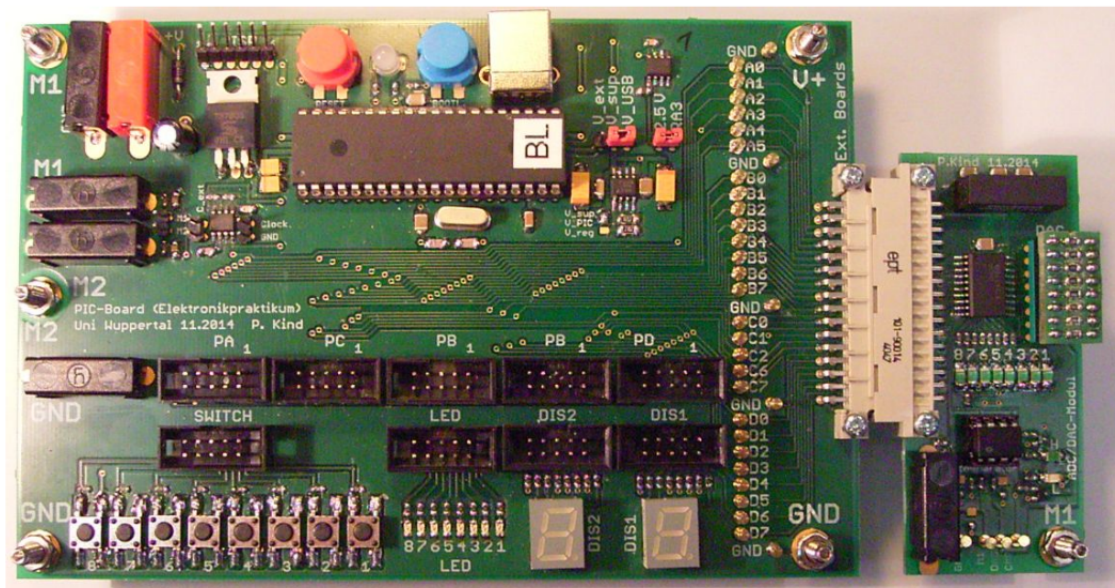


Abbildung 6: Board und Zusatzboard³

Versuchsdurchführung

Das Zusatzboard wird an das Board angeschlossen, dies geschieht über einen seriellen Anschluss. Das vorgeschriebene Programm, zum messen der Daten wird auf das Board geladen. Danach wird die zu messende Spannung an M1 angeschlossen. Die Funktionalität wird untersucht, indem verschiedene Steuerzeichen (siehe nachfolgende Tabelle) an den Mikrocontroller geschickt werden. Dann werden unterschiedliche Spannungen eingestellt und die Ausgangssignale mit dem Oszilloskop beobachtet. Das Bitmuster wird jeweils abgelesen und notiert. Der Vorgang wird für das Zählverfahren und das Approximationsverfahren durchgeführt. Im nachfolgenden ist die Tabelle mit den Befehlen zu sehen.

- ?: Mikrocontroller meldet E-Prak Bergische Universität Wuppertal 2011“
- v: Mikrocontroller meldet Versionsnummer des Programms (V. PIC-Eval-Board for EP 1.2011)
- t: Mikrocontroller meldet OK“(Test der Verbindung)
- i: Mikrocontroller führt eine Messung nach dem Zählverfahren aus (iterativ, 10 ms Verzögerung)
- s: Mikrocontroller führt eine Messung nach dem Approximationsverfahren aus (sukzessiv, 10 ms Verzögerung)
- a: Mikrocontroller führt eine Messung nach dem Approximationsverfahren aus (sukzessiv durch Tasterfunktion an Port A0 mit 300 ms Verzögerung zum Entprellen)

³Abbildung entnommen von http://www.atlas.uni-wuppertal.de/~kind/ep11_14.pdf am 18.01.2015

- bxx: Gibt das Binärmuster xx (xx= hexadezimale Zahl von 00 bis ff) am Port B aus. Zum Beispiel b00 liefert 00000000, b01 liefert 00000001, b0f liefert 00001111 und bff liefert 11111111

Messwerte

Messdaten für das Zählverfahren.

| Spannung/V | Hex | Decimal | Erwartet Binärwerte | LEDs |
|------------|-----|---------|---------------------|------------|
| 0,5 | 1E | 30 | 0b00011110 | 0b00011110 |
| 1 | 39 | 57 | 0b00111001 | 0b00111001 |
| 1,5 | 55 | 85 | 0b01010101 | 0b01010101 |
| 2 | 6F | 111 | 0b01101111 | 0b01101111 |
| 2,5 | 89 | 137 | 0b10001001 | 0b10001001 |
| 3 | A3 | 163 | 0b10100011 | 0b10100011 |
| 3,5 | BD | 189 | 0b10111101 | 0b10111101 |
| 4 | D5 | 213 | 0b11010101 | 0b11010101 |
| 4,5 | EF | 239 | 0b11101111 | 0b11101111 |
| 5 | FF | 255 | 0b11111111 | 0b11111111 |

Tabelle 1: Messung zum Zählverfahren

Messdaten für das Approximationsverfahren.

| Spannung/V | Hex | Decimal | Erwartet Binärwerte | LEDs |
|------------|-----|---------|---------------------|------------|
| 0,5 | 1F | 31 | 0b00011111 | 0b00011111 |
| 1 | 38 | 56 | 0b00111000 | 0b00111000 |
| 1,5 | 4F | 79 | 0b01001111 | 0b01001111 |
| 2 | 6F | 111 | 0b01101111 | 0b01101111 |
| 2,5 | 87 | 135 | 0b10000111 | 0b10000111 |
| 3 | A0 | 160 | 0b10100000 | 0b10100000 |
| 3,5 | BE | 190 | 0b10111110 | 0b10111110 |
| 4 | D8 | 216 | 0b11011000 | 0b11011000 |
| 4,5 | EF | 239 | 0b11101111 | 0b11101111 |
| 5 | FF | 255 | 0b11111111 | 0b11111111 |

Tabelle 2: Messung zum Approximationsverfahren

Auswertung

Erwartet wird ein treppen-artiger Verlauf, welcher aufgrund der hohen Auflösung nicht zu erkennen war.

Bei dem Aufbau mit dem Zählverfahren, war das Hochzählen der LEDs, bis zu einer Spannung von 2 Volt zu beobachten. Der Verlauf auf dem Oszilloskop ist in Abbildung 7 zu sehen. Die untere Kurve ist das Signal des Komparators und die obere Kurve das Signal der Vergleichsspannung.

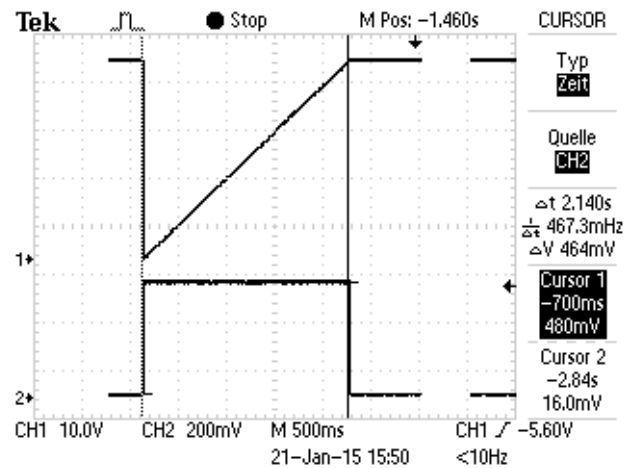


Abbildung 7: Aufnahme der Ausgangs- und Komparatorspannung für eine Eingangssignal von 2V

In Abbildung 8 ist der Verlauf der Referenzspannung und der Komparatorspannung für die Umwandlung eines 4V Signals in ein digitales Signal dargestellt. An der Zeitauflösung ist zu sehen, dass das Umwandeln kürzer dauert als das Umwandeln des 2V Signals.

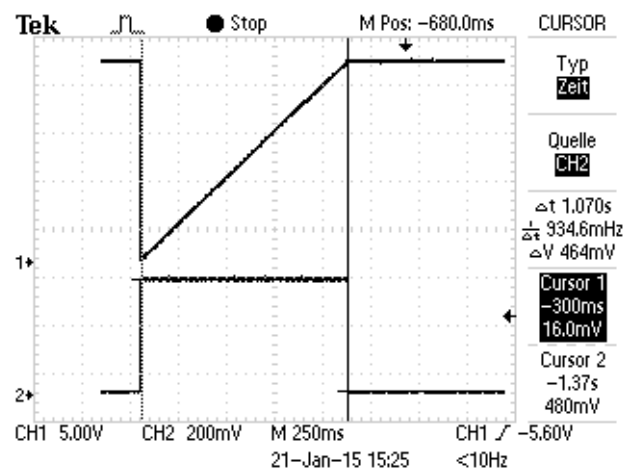


Abbildung 8: Aufnahme der Ausgangs- und Komparatorspannung für ein Eingangssignal von 4V

Bei der Umwandlung eines 2V Signals mit dem Approximationsverfahren ergab sich der Verlauf in Abbildung 9. Die untere Kurve ist das Signal des Komparators und die obere Kurve ist das Signal der Steuereinheit.

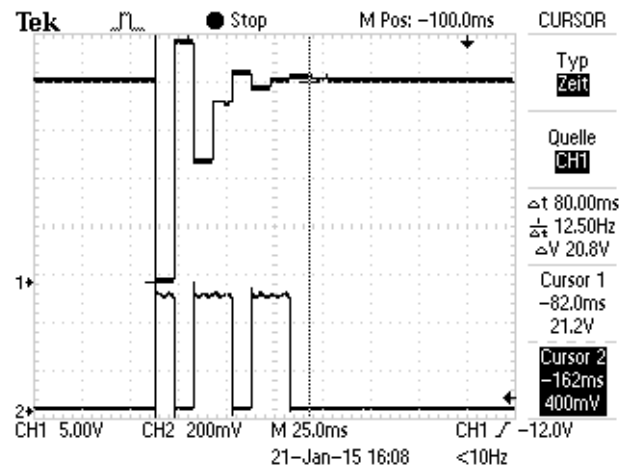


Abbildung 9: Aufnahme der Ausgangs- und Komparatorspannung für ein Eingangssignal von 2V

Die Umwandlung eines 4V Signals ist in Abbildung 10 zu sehen. Die benötigte Zeit dafür ist etwas länger, als beim Umwandeln des 2V Signals. Die Zeitdifferenz lässt sich mit leider nicht erklären, da nicht bekannt ist, wie intern die Routine der Steuereinheit geschrieben ist.

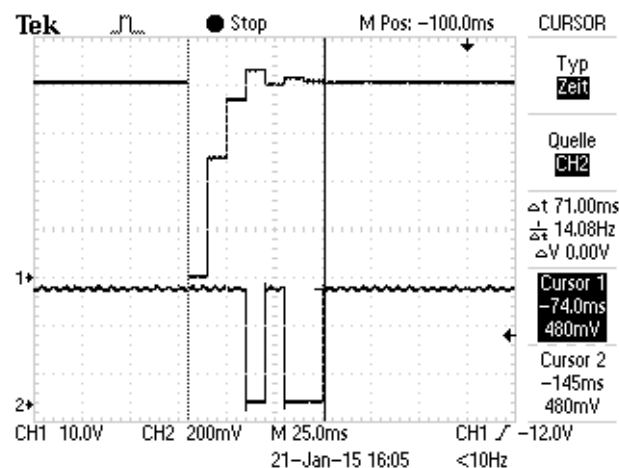


Abbildung 10: Aufnahme der Ausgangs- und Komparatorspannung für ein Eingangssignal von 4V

Aus den Abbildung 7 bis 10 kann die jeweils benötigte Zeit abgelesen werden. Daraus lassen sich die Unterschiede in der Dauer der Umwandlung berechnen. Für das Umwandeln des 2V Signals ergibt sich eine Zeitdifferenz von 2,069s und für das Umwandeln des 4V Signals eine Differenz von 1s.

Die Hexadezimal und Dezimalzahlen so wie die daraus bestimmten Bitmuster und die abgelesenen Bitmuster sind in Tabelle 1 für das Zählverfahren und in Tabelle 2 für das Approximationsverfahren dargestellt. Die aus den Hexadezimalwerten bestimmten Bitmuster stimmen mit den abgelesenen Bitmustern überein.

Die maximal messbare Spannung liegt bei 5V, da die maximale Ausgangsspannung des DACs 5V beträgt.

Beim Steuern des Approximationsverfahren mit einem Taster war zu erkennen, dass nach jedem Drücken des Tasters die Änderung der Referenzspannung kleiner wurde.

Diskussion

In diesem Versuchabschnitt wurden zwei Typen von ADCs untersucht, einer mit Zählverfahren und einer mit Approximationsverfahren. Dabei wurden insbesondere die Dauer der Umwandlung des Signals untersucht. Der ADC mit Approximationsverfahren ist dabei wesentlich schneller, als der ADC mit Zählverfahren. Für die Umwandlung eines 2V Signals benötigt der ADC mit Zählverfahren 2,069s länger als der ADC mit Approximationsverfahren. Beim Umwandeln eines 4V Signals betrug die Zeitdifferenz zwischen Zähl- und Approximationsverfahren 1 s.

4 Zeit- und Frequenzmessung

In diesem Versuchsabschnitt werden eine Stoppuhr und ein Frequenzzähler gebaut.

4.1 Bau einer Stoppuhr

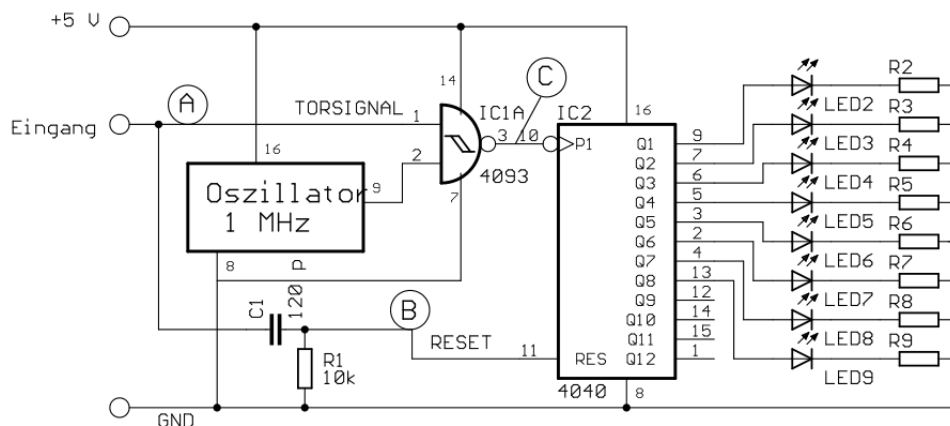
In diesem Versuchsteil wird eine Stoppuhr gebaut, welche mit 1 MHz getaktet ist.

Verwendete Geräte

Es werden ein Taktzähler Typ 4040, ein Kondensator, Widerstände, ein NAND-Gatter, LEDs, eine Spannungsquelle und das Breadboard verwendet.

Versuchsaufbau

Schaltplan zum Aufbau der Stoppuhr.

Abbildung 11: Schaltplan der Stoppuhr⁴

Versuchsdurchführung

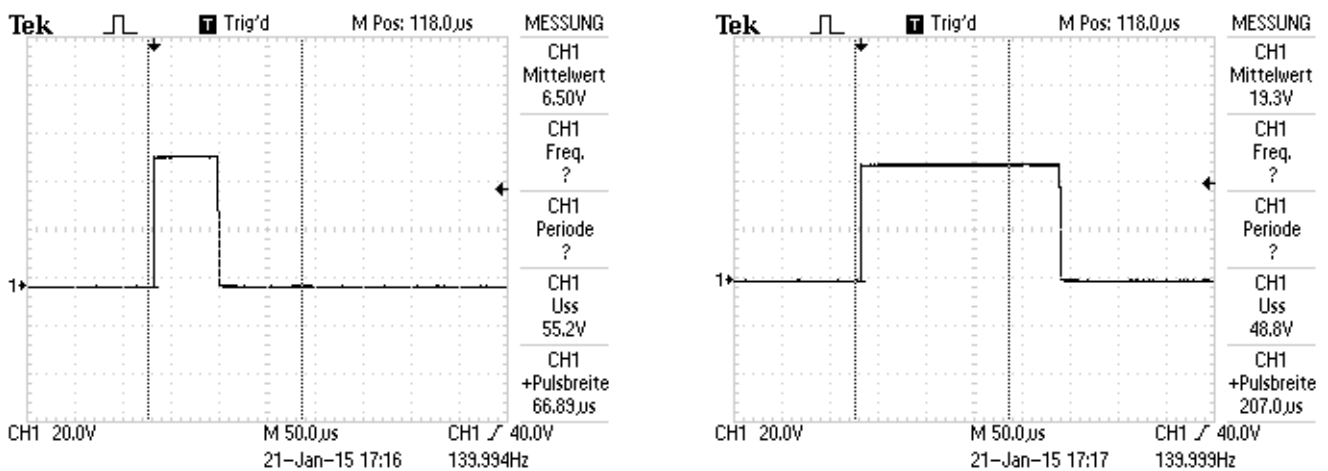
Nachdem die Schaltung in Abb. 11 am Breadboard aufgebaut wurde, wird ein Eingangssignal mit einer Amplitude von 5V (Rechteckpulse mit kurzer Signalbreite und langen Pausen) eingestellt. Die Frequenz des Funktionsgenerators wird so gewählt, das die Maximalzeit, welche mit der Stoppuhr gemessen werden kann, nicht überstiegen wird (8 LEDs und 1 MHz Oszillator $\Rightarrow f \geq 4 \text{ kHz}$ bzw. $T \leq 0,25 \text{ ms}$). Danach wird das Bitmuster der LEDs gelesen und umgerechnet.

⁴Abbildung entnommen von http://www.atlas.uni-wuppertal.de/~kind/ep11_14.pdf am 18.01.2015

Die Impulse des Funktionsgenerators werden dann mit dem Oszilloskop untersucht um nochmal die Pulsdauer zu bestimmen, welche mit den gemessenen Werten verglichen werden soll. Für das Durchlaufen der zwölf Bits (8 LEDs) werden 4 Millisekunden benötigt.

Auswertung

In Abbildung 12 sind die Aufnahmen der Impulse des Funktionsgenerators mit dem Oszilloskop dargestellt.



(a) Aufnahme des zweiten Impulses mit dem Oszilloskop

(b) Aufnahme des dritten Impulses mit dem Oszilloskop

Abbildung 12: Aufnahme der Impulse

In Tabelle 3 sind die eingestellten Pulsbreiten und die dazu an den LEDs abgelesenen Binärmuster dargestellt. Der Impuls für das erste Signal wurde ebenso mit dem Oszilloskop gemessen, aber nicht abgespeichert. Deshalb sind in Abb. 12 die Impulse für die zweite und dritte Messung zu sehen.

| Pulsbreite/ μ s | Binärmuster | Binär \rightarrow Dezimal |
|---------------------|-------------|-----------------------------|
| 19,05 | 0b00010011 | 19 |
| 66,89 | 0b01000011 | 67 |
| 207,1 | 0b11001111 | 207 |

Tabelle 3: Bitmuster in Abhängigkeit der Frequenz

Um die Impulsdauern mit dem Oszilloskop zu messen, wurde die Funktion „measure“ verwendet. Sobald die Impulsdauer größer ist als die Maximalzeit der Stoppuhr, zählt diese wieder binär von 0 hoch, sodass z.B. anstatt einer 260 bei 260 μs Impulsdauer und 8 LEDs eine binäre 4 angezeigt wird. Durch das binäre Hochzählen bis 260 entsteht dabei ein Hintergrundflackern

4.2 Bau eines Frequenzzählers

Verwendete Geräte

Versuchsaufbau

Versuchsdurchführung

⁵Abbildung entnommen von http://www.atlas.uni-wuppertal.de/~kind/ep11_14.pdf am 18.01.2015

Auswertung

In Tabelle 4 werden die am Oszilloskop abgelesenen Frequenzen des Funktionsgenerators und die an den LEDs angezeigten Frequenzen in Binärcode sowie im Dezimalsystem dargestellt.

| Frequenz/Hz | Binärmuster | Binär → Dezimal |
|-------------|-------------|-----------------|
| 140 | 0b10001100 | 140 |
| 86 | 0b01010110 | 86 |
| 32 | 0b00100000 | 32 |
| 8 | 0b00001000 | 8 |

Tabelle 4: Bitmuster in Abhängigkeit der Frequenz

Für den Frequenzzähler wurden keine zusätzlichen Aufnahmen der Impulse getätigt, denn man kann die Übereinstimmung der eingestellten Frequenzen mit den an den LEDs angezeigten Frequenzen klar erkennen. Es wurden 8 LEDs verwendet.

Diskussion

Die in diesem Versuchsabschnitt untersuchten Schaltungen zeigten das erwartete Verhalten. Der Frequenzzähler sowie die Stoppuhr konnte die verwendeten Impulsfrequenzen/dauern mit den LEDs gut wiedergeben, da alle Frequenzen/Impulsdauern im Bereich der Genauigkeit des Frequenzzählers/der Stoppuhr korrekt angezeigt wurden.

5 Fazit

In diesem Versuch wurde die Erfassung von Daten mit Computern/Mikrocontrollern untersucht. Dabei wurde das Umwandeln eines digitalen Signals in ein analoges und das Umwandeln eines analogen in ein digitales Signal untersucht. Bei allen durchgeführten Versuchen in diesen Abschnitten wurden die erwarteten Ergebnisse erzielt. Dabei zeigte sich, dass die Umwandlung eines analogen Signals in ein digitales mit dem Approximationsverfahren deutlich schneller geht als mit dem Zählverfahren. Im letzten Versuchsabschnitt sollten eine Stoppuhr und ein Frequenzzähler gebaut werden. Diese funktionierten wie erwartet und die Theorie konnte bestätigt werden.