


Protokoll

1. Messprojekt

„Blackbox & Digitalboard“

| | |
|-------------------------|--|
| Institution: | Fachhochschule Vorarlberg |
| Studiengang: | Elektrotechnik Dual – WS 2020/21 |
| Lehrveranstaltung | Labor Elektrotechnik |
| Betreuer: | Dipl.-Ing. Christian Anselmi |
| Raum/Arbeitsplatz: | U130/PC05 |
| Verfasser: | Lucas Huber – U:  |
| Ausgeführt im Labor am: | 23.12.20, 27.12.20 u. 16.01.21 |

Version/Datum:

V1.1 vom 14.02.2021

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|----------|
| 1 | Messübung Blackbox..... | 1 |
| 1.1 | Aufgabenstellung..... | 1 |
| 1.2 | Widerstandsmessung | 2 |
| 1.2.1 | Messergebnisse | 3 |
| 1.2.2 | Interpretation Messergebnisse..... | 3 |
| 1.2.3 | Provisorisches Schaltbild nach der Widerstandsmessung | 4 |
| 1.3 | Kapazitätsmessung | 5 |
| 1.3.1 | Messergebnisse | 6 |
| 1.3.2 | Interpretation Messergebnisse..... | 6 |
| 1.3.3 | Provisorisches Schaltbild nach der Kapazitätsmessung | 6 |
| 1.4 | Überprüfen auf Induktivität..... | 7 |
| 1.4.1 | Messergebnisse | 7 |
| 1.4.2 | Interpretation Messergebnisse..... | 8 |
| 1.5 | Ergebnis aus den Messungen | 9 |
| 1.5.1 | Weitere Schaltbilddarstellung | 9 |
| 1.6 | Frequenzanalyse - Oszilloskop..... | 10 |
| 1.6.1 | Messaufbau..... | 11 |
| 1.6.2 | Frequenz – 1kHz..... | 11 |
| 1.6.3 | Frequenz – 25kHz | 12 |
| 1.6.4 | Frequenz – 100kHz | 13 |
| 1.6.5 | Zusammenfassung Oszilloskop | 13 |
| 1.7 | Frequenzanalyse – Bode 100..... | 14 |
| 1.7.1 | Kalibrierung | 14 |
| 1.7.2 | Messaufbau..... | 14 |
| 1.7.3 | Messeinstellungen..... | 15 |
| 1.7.4 | Ergebnisse | 16 |
| 1.7.5 | Zusammenfassung Bode 100..... | 18 |
| 1.8 | Zusammenfassung – Blackbox | 18 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 2 | Messübung Digitalboard..... | 19 |
| 2.1 | Aufgabenstellung..... | 19 |
| 2.2 | Aufbau des Boards..... | 19 |
| 2.3 | Bestimmung der Ausgangspins..... | 20 |
| 2.4 | Analyse der I2C-Schnittstelle | 21 |
| 2.4.1 | Informationen zum I2C-Protokoll | 21 |
| 2.4.2 | Definition der Pins..... | 21 |
| 2.4.3 | Messaufbau | 22 |
| 2.4.4 | Dekodierung der Messung | 23 |
| 2.4.5 | Berechnung der Busgeschwindigkeit..... | 24 |
| 2.5 | Analyse der SPI-Schnittstelle | 25 |
| 2.5.1 | Informationen zum SPI-Protokoll | 25 |
| 2.5.2 | Definition der Pins..... | 26 |
| 2.5.3 | Messaufbau | 26 |
| 2.5.4 | Dekodierung der Messung | 27 |
| 2.5.5 | Herauslesen der Busgeschwindigkeit | 28 |
| 2.6 | Analyse der UART-Schnittstelle..... | 29 |
| 2.6.1 | Informationen zum UART-Protokoll..... | 29 |
| 2.6.2 | Definition der Pins..... | 29 |
| 2.6.3 | Messaufbau | 30 |
| 2.6.4 | Bestimmen der Bitrate (Busgeschwindigkeit) | 30 |
| 2.6.5 | Dekodierung der Messung | 31 |
| 2.7 | Zusammenfassung - Digitalboard | 32 |
| 3 | Abschließender Kommentar | 33 |
| 4 | Verzeichnisse | 34 |
| 4.1 | Literaturverzeichnis | 34 |
| 4.2 | Tabellenverzeichnis..... | 34 |
| 4.3 | Abbildungsverzeichnis | 34 |

1 Messübung Blackbox

1.1 Aufgabenstellung

Ziel des Messprojektes ist es das bisher gelernte Wissen aus dem Labor einsetzen und auf neue Schaltungen anwenden zu können.

Genauer ist das Ziel des ersten Teils dieses Messprojektes eine „Blackbox“ zu analysieren und durch unterschiedliche Messtechniken herauszufinden, welche Bauteile auf der Leiterplatte verbaut sind und wie diese Bauteile und die I/O-Pins miteinander verbunden sind.

Zur Analyse der Blackbox werden unterschiedliche Messungen durchgeführt, um die Struktur auf der Platine zu definieren. Nachfolgend wird das Verhalten dieser gemessenen Bauteile aufgezeigt.

Folgend ist die zu analysierende Blackbox mit der gegebenen Pinbelegung zu sehen:

Pinbelegung Blackbox



Abb. 1: Pinbelegung Blackbox

1.2 Widerstandsmessung

Für die ersten Messungen wurde die Widerstandsmessung benutzt. Dazu wurde der Widerstand zwischen jedem Pin gemessen und notiert.

Die Messungen wurden mit dem *FLUKE 87 V Multimeter* durchgeführt, wie auch nachfolgend im einem Symbolbild beispielhaft zu sehen ist.

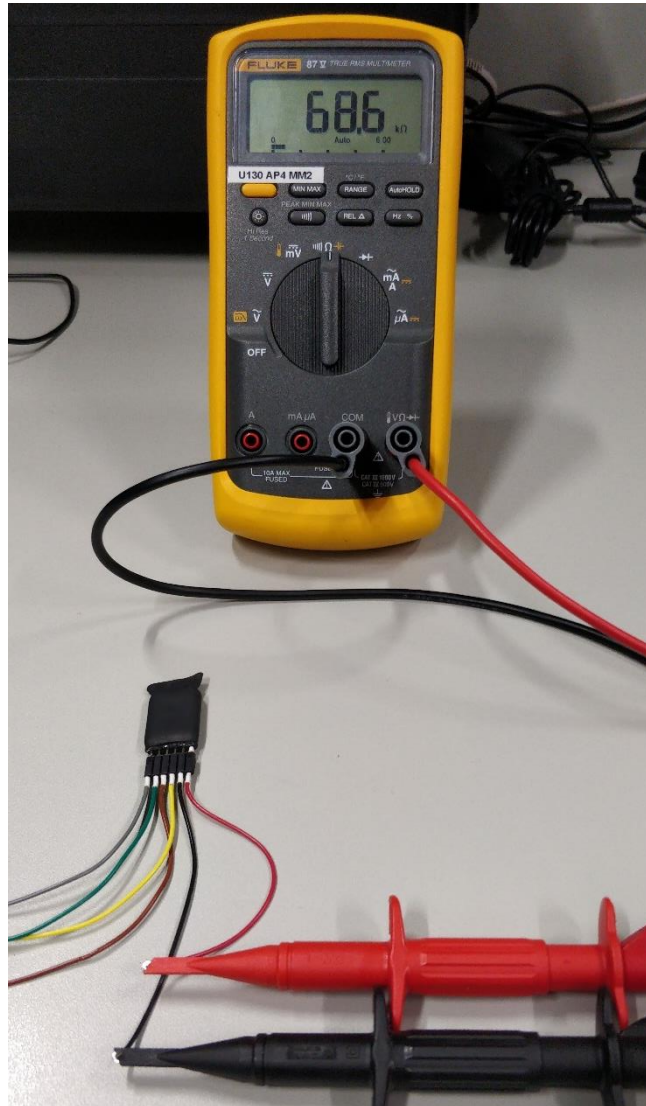


Abb. 2: Aufbau Widerstandsmessung - Beispiel

1.2.1 Messergebnisse

| Widerstandsmessung (alle Werte in Ω) | | | | | | |
|---|--------------------------|------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | U_{vers+} | GND | Sig.in+ | Sig.in- | Sig.out+ | Sig.out- |
| U_{vers+} | | 68k6 | OL | 68k6 | OL | 68k6 |
| GND | 68k6 | | OL | 0,3 | OL | 0,4 |
| Sig.in+ | OL | OL | | OL | 660 | OL |
| Sig.in- | 68k6 | 0,3 | OL | | OL | 0,3 |
| Sig.out+ | OL | OL | 660 | OL | | OL |
| Sig.out- | 68k6 | 0,4 | OL | 0,3 | OL | |

Tabelle 1: Widerstandsmessung

1.2.2 Interpretation Messergebnisse

Nach dieser Widerstandsmessung lässt sich nun ableiten, dass:

- GND, Sig.in- und Sig.out- miteinander verbunden sind und sich dadurch gegenseitig kurzschließen
 - Bei dem kleinen Widerstand von zirka $0,3\Omega$ der zwischen diesen Pins gemessen wird es sich um den Widerstand der Leitungen zwischen den Pins handeln.
- sich zwischen U_{vers+} und den miteinander verbundenen Pins GND, Sig.in- und Sig.out- ein Widerstand von $68,6k\Omega$ befindet
- sich zwischen Sig.in+ und Sig.out+ ein Widerstand von 660Ω befindet
- sicherlich keine Diode verbaut ist, da man immer die gleichen Ergebnisse in beide Richtungen bekommt
- es sich bei Messungen mit einem Overload (OL) entweder keine Verbindung vorhanden ist oder ein Kondensator dazwischen geschaltet ist.

1.2.3 Provisorisches Schaltbild nach der Widerstandsmessung

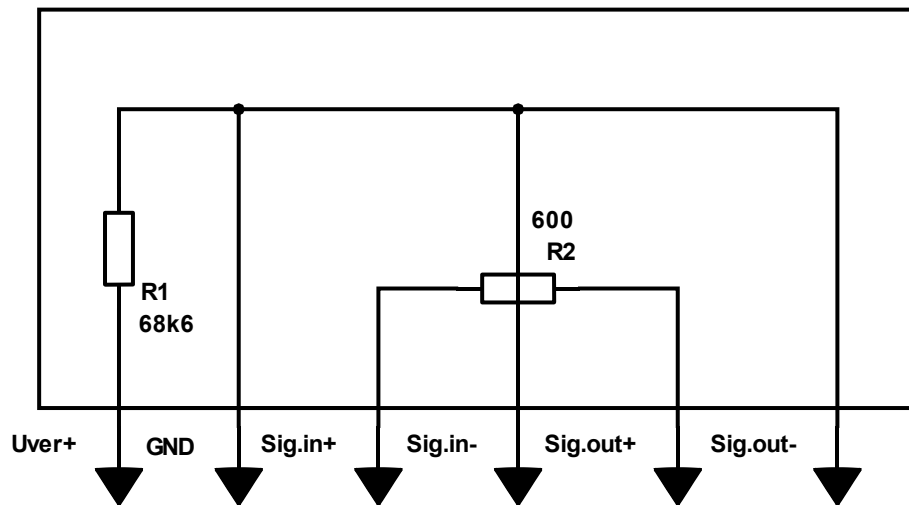


Abb. 3: Schaltplan nach der Widerstandsmessung

1.3 Kapazitätsmessung

Für die zweite Messung wird nun die Kapazität zwischen den einzelnen Pins gemessen, um festzustellen ob es sich bei den Overload-Werten der Widerstandsmessung um keine Verbindungen zwischen den Pins handelt oder doch Kondensatoren zwischengeschaltet sind.

Die Kapazitätsmessung wird ebenfalls durch das *FLUKE 87 V Multimeter* durchgeführt, was wieder beispielhaft nachfolgend zu sehen ist:

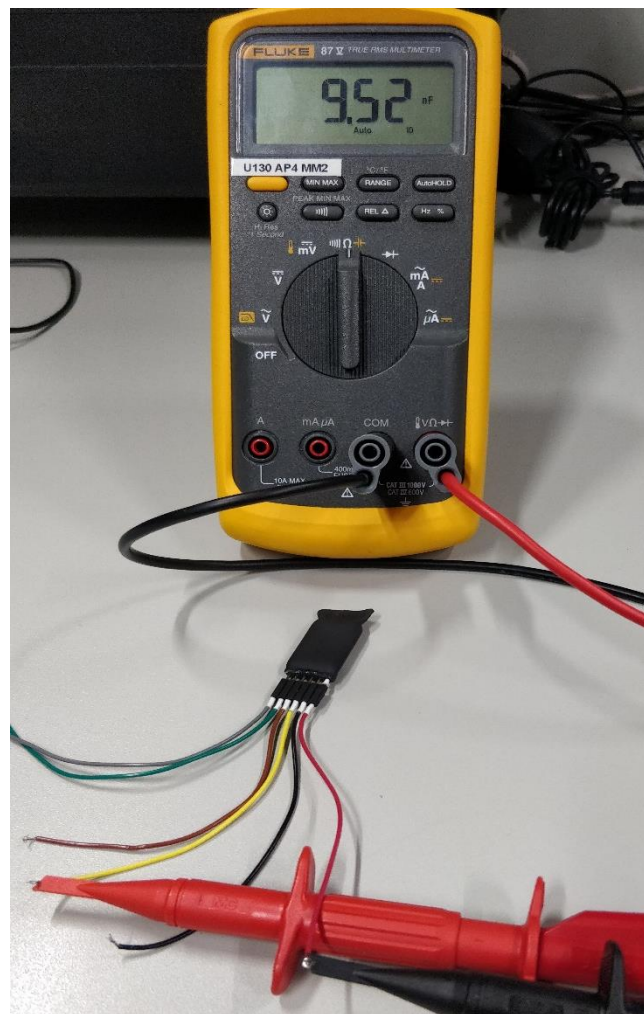


Abb. 4: Aufbau Kapazitätsmessung - Beispiel

1.3.1 Messergebnisse

| Kapazitätsmessung (alle Werte in nF) | | | | | | |
|---|--------------------------|------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | U_{vers+} | GND | Sig.in+ | Sig.in- | Sig.out+ | Sig.out- |
| U_{vers+} | | OL | 9,52 | OL | 9,51 | OL |
| GND | OL | | 9,48 | OL | 9,44 | OL |
| Sig.in+ | 9,50 | 9,49 | | 9,50 | OL | 9,45 |
| Sig.in- | OL | OL | 9,47 | | 9,46 | OL |
| Sig.out+ | 9,53 | 9,43 | OL | 9,49 | | 9,46 |
| Sig.out- | OL | OL | 9,42 | OL | 9,42 | |

Tabelle 2: Kapazitätsmessung

1.3.2 Interpretation Messergebnisse

Nach diesem Messergebnis muss es nun auch einen Kondensator geben, welcher für die Overload-Werte der Widerstandsmessung verantwortlich ist. Dieser Kondensator bildet eine Verbindung zwischen Sig.in+ bzw. Sig.out+ und den anderen vier Bauteilen.

1.3.3 Provisorisches Schaltbild nach der Kapazitätsmessung

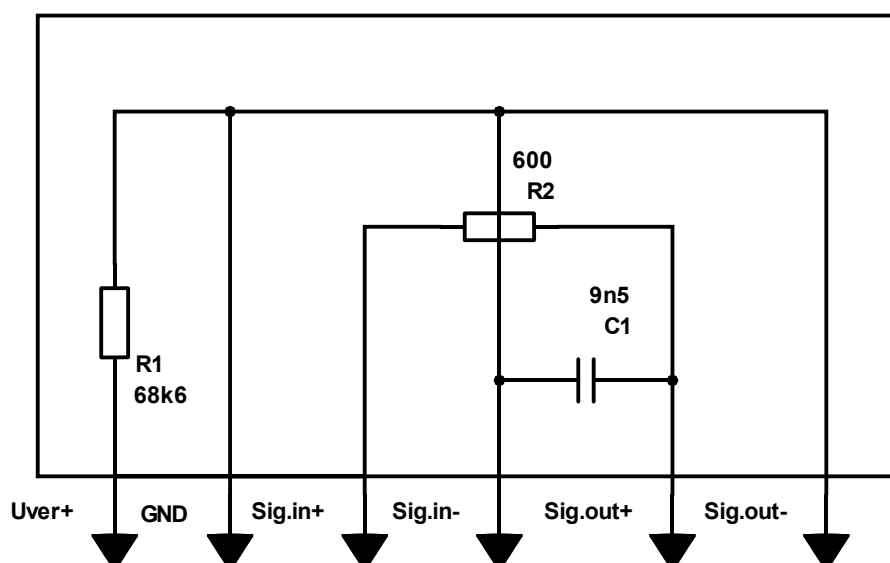


Abb. 5: Schaltbild nach der Kapazitätsmessung

1.4 Überprüfen auf Induktivität

Nun muss noch auf eine eingebaute Spule überprüft werden, da eine solche bei der Widerstandsmessung wie eine normale Leitung gewirkt hätte. Für die Induktivitätsmessung wurde das *Tenma 72-960 RLC-Meter* benutzt.

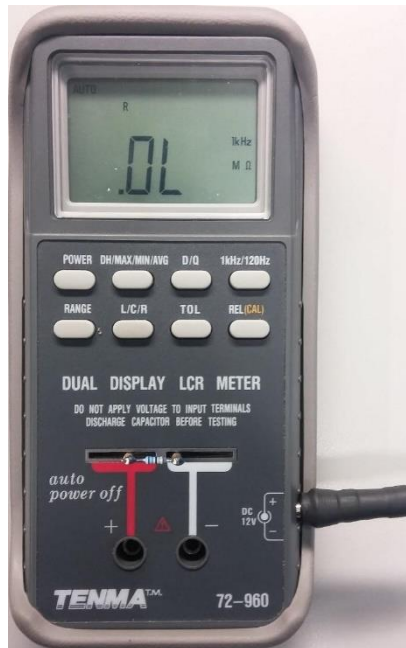


Abb. 6: Tenma 72-960 RLC-Meter

1.4.1 Messergebnisse

| Induktivitätsmessung (alle Werte in H bei 1kHz) | | | | | | |
|--|--------------------------|------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| | U_{vers+} | GND | Sig.in+ | Sig.in- | Sig.out+ | Sig.out- |
| U_{vers+} | | 0 | 2,92 | 0 | 2,94 | 0 |
| GND | 0 | | 2,81 | 0 | 2,81 | 0 |
| Sig.in+ | 2,92 | 2,81 | | 2,81 | 0 | 2,80 |
| Sig.in- | 0 | 0 | 2,81 | | 2,81 | 0 |
| Sig.out+ | 2,94 | 2,81 | 0 | 2,81 | | 2,82 |
| Sig.out- | 0 | 0 | 2,80 | 0 | 2,82 | |

Tabelle 3: Induktivitätsmessung

1.4.2 Interpretation Messergebnisse

Nach den Messergebnissen zufolge sollte nun eine Spule zwischen Sig.in+ bzw. Sig.out+ und den anderen vier Bauteilen vorhanden sein. Problem dabei ist, dass eine Spule mit einer Induktivität des gemessenen Wertes (um die 3H) nicht auf den Formfaktor unserer Blackbox passen würde.

Der hohe Induktivitätswert hängt höchstwahrscheinlich mit der Messmethode des Messgeräts zusammen, welches wahrscheinlich immer den Blindwiderstand der zu messenden Schaltung berechnet und deshalb für diese Frequenz von einer Induktivität ausgeht. Da nur ein Kondensator verbaut ist, wird die Induktivität mit dem Blindwiderstand des Kondensators berechnet.

Nachfolgend wird die Wahrheit dieser Aussage durch Berechnung bewiesen:

Für die Berechnung der Impedanz eines Kondensators wird $\underline{Z}_C = R + \frac{1}{j\omega C}$ verwendet, für Induktivitäten $\underline{Z}_L = R + j\omega L$. Somit berechnet sich der Betrag des Blindwiderstandes für Kapazität als $X_C = |\underline{Z}_C| = \frac{1}{\omega C}$ und für Induktivität als $X_L = |\underline{Z}_L| = \omega L$ da kein realer Widerstand vorhanden ist. Wird nun die Formel für den Betrag des Blindwiderstands der Induktivität auf die Induktivität umgestellt erhält man $L = \frac{X_L}{\omega}$. Nun kann für $X_L = X_C$, $C = 9nF$ und $\omega = 2 * \pi * 1000Hz$ eine Induktivität von $L = 2,81H$ herleiten.

Dieses Ergebnis hängt genau mit den Messungen zur Kapazität zusammen, woraus darauf geschlossen werden kann, dass keine Induktivität im Bauteil vorhanden ist.

1.5 Ergebnis aus den Messungen

Die Messungen haben also ergeben, dass sich zwei Widerstände und ein Kondensator in der Blackbox befinden müssen. Angeordnet sind diese bei genauerer Betrachtung wie ein Tiefpassfilter 1. Ordnung welcher mit den Sig.in- und Sig.out-Pins betrieben werden kann.

1.5.1 Weitere Schaltbilddarstellung

Nachfolgend ist noch ein weiter Schaltplan in der der Tiefpass besser betrachtet werden kann.

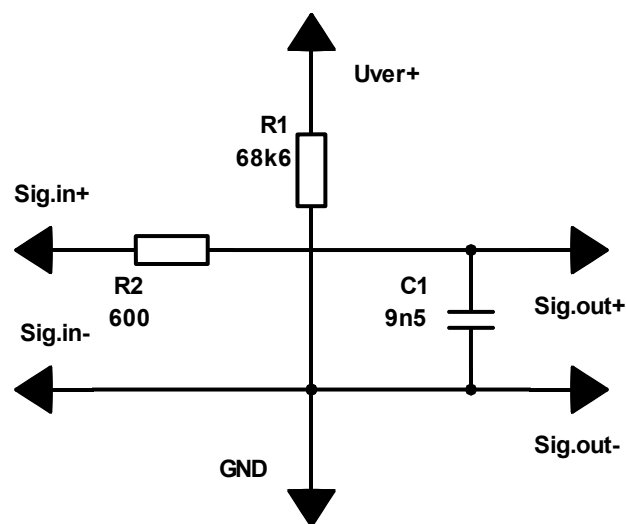


Abb. 7: Schaltbild Tiefpass

1.6 Frequenzanalyse - Oszilloskop

Zur weiteren Analyse der Blackbox wird nun noch das Verhalten der Charakteristik dieser Schaltung aufgezeigt, in diesem Fall eines Tiefpasses 1. Ordnung, um die berechneten Werte zu verifizieren.

Zur Analyse des Tiefpasses 1. Ordnung wurde eine Frequenzanalyse durchgeführt, bei welcher die Eingangs- und Ausgangsspannung bei unterschiedlichen Frequenzen gemessen wird.

Ein Tiefpass sollte die Charakteristik aufweisen, dass er bei kleinen Frequenzen keine Dämpfung vorzeigt, also die Ausgangsspannung gleich der Eingangsspannung sein sollte. Bei größeren Frequenzen sollte der Tiefpass die Ausgangsspannung dämpfen.

Zur Erstellung dieser Analyse wurde als Signalgenerator das *Keysight 33622A* und als Oszilloskop das *LeCroy HDO6104-MS* benutzt.



Abb. 8: LeCroy HDO5104-MS



Abb. 9: Keysight 33622A

1.6.1 Messaufbau

Folgend ist der Messaufbau für die Oszilloskop Messung dargestellt. Der Tiefpass wird hierzu über die Pins Sig.in+, Sig.out+ und GND betrieben.

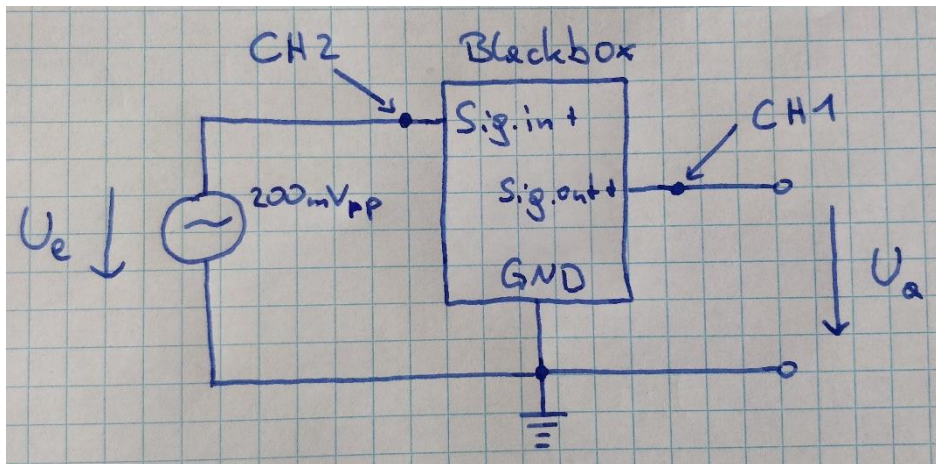


Abb. 10: Messaufbau Oszilloskop

1.6.2 Frequenz – 1kHz

Nachfolgend ist die Oszilloskop Darstellung für eine Frequenz von 1kHz zu sehen bei einer Peak-to-Peak-Spannung von 200mV. Es kann gut die Charakteristik des Tiefpasses ausgemacht werden, da bei dieser noch niedrigeren Frequenz keine Dämpfung der Ausgangsspannung zu sehen ist.

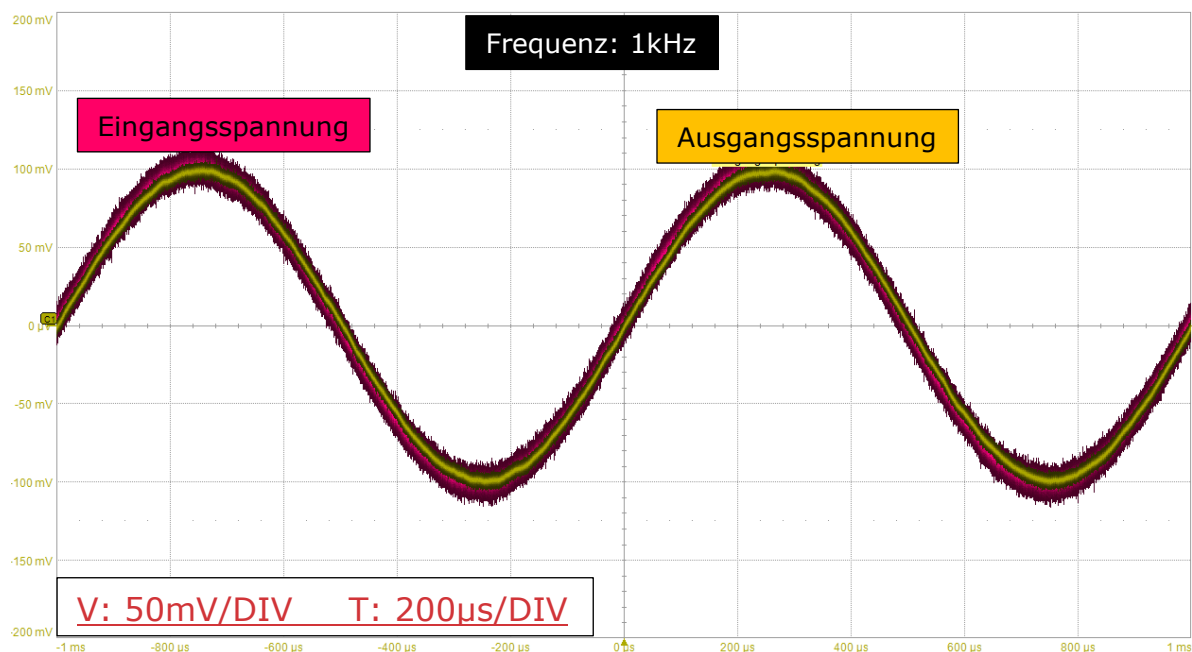


Abb. 11: Frequenzanalyse - 1kHz

1.6.3 Frequenz – 25kHz

Die Grenzfrequenz dieses Tiefpasses kann durch die Formel $f_g = \frac{1}{2\pi RC}$ berechnet werden, was eine Grenzfrequenz von zirka 25kHz ergibt. An der Grenzfrequenz ist eine Dämpfung von -3dB was in der nachfolgenden Oszilloskop Darstellung auch ersichtlich ist.

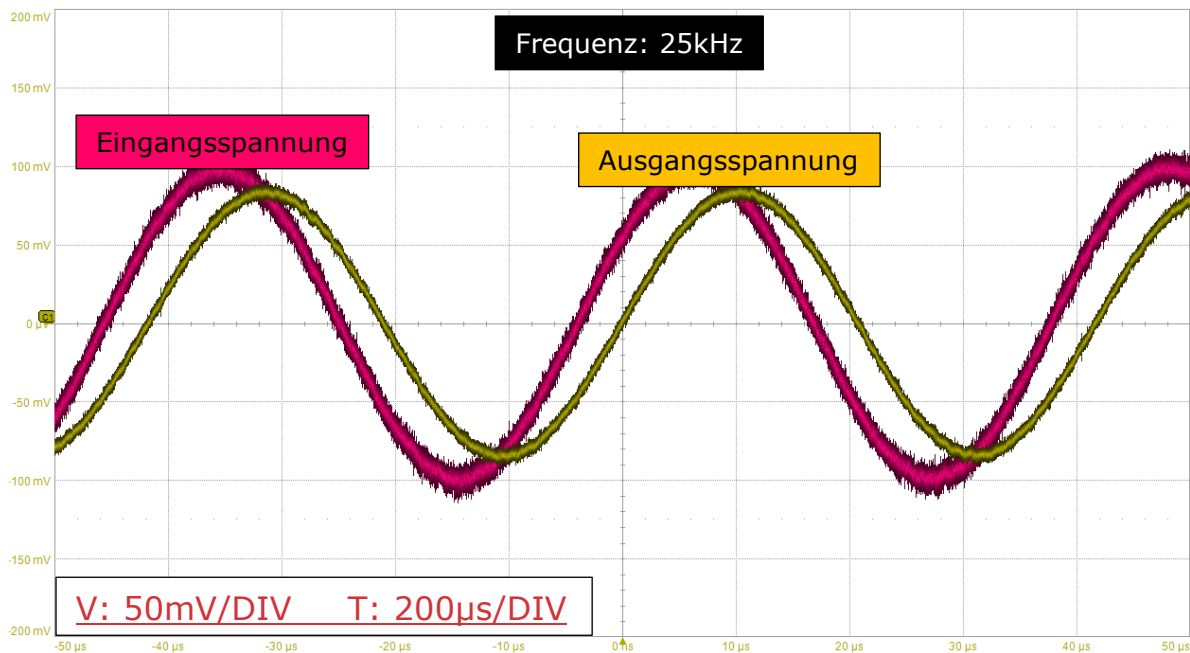


Abb. 12: Frequenzanalyse - 25kHz

1.6.4 Frequenz – 100kHz

Als letzte Analyse noch eine höhere Frequenz von 100kHz, um eine stärkere Dämpfung im Oszilloskop ersichtlich zu machen.

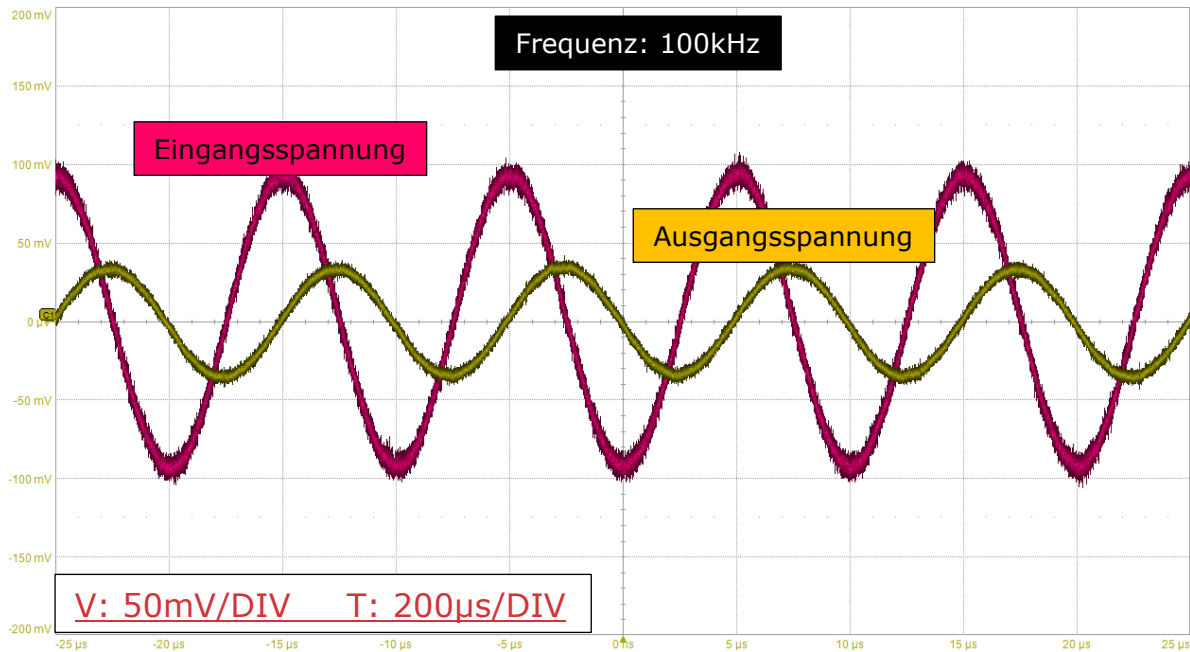


Abb. 13: Frequenzanalyse - 25kHz

1.6.5 Zusammenfassung Oszilloskop

In diesen Analysen konnte gut die Frequenzabhängigkeit der Blackbox bestätigt und vorgezeigt werden. Auch sehr gut zu sehen ist die durch den veränderten Blindwiderstand entstehende Phasenverschiebung der beiden Spannungen.

1.7 Frequenzanalyse – Bode 100

Weiterführend wird nun eine zweite Frequenzanalyse mit dem Bode 100 durchgeführt, um die bisherigen Analysen weiter zu bestätigen.

1.7.1 Kalibrierung

Um eine korrekte Messung mit dem Bode 100 durchführen zu können müssen zuerst Messungenauigkeiten aus den verwendeten Kabeln ausgeschlossen werden. Hierzu werden die beiden Eingänge des Geräts mit Frequenzgenerator des Geräts kurzgeschlossen. Für eine detaillierte Anleitung zur Kalibrierung kann auch die unten angeführte Bedienungsanleitung herangezogen werden. [1, S. 83–106]

1.7.2 Messaufbau

Für den Messaufbau wird einerseits das Signal des verbauten Funktionsgenerators mit CH1 verbunden, um einen Referenzwert zu haben. Weiters wird die Ausgangsspannung der Blackbox mit CH2 verbunden.

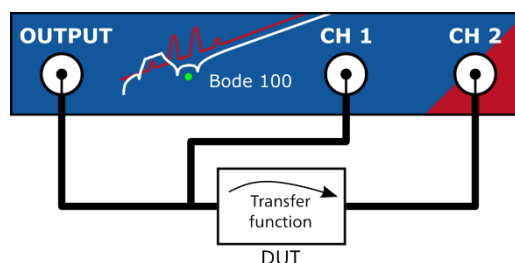


Abb. 14: Messaufbau Bode Allgemein

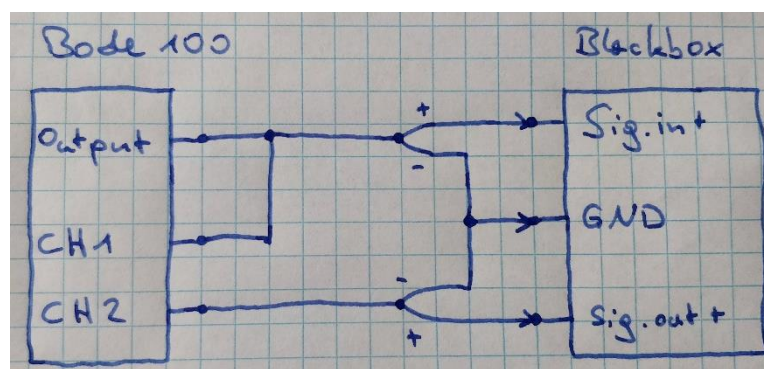
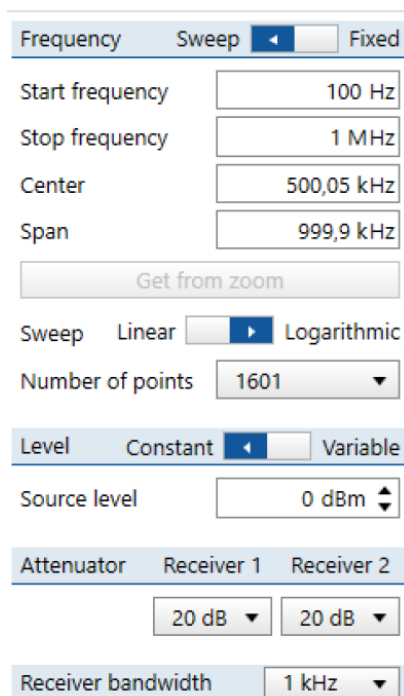


Abb. 15: Messaufbau Bode mit Blackbox

1.7.3 Messeinstellungen

Nun können noch die erforderlichen Einstellungen für die Messung getroffen werden, wie die Frequenzbreite oder auch die Anzahl an Messungen pro Dekade.

In diesem Fall wurde eine Messung von 100Hz bis 1MHz durchgeführt mit 1601 Messpunkten pro Dekade. Die Ergebnismessung wurde dann den interessanten Messbereich von zirka 1kHz bis 1MHz vergrößert, um eine bessere Darstellung zu gewährleisten.



The image shows a software interface for configuring Bode measurements. It includes several sections with tabs and input fields:

- Frequency** (selected tab):
 - Sweep**: ☒ Sweep, ☐ Fixed
 - Start frequency**: 100 Hz
 - Stop frequency**: 1 MHz
 - Center**: 500,05 kHz
 - Span**: 999,9 kHz
 - Get from zoom**: button
- Sweep**: ☐ Linear, ☒ Logarithmic
- Number of points**: 1601 (dropdown)
- Level** (selected tab):
 - Constant** (selected), **Variable**
 - Source level**: 0 dBm (spinner)
- Attenuator**:
 - Receiver 1**: 20 dB (dropdown)
 - Receiver 2**: 20 dB (dropdown)
- Receiver bandwidth**: 1 kHz (dropdown)

Abb. 16: Bode Messeinstellungen

1.7.4 Ergebnisse

Folgend ist das Bode-Diagramm des Bode 100 zu sehen. Durch die eingesetzten Cursors können die unterschiedlichen Eigenschaften des Bode-Diagramms aufgezeigt werden. In dieser ersten Messung wird die Änderung der Dämpfung pro Dekade aufgezeigt.

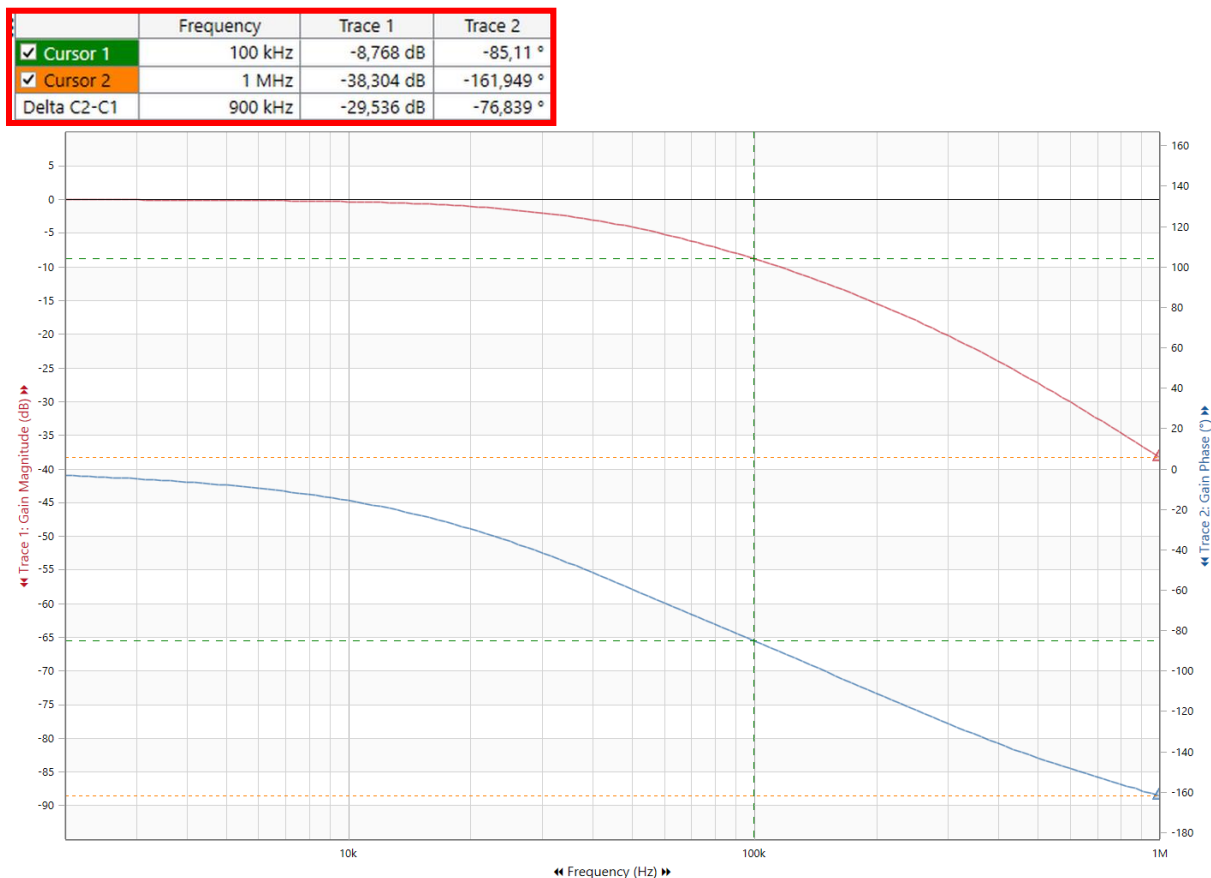


Abb. 17: Bode 100 Messung - Dekade

In dieser Messung sind nun Ergebnisse aufgetreten, welche nicht erwartet wurden. Es hat sich eine Dämpfung pro Dekade von -30dB eingestellt. In einer Tiefpass-Schaltung sollte sich die Änderung aber auf eine Dämpfung von -20dB/Dekade einstellen. Weitere Feststellungen dazu folgen in der Zusammenfassung zum Bode 100.

Bei dieser zweiten Cursor-Platzierung wird das Ergebnis der Grenzfrequenz probiert zu verifizieren.

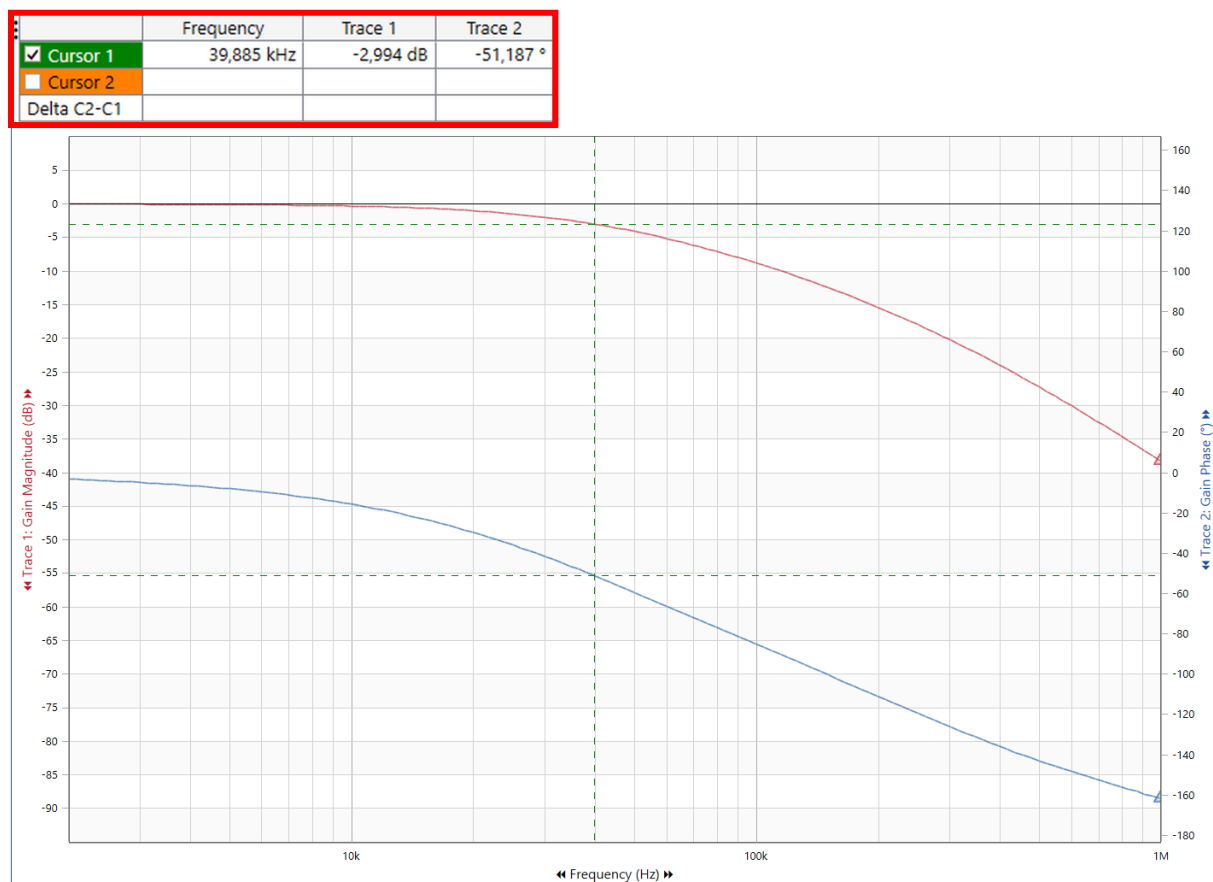


Abb. 18: Bode 100 Messung – Grenzfrequenz

Die Berechnung der Grenzfrequenz scheint annähernd zu stimmen. Das sich der Phasengang der Messung aber in einem Bereich von 0° bis -180° bewegt ist aber wiederum nicht erwartet worden. In einem normalen Tiefpass würde sich der Phasengang in einem Bereich von 0° bis -90° bewegen.

1.7.5 Zusammenfassung Bode 100

Die Messungen mit dem Bode 100 haben leider mehr Verwirrung in die Blackbox gebracht als Klarheit. Eine Möglichkeit ist, da bei der ersten Evaluation des Bauteils etwas vergessen wurde und dadurch die zum Beispiel in nicht bekanntes Bauteil den erwarteten Tiefpass verfälscht. Eine zweite Möglichkeit ist, da die Verwendung des Bode 100 sehr neu ist, dass vielleicht in der Verwendung oder in der Kalibrierung hier ein Fehler aufgetreten ist.

Nach nochmaliger Kontrolle ist kein Fehler in der Bauteil-Feststellung gefunden worden, was fast nur ein Fehler in der Benutzung des Messgerätes übriglässt.

Leider konnte in diesem Fall durch das Bode 100 keine weiteren Informationen über die Blackbox erworben werden.

1.8 Zusammenfassung – Blackbox

Man kann zu der Schlussfolgerung kommen, dass es sich bei der Blackbox um einen Tiefpass 1. Ordnung handelt welcher sich zwischen Sig.in+ und Sig.out- befindet.

Der hohe Widerstand zwischen $U_{\text{vers}+}$ und GND hat in dieser Konstellation nichts mit dem Tiefpass zu tun, könnte aber durch Verändern der Schaltung, außerhalb der Blackbox, noch zusätzlich in den Tiefpass zugeschalten werden. Dies würde aber die Grenzfrequenz auch zirka 240Hz herunterbringen.

2 Messübung Digitalboard

2.1 Aufgabenstellung

Im zweiten Teil des Messprojekts wird nun ein Digitalboard behandelt. Hier gilt wieder das gleiche Prinzip: Messungen am Messobjekt ausführen und auf dessen Funktion dadurch schließen.

Das Board weist drei Mal vier Pins als Ausgänge auf, was sehr wahrscheinlich darauf schließen lässt, dass hier die seriellen Protokolle dargestellt werden, welche in den Laborübungen behandelt wurden, nämlich UART, I2C und SPI.

2.2 Aufbau des Boards

Das gegebene Board besteht aus einer Stromversorgung, einem IC-Bau-stein, mehreren Widerständen und Kondensatoren und 3 Mal 4 Ausgangspins, welche für die serielle Kommunikation zuständig sind.

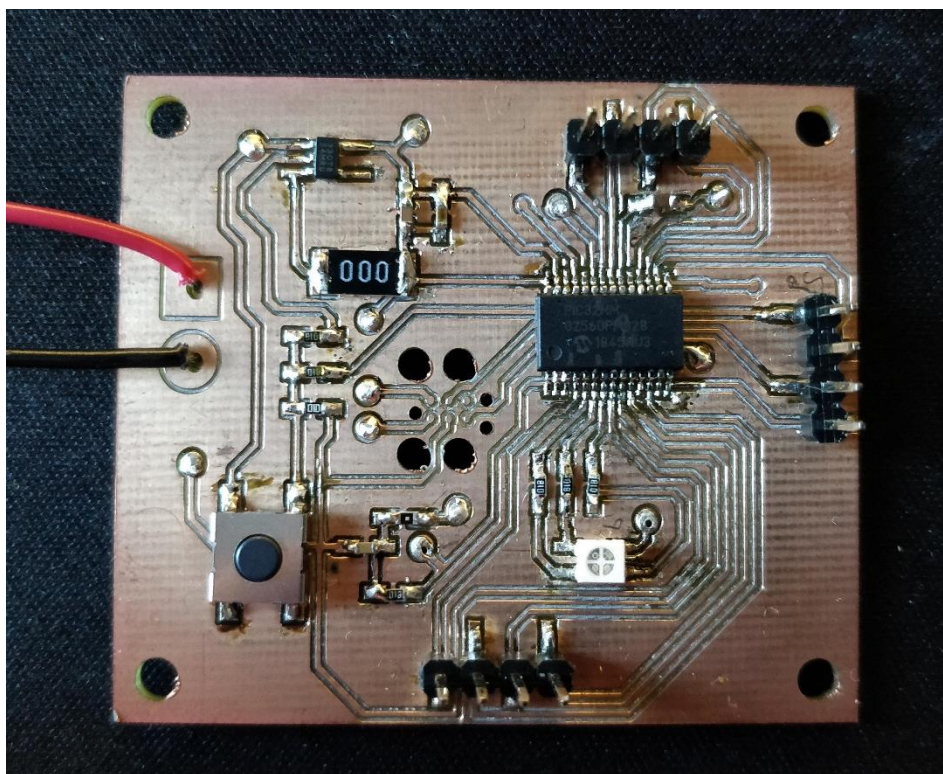


Abb. 19: Digitalboard

2.3 Bestimmung der Ausgangspins

Zur Bestimmung der seriellen Schnittstellen wurde vorerst die einzelnen Pin-Gruppen ausgemessen, um festzustellen auf welchen Pins relevante Daten fließen. Weiters wurden dann diese Signale am Oszilloskop analysiert, um festzustellen über welche Pin-Gruppen, welches serielle Protokoll betrieben wird.

Nachfolgen sind die Messergebnisse der Pins aufgezeigt, sowie die richtige Zuteilung der seriellen Protokolle, welche aus den späteren Analysen hervorgehen. Diese Erkenntnisse sind zur Vollständigkeit in Tabelle 4 angeführt, es wird aber erst später im Bericht genau erklärt wie auf diese geschlossen wurde. Genauere Informationen zu den Zuteilungen der jeweiligen Pins ist in der Analyse des jeweiligen Protokolls zu sehen.

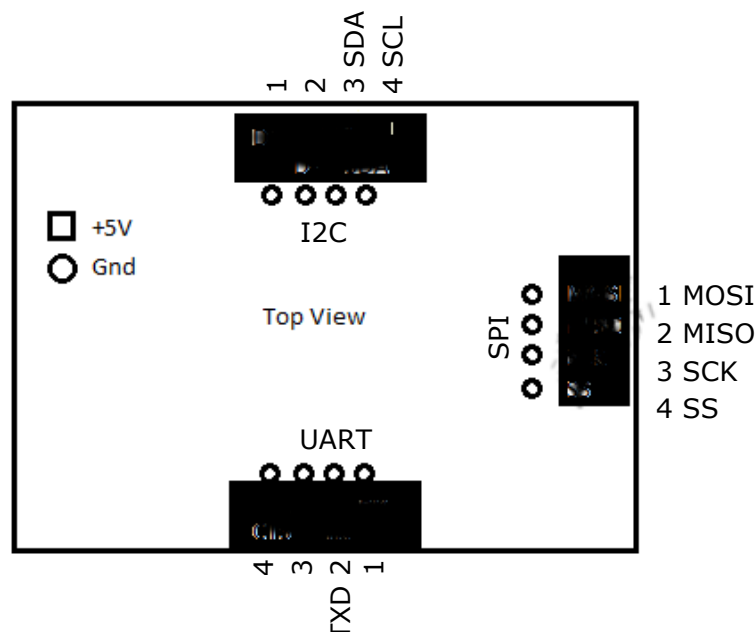


Abb. 20: Digitalboard Pin-Belegung

| I2C | | SPI | | UART | |
|-------|--------------|--------|--------------|-------|--------------|
| Pin | Spannung [V] | Pin | Spannung [V] | Pin | Spannung [V] |
| 1 | 0 | 1 MOSI | 3,82 | 1 | 0 |
| 2 | 0 | 2 MISO | 0 | 2 | 0 |
| 3 SDA | 3,81 | 3 SCK | 0 | 3 TXD | 3,82 |
| 4 SCL | 3,81 | 4 CS | 3,82 | 4 | 0 |

Tabelle 4: Spannungsmessung Pins Digitalboard

2.4 Analyse der I2C-Schnittstelle

2.4.1 Informationen zum I2C-Protokoll

I2C (auch I²C, Inter-Integrated Circuit) wird hauptsächlich als serielle Schnittstelle geräteintern zur Kommunikation benutzt und basiert auf einem Master-Slave-Bus-Konzept. Die Slaves bekommen eine Adresse und der Master kann über diese einen Datentransfer initiieren. Im Multimaster-Betrieb sind auch mehr als ein Master möglich, da hier Slaves auch als Master fungieren können. Die durchschnittliche Übertragungsrate beträgt 0,1 bis 5,0 Mbit/s. [2]

2.4.2 Definition der Pins

Durch Analysieren der Messwerte an allen vier Pins konnten Signale an Pins 3 und 4 ~~Durch das Analysieren der Signale an Pins 3 und 4 konnte~~ festgestellt werden. ~~„dass ü~~Über Pin 4 kann bei der Signalübertragung ein konstantes Taktsignal ~~„kommt~~ welches als *Active Low* definiert ist, also im *Low*-Zustand aktiv ist, gemessen werden. Zu diesem Taktsignal gibt der Pin 3 immer wieder die gleichen Signale ab. Daraus kann geschlossen werden, dass es sich beim Pin 3 um Pin zur Datenübertragung also SDA handeln muss. Beim Pin 4 muss es sich um den Pin handeln, welcher die Clock versendet, also SCL.

Eine reguläre I2C-Schnittstelle hätte nun noch die Pins VCC und GND, was wahrscheinlich durch die beiden Pins 1 und 2 geschehen würde. Für unseren Fall können diese beiden Pins aber vernachlässigt werden, da die serielle Kommunikation auch ohne diese funktioniert

2.4.3 Messaufbau

Für den Messaufbau werden zwei Tastköpfe des Oszilloskops benötigt. Mit ihnen werden die Ausgangssignale an den Pins 3 (SDA) und 4 (SCL) gemessen und können weiter analysiert werden.

Für Kommunikation wird das Board mit 5VDC versorgt. Dies geschieht über die Spannungsversorgung des *PL303QMD Quad-Mode Dual Power Supply*.

Channel-Zuweisung und Trigger:

- Pin 4 (SCL) wird an CH1 (Gelb) angeschlossen
- Pin 3 (SDA) wird an CH2 (Rot) angeschlossen
- Der Trigger wird auf 3V eingestellt und triggert auf die positive Flanke von CH1

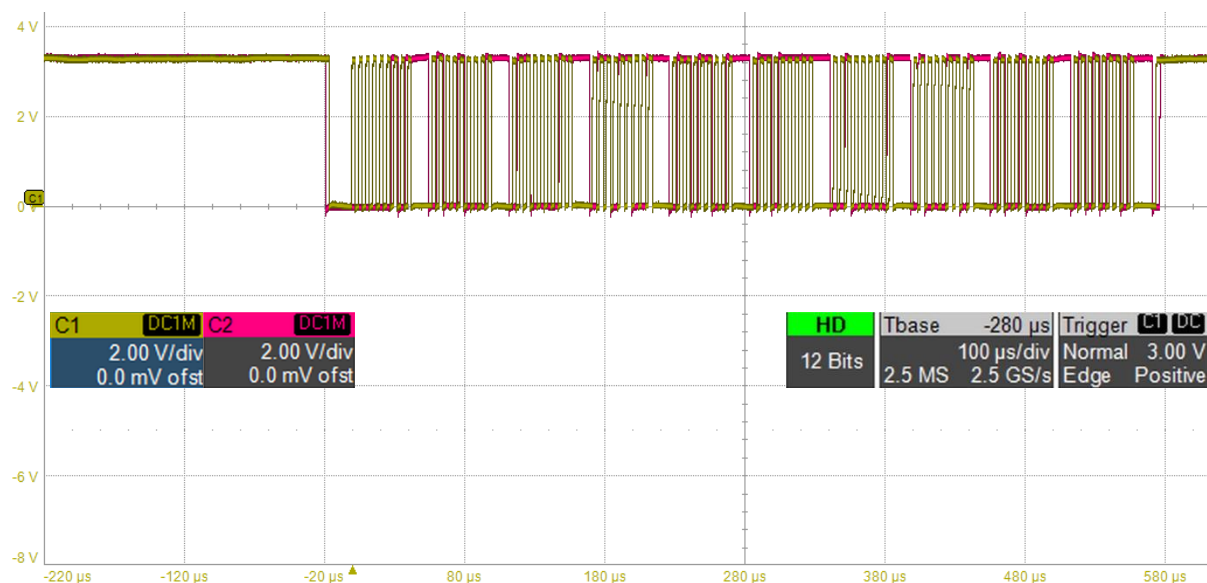


Abb. 21: Messung I2C

2.4.4 Dekodierung der Messung

Zur Dekodierung dieses Signals kann die *Decode*-Funktion des Oszilloskops verwendet werden. Diese kann entweder in den Channel-Optionen oder unter *Analysis – Vehicle/Serial Bus Analyzer* aktiviert werden.

Im *Decode Setup* müssen nun nur noch die richtigen Einstellungen getroffen werden. In diesem Fall also C2 als Data und C1 als CLK und das *Viewing* also die Ansichtsweise kann auf ASCII gestellt werden, um das Datenwort im Anschluss lesen zu können.

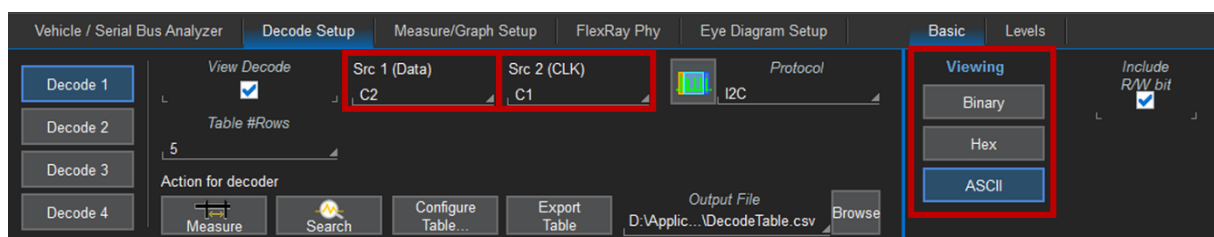


Abb. 22: I2C Dekodierung Einstellungen

Nun sollte das Messsignal in Echtzeit umgewandelt werden und das Datenwort erscheint. In diesem Fall ist das Datenwort „Hallo FHV“. In dieser Ansicht ist nun auch gut ersichtlich die am Anfang der Übertragung die Zieladresse das zu erreichenden Slaves mitgeschickt wird.

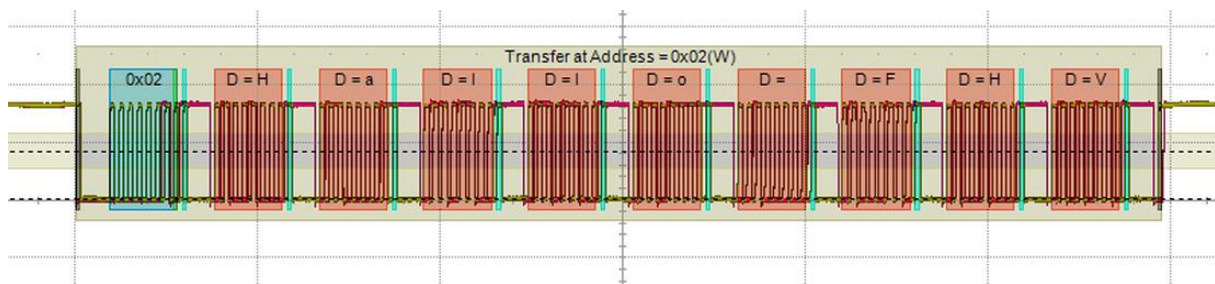


Abb. 23: I2C Dekodierung

2.4.5 Berechnung der Busgeschwindigkeit

Die Busgeschwindigkeit ist noch ein relevanter Kennwert, um im Nachhinein die drei Protokolle in ihrer Geschwindigkeit miteinander vergleichen zu können.

Zur Berechnung der Busgeschwindigkeit wird eine der *Measure*-Funktionen *MsgBtrate* des Oszilloskops verwendet. Es ergibt sich eine Busgeschwindigkeit von zirka 200 kBit/s.

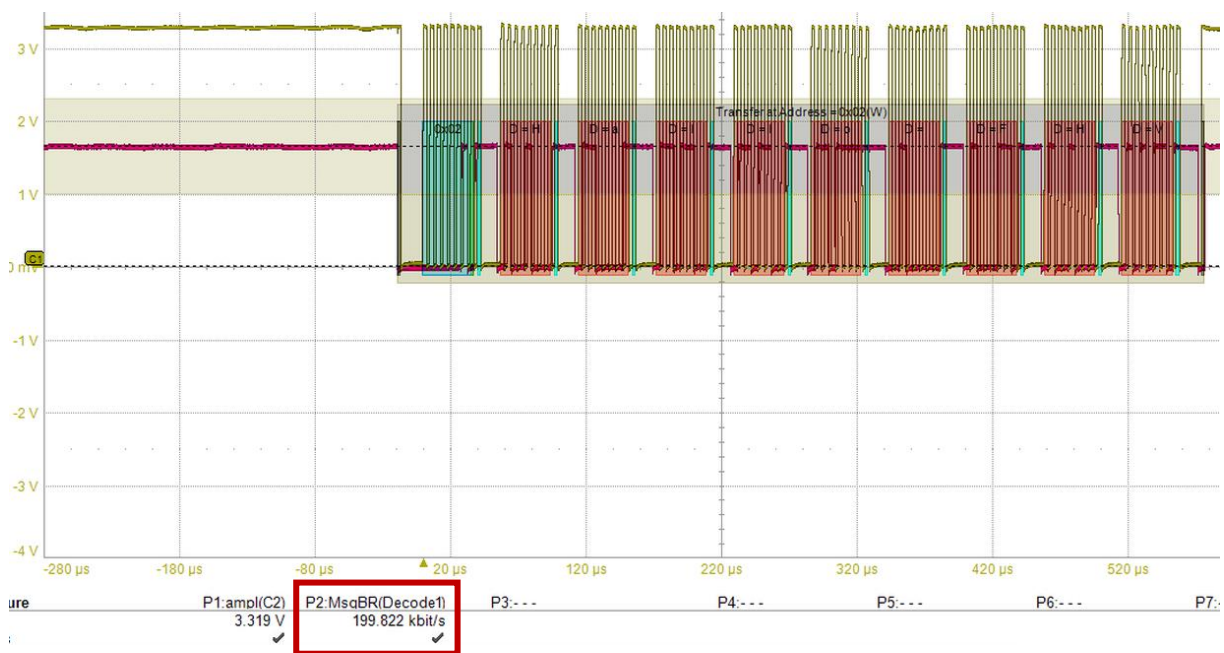


Abb. 24: I2C Busgeschwindigkeit

2.5 Analyse der SPI-Schnittstelle

2.5.1 Informationen zum SPI-Protokoll

SPI (Serial Peripheral Interface) soll einen „lockeren“ Standard für einen synchronen seriellen Datenbus darstellen, welcher unter dem Master-Slave-Prinzip funktioniert. Die drei Hauptleitungen für SPI sind:

- SCLK – Die Clock welche vom Master vorgegeben wird
- MOSI – *Master Output Slave Input*
- MISO – *Master Input Slave Output*

Bei mehreren Slaves gibt es noch eine weitere Leitung, *SS (Slave Select)*, über diese kann der Master definieren, welcher Slave senden soll.

Es gibt 4 *SPI Modes*, welche angeben, wie das Clock Signal definiert ist und zu welchem Zeitpunkt der Clock die Daten übertragen werden. *CPOL (Clock Polarity)* gibt an ob die Clock *Active High* oder *Active Low* definiert ist. *CPHA (Clock Phase)* gibt an auf die wievielte Flanke der Clock die Daten übertragen werden sollen, also je nach *Clock Polarity* auf die erste oder zweite Flanke des Signals. [3]

| Mode | CPOL | CPHA | Definition |
|------|------|------|------------------------|
| 0 | 0 | 0 | Active High, 1. Flanke |
| 1 | 0 | 1 | Active High, 2. Flanke |
| 2 | 1 | 0 | Active Low, 1. Flanke |
| 3 | 1 | 1 | Active Low, 2. Flanke |

Tabelle 5: SPI Modes

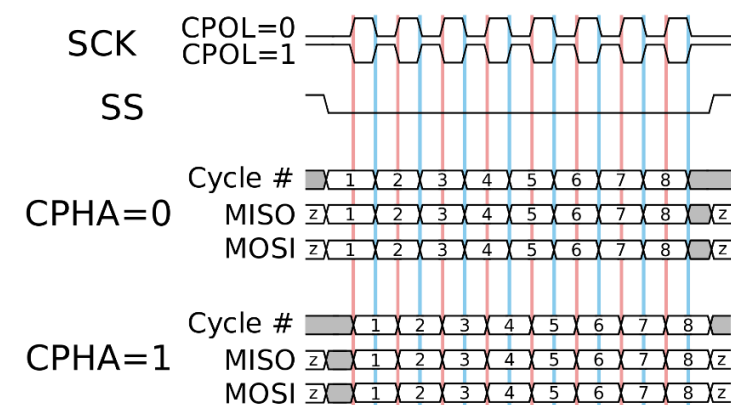


Abb. 25: SPI Modes Darstellung [3]

2.5.2 Definition der Pins

Durch die Analyse der Signale auf den einzelnen Pins kann festgestellt werden, dass es sich bei Pin 3 um die *Clock* der seriellen Schnittstelle handelt, welche als *Aktive High* definiert ist, weshalb bei der Spannungsmessung am Anfang hier keine Spannung aufgetreten ist. Bei Pin 1 wird es sich um den *MOSI*-Pin handeln, da hier im Takt der *Clock* die Daten übertragen werden. Bei Pin 3 muss es sich daher um den *Chip Select* handeln. Da Pin 2 als letzter übrig ist, muss es sich hier per Definition des Protokolls um den *MISO*-Pin handeln, welcher aber für unsere Messungen irrelevant ist.

2.5.3 Messaufbau

Für den Messaufbau werden hier nun 3 Tastköpfe des Oszilloskops benötigt, um die 3 Datenpins abzugreifen, für die Stromversorgung werden wieder 5VDC eingespeist.

Channel-Zuweisung und Trigger:

- Pin 1 (MISO) wird an CH1 (Gelb) angeschlossen
- Pin 3 (SCK) wird an CH2 (Rot) angeschlossen
- Pin 4 (CS) wird an CH3 (Blau) angeschlossen
- Der Trigger wird auf 2V eingestellt und triggert auf die positive Flanke von CH1

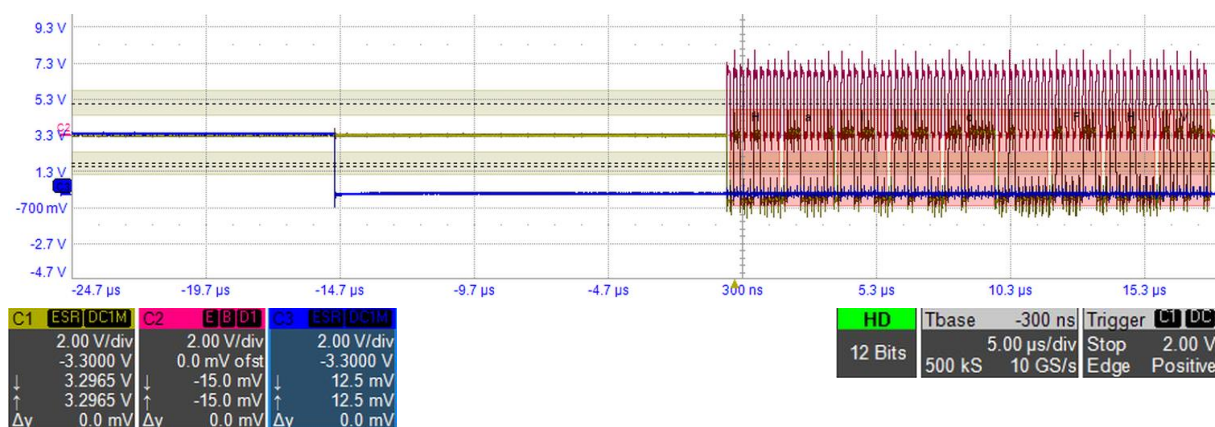


Abb. 26: Messung SPI

2.5.4 Dekodierung der Messung

Für die Dekodierung kann gleich vorgegangen werden, wie bei der Dekodierung des I2C-Signals. Der Unterschied ist, dass hier das Protokoll SPI ausgewählt werden muss und andere Einstellungen eingetragen werden müssen.

Wichtig ist die richtige Zuteilung der Channels, die Definition der Bitbreite pro Wort, ob *MSB* oder *LSB* zuerst gesendet wird und auch das Einstellen des richtigen Modes.

Der richtige Mode kann aus dem Signal herausgelesen werden. Somit ist die Clock als *Aktive High* definiert ($CPOL = 0$) und bei genauerer Betrachtung kann man sehen, dass das Signal auf die zweite Flanke der Clock gesendet wird ($CPHA = 1$). Daraus lässt sich der *Mode 1* für unseren SPI herleiten.

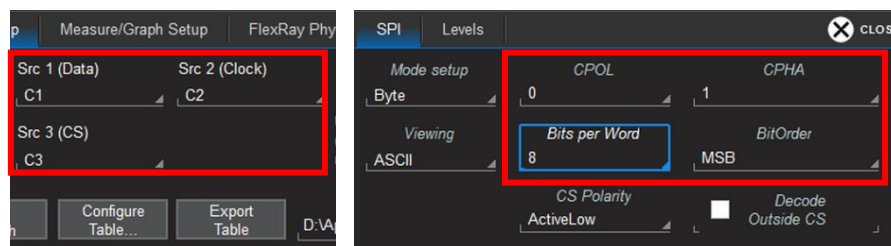


Abb. 27: SPI Dekodierung Einstellungen

Nun kann das umgewandelte Signal im Oszilloskop eingesehen werden. Es ergibt sich wieder das gleiche Datenwort „Hallo FHV“.

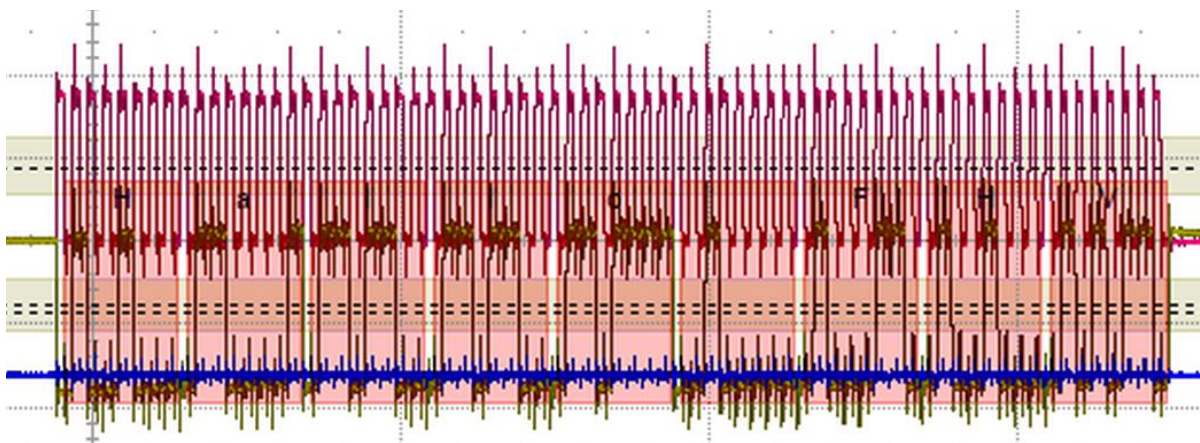


Abb. 28: SPI Dekodierung

2.5.5 Herauslesen der Busgeschwindigkeit

Das Festlegen der Busgeschwindigkeit ist in diesem Fall einfacher und kann aus der Umwandlung entnommen werden. In diesem Fall arbeiten wir mit einer Umwandlung von zirka 4Mbit/s.

| SPI | Time | Data | Bit Rate/Byte |
|-----|----------|------|----------------|
| 1 | -131 ns | 'H' | 3.99573 Mbit/s |
| 2 | 1.871 µs | 'a' | 3.99695 Mbit/s |
| 3 | 3.873 µs | 'l' | 3.99681 Mbit/s |
| 4 | 5.874 µs | 'l' | 3.99702 Mbit/s |
| 5 | 7.876 µs | 'o' | 3.99823 Mbit/s |

Abb. 29: SPI Busgeschwindigkeit

2.6 Analyse der UART-Schnittstelle

2.6.1 Informationen zum UART-Protokoll

UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter) wird benutzt, um digitale serielle Schnittstellen zu erstellen. Es handelt sich dabei entweder um einen eigenen UART-Baustein oder um einen Bestandteil eines größeren Bauteils (z.B. eines Mikrochips).

Die Schnittstellen funktionieren asynchron. Es gibt also eine Leitung zum Senden und eine Leitung zum Empfangen von Daten. Eine Clock wird nicht benötigt, es werden stattdessen Start- und Stoppbits zur Synchronisierung gesendet. [4]

2.6.2 Definition der Pins

Die zwei wichtigsten Pins für eine UART-Schnittstelle sind *RXD* (*Received Data*) und *TXD* (*Transmit Data*). Für unseren Anwendungsfall benötigen wir eigentlich nur den *TXD*-Pins, um die gesendeten Daten auslesen zu können. Dieser Pin wird höchstwahrscheinlich durch den Pin 2 dargestellt, da an diesem Pin ein Signal mit *Active High* übertragen wird.

2.6.3 Messaufbau

Durch die einfache Signalübertragung wird hier nun zur Analyse am Oszilloskop nur ein Tastkopf benötigt. Für die Stromversorgung werden wieder 5VDC verwendet.

Channel-Zuweisung und Trigger:

- Pin 2 (TXD) wird an CH1 (Gelb) angeschlossen
- Der Trigger wird auf 2V eingestellt und triggert auf die positive Flanke von CH1

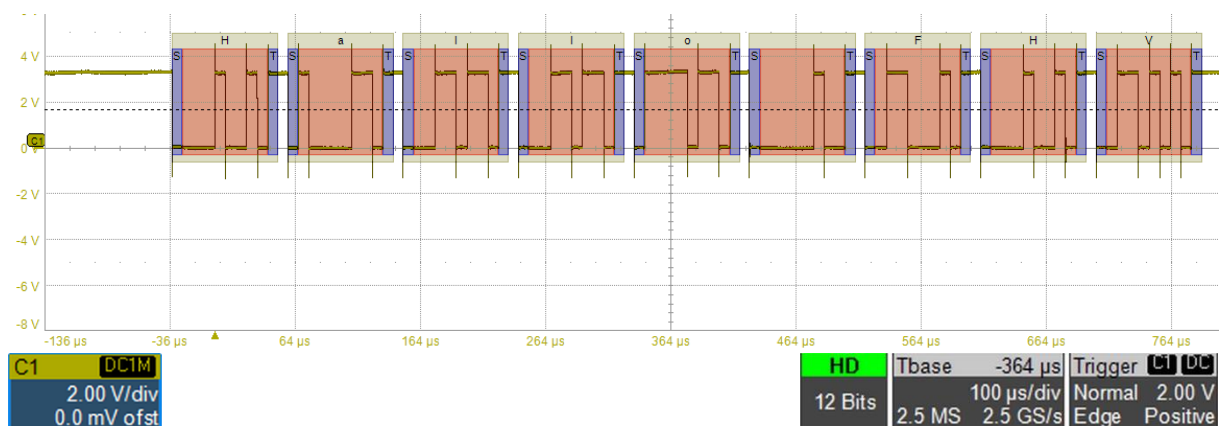


Abb. 30: Messung UART

2.6.4 Bestimmen der Bitrate (Busgeschwindigkeit)

Wichtig für die Dekodierung bei diesem Protokoll ist die Bestimmung der Bitrate, auch Baud genannt. Hierzu muss die zeitliche Breite eines Bit herausgelesen werden und aus dieser Breite kann dann die Bitrate berechnet werden:

$$\text{Baud} = \frac{1}{\text{Bitbreite}} = \frac{1}{8,5 \mu\text{s}} = 117,65 \frac{\text{kBit}}{\text{s}}$$

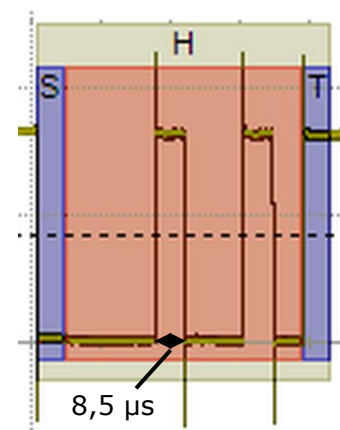


Abb. 31: Bitbreite UART

2.6.5 Dekodierung der Messung

Für die Dekodierung dieses Signals wird wieder gleich vorgegangen wie bei den anderen beiden Protokollen zuvor. Hier wird in dem Fall UART als Protokoll ausgewählt und es müssen wieder andere Einstellungen getroffen werden.

Wichtig ist das Eintragen der im letzten Schritt berechneten Bitrate damit das Decoder die Signale des Boards auch richtig interpretiert. Für diesen konkreten Fall haben wir kein *Parity Bit*, ein *Stop Bit*, in der Bit-Reihenfolge kommt *LSB* zuerst und die Polarität ist *IdleHigh* also *Active Low*.

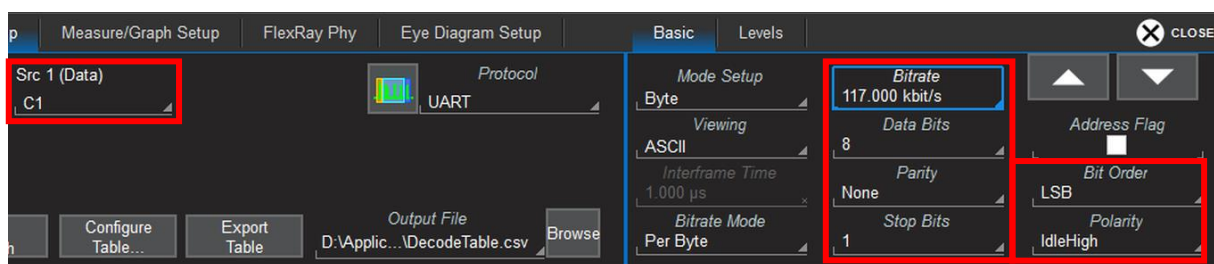


Abb. 32: UART Dekodierung Einstellung

Schlussendlich kann nun wieder das Datenwort aus dem Signal ausgelesen werden. Es handelt sich wieder um das Datenwort „Hallo FHV“.

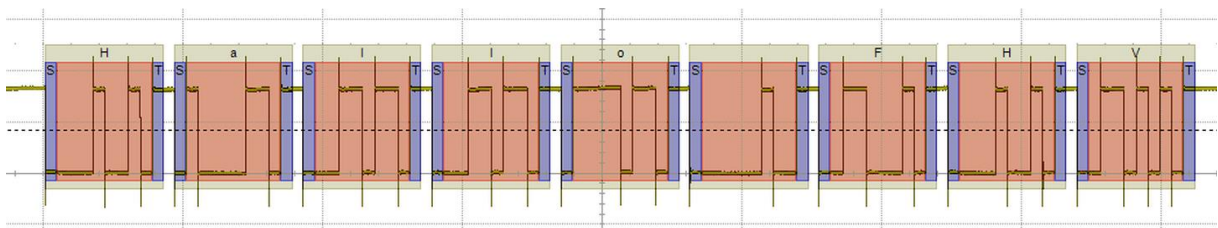


Abb. 33: UART Dekodierung

2.7 Zusammenfassung - Digitalboard

Zusammenfassen kann gesagt werden, dass die Dekodierung der unterschiedlichen Schnittstellen sehr interessant war und auch gezeigt hat zu was das Oszilloskop alles fähig ist. Auch interessant sind die zum Teil großen Unterschiede in den Geschwindigkeiten der unterschiedlichen Protokolle.

Die Analyse um welche Schnittstellen es sich handelt war jedoch ein wenig mühsam, da man hier nur durch *Trail and Error* wirklich ans Ziel gekommen ist.

Da aber bei jeder Schnittstelle dasselbe Datenwort analysiert wurde und dieses auch dem Kontext entspricht kann von einer erfolgreichen Analyse ausgegangen werden.

3 Abschließender Kommentar

Zusammenfassen kann gesagt werden, dass das Messprojekt sehr gut die gelernten Fähigkeiten aus den Laboren vertieft und erweitert hat. Die Aufgabenstellungen waren interessant und auch herausfordernd. Es konnte mit Sicherheit eine bessere Routine im Umgang mit den Messgeräten aufgebaut werden.

Bei der Blackbox war der Start etwas langsamer, da man hier doch ein wenig ins kalte Wasser geworfen wird. Findet man sich jedoch in dieser Detektivrolle ein und untersucht das Messobjekt genau kommt immer mehr Klarheit und Verständnis für die versteckten Bauteile einher. Es war eine sehr gute Übung in der Schaltungsanalyse beim Herausfinden des Schaltkreises als auch in der Frequenzanalyse beim Analysieren des Verhaltens der Bauteile.

Das Digitalboard war in der Hinsicht interessant, da es ein größeres Verständnis in die verbauten seriellen Protokolle brachte. Der Start war hier auch ein wenig langsam, da die Pins zuerst den Protokollen zugeteilt werden mussten. Nachdem dies aber geschehen war konnten schnell die Datenworte ausgelesen werden. Es war vor allem eine sehr gute Übung im Umgang mit dem Oszilloskop, bei zum Beispiel der richtigen Trigger-Findung, um die Signale lesbar anzeigen zu können, als auch der Dekodierung dieser.

4 Verzeichnisse

4.1 Literaturverzeichnis

- [1] „Bode-100-User-Manual-ENU10060506.pdf“. [Online]. Verfügbar unter: https://www.omicron-lab.com/fileadmin/assets/Bode_100/Manuals/Bode-100-User-Manual-ENU10060506.pdf. [Zugegriffen: 19-Jan-2021]
- [2] „I²C“, *Wikipedia*. 06-Nov-2020 [Online]. Verfügbar unter: <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=I%C2%B2C&oldid=205261913>. [Zugegriffen: 18-Jan-2021]
- [3] „Serial Peripheral Interface“, *Wikipedia*. 13-Okt-2020 [Online]. Verfügbar unter: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Serial_Peripheral_Interface&oldid=204514524. [Zugegriffen: 19-Jan-2021]
- [4] „Universal Asynchronous Receiver Transmitter“, *Wikipedia*. 13-Dez-2020 [Online]. Verfügbar unter: https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Universal_Asynchronous_Receiver_Transmitter&oldid=206516581. [Zugegriffen: 19-Jan-2021]

4.2 Tabellenverzeichnis

| | |
|--|----|
| Tabelle 1: Widerstandsmessung | 3 |
| Tabelle 2: Kapazitätsmessung | 6 |
| Tabelle 3: Induktivitätsmessung | 7 |
| Tabelle 4: Spannungsmessung Pins Digitalboard..... | 20 |
| Tabelle 5: SPI Modes..... | 25 |

4.3 Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abb. 1: Pinbelegung Blackbox | 1 |
| Abb. 2: Aufbau Widerstandmessung - Beispiel..... | 2 |
| Abb. 3: Schaltplan nach der Widerstandmessung | 4 |
| Abb. 4: Aufbau Kapazitätsmessung - Beispiel | 5 |
| Abb. 5: Schaltbild nach der Kapazitätsmessung | 6 |
| Abb. 6: Tenma 72-960 RLC-Meter..... | 7 |
| Abb. 7: Schaltbild Tiefpass..... | 9 |
| Abb. 8: LeCroy HDO5104-MS | 10 |

| | |
|--|----|
| Abb. 9: Keysight 33622A | 10 |
| Abb. 10: Messaufbau Oszilloskop | 11 |
| Abb. 11: Frequenzanalyse - 1kHz | 11 |
| Abb. 12: Frequenzanalyse - 25kHz..... | 12 |
| Abb. 13: Frequenzanalyse - 25kHz..... | 13 |
| Abb. 14: Messaufbau Bode Allgemein | 14 |
| Abb. 15: Messaufbau Bode mit Blackbox..... | 14 |
| Abb. 16: Bode Messeinstellungen..... | 15 |
| Abb. 17: Bode 100 Messung - Dekade | 16 |
| Abb. 18: Bode 100 Messung – Grenzfrequenz..... | 17 |
| Abb. 19: Digitalboard | 19 |
| Abb. 20: Digitalboard Pin-Belegung..... | 20 |
| Abb. 21: Messung I2C | 22 |
| Abb. 22: I2C Dekodierung Einstellungen..... | 23 |
| Abb. 23: I2C Dekodierung | 23 |
| Abb. 24: I2C Busgeschwindigkeit | 24 |
| Abb. 25: SPI Modes Darstellung [3] | 25 |
| Abb. 26: Messung SPI | 26 |
| Abb. 27: SPI Dekodierung Einstellungen | 27 |
| Abb. 28: SPI Dekodierung..... | 27 |
| Abb. 29: SPI Busgeschwindigkeit | 28 |
| Abb. 30: Messung UART | 30 |
| Abb. 31: Bitbreite UART..... | 30 |
| Abb. 32: UART Dekodierung Einstellung..... | 31 |
| Abb. 33: UART Dekodierung..... | 31 |