

AC Spannungs-Logger

Mit diesem Projekt können Wechselspannung- Schwankungen im 50 Hz Stadtnetz erfasst und gespeichert werden.

Das Messsystem ist durch eine galvanische Trennung zur Probe geschützt.

Die erfassten Daten werden über ein 2 Zeiliges Display angezeigt, auf eine Speicherkarte geschrieben und können dann mit einer Tabellen- Kalkulation wie EXCEL weiterverarbeitet werden.

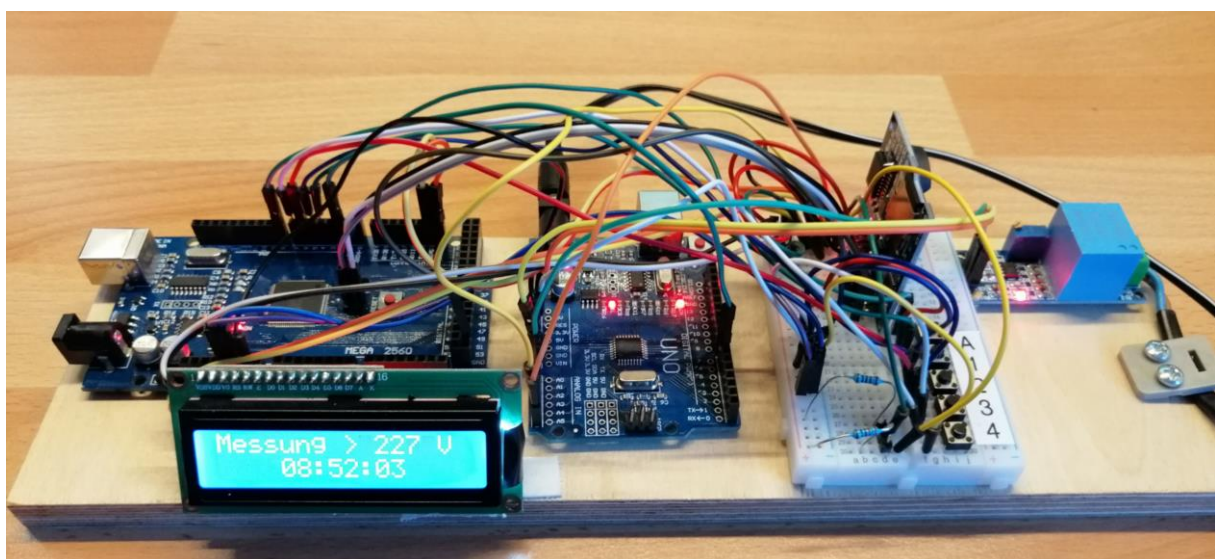
Ein Messintervall beträgt 20 ms. Die Genauigkeit bleibt während der Messung konstant.

Die ermittelte/berechnete Eingangsspannung kann von der realen Spannung etwas abweichen. Der Spannungswert ist deshalb nachjustierbar. Die Ungenauigkeit ist für die Erfassung (siehe weiter unten im Text) aber unerheblich, da die Schwellenwert Überwachung relativ zum Startwert ist.

Die Über- und Unterspannung Schwellenwerte zum triggern der Aufzeichnung sind getrennt zwischen 1% und 20% einstellbar. Die erfassten Messwerte werden mit einem Zeitstempel aus Datum und Uhrzeit (inkl. Sekunden) versehen, und auf eine Micro-SD Speicherkarte geschrieben.

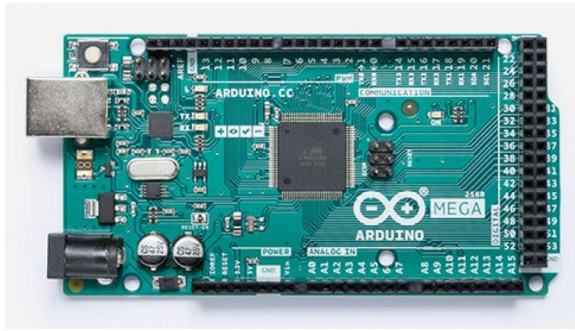
Die Bedienung erfolgt im Menü. Dazu sind 5 Tasten, ein 2 Zeiliges mit einem 16 Stellen umfassenden Display verbaut. Das System ist autark, benötigt keinen PC zum Betrieb. Für die Stromversorgung wird ein Netzteiladapter DC 9-12 Volt (ca. 120 mA) mit 6 mm Stecker benötigt.

Das Netzteil sollte möglichst nicht getaktet sein (ich empfehle ein Transformator Netzteil mit Gleichrichter). Das Messsystem wird bei getakteter 5V Versorgung (z.B. von PC) ungünstig beeinflusst, und das führt zu Messfehler.



Muster Aufbau

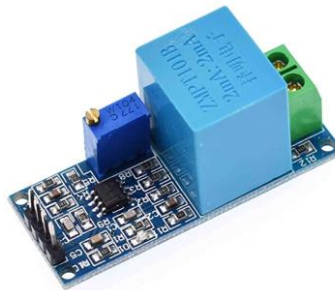
Folgende Hardware Komponenten sind erforderlich



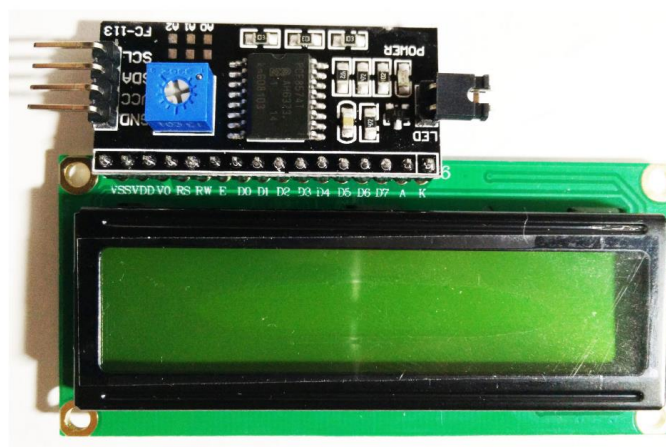
Arduino MEGA 2560 Rev.3 Mikro- Kontroller Board zur Systemsteuerung



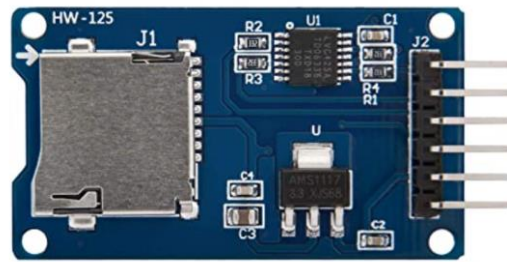
Arduino UNO Rev.3 Mikro- Kontroller Board zur Messwernerfassung und Verarbeitung



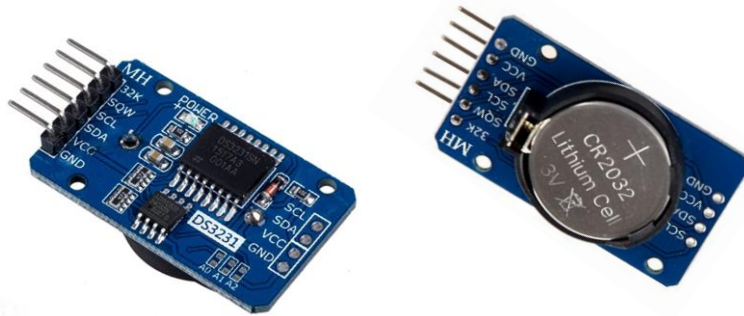
AC-DC Transformer ZMPT101B für die Messwert Erfassung (mit galvanischer Trennung)



Display Einheit: 32-Zeichen-Display (2 Zeilen mit je 16 Zeichen) und FC-113 I2C-Displaytreiber



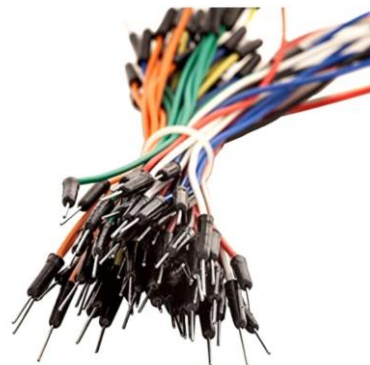
Modul für FAT16/FAT32 formatierte Micro SD-Karten bis 32GB



RTC Modul ZS-042 (Uhrenmodul mit Batterie)



5 Taster - einfach Schließer



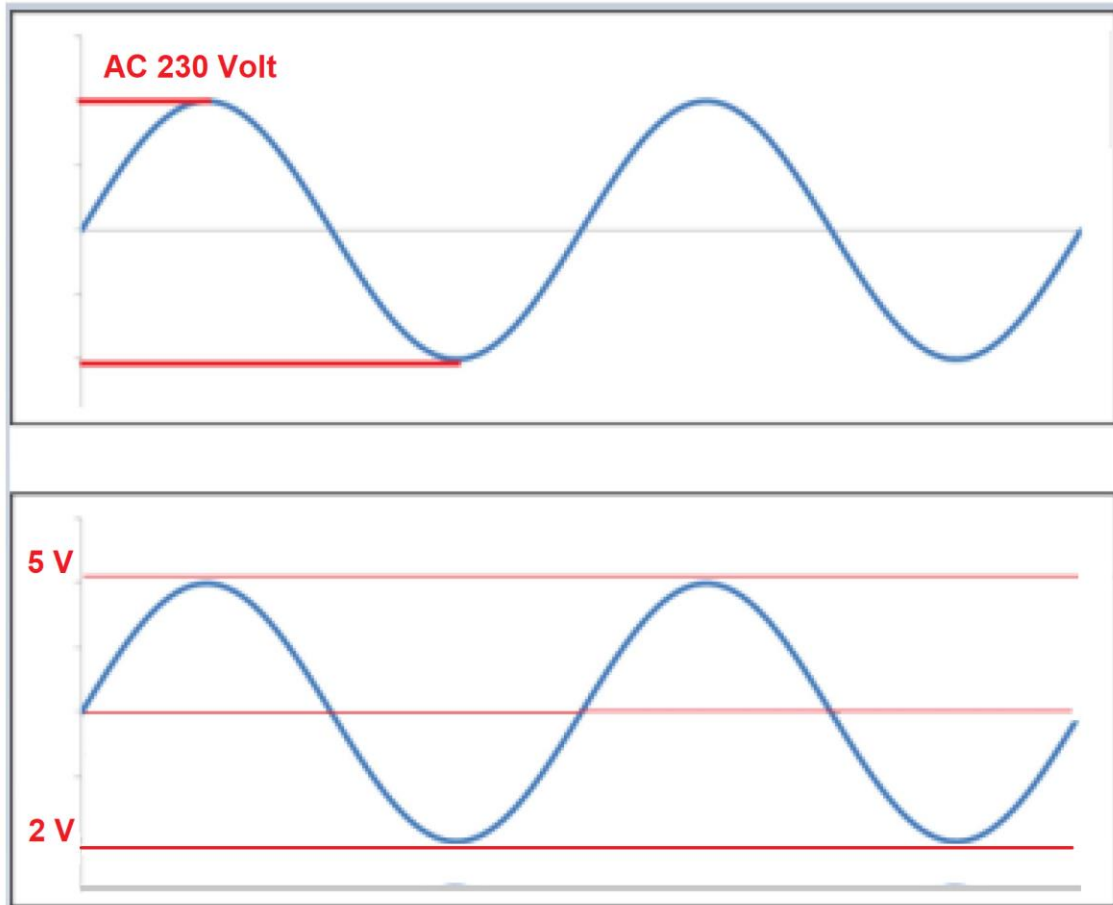
Breadboard 400 Pin und einige Steckbrücken

Ein Euro Netzstecker mit Kabel

Funktionsweise

Das ZMPT101B Modul nimmt das Messsignal auf, z.B. eine 230 V 50 Hertz Netzspannung. Der Modultransformator macht daraus ein Gleichspannung Signal mit 3 V Spitze plus Offset und übergibt es Arduino UNO zur weiteren Verarbeitung. Der Messbereich des Moduls beträgt 0 bis 1000 Volt und nimmt ein Strom von ca. 2 mA auf.

Eine galvanische Trennung stellt sicher, dass das Eingangssignal vom Messsystem getrennt ist.



Die „Pulsierende“-Gleichspannung von max. 5 Volt wird in den analog Eingang A0 des Arduino UNO eingespeist.

Mit den Funktionen der Filterbibliothek Filters.h, werden dann die Effektivwerte dieses Signals berechnet.

Die Berechnung ist sehr rechenintensiv und benötigt deshalb einen eigenen Controller (UNO).

Die so berechneten Effektivwerte (in Floating Point Format) werden im Controller weiter aufbereitet und auf den I2C Bus gegeben. Die zwei Nachkommastellen des Rechenergebnisses, werden mit 100 multipliziert, um die Genauigkeit bei der „Integer“-Übertragung zur Steuerung beizubehalten. Alle 20 ms werden die so berechneten Messdaten dem Systemcontroller (Arduino Mega) übergeben. Um die Last auf dem I2C Bus zu verringern, ruft die Systemsteuerung (Arduino Mega) die Messwerte nur zur Übertragung der Messung ab.

Der Systemsteuerung sind via Menü die Schwellenwerte für die Trigger eingestellt worden. Ist im Messbetrieb ein Schwellenwert erreicht, wird er mit einem Zeitstempel versehen, auf einer Micro-SD Speicherkarte gespeichert und am Display angezeigt. Ein LED zeigt das Ereignis dauerhaft an.

Wird der Normal-Spannung Pegel wieder erreicht, erfolgt ein erneutes ausschreiben des Spannungswertes mit einem Zeitstempel auf die SD Karte und wird am Display angezeigt.

In der Anzeige wird während der Messung, die Anzahl der Ereignisse angezeigt. Nach Beendigung der Messung können die Daten lokal einzeln am Display ausgelesen werden, oder einer Anwendung via SD-Speicherkarte (z.B. Tabellenkalkulation) zugeführt werden. Das LED wird erst nach beenden des Messbetriebs ausgeschaltet.

Bedienung

Das Messsystem wird mit 5 Tasten und einem 2 Zeiligen LCD-Display Bedient. Die Tasten sind mit den Buchstaben „A“ und den Zahlen 1,2,3,4 bezeichnet (siehe Foto oben).

Die „A“-Taste ist die Funktion-Auswahltaste. Die Zahlentasten bedienen die ausgewählte Funktion. Die „A“-Taste beendet zudem alle aktuellen Eingaben oder den Messzyklus.

Nach dem Einschalten der Versorgungsspannung führt das System einen kurzen Selbsttest durch. Dabei werden die RTC (Uhr) auf Ausfall der internen Zeit geprüft und ob die eingesetzte Micro-SD Speicherkarte OK ist. Wenn ein PC via USB1 angeschlossen wurde, und im Programm das „Debugging“ eingeschaltet wurde (Debug Flag = true), werden zur Arduino IDE Programm-Infos zum PC übertragen.

Zum Start der Anwendung wird die Taste „A“ betätigt. Dann wird die Systemzeit angezeigt (Uhr).



Nach erneuter Betätigung der A-Taste kann die Uhrzeit gestellt werden. Dazu muss die Taste 1 betätigt werden.

Es wird zuerst der Tag angezeigt und kann mit der Taste 2 vorgestellt oder mit Taste 3 zurückgestellt werden. Mit erneuter Betätigung der Taste 1 wird der Monat, dann das Jahr die Stunde, Minute und die Sekunde eingestellt.





Erst durch Betätigung der Taste 4 wird die neue Zeit vom System übernommen.

Weiter geht es im Menü mit Betätigung der A-Taste. Jetzt können die Schwellenwerte für den oberen Grenzwert (Überspannung U+) und unteren Grenzwert (Unterspannung U-) als Prozent Abweichung vom Messwert, der beim Start der Messung gespeichert wurde, eingestellt werden.

Die Voreinstellung ist +5 % und -2%. Der erlaubte Trigger Bereich für die Schwellenwerte, ist vom Programm auf +/- 20% begrenzt.

Deshalb ist es auch nicht Wichtig, ob der gespeicherte Messwert tatsächlich der realen Spannung entspricht! Es wird lediglich das Verhältnis „Startwert der Spannungsmessung“ zum weiter im Messzyklus gemessenen Werte geprüft. Im Menü „Justage“ kann der Wert Systemweit angepasst werden (siehe weiter hinten im Text).



Weiter im Menü mit der A-Taste. Jetzt kann der Messzyklus gestartet werden durch Betätigung der Taste 1. Vorher muss der Eingang des Modultransformators mit der Prüfspannung (z.B. Hausstromnetz) verbunden worden sein, da Wandler und die Software ca. 1 Sekunde benötigen bis der Eingangswert erstmals ermittelt wird!



Zu Beginn der Messung wird der Aktuelle Messwert (Startwert) angezeigt. Die Anzeige wird solange nicht aktualisiert, bis ein Trigger Wert (Unter/Überspannung) erreicht wird. Durch erneutes betätigen der Taste 1 kann die Prüfspannung neu eingelesen, eine neuer Referenzwert wird gebildet.

Der Startpunkt wird mit Spannungswert und Zeitstempel auf die Micro-SD Karte geschrieben.



Ist ein Schwellenwert erreicht, wird der gemessene Spannungswert am Display mit Zeitangabe angezeigt. Die Anzahl der Trigger-Ereignisse wird gezählt und am Display angezeigt.



Der Messzyklus wird mit Betätigung der A-Taste beendet.

Im Menü wird jetzt das Speicher Untermenü angezeigt. Mit Taste-2 wird der Speicher sequenziell chronologisch ausgelesen.



Mit Taste-3 wird jeweils ein Ereignis am Display weiter angezeigt.



Am Anzeige und Dateiende wird mit der A-Taste das Untermenü wieder verlassen.



Mit der Taste-3 LOE, wird die Logdatei auf der SD-Karte gelöscht. Dieser Vorgang muss mit Taste-4 explizit bestätigt werden! Zum verlassen das Menü, die A-Taste betätigen. Im nächsten Menüpunkt kann das Messsystem nachträglich (siehe weiter hinten im Text) Justiert werden.



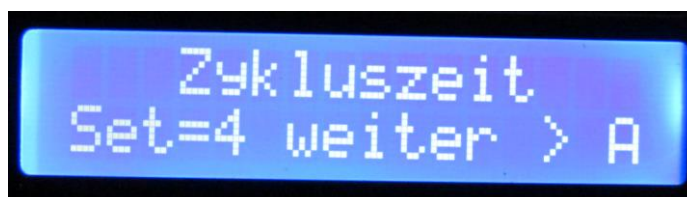
Es sind nur Korrekturschritte von +/- 1 Volt möglich.



Mit dem nächsten Menüpunkt kann das sogenannte „Logging“ gestartet werden.



Mit Auswahl von 2, wird die Messung- Zykluszeit eingestellt. Das bedeutet, der Abstand der einzelnen Messungen wird von einer Sekunde auf 5 oder 20 Sekunden gestellt.



Mit Taste 1, wird die Aufzeichnung auf die SD-Speicherkarte gestartet.

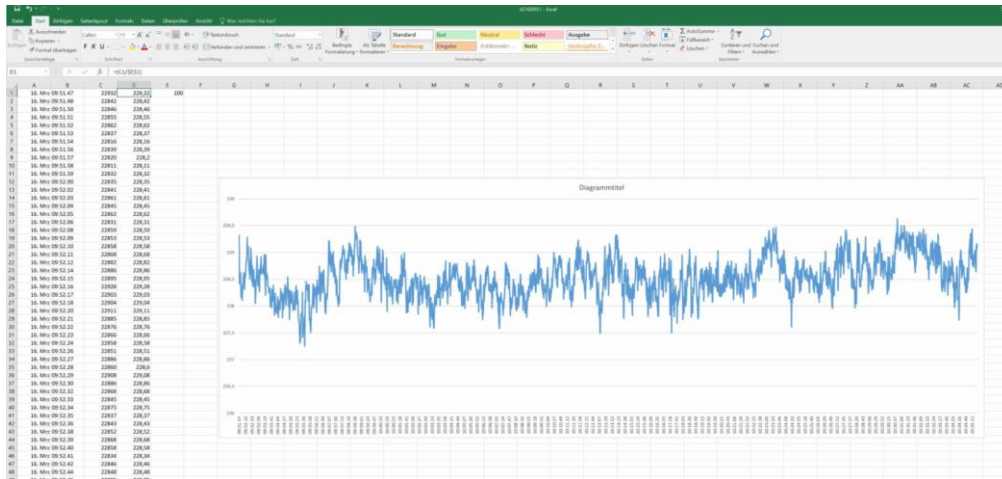
Die Anzeige nach dem Start:



Die Aufzeichnung und die Anzeige der Messwerte erfolgt mit zwei Nachkomma Stellen.
Im Beispiel Bild: 232,32 Volt.

Der Name der Logging-Datei wird jedes Mal neu gebildet und besteht aus den Buchstaben Lg, dem Datum, der Startzeit (z.B.: Lg111828.csv 11. Tag im Monat, 18 Uhr, 28 Sekunden). Die Dateiergung ist .csv (für EXCEL).

Eine grafische Aufbereitung in Excel könnte wie folgt aussehen:

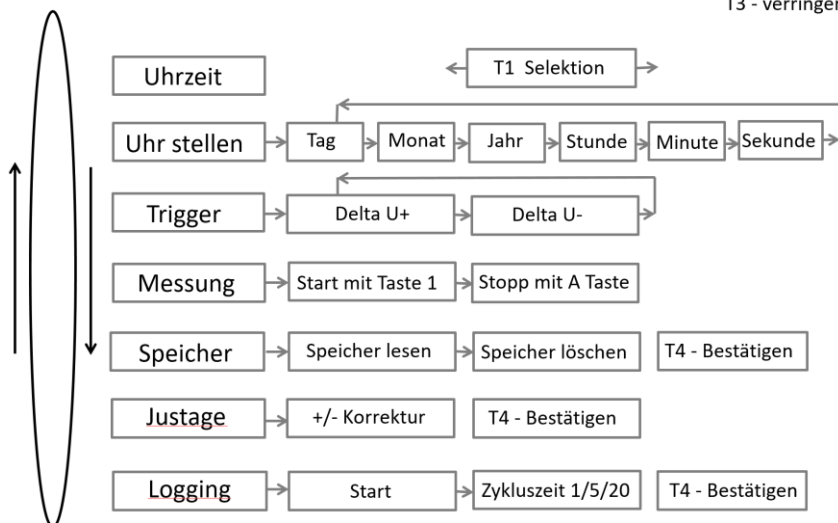


Das Menü in der Übersicht

A - Wahltaete

T2 + erhöhen

T3 - verringern



Version 2

Messwerte

Die Daten auf der Micro-SD Speicherkarte werden in der Datei „datalog.txt“ abgelegt.



Die SD-Karte muss mit dem Dateisystem FAT16 oder FAT32 vorformatiert sein. Es werden nur Micro-SD Karten bis 32 GB unterstützt! Die Geschwindigkeitsklasse ist egal.

Die einzelnen Trigger Ereignisse werden in der Textdatei datalog.txt gespeichert. Es werden keine Nachkomma Stellen bei der Speicherung erfasst.

Bei der Messwert Verarbeitung wurden die Werte mit 0,5 Volt aufgerundet.

```
RUN > ;226 ;14.04. ;09:29.11
U- > ;222 ;14.04. ;09:31.15
OK > ;225 ;14.04. ;09:31.26
U+ > ;230 ;14.04. ;09:31.32
OK > ;227 ;14.04. ;09:31.38
U- > ;223 ;14.04. ;09:33.23
OK > ;225 ;14.04. ;09:33.31
RUN > ;224 ;14.04. ;09:35.09
U+ > ;227 ;14.04. ;09:35.29
RUN > ;226 ;14.04. ;10:49.45
U- > ;223 ;14.04. ;11:04.53
OK > ;225 ;14.04. ;11:16.53
U- > ;223 ;14.04. ;11:19.03
```

Jeder Eintrag wird mit Line Feed Zeichen abgeschlossen. Die einzelnen Werte der Zeile sind mit Semikolon getrennt.

Damit kann die Datei auch einer Tabellenkalkulation zugeführt werden, um die Daten grafisch aufzubereiten (siehe Beispiel).

Ist die Datei „datalog.txt“ auf der SD-Karte nicht vorhanden, wird sie vom System angelegt.

Der Schaltplan

Das System besteht aus zwei Mikrokontrollern und Peripherie Elementen.

Der Arduino UNO ist über einen analogen Eingang A0 mit dem Messwandler verbunden. Die Messwerte werden über den I2C Bus (A4, A5) an den Systemkontroller Arduino Mega (A20, A21) übergeben, wenn der Systemkontroller über seinen Digitalausgang A8 die Daten anfordert (UNO A7).

Das LCD Display wird über den I2C Bus betrieben. Ein FC-113 Displaytreiber verbindet das LCD Panel mit dem I2C Bus. Die Echtzeit Uhr (RTC) ist ebenfalls mit dem I2C Bus verbunden.

Der Micro-SD Speicherkarten Adapter wird mit dem „Serial Peripheral Interface“ (SPI) des MEGA Systemkontrollers verbunden (ICSP Pins 1,3,4). Das Chip Select (CS) mit A53.

Die 5 Tasten (alles Schließer) legen jeweils GND an die Digitaleingänge 2,4,5,6,7.

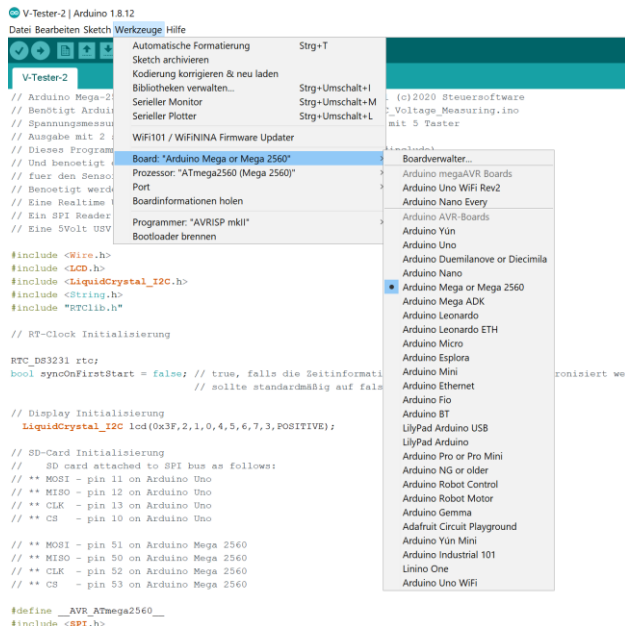
Der Eingang 2 erzeugt ein Interrupt Signal für die Menü Auswahl.

Über den Klinkenstecker Anschluss wird das System mit Betriebsspannung versorgt. Über die USB Anschlüsse werden die beiden Controller einzeln mit System und Mess- Software geladen (ARDUINO IDE). Eine **LED** am Ausgang 9 vom Mega wird angesteuert, wenn einer der Grenzwerte erreicht ist.

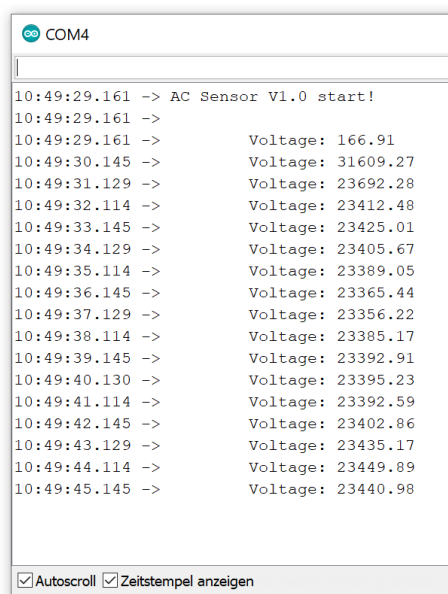
Die Betriebssoftware (Listing) und die Bibliotheken sind auch auf www.film-werk56.de/linux als ZIP-Datei zu finden.

- Für den Messwandler Arduino Uno: AC_Voltage_Measuring.ino
- Für die Systemsteuerung Arduino MEGA: V-Tester-2.ino
- Bibliotheken

Die Boards werden nacheinander mit der Software geladen. Dabei ist zu beachten, dass das Zielsystem (Uno oder Mega) jeweils an der IDE eingestellt wird!

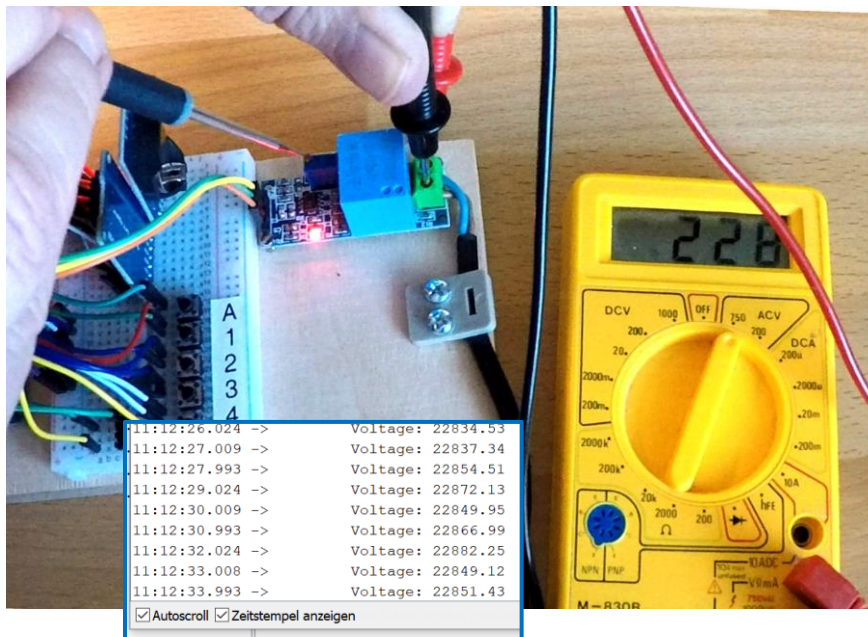


Zuerst wird der Messwandler justiert. Zunächst wird der Arduino Uno mit der IDE verbunden. Dann wird das Programm kompiliert und hochgeladen. Danach wird der Serielle Monitor manuell gestartet. Der UNO bootet neu und am Monitor (z.B. COM4) wird die Softwareversion angezeigt. Nach kurzer Zeit werden zyklisch die berechneten Messwerte vom AC-Eingang ausgegeben.



Wenn der Prüfling mit dem Messwandler noch nicht verbunden ist, werden zufällige Spannungswerte ausgegeben, wenn das System mit einem getakteten Netzteil betrieben wird!

Mit einem Voltmeter wird der vom Messsystem gemessene Spannungswert dem realen Wert angepasst. Dazu wird das Potentiometer vom Messwandler verstellt, bis die am Monitor angezeigte Spannung mit der vom Voltmeter übereinstimmt (im Beispiel 228 Volt).



Eine nachträgliche Anpassung mit +/- 1 Volt ist unter dem Menüpunkt „Justage“ jederzeit möglich.

Als nächstes wird die Systemsteuerung in Betrieb gesetzt. Setzen Sie eine mit FAT16 oder FAT32 formatierte Micro-SD Speicherkarte in den SD-Adapter ein. Die USB Verbindung wird mit dem Arduino MEGA (USB) verbunden.

Das Zielsystem der IDE wird auf Mega 2560 gestellt und der Serielle Monitor neu gestartet. Die Systemsteuerung zeigt nach dem booten die Software Version an. RTC (Uhr) und die SD-Karte werden getestet. Am LCD Display erscheinen die Software Version und das Ergebnis der Tests. Mit dem Potentiometer auf der Rückseite des FC-113 kann die LCD Helligkeit eingestellt werden.

Tasten Sie sich durch das Menü zum Punkt Messung und starten Sie mit der Taste 1 den Messzyklus. Am LCD Display wird jetzt der Spannungswert vom AC-Eingang ohne Nachkomma Stellen angezeigt. Am Seriellen Monitor wird der vom Messwandler übermittelte Spannungswert ausgegeben (AC=gerundet, IN=mit Nachkomma xxxNk).



```
11:40:20.028 -> AC=228 IN=22815
11:40:20.028 -> AC=228 IN=22815
11:40:20.075 -> AC=228 IN=22815
11:40:20.075 -> AC=228 IN=22815
11:40:20.122 -> AC=228 IN=22815
11:40:20.122 -> AC=228 IN=22815
11:40:20.122 -> AC=228 IN=22815
11:40:20.122 -> AC=228 IN=22815
11:40:20.122 -> AC=22
```

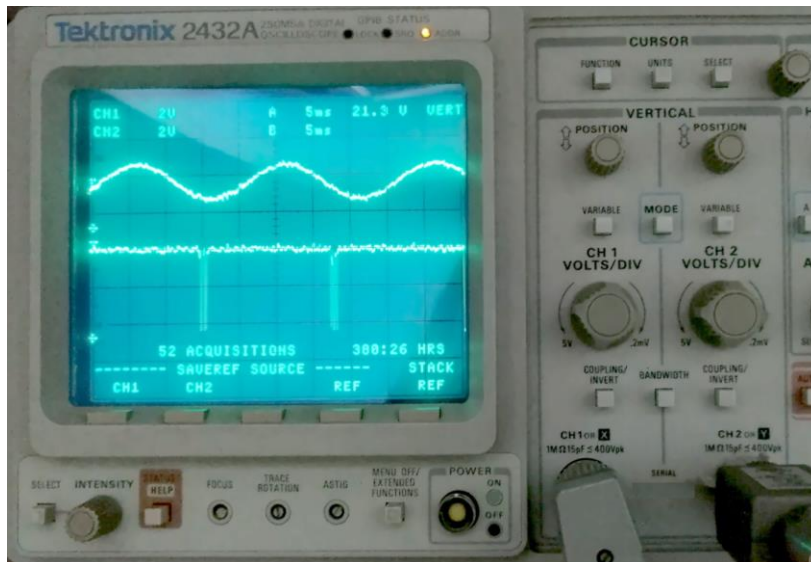
☒ Autoscroll ☒ Zeitstempel anzeigen

Sind die voreingestellten Trigger Schwellenwerte (-2% und +5%) mittlerweile erreicht worden, wird statt des Messwertes zum Start der Messung, das Ereignis angezeigt!

Mit der A-Taste wird der Messzyklus beendet und die Systemzeit wieder am LCD Display ausgegeben.

Messung

Mit dem Oszilloskop ... alle 18 ms wird der gemessene und berechnete Spannungswert an die Systemsteuerung via I2C Bus übergeben.



Das bedeutet, dass Spannungs- Änderungen innerhalb einer Periode von 20 ms (50 Hz) im Ergebnis **nicht berücksichtigt** werden.

Der Kanal 1 unten zeigt das I2C-Bus Signal mit den Datenpaketen. Kanal 2 oben zeigt den Spannungsverlauf am Ausgang vom Messstellenwandler.

Deutlich ist auch ein Gleichspannungsoffset von ca. 2 Volt am Ausgang des Wandlers zu erkennen.

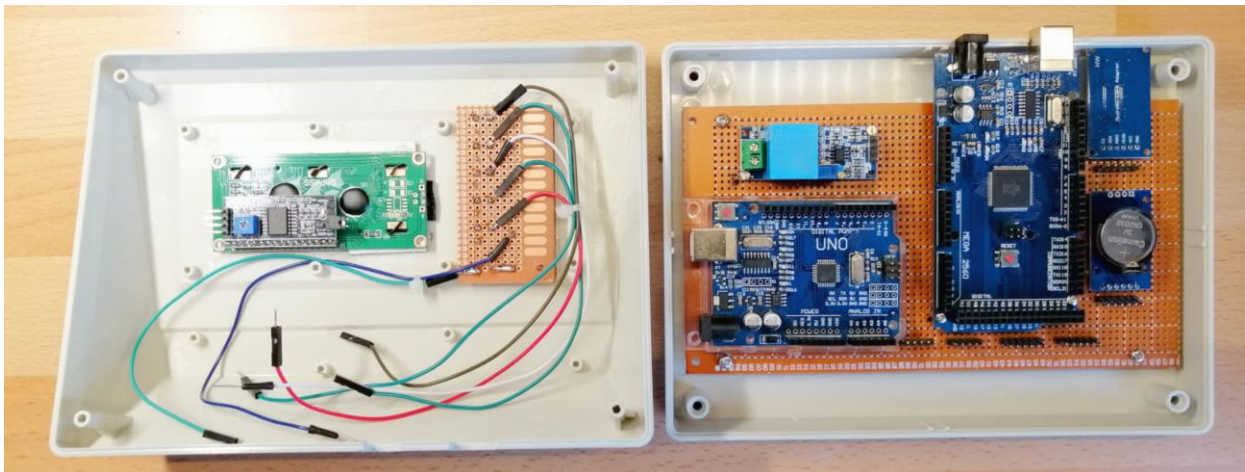
Wenn der Messwandler via USB vom UNO mit der PC IDE verbunden ist, wird der AC Spannungsverlauf mit dem Seriellen Plotter am PC-Monitor als Grafik in Echtzeit angezeigt:



Erweiterungen, ein Ausblick

- Zur Messung relativ kurzer Unter- Spannungsänderungen reicht meist die Restladung vom Netzteil zur Versorgung vom Messsystem aus. Für längere Ausfälle wird statt einem Netzteil, eine Unterbrechung freie Stromversorgung (USV) benötigt. Alternativ kann die Systemsoftware ergänzt werden, z.B. mit der Generierung eines Zeitstempels bei Systemspannungswiederkehr, der auf die Micro-SD Speicherkarte geschrieben wird. Bei einer späteren Auswertung kann die Zeitdifferenz (ungefähre Ausfalldauer) zwischen zuletzt aufgezeichneter Unterspannung und Wiederkehr der Versorgungsspannung ermittelt werden.

Mit der Version 2 des AC-Logger (März 2021), ist die Hardware in ein Gehäuse gewandert. Außerdem sind Funktionserweiterungen und Änderungen zur Stabilität hinzu gekommen.





Technische Daten

Messwandler ZMPT101B

Rated input current	2mA
Rated output current	2mA
turns ratio	1000:1000
phase angle error	≤ 20 (input 2mA, sampling resistor 100 Ω)
operating range	0~1000V 0~10mA (sampling resistor 100 Ω)
linearity	$\leq 0.2\%$ (20%~120%)
Permissible error	$-0.3\% \leq f \leq +0.2\%$ (input 2mA, sampling resistor 100 Ω)
isolation voltage	4000V
Encapsulation	Epoxy
Operating temperature	-40°C~+60°C

Arduino UNO

Microcontroller	ATmega328P
Input Voltage (empfohlen)	7-12V
Operating Voltage	5V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
PWM Digital I/O Pins	6
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328P)
EEPROM	1 KB (ATmega328P)
Clock Speed	16 MHz

Arduino Mega 2560 Rev3

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (empfohlen)	7-12V
Digital I/O Pins	54 (of which 15 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	20 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz
Stromversorgung:	DC 9-12 Volt externes Netzteil 120 mA (nicht grtaktet)
Messzyklus Zeit:	20 ms
AC Probe:	50 – 250 Volt (500 V) / 50 Hz
AC Stromaufnahme:	2 mA

Die Programm Listings und die benötigten Bibliotheken, auch das Excel Beispiel, befinden sich auf meiner Homepage:

<https://film-werk56.de/linux.html>

als ZIP Datei.

Hinweis

Der AC Spannungs-Logger wurde für die Prüfung von Netzwechselspannungen entwickelt.
Der Nachbau erfolgt auf eigene Gefahr. Ich übernehme keine Verantwortung für Schäden.
Achten Sie im Umgang mit Netzspannung auf Gefahren, wie Stromschlag!

Auf meiner Film Homepage <https://film-werk56.de/linux> und auf YouTube <https://www.youtube.com/channel/UCsiwk9sO0zN03tXcwTzV5vQ> ,finden Sie mein Video Tutorial zum AC -Logger mit weiteren Informationen.

Das System ist für den privaten Nachbau (Public Domain Software/Hardware) konzipiert.
Eine kommerzielle Nutzung muss vom Autor autorisiert werden!

Der Autor
Peter Klingbeil (peter.klingbeil@film-werk56.de)

Im März 2021