



Beleuchtetes Grafikdisplay

Umfangreiche Messmöglichkeiten

Kurvenverlauf auf microSD-Karte speicherbar

Mini-Digital-Speicheroszilloskop MDO100

Mit dem MDO100 steht ein kleines Digital-Speicheroszilloskop in Form eines Bausatzes zur Verfügung, dessen Bedienung sich an der typischen Bedienung professioneller Geräte orientiert und somit absolut intuitiv ist. Zur Anzeige der Messwerte dient ein hinterleuchtetes Grafikdisplay mit 128 x 64 Pixel und neben umfangreichen Messmöglichkeiten besteht auch die Möglichkeit, den auf dem Display angezeigten Kurvenverlauf auf microSD-Karte zu speichern.

Allgemeines

Das digitale Speicheroszilloskop hat mittlerweile analoge Oszilloskope weitestgehend vom Markt verdrängt, da damit deutlich mehr Messmöglichkeiten zur Verfügung stehen und sich die Preise in den letzten Jahren deutlich nach unten bewegt haben. Trotzdem ist die Anschaffung eines Oszilloskops für den Hobbyanwender immer noch eine erhebliche Investition. Bei gelegentlicher Nutzung und wenn keine besonders hohen Messanforderungen bestehen, lohnt sich die Anschaffung eines professionellen Gerätes oft nicht.

Für Messungen im Frequenzbereich bis ca. 300 kHz steht mit dem MDO100 nun ein besonders preiswertes Gerät im Taschenformat zur Verfügung. Das Gerät verfügt über ein Grafikdisplay, bietet umfangreiche Messmöglichkeiten und die Spannungsverläufe können zusätzlich auf microSD-Karte gespeichert werden.

Die Bedienung des MDO100 ist besonders einfach und intuitiv und orientiert sich im Wesentlichen an der Bedienung von professionellen Geräten. Die einzelnen Bedienfunktionen werden über beleuchtete Taster aufgerufen und Veränderungen können dann

Technische Daten

Kanäle:	1
Kopplung:	AC, DC
Amplitudenmessung:	bis 30 V
Max. Eingangsspannung:	50 V (DC+AC peak)
Bandbreite:	300 kHz
Signalerfassung (Samplingrate):	2 MSample/s
Signaleingang:	BNC-Buchse
Einstellung Zeitbasis:	12 Bereiche von 5 μ s/DIV bis 1 s/DIV
Messbereiche:	6 (100 mV/DIV, 200 mV/DIV, 500 mV/DIV, 1 V/DIV, 2 V/DIV, 5 V/DIV)
Triggermodus:	Auto, Normal, Single
Triggerflanke:	positiv, negativ
Datenspeicher:	microSD-Karte
Display:	Grafikdisplay 128 x 64 Pixel (hinterleuchtet)
Zusätzliche Anzeigen:	6x Tastenhinterleuchtung, 3 LEDs
Bedienelemente:	7 Taster, Inkrementalgeber mit zusätzlicher Tasterfunktion
Umgebungstemperaturbereich:	-20 bis +40 °C
Spannungsversorgung:	7,5-14 V _{DC} , 200 mA (Hohlsteckerbuchse)
Abmessungen (B x H x T):	140 x 60 x 26 mm

mit einem Inkrementalgeber vorgenommen werden. Im Gegensatz dazu muss man bei vielen Geräten am Markt mit wenigen Tasten umständlich durch verschiedene Menüs navigieren.

Während für viele Handmessgeräte am Markt Spezial-Tastköpfe erforderlich sind, bietet das MD0100 die Möglichkeit, handelsübliche Tastköpfe an einer Standard-BNC-Buchse anzuschließen.

Die Zeitbasis ist in 12 Messbereiche einstellbar und die Signalerfassung erfolgt mit bis zu 2 MSample pro Sekunde. Selbstverständlich kann eine Triggerung auf der positiven oder negativen Flanke erfolgen und es sind Messungen mit Cursorpaaren möglich (zeitlicher Abstand, Abstand der Cursor in Volt). Des Weiteren sind beim MD0100 automatische Messungen möglich (Frequenz, Mittelwert, Effektivwert, Spitze-Spitze, Spitzenwert positiv, Spitzenwert negativ).

Als Nächstes betrachten wir nun den prinzipiellen Aufbau eines digitalen Speicheroszilloskops und den wesentlichen Unterschied zu älteren Analoggeräten.

Beim DSO (Digitales Speicheroszilloskop) wird der erfasste Signalverlauf über die Zeit nicht direkt auf dem Bildschirm ausgegeben, sondern zuvor in digitaler Form in einem Speicher abgelegt. Die grundsätzlich immer erforderliche Datenverarbeitung bei einem DSO ist in **Bild 1** zu sehen. Das analoge Eingangssignal muss zuerst in der Amplitude angepasst werden (verstärkt oder entsprechend abgeschwächt). Daraufhin kann das zu messende Signal in einem vorher definierten zeitlichen Abstand abgetastet, digitalisiert und gespeichert werden.

Das Erkennen eines geeigneten Triggerzeitpunktes geschieht dann auf Basis der gespeicherten Daten. Dies bietet beim DSO im Gegensatz zur analogen Variante den Vorteil, dass auch Messpunkte vor dem eigentlichen Triggerereignis auf dem Display dargestellt werden können.

Neben den besseren und erweiterten Triggermöglichkeiten haben moderne DSOs natürlich noch weitere Vorteile gegenüber analogen Varianten, wobei natürlich einer der größten Vorteile ist, dass man den Signalverlauf einfach speichern kann. Erst dadurch wird eine Nachbearbeitung der erfassten Daten und die Übertragung auf ein anderes Medium möglich.

Ein weiterer großer Vorteil ist, dass moderne Digital-Oszilloskope in der Lage sind, eine Vielzahl von Berechnungen mit den gesammelten Daten durchzuführen. Von der einfachen Ermittlung von Maximalwerten bis hin zu einer komplexen Fourier-Analyse ist alles möglich. Auf dem Display können die Ergebnisse der durchgeführten Berechnungen direkt angezeigt werden.

Natürlich hat die digitale Oszilloskop-Variante nicht nur Vorteile. Durch die Digitalisierung wird das Messsignal in Quantisierungsstufen eingeteilt. Im einfachsten Fehlerfall sind diese Stufen sichtbar und das angezeigte Signal somit nicht aussagefähig.

Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass das Signal nur in bestimmten Zeitintervallen abgetastet wird. Dies kann zum einen zu Aliasing-Effekten führen, zum anderen kann es dazu führen, dass schnelle Signalwechsel und/oder kurze Spitzen im Signal nicht erfasst werden können.

Trotz dieser allgemein bekannten Nachteile überwiegen natürlich die Vorteile und die analoge Variante wird vermutlich in absehbarer Zeit völlig vom Markt verdrängt.

Das MD0100 ist für den Hobbyanwender konzipiert und bietet umfangreiche Messmöglichkeiten für Signalverläufe bis 300 kHz bei äußerst gutem Preis-Leistungs-Verhältnis. Natürlich bestehen bei einem Bruchteil der Kosten eines professionellen Gerätes Einschränkungen. Beim MD0100 stehen nachfolgend aufgeführte Messmöglichkeiten und Funktionen zur Verfügung:

- Eingang: Standard-BNC-Buchse
- Kopplung: DC, AC und GND
- Zeitbasis: in 12 Bereiche von 5 $\mu\text{s}/\text{DIV}$ bis 1 s/DIV einstellbar
- Messbereiche: 6 (bis 50 V_{DC} und Peak)
- 100 mV/DIV, 200 mV/DIV, 500 mV/DIV, 1 V/DIV, 2 V/DIV, 5 V/DIV
- Signalerfassung: bis zu 2 MSample/s
- Triggerung: Auto, Normal, Single
- Triggerflanke: auf positive oder negative Flanken
- Cursor-Messungen: zeitlicher Abstand der Cursor zueinander, Abstand der Cursor in V
- Automatische Messungen: Frequenz, Mittelwert, Effektivwert, Spitze-Spitze, Spitze+ (Maximalwert), Spitze- (Minimalwert)
- Speichermöglichkeit: Signalverlauf auf SD-Karte

Bedienkonzept und Bedienung

Das Bedienkonzept des MD0100 orientiert sich an der Bedienung von professionellen Geräten, wobei insgesamt 7 beleuchtete Taster und ein Inkrementalgeber mit Tasterfunktion zur Verfügung stehen. Dadurch besteht auf wichtige Einstellungen ein direkter Zugriff, ohne dass man umständlich durch Menüs navigieren muss. Es genügt ein kurzer Tastendruck auf die zu verändernde Funktion (z. B. Volts/DIV), worauf die Taste durch Leuchten die zu verändernde Funktion anzeigt. Die Einstellung ist dann mit Hilfe des Inkrementalgebers vorzunehmen.

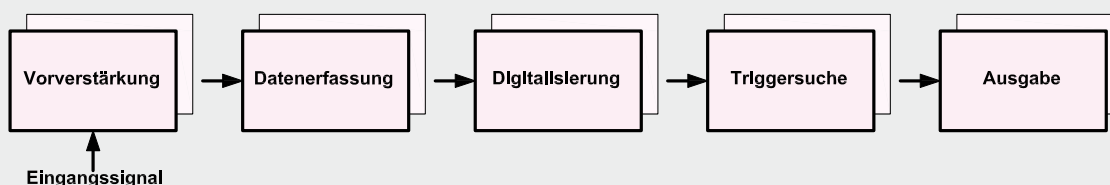


Bild 1: Blockschaftbild der digitalen Datenverarbeitung bei einem DSO

Weniger häufig benötigte Funktionen und Einstellungen sind in einem Menü zu finden, das sich nach einem Druck auf die entsprechende Taste im Display öffnet. Mit einem weiteren Druck auf die Taste „Menü“ wird das Menü wieder geschlossen. Die einzelnen Tastenfunktionen und Bedienmöglichkeiten werden nun nachfolgend beschrieben.

Taste „Coupling“

Mit der Taste „Coupling“ kann die Anbindung des Messsignals an den Eingangsverstärker ausgewählt werden. Dabei gibt es die Möglichkeit, entweder das Signal direkt auf den Eingangsverstärker zu geben (DC-Kopplung) oder den Gleichanteil des Signals herauszufiltern, um den Wechselanteil für sich betrachten zu können (AC-Kopplung). Des Weiteren besteht die Möglichkeit, den Messeingang des internen Eingangsverstärkers mit der Schaltungsmasse zu verbinden, um z. B. die Nulllinie optimal einstellen zu können.

Die Taste hat eine Toggle-Funktion und die Leuchtdioden oberhalb des Tasters zeigen die ausgewählte Kopplung an.

Taste „V-Position“

Mit einem kurzen Druck auf diese Taste kann mit Hilfe des Inkrementalgebers eine Vertikalverschiebung des Messsignals, d. h. nach oben oder unten, vorgenommen werden. Diese Einstellmöglichkeit steht zur Verfügung, solange die Taste „V-Position“ leuchtet. Mit einem erneuten Druck auf diese Taste kann diese Einstellfunktion wieder verlassen werden.

Taste „H-Position“

Analog zur Vertikalverschiebung kann nach einem Druck auf diese Taste eine Horizontalverschiebung des Messsignals erfolgen. Die Verschiebung kann erfolgen, solange die Taste leuchtet, und mit einem erneuten Tastendruck kann diese Einstellfunktion verlassen werden. Die Verschiebung der Horizontal-Position erfolgt rein softwaremäßig.

Nachdem der Triggerpunkt im (Signal-)Puffer gefunden wurde, wird ein weiterer Puffer zur Darstellung des Signals gefüllt, beginnend mit dem Triggerpunkt. Soll das Signal nun verschoben werden, so muss das Fül-

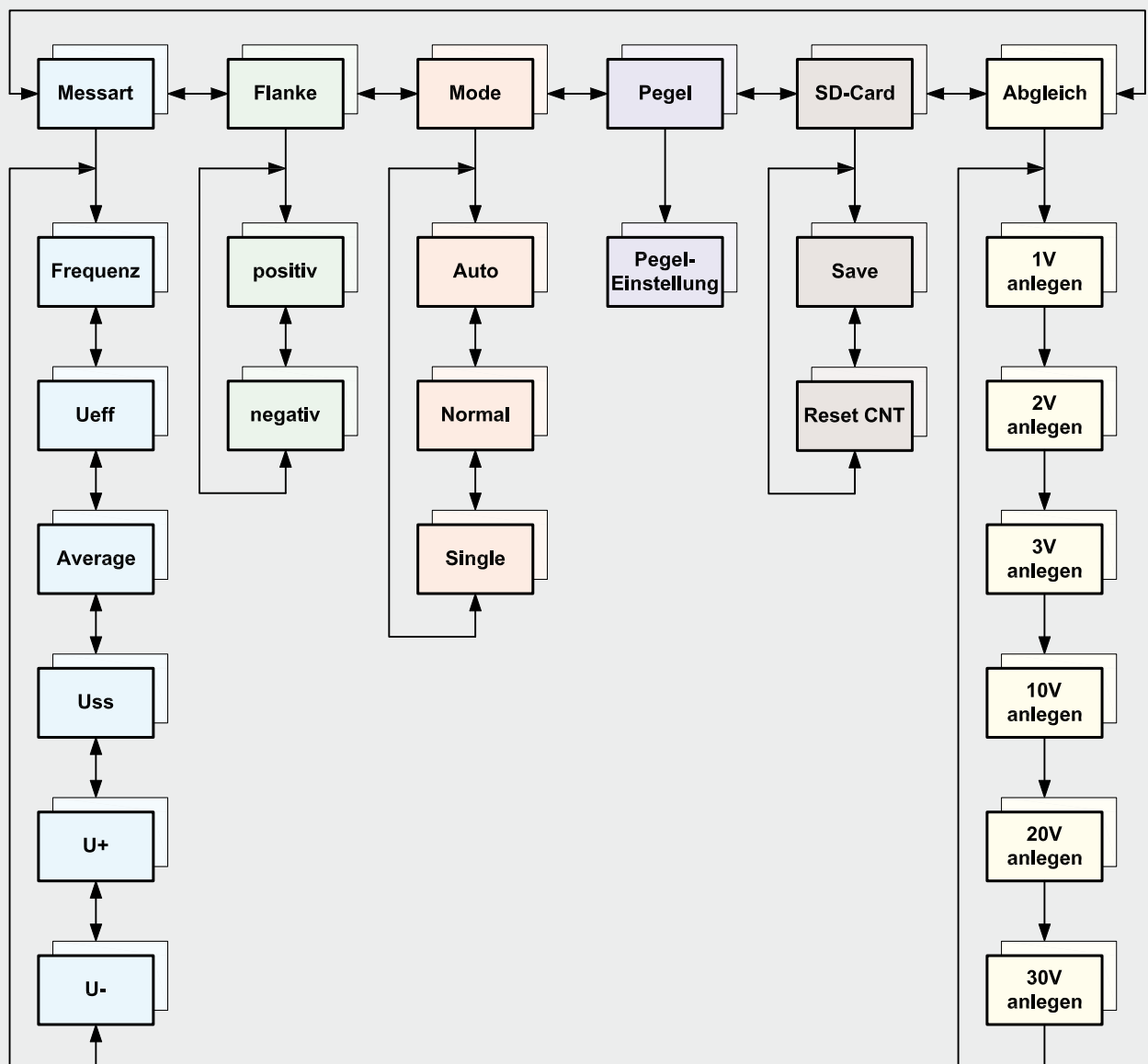


Bild 2: Menüstruktur

len des Ausgabepuffers nicht direkt am Triggerpunkt beginnen, sondern weiter vorne für den Fall, dass der Benutzer das Signal nach rechts schieben möchte. Möchte der Benutzer das Signal jedoch nach links schieben, so muss die Firmware rechts vom Triggerpunkt anfangen, die Messwerte in den Ausgabepuffer zu kopieren.

Taste „Cursor“

Die Taste „Cursor“ dient dazu, ein Cursorpaar einzublenden, wobei hier weitere Tastendrücke nicht zum Verlassen des Einstellmodus führen, sondern zum Wechsel zwischen dem Zeit- und Spannungs-Cursorpaar (Toggle-Funktion). Die beiden eingeblendeten Cursor lassen sich mit Hilfe des Inkrementalgebers nach links und rechts bzw. nach oben und unten verschieben, wobei ein Druck auf den Inkrementalgeber („OK“) zwischen den einzelnen Cursors hin und her schaltet. Sind beispielsweise die Zeitchursor aktiviert, lässt sich der linke Cursor mit dem Inkrementalgeber verschieben. Ein Druck auf diesen ermöglicht das Verschieben des rechten Cursors. Ein weiterer Druck schaltet wieder den linken Cursor aktiv usw.

Taste „Volts/DIV“

Nach einem kurzen Druck auf den Taster „Volts/DIV“ kann mit Hilfe des Inkrementalgebers der Eingangs-Messbereich verändert werden, wobei folgende Messbereiche zur Verfügung stehen: 100 mV/DIV, 200 mV/DIV, 500 mV/DIV, 1 V/DIV, 2 V/DIV und 5 V/DIV. Je nach Einstellung wird das Messsignal dann entsprechend verstärkt oder gedämpft. Die Spannungen am Ausgang des Messverstärkers werden durch den analogen Teil der Schaltung so angepasst, dass sie, sofern man die korrekten Einstellungen vorgenommen hat, immer in den Messbereich des A/D-Wandlers fallen. Mit einem erneuten Druck auf diese Taste kann der Einstellmodus jederzeit wieder verlassen werden.

Taste „Sec/DIV“

Nach einem Druck auf den Taster „Sec/DIV“ leuchtet dieser und die Einstellung der Zeitbasis des MD0100 kann mit Hilfe des Inkrementalgebers verändert werden. Beim MD0100 gibt es 12 verschiedene Zeitbasis-Einstellungen im üblichen 1-2-5-Raster von 5 µs/DIV bis 1 s/DIV. Die verschiedenen Einstellungen steuern die Signalerfassung mit Hilfe des ADC. Mit einem erneuten Druck auf diese Taste kann die Einstellfunktion jederzeit wieder verlassen werden.

Taste „Menü“

Mit der Taste „Menü“ ist das Menü im Display einzublenden, wobei dann verschiedene Untermenüs mit dem Cursor auszuwählen sind. Folgende Menüpunkte stehen dabei zur Verfügung: „Messart“, „Flanke“, „Mode“, „Pegel“, „SD-Card“ und „Abgleich“. Hinter diesen Untermenüs verbergen sich wiederum – mit Ausnahme von „Pegel“ und „Abgleich“ – Menüpunkte, in denen der Benutzer verschiedene Einstellungen auswählen kann. Das jeweils gewählte Untermenü wird invers dargestellt. Menüpunkte können dann mit der Tasterfunktion des Inkrementalgebers aufgerufen werden. In [Bild 2](#) ist die Menüstruktur dargestellt.

Wie bereits erwähnt, kann der Pegel direkt eingestellt werden, wenn dieses Untermenü ausgewählt wurde. Die Auswahl geschieht wie bei den Untermenüs mit einem Druck auf den Inkrementalgeber.

Die Untermenüs im Menü

– Messart:

Der Benutzer kann hier zwischen den automatischen Messungen und den damit verbundenen Displayanzeigen wählen, wobei folgende Anzeigefunktionen zur Verfügung stehen: „Frequenz“, „Effektivwert“, „Durchschnittswert“, „Spitze-Spitze Spannung“, „Maximalwert“ und „Minimalwert“.

– Flanke:

Der Benutzer kann hier auswählen, ob auf eine positive oder auf eine negative Flanke des Signals getriggert werden soll.

– Mode:

Hier besteht die Auswahl zwischen Normal-, Single- und Auto-Triggerung. Ist die Single-Triggerung ausgewählt, so kann eine neue Messung mit einem Druck auf „OK“ aktiviert werden. Mit dem Triggersignal wird die Messung dann gestartet.

– Pegel:

Nach einer Bestätigung mit „OK“ (Tasterfunktion des Inkrementalgebers) kann der Triggerpegel mit dem Inkrementalgeber verschoben werden. Der eingestellte Level ist sowohl unten rechts im Display zu sehen als auch als Kreuz im Signalverlauf dargestellt.

Ein Druck auf den Inkrementalgeber lässt den Benutzer wieder in das Menü zurückkehren.

– SD-Card:

Unter „SD-Card“ stehen die Menüpunkte „Save“ und „ResetCNT“ zur Verfügung.

„Save“ speichert das angezeigte Display (ohne das eingeblendete Menü) auf einer eingelegten SD-Karte. Die einzelnen Screenshots werden durchnummeriert. Der Zähler für diese Nummerierung kann mit dem Menüpunkt „ResetCNT“ zurückgesetzt werden.

– Abgleich:

Nach einer Bestätigung mit „OK“ startet das MD0100 einen Neuabgleich des Messverstärkers. Der Abgleich ermittelt die Start- und Endwerte der Messkurven für jeden Messbereich. Dazu muss der Benutzer definierte Spannungspegel an den Eingang des Oszilloskops anlegen und mit einem Druck auf „OK“ quittieren. Alle anderen Funktionen des MD0100 stehen so lange nicht zur Verfügung, bis der Abgleich erfolgreich beendet wurde.

Das komplette Menü kann jederzeit mit einem erneuten Druck auf den Menü-Taster wieder geschlossen werden oder wird nach einem Menü-Time-out von 60 Sekunden automatisch geschlossen.

Schaltung

Die Schaltung des MD0100 lässt sich grob in drei Bereiche unterteilen: einen analogen Schaltungsteil in [Bild 3](#), einen Digitalteil in [Bild 4](#) und die Spannungsversorgung in [Bild 7](#).

Betrachten wir zuerst den Analogteil in [Bild 3](#), der zum größten Teil aus der Signal-Vorverarbeitung besteht, indem das Eingangssignal so geteilt oder verstärkt wird, dass es vom A/D-Wandler des Mikro-

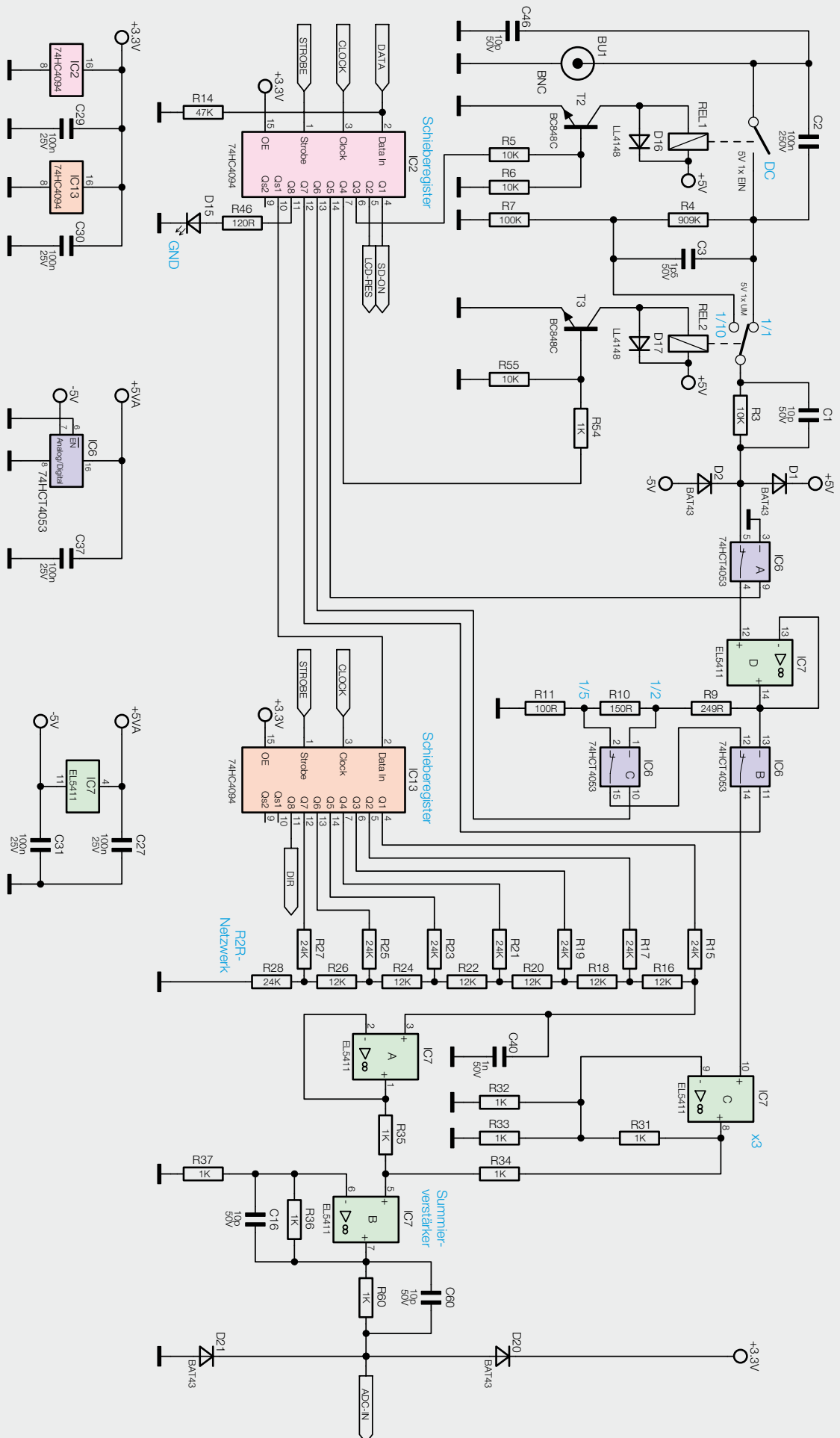


Bild 3: Analoger Schaltungsteil des MDO100

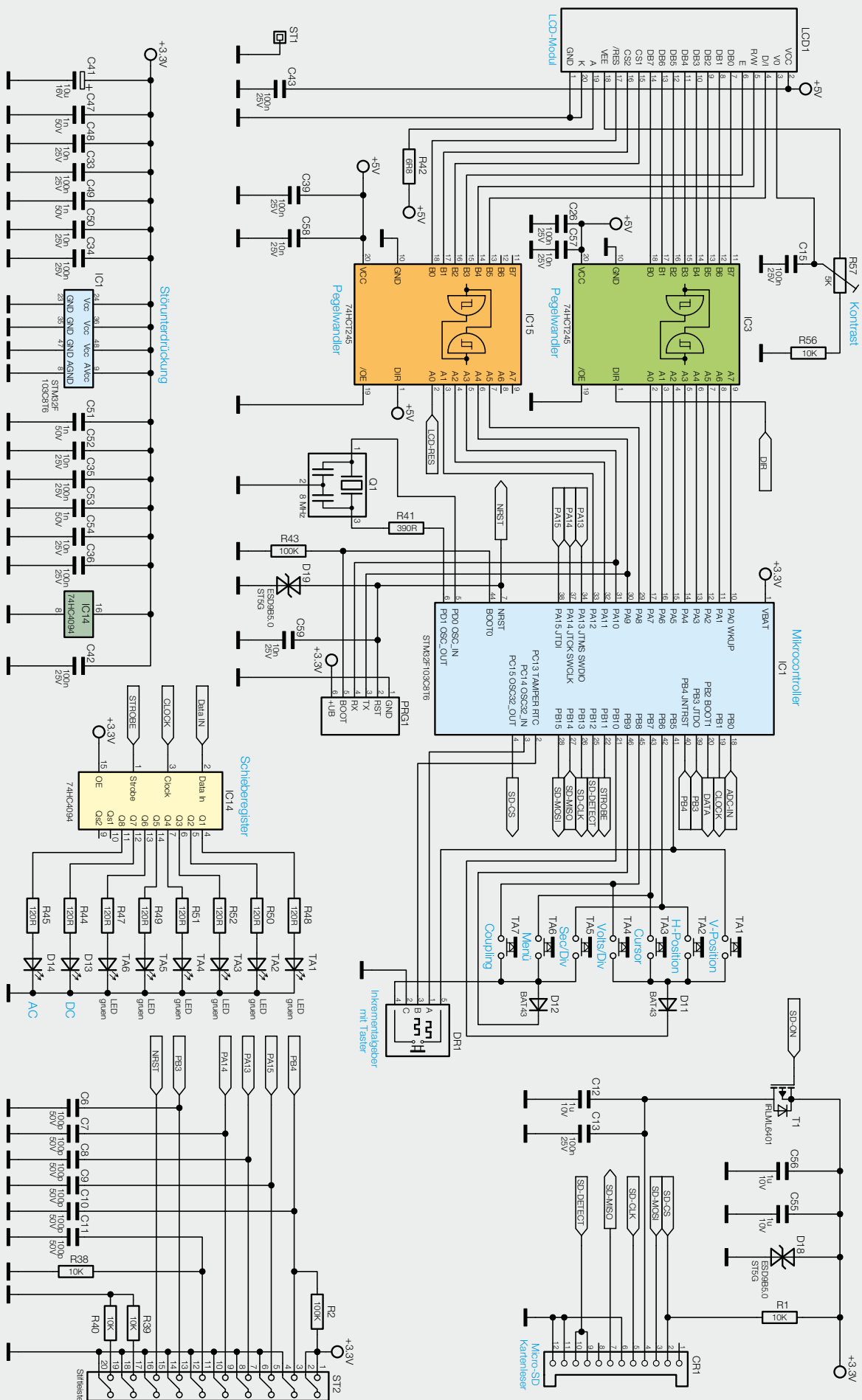


Bild 4: Digitaler Schaltungsteil des MD0100

Tabelle 1

Eingangsspannungen und deren Verlauf durch die Schaltung

U_{in}	Volt/DIV	REL2	IC6A	IC7 Pin 14	IC6B	IC6C	IC7 Pin 10	IC7 Pin 8
0,6 V	0,1	Low	Low	0,6 V	High	X	0,6 V	1,8 V
1,2 V	0,2	Low	Low	1,2 V	Low	High	0,6 V	1,8 V
3,0 V	0,5	Low	Low	3,0 V	Low	Low	0,6 V	1,8 V
6,0 V	1	High	Low	6,0 V	High	X	0,6 V	1,8 V
12,0 V	2	High	Low	12,0 V	Low	High	0,6 V	1,8 V
30,0 V	5	High	Low	30,0 V	Low	Low	0,6 V	1,8 V

controllers optimal weiterverarbeitet werden kann.

Die Steuerung dieser Vorverarbeitung ist über die in Reihe geschalteten Schieberegister IC2 und IC13 realisiert, wobei ein weiterer mit diesen beiden Schieberegistern in Reihe geschalteter Baustein im Digitalteil zur Ansteuerung sämtlicher Leuchtdioden innerhalb des Gerätes, mit Ausnahme von D15, dient. Die Schieberegister werden vom digitalen Teil der Schaltung gesetzt, stellen also in gewisser Weise die Schnittstelle zwischen dem analogen und dem digitalen Teil dar. Sie dienen jedoch nicht nur der Steuerung der Vorverarbeitung (Verstärkung, Dämpfung), sondern erzeugen auch ein Offset-Signal zur Signalverschiebung mit Hilfe eines R2R-Netzwerks (R15 bis R28).

Zur Signalpegelanpassung wird das Schieberegister IC2 so gefüllt, dass das Messsignal immer optimal an den Eingang des A/D-Wandlers angepasst ist.

Bei den Einstellungen von 100 mV bis 500 mV wird das Relais REL2 so geschaltet, dass das Signal den Weg von der Eingangsbuchse über den CMOS-Schalter IC6A und den Widerstand R3 direkt auf den nicht invertierenden Eingang des Impedanzwandlers (IC7D) nehmen kann. Bei den übrigen Einstellungen wird das Relais REL2 umgeschaltet. Das Signal wird dann zuerst mit dem Spannungsteiler R4, R7 um den Faktor zehn heruntergeteilt. Nach der groben Aufteilung in den großen und den kleinen Messbereich erfolgt am Ausgang des Pufferverstärkers eine weitere Messbereichsanpassung mit den Widerständen R9 bis R11. Das gewünschte Teilungsverhältnis wird mit Hilfe der CMOS-Schalter IC6B und IC6C gewählt, wobei die Schaltinformationen vom Schieberegister IC2 stammen.

Das in der Amplitude angepasste Signal gelangt dann auf den nicht invertierenden Eingang des Operationsverstärkers IC7C, wo das Signal um den Faktor 3 verstärkt wird.

Mit Hilfe von IC13 und externer Beschaltung (R2R-Netzwerk R15 bis R28) wird eine Gleichspannung erzeugt, die mit IC7A gepuffert wird. Diese Gleichspannung gelangt dann zusammen mit dem Messsignal auf den Summierverstärker IC7B, an dessen Ausgang dann das Signal für den A/D-Wandler-Eingang zur Verfügung steht. Am Ausgang von IC7B

und somit am A/D-Wandler-Eingang des Controllers, liegen immer Spannungswerte zwischen 0 V und 3 V. **Tabelle 1** zeigt beispielhaft, wie ein Eingangssignal auf dem Weg durch die Schaltung angepasst wird und wie REL2 und die CMOS-Schalter dafür gesetzt sein müssen.

Der digitale Schaltungsteil des MD0100 ist in **Bild 4** dargestellt, wobei der Mikrocontroller IC1 das Schlüsselbauelement ist. Hierbei handelt es sich um einen STM32F103C8T6 der Firma STMicroelectronics. Dieser Mikrocontroller beinhaltet einen 32-Bit-Cortex™-M3-CPU-Core. Er verfügt über 64 KB Flash- und 20 KB SRAM-Speicher.

Zudem ist eine Vielzahl von peripherer Hardware bereits chipintern vorhanden. Dazu gehören auch zwei A/D-Wandler mit 12 Bit Auflösung, die für die Einstellungen 5 μ s/DIV und 10 μ s/DIV im „dual mode“ betrieben werden. Die am Controller angeschlossenen Pegelwandler IC3 und IC15 sind notwendig, um eine Kommunikation zwischen dem Mikrocontroller und dem Display zu ermöglichen. Ohne die Wandlung der Pegel wäre eine Kommunikation unmöglich, da der Mikrocontroller mit einer Betriebsspannung von 3,3 V arbeitet, das Display jedoch mit 5 V. Der Mikrocontroller kann nur Pegel von 3,3 V an seinen Ausgangspins liefern, die aber für die Ansteuerung des Displays nicht ausreichen. Soll im umgekehrten Fall der Mikrocontroller Daten vom Display empfangen, so wäre ein Pegel von 5 V zu hoch. Eine Pegelwandlung ist also zwingend erforderlich.

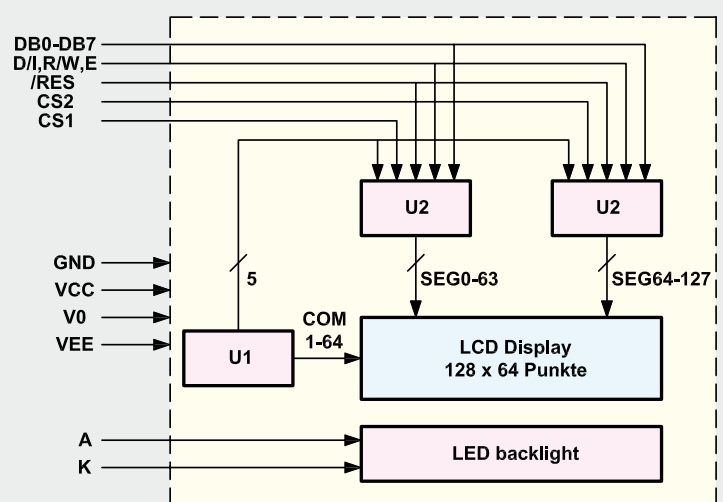


Bild 5: Blockschaltbild des im MD0100 verwendeten Displays

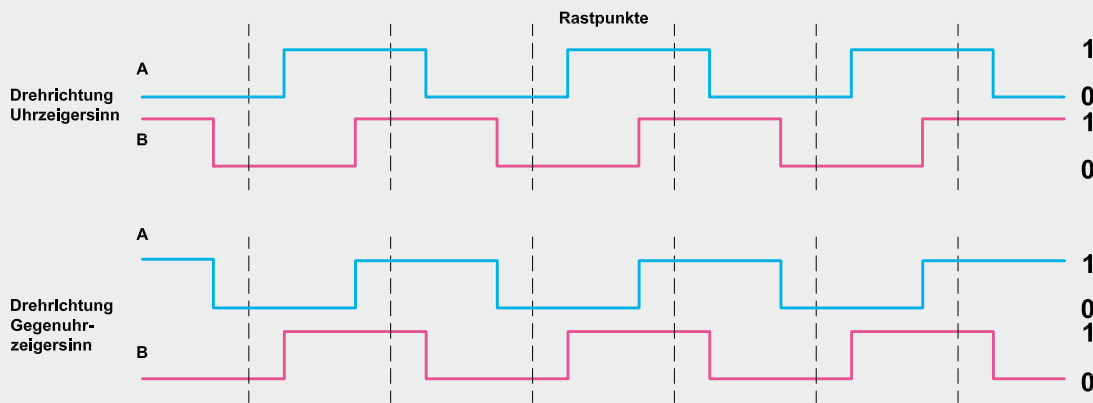


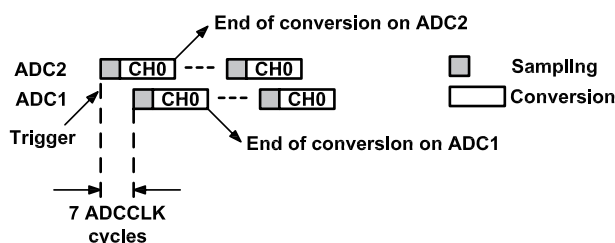
Bild 6: Signalverlauf an Port PC13 und PC14 in Abhängigkeit von der Drehrichtung des Inkrementalgebers

Zur Takterzeugung ist der Controller mit dem 8-MHz-Keramikschringer Q1 und dem Widerstand R41 beschaltet. Chipintern wird der Takt dann auf 56 MHz gewandelt.

Das im MD0100 verwendete Grafikdisplay (LCD1) hat eine Auflösung von 128 mal 64 Pixel und verfügt über drei interne Controller. Ein Controller ist für den linken Teil des Displays zuständig, der andere für den rechten und der dritte Controller sorgt dafür, dass die

korrekten Zeilen angesprochen werden. Das Blockschaltbild in Bild 5 zeigt den grundsätzlichen Aufbau des Displays.

Jedes Pixel auf dem Display wird durch ein Bit im Speicher des Displays repräsentiert, d. h., dass jedes Pixel (zumindest theoretisch) einzeln angesteuert werden kann. Praktisch gesehen ist diese Ansteuerung jedoch nicht so einfach zu bewerkstelligen, da der Speicher über acht Datenleitungen angesprochen wird



Analog-Digital-Converter des STM32F103C8T6 von STMicroelectronics

Im Mikrocontroller des MD0100 sind zwei 12-Bit-A/D-Wandler vorhanden, die beiden Zeitbasis-Einstellungen 5 μ s/DIV und 10 μ s/DIV im Dual Mode betrieben werden. Die gewählte Betriebsart für den Dual Mode ist dabei „fast interleaved“. Diese Einstellung bedeutet, dass beide ADCs das am Eingang anliegende Signal abwechselnd, aber überlappend wandeln, um eine höhere Geschwindigkeit zu erreichen. Die vereinfachte Grafik verdeutlicht die Funktionsweise des Dual Mode, wobei es sich in diesem Beispiel um eine kontinuierliche Wandlung eines Kanals im Dual Mode handelt. Bei den anderen Zeitbasen (>10 μ s) wird hingegen nur ein ADC benötigt um die erforderlichen Datenraten zu erreichen, d. h., es kann hier auf den Dual Mode verzichtet werden. Eine weitere Einstellungsmöglichkeit, die nur in den beiden kleinsten Zeitbasis-Einstellungen genutzt wird, ist der kontinuierliche

Modus. Diese Einstellung besagt, dass neue Werte gewandelt werden, sobald eine Wandlung abgeschlossen ist. Aufgrund der Tatsache, dass die Wandlung eine konstante Zeit benötigt, wird durch diese Methode ein sehr gleichmäßiges Zeitraster erzeugt. Ist diese Einstellung nicht aktiviert, so muss jede Wandlung von außen angestoßen werden. Für Zeitbasen größer als 10 μ s/DIV wird die Triggerung des A/D-Wandlers von einem Timer übernommen. Für alle Zeitbasen größer als 1 ms/DIV wird der ADC-Interrupt aktiviert, der jedes Mal ausgelöst wird, wenn eine Wandlung abgeschlossen ist. Die zuständige ISR sorgt nun dafür, dass nach einer festgelegten Anzahl von Interrupts – und damit einer festgelegten Anzahl von neuen Werten – die Datenverarbeitung gestartet wird. Für Einstellungen der Zeitbasis kleiner als 5 ms/DIV würden diese Interrupts zu schnell hintereinander kommen und dazu führen, dass das System nur noch mit der Bearbeitung der Interrupts beschäftigt wäre. Aus diesem Grund wird der ADC-Interrupt deaktiviert und stattdessen der DMA-Interrupt genutzt.

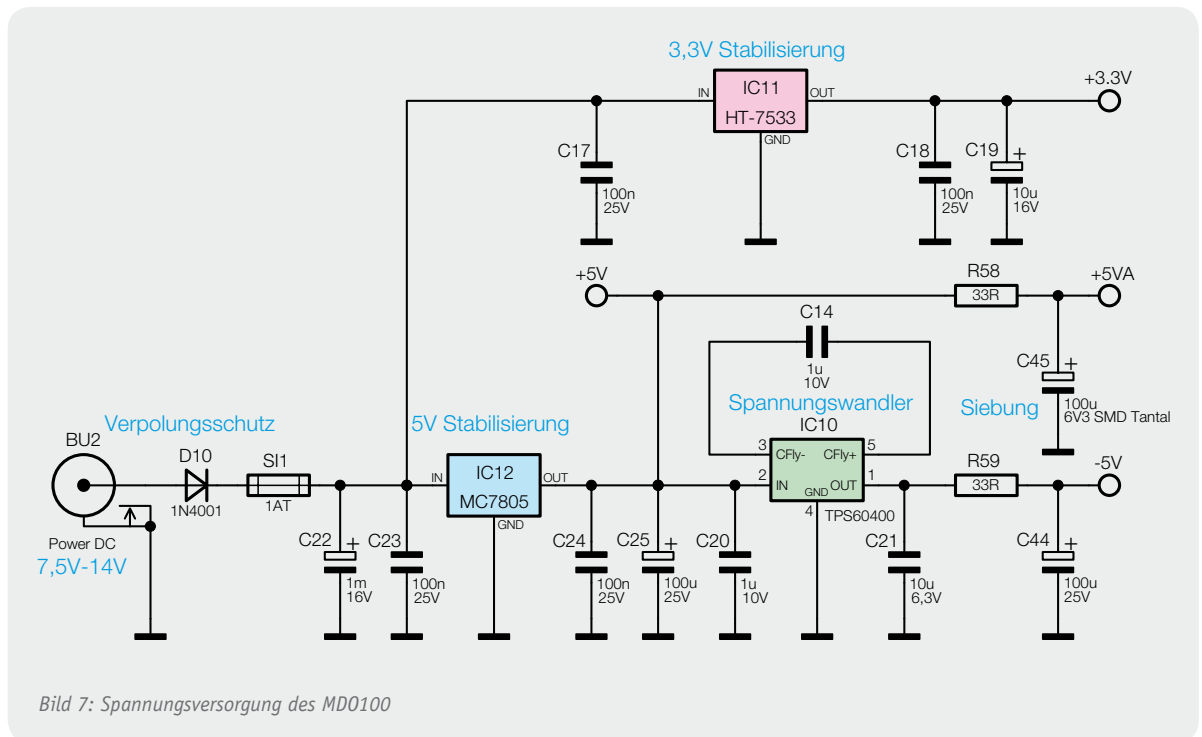


Bild 7: Spannungsversorgung des MDO100

und somit der Benutzer immer acht Pixel schreiben muss. Daher wird ein Abbild des Displayspeichers im SRAM erzeugt, in dem die Daten schnell geändert werden können, und in regelmäßigen Abständen komplett in den Displayspeicher übertragen. Das Display wird, bedingt durch das Senden eines kompletten Byte, seitenweise angesprochen. Eine Page ist acht Pixel hoch und erstreckt sich über die komplette Breite des Displays.

Das Display wird, wie bereits erwähnt, mit einer Spannung von 5 V betrieben und erzeugt eine benötigte negative Spannung intern. Mit Hilfe des Einstelltrimmers R57 ist eine individuelle Anpassung des Displaykontrastes möglich.

Die Kondensatoren C15, C26, C39, C43, C57 und C58 dienen in diesem Schaltungsbereich zur hochfrequenten Störunterdrückung.

Eine im Controller intern vorhandene SPI-Schnittstelle dient zur Anbindung einer SD-Speicherkarte, der Kartenslot (CR1) ist direkt auf der Leiterplatte des MDO100 untergebracht. Die entsprechenden Anschlusspins sind direkt mit dem Mikrocontroller verbunden, und über den Transistor T1 wird die Speicherkarte im Bedarfsfall mit Spannung versorgt. Die Kondensatoren C12, C13, C55 und C56 dienen zur Störunterdrückung und Pufferung und die ESD-Schutzdiode D18 zum Schutz vor ESD-Entladungen am Kartenslot.

Wie bereits erwähnt, werden die Leuchtdioden der Taster sowie die LEDs D13 und D14 über das Schieberegister IC14 aktiviert.

Das MDO100 wird mit Hilfe von sieben Tastern und einem Inkrementalgeber mit zusätzlicher Tasterfunktion bedient, die vom Mikrocontroller im Multiplexverfahren abgefragt werden. Die Dioden D11 und D12 dienen dabei zur Entkopplung. Diese Art der Anbindung in zwei Gruppen zu je 4 Tastern spart I/O-Pins am Controller.

Die Anbindung des für die Einstellfunktionen vorhandenen Inkrementalgebers DR1 erfolgt über zwei

weitere I/O-Pins. An diesen beiden Pins entsteht durch die Drehung des Inkrementalgebers jeweils ein Rechtecksignal und aus der Lage der beiden Signale zueinander wird dann die Drehrichtung bestimmt. Bild 6 zeigt die Signalverläufe an den Portpins bei unterschiedlicher Drehrichtung.

Eine JTAG-Verbindung zum Mikrocontroller (ST2), die ausschließlich zum Programmieren und zum Debuggen während der Entwicklung diente, wird während des normalen Betriebs nicht benötigt. Der Steckverbinder ST2 ist daher auf der Leiterplatte nicht bestückt. Alle weiteren Kondensatoren innerhalb des Schaltbildes dienen zur Störunterdrückung.

In Bild 7 ist die recht einfache Spannungsversorgung des MDO100 zu sehen. Zum Betrieb ist eine Gleichspannung zwischen 7,5 V und 14 V erforderlich, die an die Netzteilbuchse BU2 anzuschließen ist. Über die Verpolungsschutzdiode D10 und die Sicherung SI1 gelangt die Spannung dann auf den Pufferelko C22 und die Eingänge der Spannungsregler IC11 und IC12. Am Ausgang von IC11 steht 3,3 V zur Versorgung des Mikrocontrollers mit der zugehörigen Peripherie zur Verfügung und der Ausgang von IC12 versorgt direkt das Display und die Pegelwandler (IC3 und IC15) mit stabilisierten 5 V. Dabei dienen jeweils C19 und C25 zur Pufferung und C17, C18, C23 und C24 zur hochfrequenten Störunterdrückung.

Für den analogen Schaltungsteil wird eine Spannung von ± 5 V benötigt. Die positive Spannung liefert dabei der Spannungsregler IC12, wobei ein zusätzliches Siebglied (R58, C45) zur weiteren Störunterdrückung dient. Die negative Spannung liefert der Spannungswandler IC10, der vom Ausgang des Reglers IC12 gespeist wird. Das mit R59 und C44 aufgebaute Siebglied dient hier ebenfalls zur weiteren Störunterdrückung.

Im nächsten Teil zeigen wir den Nachbau des Mini-Digital-Speicheroszilloskops MDO100.