



Ralph Berres, DF 6 WU und Dieter Barth

Neuer Frequenzzähler für einen älteren Spektrumanalysator

Ältere Spektrumanalysatoren, welche noch keinen Mikroprozessor zur Bedienung verwenden, haben in der Regel eine Frequenzanzeige, die die Abstimmspannung des ersten Oszillators lediglich mit Hilfe eines Digitalvoltmetermoduls anzeigen.

1. Einführung

Bei meinem Spektrumanalysator vom Typ TAKETA RIKEN TR4111A lag die Abweichung von der angezeigten zur tatsächlichen Frequenz bei bis zu 7 MHz (**Bild 1**). Zufällig suchte Dieter aus Bonn für seinen SWOB5 ebenfalls einen Frequenzzähler, somit hatte ich einen Weggefährten für dieses Projekt.

1.1. Pflichtenheft

Gemeinsam machten wir uns ans Werk, wobei folgende Anforderungen festgelegt wurden:

1. Das neue Modul soll anstelle des bisherigen DVM-Moduls eingefügt werden.
2. Es soll die Frequenzen sämtlicher relevanter Oszillatoren erfassen.
3. Es soll die Frequenz, je nach Schalterstellung am Bildanfang oder -mitte messen.
4. Es soll anzeigen, ob eine interne oder eine externe Referenzfrequenz anliegt und den Zustand des Quarzofens überwachen.
5. Die Auflösung und damit die Torzeit soll sich dem Span anpassen und im Bereich von 100 Hz bis 100 kHz liegen.
6. Es soll eine Möglichkeit besitzen, eine eventuelle Abweichung der letzten ZF von seinem Sollwert als Kalibrierkonstante zu erfassen, abzuspeichern und zukünftig zu berücksichtigen.
7. Die Stellungen der beiden Potis „Frequenz grob“ und „Frequenz fein“ sollen erfasst werden, um bei Betätigung der Potis eine Frequenzänderung voraussagen zu können, bis eine aktuelle Messung vorliegt. Das ist besonders bei kleinen „Spans“ von Vorteil, wenn ein

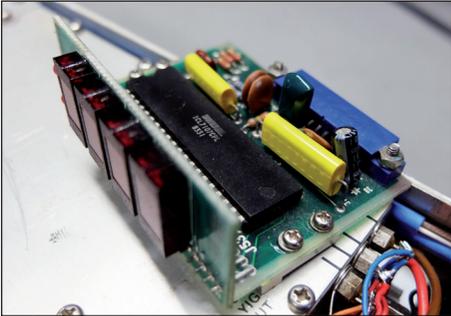


Bild 1: Das alte Original-Anzeigemodul

Scandurchlauf sehr lange (bis zu 100 Sekunden) dauert und in dieser Zeit keine Frequenzmessung erfolgen kann.

8. Das Display soll den vorhandenen Ausschnitt der alten Anzeige optimal ausfüllen.

1.2. Umsetzung

Zunächst sollte die Sache ganz einfach mit einem ATMEGA16 und ein wenig externer Hardware gelöst werden. Die komplette Software musste geschrieben und die Platinenlayouts mit der Software EAGLE erstellt werden. Als erstes wurde ein Lochrasterplatten-Aufbau 1:1 gemacht, welcher bei den beengten Platzverhältnissen als Vorlage für den Entwurf der Leiterplatten diente (Bilder 2 und 3).

2. Vorversuche

Die erste Idee war ein Geradeauszähler mit einem LS7060. Dies ist ein kompletter 32 Bit-Zähler, welcher das Ergebnis als 4 mal 8 bit breite Wörter nacheinander auslesen kann. Während der Messung wird der Sweep angehalten.

Erster Versuch:

Es sollte ein Geradeauszähler werden, dessen Torzeiten von den internen Zählern des ATMEGA16 stammen. Die Schaltung wurde aufgebaut und ein Programm in ATMEL-Basic (Bascom) geschrieben. Leider zeigte sich, dass die gezählten Ergebnisse instabil und mehr oder weniger zufällig waren. Offensichtlich waren die Torzeiten, die der Prozessor mit Hilfe seiner internen Zähler erzeugt hatte, nicht stabil.

Zweiter Versuch:

Um die Probleme mit der ungenauen Torzeit zu umgehen, wurde ein Reziprozähler mit zwei LS7060-Bausteinen verwirklicht. Hier stellte sich schnell heraus, dass die Stabilität der Anzeige nur mit Hilfe von Fließkomma zu erreichen war. Bei

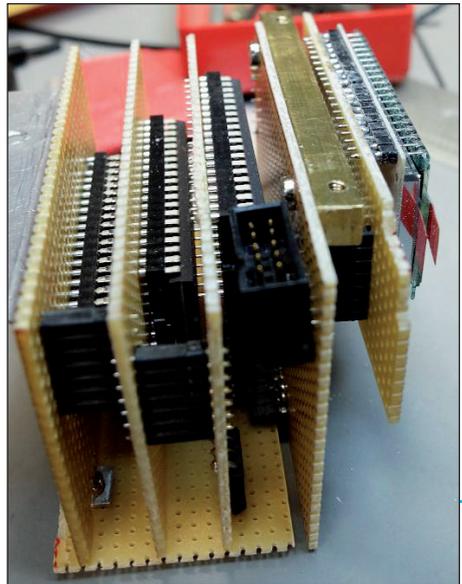


Bild 2: Das komplette Platinen-Dummy von der Seite gesehen



Bild 3: Das eingebaute Dummy von oben

20 Messungen pro Sekunde stellte sich das als Problem heraus, genau so, wie die Vorgabe der Interrupts, die die Messung auslösen sollten.

Dritter Versuch:

Weil die Ablaufsteuerung mit dem Prozessor nicht zu bewerkstelligen war, sollte diese nun hardwaremäßig aufgebaut werden. Sie steuert die Torzeit, die Speicher sowie Resetimpulse. Das Steckbrett wurde immer voller. Weil ein Reziprozähler hier keinen wirklichen Vorteil mehr bot, wurde es wieder ein Geradeauszähler. Dieser lieferte als erster Aufbau zuverlässige Messergebnisse, wenn auch zunächst nur mit einem Zähler.

Vierter Versuch:

Es sollten 1. und 3. Oszillator nacheinander gemessen und mit einem Multiplexer ausgewählt werden. Das Übersprechen und vor allem die Kurzzeitstabilität waren nicht zufriedenstellend.

Fünfter Versuch:

Nun waren es zwei Zähler (mit LS7060), die gemeinsam gestartet und gestoppt wurden. Die Ergebnisse wurden nacheinander eingesammelt und miteinander verrechnet.

Dieser Versuch lieferte beim Musteraufbau verlässliche und stabile Messergebnisse. Die Frequenzen stammten aus zwei synchronisierten DDS-Synthesizern, die auch der Frequenzzähler selbst nutzt. Dagegen zeigte sich schnell, dass die heruntergeteilten Frequenzen der Lokaloszillatoren des Spektrumanalysators nicht langzeitstabil genug waren. Ein Fehler von mehreren hundert Hertz in der Anzeige war die Folge, der nach jedem Neustart etwas anders war.

Sechster Versuch:

Jetzt wurde für jeden Oszillator ein Frequenzzähler aufgebaut. Wegen der vielen benötigten Ports war jetzt ein ATMEGA64

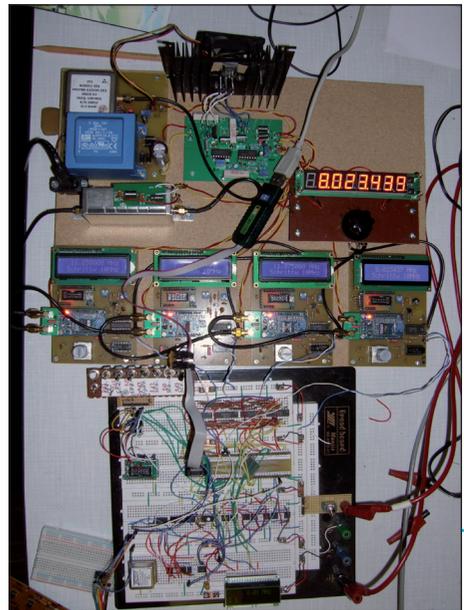


Bild 4: Der Steckbrettaufbau der endgültigen Version



Bild 5: Das Display vom Steckbrett

notwendig (**Bilder 4 und 5**). Hiermit waren auch aus dem Spektrumanalysator stabile und reproduzierbare Ergebnisse zu gewinnen. Doch zeigte sich, dass die letzte ZF von 3,3 MHz um etwa 33333 Hz daneben lag.

Siebter Versuch:

Eine Kalibrierfunktion wurde noch implementiert, welche die Abweichung der ZF feststellt und als Korrekturwert in einem EPROM abspeichert.

Nun wurden die Leiterplatten (doppelseitig und durchkontaktiert) entworfen und angefertigt (**Bilder 6 und 7**).

Die Software musste noch um die Abfrage der beiden Frequenzeinstellpotentio-

meter und die Erweiterung des Kalibriermenüs für die ADCs erweitert werden.

3. Beschreibung der Baugruppen

Das Zähler-Modul besteht im wesentlichen aus sechs Leiterplatten für den eigentlichen Zähler, den Referenzfrequenz-Oszillator, sowie vier Frequenzteiler.

3.1. Die Frequenzteiler

Sie teilen die zu messenden Frequenzen unter 20 MHz:

1. Oszillator 2 bis 4 GHz - :256
2. Oszillator 1,52 GHz - :128
3. Oszillator 504 bis 506 MHz - :64
4. Oszillator 33,3 MHz - :2

Über eine dreipolige Stiftleiste werden sie mit +5 Volt versorgt und liefern an die Zählerbaugruppe Platine 3 die geteilte Frequenz als TTL-Pegel.

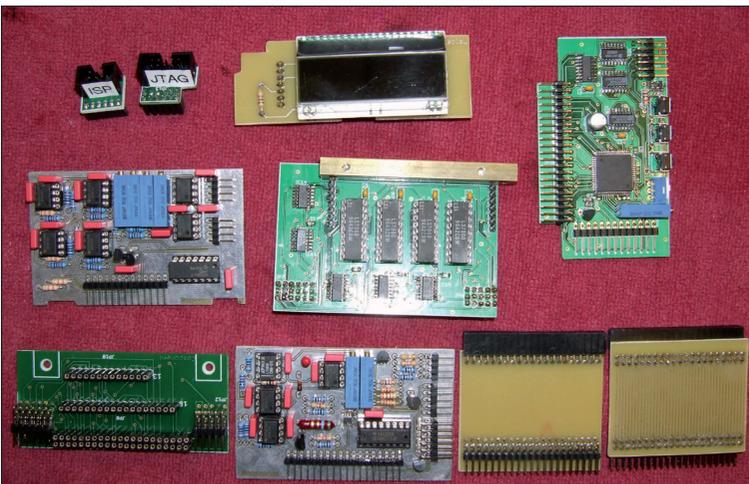


Bild 6:
Alle bestückten
Leiterplatten

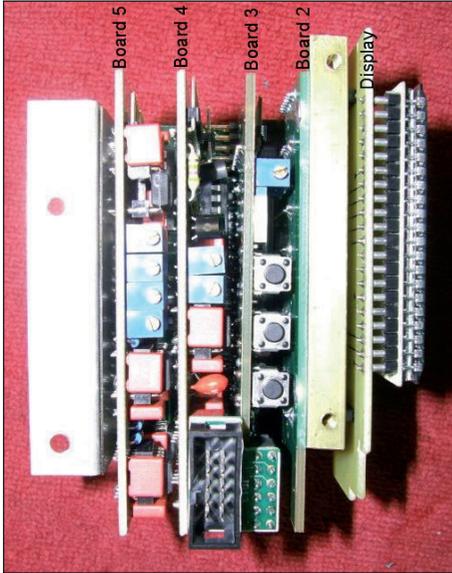


Bild 7: Das komplette Zähler-Modul

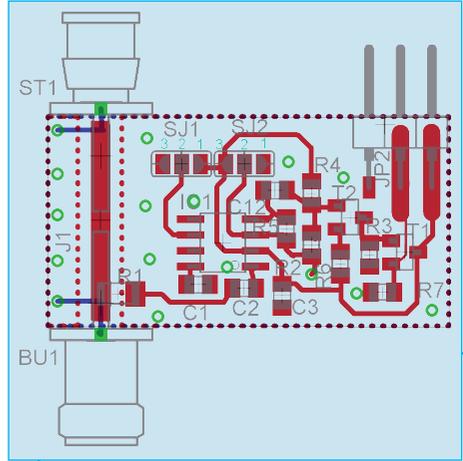


Bild 8: Teiler 2 bis 4 GHz

Teiler 1 und 2 arbeiten mit einem UPB1505 mit einstellbarem Teilverhältnis (**Bilder 8 und 9**). Teiler 3 ist mit einem SDA4212 oder ähnlich bestückt (**Bilder 10 und 11**). Teiler 4 arbeitet mit einem 74AC74 TTL (**Bilder 12 und 13**).

3.2. Der Referenzoszillator

Diese Baugruppe beinhaltet den 10 MHz-Quarzfrequenzoszillator mit einem TTL-Monoflop 74LS122 und einem Umschaltrelais. Dieses schaltet zwischen externem 10 MHz-Takt und internem Quarz-Ofentakt um (**Bild 14**).

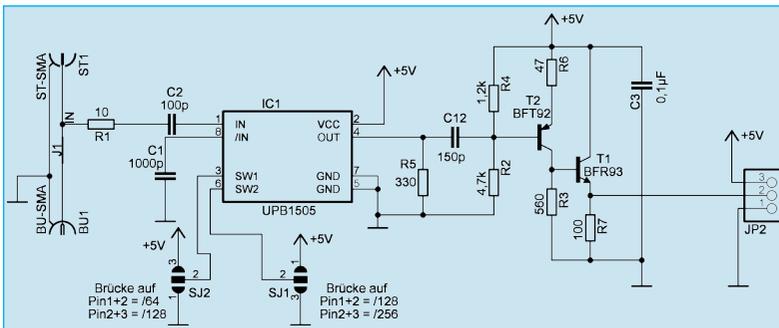


Bild 9: Das Schaltbild des Frequenzteilers 2 - 4 GHz

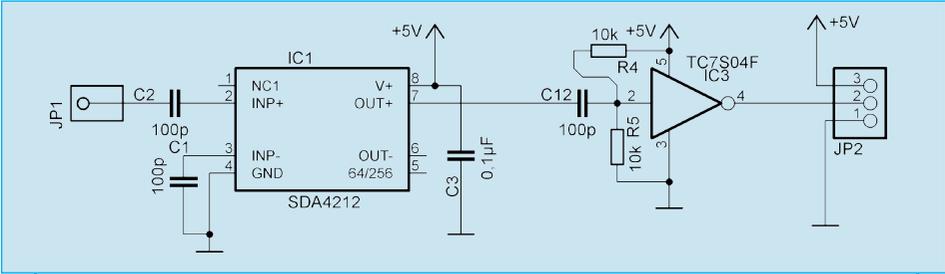


Bild 10: Das Schaltbild des 504 MHz-Teilers

Liegt ein externer Takt an, so triggert das Monoflop, betätigt das Relais und gibt ein TTL-Signal an die Mikroprozessorbau- gruppe weiter; in der Anzeige erscheint „ext“. Das externe Signal wird auf TTL-Pe- gel verstärkt und steuert damit auch den Takteingang des Monoflops.

Die Baugruppe auf einer doppelseitigen Platine (Bild 15) wird mittels Stiftleiste (5-polig) und vieradrigem abgeschirm- tem Kabel mit der Zählerbaugruppe (Pla- tine 4) verbunden.

4. Mikrocontroller- baugruppe

Diese besteht aus 4 Platinen, auf

die Busplatine aufgesteckt, und vorne noch der Display-Platine, Platine 1 (Bilder 16 und 17).

Platine 2: Zähler und Ablaufsteuerung, auf Stirnseite der Busplatine aufgesteckt (Bilder 18 bis 21).

Platine 3: Mikrocontroller, Torzeitauswahl, Entgegennahme der Signale Span 1-5, Be- reich 1-3. An der seitlichen Steckerleiste werden Scanstop-Signal, externer Program- mieranschluss und externe Schalter bzw. Taster angeschlossen (Bilder 22 und 23).

Platine 4: Detektierung des Quarzofen- stromes, Triggerimpulserzeugung aus

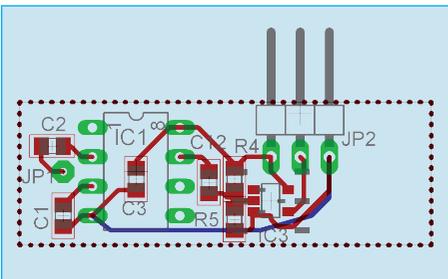


Bild 11: Der 504 MHz-Teiler

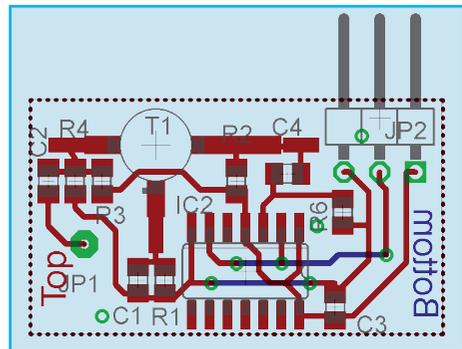


Bild 12: Teiler 33,3 MHz

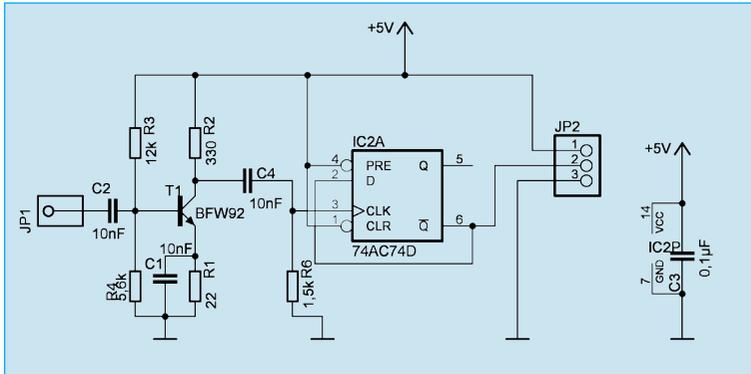


Bild 13:
Teiler 33,3 MHz

der Ablenksägezahnspannung, Umschaltung des Triggerpunktes auf der X-Achse „Mitte“ oder „Links“:

Erzeugung der Referenzspannungen für Triggerpunktgenerator und AD-Wandler.

Abschalten der Betriebsspannung des 2. Oszillators im Messbereich 1,5 bis 3,5 GHz und 2,5 bis 4,5 GHz.

Entgegennahme der vier Oszillatorsignale, des Referenzoszillatorsignales, Säge-

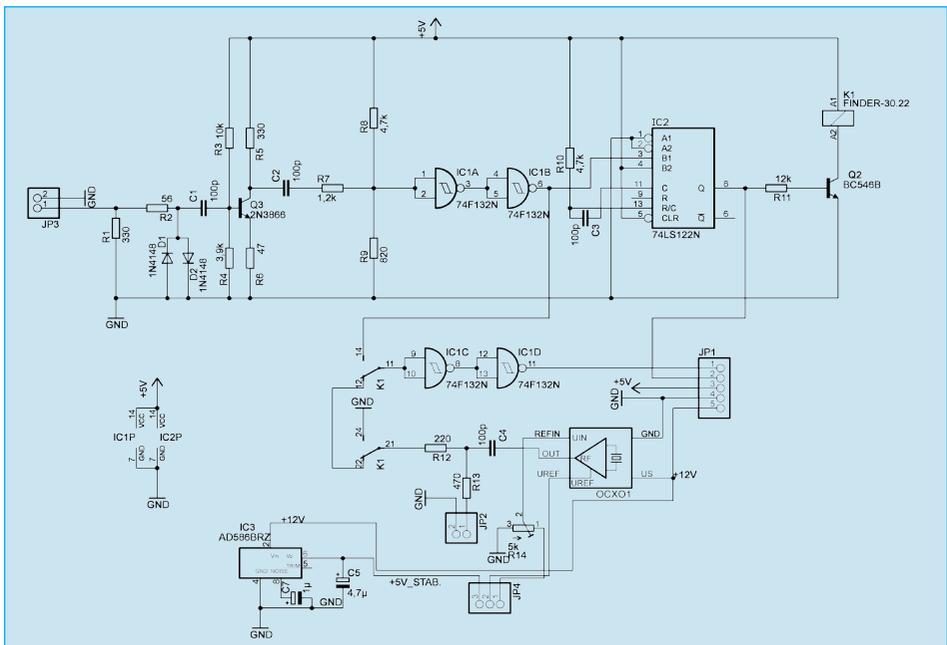


Bild 14: Das Schaltbild des 10 MHz-Referenzoszillators mit OCXO

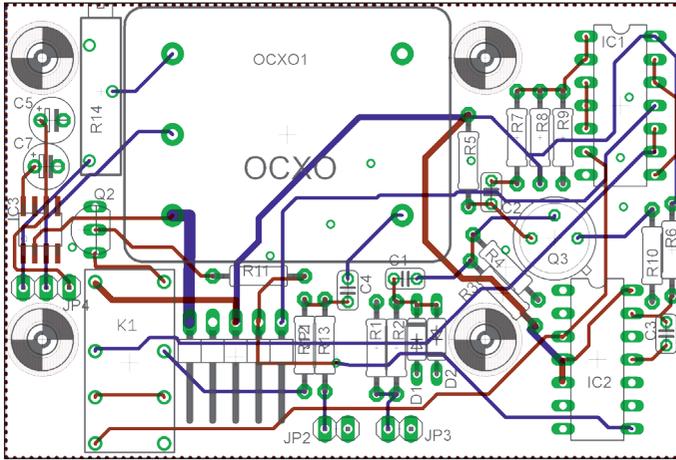


Bild 15:
Die Leiterplatte
des 10 MHz-
Referenz-
oszillators

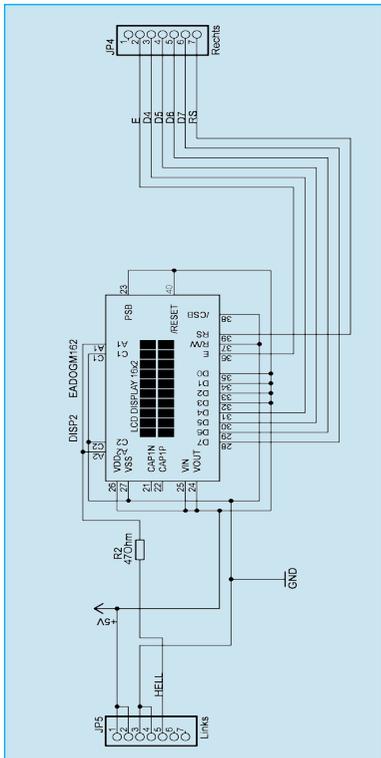


Bild 16: Schaltbild Display-Baugruppe 1

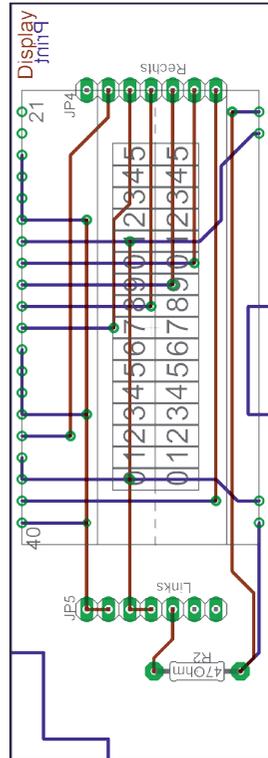


Bild 17: Leiterplatte Display-Baugruppe 1

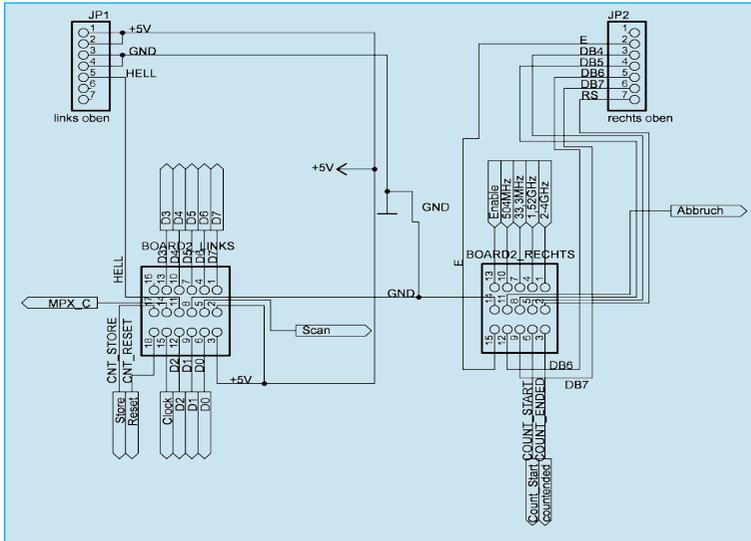


Bild 18:
Schaltbild
Steckverbinder-
Baugruppe 2,
Ablaufsteuer-
ung und Zähler

zahnsignals und Schaltersignales „Center“ an der rechten Seite der Platine.

Weiterleitung an die entsprechenden Baugruppen. Das war wegen der vielen

benötigten seitlichen Anschlüsse notwendig (**Bilder 24 und 25**).

Platine 5 ist die Analogbaugruppe: Hier sitzt der Analog/Digitalwandler mit sei-

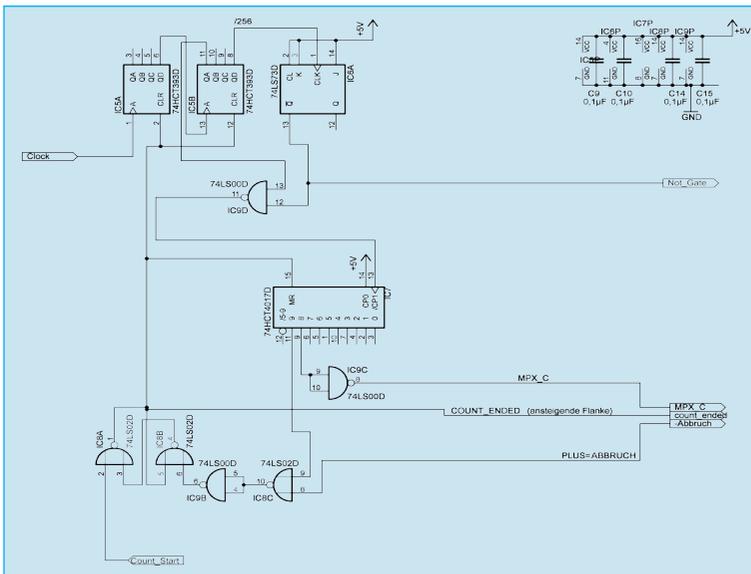


Bild 19:
Schaltbild
der Ablauf-
steuerung,
Baugruppe 2

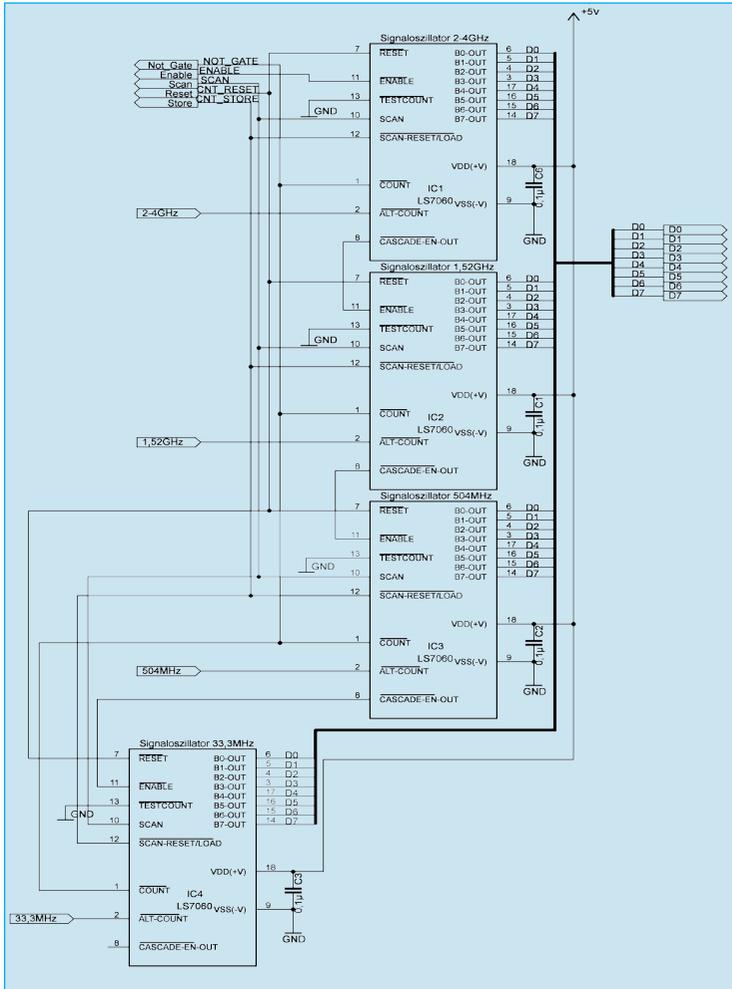


Bild 20:
Zählerschaltbild

nen Operationsverstärkern an den Eingängen zur Abfrage der beiden Potentiometer „Frequenz grob“ und „Frequenz fein“.

Seitliche Anschlüsse für Potentiometer und Betriebsspannungen (Bild 26 und 27).

Die Platinen 3 bis 5 haben den Anschluss zur Busplatine.

Platine 6 ist die Busplatine, die außer den Steckerleisten keine Bauteile enthält (Bild 28 und 29).

5. Beschreibung des Programmablaufs

Das Hauptprogramm mit einer ganzen Reihe Unterprogrammen, sowie

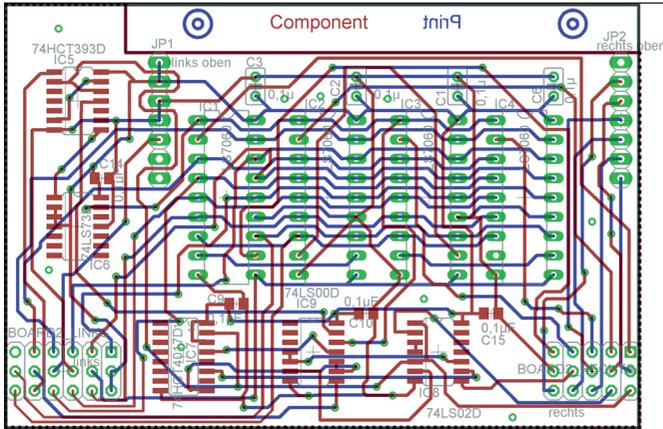


Bild 21:
Leiterplatte der
Baugruppe 2:
Ablaufsteuerung
und Zähler

zwei Hardware-Interruptprogrammen ist im Ablaufdiagramm (**Bild 30**) dargestellt.

Beim Programmstart werden die Variablen definiert, die Ports festgelegt und kurz ein Logo angezeigt. Das eigentliche Hauptprogramm läuft mit maximaler Geschwindigkeit in einer Schleife. Es werden der Bereich und der eingestellte Span abgefragt und daraus die Torzeit festgelegt, die vier Stufen von 2,56 ms bis 2,56 s hat. Die Zuordnung der Spanbereiche zu den

Torzeiten und welche Auflösung im Spektrumanalysator eingestellt wurde ist in der Exceltabelle **Bild 35** gegenübergestellt.

Die Stelle auf der horizontalen Achse, bei welcher die Frequenzmessung erfolgt wird hardwaremäßig auf Board 4 festgelegt. Dazu wird der Schalter „Rechts Center“ abgefragt. Diese Information wird auch dem Mikrocontroller mitgeteilt damit sie im Display erscheinen kann. Wenn der Ablenssägezahn die Spannung wel-

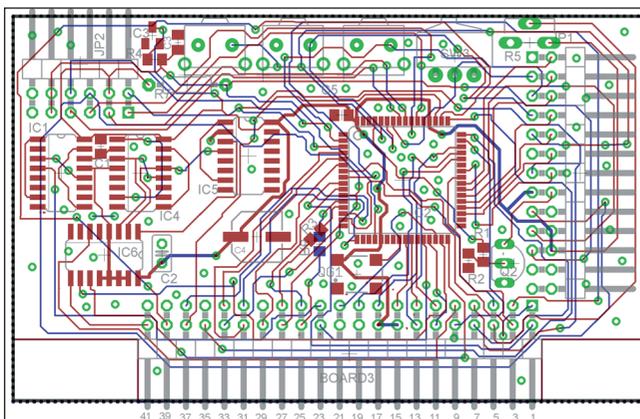


Bild 22:
Layout der
Microcontroller
Baugruppe 3

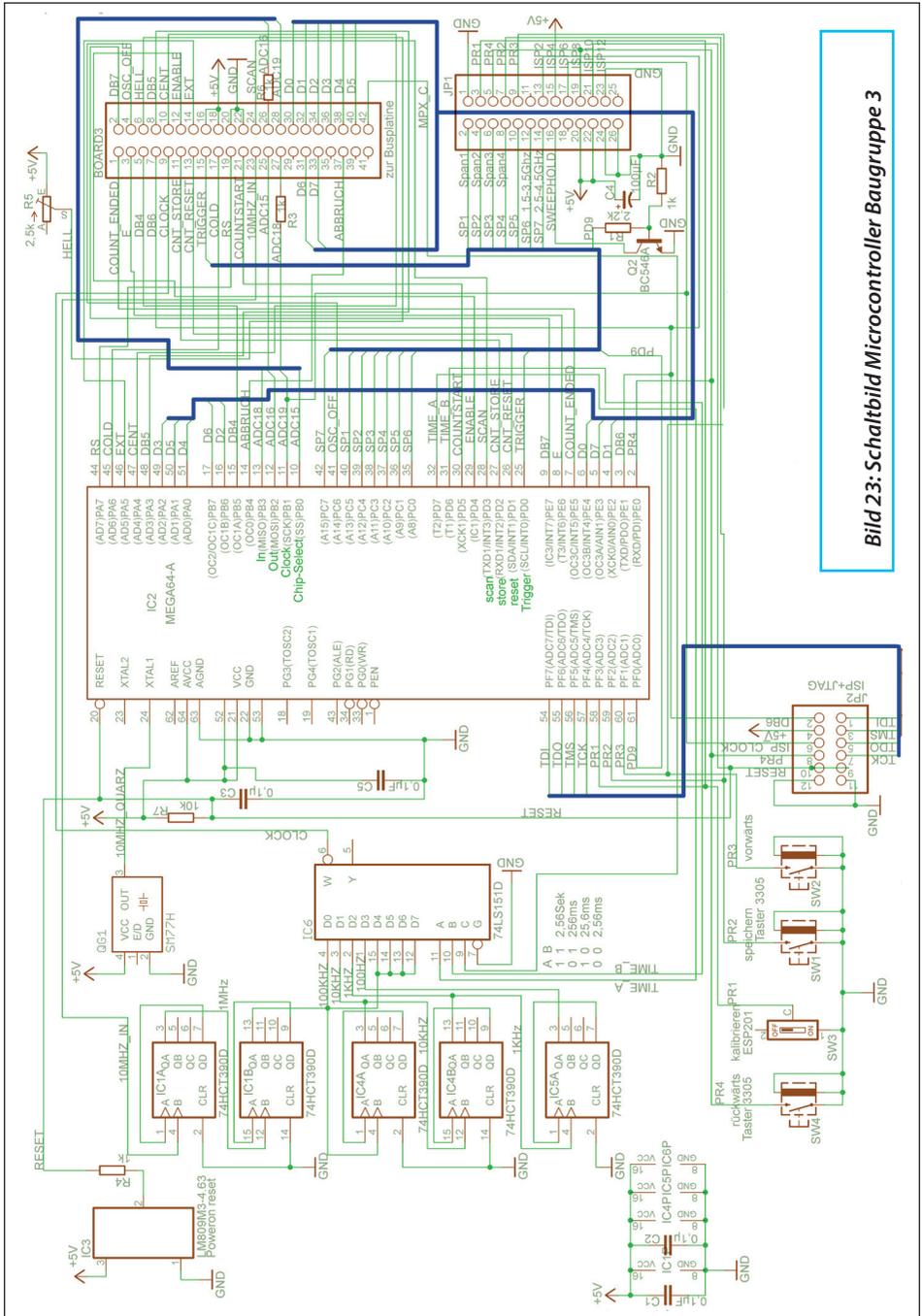


Bild 23: Schaltbild Microcontroller Baugruppe 3

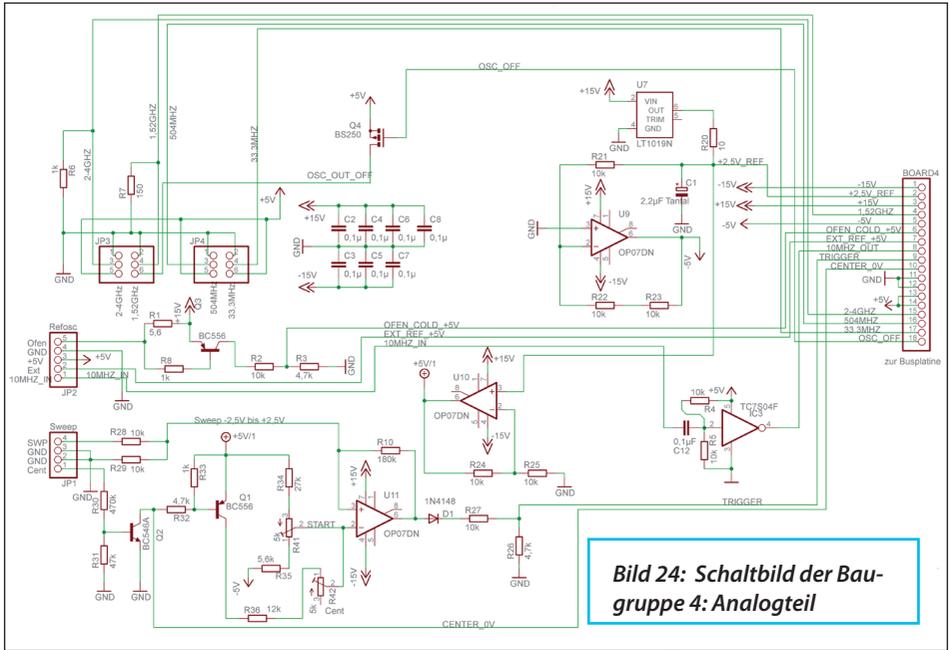


Bild 24: Schaltbild der Baugruppe 4: Analogteil

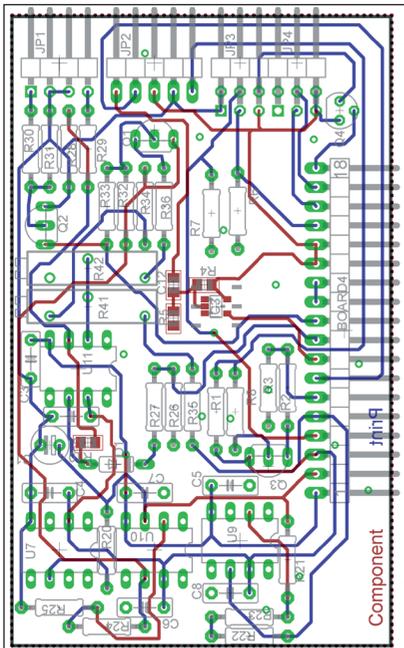
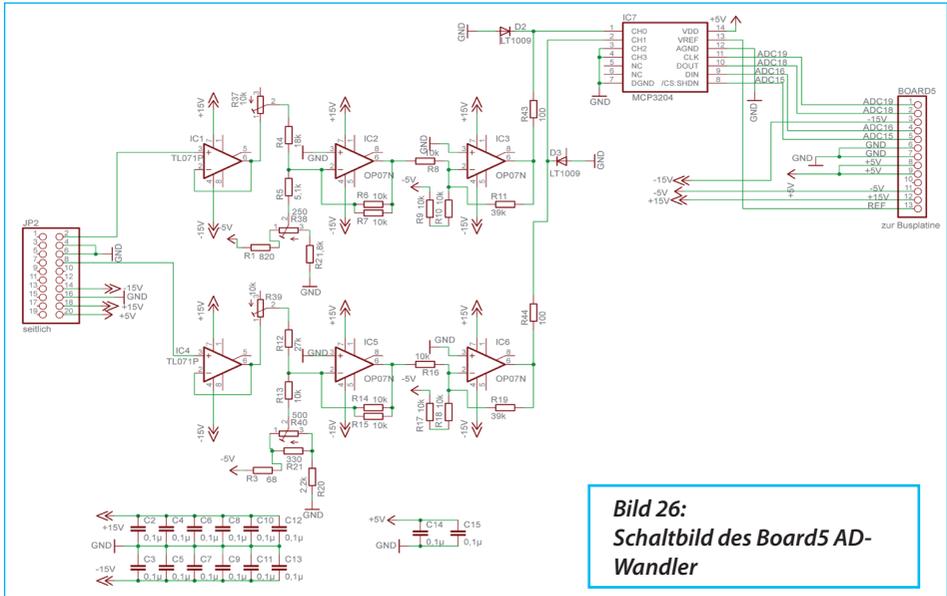


Bild 25: Das Layout der Baugruppe 4

che durch den „Links-Center“-Schalter vorgegeben ist, erreicht hat, wird der Interrupt 0 am Prozessor ausgelöst.

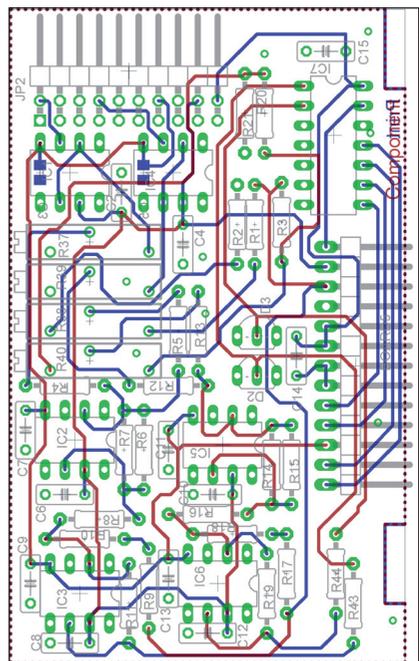
Danach wird zuerst der Ablenksägezahn angehalten und dann der Ablaufzähler auf Board 2 gestartet. Dieser öffnet das Tor des Zählers für die vorgegebene Zeit. Danach wird der Ablaufzähler auf 2,56 ms geschaltet und in der Zeit wird nacheinander das gezählte Ergebnis in der LS760-Zählkette gespeichert und die Zählerkette danach zurückgesetzt. Anschließend wird Interrupt5 ausgelöst, der den Zähler wieder anhält und den Ablenksägezahn frei gibt. Aus der Interrupt5-Routine wird dann das Auslesen der vier Zähler veranlasst und die Ergebnisse in den Variablen „Osz1“ bis „Osz4“ abgespeichert. Als nächstes werden in der Subroutine „Addition“ die Ergebnisse der 4



Oszillatoren miteinander verrechnet und in der Subroutine „MHZ“ so formatiert, dass in der Anzeige das Ergebnis in MHz angezeigt wird.

Das Programm ist vollständig in „Atmelbasic“ geschrieben und kann bei Interesse bei [5] angefordert werden. In dem Programm ist weiterhin eine Routine implementiert, welche die beiden Potentiometer „Frequenz grob“ und „Frequenz fein“ abfragt.

Der AD-Wandler ist ein 12 Bit-ADC, welcher über einen SPI-Bus an den Prozessor angebunden ist; er sitzt auf Platine 5. Das Programm stellt fest, ob sich der Wert von einem der beiden AD-Wandler um mehr als 2 Digit geändert hat. In diesen Falle wird, ausgehend von der letzten gemessenen Frequenz, abgeschätzt, wie hoch bei gegebener ADC-Wert-Änderung die geschätzte Frequenz sein wird



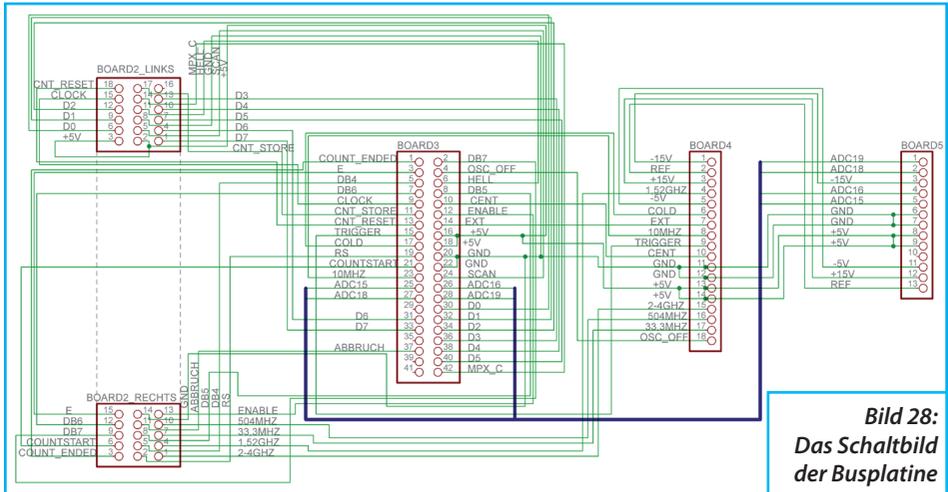


Bild 28:
Das Schaltbild
der Busplatine

und im Display mit einem Fragezeichen am Ende versehen angezeigt. Dies passiert in „quasi Echtzeit“. Bei einer neuen Frequenzmessung wird diese durch den tatsächlichen Wert überschrieben.

Der Vorteil ist, dass man auch bei langen Spanzeiten sieht, wohin sich die Frequenz im etwa bewegt, wenn man an den Frequenzeinstellern dreht. Ansonsten würde man immer warten müssen bis eine Messung erfolgt ist und bis dahin einen „Blindflug“ machen.

In dem Programm ist auch eine Kalibrieroutine implementiert **Bild 32**. Dieses Unterprogramm ist Menü-geführt und bietet folgende Möglichkeiten:

ZF-Cal

Feststellen und Berücksichtigen einer von dem Sollwert abweichenden ZF. Dieser Korrekturwert wird ins EEprom gespeichert und in der Additionsroutine bei der die vier Oszillatorfrequenzen verrechnet werden berücksichtigt.

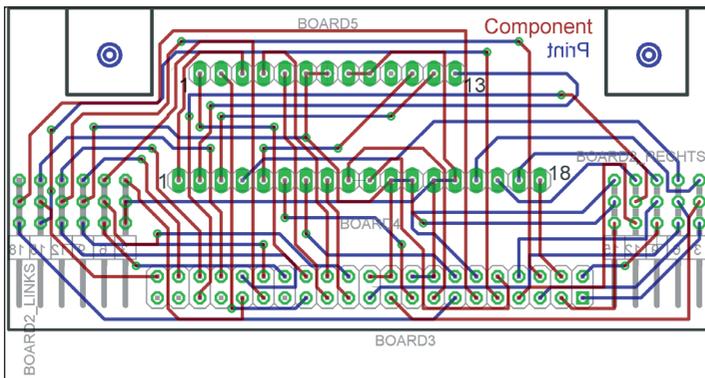


Bild 29:
Das Layout der
Busplatine

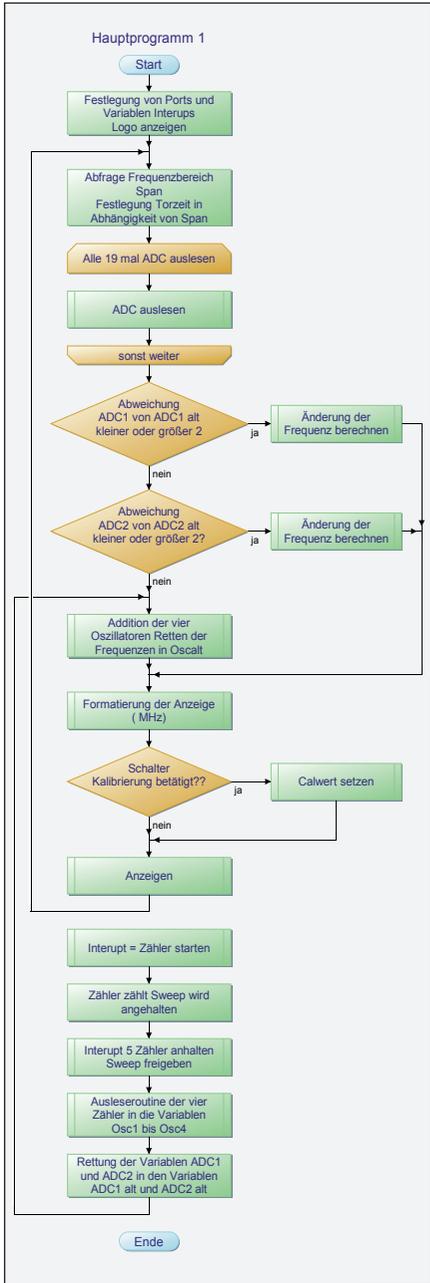


Bild 30: Ablaufdiagramm des Hauptprogrammes

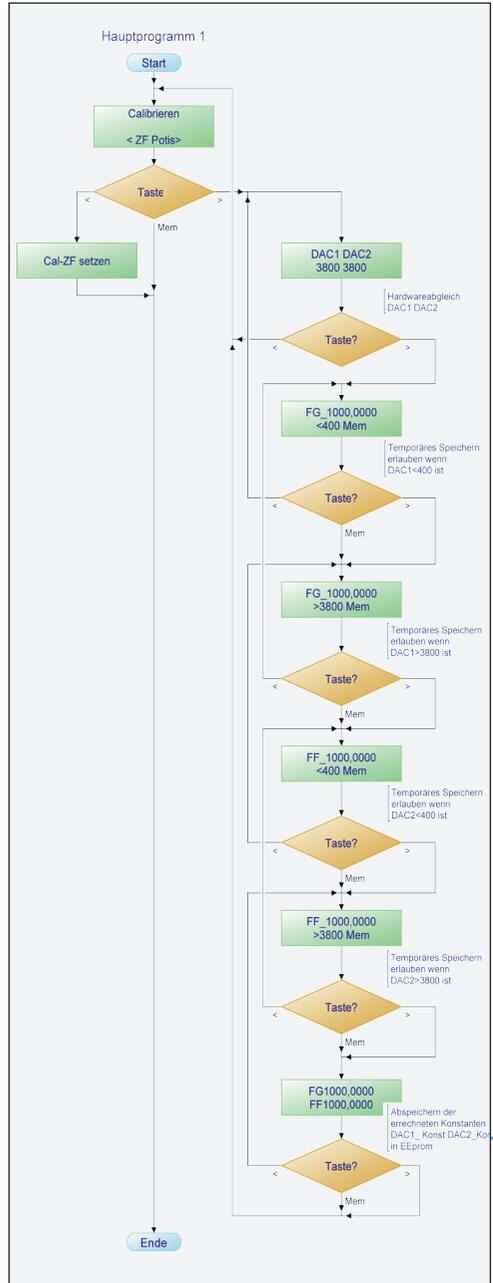


Bild 31: Ablaufdiagramm des Kalibrierprogrammes



Bild 33:
Spektrumanalysator
von Vorne
mit neuem
Display

(100 kHz bis 100 Hz). In der unteren Zeile steht links, ob der interne Quarzofen warm ist oder heizt. In der Mitte der unteren Zeile steht, ob sich der Messpunkt in der Mitte des Bildschirms oder links am Bildschirm befindet. Rechts in der unteren Zeile wird angezeigt, ob der interne Oszillator oder ein externer Oszillator als Referenzfrequenz verwendet wird.

Die genauen Positionen für die Messung auf der horizontalen Achse lassen sich mit zwei Spindeltrimmern auf Board 4 einstellen.

Auf Board 4 wird durch die Messung des Stromes die Information gewonnen, ob der Quarzofen kalt (ca. 400 mA) oder

warm (etwa 120 mA) ist und dem Prozessor mitgeteilt.

6. Einbau ins Gerät

Zum Einbau des Frequenzzählers muss die komplette Fronteinheit des TAKETA Riken 4111A ausgebaut werden (**Bild 33**).

Die Vorteile wurden an den Stellen platziert, an denen die Frequenzen greifbar sind. Sie sind entsprechend mit SMA- bzw. SMB-Steckverbindern ausgestattet und können somit direkt an den entsprechenden Baugruppen angeschlossen werden. Der Quarzofen befindet sich aus Platzgründen an der Rückseite des Gerätes.

Eine zusätzliche Bedien- und Programmierschnittstelle befindet sich gut zugänglich an der Seite des Gerätes (**Bilder 36 und 37**).

7. Anpassung an einen anderen Spektrumanalysator

Wer diesen Frequenzzähler für einen anderen Spektrumanalysator verwenden will, muss ein paar Dinge beachten,



Bild 34:
504 MHz-
Teiler
eingebaut

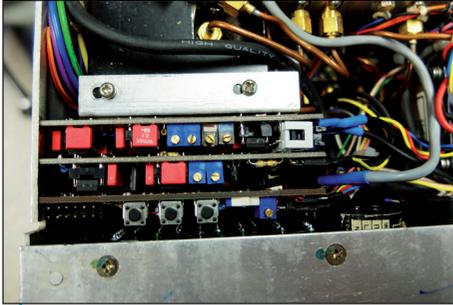


Bild 35: In den Spektrumanalysators eingebautes neues Frequenzzähler-Modul

auch wenn die Frequenzkonzepte anderer Spektrumanalysator ähnlich sein dürften.

Grundsätzlich ist dieses Konzept für alle Spektrumanalysatoren verwendbar, die die erste ZF in der Gegend von 2 GHz benutzen, also erster LO 2 bis 4 GHz. Der erste Teiler kann keine wesentlich höheren Frequenzen als 4,5 GHz teilen. Da alle vier Frequenzen gemessen werden, sollten zumindest im Basisband 0 bis 2 GHz keine Schwierigkeiten zu erwarten sein.

Der Spektrumanalysator muss die Information, welchen Span man gewählt hat als Binärcode zur Verfügung stellen. Sie-

he Exceltabelle Bereichswahl Bild 32. Die Zuordnung Span zu Ablaufgeschwindigkeit muss gegebenenfalls im BASIC-Programm angepasst werden.

Die Ablaufgeschwindigkeit bestimmt direkt eine der vier Torzeiten. Weiterhin wird eine Möglichkeit gefordert, den Ablenksägezahn anhalten zu können. Der entsprechende Anschluss wird vom Controller für diesen Zeitpunkt nach Masse gezogen.

Die Ablenksägezahnspannung kann man gegebenenfalls auf Board 4 anpassen. Die Potentiometerspannungen von den Einstellern „Frequenz grob“ und „fein“ werden hochohmig abgenommen. Hier müssen auf Board 5 vermutlich diverse Widerstände geändert werden, damit der volle Einstellbereich der Potis den ADC-Werten 40 bis 4040 entspricht.

Das BASIC-Programm hat einen Umfang von 19 Seiten und kann bei [5] bezogen werden. Bei Interesse an Leiterplattensätzen bitte ebenfalls bei [5] anfragen.

Hinweis: Die Leiterplatten sind, der Übersichtlichkeit halber, ohne eventuell durchgehende Masseflächen auf der Rückseite abgebildet.

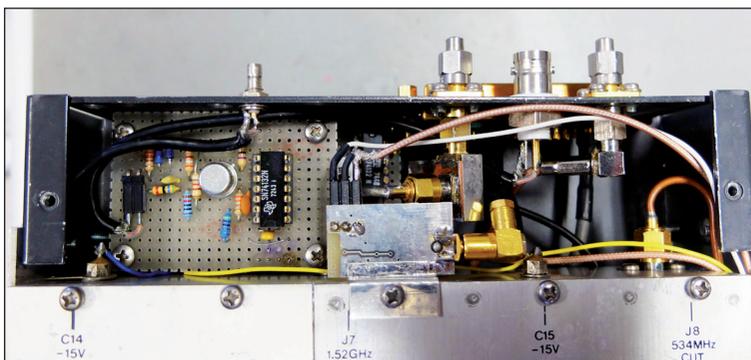


Bild 36: An der Rückwand sieht man den 10 MHz-Referenzoszillator und den 33,3 MHz-Teiler

8. Literatur

[1] <http://www.datasheetspdf.com/datasheet/search.php5?p?sWord=LS7060>

[2] https://4donline.ihs.com/images/VipMasterIC/IC/NECE/NECES00376/NECES00376-1.pdf?hkey=EF798316E3902B6ED9A73243A3159BB0_upb1505

[3] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/21298c.pdf>
MCP3204

[4] http://pdf.datasheetcatalog.com/datasheets/208/440356_DS.pdf SDA4212

[5] Kontakt zum Autor Ralph Berres:
R-Berres@arcor.de

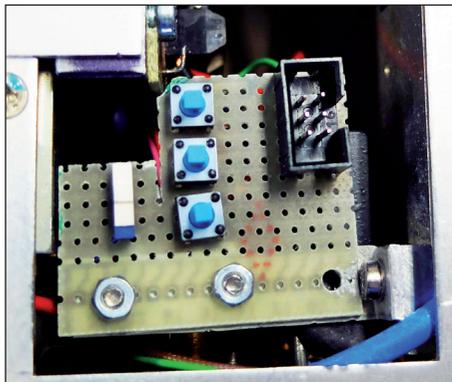


Bild 37: Programmieranschluss und Taster für Kalibrierung seitlich im Spektrumanalysator

Kontakt zum Autor Dieter Barth:
Ditt33@gmx.de

MASTGEHÄUSE

ANZEIGE



MGK, kleines Mastgehäuse

Wetterschutzhaube mit Alugrundplatte und Befestigungsteilen für Rundrohr bis 60 mm
B x H x T in mm: 95 x 54 x 65

Gewicht 340 g

Art.Nr. 10719

€ 19,-



MGS, mittleres Mastgehäuse

Kunststoff-Mastgehäuse mit Alugrundplatte und Befestigungsteilen für Antennen-Rohre bis D = 60 mm
B x H x T in mm: 115 x 56 x 82

Gewicht 380 g

Art.Nr. 10716

€ 21,40



MGB, großes Mastgehäuse

Großes Geräte-Mastgehäuse mit Alu-Montagewinkel, Krallenschellen verz. und U-Bügel, Edelstahl für Rohre D = 60 mm

B x H x T in mm: 145 x 70 x 98 Gewicht 420 g

Art.Nr. 10718

€ 34,40