

Ein Transceiver für den Mountain Day

Ein Baubericht zum Anregen und Abschrecken

HB9ABO

Der USKA-Wettbewerb National Mountain Day (NMD) erfordert eine batteriebetriebene Station, mit der während 4 Stunden Telegraphieverkehr abgewickelt werden kann. Das Höchstgewicht der gesamten Stationsausrüstung (TX, RX, Batterie, Antenne, Kabel, Hörer, Taster, Abspanschnüre etc.) beträgt 6 kg. Diese Gewichtslimite wurde in den 50-er Jahren festgelegt; sie stellt heute keine technische Herausforderung mehr dar; es ist problemlos möglich, mit kommerziellen Geräten am NMD teilzunehmen. Im Laufe der Jahre haben verschiedene Amateure immer wieder bewiesen, dass Selbstbaustationen mit bedeutend weniger Gewicht möglich sind. So unter anderen:

1979: HB9RM 459 g, (Sieger: HB9ZN 1900 g);

1980: HB9BKT/ABO 300 g, HB9BQA 386 g, HB9IK 1100 g;

1998: HB9BXE 125 g!, HB9BCB 795 g

Der hier beschriebene Transceiver hatte denn auch den Zweck, das Stationsgewicht wesentlich zu verringern. Die Gewichtsreduktion sollte jedoch nur so weit gehen, dass keine Einbussen an Bedienungskomfort sowie TX- und RX-Leistung in Kauf genommen werden mussten. Das war nur dadurch möglich, dass das Gerät ausschliesslich für den NMD entwickelt und optimiert wurde. Kriterien, wie Nachbausicherheit, Kompaktheit, Vielseitigkeit wurden nicht berücksichtigt.

Diese Transceiverbeschreibung sollte daher unter diesen Gesichtspunkten betrachtet werden. Sie will Ideen und Denkanstösse geben, ist aber nicht als Bauanleitung gedacht.

Technische Daten:

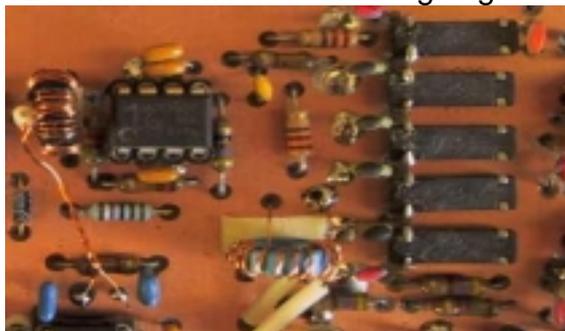
- Frequenzbereich (CW) 3500-3590 kHz
- Gesamtgewicht: 1670 g
- Transceiver 325 g
- Bedieneinheit mit Kopfhörer und Elbug-Paddel 230 g
- Lithium-Ionen-Akku 1.65 Ah, 14 V 215 g
- Antenne (2001) komplett: 900 g
- TX-Ausgangsleistung 6 ... 14 W (je nach Frequenz und Speisespannung)

Prinzipschaltung

Der Empfänger ist teilweise dem "micro LU" von HB9BXE [1] nachempfunden:

Ein Kleinrelais schaltet den Empfängereingang zur Antenne bzw. auf Masse. Nach etlichen erfolglosen Versuchen mit Diodenumschaltung bin ich auf diese altmodische Lösung gekommen, weil sie bei kleinstem Schaltungsaufwand am wenigsten Strom brauchte, und das RX-Signal nicht dämpfte.

Das Empfangssignal passiert zunächst ein dreistufiges 80-m-Bandfilter; ein SA612 als aktiver Mischer setzt es anschliessend auf die ZF von 8 MHz um. Die ZF-Vorstufe verstärkt das Signal um 15 dB, bevor es durch das 5-Pol-Quarzfilter geht. Messungen gemäss Rezept von W7ZOI an verschiedenen Quarztypen zeigten, dass ausgerechnet die billigsten und kleinsten (SMD-) Quarze am besten für das Filter geeignet waren! [2]



Nach dem Filter und dem ZF-Verstärker wird das Signal im Produkt-detektor in NF umgewandelt. Ein SL621 erzeugt aus dem NF-Signal die Regelspannung, die den ZF-Ver-

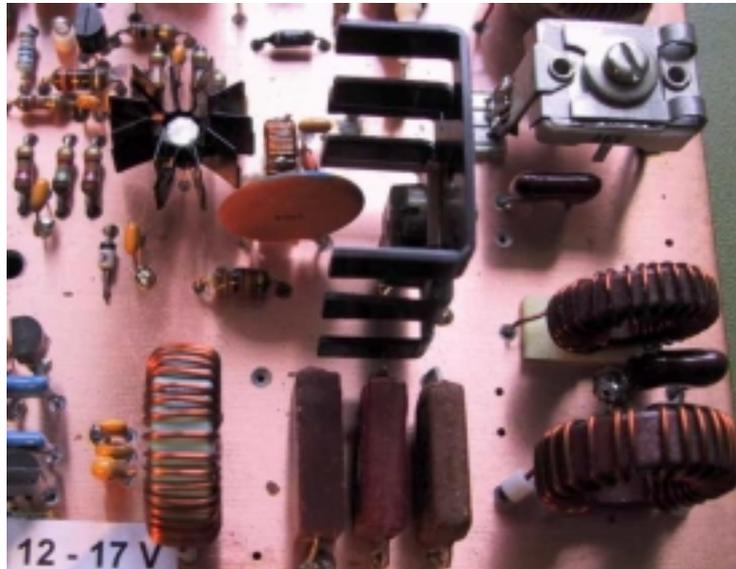
stärker MC1350 steuert. Vor dem Lautstärke-Potentiometer wird noch der Mithörton zugeführt. Dieser wird ebenfalls mit einem SA612 erzeugt, indem dieser den TX-BFO und den RX-BFO mischt. Dadurch ist gewährleistet, dass der Mithörton genau jene Tonhöhe hat, auf die ein Empfangssignal eingestellt werden muss, damit die eigene TX-Frequenz mit jener des Empfangssignals übereinstimmt. Diese Erzeugung des Mithörtons ist kaum aufwändiger als ein synthetischer Tongenerator.

Die Einsteller für die Empfindlichkeit und für die Lautstärke sind digitale "Potentiometer"-IC.

Sender:

Das TX-Signal entsteht im TX-Mischer, wo die VFO-Frequenz mit jener des TX-BFO-Quarzes gemischt wird. Getastet wird der TX-BFO, indem der Quarz gegen Masse kurzgeschlossen wird. Das Ein- und Ausschwingen dieser Schaltung ist absolut sauber und problemlos. Nach einem Bandpass wird das TX-Signal in zwei getasteten Stufen auf etwa 0,5 W angehoben.

Endstufe:

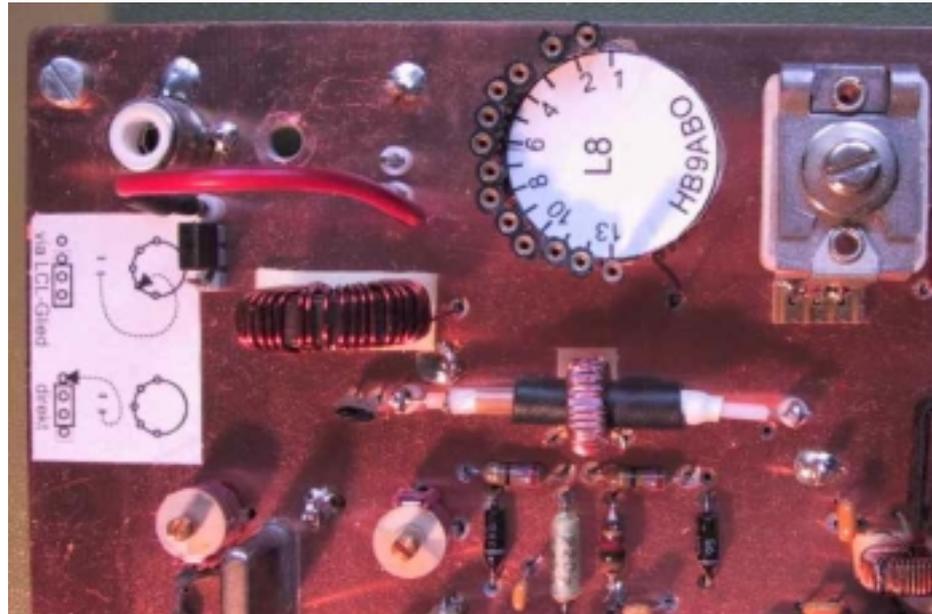


Ein billiger VMOS-Transistor IRF510 wird in einer Klasse-E-Schaltung betrieben. Beim Entwurf eines NMD-Senders müssen Batteriekapazität, Gewicht und Ausgangsleistung gegeneinander abgewogen werden. Eine Klasse-E-Endstufe mit ihrem sagenhaft hohen Wirkungsgrad drängte sich daher auf. Die Literatur nennt Wirkungsgrade um 90 Prozent. [3], [4] In meinen Versuchen bin ich auf 82 % gekommen, ein Wert, mit dem ich mehr als nur zufrieden sein konnte. Allerdings wies diese Schaltung gravierende Nachteile auf:

- Der gute Wirkungsgrad war auf einen Frequenzbereich von 5 bis 10 kHz beschränkt
- Die Schaltung war instabil
- Die Ausgangsleistung war entweder zu hoch für die Batteriekapazität, oder zu klein, um noch "bei den Leuten" zu sein

Nach längerem Experimentieren und vielen Messungen langte ich schliesslich bei einem Wirkungsgrad von 60 % an, einem Wert, der auch durch eine Klasse-C-Schaltung zu erreichen wäre. Er berücksichtigt jedoch ehrlicherweise auch die Eingangsleistung, die vom Treiber aufgebracht werden muss. (Diese ist in den Beschreibungen der Rekord-Wirkungsgrade jeweils nicht angegeben.) Mit diesem bescheidenen Wirkungsgrad ist meine PA nun über den ganzen Frequenzbereich stabil von 12 bis 17 V Speisespannung. Sie kommt mit zwei Induktivitäten und zwei Kapazitäten aus, die feste Werte haben und nicht abgestimmt werden müssen.

Nach der PA durchläuft das TX-Signal den Richtkoppler und gelangt dann über ein LCL-Glied auf den Antennenausgang.

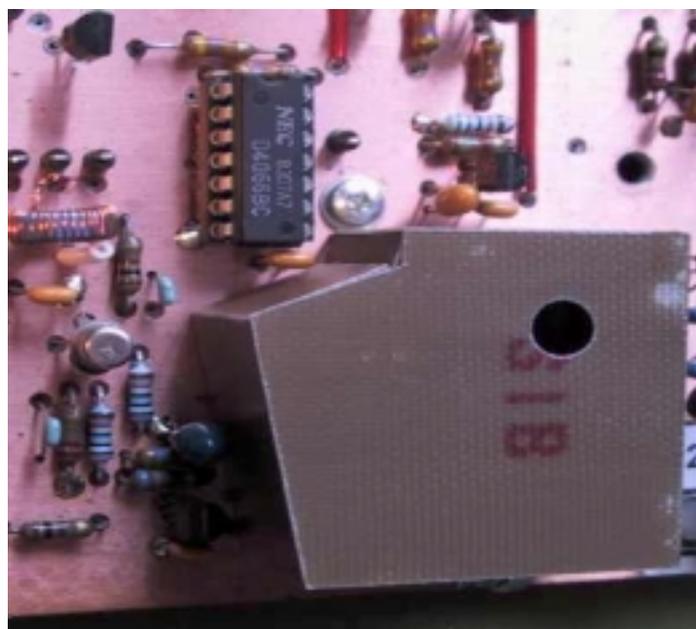


Dieses besteht aus einer Festspule, einem Quetschtrimmer und einer Spule mit 13 Abgriffen. Damit können reelle Lasten von 17 Ohm bis 150 Ohm an 50 Ohm angepasst werden. Diese Antennenabstimmung kann durch Steckbrücken wahlweise eingeschlaucht oder überbrückt werden.

VFO:

Der JFET-VFO wird über eine variable Spannung im Bereich von 4,4 bis 4,5 MHz abgestimmt. Diese Hartley-Schaltung hat sich als sehr stabil erwiesen, obwohl sie aus Gewichtsgründen unabgeschirmt auf der Platine in unmittelbarer Nähe der restlichen Schaltung angebracht ist.

Nach vielen problemlosen Test-QSO im Shack musste ich während des Contests zur Kenntnis nehmen, dass der VFO sehr empfindlich auf Zugluft reagiert. Ich montierte nachträglich aus 0,5-mm-Platinenmaterial eine Art "Schafstall" um den VFO und hoffe, dass das Problem damit vom Tisch sei.

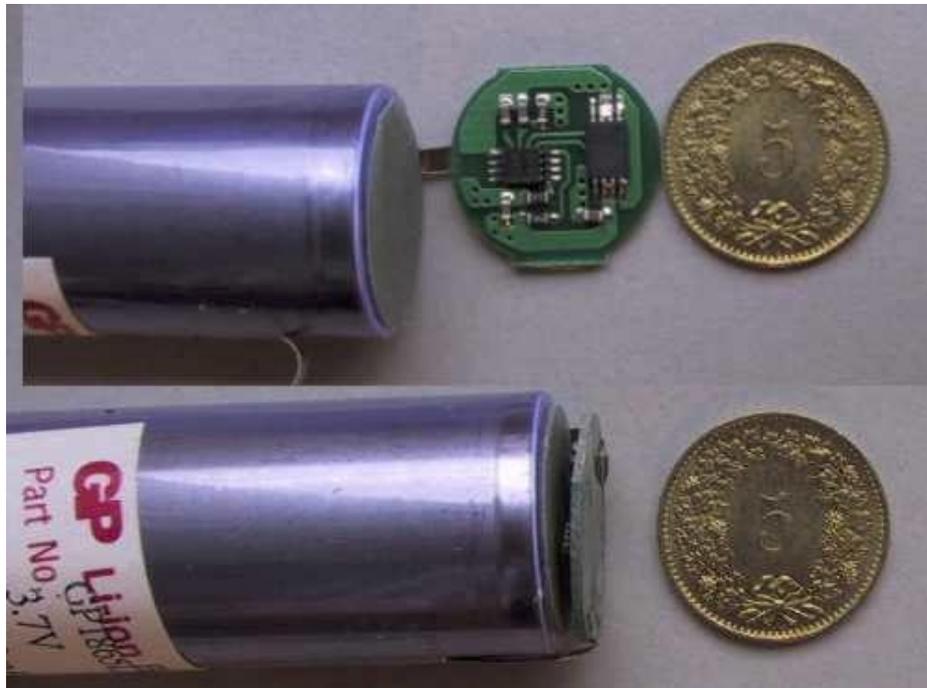


Steuerung:

Ein 8-bit-Prozessor PIC16C73 steuert den Transceiver. Er bezieht seine Taktfrequenz vom Empfangs-BFO, was allfällige Interferenzen mit diesem im vornherein ausschliesst. Der Prozessor erzeugt fünf zeitlich gegeneinander verschobene Tastsignale. Diese Zeitfolgetastung gewährleistet ein sauberes, klickfreies Telegrafieren bei vollem QSK. Der Prozessor enthält den Elbug, und er steuert die elektronischen Potentiometer und schaltet zwischen den beiden VFO-Abstimmspannungen um. Er erhält die Bedieneingaben vom Tastpaddel und von einer Folientastatur.

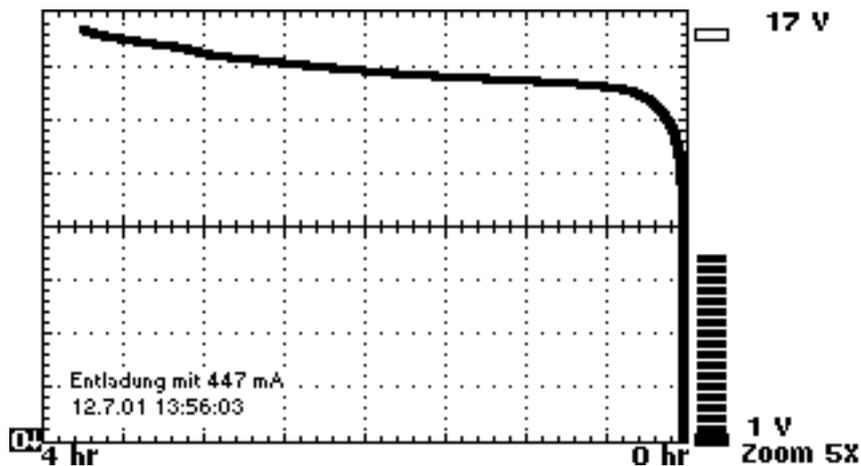
Speisung

Lithium-Ionen-Akkumulatoren haben ein sehr gutes Verhältnis von Kapazität zu Gewicht; sie stehen daher für NMD-Anwendungen im Vordergrund. Bis vor kurzem waren sie gar nicht erhältlich, offenbar aus Gründen der Produkthaftungspflicht. Die Transceiverspeisung besteht aus vier Lithium-Ionen-Zellen, die ich zu einer Batterie konfektioniert habe. (Typ: GP18650B 1S1P, Lieferant: Contrel AG, 6331 Hünenberg)



Jede Zelle enthält auf ihrer Stirnseite eine aufwändige Schutzschaltung. Diese schützt die Zelle vor Überspannung, Übertemperatur, Überstrom und Tiefentladung. Mit Ausnahme der Temperaturabschaltung habe ich diese Schutzmechanismen alle geprüft. Es ist kaum zu glauben, dass diese Schaltung auf einem Printli von der Grösse eines Fünfkräpplers Platz findet!

Diese Akku haben laut Datenblatt eine Kapazität von 1,7 Ah, was genau dem Minimum entsprach, das ich mir für 4 h Contestbetrieb mit diesem Transceiver ausgerechnet hatte. Bei Prüfmessungen gaben die Akku jedoch nur 1,65 Ah ab. Da ich keinerlei Möglichkeit vorgesehen hatte, die Sendeleistung zu variieren, musste ich die noch vorhandene Kapazität während der letzten Conteststunde genau überwachen. Ich liess mir deshalb zwischendurch vom Prozessor die Batteriespannung morsen. Bei Lithium-Ionen-Akku kann man von der Spannung auf die verbleibende Kapazität schliessen. Das tat ich mittels der Entladekurve, die ich in Messungen ermittelt hatte. Am Schluss des Contests hatte ich noch für etwa 10 Min. Energie. Das reichte gerade noch für den üblichen Schwatz mit Konkurrenten nach Contest-Ende.



Aufbau

Der Transceiver besteht aus einer doppelseitigen Platine von 160 x 220 mm. Die ganze Oberseite bildet eine Massefläche, was sich günstig auf die Stabilität der Schaltung auswirkt. Die Platine hat keinerlei Bedienelemente; sie hat nur drei Anschlüsse: Antenne, Speisung und die 18-polige Nabelschnur zur Bedienungseinheit.



Eine solche offene Platine ist zwar leicht, sie ist jedoch heikel zum Transportieren und zum Reparieren. Für diese Fälle wird eine solide Plexiglasplatte mit Abstandsbolzen auf die Platine gesteckt und dient so als Transportsupport oder – umgedreht – als Halterung, wenn auf der Unterseite gelötet werden muss. Für stationären Netzbetrieb enthält die Plexiglasplatte einen Lautsprecher und einen Spannungsregler. Dieser kann den Lithium-Ionen-Akku laden; er hält die heiklen Werte für Ladestrom und –spannung ein. Ein PC-Netzteil liefert 19 V= mit dem nötigen Strom für gleichzeitiges Senden und Laden.



Diese Transport- und Netzspeiseeinrichtung zählt nicht zum Stationsgewicht; sie wird während des Contests nicht benötigt.

Bedienung



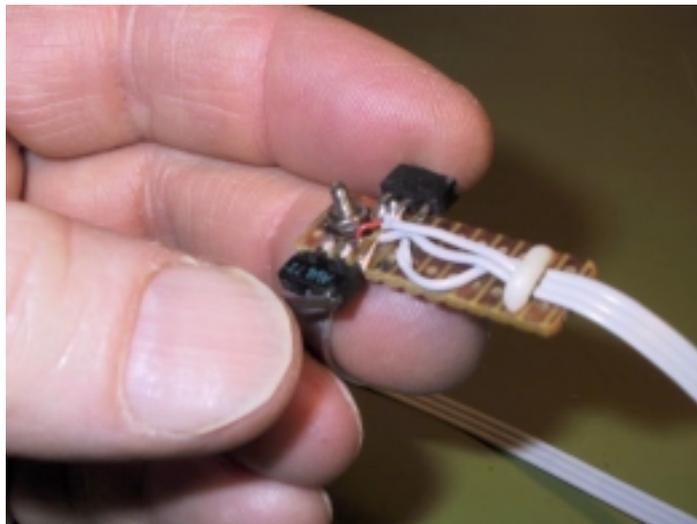
Das Bedienungspult besteht aus 2 VFO-Knöpfen, dem SWR-Meter und einer Folientastatur. Eine 3-mm-Sperrholzplatte trägt die Bedienungselemente und die Elektronik. Das Chassis ist aus Schaumstoff; die Tastatur liegt auf dem Tisch. Jeder der beiden VFO-Knöpfe überstreicht den Bereich von 3500 bis 3590 kHz. Zur Feineinstellung ist beiden noch je ein kleinerer Knopf zugeordnet. Die Umschaltung zwischen den beiden VFO liess sich nicht mit einem einfachen Kippschalter bewerkstelligen, weil das leichte Bedienungspult beim Betätigen des Schalters hin- und hergerutscht wäre. Mit einer Softwarelösung ersetzte ich den Schalter durch ein Feld der Folientastatur. Eine Rückmeldung "e" oder "i" in CW zeigt beim Umschalten jeweils an, welcher der beiden mit "e" und "i" bezeichneten VFO in Betrieb ist.



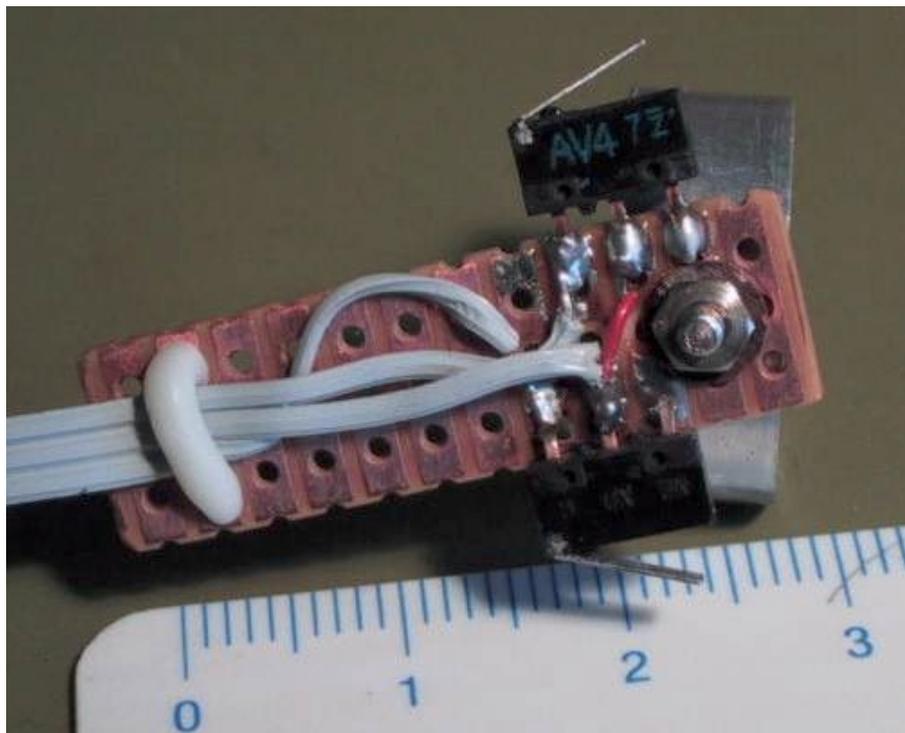
Die beiden Pfeiltasten [↑] [↓] ändern direkt das Tasttempo um jeweils eine Stufe. Der Tempobereich von 60 bis 180 BpM wird mit nur 7 Stufen überstrichen. Wird vor den Pfeiltasten die Taste NF gedrückt, dann wird die Lautstärke um eine Stufe (von 0 bis 4) geändert. Die Taste [CQ] löst den gespeicherten CQ-Ruf aus. Mit der Taste [TX] kann der Sender direkt von Hand getastet werden, etwa zum Abstimmen. Die Taste [Einpfeifen] schaltet den TX-BFO ein, so dass man quasi das eigene Sendesignal gleichzeitig mit dem Empfangssignal hört und so die Gegenstation genau einstellen kann.

Alle übrigen Bedieneingriffe laufen über das CW-"Betriebssystem" des Prozessors. Es handelt sich dabei um eine Weiterentwicklung eines Elbug-Programms. [5] Diese sekundären Einstellungen sind normalerweise während des Contests nicht nötig; trotzdem dürfen sie nicht fehlen. Der Dialog mit dem Prozessor wird durch die Taste [Befehl] eingeleitet; anschliessend wählt man mit einem Buchstaben aus dem Befehlsmenü. Der Prozessor antwortet in CW mit einem eigenen Mithörton. So kann u.a. das Folgende eingestellt und abgefragt werden: ZF-Verstärkung (Stufe 0 bis 4), Batteriespannung, CQ-Text speichern, separates Tempo des CQ-Texts, SWR-Meter auf vorwärts oder rückwärts stellen, usw.

Tastpaddel:



Taster und Elbug-Paddel sind wohl jene Stationsteile, die von den NMD-Teilnehmern am häufigsten optimiert und auf "leicht" getrimmt wurden. Das hier vorgestellte Fingerringpaddel stellt sich in die Reihe dieser Basteleien, die sich dadurch auszeichnen, dass Gewichtersparnis häufig mit der Preisgabe von Bedienungskomfort erkauft werden muss. Ein gutes Elbug-Paddel ist schwer, damit es nicht rutscht. Gewicht ist aber am NMD unerwünscht, also muss die Rutschsicherheit anderweitig erzielt werden. Getastet wird mit Daumen und Zeigefinger; folglich bietet sich der Mittelfinger als "rutschfeste Unterlage" an. Ein Fingerring aus Alu-Blech trägt ein kleines Stück Lochrasterplatte mit zwei Mikroschaltern als Punkt- und Strichkontakt. Das Ganze ist eingerichtet für die linke Hand, die auf diese Weise selbständig tasten kann.



Das war jedenfalls meine ursprüngliche Idee. Nach einigen Wochen Übens konnte ich mit der linken Hand Tempo 100 senden mit annehmbarer Fehlerrate. Bald musste ich jedoch feststellen, dass mir auch Tempo 150 nichts genützt hätte: Sobald ich mit der jetzt freien rechten Hand auch nur die einfachste Bewegung machen wollte (Insekt verscheuchen, Bleistift ergreifen) fiel die linke Hand unweigerlich aus dem Tastrhythmus! Das Projekt Linkstasten war damit aufgegeben. Rechtzeitig bevor ich das Paddel auf "rechtshändig" umbaute, merkte ich plötzlich, dass es vorteilhafter war, das Paddel an der **linken** Hand zu lassen und die Mikroschalter mit der **rechten** Hand zu tasten! Punkt- und Strichhebel waren bereits richtig angeordnet (d.h. Daumen = Punkte), und die Ausrichtung der Platine war optimal für beide Seiten!

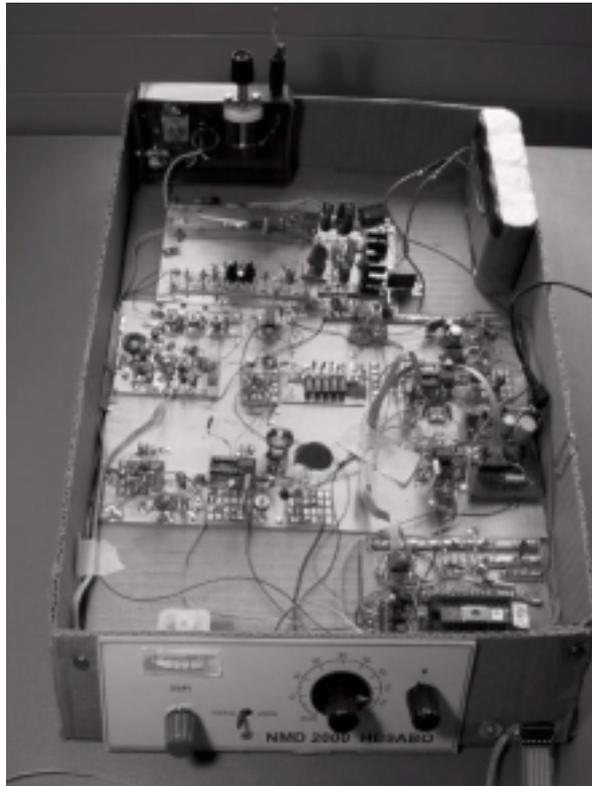
Jetzt benötige ich zwar zum Tasten beide Hände; dafür kann die rechte in den Pausen unbehindert schreiben, und die linke kann selbst mit dem angesteckten Paddel noch Knöpfe drehen und Tasten drücken - oder gar hie und da eigenständig einen einfachen Text senden wie etwa "TU dit dit".

Rückblick

Der Transceiver hat am NMD 2001 die in ihn gesteckten Erwartungen weitgehend erfüllt. Die ursprünglich geplante Seitenbandumschaltung habe ich allerdings vermisst. Auf diese Möglichkeit musste ich verzichten, nachdem es mir in Versuchen nicht gelungen war, den

VFO um einen konstanten Betrag von etwa 1500 Hz umzutasten. (der Frequenzversatz war zu stark abhängig von der eingestellten Frequenz)

Der Zeitbedarf für Entwicklung und Bau war viel grösser als ich angenommen hatte: Am NMD 2000 habe ich mit dem Versuchsaufbau teilgenommen, den ich notdürftig in eine Kartonschachtel montiert hatte. Der zeitliche Aufwand lässt sich durch das geringe Gewicht allein nicht rechtfertigen. Diese Bilanz kann nur dadurch ausgeglichen werden, dass der Aufwand grösstenteils über das Konto "Weiterbildung" abgebucht wird.



In dieser Hinsicht hat mir das Vorhaben sicher einen Gewinn gebracht; und ich hoffe, dass die guten wie die schlechten Erfahrungen, von denen hier die Rede war, dem einen oder anderen Selbstbauer nützlich sein werden.



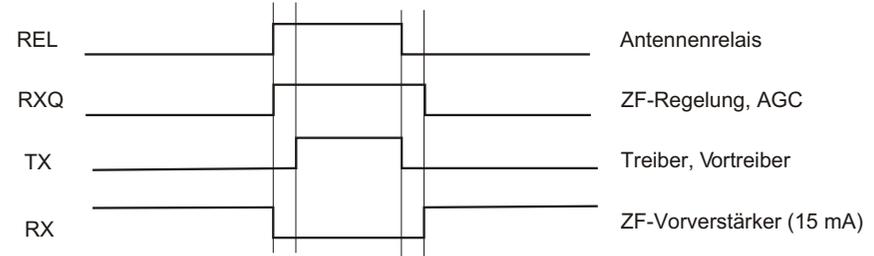
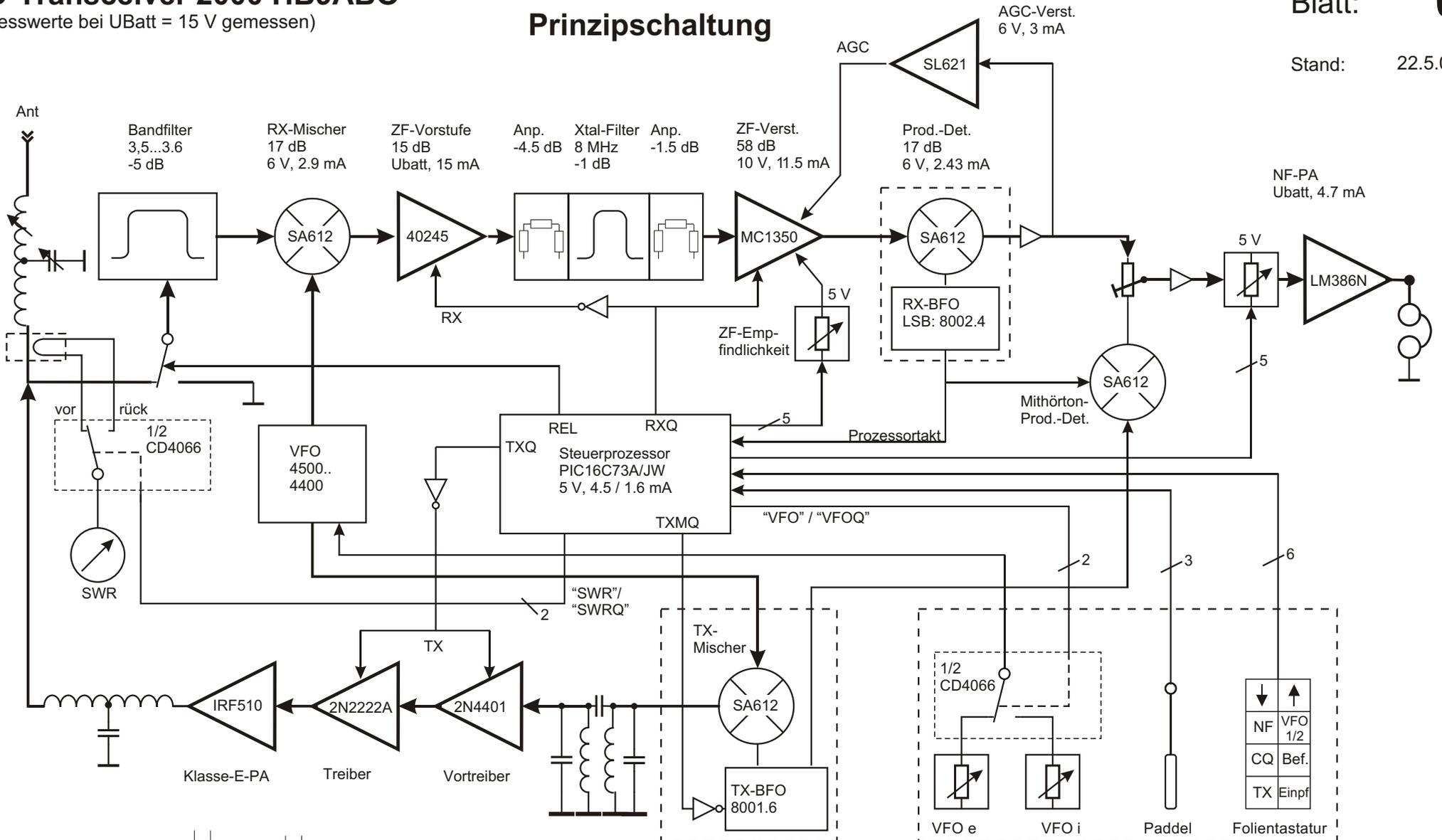
Quellen:

- [1] Hans Peter Blättler, HB9BXE, "Mini-QRP-Sende-Empfänger"
- [2] Wes Hayward, W7ZOI, "A Unified Approach to the Design of Crystal Ladder Filters", QST Mai 1982
- [3] M. Kessous, J.-F. Zürcher: "Amplificateur en classe E"
- [4] Sokal N.O., Sokal A. D., "Class E – a New Class of High Efficiency Tuned Single Ended Switching Power Amplifiers"
- [5] HB9ABO, "Tastelektronik für den Selbstbau", Old Man 6/97

NMD-Transceiver 2000 HB9ABO

(Alle Messwerte bei UBatt = 15 V gemessen)

Prinzipschaltung

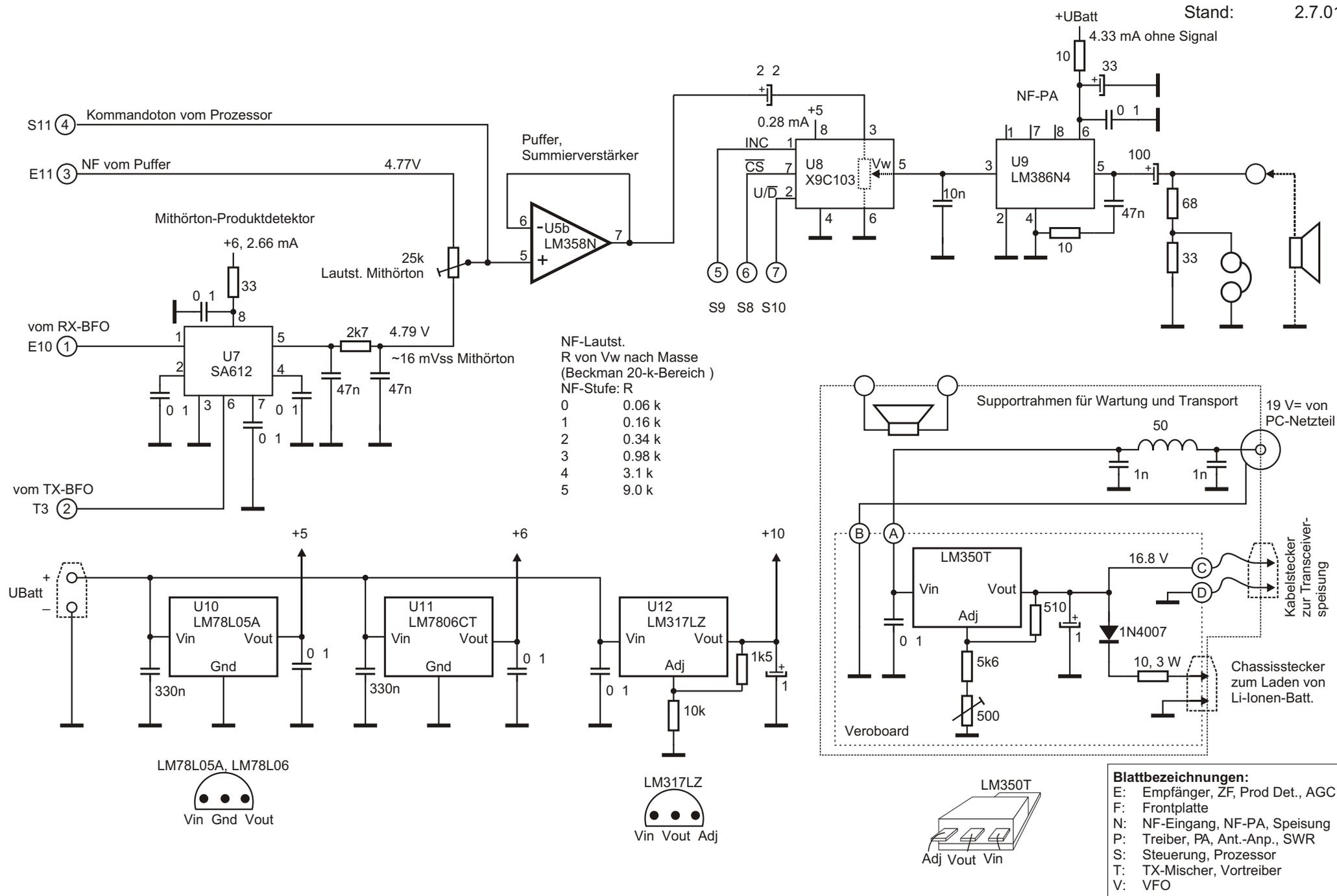


Blattbezeichnungen:
 E: Empfänger, ZF, Prod Det., AGC
 F: Frontplatte
 N: NF-Eingang, NF-PA, Speisung
 P: Treiber, PA, Ant.-Anp., SWR
 S: Steuerung, Prozessor
 T: TX-Mischer, Vortreiber
 V: VFO

NMD-Transceiver 2000 HB9ABO

(Alle Messwerte bei UBatt = 15 V gemessen)

NF-Eingang, NF-PA, Speisung, Supportrahmen



NMD-Transceiver 2000 HB9ABO

(Alle Messwerte bei UBatt = 15 V gemessen)

Blatt: **E**

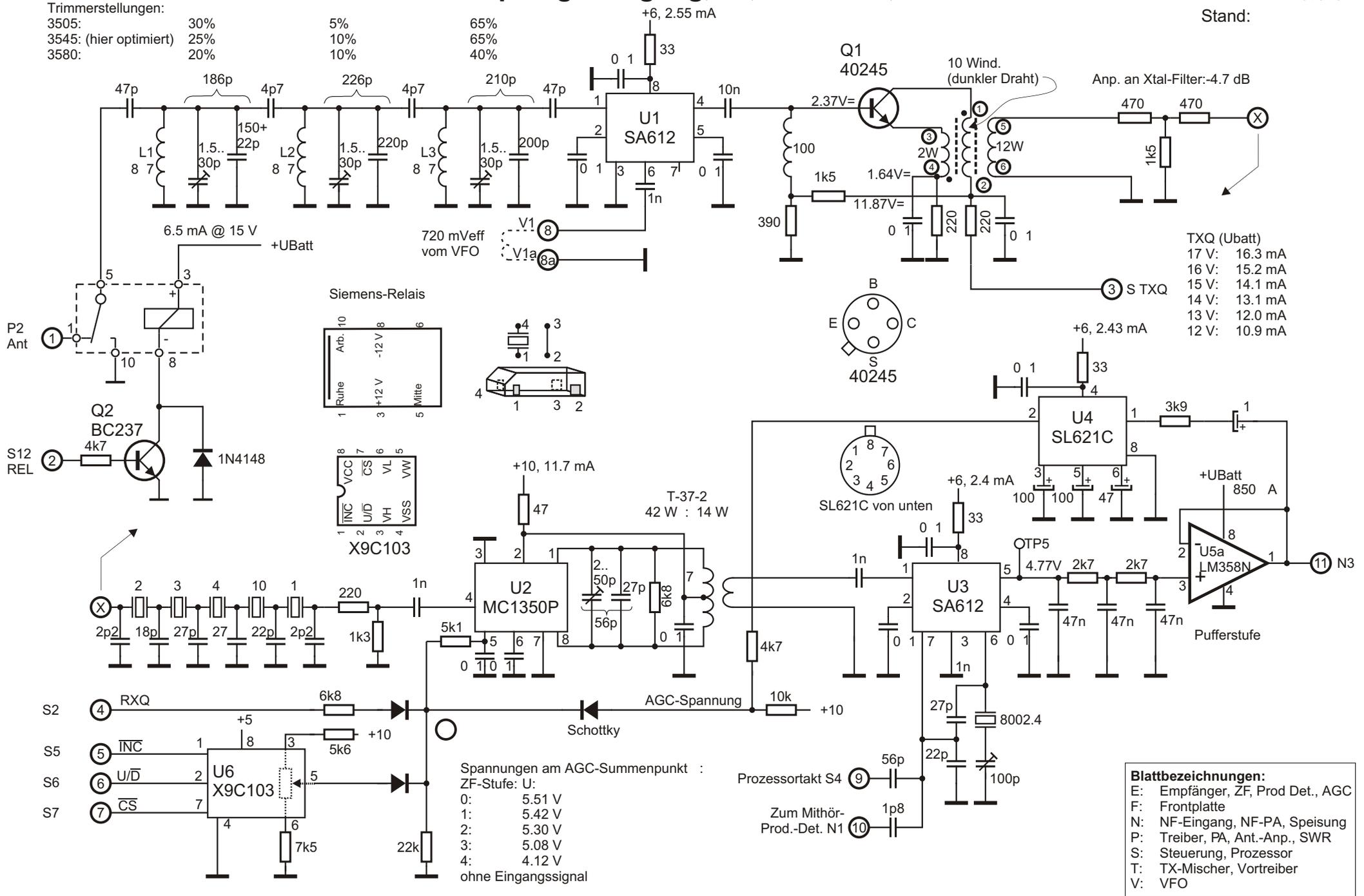
16.5.01

Stand:

Trimmerstellungen:

3505:	30%	5%	65%
3545: (hier optimiert)	25%	10%	65%
3580:	20%	10%	40%

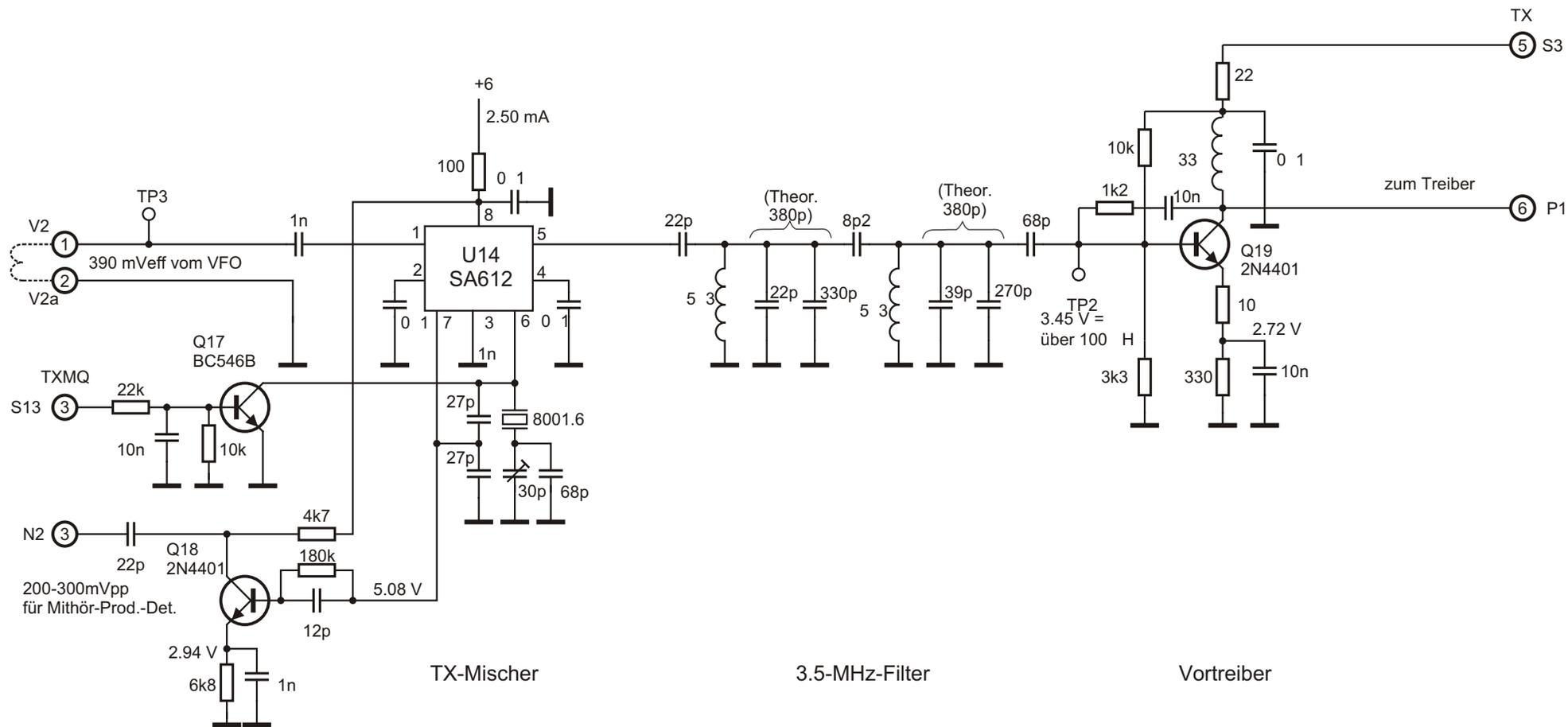
Empfängereingang, ZF, Prod.-Det., AGC



NMD-Transceiver 2000 HB9ABO

(Alle Messwerte bei UBatt = 15 V gemessen)

TX-Mischer, Vortreiber



Blattbezeichnungen:

- E: Empfänger, ZF, Prod Det., AGC
- F: Frontplatte
- N: NF-Eingang, NF-PA, Speisung
- P: Treiber, PA, Ant.-Anp., SWR
- S: Steuerung, Prozessor
- T: TX-Mischer, Vortreiber
- V: VFO

NMD-Transceiver 2000 HB9ABO

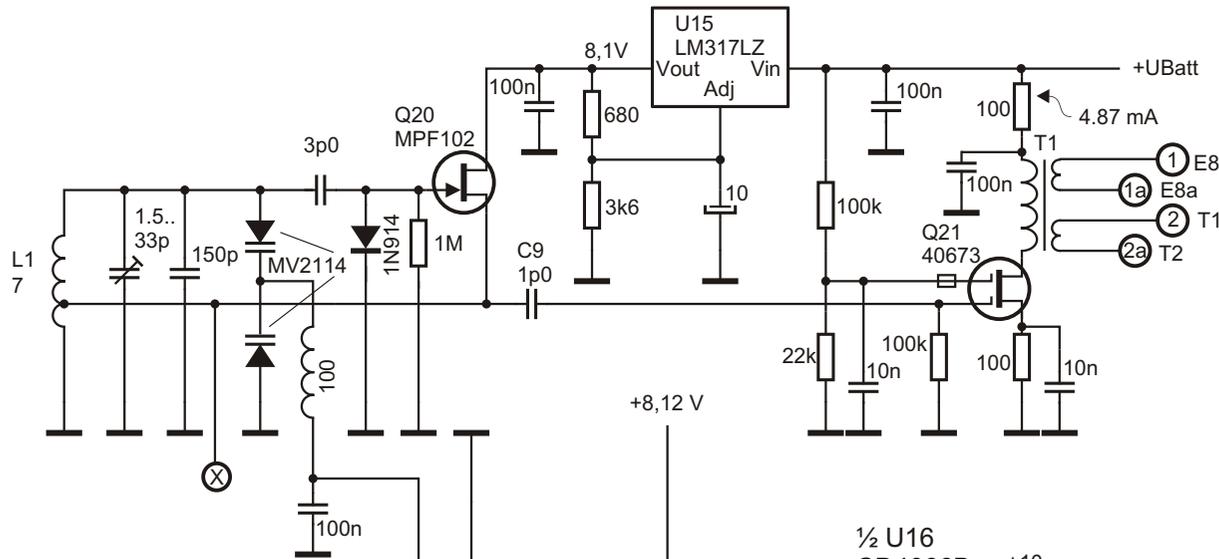
(Alle Messwerte bei UBatt = 15 V gemessen)

VFO (Hartley) 4400..4500 kHz

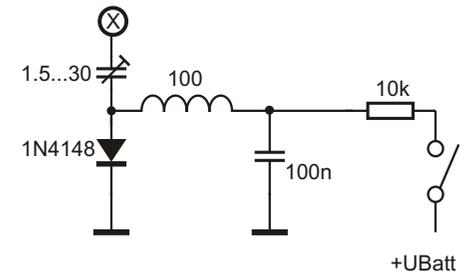
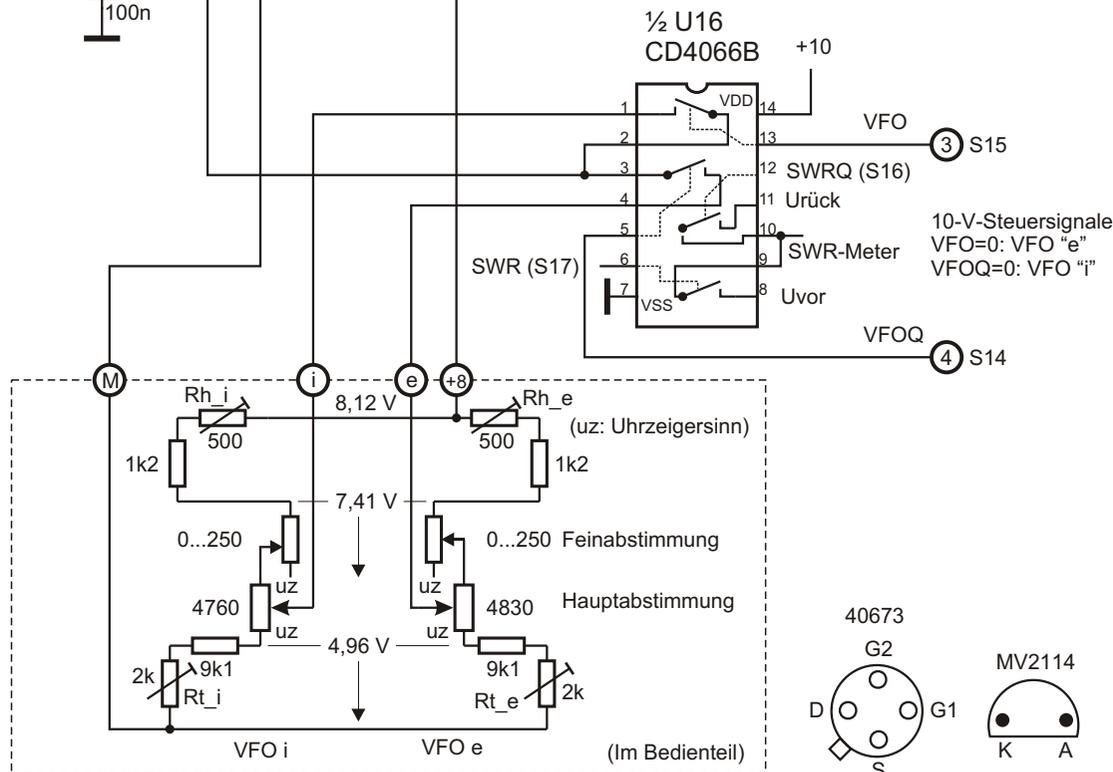
Blatt: **V**

16.5.01

Stand:

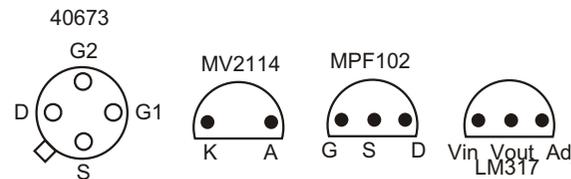


L1: 7.0 H auf T-50 rot. Anzapfung bei 33 %
 T1: 20 Wind. auf Neosid-Ferritkern (L>200 H).
 Auskopplung: TX-Mischer 1, RX-Mischer 2 Windungen.
 Die Ausgangsspannung beträgt 390 mVeff bzw. 760 mVeff bei Belastung mit beiden SA602). Die Ausgänge sind praktisch rückwirkungsfrei.
 Mit C9 kann die Aussteuerung von Q3 eingestellt werden. Höhere Werte ergeben eine höhere Ausgangsspannung bei leicht verzerrter Kurvenform.



Umschaltung LSB/USB:
 Umschaltung und Stabilität: gut.
 Nicht geeignet, weil nicht linear.
 Mit Cx ~2 pF gaben sich die folgenden Werte:

Freq.	Delta f
4404	2.42 kHz
4450	3.36 kHz
4499	4.30 kHz



Blattbezeichnungen:
 E: Empfänger, ZF, Prod Det., AGC
 F: Frontplatte
 N: NF-Eingang, NF-PA, Speisung
 P: Treiber, PA, Ant.-Anp., SWR
 S: Steuerung, Prozessor
 T: TX-Mischer, Vortreiber
 V: VFO

NMD-Transceiver 2000 HB9ABO

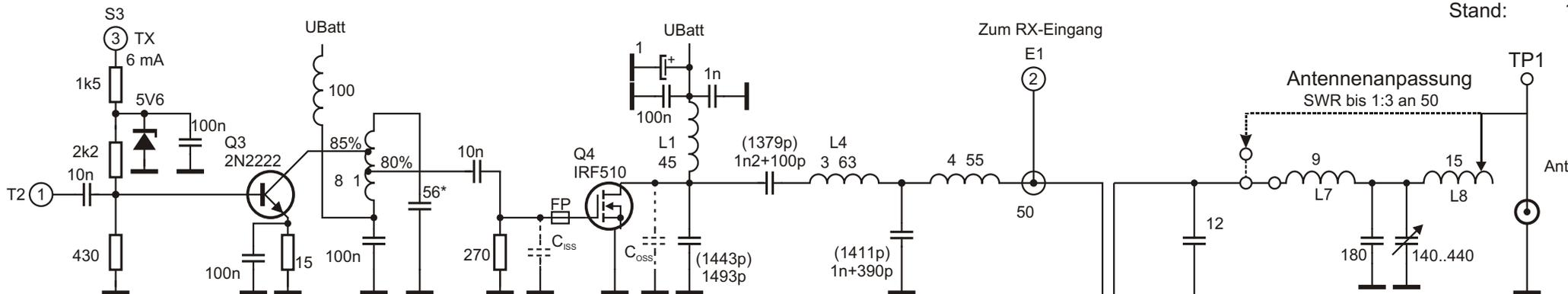
(Alle Messwerte bei UBatt = 15 V gemessen)

Klasse-E-Endstufe

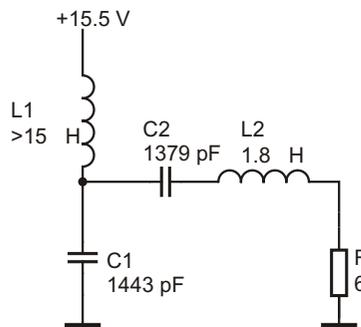
Blatt:

P

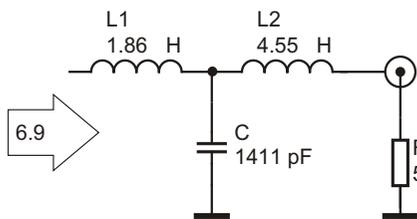
Stand: 19.5.01



Treiberstrom: 25 bis 41 mA mit Signal.
Die gestrichelten Kapazitäten sind Gate- bzw. Drainkapazität von Q4.
* Wert unkritisch, Gate-Kapazität gehört aber dazu
(571p) Werte in Klammern: Berechnete Werte

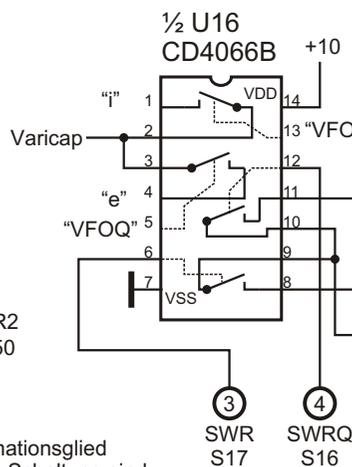


Berechnete Werte für die Klasse-E-Endstufe:
Basiswerte:
Q = 6, VDSat = 1.5 V, VDS = 15.5 V,
Paus = 16.5 W, f = 3545 kHz

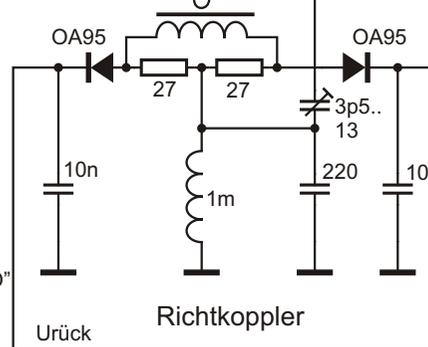


Berechnete Werte für das LCL-Transformationsglied
L1 des LCL-Gliedes und L2 der Klasse-E-Schaltung sind
in der Schaltung in L4 vereinigt

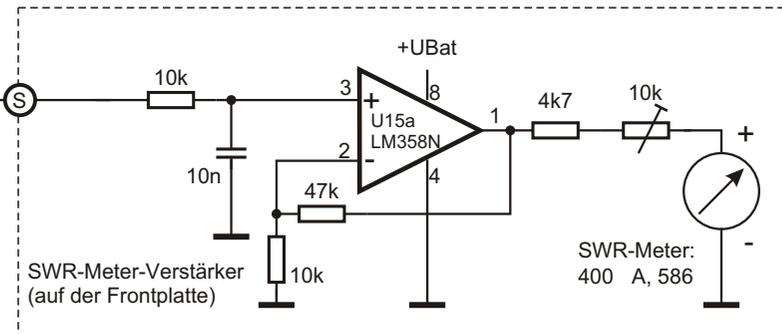
Basiswerte:
Q = 6, f = 3545 kHz



10-V-Steuersignale:
SWR=1: UVor
SWRQ=1: URück



Abgr.	L8(H)
1	5.5
2	6.4
3	7.2
4	7.9
5	8.5
6	9.1
7	9.7
8	10.4
9	11.1
10	11.8
11	12.6
12	13.3
max	14.7

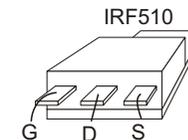


Referenzeinstellung:

Basisdaten: U_{DD} = 15.5 V, f = 3540 kHz, Last: 50 Ohm.

Die L- und C-Werte sind nicht kritisch. Werden C1 oder C2 verstellt, sind leicht höhere P-Werte erreichbar bei sinkendem Wirkungsgrad. Umgekehrt steigt dieser kaum über 66 % bei kleineren Leistungen.

Stabilität: Sehr gut. Wenn der Gate-R auf 1 k erhöht wird, dann verstärkt Q4 etwa 50 % der Zeichen nicht. Eine einmal begonnene Sendung wird korrekt verstärkt



Blattbezeichnungen:

- E: Empfänger, ZF, Prod Det., AGC
- F: Frontplatte
- N: NF-Eingang, NF-PA, Speisung
- P: Treiber, PA, Ant.-Anp., SWR
- S: Steuerung, Prozessor
- T: TX-Mischer, Vortreiber
- V: VFO

