

Signalерzeugung für die mm-Wellen Bänder

Michael Kuhne DB6NT / Gert Weinhold DG8EB

Die meisten im Amateurfunkbereich eingesetzten Millimeterwellen Mixer sind Subharmonic Mixer, die auch zum Senden verwendet werden. Die dabei erzeugte Sendeleistung liegt meist bei ca. 0,2 mW SSB oder noch weniger. Werden stattdessen Harmonic Mixer verwendet, ist die SSB Leistung noch weit kleiner (ca. 10 - 50 μ W). Da der Zugang zu Leistungsverstärker-Chips und deren Verarbeitung sehr schwer und teuer ist, bietet sich der Weg der Frequenzvervielfachung an, um auf eine Sendeleistung im Milliwatt-Bereich zu kommen. Bei dieser Vorgehensweise wird möglichst viel Leistung zum Ansteuern der Vervielfacher benötigt.

122 – 134 GHz Signalерzeugung:

Ein CW-Sender, der einen Dioden-Frequenzverdoppler für 122- und 134 GHz verwendet, benötigt als Steuerfrequenz 61- bzw. 67 GHz. Bei meiner Suche nach geeigneten Chips für diese Frequenzen fand ich den Versechsfacher **gXSB0019A** und den Leistungsverstärker **gAPZ0039A** der Firma **gotMIC** aus Göteborg (Schweden). Diese Kombination verspricht bei einer Ansteuerung von 15 mW (10 bzw. 11,2 GHz) eine Ausgangsleistung von 400 mW (P_{sat}) zur Ansteuerung eines Leistungs-Frequenzverdopplers.

Die Leiterplatte ist aus RT5870 0,12mm gefertigt und auf eine vorher bearbeitete Messingplatte gelötet. Die Plätze für die Chips und Kondensatoren werden nach dem Auflöten ausgefräst. Die Spannungsversorgung ist im Deckel montiert. Diese besteht aus einem Step-down Converter (OKR-T/3 Serie) und eine Minusspannungserzeugung mit dem LT1054 IC.

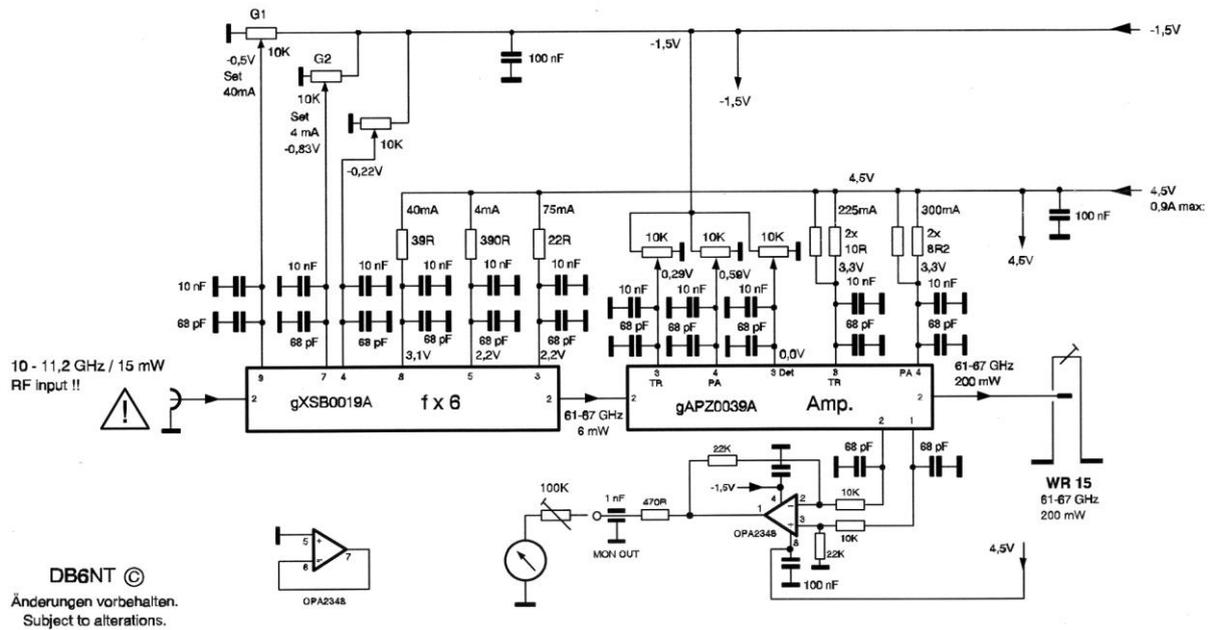
Abgleich:

Zuerst werden die Gleichspannungen mit den Einstellreglern auf die im Schaltplan angegebenen Werte eingestellt. Danach wird die Steuerfrequenz mit ca. 15 mW auf den Eingang gegeben und die Ausgangsleistung gemessen. Jetzt kann der Feinabgleich erfolgen. Dieses geschieht durch die Optimierung der Gatespannungen (Arbeitspunkte), sowie durch das Einstellen des Kurzschlusschlebers am Hohlleiterübergang. Der Übergang ist etwas kritisch einzustellen und ist immer nur für eine LO-Frequenz optimal. Als Ausgangsleistung waren maximal 240 mW bei 61,125 GHz zu erreichen. Leider wurde die „Datenblatt Leistung“ von 400 mW nicht erreicht. Bei einem Abgleich, der auch die Frequenz 67,464 MHz (134 GHz Band) mit einschließt, sind nur etwa je 160 mW zu erwarten.

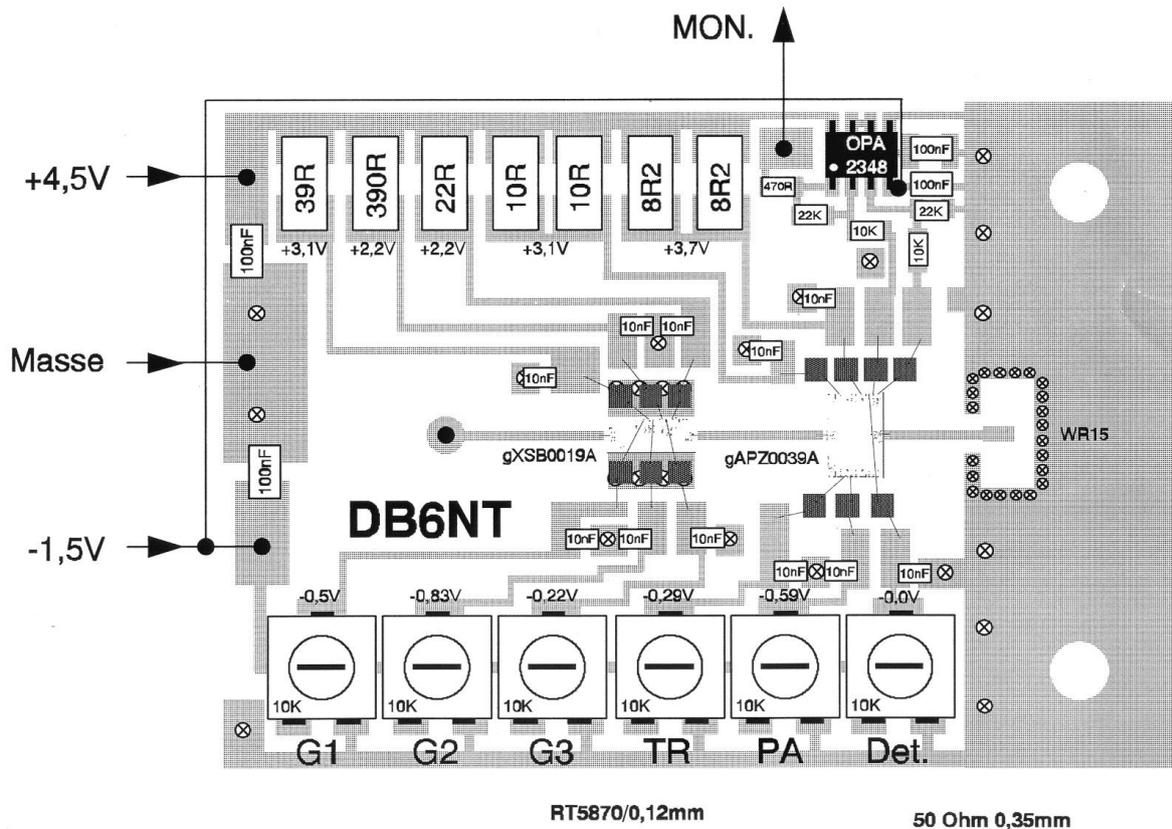
Die OP Verstärker-Schaltung zur Detektion der Ausgangsleistung kann noch etwas optimaler dimensioniert werden. Von **GotMIC**, dem Chiphersteller war dazu leider kein genauer Schaltungsvorschlag zu bekommen.

Mit 200 mW steht für mich eine beachtliche LO Leistung zum Ansteuern eines Verdopplers zur Verfügung. Derzeit verwende ich einen Verdoppler der Firma **Virginia Diodes**. Gert, DG8EB, erprobt gerade eine selbstgebaute Variante eines Verdopplers. Wir werden darüber noch berichten.

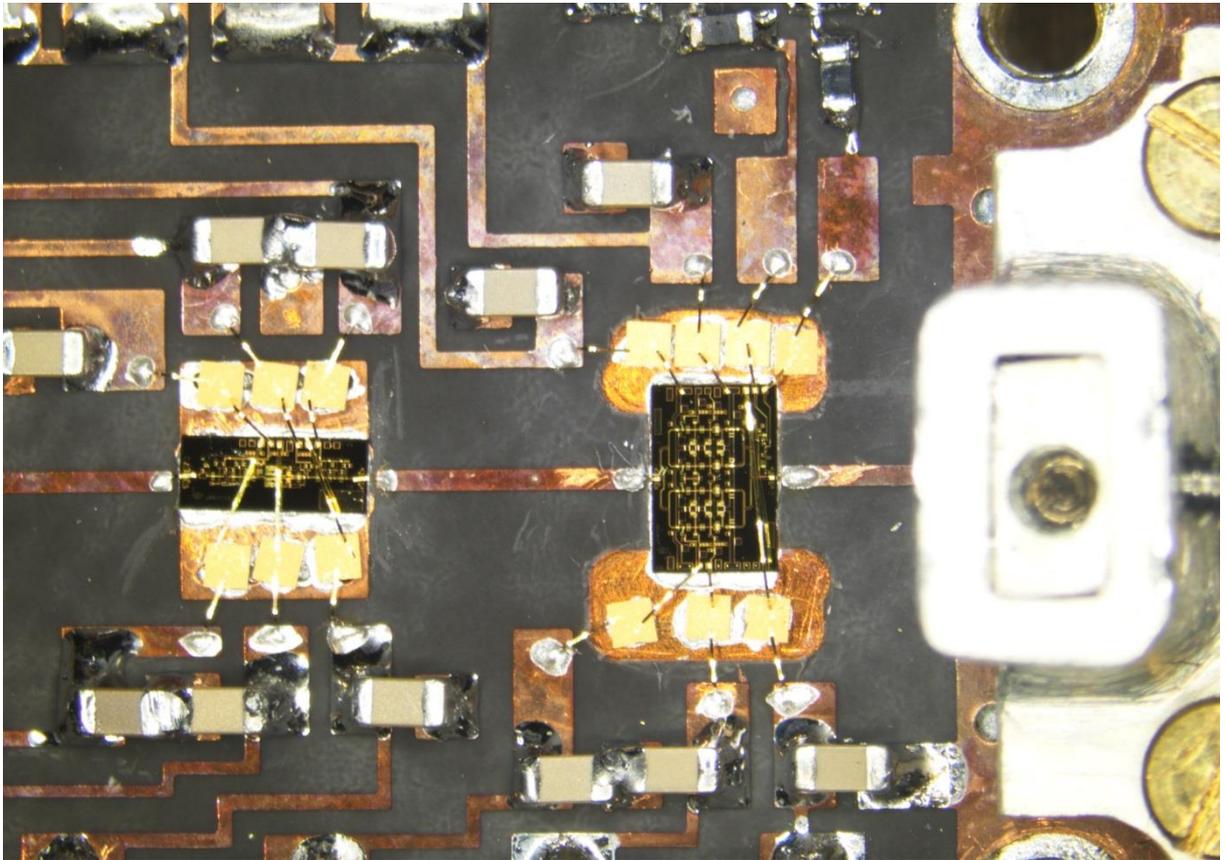
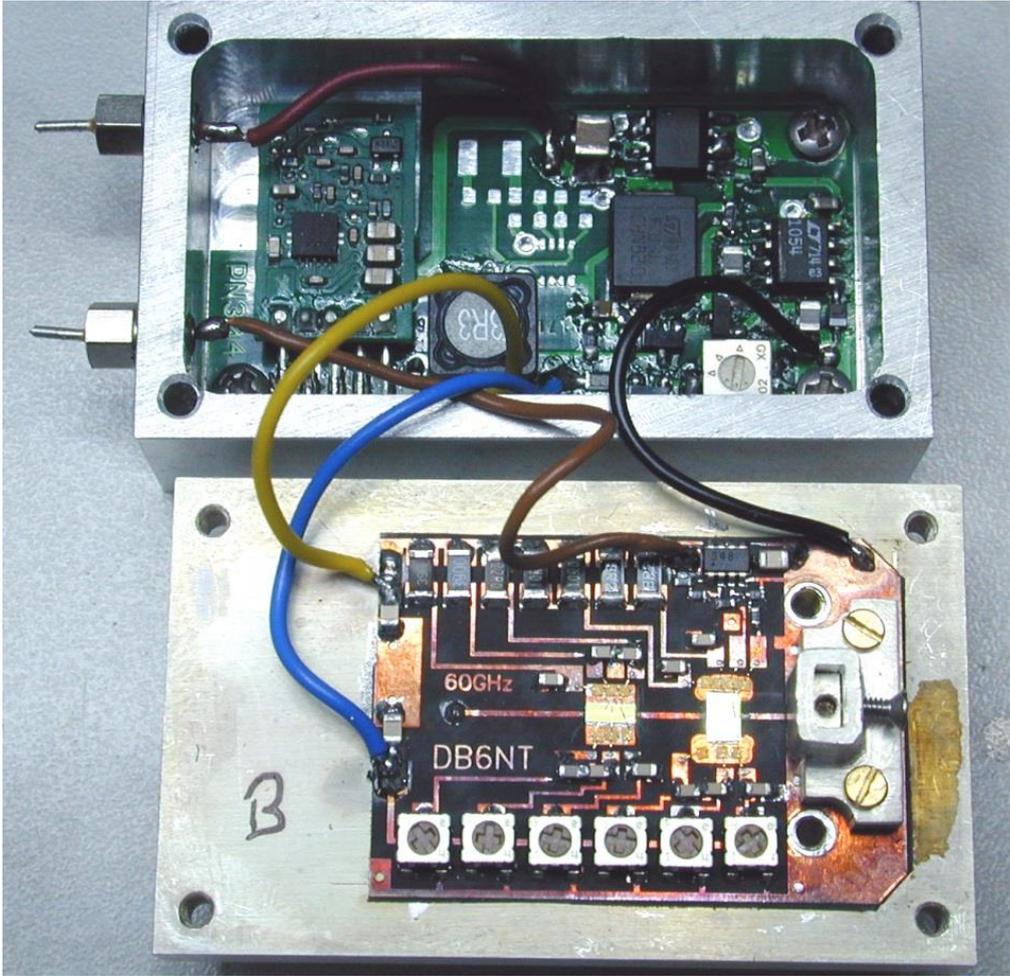
Zum Ansteuern dieser Baugruppe verwenden wir die Oszillator- Baugruppe **MKU LO 8-13 PLL**. Dieser Oszillator erzeugt ein sauberes „Jitterarmes“ und in der Frequenz umschaltbares Signal. Weiterhin ist die Baugruppe mit 10 MHz (GPSDO) steuerbar und hat einen eingebauten „CW Keyer“.

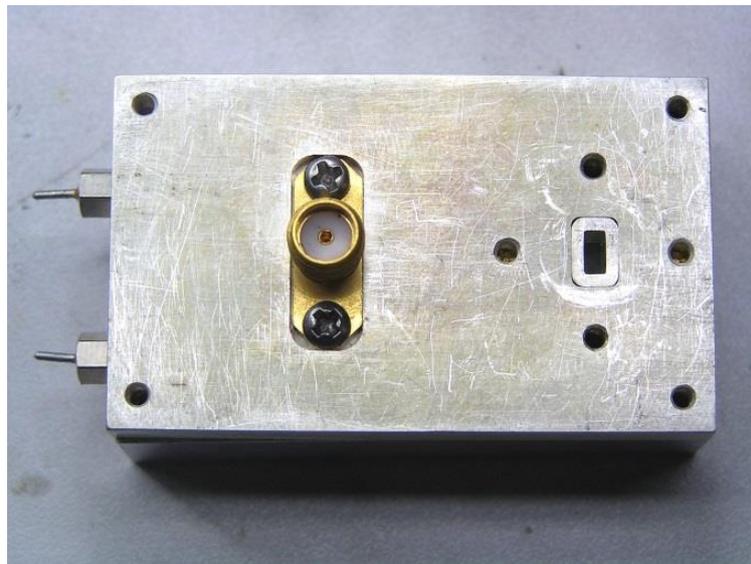
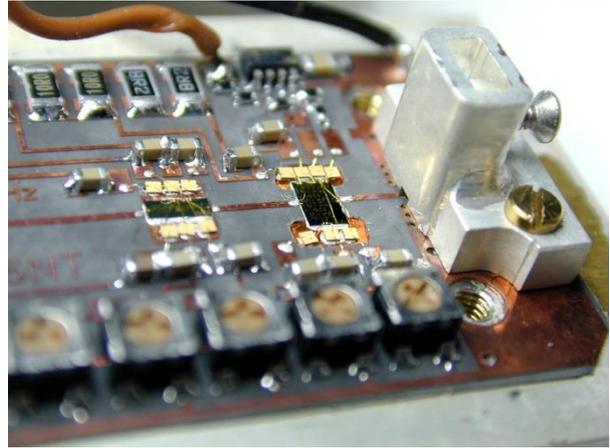


Die Spannungsangaben sind ohne HF-Ansteuerung der Schaltung.



Es wurden von dieser Baugruppe 3 Exemplare aufgebaut, dabei waren die erzielten HF-Ausgangsleistungen vergleichbar.





241 GHz Signalerzeugung:

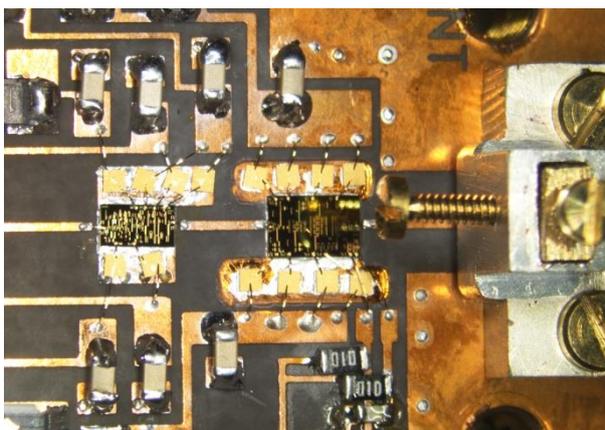
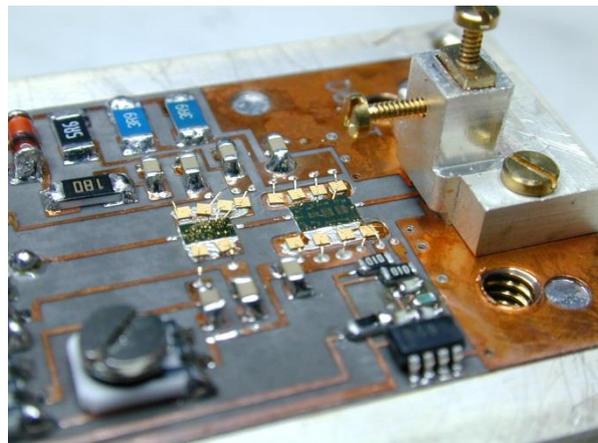
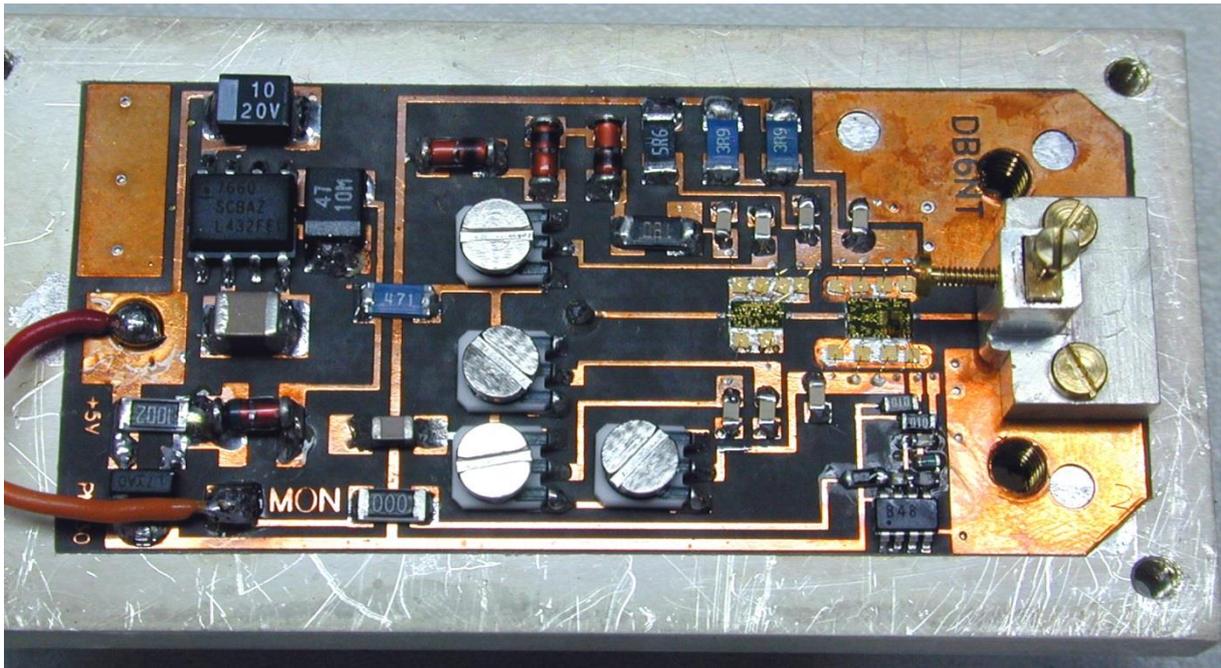
Ein CW-Sender, der einen Dioden-Frequenz-Verdreifacher für 241 GHz verwendet, benötigt als Steuerfrequenz 80,640 GHz. Bei meiner Internet Recherche nach geeigneten Chips für diese Frequenz fand ich den Versechsfacher **HMC1110** und den Leistung-Verstärker **HMC8142** der Firma **ANALOG DEVICES** aus USA. Diese Kombination verspricht bei einer Ansteuerung von 2 mW bei 13,440 GHz eine Ausgangsleistung von 400 mW (P_{sat}).

Die Leiterplatte dazu ist auch aus RT5870 0,12mm Material gefertigt. Die Verarbeitung und der Abgleich erfolgt wie bei der 60 GHz Baugruppe die vorher beschrieben wurde.

Ergebnis:

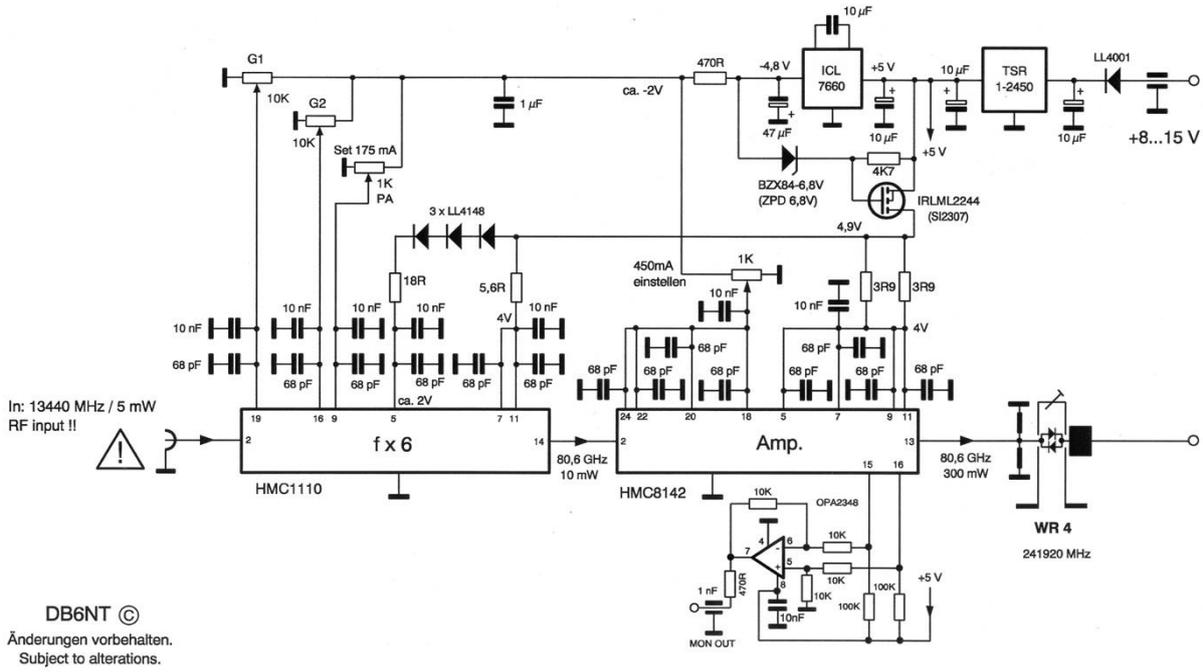
Die erreichte Ausgangsleistung war maximal 250 mW bei 80,64 GHz. Leider wurde auch hier die „Datenblatt-Leistung“ von 400 mW nicht erreicht. Es wurden 4 Baugruppen hergestellt. Die gemessenen Ausgangsleistungen dieser Exemplare waren immer über 220 mW.

Mit 220 mW steht auch hier eine für mich beachtliche LO Leistung zum Ansteuern eines Frequenz-Verdreifachers zur Verfügung.



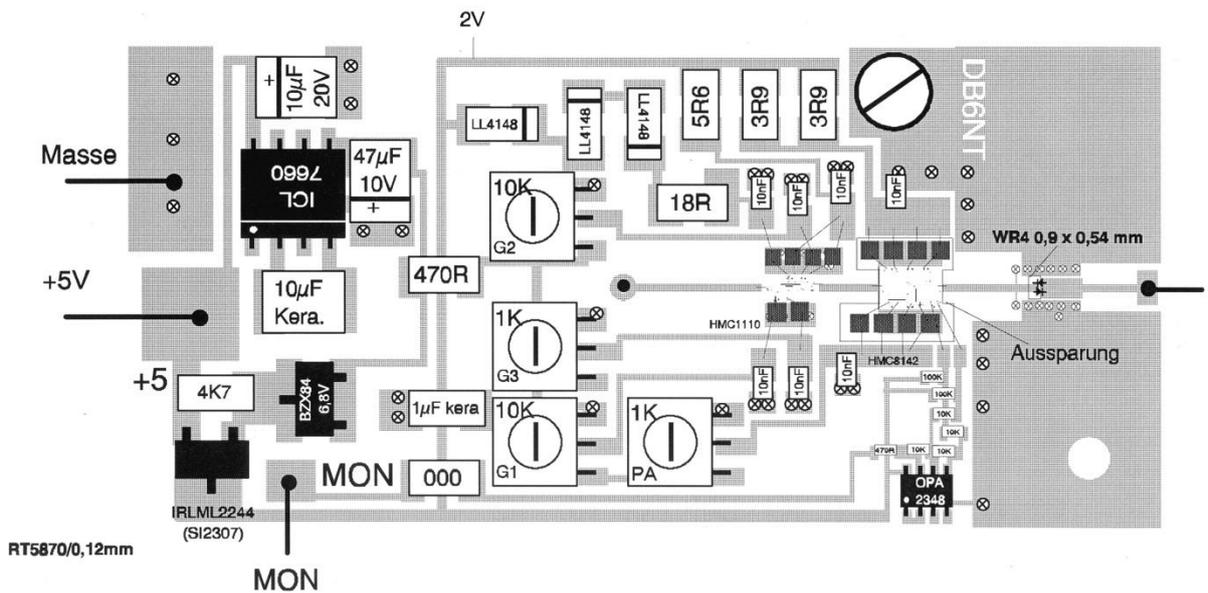
Nachfolgend ist eine Variante eines „auf der Leiterplatte integrierten Dioden-Verdreifachers“ beschrieben. Erste Versuche waren sehr ermutigend. Dabei wurde eine „Dreifach-Diode“ der Firma **ACST** eingesetzt. Leider können hier noch keine Messwerte veröffentlicht werden, da uns derzeit noch kein kalibriertes Powermeter zur Verfügung steht.

241 GHz Sender DB6NT 02.2016



Als Dioden zur Frequenz-Verdreifachung können verschiedene Varianten eingesetzt werden, z. B. Schottky Dioden (Typ: einzeln oder antiparallel), mehrfach-Varactor Dioden, usw.

241 GHz CW TX DB6NT 01.2016

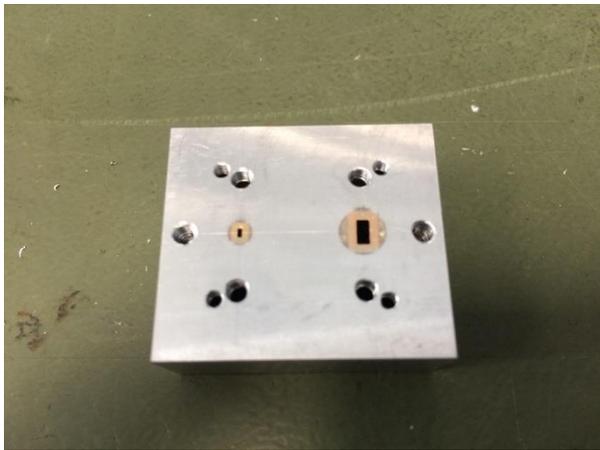


Frequenzverdreifacher von 80- auf 241 GHz

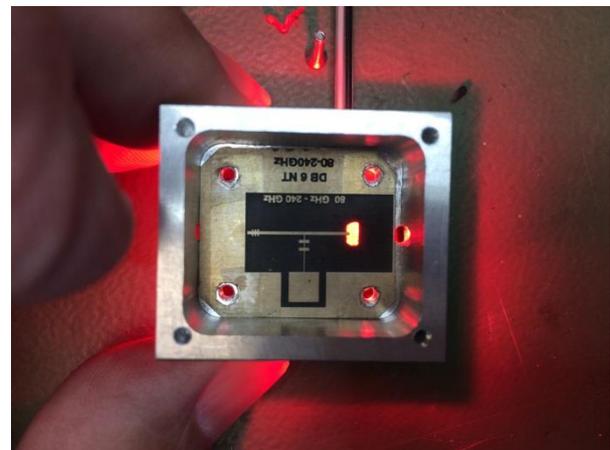
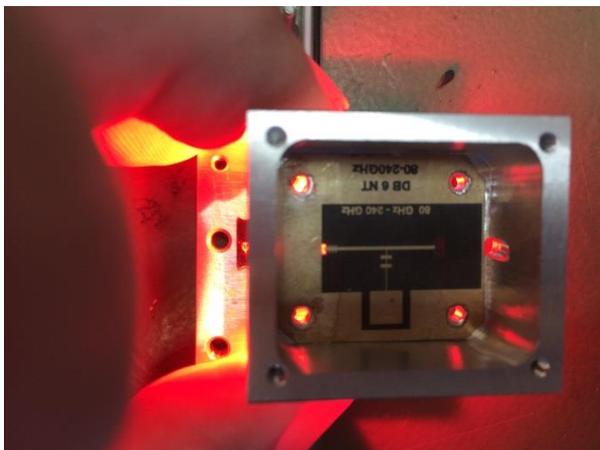
Aufbau:

Der mechanische Aufbau ist möglichst einfach gehalten, da nicht jeder die Möglichkeit hat super kleine und anspruchsvolle Fräsarbeiten auszuführen.

Der Aufbau erfolgt in einem gefrästen Aluminiumgehäuse mit eingesetzten Hohlleitern. Zunächst werden die Positionen der Hohlleiter anhand der Leiterplatte mit einem Körner markiert und danach gebohrt. Der Bohrdurchmesser wird ca. ein Zehntel kleiner als die Hohlleiterdiagonale gebohrt. Dadurch sitzt der später eingepresste Kupferhohlleiter straff im Gehäuse und wird noch mit Leitkleber verklebt. Herausstehende Teile werden nach dem Aushärten durch Überfräsen entfernt. Auch die Bohrungen für die Flansche und die Gewinde der Abstimmuschrauben für die Befestigung der Hohlleiter werden gebohrt. Die Abstimmuschrauben sind „Microwave Tuning Elements“ von **EXXWLIA**.

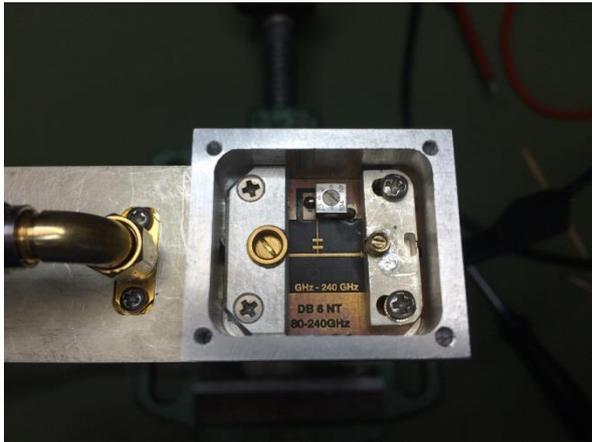


Danach wird die Leiterplatte mit Silberleitkleber eingeklebt. Zur optimalen Positionierung wird eine rote Power LED als Lichtquelle verwendet. Das durch die Leiterplatte scheinende Licht ist an den Hohlleiterübergängen gut sichtbar.



Zum Aushärten des Klebers wird das Gehäuse erhitzt. Danach wird die Leiterplatte gereinigt, die Diode eingeklebt und die Kurzschlusschieber für die Hohlleiter montiert. Je nach verwendeter Diode wird ein Poti zur Arbeitspunkteinstellung eingelötet. Schottky-Dioden benötigen einen kleinen

Arbeitswiderstand ($<1K$), Varaktor- Dioden einen hohen Widerstand (100 K) oder eine externe Spannungsquelle.



Die Bilder zeigen den zusammenschraubten Aufbau mit 80 GHz LO Treiber und dem Mischkopf HP11970W des Spektrum-Analysators, welcher als Powerindikator dient. Der Abgleich geschieht durch wechselseitiges Justieren der Schrauben (Hohlleiterübergänge) und das Einstellen des Arbeitspunktes (Poti).

Ergebnisse:

Zunächst wurde eine Antiparallel-Diode von **MACOM MA4E1318** getestet. Diese Art von Dioden werden oft für Breitband-Frequenz-Verdreifacher eingesetzt. Ein Arbeitswiderstand war dabei nicht erforderlich da sich die Dioden selbst begrenzen. Die erzielte Ausgangsleistung war jedoch sehr bescheiden. Ich führe das auf die recht hohe Kapazität der für maximal 80 GHz gefertigten Diode zurück.

Jetzt wurde eine Varaktordiode Typ. **A92220-1 (3A643A-3)** von **SALUT-ELECS Ltd** aus Russland eingeklebt. Diese Diode hat eine Cutoff-Frequenz von 3,6 THz. Sie benötigt einen hohen Arbeitswiderstand von ca. 100K. Die Gleichspannung die sich bei Ansteuerung ergibt, liegt bei 4,5V. Die dabei erzielte Ausgangsleistung war um mehr als 10 dB größer als die mit der vorher gemessenen MA-Diode.

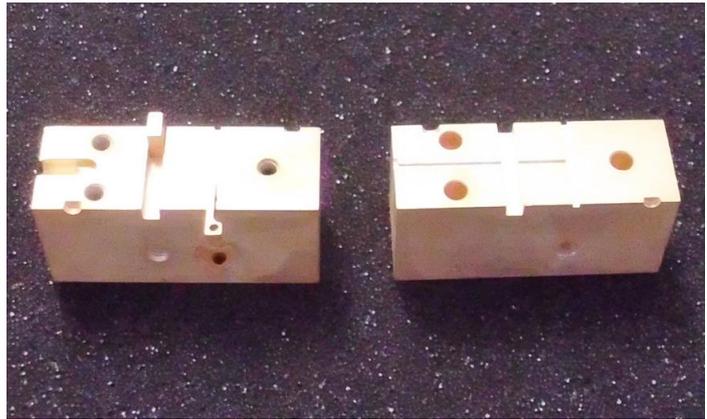
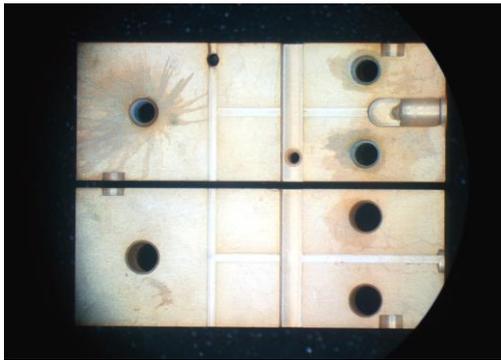
Weitere Versuche mit anderen Dioden werden folgen.

Hier der Dioden- Verdreifacher von Gert DG8EB

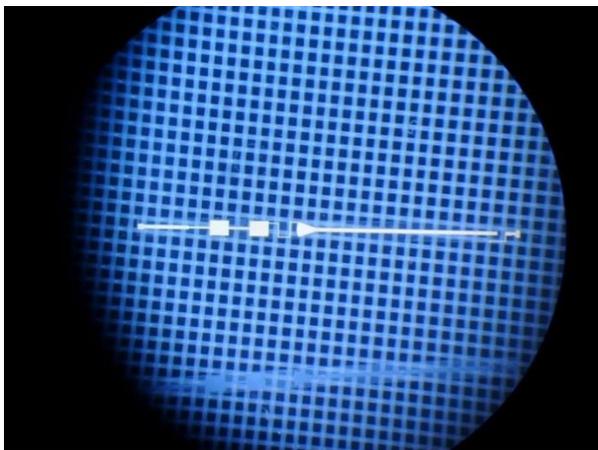
Aufbau:

Durch die in zwei Messingblöcke gefrästen Vertiefungen werden die Hohlleiter für Ein- und Auskopplung realisiert. Zwischen den beiden Hohlleitern ist in einem „Graben“ die Leiterplatte mit dem Mikrowellensubstrat und der Diode untergebracht. Dieses Substrat haben wir von Sigurd DL9MFV bekommen. Vielen Dank an Dich Sigurd.

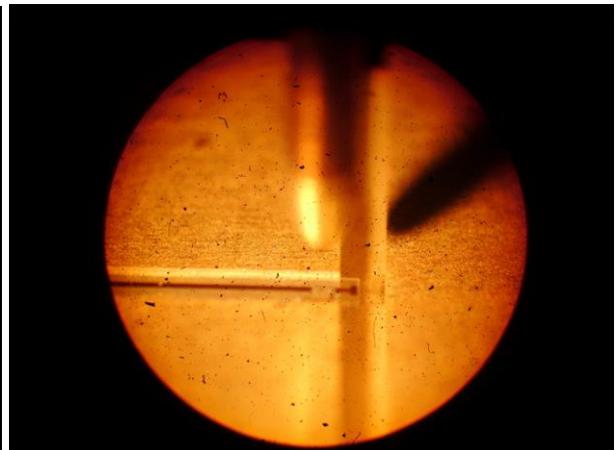
Mit H20S Silberleitkleber wird das Substrat und die Diode eingeklebt.



Hier sind die beiden Hälften des Messingblockes mit den Kurzschlusschiebern der Hohlleiter zu sehen.



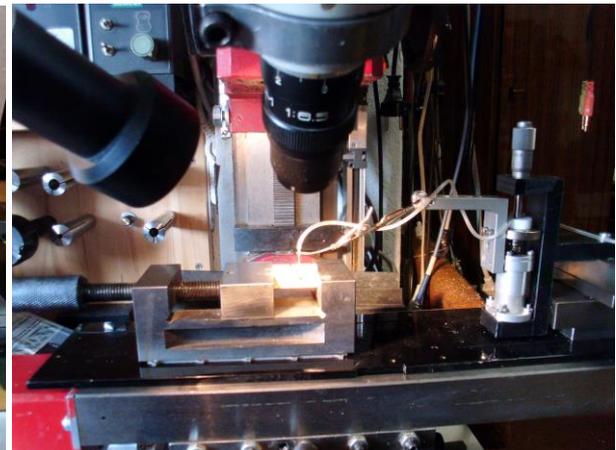
Das Substrat vor der Montage



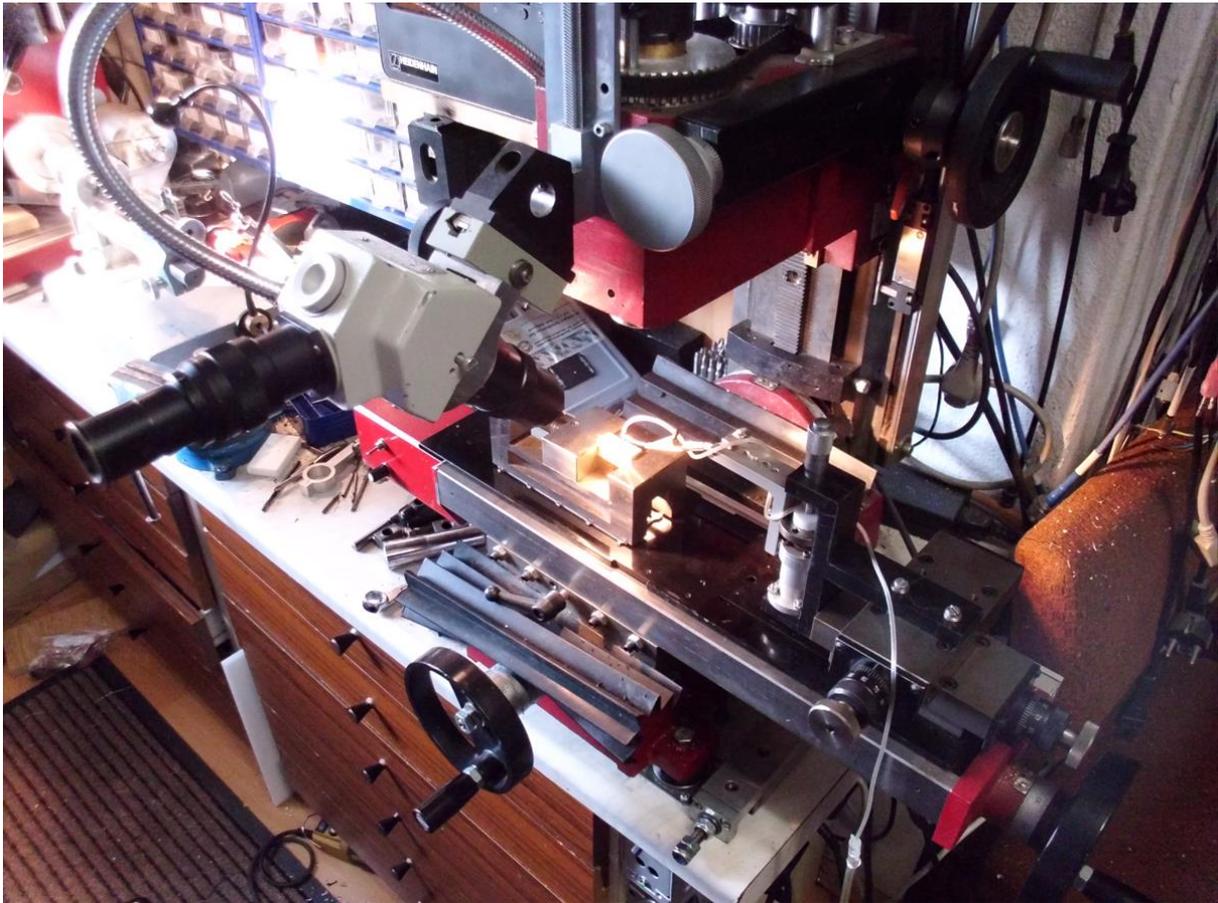
Diode wird eingebaut



Eigenbau Mikromanipulator zum Positionieren von Leitkleber und Dioden.



Positionierung der Diode mit Vakuum. Kanüle 0,3 mm Durchmesser.



Hier wurde eine „Dreifach-Diode“ der Firma **ACST GmbH** eingesetzt. Der Arbeitspunkt wurde mit einem Widerstand kleiner 1 K eingestellt.

Die erzielte Ausgangsleistung war weitere ca. 8 dB größer als die der ELECS Diode. Hierbei ist vermutlich nicht nur die Diode sondern auch der exzelete, nahezu professionelle Aufbau maßgebend.

Vielen Dank an meinen Sohn **Matthias DK5NJ**, der das Lektorat und die Übersetzung ins Englische übernommen hat.

Quellen- und Literatur Verweise:

DENIS BOULANGER: Wire bonding to Soft Substrates:
Microwave Journal Feb.1990

Technische Daten des **gXSB0019A** und **gAPZ0039A**
<https://www.gotmic.se/>

Technische Daten des **HMC1110**
<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/HMC1110.pdf>

Technische Daten des **HMC8142**
<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/HMC8142.pdf>

Sigurd Werner DL9MFV: Oszillatoraufbereitung für 122 GHz:
Frequenzvervielfacher auf 61 GHz und Signalverstärkung
UKW- Berichte 1/2013

Sigurd Werner DL9MFV: Frequenzverdoppler und subharmonischer Mischer für 122 GHz
UKW- Berichte 2/2013

Sigurd Werner DL9MFV: Oszillatoraufbereitung, passiver Frequenzverdreifacher und Mischer für 242 GHz
UKW- Berichte 1/2014

Sigurd Werner DL9MFV: Verbesserte Frequenzverdoppler für 122 GHz
UKW- Berichte 3/2014

Sigurd Werner DL9MFV: Neuer Frequenzverdreifacher und subharmonischer Mischer für 242 GHz
UKW- Berichte 1/2015

Sigurd Werner DL9MFV: Frequenzverdoppler für 122 GHz im Zwei-Schalenaufbau
UKW- Berichte 3/2013

SALUT ELECS Ltd. Dioden Daten:
http://www.db6nt.de/fileadmin/userfiles/_pdf/download_archiv/Elecs.pdf

MACOM Diode **MA46H146:**
<https://cdn.macom.com/datasheets/MAVR-000146.pdf>

MACOM Diode **MA4E1310:**
<https://cdn.macom.com/datasheets/MA4E1310.pdf>

Teledyne GaAs Millimeter Wave/Sub-Millimeter Wave Schottky Diodes:
<http://www.teledyne-si.com/products-and-services/scientific-company/gaas-millimeter-wave-sub-millimeter-wave-schottky-diodes>

ACST GmbH Dioden: <http://www.acst.de/>
Virginia Diodes, Inc.: <https://vadiodes.com/en/products-6/w-and-g-band-diodes>
Teratech Dioden: <http://www.teratechcomponents.com/>

Teledyne 241 GHz MMIC-Power Amplifier:
<http://www.teledyne-si.com/products-and-services/scientific-company/mmic-power-amplifier>

EXXWLIA Microwave Tuning Elements
<http://www.exxelia.com/en/product/detail/598/at-6926-x-sl-rohs>

DB6NT Download Archiv: <http://www.db6nt.de/download-archiv.html>