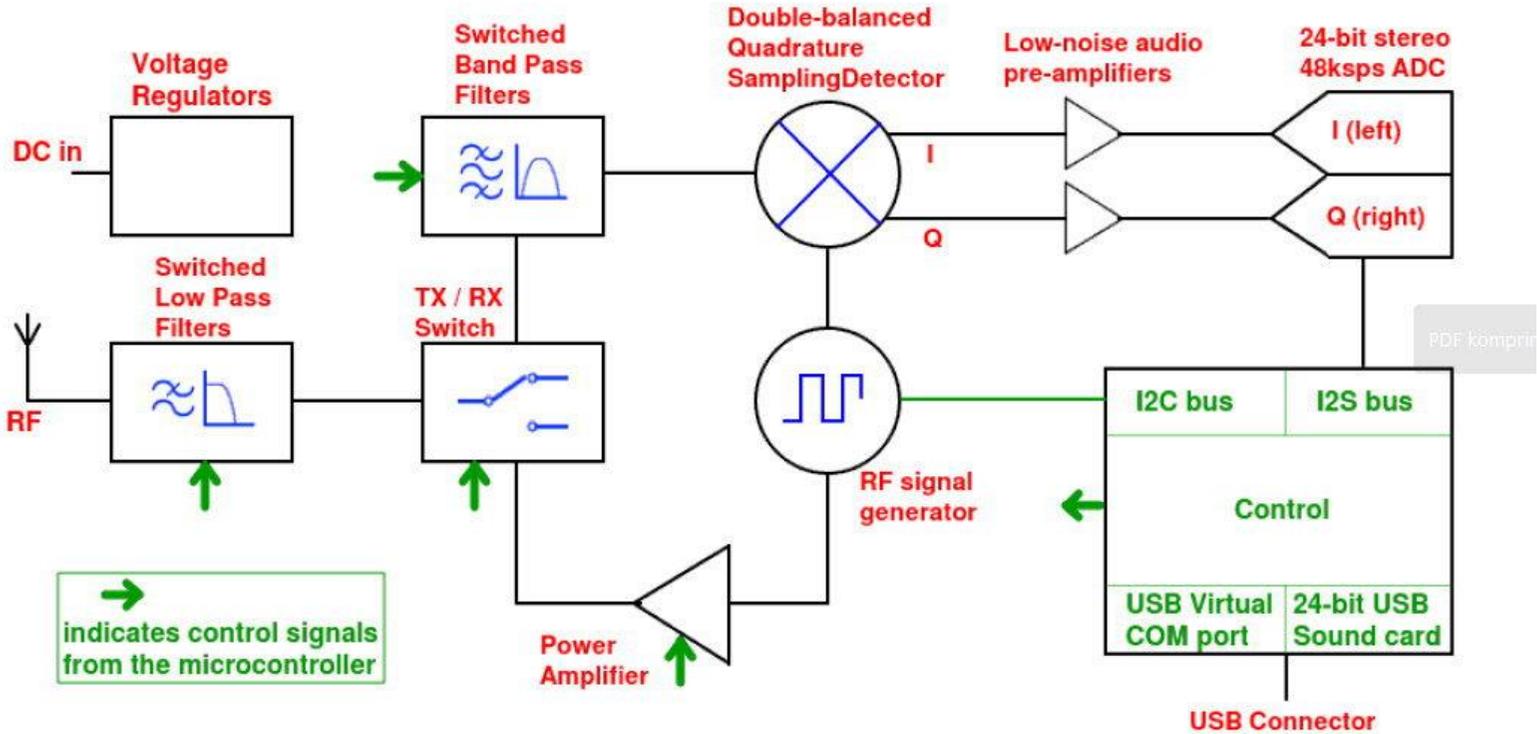


QDX-Vorstellung im H39-Workshop

DL6OAA



3.2 Block Diagram



QDX consists of the following circuit blocks:

Der QDX besteht aus folgenden Schaltungsblöcken (übersetzter Auszug aus (1)):

- Ein synthetisierter lokaler Oszillator, der den berühmten digitalen PLL-Signalgeneratorchip Si5351A verwendet.
- Als PLL-Referenz ist standardmäßig ein 0,25 ppm 25 MHz TCXO enthalten.
- Tiefpassfilterung zur Dämpfung von Emissionen bei Oberwellen der Betriebsfrequenz. 3 Filter werden verwendet, um die 80-, 40-, 30- und 20-m-Bänder abzudecken; Bandumschaltung erfolgt über die Verwendung von Festkörper-PIN-Dioden.
- Ein Festkörper-Sende-/Empfangsumschalter – keine sperrigen, lauten, teuren, unzuverlässigen Relais hier!
- Ein geschalteter Empfänger-Bandpassfilter, um dem Mischer ein gewisses Maß an Schutz zu bieten gegen Out-of-Band-Signale.
- Ein hochleistungsfähiger, doppelt symmetrischer Quadratur-Sampling-Detektor zum Mischen des eingehenden Signals mit den HF-Signalen zum Basisband erzeugt so die I- und Q-Signale.
- Ein rauscharmer Vorverstärker für die I- und Q-Signale.
- Hochleistungs-24-Bit-48ksps (Kilo-Samples pro Sekunde) Stereo-Analog-zu-Digital Konverter (ADC)-Chip mit 112 dB Dynamikbereich.
- Ein eingebetteter SDR-Empfänger (Software Defined Radio), der digital 12 kHz implementiert; ein Zwischenfrequenz-Überlagerungsempfänger mit hervorragender Leistung mit unerwünschter Seitenbandunterdrückung, außerdem Implementierung eines scharfen digitalen Filters.
- Eine integrierte 24-Bit-Stereo-USB-Soundkarte mit 48 ksps – kein rauschendes, überladenes Audio-Kabel mehr!!
- Eine serielle CAT-Steuerungsschnittstelle, ebenfalls über dasselbe USB-Kabel, um der PC-Software zu ermöglichen das Funkgerät (Frequenz, Sende-/Empfangsumschaltung usw.) auf standardmäßige Weise zu steuern.
- Der Mikrocontroller führt eine Einzelzyklus-Frequenzanalyse des Audiotons durch, und steuert den Signalgenerator Si5351A, die erforderliche HF-Frequenz zu erzeugen.

- Ein Klasse-D-Push-Pull-Leistungsverstärker, der klein, kostengünstig und hocheffizient ist und sehr niedrige geradzahlige Ausgangspegel produziert, wodurch die Anforderungen an das Tiefpassfilter reduziert werden.
- Spannungsregelung und Netzentkopplung.

Bei einem TRX für einige der digitalen Modi ist eine Frequenzaufbereitung wie in einem SSB-TRX nicht notwendig (übersetzter Auszug aus(1)).

Traditionell wurde normalerweise angenommen, dass die Übertragung digitaler Modi einen Computer erfordert um Audiotöne zu erzeugen, sowie einen SSB-Transceiver, um diese auf HF zu modulieren und sie an die Antenne zu übertragen.

Doch die weit verbreitete Annahme, dass ein SSB-Transceiver erforderlich ist, ist tatsächlich absolut falsch, zumindest für eine breite Kategorie von digitalen Modi, die ein getastetes Signal mit einzelnen Tonfrequenzverschiebungen übertragen. Diese Klasse von Übertragungen sind kein SSB, sie sind einzelne modulierte Trägerfrequenzen. Potenziell kann dies eine Vereinfachung des Funk-Sendeempfänger-Designs liefern, sowohl mit höherer Leistung als auch mit niedrigeren Kosten.

Warum ist das wichtig? Ein SSB-Senderdesign ist notwendigerweise relativ komplex und nicht trivial - aus mehreren Gründen: Das Audiosignal muss in einem SSB-Sender in HF umgewandelt werden. Der Sender kann üblicherweise die Form einer Superheterodyn-Architektur annehmen mit Modulator, ZF-Filter (Kristalle) und ein weiterer Mischer zur Umwandlung in die endgültige HF-Betriebsfrequenz. Es erfordert dann eine lineare Verstärkungskette, um die Signalamplitude auf die erforderliche Ausgangsleistung am Antennenanschluss anzuheben.

Eine alternative Architektur ist ein phasengesteuerter Netzwerksender, der davon Gebrauch macht, mit Phasentechniken das unerwünschte Seitenband zu nullen, und die Signale direkt vom Basisband in HF umwandelt.

Auch hier folgt wieder eine lineare Verstärkungskette. In beiden Fällen ist erhebliche Aufmerksamkeit auf das Design erforderlich, um die verbleibende Trägerfrequenz und das unerwünschte Seitenband zu minimieren. Die Linearität muss in der gesamten Verstärkerkette bis zum Antennenanschluss aufrechterhalten werden, um Splatter auf benachbarte Frequenzen zu vermeiden.

Obwohl das Audiosignal theoretisch ein einzelner Audio-Ton ist, so können Obertöne des Audio-Tons vorhanden sein, insbesondere wenn der Audiopegel zu hoch ist, und weil die Trägerunterdrückung und die Filterung des unerwünschten Seitenbands nie perfekt sind; also viel Potenzial für die Erzeugung von Intermodulationsprodukten - daher die Notwendigkeit einer durchgehend guten Linearität. Ein linearer Verstärker (z. B. Klasse AB) hat einen geringeren Wirkungsgrad im Vergleich zu nichtlinearen Verstärkern wie zB. Klasse C. Niedriger Wirkungsgrad bedeutet höhere Stromaufnahme bei gegebener Ausgangsleistung (weniger batteriefreundlich bei Portabelbetrieb) und eine höhere Wärmeabfuhr, die wahrscheinlich einen Kühlkörper der PA erfordert und bei den Transistoren zunehmende Größe, Kosten und Gewicht.

Die Tatsache, dass der Computer das Audio erzeugt, muss uns nicht daran hindern, es als einzelnen HF-Ton von einem HF-Signalgenerator zu erzeugen. Der Mikrocontroller kann die vom PC ankommenden Audiodaten analysieren und die Audiofrequenz bestimmen. Der erzeugte Ton wird dann zu einer HF-Basisfrequenz hinzugefügt (die wir bei einem SSB-Radio als „USB-Wählfrequenz bezeichnen) um die richtige HF-Trägerfrequenz zu bestimmen, die für die Übertragung erzeugt werden soll.

Der Rest besteht dann darin, einen HF-Generator anzuweisen, die berechnete Frequenz zu erzeugen die dann über einen Verstärker zur Antenne gelangt.

Das erzeugte Signal ist absolut sauber, nur mit harmonisch bedingten ungewollte Störaussendungen, die in der konventionellen Weise erledigt werden können über den Weg durch eine Tiefpassfilterung.

Die Bedeutung dieser Technik darf nicht unterschätzt werden. Wir brauchen keinen komplexen SSB-Modulator mehr mit mehreren Mischern, ZF-Filtern (bzw Phasenlage bei der direkten Methode).

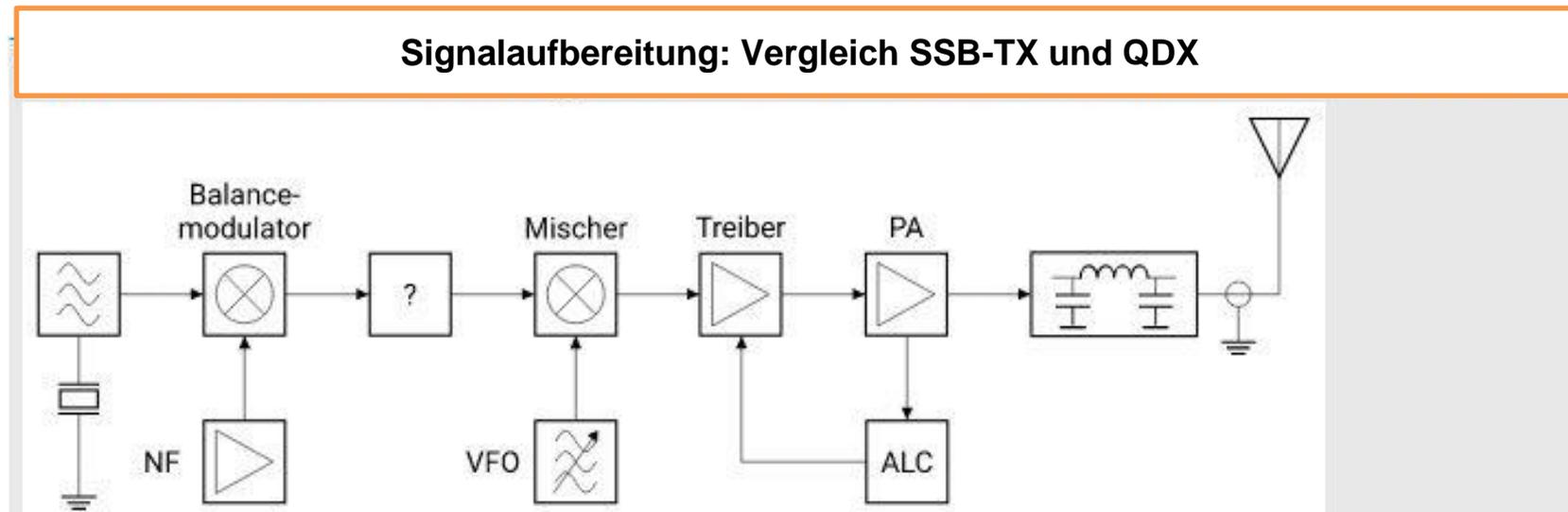
Keine lineare Verstärkungskette mehr – wir können nichtlineare Verstärker mit höherem Wirkungsgrad verwenden, wodurch der Bedarf an Kühlkörpern reduziert und der Sendestrom gesenkt wird.

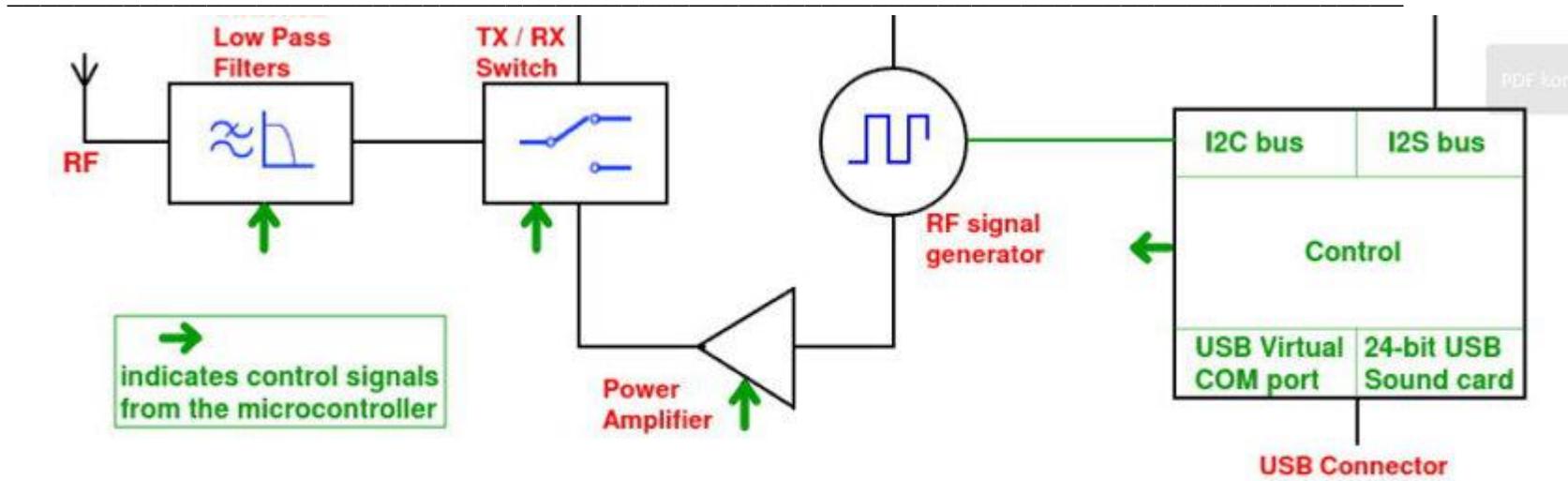
Das unerwünschte Seitenband EXISTIERT einfach NICHT. Es ist nicht nur „da, aber gedämpft“, je nachdem, wie gut der Transceiver entworfen und abgeglichen wurde - es ist einfach überhaupt nicht da.

Ebenso existiert kein Träger. Die Trägerunterdrückung in einem Modulator hängt davon ab, wie gut der Mixer ausbalanciert ist und ist nie perfekt. Aber hier erzeugen wir einen einzelnen Ton direkt – und es gibt KEINEN SSB-Träger. Null.

Es ist unmöglich, dieses Design zu übersteuern, indem man die Audiolautstärke am PC zu hoch aufdreht. Daher ist es unmöglich, ein unsauberes Signal zu erzeugen, das auf benachbarte Frequenzen splattert.

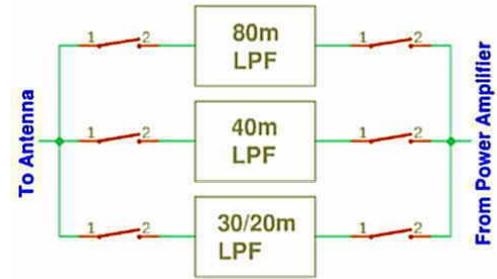
Vor diesem Hintergrund fügt sich der Rest des QDX-Transceiver-Designs um diese Mitte herum in das Konzept ein.



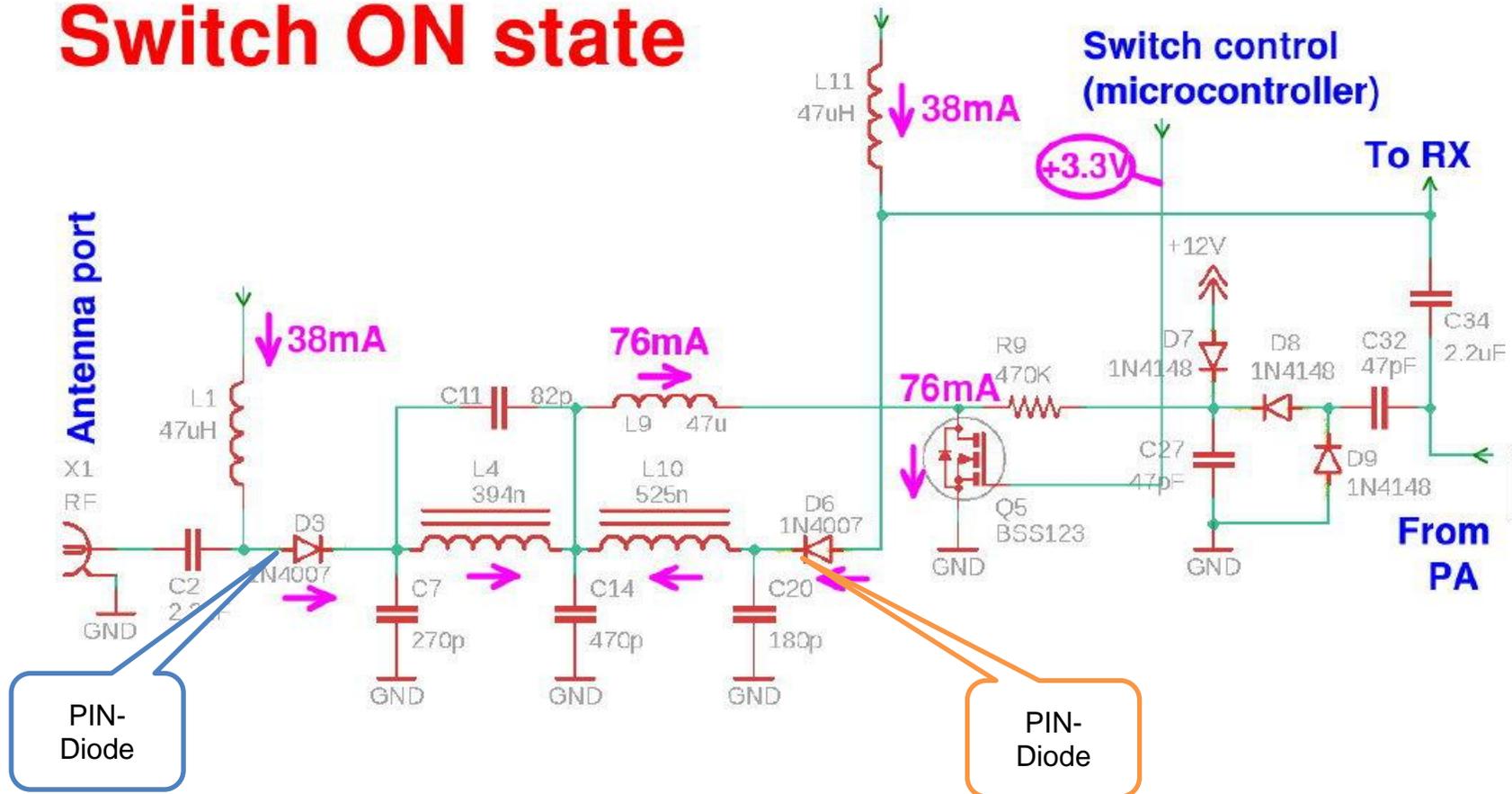


Im Workshop wurden einige schaltungstechnische Beispiele vorgestellt:

Tiefpassfilter: Umschaltung mit PIN-Dioden (einschalten)

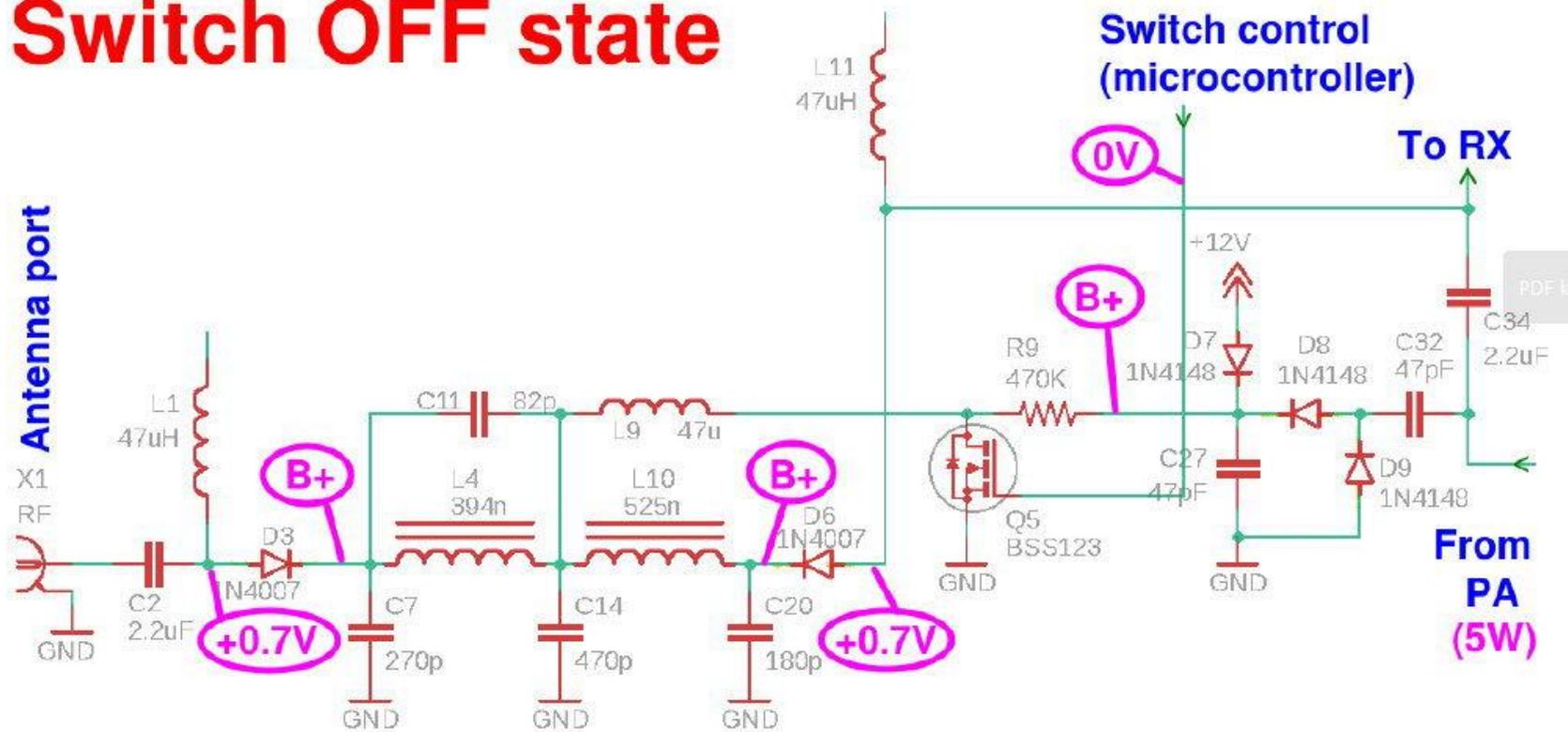


Switch ON state



Tiefpassfilter: Umschaltung mit PIN-Dioden (ausschalten)

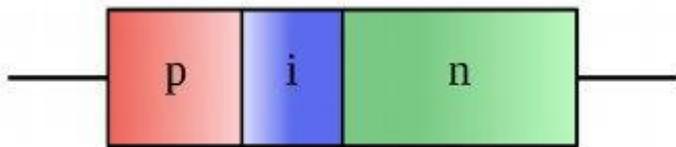
Switch OFF state



PIN-Diode:

Eine PIN-Diode verhält sich bei Funk- und Mikrowellenfrequenzen wie ein **stromgesteuerter Widerstand**. Wie die herkömmliche PN-Diode lässt sie einen Stromfluss in eine Richtung zu, wenn sie in Durchlassrichtung vorgespannt ist, aber nicht in die andere, wenn sie in Sperrrichtung vorgespannt ist. Diese Funktionalität ist ein einfacher und kritischer Funktionsblock vieler Schaltungen, die DC bis HF umfassen.

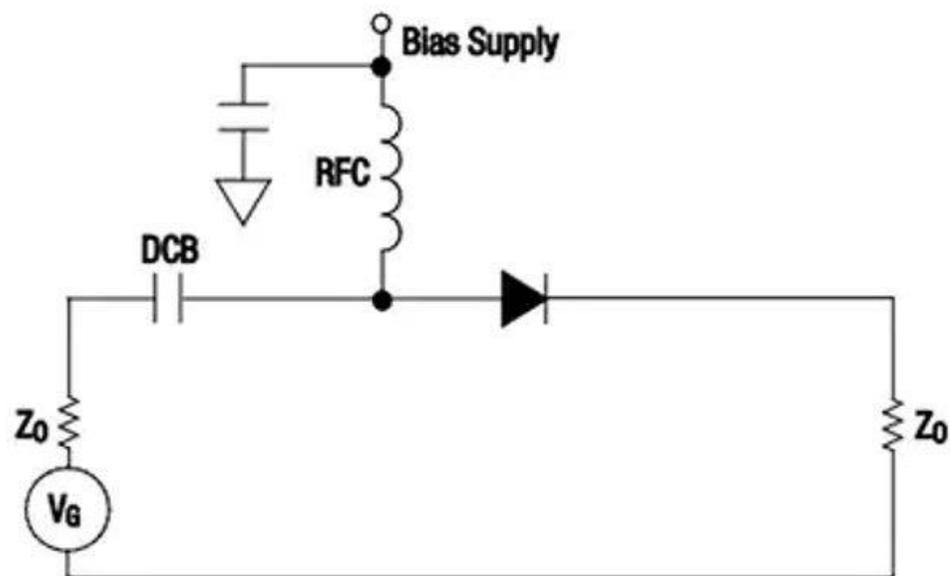
Anders als die PN-Diode hat die PIN-Diode jedoch eine "**intrinsische**" Schicht, die zwischen ihren P- und N-Schichten angeordnet ist. Während die Gerätephysik komplex ist, ist das Ergebnis eine steuerbare Schaltaktion mit einem Twist. Wenn die PIN-Diode in Vorwärtsrichtung vorgespannt ist, lässt sie HF-Energie fließen, und wenn sie in Sperrrichtung vorgespannt ist, blockiert sie HF-Energie. Dies ist die Grundlage für die Verwendung der PIN-Diode in einer Vielzahl von HF-Schalttopologien.



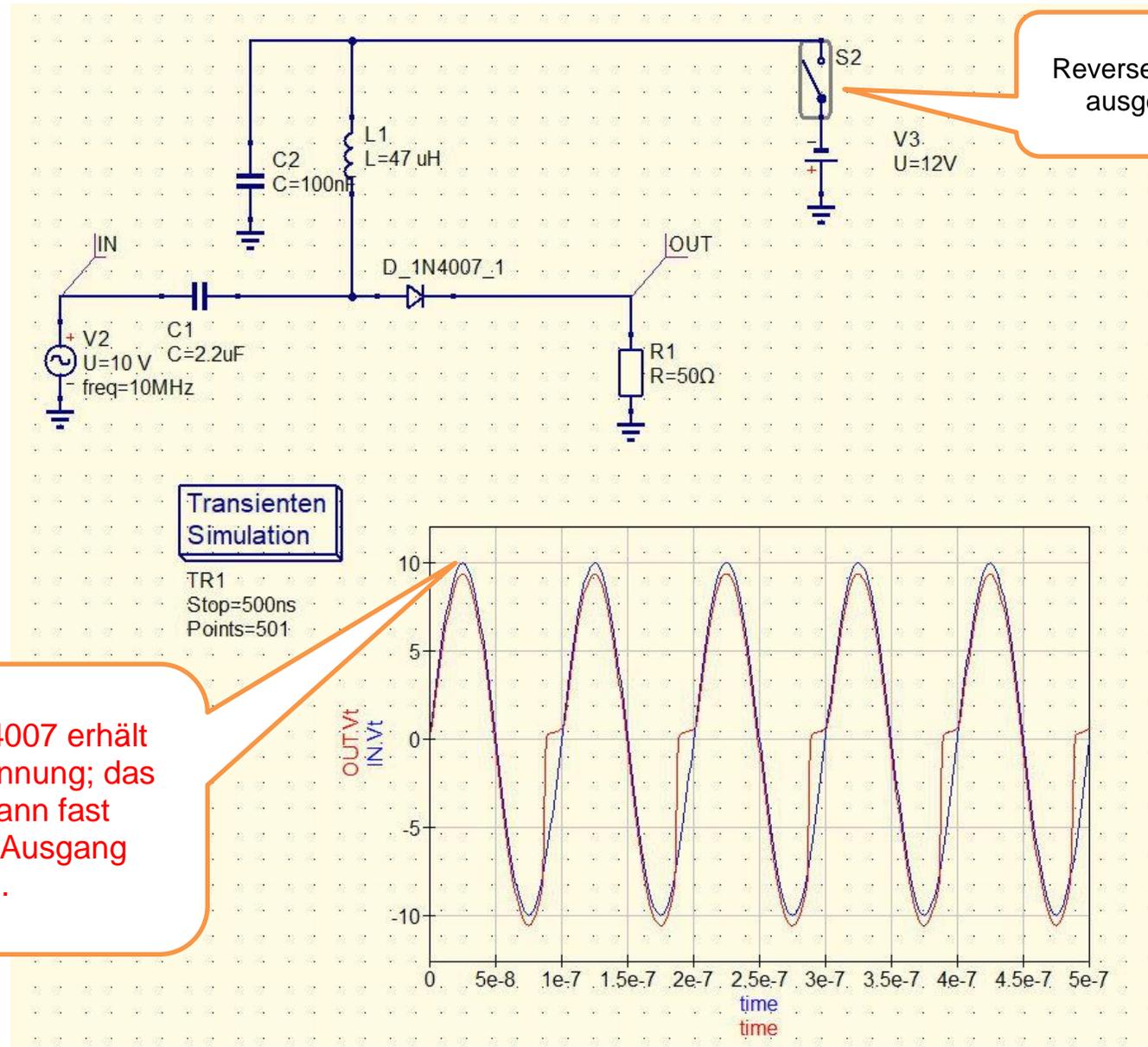
PIN Dioden sind im Vergleich zu herkömmlichen Gleichrichterdioden relativ teuer – deshalb werden im QDX die „PIN-Dioden des armen Mannes“ verwendet.

W6JL hat in ausgiebigen Versuchen herausgefunden, dass die Gleichrichterdiode 1N4007 in gewissen Grenzen Eigenschaften wie eine PIN-Diode aufweist.

Hier wird die negative Reverse-Spannung über die Drossel an die Anode der PIN-Diode gelegt. Ohne BIAS-Supply ist die Diode niederohmig, mit der Reverse-Spannung wird die PIN-Diode hochohmig. Die Reverse-Spannung muss mindestens so groß sein wie die Spitzen-Spitzen-Spannung des Generatorsignals.

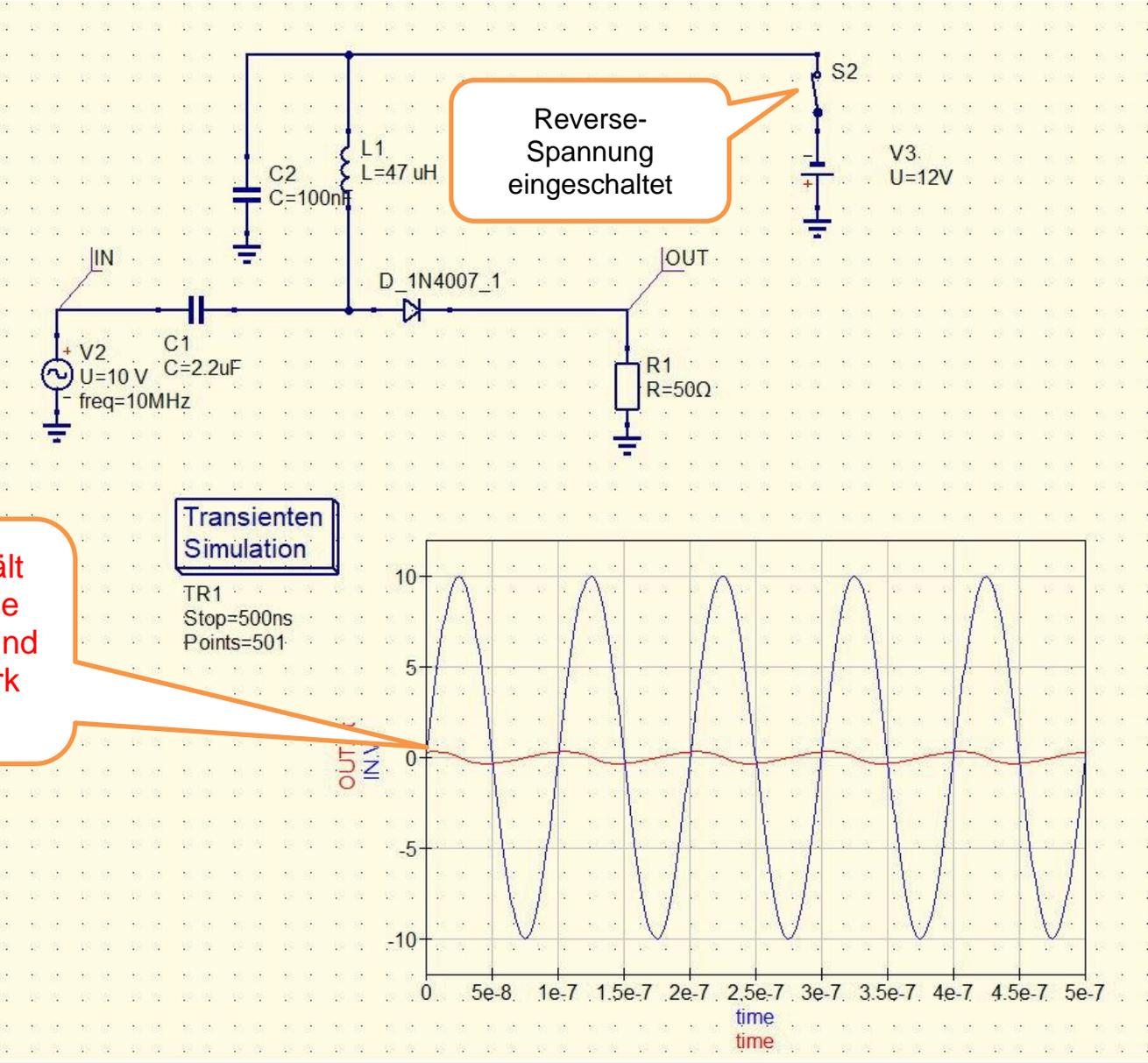


Simulation mit Qucs-Studio:



Reverse-Spannung
ausgeschaltet

Die Anode der 1N4007 erhält keine negative Spannung; das 10MHz-Signal kann fast ungedämpft zum Ausgang gelangen.



Die Anode der 1N4007 erhält eine negative Spannung; die PIN-Diode wird hochohmig und das 10MHz-Signal wird stark gedämpft.

Reverse-Spannung eingeschaltet

Transienten Simulation

TR1
Stop=500ns
Points=501

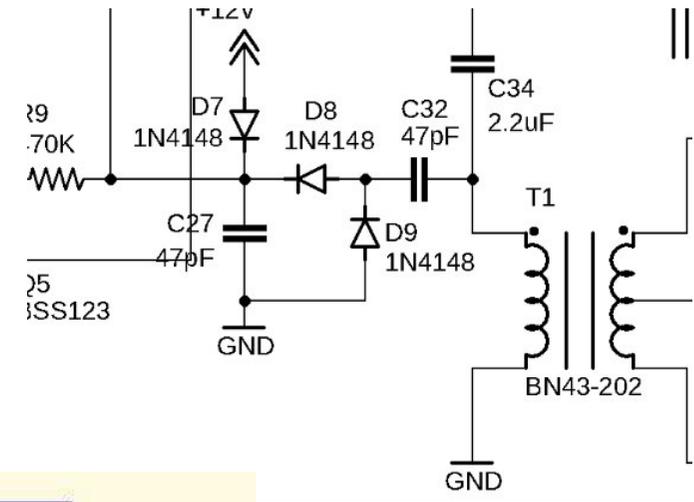
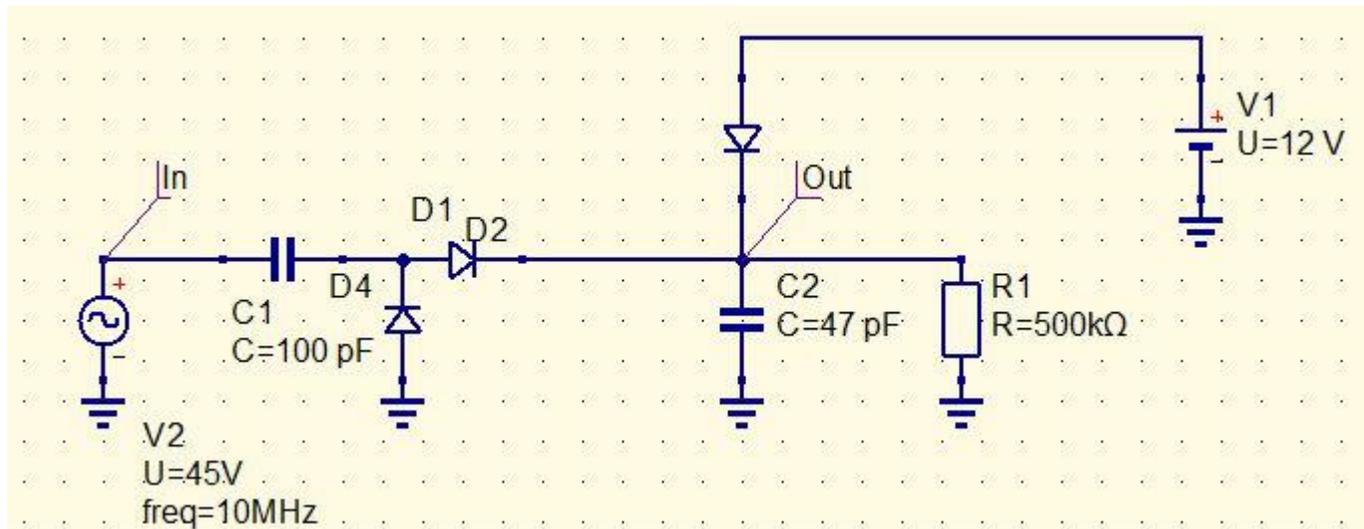
OUT
IN

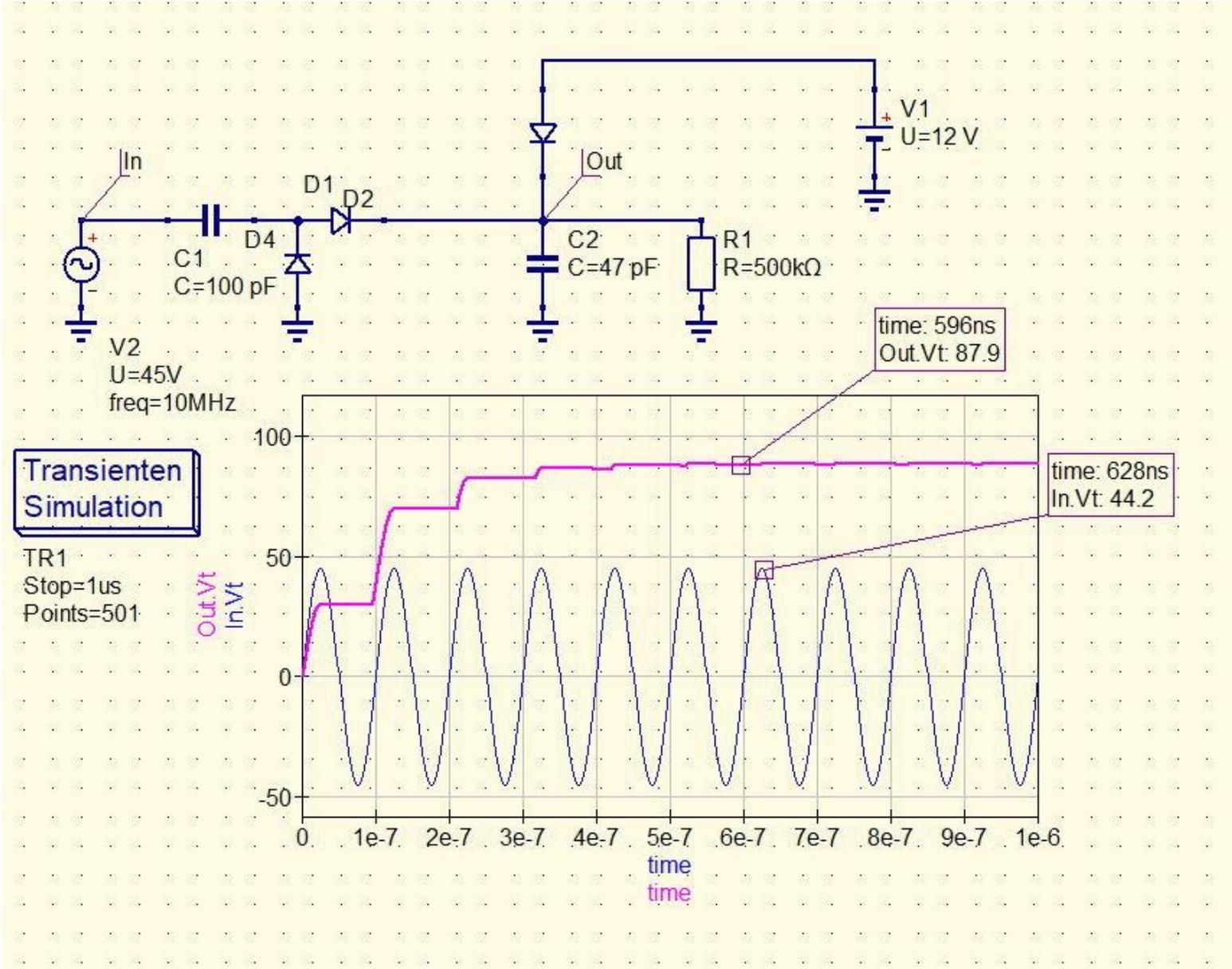
time

Spannungsverdoppler:

Bei 5W Ausgangsspannung müssen im QDX mit den PIN-Dioden 45 V geschaltet werden, d.h. die Reverse-Spannung muss mindestens 45V betragen. Beim QDX wird das durch einen Spannungsverdoppler realisiert.

Simulation mit dem Qucs-Studio:





Quellen:

- (1) https://www.qrp-labs.com/images/qdx/manual_1_11.pdf
- (2) <https://www.darc.de/der-club/referate/ajw/darc-online-lehrgang/#c36583>
- (3) <https://www.digikey.at/de/articles/how-and-why-to-use-pin-diodes-for-rf-switching>
- (4) <https://www.elektroniktutor.de/bauteilkunde/pindiode.html>
- (5) <https://www.qrp-labs.com/qdx.html>