

## Das binaurale Empfangsprinzip

Stefan Steger, DL7MAJ, Gulbranssonstr. 20, 81477 München; Tel.: 089/7900920;  
eMail: [stefan.steger@t-online.de](mailto:stefan.steger@t-online.de); oder: [dl7maj@darf.de](mailto:dl7maj@darf.de)  
homepage: [www.dl7maj.de](http://www.dl7maj.de)

### Einleitung

Das binaurale Empfangsprinzip ist – zumindest in der deutschsprachigen Literatur - weitgehend unbekannt. Der Autor wurde durch einen Artikel im ARRL-Handbuch /1a,1b/ darauf aufmerksam. Nach dem Studium weiterer Literaturstellen /2/ und /3/ reifte der Entschluß, dieses Prinzip auch selbst zu erproben. Der Aufwand erschien allerdings recht hoch, so daß zunächst nur ein binauraler ZF-Teil für einen vorhandenen KW-Empfänger gebaut wurde. Dadurch entfiel der Aufwand für einen VFO, die Vorselektion und eine großsignalfeste Eingangsstufe.

### Doch zuerst etwas Empfängertheorie

Das binaurale Empfangsprinzip kann in die Reihe der Direktüberlagerungsempfänger (DC) und Empfänger nach der Phasenmethode (analog oder DSP) eingereiht werden (Bild 1). Bild 1A und B zeigen die bekannten klassischen Empfangsmethoden; Empfänger nach 1A sind die am häufigsten gebauten. Die (analoge) Phasenmethode nach Bild 1C ist wenig verbreitet, weil der Bau analoger  $90^\circ$  – Phasenschieber für den gewünschten NF-Bereich problematisch ist. Alternativ kann auch eine DSP nach Bild 1D zum Einsatz kommen. Die Phasenmethode hat gegenüber dem DC-Prinzip den Vorteil, dass sie nur das gewünschte Seitenband - USB oder LSB – überträgt; Gleiches gilt auch für Sender. Das binaurale Prinzip ist eine Variante der Phasenmethode.

### Jetzt wird's „zweihörig“

„Binaural“ bedeutet zweihörig, also im Prinzip Stereoempfang, obwohl die empfangenen Signale nur monaural sind. Bild 2 zeigt den Übergang von der Phasenmethode auf binauralen Empfang. Dabei wird die Fähigkeit des menschlichen Gehörs und Verstandes zur Interpretation des Gehörten genutzt. Das empfangene Signal wird in zwei Kanäle zerlegt, die um  $90^\circ$  verschoben sind. Es entsteht somit der Eindruck, dass die frequenzmäßig verschobenen Stationen auch räumlich verschoben sind – das Spektrum erklingt im Prinzip stereophon. Bei richtiger Wahl der Frequenzlage können die LSB-Signale links und die USB-Signale rechts gehört werden. SSB-Signale hören sich auch etwas breit an, sie sind räumlich nicht exakt zu orten, während CW-Signale eine eindeutige räumliche Lage haben.

### Die Schaltung des Versuchsgerätes

Es wurde ein ZF-Teil als Nachsetzer für einen Drake R-4C gebaut, der einen nachgerüsteten ZF-Ausgang für 5,645MHz hat. Bild 3a/b zeigt die Schaltung: Das empfangene ZF-Signal wird mit einem ohmschen Teiler („6dB-Stern“) R1-R3 auf die beiden Mischer aufgeteilt. Das BFO-Signal des Empfängers wird in Q1 verstärkt und über den Quadratur-Hybrid, bestehend aus T2, C2, C3 und R4 um  $90^\circ$  verschoben auf die beiden Mischer U1-U2 gegeben. Der Quadratur-Hybrid ist für 5,645 MHz ausgelegt, die Dimensionierung ist im Anhang beschrieben. An R5 und R6 entstehen die beiden ebenfalls um  $90^\circ$  verschobenen „NF-Signale“, die im folgenden 2-kanaligen NF-Teil verstärkt werden. Bild 3b zeigt nur einen Kanal, der 2.Kanal ist natürlich identisch aufgebaut.

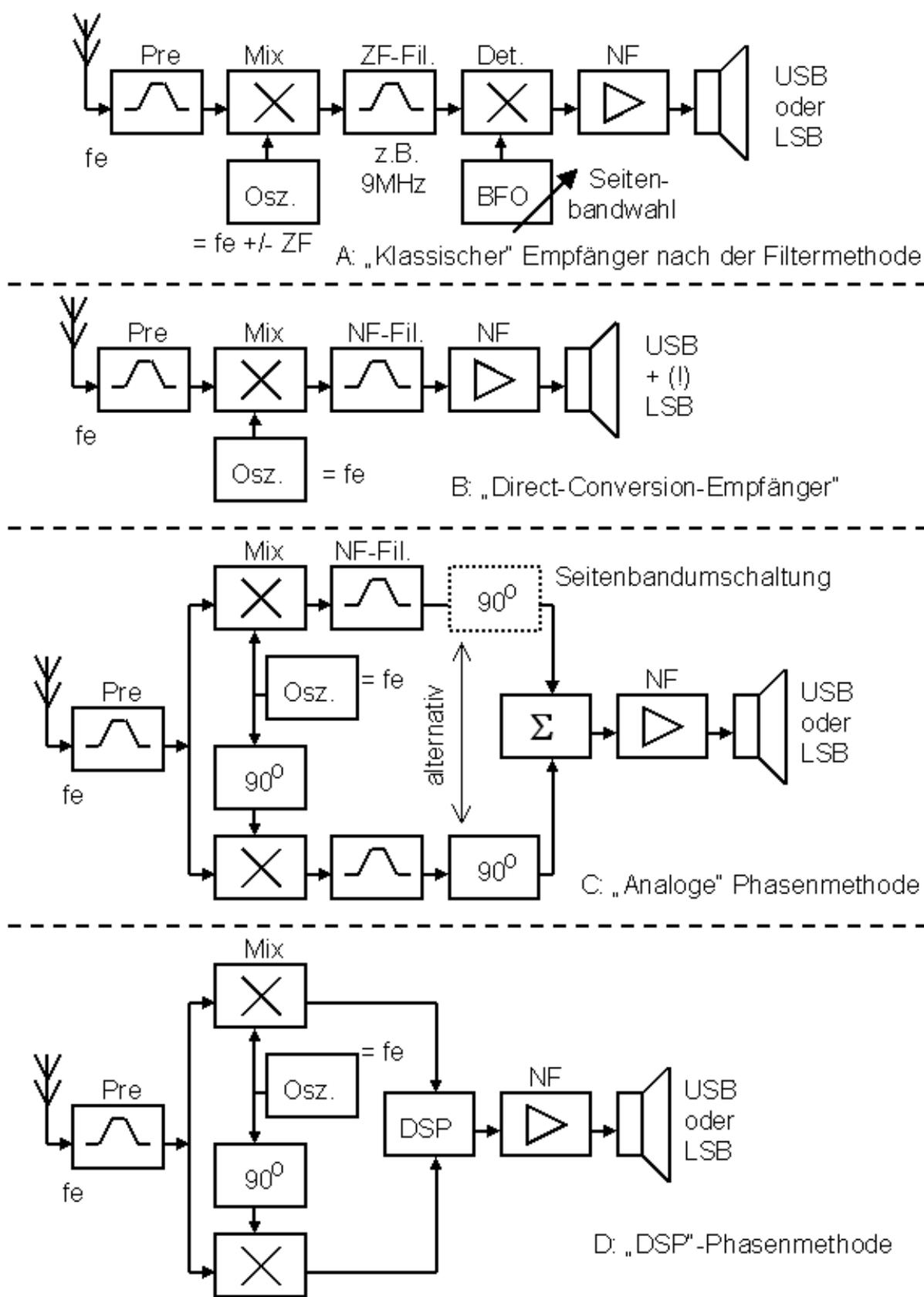


Bild 1 Empfangskonzepte - allgemein

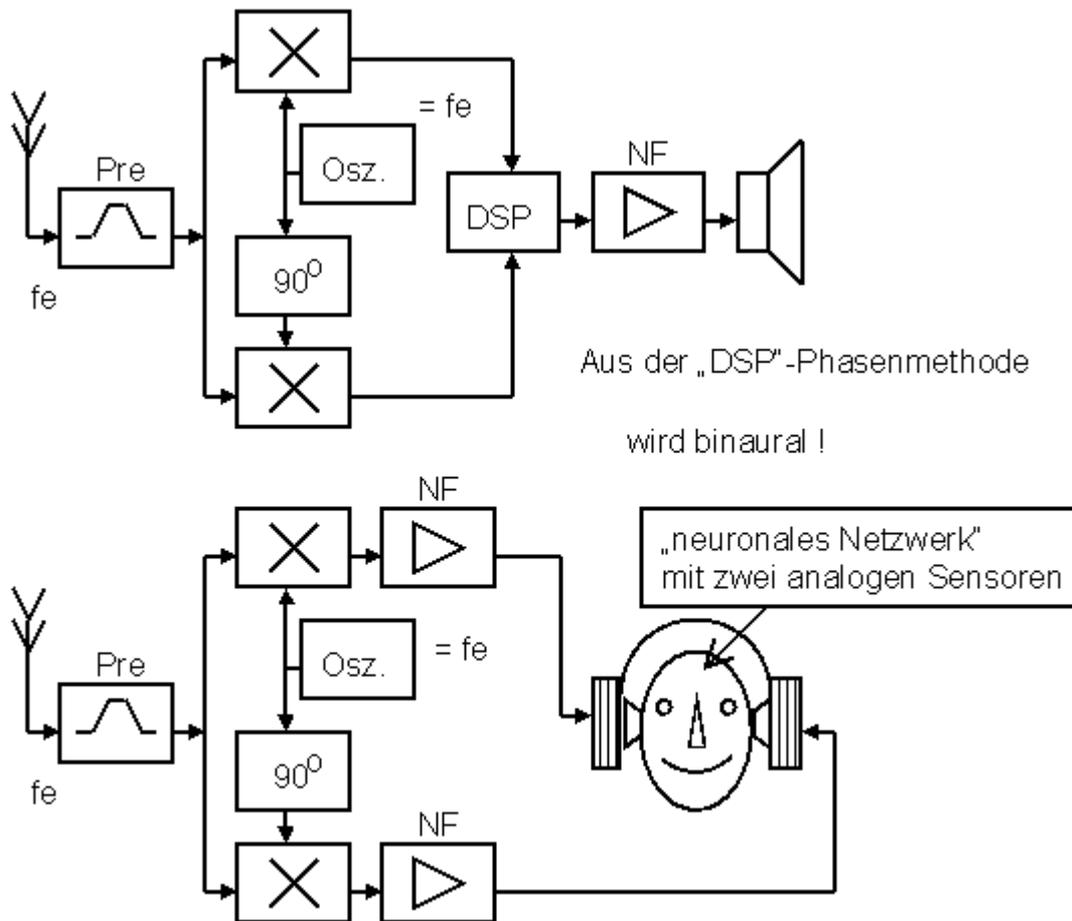
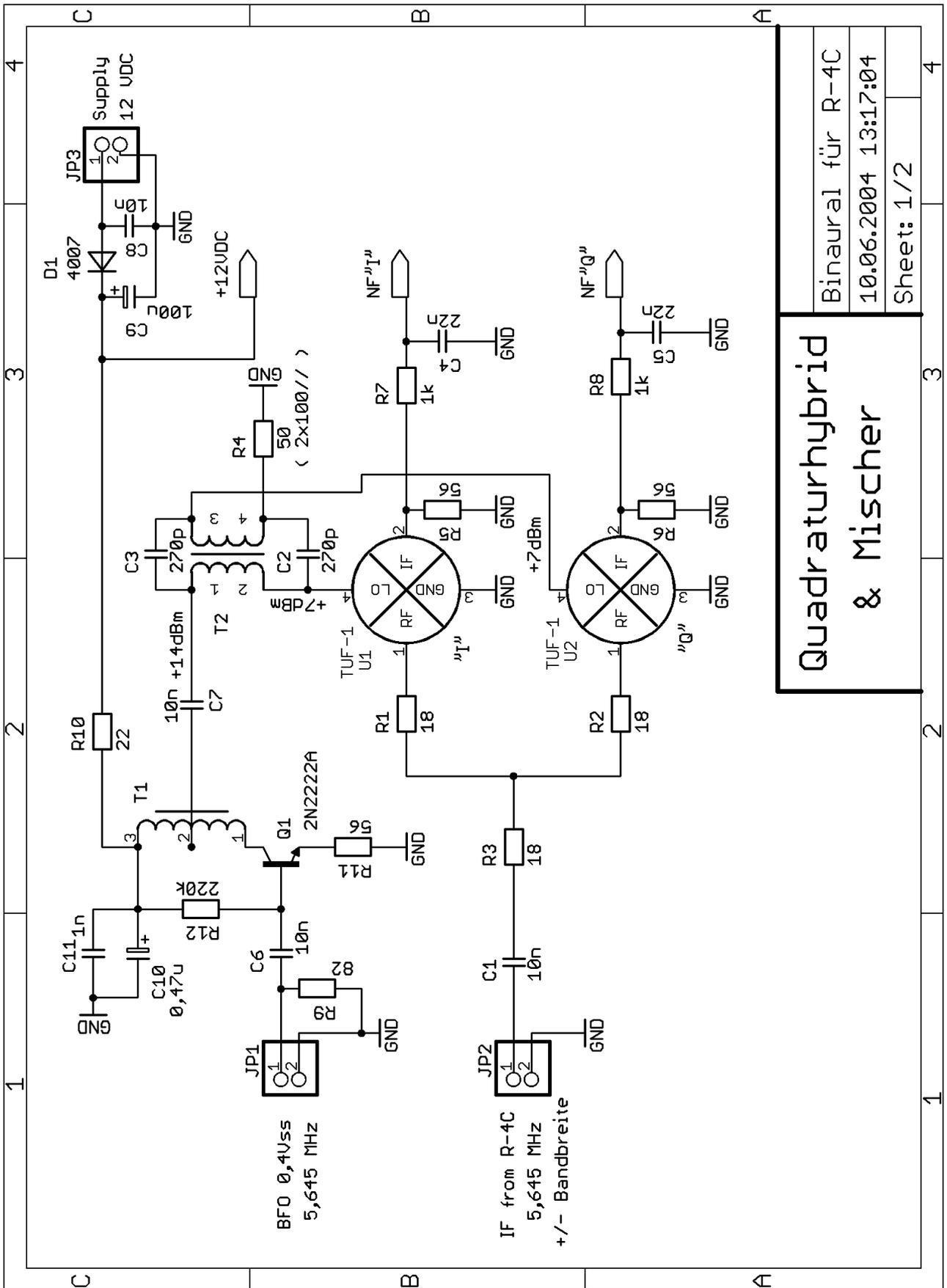


Bild 2 Das binaurale Empfangsprinzip

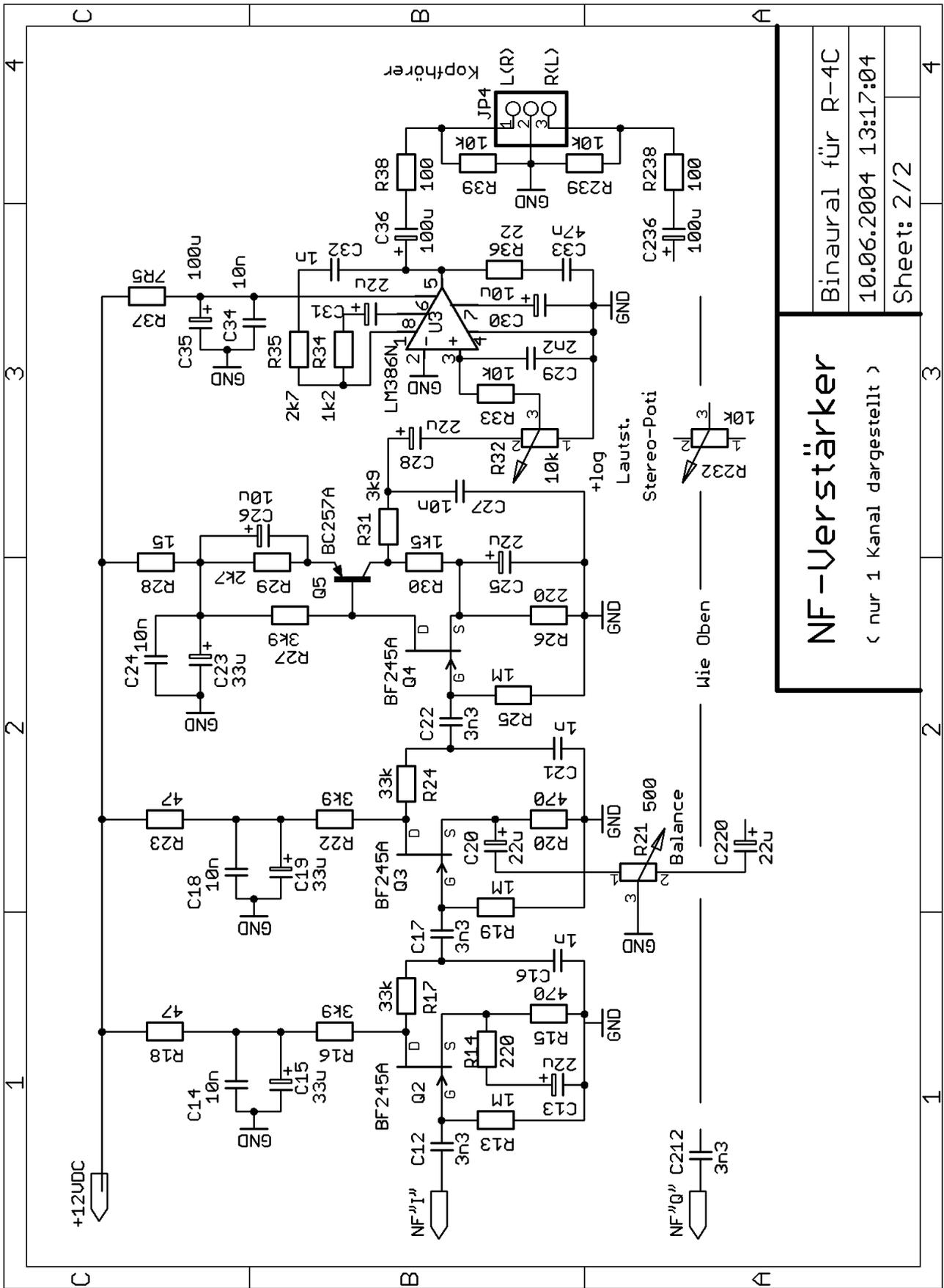
Hier ist zu beachten, dass je nach Vorselektion des Empfängers eine Bandbreite von mehreren 100kHz anliegt, so dass von reiner „NF“ nicht die Rede sein kann. Zusätzlich ist der Dynamikumfang wegen der fehlenden AGC riesig! Somit muss der nachgeschaltete „NF“-Verstärker in den Punkten Rauschen, Großsignalverhalten und Linearität die Anforderungen eines echten „ZF“-Verstärkers erfüllen! Er ist kein Verstärker der „nur“ NF verstärkt, deshalb wurden rauscharme FET's mit Gegenkopplung eingesetzt. Mit den RC-Tiefpässen R7/C4, R17/C16, R24/C21, R31/C27 und R33/C29 wird die obere Grenzfrequenz auf ca. 5kHz festgelegt. Zusätzlich wird der NF-Ausgangsverstärker U3 über R35/C32 in der Bandbreite begrenzt. Die Koppelkondensatoren C12, C17 und C22 sind so ausgelegt, dass sehr niederfrequente Signale unterdrückt werden, um das lästige „Popp“ beim Abstimmen auf ein starkes Signal zu unterdrücken. Die Gesamtverstärkung pro Kanal (gemessen im Leerlauf zwischen C12 und C36 bei 2,5kHz) beträgt  $680.000 = 117 \text{ dB}$  ! Mit einem Stereo-Poti wird die Lautstärke eingestellt, ein Balanceregler gleicht Unsymmetrien zwischen den Kanälen aus. Ein Drehschalter ist für die Umschaltung der RC-Tiefpässe vorgesehen, aber im Versuchsstadium während der Erstellung des vorliegenden Scriptes noch nicht beschaltet. Die Bandbreitenbegrenzung mit RC-Tiefpässen ist nicht optimal, aber für die Versuchsschaltung ausreichend. Besser wären für die Weitabselektion natürlich LC-Tiefpässe nach /1a-b/ und /2/; hier bietet sich somit ein Verbesserungspotential. Daß wegen der hohen NF-Verstärkung die Versorgung aus einer stabilen, brumm- und rauschfreien 12V-Quelle erfolgen muß, versteht sich eigentlich von selbst.



# Quadraturhybrid & Mischer

Binaural für R-4C  
10.06.2004 13:17:04  
Sheet: 1/2

Bild 3a Quadraturhybrid und Mischer



**NF-Verstärker**  
 ( nur 1 Kanal dargestellt )

Binaural für R-4C  
 10.06.2004 13:17:04  
 Sheet: 2/2

Bild 3b, NF-Teil

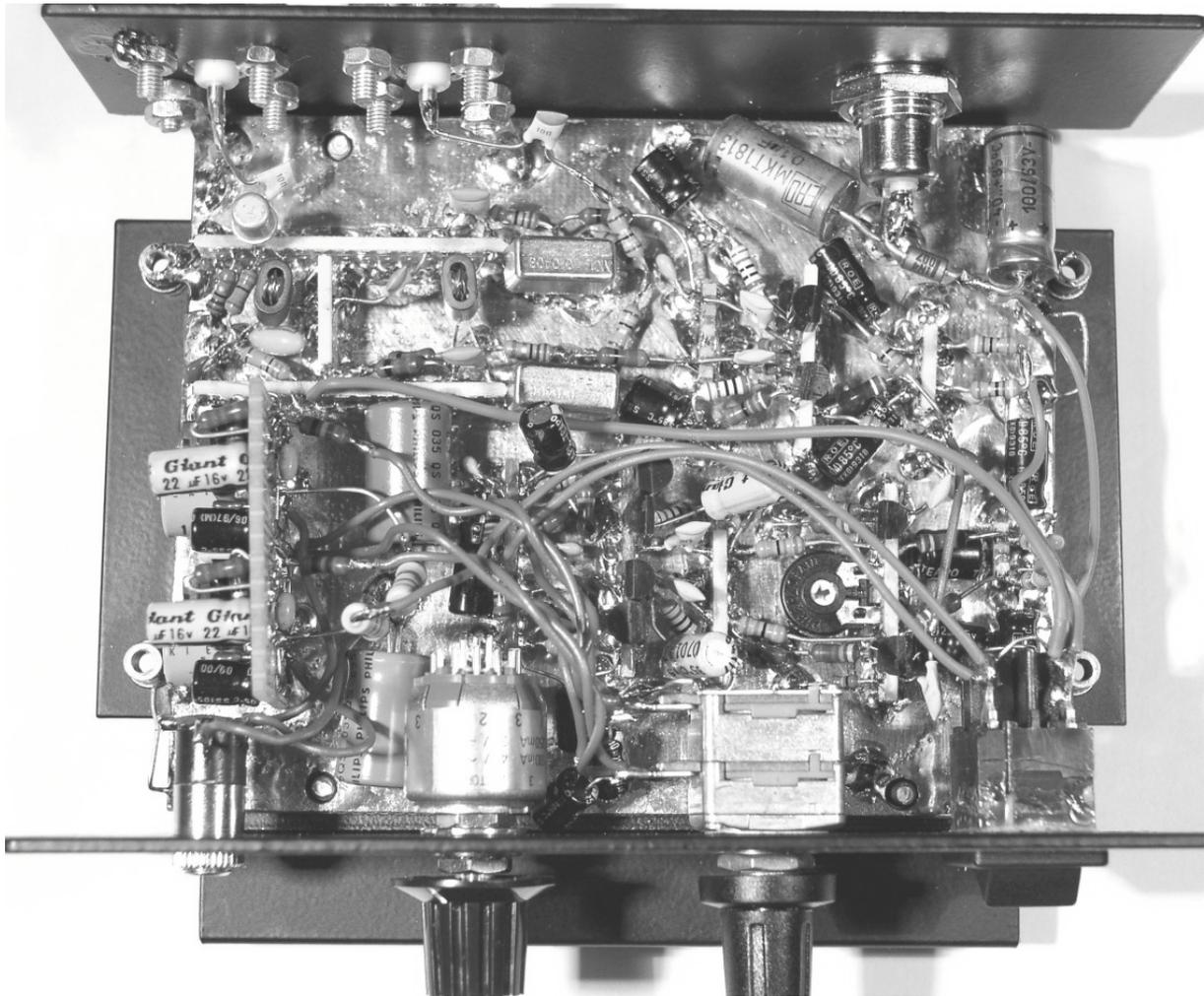


Bild 4 Innenansicht des Mustergerätes

### Ein paar Messwerte des Mustergerätes

NF, obere Grenzfrequenzen: -3dB: 3,3kHz / -10dB: 5,0kHz / -20dB: 7,5kHz / -60dB: 21kHz

NF, untere Grenzfrequenzen: -3dB: 770Hz / -10dB: 260Hz / -20dB: 100Hz / -30dB: 50Hz

NF-Verstärkung (nach den Mischern):  $680.000 = 117 \text{ dB}$

Empfindlichkeit (3dB-Methode):  $-95 \text{ dBm} = 4 \text{ uV}$

Dynamikumfang (IMD) bei  $df = 100 \text{ kHz}$ : 79dB, IP3 (Eingang): 23dBm („6dB-Stern“ im Eingang!)

### Die Praxis

Der optimale Höreindruck kann nur mit einem Stereokopfhörer erreicht werden. Die Hörergebnisse sind beeindruckend und können nur selbst erfahren werden! Nach einigen Minuten des Hörens ergibt sich dann der gewünschte räumliche Eindruck: >>> Hören und Geniessen!

Hinweis: Beim Empfang ist die fehlende AGC zu beachten, die zu unerwarteten akustischen Überraschungen führen kann, wenn plötzlich ein starkes Signal auftaucht oder auch nur ein Lichtschalter betätigt wird! Deshalb sollte eine Hand immer am Lautstärkepoti bleiben, vorsichtige Naturen können auch eine Begrenzung der NF am Ausgang vorsehen (Limiter).

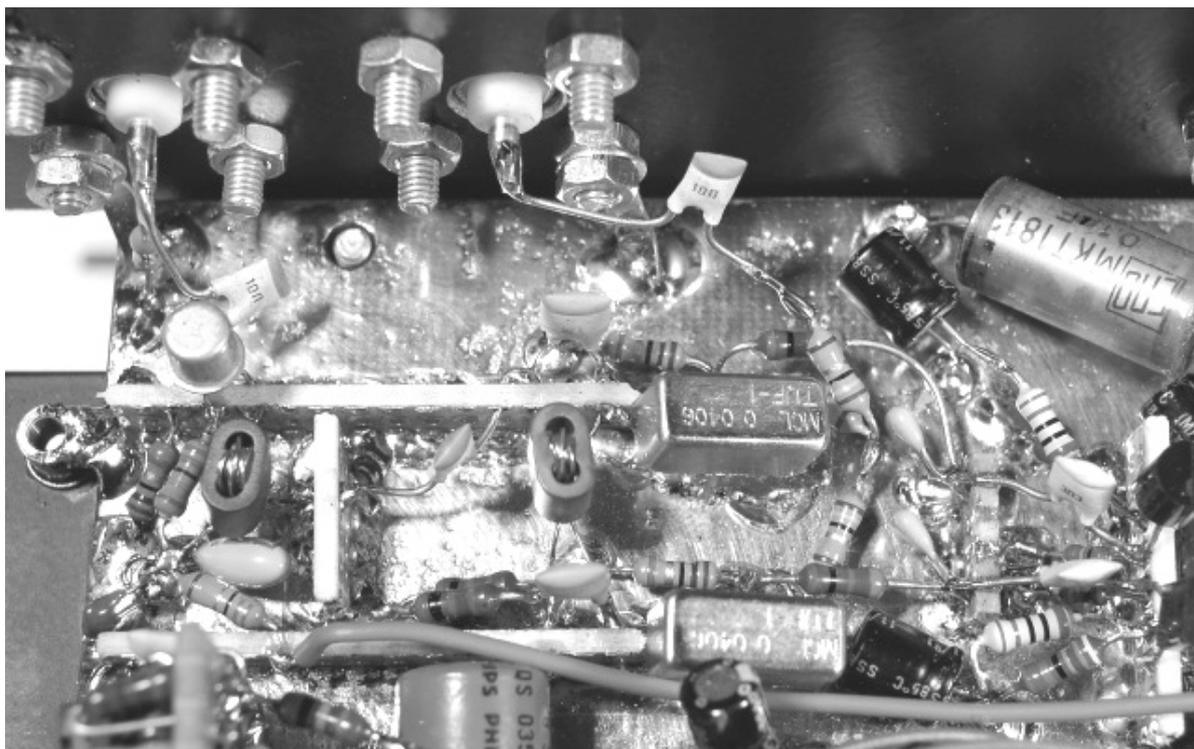


Bild 5 Detailansicht des Quadratur-Hybrids

### Erweiterung zum kompletten Empfänger

Selbstverständlich ist auch ein kompletter Empfänger nach /1a,1b/ möglich, wenn ein VFO ergänzt wird, der den BFO ersetzt. Der Eingangsteil darf dann nicht mit dem ohmschen Teiler sondern muß mit einem verlustfreien Powersplitter (z.B. Wilkinsonteiler) bestückt werden, weil die Anordnung sonst zu unempfindlich wird. Problematisch sind hier ohnehin die größeren NF-Bandbreiten und die Verluste in den Mischern. Eine zusätzliche Vorselektion ist auch ratsam. Verlustfreie Diplexer an den Mischerausgängen statt der Widerstände R5 bis R8 sind zu empfehlen. Leider ist wegen der notwendigen Anpassung des Quadratur-Hybrids bei Verwendung des Direktüberlagerungsprinzips immer nur ein Amateurfunkband realisierbar, so daß für Mehrbandbetrieb entweder umschaltbare Quadratur-Hybrids oder alternativ ein Superhet-Empfangsprinzip mit fester ZF gewählt werden muß. Die hier vorgestellte Verwendung eines KW-Empfängers mit ZF-Ausgang ist sicher eine der einfachsten Lösungen.

### Literatur

- /1a/ ARRL-Handbook 2004, Seite 17.73, „A binaural I-Q-Receiver“
- /1b/ QST März 1999, „A Binaural I-Q-Receiver“ (entspricht /1a/)
- /2/ QST August 1992, „High Performance DC-Receivers“
- /3/ QST Januar 1978, „Twisted Wire Quadrature Hybrid Directional Couplers“

Diese QST-Artikel, weitere Informationen zum Thema und umfangreiche Hörproben als wav-Files kann ich gegen geringe Kostenerstattung auf einer CD zur Verfügung stellen – Informationen dazu gibt's auf meiner homepage: [www.dl7maj.de](http://www.dl7maj.de)

## Anhang - Untersuchung am Quadratur-Hybridkoppler

Es wurde ein Quadratur-hybridkoppler mit zwei Ringmischern nach der Schaltung Bild 3a untersucht. Die Auslegung für  $f_0 = 5.645 \text{ kHz}$  (1.ZF vom Drake R-4C) erfolgte nach dem Artikel von W2CQH in der QST Januar 1978 /3/. Dabei werden die beiden C's (540pF) und die Induktivität des Trafos (1,41uH) auf ein X von 50 Ohm bei 5,645 MHz ausgelegt:

$C = 1 / (\omega \times 50\Omega)$ ;  $L = 50\Omega / \omega$  mit  $\omega = 2\pi f$ ;  $f = 5,645 \text{ MHz}$ .

Ergebnisse:  $C = 564\text{pF}$ ;  $L = 1,41\mu\text{H}$ . Die Gesamtkapazität von 564pF wird - abzüglich der Eigenkapazität des Übertragers (geschätzt 5...10pF)- auf die beiden C's aufgeteilt: 270pF.

Aus dem AL-Wert des Kerns (140nH/Wdg) ergibt sich eine Windungszahl von  $3,15 = 3 \text{ Wdg}$ .

Über einen „6dB-Stern“ zur Entkopplung wird das ZF-Signal eingespeist. Der LO wird über den Quadraturkoppler bestehend aus  $2 \times 270\text{pF}$ , einem bifilar gewickelten Übertrager mit 1,41uH pro Seite und dem 50-Ohm-Widerstand auf die beiden Mischer gegeben. Die HF-Signale RF (ca. – 20dBm) und das LO-Signal (ca. 10dBm) werden mit zwei professionellen Signalgeneratoren erzeugt. Über die beiden NF-Ausgänge werden das IN-Phase-Signal „I“ und das um 90Grad verschobene Signal „Q“ entnommen. Ein Oszilloskop mit entsprechenden Einschüben ermöglicht im alternierenden Betrieb die phasenrichtige Darstellung der beiden NF-Signale und der Lissajousfigur (Bild 6).

### Zusammenfassung der Ergebnisse (Bilder 7 und 8):

Bild 7 zeigt die an den beiden Mixern anliegenden LO-Signale mit  $90^\circ$  Grad Verschiebung.

In der linken Spalte von Bild 8 (Photos 1 bis 3) war  $f_{\text{IF}}$  größer als  $f_{\text{LO}}$ , mit dem Ergebnis, daß das NF-Signal „I“ gegenüber „Q“ immer um 90 Grad voreilend ist. In der rechten Spalte mit  $f_{\text{IF}}$  kleiner als  $f_{\text{LO}}$  ist es entsprechend umgekehrt. Die Triggerung erfolgte immer mit dem „I“-Signal auf Channel 1. An den Lissajousfiguren in den Photos ist zu erkennen, dass die Phasenverschiebung unabhängig von der NF-Frequenz IMMER 90 Grad ist! Das gilt auch für Schwebungen mit  $df$  nahezu Null. Wenn  $f_{\text{IF}}$  (fast) gleich  $f_{\text{LO}}$  ist, „wandert“ der Punkt der Lissajousfigur auf einem Kreis (=Schwebung).

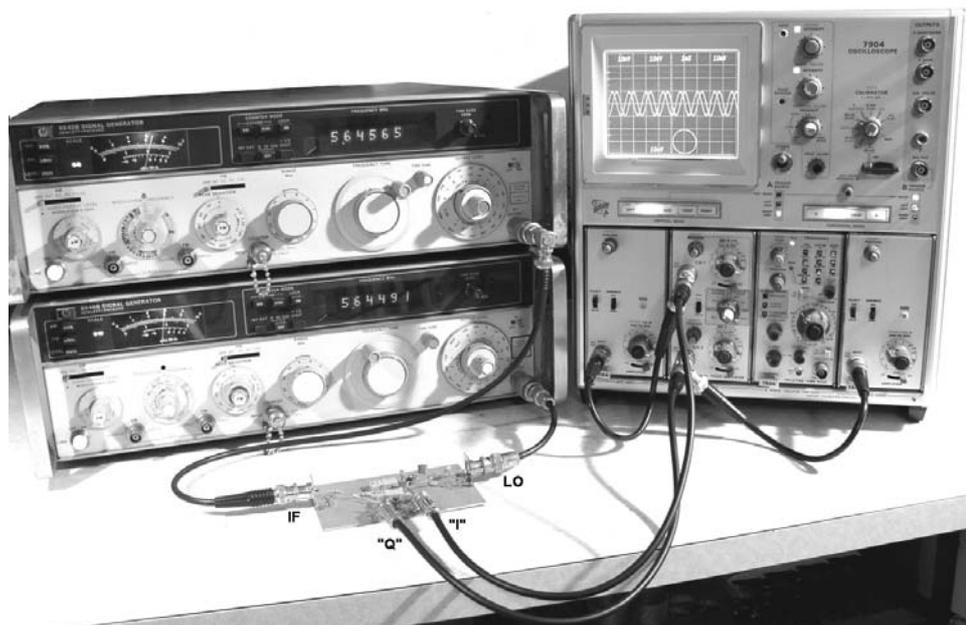


Bild 6 Der Versuchsaufbau

## Messergebnisse

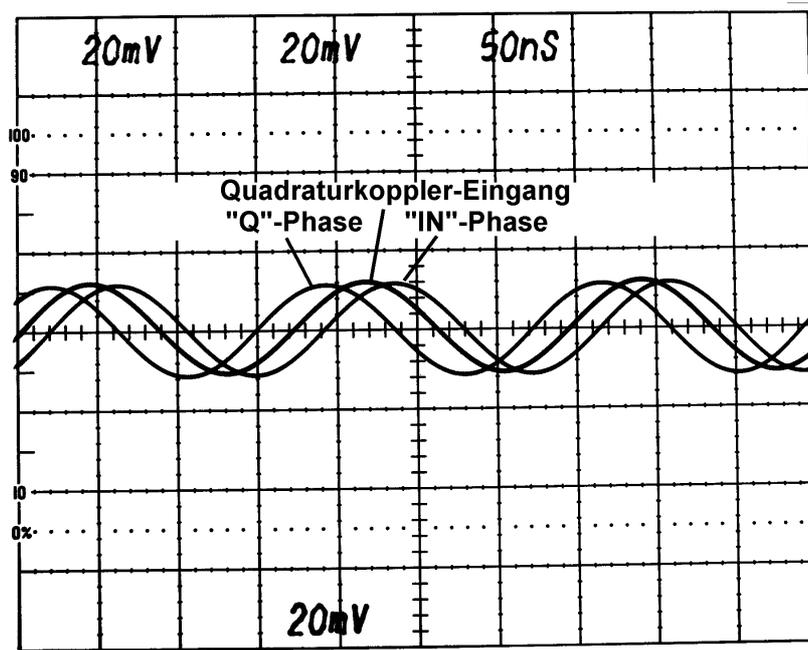


Bild 7a Phasenlagen im Quadraturkoppler

Im Bild 7a/b sind die sich ergebenden Signale im Quadraturkoppler dargestellt: Das Eingangssignal wird in zwei Signale zerlegt, die gegenüber dem Eingangssignal um  $+45^\circ$  („Q“) und  $-45^\circ$  („I“) verschoben sind. Somit sind „Q“ und „I“ zueinander um  $90^\circ$  verschoben – was ja beabsichtigt ist! Die Amplituden sind gleich, das gilt allerdings nur für die berechnete Frequenz  $f_0$  – hier 5,645MHz.

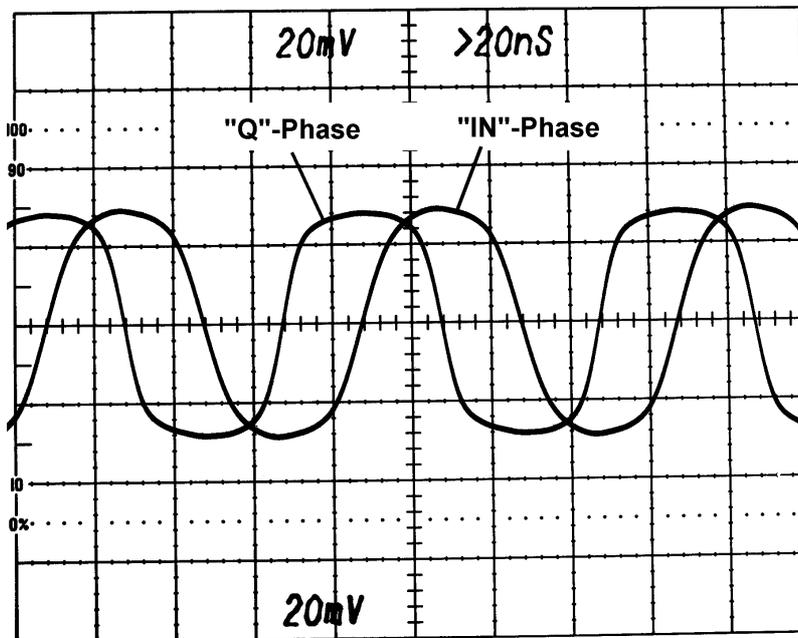
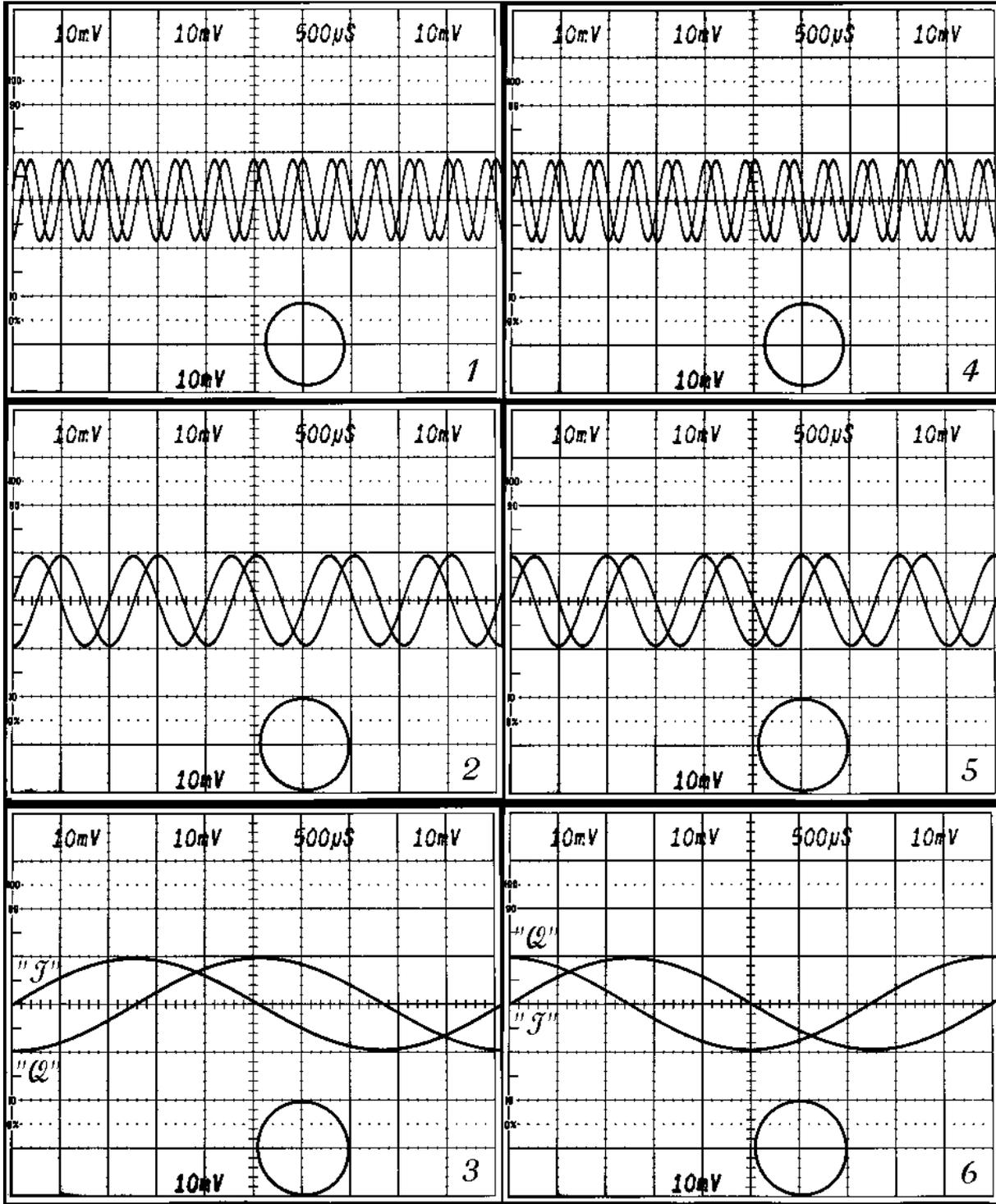


Bild 7b Phasenlagen bei Vollaussteuerung

In Bild 7b ist die Aussteuerung der Ringmischer auf ca. +7dBm erhöht worden; es wurden Tastköpfe 10:1 verwendet.



Für alle Bilder gilt: LO fest auf 5.645,00 kHz eingestellt; Triggerung mit NF-Signal "I" (CH 1)  
 Lissajous-Figur: Y-Ablenkung: "I"-Signal, X-Ablenkung: "Q"-Signal

Bild 1: IF = 5.647,50 kHz	Bild 4: IF = 5.642,50 kHz	>>	NF = 2.50 kHz
Bild 2: IF = 5.646,00 kHz	Bild 5: IF = 5.644,00 kHz	>>	NF = 1.00 kHz
Bild 3: IF = 5.645,20 kHz	Bild 6: IF = 5.644,80 kHz	>>	NF = 0,20 kHz

Bild 8 Oszillogramme