

Diversity-Empfang mit modifiziertem SDR-Empfänger und kleinen aktiven Antennen

Diversity Reception with a Modified SDR Receiver and Small Active Antennas
Chavdar Levkov , LZ1AQ

Letzte Überarbeitung 1.1: 28. September 2015 © LZ1AQ

Beim Diversity-Empfang werden zwei Signale von verschiedenen Antennen kombiniert, um das S / N-Verhältnis zu verbessern [1]. Am häufigsten wird der Diversity-Empfang mit zwei Antennen (mit demselben oder unterschiedlichen Typen) durchgeführt, die in einem gewissen Abstand voneinander angeordnet sind. Das Fading der Signale von diesen beiden Antennen hat normalerweise nicht die gleiche Phase, und wenn wir diese beiden Signale auf irgendeine Weise kombinieren, wird sich der Empfang verbessern. Diese Technik ist normalerweise mit großen Antennen und großen Räumen verbunden, kann jedoch mit kleinen Antennen und sehr einfacher zusätzlicher Hardware überall angewendet werden, sogar auf dem Balkon einer Wohnung. Die Aufgabe besteht darin, zwei Antennen am selben Ort mit unterschiedlichen Polarisierungen zu verwenden (Polarisationsdiversität [1]).

Der Effekt ist maximal, wenn die Antennen zueinander orthogonale Polarisation haben. Es ist möglich, zwei sehr kleine aktive Antennen mit jeweils unterschiedlicher Polarisation am selben Mast zu verwenden. Weitere Informationen zu horizontal (HP) und vertikal polarisierten (VP) kleinen Antennen finden Sie in einer anderen Veröffentlichung des Autors [2]. Im Allgemeinen werden zwei Empfänger benötigt, um den Diversity-Empfang zu implementieren. Das einfache Hinzufügen der Signale von den Antennen funktioniert nicht - der Effekt wird sein, daß eine neue Antenne mit unterschiedlicher Polarisation und Richtwirkung erzeugt wird - z. Phased Array als Beispiel, aber der Effekt des Fading wird nicht verringert.

Ein anderer Ansatz besteht darin, eine adaptive lineare Kombination der beiden Signale mit komplexen Zahlenkoeffizienten (Amplitude und Phase) zu verwenden, um das S / N-Verhältnis zu maximieren [26, 21]. Die SDR-Software von Linrad [20] tut dies, aber eine schnelle Echtzeitverarbeitung nach dem Signalschwund ist derzeit nicht möglich. Am einfachsten ist es, das Signal von einer Antenne als NF zum linken und zum rechten Ohr zu senden. Diese Diversity-Empfangstechnik ist in [3, 4, 22] gut beschrieben. Der Effekt ist ein Stereo-Audiosignal, das sich im Raum bewegt. Diese Technik ist sowohl für CW-Signale als auch für SSB erfolgreich (AM wird noch in Frage gestellt). Zur Implementierung dieser Methode werden zwei phasenverriegelte, aber unabhängige Empfänger benötigt.

1. Empfängermodifikationen

Ein modifizierter DC-Empfänger (Direct Conversion), der ursprünglich für den SDR-Empfang vorgesehen war, kann zum Experimentieren mit Diversity verwendet werden. Diese Empfänger sind sehr beliebt, können einfach gebaut oder als Bausatz zu einem minimalen Preis erworben werden [5]. Jeder SDR-Empfänger verfügt über einen Zweikanalmischer mit gemeinsamem Eingang für eine einzelne Antenne. Die Modifikation besteht darin, den Eingangsmischer für zwei Antennen in zwei separate Kanäle (Fig. 1, 2) aufzuteilen. Wir werden also zwei separate Empfänger haben, die einen gemeinsamen Oszillator haben (es gibt eine feste Phasendifferenz von 90 Grad zwischen dem lokalen Oszillator (LO) der SDR-Mischer, aber dies ist in unserem Fall nicht wichtig). Jeder Mischereingang wird mit einer eigenen Antenne gespeist. Der Nachteil dieses Ansatzes ist das Vorhandensein des Spiegelkanals wie bei jedem einfachen Direktmischempfänger.

Dem SDR-Audio muß eine zusätzliche Verstärkung hinzugefügt werden, um die Kopfhörer zu betreiben. Es müssen ein Vorverstärker und ein Kopfhörertreiber vorhanden sein (Abb. 4).

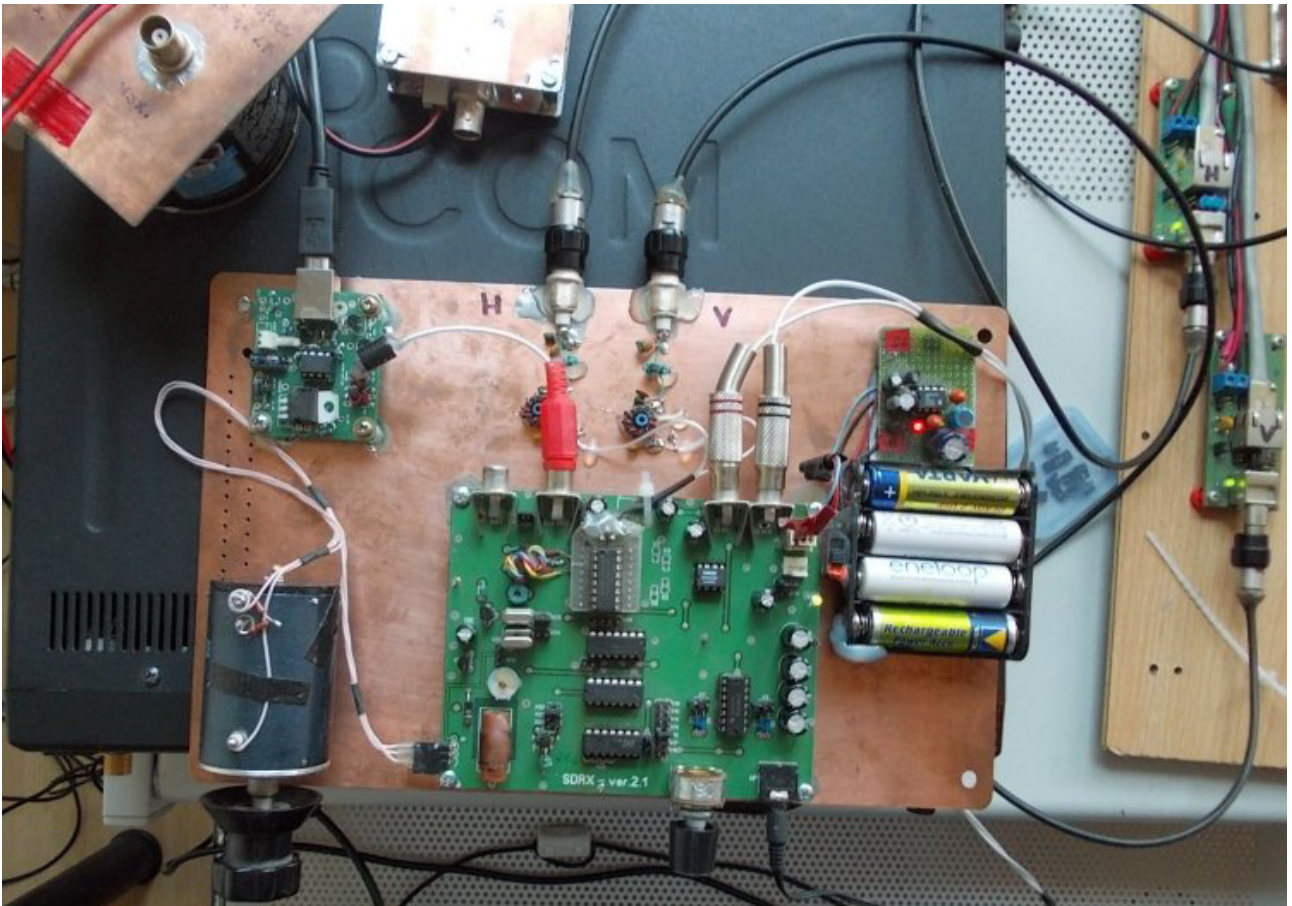


Abb. 3. Versuchsaufbau. Dies ist ein Zweikanal-Direktumwandlungs-SDR [6] mit einem modifizierten Mischer. Auf der rechten Seite sind die Steuerplatinen von zwei aktiven Antennen [1] mit horizontaler und vertikaler Polarisation zu sehen. Die lokale Oszillatorplatine SI570 PLL ist auf der linken Seite zu sehen. Es besteht auch die Möglichkeit, den Empfänger mit VFO abzustimmen (das große Multi-Turn-Potentiometer, das ein Varicap steuert, befindet sich auf der linken Seite der Platine). Dieser Empfänger hat einen zusätzlichen Kopfhörerverstärker auf seiner Platine, der dem in Abb. 1 angegebenen ähnlich ist. Abb. 4.

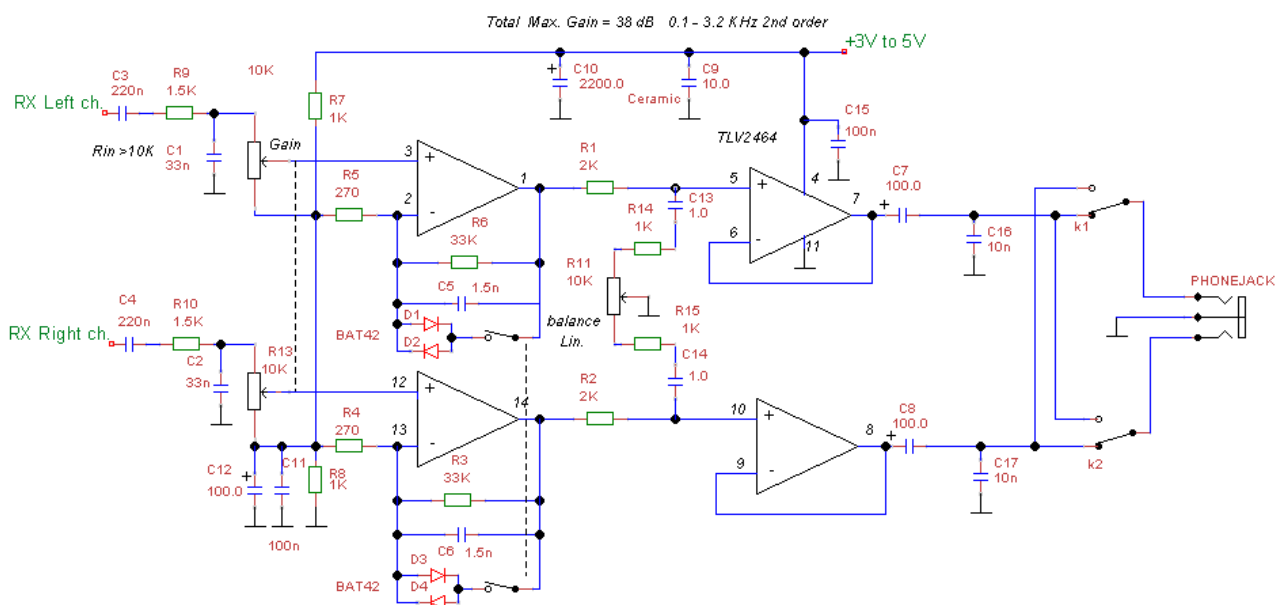


Abb. 4. Kopfhörer-Audioverstärker mit hohem Dynamikbereich zur direkten analogen Überwachung der Eingangssignale von jedem SDR-Direktumwandlungsempfänger. Die Audioverstärkung dieser Empfänger reicht nicht aus, um Kopfhörer anzusteuern, und es wird ein zusätzlicher Verstärker benötigt, um sie in klassische analoge Signale

umzuwandeln. Der Verstärker ist an die SDR-Analogausgänge angeschlossen. Es besteht die Möglichkeit, die Kanalbalance anzupassen, um die Antennenverstärkungen (+ - 10 dB) auszugleichen. Es gibt ein Tiefpass-RC-Filter 2. Ordnung bei 3,2 kHz. TLV2464 ist op. Verstärker mit hoher Anstiegsgeschwindigkeit, hohem Ausgangsantrieb und sehr geringen Verzerrungen bei 3 bis 5 V Versorgung. Diodenbegrenzer mit Schottky-Dioden können verwendet werden, um Kopfhörer und Ohren vor starken Signalen zu schützen. Dieser Verstärker wandelt den SDR-Empfänger in einen sehr guten analogen Direktmischempfänger um. Die Audioqualität, die für diese Empfänger sehr wichtig ist, hängt hauptsächlich von der Kopfhörerverstärkerphase ab.

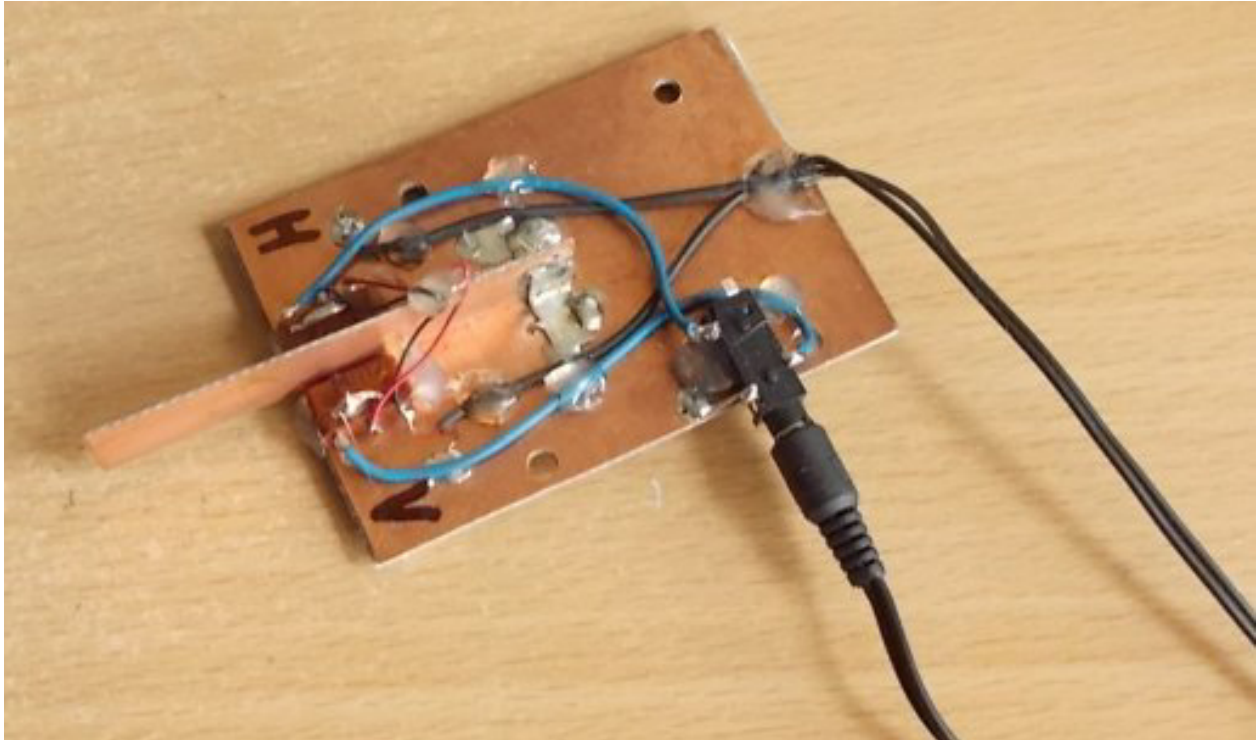


Abb. 5. Schneller Kopfhörerschalter. Zwei Mikroschalter (SW1 und SW2 in Abb. 4) sind horizontal auf einer Leiterplatte montiert und werden durch einen ebenfalls aus Leiterplatte gefertigten Hebel betätigt. Der Kopfhörer befindet sich im Diversity-Modus in der neutralen Position. Wenn der linke oder rechte Schalter aktiviert ist, werden horizontal oder vertikal polarisierte Antennensignale an den Kopfhörer weitergeleitet. Dieser Schalter mußte die Signale schnell schalten, um den besten Modus auszuwählen.

Ich brauche einen schnellen und ergonomischen Schalter, um zwischen Diversity- und Einkanal-empfang zu wählen, um abzuschätzen, ob sich das S / N-Verhältnis zwischen diesen Modi verbessert. Das Ergebnis ist in Abb. 5 dargestellt. Es gibt auch einige sehr gute Designs von DC-Empfängern, zum Beispiel kann der „binaurale I-Q-Empfänger“ KK7B [23] mit einfachen Modifikationen auch für den Diversity-Empfang verwendet werden.

2. Verwenden von HSDR (Winrad)

Ein anderer Softwareansatz besteht darin, HSDR (oder Winrad) [7, 8] ohne zusätzlichen externen Audioverstärker zu verwenden. Der Direktmischempfänger wird auf die übliche SDR-Weise an die Computer-Soundkarte angeschlossen. In der Software müssen wir jedoch die I- und Q-Signale direkt an den linken und rechten Audiokanal senden, um die Soundkartenverstärker verwenden zu können.

HSDR-Einstellungen:

- Im Menü „Optionen ->“, Ausgangskanalmodus für RX “müssen wir die Zeilen „IF als I (links) / Q (rechts) “oder „IF als Q (links) / I (rechts) “auswählen. In diesem speziellen Modus ist die HSDR-Signalverarbeitung nicht aktiv und wir haben unverarbeitete I- und Q-Signale am Ausgang der Soundkarte.

- Die LO- und Tune-Frequenzen müssen gleich sein. Die Frequenzänderung muß durchgeführt werden, indem nur die LO-Frequenz geändert wird.
- Wenn wir einen softwaregesteuerten LO (SI570 PLL-Chip oder eine andere Art von DDS) haben, können wir die Software verwenden, um eine bestimmte Frequenz einzustellen, jedoch nur durch Ändern der LO-Frequenz. Die „Klickfrequenz“ kann nur angewendet werden, wenn wir Folgendes einstellen: "Optionen" -> "Verschiedene Optionen" -> "Auf LO <-> Tune Offset eingestellt". Der Melodieversatz muß auf 0 gesetzt werden. Die andere Möglichkeit besteht darin, einen VFO im Receiver mit manueller Abstimmung zu verwenden, aber die Einstellungen von LO und Tune immer beizubehalten, um sie auf einer Frequenz anzuzeigen.
- Stellen Sie den Modus auf USB oder LSB ein - (im CW-Modus wird der Frequenzversatz zwischen dem linken und dem rechten Kanal eingestellt).
- Stellen Sie die Ausgangsabtastrate auf den niedrigstmöglichen Wert (4000 oder 8000 Hz) ein. Daher können wir die Ausgangs-DAC-Anti-Alias-Filter verwenden, um die Audiobandbreite zu begrenzen. Zum Beispiel haben wir unter Verwendung der minimalen Ausgangsabtastrate (4 kHz) einen sehr guten 2-kHz-Software-LP-Filter am Ausgang. Einige Soundkarten haben auch Software-Equalizer, die eigentlich sehr gute Filter sind. Wenn der ASIO4ALL-Audiotreiber verwendet wird, müssen die Eingangs- und Ausgangsabtastraten von HSDR auf gleiche Werte eingestellt werden, da sonst der Stereo-Ausgangseffekt verschwindet.
- Sie können den Soundkartenmischer (L / R-Schieberegler) verwenden, um den Antennengewinn beider Kanäle auszugleichen.

3. Die Antennen



Abb. 6



Abb. 7

Abb. 6. Zwei aktive CC-Schleifen (horizontal und vertikal) mit einem Durchmesser von jeweils 0,7 m auf dem Balkon einer Stadtwohnung werden für den Diversity-Empfang verwendet. Für jede Antenne werden zwei AAA-1-Verstärker verwendet.

Abb. 7. Universelle Doppelpolarisationsantenne. Die Schleifen haben einen Durchmesser von 1,27 m. Schleifen wirken auch als Dipolarme in Dipolform. Beliebige Kombinationen von HP-VP-Paaren können ausgewählt werden. Die Höhe beträgt 7m.

Der stärkste Effekt ist, wenn die Signale von den Antennen nicht stark korreliert sind. - d.h. wir müssen entweder Antennen mit unterschiedlicher Polarisierung oder mit großem Abstand verwenden. Der Gewinn beider Antennen muß nahezu gleich sein (nicht sehr kritisch), da sonst der Raumeffekt verringert wird. Dieser Verstärkungsausgleich kann bis zu einem gewissen Grad in der Audiokette durchgeführt werden, es ist jedoch nicht ratsam, einen erheblichen Unterschied in den Antennengewinnen zwischen beiden Kanälen zu haben. Wir brauchen keine großen oder weit auseinander liegenden Antennen, um mit dem Diversity-Empfang zu experimentieren. Ich habe vom Balkon meiner Stadtwohnung aus einen guten Diversity-Empfang mit zwei kleinen Breitbandschleifen [9, 14] mit unterschiedlicher Polarisierung am selben Mast (Abb. 6). Das Beispiel für kleine Antennen mit doppelter Polarisierung findet sich in einem anderen Artikel des Autors [2].

Das beste Paar ist der vertikale kleine Dipol und die horizontale CC-Schleife (Crossed Coplanar) [2, 9]. Sie sind rein vertikal und horizontal polarisierte Antennen, sogar über dem realen Boden. Für die städtische Umgebung empfehle ich das Paar vertikale und horizontale Schleife [2]. Beachten Sie, daß die horizontal polarisierten Antennen eine Höhe (mindestens 0,1 Wellenlänge) benötigen, um eine ausreichende Verstärkung zu erzielen [2]. In [2] ist eine universelle Doppelpolarisationsantenne beschrieben, die ich in meinem Landhaus gebaut habe (Abb. 7). Es werden zwei AAA-1-Verstärker verwendet, und es kann eine beliebige Kombination aus HP- und VP-Paar gewählt werden.

4. Der psychoakustische Effekt

Das menschliche Gehirn ist gut trainiert, um die Richtung des Schalls zu unterscheiden [10]. Es gibt Hinweise darauf, daß das Diversity-Stereosignal in Kombination mit der Gehirnverarbeitung im Vergleich zum Einzelantennenempfang sehr schwache Signale empfangen kann [3, 11, 24]. Ein klarer Vorteil ist, daß das von den beiden Antennen kommende Rauschen schwach korreliert ist und wir daher mit einer gewissen Erhöhung (theoretisch 3 dB) des S / N-Verhältnisses rechnen müssen. Der psychoakustische Effekt besteht darin, daß das Hintergrundbandrauschen etwas transparent und der Raum vom Signal getrennt wird - so kann das Signal vom Gehirn leichter erkannt werden. Für die Fälle, in denen die Änderung des Signals langsam ist, verbessert der Diversity-Empfang definitiv den Empfang. Dies ist nicht immer der Fall, wenn im Raum eine schnelle Signalrotation (Zeitraum bis zu 1-2 Sekunden) auftritt.

In diesen Fällen wird das Gehirn durch die Rotation abgelenkt, und wahrscheinlich muß ein Training durchgeführt werden, das es dem Gehirn ermöglicht, sich eher auf die Informationsverarbeitung als auf die verblassenden Effekte zu konzentrieren. Ein zusätzlicher Effekt besteht darin, daß sich die Signale etwas an verschiedenen Orten befinden und viel größere Filterbandbreiten verwendet werden können. Mit etwas Training können selbst bei Vorhandensein vieler Stationen im Empfangsband bemerkenswerte Beispiele für die Gehirnverarbeitung demonstriert werden und der Hörer kann das gewünschte Signal leicht unterscheiden. Der „Raumeffekt“ ist stärker, wenn die Bandbreiten breiter genutzt werden - bei sehr engen Bandbreiten (unter 500 Hz) ist der Raumeffekt aus unbekannten Gründen nicht so ausgeprägt. Das menschliche Gehirn fungiert auch als linearer „Bandpaßfilter“ mit einer Bandbreite von nur 50 Hz [11, 27].

Selbst mit diesem recht breiten Audioband des Empfängers kann der Benutzer beim Training sehr schwache CW-Signale empfangen, die selbst mit einem guten Schmalband-Einkanal-RX nur schwer zu erkennen sind [13]. Die Ausnahme ist, wenn in diesem Audioband ein weiteres sehr starkes unerwünschtes Signal vorhanden ist - dann tritt der nichtlineare psychoakustische Effekt der „auditorischen Maskierung“ [12] auf und die gewünschten schwachen Sender verschwinden. Ich denke, daß es einen Unterschied zwischen Polarisationsdiversität und Raumdiversitätsfällen gibt. Wenn eine der Polarisierungen vorherrscht (und dies kommt ziemlich häufig vor), hat die Verwendung von Diversity keinen Vorteil. Mit der besseren Antenne erhalten Sie einen besseren Empfang als auf dem anderen Kanal, auf dem der Signalpegel niedrig ist, wodurch nur das

Gesamtrauschen erhöht wird. Für den Space-Diversity-Empfang (insbesondere wenn Sie für beide Kanäle dieselben Antennentypen verwenden) ist dies möglicherweise nicht der Fall, und das Diversity-Schema ist wahrscheinlich immer besser als ein einzelner Antennenansatz. Die beste Lösung für die Polarisationsdiversität besteht also darin, immer die Möglichkeit zu haben, mit der besseren Antenne in den Einkanalmodus zu wechseln. Die optimale Strategie besteht darin, im Diversity-Modus zu hören und dann den Einkanalmodus für einen besseren Empfang zu testen (siehe den sehr wichtigen Schalter „schnell“ in Abb. 5). Für mich sind die Signale, die ich mit dieser Einstellung höre, die „wahren“ Bandsignale.

Dieser Direktmischempfänger hat eine ausgezeichnete Linearität, minimale Verarbeitungsstufen, keine AGC und zwei orthogonale Antennensensoren. Sie können das Band so fühlen, wie es ist - das Verblasen, die Polarisation, die atmosphärischen Abstürze, wie sie sind. Es gibt keine zusätzliche Filterung und Verarbeitung - nur Ihre natürlichen Sensoren (die Ohren) und das Gehirn.

Dies ist ein „direkter binauraler elektromagnetischer Empfänger“, der unser Gehirn mit dem elektromagnetischen HF-Raum verbindet. Es ist sehr erfrischend, ein solches Radio zu hören. Manchmal ist das Umschalten auf einen herkömmlichen Einkanalempfänger fast dasselbe, als würde man eine Drossel in eines Ihrer Ohren stecken. In letzter Zeit höre ich lieber meinen Direktmisch-Diversity-Empfänger als meinen Perseus oder ICOM 756pro. Ich mag große Bandbreiten (aber nicht bei starken Wettbewerben) und der Diversity-Empfang gibt mir die zusätzliche Selektivität, ohne die Signalqualität zu beeinflussen. Selbst das gefaltete Spektrum (Bild) dieser einfachen Empfänger bietet die Möglichkeit, die Empfangsbandbreite mit nutzbarer Tonhöhe im CW-Modus zu verdoppeln. Die Medaille hat also immer zwei Seiten - Breitbanddiversität und Schmalband-Einkanal. Beide sind nützlich, verpassen aber nicht die erste Gelegenheit.

5. Audioaufzeichnungen mit Diversity-Empfang

Um den Diversity-Empfang mit Breitbandradio zu demonstrieren, habe ich mehrere Audioaufzeichnungen mit einem Paar vertikaler (linker Kanal) und horizontaler Polarisation (rechter Kanal) kleiner aktiver Breitbandschleifen oder Dipole erstellt. Die Rahmenantenne hat zwei CC-Schleifen mit jeweils 1 m Durchmesser. Die vertikale Schleife befindet sich 2 m über dem Boden und die horizontale Schleife befindet sich 7 m über dem Boden. Die Schleifen werden auch als Arme eines kleinen Dipols im Dipolmodus mit aktiven AAA-1-Antennenverstärkern verwendet.

Diese Antennen und Modi werden an anderer Stelle ausführlich beschrieben [2, 9, 14]. Diese Antennen sind sehr nahe beieinander angeordnet, um eine reine Polarisationsdiversität zu erzielen. Die meisten Aufzeichnungen wurden mit H-Loop- und V-Dipol-Paaren gemacht, einige jedoch mit H-Loop- und V-Loop-Paaren. Die Aufzeichnungen wurden mit einem einfachen modifizierten Direktmischempfänger wie zuvor beschrieben gemacht (Abb. 3). Das Audiosignal für die Aufnahmen wurde vom üblichen SDR-Ausgang vor dem endgültigen Kopfhörerverstärker entnommen.

Der DC-Empfänger verfügt an seinen Antenneneingängen über einfache LP-Filter mit 16 MHz, um eine Überlastung durch nahegelegene FM-Sender und zusätzlichen AF-Filter zu vermeiden. Diese Breitbandaufzeichnungen müssen mit guten Stereokopfhörern angehört werden - die Verwendung von Lautsprechern reicht nicht aus. Der Ausgangspegel im Soundkartenmischer muß nahe am Maximum eingestellt werden, da die Aufzeichnungen etwas schwach sind. Die H- und V-Antennenverstärkungen sind ähnlich hoch, aber bei einigen Aufzeichnungen kann der Hörer die Verstärkung mit dem Balance-Schieberegler ausgleichen. Die Aufzeichnungen wurden mit PottyRecorder [25] mit einer Abtastrate von 11 kHz erstellt, sodaß die AF-Bandbreite der Aufzeichnungen irgendwo bei 4 kHz liegt. Alle Aufzeichnungen sind mit 1 min. Dauer und komprimiert (* mp3; Größe 470 KB). Die Dateinamen bestehen aus Datum und Ortszeit (UTC + 2),

die vom Rekorder automatisch abgestempelt werden. Der Standort befindet sich in einer halbstädtischen Umgebung mit mäßiger Störbelastung.

5.1 CW-Modus:

- 5R1 auf 20 m, schwach mit schneller Polarisationsrotation, üblich für Afrika 2015-03-07 2212.mp3
- 5H3 auf 20 m. Im vertikalen Polarisationskanal tritt ein starkes Impulsrauschen auf. 2015-03-21 2254.mp3
- Europa auf 80m, langsame Polarisationsänderungen 2015-03-07 2237.mp3
- AH6 auf 20m, über den Nordpol mit Flattern 2015-03-08 1921.mp3
- 2 Stationen auf 20m, sie sind mit unterschiedlichen H- und V-Polarisationen 2015-03-08 0619.mp3
- 40 m am frühen Abend, Eu, JA und Pileup 2015-03-07 2305.mp3
- Übliche USA 40m Ostküstenausbreitung 2015-03-08 0625.mp3
- Antarktis auf 20 m 2015-03-08 1917.mp3
- VK9NT auf 20 m sehr schwach mit QRM 2015-05-02 0833-4.mp3
- CW-Wettbewerb 2015-03-21 1944-f.mp3

5.2 SSB-Modus

- AL7 auf 20 m 2015-05-02 0845.mp3
- K8 auf 40 m am Morgen 2015-03-08 0642.mp3
- TF3 auf 20 m Pileup 2015-04-04 1740.mp3
- VE7 auf 20 m über den Norden Stange mit Flattern 2015-03-08 1907.mp3
- W3LPL auf 80 m ARRL-Wettbewerb 2015-03-08 0649.mp3
- Schwache W6 auf 20 m mit ausgezeichneter Lesbarkeit 2015-05-09 0801-25dB.mp3
- ZL2 auf 20m 2015 -05-09 0831-20dB.mp3

5.3 Aufzeichnungen aus einer städtischen Umgebung

Die Rahmenantenne besteht aus 2CC-Schleifen mit jeweils 0,7 m Durchmesser (Abb. 6) 5 m über dem Boden, die auf dem Balkon meiner Wohnung in Sofia platziert sind. Die elektromagnetische Verschmutzung ist ziemlich hoch, aber der Diversity-Empfang hilft, das vom Menschen verursachte Rauschen zu minimieren. Es werden zwei aktive Antennen-AAA-1-Verstärker verwendet. Das verwendete Diversity-Paar bestand aus horizontalen und vertikalen Schleifen. Der Dipolmodus ist in dieser Umgebung sehr verrauscht. Unterhalb von 6 MHz wird der Signalpegel von der horizontalen Schleife aufgrund seiner geringen Höhe zu klein und die vertikale Schleife liefert immer ein besseres Signal.

- LU auf 20 m / CW 2015-06-18 2316.mp3
- VK5 auf 20 m / CW. Extrem schwaches Signal mit QRM. Hier hilft die Vielfalt sehr. 2015-06-18 0830.mp3. Hier ist derselbe Datensatz, der jedoch mit einem 400-Hz-Bandpassfilter (Nachbearbeitung mit Audacity-Software) gefiltert wurde. 2015-06-18 0830-10dB-Filt.mp3. Ich kann das VK5-Rufzeichen gleichermaßen gut von beiden Datensätzen erhalten, unabhängig davon, daß der unverarbeitete Datensatz eine Bandbreite von 4 kHz hat.

5.4 AM-Modus

Die AM-Aufzeichnungen wurden mit festem LO erstellt, der genau auf die Trägerfrequenz mit einer Auflösung von 1 Hz (SI570) abgestimmt war. Der DC-Empfänger arbeitet im DSB-Modus. Es gibt jedoch immer einen kleinen Unterschied zwischen diesen Frequenzen, der sich als kleiner

Schlagphasendifferenz zeigt. Beim binauralen Hören reagiert das Gehirn empfindlich auf Phasendifferenzen zwischen linkem und rechtem Ohr. Der Effekt ist eine zusätzliche „Raumrotation“ des Signals, so daß der Vorteil des binauralen Diversity-Empfangs in diesem Modus mit einfacher Hardware und Software in Frage gestellt wird. Wenn der Unterschied sehr gering ist, ist der Empfang durchaus akzeptabel.

Beim AM-Empfang mit dieser Einstellung weiß man nie, ob der „Space“-Effekt auf Polarisations- und Fading-Änderungen oder auf einen sehr kleinen Unterschied zwischen LO und Trägerfrequenz zurückzuführen ist. Diese Aufzeichnungen wurden in einer städtischen Umgebung gemacht:

- Rundfunkstation auf 11,7 MHz. Der Träger und LO sind sehr nah. 2015-06-17 1859.mp3
- Dieselbe Station. Der LO beträgt +1 Hz gegenüber der vorherigen Einstellung. 2015-06-17 1904.mp3

Zwei synchronisierte Empfänger mit zwei separaten Antennen sind jetzt in einigen hochwertigen Transceivern [15, 16, 18] und auch in einigen SDR DDC RX-Designs [19] auf dem Markt erhältlich, aber ich habe keine Erfahrung mit ihnen [24]. Es gibt auch offene Softwareprogramme [17, 20, 21], die es ermöglichen, den Diversity-Empfang mit SDR-Verarbeitung zu nutzen, aber im Moment habe ich keine geeignete Hardware, um sie zu testen. Es gibt einige sehr schöne Diversity-Aufzeichnungen im Netz [3, 22], die mit zwei kommerziellen Empfängern erstellt wurden, damit der Leser eine Vorstellung davon bekommt, was er vom Audio-Diversity-Empfang mit höherklassigen Radios erwarten kann.

6. Links

- [1] Wikipedia, *Antenna diversity*, http://en.wikipedia.org/wiki/Antenna_diversity
- [2] Levkov Ch., *Horizontally mounted small active receiving antennas*, 2015, <http://www.lz1aq.signacor.com>
- [3] Tom Rauch, W8JI, *Diversity receiver and transmission*, http://www.w8ji.com/polarization_and_diversity.htm
- [4] Tom Rauch, W8JI, *Rotation Polarization Fades*, <http://www.w8ji.com/HF%20circular%20polarization.htm>
- [5] WB5RVZ *Software Defined Radio Homepage* <http://wb5rvz.com/sdr/>
- [6] SD-RX manual http://www.lz1aq.signacor.com/docs/sdrx/SD-RX_manual_214.htm (in Bulgarian language)
- [7] HDSDR home page, <http://www.hdsdr.de/>
- [8] Winrad home page, <http://www.weaksignals.com/>
- [9] Levkov.Ch. LZ1AQ, *Wideband Active Small Magnetic Loop Antenna*, 2011, <http://www.lz1aq.signacor.com/docs/wsml/wideband-active-sm-loop-antenna.htm>
- [10] Barry D. Jacobson *HUMAN EAR* <http://web.mit.edu/2.972/www/reports/ear/ear.html>
- [11] Leif Asbrink, SM5BSZ - *Receiving Weak CW Signals* 2006 <http://www.sm5bsz.com/weakcom.htm>
- [12] Wikipedia, *Auditory masking*, http://en.wikipedia.org/wiki/Auditory_masking
- [13] Ray Soifer W2RS *The Weak Signal Capability of the Human Ear*, 2002, <http://www.glogy.com/www.n1bug.net/tech/w2rs/The%20Human%20Ear.pdf>
- [14] <http://active-antenna.eu/>
- [15] <http://www.elecraft.com/K3/K3.htm>

[16] <http://www.flexradio.com/>

[17] Joe Martin K5SO, *Dual-Mercury Diversity Operation*, 2011, <http://www.k5so.com/Dual-Mercury%20Diversity%20Program.html>

[18] <https://apache-labs.com/al-products/1026/ANAN-100-HF---6M-100W-ALL-MODE-SDR-TRANSCEIVER.html>

[19] <http://www.afedri-sdr.com/index.php/new-afe822x-sdr-net-dual-channel>

[20] Leif Asbrink, SM5BSZ, *Linrad*, <http://www.sm5bsz.com/linuxdsp/linrad.htm>

[21] Piotr Hewelt, SP2BPD, video https://www.youtube.com/watch?v=sFpSQO_dBE4

[22] Barry Gross, N1EU, *Diversity reception*, <http://n1eu.com/K3/diversity.htm>

[23] Rick Campbell, KK7B, *A Binaural I-Q Receiver*, 1999,
<http://www.arrl.org/files/file/History/History%20of%20QST%20Volume%201%20-%20Technology/QS03-99-Campbell.pdf>

[24] Flex radio forum messages on diversity reception.
[https://community.flexradio.com/flexradio/topics/6700_vs_k3_still_no_contest?topic-reply-list/settings\[/filter_by\]=all](https://community.flexradio.com/flexradio/topics/6700_vs_k3_still_no_contest?topic-reply-list/settings[/filter_by]=all)

[25] LZ1ABC *Audio recorder* <http://www.lz1aq.signacor.com/PottyRecorder.rar>

[26] Leif Asbrink, SM5BSZ, *Adaptive polarization*, <http://www.sm5bsz.com/polarity/poltheor.htm>
<http://www.sm5bsz.com/polarity/cpuadapt.htm>

[27] Jan Simons PA0SIM, <http://www.pa0sim.nl/Results%20and%20Audio%20Samples.htm>

Juni 2015

Versionsgeschichte: 1.0 25. Juni 2015

Erstveröffentlichung: 1.1 28. September 2015 einige zusätzliche Links.