

Technische Dokumentation

für den

Kommunikations- und Messempfänger

RDR54

HiFi-FM-Demodulator und Stereodekoder

V 1.1
vom
03.08.2010

1. Übersicht

Der Mess- und Kommunikationsempfänger RDR54 digitalisiert Signale bis zu einer Frequenz von ca. 300 MHz. Damit fällt auch der UKW-Rundfunkbereich in die Verarbeitungsbandbreite des RDR54. Seine extrem flexibel konfigurierbare und hoch leistungsfähige Hardware erlaubt die Konstruktion eines FM-Rundfunk Empfängers mit außergewöhnlichen Eigenschaften. Dazu zählen besonders:

- Hoher Demodulations-Wirkungsgrad zur Erzielung bester Signal-Rauschabstände auch bei schwachen Empfangssignalen.
- Flache Filterkurven im Durchlassbereich mit phasenlinearer Charakteristik (konstante Gruppenlaufzeit) für minimale Verzerrungen des FM-Signals.
- Hochlineare Demodulationskurve (Abweichungen im ppm-Bereich) mit minimalem Klirrfaktor der Demodulation.
- Sehr steile Filterflanken mit hoher Sperrdämpfung zur Unterdrückung von Nachbarkanalstörungen.
- Stereodemodulation (-dekodierung) mit verdoppeltem Signal-Rauschabstand und höchstmöglicher Kanaltrennung.

Die digitale Realisierung eines FM-Rundfunkempfängers arbeitet im RDR54 mit einer Genauigkeit (Bitbreite) von bis zu 36 Bit. Das endgültige Audiosignal wird mit 18 Bit Genauigkeit und 81,92 KSps Abtatsrate bereit gestellt. Eine Konvertierung auf 24 Bit / 96 kSps zur Ansteuerung neuester High-End-Technik ist vorgesehen (Ausgabe über SPDIF und USB2.0).

Zum Empfang des UKW-Bereichs ist eine Erweiterung des RDR54 mit der Baugruppe „RFM32“ erforderlich. Neben dem UKW-Rundfunkbereich verarbeitet die UKW-Erweiterung auch das 2 m Amateurfunkband von 144 MHz bis 148 MHz. Die Baugruppe enthält Filter und Verstärker zur Anpassung an den AD-Umsetzer RAD17. Die durchschnittliche Verstärkung beträgt 30 dB, die Software des Gerätes berücksichtigt die zusätzliche Verstärkung und zeigt alle Signale mit einer Genauigkeit von ± 1 dB an.

Im FM-Rundfunkbereich werden zwei mitlaufende Filter auf Basis geschalteter Kondensatoren (mittels Leistungs-GaAs-Schalter) verwendet, das 2 m Band wird mit einem festen Bandfilter entsprechender Breite ausgefiltert. Es gibt weder C-Dioden zur Nachstimmung, noch Mischer, Oszillatoren o. ä. Alle aktiven Verstärkerstufen enthalten moderne GaAs-FET. Damit arbeitet der RDR54 auch im UKW-Bereich als direkt digitalisierender Empfänger und erreicht sehr gute Intermodulationswerte.

Mit Einführung der Baugruppe RFM32 bzw. des entsprechenden Software-Updates stehen die hochlinear-FM-Demodulatoren auch im KW-Bereich bzw. im 6 m Band zu Verfügung (sinnvoll einsetzbar nur Schmalband-FM).

2. FM-Demodulator

Bereits ohne RFM32-Erweiterung besitzt der RDR54 einen Schmalband-FM-Demodulator mit 6 kHz oder 12 kHz Bandbreite. Dieser Demodulator arbeitet nicht nur mit umschaltbarer Bandbreite, sondern auch mit umschaltbarer Kennlinie. Bei der geringeren Bandbreite wird nicht nur einfach das Eingangssignal entsprechend begrenzt, sondern auch die Steilheit der Kennlinie verdoppelt. Dadurch ergibt sich eine höhere Ausgangsspannung des Nutzsignals bei gleichem FM-Hub.

Prinzipiell arbeitet der Demodulator aber als „Ratiodetektor“, wie er aus der Analogtechnik bekannt ist (ältere diskrete Aufbauten oder moderne IC mit Mischer und Schwingkreis / Keramikresonator als Phasenschieber). Dabei erfolgt eine Umwandlung des Frequenzhubes in einen proportionalen Phasenhub und die Erzeugung einer Ausgangsspannung (= demoduliertes Signal) durch Vergleich (Mischung) des phasenverschobenen Signals mit dem originalen Eingangssignal.

Die Kennlinie eines solchen Demodulators ist „S“-förmig, da die Ausgangsspannung nichtlinear vom Frequenzhub der Eingangsspannung abhängt. Sie folgt dem Sinus des erzeugten Phasenhubs. Bild 1 zeigt eine typische Demodulationskennlinie, in diesem Fall exakt auf Sinusform idealisiert.

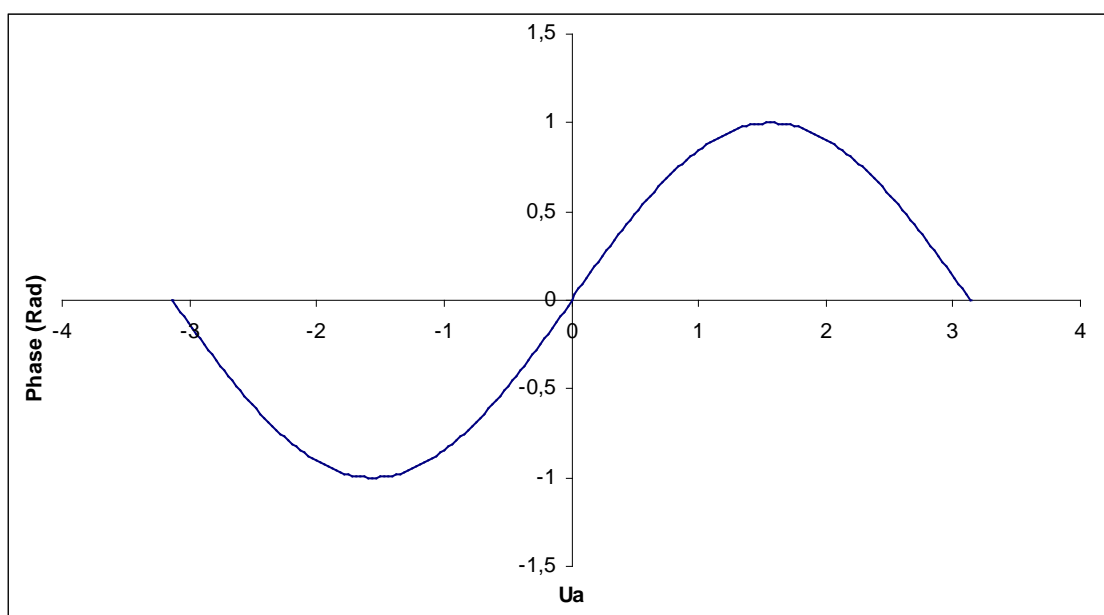


Bild 1: Kennlinie eines FM-Ratiodetektors

Deutlich zu erkennen ist, dass bei Hübem von größer ca. $\pm 20^\circ$ des Gesamtphasenhubs von $\pm\pi$ mit starken Verzerrungen zu rechnen ist. Über $\pm\pi/2$ hinaus kehrt sich die Kennlinie um, so dass das Modulationssignal sogar invertiert wird. Für so einen Demodulator muss die Gesamtbandbreite (Filter) also immer deutlich kleiner sein, als der theoretisch mögliche Phasenhub. Entsprechend flach verläuft die Kennlinie im Bandbreitenbereich und entsprechend gering ist die erzielbare Ausgangsspannung bei immer vorhandenen Verzerrungen.

Bild 2 zeigt eine Kennlinie, bei der die sinusförmige Abhängigkeit von Phasen- zu Frequenzhub durch eine lineare Abhängigkeit ersetzt wurde. Sie ist dadurch dreieckförmig. Der verzerrungsfrei nutzbare Bereich geht nun bis $\pm\pi/2$, bei entsprechender Bandbreite des Eingangssignals und passender Transformation Frequenz \rightarrow Phase ergibt sich auch eine steilere Kennlinie mit höherer Ausgangsspannung und höherem Signal-Rauschabstand ohne Verzerrungen.

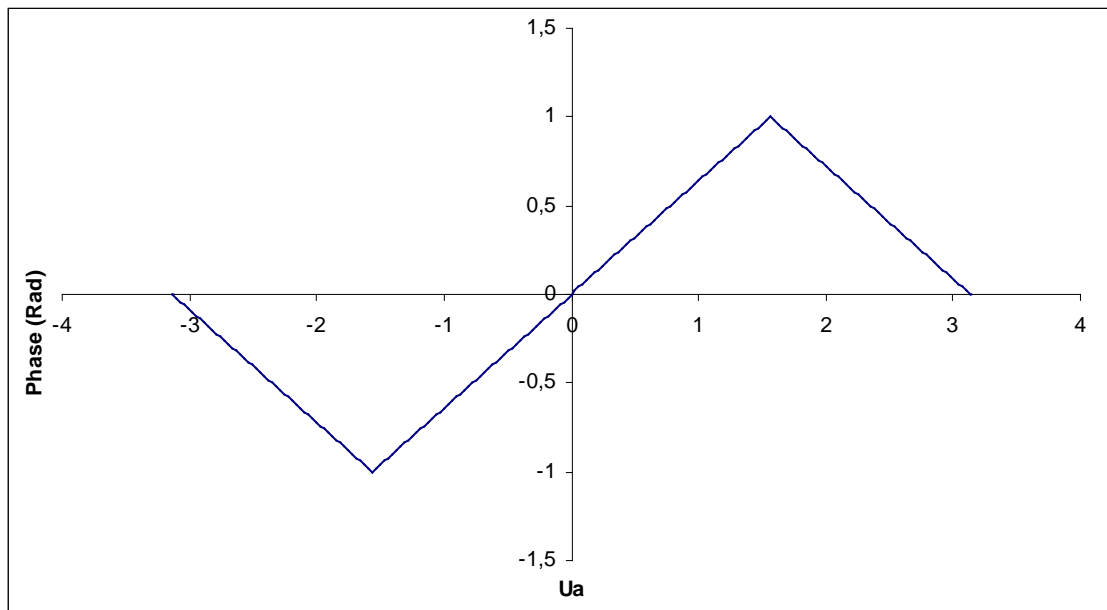


Bild 2: Linearisierte Kennlinie eines FM-Ratio-Detektors

Solche Demodulatoren wurden auf analoger Ebene z. B. als sogenannte Zähldiskriminatoren oder Laufzeitdemodulatoren in aufwendigen High-End-Geräten realisiert (z. B. REVOX-Tuner). Im digitalen Bereich kann so eine Kennlinie durch direkte Messung des Phasenwinkels eines komplexen Signals realisiert werden. Dazu wird meistens die sogenannte Arcustangens-Methode verwendet, da der Phasenwinkel aus dem Arcustangens des Quotienten von Inphase- zu Quadraturanteil berechnet werden kann. Weiterhin kommen Linearisierungsmethoden zum Einsatz, die eine Approximation der Sinusfunktion berechnen (Näherungslösungen oder CORDIC-Algorithmen). All diese Verfahren benötigen hohen Hard- und / oder Softwareaufwand und sind deshalb meistens auf Schmalband-FM begrenzt und / oder teure Geräte bzw. PC-Technik angewiesen.

Bild 3 zeigt die Kennlinie der FM-Demodulatoren des RDR54 ab Version V206. Sie ist sägezahnförmig und ermöglicht damit eine Nutzung des maximal möglichen Bereichs von $\pm\pi$ Phasenhub. Die Kennlinie ist mit 18 Bit Genauigkeit exakt linear, ohne dass aufwendige Berechnungen oder Linearisierungen benötigt werden. Der Demodulator basiert auf ganz bestimmten Zusammenhängen von komplexen Signalen mit unterschiedlichen Abtastraten unter Ausnutzung verschiedener trigonometrischer Theoreme, sowie eines proprietären Modells von „Raum-Zeit-Zuständen“ ähnlich der proprietären Zeit-Frequenz-Transformation (keine FFT) im RDR54.

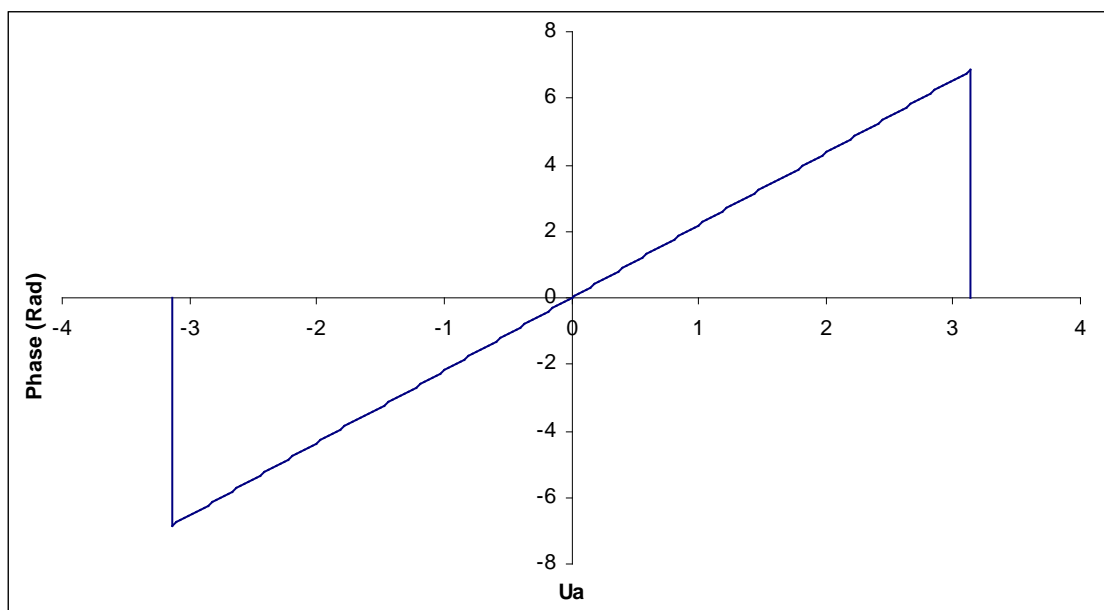


Bild 3: Hochlineare Kennlinie mit maximalem Demodulationswirkungsgrad

Der entsprechende Algorithmus ist im Signalverarbeitungs-FPGA des RDR54 (Baugruppe RDR25) komplett „in Hardware gegossen“ und benötigt keine Rechenzeit von Prozessoren. Gleichzeitig konnte die t/f -Transformation beibehalten werden, so dass eine Echtzeit-Spektrumanalyse des FM-Eingangssignals weiterhin möglich ist. Zusätzlich kann das demodulierte Signal in die Frequenzebene transformiert werden. Damit ist z. B. beim Rundfunkempfang eine genaue Inspektion des MPX-Signals mit Messung der Signal-Rauschabstände möglich.

Bild 4 zeigt ein Beispiel mit Darstellung des MPX-Signals als amplitudenmoduliertes Signal um die FM-Trägerfrequenz (Mitte des Spektrums) herum. Deutlich sind das scharf begrenzte Summensignal bis ± 15 kHz, der Pilotton bei 19 kHz, das Differenzsignal als Zweiseitenband-AM um den Hilfsträger 38 kHz herum, sowie das RDS-Signal bei 57 kHz zu sehen.

Mit diesem Demodulator wurde eine Verbesserung des Signal-Rausch-Abstandes gegenüber der „S-Kennlinie“ um 7 dB gemessen (Mono, 15 kHz Audiobandbreite, 240 kHz FM-Bandbreite). Er eignet sich damit besonders zum Fernempfang von UKW-Rundfunksendern, z. B. bei Überreichweiten. Aber auch in den Schmalband-Versionen für 6 kHz und 12 kHz Bandbreite ermöglicht er deutliche Verbesserungen im 2 m Band-Empfang, z. B. bei Satellitenverbindungen, Empfang der ISS oder bei EME-Versuchen.

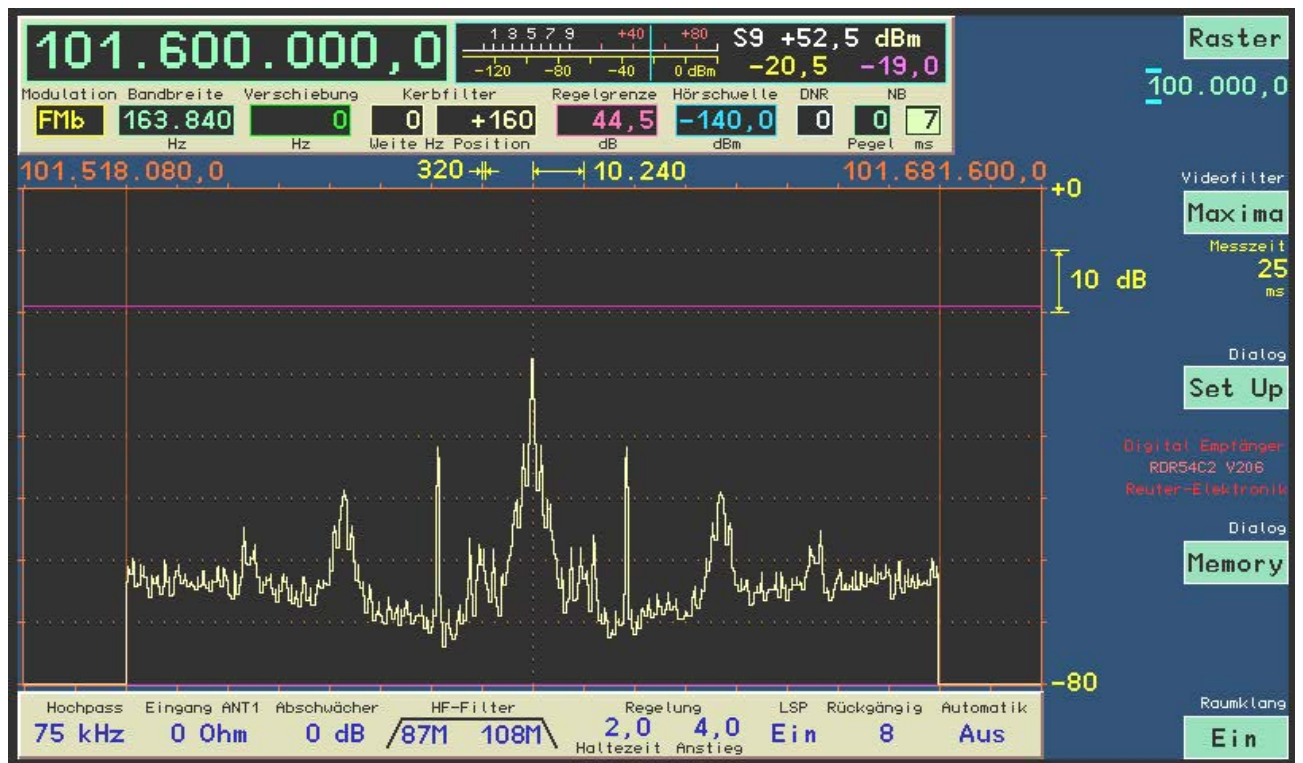


Bild 4: Spektrum des MPX-Signals eines FM-Rundfunksenders

3. Stereodekoder (vorläufig)

Der RDR54 mit Zusatzbaugruppe RFM32 ist für den Einsatz eines digitalen Stereodekoders vorbereitet. Der Dekoder wird als Software-Update zur Verfügung gestellt.

Taste F4 „Raumklang“ schaltet beim RDR54 normalerweise einen vollständig getrennten 2. Empfangskanal mit der sichtbaren Geräteeinstellung (Frequenz, Bandbreite, Demodulator...) ein, der aber ein um eine halbe Spektrallinie versetztes Signal erhält. Wenn der FM-Breitbanddemodulator gewählt ist, schaltet F4 jedoch den Stereodekoder ein. Die linke und die rechte Seite des Kopfhörers geben dann das Stereosignal aus (sofern empfangbar), der Lautsprecher das Summensignal.

Bei der neuen Signalverarbeitungsbaugruppe RDR26 (in Vorbereitung) kann das Signal auch als 24 Bit / 96 KSps SPDIF-Datenstrom und als Rohdatenstrom über USB entnommen werden.

Der Stereodekoder wurde ebenso wie der FM-Demodulator auf maximale Leistung programmiert. Dies bedeutet eine sehr lineare (klirrarmer) Arbeitsweise aller Algorithmen, sowie die Ausnutzung der komplexen Signalverarbeitung, der t/f-Umsetzung und des systeminternen Signalmodells des RDR54 zur Erzielung maximaler Signal-Rauschabstände.

Grundlegend wird die Stereoinformation ähnlich wie bei den AM-Demodulatoren durch Spektralanalyse der Seitenbänder um den Hilfsträger im MPX-Signal gewonnen. Diese Information ist prinzipiell 4 mal innerhalb des demodulierten FM-Signals (MPX) vorhanden, wie Bild 4 zeigt (jeweils links und rechts bzw. unter- und oberhalb der Hilfsträger + 38 kHz und – 38 kHz). Es werden alle 4 Anteile verwendet, wodurch sich der Signal-Rauschabstand um ca. 3 dB gegenüber einkanaliger Verarbeitung (2 Seitenbänder je Kanal) erhöht.

Die notwendige Phasenlage bei Transformation in den Hörbereich und Subtraktion / Addition zum Summensignal ist im Pilotton „verschlüsselt“. Diese Information ist im Spektrum direkt und mit sehr hoher Auflösung (36 Bit) vorhanden, so dass hierfür die Zeit-Frequenz-Transformierte des Pilottons ausgewertet wird. Die hohe Genauigkeit erlaubt eine feinstufige Einstellbarkeit der Phasenlage zur Erzielung höchstmöglicher Kanaltrennung.