



# Werner Nitsche DL7MWN



Unterhaching, 20.06.2008

## Funktionsbeschreibung Digital-RX-Board BAVARIX V 0.2

### 1. Einleitung

Eigentlich war geplant, für den BAVARIX das UniDSP56-Board von Gerrit, DL9GFA zu verwenden. Dann wäre es sinnvoll gewesen, alle anderen Baugruppen um dieses Board herumzubauen. Erst als allerletzte Arbeit war geplant, ein eigenes DSP-Board für den BAVARIX zu designen. Wir sind uns nun aber in einer Besprechung einig geworden, dass es für den BAVARIX besser ist, wenn alle digitalen Bausteine auf einem Board untergebracht werden. Das ergibt dann eigentlich schon einen Digital-Receiver. Mit einer entsprechenden Software könnte man damit schon Rundfunk hören, wenn nur eine Antenne an den AD-Wandler angeschlossen und die Bandfilter überbrückt würden. Aber das ist nicht unser Ziel und wir bauen den Preselektor, den Synthesizer und den Mischer mit ZF-Teil noch vor diesem Digital-Receiver, um eine bessere Performance zu erreichen.

In diesem Dokument werde ich nun das Digital-RX-Board vorstellen und die Funktionsweise erklären. Wenn man sich das gut überlegt, sieht man, dass das auch nicht viel anders funktioniert, als ein herkömmlicher Analog-Receiver. Nur hat man mit der Digitaltechnik mehr Möglichkeiten und Phasenwinkel sowie Verstärkung können ganz exakt bestimmt werden, wodurch gegenüber dem klassischen Analog-Receiver einfach bessere Ergebnisse zu erreichen sind. Auch gibt es in der Digitaltechnik kein Problem mit der Langzeitstabilität. Nur ist es so, dass die Gesamtfunktion und die Performance eines Digital-Receiver sowohl von der Hardware wie auch von der verwendeten Software abhängt. Es können also noch mehr Fehler gemacht werden, als das in einem analogen Receiver möglich ist.





# Werner Nitsche DL7MWN



Auf dem Digital-Receiver-Board verwenden wir Bauteile, welche für einige HF-Freunde unter uns neu sein werden. Aber damit kann man digital genau so gut mischen, verstärken, demodulieren, filtern und usw, wie wir das vom Analog-Receiver gewohnt sind.

## 1.1 Vorteile der Digitaltechnik

Die Signalverarbeitung ist sehr stabil und deshalb ist es kein Problem, einen Oszillator mit I und Q-Ausgang zu realisieren, der exakt 90 Grad Phasenschiebung liefert. Damit kann man dann einen I/Q-Mischer aufbauen, der sehr saubere und stabile Signale erzeugt. Signale, welche erst einmal digitalisiert sind, behalten ihre Performance bei, auch wenn man sie digital verstärkt. Es kommt dann kein neuer Rauschanteil mehr hinzu. Aber man kann das Rauschen, was schon vom Analogteil kommt, durch Filterung reduzieren. Für den digitalen Receiver gibt es fertige Chipsätze, die eigentlich alles, was benötigt wird, schon beinhalten. Die mir bekannten Chipsätze sind alle für Diversity-Empfang eingerichtet, wodurch im Digitalteil eigentlich mit einem Chipsatz 2 Digital-Receiver aufgebaut werden können.

## 2. Digital-Receiver

Ein Digital-Receiver besteht genau so wie ein herkömmlicher, analoger Receiver, aus mehreren Stufen. Auch die grundsätzlichen Funktionen dieser Stufen sind in den meisten Fällen den Funktionen in einem Analog-Receiver sehr ähnlich. Wenn das analoge HF-Signal erst einmal digitalisiert ist, dann lässt es sich von Störungen auf dem Board nicht mehr beeinflussen. Dann gelten die Regeln der Digitaltechnik. Im Digital-Receiver gilt, der Analogteil muss sehr sorgfältig aufgebaut sein. Im Digitalteil sind dann kleine Störungen auf dem Board nicht mehr so problematisch.

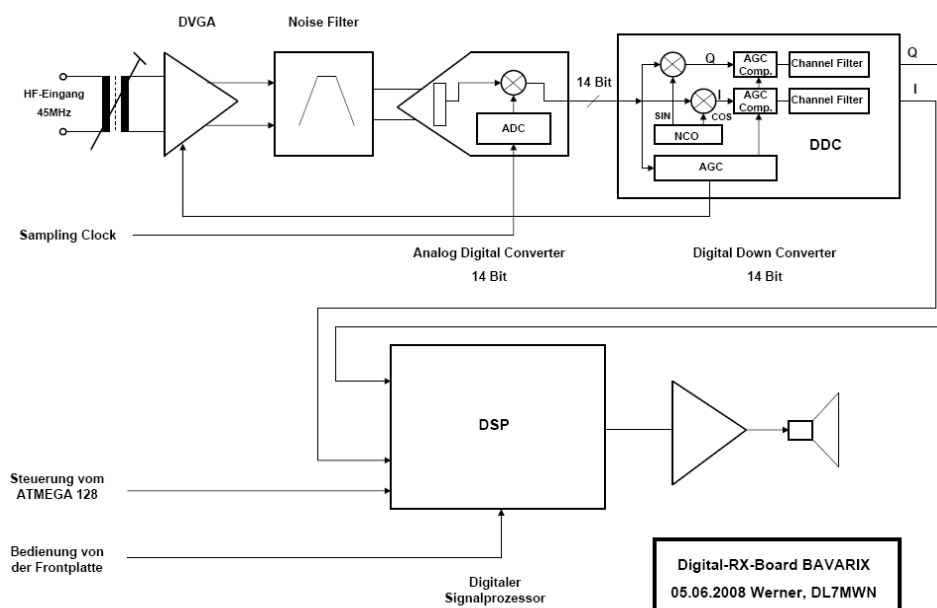


Bild 2 Blockschaltbild Digital-RX-Board



# Werner Nitsche

## DL7MWN



Wer sich für Digital-Receiver näher interessiert, der kann sich ja mal das Datenblatt vom CLC5903 der Firma National anschauen. Da ist einiges zusätzlich erklärt, was ich hier in meiner Beschreibung nicht so ausführlich behandeln werde.

### 2.1 DVGA (Digital Variable Gain Amplifier)

Der DVGA ist das erste Glied in der Signalverarbeitung auf dem Digital-RX-Board. Er bekommt das analoge HF-Signal und passt es an den ADC an. Der DVGA wird durch den DDC gesteuert. Am Eingang des DVGA ist ein HF-Trenntrafo geschaltet. Durch ihn vermeidet man Masseschleifen über mehrere Boards und setzt das asymmetrische Eingangssignal in ein symmetrisches Signal um. Von hier aus bis in den ADC wird das HF-Signal symmetrisch über 2 Leitungen geführt. Das hat den Vorteil, dass Störungen auf der Masse nicht in das HF-Signal gelangen können und dadurch das SNR im Analogsignal nicht verschlechtert wird.

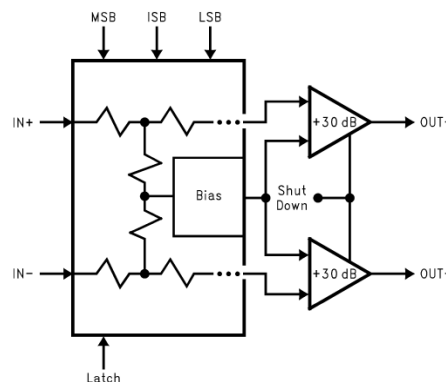


Bild 3 Blockschaltbild DGVA

### 2.2 Noise-Filter

Direkt zwischen dem DVGA und dem ADC ist ein symmetrisch aufgebauter Bandpass als Noise-Filter geschaltet. Dieses Filter ist nicht sehr selektiv und soll nur die Rauschanteile des DVGA bei den Sampling-Images unterdrücken, die sich sonst durch Aliasing auf unser Nutzsignal falten. Der Rest der Rauschbandbreite wird ja durch digitale Filter unterdrückt.

### 2.3 ADC (Analog Digital Converter)

Ein ADC ist ein ganz einfaches Bauteil, das nur eine analoge Spannung in einen Digitalwert umwandelt. Aber es gibt sehr viele unterschiedliche Funktionsweisen und Betriebsarten eines ADCs. Noch etwas schwieriger wird es, wenn man sich anschaut, was man alles mit einem ADC machen kann. Da kann man ganz einfach eine Gleichspannung digitalisieren, man kann Oversampling betreiben, oder man verwendet Undersampling,



# Werner Nitsche

## DL7MWN



so wie wir im BAVARIX. Hier möchte ich nun versuchen, die Funktionsweise und die Betriebsart unseres ADCs im BAVARIX zu erklären.

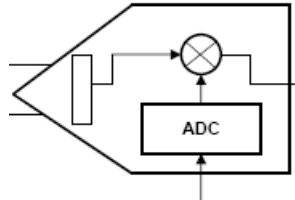


Bild 4 Blockschaltbild ADC

### 2.3.1 Allgemeine Überlegung zum ADC

Bestimmt weiß jeder von Euch, was ein ADC (Analog/Digital-Converter) ist und wozu man ihn verwendet. Wenn man einen einfachen, statischen Messwert digitalisieren will, ist das auch ganz einfach. Etwas schwieriger wird es schon, wenn man eine Wechselspannung mit einer bestimmten Frequenz digitalisieren möchte. Da gibt es verschiedene, sehr unterschiedliche Betriebsarten, in welchen ein ADC betrieben werden kann. Will man z. B. eine Frequenz von 20MHz digitalisieren, dann muss der ADC diese Frequenz mindestens mit 40MHz sampeln (abtasten). Das besagt das Abtasttheorem von Nyquist. Da gibt es dann aber auch noch das Oversampling und das Undersampling. Oversampling nennt man es, wenn man eine maximale Frequenz z. B. 10kHz mit einem Vielfachen dieser Frequenz abtastet. So z. B. mit 100kHz. Das ist auch weiter kein Problem. Je höher die Sampling-Rate ist, um so besser wird das digitale Ergebnis. Die Quantisierungsstufen werden feiner und das Rauschen nimmt auch ab. Das kommt im BAVARIX nicht vor, und deshalb wollen wir uns damit nicht beschäftigen.

Aber da gibt es auch noch das Undersampling (Unterabtastung), das wir im BAVARIX verwenden, um die hohe ZF von 45 MHz zu digitalisieren. Und mit dem Undersampling müssen wir uns nun ein wenig auseinander setzen, um das Prinzip zu verstehen.

### 2.3.2 Abtasttheorem nach Nyquist oder Shannon

Zunächst gibt es da das Abtasttheorem nach Nyquist oder Shannon, was in der Nachrichtentechnik, der Signalverarbeitung und der Informationstheorie angewandt wird.



# Werner Nitsche

## DL7MWN



So steht es im Wikipedia:

Das Abtasttheorem besagt, dass ein kontinuierliches, bandbegrenztetes Signal, mit einer Minimalfrequenz von 0 Hz und einer Maximalfrequenz  $f_{\max}$ , mit einer Frequenz größer als  $2 \cdot f_{\max}$  abgetastet werden muss, damit man aus dem so erhaltenen zeitdiskreten Signal das Ursprungssignal ohne Informationsverlust exakt rekonstruieren und beliebig genau approximieren kann.

Das bedeutet, wenn eine Frequenz von 26MHz digitalisiert werden soll, dann muss der ADC mit mindestens 52MHz gesampelt werden. Ist diese Bedingung erfüllt, dann kann man aus der gewonnenen digitalen Datenrate das analoge Ursprungssignal ohne Zusatzinformation wieder zu 100% rekonstruieren. In unserem BAVARIX müssten wir demnach mit  $2 \times ZF = 2 \times 45 \text{MHz} = 90 \text{MHz}$  sampeln, wenn wir uns an das Abtasttheorem von Nyquist halten würden. Das würde schon gehen, aber was sollten wir dann mit den vielen Daten machen, die dann aus unserem ADC kämen? So viele Daten können und wollen wir nicht verarbeiten. Also muss es da noch was anderes als das Abtasttheorem von Nyquist geben, das sich für unseren BAVARIX besser eignet.

### 2.3.3 Undersampling (Unterabtastung)

Nyquist sagt also, um das Nyquist-Kriterium einzuhalten, müssen wir eine Messfrequenz mindestens mit der doppelten Frequenz sampeln. Das schaut dann so aus:

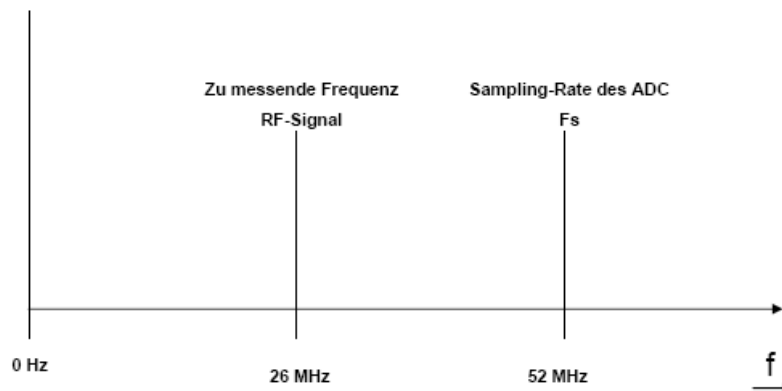


Bild 5 Sampelfrequenz und maximale Messfrequenz

Aber was passiert, wenn wir uns nicht an Nyquist halten und versuchen, die Messfrequenz größer zu machen ( $>26 \text{MHz}$ ), als es das Nyquist-Kriterium erlaubt? Ein Versuch zeigt ganz schnell das Ergebnis. Man kann das aber auch testen, indem man ein digitales Oszilloskop nimmt und eine Frequenz einspeist, die höher ist, als die interne Sampelfrequenz. Man wird sofort feststellen, dass das, was das Oszilloskop dann anzeigt, nicht mehr mit der ursprünglichen Frequenz übereinstimmt. Aber was ist passiert?



# Werner Nitsche DL7MWN



Wenn man es genau betrachtet, dann entsteht im Digitalteil des ADC eine Frequenz, welche abhängig von der analogen Eingangsfrequenz und der Sampelfrequenz ist. Eine Tabelle soll uns das verdeutlichen. Die Sampelfrequenz des ADC ist 52 MHz.

F_eingang	F_ausgang digital	F_eingang	F_ausgang digital
0 Hz	0 Hz	27 MHz	25 MHz
1 MHz	1 MHz	30 MHz	22 MHz
10 MHz	10 MHz	42 MHz	10 MHz
25 MHz	25 MHz	51 MHz	1 MHz
26 MHz	26 MHz	52 MHz	0 Hz

Schaut man sich die Tabelle genau an, dann stellt man fest, dass die digitale Ausgangsfrequenz der Eingangsfrequenz bis zu  $f/2$  folgt. Danach dreht sich das Verhalten um und die Ausgangsfrequenz wird wieder kleiner, wenn die Eingangsfrequenz weiter ansteigt. Das, was die Tabelle darstellt, befindet sich alles in den Nyquistzonen 1 + 2. Macht man die Eingangsfrequenz noch größer, dann wiederholt sich das alles immer wieder.

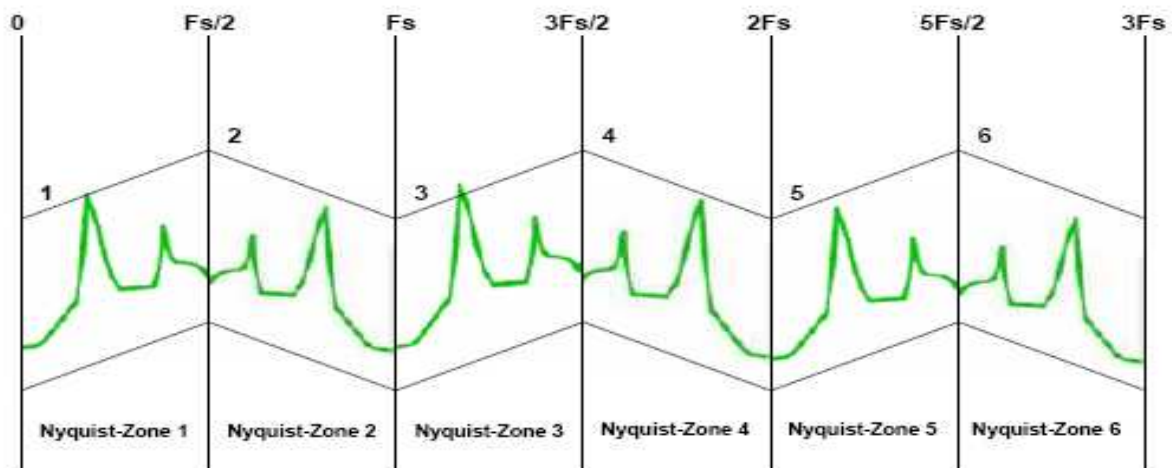


Bild 6 Nyquist-Zonen

Und hier noch eine andere Darstellung mit einer Sampelfrequenz von 130 MHz:

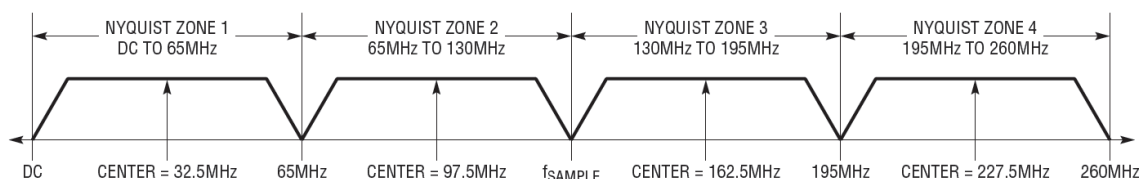


Bild 7 Nyquist-Zonen mit Frequenzangabe

In diesen Abbildungen sieht man, dass es mehrere Nyquistzonen gibt. Eine Nyquistzone endet immer bei  $F_s/2$  (halbe Sampelfrequenz) des ADCs oder bei einem Vielfachen





# Werner Nitsche DL7MWN



davon. Die Nyquistzone 1 beginnt bei einer Frequenz von 0 Hz. Direkt oberhalb der halben Sampelfrequenz des ADCs beginnt dann die nächste Nyquistzone. Und das wiederholt sich beliebig oft. Ein reales Spektrum ist Spiegelsymmetrisch zu 0Hz und wiederholt sich um Vielfache der Abtastrate.

Der Unterschied zum Nyquisttheorem ist nur, dass man die Eingangsfrequenz von der digitalisierten Ausgangsfrequenz des ADC nicht mehr rekonstruieren kann. Die Information, aus welcher Nyquistzone die Eingangsfrequenz kommt, ist nicht mehr erhalten.

Wenn man aber weiß, aus welcher Nyquist-Zone die Eingangsfrequenz kommt, indem man vor dem ADC einen Bandpass setzt, dann kann man die digitale Ausgangsfrequenz auch wieder eindeutig der Eingangsfrequenz zuordnen. Und genau so machen wir das auf dem Digital-Receiver-Board des BAVARIX. Wir nutzen dort die ZF mit 45MHz als Eingangsfrequenz und die Sampelfrequenz des ADC ist 52 MHz. Daraus ergibt sich, dass im ADC eine Ausgangsfrequenz von 7 MHz entsteht.

Das schaut dann so aus. Die ZF mit 45 MHz ist nicht ganz so hoch wie die Sampelfrequenz des ADC mit 52MHz. Da, wo die schwarzen Punkte im folgenden Diagramm eingezeichnet sind, wird gesampelt. Wenn man nun die schwarzen Punkte mit einer Linie verbindet, dann entsteht die neue, digitale Ausgangsfrequenz des ADC mit 7MHz.



Bild 8 Diese Abbildung ist nicht maßstäblich.

## 2.3.4 Auflösung des ADC

Im BAVARIX kommt ein 14-Bit-ADC zum Einsatz. Eigentlich gäbe es heute schon 16 Bit-ADCs, welche genauso schnell wären. Aber der digitale Pfad durch alle verwendeten Bausteine muss zusammenpassen. Vor dem ADC kommt der DVGA und dahinter der DDC, den man auch Digital-Tuner nennt. Diese Bausteine werden normalerweise als Chipsatz von einer Firma angeboten und passen optimal zusammen. Aber es gibt solche Bausteine nur mit 14 Bit Auflösung. Wollte man nun einen 16-Bit-ADC verwenden, dann müsste man sich den DDC selbst entwickeln. Das wäre in einem FPGA (Feld Programmable Gate Array) schon möglich. Dann bräuchte man auch keinen DSP mehr. Aber die Programmierung eines FPGA ist noch etwas schwieriger als die Programmierung eines DSP. Auch bräuchte man dazu die nötigen Entwicklungs-Werkzeuge und entsprechende Erfahrungen.



# Werner Nitsche DL7MWN



Wir haben uns jedenfalls entschieden, unsere digitale Signalverarbeitung mit einem DSP zu erledigen. Eine Auflösung von 14 Bit ergibt immerhin einen Bereich von 1:  $2^{14}$ . Das ist 1 : 16384. Ein Bit ist dann 0,06 Promil vom Vollausschlag.

## 2.4 DDC (Digital Down Converter)

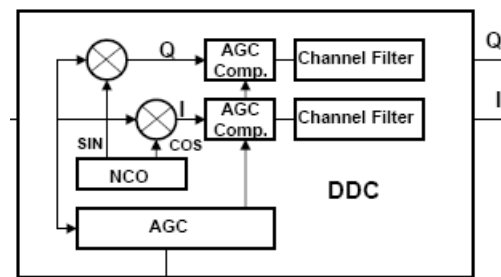


Bild 9 Blockschaltbild eines DDC

Einen DDC könnte man eigentlich auch „Digital-Tuner“ nennen, weil er alles beinhaltet, was man sich von einem Tuner erwartet. Zunächst verfügt er über 2 digitale Mischstufen, welche über einen digitalen Oszillator (NCO) mit einem Sinus und einem Cosinus-Signal angesteuert werden. Daraus ergibt sich nach den Mischstufen ein I und ein Q-Signal, welche beide in einer AGC-Compensation korrigiert werden. Diese AGC-Kompensation ist notwendig, um die Verstärkung im DVGA vor dem ADC auszugleichen. Jeweils ein folgendes Kanal-Filter im I und Q-Pfad sorgen für eine gute Filterung der digitalen Ausgangssignale. Diese Kanalfilter bestehen aus einem hardwaremäßig verdrahteten Digitalen-Signal-Prozessor (DSP), welcher zunächst einen CIC-Filter (Cascaded Integrator Comb) mit einem einstellbaren Dezimierungsverhältnis von 8 bis 2048 beinhaltet. Danach folgen noch 2 symmetrische FIR-Filter mit programmierbaren Koeffizienten. Auf die Funktionsweise der einzelnen Stufen möchte ich nicht näher eingehen, weil das für die meisten Leser langweilig würde. Wer sich aber dafür interessiert, der kann sich ja mal das Datenblatt vom CLC5903 der Firma National ansehen. Man kann aber sagen, dass die Signalqualität durch diese Filter deutlich an Performance gewinnt. Das ist wieder ähnlich, wie man es in einem analogen ZF-Teil durch schmalbandige Filterung erreichen kann.

## 2.5 DSP (Digitaler Signalprozessor)

Ein Digitaler Signalprozessor dient der kontinuierlichen, digitalen Bearbeitung von analogen Signalen durch die digitale Signalverarbeitung.



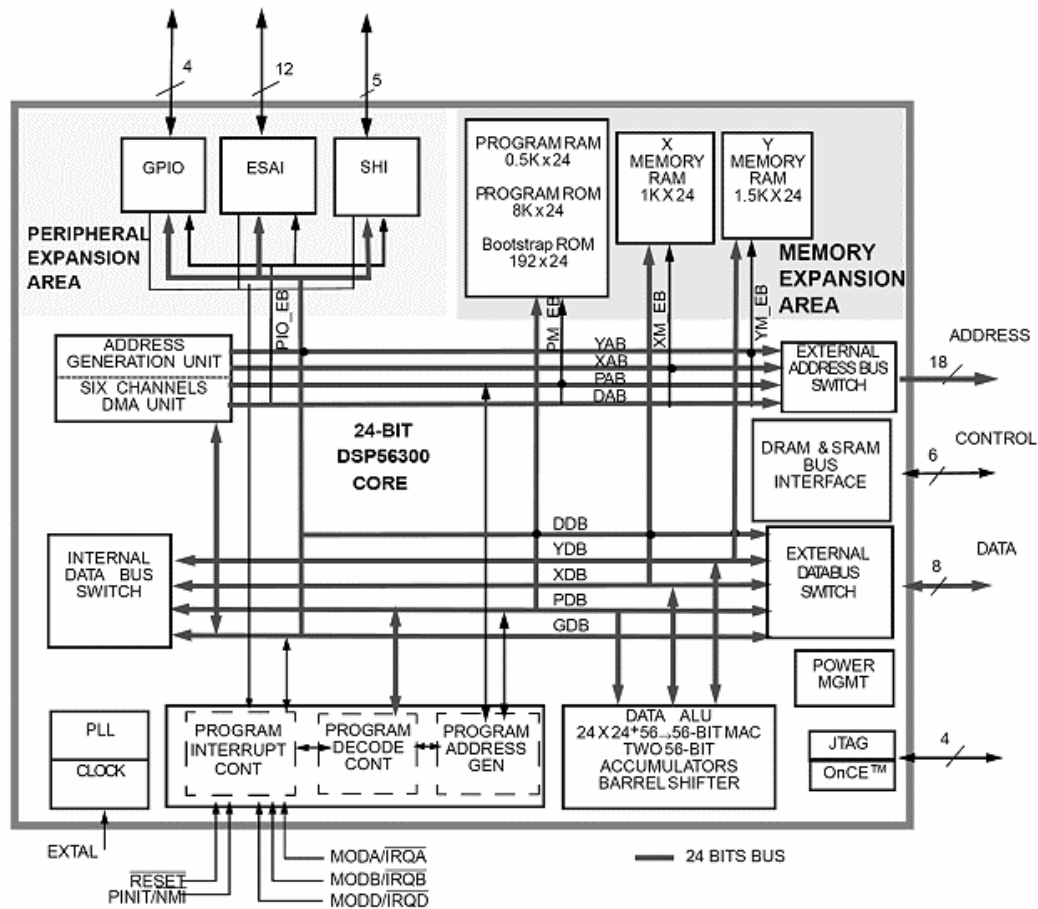


Bild 8 Blockschaltbild DSP

### 2.5.1 Welche Aufgaben kann ein DSP ausführen

DSPs können nicht nur herkömmliche, aufwendige Filtertechnik ersetzen, sondern auch weitere Aufgaben erledigen, die in der Analogtechnik nur schwer oder überhaupt nicht lösbar sind.



# Werner Nitsche DL7MWN



- Es können Frequenzfilter hoher Ordnung mit geringem Phasenfehler realisiert werden.
- Auch kann ein DSP eine Dynamikkompression / Dekompression mit dynamischen Parametern durchführen.
- Auch eine Rauschunterdrückung ist möglich.
- Sprachprozessoren für AFU können realisiert werden.
- Es ist möglich, einen Noise Blanker zu bauen.
- Digitale Daten können erzeugt oder zurück gewandelt werden.
- Spracherkennung ist möglich.
- NF-Filter mit sehr hoher Ordnung können gebaut werden.
- Notch-Filter sind realisierbar.
- Sprachkompressor / Expander sind möglich.
- RX und TX-Equalizer sind realisierbar.

Diese Tabelle zeigt nur ein paar Möglichkeiten, welche ein DSP durchführen kann. Natürlich ist das längst nicht alles. Er kann auch zur Modulation oder Demodulation fast aller Modulationsarten verwendet werden. Das alles ist nur von der eingesetzten Software abhängig.

Um den kontinuierlichen Datenstrom vom ADC zu verarbeiten, muss ein DSP eine bestimmte Datenmenge pro Zeiteinheit verarbeiten können, ohne dabei nur 1 Bit zu verlieren. Ein „Handshake“ wie das normale Prozessoren machen, ist dabei nicht möglich. Bei einer derartigen, kontinuierlichen Verarbeitung von Daten spricht man von Echtzeitverarbeitung.

In unserem BAVARIX wird mit jedem ADC-Sampel ein Interrupt im DSP ausgelöst, in welchem die neuen Daten sofort verarbeitet werden. Sobald dieser Interrupt abgeschlossen ist, arbeitet der DSP wieder seine Forever-Loop im Hauptprogramm ab. In dieser Loop werden die Bedienelemente eingelesen und es können neue Betriebsarten eingestellt werden.



Id 9 Auch hier werden DSPs eingesetzt



# Werner Nitsche DL7MWN

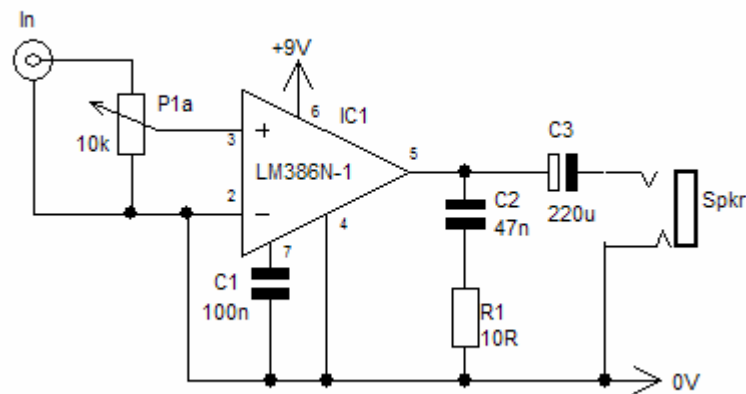


## 2.5.1 Was macht der DSP in unserem BAVARIX?

Wie schon erwähnt, kann der DSP bei hoher Datenrate kontinuierlich Digitale Signalverarbeitung durchführen. Da wir in unserem BAVARIX für die zweite ZF einen DDC verwenden, wird der DSP für diese Aufgabe nicht benötigt. Dafür kann er mit voller Leistung die Demodulation der empfangenen Signale durchführen und gleichzeitig noch ein Spektrogramm durch eine FFT-Analyse auf einem Farbdisplay darstellen. Grundsätzlich kann ein DSP so gut wie alle Modulationsarten demodulieren. Das ist nur eine Frage der verwendeten Software. Sobald die Software funktioniert, werde ich über ihre Funktionen näher berichten.

## 2.6 NF-Verstärker

Es wäre schön, wenn das Digital-Receiver-Board auch noch über einen kleiner NF-Verstärker für den Lautsprecher verfügen würde. Aber im Moment ist es noch völlig unklar, ob dafür der Platz auf dem Board noch ausreicht. Die digitalen Bausteine sind zwar klein, aber sie benötigen viele Signalleitungen auf dem Board. Das ist bei Digital-schaltungen mit Bussystemen fast immer so.



Da ein NF-Verstärker aber relativ einfach zu realisieren ist, muss er nicht unbedingt mit auf dieses Board. Bestimmt findet sich noch irgendwo ein Eck, wo er hinpasst. Und sollte überhaupt kein Platz für den NF-Verstärker im BAVARIX zu finden sein, dann kann man ja immer noch mit externen, aktiven Lautsprechern arbeiten.

## 3. Schlusswort

Bisher habe ich solche Berichte immer als Zwischenbericht nach der Inbetriebnahme des jeweiligen Boards erstellt. Diesesmal habe ich es als Funktionsbeschreibung im Voraus geschrieben. Das hat auch einen guten Grund. Bei allen bisherigen Zwischenberichten handelte es sich um Techniken, die ich mehr oder weniger kannte. So habe ich



# Werner Nitsche DL7MWN



geschrieben, wie es geworden ist und wie es funktioniert. Beim Digital-Receiver-Board ist das diesmal anders. Ich habe noch nie ein Board mit so einer Funktion gebaut. Diese Funktionsbeschreibung sollte auch mir dienen, über die angewandte Technologie nachzudenken und die Funktion noch einmal gründlich zu überlegen. Das habe ich nun getan und ich bin sicher, dass auch dieses Board funktionieren wird.

Trotzdem wird es über dieses Board noch viel zu berichten geben. Zunächst kommt der Schaltplan, der auch nicht ganz einfach werden wird. Dann kommt das Layout mit den vielen Busleitungen und dem sensiblen Analogteil. Ich hoffe, dass ich da mit einer 2-lagigen Leiterplatte auskomme und nicht auf 4 Lagen umsteigen muss. 4 Lagen kosten ca. das Doppelte von einer 2-lagigen Leiterplatte. Bestimmt wird es auch über die Inbetriebnahme was zu berichten geben und dann kommt ja auch noch die Software. Also es gibt noch viel zu tun. Ich bin froh, dass mich da Gerrit und Hans-Peter unterstützen.

Natürlich freue ich mich wieder auf sachliche Kritik und Anregungen von Euch. Habt Ihr Erfahrungen in der einen oder anderen Angelegenheit? und würdet Ihr etwas grundsätzlich anders machen? Und warum? Das interessiert mich natürlich. Also schreibt mir entweder im QRP-Forum oder direkt an meine E-Mail-Adresse, wie bisher.

Meine E-Mail-Adresse lautet:  
[werner.nitsche@gmx.de](mailto:werner.nitsche@gmx.de)

Euer Werner, DL7MWN

