

ARB RIDER AT-AWG-5000 シリーズ

無線と RF デバイスのための AWG と AFG

アプリケーションノート

ARB RIDER AWG-5000 SERIES



任意信号発生器

はじめに

無線通信の世界では、信号は急速にすべてデジタル化されつつあります。この傾向は、主にアナログと比較して、より効果的なスペクトル効率によるためです。信号の中心周波数、スペクトル密度、および帯域は、増大するユーザーのニーズを満たすため、さらに増大しています。したがって、デバイスは、対処が要求されるすべての運用においてより複雑で重要なになってきています。

しかしながら、開発中の製品を市場に出すには、厳格な基準を満たす必要があります。そのためには、部品の完全な特性評価が必要です。部品は多くの場合、互いに大きく異なります。そのため、単一のデバイスをテストするために専用の試験装置を製作することは、コストがかかりすぎて実現不可能になりつつあります。

ここで、最先端の ARB Rider AWG-5000 シリーズ任意波形／ファンクション・ジェネレータは、この問題を解決し、これまでにない柔軟性を提供します。これにより、エンジニアは多種多様なデバイスや機器をテストするための強力な計測器を手に入れ、テストフェーズを迅速化し、市場投入までの時間を短縮できます。

本稿では、最新の Active Technologies 社の高性能 AWG / AFG と、今日ではあらゆる電子機器を動作させてその応答を調べ、動作を検証したり、限界やエラー状況を見つめたりするために必要な多種多様な信号を生成する能力について考察します。



課題：

- 無線アプリケーションのための IF と RF 信号の生成

解決策：

- AT-AWG-506X 任意信号発生器

結果：

- 無線の送信器、受信器、RF デバイスの信頼性や特性の試験を容易にします
- 複雑なアナログおよびデジタル無線信号のシナリオを生成する時間を短縮します。



Active Technologies

無線データの送受信

ケーブルを使用せずに情報を送受信するため、電磁界をアンテナから別のアンテナに伝播させ、その上に情報を載せることができます。

しかしながら、通過する環境は非常にノイズが多く、伝送波形が大幅に変化する可能性があり、その結果、そこに含まれるデータが変化します。

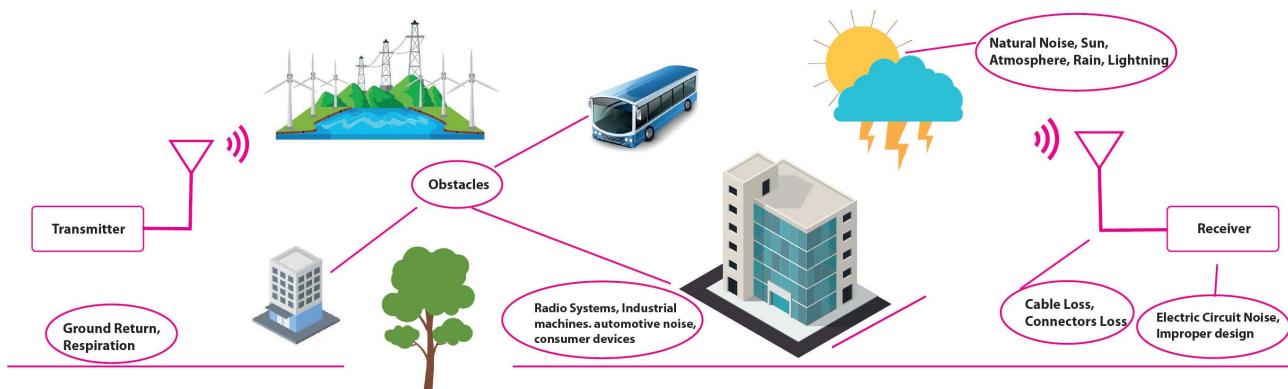


図 1：無線データの送受信 — ノイズやロスがエラーを引き起こす —

信号の減衰、歪み、チャネル間干渉など、多くの問題が無線通信に影響を与え、特に、屋内の状況や建物の密度が高い都市では、伝送帯域幅全体でマルチパスフェージングが発生します。

これらの問題に対処するために、より広い帯域幅にわたるスペクトラム拡散や高いシンボルレートのデジタル変調など、多くのソリューションが変調技術に導入されています。

これらの波形は非常に複雑であり、機器でそれらを再現することは困難な場合があり、ほとんどの場合、デバイス固有のテスト機器が必要になり、コストと市場投入までの時間が長くなります。

最近では、新しい機器のカテゴリーがこの分野で重要となっています。

それらは任意ファンクション・ジェネレータ (Arbitrary Function Generators : AFG) と任意信号発生器 (Arbitrary Waveform Generators : AWG) と呼ばれます。

これらの主な機能は、直接合成 (AFG) によって多種多様な波形を作成できること、および、既存の機器を使って作成したサンプル、もしくは専用のアプリケーションを使用して作成したサンプルを、メモリを使用して全てのサンプル値を保存し、その一部をループ、ジャンプ、シーケンスさせながら、任意の出力クロックレートで再生することができます。

AWG デバイスに保存されるサンプルは、オシロスコープなどの取得機器を使用するか、専用のアプリケーションで波形を作成することによって作成できます。

なぜデジタル・オーバー・アナログ？

振幅変調 (AM)、周波数変調 (FM)、位相変調 (PM) などのアナログ変調は古くから広く使われてきました。なぜなら、これら変調と復調に関わる技術は非常にシンプルで、低コストで済むからです（振幅変調について考えてみると、復調は単純にダイオードとコンデンサと抵抗で行うことができます）。

それらは、すべてキャリア信号を振幅、周波数または位相をそれぞれ変更して、送信する情報を含むアナログ信号で変調するだけで作成することができます（通常、これは変調信号よりも高い周波数を用います）。

しかしながら、送信信号は符号化されていないため、より高い信号対雑音比 (SNR) を実現する唯一の実現方法は、送信機の放射電力を増やし、より広い帯域幅で変調し、高い指向性とより大きなアンテナを使用することになります。ただし、これらすべてにいくつかの問題があります：送信電力を増やすことが常に実現可能であるとは限りません。なぜなら電子回路は管理する必要のある電力に比べて複雑さが増し、電子回路は大きくなり、冷却する必要があるからです。

RF リンクを必要とするすべての用途に割り当てるため、チャネル数の需要が増加していることから、厳格な規制により、使用可能な最大限の帯域幅が割り当てられます。

最後に、アンテナが大きいほど、アンテナをその位置に保つために巨大な構造が必要になり（通常アンテナは地面から高い位置に配置されます）、指向性アンテナでは、すべての方向に同じ電力で信号をブロードキャストすることはできません。

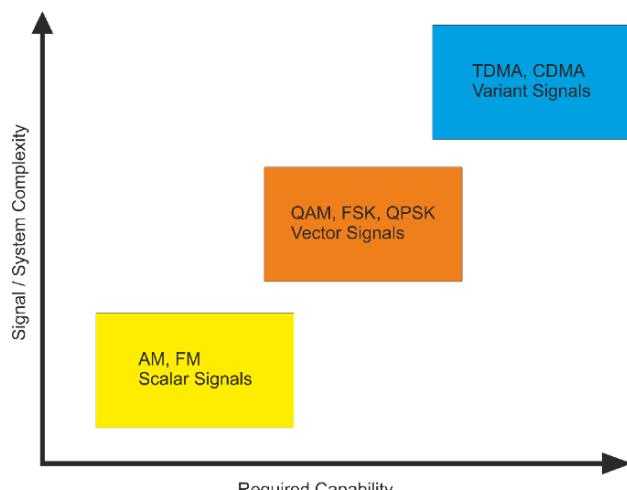


図 2：アナログとデジタルの変調

これらの理由とデジタルデバイスの普及の増加は、今日、デジタル回路の処理コストが低下し、デジタル変調技術に移行するようになったという事実に要約されています。これにより、さまざまな用途においてより優れた SNR、より高いスペクトル効率、およびアナログ変調では不可能ないいくつかの多重化モード（符号分割多元接続 (CDMA) など）を用いることができます。

1 つ（または複数）の変調信号と、多くの場合 1 つまたは複数の搬送波を備えた、このような多くの種類の波形を生成でき、環境ノイズ、伝搬干渉、復調によって引き起こされる可能性のあるノイズを追加することができる計測器を持つことで、開発資金と時間を大幅に節約することができるのです。

デジタル変調へ

情報を「無線」で送信し、共通の通信メディアを分割してさまざまな非干渉データフローを可能にするには、キャリア（通常はラジオまたはマイクロ波帯域）を、送信する実際のコンテンツを含む別の信号（キャリアに関しては低い周波数に分類される）で変調する必要があります。

キャリアとデータ信号の両方がアナログ信号またはデジタル信号のどちらかであり、その選択は様々な要因により決まります。ほとんどの場合、アナログキャリアに依存していますが、上記の理由から、今日ではデジタル変調が一般的です。これは、ビットで表される 1 つまたはそれ以上のシンボルを使用して、1 つのキャリアのパラメータ（振幅、位相、または周波数）を変更することで構成されます。

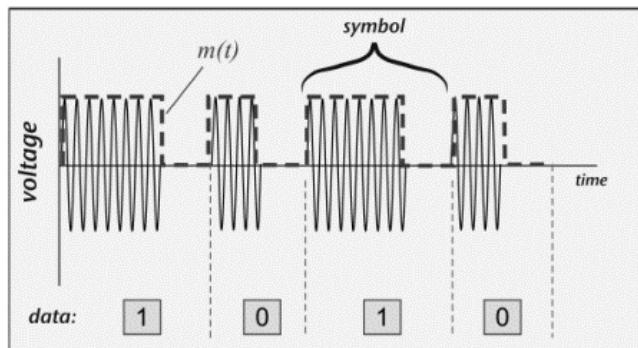


図 3: OOK 変調

これが何を意味するかを理解するために、最も単純なデジタル変調について見てみます。

On-Off キーイング (OOK) は 2 つのレベルから成る (2-ASK) 振幅シフトキーイング（振幅偏移変調）の単純な方式であり、これは 2 つのシンボル（例えば 0 と 1）のデジタル振幅変調で構成され、まさにキャリアを On/Off しているような方法です。このようにして、キャリア信号を発生させると”1”として認識され、無い場合には”0”として認識されます。これら 2 つのビットは他の 2 つのキャリアのパラメータの内の一つを変化させることでも表せます。周波数を変化させることにより、2 レベルの周波数シフトキーイング（周波数偏移変調：2-FSK）を構成したり、キャリアの位相を 2 つのレベルに変化させた 2-PSK（BPSK とも呼ばれます）を構成したりすることができます。

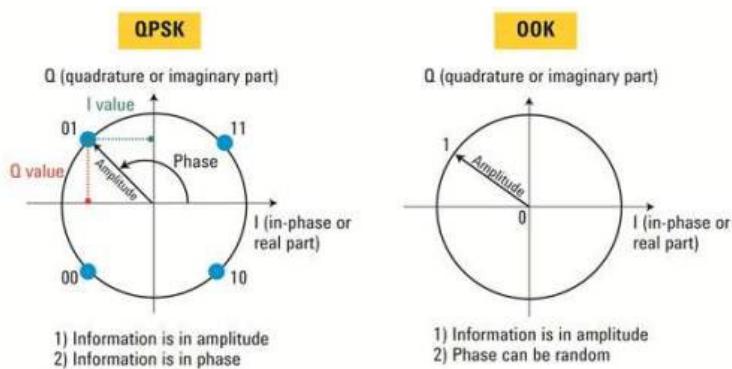


図 4: 極表示

さらに、送信をエンコードするために使用するシンボルの量は、通信のエネルギー効率（受信機側で正しくデコードされるために信号がどれだけ強力でなければならないか）とスペクトル効率（特定のビットレートを達成するために帯域幅がどれだけ広くなければならないか）の両方に影響します。

これは、最初の一つを増加させるほど2番目が少なくなるという、トレードオフの関係にあります。低い信号対雑音比（S/N比）で信号をキャプチャして正しく読み取る能力が向上しているため、スペクトル効率のためのEb/N₀比を下げるることができます。

このため、伝送波はより高度に複雑化し、高速で柔軟な機器以外はより高い bps/Hz 比を実現させることができなくなります。

最新の通信システムによってその領域を広げたもう一つの変調方式は、特殊な振幅変調であり、直角位相変調（Quadrature AM : QAM）と呼ばれます。

これは、同じ情報を使用して、1つではなく2つの位相のずれたキャリアを変調し、それらの2つのチャネルを混合することによって機能します。これらはI/Qチャネルと呼ばれます。なぜなら、一方が同相（In-Phase）で、もう一方が最初のチャネルと直交（Quadrature）している（つまり、90度の遅延）からであり、「I」チャネルキャリアはコサインであり、「Q」チャネルキャリアはサインとなります。

これらを合計すると、I/Qの相対的振幅はコンステレーション上の分散された数のポイントに位相ベクトルを配置することができ、このポイントが送信されるシンボルを表します。2の累乗のシンボル数を使用することにより、各シンボルを表すビット数、つまり各シンボルが転送するビット数は、シンボルの総数の2を底とする対数であることがわかります。コヒーレント復調を使用して、TX/RX同期とシンボルの回復をより適切に行うために、振幅だけでなく周波数と位相も直交変調にかけることができます。

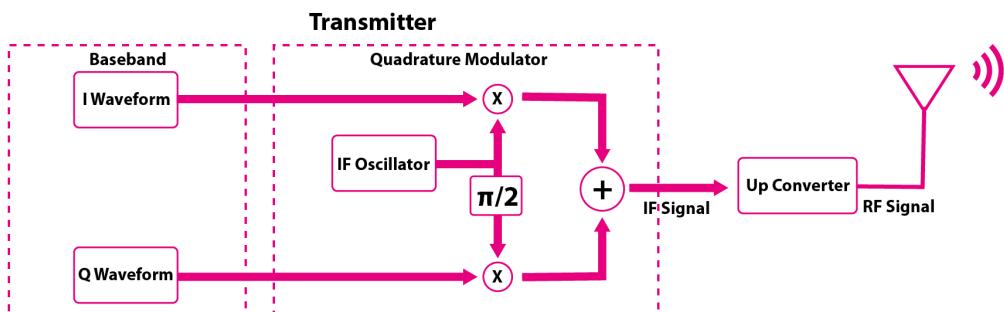


図 5 : IQ 送信機

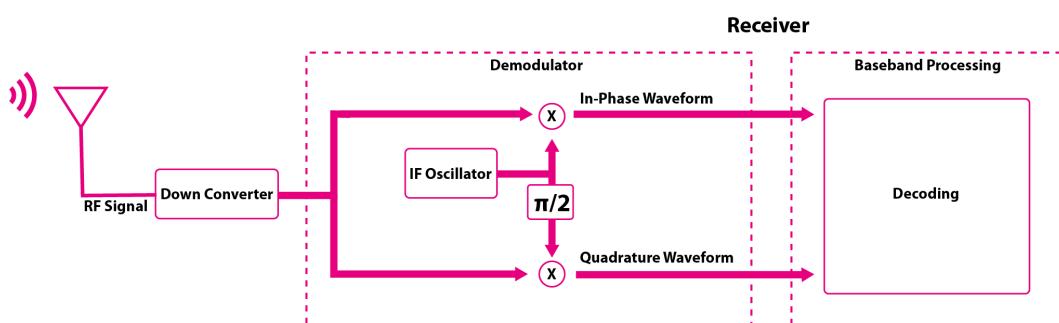


図 6 : IQ 受信機

広く使われているのは QPSK であり、これは優れたスペクトル効率と電力効率を持っています。現代のシステムでは、無線 LAN 通信のように、前の波形との時間的組合せを使用した高度で複雑な波形が使用されていることを容易に確認することができます。それらの変調は、全ての使用可能な帯域を占有せずに高いビットレートを確保するために S/N 比が十分に高い場合には、スペクトル効率を上げ、使用しているチャンネルにノイズが多い場合には、さらに電力効率を上げ、ビットレート下げます。

Bluetooth の技術やすでに述べた WLAN のような他のシステムでは、キャリア周波数から別の周波数にジャンプしてスペクトルを拡散し、単一の帯域でより少ない電力放出を実現することができます（法律では実行放射電力を制限しています）。したがって、同じ電力をより広い帯域幅に分散させると、S/N 比を低下させることなく平均放出電力を減少させることができます。

増大するトラフィックの要求を満足させるために、いくつかのシステムでは、周波数と時間の多重化（それぞれ、FDMA と TDMA）に加えて、符号分割多元接続（Code Division Multiple Access : CDMA）を使用しています。これは、すべてのシンボルをより長いシンボルのシーケンスにコード化する方法であり、レシーバーで他のシンボルから分離することができます。そして、それらが同じキャリアで伝送されている場合でも、同時に、より高い帯域幅とより高速な変調器と復調器が必要になります（実際、16 個のシンボルで作成されたコードを使用する CDMA は、同じ実効ビットレートを維持するために、CDMA を使用しない場合よりも 16 倍広い帯域幅を必要とします）。

考慮すべきもう 1 つのことは、まだデジタル信号について話しているということあり、ビットの形状も通信システム全体の最終的なパフォーマンスに重要な影響を及ぼすということです。

最終的な信号のスペクトラムはビット形状のフーリエ変換であることから、長方形に近いビット形状が使われている場合（通常一つのビットは長方形に近い形状で表されますが、無限の帯域幅を必要とするため、正確な長方形とすることはできません）、スペクトルは同期しているように見え、広すぎる帯域幅で電力を拡散し、周波数の近いチャネルと干渉を引き起こします。

広く使用されているフィルタはレイズドコサインと呼ばれ、その形状は滑らかな長方形のように見えます。滑らかさの係数はアルファと呼ばれるパラメータで表され、これは、最終的な信号の帯域幅に正比例しますが、元のシンボルのコンステレーションのオーバーシュートと変化を促します。

スペクトル使用量と電力の観点から、可能な限り高い効率で信号を作成するためにいくもの複雑なオペレーションが行われているかを見ると、これらすべてのデバイスをテストするためには、完全なカスタム計測器も構築する必要があることが明らかになります。

AWG-5000 シリーズ任意信号発生器を使用すれば、16 ビットの電圧分解能を維持しながら、最大 2GHz を超えるスペクトル成分を持つ任意の信号をテストすることができ、このことは、垂直精度が全電圧振幅の 1/65000 よりも高いことを意味します。

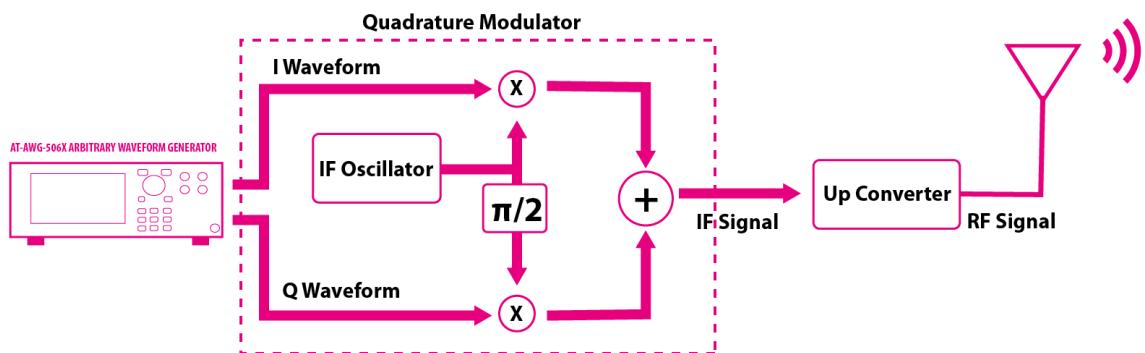


図 7：ベースバンド信号（Tx）用 AWG — Arb Rider AWG-506X

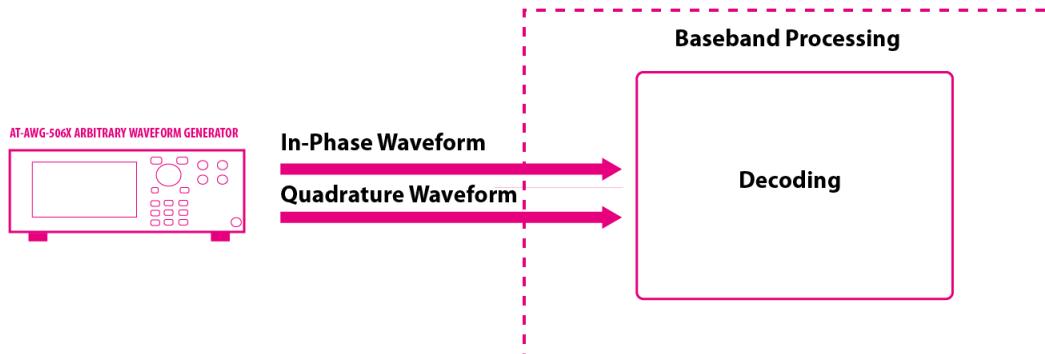


図 8：ベースバンド信号（Rx）用 AWG — Arb Rider AWG-506X

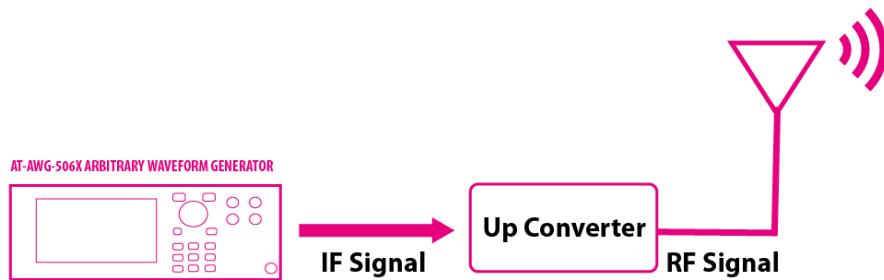


図 9：IF 信号（Tx）用 AWG — Arb Rider AWG-506X

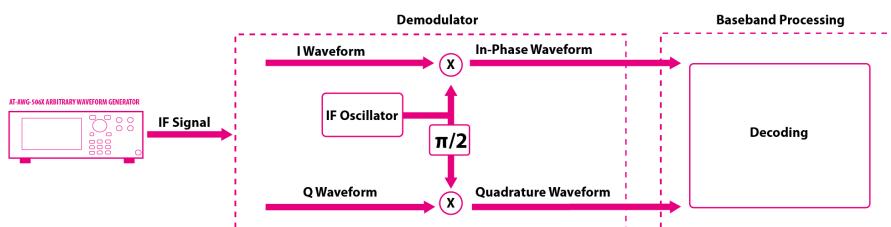


図 10：IF 信号（Rx）用 AWG — Arb Rider AWG-506X

RF モードで RF 無線信号の生成

AWG-5000 シリーズ任意信号発生器は、リアルタイム・サンプリング・レート 6.16GS/s のベースバンド・モード、または補間サンプリング・レート 12.32GS/s の RF モードで動作します。RF モードでは、最大 6GHz の RF 無線信号と変調パルスを生成できます。

内部変調器とアップコンバーターにより、1つまたは 2 つの搬送波（シングル・キャリア・モードとダブル・キャリア・モード）を持つ RF 信号を作成できます。このモードを使用すると、2 つの周波数間を簡単に切り替え、異なるチャネル間の振幅やスキーなどの障害をリアルタイムで追加できます。

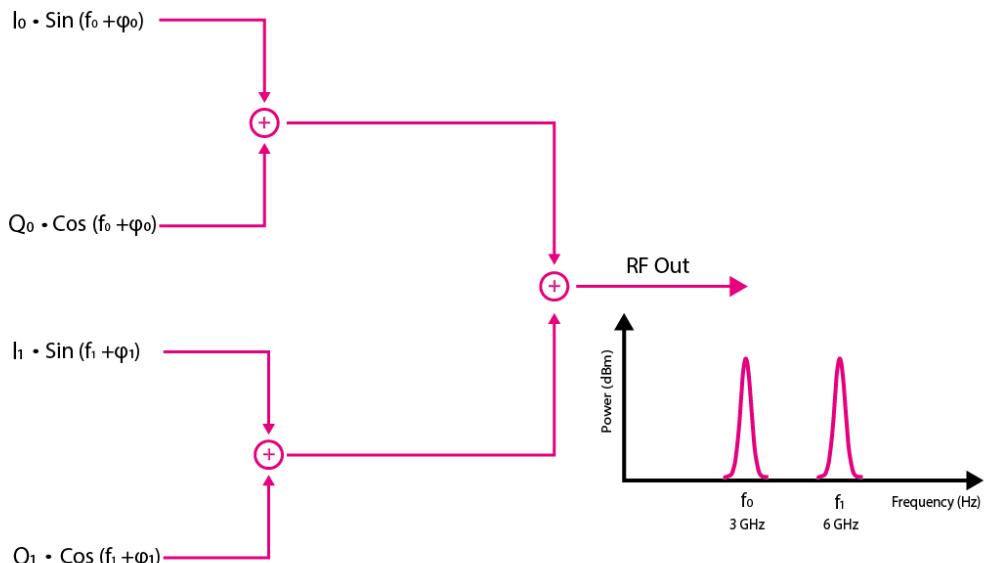


図 11：RF モード

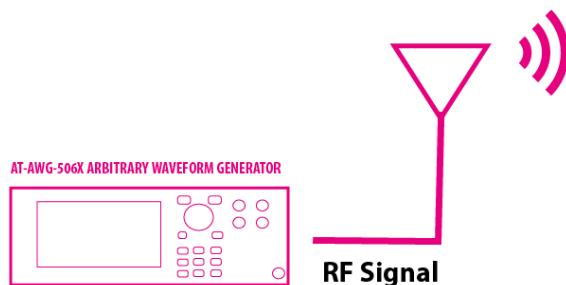


図 12：RF 無線信号用 RF モード – Arb Rider AWG-506X

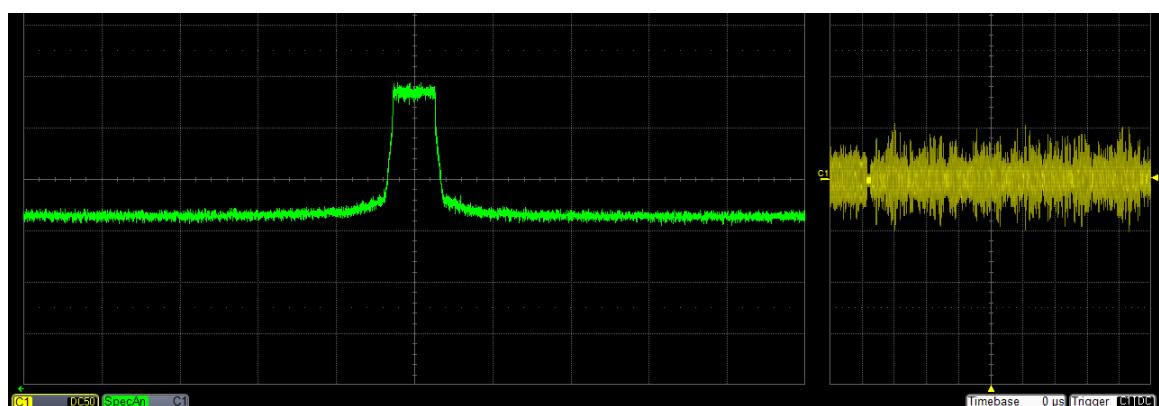


図 13：AWG-506X の RF モードによる RF 信号の生成

デジタル信号の一般的な実装

近年発生したデジタル革命の後押しと、デジタル信号処理（DSP）と FPGA のハードウェアのコスト低下に助けられ、エンジニアは、ほとんどすべての種類のワイヤレスデバイスを構築することができるデジタルサンプリングとフィルタ（Finite Impulse Response : FIR や Infinite Impulse Response : IIR 等）を使って、ソフトウェアによる無線技術を開発するようになりました。

今日ではこれらの技術は、コンシューマー用製品から防衛目的まで、あらゆる分野で使用されています。

すでに述べた WLAN（旧称 802.11）と Bluetooth（802.15 IEEE 標準に属するワイヤレス PAN に使用される）に加えて、GSM（「G」はガウスを表し、パルス整形フィルタがガウスのようなスペクトル応答を持っていることを示唆します）のような以前のバージョンから、CDMA および DSSS 直交位相および振幅変調を使用する HSDPA および LTE（4G ネットワークとも呼ばれます）などの最新技術を使ったデジタル変調に依存する、携帯電話通信のようなメトロポリタンネットワークに特に注意を払う必要があります。

変調	用途
MSK, GMSK	GSM, CDPD
BPSK	Deep space telemetry, cable modems
QPSK, $\pi/4$ DQPSK	Satellite, CDMA, NADC, TETRA, PHS, PDC, LMDS, DVB-S, cable (return path), cable modems, TFTS
OQPSK	CDMA, satellite
FSK, GFSK	DECT, paging, RAM mobile data, AMPS, CT2, ERMES, land mobile, public safety
8, 16VSB	North American digital TV (ATV), broadcast, cable
8PSK	Satellite, aircraft, telemetry pilots for monitoring broadband video systems
16 QAM	Microwave digital radio, modems, DVB-C
32 QAM	Terrestrial microwave
64 QAM	DVB-C, modems, broadband set top boxes, MMDS, DVB-T
256 QAM	Modems, DVB-C(Europe), Digital Video(US), DVB-T2

ほとんどの国では、テレビとラジオの無線通信もデジタル変調に変わり、チャネルコーディングを利用してノイズとデータ圧縮に対する信頼性を高め、専用のスペクトルセクションの使用を改善し、利用するユーザーの全ての要求に対応しています。注目に値するのは、DVB（地上波と衛星テレビの両方のストリームはデジタル変調を使用）と DAB（デジタルオーディオ放送）です。

これらの技術のもう 1 つの重要な用途は、単に通信するだけでなく、TETRA のような防衛目的もあります。TETRA は、警察、消防、軍隊による専門的な通信に主に使用される標準の技術であり、エンドツーエンドの暗号化とマルチキャスト半二重送信を可能にします。コンスタレーションは直交しておらず、 45° のスキーがあるため、 $\pi/4$ と呼ばれる特定のタイプの微分直交 PSK を使用します。

また、無線検出および測距（RADAR）では、ディジタルベースのアプローチを使用して距離と精度を向上させます

次の表は、AWG-5000 シリーズの概要と性能、および現行機種との比較を示しています。

Active Technologies AWG-506X Model	主な仕様
	<ul style="list-style-type: none"> アナログチャンネル: 2 4 8 デジタルチャンネル: 8 16 32 サンプルレート: 6.16GS/s リアルタイム 12.32GS/s RF モードでの補間 垂直分解能: 16bit 出力周波数レンジ: 2GHz (ベースバンド・モード)、6GHz (RF モード) AWG, AFG, DPG とパルス・パターン生成モード True-Arb AWG: ベースバンドおよび RF モード (オプション) シングルエンドおよび差動モデル アナログ出力振幅: 5Vpp @50Ω (シングルエンド)、1.5Vpp @50Ω (差動) 立ち上り/立ち下り時間: 110ps
	<ul style="list-style-type: none"> マルチ・チャンネルシステム: 最大 32 アナログチャンネル、128 デジタルチャンネル AT-XSS ケーブルで簡単に同期 マスター/スレーブ構成

※ 製品を廃棄する場合には、地方自治体の条例・規則に従って廃棄してください。

●製品改良等により、外観および性能の一部を予告なく変更することがあります。

※ 社名、商品名等は各社の商標または登録商標です。

●お問い合わせは、下記当社営業部および営業所または取次店へお問い合わせください。

●価格は変更の可能性があります。ご注文の際にはご確認を頂けますようお願い申し上げます。

IWATSU
岩崎通信機株式会社

技術的なお問い合わせ フリーダイヤル:
0120-102-389 E-mail:info-tme@iwatsu.co.jp

受付時間 土日祝日を除く営業日の 9:00 ~ 12:00/13:00 ~ 17:00

T&Mカンパニー T&M営業部 URL: <https://www.iwatsu.co.jp/tme>

■計測営業課 〒168-8501 東京都杉並区久我山1-7-41 TEL 03-5370-5474 FAX 03-5370-5492

■アカウント営業課 〒168-8501 東京都杉並区久我山1-7-41 TEL 03-5370-5474 FAX 03-5370-5492

■国際営業課 〒168-8501 東京都杉並区久我山1-7-41 TEL 03-5370-5483 FAX 03-5370-5492

■西日本営業所 〒550-0005 大阪府大阪市西区西本町2-3-6山崎ビル1F TEL 06-6535-9200 FAX 06-6535-9215

■中日本営業所 〒460-0002 愛知県名古屋市中区丸の内3-7-33(カモンビル) TEL 052-228-3834 FAX 052-951-3576