

UWB（超広帯域無線）におけるRF測定



無線接続が広範囲な製品群に採用されるようになり、1 Gbpsを超えるデータ・レートの無線技術が求められています。この要求に応えられる現時点でのソリューションが、UWB（超広帯域無線、Ultra Wide Band）伝送技術です。

UWB通信の概念は、無線の初期段階からありました。1900年代、マルコーニのスパーク・ギャップ送信機（無線の始まり）では、非常に広い帯域に拡散された信号で通信していました。1940年代、クロード・シャノンは、最も効率的な通信はノイズであると述べました。彼の著書である「通信の数学的理論、Mathematical Theory of Communication^{*1}」では、情報の伝送容量は、帯域を広くするか、変調を複雑にすることによって増やすことができると述べています。多くの無線伝送は、狭帯域、大電力密度ですが、他の方法として、広帯域、低電力密度があります。

通信の発展過程では、広帯域が放棄され、狭帯域または同調無線が主流となりました。アメリカの連邦通信委員会（FCC：Federal Communications Commission）は、この流れのもとで、周波数と電力の使用を管理するとともに、不要放射など意図しないインパルス性ノイズの放射電力も制限対象となっていました。多くの研究機関が、インパルス性ノイズを制御することにより、広帯域で低電力密度の通信を行えないかを議論してきました。しかし、インパルス性ノイズに対しても強い規制がかけられており、狭帯域通信との共存の可能性を探ることも議論の主要な部分だったのです。これらの議論がきっかけとなり、FCCによって、意図的なインパルス性ノイズの強い締め付けが解かれることとなります。2002年2月、FCCは Part 15の規制（免許不要の無線デバイスについて）を改定し、免許不要のUWBデバイスの運用を許可しました。

^{*1} C.E. Shannon著：「A mathematical Theory of Communication」、Bell System Technical Journal, vol. 27, page 379~423およびpage 623~656, July and October, 1948

UWB（超広帯域無線）におけるRF測定

▶ アプリケーション・ノート

UWB技術は、近距離、低電力で、1Gbps以上のデータ・レートの伝送を目指しています。これにより、高速ケーブル通信の置き換えを実現できます。UWBは、デジタル・オーディオ・ビジュアル機器、携帯電話、ワイヤレスUSBを搭載したPCなどで、既に、実証されています。

UWB伝送システムの定義

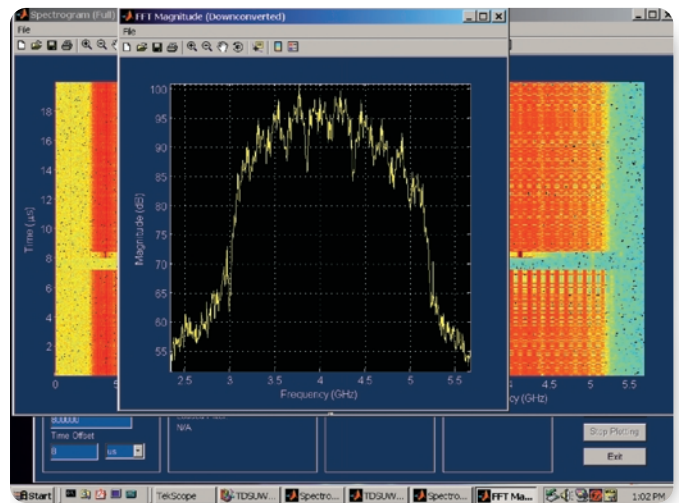
FCCの規制²では、UWBデバイスは、3.1~10.6GHzの免許不要の周波数帯域において、低電力密度（ -41.3dBm/MHz のEIRP（等価放射電力））での運用が可能です。UWBの放射電力は、その電力密度制限により、免許帯域におけるサービスや他の重要な無線運用に対して有害とはなりません。

UWBによる伝送は、任意の時間ポイントにおいて、周波数帯域比が0.2以上か、周波数帯域比に関係なく帯域幅が500MHz以上の意図的な放射と定義されます。周波数帯域比は、 f_H を帯域の上限周波数、 f_L を下限周波数とすると、 $2(f_H - f_L) / (f_H + f_L)$ で表現されます。

UWBの伝送スペクトラム例を図1に示します。この例では、周波数帯域比が約0.5で、帯域幅も500MHz以上です。一方、CDMAでは、周波数帯域比は0.0007で、帯域幅は約1.2MHzです。

UWB送信機は、可能な限り広いスペクトラムを使用して電力密度を下げる一方で、トータル電力を大きくします。UWBシステム、サブ・システム、コンポーネントの開発、インストレーション、運用では、要求される変調帯域に対応するだけの高度なテスト機器が必要になります。この種のリアルタイム計測器や信号ゼネレータには、UWB規格で要求される数千のシンボルを正確に生成したり、取り込んだりする能力が求められます。

このアプリケーション・ノートで説明する全てのテストや測定は、テクトロニクスTDS6154C型オシロスコープを使用しています。送信機テストでは、15GHzのリアルタイム帯域、40GS/sで64Mポイントのメモリを実装するTDS6154C型により、RF信号から数千ものシンボルを直接かつ正確にリアルタイム波形（単発）として取り込むことができます。受信機のテストでは、最高サンプリング・レート4.2GS/sのAWG710B型任意波形ゼネレータにより、正確にIQ変調されたUWBベースバンド信号の生成が可能です。



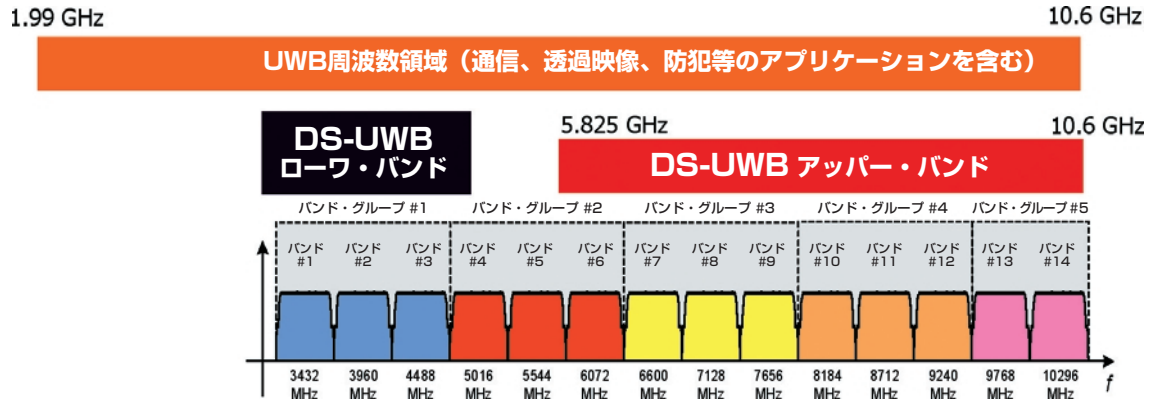
▶ 図1：民生用DS-UWB無線のリアルタイム・スペクトラム。帯域幅は約2GHz、周波数帯域比は約50%（TDS6154C型による40GS/sでの取り込み）。

UWBスペクトラムと電力

UWBの使用周波数範囲は、アプリケーションによって異なりますが、通信システムでは、3.1~10.6GHzの7.5GHzの周波数幅が認められています。広い帯域の信号を生成する手段には、インパルス方式とマルチ・バンド方式の2つの方法があります。

インパルス方式では、帯域が数GHzになるような時間幅の非常に短いパルスを使用します。データは、パルス振幅変調（PAM）やパルス位置（位相）変調（PPM）で変調されます。タイム・ホッピング手法により、複数チャンネルの通信をサポートできます。

² Federal Communications Commission 47, part 15, subpart F; Ultra-Wideband Transmission Systems

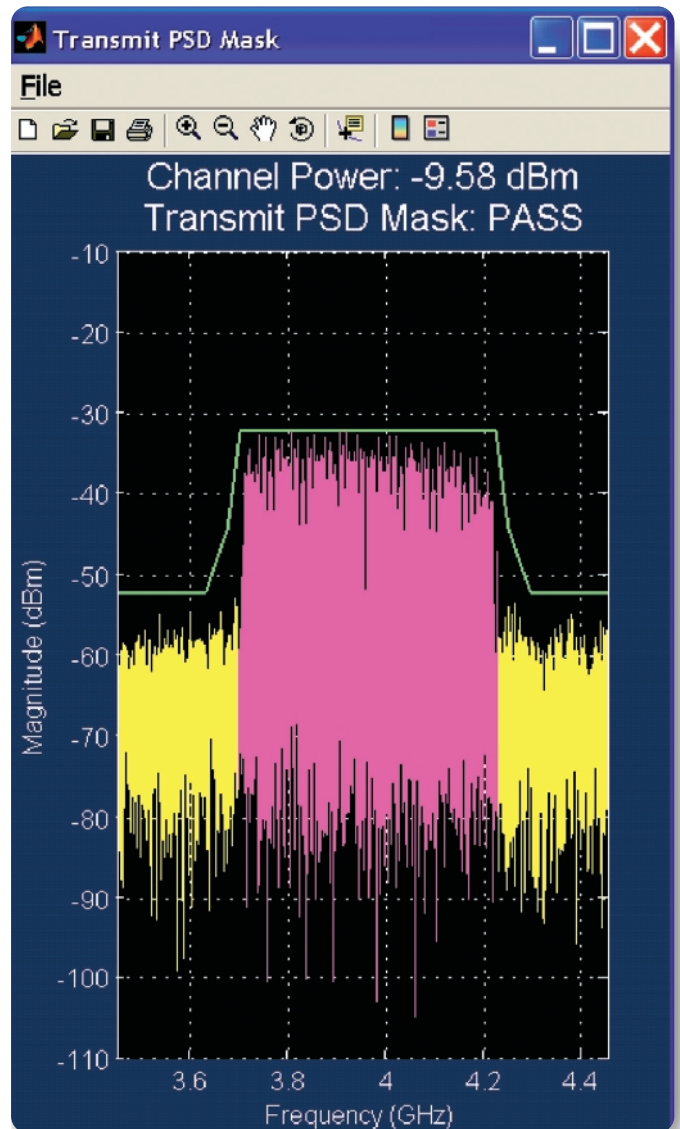


▶ 図2: UWBスペクトラム

マルチ・バンド方式では、UWBの周波数を幾つかの小さなバンドに分割します (図2参照)。各バンドでは、BPSK、QPSK、OFDMなど、各種の変調方式が提案されています。DS-UWBシステムでは、スペクトラムをローワ・バンドとアッパー・バンドに分けていますが、MB-OFDM方式では、5つのバンド・グループに分割されます (図2参照)。

既存サービスとの干渉を避けるため、EIRPはFCCによって-41.3dBmに制限されます。この電力は電子機器からの不要放射と同等かそれ以下であり、このような小さな電力を測定できる計測器が必要になります。このアプリケーション・ノートで説明しているすべての測定は、UWB送信機のアンテナ端子でアンテナとTDS6154C型を50Ωでスプリットし、ケーブル接続しています。

実際の放射電力の測定例を図3に示します。ここでは、MB-OFDM方式、バンド#2 (図2) のスペクトラム形状をマスク・テストしています。



▶ 図3: 送信電力密度 (PSD)

UWB（超広帯域無線）におけるRF測定

▶ アプリケーション・ノート

UWBにおけるDS-UWB方式

UWBフォーラム^{*3}のDS-UWB(Direct Sequence Ultra Wideband)方式は、シングル・キャリアの直接拡散と広いコヒーレント帯域により、1.32Gbpsのデータ・レートを実現しています。

現在のCMOS技術から考えれば、3.1~5.1GHzのスペクトラム使用は、初期の展開としては最適です。5GHz帯の使用を制限することで802.11aが存在するU-NII帯との干渉を避けることができます。また、無線およびアナログ・フロント・エンド回路の設計も簡素化できます。

送信機テスト

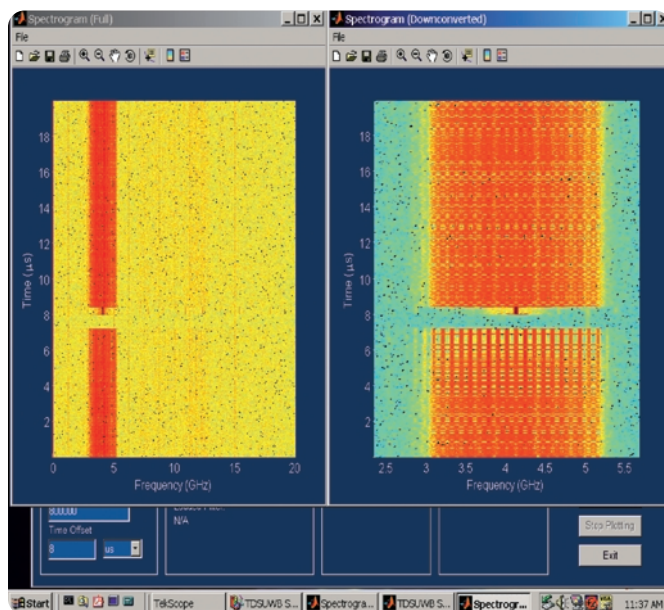
先に説明したように、UWB送信機からの送信信号を観測するには、アンテナ端子からの信号をオシロスコープに直接取り込む方法が最適です。UWBスペクトラムの数千ものシンボルを、リアルタイム（単発）波形として正確に取込む必要があります。図4は、このようなRF信号を40GS/sのサンプル・レートで約1600 μ s取込んだ例です。取込んだ波形を拡大することで、伝送されたデータのRF信号の詳細が確認できます。この例の信号はローワ・バンドを占有していますが、電圧対時間の表示からはスペクトラムの理解は困難です。

占有帯域は、信号をスペクトログラム表示することで確実に観測できます（図5参照）。これは図4と同じ信号をスペクトログラム表示したものです。周波数対時間対電力で表示され、カラー・グレーディングによって電力強度が示されています。この例では、スペクトラムの時間変化の多くは、RFバースト信号の最初と最後に見られますが、その他の部分ではおおそ一定であることが確認できます。なお、UWB伝送では、常にこのようになるとは限りません。

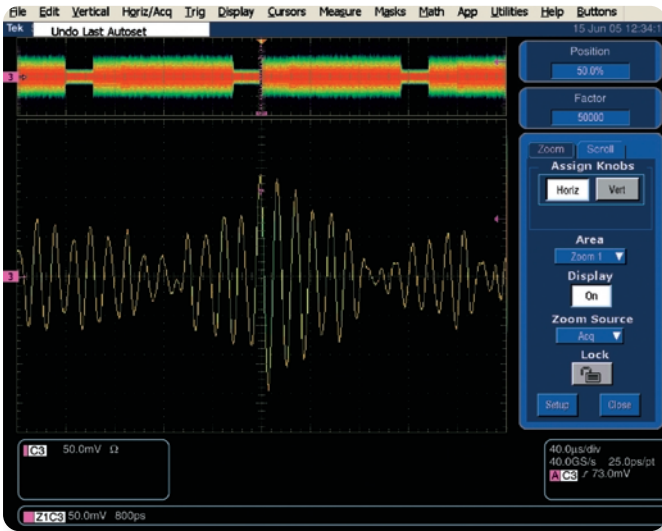
*3 www.uwbforum.org



▶ 図4：TDS6154C型で観測した、DS-UWB送信信号の電圧対時間表示。ローワ・バンドのウェーブレットが観測できます。アッパー・バンドのウェーブレットは、ローワ・バンドの周波数の約2倍です。



▶ 図5：TDS6154C型を使用して40GS/sで取込んだDS-UWB信号のスペクトログラム表示。帯域は約2GHzで、スペクトラムの時間変化はありません。



▶ 図6：TDS6154C型で取込んだMB-OFDMパケット信号。この波形はバンド・グループ #1（図2参照）に属します。

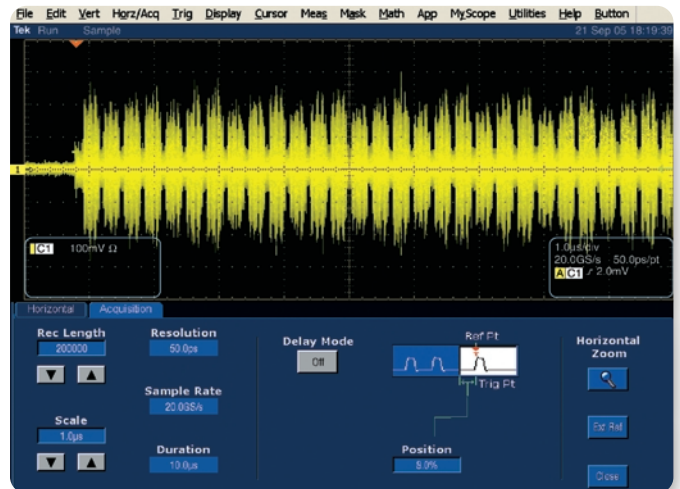
MB-OFDMテスト

WiMediaアライアンス^{*4}によると、MB-OFDM方式では、3.1～10.6GHzの周波数範囲を、5つのバンド・グループに分割して使用します。各バンドは、3つのバンドまたは2つのバンドで構成され、各バンドは528MHz離れています。MB-OFDM方式は、528MHzのFFTレートで128トーンを有するOFDM技術が使われています。各OFDMシンボル長は312nsで、シンボル毎に数ns以内でバンドを切り替えます。このような複雑なRF信号を正確に観測するには、リアルタイム帯域性能をもった計測器が必要です。

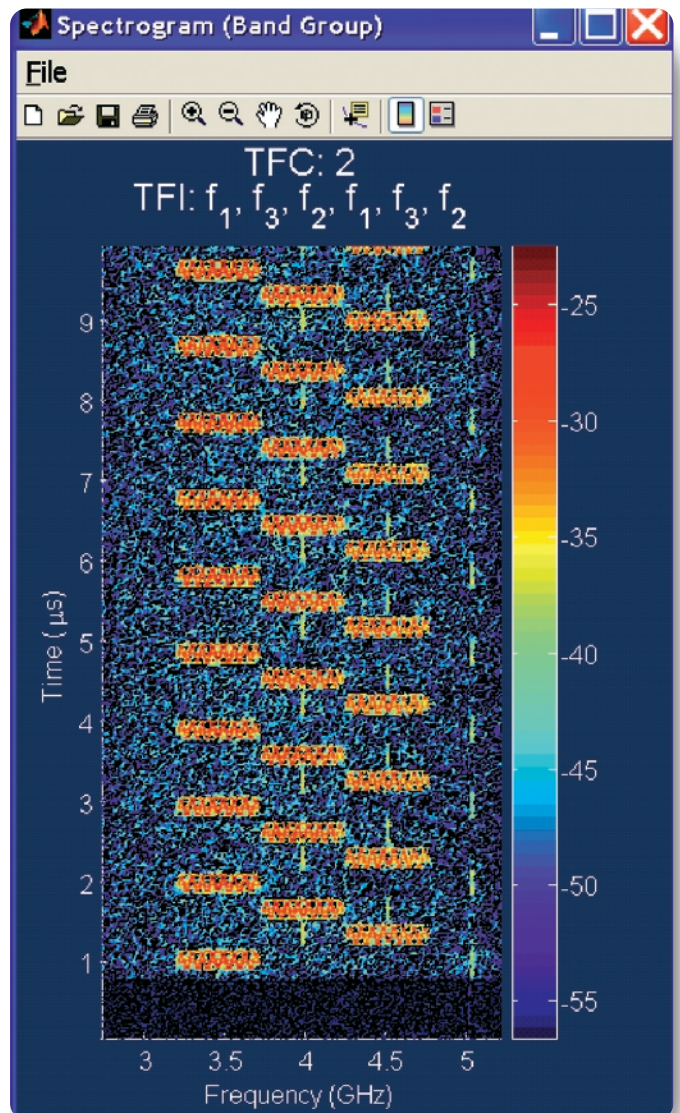
この測定では、UWB送信機のアンテナ端子でアンテナとTDS6154C型を50Ωでスプリットし、ケーブル接続しています。オシロスコープは、パケットの開始点でトリガします。トリガ・ホールドオフは、パケットの開始点で安定したトリガが得られるよう、パケット長より大きくなるように設定します。このようにして取込まれたRF信号を、図7に示します。この波形から、MB-OFDMの各シンボルの長さが約300nsであることがわかります。

図8に示すカラー・グレーディングされたスペクトログラム表示から、シンボル長約300nsで、シンボル毎にバンド切り替えが行われていることが確認できます。このTFC（Time Frequency Code：バンド・ホッピング・パターンを表すコード）では、バンド・グループ #1において、ホッピングのシーケンスは f_1 、 f_3 、 f_2 となっています（ f_1 ～ f_3 は、バンド#1～#3の中心周波数を表します）。これは図7と同じ信号ですが、カラー・グレーディングされたスペクトログラムによりバンド・ホッピングの様子がはっきりと確認できます。

*4 www.wimedia.org



▶ 図7：電圧対時間プロットによる個々のMB-OFDMシンボル。各シンボルの長さは約300nsです。



▶ 図8：バンド・グループ #1のTFC：2のスペクトログラム表示（ f_1 、 f_3 、 f_2 ）。

UWB（超広帯域無線）におけるRF測定

▶ アプリケーション・ノート

MB-OFDMの各バンド・グループには、7つのTFCが定義されています（バンド・グループ#5のみ2つのTFCが定義）。図7と図8では、このモードの一つであるTFC2の信号を表示しています。図9は、TFC6の信号例です。この場合、各シンボルは f_2 で伝送され、バンド・ホッピングは行われません。

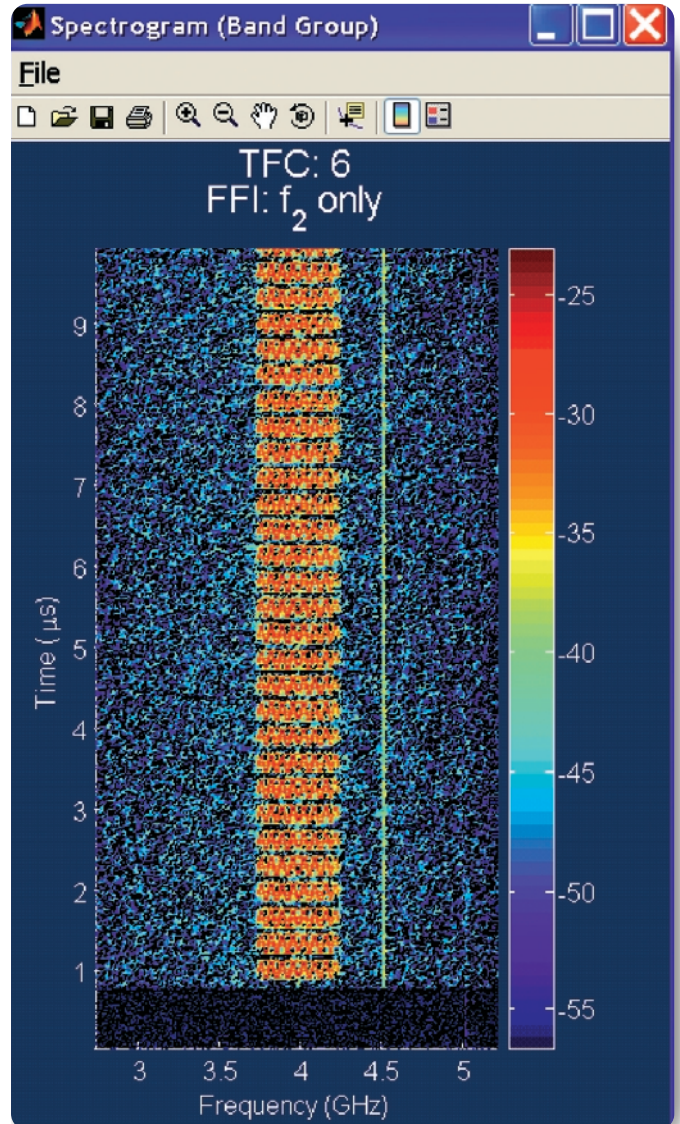
MB-OFDM受信機テスト

受信機テストでは、OFDM信号をベースバンドIFまたはIQ変調形式で受信機に信号を供給します。ベースバンド・ソースに信号ゼネレータを使用すると、IQ復調によるエラーを心配することなく受信機を評価できます。テクトロニクスAWG710B型の最高サンプル・レートは4.2GS/sであり、2.112GS/sで528MHzのFFTレートの4倍のオーバー・サンプリングが可能です。IQ変調では、マスタ・スレーブ同期運転により、1チャンネルの信号ゼネレータを2台使用して、IとQの2チャンネルの信号を生成することができます。

新しいUWB無線設計の評価とデバッグ

UWB伝送では、ロジック・エラーあるいはプロトコル・エラーまたはRFエラーがある場合、この帯域をリアルタイムで取込めない計測器では、数nsの単位で発生する障害を観測することはできません。

どのような信号であっても、テクトロニクスは常に被測定信号よりも広い帯域を持った計測器を推奨しています。TDS6154C型は、振幅と位相の優れたフラットネスにより、完全なUWBスペクトラムを単発波形として取込むことができます。



▶ 図9：バンド・グループ #1のTFC：6。このモードでは、各シンボルは f_2 のみ。

受信機テストでは、信頼性が高く、再現性のあるUWB信号ゼネレータの要求が高まっています。AWG710B型は、IF信号だけでなく、2台のゼネレータをマスタ・スレーブ運転することで、受信機評価のためのベースバンドI/Q変調信号を生成することができます。

UWBのためのスペクトラム解析ツール

ここで紹介したスペクトラム解析表示プロットは、TDS6154C型で実行するTDSUWBスペクトラム解析ユーティリティによるものです。このユーティリティは、TDS6000Cシリーズで何の制限もなく、すべてのUWBスペクトラムを観測できます。

まとめ

10.6GHzまでの数GHz変調帯域のUWB RF信号では、新しい計測ツール、測定技術が必要です。テクトロニクスは、今日のUWB RF信号の測定ツールを提供しています。

Tektronix お問い合わせ先:

東南アジア諸国/オーストラリア (65) 6356 3900

オーストリア +41 52 675 3777

バルカン半島/イスラエル/アフリカ南部諸国およびISE諸国
+41 52 675 3777

ベルギー 07 81 60166

ブラジルおよび南米 55 (11) 3741-8360

カナダ 1 (800) 661-5625

中東ヨーロッパ/ウクライナおよびバルト海諸国 +41 52 675 3777

中央ヨーロッパおよびギリシャ +41 52 675 3777

デンマーク +45 80 88 1401

フィンランド +41 52 675 3777

フランス +33 (0) 1 69 86 81 81

ドイツ +49 (221) 94 77 400

香港 (852) 2585-6688

インド (91) 80-22275577

イタリア +39 (02) 25086 1

日本 81 (3) 6714-3010

ルクセンブルグ +44 (0) 1344 392400

メキシコ、中米およびカリブ海諸国 52 (55) 5424700

中東アジア/北アフリカ +41 52 675 3777

オランダ 090 02 021797

ノルウェー 800 16098

中華人民共和国 86 (10) 6235 1230

ポーランド +41 52 675 3777

ポルトガル 80 08 12370

大韓民国 82 (2) 528-5299

ロシアおよびCIS諸国 +7 (495) 7484900

南アフリカ +27 11 254 8360

スペイン (+34) 901 988 054

スウェーデン 020 08 80371

スイス +41 52 675 3777

台湾 886 (2) 2722-9622

イギリスおよびアイルランド +44 (0) 1344 392400

アメリカ 1 (800) 426-2200

その他の地域からのお問い合わせ 1 (503) 627-7111

Updated 12 May 2006

詳細について

当社は、最先端テクノロジーに携わるエンジニアのために、資料を用意しています。当社ホームページ(www.tektronix.co.jp)またはwww.tektronix.comをご参照ください。



Copyright © 2006, Tektronix. All rights reserved. Tektronix製品は、米国およびその他の国の取得済みおよび出願中の特許により保護されています。本書は過去に公開されたすべての文書に優先します。仕様および価格は予告なしに変更することがあります。TEKTRONIXおよびTEKはTektronix, Inc.の登録商標です。その他本書に記載されている商品名は、各社のサービスマーク、商標または登録商標です。

5/06 FLG/WOW

61Z-19624-0

8 www.tektronix.co.jp/Application/rf/uwb.html

Tektronix
Enabling Innovation

日本テクトロニクス株式会社

東京都港区港南2-15-2 品川インターシティ B棟6階 〒108-6106
製品についてのご質問・ご相談は、お客様コールセンターまでお問い合わせください。

TEL 03-6714-3010 FAX 0120-046-011

電話受付時間/9:00~12:00・13:00~18:00 月曜~金曜(祝日は除く)

当社ホームページをご覧ください。 www.tektronix.co.jp
お客様コールセンター ccc.jp@tektronix.com