

MS2830A-018 オーディオアナライザオプションの開発

Development of Audio Analyzer option MS2830A-018 for Signal Analyzer MS2830A

稲童丸桃子 Momoko Inadomaru, 吉富圭一 Keiichi Yoshitomi, 西尾圭介 Keisuke Nishio

[要 旨]

MS2830A シグナルアナライザの内蔵オプションであるオーディオアナライザ(MS2830A-018)の開発を行った。これまで MS2830A は、既存のアナログ信号発生器オプション(MS2830A-088)と、アナログ測定ソフトウェア(MX269018A)を使用することでアナログ業務用無線機の送信系(TX)、受信系(RX)試験を行うことが可能であった。さらに、今回開発したオーディオアナライザオプション(MS2830A-018)によって FM や AM、 ϕ M アナログ無線機の主要な測定を 1 台で実現することを可能とした。また MS2830A は、高性能スペアナを搭載しているため、業務用無線の狭帯域化により要求規格が厳しくなっている帯域外領域スプリアスや、隣接チャンネル漏洩電力、エミッションマスクなどを十分なマージンを確保した性能で測定することが可能である。これにより、既存のラジオコミュニケーションアナライザでは実現できなかった近傍スプリアスなどを含む、ほぼすべての狭帯域アナログ無線機の試験を MS2830A 1 台で行うことを実現した。

1 まえがき

1.1 市場と要求

陸上移動無線市場は従来のアナログ方式から P25 や NXDN, TETRA に代表されるデジタル方式に移行している。さらに、Federal Communications Commission(FCC)による規制で、帯域幅が 6.25 kHz に制限されるなど、周波数を有効活用するための狭帯域化が進められている。また、日本国内においては 2016 年までにタクシー無線、消防無線がデジタル化、2022 年までに 350 MHz/400 MHz 帯業務用無線が完全デジタル化されることが明らかになっている。このことから、デジタル方式と狭帯域測定に対応した測定器が求められている。一方、デジタル方式の中で変調方式に 4 値 FSK を使用しているシステムは既存のアナログ測定器で評価が行われており、それ以外のデジタル方式であっても RF 部の評価を行うためには依然として SINAD(Signal-to-noise and distortion ratio)計などのアナログ測定機能を搭載したラジオコミュニケーションアナライザが用いられている。

アンリツは、アナログ無線機テスタとしてラジオコミュニケーションアナライザ (MS555B/MT2605B) やモジュレーションアナライザ (MS616B) を提供していたがいずれも製造中止であり、さらに近年サポート終了が告知されたことから、後継機の開発が待ち望まれていた。一方、シグナルアナライザ MS2830A は既存のアナログ信号発生器オプション(MS2830A-088)とアナログ測定ソフトウェアを使用することでアナログ業務用無線機の RF に関する特性試験を行うことが可能であるが、オーディオ入出力を持たないことから外部にオーディオアナライザを用意する必要があった。そこでアンリツは、MS2830A に搭載され、1 台でアナログ業務用無線機の送受信試験を可能とするオーディオアナライザオプション(MS2830A-018)を開発した。

1.2 開発方針

本ユニットの開発方針は以下の 4 点である。

- (1) MX269018A アナログ測定ソフトウェアを購入済みの場合、MS2830A-018 オーディオアナライザオプションを追加することでオーディオアナライザを使用した送受信試験ができるようになること。
- (2) MS555B ラジオコミュニケーションアナライザで測定できる送受信機評価の項目が測定できること。
- (3) RF と AF の操作を一画面に納めることで、シームレスな操作を実現すること。
- (4) すでに MS2830A を所有するユーザに対し、後付けで対応可能な構成とすること。

1.3 全体ブロック

図 1 に機能の全体ブロックを示す。MS2830A に MX269018A アナログ測定ソフトウェアをインストールすることにより、アナログ信号発生器オプションと TX/RX 測定モードを使用できる。また、MS2830A-018 オーディオアナライザオプションを追加することで、オーディオジェネレータ機能、オーディオジェネレータウィンドウ機能、オーディオ解析機能が使用可能になる。

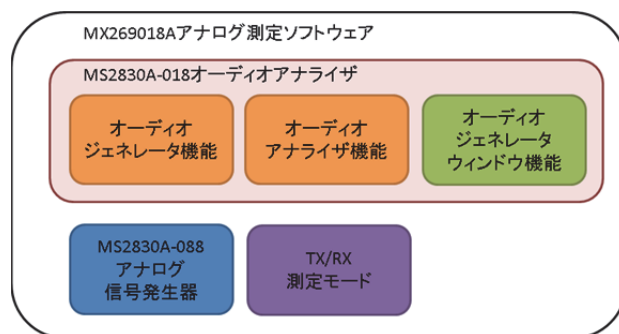


図 1 全体ブロック図

1.4 機能概要

図 2 に MS2830A-018 搭載時の測定概念図を示す。MS2830A-018 は、主にオーディオ信号出力機能とオーディオ信号解析機能、FM 復調機能をもつ。オーディオ信号出力機能は、Tone 信号、Digital Code Squelch(DCS)信号、擬似音声(白色雑音発生器 ITU-T 勧告 G.227 評価フィルタ搭載)、DTMF(Dual-Tone Multi-Frequency)信号を出力できる。オーディオ信号解析機能は、トーン信号除去のための HPF、LPF に加え、ワイヤレスマイクに必要な各種評価フィルタを搭載している。さらに、最大で FM 偏移 1 MHz まで測定可能とした(Wide Band FM 機能)。また、内蔵スピーカにより FM 復調した信号を音で確認できる。無線機の PTT(Push to Talk)制御も行えるようにすることで、無線機の送信、受信が制御可能である。

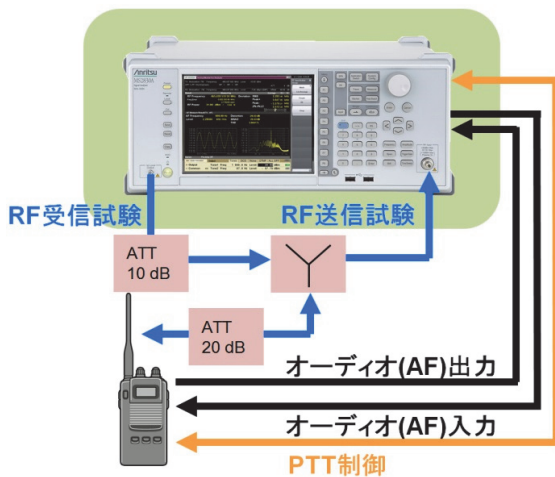


図 2 MS2830A-018 搭載時の測定概念図

図 3 に MS2830A-018 の外観図を示す。MS2830A-018 のインタフェースはすべて背面に配置されている。左からオーディオ入力(アンバランス、バランス)、ノイズソースドライブ(Opt.*17 搭載時のみ)、オーディオファンクションコネクタ、PTT 端子、オーディオ出力(アンバランス、バランス)、復調出力、ヘッドフォン出力となっている。また、MX269018A アナログ測定ソフトウェアをすでに購入済みの場合、MS2830A-018 を後付けすることでオーディオアナライザの機能を使用することができる。

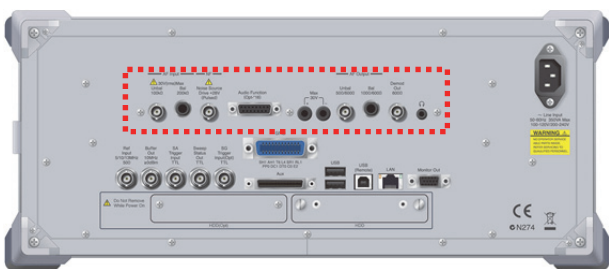


図 3 MS2830A-018 の外観図

2 設計の要点

2.1 オーディオジェネレータ部

図 4 に MS2830A-018 のオーディオジェネレータのブロック図を示す。オーディオジェネレータは FPGA、DAC、I/V Converter、リコンストラクションフィルタ、ステップアッテネータ、電流制限回路からの構成となる。ステップアッテネータ後段のリレーを切り替えることで、バランス、アンバランス出力のいずれかを提供する。信号経路に低ノイズ・オペアンプを採用したことで、ノイズを極力抑え、低歪性能を実現可能なブロックとした。FPGA は DAC 以降の周波数特性を補正する機能を実装し、10 Hz~30 kHz において±0.05 dB(実力値)、30 kHz~50 kHz において±0.25 dB(実力値)のレベルフラットネスを確保している。アンバランス出力のインピーダンスは、音響/映像機器用の 600 Ωと、放送機器用の 50 Ωとした。

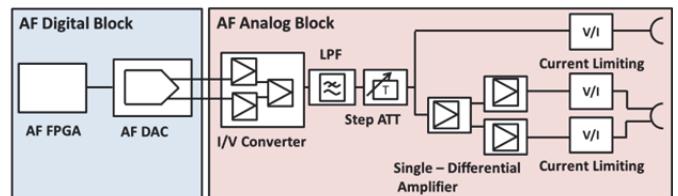


図 4 Audio Generator ブロック図

図 5 に FPGA 内の信号生成ブロックを示す。DCS Generator は、134.3 bps の速度で 23 bit の NRZ(Non Return to Zero)信号を繰り返し生成するブロックである。PN31 Generator は、白色雑音(PN31 擬似ランダムノイズ)を生成する。生成多項式は $X^{31} + X^{28} + 1$ とした。また DCS と PN31 は、FIR FILTER 処理を行うことが可能な構成とした。DTMF CONTROLLER は、DTMF の出力時間を設定する機能がある。

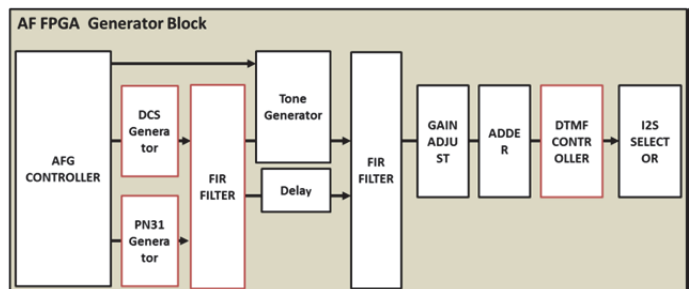


図 5 FPGA 信号生成ブロック図

2.2 オーディオアナライザ部

図 6 に MS2830A-018 のオーディオアナライザ部のブロック図を示す。オーディオアナライザは、アッテネータ、ゲインアンプ、アンチエイリアスフィルタ、Differential Amplifier、ADC、FPGA からの構成となる。バランス、アンバランス回路ともに、高耐電圧アッテ

ネータを使用することで、無線機からの高電圧入力(35 Vrms)に耐えうる構成としている。信号経路のアンチエイリアスフィルタは、解析帯域幅の折り返し雑音を極力抑える構成としている。オーディオジェネレータと同様に、信号経路に Low Noise Op Amp を採用し、低歪性能を実現した。

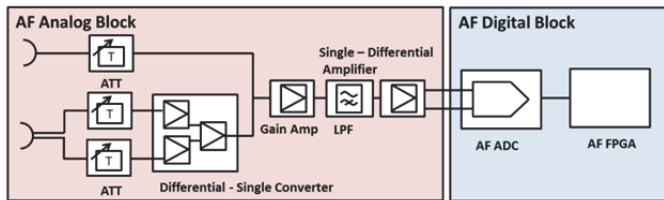


図 6 Audio Analyzer ブロック図

2.3 復調部

MS2830A-018 は、FPGA のデジタル処理で FM 復調の機能を実現している。本機能は、DUT からの FM 変調信号を FPGA で復調し、復調音声および復調音声信号としてモニタリングすることを目的としている。

図 7 に FM 復調機能のブロック図を示す。MS2830A の RF Input に入力した FM 変調信号は RF フロントエンドを介して、FPGA で間引き FIR フィルタ処理を行った後、CORDIC により位相情報を算出し、PM(位相情報)から FM(周波数情報)に変換する。Control Board 上の Core FPGA と FPGA 間の IQ データをリアルタイムで通信することで、復調信号を内蔵スピーカまたは Headphone 端子から音声としてヒアリング可能な構成としている。また復調信号は、外部機器でのモニタリング用として Demodulate Output 端子からも出力される。Demodulate Output 端子は、復調音声信号の周波数偏差が 3.5 kHz の場合、0.7 Vp-p の正弦波を出力する。

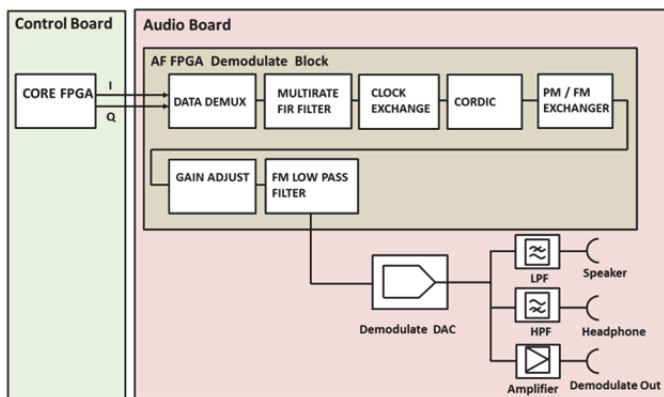


図 7 FM Demodulate ブロック図

3 機能

3.1 GUI の構成

MX269018A を MS2830A-018 に対応させるにあたり、快適に測定が実施できるよう GUI を再設計した。画面モードは大きく分けて送信試験の画面、受信試験の画面、およびスペクトラムアナライザ等のほかのアプリケーションと連携して動作する画面表示の 3 種類がある。送信試験および受信試験の画面では、上部に解析結果を、下部に信号源の設定値を表示することにより、設定値と解析結果の関係がわかりやすくなり一体型テスタの強みを生かした設計とした。また、スペクトラムアナライザ等のほかのアプリケーションと連携させることも可能とするために、MX269018A を縮小表示してオーディオジェネレータの設定値のみを表示するモードを用意した。

3.2 オーディオジェネレータ機能

アナログ無線機の送信試験をする際、DUT の RF 出力信号を見ながらオーディオジェネレータを調整する必要がある。そのため、MX269018A 従来の送信試験画面の下側にオーディオジェネレータの GUI を新規に追加した。

図 8 にアナログ無線機の送信試験の画面を示す。上段に無線機の送信測定の設定値(送信周波数やフィルタ等)を表示した。また、中段には測定結果として、RF 送信出力電力、RF 送信周波数、周波数偏差とソフトウェアにより復調した音声波形の周波数対レベル、時間軸グラフ表示、周波数軸グラフ表示、各種歪み率を表示している。

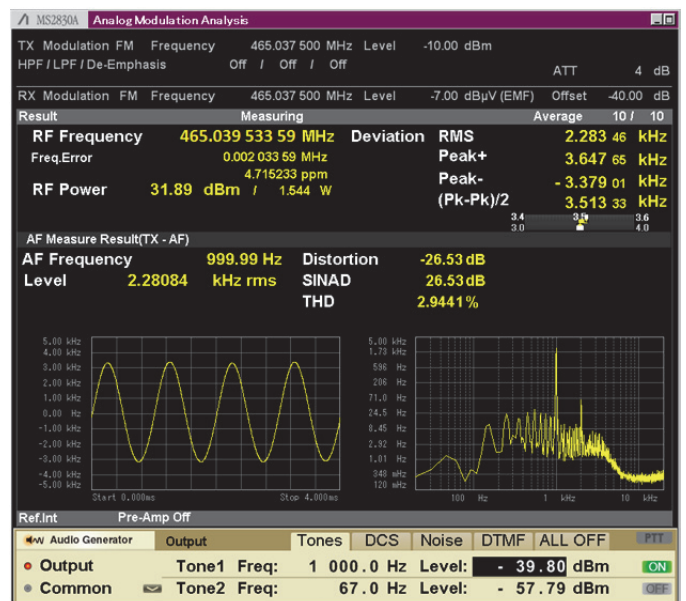


図 8 送信試験画面

無線機のマイク入力感度を測定する際は、画面上部の周波数偏移の測定値を見ながら周波数偏移が標準周波数偏移になるようにオーディオジェネレータの出力を調整する。オーディオジェネレータの各パラメータ調整には、テンキー・矢印キー・ノブを割り当て、微調整時においても快適な操作を実現している。これにより複雑なメニュー階層による設定や画面の切り替えをすることなく、オーディオジェネレータの GUI で操作が完結するため、直観的で高速かつストレスフリーな操作が可能となった。また、オーディオジェネレータにはモードという概念を採用し、各種測定に最適化した4つのモード(Tones モード、DCS モード、DTMF モード、Noise モード)を用意した。Tones モードは同時に3トーンまで出力でき、複数波入力時の応答を見る場合に用いる。DCS モードは、2トーン+DCS 信号を出力でき、開発段階の無線機のデバッグ等に有用である。DTMF モードでは、12 種類の DTMF 信号を指定した長さで出力可能であり、電話と同様のテンキー操作を可能としている。Noise モードでは、トーン信号または擬似音声信号を切り替えて出力することが可能である。通常、擬似音声が必要となる占有周波数帯域などの測定では、まずトーン信号により最適入力レベルを見つけた後、そのレベル設定より 10 dB 大きな擬似音声信号を出力した状態で測定する¹⁾。そのため、Noise モードではトーン信号と擬似音声信号の切り替え、10 dB オフセットが簡単に設定できるような GUI とすることにより、快適な操作性を実現した。擬似音声信号は、デジタルフィルタで再現した G.227 フィルタで白色雑音をフィルタ処理している。これにより、TELECOM(テレコムエンジニアリングセンター)の技術適合試験の評価が1台で可能となる。また、オーディオジェネレータ機能を MG3740A のような外部変調機能付きの RF 信号発生器の変調信号源として用いることで、DCS 信号や DTMF 信号などアナログ無線評価に必要な特殊な信号を RF 信号発生器から出力させることも可能となる。

図 9 にオーディオジェネレータの概念ブロック図を示す。オーディオジェネレータの信号源とアナログ信号発生器の内部変調信号源は互いに独立しておりそれぞれ別の設定を保持することができる。

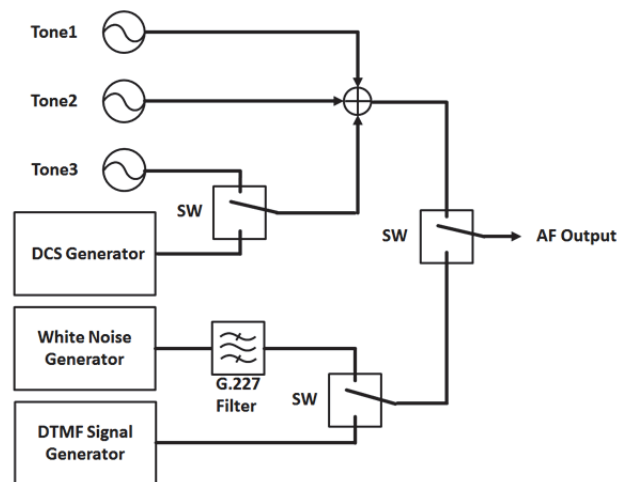


図 9 オーディオジェネレータの概念ブロック図

3.3 オーディオジェネレータウィンドウ機能

オーディオジェネレータとスペクトラムアナライザを用いた無線機測定項目として、スプリアス測定や占有周波数帯域測定があげられる²⁾。スプリアス測定や占有周波数帯域測定は、無線機を変調させている状態で測定する必要があり、変調の信号源としてオーディオジェネレータが必要となる。このため、ほかの解析ソフトウェアでもオーディオジェネレータを使用できるようにする機能を MX269018A に用意した。

図 10 は、オーディオジェネレータを用いた占有周波数帯域の測定画面の例である。図のように標準のスペクトラムアナライザ機能を表示しながら、画面下部(または上部)にオーディオジェネレータを操作する GUI を配置することができ、スペクトラムアナライザやほかの解析ソフトウェアによる測定結果を見ながらオーディオジェネレータの設定・調整を可能としている。

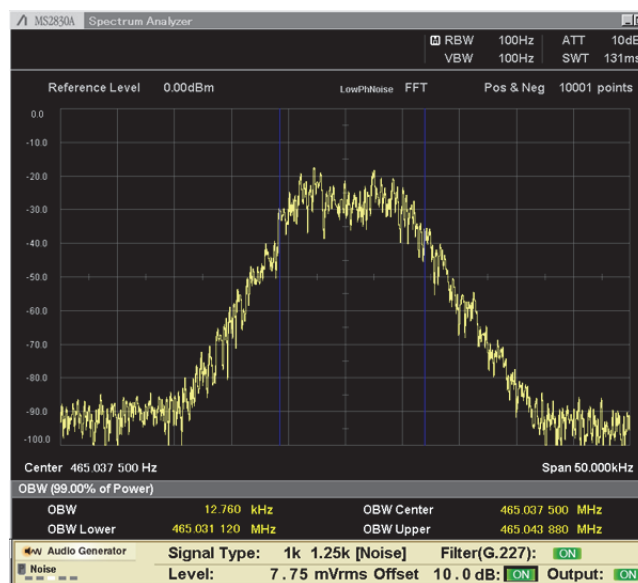


図 10 占有周波数帯域測定画面

3.4 オーディオアナライザ機能

図 11 に受信試験の画面を示す。画面上段、中段にはオーディオアナライザの設定および測定結果、画面下部にはアナログ信号発生器(画面では RF Signal Generator)の設定画面が表示されている。測定結果として復調音声の周波数対レベル、時間軸グラフ表示、周波数軸グラフ表示、各種歪み率を表示している。

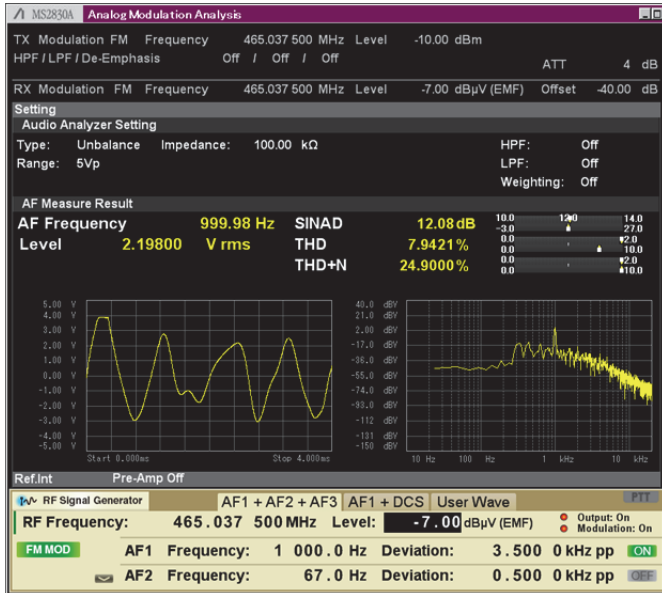


図 11 受信試験画面

画面下段にはアナログ信号発生器の GUI を配置し、上部のオーディオアナライザの測定結果を見ながらアナログ信号発生器の設定を変更できるようにしている。従来の MX269018A の GUI では、アナログ信号発生器の 1 つのパラメータを変更する場合、複雑なファンクションキーでパラメータを探した後に、テンキーで値を入力する必要があった。そこで、MS2830A-018 の開発と同時にアナログ信号発生器の各パラメータ調整にもオーディオジェネレータ機能と同様にテンキー・矢印キー・ノブを割り当てられることにより快適な操作を実現した。また、アナログ信号発生器にもモードという概念を追加し、トーンスケルチ/DCS の切り替えをワンボタンで行えるようにした。これによりスケルチ試験の高速化を実現している。

3.5 グラフ表示機能

図 12 は、受信試験の測定結果のグラフを再掲したもので、左側が時間軸グラフ、右側が周波数軸グラフである。時間軸グラフは 1 ms~200 ms の区間を表示することができ、時間による電圧応答の観測を可能とした。縦軸は波形の振幅値であり、固定レンジ・オートレンジの切り替えが可能である。従来のアナログ無線機テストを用いた試験では別途オシロスコープを用意する必要があったが、本グラフ機能はそれを内蔵した形となっている。周波数軸グラフは 0 Hz

~50 kHz の区間の周波数分布を表示することができ、時間軸のグラフだけではわかりにくい歪や周波数応答の観測を可能とした。また、横軸は線形および対数軸切り替え機能がある。縦軸は複数の窓関数を用意しており用途によりユーザーが切り替えて表示することを可能にしている。窓関数は矩形窓、ハン窓、ハミング窓、ブラックマン・ハリス窓を選択することができる。

また、それぞれのグラフはマーカによる読み取りも対応している。それぞれのグラフはデルタマーカに対応しており、2 つのマーカの差分を表示することができる。時間軸グラフのマーカはピークサーチ・ネクストピークサーチに対応しており、ピーク成分・歪み成分の差分を簡単に求めることができる。

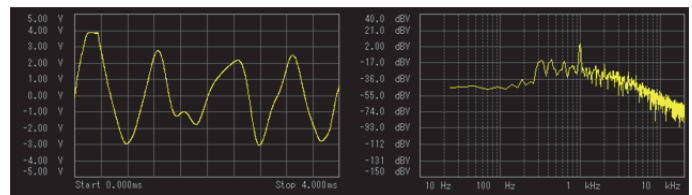


図 12 グラフ結果表示(左:時間軸グラフ, 右:周波数軸グラフ)

3.6 メータ表示機能

周波数偏移や各種歪み率の結果表示については、数値結果に加えて図 13 のようなメータ表示に対応している。アナログ無線測定では測定値のばらつきが大きく、従来のアナログ無線機テストでは数値結果のほかにアナログ針による指示器を搭載し視覚的な判断が行えた。これにより、測定する人間が針の動きを見ることで値の平均値を感覚的につかむことが可能となっていた。今回、アナログ針の代替手段となる Meter 機能を設け 12 dB SINAD 法のような測定値のばらつきが大きな測定でも感覚的に把握できるようにした。本メータは従来のアナログ針の指示器の代替としてだけでなく、後述する機能も備えている。



図 13 メータ表示

図 13 のように、メータを 2 つ用意し違うレンジ幅を設定できるようにした。たとえば、図のように上部を 8 dB 幅、下部を 24 dB 幅とすることで下部で粗調整をしてから上部で微調整をすることができ、より感覚的に調整しやすいようになっている。

さらに、直近 X 回の測定結果の変動値を視覚的に表示することができる Deflection 機能を用意した。これは、ユーザーが任意に指定した直近 X 回の最大値、最小値間を図 13 のように黄色のラインで表示する機能である。Deflection 機能により、不安定な測定結果が一定時間内にどの範囲で動いたかを視覚的に確認することが

でき、ばらつきの範囲や中心値を感覚的に視認することができる。さらに、判定機能も備えており、指定した範囲に変動が収まっているかどうかを判定することもできる。判定機能を有効にした場合、メータ上に閾値を示すラインが表示され、閾値に収まっていれば黄色のラインが緑色の表示となり、はみ出している場合は赤色に変わる。これにより、ばらつきのある測定値の判定を簡易に実現できるようにした。

3.7 フィルタ

評価フィルタとして各種ローパスフィルタ、ハイパスフィルタ、バンドパスフィルタ、および De-Emphasis (TX 測定モードのみ)を備えている。バンドパスフィルタには、新たに A-weighting を追加することにより、ワイヤレスマイクの評価にも対応できるようにしている。送信試験では復調後の音声信号に、受信試験では入力信号に対してフィルタリング処理が可能であり、各種測定結果はフィルタリング後に計算される。また、測定後にフィルタ設定を変更することができ、フィルタによる測定結果を容易に比較できるようにした。

3.8 主要規格

表 1 に MS2830A-018 の主要規格を示す。

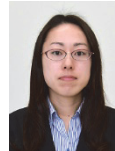
4 むすび

陸上移動無線市場においてデジタル化が進む中でも RF 部の評価にアナログ測定器が利用され続けている。そこで、MS2830A に搭載され 1 台でアナログ業務用無線機の送受信試験が可能となるオーディオアナライザオプション (MS2830A-018) の開発を行った。MS2830A にオーディオアナライザが搭載されたことで、業務用無線機の送受信測定とスプリアス測定が 1 台で可能となった。今後も、拡大し続ける陸上移動無線市場に対し、必要なソリューションを提供することで進化と発展に貢献していく。

参考文献

- 1) 中川永伸, 保田和之, 無線機器測定法の実際, 第 4 章, 財団法人電気通信振興会, 東京, 2011
- 2) TELECOM-T208, F3E 等 (第 2 条第 1 項第 1 号の 11) 特性試験方法, p.11 ~ p.20, 財団法人テレコムエンジニアリングセンター, 東京, 第 3.4 版

執筆者



稲童丸桃子
計測事業グループ
R&D 統轄本部
商品開発本部
第 3 商品開発部



吉富圭一
計測事業グループ
R&D 統轄本部
商品開発本部
第 3 商品開発部



西尾圭介
計測事業グループ
R&D 統轄本部
商品開発本部
第 3 商品開発部

表1 MS2830A-018 オーディオアナライザオプション主要規格

オーディオジェネレータ機能	すべての規格値は、シングルトーン測定において規定
接続タイプ(コネクタ)	バランス:標準フォーンジャック(3極, φ6.3 mm) アンバランス:BNC-J
出力インピーダンス	バランス:100 Ω/600 Ω(AC 結合)(Nominal) アンバランス:50 Ω/600 Ω(AC 結合)(Nominal)
出力波形	シングルトーン マルチトーン(AFトーン×3, DCS, DTMF) 白色雑音発生器(ITU-T 勧告 G.227 評価フィルタ搭載)
周波数設定範囲	10 Hz~50 kHz
周波数分解能	0.01 Hz
出力レベル範囲	バランス:0(off), 1 mV~7 Vrms(100 kΩ終端) アンバランス:0(off), 1 mV~3.5 Vrms(100 kΩ終端)
レベル分解能	1 mV(350 mVrms<出力レベル≤3.5 Vrms) 100 μV(35 mVrms<出力レベル≤350 mVrms) 10 μV(出力レベル≤35 mVrms)
レベル確度	±0.3 dB(1 kHz, 0.7 Vrms, 20 Hz~25 kHz 帯域, 100 kΩ終端, 18~28℃にて)
最大出力電流	100 mA(Nominal)(ただし, 短絡なきこと)
THD+N	<-6 dB <-80 dB(Nominal) (1 kHz, 0.7 Vrms, 20 Hz~25 kHz 帯域, 100 kΩ終端, 18~28℃にて)
オーディオアナライザ機能	すべての規格値は、シングルトーン測定において規定
接続タイプ(コネクタ)	バランス:標準フォーンジャック(3極, φ6.3 mm) アンバランス:BNC-J
入力インピーダンス	バランス:200 kΩ(AC 結合)(Nominal) アンバランス:100 kΩ(AC 結合)(Nominal)
周波数範囲	20 Hz~50 kHz
入力レベル測定範囲	1 mVrms~25 Vrms(30 Vrms MAX)
入力レンジ設定	50 mV peak, 500 mV peak, 5 V peak, 50 V peak
レベル確度	±0.4 dB(20 Hz≤f≤25 kHz)(18~28℃にて) ±3.0 dB(25 kHz≤f≤50 kHz)
THD+N	<-60 dB <-80 dB(Nominal) (1kHz, 1.4 Vrms, 20 Hz to 20 kHz 帯域, 5 Vp レンジ, 18~28℃にて)
LPF	Off, 3, 15, 20, 30, 50 kHz
HPF	Off, 20, 50, 100, 300, 400 Hz, 30 kHz
評価フィルタ	Off, CCITT, C-Message, CCIR486, CCIR-ARM, A-Weighting

公知