

低位相雑音シンセサイザを搭載したシグナルアナライザ MS2840A の開発

大谷 暢 Toru Otani, 富崎巧一郎 Koichiro Tomisaki, 宮内直人 Naoto Miyauchi, 倉光康太 Kota Kuramitsu,
近藤佑樹 Yuki Kondo, 木村淳一 Junichi Kimura, 大山 仁 Hitoshi Oyama

〔要 旨〕

マイクロ波帯の無線バックホールや VHF/UHF 帯の公共・業務用無線機などの評価では、ほかの通信チャネルへの干渉を防ぐため、近傍スプリアスや隣接チャネル漏洩電力等が必須の測定項目となっている。これらの測定には、高い位相雑音性能が求められ、ハイエンドモデルのスペクトラムアナライザが必要とされてきた。MS2840A は、ミドルレンジのスペクトラムアナライザでありながら、ハイエンドモデルに匹敵する近傍位相雑音性能を実現し、さらに測定機能を拡充することで、狭帯域通信装置の評価を可能とした。キャリア近傍の SSB 位相雑音性能は、ハイエンドモデルに匹敵する値(測定周波数 1 GHz, オフセット周波数 10 kHz にて-123 dBc/Hz)を実現し、低位相雑音オプション(MS2840A-066)を搭載することで最高機種を凌駕する性能(測定周波数 500 MHz, オフセット周波数 10 kHz にて-133 dBc/Hz)を実現した。

1 まえがき

近年スペクトラムアナライザは、需要が拡大している LTE(Long Term Evolution)や無線 LAN(Local Area Network)など広帯域の信号の測定にフォーカスしたモデルが主流となっている。一方でマイクロ波帯の無線バックホールや VHF/UHF(Very High Frequency/Ultra High Frequency)帯業務用無線機、さまざまな無線機に搭載される発振器の開発・製造では、測定に使用するスペクトラムアナライザに対して、近傍の SSB 位相雑音性能やスプリアス特性が重視されており、市場に多く存在するミドルレンジのスペクトラムアナライザは、性能面においてこれらの用途には適していなかった。

今回開発した MS2840A は、低位相雑音性能を持った LO(Local Oscillator)シンセサイザを新規に開発し、SSB(Single Side Band)位相雑音性能を大幅に向上させた。これにより、これまで高価な位相雑音専用測定器やハイエンドモデルのスペクトラムアナライザでしか実現できなかった狭帯域通信装置の SSB 位相雑音性能評価や、近傍スプリアス性能評価を、ミドルレンジ・スペクトラムアナライザの価格帯で実現した。

加えて、MS2840A はシグナルアナライザ機能を標準で搭載しており、瞬時スペクトラム観測、周波数変化 vs. 時間、位相変化 vs. 時間、スペクトログラム表示など多彩な測定ができる。さらにオプションとして位相雑音測定機能(MS2840A-010)、ベクトル変調解析ソフトウェア(MX269017A)、アナログ測定ソフトウェア(MX269018A)、雑音指数測定機能(MS2840A-017)等が追加可能であり、これにより狭帯域通信で必要となる送信試験を 1 台で実現可能とした。

2 開発方針

本開発では、マイクロ波帯の無線バックホールや VHF/UHF 帯業務用無線機等の狭帯域通信装置の評価で求められる機能・性能を達成するため、以下の方針を立てた。

- (1) 狭帯域通信装置の測定要求に対応するため、中心周波数 1 GHz にて-123 dBc/Hz@10 kHz Offset の低位相雑音性能を持ち、かつミドルレンジモデルの価格帯に搭載可能な LO シンセサイザを新規に開発する。
- (2) 既存機種と比べて最大 8 倍の測定速度向上を図り、製造工程等のタクトタイムを短縮する。
- (3) 入力アッテネータの分解能の改善、プリアンプの NF(Noise Figure)の低減(プリアンプ時の表示平均雑音レベルの改善)、上限周波数の拡張を図り、マイクロ波帯無線バックホール等の測定で求められる使用環境を提供する。

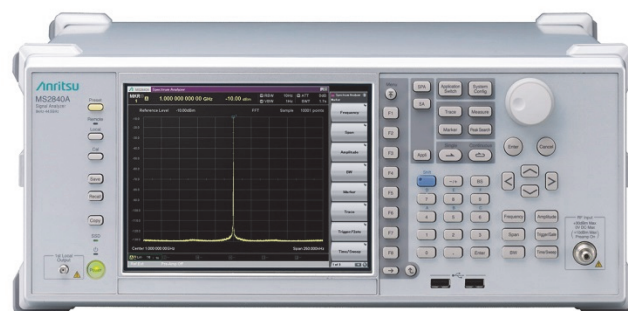


図 1 MS2840A の正面図

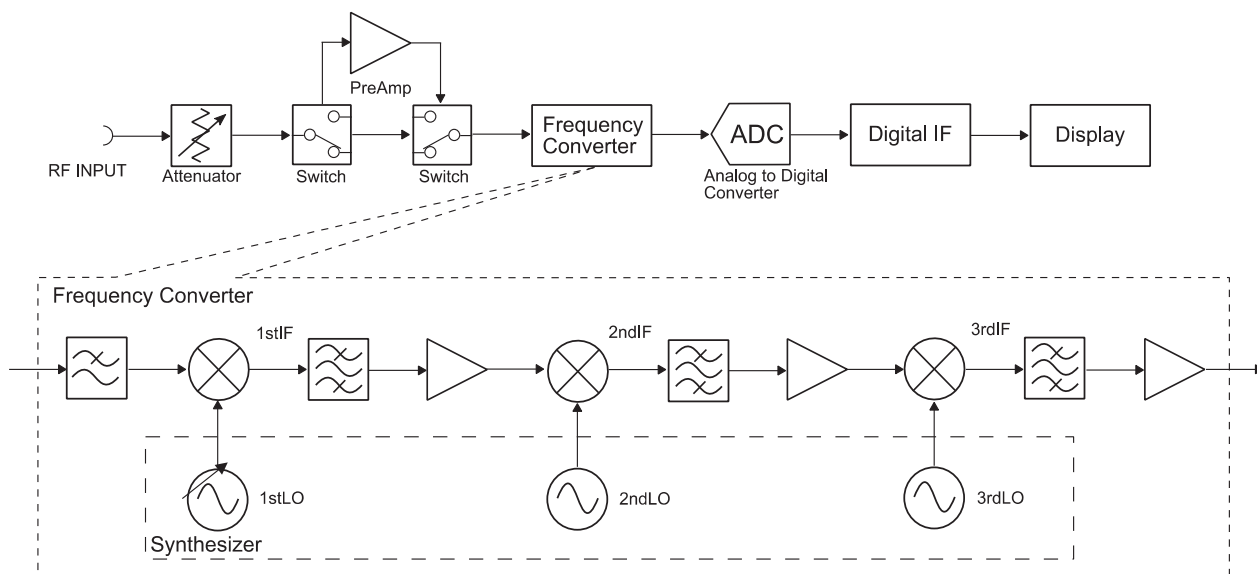


図 2 MS2840A 回路構成

3 設計の要点

3.1 MS2840A の基本構成

MS2840A の基本構成を図 2 に示す。MS2840A はスーパーヘテロダイン方式の LO 掃引型スペクトラムアナライザである。入力された RF(Radio Frequency)信号は入力アッテネータにより最適入力レベルに調整され、複数のミキサによって IF(Intermediate Frequency)信号に周波数変換され、ADC(Analog to Digital Converter)に入力される。ADCによってアナログ-デジタル変換された信号は、デジタル信号処理が施されて、画面に表示される。

またミキサに LO 信号を供給する LO シンセサイザ部(1stLO)には、一般的に低コストなシングルループ方式と位相雑音性能に優れるマルチループ方式があり、MS2840A ではマルチループを採用している。図 3 に(a)シングルループ方式と(b)マルチループ方式の比較を示す。

スペクトラムアナライザの IF 周波数と LO 周波数と RF 周波数には $IF = |LO - RF|$ の関係があり、一定の IF 周波数を得るためには、LO 信号は RF 信号の周波数範囲と同じ周波数可変範囲が必要となる。このため、通常、スペクトラムアナライザの LO 信号にはオクターブの周波数可変範囲が求められる。

図 3(a)のシングルループ方式の位相雑音 PN_TOTAL_S は次式で表される。

$$PN_TOTAL_S \approx (PN_REF + PN_PD) \times N$$

ここで PN_REF : 参照信号(Reference Signal)の位相雑音, PN_PD : 位相比較器(Phase Detector)の位相雑音, N : 分周比

この式からもわかるとおり、システム全体での位相雑音は、参照信号と位相比較器の位相雑音の和を N 倍したものとなる。従って、シングルループ方式では、分周比 N を変えるだけで広い周波数範囲が実現可能であるが、周波数が高くなると分周比 N が大きくなり位相雑音が増大する。

一方、図 3(b)のマルチループ方式の位相雑音 PN_TOTAL_M は次式で表される。

$$PN_TOTAL_M \approx (PN_REF + PN_PD) + PN_MIX$$

ここで PN_REF : 参照信号(Reference Signal)の位相雑音, PN_PD : 位相比較器(Phase Detector)の位相雑音, PN_MIX : ミキサ LO の位相雑音

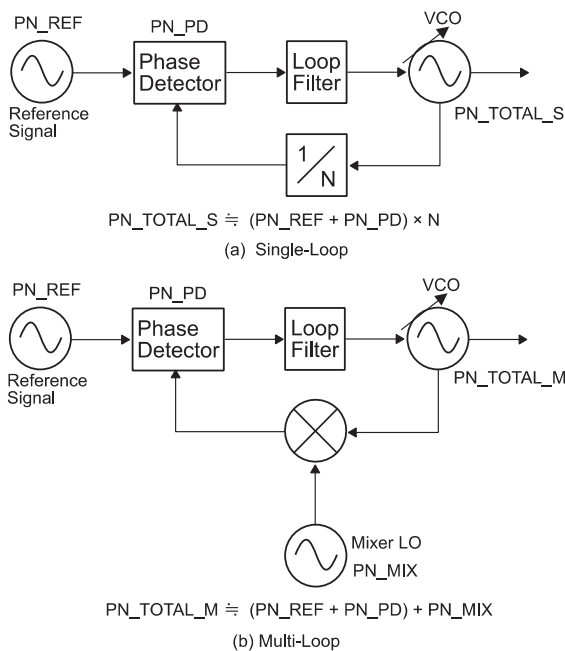


図 3 シンセサイザの方式比較

この式からもわかるとおり、この方式のシステム全体の位相雑音は、参照信号と位相比較器とミキサ LO の位相雑音の和となり、シングルループ方式のように位相雑音が N 倍されることがなく、低位相雑音が実現可能である。しかし広い周波数範囲をカバーできるミキサ LO を生成する必要があり、コストが高くなってしまふ。

本開発では優れた位相雑音性能と低コスト性を両立させた、マルチループ方式の LO シンセサイザを新たに開発することにした。

3.2 低位相雑音性能 LO シンセサイザ

前述したとおり、低位相雑音シンセサイザが搭載されているスペクトラムアナライザは、コストの面からハイエンドモデルに限られていた。本開発では低位相雑音性能と低コストを両立する新しいマルチループ方式のシンセサイザを考案し、ミドルレンジモデルへの搭載を可能とした。加えて、このシンセサイザでは低スプリアスかつ、MS2830A と同等の高速掃引 4000 GHz/sec を、以下の要素技術で実現した。

【低位相雑音】

新マルチループ方式採用による低コスト・低位相雑音性能の両立

【高速掃引】

マルチループ方式への VCO(Voltage Controlled Oscillator) の採用による高速掃引の実現

【低スプリアス】

低スプリアス DDS(Direct Digital Synthesizer)機能の実現とスプリアス回避アルゴリズムの導入によるスプリアスの低減

3.2.1 新マルチループ方式採用による低コスト・低位相雑音性能の両立

一般的に、低位相雑音シンセサイザでは複数の PLL 回路で構成されるマルチループ方式が用いられる。この方式の PLL 回路では、発振器のフィードバック信号をダウンコンバートして位相比較を行うことで、発振器と位相比較器の位相偏移が同じになるため、位相比較器の位相雑音に近い低位相雑音の信号を出力できる。

従来のマルチループ方式の回路ブロックの例を図 4 に記す。

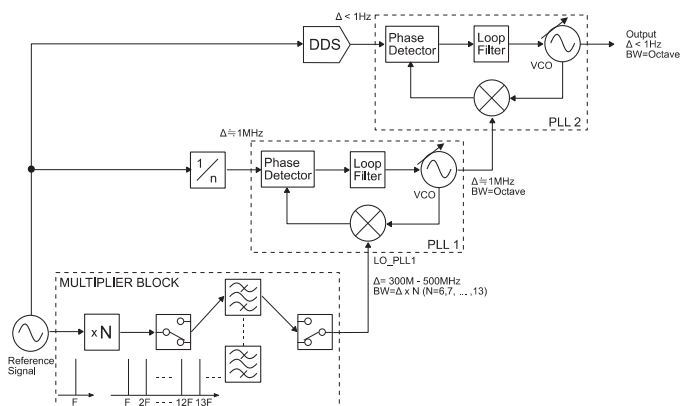


図 4 従来のマルチループ方式の略図一例

従来のマルチループ方式が高コストになる原因は、シンセサイザの出力すなわち図 4 の PLL_2 が出力する周波数帯域幅と同等の周波数帯域幅が図 4 の PLL_1 のミキサの LO 信号(図 4 の LO_PLL1)と PLL_1 出力信号で必要になることだった。

たとえば従来は、PLL_1 のミキサの LO 信号として 6~13 次の高調波を低位相雑音で出力できる周波数通倍回路(図 4 の MULTIPLIER_BLOCK)や、PLL_1 の発振器としてオクターブの周波数可変幅を持った発振器が必要であった。

先述した従来のマルチループ方式の周波数設定を数式化すると以下になる。

$$f_{\text{SUM}} = [(f_{\text{ref}} \times N) + f_{\text{tune_coarse}}] + f_{\text{tune_fine}}$$

$$(N=6,7,\dots,13)$$

f_{SUM} : シンセサイザの出力周波数

f_{ref} : 基準信号源の周波数

N: 基準信号源の通倍次数

$f_{\text{tune_coarse}}$: 粗調周波数

$f_{\text{tune_fine}}$: 微調周波数

$\{(f_{\text{ref}} \times N) + f_{\text{tune_coarse}}\}$ は PLL_1 の出力、 f_{SUM} は PLL_2 の出力を表しており、本式からもわかるとおり、 f_{SUM} と同じ周波数可変帯域が $(f_{\text{ref}} \times N)$ と PLL1 の出力周波数帯域幅に必要となること、従来のマルチループ方式が高コストになる原因のひとつであった。

新しいマルチループ方式では PLL_2 以外を狭帯域化することによって低コスト化を実現した。MS2840A の LO シンセサイザの概略ブロック図を図 5 に示す。

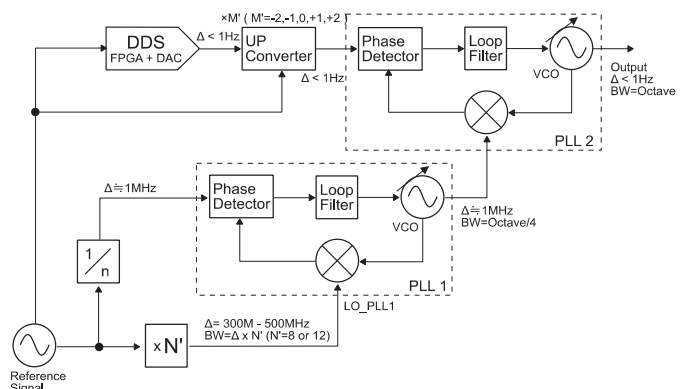


図 5 新しいマルチループ方式の略図

新しいマルチループ方式の周波数設定を数式化すると以下になる。

$$f_{\text{SUM}} = [(f_{\text{ref}} \times N') + f_{\text{tune_coarse}}] + \{(f_{\text{ref}} \times M') + f_{\text{tune_fine}}\}$$

$$(N'=8 \text{ or } 12, M'=-2,-1,0,1,2)$$

N', M' : それぞれの通倍回路での通倍次数

従来の方式では f_{ref} を $N=6,7,\dots,13$ 倍するのにに対し、新しい方式では $N'=8$ or 12 倍と $M'=-2,-1,0,1,2$ 倍に分け、 M' 倍の成分を最終段 PLL で加算した。これにより、 $(f_{\text{ref}} \times N)$ の回路は複数の通倍次数を持つ高コストな通倍回路から、2 つの経路切り換えを持つ通倍回路に置き換えた。さらに $\{(f_{\text{ref}} \times N') + f_{\text{tune_coarse}}\}$ は PLL_1 の出力であり、従来の方式ではシンセサイザの出力周波数である f_{SUM} と同じ周波数可変帯域が必要だったのに対し、新しい方式では従来の 4 分の 1 の帯域に削減し、低コストと省スペース化を実現した。 $\{(f_{\text{ref}} \times M') + f_{\text{tune_fine}}\}$ は Fine Adjust 信号を $(f_{\text{ref}} \times M')$ でアップコンバートする回路であるが、低い周波数の回路であるため、低コストで実現可能である。

この新しいマルチループ方式シンセサイザの低コスト化により、ミドルレンジモデルのスペクトラムアナライザでの低位相雑音化を実現した。MS2840A の位相雑音測定例を図 6 に示す。

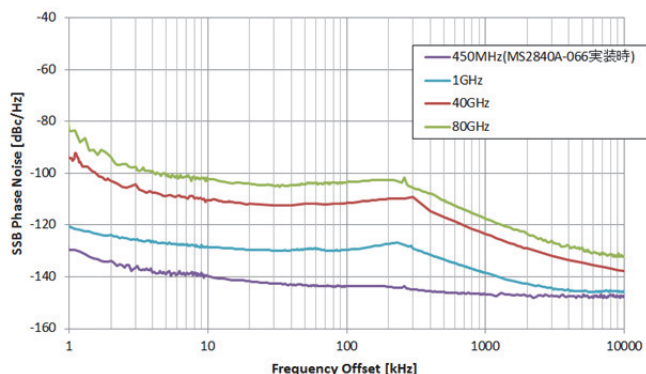


図 6 MS2840A の位相雑音測定例

図 6 が示すとおり、中心周波数 1 GHz、10 kHz Offset にて -128 dBc/Hz (測定値) を達成し、今後モバイルバックホールや車載レーダー等、普及が見込まれる 80 GHz 帯においても、高性能導波管ミキサ (MA2608A) との組み合わせの測定にて、 -102 dBc/Hz @ 10 kHz Offset (測定値) を達成した。

3.2.2 マルチループ方式への VCO の採用による高速掃引の実現

スペクトラムアナライザの LO シンセサイザにはオクターブの周波数可変幅が必要である。よって、シンセサイザの発振器には広帯域な発振器として、VCO と YTO (YIG Tuned Oscillator) の何れかが用いられてきた。発振器に関する性能を比較すると以下となる。

表 1 VCO と YTO の比較

発振器に関する性能項目	VCO	YTO
掃引速度	◎	×
コスト性	◎	×
周波数リニアリティ	×	◎
発振器の位相雑音	×	○

MS2840A では、低位相雑音と高速測定と低価格を並立させるために、掃引速度とコスト性に優れた VCO を採用することにした。これにより、MS2830A で実現した掃引速度 4000 GHz/sec を維持した。しかし、マルチループ方式への VCO の導入には、VCO の感度の高さと、電圧・周波数 (F-V) 特性 (周波数リニアリティ) の非線形性により、周波数切り替え時の要求精度を満たすのが困難であり、今まで実施していない。たとえば、これらの特性により VCO が、設定した周波数と異なる周波数になった場合、図 5 中の PLL_2 のミキサによって PLL の極性の反転が起こり、周波数切り替え時に VCO の発振周波数と制御電圧の極性が反転することで周波数ロックに失敗するという問題が起こるためである。たとえば図 3(b)において VCO 出力を 3050 MHz、PLL_2 のミキサの LO 信号を 3000 MHz、PLL の位相比較周波数を 50 MHz で周波数ロックさせる場合、周波数切り替え時に VCO 出力が 2950 MHz より低くなると、PLL_2 の極性が反転した状態となり、VCO の発振周波数と制御電圧の極性が反転し周波数ロックができなくなる。

従来のマルチループ方式では周波数リニアリティが良く、PLL による周波数可変幅が狭い YTO を使用してきたため、この問題が顕著に表れなかった。しかし VCO に置き換える場合には、周波数リニアリティが悪く、PLL による周波数可変幅が広いいため、マルチループ方式の周波数ロックには極めて精密な周波数切り替え制御が必要となってしまう。

本開発ではマルチループ方式における周波数切り替え制御の要求精度を緩和するために、新たな周波数ロック安定化アルゴリズムを採用し、さらに VCO の周波数リニアリティを個々の VCO で取得することにより、マルチループ方式における VCO の使用を可能にした。上記周波数ロックが外れる場合の説明からもわかるとおり、位相比較周波数が高いほど、周波数切り替え時の周波数切り替え誤差の許容範囲は広くなる。マルチループ方式における位相比較周波数が高い設定条件では VCO でも容易に周波数ロックができる。そのため、位相比較周波数が低い設定条件では先述の PLL_2 の極性反転を回避するために、まず位相比較周波数が高い設定で正しい極性に周波数ロックさせてから位相比較周波数が低い設定に切り替えるという 2 段階の周波数ロックシーケンスとし、周波数切り替えの制御を行っている。以上のマルチループ方式での 2 段階のロックシーケンスの導入による周波数切り替え制御の要求精度の緩和と VCO の周波数リニアリティを各個体ごとに取得することにより、マルチループ方式への VCO の導入を実現した。

3.2.3 スプリアスの低減

本開発では周波数微調ブロックを低スプリアスな DDS で構成し、さらにスプリアス回避アルゴリズムの導入によって低スプリアス性能を低コストで実現した。

(1) 低コスト・低スプリアスな DDS の構成

スペクトラムアナライザの設定周波数分解能は 1 Hz であり, LO シンセサイザには 1 Hz よりも十分小さい周波数分解能が求められる。その実現方法として MS2840A では, コスト性と省スペースの観点から DDS を選択したが, 市販品ではスプリアス性能において要求を満足しなかった。そのためハードウェア制御をつかさどる FPGA(Field Programmable Gate Array)内に NCO(Numerical Controlled Oscillator)を実装し, DAC(Digital to Analog Converter)と組み合わせることによって DDS 相当の機能を持つ, 周波数微調ブロックを構成して, 低スプリアスと低コストを実現した。量子化誤差に起因するスプリアスを 16 bit の DAC を採用することで低減し, かつ位相の不連続性に起因するスプリアスをインターポレーションを用いて低減した。

(2) スプリアス回避アルゴリズムの導入

シンセサイザに起因するスプリアスには上記の DDS で発生するスプリアスに加えて, 新しいマルチループ方式特有のスプリアスがある。これは新しいマルチループ方式での位相比較周波数を高くする設定に起因するスプリアスであり, スプリアスが発生する周波数を算出可能である。これらの 2 つのスプリアス発生条件のスプリアスレベルが最小となるようにシンセサイザの内部周波数設定を最適化するアルゴリズムを導入することで, DDS のスプリアスを低減し, かつ新しいマルチループ方式特有のスプリアスを原理的に回避した。

3.3 ソフトウェア処理の高速化

MS2840A は 3.2.1 項と 3.2.2 項のとおり, 低位相雑音と高速掃引の両立を達成した。さらに, 信号解析処理や画面描画処理などの測定的高速化を実現するために, 高性能マルチコア CPU を採用し, 最適化処理が適用されるように組み込みを行った。その結果, 表 2 のように同一設定において既存製品である MS2830A シグナルアナライザと比べて測定時間を大幅に短縮することができた。

表 2 シングルコア CPU 採用の既存機種 MS2830A との比較

	測定項目	速度比
スペクトラムアナライザ機能	Sweep (Display Off)	393%
	Sweep (Display On)	450%
シグナルアナライザ機能	Spectrum (Display Off)	168%
	Spectrum (Display On)	291%
	Spectrogram (Display Off)	593%
	Spectrogram (Display On)	815%

3.4 その他の機能拡張

MS2840A では既存製品である MS269xA/MS2830A スペクトラムアナライザ・シグナルアナライザの機能以外にも, 以下の機能拡張を行った。

3.4.1 位相雑音測定機能の改善

MS2840A は位相雑音測定機能(MS2840A-010)を使用することで, 位相雑音性能を容易に評価可能である。位相雑音測定機能では近傍測定に適した「Best Close-in」と遠方測定に適した「Best Wide-offset」, さらにその間の特性を持つ「Balance」の 3 つのループフィルタを選択可能にした。加えて, 複数のループフィルタを組み合わせ, 位相雑音の測定結果を最適化し画面表示する, 「Auto」設定を追加した。この機能の追加によりユーザがループフィルタの設定を気にすることなく, 最適な設定での測定結果が得られるようになった。図 7 に位相雑音測定機能での Auto 設定時の測定結果の例を示す。



図 7 位相雑音機能(MS2840A-010)

3.4.2 入力ステップアッテネータの分解能改善

MS2840A が有するミリ波帯の低表示平均雑音レベル性能を最大限に活かすために、オプションとして 2 dB ステップアッテネータミリ波用(MS2840A-019)を開発し、上限周波数の 44.5 GHz まで 2 dB ステップの設定分解能を実現した。

減衰量 0~60 dB の範囲で設定分解能 2 dB を実現するため、標準搭載の 10 dB ステップアッテネータに加えて、新たに開発した 2 dB ステップアッテネータを接続する構成とした。設定分解能を 2 dB にしたことで、最大ダイナミックレンジを得る最適なミキサ入力レベル付近に調整が可能となり、隣接チャネル漏洩電力などの測定能力を改善した。

3.4.3 プリアンプの NF 低減

プリアンプ(MS2840A-008/068/069)では、レベルの低い信号をより高感度で測定可能とするために、プリアンプ回路の低 NF 化を行った。新しいプリアンプ回路は低雑音特性に特化した前段アンプと、前段アンプの増幅量を補う後段アンプ、および増幅量の周波数特性を平坦にするイコライザーで構成される。この構成により、プリアンプブロックの NF は 2.6 dB(1 GHz において)を実現し、装置全体の表示平均雑音レベルは-169 dBm/Hz(1 GHz)を実現した。図 8 にプリアンプ有効時の表示平均雑音レベルの代表値を示す。この表示平均雑音レベルの改善により、低いレベルのノイズやスプリアスなどを高感度で測定できるようになった。

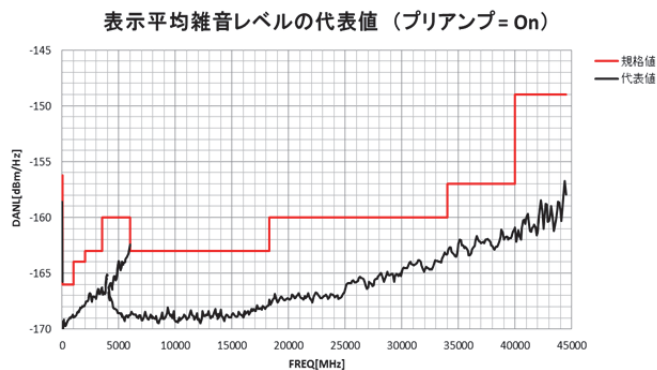


図 8 表示平均雑音レベルの測定例(プリアンプ=ON)

3.4.3 上限周波数拡張

Ka Band のマイクロ波帯無線バックホールで利用される周波数の上限は 43.5 GHz である。スペクトラムエミッションマスク試験や、スプリアス試験では、システムの上限周波数を超える周波数領域での測定が必要とされている。この要求に対応するため、MS2840A では上限周波数を 44.5 GHz に拡張した。

3.4.4 測定ソフトウェアの実装

MS2840A は、ベクトル変調解析ソフトウェア(MX269017A)やアナログ測定ソフトウェア(MX269018A)を実装することで、各種デジタル無線機の変調精度や、アナログ無線機の送信性能試験を可能とした。また雑音指数測定機能(MS2840A-017)を実装することで、無線通信機の受信ブロックの主要評価項目の 1 つである、雑音指数の測定を可能とした。

4 むすび

MS2840A では、優れた位相雑音性能と低コスト性を両立させた、LO シンセサイザを新たに開発した。これにより、これまでハイエンドモデルの使用が主流であった狭帯域通信装置の SSB 位相雑音性能評価や、近傍スプリアス性能評価をミドルレンジのスペクトラムアナライザで可能とした。加えて、測定速度の改善、基本機能の拡充をすることで、マイクロ波帯の無線バックホールや VHF/UHF 帯業務用無線機等の狭帯域通信装置の評価で求められる測定機能・性能を実現した。アンリツは、今後も、進化する無線機器の開発に必要なソリューションを提供し、無線通信技術の進化と発展に貢献していく。

参考文献

- 1) Fixed Radio Systems; Characteristics and requirements for point-to-point equipment and antennas; Part 2-2: Digital systems operating in frequency bands where frequency co-ordination is applied; Harmonized EN covering the essential requirements of article 3.2 of the R&TTE Directive". ETSI EN 302 217-2-2 V2.2.1 (2014-04)
- 2) 岸, 松田, 富崎, 横山, 安田, 安井, 倉光: “ハイコストパフォーマンスマイクロ波/ミリ波シグナルアナライザ MS2830A-044/045 の開発”, アンリツテクニカル 87 号 (2012.05)

執筆者



大谷 暢
計測事業グループ
R&D 本部
第 2 商品開発部



富崎 巧一郎
計測事業グループ
R&D 本部
第 2 商品開発部



宮内 直人
計測事業グループ
R&D 本部
第 2 商品開発部



倉 光康太
計測事業グループ
R&D 本部
第 2 商品開発部



近藤 佑樹
計測事業グループ
R&D 本部
第 2 商品開発部



木村 淳一
計測事業グループ
R&D 本部
第 2 商品開発部



大山 仁
計測事業グループ
R&D 本部
第 2 商品開発部

表 3 MS2840A シグナルアナライザ主要規格

周波数	周波数範囲	MS2840A-040: 9 kHz～3.6 GHz MS2840A-041: 9 kHz～6 GHz MS2840A-044: 9 kHz～26.5GHz MS2840A-046: 9 kHz～44.5 GHz																												
	SSB 位相雑音	18～28℃, 1000 MHz, スペクトラムアナライザ機能にて <table><tr><th>オフセット周波数</th><th>Specification</th></tr><tr><td>10 Hz</td><td>–80 dBc/Hz (nom.)*</td></tr><tr><td>100 Hz</td><td>–92 dBc/Hz (nom.)*</td></tr><tr><td>1 kHz</td><td>–117 dBc/Hz (nom.)*</td></tr><tr><td>10 kHz</td><td>–123 dBc/Hz</td></tr><tr><td>100 kHz</td><td>–123 dBc/Hz</td></tr><tr><td>1 MHz</td><td>–135 dBc/Hz</td></tr><tr><td>10 MHz</td><td>–148 dBc/Hz (nom.)</td></tr></table> *:MS2840A-001 未搭載かつ MS2840A-002 搭載 18～28℃, MS2840A-066 搭載かつ MS2840A-066 動作時 <table><tr><th>オフセット周波数</th><th>Specification</th></tr><tr><td>100 Hz</td><td>–98 dBc/Hz (nom.)</td></tr><tr><td>1 kHz</td><td>–122 dBc/Hz (nom.)</td></tr><tr><td>10 kHz</td><td>–133 dBc/Hz</td></tr><tr><td>100 kHz</td><td>–133 dBc/Hz</td></tr><tr><td>1 MHz</td><td>–148 dBc/Hz (nom.)</td></tr></table>		オフセット周波数	Specification	10 Hz	–80 dBc/Hz (nom.)*	100 Hz	–92 dBc/Hz (nom.)*	1 kHz	–117 dBc/Hz (nom.)*	10 kHz	–123 dBc/Hz	100 kHz	–123 dBc/Hz	1 MHz	–135 dBc/Hz	10 MHz	–148 dBc/Hz (nom.)	オフセット周波数	Specification	100 Hz	–98 dBc/Hz (nom.)	1 kHz	–122 dBc/Hz (nom.)	10 kHz	–133 dBc/Hz	100 kHz	–133 dBc/Hz	1 MHz
オフセット周波数	Specification																													
10 Hz	–80 dBc/Hz (nom.)*																													
100 Hz	–92 dBc/Hz (nom.)*																													
1 kHz	–117 dBc/Hz (nom.)*																													
10 kHz	–123 dBc/Hz																													
100 kHz	–123 dBc/Hz																													
1 MHz	–135 dBc/Hz																													
10 MHz	–148 dBc/Hz (nom.)																													
オフセット周波数	Specification																													
100 Hz	–98 dBc/Hz (nom.)																													
1 kHz	–122 dBc/Hz (nom.)																													
10 kHz	–133 dBc/Hz																													
100 kHz	–133 dBc/Hz																													
1 MHz	–148 dBc/Hz (nom.)																													

周波数	ローカルに起因する スプリアス	10 MHz < 周波数 ≤ 1 GHz において		
		3 kHz ≤ オフセット周波数 < 100 kHz	-70 dBc (nom.)	
		100 kHz ≤ オフセット周波数 < 10 MHz	-75 dBc (nom.)	
		周波数 > 1 GHz において		
		3 kHz ≤ オフセット周波数 < 100 kHz	-70 + 20 × log(f)dBc (nom.)	
		100 kHz ≤ オフセット周波数 < 10 MHz	-75 + 20 × log(N)dBc (nom.)	
		f:受信周波数[GHz] N:ミキシング次数		
振幅	表示平均雑音レベル	18〜28℃, Detector: Sample, VBW: 1 Hz (Video Average), 入力アッテネータ:0 dB, スペクトラムアナライザモード, MS2840A-046 実装時		
		MS2840A-067 未搭載かつ Frequency Band Mode: Normal にて		
		周波数	MS2840A-068 未搭載	MS2840A-068 搭載かつ プリアンプ:Off
		9 kHz ≤ 周波数 < 100 kHz	-120 dBm/Hz	-120 dBm/Hz
		100 kHz ≤ 周波数 < 1 MHz	-134 dBm/Hz	-134 dBm/Hz
		1 MHz ≤ 周波数 < 10 MHz	-144 dBm/Hz	-144 dBm/Hz
		10 MHz ≤ 周波数 < 30 MHz	-150 dBm/Hz	-150 dBm/Hz
		30 MHz ≤ 周波数 < 1 GHz	-153 dBm/Hz	-153 dBm/Hz
		1 GHz ≤ 周波数 < 2.4 GHz	-150 dBm/Hz	-150 dBm/Hz
		2.4 GHz ≤ 周波数 ≤ 3.5 GHz	-147 dBm/Hz	-147 dBm/Hz
		3.5 GHz < 周波数 ≤ 6 GHz	-144 dBm/Hz	-144 dBm/Hz
		6 GHz < 周波数 ≤ 13.5 GHz	-151 dBm/Hz	-147 dBm/Hz
		13.5 GHz < 周波数 ≤ 18.3 GHz	-149 dBm/Hz	-145 dBm/Hz
		18.3 GHz < 周波数 ≤ 34 GHz	-146 dBm/Hz	-141 dBm/Hz
		34 GHz < 周波数 ≤ 40 GHz	-144 dBm/Hz	-135 dBm/Hz
		40 GHz < 周波数 ≤ 44.5 GHz	-140 dBm/Hz	-132 dBm/Hz
		MS2840A-067 未搭載かつ Frequency Band Mode: Normal にて MS2840A-068/069 搭載かつプリアンプ:On		
		周波数		
		100 kHz	-147 dBm/Hz (nom.)	
		1 MHz	-156 dBm/Hz	
		30 MHz ≤ 周波数 < 1 GHz	-166 dBm/Hz	
		1 GHz ≤ 周波数 < 2 GHz	-164 dBm/Hz	
		2 GHz ≤ 周波数 ≤ 3.5 GHz	-163 dBm/Hz	
		3.5 GHz < 周波数 ≤ 6 GHz	-160 dBm/Hz	
		6 GHz < 周波数 ≤ 18.3 GHz	-163 dBm/Hz	
		18.3 GHz < 周波数 ≤ 34 GHz	-160 dBm/Hz	
		34 GHz < 周波数 ≤ 40 GHz	-157 dBm/Hz	
		40 GHz < 周波数 ≤ 44.5 GHz	-149 dBm/Hz	

表 4 高性能導波管ミキサ MA2806A/MA2808A 主要規格

形名		MA2806A	MA2808A
周波数範囲		50 GHz～75 GHz	60 GHz～90 GHz
通倍係数		8	12
変換損失*		< 15 dB (nom.)	
1 dB 利得圧縮(P1 dB)*		> 0 dBm (nom.)	
RF 入力 VSWR		≤ 1.5 (nom.)	
IF/LO ポート VSWR	1.875 GHz (IF)	≤ 2.0 (nom.)	
	5 GHz～10 GHz (LO)	≤ 2.4 (nom.)	≤ 2.0 (nom.)
最大入力レベル(CW)		+10 dBm	

*: 推奨温度範囲(+18～+28℃)にて

公知