

LTE TDD 基地局の 送信オン/オフパワー測定

シグナルアナライザ MS2690A/MS2691A/MS2692A
LTE TDD ダウンリンク測定ソフトウェア MX269022A

目次

はじめに	2
送信オン/オフパワー測定の概要	3
送信オン/オフパワー測定の課題	5
トレードオフの解消 : 「Wide Dynamic Range」 機能	7
より厳しく送信オフパワーを測る : 従来方式の限界と「拡張ノイズキャンセル」	9
6 GHz まで安定したレベル確度で測定可能な MS269xA シリーズ	12
まとめ	12
付録 A : 送信オン/オフパワー測定例「Wide Dynamic Range」	13
付録 B : 送信オン/オフパワー測定例「Limiter Mode」(拡張ノイズキャンセル)	14

はじめに

モバイルトラフィックの増加とそれに必要なスペクトラム確保の課題に対応するため、周波数利用効率の良い TDD システムを活用する動きが広がっています。なかでも 2GHz 帯から 3.8GHz 帯と比較的高い周波数帯での利用が進んでいます。これらの周波数帯では電波の直進性が高いため、スモールセルと呼ばれるカバレッジ範囲の狭い小型・小出力の基地局での利用に向いているとされています。一方で、実際の配置はサービス領域での地形や建造物の配置・形状、利用者の利用状態を総合的に検討し、マクロセルとスモールセルを適切に組み合わせることで最大のユーザエクスペリエンスが得られるよう設計されます。

TDD システムはダウンリンクとアップリンクの周波数が同じであるため、周波数利用効率が高いメリットがある一方、タイムスロットの同期精度や送信オフ区間の電力抑制が不十分な場合はダウンリンクとアップリンクの間で相互干渉を引き起こす恐れがあります。この問題を防ぐため、3GPP TS36.141 は 6.4 項で「Transmit ON/OFF power」を定義し、基地局の品質維持を図っています。この規格は、ダウンリンク信号の遷移タイミングと送信オフ区間のパワーを規定しています。この測定には非常に高いダイナミックレンジと低いノイズフロアを必要とし、通常の測定方法では現在販売されている最高性能のシグナルアナライザをもってしても測定することはできません。

本書は、この問題を解決するための、シグナルアナライザ MS269xA シリーズとその上で動作する LTE TDD ダウンリンク測定ソフトウェア MX269022A を使用した LTE TDD 基地局の送信オン／オフパワー測定について説明します。

<本書の表記>

測定値/meas.: 保証される性能ではありません。無作為に選定された測定器の実例データを示します。

送信オン/オフパワー測定の概要

3GPP TS36.141 6.4 項では送信オン/オフパワー測定の最小要求を次のように定義しています。

- ・送信オフ区間の平均電力密度は $-85 \text{ dBm/MHz} + [\text{TT}]$ 未満でなければならない
- ・送信オフ区間からオン区間、およびオン区間からオフ区間への遷移時間（Transmitter transient period）は 17μ 秒未満でなければならない

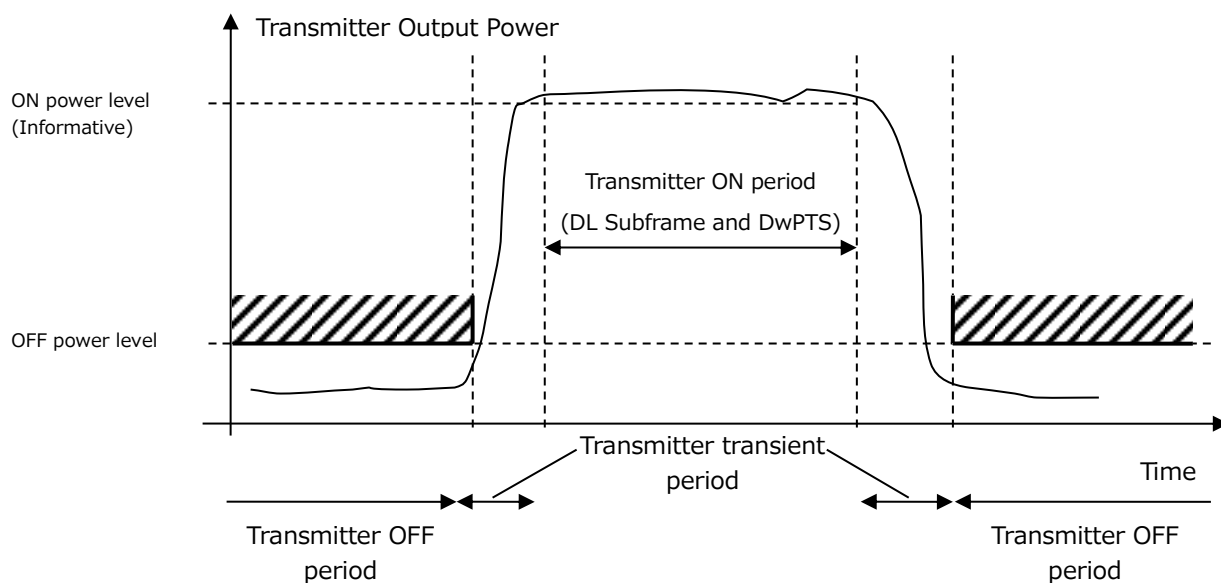
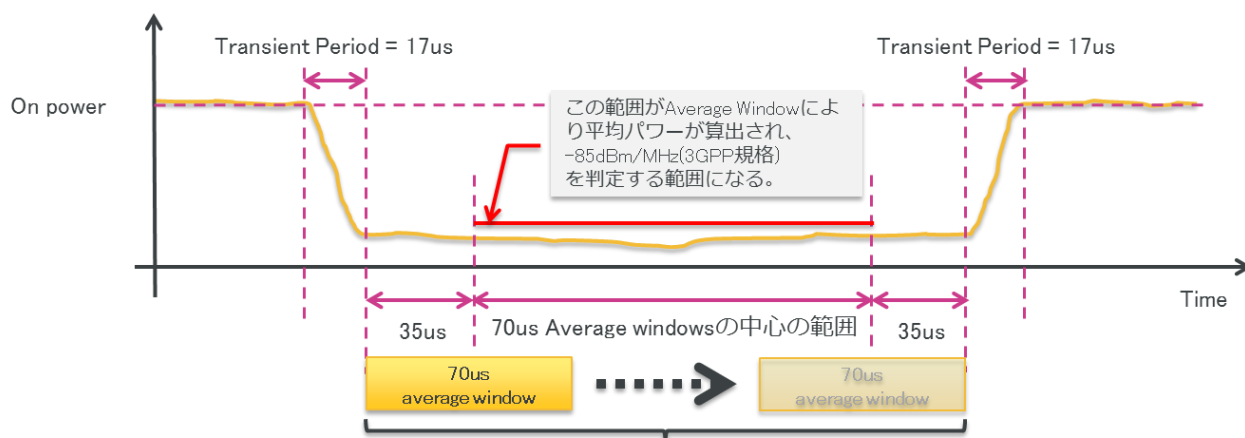


図 1 送信オン/オフパワーの図（3GPP TS36.141 から引用）

送信オフパワーは、 70μ 秒の区間にわたってフィルタを通して平均された電力として測定します。この測定区間は、「オン区間+ 17μ 秒+ 35μ 秒」から「次のオン区間- 17μ 秒- 35μ 秒」までです。この測定区間で規格値を満たす必要があります。



70us Average windowsは「On区間 + $17\mu\text{s}$ + $35\mu\text{s}$ 」から「次のOn区間 - $17\mu\text{s}$ - $35\mu\text{s}$ 」の間に隙間なく(重複可)配置される

図 2 送信オフ区間の平均区間（中心部の赤い横線）

MX269022A は、遷移時間を次のように測定しています。

- 送信オン区間からオフ区間までの遷移（Ramp down）：
フレームの先頭を基準にしたダウンリンク・サブフレームの終わりから、送信オフパワーのしきい値を下回るポイントまでの時間
- 送信オフ区間からオン区間までの遷移（Ramp up）：
送信オフパワーのしきい値を上回るポイントから、フレームの先頭を基準にした次のダウンリンク・サブフレームの開始までの時間

上記の「送信オフパワーのしきい値」は、MX269022A で[Measure]>[F2]Power vs. Time > [F6] Mask Setup > [F5] Off Power Limit で設定できます。

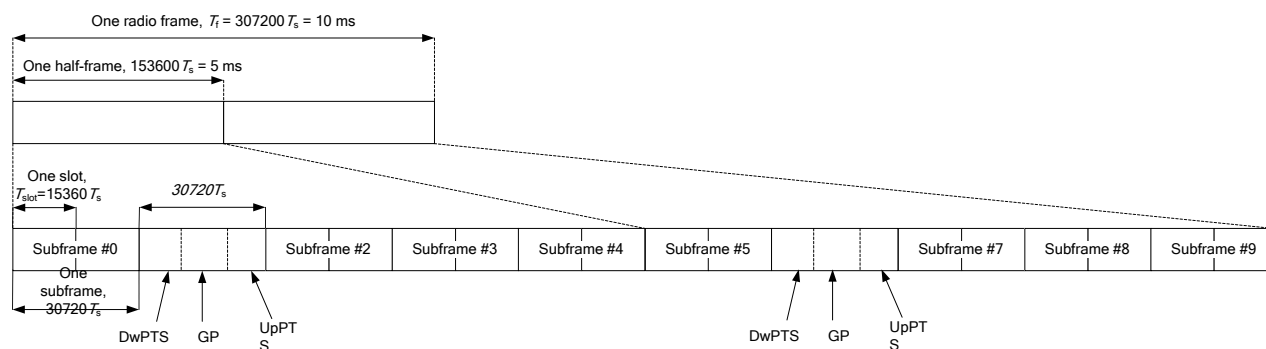


図 3 LTE TDD のタイムフレーム構造（3GPP TS36.211 から引用）

表 1 LTE TDD の Uplink-downlink configuration（3GPP TS36.211 から引用）

Uplink-downlink configuration	Downlink-to-Uplink Switch-point periodicity	Subframe number									
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	U
1	5 ms	D	S	U	U	D	D	S	U	U	D
2	5 ms	D	S	U	D	D	D	S	U	D	D
3	10 ms	D	S	U	U	U	D	D	D	D	D
4	10 ms	D	S	U	U	D	D	D	D	D	D
5	10 ms	D	S	U	D	D	D	D	D	D	D
6	5 ms	D	S	U	U	U	D	S	U	U	D

送信オン/オフパワー測定の課題

図4は一般的なバースト状の信号を測る時の様子を示しています。被測定物から送信された信号は、測定系にあるアッテネータやスイッチ、ケーブルなどのロスによって送信オンパワー・オフパワーが共に減衰され、ノイズフロアが上昇します。このとき、減衰した送信オフパワーがシグナルアナライザ内部のノイズフロアに近づくと、シグナルアナライザは送信オフパワーを正確に測ることができません。

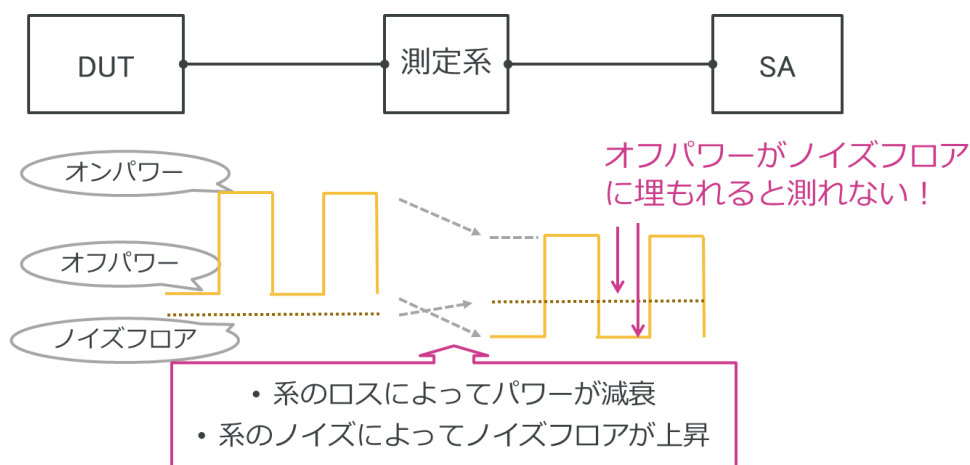


図4 送信オン/オフパワー測定の一般モデル

送信オフパワーをノイズフロアよりも高くするためには、一般的に次のような方法があります。

- 測定系のロスまたはアッテネータを最小限に抑えて、オフパワーの減衰量を減らす
- 測定系にLNA（Low Noise Amplifier）を入れる、またはシグナルアナライザ内蔵のプリアンプを有効にして、オフパワーをノイズフロアよりも高くする。
- シグナルアナライザのノイズキャンセル機能を使い、ノイズフロアを計算上で減算する

しかし、これらの方法には次のようなトレードオフがあります。

- 測定系のロス、すなわちシグナルアナライザの前段で減衰量を減らすと、シグナルアナライザの最大入力許容値を超えたパワーが送信オン区間で入力されて、シグナルアナライザを損傷させる恐れがある
- LNA、プリアンプを挿入すると、そのデバイスの最大入力許容値を考慮する必要がある
- シグナルアナライザによるノイズキャンセル量は入力信号の状態に影響され、かつその量に限界がある

LTE TDD の送信オン／オフパワー測定が難しい理由は、送信オン区間の高いパワーと送信オフ区間の低いパワーが連続してシグナルアナライザに入力されることにあります。

送信オンパワーを測定する場合、シグナルアナライザに最大入力許容値以上の信号が入力されるのを防ぐために外部にアッテネータを挿入する必要があり、それが低いパワーを測る時に問題となります。たとえば、最大ミキサ入力レベルが CW で +30 dBm のシグナルアナライザを使って、平均電力が 1 アンテナあたり +46 dBm の LTE 基地局の送信オフパワー -85 dBm/MHz を測定する場合を考えます。LTE の信号のクレストファクタ（ピークパワーと平均パワーの比）を 14 dB とすると、LTE 基地局の送信信号のピークパワーは $+46$ dBm + 14 dB = $+60$ dBm になります。シグナルアナライザに入力される LTE の信号が最大入力許容値を超えないためには、シグナルアナライザの前段に 30 dB のアッテネータを挿入する必要があります。このとき、送信オンパワーだけではなく送信オフパワーも減衰するため、送信オフパワーは $-85 - 30 = -115$ dB/MHz になります。この値を 1 Hz あたりのパワーに換算すると -175 dBm/Hz となり、最高性能レベルのシグナルアナライザでもってしても測定できません。

トレードオフの解消：「Wide Dynamic Range」機能

これらのトレードオフを解決するために、MX269022A は、「Wide Dynamic Range」という、送信オンパワーとオフパワーを別々に測定し、それらの結果を合成することで高いダイナミックレンジを実現する機能を提供しています（図 5）。

送信オンパワーを測定するときは、シグナルアナライザの内部アッテネータの値を送信オンパワーが歪まないよう適切な量に合わせて設定し、測定します。基地局の送信オンパワーがシグナルアナライザの最大入力許容値を超える場合は、外部にアッテネータを挿入します。この測定系・設定値では、送信オフパワーがシグナルアナライザ内部のノイズフロアよりも下がる恐れがありますが、シグナルアナライザが自動で送信オンパワーのみを結果を抽出するため、問題ありません。

送信オフパワーを測定するときは、系のロスとシグナルアナライザの内部アッテネータ量を最小限に設定し、送信オフパワーの減衰量を最小限にします。ダイナミックレンジが不足する場合、プリアンプを有効にするか、ノイズキャンセル機能を有効にします。この条件では送信オン区間のパワー測定値は歪み・飽和などの影響で正しく測れない恐れがありますが、シグナルアナライザが自動で送信オフパワーのみを結果を抽出するため、問題ありません。

シグナルアナライザは、LTE の同期信号または外部からのトリガからフレームの先頭を決定し、設定されている「Uplink/Downlink Configuration」「Special Subframe Configuration」に合わせて送信オン区間とオフ区間を判別、各区間に対して適切な内部パラメータを自動的に設定して測定します。MX269022A は 1 フレーム区間の送信オン／オフ遷移時間、平均送信オンパワー、平均送信オフパワーを 1 つの画面に表示します。

MS269xA で Wide Dynamic Range とプリアンプを有効にして測定する場合、3.5 GHz 帯でのシグナルアナライザ表示平均雑音レベルの規格値が -161.5 dBm/Hz なので、1MHz あたり -101.5 dBm/MHz となり、3GPP テスト要求 $-85.0 + [TT](2.5) = -82.5 \text{ dBm/MHz}$ に対しておよそ $21.5 - [\text{測定系のロス量}] \text{ dB}$ のマージンがあります。（後述の Limiter Mode を使用しない場合、ノイズキャンセルよりもプリアンプを有効にする方が、ダイナミックレンジが広がります。）

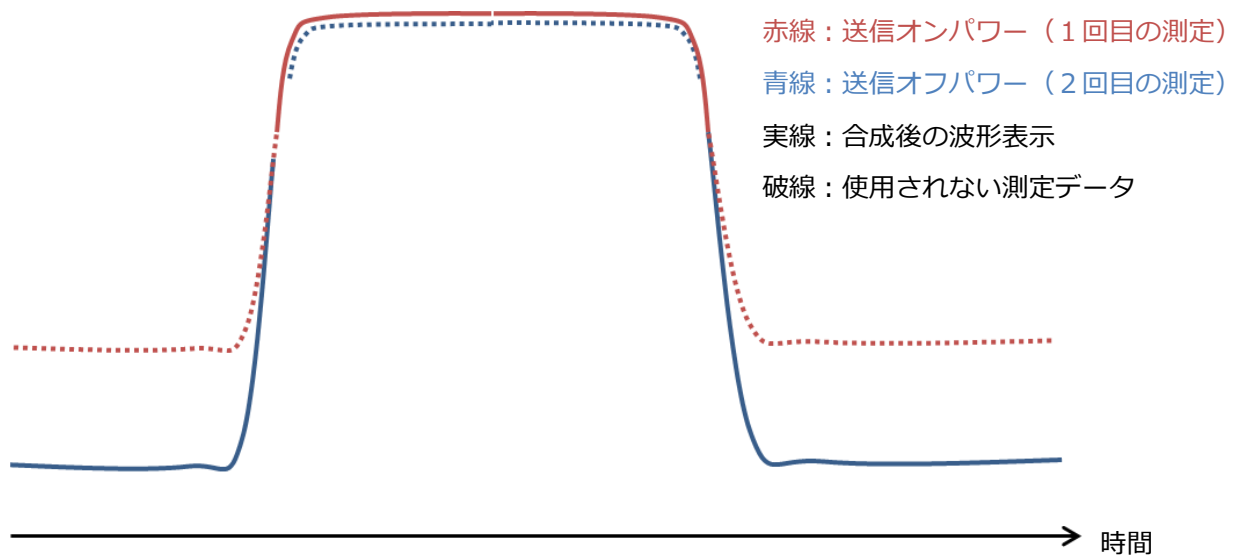


図5 Wide Dynamic Range 機能による
ダイナミックレンジの拡大とノイズフロアの低減

MX269022A による Wide Dynamic Range 機能を使った送信オン／オフパワーの測定手順については、付録 A を参照してください。

より厳しく送信オフパワーを測る：従来方式の限界と「拡張ノイズキャンセル」

LTE TDD 基地局のダウンリンク送信オフパワーの品質は、アップリンクの通信品質に直接影響を与えるばかりでなく、隣接するシステムに影響を与える恐れがあるため、地域やサービスオペレータによっては 3GPP よりも厳しい独自の規格を設定している場合があります。ここでは、例として、1 アンテナあたりの送信オンパワーが+46 dBm (40W) のマクロセル基地局に対して、送信オフパワーのテスト要求を-107 dBm/MHz に設定したときの測定について考えます。

MS269xA は非常に優れたノイズフロア性能をもっています。MX269022A で Wide Dynamic Range とプリアンプを有効にし、さらにシグナルアナライザ内部のノイズをキャンセルしたときのノイズフロアの測定値は約-110 dBm/MHz (meas. @3.5 GHz, ATT=0dB) です。したがって、送信オフパワーが-107 dBm/MHz で、ロスが 0.5 dB の長さ 1 m 程度のケーブルのみで、アンテナ端とシグナルアナライザを接続する場合の測定マージンは、 $-107 - 0.5 - (-110) = 2.5$ dB になります。

一方、送信オンパワーが+46 dBm であるため、最大入力レベル+30 dBm の MS269xA の損傷を防ぐため、パワーを減衰させるなんらかのデバイスを外部に挿入する必要があります。その差は 16 dB ですが、すでに 2.5 dB のマージンしかないため、アッテネータは使用できません。そこで、パワーリミッタと呼ばれる一定量以上のパワーをカットし、それ以下のパワーは最小限のロスで通過させるデバイスを使います。アンリツでは、3.5 GHz 帯の LTE TDD 基地局を測定するためのパワーリミッタとして Aeroflex 社の ACLM-4905 を推奨しています。ACLM-4905 はリークレベルが+13 dBm 程度であり、実用上、プリアンプが有効になっている MS269xA で使用できます。パワーリミッタの通過ロスを 1.0 dB とした場合、測定マージンは $2.5 - 1.0 = 1.5$ dB になります（パワーリミッタはケーブル端のどちらかに接続できるものとします）。

現在販売されている中でも最高レベルのノイズフロアをもつシグナルアナライザをもってしても測定マージンが 1.5 dB になり、実際の運用はきわめて難しいと言えます。第一に、基地局とシグナルアナライザの間隔が 1 m 程度では測定環境の構築範囲が非常に限定されます。第二に、パワーリミッタを挿入するのは送信オフパワーを測定するときだけで、送信オンパワーを測定するときにはパワーリミッタを取り外してアッテネータを入れる必要があり、これを手操作で行うと、測定効率が落ちるばかりでなく、測定の再現性という観点からも不安定要素を増加させます。このように、従来のシグナルアナライザ単体の機能ではこのような厳しいテスト要求に対応できません。

そこで、アンリツは独自の「拡張ノイズキャンセル」というコンセプトを導入し、このような厳しいテスト要求に応える測定ソリューションを提供しています。このコンセプトは、従来シグナルアナライザ内部のノイズのみを対象としていたノイズキャンセル機能を拡張し、外部の測定系を含めてキャンセルするというものです。

拡張ノイズキャンセルした送信オフパワー測定では一般に図 6 のような測定系を構築します。シグナルアナラ

イザの前段にある LNA は送信オフパワーを増幅させます。LNA を入れることにより若干ノイズフロアも増加しますが、送信オフパワーを測定する前に LNA の入力を終端してノイズフロアを測定しておき、送信オフパワーの測定結果からその値を差し引くノイズキャンセル処理を行うことにより、よりダイナミックレンジを広げることができます

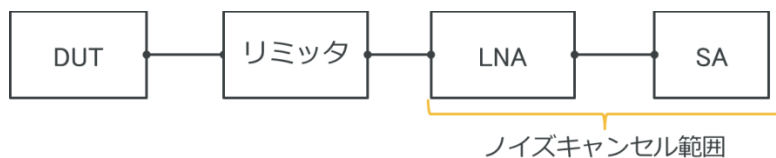


図 6 拡張ノイズキャンセルを使った送信オフパワーの測定系

拡張ノイズキャンセルを使用すると、従来の方法では実現できなかった、厳しい送信オフパワーのテスト要求に対応することができます。図 6 は、拡張ノイズキャンセル機能を活用するための送信オン／オフパワー測定治具のブロック例です。拡張ノイズキャンセルによって、このような送信オンパワーを測定するルートと送信オフパワーを測定するルートをスイッチで切り替える治具を使った場合にも測定マージンを確保でき、測定操作の簡素化と自動化などの測定の効率化が実現できます。

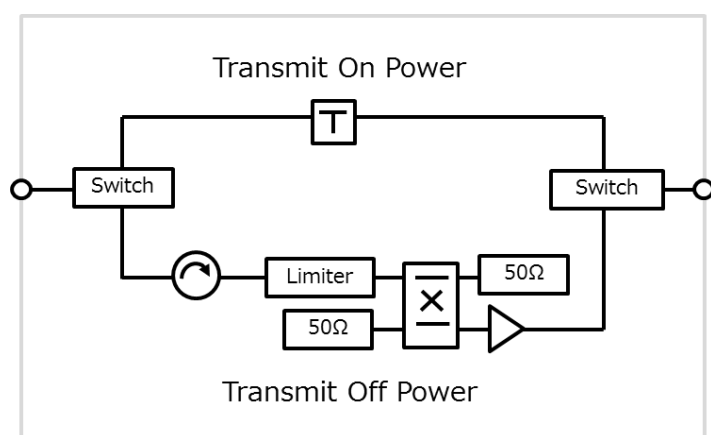


図 7 拡張ノイズキャンセルに対応した送信オン／オフパワー測定ブロック

図 7 のブロックで構成された治具を使い、拡張ノイズキャンセルを有効にして入力を終端した場合の測定結果の例を図 8 に示します。

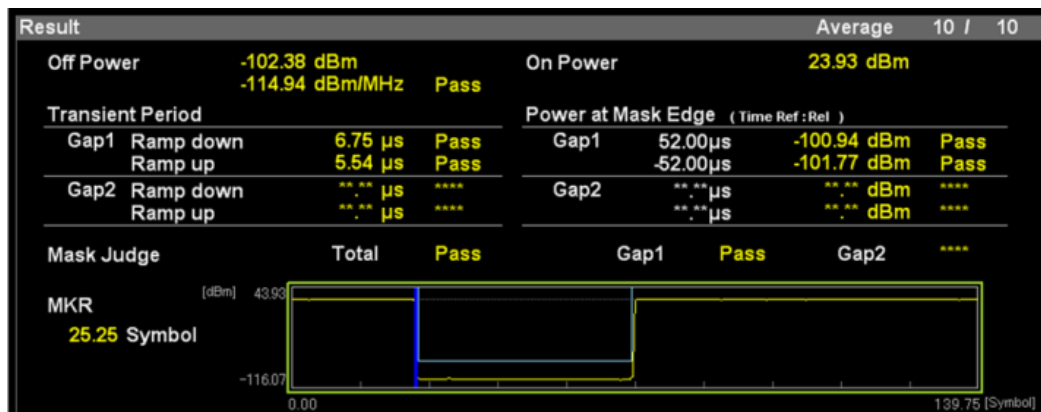


図 8 拡張ノイズキャンセルを適用した送信オン／オフパワー測定結果例

このように、シグナルアナライザの前段に LNA を挿入し、拡張ノイズキャンセルを使うことで送信オン／オフパワー測定のダイナミックレンジとノイズフロアを改善することができます。

MX269022A による Limiter Mode 機能を使った送信オン／オフパワーの測定手順については、付録 B を参照してください。

6 GHz まで安定したレベル確度で測定可能な MS269xA シリーズ

シグナルアナライザ MS269xA シリーズを基地局の試験に使用するメリットは、送信オン／オフパワーの能力だけではありません。MS269xA の RF デザインは、基本バンドが 50 Hz～6 GHz であり、800 MHz 帯や 2 GHz 帯など従来のバンドから Band 42/43（3.4～3.8 GHz）まで同一バンドで測定できるため、測定する周波数帯に依存せずに非常に優れたレベル確度で測定できます。一方、その他の多くのシグナルアナライザは基本バンドの上限が 3.6 GHz 程度であるため、それ以上の周波数を測る場合はプリセレクトルートと呼ばれる振幅／周波数特性の安定化が難しいルートで測定しなければなりません。そのため、高い周波数帯の利用が広がる今後は安定した測定結果を得ることが困難になります。MS269xA シリーズは、モバイル通信の多バンド化やより高い周波数帯の利用が進んでも安定したレベル確度を保ち、測定器の特性が基地局の測定に影響を与えるのを最小限にします。

まとめ

送信オン／オフパワー測定は、LTE TDD 通信の品質を維持するための非常に重要な試験項目です。アンリツのシグナルアナライザ MS269xA は、スモールセルからマクロセルまで、3GPP はもちろん、ユーザ独自の厳しい送信オン／オフパワーテスト要求まで対応できます。アンリツ独自の拡張ノイズキャンセルは、測定系のロスが大きくなる自動試験システムでも使用でき、測定の効率化と試験時間の短縮、測定の再現性という点において最適な測定ソリューションです。

付録 A : 送信オン／オフパワー測定例「Wide Dynamic Range」

＜準備＞

- 基地局の送信を止めた状態にします。
- 基地局から 10 ms 間隔のフレーム信号をシグナルアナライザのトリガ入力端子に接続します。
- 基地局のアンテナ端とシグナルアナライザの RF 入力端子を接続します。
- MX269022A LTE TDD ダウンリンク測定ソフトウェアを選択します（初期状態とします）。

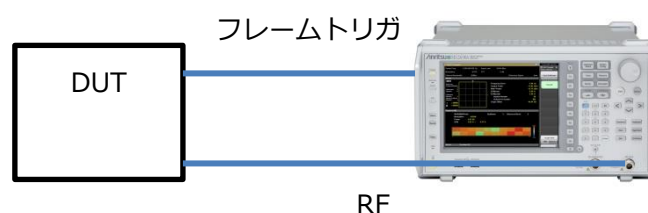


図 A-1 送信オン／オフパワーのセットアップ

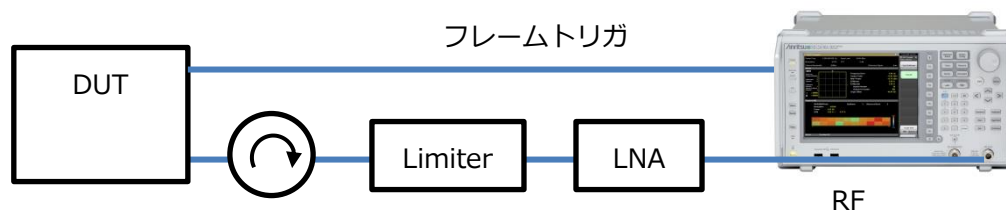
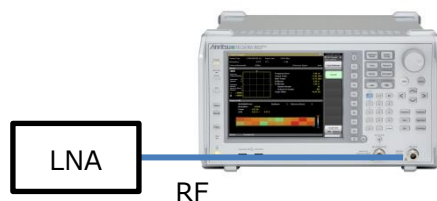
＜手順＞

1. [Frequency]を押し、測定する信号のキャリア周波数を「Carrier Frequency」に設定します。
2. [↑]Top>[F2]Amplitude>[F9]Offset Value に測定ルートのロス量（ケーブルロス等）を設定します。
3. [Amplitude]を押し、期待される送信オンパワーを「Input Level」に設定します。
4. [Trigger/Gate]>[F1] Trigger Switch を「On」に設定します。
5. [Measure]>[F2]Power vs Time>[F1] Wide Dynamic Range を「On」に設定します。
6. [Measure]>[F2]Power vs Time>[F3] Pre-Amp Mode を「On」に設定します。
7. [Measure]>[F2]Power vs Time>[F4] Channel Bandwidth を測定する信号に合わせて設定します。
8. [Trace]>[F3]Smoothing>[F1]Smoothing を「On」に設定します。
9. [Trace]>[F4]Storage>[F1]Mode を「Off」に設定します。
10. 基地局の信号を出力します。
11. [Single]を押し測定します。

付録 B : 送信オン／オフパワー測定例「Limiter Mode」（拡張ノイズキャンセル）

<準備>

- 基地局の送信を止めた状態にします。
- 基地局から 10 ms 間隔のフレーム信号をシグナルアナライザのトリガ入力端子に接続します。
- 基地局のアンテナ端とシグナルアナライザの RF 入力端子を接続します。
- MX269022A LTE TDD ダウンリンク測定ソフトウェアを選択します（初期状態とします）。



<手順>

1. [Frequency]を押し、測定する信号のキャリア周波数を「Carrier Frequency」に設定します。
2. [↑]Top>[F2]Amplitude>[F9]Offset Value に図 B-3 掃引オンパワー測定ルートのロス量（アッテネータやケーブルロス等）を設定します。
3. [Amplitude]を押し、期待される送信オンパワーを「Input Level」に設定します。
4. [Trigger/Gate]>[F1] Trigger Switch を「On」に設定します。
5. [Measure]>[F2]Power vs Time>[F1] Wide Dynamic Range を「On」に設定します。
6. [Measure]>[F2]Power vs Time>[F8] Limiter Mode を「On」に設定します。
7. [F3] Limiter Mode Offset を「On」に設定します。

8. [F4] Limiter Mode Offset Value に図 B-2 送信オフパワー測定ルートのゲイン量 (DUT 出力端からシグナルアナライザ RF 入力端まで) を設定します。全体 10 dB のゲインである場合 -10 dB を設定します。
9. [Measure]>[F2]Power vs Time>[F2] Noise Correction を「On」に設定します。
10. [Measure]>[F2]Power vs Time>[F3] Pre-Amp Mode を「On」に設定します。
11. [Measure]>[F2]Power vs Time>[F4] Channel Bandwidth を測定する信号に合わせて設定します。
12. [Trace]>[F3]Smoothing>[F1]Smoothing を「On」に設定します。
13. [Trace]>[F4]Storage>[F1]Mode を「Off」に設定します。
14. [Single]を押して測定を開始します。
15. 図 B-1 のノイズ測定ルートにします。
16. [F1]Continue を押して外部の LNA を含むノイズフロアを測定します。
17. 図 B-2 の送信オフパワー測定ルートにします。
18. 基地局の信号を出力します。
19. [F1]Continue を押して送信オフパワーを測定します。
20. 基地局の信号を停止します。
21. 図 B-3 の送信オンパワー測定ルートにします。
22. 基地局の信号を出力します。
23. [F1]Continue を押して送信オンパワーを測定します。

アンリツ株式会社

<http://www.anritsu.com>

本社	〒243-8555 神奈川県厚木市恩名 5-1-1	TEL 046-223-1111	
厚木	〒243-0016 神奈川県厚木市田村町8-5		
	計測器営業本部	TEL 046-296-1202	FAX 046-296-1239
	計測器営業本部 営業推進部	TEL 046-296-1208	FAX 046-296-1248
	〒243-8555 神奈川県厚木市恩名 5-1-1		
	ネットワークス営業本部	TEL 046-296-1205	FAX 046-225-8357
新宿	〒160-0023 東京都新宿区西新宿6-14-1	新宿グリーンタワービル	
	ネットワークス営業本部	TEL 03-5320-3552	FAX 03-5320-3570
	東京支店 (官公庁担当)	TEL 03-5320-3559	FAX 03-5320-3562
仙台	〒980-6015 宮城県仙台市青葉区中央4-6-1	住友生命仙台中央ビル	
	計測器営業本部	TEL 022-266-6134	FAX 022-266-1529
	ネットワークス営業本部東北支店	TEL 022-266-6132	FAX 022-266-1529
名古屋	〒450-0002 愛知県名古屋市中村区名駅3-20-1	サンシャイン名駅ビル	
	計測器営業本部	TEL 052-582-7283	FAX 052-569-1485
大阪	〒564-0063 大阪府吹田市江坂町1-23-101	大同生命江坂ビル	
	計測器営業本部	TEL 06-6338-2800	FAX 06-6338-8118
	ネットワークス営業本部関西支店	TEL 06-6338-2900	FAX 06-6338-3711
広島	〒732-0052 広島県広島市東区光町1-10-19	日本生命光町ビル	
	ネットワークス営業本部中国支店	TEL 082-263-8501	FAX 082-263-7306
福岡	〒812-0004 福岡県福岡市博多区榎田1-8-28	ツインスクエア	
	計測器営業本部	TEL 092-471-7656	FAX 092-471-7699
	ネットワークス営業本部九州支店	TEL 092-471-7655	FAX 092-471-7699

再生紙を使用しています。

計測器の使用方法、その他については、下記までお問い合わせください。

計測サポートセンター

TEL: 0120-827-221 (046-296-6640)

受付時間 / 9 : 00 ~ 12 : 00、13 : 00 ~ 17 : 00、月 ~ 金曜日 (当社休業日を除く)

E-mail: MDVPOST@anritsu.com

● ご使用の前に取扱説明書をよくお読みのうえ、正しくお使いください。

1506



■本製品を国外に持ち出すときは、外国為替および外国貿易法の規定により、日本国政府の輸出許可または役務取引許可が必要となる場合があります。また、米国の輸出管理規則により、日本からの再輸出には米国商務省の許可が必要となる場合がありますので、必ず弊社の営業担当までご連絡ください。