

アプリケーションノート

E-バンド バックホールテストセットの パワーとダイナミックレンジの拡張



2023 年 10 月

背景

エリクソンの 2022 年モビリティレポートによると、世界のモバイルデータトラフィックは、固定無線アクセスの利用を除き、2028 年までに全体で 4 倍増の 325 エクサバイト／月、またはスマートフォン 1 台当たり平均 46GB になると予想されています。ネットワーク事業者がこの急激なアクセス増加をサポートできるかどうかは、基地局とコアネットワークを結ぶバックホールシステムの速度と容量にかかっています。したがって、セルラーバックホール機器市場は、2020 年から 2025 年の間に 178 億 5,000 万ドルから 322 億 9,000 万ドルへと年平均成長率 12.6% で成長すると予測されます。さらに、まだ発展途上の E-バンドシステムに限ってみると、その成長率は 22.3% (同期間に 5 億 3,400 万ドルから 14 億 6,000 万ドル) に跳ね上がります¹。

バックホールシステムは、ネットワークノードからアグリゲーションポイントまで、光ファイバーケーブルまたはポイント ツー ポイント (P2P) マイクロ波無線リンクのいずれかを介して信号トラフィックを伝送します。事業者はこれまで、光ファイバーの優れた速度と容量、無線バックホールの低コスト、迅速な展開、より大きな柔軟性の間のトレードオフに直面してきました。E-バンド帯域 (71~76GHz および 81~86GHz) の P2P 無線リンクは、光ファイバーに必要な土地の使用や建設に多額の投資をすることなくデータレートを向上させる一般的なソリューションとなっています。

一般的なベンチマークとして、バイナリ変調方式の場合、帯域幅 B Hz のチャネルの理論上の最大データレートは $2 \times B$ ビット/秒であることを思い出してください。最新の光ファイバー ケーブルは、ケーブルの種類、配線距離、その他の要因に応じて、1 ~ 10 Gbps 程度のデータレートをサポートできます。したがって、同等のデータレートを達成するには、無線リンクに約 0.5 ~ 5 GHz の帯域幅が必要になります。E-バンド帯域での運用により、システム設計者は、より確立された低い周波数帯でのスペクトルの輻輳による送信の制約を受けることなく、より低い比帯域幅でこの周波数帯の公称帯域幅を達成することができます。

実際には、これらのシステムの実装にはいくつかの課題があります、とりわけ通常 67GHz 以下で動作する業界標準のネットワークアナライザーの動作周波数範囲をはるかに超えるテストセットアップを構築することです。この記事では、テストオペレーターが E-バンド デバイスの測定を行う際に直面する、最も一般的な 2 つの課題について概説します。一般的なミリ波テストセットアップの固有の制限を克服するために、それぞれ異なる Mini-Circuits E-バンド増幅器を組み込んでいます。Mini-Circuits のディアパーク テクノロジーセンターのラボで実際に行われたテストセットアップの測定結果を各ケースで示し、システム性能に対するアンプの効果を検証します。



図 1: ニューヨーク州ディアパークにある Mini-Circuits Deer Park Technology Center のクリーンルームの内部。110GHz 及びそれ以上の高い周波数製品的设计、試験、製造に特化している。

E-バンド ワイヤレス バックホールの試験要件

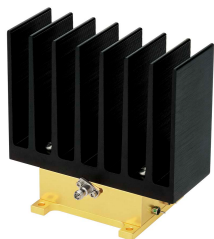
主要な OEM メーカーから現在入手可能なテスト機器の上限周波数は通常 67 GHz です。E-バンド テストセットアップでは、ベクトルネットワークアナライザー(VNA) とテスト対象デバイス(DUT) の間に周波数エクステンダー モジュールを使用して、VNA 周波数範囲と対象のアプリケーション帯域の間で変換を行います。送信パスでは、エクステンダーからの出力が製品評価テストに必要な信号電力を大幅に下回ることがよくあります。この問題は、DUT の前のアダプタやケーブル、さらに大規模なセットアップで複数のテスト フィクスチャに信号を分配するために使用されるスイッチやスプリッタを通過するミリ波信号の固有の損失によってさらに悪化します。したがって、必要な電力を生成するには外部ドライバアンプが必要です。

受信側では、識別可能な最小信号は受信機のノイズ フロアによって決定されますが、放送機器からの受信信号は、機器が測定するには小さすぎることがよくあります。ローノイズアンプ(LNA) をフロントエンドに使用することで、小さな信号を測定器が測定可能なダイナミックレンジまで増幅することができます。LNA は、希望する信号とノイズを同様に増幅する一方で、さらなるノイズ(デバイスの雑音指数によって決定される)を発生させるため、適切なアンプは、十分な利得を持つだけでなく、測定システム全体の品質への影響を最小限に抑えるために、雑音指数が低く、ダイナミックレンジ自体も良好である必要があります。

E-バンド帯域で適切な広帯域性能を持つアンプを設計・製造するというユニークな課題により、市場には限られた選択肢しかありません。特にエンジニアリングテストユーザーにとっては、在庫がないために開発スケジュールに 6 ヶ月ものターンアラウンドタイムがかかる可能性があります。Mini-Circuits は、このようなテストシステムのニーズを満たすために特別に設計された、在庫のあるアンプシリーズを発表しました。以下に紹介する事例は、このシリーズの 2 つのモデルを使用して、E-バンド テストセットの出力パワーを増大し、レシーバーのダイナミックレンジを拡大したものです。

E-バンド ソースパワー拡張用ドライバアンプ

ZVA-71863HP+ E-Band Medium Power Amplifier



主な特長:

- 71~86 GHz
- 38 dB gain
- ± 1.5 dB gain flatness
- +24 dBm P_{SAT}

説明したように、より高い周波数のテストでは、多くの場合周波数エクステンダーを備えた一般的なテストセットで提供できる以上の追加の駆動電力が必要となります。例えば、テスト対象の E-バンド アンプチップの利得が 15dB、 $P1dB$ が +25dBm の場合、出力電力が 0dBm の一般的な周波数拡張テストセットでは、DUT を飽和させるまで駆動することができません。この場合、追加の増幅器を使用してソースのダイナミックレンジを拡張することができます。次の例は、Keysight の N5293AX03 周波数エクステンダーと Mini-Circuits **ZVA-71863HP+** を使用した場合に達成できるソースパワーの拡張特性を示しています。

まず、アナライザーを完全に校正し、ポート 1 をポート 2 に接続し、「B」受信機での電力をプロットすることによって、利用可能なソースパワーを記録しました。図 2 に示すように、この構成では 71~86GHz の範囲で約 +2dBm のソース電力が利用可能でした。

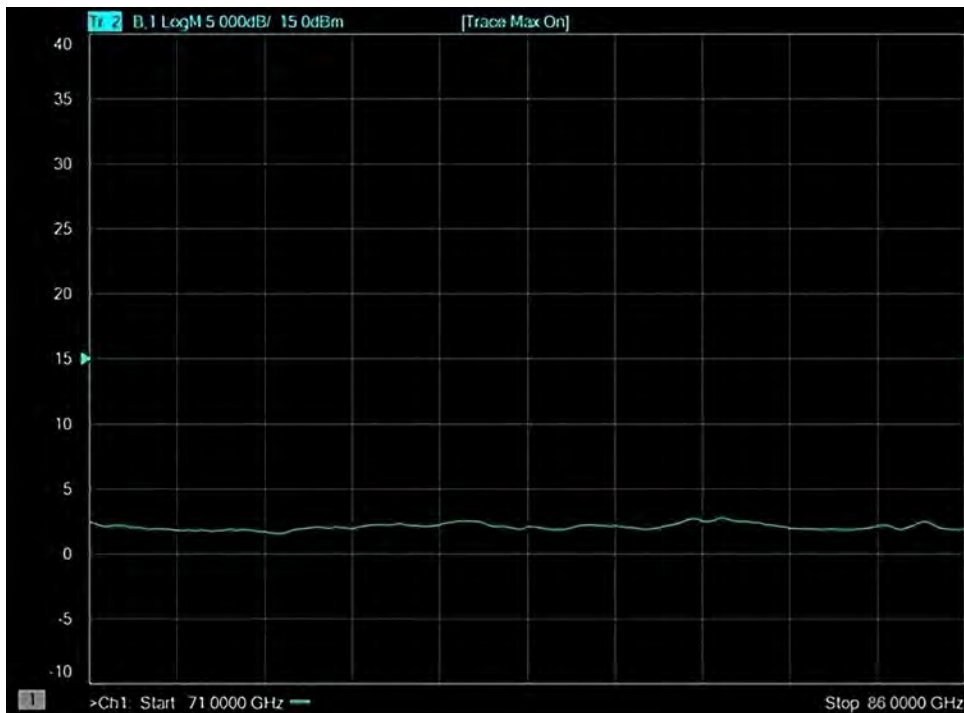


図 2: N5293AX03 周波数エクステンダーによる、71~86GHz 帯域の+2dBm 付近の送信出力

次に、ZVA-71863HP+ アンプをポート 1 に追加し、温度を安定させました。同様の測定を繰り返し、アンプ出力で、ピークで +25 dBm のソース電力が得られることがわかりました。テストセットの簡単なブロック図を図 3 に示し、アンプからの出力電力の測定プロットを図 4 に示します。

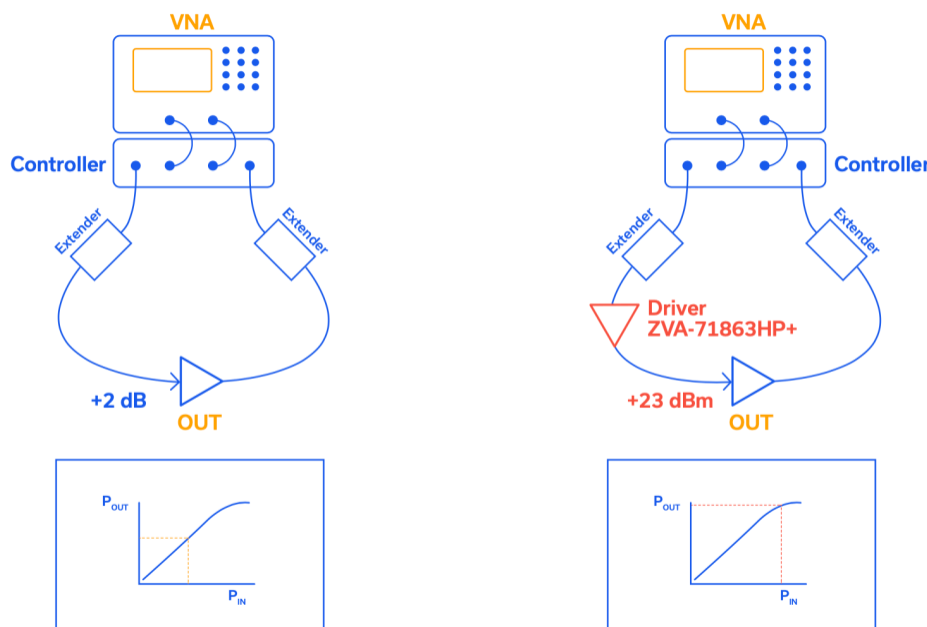


図 3: E-バンド テストセットアップでテスト中のアンプチップを示す簡単な回路図。
VNA 周波数エクステンダーからの出力パワーは、DUT を圧縮駆動するには不十分である(左)。
ZVA-71863HP+をエクステンダーのドライバーアンプとして追加することで、この不足を克服できる(右)。

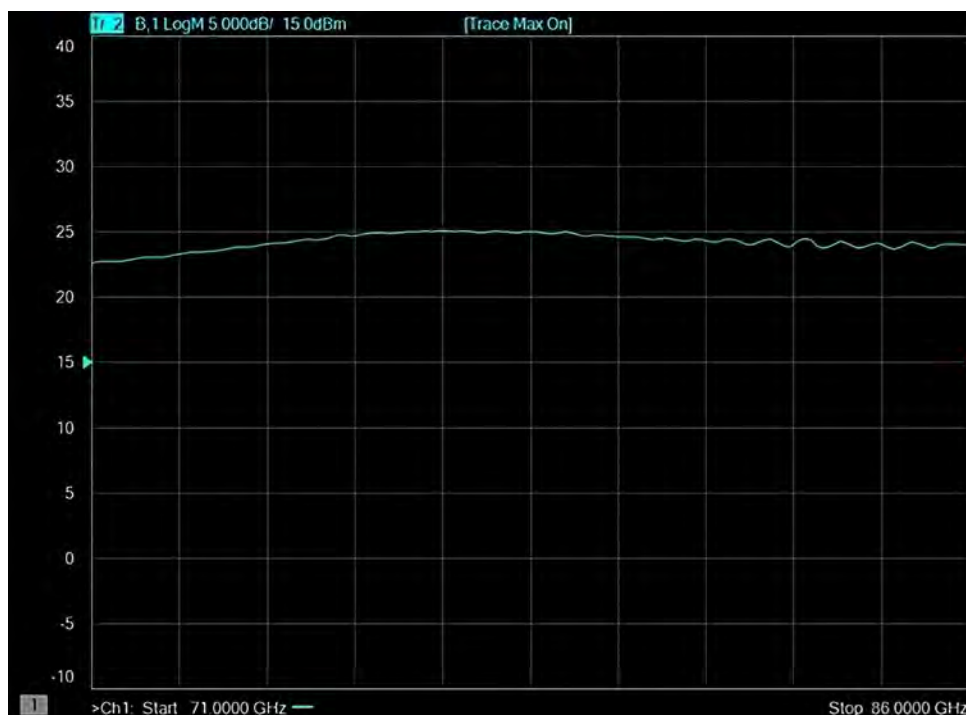


図 4: 周波数エクステンダーのポート 1 に ZVA-71863HP+アンプを追加した場合の出力電力のスweep波形、対象帯域で+25dBm 以上。

より高いローカルパワーを実現することも有用ですが、71～86GHz の全帯域にわたって一定の出力パワーを実現するために、この構成でソースパワーの校正を実行することもできます。この場合、図 5 に示すように、出力パワーは+23dBm(対象帯域全体にわたるアンプの達成可能な最小出力パワー)に平準化されました。

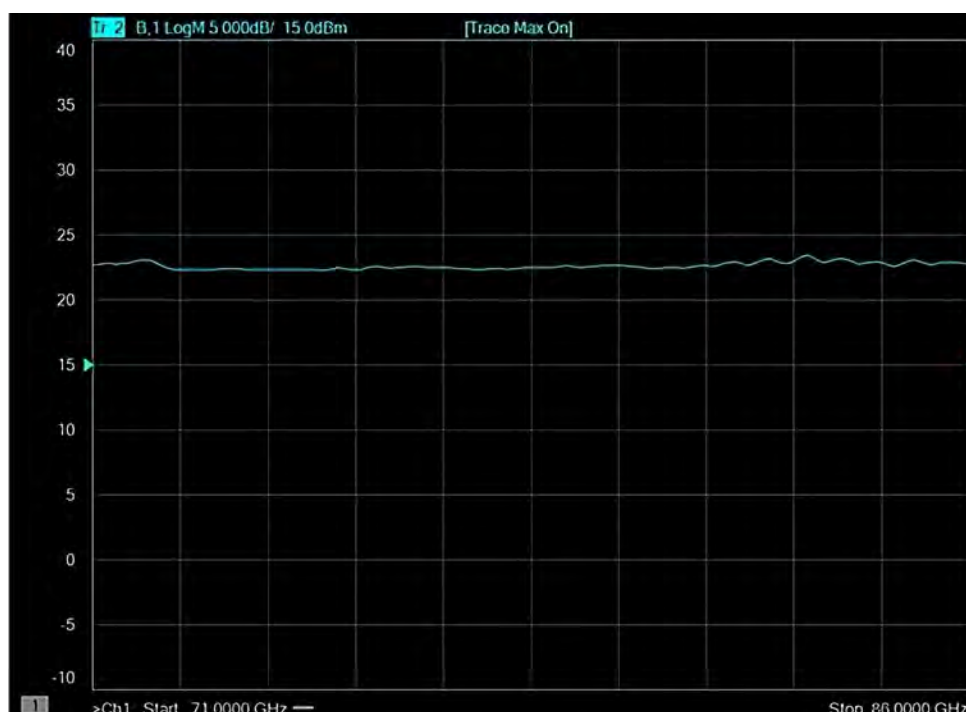


図 5: 周波数エクステンダーポート 1 の ZVA-71863HP+アンプの出力パワーを、対象帯域全体で+23dBm のフラットレスポンスになるように校正。

このため、71～86GHz のソースから最大+23dBm の出力電力で DUT をテストできるようになりました。先のアンプチップの例では、これは 15dB の利得と+25dBm の P1dB を持つ DUT を飽和するまで駆動するのに十分なソース電力を提供します。

受信感度を向上させるローノイズ プリアンプ

非常に低レベルの信号を受信して測定する場合、プリアンプを使用して測定システムの受信感度を高めるのが一般的です。この場合、ローノイズアンプは受信チェーンの DUT の後に配置され、システムへのノイズの追加を最小限に抑えながら効果的に信号を増幅します。

例えば、Keysight の N5293AX03 周波数エクステンダーのノイズフロアは、-112 dBm(代表値)と公表されています。非常に低いレベルの信号を-120 dBm で受信すると、システムのノイズフロアに埋もれてしまい、測定が不可能になります。しかしながら、プリアンプに Mini-Circuits **ZVA-71863LNX+**アンプを使用すれば、低レベルの信号が増幅され、正確に識別できるようになります。次の例は、この受信感度の向上を示しています。

まず、アナライザーを完全に校正し、ソースの出力に-120dBm の単一トーンを出力しました。これは、75 GHz で測定可能な -60dBm トーンを生成し、ソースの後に校正済みの 60dB 減衰器を追加することで実現しました。スペクトラム アナライザーの測定結果 (図 6) にはトーンが表示されません。これは、トーンが測定システムのノイズフロアを下回っているためです。ノイズフロアが公表されている -112 dBm の代表値に非常に近いことに注意してください。

ZVA-71863LNX+ E-Band Low Noise Amplifier



主な特長:

- 71～86GHz
- 37 dB gain
- ± 1.5 dB gain flatness
- 4.5 dB noise figure

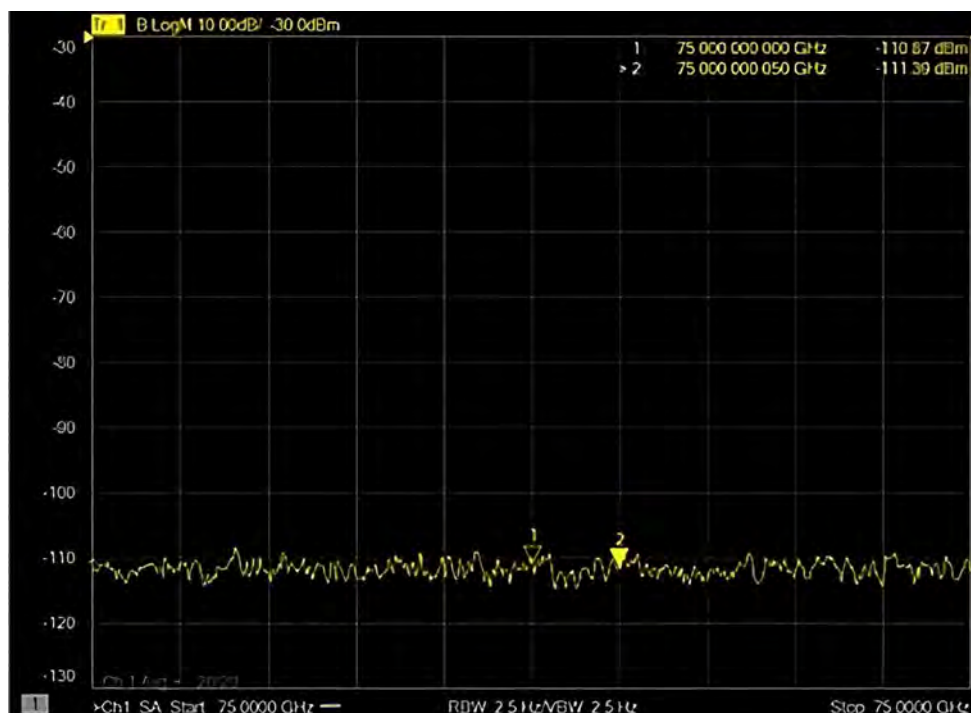


図 6: アナライザーとエクステンダーソース出力からのシングル-120dBm トーンの測定プロット。
トーンはシステムのノイズフロア以下に隠れている。

次に、Mini-Circuits ZVA-71863LX+をレシーバーポートに追加しました。これにより、アンプの利得分だけ信号が増幅されます(この場合、約 35dB@75GHz)。同じ-120dBm の入力信号をソースで生成しました。レシーバーでの測定結果は、約-85dBm のパワーレベルでトーンをはっきりと示しています(-120dBm 入力+35dB ゲイン=-85dBm)。測定器のノイズフロアは変化していないことに注意してください。

$$-174 \frac{\text{dBm}}{\text{Hz}} + 10 \log(\text{RBW}[\text{Hz}]) + \text{GAIN}[\text{dB}] + \text{NF}[\text{dB}]$$

この式であらわされるノイズレベルは、テストセットのノイズフロア以下です。

測定帯域($10 \log \text{[(RBW[Hz])]}$)のアンプの利得と雑音指数を加えても、受信機の感度に顕著な影響はありません。雑音指数とプリアンプで加える利得の量との間には明確なトレードオフがあります。ハイゲインの信号増幅を加えるためには(したがって低レベルの信号を分解するためには)、雑音指数を可能な限り低く保つことが重要です。この例で使用した測定セットアップの簡単なブロック図を図 7 に、測定結果のプロットを図 8 に示します。

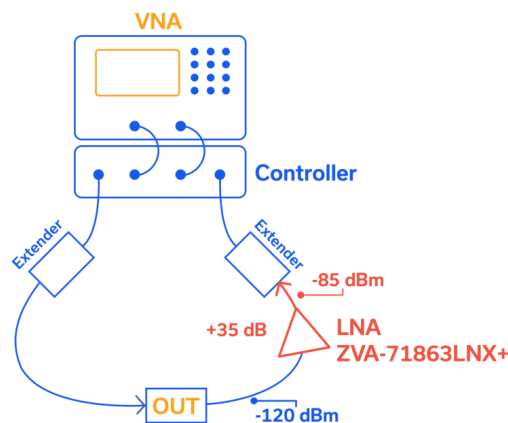


図 7: ZVA-71863LNX+をソース出力(OUT)とレシーバー入力間の LNA として使用し、入力信号を VNA の測定可能なダイナミックレンジにブーストする E-バンド測定セットアップの簡単な概略図。

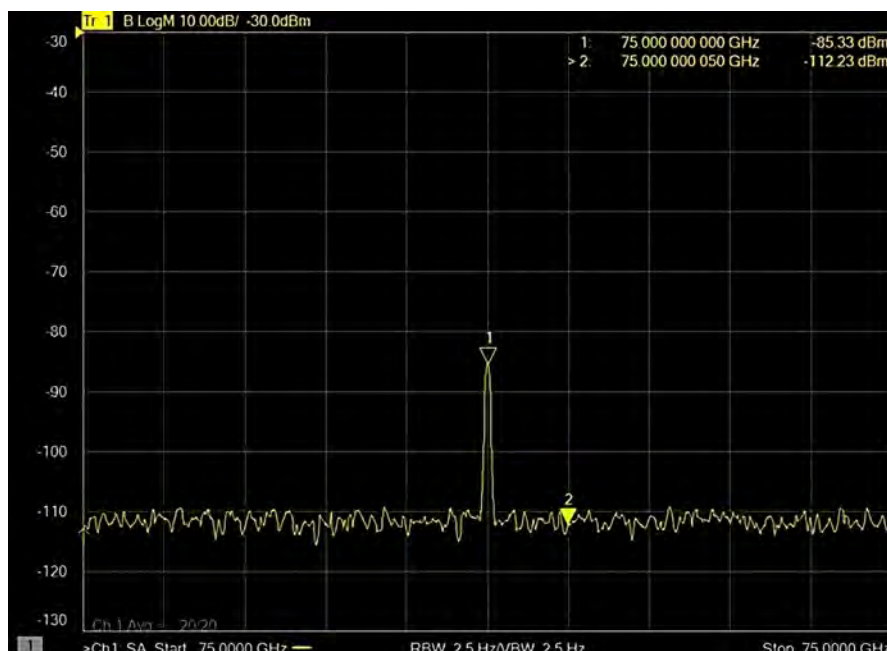


図 8: 受信機のプリアンプとして、ZVA-71863LNX+を使用して測定した-120 dBm のトーン。信号は+85 dBm 付近ではっきりと現れ、システムのノイズフロアは影響を受けていない。

そのため、ZVA-71863LNX+をプリアンプとして追加することで、システム全体の雑音指数を劣化させることなく、システムのノイズフロアよりかなり低い入力信号を効果的に測定することができます。このモデルは、 $\pm 1.75\text{dB}$ のフラットネスを持つ高利得(37dB typ.)と低雑音指数(4.5dB typ.)のユニークな組み合わせを実現しており、今回デモしたような低レベルのE-バンド信号の広帯域測定に最適です。

汎用性、使いやすさ、在庫の豊富さ

この記事で説明した使用例は、周波数スペクトラムにかかわるさまざまなテストアプリケーションにおける業界の常識です。E-バンド テスト特有の課題は、周波数エクステンダー モジュールを VNA に接続することの影響、ミリ波信号の損失特性、およびそのようなアプリケーションをサポートできるアンプの有用性から生じます。Mini-Circuits は、ベンチレベルのコンポーネント テストから生産環境での高スループット チップセット テストまで、E-バンド テスト アプリケーションに求められるパフォーマンスをターゲットとして、ZVA-71863HP+ 中出力アンプと ZVA-71863LNX+ 低ノイズ アンプを開発しました。本稿執筆時点では、これらは Mini-Circuits の 95GHz までのコネクタ付きアンプおよびその他のコンポーネントのポートフォリオが拡大している中の 2 つの例に過ぎません。

Mini-Circuits の E-バンド アンプは、単一電源電圧、シーケンシング不要、誤った取り扱いによる損傷を防ぐ広範な内蔵 DC 保護回路など、使いやすさを追求した設計となっています。すべてのモデルは在庫をもちますが、多くのサプライヤーはこれらの製品の生産コストが高いため在庫を持ちません。よって、Mini-Circuits の E-バンド アンプを使用すれば生産納期までに費やす数週間を節約することができます。

以下の表は、Mini-Circuits の V-バンドおよび E-バンド テストアプリケーション用アンプの現在のラインナップをまとめたものです。Ku 帯から Ka 帯の周波数をカバーし、最大出力 1W の高周波アンプ モデルも在庫がありますが、本稿の範囲外であるため掲載していません。導波管インターフェイスを備え、110GHz までをカバーするデザインも、無線試験をサポートするために後期開発段階にあります。お客様のご要望にお応えするため、開発パイプラインを継続的に見直しています。当社のカタログ、開発中のモデル、またはお客様のテストアプリケーションに対する特定の要件についてご質問がある場合は、当社のエンジニアにご相談ください。

V – E-バンドコネクタ付きアンプの在庫

Model Number	Freq. Range (MHz)	Gain (dB)	NF (dB)	P1dB (dBm)	OIP3 (dBm)	V	I (mA)	Conn. Type	Opt.
ZVA-50953G(X)+	50000–95000	28	-	17	-	10	370	1.0mm	HS
ZVA-50953X+	45000–95000	17	-	14	-	10	140	1.0mm	-
ZVA-71863HP+	71000–86000	37	-	22	-	10	490	1.0mm	HS
ZVA-71863LNX+	71000–86000	37	4.5	13	-	10	180	1.0mm	-
ZVA-5803X+	500–80000	17	5	10	23	10	130	1.0mm	-
ZVA-35703+	35000–71000	17.5	-	19.5	28	15	210	1.85mm	HS

HS = 放熱器 取付可能

参考資料

1. “Mobile Data Traffic Forecast.” *Ericsson Mobility Report*, Telefonaktiebolaget LM Ericsson, June 2023, www.ericsson.com/en/reports-and-papers/mobility-report/dataforecasts/mobile-traffic-forecast.

ご連絡

Mini-Circuits Japan 株式会社

〒222-0033

神奈川県横浜市港北区新横浜 3-6-12

日総第 12 ビル 6 階

電話 : 045-548-5058

Email: kit.cox@minicircuits.com

Web: minicircuits.co.jp

重要なお知らせ

本書は Mini-Circuits に帰属し、著作権、商標、およびその他の知的財産法によって保護されています。

ここに記載された情報は、Mini-Circuits がお客様への便宜を図るために提供するものであり、Mini-Circuits の部品の購入を促進し、それに付随する目的にのみ使用することができます。Mini-Circuits の書面による事前の許可なく、本書を複製、修正、配布、出版、電子データベースへの保存、送信、および本書に含まれる情報をいかなる形式または手段によっても利用することはできません。

本書は、予告なく変更、修飾、変化、調整、修正されることがあり、誤り、省略、不正確さ、間違い、欠陥が含まれることがあります。Mini-Circuits は、上記のいずれについても責任を負わず、またそのことを理由に責任を負うことはありません。従って、本書はガイドラインとしてのみ使用されるものとします。

商標

本書内で引用されているすべての商標は、各所有者に帰属するものです。Mini-Circuits および Mini-Circuits 製品は、上記の参照商標の所有者と提携しておらず、承認または協賛をしていません。

Mini-Circuits および Mini-Circuits ロゴは、Scientific Components Corporation の登録商標です。



Mini-Circuits®