

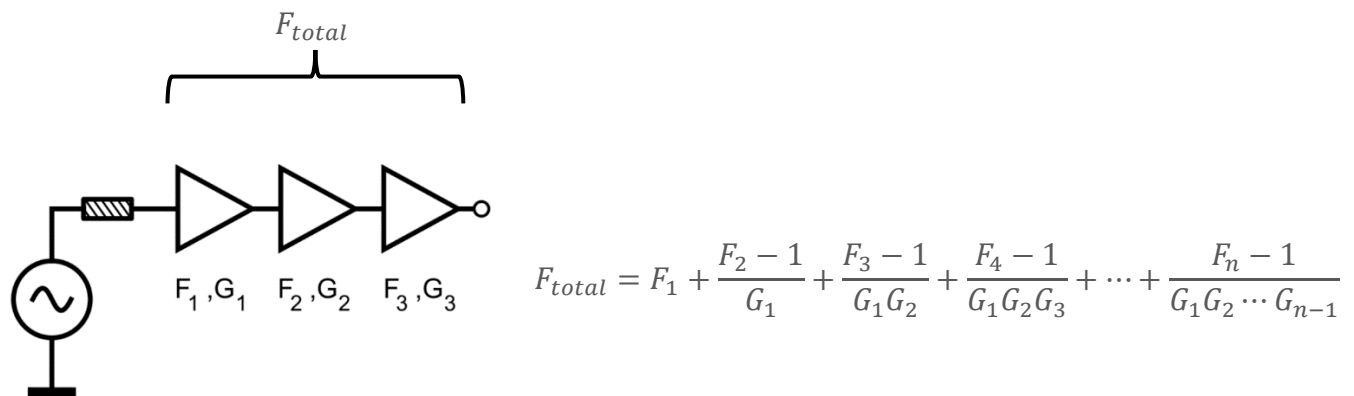
受信機フロントエンドにおける LNA の選択

Gary Cox, Field Applications Engineer, Mini-Circuits Japan

背景: LNA が重要な理由

RF またはマイクロ波受信機で理想的な性能を得るためには、Mini-Circuits では 3dB 以下の雑音指数(NF)を持つ増幅器として定義している低雑音増幅器(LNA)を、チェーンのフロントエンドで使用する必要があります。この単一のコンポーネントは信号チェーンの後段部分に大きな影響を与えるため、LNA の選択は非常に重要です。Mini-Circuits はこのプロセスにおいてお客様をサポートする準備が整っていますので、その内容を見てみましょう。

LNA の重要性を理解するために、受信機のフロントエンドを構成する一連のカスケード・アンプを考えてみましょう。チェーン全体の雑音指数を計算するには、図 1 に示すように、個々のアンプのゲインと雑音指数を取り、Frii の雑音に関する公式を適用します。



ここで、F は雑音指数、G はゲイン

図 1: カスケード受信機信号チェーンにおいて雑音指数を求める Frii の式.

最初に加算される項 (F_1) は、初段アンプの雑音指数が組み込まれた唯一の項、分母が最も小さい(つまり 1)項であることに注意してください。一方、後段アンプの雑音指数が含まれた各項の母は必ず前の項の分母より大きくなります(すべてのアンプが正のゲインを持つと仮定

すると)。したがって、他の条件がすべて同じであれば、後続の各項の値は分母によってますます小さくなるため、最初のアンプがシステム全体の雑音係数を増加させる最大の要因になっていることは明らかです。

数学的にではなく直感的に理解すると、最初のアンプで発生するノイズは、後続の各アンプによっても増幅されます。同時に、最初のアンプのゲインが高ければ高いほど、最初のアンプの出力の信号対雑音比(SNR)を大きくすることができます(後続のアンプの雑音寄与に対してより大きな「余裕」を与えることができます)。言い換えれば、初段のアンプの出力が、後続のすべてのアンプ動作のベースラインあるいは「出発点」になるわけです。したがって、最初の受信機が LNA であるべき理由は理にかなっており、設計者が LNA を選択する際に、雑音指数と利得性能の理想的な組み合わせを見つけるのに非常に多くの時間を費やす理由もそこにあります。さらに、DC 消費電力、1dB 圧縮点の出力電力、動作帯域を超える出力の IP3 など、他のパラメータに対する要求も、選択プロセスをさらに複雑にする可能性があります。

LNA における信号と雑音の相互作用について

どんなに雑音指数が低くても、LNA はそこに入ってくる信号の SNR を下げることはできません(つまり、奇跡を起こすことはできません)。LNA は他のアンプと同様に、入力される信号と入力されるノイズのパワーを同じだけ増加させます(アンプはこの 2 つの違いを「見分ける」ことができないため)。これは、LNA の雑音指数として表されます(雑音指数とは、単純にノイズ量(図 1 では F_1)をデシベルで表したものです)。

図 2 は、この LNA による SNR の低下を説明したものです。図 2 の左側は、LNA の入力信号と熱雑音を示しています。LNA は、入力信号のパワーと入力の熱雑音を同じだけ増加させます。しかし、LNA はそれ自身でも熱雑音も発生しており、これが雑音指数となります。図 2 の右側は、出力結果を示しています。

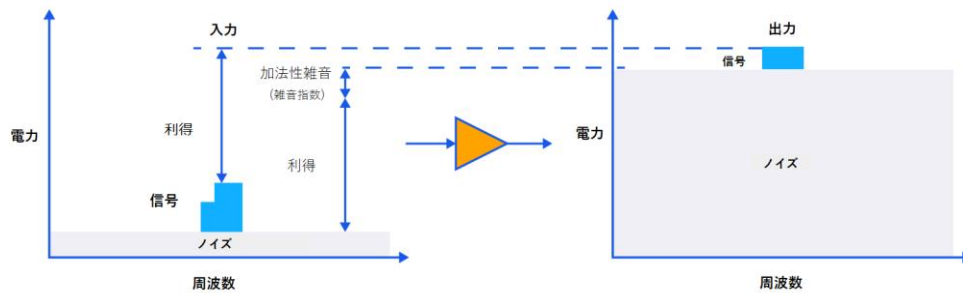


図2: 入力信号とLNA が関係する雑音分

要件に適した LNA の選択

LNA の要件で最も重要なものは、利得(G)、雑音指数(NF)、サイズとコストです。その他、3次相互変調歪(IP3)、DC 消費電力、1dB 圧縮点の出力電力(P1dB)なども一般的な要件になります。理想的な世界では、LNA はこれらすべてのパラメータを完璧に組み合わせて提供します。しかし、現実の世界はまったく同じではなく、LNA のパラメータ間には、必要なトレードオフが存在します。私たちは、受信機設計者がこれらのトレードオフを考慮し、要求を満たすための手助けをします。

アンプ性能におけるパラメータ間のトレードオフは、複雑な網の目のように絡み合っています。

図3は、LNA に焦点を当てた、非常に単純化された表です。

↔	
サイズ (より小さく)	電力供給 (より大きく)
雑音指数 (より低く)	安定性 (より良く)
	VSWR (より低く)
	ゲイン (より高く)
	直線性 (より良く)
直線性 (より良く)	帯域幅 (より広く)

消費電力 (より低く)	直線性 (より良く)
性能 (より高く)	コスト (より低く)

図 3: アンプパラメータのトレードオフ

例えば、スペースが限られている場合、設計者はハイパワーが入力できる大型のコネクタ式 LNA ではなく、MMIC LNA のコンパクトな形状を選択することが最善であると考えられるかもしれません。また、1,000 個の要素がフェーズドアレイ・レーダー受信機を設計するとします。この場合、1,000 個の LNA が必要になるため、選択したモデルの DC 消費電力は、システム全体のパワーバジェットにおいては 1,000 倍となります。このため、直線性や P_{1dB} などの他のパラメータを犠牲にして、消費電力の低いモデルを選択するという判断をするかもしれません。

設計者はしばしば、帯域幅と性能のトレードオフに直面しますが、LNA も例外ではありません。LNA の設計には、広帯域のものと特定の帯域に最適化されたものがありますが、どちらのアプローチにも利点と欠点があります。帯域に最適化された LNA 設計は、通常、広帯域設計よりも低い雑音指数と高い直線性を達成することができます。また、狭帯域設計では、一般的に消費電力が低くなります。このような狭帯域 LNA は、L、C、Ku、Ka 帯などの特定の帯域で受信機を設計する場合には適していますが、例えば、単一の広帯域 LNA ではるかに広い帯域をカバーする必要があるソフトウェア無線 (SDR) アプリケーションではうまくいかないかもしれません。

Mini-Circuits の LNA

Mini-Circuits では、特定のアプリケーション帯域向けの設計や、優れたオールラウンド性能を持つ広帯域モデルなど、業界で最も幅広い選択肢を持つ LNA を提供しています。

PMA2-33LN+ LNA は、狭帯域のアプリケーションで使用できる LNA の好例です。0.9~3 GHz の周波数帯域で NF は 1 dB 以下、1.5 GHz で最小雑音指数 0.36 dB を達成しています。

す。この帯域幅における P1dB のティピカル値は 17dBm、OIP3 は 30~39dBm、DC 消費電力は約 170mW です。図 4 に、本品のチューニング設計をした利得特性を示します。

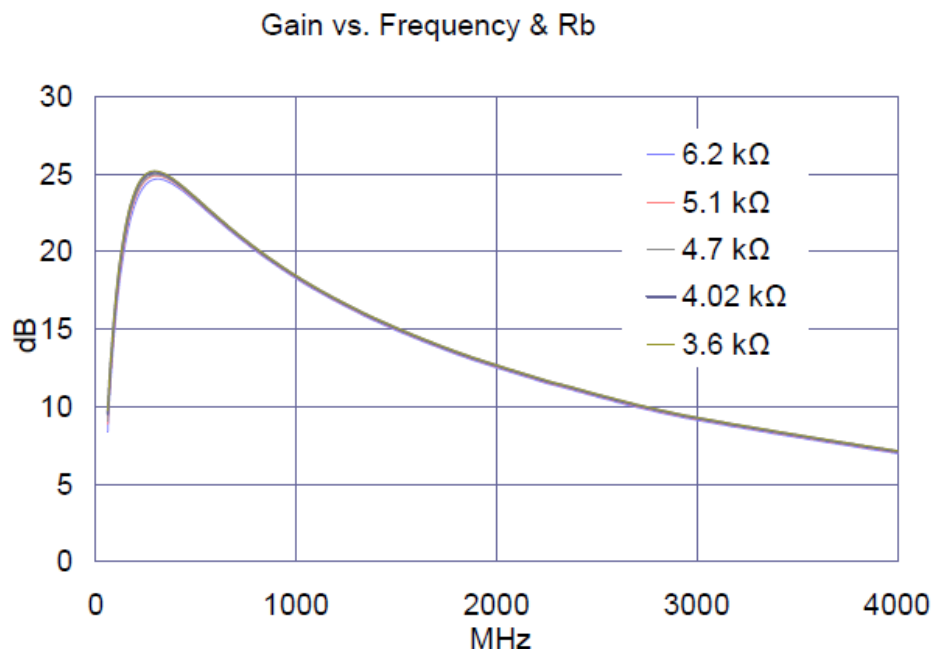


図 4: Mini-Circuits PMA2-33LN+ LNA の利得対周波数特性

PMA3-83LN+は、広帯域 LNA の好例です。0.5~8 GHz の周波数帯で 1.5 dB の雑音指数、2 GHz で 1.3 dB の雑音指数と、この周波数帯では例外的ともいえる数字を達成しています。この帯域幅における P1dB は 18-20dBm、OIP3 は 28-34dBm で、DC 消費電力は 300mW です。

最後に、広帯域 LNA の最近の設計例として、極めて広い周波数範囲をカバーしながら、優れた RF 性能を実現するために設計された弊社の PMA3-453+を紹介します。このモデルの雑音指数は、10~45 GHz の周波数帯で 1.6~5.2 dB であり、20 GHz で最小 1.6 dB の雑音指数を達成しました。この帯域幅における P1dB のティピカル値は 8.5~12.7dBm で、OIP3 は 18.6~23.4dBm の間に入ります。DC 消費電力は 475mW で、この製品の広帯域化より消費電力がやや高くなっています。

受信機において最適な LNA を選択する場合には、これらのパラメータの相関パターンを念頭に置いておくと、設計に役立ちます。

まとめ

正しい LNA を選択するということは、必ずしも容易なことではありません。システム設計者は、システムの用途、電氣的要件、機械的要件、コストなど、多くのことを考慮しなければなりません。Mini-Circuits の膨大な LNA 製品ポートフォリオの中で、[今日の市場で最も幅広い選択肢を設計者に提供](#)し、これらのプロセスにおける経験をいつでも提供できる準備ができています。お客様の次のプロジェクトで LNA を選択する際にサポートが必要な場合は、当社のアプリケーション部門 (apps@minicircuits.com) までお気軽にお問い合わせください。喜んでお手伝いさせていただきます。