

第6章 電力を100%受け取って増幅し、次の回路に出力する

高周波小信号用アンプのシミュレーション

市川 裕一
Yuichi Ichikawa

アンテナで捉えた高周波信号はととても微弱です。受信回路はこの微弱な信号をアンプで増幅します。本章では、受信部で高周波信号を増幅する低雑音アンプ(LNA)の作り方を紹介します。

高周波アンプに求められること

● どのくらい増幅する必要があるか？

図1に示すのは、典型的な高周波システムのブロック図です。

身近なキーレス・エントリー・システムを例にとると、車に取り付けられている受信ユニットは -110 dBm前後の非常に微弱な信号を受けています。 -110 dBmと聞いてもピンと来ないかもしれませんが、W表示に直すと 10^{-13} W(0.1 nW)という非常に小さな電力です。受信回路の方式にもよりますが、シングル・コンバージョンと呼ばれるミキサでIF信号に周波数変換する方式では、RFアンプで約30 dB程度増幅してミキサへと信号を渡します。

送信回路は、遠く離れた場所にある受信器まで電力が届くように、アンプで電力増幅した高周波信号をアンテナに供給します。皆さんが日常的に使っている携

帯電話は、数百mから数km離れた基地局と通信を行うために、あの小さなケースの中で1 W近くまで高周波信号を増幅してアンテナから送り出しています。

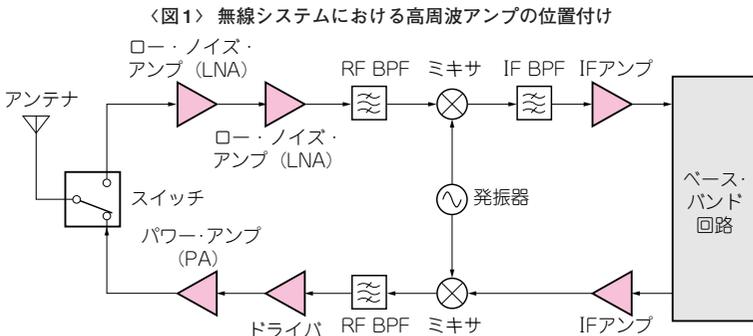
● 入出力がマッチングしていること

高周波信号の電力は、効率良く増幅する必要があります。

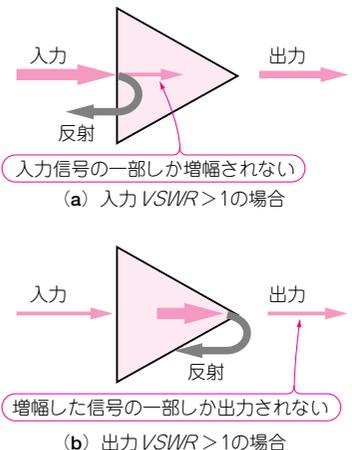
効率良く増幅するとは、**入力された信号を余すことなく取り込み、増幅した信号を余すことなく負荷へ送り出す**ことです。言い換えると、**反射なく信号を取り込んで増幅し、反射なく信号を送り出す**ことです。

そのためにはまず、**入出力のインピーダンス・マッチングが重要**です。入力された信号を反射させずにすべて取り込み、増幅した信号を反射させずに次の回路に伝える性能が求められます。

図2に示すように、入出力がマッチングしていない



〈図2〉 高周波アンプに求められる性能…入力信号をすべて取り込み、増幅してすべて負荷へ送り出す



Keywords

LNA, RFアンプ, P_{1dB} , NF, 雑音指数, HEMT, ディプリーション, エンハンスメント, Sパラメータ, ノイズ・パラメータ, バイアス回路, 異常発振, V_{SWR} , リターン・ロス.

と反射が生じて、アンプのゲインが低下します。また、 P_{1dB} (後述) に代表される最大出力レベルも低下します。

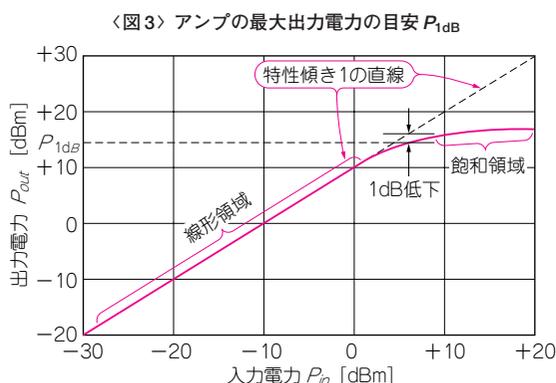
● **ゲインが大きく反射の小さい増幅素子が使われていること**

アンプ用の半導体は、使用する周波数帯でのゲインが大きいことが望まれますが、それだけではありません。半導体単体の反射(S_{11} , S_{22})が小さいことも重要です。単体での反射が小さいと、マッチング回路の設計がとても楽になるからです。

P_{1dB} は、そのアンプの最大出力電力の目安です。図3に示す入出力特性の例のように、アンプに入力する信号レベルが小さい領域では、出力レベルは入力が増加にしたがって、傾き1で上昇していきます。この動作領域を線形領域と呼びます。入力レベルと出力レベルの比が電力ゲインです。例えば、図3のアンプの電力ゲインは10 dBです。

入力レベルを上げていくと、線形領域でのゲインが保たれなくなり、頭打ちになります。この動作領域を飽和領域と呼びます。この領域では信号がひずみ始め、非線形特性を示すようになります。

想定出力レベルよりも実際の出力レベルが1 dB低下するポイント、つまり線形領域のゲインよりも、利得が1 dB低下するポイントの出力レベルが P_{1dB} です。 P_{1dB} を越えると、ゲインが急速に低下して、出力レベルは飽和に達します。



〈図3〉アンプの最大出力電力の目安 P_{1dB}

● **雑音が小さいこと**

アンプが信号を増幅するとき内部で雑音が発生します。

この雑音は、アンテナで受信する微弱な信号よりも十分に小さくないと、増幅する際に信号がノイズに埋もれて壊れてしまいます。図4に示すように、微小信号はいったん雑音に埋もれると、その後いくら増幅しても復元できません。

実際には、受信回路のアンプ、特にアンテナに近いほうのアンプには、LNA (Low Noise Amplifier) と呼ばれる、低雑音のアンプが使われます。エル・エヌ・エーと読みます。

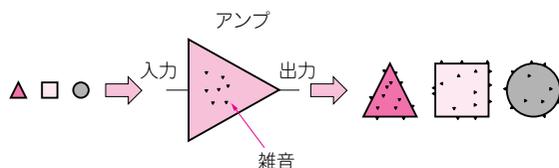
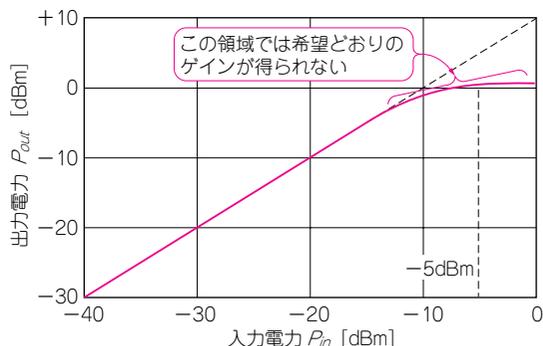
トランジスタなどを選ぶときは、「低雑音増幅」[LNA用]などと記されているもの、またはデータシートの特性欄を見て後述のNFが小さなものを選びます。最近では、半導体の特性が非常に良くなっています。NFは1 dBを越えるとちょっと大きいという印象です。要求仕様にもよりますが、初段のLNAには0.4~0.6 dB@2 GHz程度のHEMTを使用します。

● **最大出力レベルが仕様を十分満足すること**

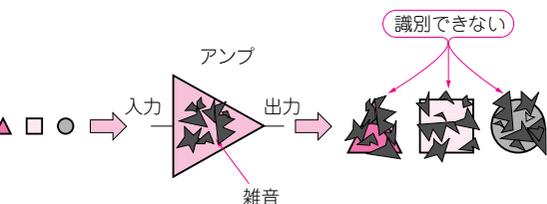
高周波アンプを設計するときは、半導体の最大出力も重要です。

図5に示すように、 P_{1dB} が0 dBm、ゲイン10 dBのアンプに-5 dBmの信号を入力したらアンプは飽和してしまいます。ゲインは5 dB程度になり、希望の特性を得ることができません。入力される信号レベルの範囲内で飽和せず、ひずまない半導体を選ぶ必要が

〈図5〉 $P_{1dB} = 0$ dBm, $G = 10$ dBのアンプに-5 dBmの信号を入力するとひずむ



(a) 発生する雑音の小さいアンプ



(b) 発生する雑音の大きいアンプ