

1 GHz 高感度 フロントエンドの試作

市川 裕一/市川 古都美

携帯電話，無線LAN，GPS，Bluetooth，WiMAX など，1 GHz 以上の超高周波信号を利用したさまざまな携帯型のワイヤレス機器が普及しました。高い周波数を利用すれば，アンテナを小形化でき，携帯性が良くなります。携帯性の良さと移動のしやすさは，どんなワイヤレス機器にも求められます。

ワイヤレス機器の入り口には，アンテナや微弱で周波数の高い信号を増幅する低雑音増幅回路（LNA：Low Noise Amplifier），搬送波を抽出するBPFなど，繊細なアナログ信号を処理する回路（フロントエンド）が組み込まれています（図1）。送信機との距離が大きい場合や，利用者が移動して電波が障害物でさえぎられても，通信が途絶えないようにするためには，受信性能の良好なフロントエンドが必要です。

今回は，携帯電話やカー・ナビゲーションに組み込まれている1 GHz以上の超高周波アナログ回路の一つの設計過程をお見せします。取り上げるのは，GPS衛星の送信信号（1.57542 MHz）をアンテナで受信したあとのアナログ信号処理回路（LNAとBPF）です。

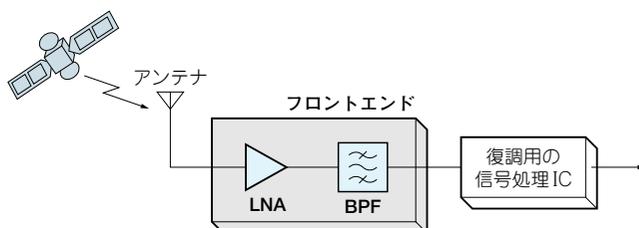


図1 ワイヤレス機器のアンテナの後段には低雑音増幅回路やBPFなどの高周波アナログ回路がある
これをフロントエンドと呼ぶ

低雑音増幅回路の 試作

■ 働き

GPS衛星から送られてくる電波は，とても微弱です。

この信号を安定して受信するためには，アンテナで受信した微弱な信号をアンプで十分に増幅してから復調用のデジタルICに入力する必要があります。

アンプの設計が悪く，アンプ自体から発生する雑音レベルが増幅後の信号レベルよりも大きいと，受信した信号が雑音に埋もれてしまいます。

アンテナで受信した信号はとても微弱で，雑音に埋もれやすいため，雑音の発生が小さいLNAが使われます。LNAで信号を増幅すると，後段に接続されるフィルタやミキサなどで発生する雑音の影響も受けにくくなります。もち

ろん，復調用のデジタルICにも，高い受信感度を実現するためのさまざまな工夫がなされています。

■ 求められる性能

LNAに求められる性能は次の三つです。

- ① 低雑音特性のICやトランジスタを使って低雑音指数を実現すること
- ② ゲインが高いこと
- ③ 入力部のインピーダンス整合が最適であること

● 低雑音

もっとも大切な性能は低雑音です。指標になるのが，増幅回路で一般的に利用されている雑音指数（NF：Noise Figure）です。

雑音指数は，回路を通過した信号のS/Nの悪化量を表します。雑音指数が大きい回路ほど，その内部で発生する雑音が大きいことを意味します。

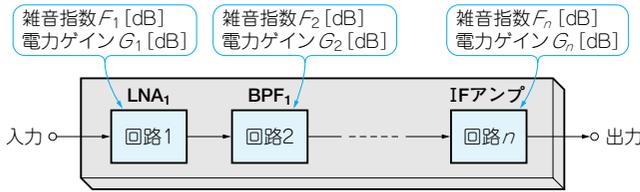


図2 シリーズ接続されたアンプやフィルタの雑音性能は高周波システム全体のS/Nをどのくらい悪化させるのだろうか？

● 大きなゲイン

次に重要なのはゲインです。雑音指数など各種の性能を満足する範囲において、できるだけ大きく設定します。

図2に示すように、複数の回路ブロックがシリーズに接続されたシステム全体の雑音指数は次の手順で求めます。システム全体の雑音指数が低いと言うことは、より低いレベルの信号を受信でき、感度が上がることを意味します。

▶ 雑音指数の計算式

【手順1】 単位を [dB] から真数 [倍] に変換する

$$f_n = 10^{F_n/10} \dots\dots\dots (1)$$

$$g_n = 10^{G_n/10} \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 f, g : 真数表示の雑音指数 [倍], F, G : dB表示の雑音指数 [dB]

【手順2】 手順1で求めた値を次式に代入して f_{total} を求める

$$f_{total} = f_1 + \frac{f_2 - 1}{g_1} + \frac{f_3 - 1}{g_1 g_2} + \dots + \frac{f_{n-1} - 1}{g_1 g_2 g_3 \dots g_{n-1}} \dots (3)$$

【手順3】 真数 [倍] を [dB] に変換する

$$F_{total} = 10 \log_{10} f_{total} \dots\dots\dots (4)$$

▶ 雑音指数の計算例

図3に示す4種類の回路で、LNAの有無とLNAの雑音性能の良し悪しが、回路全体にどのような影響を与えるかを調べます。先ほどの計算式を利用してトータルの雑音指数を求めます。

① LNAなし [図3(a)]

$$F_{total} = 8 \text{ dB} \dots\dots\dots (5)$$

② LNAを追加 [図3(b)]

$$f_2 = 10^{1/10} = 1.259 \text{ 倍}$$

$$g_2 = 10^{10/10} = 10 \text{ 倍}$$

$$f_1 = 10^{8/10} = 6.310 \text{ 倍}$$

$$f_{total} = 1.259 + \frac{6.310 - 1}{10}$$

$$= 1.79 \text{ 倍}$$

$$F_{total} = 10 \log_{10} 1.79 = 2.529 \text{ dB}$$

③ ゲインの大きいLNAを追加 [図3(c)]

$$f_2 = 10^{1/10} = 1.259 \text{ 倍}$$

$$g_2 = 10^{15/10} = 31.623 \text{ 倍}$$

$$f_1 = 10^{8/10} = 6.310 \text{ 倍}$$

$$f_{total} = 1.259 + \frac{6.310 - 1}{31.623}$$

$$= 1.427 \text{ 倍}$$

$$F_{total} = 10 \log_{10} 1.427 = 1.544 \text{ dB}$$

④ 低雑音でゲインの大きいLNAを追加 [図3(d)]

$$f_2 = 10^{0.7/10} = 1.175 \text{ 倍}$$

$$g_2 = 10^{15/10} = 31.623 \text{ 倍}$$

$$f_1 = 10^{8/10} = 6.310 \text{ 倍}$$

$$f_{total} = 1.175 + \frac{6.310 - 1}{31.623}$$

$$= 1.343 \text{ 倍}$$

$$F_{total} = 10 \log_{10} 1.343 = 1.280 \text{ dB}$$

▶ 初段に雑音の小さいLNAを追加すると全体が低雑音化される

①と②, ③の結果から、次のことがわかります。

- LNAを挿入すると全体の雑音指数が大きく改善される
- LNAのゲインが大きいほど、後段の回路の雑音の影響が小さくなる
- LNAの雑音指数が低いほど、

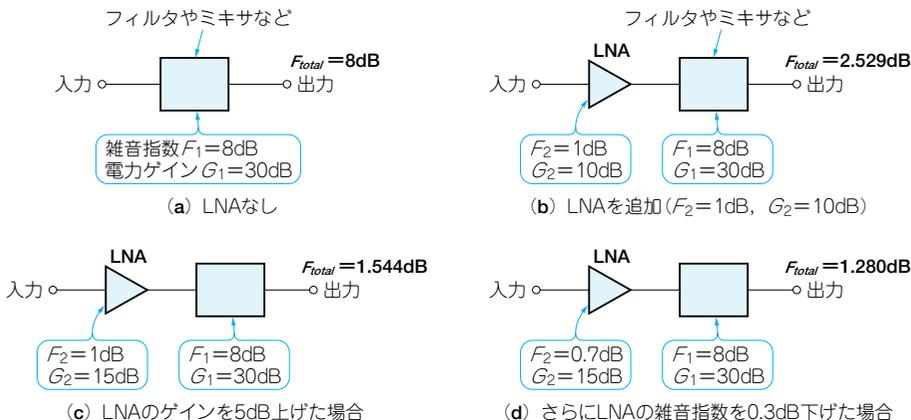


図3 LNAを追加するとS/Nを改善できる
追加するLNAの雑音指数は小さく、ゲインは大きいほどいい