

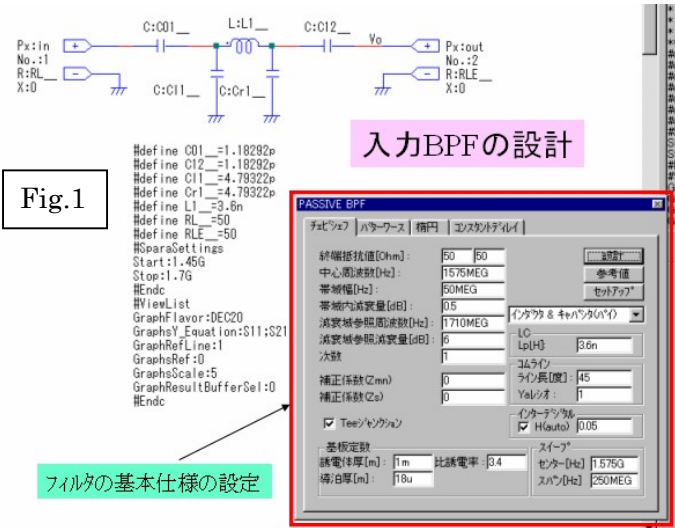
GHz 狭帯域 LNA の効率的な設計・評価と性能の最適化

1. 序 文

GHz 帯の LNA の設計と性能分析について GPS 受信機の LNA を例にとって説明する。LNA はアンテナ受信々号の帯域を制限する簡単な BPF を入力側に設けた FET アンプの前段アンプと、広帯域 IC アンプを使用した終段アンプおよび、両者の段間に挿入され隣接周波数帯の携帯電話等の電磁干渉の影響を除去する高選択度 BPF [誘電体フィルタを適用] で構成される。

最初に入力 BPF と FET アンプの雑音最小整合について、SNAP のデザイン機能を活用して、その設計法を簡単に説明する。次いで前段アンプ全体の雑音特性を最適化し、入力 BPF を中心に回路定数のバラツキに対する周波数選択性の影響を調べると共に、信号源インピーダンス等が変化した場合のアンプの安定性と特性変動について分析する。その後で、段間 BPF に適用する誘電体フィルタについて等価回路を導出し、段間 BPF と広帯域 IC アンプで構成される終段アンプの性能を分析する。最終的には、前段アンプと終段アンプを併せた LNA の総合性能を分析する。

設計ステップを纏めると、前段アンプの基本設計と性能の分析及び最適化を行い、次に終段アンプの設計と性能分析を行って、最終的に LNA 全体の性能分析・評価を行って目標の性能を満足する LNA の設計を達成する。



2. 狭帯域 LNA の前段アンプの設計および評価

2.1 前段 FET アンプの設計とその回路構成

(1) -130dBm 程度の微弱なアンテナ受信信号に対する都市雑音や、車両点火電装雑音に影響を低減するためのπ型1段のBPFをデザイン機能を利用して容易に設計(図1)する。

具体的には、Passive BPFの基本特性を、測位に使用されるPコードを含んだL1の周波数1.575GHz [正確には1575.42MHz]を中心周波数に、3dB帯域幅を50MHzに、135MHz離調した減衰量6dB、通過帯域内ノイズを0.5dBに設定し、設計ボタンをクリックすると、目標と

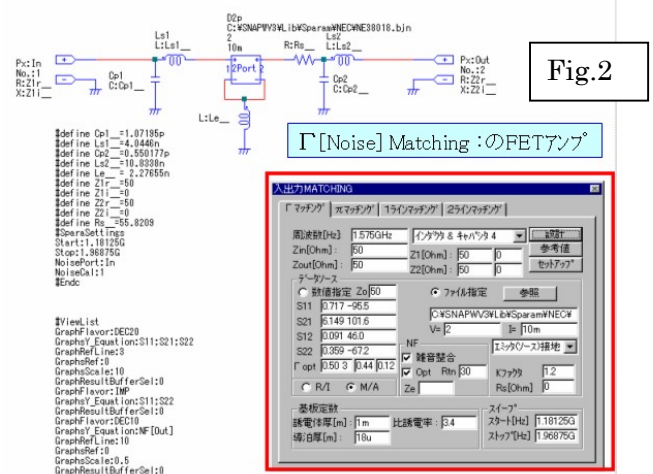
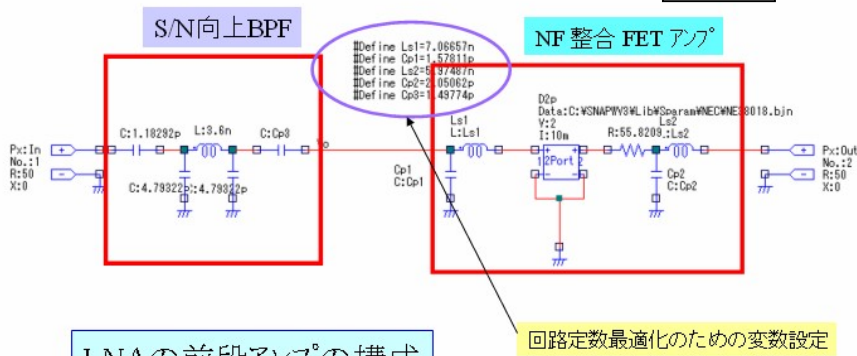


Fig.3

する BPF が得られる。

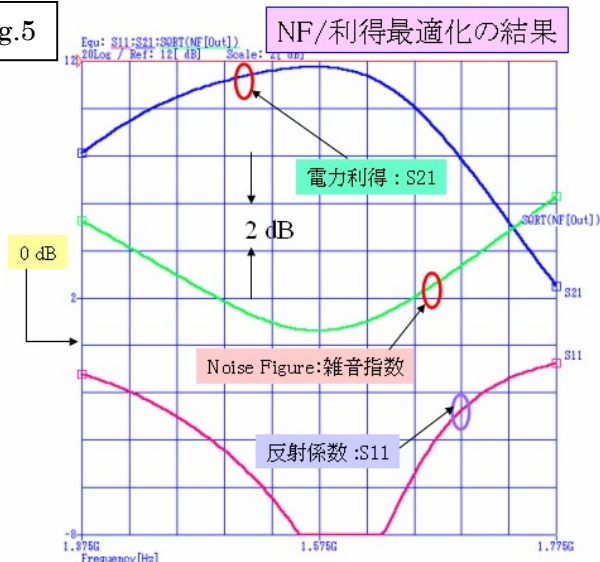
(2) 使用する FET (HEMT_NE38018) の雑音指数を最小にする Γ Matching (雑音整合) をデザイン機能の入出力マッチングから選択し、入出力インピーダンス [信号源インピーダンス/負荷インピーダンス] を規定し、ファイル指定で $\backslash\text{Lib}\backslash\text{Sparam}\backslash\text{NEC}\backslash\text{NE38018}$ を参照先から選定し、周波数 1.575GHz その他の必要パラメータを設計欄に記入(図 2)する。最後に、設計ボタンを押すと中心周波数 $f=1575\text{MHz}$ の NF_{min} のアンプが達成される。



LNAの前段アンプの構成

回路定数最適化のための変数設定

Fig.5



性能最適化の条件

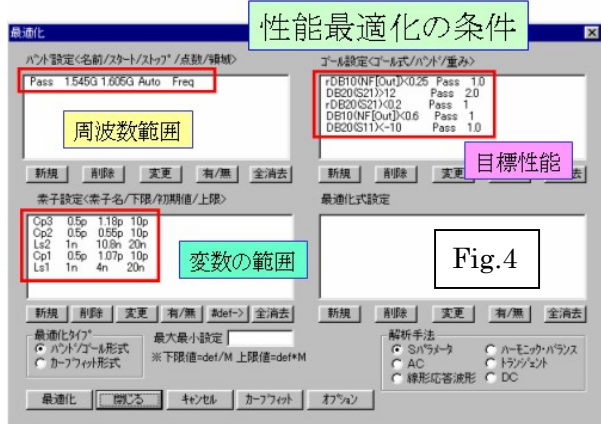


Fig.4

(3) この BPF と FET アンプを組み合わせた前段アンプ (図 3) の NF/利得の両性能を最適化する。最適化機能に目標帯域 [バンド設定]、目標値 [ゴール設定]、回路定数の変数範囲 [素子設定] 等の所要条件 (図 4) を記入し、最適化ボタンを押すと性能最適化の結果 (図 5) が得られる。

2.2 前段アンプ 回路定数のバラツキに対する性能変動の分析

(1) NF/利得を最適化した各部の定数を精度 1% の E96 系列に丸める。そして BPF を含む 6 素子 [その内 2 素子は同一定数] の回路定数を誤差 0% と -1% の 2 通りに変化させたとき、即ち 5 種の定数の変化を $2^5=32$ 通りの組合せで変化させた場合の NF と利得 S21 の変動状況を調べる。次いで各部定数を精度 5% の

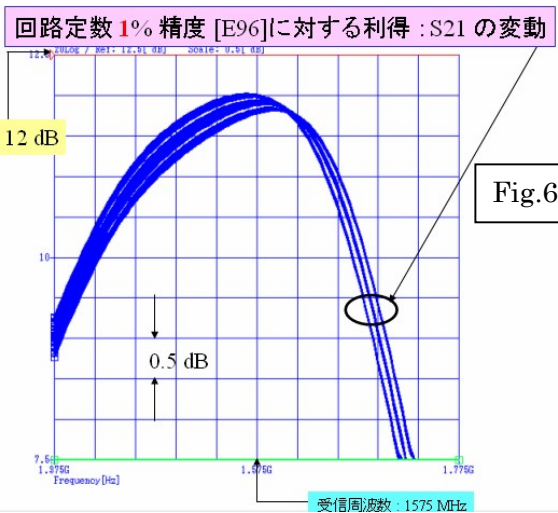
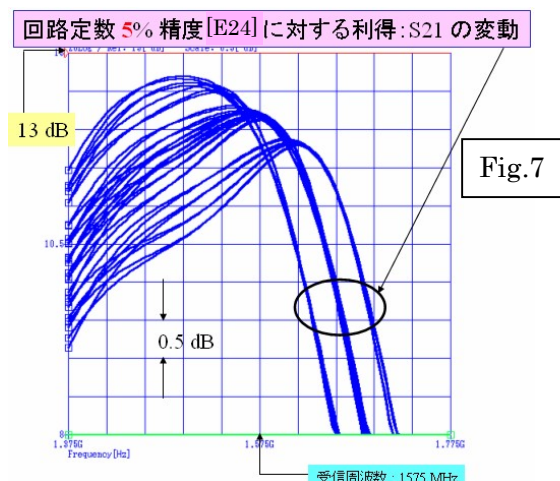


Fig.6

E24 系列に丸め、同様に 6 素子の回路定数を 0%と-5%の二通りの合計 32 通りで変化させた場合の NF と利得 S21 の変動状況を調べる。精度 1%[E96]の回路定数のバラツキと精度 5%[E24]のバラツキを比較してみると、受信周波数 1.575GHz における NF および利得 S21 の変動は精度 5%では大き過ぎて [図 7] 許容できないことが分かった。端的に言うと、入力回路の各素子の精度は、その回路定数のバラツキが 1%以内、即ち E96 系列を適用 [図 6] する必要があることを確認した。



素子のバラツキに対する性能変動の解析

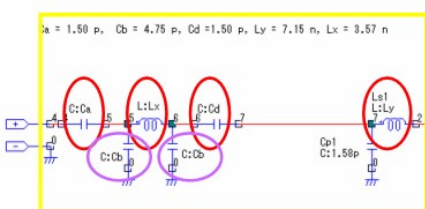
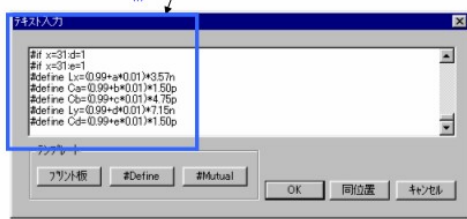


Fig.8

回路定数の変数設定



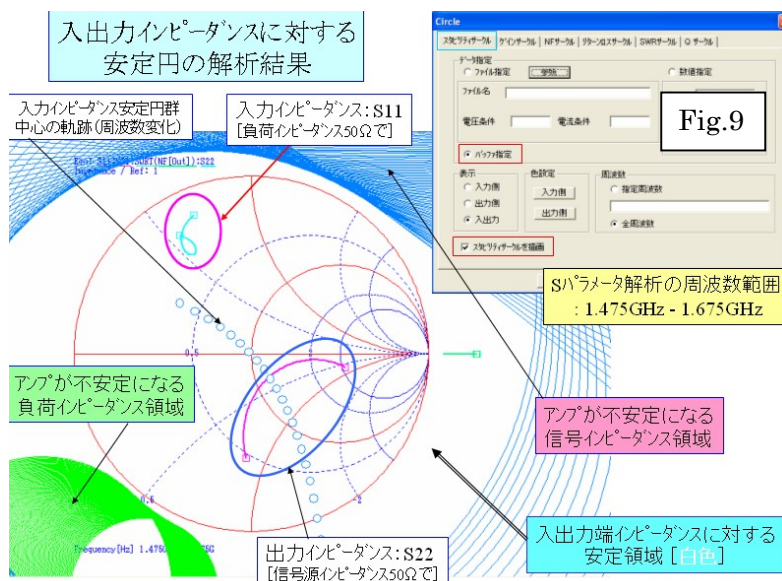
E96 [1%] 誤差に対する定数変化の組合せ条件設定



(2) 前述の 5 種の回路定数を [組合せで 32 通り] 変化させる方法 (図 8) について説明する。先ず 5 種の定数 Ca, Cb, Cd, Lx, Ly を #define で定義し、そこで使用する 5 つの 2 次変数係数 a, b, c, d, e を 3 次変数 x=0~31 を用いて 32 通りの組合せで変化させる。その結果、5 種の定数を組合せ変化させた場合のアンプ性能の変動を調べることができる。

2.3 前段アンプの安定性の確認

(1) 入出力端インピーダンス [信号源インピーダンス/負荷インピーダンス] の変化に対するアンプの安定性を分析する。先ず S パラメータ解析を中心周波数 1.575GHz、スパン周波数 0.4GHz の範囲で行い、入力反射係数 S11 と出力反射係数 S22 を Smith Chart 上に表示する。次いでサークルの設定からスタビリティサークルを選んで所要条件を定め、信号源インピーダンスに対する不安定領域並びに負荷インピーダンスに対する不安定領域と、アンプの入出力インピーダンス S11, S22 の相対



的位置関係を調べる。

図9に示すように、信号源インピーダンスに対して不安定になる領域と負荷インピーダンスに対して不安定となる領域は何れもSmith Chartの外領域にあり、アンプは常に[如何なる信号源インピーダンス/負荷インピーダンスが接続されても]安定に動作することが確認された。なおアンプの入出力インピーダンス S11、S22 は両方とも Smith Chart 内に存在し、アンプの動作が不安定になる領域 [Smith Chart 領域外] と入出力インピーダンス S11、S22 の存在領域は離れているので、アンプは十分安定に動作することが判る。

3. 帯域 LNA の段間 BPF 等価回路の導出

(1) 携帯電話等の隣接帯域の電波干渉を除去するために周波数選択性に優れた誘電体フィルタ [東光の TDF3A (中心周波数 1575MHz での損失 1.5dB 以内、通過帯域 30MHz: 損失偏差 0.5dB 以下、中心周波数から 335MHz 離調した周波数での減衰量 40dB 以上)] を適用する。

Fig.10

Design機能を使用した誘電体BPFの基本等価回路導出

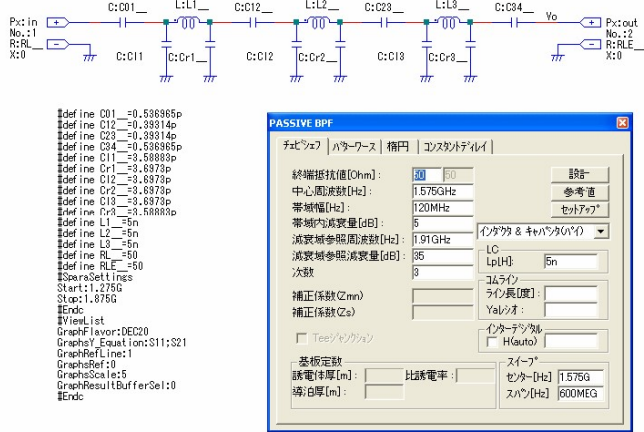
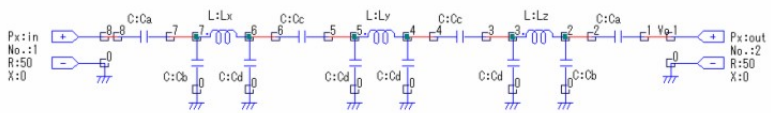
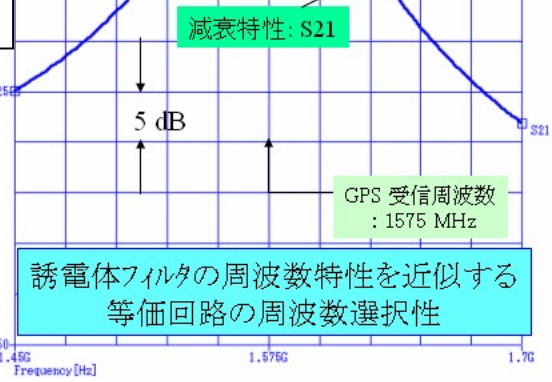


Fig.11

最適化のための
変数設定



誘電体BPF 等価回路の最適化モデル



(2) 段間 BPF を含めた LNA 全体の性能解析を出来るようにするため、3 段の π 型 LC フィルタで構成される BPF の基本等価回路 (図 10) をテザイ機能を使用して導出する。

(3) BPF 基本等価回路の最適化モデル (図 11) を作成し、その最適化条件が誘電体フィルタ TD3A の周波数選択性を近似するように最適化条件を設定する。最適化で得られた周波数選択特性 (図 12) は誘電体フィルタ TD3A の周波数特性に良好に一致することが分かった。

4. LNA 全体回路の設計評価と総合特性の分析

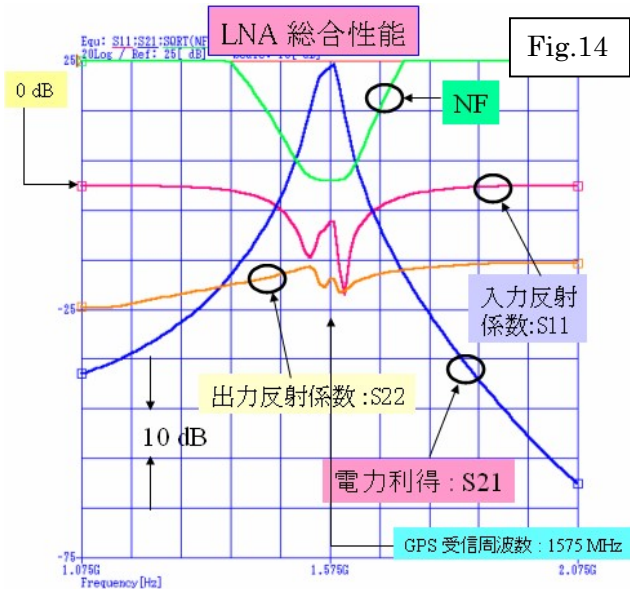
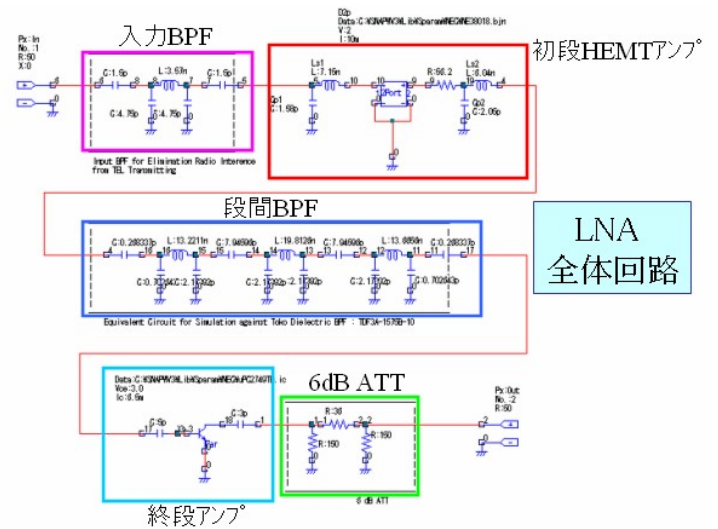
4.1 終段アンプの回路構成

増幅デバイスには NEC の広帯域 IC アンプ uPC2479 [3dB 帯域 : 3GHz、電力利得 : 16dB (f=1.9GHz)、NF: 4dB (f=1.9GHz)] を適用し、LNA に接続される負荷インパダンスの影響を受けないようにするため、IC アンプの出力回路に 6dB ATT 回路を挿入する。

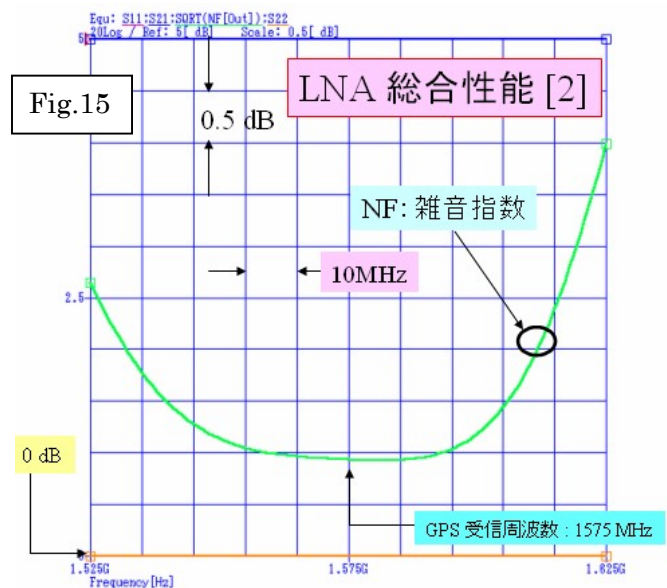
4.2 LNA 全体回路

前述の前段アンプと段間の誘電体 BPF 等価回路、および終段アンプで構成される LNA の全体回路を図 13 に示す。LNA 全体回路の S パラメータ解析を周波数範囲 1GHz に亘って行った結果 [図 14] をみると、電力利得 S22 の周波数選択性は相当シャープになっており、GPS 受信周波数 1.575GHz から約 100MHz 離調すると 30dB 近い減衰を達成しており、隣接帯域の電波干渉を十分に除去・防止できることが分かる。受信周波数における利得は約 30dB に近く、NF は 1dB 以内 [図 15] であり、2 万 km の高度を

Fig.13



周回する GPS 衛星から送信された測位信号が地上に到達するときの、-130dBm 前後の微弱な受信信号を高感度に且つ S/N 良好 [都市雑音 / 車両電気雑音等の影響を除いて] に増幅し、本体受信機 [IF 段] に伝達することができる。



5. 考 察

- (1) 狭帯域 LNA の事例として GPS 受信機のフロントエンドに適用する中心周波数 1.575GHz、3dB 帯域約 20MHz、電力利得 S21 約 30dB そして NF 1.0dB 以内の高感度且つ S/N 良好な LNA の設計・評価と性能の最適化を達成することができた。
- (2) デザイン機能をフルに活用して、初段 FET アンプの雑音整合回路、アンテナと LNA を帯域制限して高効率で結合する低損失入力 BPF さらに、周波数選択性に優れた誘電体 BPF の等価回路を効率よく設計することができた。
- (3) スタビリティサークルの機能を使用して、アンプの入出力端に接続される信号源インピーダンス/負荷インピーダンスの変化に対して、アンプの安定領域を解析することにより、アンプの安定性を端的に調べることができた。
- (4) また、回路部品の定数のバラツキがアンプの性能に及ぼす影響を定量的に解析する方法を紹介し、GPS/LNA に適用するアンプの性能を安定する [製品の歩留まり向上・品質向上] ためには定数の精度が 1% 必要であることを明らかにした。
- (5) SNAP の優れた且つ多彩な機能を上手に利用することによって、LNA を効率的に設計すると共にその性能を高精度に解析評価する、更には生産性を定量的に評価することも可能であることを示した。

—以上—