

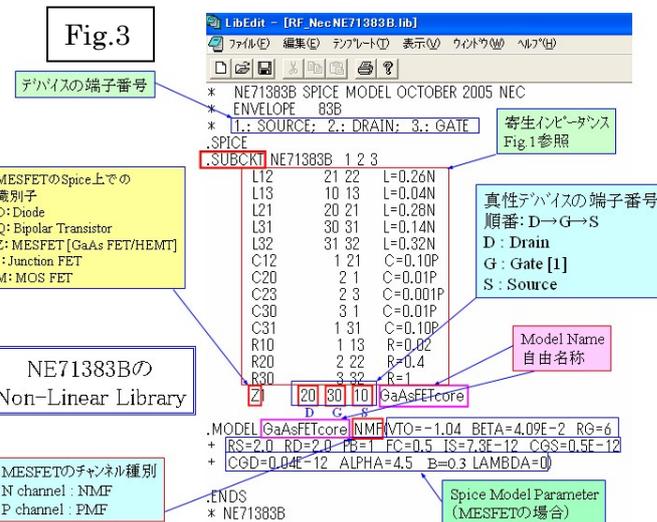
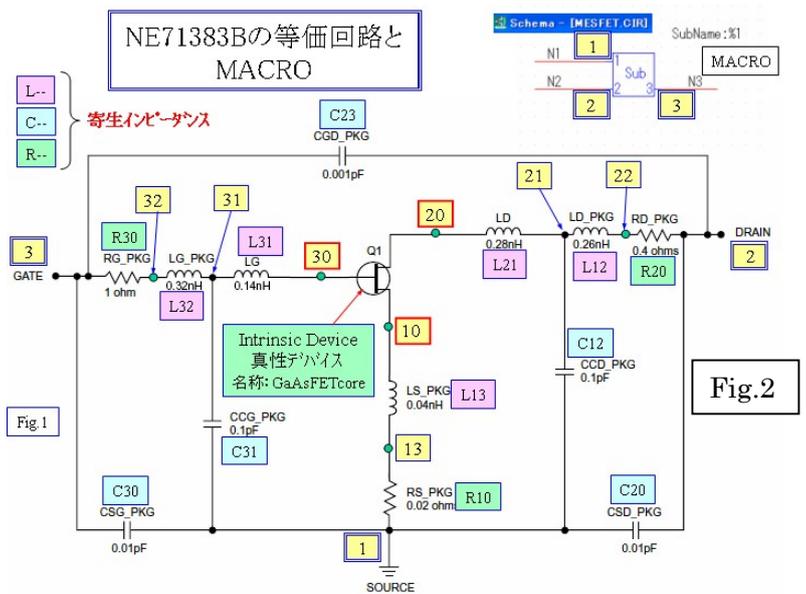
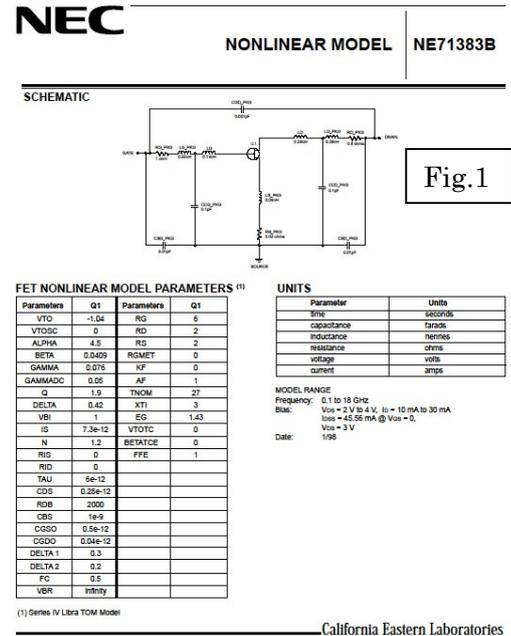
「Push Pull 方式—超低ひずみ広帯域アンプ」の  
トランジスタ・アンプと GaAs FET アンプの性能比較 並びに  
HB 解析による高調波歪と相互変調歪の詳細解析

1. 序文

トランス結合方式 Push Pull 平衡増幅器は、その動作原理から偶数次高調波を除去する低歪アンプとして様々な用途に適用されている。本報では、VHF/UHF 帯～BS/CS-IF 帯におよぶ帯域数 GHz の広帯域アンプにおける、高調波—超低歪の実現を目標とする。具体的には、マイクロ波 Bipolar Transistor を用いた広帯域アンプと GaAs FET を用いた広帯域アンプにこの Push Pull 方式アンプを採用して、高調波や相互変調歪等の低減を達成した超低歪広帯域アンプの SNAP 設計方法を紹介する。併せて Harmonic Balance 解析法を適用して高調波歪や相互変調歪の検討・解析について詳説する。

2. GaAs FET の非線形モデルの作成

(1)GaAs FET は、HEMT に比べて高周波性能は若干劣るが、増幅出力 0dBm-10dBm の小中レベルにおける直線性に優れており、また MOS FET や J FET に比して高周波性能が格段に優れている。このような観点から中出力超広帯域アンプに適用する増幅デバイスとして GaAs FET を選んだ。最近では、超高周波帯の増幅デバイスの主力が HEMT や HBT に移行しているために、各半導体メカの Web Site において GaAs FET のデータシートや S パラメータの設計資料を入手することが困難になっている。幸うじて NEC の系列会社



の California Eastern Laboratories のホームページから、貴重な GaAs FET —NE71383B の非線形データ (図 1) や高周波データ [S パラメータ他) を入手することができた。(2) NE71383B の非線形データを使用して、図 2 に示すパッケージの寄生素子を含めた等価回路 [SUBCKT に適用)を作った。この等

Fig.4

価回路ならびに、図 1 記載の FET NONLINEAR MODEL Parameter を SNAP エlement記載の GaAs 電解効果トランジスタに合わせて改良した GaAs FET core を適用した、図 3 の Non Linear Library を用意した。併せてこの Non Linear Library を回路図上に表現する GaAs FET の Symbol (図 4) も準備した。



GaAs FET  
—NE71383B  
のSYMBOL

### 3. Push Pull 方式超広帯域アンプの広帯域性能の比較検討

#### 3.1 トランジスタアンプの構成ならびに高周波特性

(1) Bipolar Transistor には高周波で標準品として多用されており、UHF 帯で 20dBm 程度の出力が得られる 2SC3356 [NEC 製] を使用した。LR 回路で並列帰還をかけて、所用帯域内のゲインを平坦にしたトランジスタ・アンプ 2 段を、R5/C5 から成る周波数特性補償回路で接続して超広帯域アンプを構成する。この超広帯域アンプを 2 系列用意し、これらの入出力をトランスで接続して平衡増幅器 [差動アンプとして働く] として作動させる Push Pull 方式広帯域超低歪アンプ (図 5) を形成する。

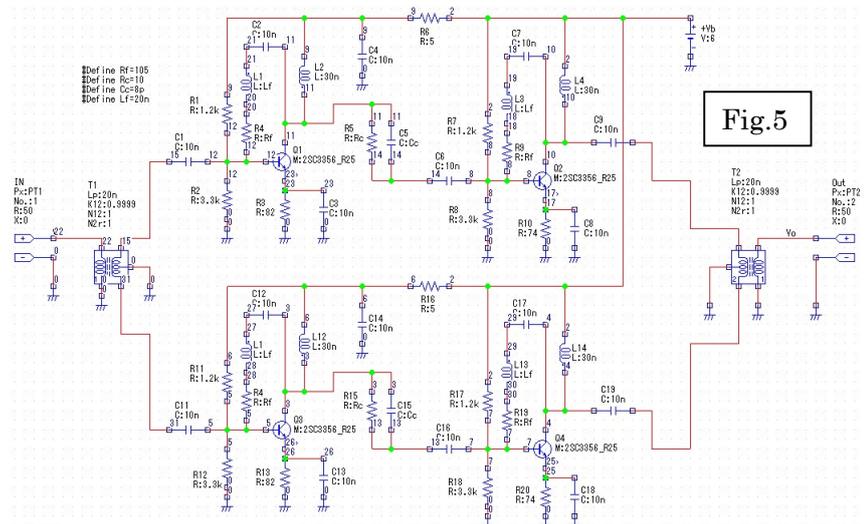


Fig.5

(2) 各段アンプの LR 回路—並列帰還の各定数と、前記補償回路の定数を、チューニング機能で最適化する。その結果、図 6 に示すように、ゲイン約 24dB で 3dB 通過帯域約 50MHz—1.1GHz の良好な広帯域性能を得た。

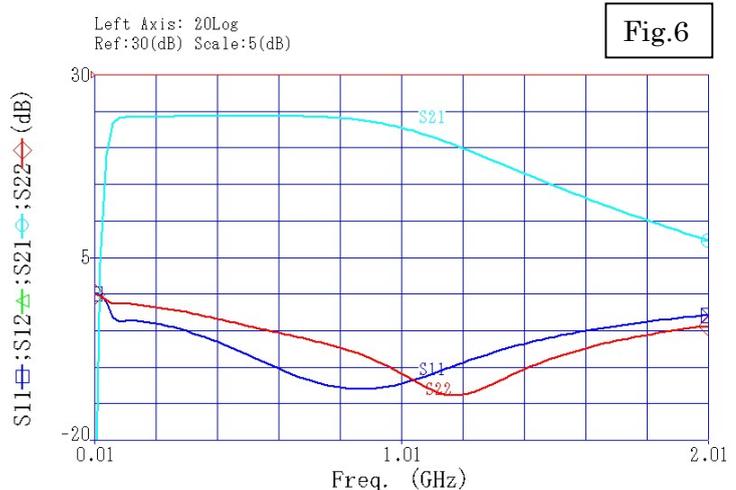
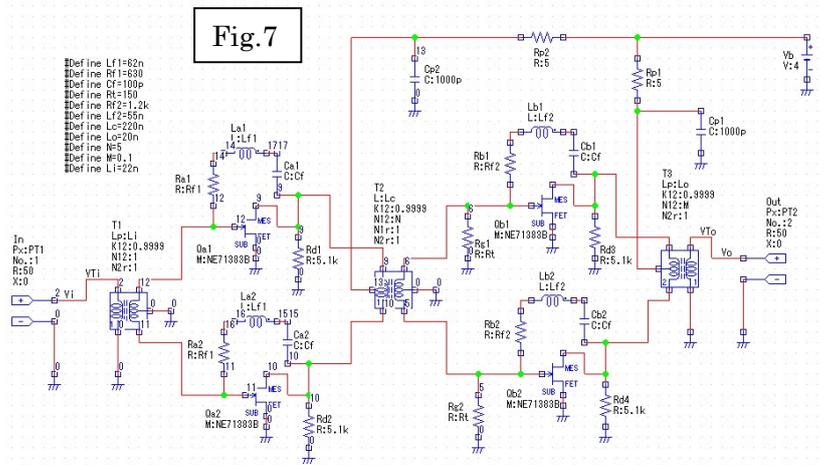


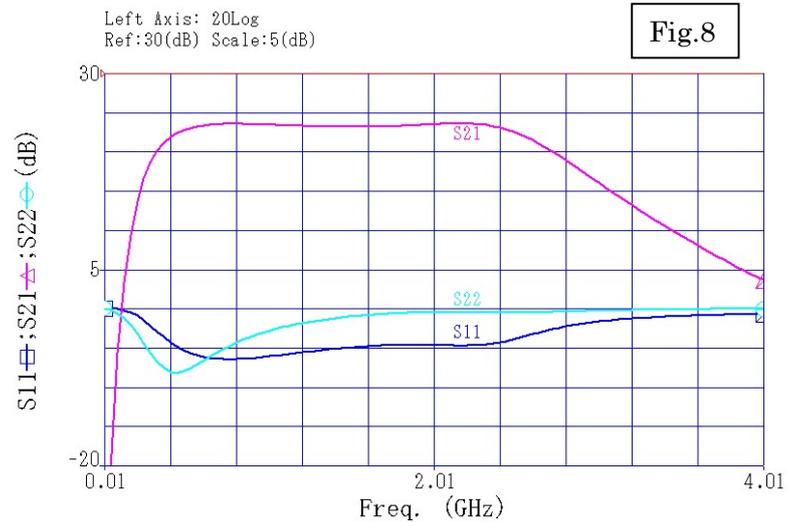
Fig.6

### 3.2 GaAs FETアンプの構成ならびに高周波特性

(1) 増幅デバイスは今回準備した GaAs FETNE71383B を適用する。LR 回路で並列帰還をかけて、所用帯域内のゲインを平坦にした、GaAs FETアンプを 2 系列用意し、各々の入出力をトランスで接続して平衡増幅器を構成する。この平衡増幅器を 2 段縦列接続して、図 7 に示す Push Pull 方式超広帯域アンプを形成する。



(2) 各段アンプの LR 回路（並列帰還回路）の各定数と、段間トランスおよび出力トランスのインダクタンス/巻線比等の定数を、チューニング機能を用いて最適化 [ゲインの帯域内偏差の最小化等] をおこなう。その結果、図 8 に示すように、ゲイン約 23dB で、3dB 通過帯域約 300MHz-2.7GHz の最良の広帯域性能が得られた。



### 4. HB 解析を適用した広帯域アンプの各種ひずみの解析・検討方法

#### 4.1 高調波歪の解析条件と解析詳細

##### (1) 信号条件の設定

[A] 高調波歪解析に対する信号条件は、図 9 に示すように入力ポート PT1 について、正弦波信号 Vi [トランス・アンプでは 250MHz、GaAs FET アンプでは 800MHz] を割り付ける。振幅は -50dBm に仮設定するが、HB 解析ではこれに限定されずに最適範囲をスイープ [可変] する。

[B] 相互変調歪解析に対する信号条件は、図 10 に示

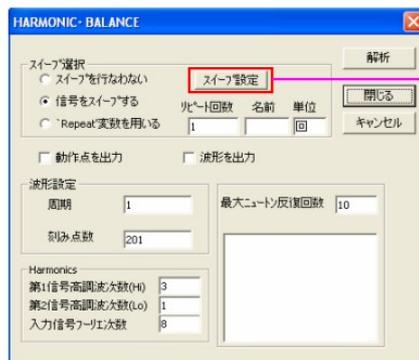
高調波歪の解析条件①[信号割当]



相互変調歪の解析条件②[信号割当]

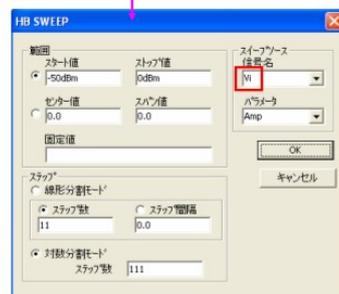


すように入力ポート PT1 について、隣接 2 波 [トランジスタ・アンプでは  $\Delta f = f_2 - f_1 = 6\text{MHz}$  (映像信号を想定) として、 $f_1 = 800\text{MHz} / f_2 = 806\text{MHz}$ 、GaAs FET アンプでは  $f_1 = 1000\text{MHz} / f_2 = 1006\text{MHz}$ ] を割り付ける。同様に振幅は  $-50\text{dBm}$  に仮設定するが、HB 解析ではこれに限定されずに最適範囲をスイープ [可変] する。



Harmonic Balance の解析条件① [高調波歪]

Fig.11



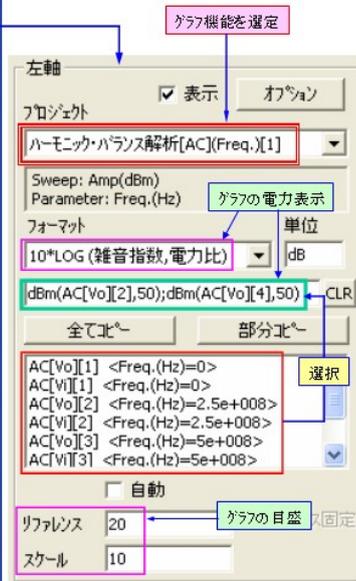
### (2) HB 解析の最適条件

HB 解析の最適条件は、対象回路や対象特性に合わせて多少異なるが、概ね図 11 のように設定すれば、高精度の解析結果が得られる。スイープソース信号名は、前述の信号割付に従って、 $V_i$  と  $V_{Ti}$  に変更する。なおスイープ設定の範囲 [信号レベル] のスタート値とストップ値は、HB 解析の結果が収束しないときには、解析が収束するようにストップ値を小さくするとよい。



Fig.12

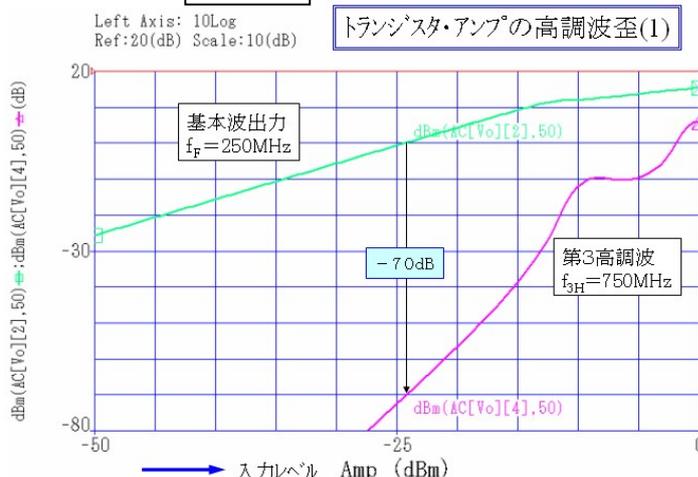
グラフの表示条件 (高調波)



### (3) グラフ表示条件の設定

表示式 [図 12] のプロジェクトから表示機能を選定し、これに合わせて表示するグラフの種類とグラフのリファレンスやスケールを適切にして、最良のグラフを表示できるように表示環境を設定する。高調波の第  $n$  次歪や、相互変調歪の IM3 等は、 $AC[Vo]$  に後続する周波数成分  $\langle \text{Freq.} \dots \rangle$  を吟味考察して最適なものを選定する。なお、グラフのディメンジョンを表す、 $\text{dBm}(AC[Vo][2], 50)$  は、 $50\Omega$  の負荷インピー

Fig.13

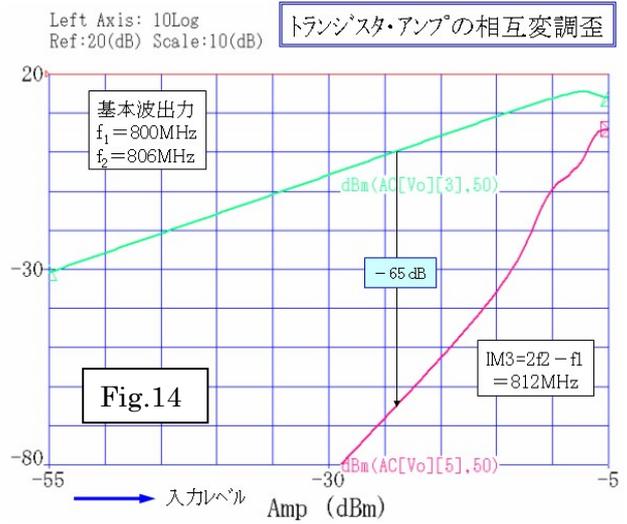


トランジスタ・アンプの高調波歪(1)

ダンスに対する信号成分 AC[Vo] [2] の電力絶対値表示を意味する。

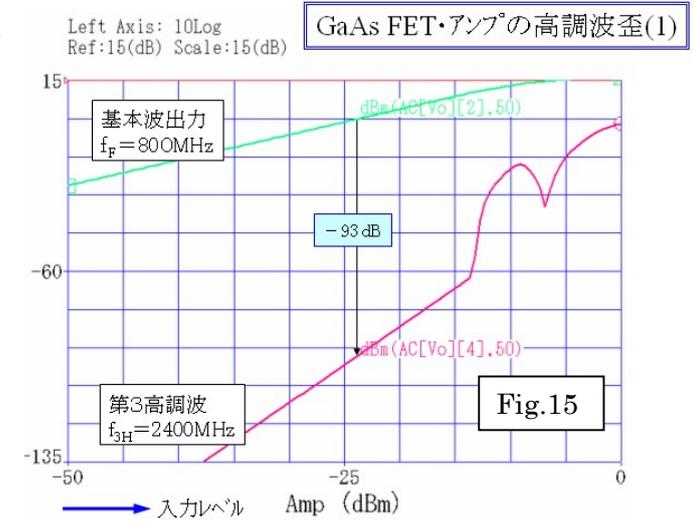
#### 4.2 トランジスタ広帯域アンプの歪特性

- (1)本アンプは Push Pull 方式の平衡増幅器になっているので、HB 解析で求めた高調波歪特性は、偶数次の高調波は基本波に比して-300dB 以下と僅少である。奇数次の高調波も、図 13 に示すように、3 次高調波が、出力 0dBm のレベルで-70dB と良好な値になっている。
- (2) HB 解析で求めた相互変調歪特性は、図 14 に示すように、出力 0dBm のレベルにおいて-65dB と良好な値を示している。



#### 4.3 GaAs FET 広帯域アンプの歪特性

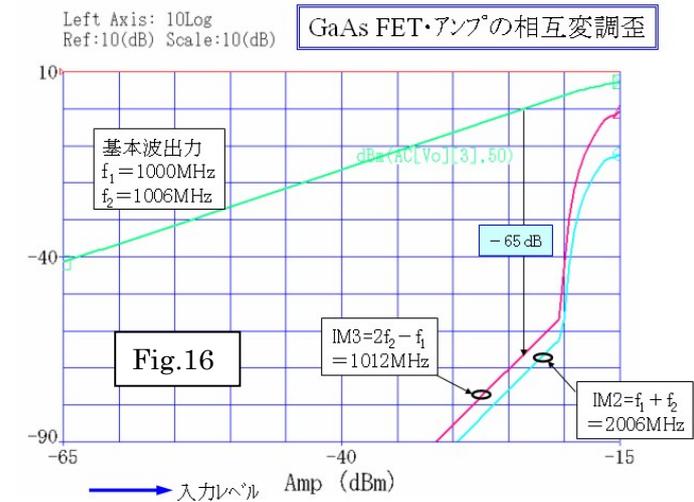
- (1)HB 解析で求めた高調波歪特性は同様に、偶数次の高調波は基本波に比して-300dB 以下と僅少である。奇数次の高調波は図 15 に示すように、3 次高調波が、出力 0dBm のレベルにおいて、-93dB と極めて低い歪値を示している。トランジスタ・アンプに比して 20dB 以上歪が少ないことが判るが、これは FET が V-I の二乗特性で動作し、本質的に奇数次高調波を発生させないことに起因する。



- (2) HB 解析で求めた相互変調歪特性は、図 16 に示すように、出力 0dBm のレベルにおいて-65dB と、トランジスタ・アンプと同様に良好な値を示している。

#### 5. HB 解析の纏めと考察

- (1)GaAs FET を使用したソース接地回路に、並列負帰還を適用することによって、帯域数 GHz に及ぶマイクロ波広帯域アンプを達成することが可能であることが分かった。



- (2)GaAs FET のデータシートから抽出した Non-Linear Model Parameter を使用して、Spice

Parameter を抽出し GaAs FET の非線形モデルを形成する。この GaAs FET を用いて広帯域アンプを構成し、Sパラメータ解析/Harmonic Balance 解析を適用することで、アンプのリア特性並びに非線形特性を、高精度に解析できることが明らかになった。

(3)前記の広帯域アンプを使用して、Push Pull 方式—平衡増幅回路を構成することにより、高調波歪および相互変調歪を大幅に改良できることが判った。

(4)SNAP は、Non Linear Library を適用して GaAs FET 等の増幅素子の非線形モデルを形成し、それを使用して高周波・広帯域アンプを容易に構成することができる。Sパラメータ解析/HB 解析を適用することで、そのアンプの高周波性能や各種歪性能を、高精度且つスピーディに解析できることを検証した。

—以上—