

「ハーモニック・バランス 解析」を適用した性能の最適化

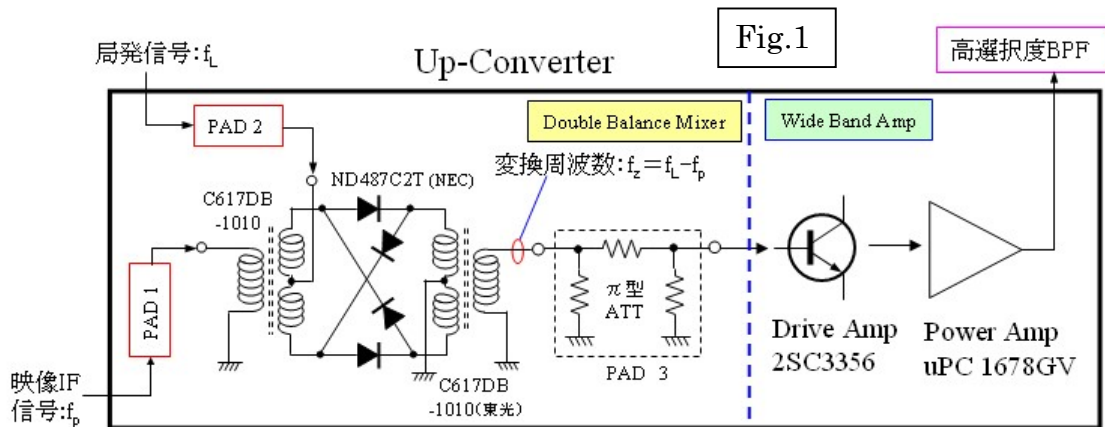
1. 序文

映像 IF 信号を局発信号で Up-Convert (周波数変換)した VHF/UHF 帯の映像 RF 信号を、+10dBm 以上の小電力信号に増幅するアンプの性能を S パラメータ解析で最適化すると共に、Harmonic Balance 解析を利用してその入出力特性および高調波特性の最適化を達成する。

2. 概要

- (1) 本小電力アンプは、利得の微調整が可能なレクタ同調型増幅回路の初段回路と広帯域 IC アンプを用いた終段回路から構成される。
- (2) 初段アンプは、入力回路に中心周波数約 150MHz の広帯域トラップを接続して低域側の安定指数 KF を増大して増幅の安定性を向上し、出力回路の同調容量を調整して広帯域の通過特性を達成する。更に Harmonic Balance 解析を利用して初段アンプの入出力特性と高調波特性を詳細に解析し、その最適化を達成する。
- (3) 終段に適用する NEC の広帯域 IC アンプの uPC1678GV は S パラメータが用意されているので、前段のアンプと終段アンプを組み合わせた複合回路の総合利得性能を求める。
- (4) 広帯域 IC アンプの uPC1678GV の入出力特性のデータに前段アンプの入出力特性を反映して総合の入出力性能を導出する。

3. 周波数変換器の構成と広帯域アンプの基本構成



Up-Converter (周波数変換器) は(図 1)に示すように、約 6MHz の帯域を有する映像信号 (搬送波: $f_p=58.75\text{MHz}$) を局発信号 f_L で Up-Convert して RF 信号に周波数変換する DBM(Double Balance Mixer)と、その変換出力を C33ch(中心周波数: 285MHz)~C53ch(中心周波数: 403MHz)の帯域に亘って+15dBm 程度の RF 映像信号に増幅する Wide Band Amplifier (広帯域小電力アンプ) で構成される。

4. 広帯域アンプの具体的な設計法

4. 1 初段アンプの最適化

(1) 基本回路とその特性

①設計をスタートする基本回路を（図2）に示す。入力回路は中心周波数約150MHzの同調回路に設定し、出力回路はコルダ容量 $C_c \approx 1\text{pF}$ を含めて中心周波数約550MHzの同調回路として、（図3）に示すように通過帯域300MHz~500MHzの広帯域特性を達成する。

②285MHz(C33ch)~405MHz(C53ch)の帯域に対して10dB以上の利得を達成できているが、安定指数 KF が凡そ200MHz以下で $KF \leq 1$ となり、アンプの動作が不安定になっていることが分かる。また反射係数の S_{11} も-5dB以下に入っておらず、入力側の整合が旨く取れていないことが明らかである。

(2) 回路の性能最適化の検討

最適化の詳細過程は紙面の都合で割愛するが、入力回路に100Ωの抵抗を直列に接続した中心周波数約150MHzのQの低いトラップ回路を接続し、ベース結合容量 C_1 とベース抵抗 R_3 並びに出力同調回路の容量 C_3 をチューニングの方法で最適化した改良アンプを（図4）に示す。

Fig.2

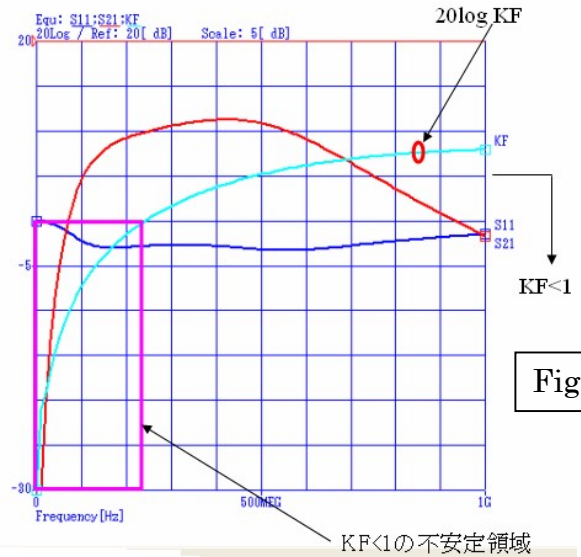
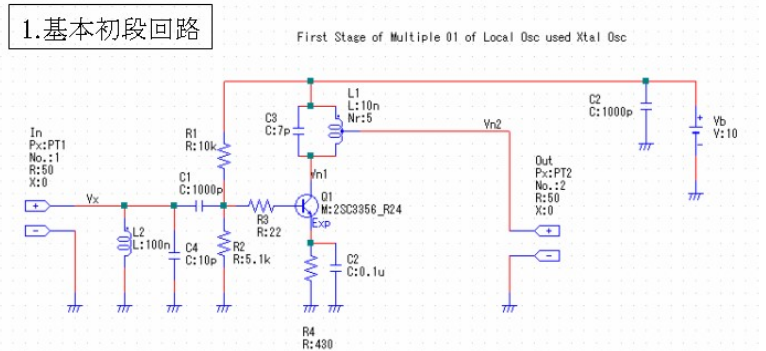
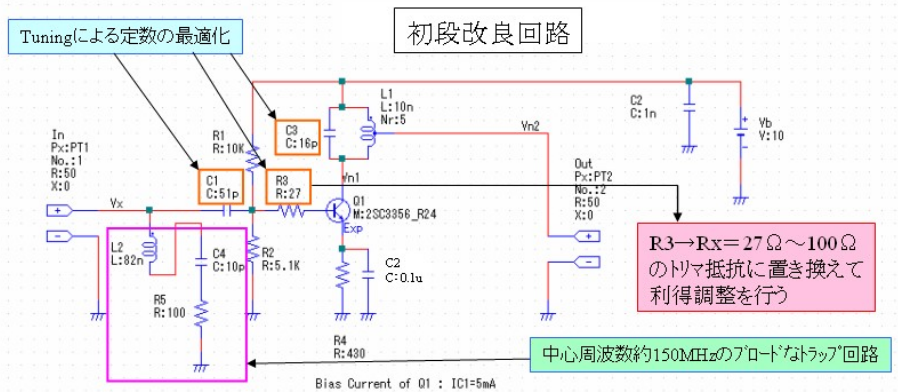


Fig.3



4. 2 最適化された初段アンプの詳細解析

(1) Sパラメータを使用した線形特性の解析結果

①まず安定指数 KF は (図5) に示すように、 $285\text{MHz} \sim 405\text{MHz}$ の所要帯域に亘って $KF \geq 1$ となりアンプの動作が十分に安定していることが分かる。

②また (図6) に示すように、電力利得 $S21$ は上記の帯域において $S21 \geq 13\text{dB}$ を示しその利得偏差は凡そ 2dB 以内の性能を得ている。

③さらに、反射係数 $S11$ は所要帯域にわたって $S11 \leq -10\text{dB}$ を示し、入力側の整合が取れていることが分かる。

このようにアンプの小信号特性は適正な特性を与え、初段アンプは直線領域において最適な性能を達成できていることが判る。

(1) 電力利得S21と安定指数KF

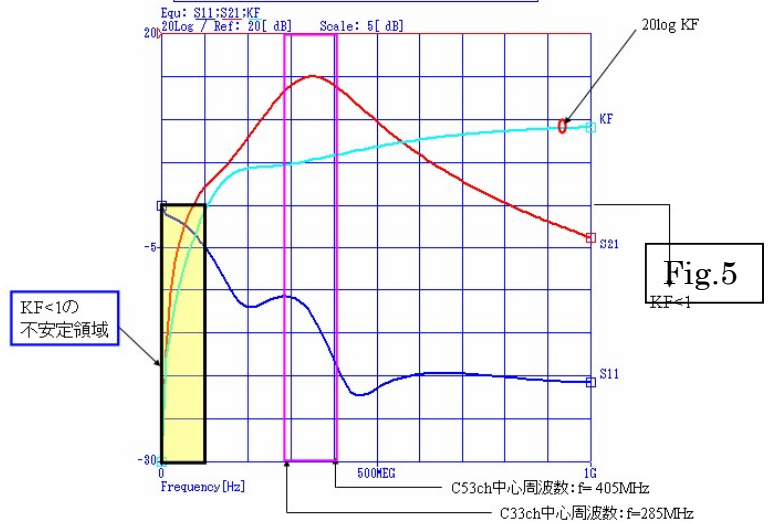


Fig.5

(2) 電力利得S21と安定指数KF

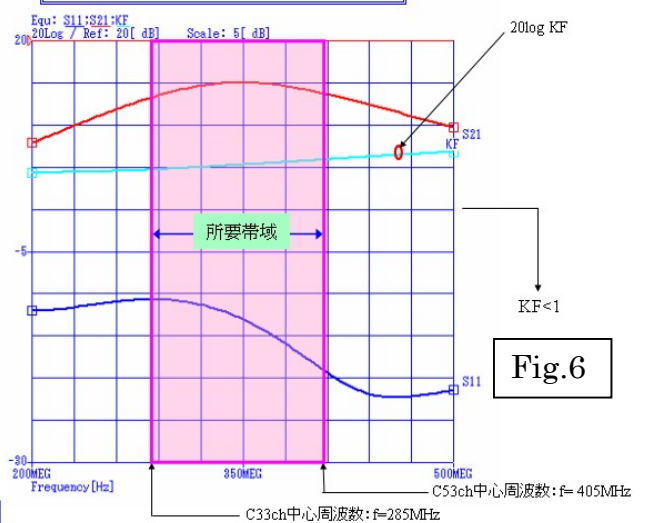


Fig.6

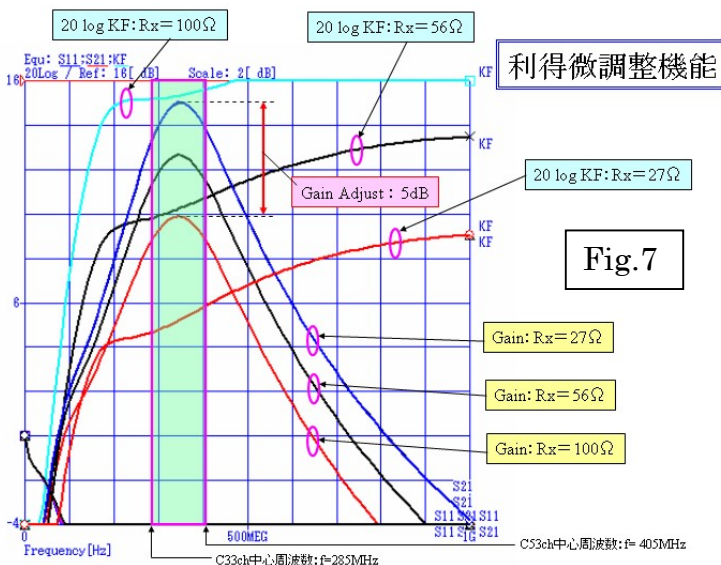
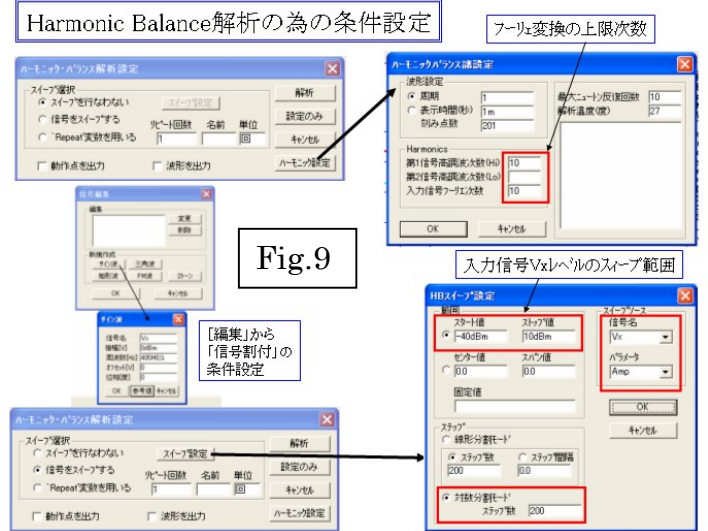
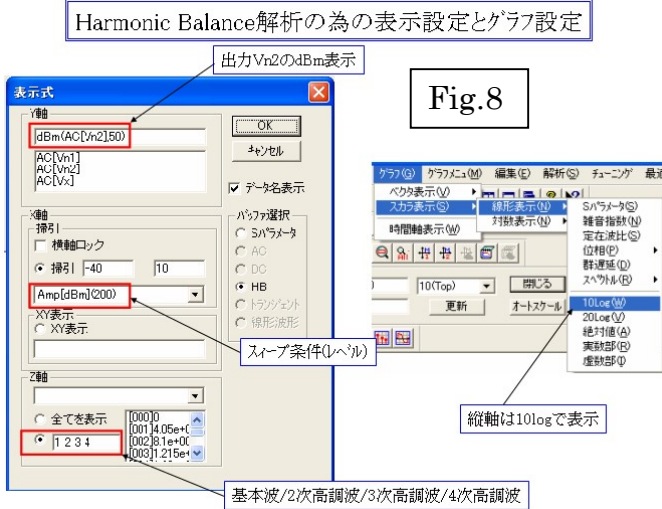


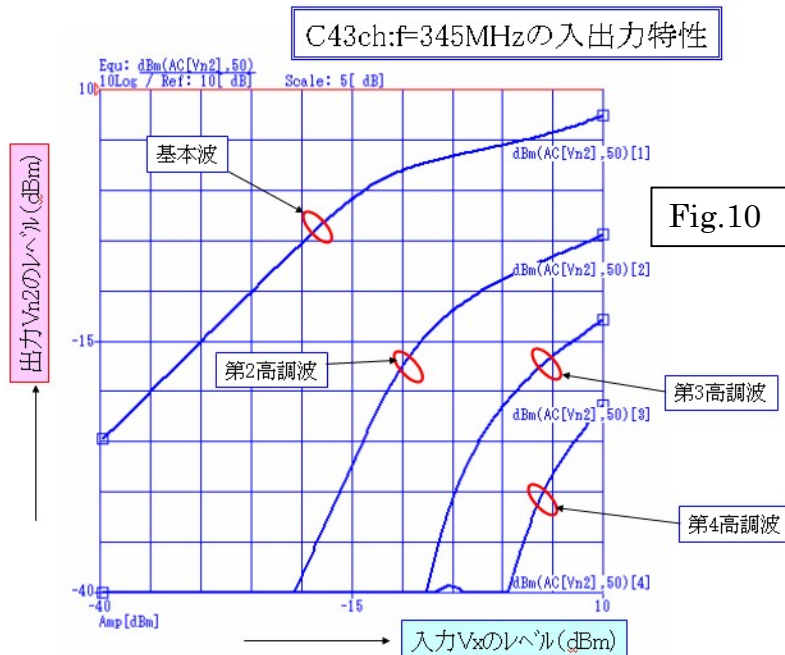
Fig.7

④ベース抵抗 $R3$ を $R_x = 27\Omega \sim 100\Omega$ にトリマ抵抗で可変することによって、利得を 15dB から 10dB の範囲で約 5dB 微調整できることが (図7) から判る。これは映像 RF 信号の出力レベルを適正值に調整する際に便利な機能である。

(2) Harmonic Balance 解析による非線形特性の解析結果



[A] ハーモニック・バランス解析の設定条件については、表示設定およびグラフ設定を（図8）に示すように設定し、信号設定ならびに解析条件（スweep / ハーモニック）を（図9）に示すように設定すると非線形の特性解析を正確に行うことができる。



[B] 入出力特性の結果

例えば C43ch における基本波から第4高調波対する入力電力と出力電力の特性は、(図10)に示す様に得られる。入力電力が-15dBmに近づくとアンプの非線形領域に入り、入力電力約+10dBmでアンプ出力が+10dBm付近に飽和することが判る。

4. 3 初段アンプと終段アンプの複合回路の総合性能

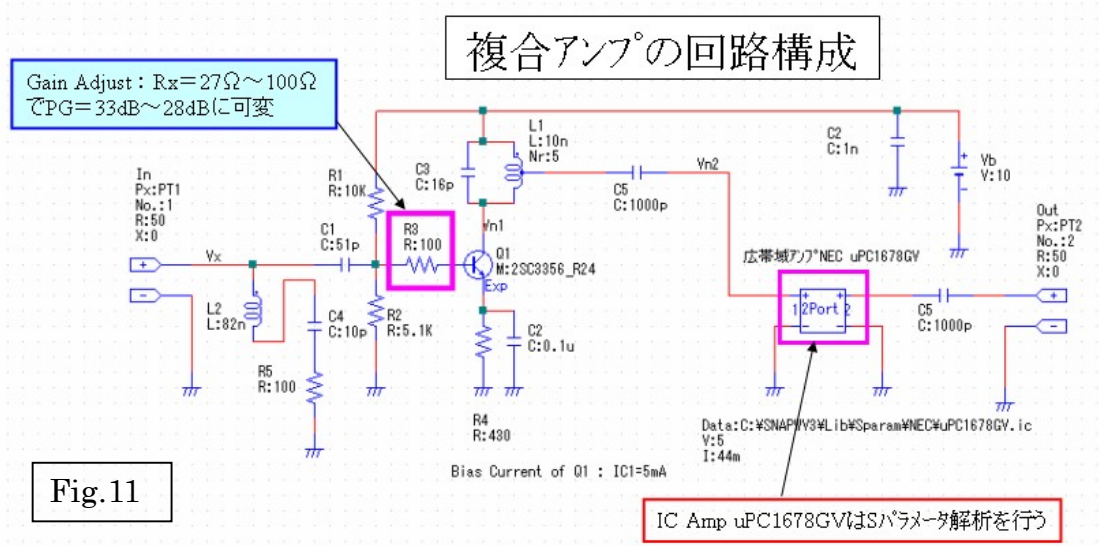


Fig.11

[A] 回路構成

改良した初段アンプと広帯域 IC アンプ (uPC1678GV) を使用した後段アンプを接続した、複合回路で構成される広帯域小電力アンプの回路構成を (図 11) に示す。IC アンプは非線形解析のモデルがメカ側で用意されていないので S パラメータ解析で総合特性を調べる。

4. 複合回路の利得一周波数特性

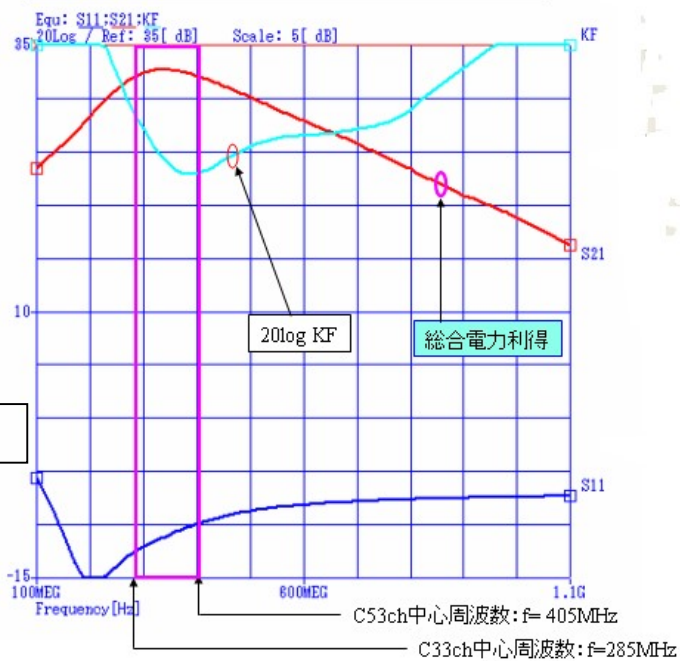


Fig.12

[総合特性] (図 12) を参照して、

① 増幅の安定指数 KF は 100MHz 以上の周波数範囲で概ね $KF \geq 10$ であり十分安定していることが分かる。

② C33ch~C53ch の所要帯域に亘って電力利得は 30dB 以上で、利得偏差は 2dB 以下の性能が得られている。

③ 反射係数 S_{11} も略 $S_{11} \leq -10dB$ であり整合が十分に取れていることが分かる。

[C] 入出力特性の推定

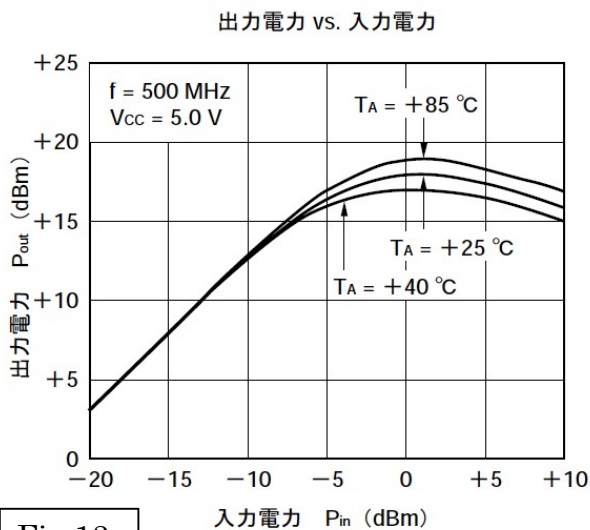


Fig.13

4. 総合利得の入出力特性 (uPC1678GVの電力特性を考慮した推測値)

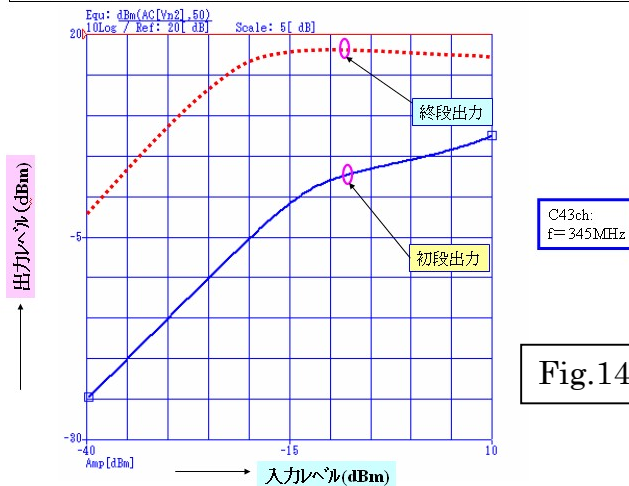


Fig.14

前述の前段アンプの入出力特性(図 10)を(図 13)に示す IC 広帯域アンプの入出力特性に反映して概略計算すると、(図 14) に示すような総合の入出力特性を推定特性として得ることができる。この特性を分析してみると、入力レベルが-20dBm に達すると複合回路の広帯域アンプは非線形領域に入り、出力レベルは概ね+17dBm で飽和することが推測される。

5. 考察

- (1) SNAP の解析結果を広帯域小電力アンプの初段アンプの設計に反映させて、回路を改良すると、増幅機能の安定化や、整合性の向上或いは周波数特性などの向上を容易に達成することができる。
- (2) 今回の広帯域小電力アンプの設計では、C33ch から C53ch の 285MHz~405MHz の広帯域にわたって直線利得約 33dB、利得偏差 3dB 以内で、且つ飽和出力:+15dBm (122dBuV : 50Ω) 以上の優れた増幅性能を達成することが出来た。
- (3) ハーモニック・バランスの解析法を適用することにより、基本波および高調波を含めた入出力特性を精確に解析することが出来る。
- (4) 初段アンプのベース抵抗に 100Ω のトリマを採用することにより約 5dB の範囲で利得を微調整できることが判った。
- (5) SNAP の多面的な活用により、非線形特性を有する高周波回路に対しても簡単に、最適な回路設計を実現できることが判った。

—以上—