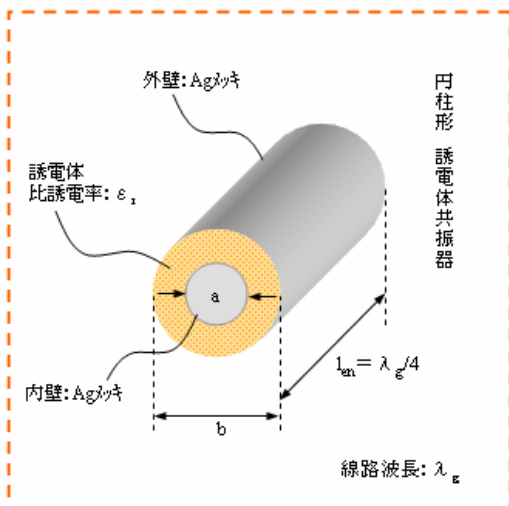


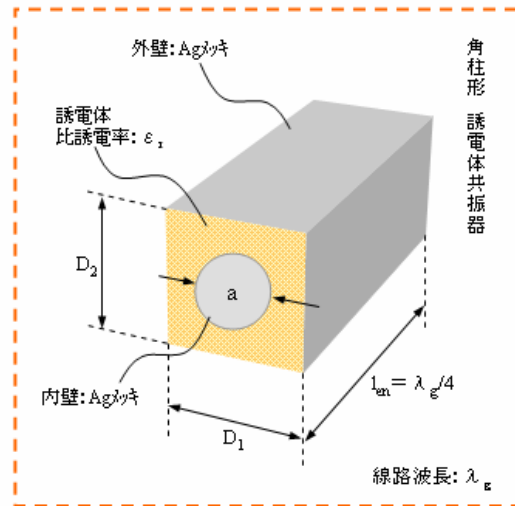
小形誘電体共振器を使用した単一チャンネル帯域減衰フィルタ BEF の設計法およびシャープな周波数選択性能を実現する方法

1. 序文

「通信と放送の融合化」、「放送・通信のデジタル化」等の技術潮流や、市場ニーズ増大に伴って各周波数帯における電波需要・電波密度が急速に増大し、隣接する電波間干渉の低減・解消や、EMC等の低減[D/U向上]の必要性が急速に高まっている。そこで、今回のSNAPアプリケーションレポートは、High Qの小形誘電体共振器を使用して、隣接する妨害波を一定レベル減衰



(図1)



(図2)

させる、周波数選択特性の優れた単一チャンネル BEF [Band Elimination Filter]の設計法ならびに特性の最適調整方法について説明する。

2. 概要

- ① 先ず、誘電体共振器の機能・特長と、その等価回路についてポイントを簡潔に解説する。
- ② 次に、誘電体共振器とトリマコンデンサを組み合わせた、シャープな減衰特性を有するトラップ回路の構成と等価回路について説明する。
- ③ さらに、このトラップ回路を入力側/出力側に各々備え、その間を適切に接続する段間接続回路を備えた基本 BEF 回路の動作機能と最適調整方法を段階的に説明する。その過程に於いて、基本回路の構成と代表的性能を SNAP シミュレーション解析で簡潔に解説する。
- ④ 最後に、基本 BEF を 2 段縦列接続した高選択度 BEF の構成と調整要領を解説し、具体的回路構成および代表的特性を SNAP シミュレーション解析によって示す。

[A] 円柱形の誘電体共振器の特性インピーダンス: Z_D は次式で与えられる。

$$Z_D \doteq \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} \log_{10} \left(\frac{b}{a} \right) \text{ ----- (201)}$$

但し、 ϵ_r : 誘電体共振器の比誘電率、線路波長 λ_g は、

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}} = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_r}} \frac{C}{f_0} \text{ ----- (200)}$$

光速: $C=3 \times 10^8$ (m/s)

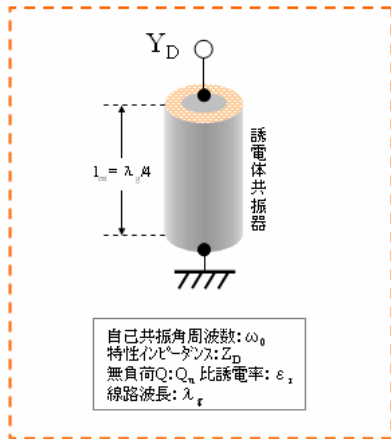
[B] 角柱形の誘電体共振器の特性インピーダンス: Z_D は次式で与えられる。

$$Z_D \doteq \frac{138}{\sqrt{\epsilon_r}} \log_{10} \left(0.6 \frac{(D_1 + D_2)}{a} \right) \text{ ----- (202)}$$

但し、 ϵ_r : 誘電体共振器の比誘電率

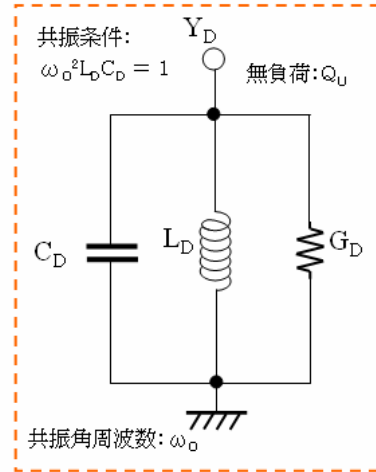
3. 小形誘電体共振器の機能と特長

[1] 誘電体共振器には、主に円柱形状(図1)のものと、角柱形状(図2)の2種類があり、夫々の特性インピーダンス Z_D は(201)、(202)式で表せる。



(図3)

自己共振角周波数 ω_0 近傍における等価回路



(図4)

[2] 誘電体共振器(図3)は、自己共振角周波数 ω_0 近傍において、並列共振回路形式の等価回路(図4)で表すことができ、その回路定数は(101)~(104)式で与えられる。

アドミタンス: Y_D は、自己共振角周波数 ω_0 からの離角周波数を $\Delta\omega$ として次の様に与えられる。

$$Y_D \doteq G_D \left[1 + j2Q_u \frac{\Delta\omega}{\omega_0} \right] \quad \text{-----(101)}$$

$$G_D = \frac{\pi}{4 Z_D Q_u} \quad \text{-----(102)}$$

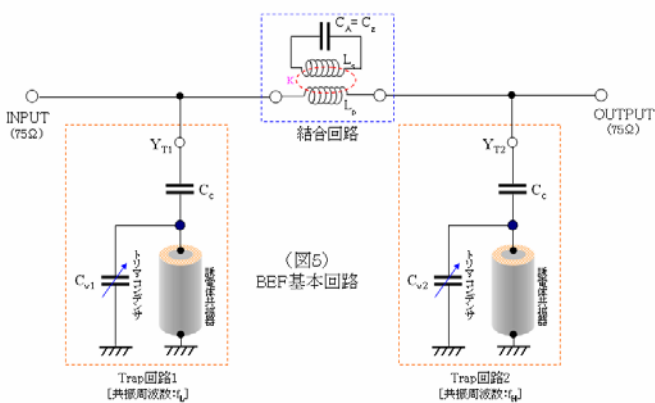
但し、 Z_D : 誘電体共振器の特性インピーダンス
 Q_u : 誘電体共振器の無負荷Q [誘電正接: $\tan \delta$ の逆数]
 G_D : 誘電体共振器のコンダクタンス

又、 C_D : 誘電体共振器の自己共振角周波数 ω_0 付近における等価容量及び L_D : 誘電体共振器の自己共振角周波数 ω_0 における等価インダクタンスは次のように近似できる。

$$C_D \doteq \frac{\pi}{4 \omega_0 Z_D} \quad \text{-----(103)}$$

$$L_D \doteq \frac{4 Z_D}{\pi \omega_0} \quad \text{-----(104)}$$

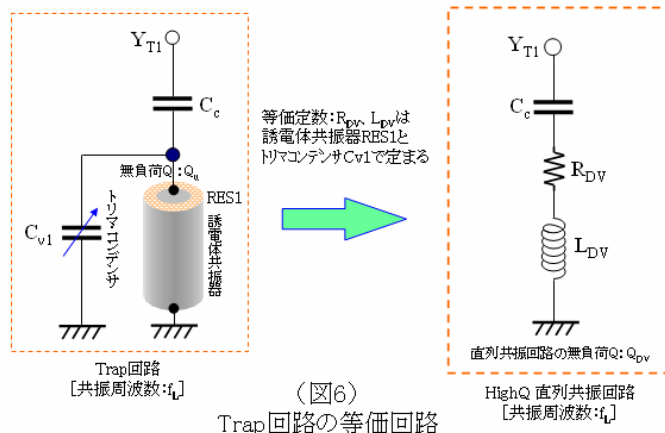
4. 基本 BEF の回路構成と等価回路表示



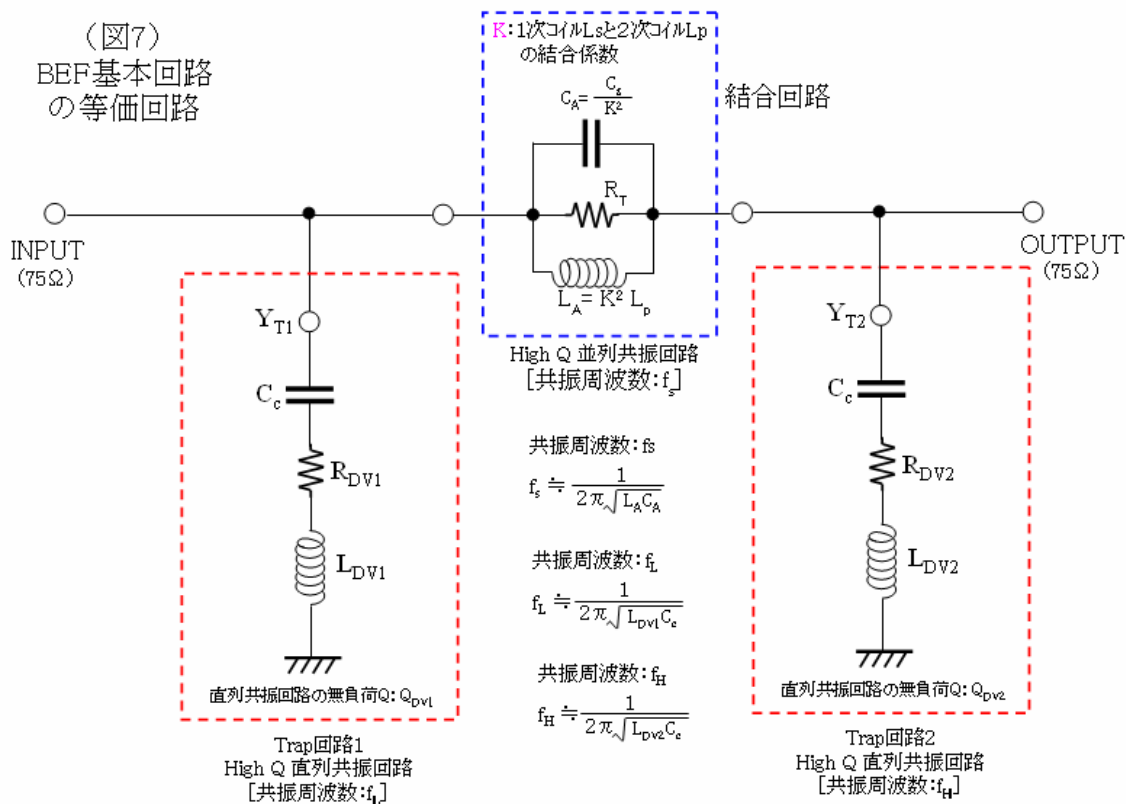
(図5) BEF基本回路

[1] 単一所定チャンネルを所定レベル減衰 [10dB~20dB] させる高選択特性の基本 BEF の回路構成を(図5)に示す。基本 BEF は入出力端に直結した夫々のトラップ回路1(共振周波数: f_L)、トラップ回路2(共振周波数: f_H)を有し、両トラップ回路は2次側並列共振回路(共振周波数: f_s)を形成するトランスを使用した結合回路で構成される。

[2] 誘電体共振器とトリマコンデンサなどで構成されるトラップ回路は、High Q を有する直列共振回路の等価回路(図 6)で表すことができる。



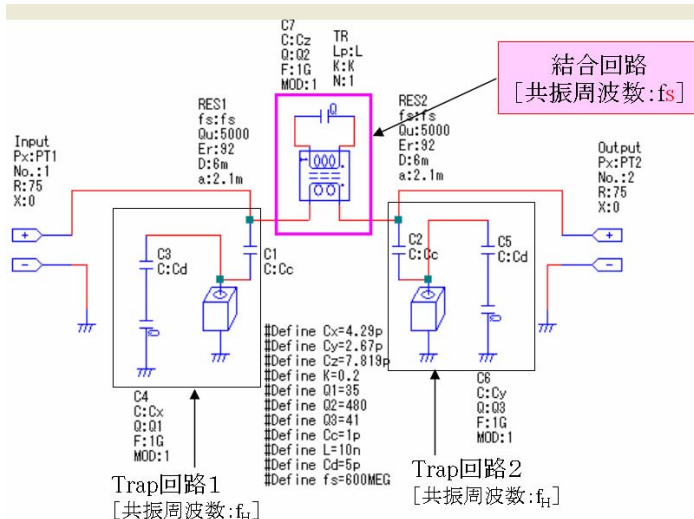
[3] その結果として、基本 BEF は夫々のトラップ回路の等価回路である直列共振回路(共振周波数: f_L および f_H)と、入出力を結合する並列共振回路(共振周波数: f_s)で構成される(図 7)の等価回路で表示することができる。



5. 基本 BEF の回路構成と特性解析結果

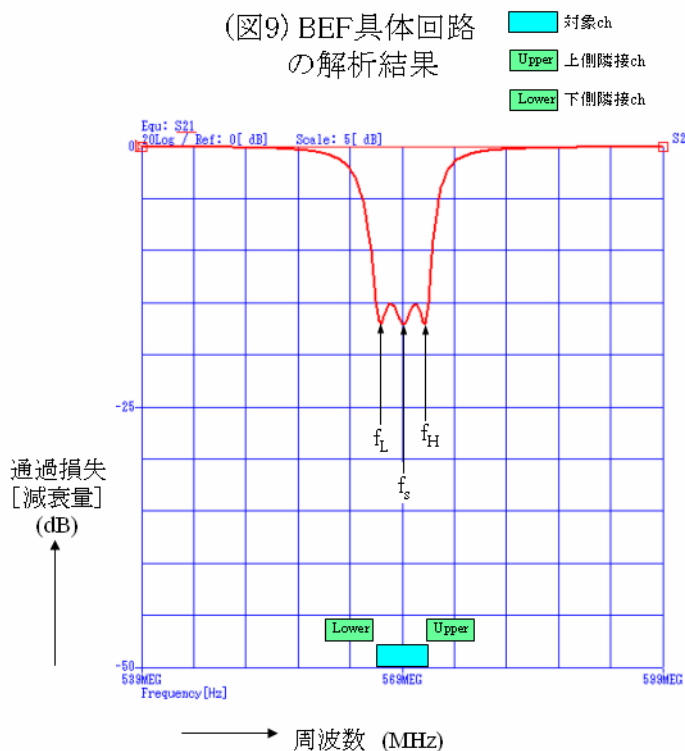
(1)中心周波数 $f_0=569\text{MHz}$ 、帯域幅 $B_w=6\text{MHz}$ の U29ch [TV] 信号を所定量減衰させる基本 BEF の回路構成を(図 8)に示す。自己共振周波数 $f=600\text{MHz}$ の 6mm 角柱誘電体共振器を使用して、共振周波数 f_L のトラップ回路1および共振周波数 f_H のトラップ回路2を形成すると共に、入出力を接続する結合回路には、インダクタンス $L=10\text{nH}$ の1次コイル、2次コイルを有するトランスにコンデンサを接続して、共振周波数 $f_s=f_0$ の並列共振を適用し、BEF を構成する。

(2)この BEF を、周波数 539MHz～599MHz にわたって S パラメータ解析すると、(図 9) に示す高い周波数選択性能を得ることができる。U29ch の対象チャンネル [水色帯域] 及び上下の隣接チャンネル [緑色帯域] をグラフ上に重ねて表示しているが、隣接 ch に大きな影響を与えずに、対象 ch の TV 信号を 15dB ほど減衰させることができる。



(図8) BEFの具体回路

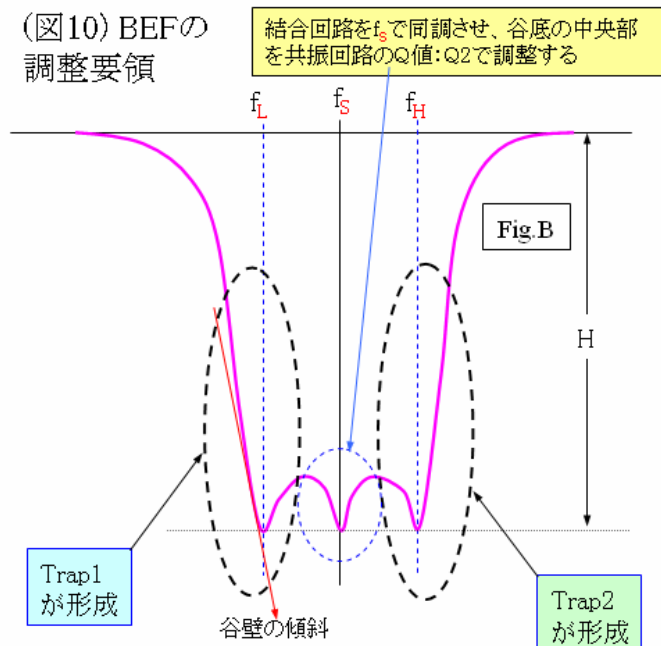
(図9) BEF具体回路の解析結果



(3)本 BEF の調整方法について、試作検証にて判明した要点を (図 10) に示す。

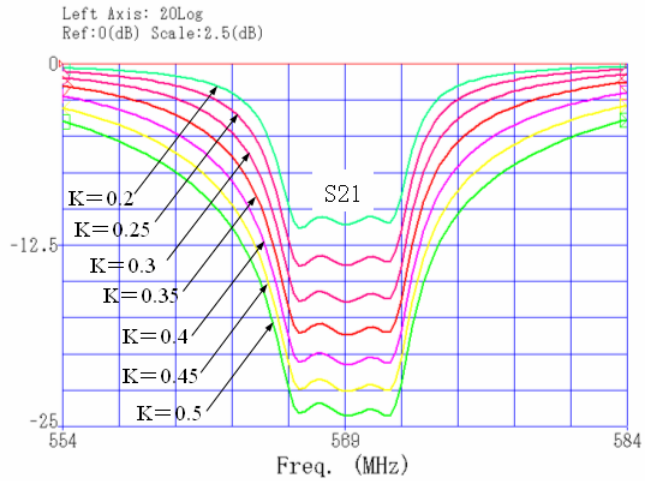
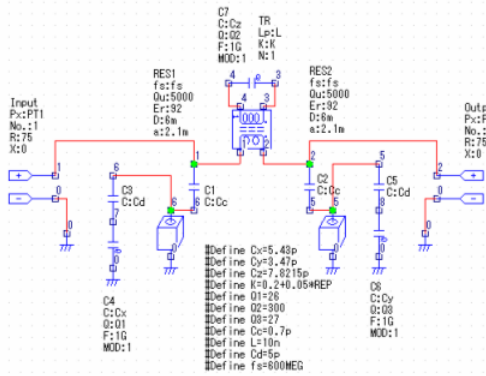
- ①谷の深さ H 及び谷の急峻度合い [全体形状] は結合容量 C_c の大きさによって定まり、 C_c を小さく [$C_c \leq 0.8pF$] すると谷が深く鋭くなる。
- ②谷の位置 (周波数軸上) は本質的に共振器の自己共振周波数 f_s と結合容量 C_c で定まるが、谷位置の微調はトリコンデンサ C_x 、 C_y で調整する。
- ③谷壁の傾斜 [急峻度合い] と谷の壁の深さは、それを受け持つトラップ回路 1、2 のトリコンデンサ C_x 、 C_y の Q_1 、 Q_3 によって決まる。
- ④

(図10) BEFの調整要領



谷の中央部 (凸部) を結合回路の共振周波数 f_s に合わせて押し潰して谷底を平坦にすることが出来、中央部の谷底は、 C_z の Q 値: Q_2 で調整できる。⑤トランスの共振条件においては、 $L \approx 10nH \sim 20nH$ のときに良好な形状になり、谷全体の深さ H をその結合係数 K で調整 [後述] することができる。⑥トリコンデンサに直列に入る結合容量 C_d は、トリコンデンサ C_x が低域側谷角の周波数 f_L で最大値に収まるように選ぶ。

(図11) Trans の1次コイル/2次コイル
結合係数:Kと減衰量の変化

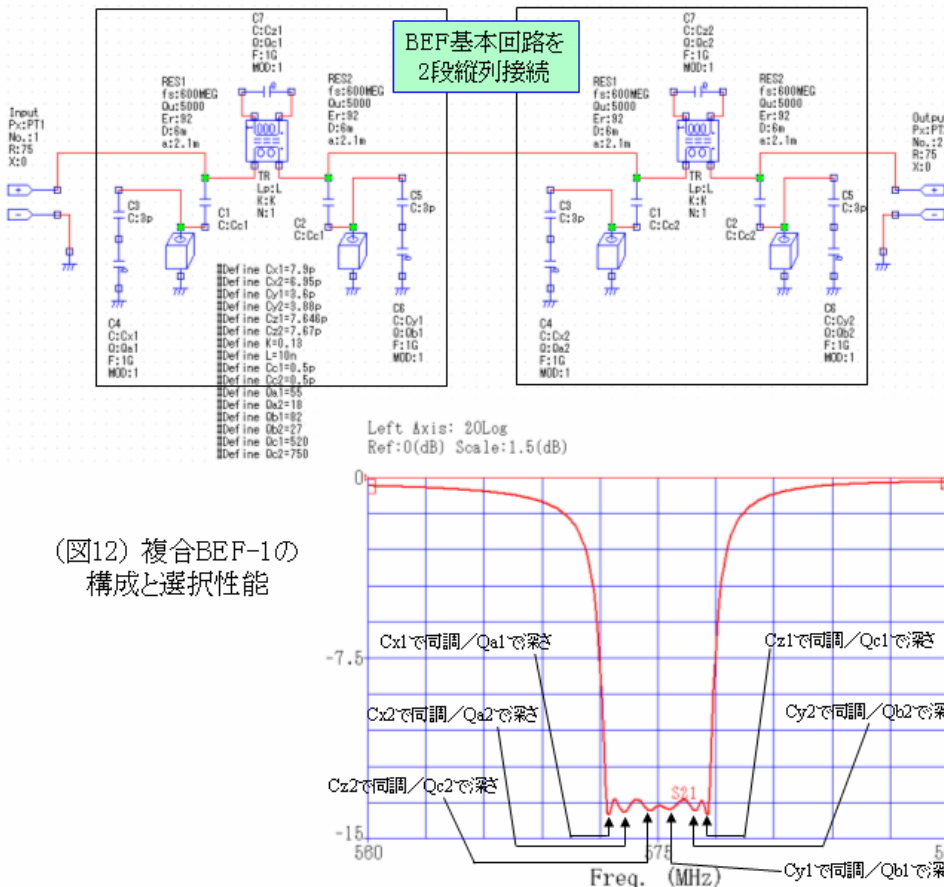


⑦誘電体共振器の急峻な周波数特性 [Qu に従う] に、トリマコンデンサ Cx/Cy/Cz の急峻さ [夫々の Q 値 (Q1/Q2/Q3 に従う)] を相乗平均した特性が得られ、鋭い周波数選択特性を形成する。

(4) Trap 回路 1 と Trap 回路 2 を接続する「結合回路」を構成する、トランスの 1 次コイル/2 次コイルの結合係数 K [両コイルの間隙を変える] を変化させると、(図 11) に示すように BEF の減衰量を変化させることができ、これによって BEF 減衰量を最適値に選定できる。

6. 基本 BEF を組合せた複合 BEF の構成と優れた周波数選択性能

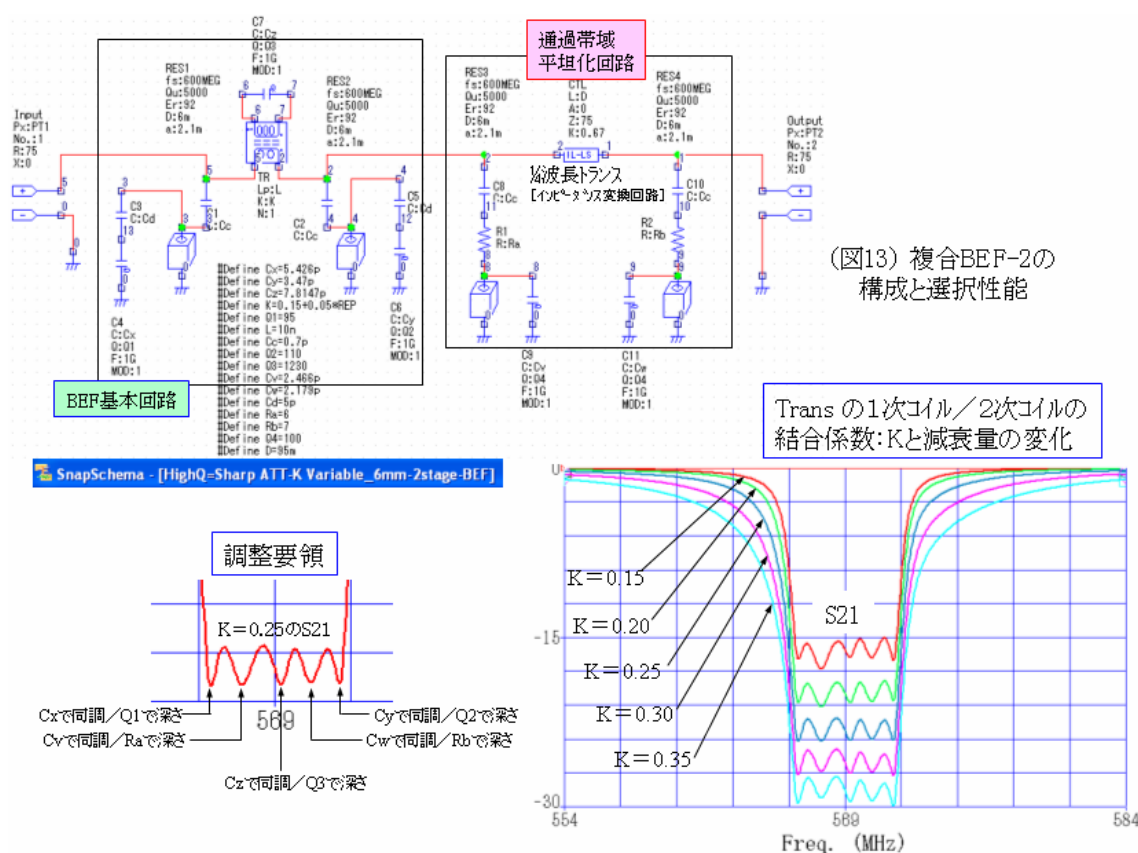
6.1 基本 BEF を 2 段接続した複合 BEF の性能



(図12) 複合BEF-1の
構成と選択性能

基本 BEF を 2 段に縦列接続し、各部定数を最適化すると (図 12) に示すような理想的な単一チャンネル BEF、即ち隣接 ch の TV 信号に殆ど減衰を与えずに、所定 ch [この例では U29ch] をシャープに切出して適切に減衰 [14dB] させる BEF を実現することができる。各部の定数 [トリマ容量/Q 値] を如何様に調整すれば、この箱型減衰特性が得られるか、詳細をグラフに重ねて詳説している。

6.2 基本 BEF に平坦化回路を組合せた複合 BEF とその選択性能



(図13) 複合BEF-2の構成と選択性能

Trans の1次コイル／2次コイルの結合係数:Kと減衰量の変化

基本 BEF に、2つのトラップ回路を 1/4 波長トランスで結合した「通過帯域平坦化回路」を組合せた、複合 BEF の回路構成と周波数選択性能を (図 13) に示す。単一 ch をシャープに切出す優れた選択性能が得られ、且つトランスの結合係数 K を $K=0.15-0.35$ の範囲で変化させることにより、切出した TV 信号を約 15dB-30dB の範囲で任意に減衰できることが分かる。さらに、各部の定数を如何様を選定すれば、このような優れた周波数選択性を達成できるか、グラフに重ね書きしている。

7. 纏めおよび考察

(1) 小型で High Q の誘電体共振器を使用してトラップ回路を形成し、それらを適正な結合回路で接続することにより、優れた周波数選択性能を有する小形 BEF を、フレキシブルに実現できることが判った。

(2) この誘電体共振器の電気特性を記述するマクロやシンボルを作成 [既報にて紹介済みのため割愛] し、それを用いて前述の BEF 回路を SNAP エディタで作成・編集する。それらの BEF を SNAP の S パラメータ解析を活用して、詳細に調査・解析する [チューニング機能で各部回路定数を最適化、レポート機能を利用して結合係数 K と BEF 減衰量の関係をビジュアルに表現] ことによ

って、優れた選択性能を有する BEF をスピーディにかつ効率良く設計できることを示した。

(3)実際に SNAP を活用した BEF を幾つか試作評価してみると、高精度且つ高品質 [部留り良好] な実用性に優れた各種フィルタを、SNAP により効率的に開発できることを確認・検証できた。

—以上—