

エンジニアの素朴なギモン

第3回 共振のモード



小暮裕明

筆者が技術コンサルタントとして多くの企業で経験した問答を紹介する連載の第3回である。今回は、まず、バンドパス・フィルタのギャップの違いによる特性の変化を調べ、共振のモードについて理解する。 (編集部)

● わずかな差をデシベルで表示する



新人：図1のバンドパス・フィルタは、中央部のギャップを1mm(本誌2007年9月号, pp.136-138の連載第2回を参照)から1.4mmに広げたモデルで、完全に左右対称形です。わずか400 μm の違いなのに、リターン・ロスのグラフは図2のように、W字形ではなくV字形になってしまいました。なぜでしょうか。



先輩：両端オープンな結合線路は、2本とも1/2波長の共振器として動作している。共振現象が起きている周波数では、これらの共振器のまわりに強い電磁的結合を生じて、左側の入力(ポート1)から右側の出力(ポート2)に向けて電磁エネルギーが移動する。ギャップを1.6mmに増やすと、図3のように図2よりさらにシャープなV字形になる。



帯域幅も狭くなってしまいました。



図2や図3は入力ポートで観測した反射係数(S_{11})だから、共振周波数ではゼロ(無反射)に近い。 $|S_{11}|$ は図2では0.08、図3では0.03だ。両者の差は0.05だから、

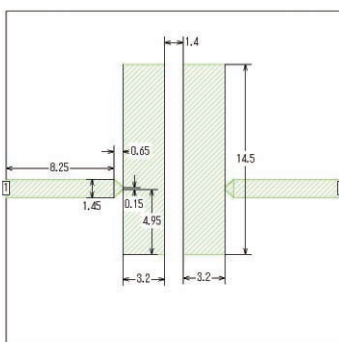


図1 バンドパス・フィルタのモデル

中央部のギャップを連載第1回で示した1.0mmから1.4mmに広げたもの。電磁界シミュレータSonnetを使用。SONNETのWebページは、<http://www.sonnetsoftware.co.jp/>および<http://www.sonnetsoftware.com/>

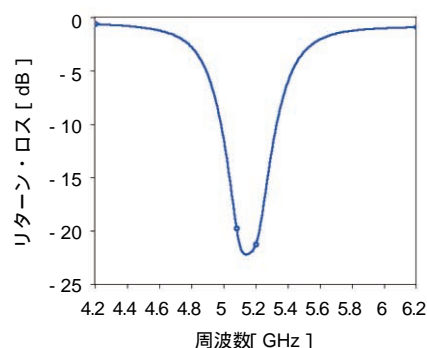


図2 ギャップ1.4mmのリターン・ロス

W字形ではなくV字形になった。

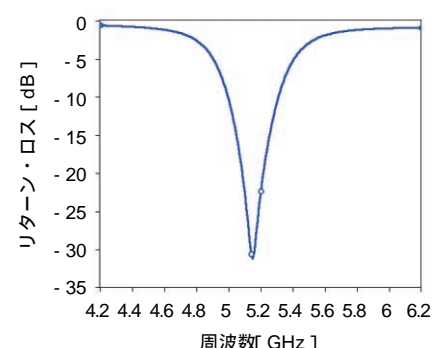


図3 ギャップ1.6mmのリターン・ロス

さらにシャープなV字形になる。

Keyword

dB, 反射係数, リターン・ロス, 臨界結合, 双峰特性, 単峰特性

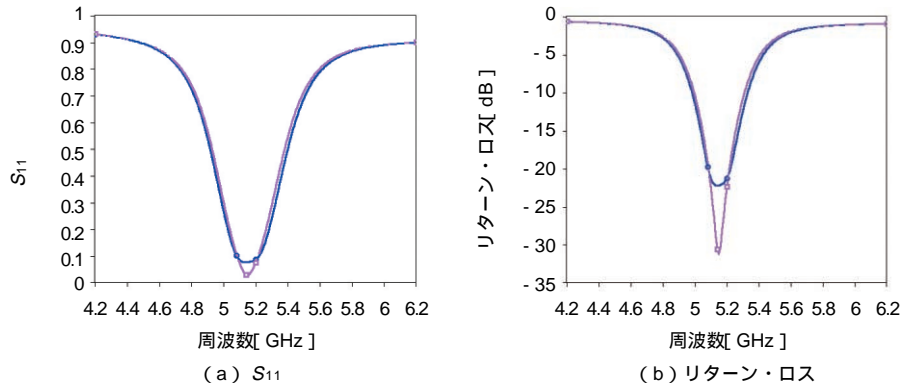


図4 S_{11} とリターン・ロス
(a)は S_{11} 表示, (b)はリターン・ロスのデシベル表示である。

図4(a)の $|S_{11}|$ 表示ではわずかな違いに見える。しかしリターン・ロスはデシベル^{注1}表示なので、図4(b)では9dBの差は大きく思えるかもしれない。

デシベル表示は微妙な違いが強調されるので、リターン・ロスは敏感な印象があります。

● 結合度の違い

ギャップが大きくなれば結合は弱くなると思います。

直観的にはそう考えられる。 S_{21} は出力側への伝達係数だから結合の強さを表している。そこで図5を見ると、中心周波数の5.2GHz付近は、5.1GHzや5.3GHz付近より小さくなっている。しかもこれはギャップが最も小さい1mmの場合だ。

共振部には強い電磁エネルギーが発生しているのだから、これはおかしな現象です。

近づけば近づくほど結合が強くなるとは限らない。夫婦もつかず離れずの方が強く共感し合える...

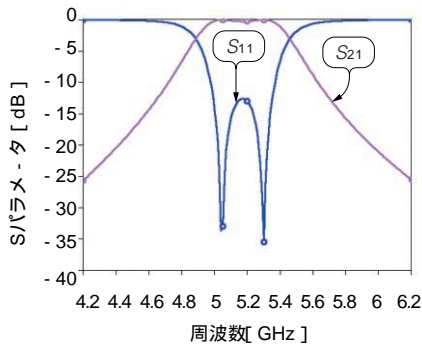


図5 S_{11} と S_{21}
デシベル表示なので、リターン・ロスとトランスミッション・ロスとも呼ぶ。

実感がこもっています。

図6は左(1次)側と右(2次)側に並列LC共振回路があって、容量結合^{注2}している。結合の強さを表す結合度は、次のように表される。

$$= \frac{C}{\sqrt{C_1 C_2}} \dots \dots \dots (1)$$

= 1の場合を臨界結合といって、図7で示すように最大値をとる。がこれより小さいと単峰特性、これより大きいと双峰特性を示す。

結合度を変えれば帯域幅を調整できますが、図6は二つのLC共振回路をコンデンサでつないでいます。

注1：デシベル [dB] とは、電力比の常用対数値 (bel) の10倍 (deci)。入力電力を P_1 、出力電力を P_2 とすると、 $10 \log_{10} (P_2/P_1)$ [dB] は利得を表す。Sパラメータは電圧比なので、リターン・ロスは $20 \log_{10} |S_{11}|$ [dB]。

注2：コンデンサ内では電界の方向へ電荷が移動して電流が流れる。容量結合とは、コンデンサを介して一つの回路から別の回路へエネルギーを伝えること。

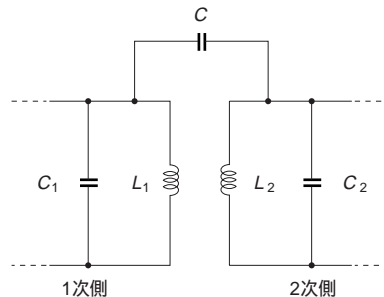


図6 容量結合による複同調回路
1次側と2次側に並列LC共振回路があって、容量結合している。

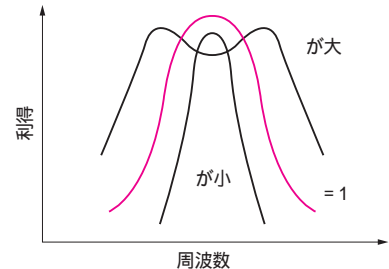


図7 複同調回路の周波数特性
= 1の場合を臨界結合といい、最大値をとる。