

携帯電話端末などの必須デバイスとして
静かに進化を続ける

RF用SAW/BAWフィルタの 基礎と技術動向

橋本 研也

Ken-ya Hashimoto

まえがき

携帯電話等の通信機器では、弾性表面波(SAW : Surface Acoustic Wave)やバルク波(BAW : Bulk Acoustic Wave)等の弾性波共振子を利用した高周波フィルタが多用されています。

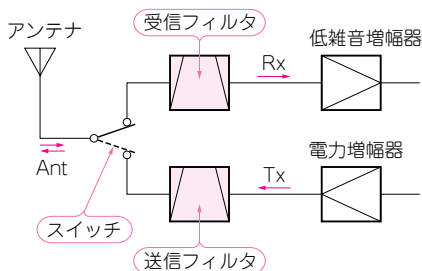
本稿では、通信機器でこれらの素子がなぜ利用されるのか、特徴は何か、さらにはそれらの素子の限界を明らかにしていきます。

高周波フィルタの役割

図1に、送信(Tx)信号と受信(Rx)信号をスイッチで切り替えて周波数で分離する時分割複信(TDD : Time Division Duplex)方式送受信機のフロントエンド部の概略構成を示します。

■ 受信

最初に、アンテナから信号を受信する場合を考えましょう。このとき、必要な信号以外にさまざまな信号が入ってきますが、そのまま増幅器(低雑音増幅器)に入れるとさまざまな問題が発生します。すなわち、大きな信号が同時に入力されると、低雑音増幅器が飽和して所望の信号を増幅できなくなったり、破壊されたりします。そこまで極端でなくても、低雑音増幅器の



〈図1〉時分割複信(TDD)方式送受信機のフロントエンド部の構成

非線形性のために複数の信号が混合して新たな信号が発生し(混変調)、通信を邪魔することがあります。

また、受信機の構成によっては、目的外の周波数帯に感度をもってしまう可能性があるため、とくにその周波数帯を抑圧するように要請される場合もあります。

■ 送信

次に、送信機の増幅器(電力増幅器)の出力をアンテナに供給する場合を考えましょう。この場合、電力増幅器の発生する熱雑音や非線形性に起因する混変調信号が不要電波としてアンテナから放射され、周囲の無線装置の通信を妨害してしまいます。もちろん、不要電波の放射は法律で厳しく規制されています。

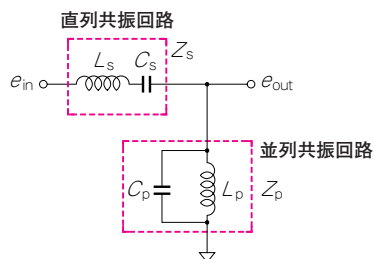
これらの問題を克服するために、アンテナと低雑音増幅器の間や、アンテナと電力増幅器の間に不要な信号を除去する受信用と送信用の高周波フィルタが配置されます。

高周波フィルタへの要求事項

高周波フィルタには、いくつか考慮すべきことがあります。

■ 高周波フィルタの基本は受動フィルタ

まず、フィルタ自体が非線形性により混変調信号を



〈図2〉リアクタンス素子による帯域通過フィルタの基本構成

発生しては本末転倒です。また、熱雑音をできるだけ抑える必要があります。このため、非線形性や雑音が生じやすいトランジスタなどを使用せず、コイルやコンデンサなどのリアクタンス素子だけでフィルタが構成されます。このようなフィルタを受動フィルタといいます。

図2にその基本構成を示します。回路に直列に接続されている L_s と C_s は周波数 f_s で直列共振してその合成インピーダンス Z_s が非常に小さくなります。それに対して、回路に並列に接続されている L_p と C_p が周波数 f_p で並列共振してその合成インピーダンス Z_p が非常に大きくなります。 f_s と f_p は次式で表されます。

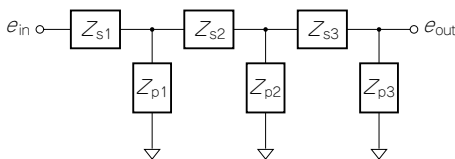
$$f_s = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_s C_s}} \dots\dots\dots (1)$$

$$f_p = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_p C_p}} \dots\dots\dots (2)$$

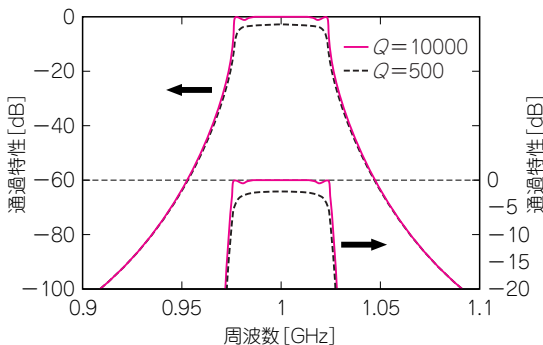
このため、 f_s と f_p がほぼ等しくなるように設定すると、その周波数付近だけ信号が通過する帯域通過フィルタを実現できます。ただし、これでは単峰で、緩やかな遮断特性しか得られません。そのため、図3のようにこの回路を多段に縦続し、図4に示す平坦な通過域と急峻な遮断特性を合成します。

リアクタンス素子の性能を表すものとして、品質係数 Q があります。 Q が低いと、フィルタを構成したときに通過周波数帯での損失が増加し、また、通過域端が丸まってしまう

通常のコイルやコンデンサは Q が低いため、実現できるフィルタの性能に限界があります。



〈図3〉 図2の基本回路を縦続接続した帯域フィルタ



〈図4〉 帯域通過フィルタの周波数特性例

■ フィルタ損失が小さいほど、不整合によるリップルが顕著になる

ところで、この種の高周波フィルタを利用する場合に注意すべき点があります。理想的にはこのフィルタ回路の中でエネルギーを失いません。そして、回路の入出力インピーダンスが周辺回路のそれと不整合し、入力信号が反射されることによって周波数特性が生じます。したがって、周辺回路のインピーダンスをフィルタの規定の値と一致させないと、損失が増えるだけでなく、通過周波数帯に大きなリップルが発生します。フィルタの損失が小さいほど、不整合によるリップルが顕著になるので、注意が必要です。

バルク波共振子を利用した高周波フィルタ

そこで、 Q が非常に良好な弾性振動を利用した共振子がリアクタンス素子として利用されます。

■ 水晶振動子を使ったフィルタの動作原理

弾性振動を利用した共振子の代表的なものとして、図5のように水晶片を平行電極で挟み込んだ圧電振動子を考えましょう。水晶には圧電性があるので、両電極に加えられた電圧 e が発生する電界により力 e_m が発生し、その反作用として慣性、弾性、粘性による力が発生し、速度 v で運動します。すなわち、

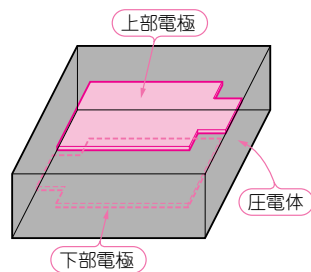
$$e = \frac{1}{n} \left(M \frac{dv}{dt} + \eta v + k \int v dt \right) \dots\dots\dots (3)$$

ただし、 M ：圧電振動子の実効的な質量、
 k ：ばね定数、 η ：摩擦係数

なお、 n は電気量と機械量との変換係数であり、圧電性の大きさに対応します。また、圧電反作用によって生じたひずみに比例した電荷 q が電極に誘起します。すなわち、

$$q = nv \dots\dots\dots (4)$$

です。このことは電氣的に機械的共振が励振され、それが電氣的共振として検出されることを意味しています。



〈図5〉 圧電振動子の構造