

室内で地デジ放送を安定に受信する 平面型可変指向性アンテナ

大平 孝
Takashi Ohira

■ これからは「室内で直接受信」がトレンド!

お茶の間の片隅に堂々と据え付けられたブラウン管式テレビ。これがアナログ時代の一般的なテレビ利用スタイルでした。近年の液晶やプラズマ・パネル技術により、女優の吉永小百合さんがコマーシャルしているような「女性でも運べる薄型」が登場しました。リビング・ルームだけでなく個々の生活シーンにあわせて好きな場所でテレビを見たい。そのためには、テレビの裏側から出ているフィーダ線をなんとかなくせたらと考えられた方もきっと多いことでしょう。

屋根の上ではなく、テレビに直接アンテナがついていると、これが可能になるはずです。

■ 室内受信はなぜ不安定なんだろう？

● マルチパス合成

屋根の上の固定アンテナには、放送局からの電波が一定で既知の方向から到来します。それに比べて室内では電波環境はとても複雑です。窓から入ってきた電波は壁や床や家具などで多重に反射します。

室内アンテナに到来する電波は、このように異なる経路かつ異なる方向からの電波の合成となります。この現象を「マルチパス合成」と呼んでいます。

複数の波が合成される時、位相が同じであれば強め合い、同振幅かつ逆位相なら互いに打ち消し合ってしまう。電波の位相は、到来経路や場所によって変化しますから、電波の強さに室内で山と谷が生じます。たとえ放送局から近くて電波が十分強い地域であっても、室内アンテナでは画像が不安定になる理由がここにあります。

● 地上デジタル放送は電波が弱くてもクリアに受信できるはずでは？

一般にデジタル化された信号は、アナログ信号に比べて雑音やゆらぎに対する耐性が優れています。さらに、地上デジタル放送はマルチパスに強くなるように変復調方法が工夫されています。つまり、デジタル信号を時系列的に順次送信する際に、信号と次の信号の間の時間間隔を広くとっています。これにより、複数の空間伝播路に大きい時間遅延差があっても信号どうしが衝突しにくくなっています。

アナログ放送で発生していたビルなどの屋外反射によるゴースト現象は、デジタル放送では解決されています。しかしながら、室内ではビル反射とは異なり、テレビから至近距離に反射物があります。なので、ほとんど時間差なく複数の波がほぼ同時に到来します。こうなると、電波の谷では広い周波数帯域にわたって受信レベルが大きく低下します。これを「フラット・フェージング」と呼んでいます。

フラット・フェージングは、放送波の変調方法を工夫しても解決できません。さらにやっかいなことに、電波の山と谷の場所は受信したいチャンネルによって異なりますし、また、周囲の人が動くことで変動します。

■ スペース・ダイバシティならマルチパス環境でも安定に受信できるが、複数のアンテナが必要

マルチパス対策として、スペース・ダイバシティと呼ばれる有力な手法があります。これは二つのアンテナを異なる場所に設置して、電波の強い方にスイッチで切り替えて選択し、受信しようというものです。片方のアンテナが電波の谷の場所となっても、もう一方のアンテナが谷から外れていれば受信レベルが保たれます。

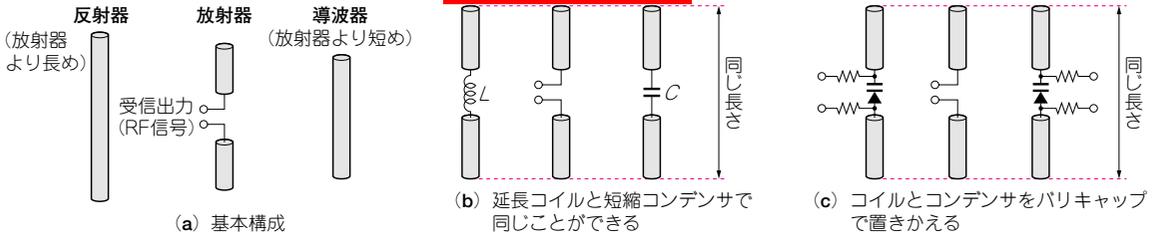
スペース・ダイバシティは、このように安定性に優れていますが、構成要素として「アンテナが二つ必要」であることが問題点です。しかも、二つの場所が同時に谷となってしまう確率を低くするために、アンテナ間の距離(スペース)をおおむね波長の2倍以上離すことが必要です。

■ リアクタンス・ダイバシティなら単一のアンテナでフェージングを回避できる

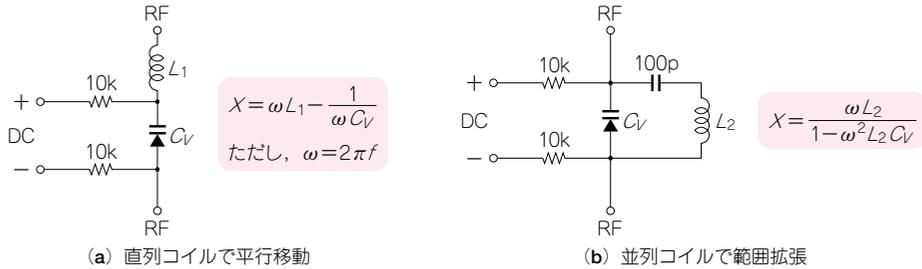
このような問題点を打開することを目指して、新しいダイバシティ方式が考案研究⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾されています。これはFMチューナなどのデジタル電子同調回路などに広く使われている可変容量ダイオード(バリキャップ)を利用してアンテナの指向性を制御しようとするものです。

指向性をうまく制御できれば、フェージングの原因である「同振幅逆位相状態」を一つのアンテナで巧みに避けることが期待できます。

見本



〈図1〉 八木アンテナの基本構成とリアクタンス素子による指向性



〈図2〉 リアクタンス範囲を拡大するために固定インダクタを組み合わせた回路

● 指向性を制御するしくみ

よく知られているように八木アンテナを構成する寄生素子は、図1(a)に示すようにわずかの長さの違いで導波器から反射器へその働きがまったく逆転します。また一方で、線状アンテナに図(b)のようにキャパシタ/インダクタを装荷すると、その電気長を短縮/伸張できることも一般に知られています。

これら2点に着目すると「可変容量ダイオードを寄生素子に装荷することにより、アンテナの指向性を電子的に制御できそうだ」という発想に至ります。このようなアンテナを「電子走査導波器アレイ」または英語“Electronically Steerable Parasitic Array Radiator”の頭文字をとって「エスパ・アンテナ」^{(1) (2)}と呼んでいます。図(c)のように複数の可変容量ダイオードを独立に制御できる場合は、これらのバイアス電圧の組み合わせで指向性が決まります。

● 可変容量ダイオードで電波の山と谷を動かす

可変容量ダイオードは、DCバイアス電圧に応じて静電容量 C を制御できます。すなわち、リアクタンス値 X_C を制御できます。その値は次式で表せます。

$$X_C = -\frac{1}{2\pi fC} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 X_C : リアクタンス値 [$\times 10^6 \Omega$],

f : 周波数 [MHz], C : キャパシタンス [pF]

可変容量ダイオードが装荷された寄生素子は、リアクタンス値に応じて導波器になったり反射器になったりします。これによって指向性が大きく変化します。指向性が変化すると、先に述べたマルチパス合成の際に、異なる方向から到来する個々の波が合成される割合

(成分率)が変わります。したがって、谷だった場所が、指向性を変えることにより谷でなくなるわけです。

別の言い方をすると、室内空間において電波の山ができる場所と谷ができる場所をリアクタンス制御によって移動できるといえます。

このようにDC電圧でリアクタンスを変えて指向性を制御し、それにより受信レベルを保つ方式を「リアクタンス・ダイバシティ」と呼んでいます。

● 可変容量ダイオードと固定インダクタで作る可変リアクタ

可変容量ダイオードは容量性なので、常に負のリアクタンス値をとります。バイアス電圧による容量変化比は通常は1 : 10程度です。そこで、リアクタンス範囲を拡大するために固定インダクタを組み合わせた回路を図2に示します。可変容量ダイオードに直列にインダクタを接続すると、リアクタンス X は、

$$X = \omega L_1 - \frac{1}{\omega C_V} \quad \dots\dots\dots (2)$$

となって、プラス側へ平行移動できます。また、並列にインダクタを接続するとリアクタンスが、

$$X = \frac{\omega L_2}{1 - \omega^2 L_2 C_V} \quad \dots\dots\dots (3)$$

となり、可変範囲を拡大できます。ここで C_V は可変容量ダイオードの容量です。

図中の10 k Ω はチョーク抵抗、100 pFは直流阻止コンデンサです。これら直列 L_1 と並列 L_2 の組み合わせによって随意的正負リアクタンス範囲を得ることができます。ただし可変範囲を大きくすると損失も増えるので、必要以上に拡大するのは得策ではありません。