

第8章 反射やロスのない ON/OFF 制御の テクニク

高周波スイッチの シミュレーション

市川 裕一
Yuichi Ichikawa

デジタル回路であれば、ゲートの組み合わせによって簡単にスイッチ(切り替え回路)が作れます。低周波回路の場合には、さまざまなアナログ・スイッチ IC やリレーが出回っているので、特別にスイッチを設計する必要はありません。

高周波回路でも、最近はGHz帯で使えるスイッチ IC やスイッチ・モジュール、リレーがたくさん出るようになったので、スイッチを設計する機会は減っていると思います。しかし、汎用品で性能が不十分な場合や、コストが要求される場合には、自分で設計する必要があります。

本章では、スイッチの基本動作を理解し、シミュレーションを使って実際に設計をしてみます。

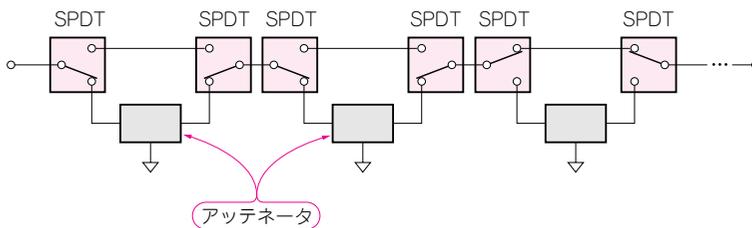
高周波スイッチのあらまし

■ 応用回路例

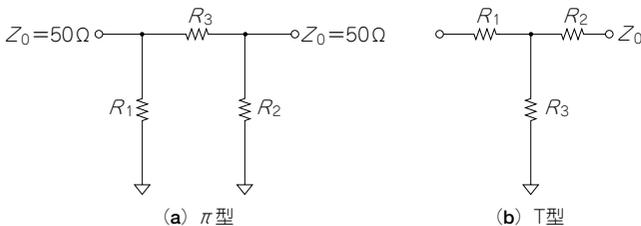
● プログラマブル・アッテネータ

図1に示すように、SPDT(Single Pole Double Throw)型のスイッチとアッテネータ回路の組み合わせを複数接続したものです。個々の回路は、1組のSPDTスイッチ間に挿入されたアッテネータと伝送線を切り替える構成になっています。アッテネータの値を1 dB, 2 dB, 4 dB, 8 dB…と設定することにより、1 dBステップで減衰量を制御できます。

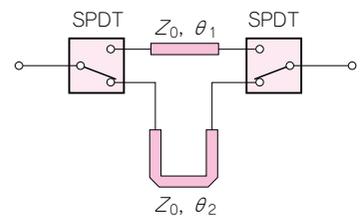
〈図1〉スイッチの応用その①…プログラマブル・アッテネータ



〈図2〉図1のアッテネータ部の回路例



〈図3〉スイッチの応用その②…移相器



Keywords

プログラマブル・アッテネータ, π 型, T型, 移相器, PIN ダイオード, MESFET, ピンチ・オフ電圧, SPST, 単極単投, シリウス型, シャント型, 挿入損失.

高周波回路の中では、さまざまな目的でアッテネータ(減衰器)が使われます。図2に示すように、アッテネータには π 型とT型の2種類があります。どちらも抵抗3個で簡単にできます。一般によく使うのは π 型です。

● 移相器

図3のように、1組のSPDTスイッチで長さが異なる2本のラインを切り替える回路です。ラインの電気長の移相差 $\theta = \theta_2 - \theta_1$ が、切り替えによって生じます。図4のように移相差が 22.5° 、 45° 、 90° 、 180° の四つの回路を接続し合わせれば、 $0^\circ \sim 337.5^\circ$ まで 22.5° ステップで位相を制御できます。

■ 種類と要件

● 種類…電子式が一般的

電気信号で切り替えられるスイッチを大別すると、**機械式**と**電子式**に分けることができます。機械式はリレー、電子式は半導体を使ったものです。電子式を分類すると、ICとディスクリット構成に分けられます。ディスクリット構成は、使用半導体によってさらに**PINダイオード・スイッチ**と**MESFETスイッチ**に分けられます。表1にスイッチの分類と比較を示します。

スイッチング速度と形状の制約がない場合には、特性の優れた機械式が使われます。しかし、身の回りにある携帯電話、無線LANなど的高周波システムでは、軽薄短小化と高速切り替えが常に要求されるので、半導体を使った電子式のスイッチが使われています。本章でもディスクリット部品で構成した電子式スイッチを取り挙げます。

● 要件

高周波の電子式スイッチに求められる性能をまとめると次のようになります。

- ONのとき減衰が小さいこと
- OFFのとき漏れが小さいこと
- スwitchング速度が速いこと
- 各端子のVSWRが小さいこと
- 耐電力つまり取り扱える電力が大きいこと

VSWRが悪いとスイッチに接続される各回路との間のミス・マッチングによって、挿入損失が悪化します。

■ 電子式スイッチに使える半導体

高周波のスイッチに一般的に使われている半導体は、PINダイオードとMESFETです。両方の半導体のスイッチとしての動作を簡単に見てみましょう。

● PINダイオード

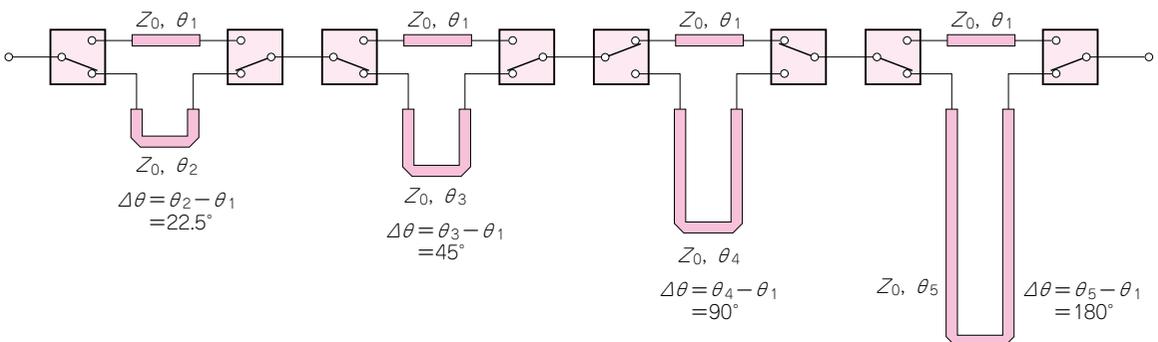
写真1に示すのは、高周波信号のスイッチによく使われるPINダイオードの外観です。

図5に、PINダイオードの構造を示します。P型半導体とN型半導体の間に真性半導体のI(Intrinsic)層が挟まれています。

PINダイオードの高周波での簡略化した等価回路を図6に示します。順方向バイアス電圧を加えたときの抵抗値(R_F)は、図7のように直流バイアス電流 I_F によって変化します。直流バイアス電流を十分に流すと、 $0.数 \sim 数 \Omega$ の低インピーダンスなON状態になります。

逆方向バイアス電圧を加えたときの容量値(C_J)は、図8のようにバイアス電圧によらずほぼ一定値($0.数$

〈図4〉 SPDTスイッチで作る移相調整範囲 $0^\circ \sim 337.5^\circ$ 、ステップ 22.5° の移相器



〈表1〉 機械式スイッチと電子式スイッチの特徴

方式	形状	切り替え速度	耐電力	消費電力
機械式	大きい	遅い(msオーダー)	大きい	大きい
電子式	IC	非常に速い(nsオーダー)	小さい	非常に小さい
	PINダイオード	速い(μ sオーダー)	大きい	小さい
	MESFET	非常に速い(nsオーダー)	小さい	非常に小さい