

第5章 高周波回路 設計便利帳

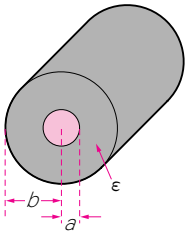
1 同軸伝送線路とコネクタ

鮫島 正裕
Masahiro Sameshima

● 同軸伝送線路の特性インピーダンスの算出式

同軸伝送線路は、同軸上の中心導体と外部導体の間にポリエチレンやテフロンなどの誘電体をはさんで、導体間隔が一定になるようにしたものです。この同軸伝送線路の特性インピーダンスは、内径と外径の寸法比と誘電体の誘電率で決まります。

図1-1が特性インピーダンスを求めるための式です。おおむね10 MHz以上では、式(1-1)を使用し、10 MHz以下では、表皮効果の減少の影響で、特性インピーダンスが、式(1-2)にしたがって上昇します。



$$Z = \frac{60}{\sqrt{\epsilon}} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \quad (10\text{MHz以上}) \dots\dots\dots(1-1)$$

10MHz以下でのインピーダンスの増加分は次のとおり。

$$\frac{1.98}{\sqrt{\epsilon f}} \left(\frac{1}{2a} + \frac{1}{2b}\right) \dots\dots\dots(1-2)$$

図1-1 同軸伝送線路の特性インピーダンス

● 高周波同軸ケーブルの電気的特性

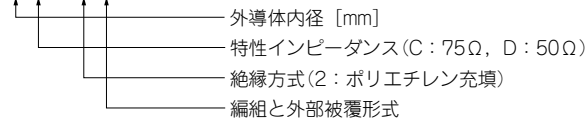
表1-1に示すのは、標準的な50 Ω系と75 Ω系の同軸ケーブルの名称と各周波数での標準的な減衰量を集めてみたものです。

型名の最初の数字がケーブルの太さで、ケーブルの太さと減衰量を見比べると、ケーブルの径が太いほうが、損失が少ないことがわかります。

表1-1⁽³⁾ 高周波同軸ケーブルの電気的特性 (JIS規格)

型名	減衰量 [dB/km]					特性インピーダンス [Ω]	静電容量 [pF/m]	波長短縮率 [%]
	1 MHz	10 MHz	30 MHz	200 MHz	1 GHz			
3C-2W, 3C-2T, 3C-2Z, 3C-2V	13	42	73	194	—	75 ± 3	67 ± 3	67 ± 2
5C-2V, 5C-2W	8	27	47	126	—	75 ± 3	67 ± 3	67 ± 2
7C-2V	7	22	38	105	—	75 ± 3	67 ± 3	67 ± 2
10C-2W 10C-2V	5	18	31	86	—	75 ± 3	67 ± 3	67 ± 2
1.5C-2V	73	96	145	393	—	75 ± 3	69 ± 4	66 ± 2
2.5C-2V	17	52	93	145	—	75 ± 3	69 ± 4	66 ± 2
1.5D-2V	24	85	145	415	910	50 ± 2	104 ± 5	66 ± 2
2.5D-2V	13	45	80	226	500	50 ± 2	100 ± 5	66 ± 2
3D-2V, 3D-2W	14	47	82	219	515	50 ± 2	100 ± 4	67 ± 2
5D-2V, 5D-2W	8	27	47	129	320	50 ± 2	100 ± 4	67 ± 2
8D-2V, 8D-2W	6	20	35	95	240	50 ± 2	100 ± 4	67 ± 2
10D-2V	4	14	24	70	195	50 ± 2	100 ± 4	67 ± 2

3C-2V



- N : 1重外部導体編組+ナイロン編組 T : 3重外部導体編組+PVC被覆
- V : 1重外部導体編組+PVC被覆 Z : 1重外部導体編組
- W : 2重外部導体編組+PVC被覆

● 同軸伝送線路の種類と取り扱える周波数

1 GHzを越える帯域では、ケーブルとコネクタ径は細くなる傾向があります。

表1-2に示すのは、測定器や機器間接続に使われるコネクタの名称と使用できる周波数です。周波数が高くなるにしたがって直径が細くなっていきます。ただし、直径が細くなると表1-1のように伝送損失が増えるので、周波数範囲に適合したものを使用するようにします。

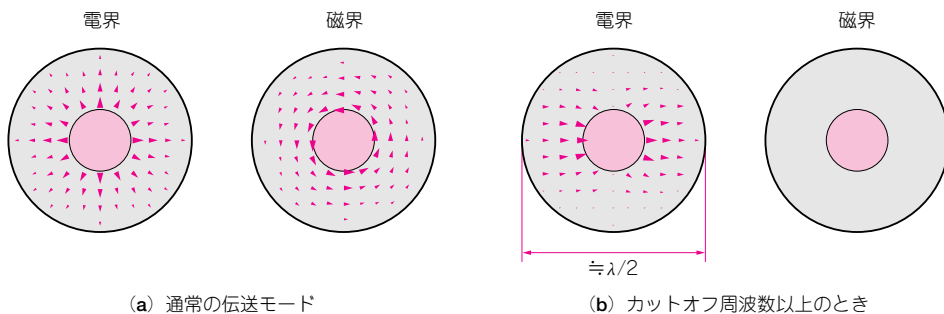
図1-2(a)は同軸線路を伝播する電界と磁界のようすです。電界は放射状に、磁界は中心導体の周りを回転するようにして、交互に同軸線路内を伝播していきます。

さらに周波数が上がって、伝播している信号の半波長が同軸線路の外径に近くなると、電界が図1-2

(b)のようになります。これが同軸線路のカットオフ周波数付近のようすです。例えばSMAコネクタの場合、外形寸が4.2 mmでテフロンを使用しているため、波形短縮率約1.4で計算すると、カットオフ周波数は約25 GHzになります。

表1-2 高周波コネクタの名称と扱える周波数範囲

コネクタ名称	使用周波数上限
N	18 GHz
TNC	18 GHz
SMA	22 GHz (18 GHz)
3.5 mm	34 GHz
2.92 mm (K)	40 GHz
2.4 mm	50 GHz
1.85 mm	65 GHz
1 mm	110 GHz



(a) 通常の伝送モード
図1-2 同軸伝送線路内の電界と磁界

● 表皮効果と表皮の厚さ

図1-3に示すように、導体を伝わる波動の周波数が高くなってくると、表皮効果によって電流は導体表面に集まります。これは導体の中心部では磁束と中心部を流れる電流との鎖交が多く、逆起電力が大きくなり電流が流れにくくなるからです。

導体の抵抗率がゼロでない場合、単位長あたりの抵抗は面積に抵抗率を乗じた値ですから、全断面積に対する電流が流れている部分の面積の割合が、周波数の平方根に反比例して減少し、低い周波数の電流に対する抵抗と、高い周波数の電流に対する抵抗に違いが生じます。

一般に数MHz以上では1 mmの長さの導体のインダクタンスは1 nHといわれますが、これは電流が導体の表面に集まっているときの値です。

電流密度が全電流の37%で存在する部分の厚さを表皮の厚さ d [m] は、

$$d = \sqrt{\pi f \mu \rho}$$

ただし、 f : 伝搬する信号の周波数 [Hz] ,
 μ : 透磁率 [H/m] ,
 ρ : 導電率 [S/m]

で表され、銅の場合は、

$$d = 0.0666/\sqrt{f}$$

アルミの場合は、

$$d = 0.0826/\sqrt{f}$$

となります。銅の表皮の厚さは100 MHzで約6 μ m、1 GHzでは約2 μ mとなります。このため、高周波ケーブルなどでは、導体の表面を導電率の良い金属でメッキしてあります。表皮効果による、伝送特性の劣化はケーブルの長さの2乗に比例して悪化します。

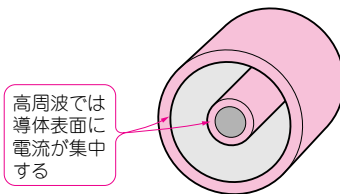


図1-3 高周波では導体表面に電流が集中する