

第4章 レベル調整，ミスマッチ緩和など ——手軽に作れて役に立つ

アッテネータの製作とその効用

小宮 浩
Hiroshi Comiya

回路設計をしていると、信号のレベルを調整したり減衰させる必要が多々あります。例えば、過大な信号を減衰させて適切なレベルに整えてからアンプやミキサに入力することで、ひずみの少ない出力信号が得られます。このときアッテネータを使います。

しかし、効用はそれだけではありません。アッテネータを挿入することによって、回路間のミスマッチ、すなわちインピーダンス不整合を緩和します。さらには、一種のインピーダンス変換器としても働いてくれる優れたものです。アッテネータは、高周波回路の影の立役者だと思えます。

本稿では、必要とする減衰量のアッテネータを容易に製作する方法を紹介します。製作したアッテネータの周波数特性を測定して、使用できる範囲を調べます。

また、アッテネータを使ったアンプとフィルタ間のミスマッチの改善効果を検証します。

写真1と写真2は、チップ抵抗で製作したπ型アッテネータとT型アッテネータの外観です。

基本的なアッテネータの計算式

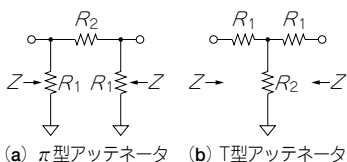
抵抗を使ったアッテネータには、いくつかの型があります。ここでは、高周波用として一般的に使われる図1に示すπ型とT型のアッテネータ定数の計算式を記します。

■ π型アッテネータの計算式

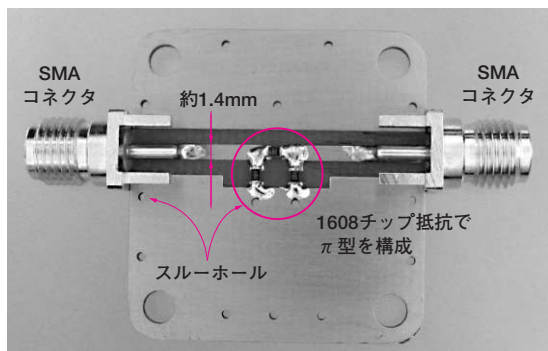
入出力インピーダンス $Z \Omega$ で、減衰量 $X \text{ dB}$ とするπ型アッテネータの $R_1 \Omega$ と $R_2 \Omega$ を求める式を以下に示します。

$$R_1 = Z \left(\frac{K+1}{K-1} \right) \dots\dots\dots (1)$$

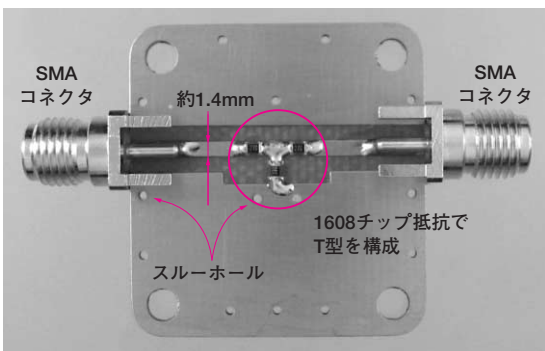
$$R_2 = \frac{Z}{2} \left(\frac{K^2-1}{K} \right) \dots\dots\dots (2)$$



〈図1〉 代表的なアッテネータ回路



〈写真1〉 チップ抵抗で試作したπ型アッテネータ



〈写真2〉 チップ抵抗で試作したT型アッテネータ

〈表1〉 一般に使用する抵抗値のE系列標準数

E-6	1.0	—	—	—	1.5	—	—	—	2.2	—	—	—	3.3	—	—	—	4.7	—
E-12	1.0	—	1.2	—	1.5	—	1.8	—	2.2	—	2.7	—	3.3	—	3.9	—	4.7	—
E-24	1.0	1.1	1.2	1.3	1.5	1.6	1.8	2.0	2.2	2.4	2.7	3.0	3.3	3.6	3.9	4.3	4.7	5.1

4種のアッテネータを計算

入力インピーダンス Z [Ω]: 50
必要な減衰量 X [dB]: 9.7

計算

X=9.7dBで計算するとE-12系列に近い抵抗値になる

1. π型 9.7 dB ATT

〈図2〉 設計支援ツールを使ってπ型アッテネータを設計する

ただし、 $K = 10^{X/20}$ (3)

■ T型アッテネータの計算式

同様に、T型アッテネータの $R_1 \Omega$ と $R_2 \Omega$ を求める式を以下に示します。

$$R_1 = Z \left(\frac{K-1}{K+1} \right) \dots\dots\dots (4)$$

$$R_2 = 2Z \left(\frac{K}{K^2-1} \right) \dots\dots\dots (5)$$

K の値は式(3)と同じです。

E12系列の抵抗を使ってアッテネータを設計する

測定器などに使用するレベルの校正を目的とするアッテネータ以外であれば、減衰量や入力出力インピーダンスが多少違って問題ないでしょう。

表1にE6, E12, E24系列の標準数を示します。ずいぶん昔ですが、諸先輩からE6系列だけで工夫して設計し、値の異なる部品を増やさないと助言されました。今日では、あまり気にせずにE24やそれ以上の系列も入手できて使うことができます。しかし、ここでは現在の回路設計に多用されているE12系列の標準抵抗の値を基本に設計しましょう。

■ 減衰量約 10 dB のπ型アッテネータの設計例

設計例として入力インピーダンス $Z = 50 \Omega$ の減衰量 $X \approx 10 \text{ dB}$ とするπ型アッテネータの定数 R_1 と R_2 を求めます。

前述の式(1)～式(3)から算出できますが、私のホームページにアッテネータの設計を支援するオンライン・ツールを設けてあるので、これを活用します。

—	—	6.8	—	—	—
5.6	—	6.8	—	8.2	—
5.6	6.2	6.8	7.5	8.2	9.6

4種のアッテネータを計算

入力インピーダンス Z [Ω]: 50
必要な減衰量 X [dB]: 10.5

計算

X=10.5dBで計算するとE-12系列に近い抵抗値になる

2. T型 10.5 dB ATT

〈図3〉 設計支援ツールを使ってT型アッテネータを設計する

図2は「ATT, 減衰器の計算ツール」の画面です。入力インピーダンス $Z = 50 \Omega$ を入力して、減衰量 X を 10 dB より少し減らして、 $X = 9.7 \text{ dB}$ とすると表1に示したE12系列の抵抗値にごく近い値となりました。

$R_1 = 100 \Omega$, $R_2 = 68 \Omega$ の定数で約 10 dB ($X = 9.8 \text{ dB}$) のπ型アッテネータを構成できます。

■ 減衰量約 10 dB のT型アッテネータの設計例

同様に入力インピーダンス $Z = 50 \Omega$ の減衰量 $X \approx 10 \text{ dB}$ とするT型アッテネータの定数を求めます。

図3のように入力インピーダンス $Z = 50 \Omega$ を入力して減衰量 X を 10 dB より少し増やして、 $X = 10.5 \text{ dB}$ とすると、E12系列の抵抗値にごく近い値となりました。

$R_1 = 27 \Omega$, $R_2 = 33 \Omega$ の定数で約 10 dB ($X = 10.5 \text{ dB}$) のT型アッテネータを構成できます。

π型とT型アッテネータを製作する

抵抗は角型のチップ品を使うことにします。昔は、リード抵抗で製作しましたが、チップ抵抗が普及してからは、それを使うことで周波数特性が向上しました。

リード抵抗を使っていた時代は、リード抵抗に寄生するインダクタンス分やキャパシタンス分の存在が大きく、周波数が高くなるにつれて理想抵抗でなくなり、高周波回路設計を難しくしていました。

最近では、チップ抵抗の性能もずいぶん良くなったと聞いています。また、サイズが小さくなれば、より周波数特性には有利と考えられます。そこで今回は、1608タイプ(形状: $1.6 \times 0.8 \text{ mm}$)の角型チップ抵抗で製作しました。どれほどの性能となるか楽しみです。

■ アッテネータの構造

わずか三つのチップ抵抗ですが、 50Ω の同軸コネクタに直付けすることは難しいです。そこで $25 \times$