

スピーカにコイルとコンデンサを直列に接続すると

クロスオーバー周波数

元の特性

fc(Hz) fc(Hz)

コイルとコンデンサを接続すると

コイル(L)：周波数の低い音を通し、高い音は通さない
 コンデンサ(C)：周波数の高い音を通し、低い音は通さない
 ※接続するコイル、コンデンサの値でクロスオーバー周波数(f_c)が決まります(早見表参照)

fcはクロスオーバー周波数(Hz)
Rはスピーカのインピーダンス(Ω)

12dB形ネットワーク	
$L = \frac{225 \times R}{fC} \text{ (mH)}$	$C = \frac{113000}{fC \times R} \text{ (}\mu\text{F)}$

ク オ ー バ 周 波 数 (fc)	6dB形ネットワーク						12dB形ネットワーク					
	コ イ ルの値 (mH)			コンデンサの値 (μF)			コ イ ルの値 (mH)			コンデンサの値 (μF)		
	スピーカのインピーダンス			スピーカのインピーダンス			スピーカのインピーダンス			スピーカのインピーダンス		
	4Ω	8Ω	16Ω	4Ω	8Ω	16Ω	4Ω	8Ω	16Ω	4Ω	8Ω	16Ω
200Hz	3.2	6.4	12.7	198.8	99.4	49.7	4.5	9.0	18.0	141.3	70.6	35.3
250	2.5	5.1	10.2	159.0	79.5	39.8	3.6	7.2	14.4	113.0	56.5	28.3
300	2.1	4.2	8.5	132.5	66.3	33.1	3.0	6.0	12.0	94.2	47.1	23.5
400	1.6	3.2	6.4	99.4	49.7	24.8	2.3	4.5	9.0	70.6	35.3	17.7
500	1.3	2.5	5.1	79.5	39.8	19.9	1.8	3.6	7.2	56.5	28.3	14.1
600	1.1	2.1	4.2	66.3	33.1	16.6	1.5	3.0	6.0	47.1	23.5	11.8
700	0.9	1.8	3.6	56.8	28.4	14.2	1.3	2.6	5.1	40.4	20.2	10.1
800	0.8	1.6	3.2	49.7	24.8	12.4	1.1	2.3	4.5	35.3	17.7	8.8
900	0.7	1.4	2.8	44.2	22.1	11.0	1.0	2.0	4.0	31.4	15.7	7.8
1000	0.6	1.3	2.5	39.8	19.9	9.9	0.9	1.8	3.6	28.3	14.1	7.1
1200	0.5	1.1	2.1	33.1	16.6	8.3	0.8	1.5	3.0	23.5	11.8	5.9
1500	0.4	0.8	1.7	26.5	13.3	6.6	0.6	1.2	2.4	18.8	9.4	4.7
2000	0.3	0.6	1.3	19.9	9.9	5.0	0.5	0.9	1.8	14.1	7.1	3.5
3000	0.2	0.4	0.8	13.3	6.6	3.3	0.3	0.6	1.2	9.4	4.7	2.4
4000	0.16	0.3	0.6	9.9	5.0	2.5	0.22	0.5	0.9	7.1	3.5	1.8
5000	0.13	0.25	0.5	8.0	4.0	2.0	0.18	0.36	0.7	5.7	2.8	1.4
6000	0.11	0.21	0.42	6.6	3.3	1.7	0.15	0.30	0.60	4.7	2.4	1.2
7000	0.09	0.18	0.36	5.7	2.8	1.4	0.13	0.26	0.51	4.0	2.0	1.0
8000	0.08	0.16	0.32	5.0	2.5	1.2	0.11	0.23	0.45	3.5	1.8	0.9
9000	0.07	0.14	0.28	4.4	2.2	1.1	0.10	0.20	0.40	3.1	1.6	0.8
10000	0.06	0.13	0.25	4.0	2.0	1.0	0.09	0.18	0.36	2.8	1.4	0.7

● **6dB/oct. 形ネットワーク：**
素子(コイルまたはコンデンサ) 1 個がスปีカと直列に接続されたもの

コイルが直列

コンデンサが直列

fc 2fc

$\frac{1}{2}fc$ fc

● **12dB/oct. 形ネットワーク：**
素子 2 個(コイルとコンデンサ)がスปีカに直列と並列に接続されたもの

コイルが直列
コンデンサが並列

コンデンサが直列
コイルがコイルが並列

fc 2fc

$\frac{1}{2}fc$ fc

※6dB/oct.とは1オクターブ当り6デシベル減衰することを意味します。1オクターブとは基準周波数の2倍又は1/2の周波数を意味します。

クロスオーバー 500Hz (8Ω)

プリント基板: 3ウェイ用	※(P13)	1個
コイル($L_w \cdot L_t$): 3.5mH	[L3.5]	2個
コンデンサ($C_w \cdot C_t$): 30μF	[C15]	4個
アッテネータ: 8Ω用	[R80]	1個
ターミナルボックス	(P25)	1個
インピーダンス補正用コンデンサと抵抗		各1個

クロスオーバー 800Hz (8Ω)

プリント基板: 3ウェイ用	※(P13)	1個
コイル($L_w \cdot L_t$): 2.2mH	[L2.2]	2個
コンデンサ($C_w \cdot C_t$): 18.3μF	{[C15] [C3.3]}	2個 2個
アッテネータ: 8Ω用	[R80]	1個
ターミナルボックス	(P25)	1個
インピーダンス補正用コンデンサと抵抗		各1個

クロスオーバー 1,200Hz (8Ω)

プリント基板: 2ウェイ用	(P22)	1個
コイル($L_w \cdot L_t$): 1.5mH	[L1.5]	2個
コンデンサ($C_w \cdot C_t$): 11.5μF	{[C10] [C1.5]}	2個 2個
アッテネータ: 8Ω用	[R80]	1個
ターミナルボックス	(P25)	1個
インピーダンス補正用コンデンサと抵抗		各1個

クロスオーバー 1,500Hz (8Ω)

プリント基板: 2ウェイ用	(P22)	1個
コイル($L_w \cdot L_t$): 1.0mH	[L1.0]	2個
コンデンサ($C_w \cdot C_t$): 10μF	[C10]	1個
アッテネータ: 8Ω用	[R80]	1個
ターミナルボックス	(P25)	1個
インピーダンス補正用コンデンサと抵抗		各1個

クロスオーバー 5,000Hz (8Ω)

プリント基板: 2ウェイ用	(P22)	1個
コイル($L_w \cdot L_t$): 0.5mH	[L0.5]	2個
コンデンサ($C_w \cdot C_t$): 3.3μF	[C3.3]	2個
アッテネータ: 8Ω用	[R80]	1個
ターミナルボックス	(P25)	1個
インピーダンス補正用コンデンサと抵抗		各1個

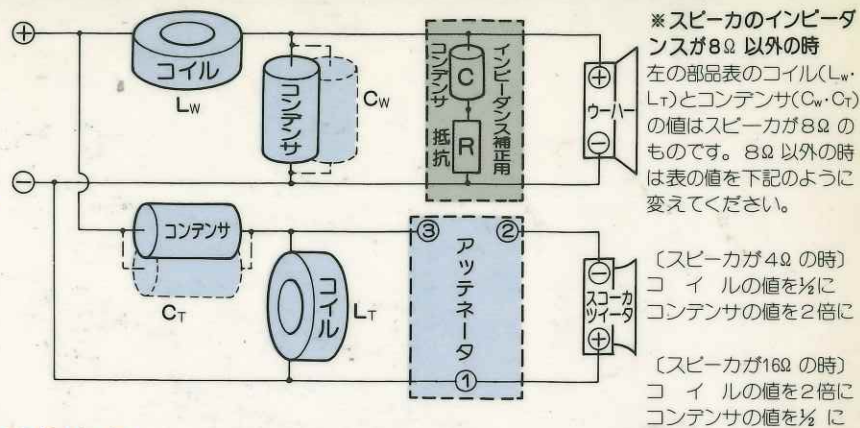
クロスオーバー 7,000Hz (8Ω)

プリント基板: 2ウェイ用	(P22)	1個
コイル($L_w \cdot L_t$): 0.3mH	[L0.3]	2個
コンデンサ($C_w \cdot C_t$): 2.2μF	[C2.2]	2個
アッテネータ: 8Ω用	[R80]	1個
ターミナルボックス	(P25)	1個
インピーダンス補正用コンデンサと抵抗		各1個

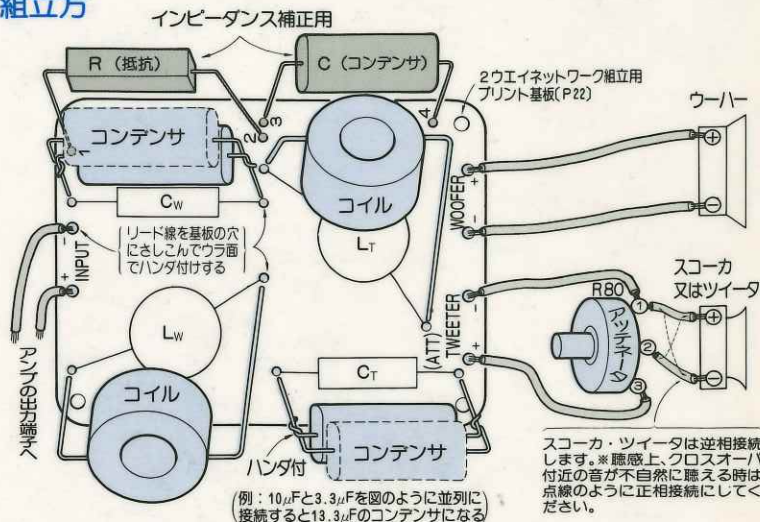
クロスオーバー 8~9,000Hz (8Ω)

プリント基板: 2ウェイ用	(P22)	1個
コイル($L_w \cdot L_t$): 0.18mH	[L0.18]	2個
コンデンサ($C_w \cdot C_t$): 1.5μF	[C1.5]	2個
アッテネータ: 8Ω用	[R80]	1個
ターミナルボックス	(P25)	1個
インピーダンス補正用コンデンサと抵抗		各1個

●ネットワーク回路図 (2ウェイ用12dB/oct.形)



●組立方



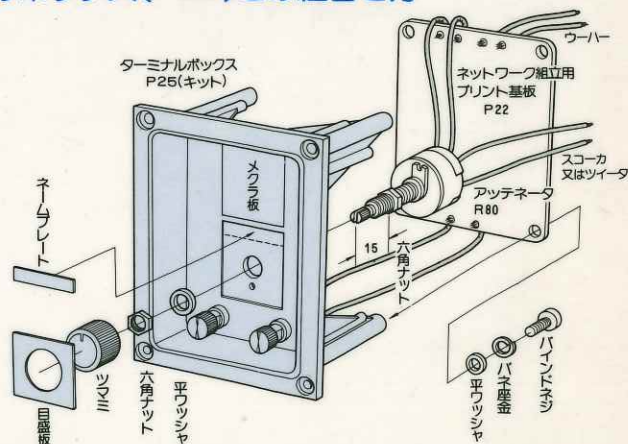
※インピーダンス補正用のコンデンサと抵抗の値

スピーカが4Ωの時: コンデンサ10~20μF、抵抗4Ω
 8Ωの時: コンデンサ10~20μF、抵抗8Ω
 16Ωの時: コンデンサ10~20μF、抵抗16Ω
 抵抗はセメント型又は巻線型で10Wぐらいのものを使います。

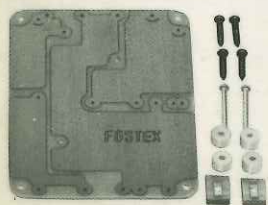
※クロスオーバー500、800Hzのネットワークを組立てる時のみプリント基板は、P13 (3ウェイ用)を使用してください。コイル、コンデンサはP22と同様 $L_w \cdot L_t \cdot C_w \cdot C_t$ と印刷された位置に取り付けます。

※プリント基板で組立てたネットワークはこのままでもご使用になれますが、下図のようにターミナルボックス(P25)と組み合わせると一層使い易くまとまります。

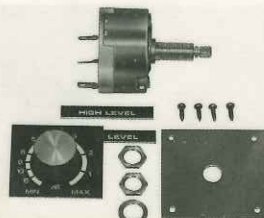
●ターミナルボックス(P25)との組合せ方



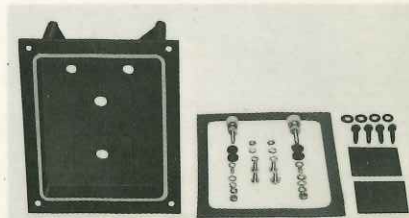
P22 コンデンサ: 1.0~15μF各種
 ネットワーク用プリント基板 コイル: 0.18~3.5mH各種



R80 アッテネータセット

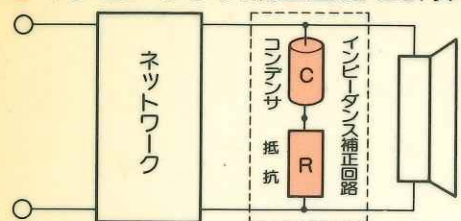


P25 ターミナルボックスセット

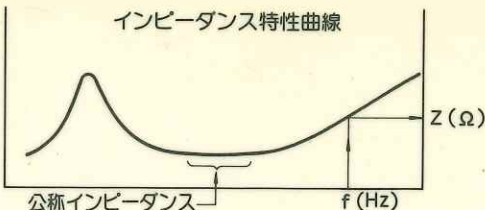


(ネットワーク基礎技術編)

●インピーダンス補正回路と計算式



インピーダンス特性曲線



〔計算例〕 公称インピーダンスが8Ωのスピーカの場合。

インピーダンス特性表から、そのスピーカのインピーダンスが上昇する様子を見て、仮にfが5000Hzの時に、Zが16Ωあったとすると、その時のCの値は

$$C = \frac{159000 \times Z}{f \times R^2} (\mu F) = \frac{159000 \times 16}{5000 \times 8^2} \approx 8 \mu F$$

補正回路に使用するCは8μF、Rは8Ωとなります。

スピーカ（特にウーハー）のインピーダンスは、周波数が高くなると公称値より高い値を示します。ネットワークを正常に動作させるには、このインピーダンス値を公称値まで下げる必要があります。

コンデンサと抵抗を用いた補正回路で公称値まで下げて、ネットワークを正しく使うことをおすすめします。

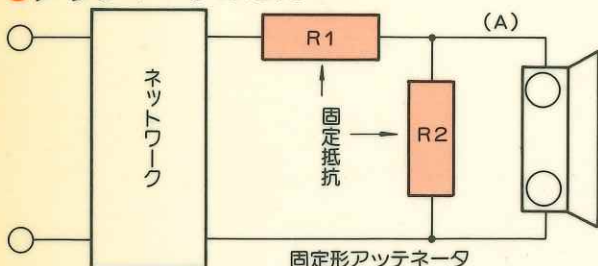
Rは：スピーカの公称インピーダンスと同じ値の固定抵抗

$$Cは：C = \frac{159000 \times Z}{f \times R^2} (\mu F)$$

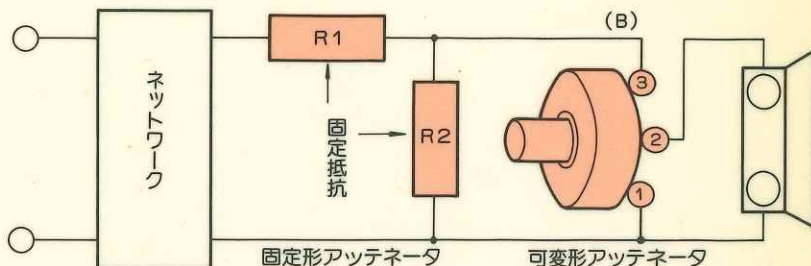
fは：スピーカのインピーダンスの上昇部の任意の周波数(Hz)

Zは：上記周波数のインピーダンス(Ω) インピーダンス特性表から求めます

●アッテネータの応用



固定形アッテネータ



固定形アッテネータ 可変形アッテネータ

減衰量	8Ωスピーカの場合	
	R ₁ (Ω)	R ₂ (Ω)
1dB	0.9	65.6
2	1.6	30.9
3	2.3	19.4
4	3.0	13.7
5	3.5	10.3
6	4.0	8.0
7	4.4	6.5
8	4.8	5.3
9	5.2	4.4
10	5.5	3.7
11	5.7	3.1
12	6.0	2.7
13	6.2	2.3
14	6.4	2.0
15	6.6	1.7
16	6.7	1.5
17	6.9	1.3
18	7.0	1.2

《固定形アッテネータの作り方》

例：ウーハー(8Ω)の能率が90dBで、ツイータ(8Ω)が100dBある時、ツイータにR₁=5.5Ω R₂=3.7Ωの抵抗をA図のように接続するとツイータの能率が10dB下がり(減衰し)ウーハーの能率と合わせることが出来ます。左表は、減衰量とR₁R₂の抵抗値の早見表です。＊アッテネータは、必ずネットワークとスピーカの間にに入れて使ってください。＊市販の抵抗には、表のような端数の値がありませんが、この値に近いもので代用しても実用上問題ありません。＊スピーカのインピーダンスが16Ωの時は、R₁、R₂共に2倍。4Ωの時は1/2の値にします。(xΩの時は1/2倍です)

《固定形・連続可変形アッテネータの組合わせ》

能率の差が10dB以内の調整は、可変形アッテネータだけで出来ますが、差が10dB以上の時は可変形だけでは細かい調整が困難場合があります。B図のように6dB程度能率を下げてから可変形を組合わせると調整が楽になります。＊6dB減衰させる時の抵抗値は左表からR₁=4Ω、R₂=8Ωとなります。(使用するスピーカが8Ωの場合)

●L・Cの計算式(定抵抗並列形)

ネットワーク用のコイル(L)とコンデンサ(C)の値は、使用するスピーカのインピーダンスとクロスオーバー周波数が決れば下の計算式で求められます。

f_cは、クロスオーバー周波数(Hz)

Rは、スピーカのインピーダンス(Ω)

6dB/Oct形ネットワーク(クロスオーバー3dB落ちクロス)

$$L = \frac{159 \times R}{f_c} (mH)$$

$$C = \frac{159000}{f_c \times R} (\mu F)$$

12dB/Oct形ネットワーク(クロスオーバー3dB落ちクロス)

$$L = \frac{225 \times R}{f_c} (mH)$$

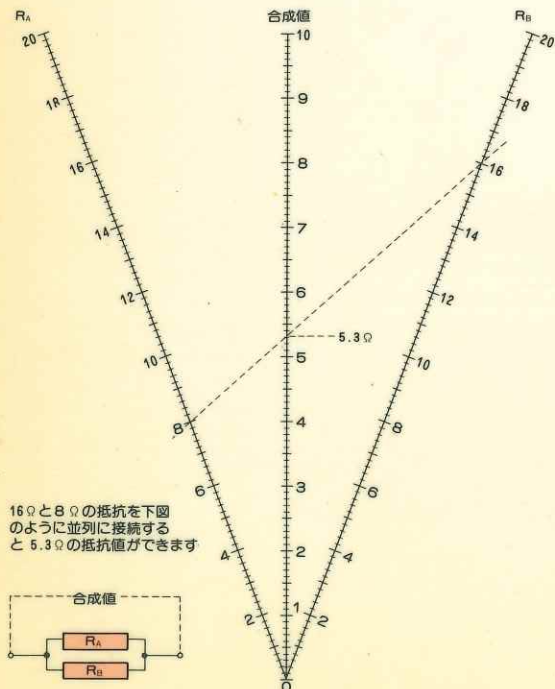
$$C = \frac{113000}{f_c \times R} (\mu F)$$

●空芯コイルの改造

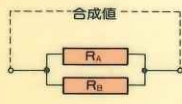
ネットワーク用の空芯コイルは下表色枠の9種類の値のものがあり販売されています(フォステクス製)。ネットワーク設計上、他の値のものが必要な場合は下表に従って改造することができます。

〔注意〕使用線径や空芯内径がコイルによって異なりますので

- 3・5、2・8、2・2mHのコイルを1・5mH以下に改造する場合、下表の巻回数が適用できません。(タテ枠内での改造にとどめて下さい)
- 1・8、1・5mHのコイルを0・5mH以下のコイルを0・1mH以下
- 1・0mH



16Ωと8Ωの抵抗を下図のように並列に接続すると5.3Ωの抵抗値ができます

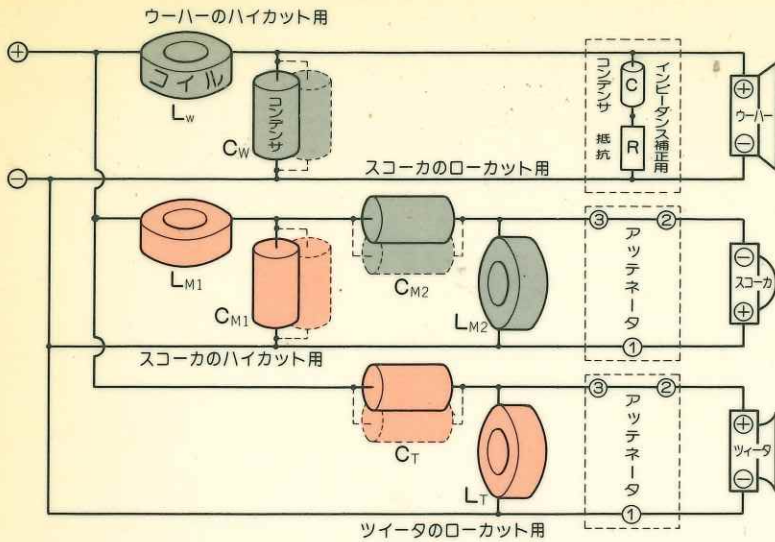


線径1.4φ 内径25φ		線径1.2φ 内径25φ		線径1.0φ 内径25φ		線径1.0φ 内径15φ	
mH	巻回数	mH	巻回数	mH	巻回数	mH	巻回数
3.5	324	1.8	257	1.0	210	0.5	180
3.4	320	1.7	251	0.9	200	0.48	177
3.3	316	1.6	245	0.8	190	0.46	174
3.2	312	1.5	239	0.7	180	0.44	171
3.1	308	1.4	232	0.6	168	0.42	168
3.0	304	1.3	224	0.5	155	0.40	165
2.9	300	1.2	216	0.4	140	0.38	161
2.8	295	1.1	208	0.3	124	0.36	157
2.7	290	1.0	200	0.2	104	0.34	153
2.6	285	0.9	191	0.1	77	0.32	149
2.5	280	0.8	182			0.3	145
2.4	275	0.7	171			0.28	141
2.3	270	0.6	160			0.26	137
2.2	265	0.5	147			0.24	132
2.1	260					0.22	127
2.0	255					0.20	122
1.9	250					0.18	117
1.8	244					0.16	111
1.7	238					0.14	105
1.6	232					0.12	99
1.5	226					0.10	91

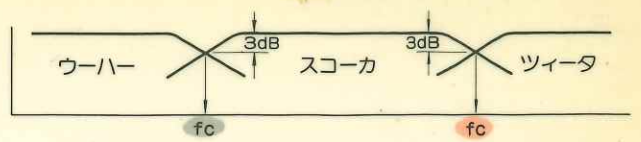
〔改造例〕

3.5mHのコイルを外側から20回ほど巻きと3.0mHのコイルを作ることができます。

●ネットワーク回路図(3ウェイ用12dB/Oct形)



●コイルとコンデンサの計算例(3dB落ちクロス)



$L_w \cdot C_w \cdot L_{m2} \cdot C_{m2}$ の値はウーハーとスコーカのクロスオーバー周波数(f_c)で計算します

$L_{m1} \cdot C_{m1} \cdot L_t \cdot C_t$ の値はスコーカとツイータのクロスオーバー周波数(f_c)で計算します

ウーハーとスコーカのクロスオーバー周波数が500Hz(スピーカのインピーダンス8Ω)の場合は

$$L_w \text{と} L_{m2} \text{の値は } L = \frac{225 \times R}{f_c} (\text{mH}) = \frac{225 \times 8}{500} = 3.6 \text{mH}$$

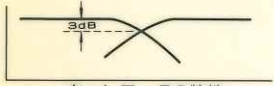
$$C_w \text{と} C_{m2} \text{の値は } C = \frac{113000}{f_c \times R} (\mu\text{F}) = \frac{113000}{500 \times 8} = 28.3 \mu\text{F}$$

同じように $L_{m1} \cdot C_{m1} \cdot L_t \cdot C_t$ の値は、上の計算式にスコーカとツイータのクロスオーバー周波数を入れて計算します。

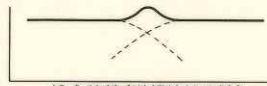
※右上の計算は一例です。スピーカのインピーダンスやクロスオーバー周波数が異なる時は、その数値と入れ替えて計算してください。

●6dB落ちクロスのネットワーク(12dB/Oct形)

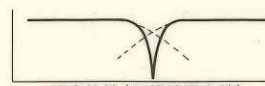
表面に示したLCの計算式は、図のようにクロスオーバーポイントが3dB落ちでクロスするものです。組合わせるスピーカによってはクロスオーバー点で総合特性にもり上りの出来る場合があります。その場合は、6dB落ちでクロスするネットワークをすすめます。ハイカット用のコイル・コンデンサの計算では、クロスオーバー周波数(f_c)の値を少し下へ(0.76倍)、ローカット用のコイル・コンデンサでは上へ(1.3倍)ずらして計算すると右図のように6dB落ちたところでクロスし、正相接続で総合特性がほぼ平坦になります。その計算式を下に示します。



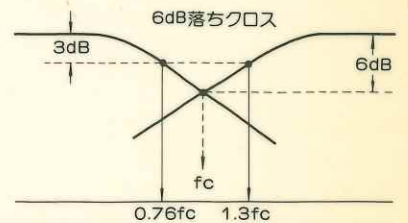
ネットワークの特性



総合特性(逆相接続の時)



総合特性(正相接続の時)



12dB/Oct形ネットワーク(クロスオーバー6dB落ちクロス)

ウーハーとスコーカのハイカット用LCの計算式($L_w \cdot C_w \cdot L_{m1} \cdot C_{m1}$) スコーカとツイータのローカット用LCの計算式($C_{m2} \cdot L_{m2} \cdot C_t \cdot L_t$)

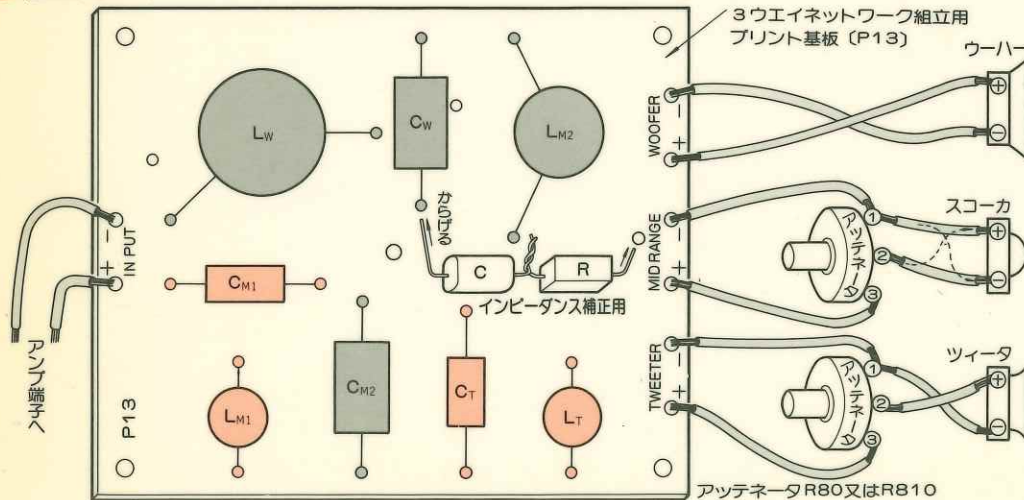
$$L = \frac{296 \times R}{f_c} (\text{mH})$$

$$C = \frac{148000}{f_c \times R} (\mu\text{F})$$

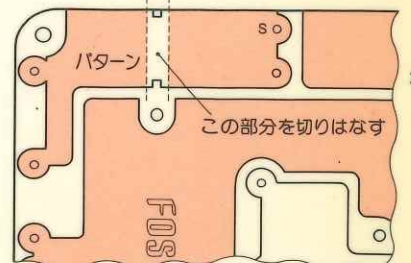
$$L = \frac{170 \times R}{f_c} (\text{mH})$$

$$C = \frac{85300}{f_c \times R} (\mu\text{F})$$

●組立方



※コイルとコンデンサのリード線をプリント基板の所定の孔に差し込んで、基板のウラ面でハンダ付けします。
※ウーハーのインピーダンス補正を行う場合、Rは図に示した孔に、CはRとCwのリード線にからけてハンダ付けします。
※スコーカは、逆相接続にします。聴感上、音が不自然に聴える時は、点線のように正相接続にしてください。

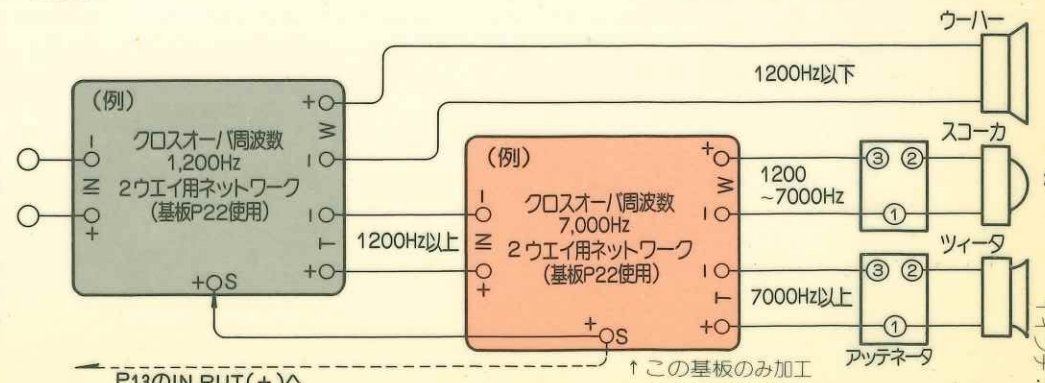


●2ウェイネットワークの応用・発展

2ウェイシステムを3ウェイに発展させる時、従来使用していた2ウェイ用ネットワークを、パターンの一部を改造することにより、3ウェイ用ネットワークとして利用、発展が可能です。

※スコーカ・ツイータ用のネットワークのみ点線内の銅箔をカッターナイフで切り取ってパターンを切り離します(右図参照)

※スコーカ・ツイータ用ネットワークのS端子をウーハー用ネットワークのINPUT側の+端子に接続します。P22の場合は、S端子がINPUT(+)になっています。



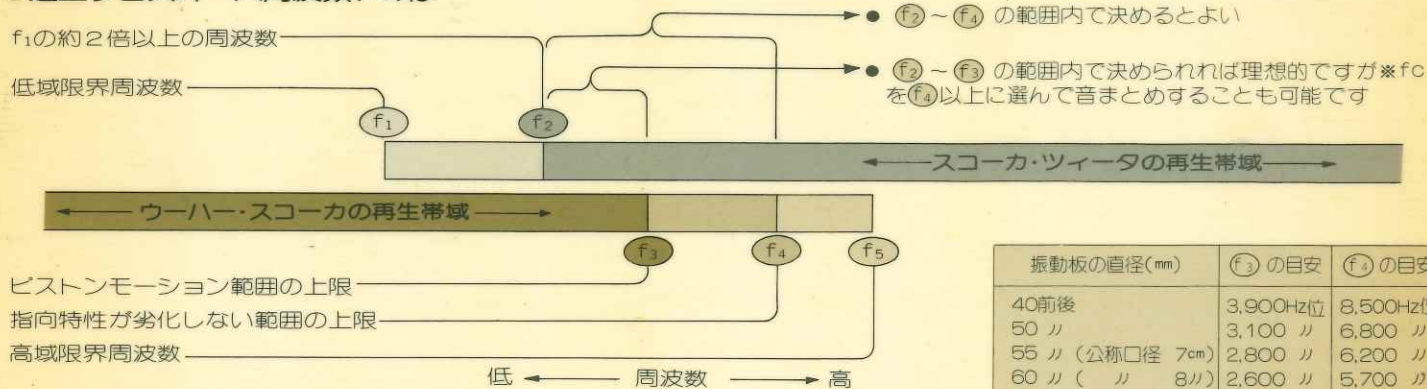
P13のINPUT(+)へ

↑この基板のみ加工

●クロスオーバー周波数(f_c)の選び方

ウーハーとスコカ、スコカとツイータのクロスオーバー周波数は、それぞれのユニットの特性を充分つかんだ上で、適切な値を選ばなくては、ツナガリのよいネットワークを作ることができません。
 組合わせるユニットは、周波数再生帯域が図のようにオーバーラップ(重り合う)している必要があります。図を参考にしてオーバーラップした範囲内にクロスオーバー周波数を選んで下さい。

●適正クロスオーバー周波数(f_c)は



- (f_1) : スコカやツイータの低域再生限界周波数 (f_0 又は、カットオフ周波数)
- (f_2) : f_1 の約2倍又は、それ以上の周波数が一般的
- (f_3) : ピストンモーション範囲の上限(表参照)
- (f_4) : 30° 指向特性の劣化が少ない周波数(表参照、表は-3dBの周波数)
- (f_5) : ウーハーやスコカの高域再生限界周波数

振動板の直径(mm)	(f_3) の目安	(f_4) の目安
40前後	3,900Hz位	8,500Hz位
50 //	3,100 //	6,800 //
55 //(公称口径 7cm)	2,800 //	6,200 //
60 //(// 8//)	2,600 //	5,700 //
80 //(// 10//)	1,900 //	4,300 //
100 //(// 13//)	1,500 //	3,400 //
130 //(// 16//)	1,200 //	2,600 //
160 //(// 20//)	970 //	2,100 //
205 //(// 25//)	750 //	1,700 //
255 //(// 30//)	600 //	1,300 //
335 //(// 40//)	460 //	1,000 //

●減衰量の決め方

	適応するスピーカユニット	注 意 点
6dB/Oct形 	●ウーハーは高域共振が小さく、ツイータはカットオフ周波数付近が余りもち上らず、スコカは低域高域共にもち上っていない特性、いずれも平坦な特性であること ●ユニットのインピーダンスは、 f_c 付近で変化の少ない方がまとめやすい	●理論的には、音圧の f 特も位相特性もフラットになるが、スピーカ負荷では、各々のフィルタの f_c はスレ込み f_c で必要以上にオーバーラップしてしまう ●ツイータやスコカは、 f_c を低くとり過ぎると、カットオフ周波数付近で歪みが生じたり、耐入力不足となる
12dB/Oct形 	●ほとんどのウーハー・スコカ・ツイータに適応可能である	●定抵抗形では、音圧の f 特も位相特性もフラットでないで、6dB落ちクロスネットワークの活用や位相合わせによりスムーズなツナガリを求める必要がある ●ウーハーやスコカでは、インピーダンス上昇部分でクロスさせると、共振現象を起し易いので補正回路を用いたい
18dB/Oct形 	●ほとんどのユニットに適用可能である ●ユニットの帯域を広く活用したい時や、不要な帯域を鋭くカットしたい時に有利である	●理論的には、位相変化があるが、 f 特はフラットになる ●回路が複雑で、部品点数も多いので初心者向きでない ●2素子が直列になるので、素子の選択に注意
組合わせ形 	●ユニットのクセに合わせて減衰特性を選ぶこと ●ウーハーはネットワークなしでツイータは6dB形、ウーハーが6dB形でツイータは12dB形など組合わせ自由	●理論からは、はずれてくるので接続時に位相合わせが必要となる

●インピーダンスの異なるユニットの組合わせ

ウーハー、スコカ、ツイータのインピーダンスが、それぞれ異なる場合でも組合わせは可能ですが、ユニットの音圧に変化がありますので、下記の注意を参考にしてユニットをお選び下さい。

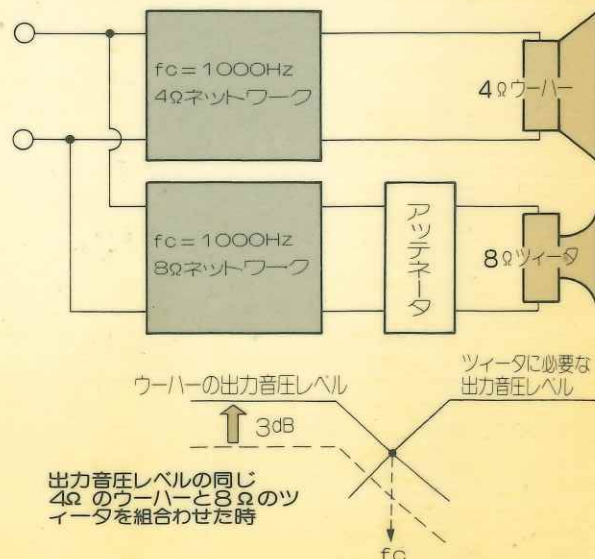
- (1)クロスオーバー周波数(f_c)はインピーダンスに関係なく同じ値を用い、インピーダンス(R)はそれぞれのユニットの値を用いて、裏面のL・C計算式で求めます。
- (2)図のようにウーハーのインピーダンスが、ツイータより低い($\frac{1}{2}$)場合：インピーダンスの低いウーハーにはツイータの2倍の電力が加わって、ウーハーの音圧がツイータより3dB (一般に $10 \log \frac{R_2}{R_1}$) 上昇したようになります(同音圧の時)ので、ツイータはその上昇分だけ音圧の高いものを選んで下さい。
- (3)ツイータのインピーダンスがウーハーより低い値での組合わせは、ツイータの耐入力の面で好ましくありません。

【例】

ウーハーのインピーダンス(R)が4Ω
 ツイータの // が8Ω
 クロスオーバー周波数(f_c)を1000Hz
 減衰量を6dB/Oct形の時

$$L = \frac{159 \times R}{f_c} = \frac{159 \times 4}{1000} = 0.63(\text{mH})$$

$$C = \frac{159000}{f_c \times R} = \frac{159000}{1000 \times 8} = 19.8(\mu\text{F})$$



●減衰量別ネットワーク回路とL・Cの計算式

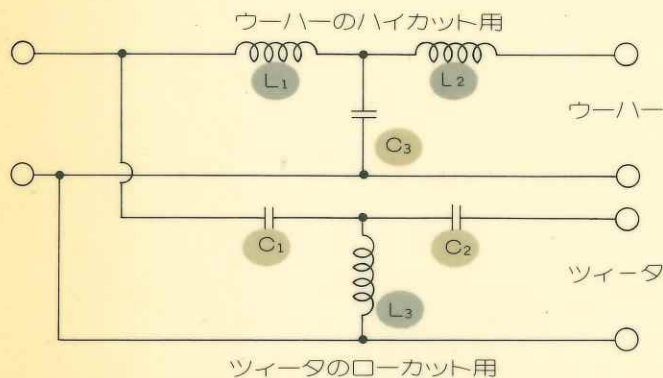
組合わせるユニットのインピーダンスと、周波数特性からクロスオーバー周波数・減衰量とが決められ、下記の計算式でL・Cの値を求めることが出来ます。

減 衰 量	ハイカットフィルター	ローカットフィルター
6dB/Oct形	$L = \frac{159 \times R}{f_c} \text{ (mH)}$	$C = \frac{159000}{f_c \times R} \text{ (}\mu\text{F)}$
12dB/Oct形	$L = \frac{225 \times R}{f_c} \text{ (mH)}$ $C = \frac{113000}{f_c \times R} \text{ (}\mu\text{F)}$	$C = \frac{113000}{f_c \times R} \text{ (}\mu\text{F)}$ $L = \frac{225 \times R}{f_c} \text{ (mH)}$
12dB/Oct形 (6dB落ちクロス)	$L_1 = \frac{296 \times R}{f_c} \text{ (mH)}$ $C_1 = \frac{148000}{f_c \times R} \text{ (}\mu\text{F)}$	$C_2 = \frac{85300}{f_c \times R} \text{ (}\mu\text{F)}$ $L_2 = \frac{170 \times R}{f_c} \text{ (mH)}$
18dB/Oct形	$L_1 = \frac{239 \times R}{f_c} \text{ (mH)}$ $L_2 = \frac{79.6 \times R}{f_c} \text{ (mH)}$ $C_3 = \frac{212000}{f_c \times R} \text{ (}\mu\text{F)}$	$C_1 = \frac{106000}{f_c \times R} \text{ (}\mu\text{F)}$ $C_2 = \frac{318000}{f_c \times R} \text{ (}\mu\text{F)}$ $L_3 = \frac{119 \times R}{f_c} \text{ (mH)}$

$f_c \rightarrow$ クロスオーバー周波数(Hz) $R \rightarrow$ スピーカのインピーダンス(Ω)

●ネットワーク回路図(2ウェイ用18dB/Oct形)とL・Cの計算例

例えば 減衰量が18dB/Oct形で
ウーハーのインピーダンス(R)が8 Ω
ツイータのインピーダンス(R)が8 Ω
クロスオーバー周波数(f_c)が1200Hz の場合



ツイータのローカット用

3ウェイの場合は、スコカに右図のように、ローカット用とハイカット用のネットワークを組合わせることが必要です。C₁・C₂・L₃は、ウーハーとのクロスオーバー(f_c)を、L₁・L₂・C₃は、ツイータとのクロスオーバー(f_c)を用いて計算します。

L・Cの計算例

$$L_1 = \frac{239 \times R}{f_c} \text{ (mH)} = \frac{239 \times 8}{1200} = 1.59 \approx 1.5 \text{ (mH)}$$

$$L_2 = \frac{79.6 \times R}{f_c} \text{ (mH)} = \frac{79.6 \times 8}{1200} = 0.53 \approx 0.5 \text{ (mH)}$$

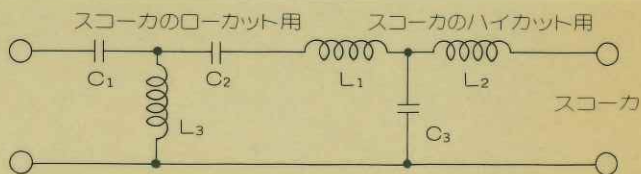
$$C_3 = \frac{212000}{f_c \times R} \text{ (}\mu\text{F)} = \frac{212000}{1200 \times 8} = 22.0 \approx 20 \text{ (}\mu\text{F)}$$

$$C_1 = \frac{106000}{f_c \times R} \text{ (}\mu\text{F)} = \frac{106000}{1200 \times 8} = 11.0 \approx 10 \text{ (}\mu\text{F)}$$

$$C_2 = \frac{318000}{f_c \times R} \text{ (}\mu\text{F)} = \frac{318000}{1200 \times 8} = 33.1 \approx 30 \text{ (}\mu\text{F)}$$

$$L_3 = \frac{119 \times R}{f_c} \text{ (mH)} = \frac{119 \times 8}{1200} = 0.79 \approx 1.0 \text{ (mH)}$$

上の計算は一例です。ユニットのインピーダンスやクロスオーバー周波数が異なる時は、値を入れ替えて計算して下さい。



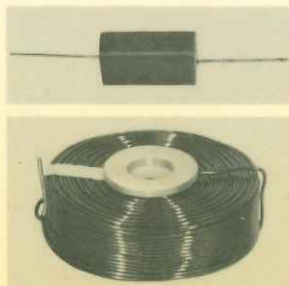
高性能PP・オイルコンデンサ

1.5~22 μ F各種

ユニットの持つ優れた性能と音質をより高度に活かす、新形高性能コンデンサです。誘電体にポリプロピレン・フィルムを使用し、従来のフィルム・コンデンサより損失(tan δ)をひと桁下げ、周波数特性や温度特性等も一段と向上させました。更に特殊オイルを含浸充填して、フィルムの不要な機械振動の抑制と耐入力の向上を計っています。リード線引出等の構造にも改良を加え、22 μ Fの大容量迄6種類の容量をそろえました。

LS4 LS9
最大4mH 最大9mH

コンデンサ1.0~15 μ F各種
コイル0.18~3.5mH各種



スピーカユニットは、そのままアンプに接いでも音がでます。しかし、よい音で聴くためには、適切なバッフルやエンクロージャが必要です。特にユニットの持っている低音特性を、十分発揮させるためには欠くことができません。

●バッフル板の働き

スピーカの振動板が前へ動くと、前面の空気密度が高くなり、同時に背面の密度が低くなります。この時、スピーカの前後の空気を隔離するもの（バッフル板）がないと、密度の高い空気はスピーカの周囲を通り背面の密度の低い空気と混ざり合います。特に周波数の低い音の場合は、音波がスピーカの周囲を往復するだけとなり、前方へ進みません。バッフル板は、スピーカの前後の空気を隔離するために必要となります。

●平面バッフル

バッフル板のLが大きい程、前後の隔離が完全に理想的ですが、無限大バッフルは実用的でないため一般には有限の平面バッフルを使います。平面バッフルのLと、その時の低音再生限界周波数 f_l は下記の関係式で計算できます。

$$L \geq \frac{4250}{f_l} \text{ (cm)}$$

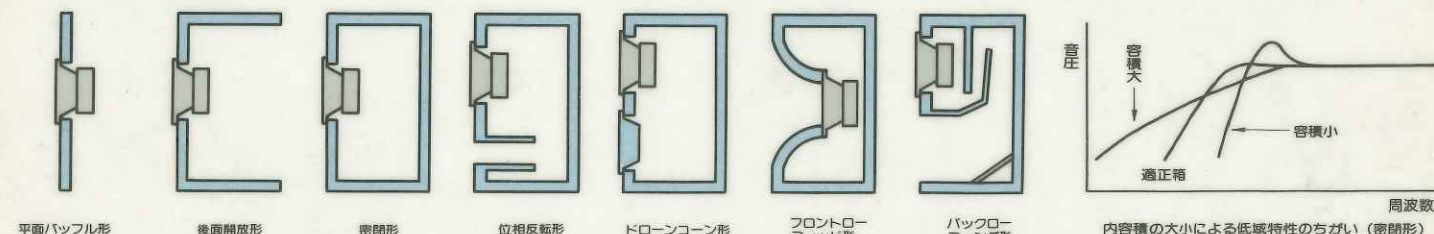
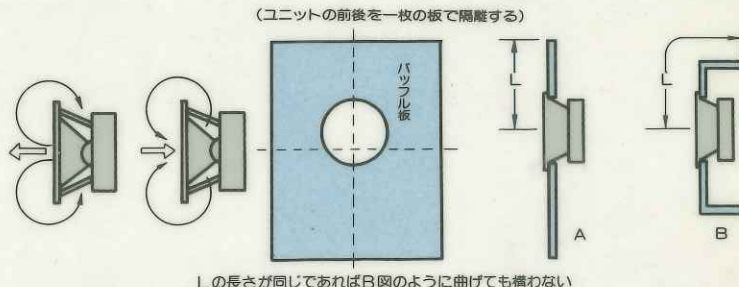
60Hzまで再生させるには、 $L \geq \frac{4250}{60}$ で、Lが約70cm又はそれ以上の平面バッフルが必要です。

※スピーカは、板の中心をさけて取付ける。

●エンクロージャの種類

エンクロージャには、最も簡単な平面バッフルから、内部構造の複雑なバックローディング形まで色々な種類がありますが、使用するユニットの規格・特性・用途により適切なエンクロージャを選ぶことが大切です。

平面バッフルのLを長く曲げた形が後面開放形です。この形ではユニットの前後の空気を完全に隔離できません。完全に隔離するためには、無限大バッフルにするか後面を閉じた密閉形にすることが必要です。



●ユニットの Q_0 値によるエンクロージャの選択法

ユニットの低音特性を充分発揮させるためには、 Q_0 の値によってエンクロージャの形状を選択する方法があります。右表を一つの目安として、使用するユニットに合う箱、箱に合うユニットを選んで下さい。

エンクロージャ形状	形状に適合するユニットの Q_0 の値 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0	注 意
平面バッフル形	0.2 ~ 0.4	f_0 の低い(フラフラ形)ものは振巾オーバーとなり不向きです。
後面開放形	0.4 ~ 0.6	m_0 の小さいものや、 Q_0 の高いものは箱が大型になります。
密閉形	0.6 ~ 0.8	m_0 が大きく f_0 の低いものに向きます。
小形密閉形(エアサスペンション形)	0.8 ~ 1.0	Q_0 が0.3~0.6のものが特に向きます。
位相反転形	0.2 ~ 0.4	
ドローンコーン形	0.4 ~ 0.6	
フロントローディング形	0.6 ~ 0.8	
バックローディング形	0.8 ~ 1.0	m_0 の小さいものに向きます。

●密閉形エンクロージャの大きさや低音特性

エンクロージャの大きさは、使用するユニットに応じた適正な内容積が必要です。上図のように適正な容積より大きくなると、低域でオーバーダンブになり低音の量感が不足します。逆に小さいと制動が効かず、低音が伸びません。

良質な低音再生を行なうには、ユニットに合った適正容積を決めてやることが重要なポイントです。

※カタログの周波数特性は、JIS(日本工業規格)で定められた、内容積650ℓ(密閉形)の箱で、口径に関係なく同一条件で測定されたものです。

●密閉形エンクロージャの内容積

使用するユニットに合った、エンクロージャの内容積は、ユニットのカタログ規格値と、 α の値を決めることにより下式から求めることができます。

$$\text{内容積 } V = \frac{355 \times a^4}{\alpha \times f_0^2 \times m_0} \text{ (ℓ)}$$

本文参照	最低共振周波数 カタログ記載値を2乗する	振動系の等価質量(g) カタログ記載値	実効振動半径(cm) カタログ記載値を4乗する
------	-------------------------	------------------------	----------------------------

α の値は、使用するユニットの口径や、 m_0 、能率により異なりますが、特に小形にまとめる時以外は、口径別に示した表の能率を目安にして、能率の高いものをAグループ、低いものはBグループに分類して計算します。

① Aグループのユニットの α は

システムの最低共振周波数(f_{oc})は、使用するユニットの f_0 値以上になるので、 f_{oc} を f_0 の何倍にするかを先に決めます。

f_{oc} は、 f_0 の1.2倍位から口径が大きくなるに従って2倍位迄の値に決め、 f_{oc} が決ったらその値に基いて、 α の値は

$$\alpha = \left(\frac{f_{oc}}{f_0} \right)^2 - 1 \text{ で求めます。}$$

② Bグループのユニットの α は

システムの等価Q(Q_{oc})の値を先に決めてやります。 Q_{oc} は、0.7とするのが一般的ですが、0.5~1.0の範囲で決め、 Q_{oc} が決ったらその値に基いて、 α の値は

$$\alpha = \left(\frac{Q_{oc}}{Q_0} \right)^2 - 1 \text{ で求めます}$$

※吸音材を大量に入れる場合は、 Q_{oc} が低下してしまうので、その分(約10%) Q_{oc} を高めに決めて下さい

●ユニット複数個使用

一つの箱に同種(同規格)のユニットをn個使用する時の内容積は(f_{oc} の値を1個の時のと同じとすると)、1個の時のn倍(使用個数倍)となります。 f_0 が多少異なる、異種のユニットを一つの箱に入れる時も、それぞれ1個に必要な容積を加えた大きさになります。但し実際は、それぞれの f_{oc} が結合され平均化された動作となります。単純に容積を加算することによって、箱が大きくなり過ぎる場合は、中低音の効率の向上を考え、何割か小さくにしても実用上問題ありません。

【計算例1】UP203S: 能率=93dB、 $a=8.7$ cm、 $f_0=40$ Hz、 $m_0=18.5$ g
 $Q_0=0.45$ 、口径20cm

このユニットはAグループに属するので、 f_{oc} を f_0 の1.4倍と決めると

$$f_{oc} = 40 \times 1.4 = 56 \text{ Hz}$$

$$\alpha = \left(\frac{56}{40} \right)^2 - 1 = 1.4^2 - 1 = 0.96$$

$$V = \frac{355 \times 8.7^4}{0.96 \times 40^2 \times 18.5} = \frac{355 \times 5729}{0.96 \times 1600 \times 18.5} \approx 71.6 \text{ ℓ}$$

【計算例2】FW160: 能率=87dB、 $a=6.5$ cm、 $f_0=30$ Hz、 $m_0=21$ g、 $Q_0=0.27$ 、口径16cm

このユニットはBグループに属するので、 Q_{oc} を0.7と決めると

$$\alpha = \left(\frac{0.7}{0.27} \right)^2 - 1 = 2.6^2 - 1 \approx 5.7$$

$$V = \frac{355 \times 6.5^4}{5.7 \times 30^2 \times 21} = \frac{355 \times 1785}{5.7 \times 900 \times 21} \approx 5.9 \text{ ℓ}$$

この時のシステムの f_{oc} は

$$f_{oc} = \frac{Q_{oc}}{Q_0} \times f_0 \text{ で求められますから}$$

$$f_{oc} = \frac{0.7}{0.27} \times 30 \approx 2.59 \times 30 \approx 78 \text{ Hz}$$

分類	8cm	10cm	13cm	16cm	20cm	25cm	30cm	40cm
Aグループ	以上 82dB	以上 85dB	以上 87dB	以上 89dB	以上 91dB	以上 93dB	以上 95dB	以上 97dB
Bグループ	以下	以下	以下	以下	以下	以下	以下	以下

エンクロージャを作ろう

●位相反転形エンクロージャの原理

密閉形エンクロージャに、丸や角形の共鳴筒(ダクト)を付けた形が位相反転形エンクロージャです。音波が空洞と筒で共鳴する現象(ヘルムホルツの共振)を利用したもので、ユニットの背面からの音を空洞(箱の容積)とダクトで共振させて、低音域の量感を補うものです。位相反転形は、密閉形よりも低音の量感が得られ、箱の大きさについても、より自由度のある使い方が可能です。

●位相反転形エンクロージャの内容積

使用するユニットに合った、エンクロージャの内容積は、ユニットのカタログ規格値と、 α の値を決めることにより、下式から求めることができます
※この計算式で得られる内容積には、ユニット、ダクト、補強材等の体積は含まれていません。

$$\text{内容積 } V = \frac{355 \times a^4}{\alpha \times f_o^2 \times m_o} (\ell)$$

本文参照	最低共振周波数(Hz) カタログ記載値を2乗する	振動系の等価質量(g) カタログ記載値	実効振動半径(cm) カタログ記載値を4乗する
------	-----------------------------	------------------------	----------------------------

位相反転形の場合は、内容積を比較的自由に選ぶことができ、従って α の値の決め方にも巾を持たせることができます。
推奨寸法で作る時以外は、ユニットの大きさと、部屋のスペースに合った実用的な内容積にしたり、また、手持ちのエンクロージャを活用することもできます。

α の値は、一般に、0.5~3の間に決めてやればよいのですが、口径に比例した実用的なサイズにする場合は、 $\alpha=1 \sim 2$ の間に決めるとよいでしょう。理論値では、ユニットの Q_o が0.3に対し $\alpha=3$ Q_o が0.4に対し $\alpha=1.2$ Q_o が0.5に対し $\alpha=0.6$ Q_o が0.6に対し $\alpha=0.42$ となっています。

【計算例】UP203S : $a=8.7\text{cm}$ 、 $f_o=40\text{Hz}$ 、 $m_o=18.5\text{g}$ 、 $\alpha=1.5$ と決めると

$$V = \frac{355 \times 8.7^4}{1.5 \times 40^2 \times 18.5} = \frac{355 \times 5729}{1.5 \times 1600 \times 18.5} = 45.8 \ell$$

●ダクトの設計

ダクトの寸法を計算する場合、先に、ダクトのチューニング周波数(f_b)と開口面積(S)を決めます。

- ① チューニング周波数(f_b)は
ユニットの Q_o と f_o の値を基に右表を目安に決めます。
- ② ダクトの開口面積(S)は
一般に、ユニットの有効振動面積(πa^2)の0.2~1倍とします。
- ③ ダクトの長さ(L)の計算
先に求めた、 V と f_b と S から下式で計算します。

$$L = \frac{30000 \times S}{f_b^2 \times V} - 0.825 \times \sqrt{S} (\text{cm})$$

●ダクトの形状・取付位置

ダクトは開口面積が等しければ形状は問いません。面積を $\frac{1}{2}$ にして2個に分けることもできます。角形は板で丸形は塩ビパイプ、紙筒、空カンも利用できますが肉の薄いものや長い場合は、フェルトを巻くかパテ等で共振止めをします。

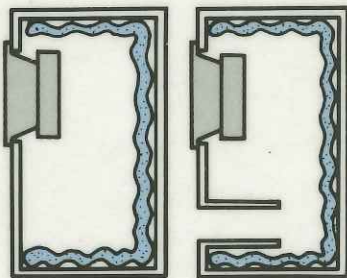
取付位置は、図の関係を保てば、バツフルのどの位置にあっても構いません。

同種のユニットを n 個使用する場合、箱の内容積は n 倍(チューニング周波数は1個の時と同じとします)とし、ダクトは1個の時に必要なものを n 個又は n 倍の断面を持つ1個を使用します。

●吸音材の働きと使い方

吸音材は、ユニットの背面音圧で生じた定在波の吸収や箱鳴り防止に欠かせません。

材料としては、フェルトや化学繊維の吸音材もありますが、グラスウールが最も多く使われます。グラスウールは、1.5~2.5cm厚のものを箱の内側に波形に貼ります。



両側面も貼る

●ダクトのチューニングの応用

位相反転形で、低音の増減が必要な時は、アンプのトーンコントロールを活用するか、下表を参考に、音を聴きながらダクトを調整します。

症状	対策箇所	ダクトの開口面積	ダクトの長さ	吸音材の量
低音過剰の時		小さくする	長くする	増やす
低音不足の時		大きくする	短くする	減らす

●エンクロージャの形状・材質・板厚・補強

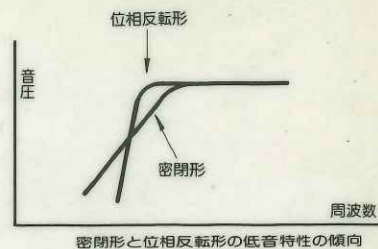
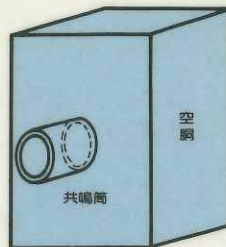
【形状】必要とする内容積が確保できれば、形状は自由です。但し音響的には立方体(サイコロ形)をさけて、各々が1:0.6~0.8:0.4~0.6の寸法比が理想的です。

※ユニットの箱への取付けは、上下の中心位置をさけ上下へ多少ずらして取付ける。

【材質】ラワン合板、ラワン単板、米松合板、チップボード等が一般的で中でもラワン合板が最も入手し易く、6・9・12・15・18・21ミリ厚が市販されています。合板類は切り口を見て、カゲ、トビの少ない良質なものを選び、チップボードは重い(密度の高い)ものを選びます。

【板厚】内容積に対して板厚が薄い場合、板の共振(箱鳴り)が生じます。表は箱の大きさに対する使用の板厚の目安です。

【補強】箱鳴り(板の振動)は音を濁らせます。バツフル板や裏板の補強には図のような方法があります。必要に応じて可能な方法で補強し箱鳴りを抑えて下さい。



密閉形と位相反転形の低音特性の傾向

特にパイプダクトの場合は、パイプの半径を r とすると

$$L = \frac{94000 \times r^2}{f_b^2 \times V} - 1.46r (\text{cm})$$

※計算式で求めたダクトの長さが、エンクロージャの奥行き寸法に対して長過ぎる時は、開口面積(S)を小さく設定してやると短かくできます。

※上記2つの式で得た(L)は計算値です。細部の調整は、(ダクトのチューニングの応用)の項を参考に音を聴きながらしを決めて下さい。

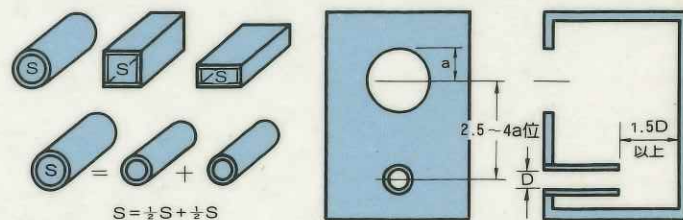
【計算例】UP203S : $a=8.7\text{cm}$ $f_o=40\text{Hz}$ $Q_o=0.45$

- ① チューニング周波数は、 $Q_o=0.45$ に対して表から
 $f_b=40 \times 0.9=36\text{Hz}$
- ② 開口面積を有効振動面積(πa^2)の0.2倍とすると
 $S=3.14 \times 8.7^2 \times 0.2 \approx 47.5\text{cm}^2$ (約7cm口)
- ③ ダクトの長さは
 $L = \frac{30000 \times 47.5}{36^2 \times 45.8} - 0.825 \times \sqrt{47.5} \approx 24 - 5.7 = 18.3\text{cm}$

直径8cm($S \approx 50\text{cm}^2$)のパイプを使用すると

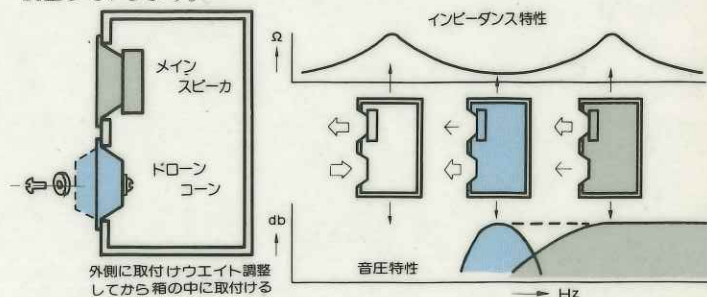
$$L = \frac{94000 \times 4^2}{36^2 \times 45.8} - 1.46 \times 4 \approx 25.3 - 5.8 = 19.5\text{cm}$$

Q_o	f_b	Q_o	f_b	Q_o	f_b
0.20	$f_o \times 1.8$	0.35	$f_o \times 1.1$	0.50	$f_o \times 0.8$
0.22	$f_o \times 1.6$	0.38	$f_o \times 1.0$	0.52	$f_o \times 0.75$
0.25	$f_o \times 1.5$	0.40	$f_o \times 1.0$	0.55	$f_o \times 0.7$
0.28	$f_o \times 1.3$	0.42	$f_o \times 0.9$	0.58	$f_o \times 0.7$
0.30	$f_o \times 1.2$	0.45	$f_o \times 0.9$	0.60	$f_o \times 0.65$
0.32	$f_o \times 1.2$	0.48	$f_o \times 0.8$	0.62	$f_o \times 0.65$

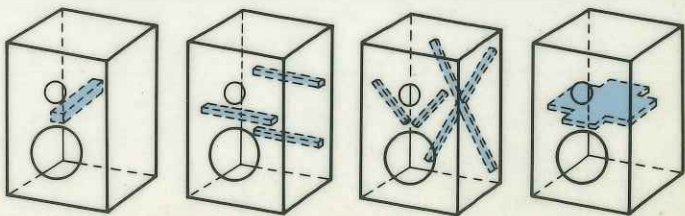


●ドローンコーンの原理とチューニング

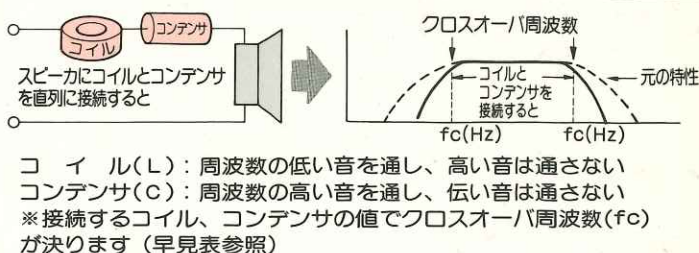
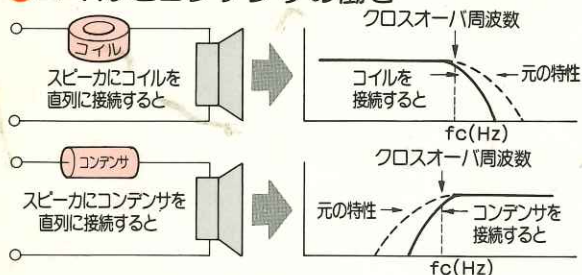
位相反転形はダクトの空気の振動で、低音を補うのに対して、ドローンコーン形は磁気回路のない振動部(ドローンコーン)の振動で低音を補います。ドローンコーンの口径は、メインスピーカと同じか、それ以上のものが使用可能です。箱の内容積や f_o の決め方は、位相反転形と同じです。
※オーディオ発振器でチューニング周波数(f_b)をメインスピーカに加えて、メインスピーカの振幅が最小になるように、ドローンコーンの重さを調整してやりま。



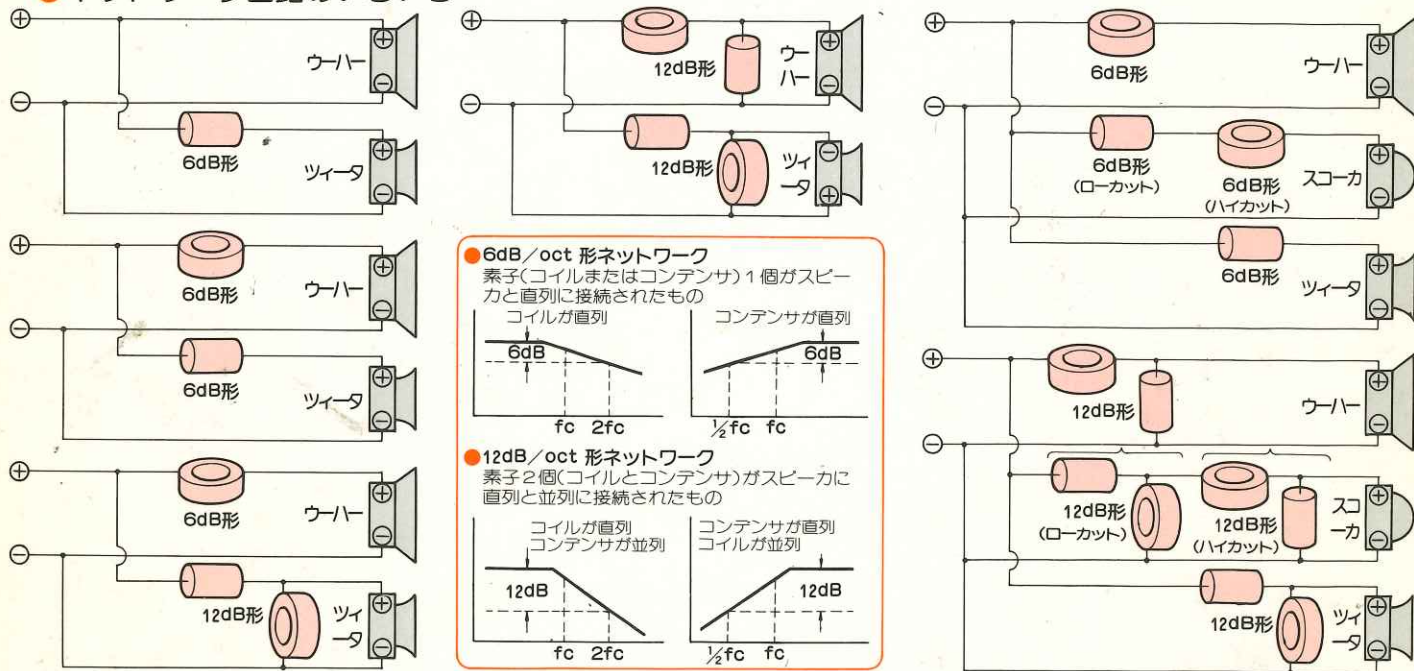
内容積(ℓ)	板厚の目安(mm)	内容積(ℓ)	板厚の目安(mm)
5 ~ 10	9 ~ 12	40 ~ 60	18 ~ 21
10 ~ 20	12 ~ 15	60 ~ 100	21 ~ 24
20 ~ 40	15 ~ 18	100 ~ 200	24 以上



●コイルとコンデンサの働き



●ネットワーク回路のいろいろ



●コイル(L)とコンデンサ(C)の計算式

6dB形及び12dB形ネットワークのLとCの値は、使用するスピーカのインピーダンス(R)とクロスオーバー周波数(fc)が決まれば、下記の計算式で求めることができます。左下の表は、この式で求めた6dB形ネットワークのLとCの値の早見表です。

6dB/oct 形ネットワーク (-3dBクロス) 計算式						
$L = \frac{159 \times R}{fc} \text{ (mH)}$			$C = \frac{159000}{fc \times R} \text{ (}\mu\text{F)}$			
クロスオーバー周波数	コイルの値 (mH)			コンデンサの値 (μF)		
	スピーカのインピーダンス			スピーカのインピーダンス		
	4Ω	8Ω	16Ω	4Ω	8Ω	16Ω
100Hz	6.4	12.7	25.4	397.5	198.7	99.3
150	4.2	8.5	16.9	265.0	132.5	66.2
200	3.2	6.4	12.7	198.8	99.4	49.7
250	2.5	5.1	10.2	159.0	79.5	39.8
300	2.1	4.2	8.5	132.5	66.3	33.1
400	1.6	3.2	6.4	99.4	49.7	24.8
500	1.3	2.5	5.1	79.5	39.8	19.9
600	1.1	2.1	4.2	66.3	33.1	16.6
700	0.9	1.8	3.6	56.8	28.4	14.2
800	0.8	1.6	3.2	49.7	24.8	12.4
900	0.7	1.4	2.8	44.2	22.1	11.0
1000	0.6	1.3	2.5	39.8	19.9	9.9
1200	0.5	1.1	2.1	33.1	16.6	8.3
1500	0.4	0.8	1.7	26.5	13.3	6.6
2000	0.3	0.6	1.3	19.9	9.9	5.0
3000	0.2	0.4	0.8	13.3	6.6	3.3
4000	0.16	0.3	0.6	9.9	5.0	2.5
5000	0.13	0.25	0.5	8.0	4.0	2.0
6000	0.11	0.21	0.42	6.6	3.3	1.7
7000	0.09	0.18	0.36	5.7	2.8	1.4
8000	0.08	0.16	0.32	5.0	2.5	1.2
9000	0.07	0.14	0.28	4.4	2.2	1.1
10000	0.06	0.13	0.25	4.0	2.0	1.0

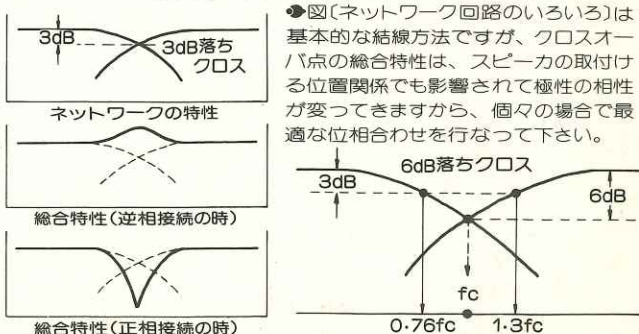
12dB/oct 形ネットワーク (-3dBクロス) 計算式	
$L = \frac{225 \times R}{fc} \text{ (mH)}$	$C = \frac{113000}{fc \times R} \text{ (}\mu\text{F)}$
コイルの値 (mH)	コンデンサの値 (μF)

fc : クロスオーバー周波数(Hz)
R : スピーカのインピーダンス(Ω)

上記、12dB形ネットワークのLとCの計算式は、下図の様にクロスポイントが3dB落ちでクロスするもので、組合わせるスピーカによってはクロスオーバー点の総合特性がより上る場合があります。その場合は6dB落ちでクロスするネットワークをすゝめます。

6dB落ちでクロスする12dB形のネットワークの計算式と早見表は裏面に示しましたが、計算の際、クロスオーバー周波数(fc)を少し上下にずらした値で計算してやります。

ハイカット用のLとCの計算では(fc)を0.76fcで
ローカット用のLとCの計算では(fc)を1.3fcで
計算してやると図の様に6dB落ちたところでクロスする形になって、正相接続で総合特性がほぼ平坦になる事が多くなります。



●6dB落ちクロスネットワーク(12dB/Oct形)

12dB/Oct形ネットワーク (クロスオーバー6dB落ちクロス)

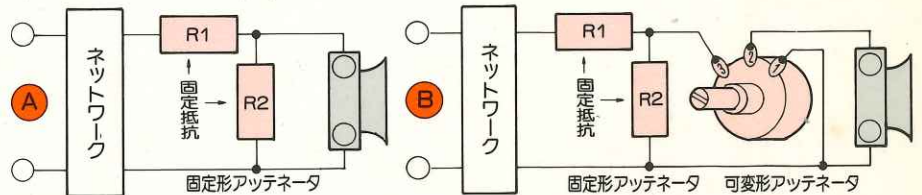
ウーハーやスコカのハイカット用LCの計算式						(早見表)	スコカやツイータのローカット用LCの計算式					
$L = \frac{296 \times R}{f_c} (\text{mH})$			$C = \frac{148000}{f_c \times R} (\mu\text{F})$				$L = \frac{170 \times R}{f_c} (\text{mH})$			$C = \frac{85300}{f_c \times R} (\mu\text{F})$		
コイルの値 (mH)			コンデンサの値 (μF)				コイルの値 (mH)			コンデンサの値 (μF)		
スピーカのインピーダンス			スピーカのインピーダンス			クロスオーバー 周波数	スピーカのインピーダンス			スピーカのインピーダンス		
4Ω	8Ω	16Ω	4Ω	8Ω	16Ω		4Ω	8Ω	16Ω	4Ω	8Ω	16Ω
11.8	23.7	47.4	370	185	92.5	100Hz	6.8	13.6	27.2	213	107	53.3
7.9	15.8	31.6	247	123	61.7	150	4.5	9.1	18.1	142	71.1	35.5
5.9	11.8	23.7	185	92.5	46.3	200	3.4	6.8	13.6	107	53.3	26.7
4.7	9.5	18.9	148	74.0	37.0	250	2.7	5.4	10.9	85.3	42.7	21.3
3.9	7.9	15.8	123	61.7	30.8	300	2.3	4.5	9.1	71.1	35.5	17.8
3.0	5.9	11.8	92.5	46.3	23.1	400	1.7	3.4	6.8	53.3	26.7	13.3
2.4	4.7	9.5	74.0	37.0	18.5	500	1.4	2.7	5.4	42.7	21.3	10.7
2.0	3.9	7.9	61.7	30.8	15.4	600	1.1	2.3	4.5	35.5	17.8	8.9
1.7	3.4	6.8	52.9	26.4	13.2	700	0.97	1.9	3.9	30.5	15.2	7.6
1.5	3.0	5.9	46.3	23.1	11.6	800	0.85	1.7	3.4	26.7	13.3	6.7
1.3	2.6	5.3	41.1	20.6	10.3	900	0.76	1.5	3.0	23.7	11.8	5.9
1.2	2.4	4.7	37.0	18.5	9.3	1,000	0.68	1.4	2.7	21.3	10.7	5.3
0.99	2.0	3.9	30.8	15.4	7.7	1,200	0.57	1.1	2.3	17.8	8.9	4.4
0.79	1.6	3.2	24.7	12.3	6.2	1,500	0.45	0.91	1.8	14.2	7.1	3.6
0.59	1.2	2.4	18.5	9.3	4.6	2,000	0.34	0.68	1.4	10.7	5.3	2.7
0.39	0.79	1.6	12.3	6.2	3.1	3,000	0.23	0.45	0.91	7.1	3.6	1.8
0.30	0.59	1.2	9.3	4.6	2.3	4,000	0.17	0.34	0.68	5.3	2.7	1.3
0.24	0.47	0.95	7.4	3.7	1.9	5,000	0.14	0.27	0.54	4.3	2.1	1.1
0.20	0.39	0.79	6.2	3.1	1.5	6,000	0.11	0.23	0.45	3.6	1.8	0.9
0.17	0.34	0.68	5.3	2.6	1.3	7,000	0.10	0.19	0.39	3.0	1.5	0.8
0.15	0.30	0.59	4.6	2.3	1.2	8,000	0.09	0.17	0.34	2.7	1.3	0.7
0.13	0.26	0.53	4.1	2.1	1.0	9,000	0.08	0.15	0.30	2.4	1.2	0.6
0.12	0.24	0.47	3.7	1.9	0.9	10,000	0.07	0.14	0.27	2.1	1.1	0.5

●アッテネータの応用

【固定形アッテネータの作り方】例：ウーハー(8Ω)の能率が90dBで、ツイータ(8Ω)が100dBある時、ツイータに $R_1=5.5\Omega$ 、 $R_2=3.7\Omega$ の抵抗を
図Aのように接続するとツイータの能率が10dB下がり(減衰)ウーハーの能率と合わせることができます。下表は、減衰量と R_1 、 R_2 の抵抗値の早見表です。
※アッテネータは必ずネットワークとスピーカの間に挿入して使ってください。※市販の抵抗には表のような端数の値がありませんが、この値に近いもので
代用しても実用上問題ありません。※スピーカのインピーダンスが16Ωの時は、 R_1 、 R_2 共に2倍、4Ωの時は $\frac{1}{2}$ の値にします。(xΩの時は%倍です)

【固定形と可変形アッテネータの組合わせ】

能率の差が10dB以内の調整は、可変形アッテネータだけでできますが、差が10dB以上ある時は可変形だけでは細かい調整に困難な場合があります。図Bのように固定形アッテネータで6dB程度能率を下げてから可変形を組み合わせると調整が楽になります。※6dB減衰させる時の抵抗値は下表から $R_1=4\Omega$ 、 $R_2=8\Omega$ (スピーカが8Ωの場合)となります。

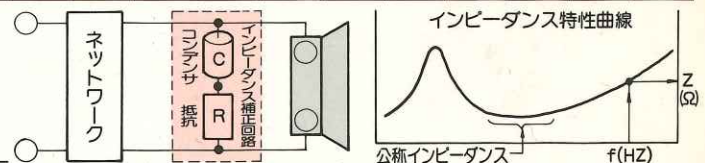


	減衰量dB	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
8Ω SP	$R_1(\Omega)$	0.9	1.7	2.3	3.0	3.5	4.0	4.4	4.8	5.2	5.5	5.8	6.0	6.2	6.4	6.6	6.7	6.9	7.0	7.1	7.2
の場合	$R_2(\Omega)$	65.6	30.9	19.4	13.7	10.3	8.0	6.5	5.3	4.4	3.7	3.1	2.7	2.3	2.0	1.7	1.5	1.3	1.2	1.0	0.9

●インピーダンス補正回路と計算式

スピーカ(特にウーハー)のインピーダンスは、周波数が高くなると公称値より高い値を示します。ネットワークを正常に動作させるには、このインピーダンス値を公称値まで下げる必要があります。

コンデンサと抵抗を用いた補正回路で公称値まで下げてネットワークを正しく使うことをすすめます。



●空芯コイルの改造

線径1.4φ 内径25φ		線径1.2φ 内径25φ		線径1.0φ 内径25φ		線径1.0φ 内径15φ	
mH	巻回数	mH	巻回数	mH	巻回数	mH	巻回数
3.5	324	1.8	257	1.0	210	0.5	180
3.4	320	1.7	251	0.9	200	0.48	177
3.3	316	1.6	245	0.8	190	0.46	174
3.2	312	1.5	239	0.7	180	0.44	171
3.1	308	1.4	232	0.6	168	0.42	168
3.0	304	1.3	224	0.5	155	0.40	165
2.9	300	1.2	216	0.4	140	0.38	161
2.8	295	1.1	208	0.3	124	0.36	157
2.7	290	1.0	200	0.2	104	0.34	153
2.6	285	0.9	191	0.1	77	0.32	149
2.5	280	0.8	182			0.3	145
2.4	275	0.7	171			0.28	141
2.3	270	0.6	160			0.26	137
2.2	265	0.5	147			0.24	132
2.1	260					0.22	127
2.0	255					0.20	122
1.9	250					0.18	117
1.8	244					0.16	111
1.7	238					0.14	105
1.6	232					0.12	99
1.5	226					0.10	91

【改造例】

3.5mHのコイルを外側から20回ほど巻くと3.0mHのコイルを作ることができます。

R：スピーカの公称インピーダンスと同じ値の固定抵抗

$$C = \frac{159000 \times Z}{f \times R^2} \text{ (}\mu\text{F)}$$

f：スピーカのインピーダンスの上昇部の任意の周波数(Hz)

z：上記周波数のインピーダンス(Ω)。インピーダンス特性表から求めます

【計算例】公称インピーダンスが8Ωのスピーカの場合
インピーダンス特性表から、そのスピーカのインピーダンスが上昇する様子を見て、仮にfが5000Hzの時にzが16Ωあったとすると

$$C = \frac{159000 \times Z}{f \times R^2} \text{ (}\mu\text{F)} = \frac{159000 \times 16}{5000 \times 8^2} \approx 8 \mu\text{F}$$

補正回路に使用するCは8μF、Rは8Ωとなります。

ネットワーク用の空芯コイルは左表色枠の9種類の値のものガフォステクスから市販されています。ネットワーク設計上、他の値のものが必要な場合は表に従って改造することができます。

【注意】使用線径や空芯内径がコイルにより異なっていますので

- 3.5、2.8、2.2mHのコイルを1.5mH以下
 - 1.8、1.5mHのコイルを0.5mH以下
 - 1.0mHのコイルを0.1mH以下
- 改造する場合、表の巻回数が適用できません。(タテ枠内の改造にとめて下さい。)