

計測に関するよくある質問から
- 第 28 回 「時定数とレベル化について」 -

当計測コラムでは、当社お客様相談室によくお問い合わせいただくご質問をとりあげ、回答内容をご紹介します。

騒音計や振動レベル計で音や振動の大きさを測定する際や、解析装置によりリアルタイムオクターブ解析 (RTA 解析) をおこなう際の設定パラメータの 1 つに "時定数" があります。

音や振動の瞬時波形は、細かく上下 (プラスマイナス) にふれる波形ですので、瞬時波形そのものから音や振動の大きさを読み取ることはできません。音や振動の大きさを評価する場合は、瞬時波形から "実効値 (2 乗平均値、root mean square value, RMS) " を求め、さらに "実効値" をレベル化 (デシベル値に変換) した値で評価します。

瞬時波形から "実効値" を求める方法には何通りかありますが、そのうちの 1 つに実効値検波動特性回路を使う方法があります。"時定数" はこの回路の特性を定めるパラメータの 1 つです。

●実効値検波動特性回路と対数演算回路

騒音計において音の瞬時波形から実効値検波動特性回路を使い実効値を求め、レベル化 (デシベル値に変換) する処理のブロック図を図 1 に示します。音や信号の時間波形を 2 乗し、RC 直列回路に通すと実効値の 2 乗値が得られます。図 1 では、実効値の 2 乗値を対数演算回路に入れてレベル化 (デシベル値に変換) しています。

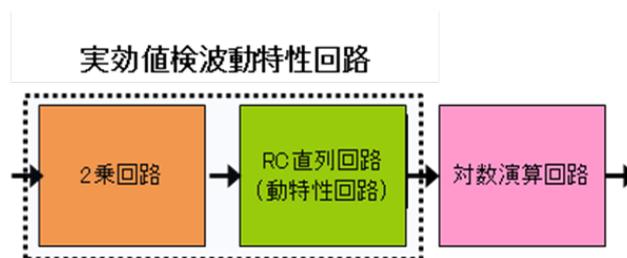


図 1 実効値検波動特性回路と対数演算回路

A/D 変換器によりサンプリングされた時系列データに対して、この回路と同じ処理をおこなうことを考えます。A/D 変換器等でサンプリングされた瞬時波形を $x(i)$ とします。これを二乗するのは単に $x(i)^2$ を求める処理です。RC 直列回路 (動特性回路) の出力 $y(i)$ は式 1 で求めることができます。これは 1 サンプル前の回路の出力 $y(i-1)$ と瞬時波形の二乗値 $x(i)^2$

を重みをつけて足したものです。時刻*i*の音圧レベル*L(i)*は式 2 で求めることができます。*y(i)*の単位は Pa² ですので平方根をとってから計算する場合は式 2' になります。式 2 と式 2' の計算結果は同じです。

$$y(i) = (1 - h_0) \cdot y(i - 1) + h_0 \cdot x(i)^2 \quad \text{式 1}$$

$$L(i) = 10 \times \log_{10}\left(\frac{y(i)}{p_0^2}\right) \quad \text{式 2}$$

$$L(i) = 20 \times \log_{10}\left(\frac{\sqrt{y(i)}}{p_0}\right) \quad \text{式 2'}$$

ここで、 τ は時定数(s)、 f_s はサンプリング周波数(Hz)、 p_0 は音圧の基準値で $20 \mu \text{ Pa}$ です。 h_0 は式 3 で定義される定数です。時定数が 125ms、サンプリング周波数が 48kHz の場合、 h_0 は約 0.0001667 といった小さな値になります。

$$h_0 = 1 - \exp\left(-\frac{1}{f_s \cdot \tau}\right) \quad \text{式 3}$$

●RC 直列回路とその出力

実効値検波動特性回路のベースになる回路は RC 直列回路で、抵抗(R)とコンデンサ(C)を直列に接続した回路です (図 2)。ここで、 $\tau = RC$ がこの回路の時定数と呼ばれる値です。

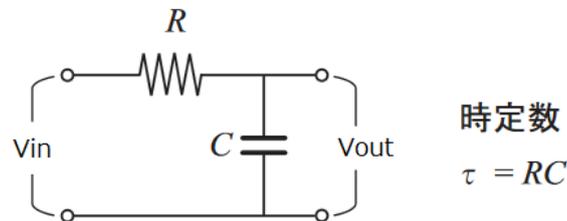


図 2 RC 直列回路

RC 直列回路に、1 周期だけの矩形波パルスを入力したときに RC 直列回路の応答波形を図 3 に示します。パルスが入ってから時定数 τ 秒後に約 0.63 になり、指数関数的に 1 に近づきます。パルスがとぎれたあとは τ 秒後に約 0.37 になり、指数関数的に 0 に近づいていきます。

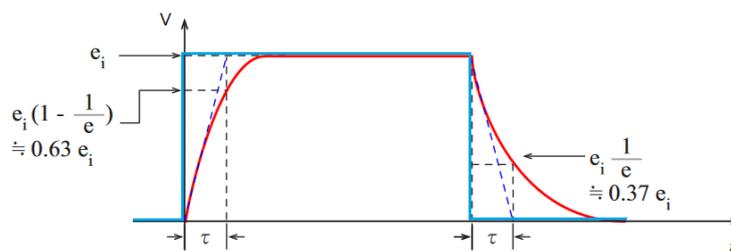


図 3 矩形波パルス(青)に対する RC 直列回路の応答波形(赤)

●バースト信号の音圧レベルの計算

継続時間 1 秒、周波数 1 kHz、片振幅 1.41 Pa（音圧レベル 94 dB）のバースト信号と、そこから求めた音圧レベルを図 4 に示します。上段が瞬時音圧波形、中段が動特性回路の出力（音圧の二乗値）、下段が音圧レベル（dB）です。時定数は F（125ms）です。

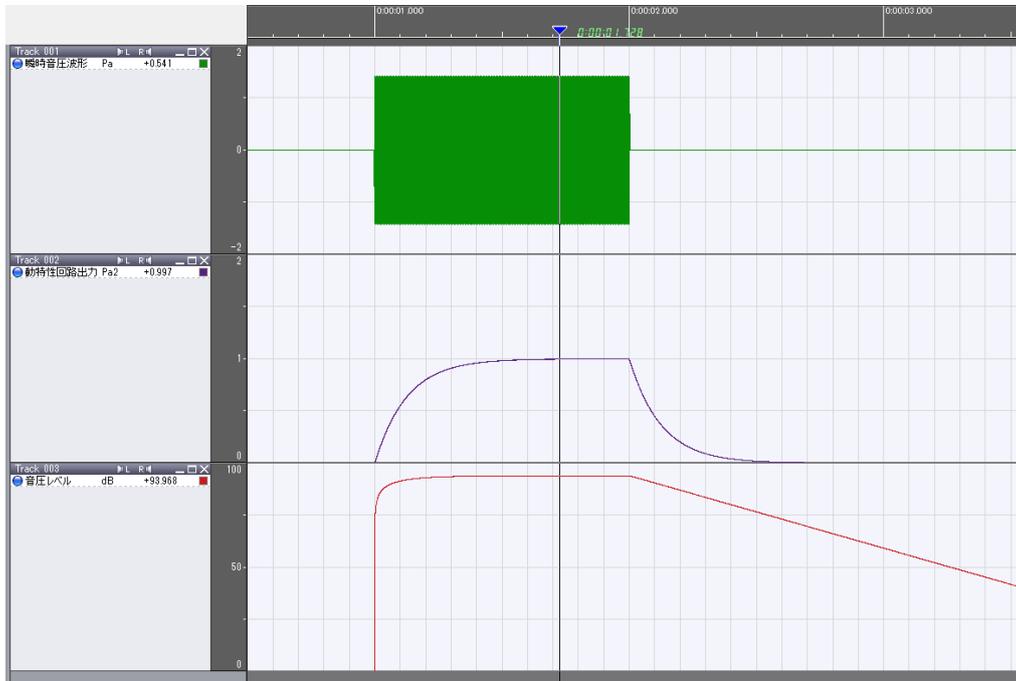


図 4 バースト信号とその音圧レベル

動特性回路の出力はバースト信号が止まってから 0.5 秒程度でほぼゼロ (0.0183 Pa^2) になっています。音圧レベルは 17.37 dB しか下がっていません。ただこれらは同じ値を音圧二乗値でみているかデシベル値でみているかの違いだけです。バースト信号が止まった後の音圧レベルは 125 ms ごとに約 4.34 dB の傾きで下がっていきます。1 秒で約 34.74 dB さがります。

表 1 に、図 4 の波形の 0.0625 秒ごとの値を示します。1 秒目から 2 秒目まで片振幅 1.41 Pa（音圧レベル 94 dB）の正弦波を加えています。図 3 と見比べていただくと分かるように、バースト信号が入った 125 ms（時定数）後には回路出力は 0.6320 Pa^2 (91.99 dB) に達しています。500 ms 後には 0.9815 Pa^2 (93.90 dB) になり、信号の音圧レベル (94 dB) とほぼ同じ値になります。バースト信号が止まった後は、回路の出力 (Pa^2) は 125 ms（時定数）ごとに 0.3677 倍になる傾きで小さくなっていきます。これを音圧レベル (dB) であらわすと、125 ms（時定数）ごとに 4.34 dB 下がる傾きになります。

表1 パースト信号とその音圧レベル

時刻(s)	振幅(Pa)	回路出力(Pa ²)	音圧レベル(dB)	減衰量(dB)
0.8750	0	0	-	-
0.9375	0	0	-	-
1.0000	1.41	0.0000	-	-
1.0625	1.41	0.3934	89.93	-
1.1250	1.41	0.6320	91.99	-
1.1875	1.41	0.7767	92.88	-
1.2500	1.41	0.8645	93.35	-
1.3125	1.41	0.9178	93.61	-
1.3750	1.41	0.9501	93.76	-
1.4375	1.41	0.9697	93.85	-
1.5000	1.41	0.9815	93.90	-
1.5625	1.41	0.9887	93.93	-
1.6250	1.41	0.9931	93.95	-
1.6875	1.41	0.9958	93.96	-
1.7500	1.41	0.9974	93.97	-
1.8125	1.41	0.9983	93.97	-
1.8750	1.41	0.9989	93.97	-
1.9375	1.41	0.9993	93.98	-
2.0000	0	0.9995	93.98	0.00
2.0625	0	0.6062	91.81	2.17
2.1250	0	0.3677	89.63	4.34
2.1875	0	0.2230	87.46	6.51
2.2500	0	0.1353	85.29	8.69
2.3125	0	0.0820	83.12	10.86
2.3750	0	0.0498	80.95	13.03
2.4375	0	0.0302	78.78	15.20
2.5000	0	0.0183	76.61	17.37
2.5625	0	0.0111	74.43	19.54
2.6250	0	0.0067	72.26	21.71
2.6875	0	0.0041	70.09	23.89
2.7500	0	0.0025	67.92	26.06
2.8125	0	0.0015	65.75	28.23
2.8750	0	0.0009	63.58	30.40
2.9375	0	0.0006	61.41	32.57
3.0000	0	0.0003	59.23	34.74
3.0625	0	0.0002	57.06	36.92
3.1250	0	0.0001	54.89	39.09
3.1875	0	0.0001	52.72	41.26
3.2500	0	0.0000	50.55	43.43
3.3125	0	0.0000	48.38	45.60
3.3750	0	0.0000	46.20	47.77
3.4375	0	0.0000	44.03	49.94
3.5000	0	0.0000	41.86	52.12

●まとめ

今回は、実効値検波動特性回路を使って瞬時波形から実効値を算出する方法と、バースト信号が入力された場合の回路の出力値をご紹介します。

RC 直列回路に矩形パルスが入力されると、回路の時定数と同じ時間経過後に出力はパルスの振幅の約 0.63 倍に達します。パルスがとぎれると、回路の出力は時定数と同じ時間で約 0.37 倍になる傾きで下がっていきます。

騒音計等の実効値検波動特性回路も同じ回路を使っていますので同じ特性を示します。音圧二乗値 (Pa^2) でみると、時定数と同じ時間で 0.37 倍ずつ下がっていきますので、すぐに非常に小さい値になります。これを音圧レベル (dB) であらわすと時定数と同じ時間で 4.34 dB ずつしか下がっていきません。

バースト信号や衝撃音がとまっても時定数の影響で音圧レベルはすぐには下がりません。時定数が 125 ms であれば 1 秒後でも 34.74 dB しか下がりません。そのため、繰り返し発生する衝撃音等の 1 回ごとの音圧を正確に測定しようとするには、衝撃音等の間隔を 0.5 秒～1 秒程度あける必要があります。時定数を 125 ms ではなく 短い時定数に変更してもかまわない測定であれば、時定数を 10ms にすれば、10 ms で 4.34 dB、100 ms で 43.43 dB 下がりますので、音の間隔が短くても影響を受けなくなります。

(YK)