

合点！電子回路入門

石井 聡

Satoru Ishii

第15回

波形がきちんと伝わるかを評価するツール
「群遅延」

群遅延は、特にフィルタ回路(それも無線通信の変復調信号を扱うものでは最重要)やオーディオ・システムで、波形の再現性を考えるときに重要な概念です。

群遅延は、回路や素子の入出力間で信号が伝わっていくときの通過時間量です。しかし、単純な通過時間量として定義されていないところが、ちょっと厄介です(そのため本稿では繰り返して説明をする)。とはいえ群遅延を使えば、回路やフィルタを通過した信号の波形の崩れや、再現性がどれだけ悪くなるかを評価できるので、便利なツールとして実際の回路設計現場でもよく使われます。

読んでいくなかで混乱するといけないので、本稿で使う用語のなかで大事なものを表15-1に定義しておきましょう。

群遅延の必要性和意味を まず理解しよう

群遅延 t_g [時間量なので t , 「群」の意味をこめて g (group) を付けている] は「群遅延時間」とも呼ばれ、単位は時間 [sec] です。回路理論的、数学的な話をするまえに、最初に日常的/直感的なたとえ話で、群遅延の意味合いをイメージしてみましょう。

● コーラスを例にして群遅延をイメージする

例えば、図15-1のように3人がコーラスで歌っていることを考えます。それぞれが低・中・高域の自分

のパートを担当しています。このコーラスを目の前で聞くと、全体で美しい和音となって聞こえます。

それでは、これを同図のように、それぞれの声をそれぞれのパイプを通して、さらにそのパイプのうち1本だけが非常に長く、そのため他の2本と比べて半テンポ遅れてパイプから音が出てくるとします(どのパイプでも減衰や損失はないものとする)。

この3本のパイプから出てきた音を聞いてみると、一つだけ半テンポ遅れて聞こえますから、まともなコーラスには聞こえません(美しく聞こえない)。

この図15-1のパイプの通過時間を電子回路に置き換えたものが、群遅延の基本的な意味合いを示しています(本当はこれは位相遅延のこと。群遅延はもう少し複雑に定義された時間量)。この時間量のずれを評価するものが群遅延です。

なお、群遅延はちょっと複雑な概念ではありますが、

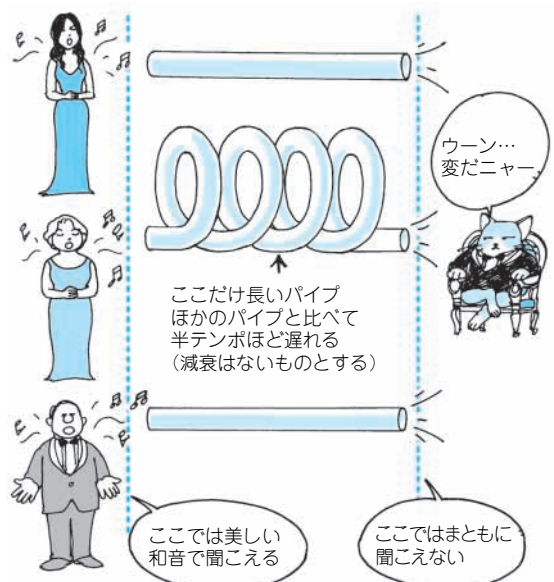


図15-1 コーラスで1人だけ半テンポ遅れるとまともに聞こえない

表15-1 本稿で使う用語で大事なものを定義しておく

用語	定義
通過時間	入力から出力に信号が伝わっていくときにかかる時間。 絶対的な量という意味を込めている (本稿で定義する用語)
位相遅延 t_p	通過時間と同じこと(一般的に使われる用語)
相対遅延時間	群遅延と同じことだが、通過時間と区別するために用いている (本稿で定義する用語)
群遅延 t_g	本稿の主題(一般的に使われる用語)

フィルタ ▶ コイルとコンデンサ、場合によってはOPアンプを用いた、一部の周波数の信号を通過させる(それ以外の周波数の信号を阻止する)特性をもつ回路。

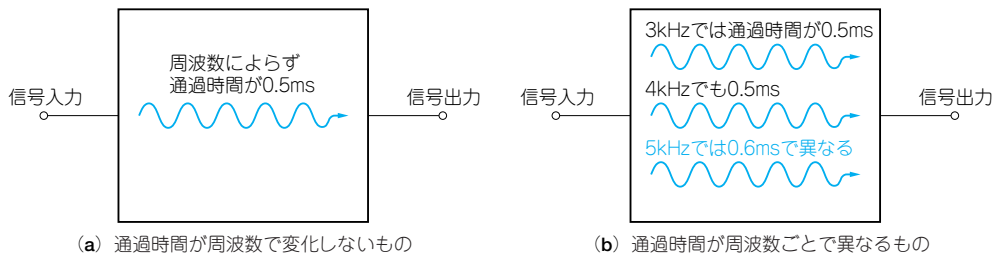


図 15-2 フィルタ回路内部を伝わる通過時間で群遅延の意味合いを理解する

逆に群遅延をこの程度で理解しているだけでも、日常の回路設計現場では十分です。

● 群遅延はビート周波数ということがポイント

次に、群遅延の必要性和意味合いをグラフィカルに理解してみましょう。

図 15-2、図 15-3 のように三つの周波数 (3 kHz, 4 kHz, 5 kHz) からなる信号が、二つのフィルタ回路に入力されることを考えてみましょう。

図 15-2 の回路に、3 kHz - 4 kHz のペア信号①と 4 kHz - 5 kHz のペア信号②がそれぞれ入力されると考えます。フィルタ回路は特定の周波数を通さないようにするものですが、ここでは説明を簡単にするために、この三つの周波数は素通りし、それぞれの通過時間のみが異なるものとします。

▶ **フィルタに入力する信号は二つの周波数が干渉して、ビートが生じている**

回路に入力されるペア信号①とペア信号②の波形を図 15-3(a) に示します。それぞれ二つの周波数が干渉しあい、ビートの周波数 (うなり；本稿では差の周波数の 1/2 をビートと説明する。ここではどちらも 0.5 kHz) が生じていることがわかります。

▶ **信号がフィルタ内部を伝わる通過時間が周波数によって変化しないと**

図 15-2(a) は、フィルタ内部を信号が伝わる通過時間が 0.5 ms 一定で、周波数によって変化しないフィルタ回路です。

ここにペア信号①とペア信号②が入力され、回路を通過して出力に現れた波形を、図 15-3(b) に示します。ペア信号①とペア信号②ともども、波形は同じタイミングで出力に現れていることがわかりますね (このときの群遅延は 0.5 ms)。

▶ **フィルタ内部を伝わる通過時間が周波数で変化するとき**

一方で、図 15-2(b) は 3 kHz と 4 kHz では通過時間が 0.5 ms、5 kHz では通過時間が 0.6 ms かかるものです。

回路を通過したペア信号①とペア信号②の波形を図 15-3(c) に示します。ペア信号①は 0.5 ms 一定の同図

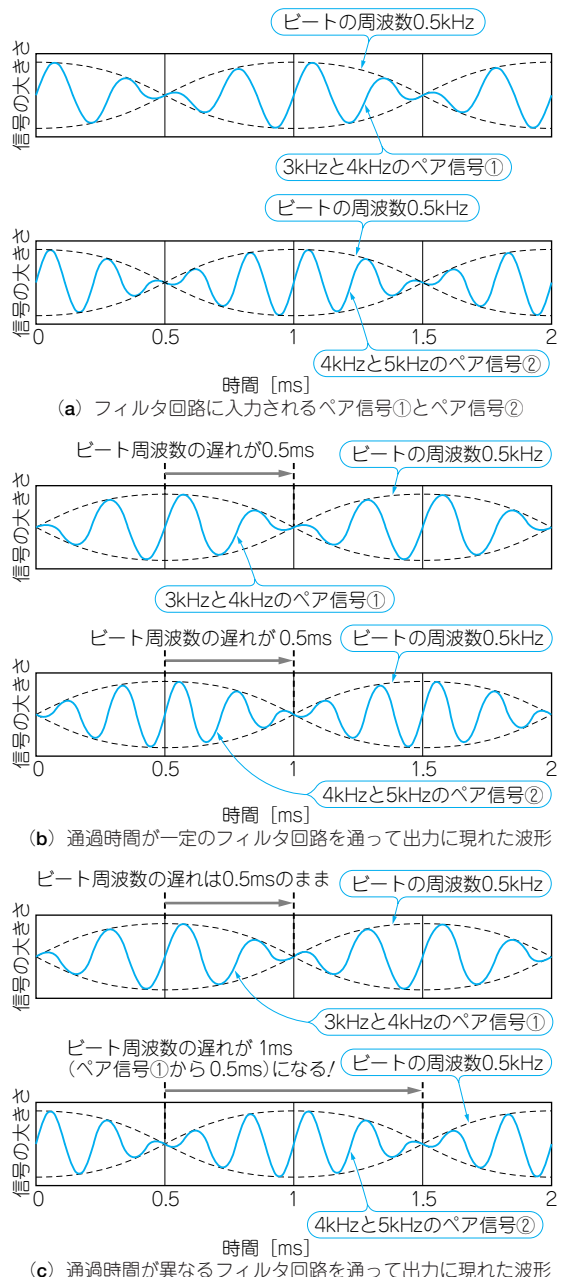


図 15-3 ペア信号が図 15-2 のフィルタを通過するとき通過時間が異なるとビート周波数の波形が遅延する