

簡易な楽音分析表示装置の試作

福 間 彰

Akira FUKUMA

On a Simple, Analytic and Expressive Device of Music

I ま え が き

音声入力可能なコンピュータが製品化される現在、楽音（調和音）を音階に分析する装置はすでに周知の技術ともいえる。一方、児童の歌う歌声または楽器の奏する旋律を基本的な音階に分析し、かつ表示する装置は、音楽を学ぶ初期の段階では、かなり応用面が広いものと考えられる。そこで、小学校において教師が手作りで組み立てることができ、児童と共に楽しみながら音楽へ誘うことが可能な、教師の手の届く教具として試作した簡便な楽音分析表示装置について述べる。

ところで、楽音を音階に分析する方法としては次の二つが考えられる。

- (1) 音声のようなアナログ入力波をフィルター回路に通し、音階に分離して取り出す方法。
- (2) アナログ入力波を、まずデジタル信号に変えた後、コンピュータで処理する方法。

(2)の方法は精密な処理が可能で、データ処理の自由度も大であるが、アナログ・デジタル変換の速度や入力波形記録の忠実度を増そうとすれば、より高速で高価な変換素子、より大容量な記憶素子が必要となり、全体の装置が高価となる。経済性を考慮するとバッチ処理的な手法を導入せざるを得なくなる。ゆえにここでは、即時処理が可能で、しかもなるべく簡便な方法として(1)の方法を選び、フィルター回路には電氣的共振回路を用い、表示部には発光ダイオードを用いることにした。

II システムの構成と原理

1. 構成 図1の全回路図に示すように、アナログ入力（たとえばマイクロフォンの出力電圧、テープレコーダの出力電圧など）は、適当な大きさにまで増幅または減衰されたあと、共振回路により表1に示すような16個の音階に分析され、緩衝増幅回路を経て表示部に至り、その瞬間の音階成分に対応する発光ダイオードのみを駆

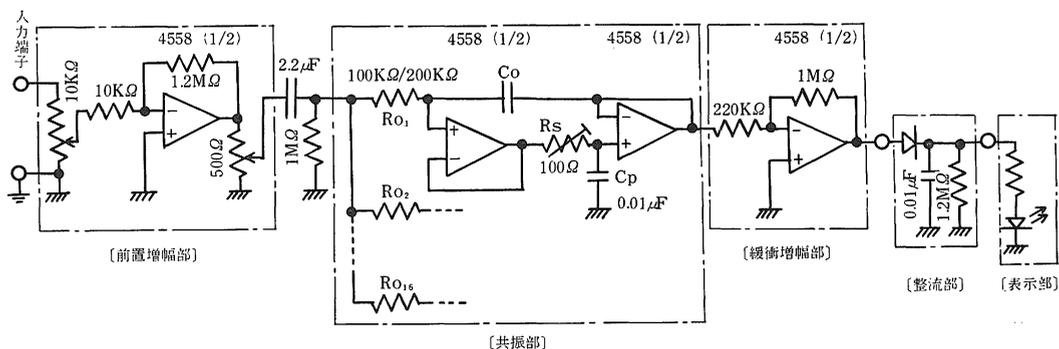


図1 全回路図

動し発光させる。主要な回路について以下に説明を加える。

2. 共振回路 共振回路には、低周波領域においてQ(Quality)の高いシミュレーテッド・インダクタ(simulated inductor)によるアクティブ BPF 1 (active Band Pass Filter) を用いている。この原理は次の通りである。図 2(a)において、静電容量 C_0 に加わる交流電圧 $\dot{V}_0 - \dot{V}_1$ は演算増幅器 A_2 の出力端子電圧 \dot{V}_0 より位相が遅れている。一方、抵抗 R_s の端子電圧 \dot{V}_2, \dot{V}_3 は、直結負帰還により利得が1である2個の演算増幅素子 A_1, A_2 のはたらきにより、それぞれ静電容量 C_0 の端子電圧 \dot{V}_1, \dot{V}_0 に等しいので、抵抗 R_s の電圧降下 $\dot{V}_3 - \dot{V}_2$ は \dot{V}_3 より位相が遅れる。すなわち R_s を流れる交流電流 \dot{I}_s は交流電圧 \dot{V}_3 より位相が遅れ、誘導回路的な性質を表わす。以上の関係を式で示すと

表1 音階と周波数および C_0 の値

番号	音階	周波数 [Hz]	C_0 [μ F]
1	A	440	1.33
2	B	494	1.00
3	C	523	0.90
4	C#	554	0.80
5	D	587	0.69
6	E	659	0.57
7	F	698	0.55
8	F#	740	0.47
9	G	784	0.43
10	G#	831	0.37
11	A	880	0.33
12	A#	932	0.33
13	B	988	0.25
14	C	1,047	0.22
15	D	1,175	0.15
16	E	1,319	0.15

$$R_s \dot{I}_s = \frac{1}{1 + j\omega C_0 R_0} \dot{V}_0 = \frac{1}{1 + j\omega C_0 R_0} \dot{V}_3$$

変形して

$$\frac{\dot{V}_3}{\dot{I}_s} = R_s + j\omega L_e, \quad L_e = C_0 R_0 R_s \quad (1)$$

ゆえに図 2(a)の回路は等価的に(b)の回路で表わすことができる。いま、 $R_s \ll \omega L_e$ とすると、 R_s, L_e, C_p から成る並列共振回路の等価アドミタンス \dot{Y} は次式で示される。

$$\dot{Y} = \frac{C_p R_s}{L_e} - j \frac{1 - \omega^2 L_e C_p}{\omega L_e} \quad (2)$$

(2)式より共振周波数 f_0 および Quality Q は

$$f_0 = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_e C_p}} = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_p C_0 R_0 R_s}} \quad (3)$$

$$Q = \frac{\omega_0 L_e}{R_s} = \sqrt{\frac{C_0 R_0}{C_p R_s}} \quad (4)$$

で表わされる。たとえば、 $f_0 = 880$ [Hz], $C_0 = 0.33$ [μ F], $R_0 = 100$ [k Ω], $C_p = 0.01$ [μ F], $R_s = 99.1$ [Ω] を(4)式に代入すると、 $Q = 182$ が得られる。なお、図 2 の演算増幅器 A_2 は、抵抗 R_0 により共振回路の Q が低下するのを防ぐため、 R_0 と共振回路を分離するためのものである。

3. 整流回路 図 1 の整流回路は、発光ダイオードや子電球を表示素子に用いる場合には不要である。しかし、さらに高度のデータ処理を求めて、たとえばアナログ・デジタル変換器を経てマイクロ・コンピュータに接続するような場合には必要となる。すなわち、フィルター回路により弁別された交流信号の、瞬時値ではなく振幅の大きさを検出し、しかも振幅自体が時間と共に変化する楽音入力のような場合には適当な時定数を設定する必要がある。ここでは一応、時定数 $T = CR = 0.01 \times 10^{-6} \times 1.2 \times 10^6 = 0.012$ 秒に選んである。

III 特性

装置を構成する回路の中、主なものについて測定した値を次に示す。なお、測定は全装置が直流電圧 ± 15 [V] を受けて駆動されている状況の下に、該当回路の入力端子、出力端子の電圧を測定することにより行われた。使用した測定器具は次の通りである。

- (1) 直流電源装置：メトロニクス製、型名 6455A, DUAL TRACKING DC POWER SUPPLY
- (2) 発振器：安藤電気(株)製、型名 TCO-21B, OSCILLATOR (10Hz~650kHz)
- (3) 周波数計 YHP 製、型名 5304A, TIMER/COUNTER

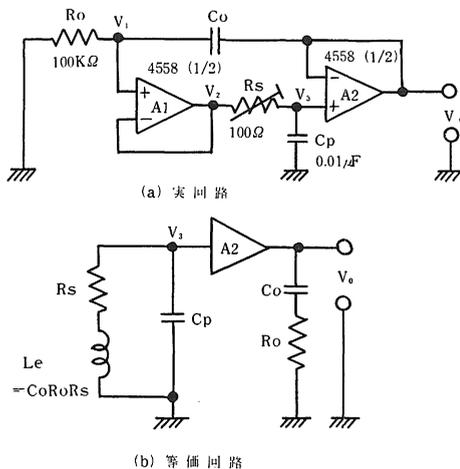


図 2 シミュレーテッド・インダクタによるアクティブ BPF 回路

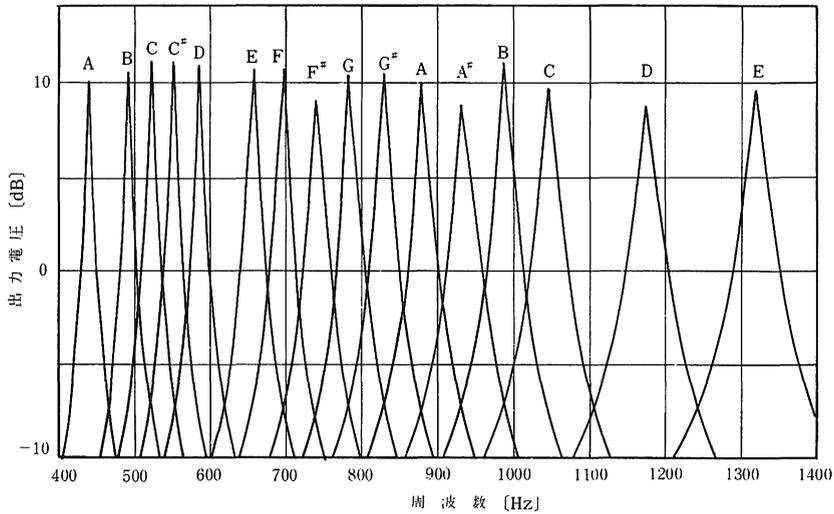


図3 共振特性 (入力電圧 = -26[dB] = 50[mV])

(4)真空管電圧計：菊水電子工業(株)製，型名 1633A，AC VOLTMETER

1. 共振回路 共振回路の入力電圧が実効値 50[mV] (約-26[dB]) の正弦波電圧である場合の各共振回路の共振曲線を図3に示す。同図において、いずれの共振曲線について見ても、共振時の出力電圧と、両隣りの共振回路 (共振曲線) の電圧とは大きさが 15[dB] (5.6倍) 以上離れており、表示部に発光ダイオードを用いた場合完全に音階を分離して表示できることを示している。なお、図中に記した英字は、それぞれの共振回路に設定した共振周波数を音階名で表わしたもので、共振周波数との対応は表1に示す通りである。

つぎに、この装置の適用範囲である最低周波数 440 [Hz]，最高周波数 1.319 [Hz] および中間の周波数 880 [Hz] に対応する三つの共振回路について、選択度の定義 ($Q=f_0/\Delta f$, f_0 : 共振周波数, Δf : 電力半値幅) に

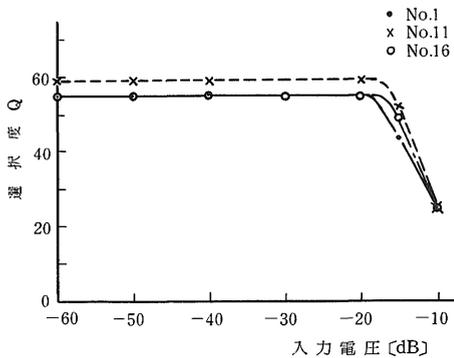


図4 共振回路の入力電圧—選択度特性

基づき実験的に求めた Q の値と共振回路の入力電圧の実効値との関係を図4に示す。同図より、共振回路の入力電圧が -60[dB] (1[mV]) ~ -20[dB] (100[mV]) の範囲内では、各共振回路共 Q の値はほとんど一定で、いずれも 55~60 の値に収まっていることがわかる。また、これら三つの共振回路について、共振時の出力電圧と入力電圧との関係を図5に示す。同図より共振回路の入力電圧が -60[dB] ~ -20[dB] の範囲内では、共振回路の増幅度が約 35[dB] (約56倍) で一定であることがわかる。この結果は図4の Q の値と一致している。

2. 緩衝増幅回路 この回路は、表示回路に必要な駆動電流が共振回路の共振特性に影響を及ぼすのを防ぐと共に表示回路に十分な電流を供給するために挿入された回路である。この回路の入力電圧—ゲイン特性を図6に

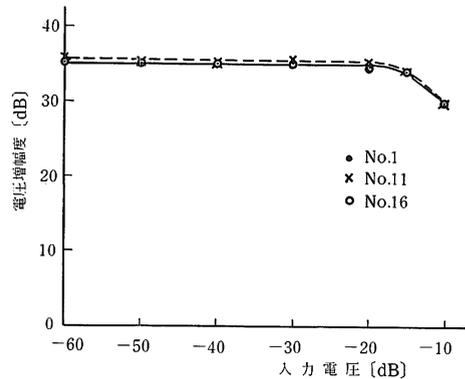


図5 共振時における共振回路入力電圧—電圧増幅度特性

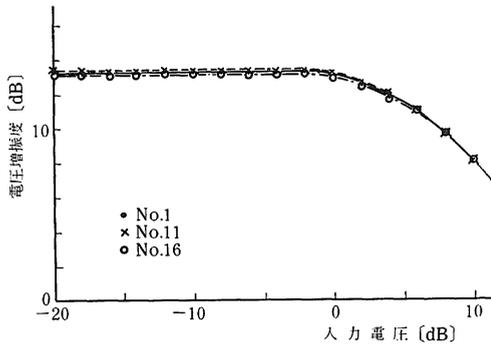


図6 緩衝増幅回路の入力電圧—電圧増幅度特性

示す。同図より、入力電圧の実効値が 1[V] 付近以下では定ゲイン特性が保たれていることがわかる。また、この装置が対象とする周波数範囲 ($440\text{[Hz]}\sim 1,319\text{[Hz]}$) では、周波数による差異は実用上ほとんど考慮を要しないものと考えられる。

なお、前置増幅回路における入力側可変抵抗の出力が大きすぎると、前置増幅部の出力波形がひずみ、第2高調波が無視できなくなる。実際問題としては、線形増幅

範囲で動作するように発光ダイオードの発光状態を見ながら可変抵抗を調整することもできる。

IV あとがき

汎用の安価な演算増幅器を活用し、シミュレーテッド・インダクターを共振回路素子に用いることによって、比較的簡単な回路で、安定した音階分析装置を作ることができた。この装置を教育現場に持込むことと、より広い活用を目指して、マイクロコンピュータに接続する作業が次に残された問題である。

最後に、この装置の開発に卒業研究²⁾として取組んだ坂田英則君および製作・測定に協力した出川政司君の協力に感謝する。

参考文献

- 1) 横井与次郎：電子展望，第11巻第4号，55～60頁，1974.
- 2) 坂田英則：楽音の分析・表示に関する研究，島根大学教育学部卒業研究資料，1984.