

難聴児音楽教育のための音高検出装置

西 巻 正 郎・富 田 鉄 雄

Pitch Indicator for Music Training of Deaf Children

Masao NISHIMAKI and Tetsuo TOMITA

Abstract

A newly developed pitch indicator which was intended to use in the training of singing for deaf children. This apparatus was so designed that sound pitches of a child's voice can be indicated on a panel by means of indicating lights which are arranged on the panel at the corresponding positions of music sounds over two octave musical scale with half-tone intervals. With this apparatus, not only brief pitch of a voice is shown but also fairly accurate pitch can be indicated when the pitch of the voice coincides with one of the sounds of the music scale. Small incandescent lamps are used for the indicating lights. It has been found that this trially made apparatus worked satisfactorily for the purpose.

1. ま え が き

難聴児の教育の一環としての音楽教育の中に歌唱の指導がある。その場合に、児童が自分の声の高さが正しいかどうかを判断するのに、他の音と聴き比べることが困難なので、視覚の助けによって声の高さの正否を判断できるような手段が望まれ、そのための装置が聾話学校などには設けられていた。しかし、そのような装置は、たとえば発光ダイオードの発光位置によって音高を示すようなもので、声の高さが正確に音階上の一つの音の高さに一致しないと発光しないために、自分の声の高さがどのくらい違っているのか見当がつかないことや、発光が小さく暗くて見難いなどの欠点があり、あまり有効に活用されていなかった。

われわれは、発声音がどんな高さであっても、その音階上の大体の位置がわかり、かつ、音階上の正確な音高の一つに一致したことを示すことができ、しかも十分な明るさのある見易い装置を目標にして、以下に述べるような装置を試作したので報告する。

2. 音高検出装置の要件

この装置は学童の歌唱の音域で動作し、声の高さが楽譜の五線上の位置として示されることを目標にするもので、次の要件を満たすように企図された。

(1) 表示音高

声の基本周波数が、楽譜の a'' の周波数を 440 Hz とする標準の平均率半音階列で、次の音の高さが表示できること。

$a' a' \sharp b' c' c' \sharp d' d' \sharp e' f' f' \sharp g' g' \sharp$
 $a'' a'' \sharp b'' c'' c'' \sharp d'' d'' \sharp e'' f'' f'' \sharp g'' g'' \sharp$

(2) 表示方法

表示装置から 1 m 程度の距離から、発声された音の高さが楽譜の五線上のどの位置にあるかが、ふつうの明るさの場所でもよく見えるように、適当な大きさの五線上に配置された適当な大きさと輝度の発光体によって示されること。

(3) 発光体の大きさと光度

声の大きさが一定下限以上ありさえすれば、声の大きさによらずに声の高さだけによって光度がきまり、声の高さが音階上の正確な音高の一つに一致したときには一定の光度になるようにし、見易い大きさと輝度とをもつこと。

(4) 発光体の光度の変化

発光体は、発声音の高さが正確な一つの音高に一致しなくてもそれに近いときは発光し、声の大体の高さを示すこと。そして、たとえば、発声音が相隣る 2 音の間にあるときは両側の 2 音を示す発光体が同時に同程度の光度で発光し、片方の音高に近いときは近い方が強く、遠い方が弱く、また、正確に一つの音高に一致したとき

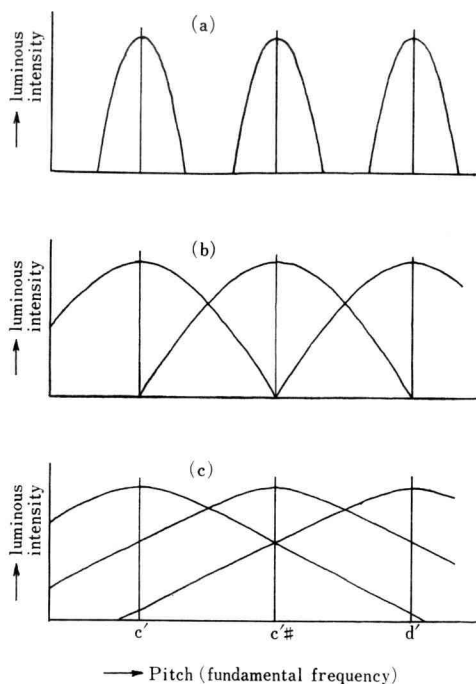


Fig. 1 Relationship between luminous intensity of indicating lamps and pitch of voices. (b) is desirable, and (a) and (c) are not desirable.

はその音を示す発光体だけが最も強く発光するようにする。すなわち、発声音の高さと光度との関係が Fig. 1 の (a) のようでも (c) のようでもなく、(b) のようになること。

(5) その他

本質的ではないが実用上重要なこととして、移動や設置が簡単、取扱いが容易で、かつ、安価にできること。

上記の要件のうち、技術上特に重要なものは(4)である。

3. 全装置の構成

前節に述べた要件を満たすために、全装置を Fig. 2 に示すように構成した。

音声をマイクロホンで受けて電気信号に変え、後の処理に必要なレベルまで前置増幅器で増幅したのち、無用の高調波成分を切るために低域フィルタを通す。フィルタのシャ断周波数は表示する最高音の基本周波数付近に選ぶ。音域が2オクターブにわたるから、低い方の1オクターブ中に含まれる音の第2調波成分も当然含まれる

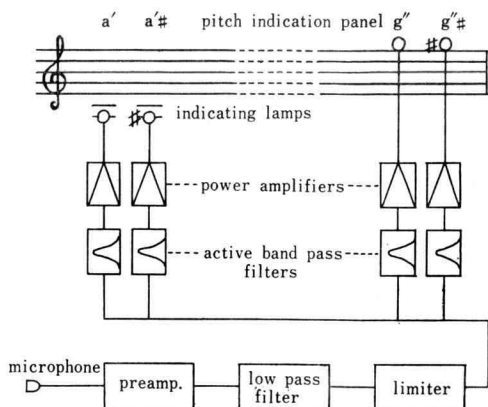


Fig. 2 Block diagram of the pitch indicator.

が、これを特に除く必要はないと考えたからである。

低域フィルタのあとに振幅制限回路を置き、音声の強さがある下限以上あれば、その変動にかかわらず出力電圧がほぼ一定になるようにした。

振幅制限増幅器の出力は、2オクターブにわたる半音間隔の24箇の音の基本周波数をそれぞれ中心周波数とする狭帯域通過フィルタ群に供給される。帯域フィルタとしては、中心周波数と通過帯域幅とがほぼ独立に調整できる理由で、能動フィルタを用いることにした。

音高の表示には、適当な大きさのパネル上に楽譜の五線を画き、その上の各音高を表す位置に発光体を取り付けたものとする。発光体としては、相当の明るさと大きさとが得られるように小形白熱ランプを用いることにした。

各表示ランプをそれぞれの音高に対応するフィルタの出力に応じて発光させるために、各表示ランプとフィルタとの間に電力増幅器を置き、ランプの発光に必要な電力が供給されるようにした。

なお、マイクロホンと表示パネル以外の全電子回路は電源回路とともに1台のセットに組み込むようにし、調整箇所はほとんど無いようにした。

4. 各部の設計と調整

4.1. 前置増幅器・低域フィルタ・振幅制限器

マイクロホンの出力レベルを、振幅制限器が十分に動作する程度まで増幅するための前置増幅器には市販のフラット・アンプ・ユニット (ユニエル電子 EF-458) を用いた。最大入力電圧 240 mV, 最大出力電圧 13 V, 入力インピーダンス 50 k Ω , 100~10,000 Hz での利得 35

dB のものである。

無用の高調波成分を除くための低域フィルタには、動作音域の上限より少し高い 1,000 Hz をシャ断周波数とする能動フィルタを用いた。これだけでは、a' から g'♯までの基音に対してそれぞれ 1 オクターブ上の第 2 調波成分も通過するわけであるが、一般に児童の声では、基本波成分に対して第 2 調波成分は比較的小さく、1 オクターブ上の表示ランプは発光しないか、発光しても基音とは容易に区別がつくと考えられたので、簡単にするために、特に第 2 調波成分を除く手段は用いなかった。

低域フィルタのあとには、音量が変化しても表示ランプの光度が変化しないように、振幅制限回路を設けた。これへの入力があり大きくないので Fig. 3 のような

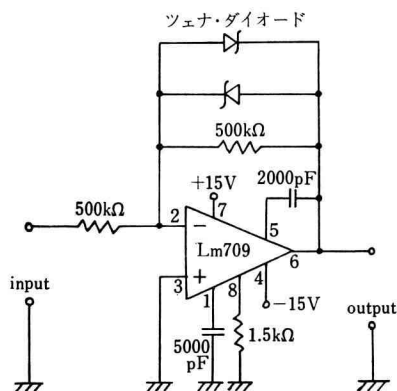


Fig. 3 Limiter circuit used.

変則的な回路を用いた。入力電圧 500 mV から制限が始まり、700 mV で飽和する。

4.2. 音高判別用フィルタ

音階上の各音の高さを判別するために、音の数に等しい 24 箇の帯域通過フィルタを設けた。フィルタには、中心周波数と通過帯域幅とをほぼ独立に調整できるように、Fig. 4 のような 2 次バイクォッド能動フィルタを用いた。

各抵抗値は各中心周波数に対してきめられるが、各帯域では R_1 , R_2 , 及び R_3 を変化することにより、それぞれ利得 G , 帯域幅 B , 及び中心周波数 f_n を調整することができる。

Table 1 は、各音に対する中心周波数と、表示ランプが第 2 節 (4) 項の要件のように発光するように調整したときの R_1 , R_2 , 及び R_3 とランプが発光する周波数の幅

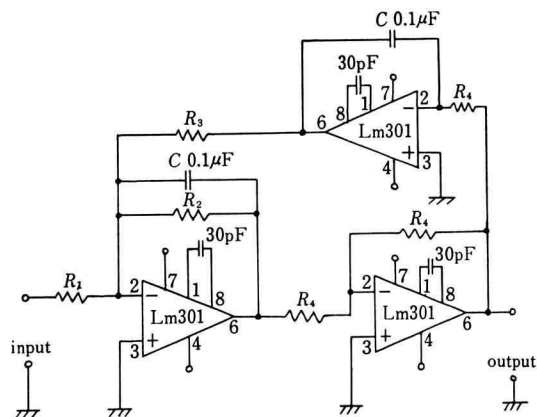


Fig. 4 Active bandpass filter circuit used for pitch recognition. Values of R_1 , R_2 , and $R_3=R_4$ are given in Table 1.

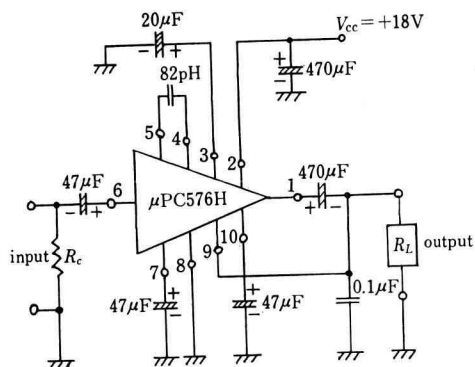


Fig. 5 Power amplifier circuit used. Maximum output power is 3.5 W.

を示す。Fig. 4 の C の値を $0.1 \mu\text{F}$ 一定として、各音の中心周波数によって R_3 を定め、動作の安定を考慮して各周波数帯での最大利得が約 10 dB 程度になるように R_1 を定め、 R_2 は周波数の変化に対する表示ランプの光度が前記要件のように定めてある。ランプの光度、したがってフィラメントの温度によってその抵抗値がいちじるしく変化するので、あらかじめ計算によって正確な R_2 の値を定めることは困難なために、抵抗値を概算した上で、視覚の助けによって調整を行なったものである。

表示ランプには定格 6 V, 2.7 W (13Ω) の白熱電球パイロットランプを用いたので、各フィルタを通過した信号によってこれを発光させるために必要な電力を供給する電力増幅器を用いた。回路は Fig. 5 に示すようなも

Table 1. Values of R_1 , R_2 and R_3 in Fig. 5 and of frequency band width for each sound pitch.

pitch notations	frequency [Hz]	R_1 [k Ω]	R_2 [k Ω]	$R_3=R_4$ [k Ω]	frequency band width [Hz]
a'	220.00	72.28	216.8	7.23	216~226
$a'\sharp$	233.08	68.29	204.9	6.83	228~237
b'	246.94	64.48	193.5	6.45	236~248
c'	261.63	64.85	182.5	6.09	247~268
$c'\sharp$	277.18	57.43	172.3	5.74	265~288
d'	293.66	54.21	162.6	5.42	284~305
$d'\sharp$	311.13	51.10	153.3	5.11	298~321
e'	329.63	48.29	144.9	4.84	319~339
f'	349.23	45.58	136.8	4.56	338~360
$f'\sharp$	369.99	43.03	129.1	4.30	357~384
g'	392.00	40.61	121.8	4.06	382~402
$g'\sharp$	415.30	38.40	115.1	3.84	400~429
a''	440.00	36.1	108.4	3.61	428~454
$a''\sharp$	466.16	34.2	102.6	3.42	452~477
b''	493.88	32.2	96.6	3.22	476~517
c''	523.25	30.4	91.2	3.04	511~542
$c''\sharp$	554.37	28.7	86.1	2.87	537~580
d''	587.33	27.1	81.3	2.71	572~611
$d''\sharp$	622.25	25.6	76.8	2.56	604~642
e''	659.26	24.2	72.6	2.42	638~687
f''	698.46	22.8	68.4	2.28	682~730
$f''\sharp$	739.99	21.5	64.5	2.15	728~763
g''	783.99	20.4	61.2	2.04	762~802
$g''\sharp$	830.61	19.2	57.6	1.92	802~850

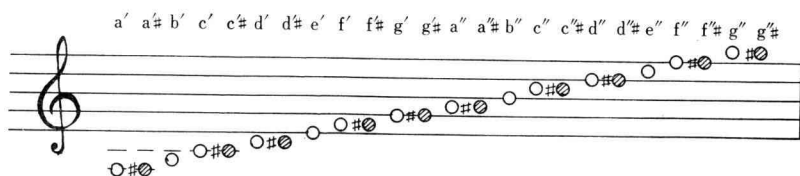


Fig. 6 Arrangement of indication lamps on the pitch indicating panel. Hollow circles show yellow lamps and shaded ones green lamps.

ので、作動負荷抵抗 4~16 Ω 、最大定格出力 3.5W である。ランプの抵抗が光度によって大きく変化し、また、個々のランプにある程度のばらつきもあるので、前述のように、あらかじめ動作状態を設定して計算だけで回路の数値をきめてしまうことは困難であるため、周波数の変化による光度の変化が第 2 節 Fig. 1(b) のようになり、かつ、最大光度に対する入力に次に述べるように一定値になるように、視覚的にフィルタの帯域幅と電力増

幅器の利得とを調整した。

なお、鍵盤楽器の白鍵に相当する位置のランプには黄色ガラスを用いて明るいので、最大電圧約 5V、黒鍵に相当する位置のランプには緑色ガラスを用いて少し暗くなるので、最大電圧約 6V でそれぞれ動作するように調整した。

4.4. 音高表示パネル

表示パネルは任意の形及び大きさに作ることができる

が、この試作では Fig. 6 のように、楽譜の五線を画いたアルミニウム板に、 a' 音の位置を示す表示ランプを左端に、音高が上るにしたがって順次右方に並べ、右端を $g' \sharp$ として取り付けた。表示ランプは直径約 10 mm のガラスカバーをもった、前記定格のパイロット用ランプである。この試作装置では、表示パネルを電子回路セット筐体の前面に取り付け、セットから表示パネルまでの多数のコード束を避けた。寸法は縦 12 cm、横 45 cm である。

5. 全体の動作

発声音の高さが、音階音の一つに正確に一致していれば、その音高を示す表示ランプだけが定まった最大光度で発光し、他のランプは発光しないが、たとえば発声の方が少し高すぎるときは、半音高い位置のランプが弱く発光しはじめ、発声音の高さが相隣る半音の間にあるときは、その両側の表示ランプが同程度の光度で発光することは、第 2 節 (4) 項の要件のようになる。

学童の声及び女声の場合には、一般に第 2 調波成分は基本波成分に比べてあまり大きくないので、この装置はその全音域内で一応上述のように動作する。声質によっては a' から $g' \sharp$ までの範囲の基音に対して、それぞれ 1 オクターブ高いランプが弱く発光する場合もあるが、光度の相違によって容易に基音と区別ができる。

しかし、成人男声の場合には基音の音域が一般にこの装置のそれよりも低い所にあると同時に、第 2、第 3 調波成分が比較的大きいので、基音より 1 オクターブ高い位置と、さらに純 5 度高い位置のランプが発光する。したがって、この装置のままで成人男声用には適しない。

調整箇所は電源スイッチ 1 箇所以外には無い。プラグ付き電源コードが付属し、マイクロホン・ジャックに任意のマイクロホンを接続することができる。

6. むすびと謝辞

この装置は昭和 55 年度の幾徳工業大学電気工学科学学生の卒業研究の一つとして設計・試作されたもので、各部の設計・組立て・調整・試験等はすべて学生の手によって行なわれたものである。この装置の特長は、第 5 節に述べたような表示動作をするように作られた点にある。全体の構成や各部の設計は必ずしも最適ではなく、不適當、不十分な点もあり、改善の余地があるが、学童の声域に対する動作は企図したとおり十分目的に沿い、ほぼ満足されるものである。なお、この試作装置は現在日本聾話学校で難聴児の音楽教育に試用されている。

この装置の研究・試作の動機を与えられた東京計器製造株式会社の菅一志氏ならびに日本聾話学校のスタッフの方々に厚く御礼申し上げるとともに、装置の設計・試作に当たった卒業研究学生の大川勉、桑原雅昭、桑原豊、山田まり子、青木敏雄の諸君の工夫と努力に謝意を表す。

参考文献

- 1) D.E. Johnson & J.L. Hilburn: 図表によるアクティブフィルタの実用設計, 館・谷江訳, 日刊工業新聞社, 1978.
- 2) 電子回路設計アイディア集, 日経マグローヒル社, 1978.
- 3) The Linear Circuits Data Book, Texas Instruments Asia Ltd., 1978.