

小形圧電音さ

Micro Tuning Fork

太田正明* 永瀬寿重*
Masaaki Ota Toshishige Nagase
大柳武夫* 監物直光*
Takeo Oyanagi Naomitsu Kenmotsu

要 旨

圧電音さは、音声周波数帯域での安定で小形な周波数発振素子として、また能率のよい信号受信選択素子として、無線通信機器や伝送機器ばかりでなく、電話交換機やデータ通信端末機器などへの利用も盛んになってきている。

日立製作所では、現在これらの用途に応じた小形圧電音さを製品化しており、それらの一般性能、構造について述べている。

427.5 Hz より 1,237.5 Hz の周波数範囲で 15 Hz 間隔の標準周波数配列を持つ単素子形と複合形の 2 種の小形音さがある。これらは、振動部に音さ用として製作し温度係数を正確に合わせた安定な恒弾性材料を用い、新たに開発したばらつきの少ない溶接加工法によりはり合せを行ない、じゅうぶん枯化した電歪(でんわい)素子をはり付け、工程上の細心の注意を払って製作している。

隣接周波数に対する減衰量は、単素子形、複合形音さそれぞれ 15 dB 以上、21 dB 以上得られるように定め、中心周波数の温度安定度として ± 10 ppm/°C、経時安定度として 0.4×10^{-8} /decade 程度の大形音さに近い安定度を確保するようにしている。

取付けは、いずれもプリント板取付形であり、外形寸法および端子配置をプリント板標準格子寸法に合致するように定め、実装上での効率を高めるよう配慮している。

1. 緒 言

圧電音さは、低周波音声帯域における発振素子や信号受信用フィルタとして、在来より無線通信機器を中心として数多く使用されてきているが、集積回路などをはじめとする電子回路部品の小形化、高密度化の進展とともに、インダクタンス部品の小形化の一つの有力な方法として、交換機をはじめとする多方面の機器への利用も盛んとなってきている。

音さは、恒弾性金属材料の持つ大きな機械的 Q と高い安定度を利用した小形軽量の周波数選択素子であり、磁心入り線輪と蓄電器より成る同調素子などに比べ、選択性、温度安定性、経時安定性、大きさなどの点で格段の利点を有するとともに、低周波帯においては、水晶振動子に対しても大きさやコストの面ではメリットを有している。

日立製作所では、最も用途の広い信号発振素子に適した単素子形音さと、信号受信選択素子に適した複合形音さを製品化している。これらは、400~1,200 Hz の範囲で帯域幅一定の設計を採用しており、任意の中心周波数に対し一定離調周波数での減衰量を一定に確保できるよう定めてある。以下にその概要について述べる。

2. 構 造

圧電音さは、コ字形状をした恒弾性金属材料の両背面に、チタン酸鉛ジルコン酸鉛磁器の電歪素子をはり付け、電気入力信号を機械的振動に変換して音さにたわみ共振振動を起こさせることにより、周波数選択性を持たせたものであり、その小形化、安定化のために振動子形状や支持構造などにいろいろな工夫が行なわれている⁽¹⁾⁽²⁾。

音さの中心となる素地の振動子については、図 1 (a), (b), (c) に示すように、その形状として金属片を U 字形状に折り曲げたものや、底辺部の肉厚を厚くしたコ字形状のものなどが多く用いられている。また、コ字形状の振動子の加工方法として、コ字形状を 1 枚の金属板から削り出す方法や、2 本の振動梁(はり)とそれらにはさま

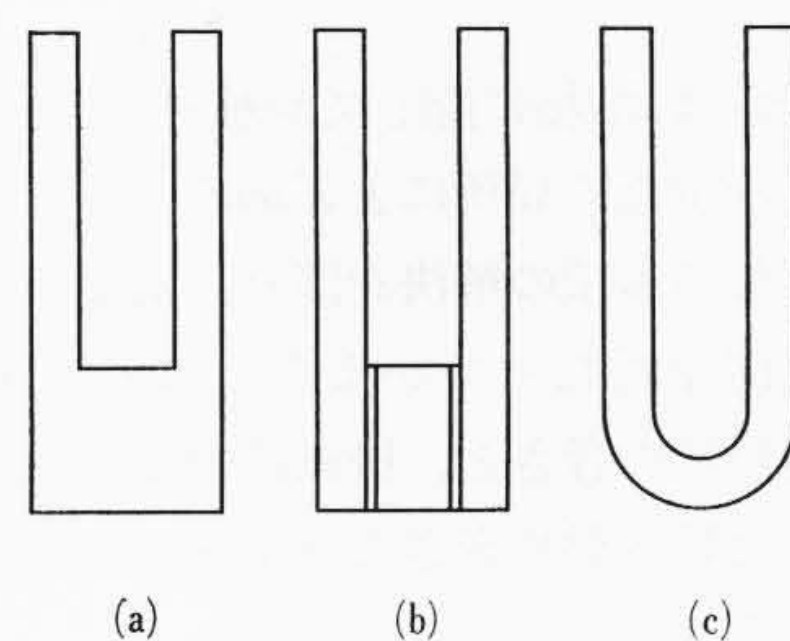


図 1 各種の音さの形状

れた間隔片とをそれぞれ別個に切り出し、それらを抵抗加熱、高周波加熱その他の方法によりろう付接着をして形成する方法がおもに行なわれている。

日立製作所の小形音さは、コ字形状のはり合せ方式を採用している。それは、U 字形状音さは固定点を定めにくいことや、2 本の振動梁の機械的非対称性などにより振動が音さのケースやそれを取り付ける基板などへ漏れ、触手などにより定損失などの電気的性能に若干の影響を及ぼす場合があるが、これらを避けて性能の安定度を向上させるため、また 1 枚板からの切削加工のしにくさを避けることのためである。

また、2 本の振動片と間隔片とのはり合せについては、新たに開発した安定度のすぐれた溶接方法を使用している。一般に音さ振動子の溶接方法については、幾つかの点に留意しなければならない。それは、

- (1) 溶接部と非溶接部の材質的非連続性が小さく、また溶接強度のばらつきが小さいこと。すなわち、振動伝ば上でのインピーダンスミスマッチングや振動損失が少なく、そのばらつきが小さいこと。
- (2) 溶接時の温度上昇により、振動子のヤング率などの材質定数の変化や形状寸法の熱変形などが小さいこと。また被加工物の表面状態の変化や溶接時での異物質の混入が少ないこと。

* 日立製作所戸塚工場

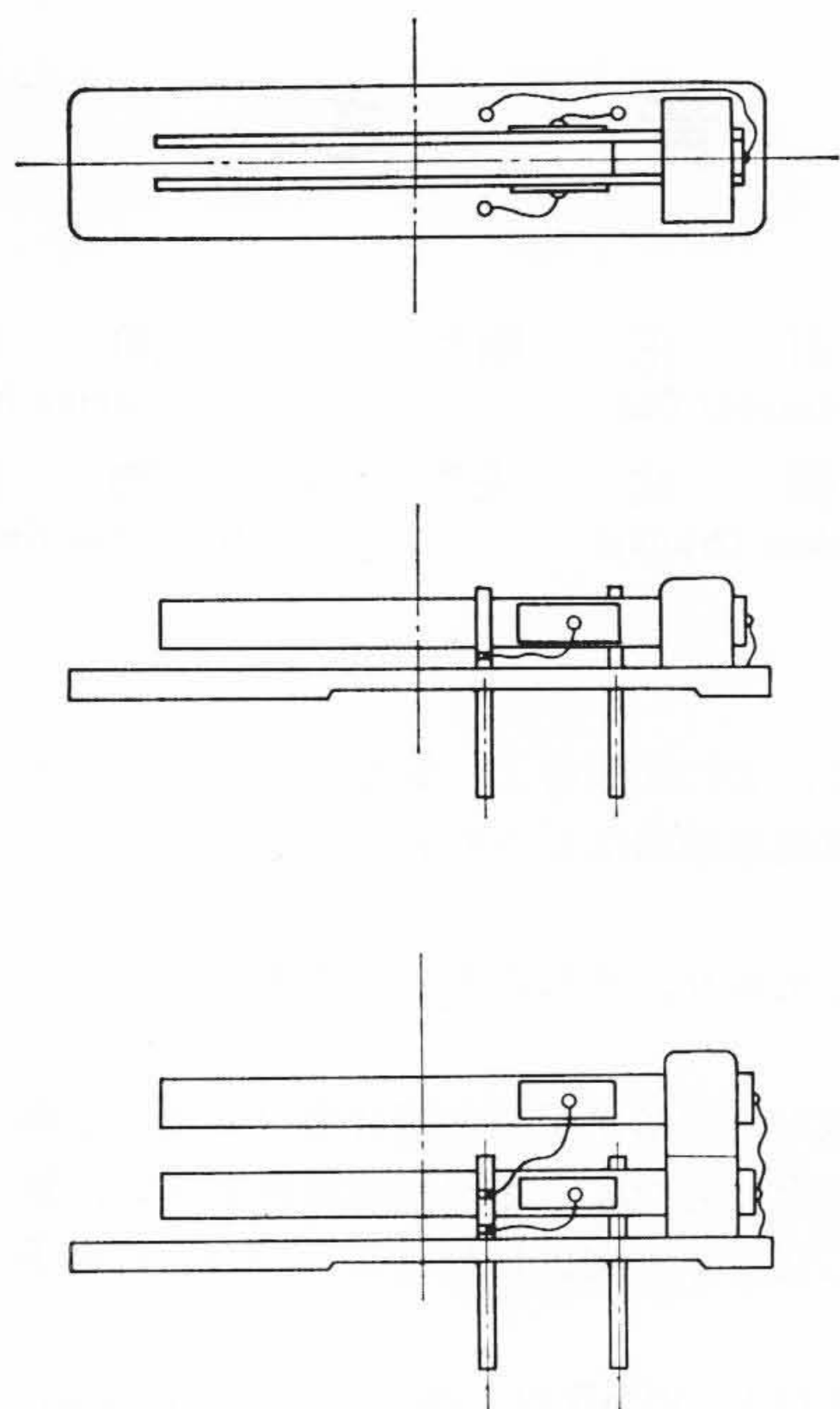


図2 小形音さの内部実装図

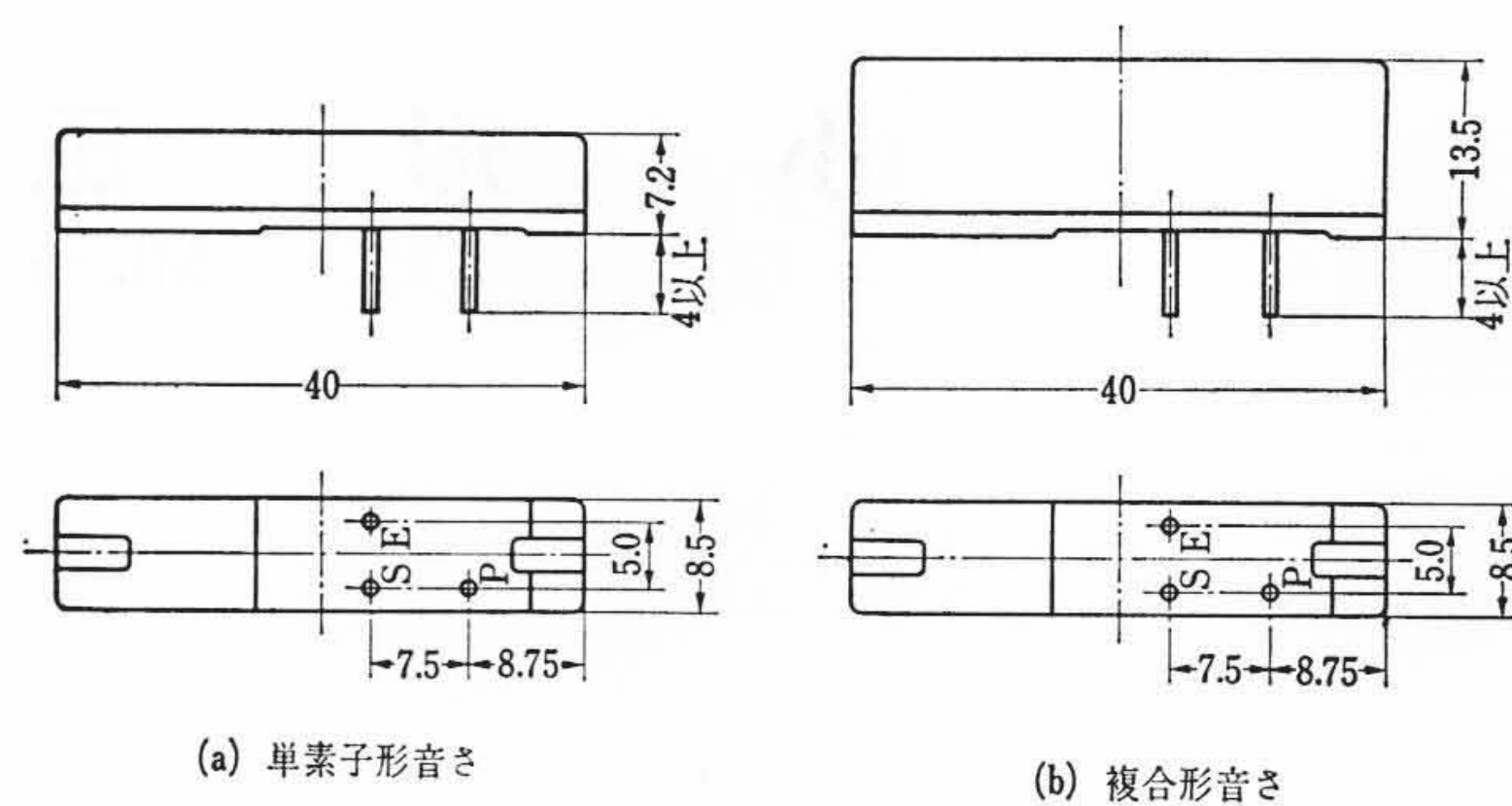


図3 小形音さの外形寸法

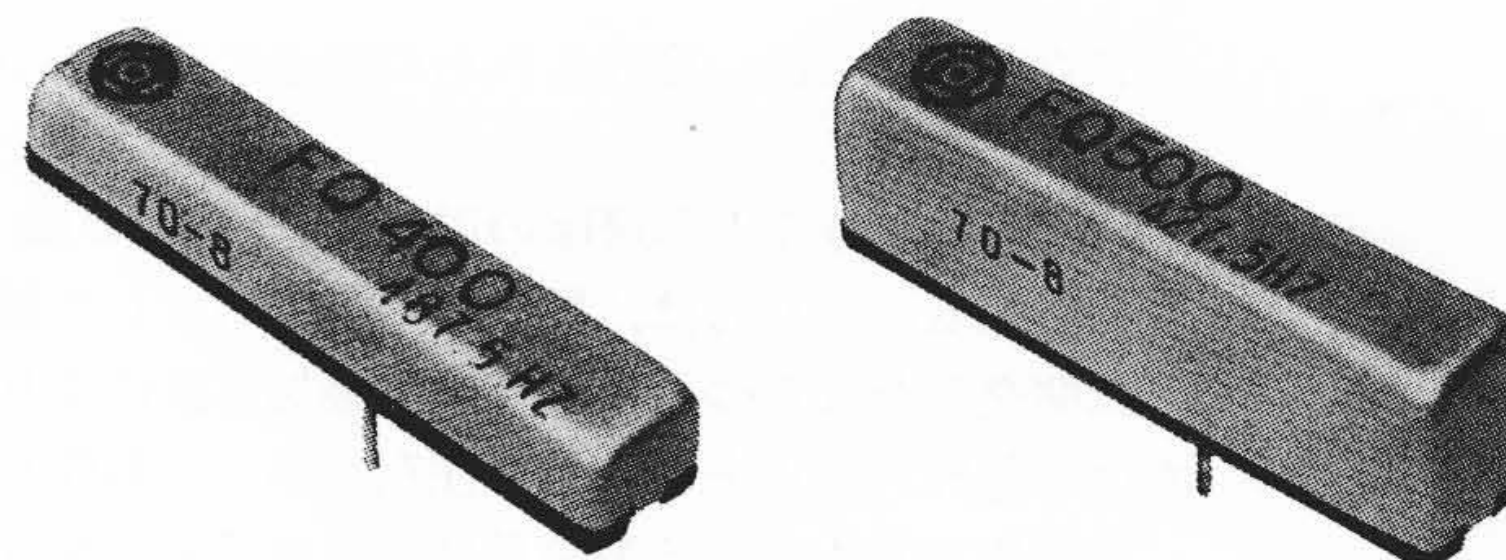


図4 小形音さの外観

(3) 溶接状態たとえば、溶接位置、溶接範囲などが正確に制御できること。

などである。

日立製作所の音さは、溶接に際して異種材質層の介在を極力避け、溶接部の材質変化を少なく局所にとどめるようその方法に工夫を凝らし、以上に述べた諸事項の解決を図り、安定でばらつきの少ない小形の振動子の製作を行なっている⁽⁸⁾。このように製作した音さは、切削による同形状の音さと、機械的強度や性能、安定性とも全く同等であり、またU字形状音さよりも保持の安定性が良好であることを確認している。

以上の方法により製作を行なった音さ振動部の2本の振動片の背面に、入出力用の温度安定度の良好な電歪素子をはり付けし、コ字形状の底部を硬度の変わらないゴム材にて保持し、これを樹脂製のベースにそうし固定している。図2は、単素子形および複合形小形音さの概略の実装図である。

図3は単素子形および複合形小形音さの外形寸法図を示したものである。またこれらの外観写真は、図4に示すとおりである。ケース寸法および入出力の各端子位置は、多く採用されているプリント基板の実装寸法およびパターン配置の基準格子寸法に適合し、むだの少ない実装が可能なるよう考慮している。

3. 圧電音さの特性

3.1 減衰特性

コ字形状の単素子の圧電音さは、たわみ振動を行なう2本のほぼ片持梁に近い様な振動音片とその間を結合する間隙(かんげき)片とから構成されているが、間隙片のスティフネスがきわめて大きいので通常これを無視しているので、図5(a)に示すように直列腕に直列共振回路を持ち、入出力側にそれぞれ制動容量を有する3腕の回路で示される。ここで、 R_M , M_M , C_M はほとんど振動片の機械的等価抵抗、等価インダクタンス、等価容量で占められ、それらは力係数 A の等価変成器により入出力の電気端子と接続されている。また入出力に並列に接続されている容量 C_d は、電歪素子の誘電率で定まり音さの帯域幅やインピーダンスを規制している。

また複合形音さは、単素子形音さ2本を用い、一方の音さの極性

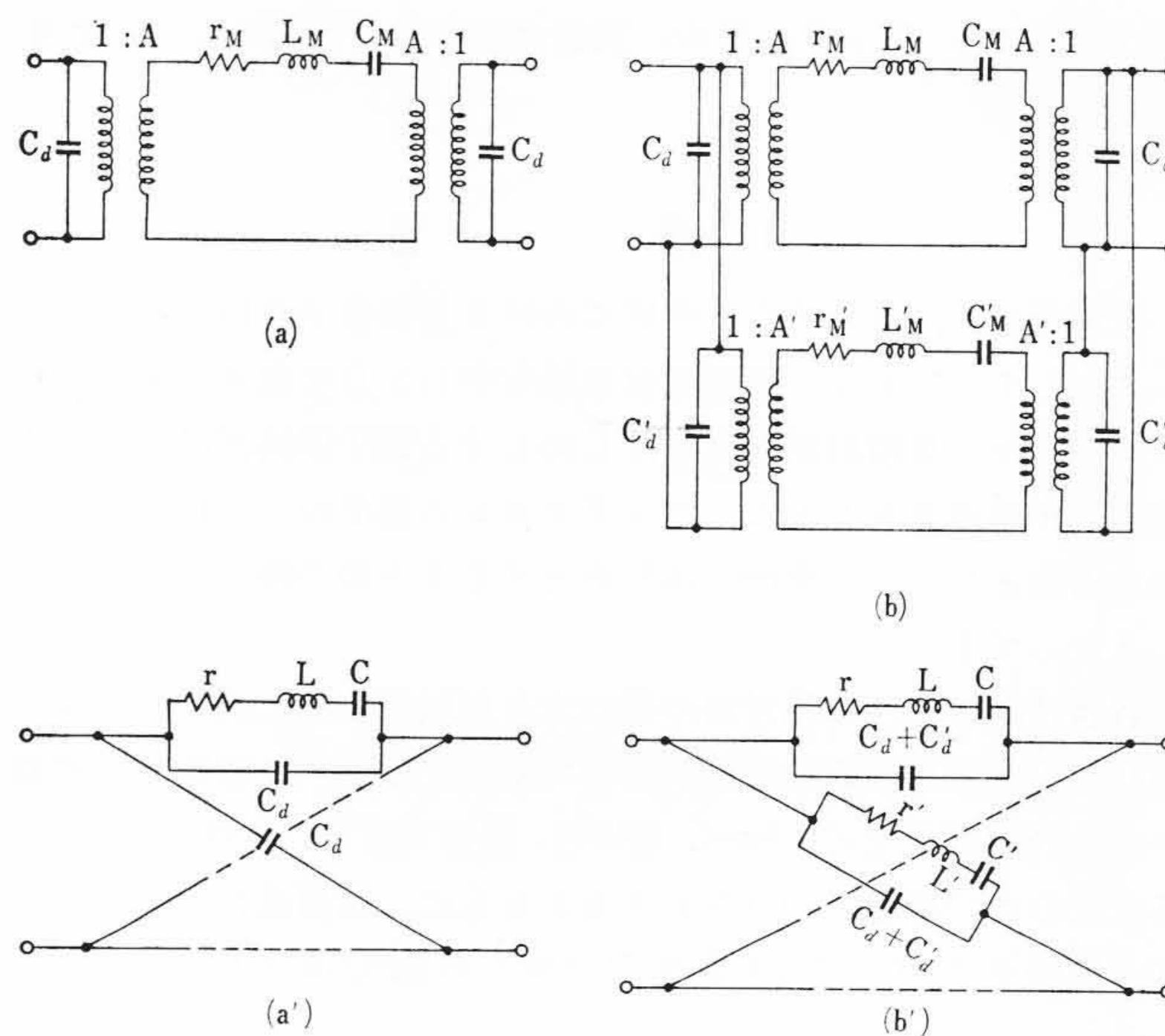


図5 音さの等価回路

を反転して接続する差動方式により構成されている。その等価回路を示したのが図5(b)である。単素子形、複合形音さとも、周知のようにその等価回路はそれぞれ図5(a'), (b')に示すように対称形格子回路に変換して表わすことができるので、それらの抵抗分をひとまず無視すると、それらの電気的等価定数値は、

単素子形音さの場合、

$$L = \frac{2\pi f_2}{f_2^2 - f_1^2} \cdot Z_0 \quad (\text{H}) \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$C = \frac{f_2^2 - f_1^2}{f_1^2} \cdot \frac{1}{2\pi f_2 Z_0} \quad (\text{F}) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$C_d = \frac{1}{2\pi f_2 Z_0} \quad (\text{F}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

複合形音さの場合、

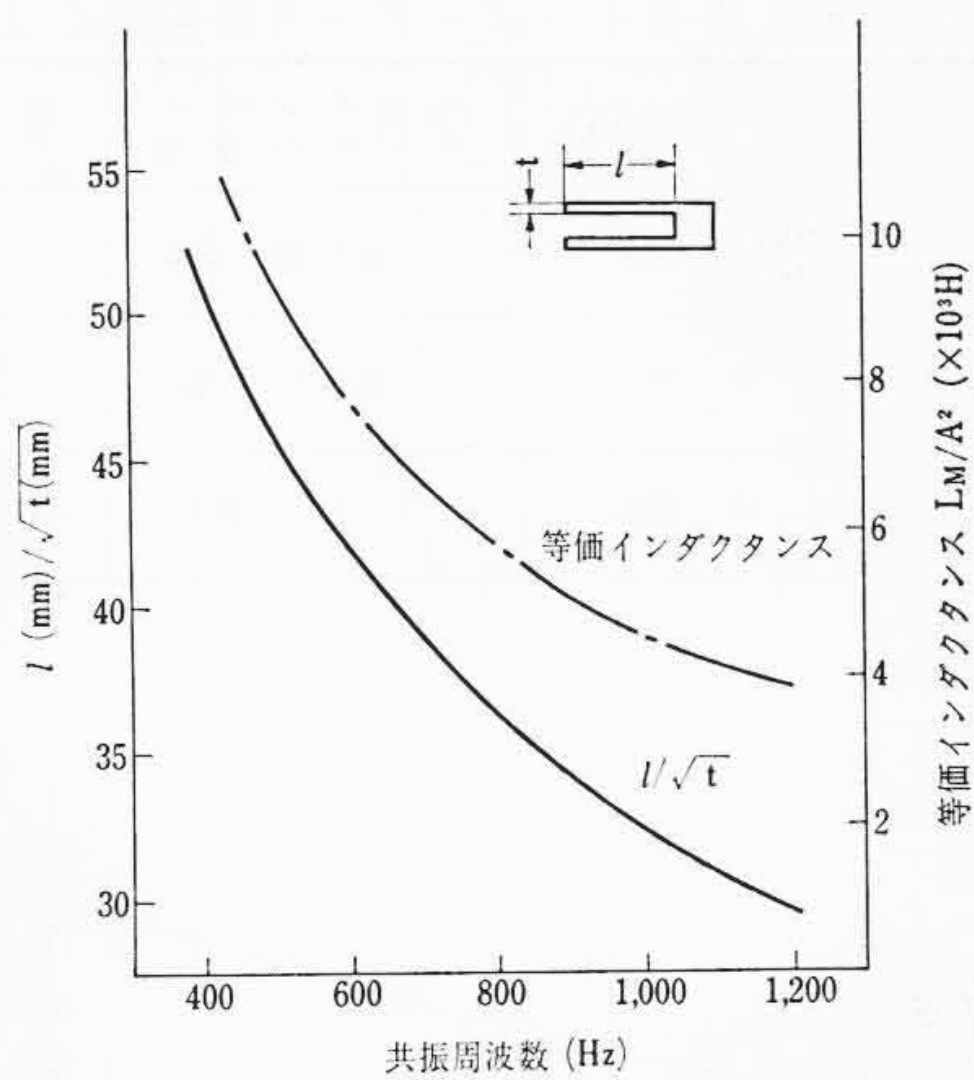


図6 小形音さの等価定数

$$L = \frac{1}{2\pi} f_3 Z_0 \cdot \frac{1 + \frac{f_3}{f_1}}{f_3^2 - f_1^2} \quad (\text{H}) \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$C = \frac{1}{2\pi f_3 Z_0} \cdot \frac{f_3^2 - f_1^2}{f_1^2 \left(1 + \frac{f_3}{f_1}\right)} \quad (\text{F}) \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$C_d + C_d' = \frac{1}{2\pi f_3 Z_0} \quad (\text{F}) \quad \dots\dots\dots (6)$$

$$L' = \frac{f_1}{f_3} \cdot L \quad (\text{H}) \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$C' = \frac{1}{4\pi^2 f_1^2} \cdot C \quad (\text{F}) \quad \dots\dots\dots (8)$$

で表わされる。

ただし、単素子形で f_1, f_2 は、それぞれ上下のしゃ断周波数で、音さの出(入)力端子短絡時の共振および反共振周波数である。複合形での f_1, f_3 は、やはり上下のしゃ断周波数であり、複合音さの出(入)力端子短絡時の下側共振周波数および上側反共振周波数にほぼ等しい。また Z_0 は基準化インピーダンスである。

また減衰域での減衰量 α は、

$$\alpha = \alpha_L + \alpha_{r1} + \alpha_{r2} + \alpha_R \quad (\text{dB}) \quad \dots\dots\dots (9)$$

ただし、

$$\alpha_{r1} = 10 \log_{10} \frac{|z + \nu_1|^2}{4\nu_1 z}, \quad \alpha_{r2} = 10 \log_{10} \frac{|z + \nu_2|^2}{4\nu_2 z}$$

$$\alpha_R = 10 \log \frac{4R_1}{R_2}, \quad \nu_1 = \frac{R_1}{Z_0}, \quad \nu_2 = \frac{R_2}{Z_0}$$

(単素子形)

(複合形)

$$\alpha_L = 20 \log \left| \frac{1+P}{1-P} \right|, \quad \alpha_L = 20 \log \left| \frac{1+P}{1-P} \right| + 20 \log \left| \frac{1 + \frac{P}{1+a}}{1 - \frac{P}{1+a}} \right|$$

$$P = \sqrt{\frac{f^2 - f_2^2}{f^2 - f_1^2}}, \quad P = \sqrt{\frac{f^2 - f_3^2}{f^2 - f_1^2}}, \quad a = \frac{f_3}{f_1}$$

$$z = \sqrt{\frac{\frac{f^2}{f_1 f_2} - \frac{f_1}{f_2}}{\left(\frac{f}{f_2}\right)^2 \left(\frac{f_2}{f_1} - \frac{f^2}{f_1 f_2}\right)}}, \quad z = \sqrt{\frac{\frac{f_3}{f_1} - \frac{f_1 f_2}{f^2}}{\frac{f_3}{f_1} - \frac{f^2}{f_1 f_3}}}$$

$$Z_0 = \frac{1}{2\pi C_d f_2}, \quad Z_0 = \frac{1}{2\pi (C_d + C_d') f_3}$$

にて評価することができる。

音さの振動片の共振周波数は、近似的に片端固定のたわみ振動の共振周波数に等しいので、材料により(長さ/√厚み)²に逆比例して定まる。

また音さの帯域幅は等価インダクタンスに逆比例し、音さの寸法や電歪素子の寸法、はり付け位置などで異なる。図6は小形単素子

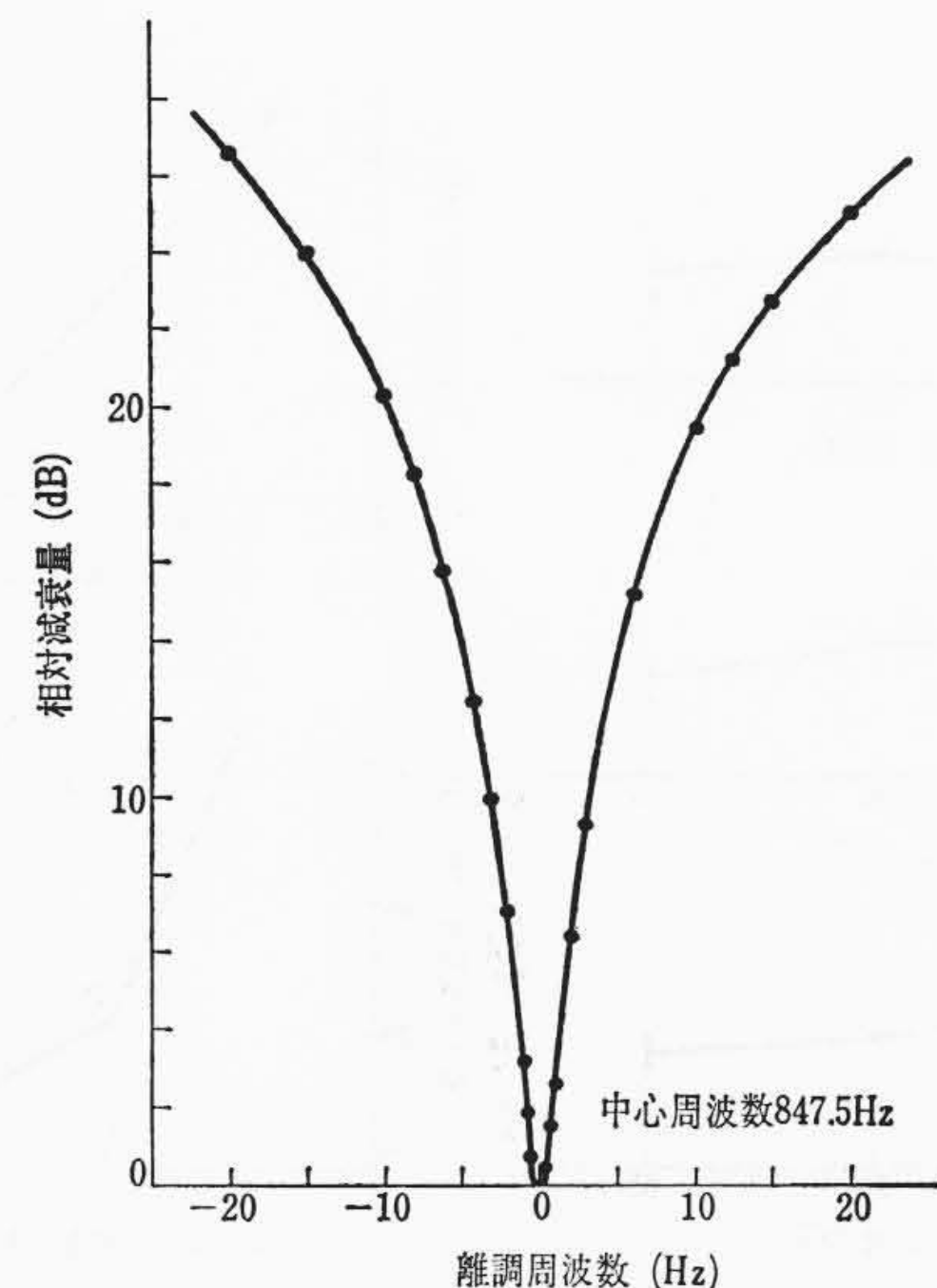


図7 単素子形音さの減衰特性

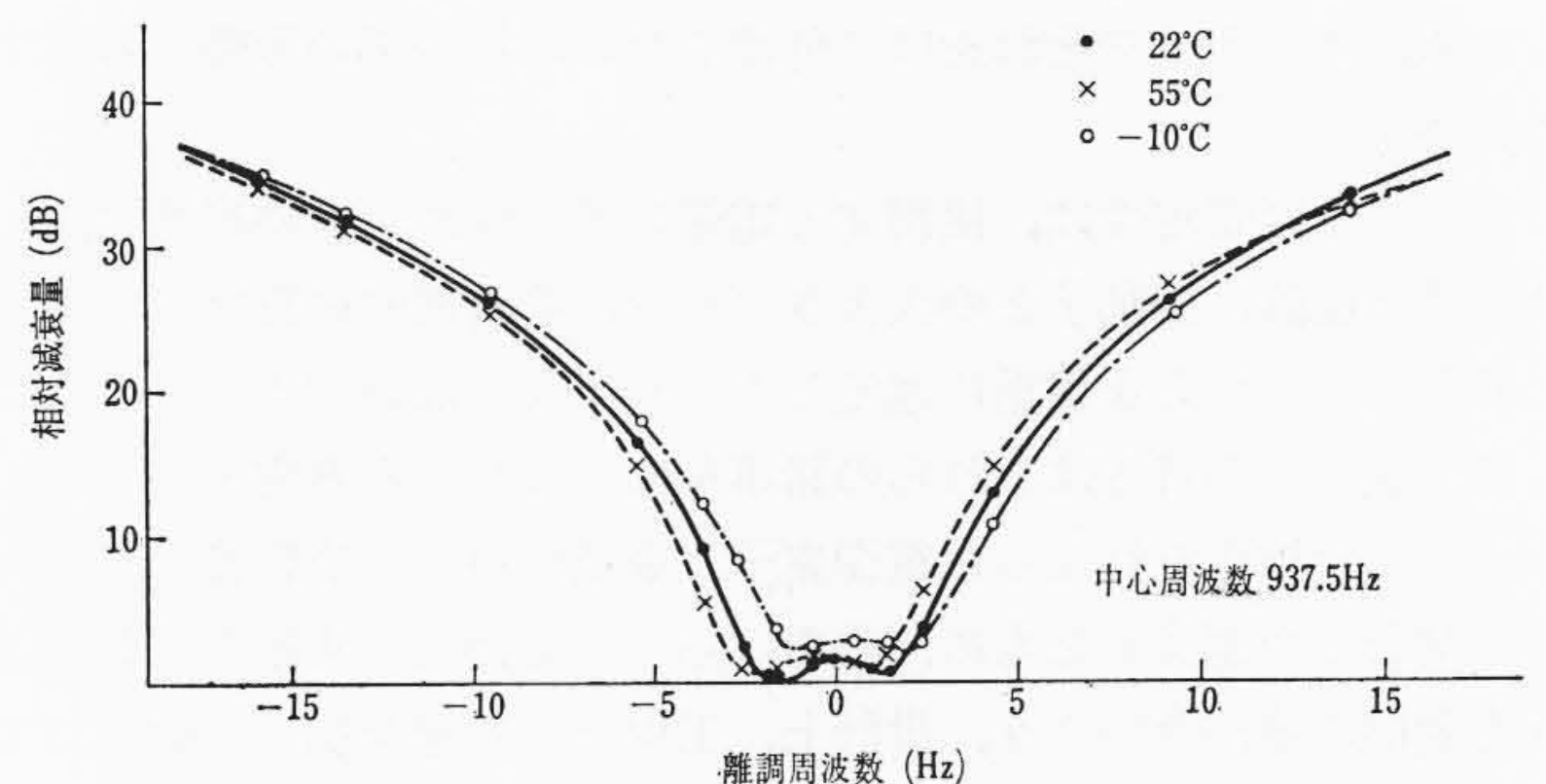


図8 複合形音さの減衰特性

音さの等価インダクタンスおよび共振周波数曲線を示したものである。

音さのそう入損失(定損失) α_0 は、単素子形および複合形それぞれ(10), (11)式で求められる。

$$\alpha_0 = 20 \log_{10} \left(\frac{R_1 + R_2 + 2r}{R_2} \right) \times \sqrt{\left(1 - \frac{8\pi^2 f_0^2 C_d^2 r R_1 R_2}{R_1 + R_2 + 2R} \right)^2 + 16\pi^2 f_0^2 C_d^2 \left(\frac{r R_1 + r R_2 + R_1 R_2}{R_1 + R_2 + 2r} \right)^2}$$

$$\alpha_0 = 20 \log_{10} \left(\frac{R_1 + R_2 + \frac{2r'}{1 + 4\pi^2 f_0^2 r'^2 (C_d + C_d')^2}}{R_2} \right) \dots\dots\dots (10)$$

$$\times \sqrt{1 + \frac{16\pi^2 f_0^2 r'^4 (C_d + C_d')^2}{\{(R_1 + R_2)(1 + 4\pi^2 r'^2 (C_d + C_d')^2) + 2r'\}^2}} \dots\dots\dots (11)$$

f_0 は音さの中心周波数である。

音さの減衰特性の実測例は、図7(単素子形)および図8(複合形)に示すとおりである。単素子音さは、隣接周波数で15 dB以上の減衰量が得られ発振素子として適している。また、複合音さは受信用に適した帯域幅や隣接周波数減衰量を確保できるよう定められている。なおこれらの特性は図15に示す標準測定回路にて測定したものである。

3.2 温度特性

音さは本来、安定度のすぐれた恒弾性材料の機械共振を利用してはいるが、それを電気信号に変換するために電歪素子を使用してい

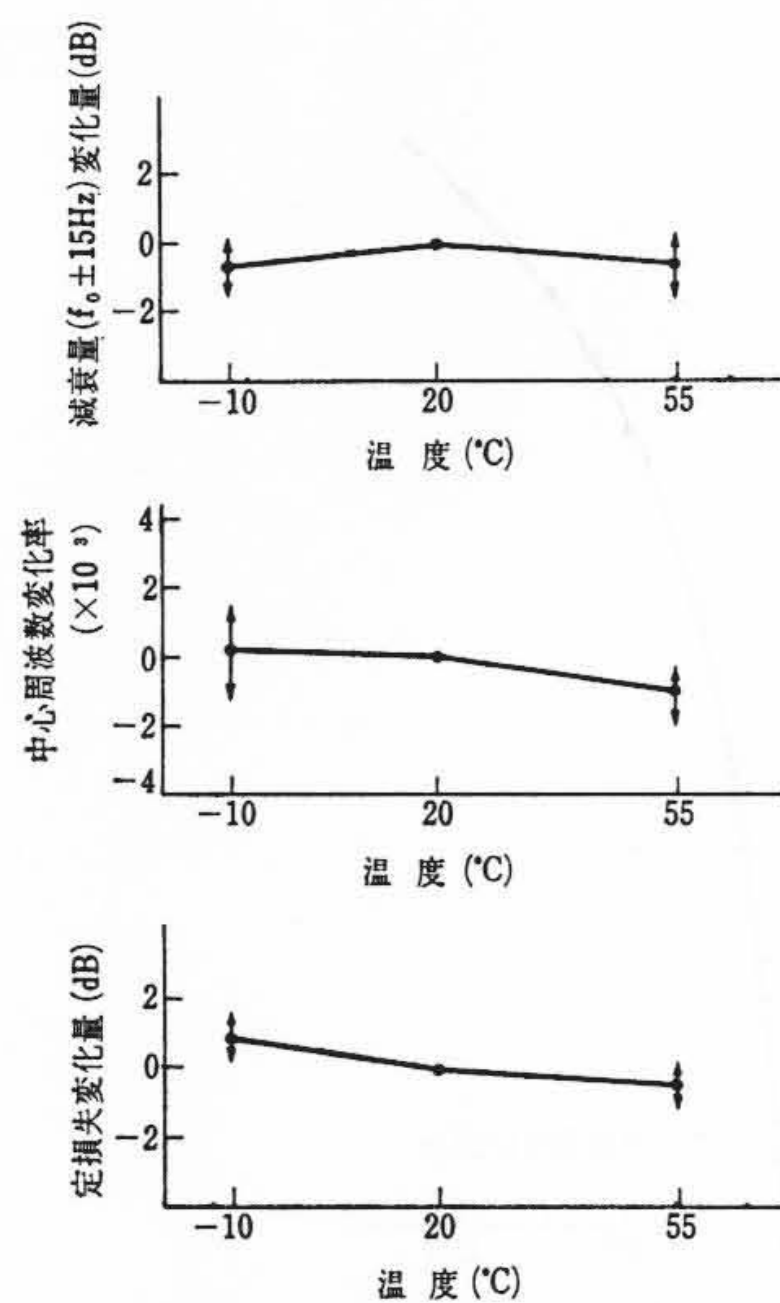


図9 単素子形音さの温度特性

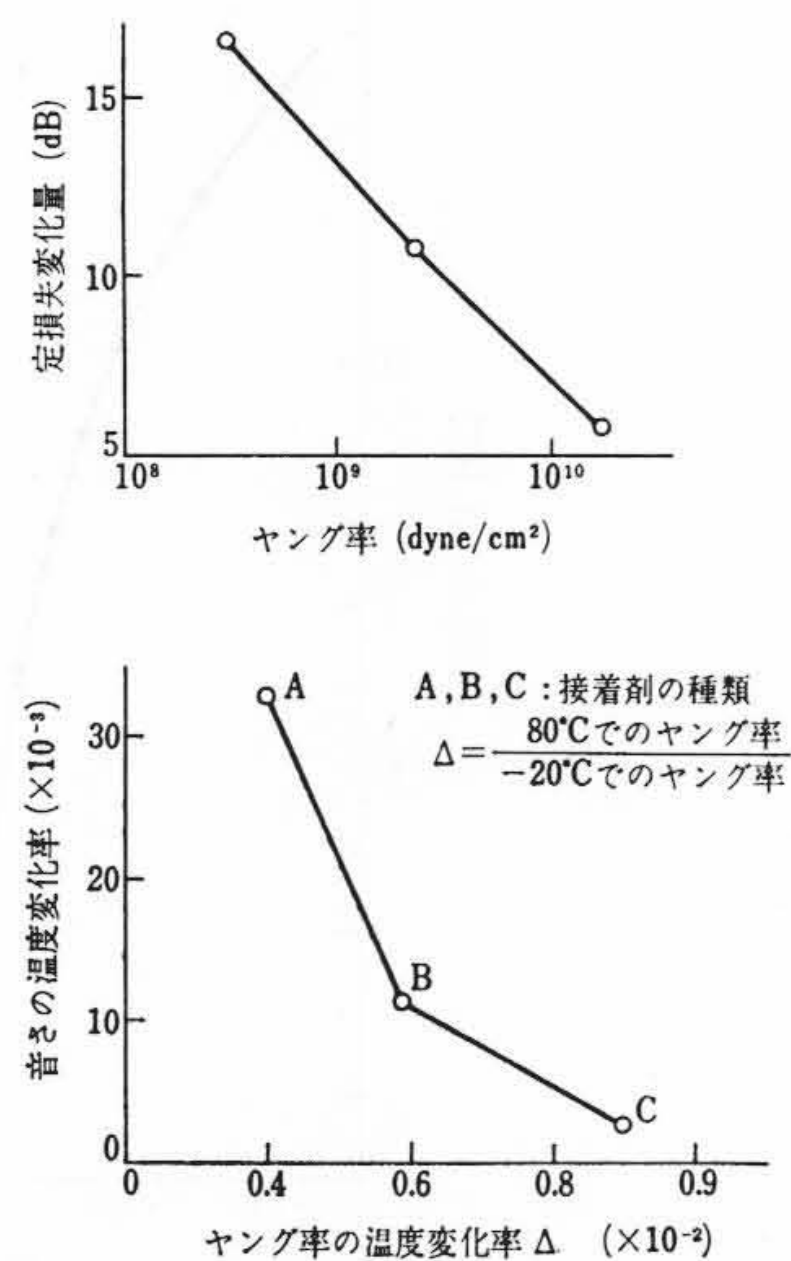


図10 接着剤の温度特性

るため、電歪素子やそれをはり付けるための接着剤の影響を考慮する必要がある。

音さの温度安定性は、使用する電歪素子の性能、その形状寸法、はり付け位置、振動子との大きさの割合、接着剤の材質などによって異なり、これらを慎重に選定しなければならない⁽³⁾⁽⁴⁾。

日立製作所の音さはこれらの諸事項にじゅうぶん考慮を払い、じゅうぶんな枯化を行なった電歪素子、金属材料および影響の少ない接着剤などを選ぶとともに、そのばらつきを押え、共振周波数により変動幅に差がないよう、設計上、工程上の考慮を払って製作している。

図10は、接着剤の温度変化率に対する音さの共振周波数温度特性および接着剤弾性率に対する定損失特性を示したものである。

図9は、単素子音さの共振周波数、減衰量、定損失の温度特性を、図8は複合音さの減衰特性の温度特性例を示している。

3.3 経時変化

圧電音さの経時安定度は水晶振動子に次いですぐれてはいるが、金属材料の時効効果の進行や電歪素子ならびに接着剤の弾性定数などの経時変化の影響を受け、対数時間スケールに対し中心周波数は上昇方向にほぼ直線的に、定損失は下降方向にほぼ直線的に変化する。一般に、音さを小形にするほど経時特性が増加気味になることは避けられないが、日立製作所の音さは、金属材や電歪素子に対するじゅうぶんなエージング、接着剤の枯化、振動子表面の材質変化の防止、調整ひずみの影響の除去など、製造上できうる限りの方法を用い、経時特性の安定度向上に意を用いている。

単素子形小形音さの中心周波数の変化率 $\Delta f_0/f_0$ および定損失の変化、 ΔA_0 の概略値は、

$$\Delta f_0/f_0 = 0.4 \times 10^{-3} / \text{decade}$$

$$\Delta A_0 = 0.05 \text{ dB/decade}$$

である。

3.4 使用条件による特性変化

音さの減衰特性や定損失は使用条件や測定回路が変われば変化する。また帯域幅や共振周波数などもわずかながら影響を受ける。

また音さに印加される入力レベルの変動に対しても、電歪素子の諸定数が影響を受けるために音さ特性への多少の影響は避けられない。音さの製作に際し、これらの諸変動が少なくなるよう使用材料の選定や設計上での考慮を払っている。たとえば、印加レベル、入力インピーダンスなどが $\pm 10\%$ 変動した場合でも、表1に示すように音さの特性への影響は僅少(きんしょう)である。

表1 レベル・入出力インピーダンスの変動による影響

	入力レベルの変動	入力インピーダンスの変動	出力インピーダンスの変動
定損失	+0.05 -0.1 dB	± 0.05 dB	± 1 dB
帯域幅	0 Hz	± 0.1 Hz	+0 -0.05 Hz
中心周波数	0 Hz	0 Hz	+0.1 -0.05 Hz

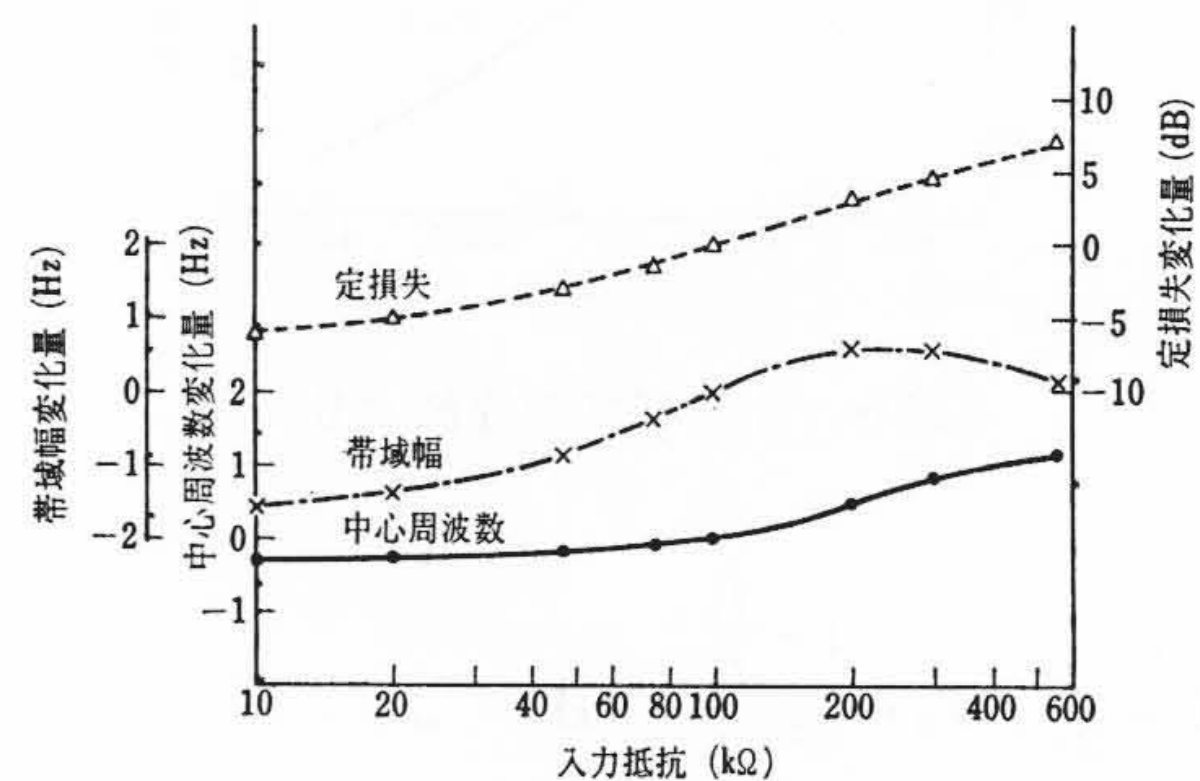


図11 入力インピーダンスの変化による特性の変化

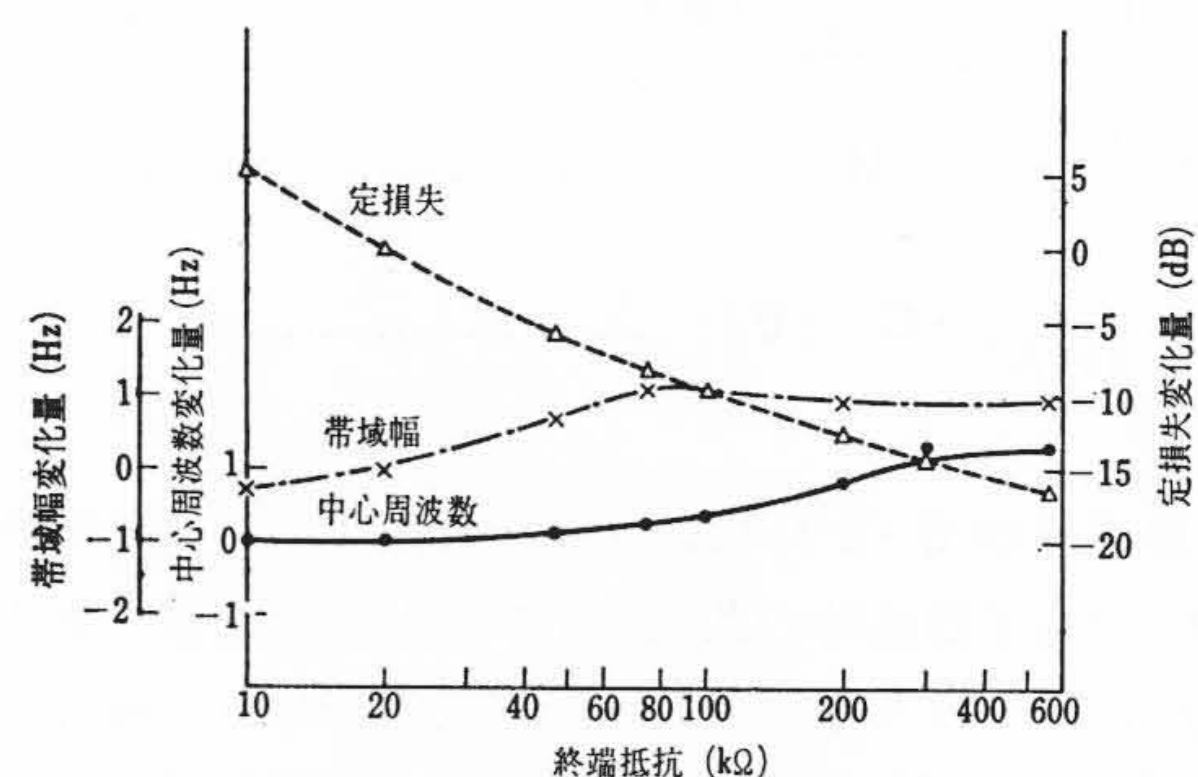


図12 終端インピーダンスの変化による特性の変化

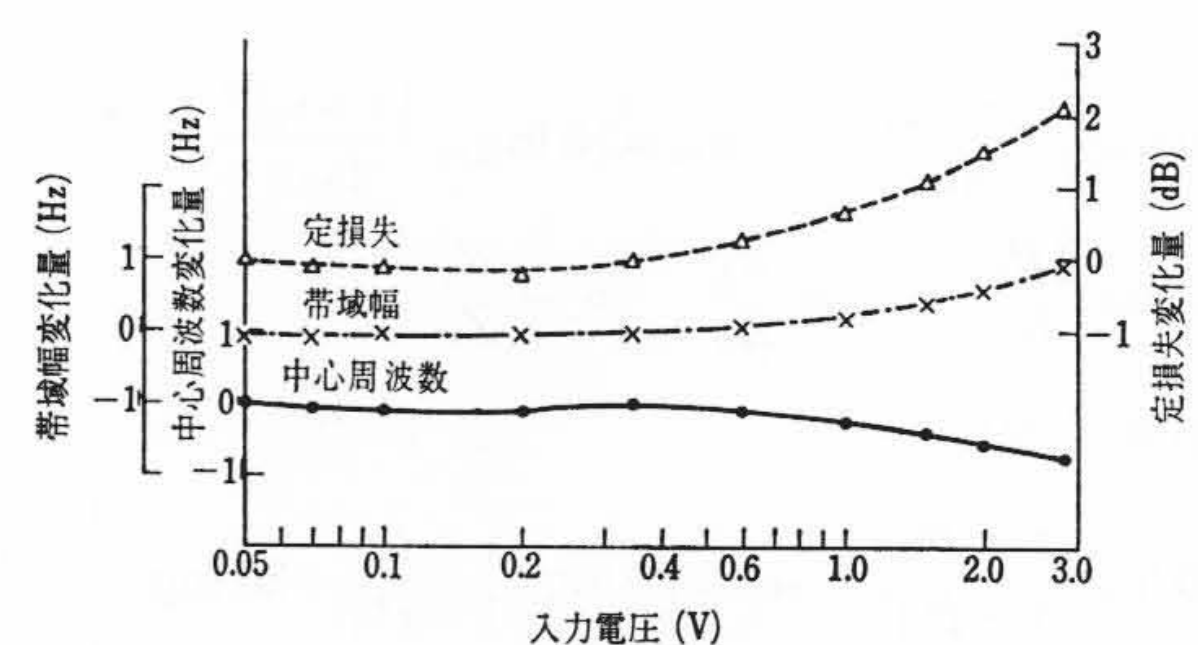


図13 印加レベルの変化による特性の変化

図11および図12は、単素子音さの入力および出力インピーダンスを変動させた場合の定損失、帯域幅、中心周波数の変動量を示したものである。

図13は、単素子音さの印加レベルの変動に対する定損失、帯域幅、中心周波数の変動量を示している。

3.5 その他の特性

音さにステップ入力やパルス入力を印加した場合の音さ出力の立上り時間は、機器設計上の主要なパラメータであるが、それはほぼ音さの帯域幅に逆比例する。単素子音さの概略の立上り時間 τ の評価式は、

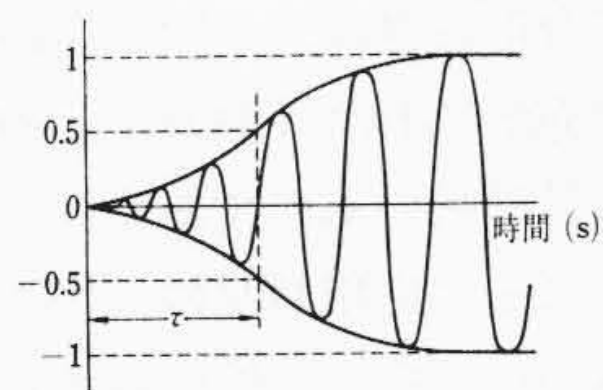


図 14 立上り時間の定義

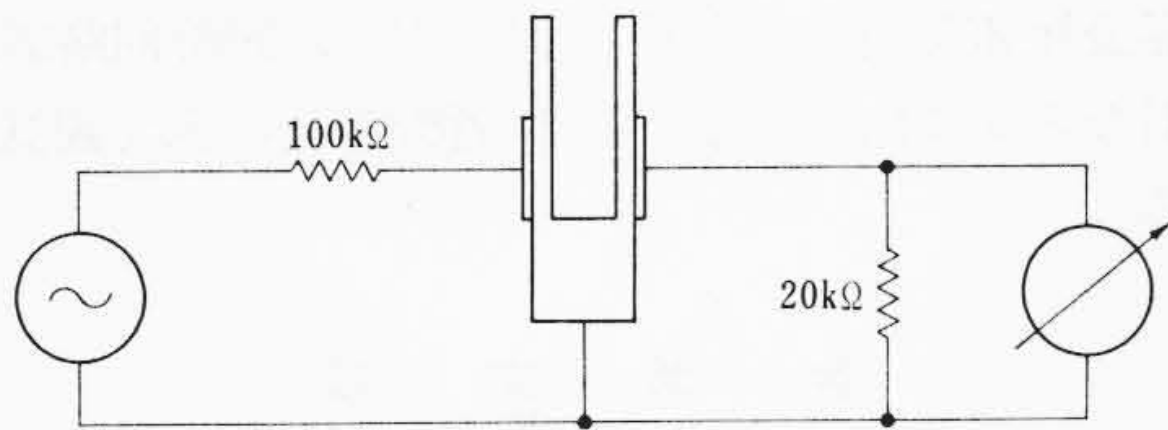


図 15 音さの標準測定回路

$$\tau \approx \frac{0.441 Q}{f_0} = \frac{K}{f_2 - f_1} \quad (\text{s}) \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$\text{ただし, } Q = \frac{\omega_0 L}{R_1 + R_2 + 2r}, \quad K = \frac{8.70}{\nu_1 + \nu_2 + 2r/Z_0}$$

また立上り時間の定義は、図 14 に示すとおり出力応答レベルの 1/2 に達するまでの時間である。

日立製作所の音さでの実測値は、ほぼ下記の値である。

単素子形では、 $\tau = 80 \text{ ms}$

複合形では、 $\tau = 30 \text{ ms}$

音さやほかの機械振動部品は、一定形状の振動子に対し各種の振動姿態で振動を行なわせることができるため、利用しようとする振動姿態以外はスプリアス共振として現われるので、それらをさしつかえない程度に遠方へ離すようにするか、抑圧するように設計しなければならない。

スプリアス共振は、主共振の高次振動姿態に相当するもの、ほかの振動姿態によるもの、保持などの影響で現われる姿態不明の微細なものなどに分かれるが、15 kHz 以下程度の周波数範囲に限れば、高次振動によるスプリアスが若干ではあるが現われる。

日立製作所の単素子音さでのスプリアス共振の例では、

847.5 Hz (主共振)

5.02 kHz

9.83 kHz

13.74 kHz

などが主共振に対し約 -20 ～ -40 dB 程度にきわめて狭い帯域幅で現われる。これらはいずれも減衰の谷が高いので使用上ほとんど支障を生じないものと考えられるが、音さに接続される回路の高周波特性などによりさらに好ましい方向に押えることができる。

また、スプリアス振動の抑圧の簡易な方法として、音さの入力端子に直列に 100 kΩ 程度の高抵抗をそう入し、音さの制動容量との組合せで RC 低域ろ波回路を構成して抑圧することも有効である⁽⁷⁾。

図 15 に示すように、本音さの標準使用方法としてこの方法を用いている。

4. 音さの標準仕様

以上に述べた各種の特性を持つ本音さの標準仕様を示したのが、表 2 である。427.5 Hz から 1,237.5 Hz までの標準周波数配列は表 3 に示すとおりである。単素子構成で発振素子用としては、FQ 400 形、複合構成で受信素子用としては、FQ 500 形が適している。

標準仕様は、測定回路としては図 15 に示す条件で、また印加レベ

表 2 圧電音さの標準仕様

仕 様	FQ-400	FQ-500
標 準 周 波 数	427.5～1,237.5 Hz, 15 Hz 間隔 55 波	
中 心 周 波 数 偏 差	±1.5 Hz 以 内	±1 Hz 以 内
定 損 失	25 dB 以 下*	25 dB 以 下*
±15 Hz 離 調 減 衰 量	15 dB 以 上	21 dB 以 上
6 dB 低 下 帯 域 幅	2.5 Hz 以 上	4.5 Hz 以 上
入 力 抵 抗	100 kΩ	
出 力 抵 抗	20 kΩ	
使 用 温 度 範 囲	-10～55℃	
耐 振 性	10～55 rpm 全振幅 1 mm 3 方向	
外 形 寸 法	40×8.5×7.2 (mm)高	40×8.5×13.5 (mm)高
実 装 形 式	プ リ ン ト 板 実 装	

* 入力抵抗 100 kΩ の損失を含む。

表 3 圧電音さの標準周波数配列

項 番	定格周波数 (Hz)	項 番	定格周波数 (Hz)
1	427.5	31	877.5
2	442.5	32	892.5
3	457.5	33	907.5
4	472.5	34	922.5
5	487.5	35	937.5
6	502.5	36	952.5
7	517.5	37	967.5
8	532.5	38	982.5
9	547.5	39	997.5
10	562.5	40	1,012.5
11	577.5	41	1,027.5
12	592.5	42	1,042.5
13	607.5	43	1,057.5
14	622.5	44	1,072.5
15	637.5	45	1,087.5
16	652.5	46	1,102.5
17	667.5	47	1,117.5
18	682.5	48	1,132.5
19	697.5	49	1,147.5
20	712.5	50	1,162.5
21	727.5	51	1,177.5
22	742.5	52	1,192.5
23	757.5	53	1,207.5
24	772.5	54	1,222.5
25	787.5	55	1,237.5
26	802.5		
27	817.5		
28	832.5		
29	847.5		
30	862.5		

ルは 350 mV を基準とした場合である。

標準条件からシフトした場合の音さの性能については、レベル入出力条件に対しては、前掲の図 13 および図 11、図 12 より推定されたとおりであり、±15 Hz 離調減衰量も変化は僅少である。印加レベルは、非直線性が顕著とならない 3 V 以内程度で使用したほうが安定度はよい。また耐振性についてもじゅうぶん余裕を持って製作してはいるが、振動周波数が音さの中心周波数近傍になるような高周波振動が加わる状態での使用は避けるほうが好ましい。中心周波数の範囲については、表 3 の標準周波数以外にも製作は可能であるが、この範囲より高い領域や低い領域では、仕様に関し若干の補正を要する場合もある。

なお、日立製作所では上記の小形圧電音さのほかに、高選択性に重点をおいたものとして、FQ-1 形、FQ-300 形音さの製作も行なっている⁽⁹⁾。

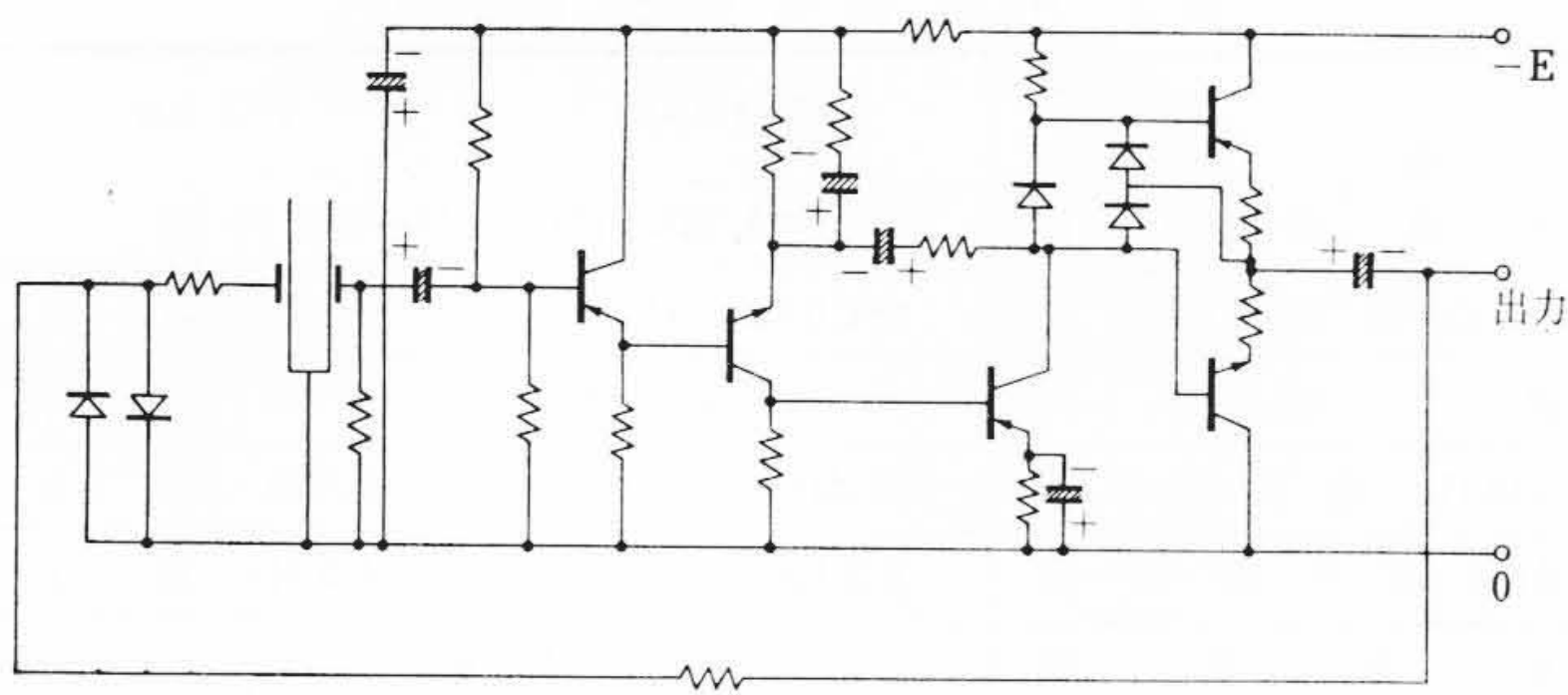


図 16 音さ発振器回路例

5. 音さ発振回路

圧電音さの利点の一つは、小形で安定な発振器を容易に構成することができる点にある。発振器の構成は、音さと増幅器の組合せに正帰還をかける方法が多く用いられているが、その場合、帰還回路にダイオード対によるリミッタをそう入して安定化を図るとともに、音さの入力側に高抵抗をそう入して寄生発振に対する安定度を増したほうが好ましい。また、音さ単独の中心周波数と発振器としての発振周波数とは発振回路のループ特性や音さの入出力条件の違いなどによりわずかではあるが差が生ずる場合がある。

図 16 は音さ発振回路例を示したものである。この回路は音さとして入出力の位相差の少ない同相形を用いた場合であるが、逆相形を用い回路の段数を変えて構成することもできる。また出力側に LC 共振回路を設け、出力のひずみ率特性をさらに向上させることもできる。

6. 結 言

以上、日立製作所の小形圧電音さの構造および諸性能の概要について述べた。発振素子としての用途に適した単素子形音さおよび受

信素子として適当な複合形音さは、いずれも安定性の確保に設計上、製作上じゅうぶんな配慮が払われており、その構造はいずれもプリント板実装に適した取付形状のものである。

小形圧電音さならびにその応用製品は、小形安定なインダクタンス部品として部品自体のいっそうの性能向上、小形化の進展とともに、従来にも増して各種の機器への利用の道が開かれていくものと思われる。

最後に、本圧電音さの製品化にあたり種々ご指導いただいた、日本電信電話公社電気通信研究所 半沢調査役、同所回路部品研究室 沢本調査員ならびに山形大学工学部 近野教授に深く謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- (1) 近野, 富川, 青木: 電気・機械振動子とその応用 (その 1) 音響学誌, Vol. 21, No. 1 (1965)
- (2) 近野, 中村: 電気・機械振動子とその応用 (その 2) 音響学誌, Vol. 21, No. 2 (1965)
- (3) 日下部, 近野, 富川: 電圧変換器を貼付した音片振動子の共振周波数について, 信学誌, Vol. 48, No. 11 (昭和 40 年 11 月)
- (4) 八嶽: 圧電磁気貼合せ横振動子を用いたメカニカル・フィルタの特性についての一考察, 信学誌, Vol. 48, No. 11 (昭和 40 年 11 月)
- (5) 近野, 富川: エレクトロメカニカルフィルタ (その 1 総論) 信学誌, Vol. 52, No. 3 (昭和 44 年 3 月)
- (6) 高橋: ろ波素子発振素子としての電歪音片共振子の解析, 信学会回路網研資 No. 79-3 (昭和 39 年 5 月)
- (7) 川勝ほか: 特公 昭 39-28343 および特公 昭 40-4494
- (8) 太田ほか: 特願 昭 45-11954
- (9) 徳永ほか: 圧電音さ振動子 日立評論 Vol. 46, No. 7 (昭和 39 年 7 月)
- (10) 添野ほか: 各種鉄鋼材料のヤング率 日立評論 Vol. 46, No. 12 (昭和 39 年 12 月)
- (11) 神力, 荒巻: (Pb・Li) [(Zr・Ti)・B] O₃ 系固溶体 (B=Nb, Ta) 日本化学会 20 年回予稿集 1L111 (1967)

Vol. 32

日立造船技報

No. 1

目 次

■ 論 文

- ・ミナス原油の海底管による送油時の熱的諸問題(第 1 報)
— 停滞時における管内自然対流熱伝達 —
- ・一軸高速コンテナ船の縦波中の耐航性能に関する研究

- ・大形ディーゼル機関の燃料噴射弁と燃焼室壁温度
- ・有限要素法による連続体の熱応力解析法について
- ・噴流層における圧力降下と静圧分布
- ・大孔径多孔板トレイの圧力損失

……………本誌に関する照会は下記に願います……………

日立造船株式会社技術研究所
大阪市此花区桜島北之町 60 郵便番号 554