

能動放射器付位相反転型スピーカシステムについて

大 島 静 夫

On the Phase Inverter Speaker System with an Active Radiator

Shizuo Ohshima

(昭和52年10月31日受理)

1. ま え が き

今日、スピーカシステムは種々考案され、またその出力音圧周波数特性も、理論的に解明され最適な設計がなされている。

しかし、完成されたスピーカシステムにおいては、低音域の特性調整は難かしく、受動放射器に重量物を固定するとか、バスレフのポートの抵抗分を吸音材で制御する等の方式で調整する程度である。

室や壁の影響でスピーカシステムの低音域特性が変化することを考慮すれば、簡便な方法で特性を制御できることが望ましい。この一案として受動放射器付位相反転型スピーカシステムの受動放射器をスピーカと置き換えそのスピーカ端子にRを接続する方法があるが充分な検討はなされていない。これをC、Lまで拡張し、検討した。その結果R、C、L共に音圧の制御が可能であり、インピーダンス特性については、計算値とよく一致することが確かめられた。

2. 本システムの解析

(1) 等価回路

本システムの電気一機械一音響系の等価回路を図1に示す。図1の作成にあたっては、SP1、SP2共にスピーカであり、SP1、SP2が同一スピーカの場合その駆動部を除き完全対称になることに留意した。諸定数は以下に示す。

は以下に示す。

EG：増巾器出力電圧

RG：増巾器出力抵抗

RE, RE'：SP1, 2のボイスコイル抵抗

LE, LE'：SP1, 2のボイスコイルインダクタンス

A1, A2：SP1, 2の力係数

RMS, SMS, MMD：SP1の機械抵抗, スチフネス, 質量

RMS', SMS', MMD'：SP2の機械抵抗, スチフネス, 質量

RMR, MMR：SP1の放射インピーダンス

RMR', MMR'：SP2の放射インピーダンス

ZL：特性制御用負荷

SD, SP：SP1, 2の有効面積

RMB, SMB：バッフルの機械抵抗, スチフネス

本システムを機械系に統一した等価回路を図2に示す。ただし以下においては、SP1, 2共に無指向性である低周波領域に限定するので微小なL分は無視する。新しい諸定数を以下に示す。

$$FG = EG \cdot A' / (RG + RE)$$

$$m_0 = MMD + MMR$$

$$r_0 = A_1^2 / (RG + RE) + RMS + RMR$$

$$s_0 = SMS$$

$$m_p' = (SD/SP)^2 (MMD' + MMR')$$

$$r_p' = (SD/SP)^2 (RMS' + RMR')$$

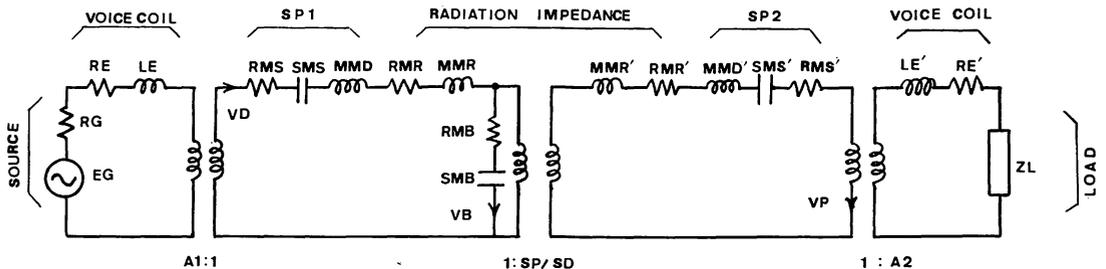


図1 等 価 回 路

$$sp' = (SD/SP)^2 SMS'$$

$$ZL' = (SD/SP)^2 A^2 / (RL' + j\omega LL' + SL'/j\omega + RE')$$

- rb = RMB
- sb = SMB
- $\lambda = SP/SD$

(2) インピーダンス特性

電気インピーダンスは、電気-機械系において、下式で与えられる。

$$ze = \frac{A^2}{zm} + Z0 + Z1 \tag{1}$$

ただし

- ze : 電気系インピーダンス (電気系 Ω)
- zm : 機械系インピーダンス (機械系 Ω)
- Z0 : 電気系内部インピーダンス (電気系 Ω)
- Z1 : 電気系負荷インピーダンス (電気系 Ω)
- A : スピーカの力係数 (Wb/m)

図2における機械インピーダンスを求めると

$$zm = ro + j\omega mo \frac{so}{j\omega} +$$

(4)式を(2)式に代入することにより

$$zm = ro + j\omega mo + \frac{so}{j\omega} + \frac{1}{rb + \frac{sb}{j\omega} + \frac{1}{rp' + rp'' + j\omega(mp' + mp'')} + \frac{(sp' + sp'')}{j\omega}} \tag{5}$$

が得られる。(5)式を(1)式に代入することにより電気インピーダンスが求められる。簡略化のため(6)式を定め電気インピーダンスの一般式を求める。

$$rp = rp' + rp'' \quad sp = sp' + sp''$$

$$mp = mp' + mp'' \tag{6}$$

$$ze = RG + RE + A1^2 \cdot$$

$$\frac{P^3 mp + P^2 (rb + rp) + P (sp + sb)}{\Delta}$$

$$\Delta = P^4 mo \cdot mp + P^3 \{ ro \cdot mp + mo (rb + rp) + rb \cdot mp \} + P^2 \{ ro (rb + rp) + mo (sp + sb) + so \cdot mp + rb \cdot rp + sb \cdot mp \} + P \{ ro (sp + sb) + so (rb + rp) + rb \cdot sp + sb \cdot rp \} + so (sb + sp) + sb \cdot sp \tag{7}$$

3. 実験結果と検討

測定はSP 1, 2共にコーラル軸のFLAT-8を用いた。スピーカ定数は温度、湿度、大入力印加等で変化する。このことを考慮し、測定日の異なる場合は、各定数の修正が必要である。ここで用いた定数は、スピーカ単体で各定数測定後、foを固定し、mo, so, roの測

$$* \frac{1}{\frac{1}{rb + \frac{sb}{j\omega}} + \frac{1}{rp' + j\omega mp' + \frac{sp'}{j\omega} + ZL'}} \tag{2}$$

ここでZL'を変形すると

$$ZL' = (SD/SP)^2 A^2 / (RL' + RE' + j\omega LL' + SL'/j\omega) = rp'' + j\omega mp'' + sp''/j\omega \tag{3}$$

ただし

$$rp'' = (RL' + RE')/K$$

$$mp'' = SL'/\omega^2 K$$

$$sp'' = \omega^2 LL'/K$$

$$K = \{ (RL' + RE')^2 + (\omega LL' - SL'/\omega)^2 \} / (SD/SP)^2 \cdot A^2 \tag{4}$$

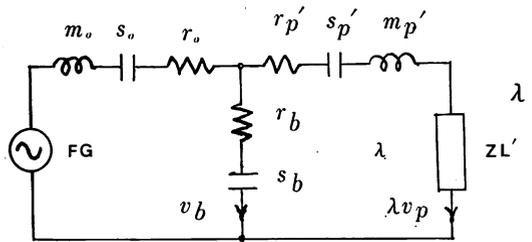


図2 機械系等価回路

定値を基準に前後させ、最も近似した値を用いている。

また箱の容積は78ℓである。各定数は以下に示す。

$$mo = 8.0 \times 10^{-3} (\text{Kg}) \quad mp' = 8.0 \times 10^{-3} (\text{Kg})$$

$$so = 666 (\text{N/m}) \quad sp' = 584 (\text{N/m})$$

$$ro = 0.295 (\text{N} \cdot \text{S/m}) \quad rp' = 0.376 (\text{N} \cdot \text{S/m})$$

$$sb = 555 (\text{N/m}) \quad RE = 8.0 (\Omega)$$

$$rb = 0.0 (\text{N} \cdot \text{S/m}) \quad RG = 0.0 (\Omega)$$

$$A1 = A2 = 5.5 (\text{Wb/m}) \tag{8}$$

測定例は図3に示す。ここで計算値は(7)式に上記定数を代入して求めたものである。負荷としては、各負荷の直並列等の場合も考えられるが、ここでは、R, C, L個々の場合について検討した。

各場合において(4)式に条件を代入し(5)式の能動放射器側の機械インピーダンス zmp を求めると

$$RL' = \infty \quad LL' = \infty \quad CL' = 0 \quad \text{において}$$

$$zmp = rp' + j\omega mp' + sp'/j\omega \tag{9}$$

$$RL' = 0, \quad LL' = 0, \quad CL' = \infty \quad \text{において}$$

$$zmp = A^2/RE' \tag{10}$$

$$RL' = RL', \quad LL' = LL', \quad CL' = CL' \quad \text{において}$$

$$zmp = rp' + rp1'' + j\omega mp + sp'/j\omega \tag{11}$$

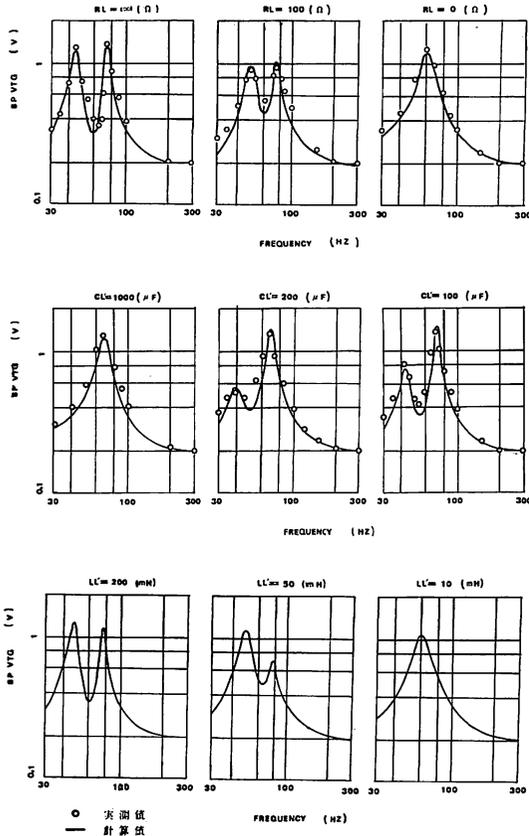


図3 インピーダンス特性

$$z_{mp} = r_{p'} + r_{p2''} + j\omega(m_{p'} + m_{p''}) + s_{p'}/j\omega \quad (2)$$

$$z_{mp} = r_{p'} + r_{p3''} + j\omega m_{p'} + (s_{p'} + s_{p''})/j\omega \quad (3)$$

ここで

$$m_{p''} = A^2 \cdot SL' / \{\omega^2 \{RE'^2 + (SL'/\omega)^2\}\}$$

$$s_{p''} = A^2 \cdot \omega^2 LL' / \{RE'^2 + (\omega LL')^2\}$$

$$r_{p1''} = A^2 / (RL' + RE')$$

$$r_{p2''} = A^2 \cdot RE' / \{RE'^2 + (SL'/\omega)^2\}$$

$$r_{p3''} = A^2 \cdot RE' / \{RE'^2 + (\omega LL')^2\} \quad (4)$$

である。今実測値と計算値を図3を参照にしながら検討する。RL' = ∞, LL' = ∞, CL' = 0 の場合(5)式は(9)式より完全な受動放射器付位相反転型スピーカシステムと定義づけられる。またRL' = 0, LL' = 0, CL' = ∞ の場合實際上「rp' << rp''」であり、「rp'' >> |jωmp' + sp'/jω|」である。よって(10)式においてzmpはA²/RE'となり、等価回路的には、(5)式より図2においてSbに「rp'」が並列になった擬似密閉型となる。RL' = RL', CL' = CL', LL' = LL' の場合には、インピーダンス特性における共振点を低い方からfL, fM, fHとすると(11)式からわかるようにRL'はfL, fHに無関係にrp'に対するrp''の増分だけQを押える。CL'においては(12)式よりmp''の

昭和53年2月

入力 1W 測定場所 本社屋上

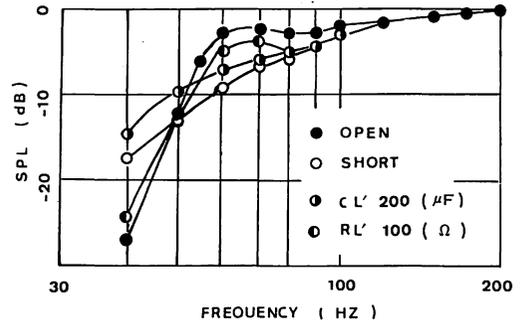


図4 音圧周波数特性

mp'に対する増分だけ共振周波数を低下させるとともにrp''の増分だけQを低下させる。これは図3からわかるようにfLにおいて顕著である。LL'においては(13)式よりSP''のSP'に対する増分だけ共振周波数を上昇させ、またrp''の増分だけそのQを低下させることがわかる。これは図3よりfHにおいて顕著である。また音圧については、測定だけに留めたが、図4のように、R, C, Lによる制御が可能であることがわかる。

4. あとがき

受動放射器付位相反転型の変形として能動放射器付位相反転型スピーカシステムが考えられ、インピーダンス特性において、RはfL, fHのQの制御、CはfLのQの制御、LはfHのQの制御に用いられることがわかった。音圧特性に関しては、測定だけに留めたが同様に低音域特性の制御が容易に行なえることがわかった。今後の課題としては音圧特性の解析、SP1, SP2が違う口径の場合の検討等が考えられる。

最後にいつも御指導戴いている佐藤武治教授ならびに本研究を終始協力してくれた昭和51年度卒研究生高谷一良君に感謝いたします。

参考文献

- 1) 野村他：位相反転型スピーカシステムの計算機による最適化手法について：信学電音研究会資料，EA—75—51 (75, 12)
- 2) 早坂，吉川：音響振動論：丸善 (74, 12)