

ОЗВУЧИТЕЛНО ТЯЛО СЪС СЪСТАВЕН ПАСИВЕН ИЗЛЪЧВАТЕЛ

Част I

THOMAS L. CLARKE

Лаборатория по акустика на океана, Маями, FL 33149. САЩ
публикувано в JAES June 1981

Високоговорителните системи със съставен пасивен излъчвател представлява естествено продължение и на боксовете с басрефлекс, и на системите с пасивна мембрана. Допълнителното излъчване, дължащо се на съставния пасивен излъчвател осигурява допълнителна степен на свобода на проектирането, която позволява дублирането на характеристиките на всяко озвучително тяло с басрефлекс или пасивна мембрана, както и реализирането на нови характеристики, подобряващи ефективността в областта на ниските честоти. Изискваният обем от високоговорителя и пасивния излъчвател са същите, както и при пасивната мембрана.

0 ВЪВЕДЕНИЕ

Акустичното оформление на говорител с пасивен излъчвател (или пасивна мембрана) е описано най-напред от Олсон през 1935 год. [1]. Строгийт анализ на честотната характеристика беше направен съвсем скоро от Small [2] и Nomura и Kitamura [3]. По-късно описаните варианти на акустично оформление на високоговорител с пасивна мембрана се появиха в Clarke [4] и Hossbach [5]. Вариантите, които могат да бъдат описани като съставен пасивен излъчвател, дават възможност за напасване на параметрите на системата, което дава по-добра ефективност от конвенционалните затворен обем, басрефлекс и система с пасивна мембрана, тоест, правилно настроената система със съставен пасивен излъчвател предлага подобрение в излъчването на ниските честоти, размерите на корпуса и ефективността.

Акустичното оформление с пасивна мембрана има много преимущества пред другите видове акустично оформление. То има по-ниска сръзваща честота отколкото сравнително ефективната система със затворен обем със същия размер. Системата с пасивна мембрана е по-малко уязвима от нискочестотен шум от системата с бас-рефлекси не излъчва шум от завихрянето на въздуха в басрефлексния проход. Тя обаче има пропадане в честотната характеристика, което повишава сръзващата честота и това пропадане прави трудно достижимо постигането на приемлива преходна характеристика. В системите със съставен пасивен излъчвател това пропадане има по-благоприятно разположение, понижавайки сръзващата честота и подобрявайки преходната характеристика.

Фиг. 1 (а) показва система със съставен пасивен излъчвател, както е описана от Clarke [4]. Обемът на корпуса е разделен на две части- V_1 и V_2 . Тилната част на високоговорителя излъчва в обема V_1 , и обема V_1 от своя страна е свързан с частта на пасивната мембрана, означена като S_{p1} . Високоговорителя, V_1 и частта S_{p1} от пасивната мембрана по този начин представляват система с пасивна мембрана. Частта S_{p2} на пасивния излъчвател споделя съвместното движение на целия пасивен излъчвател и отделя обема V_2 . Частта V_2 по този начин помага на акустичното излъчване на системата в ниските честоти, където действа пасивния излъчвател. Точната форма на пасивния излъчвател не е съществена. Удобен начин да се реализира съставен пасивен излъчвател представлява показаните на фиг.1(b) два конуса с различна площ, съединени с върховете си и монтирани в отворите на корпуса.

В част I на тази статия системата със съставен пасивен излъчвател е анализирана посредством методите, описани в [6]. Основните аналитични резултати създават полезна методика за проектиране на система със съставен пасивен излъчвател и показват нейната връзка със системите с пасивна мембрана и с фазоинвертор. Освен това, подробно е изследвано подробно поведението на системата със съставен пасивен излъчвател при малък и при голям сигнал.

Част 2 представлява обсъждане на тези резултати и представя примери за синтез както при даден високоговорител, така и при даден набор от осъществими параметри.

1. АНАЛИЗ

На фиг.2 е показана еквивалентната схема от импедансен тип на система със съставен пасивен излъчвател. Символите в тази схема, както и в тази на фиг.3 са следните:

e_g -изходно напрежение на празен ход на източника или усилвателя.

R_g - изходно звуково налягане на еквивалентен генератор

V -напрегнатост на магнитното поле във въздушната междина на високоговорителя

l -дължина на проводника на звуковата бобина, обхваната от магнитното поле във въздушната междина.

R_g - изходно съпротивление на източника или усилвателя.

R_E - правотоково съпротивление на звуковата бобина на високоговорителя.

R_{AS} -акустично съпротивление на загубите в окачването на високоговорителя.

C_{AS} -акустична гъвкавост на окачването на високоговорителя

M_{AS} -акустична маса на трептящата система на високоговорителя, включително и присъединената маса въздух.

C_{AB1} -акустична гъвкавост на въздуха в обема V_1

C_{APS} - акустична гъвкавост на окачването на диафрагмата на пасивния излъчвател

M_{AP} - акустична маса на мембраната на пасивния излъчвател, включително и присъединената маса въздух.

R_{AP} - акустично съпротивление на загубите от окачването на пасивния излъчвател.

C_{AB2} - акустична гъвкавост на въздуха в обема, използван за разделяне на допълнителната област от пасивния излъчвател V_2

U_D -обемна скорост на мембраната на високоговорителя.

U_{P1} -обемна скорост на частта S_{P1} на мембраната на пасивния излъчвател.

U_{P2} - обемна скорост на частта S_{P2} на мембраната на пасивния излъчвател.

U_{B1} -входяща обемна скорост за обема зад високоговорителя

U_{01} -пълна обемна скорост на изхода на обема зад високоговорителя

U_{L1} - обемна скорост от утечката на обема зад високоговорителя.

U_{B2} - входяща обемна скорост на обема на пасивния излъчвател

U_{02} -пълна обемна скорост на изхода на обема зад пасивния излъчвател.

U_{L2} -пълна обемна скорост от утечката на обема зад пасивния излъчвател

R_{AL1} -акустично съпротивление на загубите от утечка на обема зад високоговорителя.

R_{AB1} -акустично съпротивление на загубите от вътрешно звукопоглъщане на обема зад високоговорителя.

R_{AL2} -акустично съпротивление на загубите от утечка на обема зад.

R_{AB2} -акустично съпротивление на загубите от вътрешно звукопоглъщане на обема зад пасивния излъчвател.

S_D -ефективна площ на мембраната на високоговорителя

S_{P1} -площ на пасивния излъчвател, включена към обема зад високоговорителя

S_{P2} -площ на пасивния излъчвател,отделяща обема зад пасивния излъчвател.

Тази схема може да бъде опростена чрез комбиниране на R_{AS} със съпротивлението, дължащо се на електромагнитното демпфване на звуковата бобина на високоговорителя, за да се получи едно акустично съпротивление R_{AT} , където:

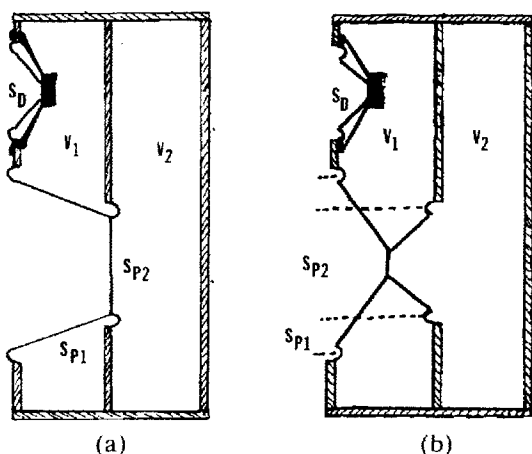
$$R_{AT} = R_{AS} + \frac{B^2 l^2}{(R_g + R_E) S_D^2} \quad (1)$$

Схемата може да бъде допълнително опростена като пренебрегнем загубите от утечката на кутията, вътрешното поглъщане и загубите в окачването на пасивния излъчвател. Акустичните гъвкавости C_{APS} и C_{AB2} могат след това да бъдат обединени:

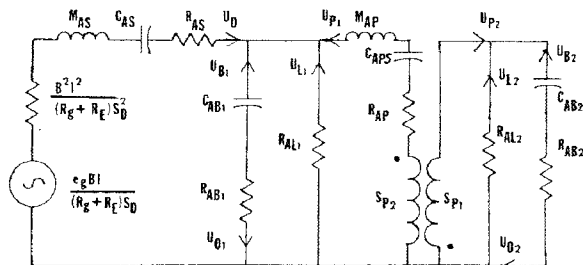
$$\frac{1}{C_{AP}} = \frac{1}{C_{APS}} + \left(\frac{S_{P2}}{S_{P1}} \right)^2 \frac{1}{C_{AB2}} \quad (2)$$

в резултат на опростената схема, показана на фиг.3.

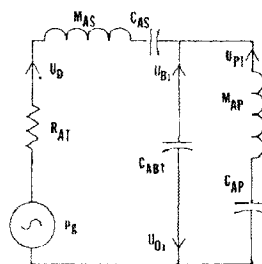
Фиг.3 е идентична по форма на [2, Фиг. 2], която представлява опростена акустична



Фиг.1. Разрез на две възможни структури на системата със съставен пасивен излъчвател. (a) - с единична мембрана. (b) - с две мембрани с различна площ.



Фиг.2. Пълна акустична заместваща схема на системата със съставен пасивен излъчвател.



Фиг.3. Упростена акустична заместваща схема на системата със съставен пасивен излъчвател.

характеристика на системата със съставен пасивен излъчвател може да бъде направена идентична на тази на всяка система с бас-рефлекс или настроена система с пасивна мембрана.

При съставянето на еквивалентните схеми на Фиг.2 и 3 бяха пренебрегнати промените на акустичното съпротивление и на присъединената маса с честотата. Взаимодействието на високоговорителя с пасивния излъчвател също беше пренебрегнато. Тези приближения са възприети в [2].

Полезно е да представим времеконстантата и димензионните отношения, характеризиращи говорителната система. За високоговорителя те са:

$$T_S^2 = \frac{1}{\omega_s^2} = C_{AS} M_{AS} \quad (3)$$

$$Q_T = \frac{\omega_s M_{AS}}{R_{AT}} \quad (4)$$

$$V_{AS} = \rho_0 c^2 C_{AS} \quad (5)$$

Формула (3) определя резонансната честота на високоговорителя $\omega_s = 2\pi f_s$ Формула (4) описва демпфането на резонанса на високоговорителя поради електромагнитните и механични загуби от триене (качествен фактор). Формула (5), където ρ_0 е плътността на въздуха (1.18 kg/m^3 при стандартна температура и налягане) и c - скорост на звука (345 m/s при стандартна температура и налягане) дава еквивалентния обем на гъвкавостта на окачването на трептящата система на високоговорителя. Взето е пред вид, че стойността на M_{AS} (и

следователно всички получени резултати) включва ефекта от въздушното натоварване на високоговорителя, когато той е монтиран на корпуса.

Аналогично за пасивния излъчвател:

$$T_P^2 = \frac{1}{\omega_P^2} = C_{AP} M_{AP} \quad (6)$$

$$Q_{MP} = \frac{1}{\omega_P C_{AP} R_{APT}} \quad (7)$$

$$V_{AP} = \rho_0 c^2 C_{AP} \quad (8)$$

Тук R_{APT} включва ефекта от R_{AP} и загубите от корпуса на пасивния излъчвател. Приема се, че M_{AP} включва ефекта на въздушното натоварване на пасивния излъчвател, когато той е монтиран на корпуса.

Корпусът с монтирания пасивен излъчвател притежава резонансна честота по същия начин, както и фазоинвертора или пасивната мембрана. Тази честота е дадена чрез:

$$T_B^2 = \frac{1}{\omega_B^2} = \frac{C_{ABI} M_{AP}}{1 + \frac{C_{ABI}}{C_{APS}}} \quad (9)$$

Качествените фактори могат да бъдат свързани с резонанса на корпуса поради загубите от поглъщане, утечки и загуби от пасивния излъчвател съответно:

$$Q_A = \frac{1}{\omega_B C_{ABI} R_{ABI}} \quad (10)$$

$$Q_L = \omega_B C_{ABI} R_{ALI} \quad (11)$$

$$Q_P = \frac{1}{\omega_B C_{ABI} R_{APT}} \quad (12)$$

Взаимодействието на високоговорителя, пасивния излъчвател и корпуса най-добре се описва чрез набора от безразмерни коефициенти. Това са коефициентът на гъвкавостите на пасивния излъчвател:

$$\delta = \frac{C_{AP}}{C_{ABI}} \quad (13)$$

коефициентът на настройка на системата:

$$h = \frac{f_B}{f_s} = \frac{\omega_B}{\omega_s} = \frac{T_s}{T_B} \quad (14)$$

и коефициентът на настройка на пасивния излъчвател:

$$y = \frac{f_P}{f_s} = \frac{\omega_P}{\omega_s} = \frac{T_s}{T_P} \quad (15)$$

Връзката между тези коефициенти е:

$$\frac{T_P}{T_B} = \frac{f_B}{f_P} = \frac{h}{y} = \sqrt{\delta + 1} \quad (16)$$

Коефициентът на гъвкавостта на системата може да бъде определен по два начина:

$$\alpha' = \frac{C_{AS}}{C_{ABI}} \quad (17)$$

представлява отношението на гъвкавостта на високоговорителя и гъвкавостта на въздуха в корпуса на високоговорителя. Освен това:

$$\alpha = \frac{C_{AS}}{C_{AB1} + C_{AB2}} \quad (18)$$

представлява отношението между гъвкавостта на високоговорителя и гъвкавостта на общия обем въздух, включен в системата.

$$\gamma = \frac{S_{P1} + S_{P2}}{S_{P1}} \quad (19)$$

представлява отношението на излъчващата площ към площта на пасивния излъчвател.

$$\varepsilon = \frac{C_{AB1}}{C_{AB1} + C_{AB2}} \quad (20)$$

представлява отношението на обема на корпуса на високоговорителя към общия обем. Ако

$C_{APS} \gg \left(\frac{S_{P1}}{S_{P2}}\right)^2 C_{AB2} = \frac{C_{AB2}}{(\gamma - 1)^2}$ то ест повечето от твърдостта на пасивния излъчвател се дължи на

въздуха в корпуса на пасивния излъчвател. Тогава:

$$\delta \cong \frac{1 - \varepsilon}{\varepsilon(\gamma - 1)^2} \quad (21)$$

Гореспоменатите стойности са горната граница и могат да бъдат доближени като се направи пасивния излъчвател физически голям по такъв начин увеличавайки C_{APS} .

От анализа на фиг.3, използвайки методите от [6] и заменяйки гореспоменатите безразмерни коефициенти, могат да бъдат получени функциите, описващи системата. Трябва да се вземе под внимание обемната скорост U_{P2} която не е показана на фиг.3. За системата със съставнен пасивен излъчвател общия изход е даден с векторната сума:

$$U_0 = U_D + U_{P1} + U_{P2} = U_D + \gamma U_{P1} \quad (22)$$

Функцията на чувствителността е:

$$G(s) = \frac{s^2 T_s^2 (s^2 T_p^2 + 1 + \delta(\gamma - 1))}{D(s)} \quad (23a)$$

където:

$$D(s) = s^4 T_p^2 T_s^2 + \frac{s^3 T_p^2 T_s}{Q_T} + s^2 [(\alpha' + 1) T_p^2 + (\delta + 1) T_s^2] + s \frac{(\delta + 1) T_s}{Q_T} + (\alpha' + \delta + 1) \quad (23b)$$

и $s = \sigma + j\omega$ е комплексната променлива честота.

Функцията на преместването на мембраната на високоговорителя нормирана като единица за нулевата честота е:

$$X(s) = \frac{(\alpha' + \delta + 1)(s^2 T_B^2 + 1)}{D(s)} \quad (24)$$

и константата на преместването е:

$$K_X = \frac{\delta + 1}{\alpha' + \delta + 1} \quad (25)$$

Функцията на преместването на мембраната на пасивния излъчвател е:

$$X_P(s) = \frac{\alpha' + \delta + 1}{D(s)} \quad (26)$$

Функцията на импеданса на звуковата бобина е същата, като дадената в [2] като е заместена α със α' и за това няма да бъде повторена тук.

2 ЧУВСТВИТЕЛНОСТ

Функцията на системата със съставен пасивен излъчвател, дадена с формула (23) има същата форма, както и тази на стандартната система с пасивен излъчвател (например, [2], формула (27)), тоест, това е функция на високочестотен филтър от четвърти ред. Една двойка нули е разположена в началото, а втората е разположена на:

$$s^2 T_p^2 = -1 + \delta(\gamma - 1) \quad (27)$$

ако

$$\delta(\gamma - 1) = 1 \quad (28)$$

тогава втората двойка нули също е разположена в началото. Ако се приложи изразът (22), то (28) се преобразува във:

$$\gamma \approx \frac{1}{\varepsilon} \quad (29)$$

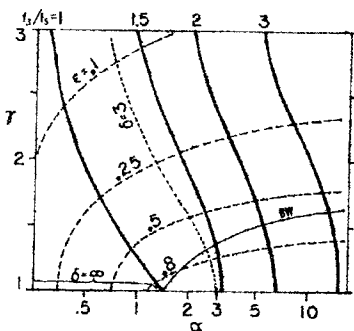
Следователно, ако са удовлетворени равенствата (28) или (29), функцията на чувствителността става подобна на тази на системата с басрефлекс. Пропадането в честотната характеристика, която беше проблем при системата с пасивна мембрана, е премахнато от съставния пасивен излъчвател.

2.1 ЧЕСТОТНА ХАРАКТЕРИСТИКА

Честотната характеристика $G(j\omega)$ от формула (23) е изследвана по-подробно в приложението (включено в част II) и са дадени конструктивните методи за напасване на параметрите на системата. Тази настройка е подобна на дадените за системата с пасивна мембрана в [2] и за фазоинвертора в [7].

Големия обхват от честотни характеристика е достижим поради променливите позиции на нулите във формула (23). В частност има семейство системи, удовлетворяващи формула (28) или формула (29), които се проявяват като чист високочестотен филтър на Бътъруърт от четвърти ред. Ако $\gamma > 1/\varepsilon$ във формула (29), двете нули на характеристиката са разположени на $j\omega$ оста и характеристиката е подобна на тази на системата с пасивна мембрана с по-стръмен склон на падането. Ако $\gamma < 1/\varepsilon$, двете нули на характеристиката са разположени на реалната ос. Характеристиката в този случай спада по-стръмно от чистия филтър на Бътъруърт от четвърти ред, и колкото нулите се отдалечават от началото, характеристиката се доближава до тази на затворен обем [8]. Тази последна форма на характеристика няма пряк аналог в предишните високоговорителни системи и би могла да бъде наречена характеристика от квази втори ред.

2.2 ТИП ХАРАКТЕРИСТИКА

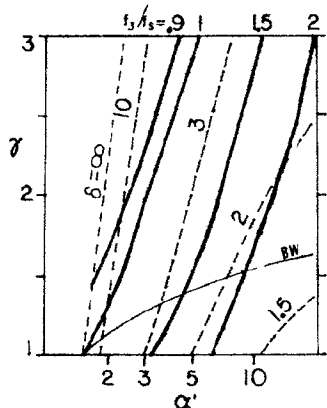


Фиг. 4. Криви на константи ε , δ и f_2/f_1 за максимално плоски настройки на система със съставен пасивен излъчвател, начертани в зависимост от α и γ . Кривата BW е мястото на характеристиките тип Бътъруърт.

Системата със съставен пасивен излъчвател има шест независими параметри: $T_s, h, Q, \alpha, \delta$ (или ε) и γ . Както при системата с пасивна мембрана [2], определянето на даден тип характеристика (квази-максимално плоска и т.н.) не е достатъчно единствено да се определят тези параметри. За типовете характеристики, разглеждани в приложението (квази максимално плоско [9] и елиптично [10]), набора от четири променливи позволява да бъдат намерени останалите две. Запазването на T_s с постоянна стойност, тъй като това по същество само установява мащаба по честота, задаването на стойностите на α и δ (или ε) и определя другите параметри. Системата със съставен пасивен излъчвател, следователно, има три независими конструктивни параметъра, докато системата с пасивна мембрана има два (α и δ), а системата с фазоинвертор-един (α).

Ако, освен това, се изисква системата да има максимално плоска характеристика, отпада по един независим конструктивен параметър от всяка от трите системи. На фиг. 4 е начертана

графиката на системните параметри във функция от α и γ за максимално плосък тип характеристика на система със съставен пасивен излъчвател. Показани са няколко криви на параметрите ϵ и δ . Освен това са показани линиите на постоянната нормализованата сръзваща честота f_3/f_s . Кривата, отбелязана като BW съдържаща всички типове характеристики имащи характеристиката на чист



Фиг. 5. Криви на константни δ и f_3/f_s за максимално плоски настройки на система със съставен пасивен излъчвател, начертани в зависимост от α' и γ . Кривата BW е местоположението на настройките тип Бътъруърт.

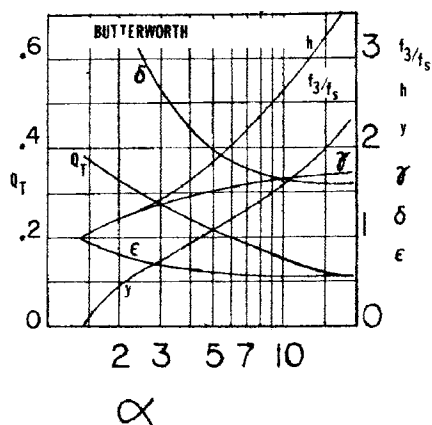
Бътъруърт от четвърти ред. Настройките под линията BW имат двойна нула на оста $j\omega$, а тези над и на ляво от тази линия - имат нули на оста σ . Точките на $\gamma = \sqrt{2}$ ^{$\gamma = 1.67$} съответстват на максимално плоска характеристика на система с басрефлекс, а точките надясно от $\alpha = \sqrt{2}$ по $\gamma = 1$ съответстват на максимално плоската характеристика на система с пасивна мембрана. По този начин и стандартната пасивна мембрана и фазоинвертора могат да бъдат разглеждани като гранични случаи на съставния пасивен излъчвател.

На фиг. 5 са начертани системните параметри във функция от α' и γ . Тук кривите на константно δ са показани аналогично на кривите на константно f_3/f_s . Отново кривата BW отговаря на чистата характеристика на Бътъруърт от четвърти ред. Конструкцията, основана на α' и γ върши работа когато наличният обем на кутията на пасивния излъчвател е неограничен, така, че :

$$C_{AP} = C_{APS} \ll \frac{C_{AB2}}{(\gamma - 1)^2} \quad (30)$$

В този случай C_{AP} и δ са еднозначно определени чрез гъвкавостта на пасивния излъчвател, а ϵ е излишен.

Типовете характеристики с $\gamma < 1$ не бяха изследвани. Чрез съответстващ избор на S_{P1} и S_{P2} може да бъде постигната всяка стойност на γ . Фактически, някои от структурите, представени в [5] съответстват на отрицателните стойности на γ . На пръв поглед, няма голям смисъл в използването на стойности на γ по-малки от 1, тъй като пропадането в честотната



Фиг. 6. Комплекс параметри за характеристики от типа Бътъруърт от четвърти ред за системи със съставен пасивен излъчвател.

характеристика ще се прояви на по-висока честота. Случая $\gamma \rightarrow 0$ и $\delta \rightarrow 0$ съответства на системата със затворен обем и може би необичайните стойности на γ биха обединили някои характеристики на затворения обем и на системата с пасивна мембрана.

Номограмите бяха изчислени по методите, дадени в приложението за ред комбинации на ϵ и γ . Фиг. 6 - диаграма на настройка за линията BW, показана на Фиг. 4. Тя дава стойностите за ϵ и δ така, че α' може да бъде определен ако няма ограничения в обема на корпуса с пасивния излъчвател. При използването на фиг. 6, системата със загуби с характеристика на Бътъруърт от четвърта степен може да бъде изчислена за всяка стойност на $\alpha \geq \sqrt{2}$. Това семейство от характеристики илюстрира как всеки фазоинвертор или характеристика на пасивна мембрана могат да бъдат използвани като основа за цяло семейство системи със съставни пасивни излъчватели;

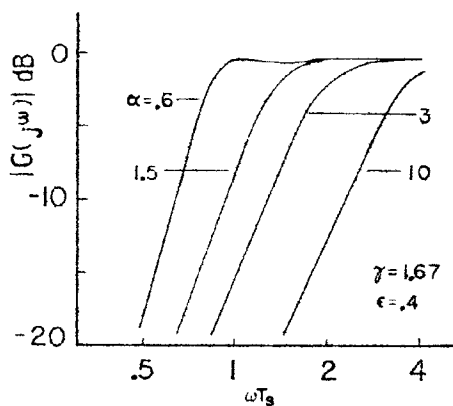
подробностите са дадени в приложението, част II.

Някои стойности на γ , разбира се, са достигнати чрез използването на стандартни компоненти. В частност, $\gamma = 1.67$ се постига чрез комбинацията на 8-in (203-mm) конус с 6.5-in (165-mm) конус, с 12-in (305 mm) с 8-in (203-mm), или 15-in (381-mm) с 10-in (254- mm) конус. Аналогично, 2.33 съответства на 10-in (254- mm) 8-in (203-mm), а 12-in (305-mm) с 10-in (254-mm) или конус 15-in (381-mm) с конус 12-in (305-mm).

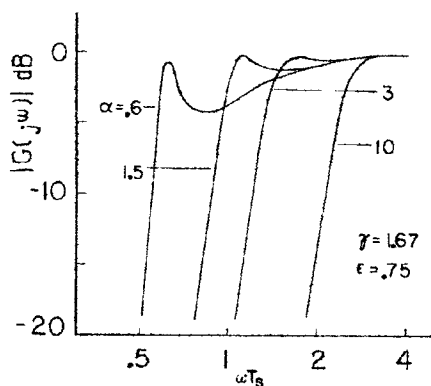
Преходното характеристика за характеристиката Бътъруърт е идентична на представената в [7, Фиг. 14] за системи с фазоинвертор с настройка Бътъруърт. Аналогично, $\gamma > 1/\epsilon$ характеристиките проявяват преходна характеристика, подобна на системата с пасивна мембрана [2,

Фиг. 12]. В частност, за малките стойности на α , характеристиките с $\gamma > 1/\epsilon$ проявяват недопустими нива на отскок и звънтене.

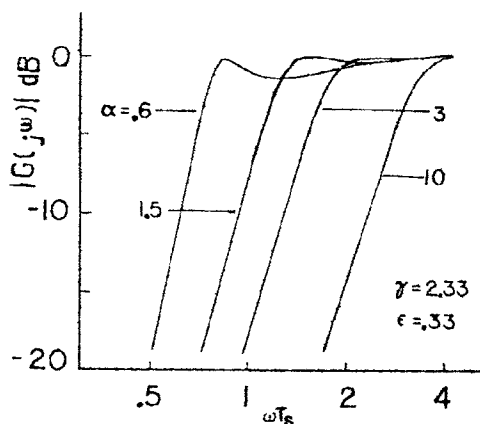
Допускайки, че $C_{APS} \ll C_{AB2} / (\gamma - 1)^2$ стойностите на ϵ , бяха избрани които интерполират случая



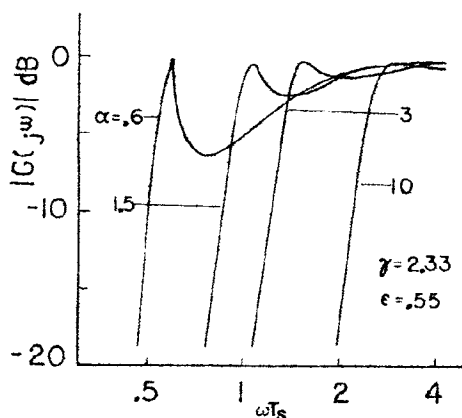
Фиг. 7. Характеристики на система със съставен пасивен излъчвател за $\gamma=1,67$, $\epsilon=0,40$



Фиг. 8. Характеристики на система със съставен пасивен излъчвател за $\gamma=1,67$, $\epsilon=0,75$

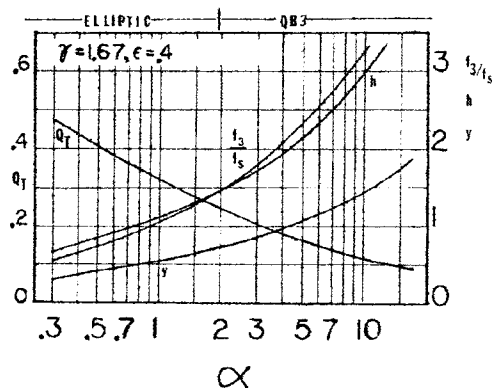


Фиг. 9. Характеристики на система със съставен пасивен излъчвател за $\gamma=2,33$, $\epsilon=0,33$

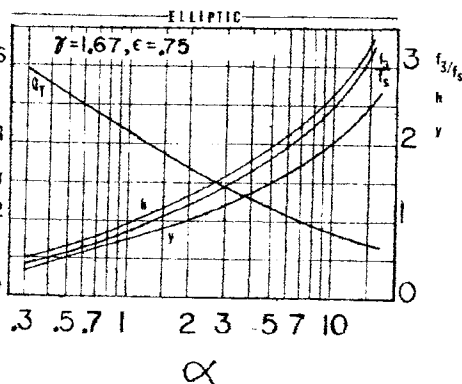


Фиг. 10. Характеристики на система със съставен пасивен излъчвател за $\gamma=2,33$, $\epsilon=0,55$

$\epsilon = 1/\gamma$ за $\gamma = 1,67$ и $\gamma = 2,33$. Характеристиките на системата за тези случаи са показани на фиг. 7-10, а номограмите за системите със загуби са показани на фиг. 11-14. Характеристиките

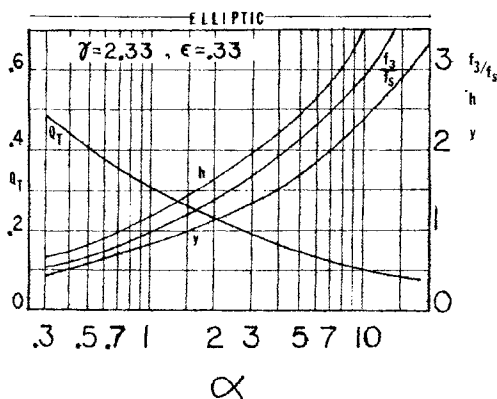


Фиг. 11. Номограма за система със съставен пасивен излъчвател без загуби при $\gamma=1,67$, $\epsilon=0,40$

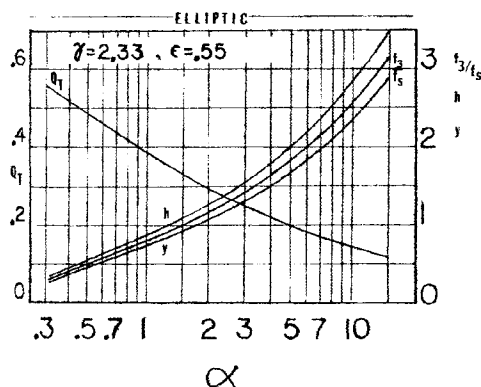


Фиг. 12. Номограма за система със съставен пасивен излъчвател без загуби при $\gamma=1,67$, $\epsilon=0,75$

за междинните стойности на ϵ и γ могат да бъдат интерполирани от графиките. Характеристиките имат тенденция да бъдат по-гладки за $\gamma < 1/\epsilon$, особено за малките стойности на α . Обаче, случая $\gamma > 1/\epsilon$ има тенденция да създава по-ниска сръзваща честота.



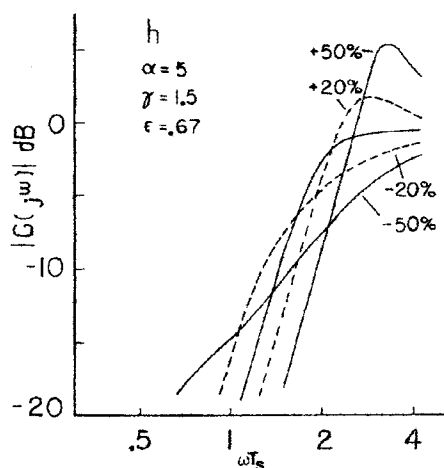
Фиг.13. Номограма за система със съставен пасивен излъчвател без загуби при $\gamma=2,33$, $\epsilon=0,33$



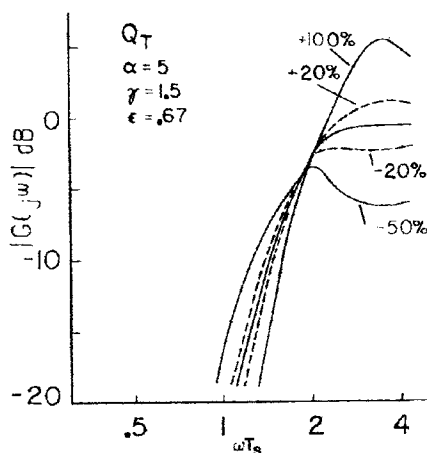
Фиг.14. Номограма за система със съставен пасивен излъчвател без загуби при $\gamma=2,33$, $\epsilon=0,55$

2.3 Влияние на неравномерността и загубите.

Чувствителността на системата със съставен пасивен излъчвател към грешки на напасването на параметрите е подобна на тази при системите с фазоинвертор и с пасивна мембрана. Влиянието на



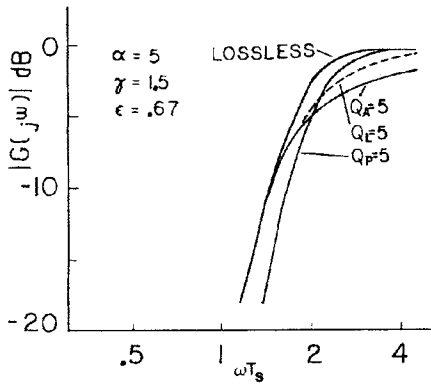
Фиг.15. Влияние на неточността на h върху характеристиката на системата със съставен пасивен излъчвател.



Фиг.16. Влияние на неточността на Q_T върху характеристиката на системата със съставен пасивен излъчвател.

грешките в резонансната честота на корпуса върху характеристиката на системата е показана на Фиг. 15. Фиг. 16 илюстрира влиянието на грешките в дмпинг фактора на високоговорителя. Както и при другите системи, грешки с 20 % или по-малко имат незначителен ефект върху характеристиката на системата. Влиянието на загубите на системата (Q_A , Q_L и Q_P) върху системата със съставен пасивен излъчвател е подобен на този за система с пасивна мембрана. Влиянието на тези загуби върху характеристиката за $\alpha=5$ -Бътървъртова настройка е показан на фиг.17. Загубите в пасивния излъчвател имат най-малко влияние върху системата, а загубите от поглъщане имат най-голямо влияние.

Смятаме, че следващите уравнения ще бъдат по-полезни от показването на още четири графики на настройки на системата със съставен пасивен излъчвател, защото дават коригираните стойности на h , f_3 и Q_T при наличие на загуби:



Фиг.17. Влияние на загубите в обема върху характеристиката на системата със съставен пасивен излъчвател.

$$\frac{1}{Q'_B} = \frac{1}{Q_A} + \frac{1}{2Q_L} + \frac{1}{2Q_P} \quad (31a)$$

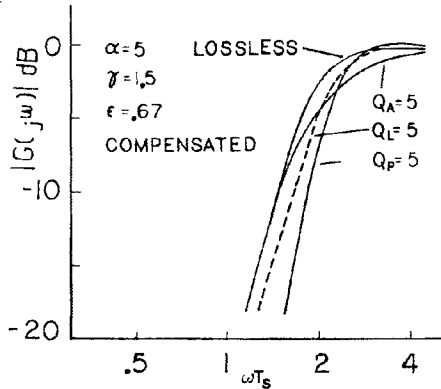
$$F = \sqrt{1 + \frac{(h + |h^2 - 1|)}{Q'_B Q_T \alpha'}} \quad (31b)$$

$$h' = hF \quad (32a)$$

$$f'_3 \approx f_3 F \quad (32b)$$

$$\frac{1}{Q'_T} = \frac{1}{Q_T} \sqrt{\frac{\alpha' + 1 + h'^2}{\alpha' + 1 + h^2}} - \frac{1}{Q_A} \quad (32c)$$

Формула (31b) е получена чрез разглеждането на влиянието на загубите върху обемната скорост на пасивния излъчвател при честотата на резонанса на кутията. Изместването на честотата на резонанса на кутията нагоре със стойност, дадена във формула



Фиг.18. Характеристиката на системата със съставен пасивен излъчвател след настройката трябва да бъде донагласена за компенсиране на загубите в обема.

(31b) възстановява изхода на пасивния излъчвател на резонансната честота на кутията към стойността на загубите. Първият член във формула (32c) изменя Q_T , за да вземе пред вид новата стойност на h , а вторият член взема пред вид загубите от поглъщане. Утежнената сума Q'_B беше намерена, за да осигури по-добра компенсация от другите прости комбинации от индивидуални загуби.

Характеристиката при загуби $\alpha = 5$ настройка Бътървурт с h/Q_T , давани с формули (31) и (32) са дадени на фиг.18. Корекциите, въведени с формули (31) и (32) дават приемливи криви на честотната характеристика. Алтернативно, ако α може да бъде изменено, правилото на Keele на палеца за свръх обем на бокса до 40 % може да се използва, за да компенсира загубите (както в [11]).

3. ЕФЕКТИВНОСТ

3.1 Коэффициент на полезно действие

Ефективния диапазон на буталното действие на високоговорителя е даден с [10.фиг.(33)]:

$$\eta_0 = \frac{4\pi^2 f_s^3 V_{AS}}{c^3 Q_{ES}} \quad (33)$$

Използвайки метода от [7,sec.5] формула (33) може да бъде приведена във вида:

$$\eta_0 = K_\eta f_3^3 V_B \quad (34)$$

където V_B е чистия вътрешен обем на кутията на системата, а K_η -е коэффициент на ефективността, състоящ се от два фактора:

$$K_\eta = K_{\eta(Q)} K_{\eta(G)} \quad (35)$$

където

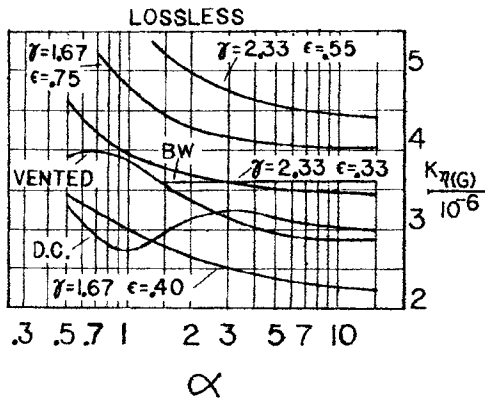
$$K_{\eta(G)} = \frac{4\pi^2 V_{AS} f_s^3}{c^3 V_B f_3^3 Q_T} \quad (36)$$

представлява коефициент на характеристиката на системата в зависимост от типа на системата и характеристиката, и

$$K_{\eta(Q)} = \frac{Q_T}{Q_{ES}} \quad (37)$$

представлява коефициент на загубите на високоговорителя, измерващ степента, в която електромагнитното демпфание е допринесло за тоталното демпфание.

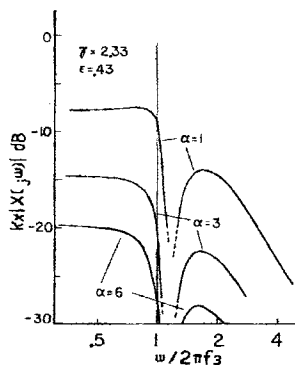
3.2 Коефициент на чувствителността на системата.



Фиг.19. Коефициентът на характеристиката $K_{\eta(G)}$ на коефициента на полезно действие за няколко различни характеристики на системи със съставен пасивен излъчвател без загуби за системи със затворен обем и пасивна мембрана ($\delta=\alpha$).

бъде разширена до цялото семейство характеристики на системата със съставен пасивен излъчвател; по този начин всяка характеристика, съответстваща на точка от кривата на фазоинвертор е начална точка на семейство характеристики. Ако константите на ефективността на това семейство бъдат начертани, те ще бъдат хоризонтални линии, лежащи в дясно от началната точка.

4. ЧУВСТВИТЕЛНОСТ ПРИ ГОЛЯМ СИГНАЛ



Фиг.20. Функцията на преместването на мембраната на система със съставен пасивен излъчвател като функция на нормираната честота.

Стойностите на $K_{\eta(G)}$, които са изчислени за

системите със загуби са показани на фиг. 6 и 11-14. Те са начертани на фиг.19 заедно със стойностите на характеристиката за пасивна мембрана и фазоинвертор като функция на α . За $\gamma > 1/\epsilon$ коефициентът на чувствителност на системата е до 50% по-голям от стойностите за фазоинвертор или характеристиката с пасивна мембрана, имащи същото α . Характеристиките с $\gamma < 1/\epsilon$ (включително характеристиките Бътърворт) имат коефициент на чувствителността сравними или малко по-малък от този на фазоинвертора или системите с пасивна мембрана.

Характеристиката на Butterworth (линията BW на фиг.19) илюстрира факта, че за идентичните характеристики коефициентите на чувствителността на системите са идентични. Както е показано в приложението, Част II, всяка характеристика на фазоинвертор или система с пасивен излъчвател може да

4.1 Преместване на мембраната на високоговорителя

Функцията на преместването на мембраната на високоговорителя за системи със съставен пасивен излъчвател [Формула (24)] и на константата на преместването K_X [Формула (25)] са подобни на тези при системите с пасивна мембрана [2, Формули (23), (24)]. Тъй като характеристиките на системата със съставен пасивен излъчвател по принцип имат по-малки стойности на δ отколкото съответните характеристики на пасивната мембрана и тъй като $\alpha' = \alpha / \epsilon$ е по-голям от α , K_X по принцип е по-малък за системите със съставен пасивен излъчвател. Фиг. 20 представлява

графиката на $K_X |X(j\omega)|$ за няколко характеристики на системи със съставни пасивни излъчватели без загуби. Мащабът на честотата е нормализиран по f_3 . Графиките са подобни по форма на тези за система с басрефлекс. [7, Фиг. 17] или такава с пасивна мембрана [2,

Фиг. 14] . Величината $K_X |X(j\omega)|$ е значително намалена в сравнение тази за системата с пасивна мембрана в ниските и високи честоти. Разбира се, високоговорителят в една система със съставен пасивен излъчвател има по-висока чувствителност на преместването, отколкото този в системата с пасивна мембрана с идентична настройка така, че амплитудата на преместването на драйверите да бъде идентична. Особеността на системата със съставен пасивен излъчвател в сравнение с другите системи, която е очевидна на фиг.20 е, че за настройките с ниско α , минимумът на изместването на мембраната е на честота, значително по-висока от f_3 . По този начин $K_X |X(j\omega)|$ може да има по-висока амплитуда на f_3 , отколкото на по-високи честоти.

4.2 Оценка на мощността

Оценката на установената ограничена от преместването акустична мощност е дадена в опростена форма:

$$P_{AR} = K_P f_3^4 V_D^2 \quad (38)$$

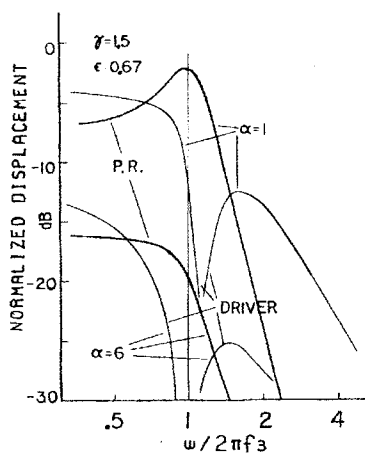
където $V_D = X_{MAX} S_D$ е обемът на най-високата стойност на линейното преместване на високоговорителя; тук X_{MAX} е най-високата стойност на преместването на мембраната на високоговорителя. K_P е константа за оценка на мощността, която зависи от настройката. В [7] и [2] е показано, че стойността на $K_P=3$ е добра апроксимация на всички настройки на системи с пасивна мембрана и бас-рефлекс. Тази стойност е подходяща също така и за оценка на системите със съставен пасивен излъчвател. Практически стойността $K_P = 3$ е много консервативна и може да бъде увеличена няколко пъти в системите, разработени за обикновено възпроизвеждане на музика в затворени помещения.

Оценката на ограничената от преместването електрическа входна мощност е получена чрез обединяването на формули (38) и (34):

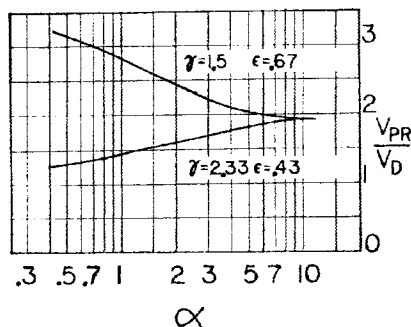
$$P_{ER} = \frac{P_{AR}}{\eta_0} = \frac{K_P}{K_\eta} f_3 \frac{V_D^2}{V_B} \quad (39)$$

4.3 Преместване на пасивния излъчвател.

Оценката на ограничената от преместването мощност на система със може да бъде направена,



Фиг.21. Функции на преместването на мембраната на високоговорителя и пасивния излъчвател като функция на нормираната честота.



Фиг.22. Необходимото отношение на обема на преместването на пасивния излъчвател V_{PR} към обема на преместването на високоговорителя V_D като функция на α за две характеристики на два съставни пасивни излъчвателя.

само ако обемът на преместването на пасивния излъчвател е достатъчен. Структурата на съставен пасивен излъчвател позволява конструирането на пасивни излъчватели с голямо преместване. Тъй като по-голямата част от твърдостта се дължи на въздуха в обема зад пасивния излъчвател (пасивен излъчвател с въздушно окачване?), окачването, което го поддържа в отвора само

осигурява херметична изолация и висока еластичност. Обаче изискванията за преместването на пасивния излъчвател могат да бъдат съществени и те трябва да бъдат оценени.

На фиг. 21 нормализираните премествания на високоговорителя и на пасивния излъчвател са начертани за две характеристики без загуби с различни стойности на α . Функцията на преместването на пасивния излъчвател $X_p(s)$ [Формула (26)] приема съществени стойности само при честоти, близки до честотата на срязване на системата. Точните изисквания за преместването на пасивния излъчвател, разбира се, зависят от спектъра на възпроизвеждания сигнал. При възпроизвеждането на сигнал, ограничен от лентова система, Фиг. 22 показва отношението на обема на максималното преместване на пасивния излъчвател V_{PR} към обема на преместването на високоговорителя за две характеристики срещу α . V_{PR} е обема на максималното линейно преместване на пасивния излъчвател, тоест, сумата от S_{P1} и S_{P2} на максималното линейно преместване. За голямо α двете криви са подобни и обемът на преместването на пасивния излъчвател трябва да бъде около два пъти по-голям от този на високоговорителя. Отношението се приближава към 1 за ниско ϵ високо γ при настройка с ниско α и се увеличава за настройките с високо ϵ и ниско γ . Това разминаване се дължи повече на голямото преместване, изисквано от високоговорителя при ниско ϵ в случай на ниски стойности на α , отколкото на много голямото изместване на пасивния излъчвател в случая с високо ϵ . Това отразява консерватизма на стойностите на K_p , указан по-рано. Стойността на $V_{PR} / V_D = 2$ може по този начин да бъде прието за всички характеристики на системите със съставен пасивен излъчвател. Тази стойност постоянно ще предсказва необходимото изместване на пасивния излъчвател.

5. ИЗМЕРВАНЕ НА ПАРАМЕТРИТЕ

Малосигналните параметри $\alpha', \delta, h, Q_T, T_s, \gamma$ при системите със съставен пасивен излъчвател могат да бъдат измерени посредством методите, дадени в [2, секция 8]. Системите със съставен пасивен излъчвател имат допълнителните параметри γ и ϵ . Също така стойностите на C_{APS} или на $\delta' = C_{APS} / C_{AB1}$ могат да бъдат желателни. Стойността на γ може, разбира се, да бъде получено приблизително от физическо измерване, но е трудно да се измери ефективния диаметър на мембраната. Стойността на δ' може да бъде получено, като се измери δ на пасивния излъчвател с отворен заден обем. Коефициентът ϵ може да бъде получен достатъчно точно от размерите на корпуса. В заключение,

$$\gamma = 1 + \sqrt{\frac{1 - \epsilon}{\epsilon} \left(\frac{1}{\delta} - \frac{1}{\delta'} \right)} \quad (40)$$

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] H.F.Olson, "Loud Speaker and Method of Propagating Sound," U.S.Patent 1,988,250, application 1934 Feb.17; patented 1935 Jan.15.
- [2] R.H.Small, "Passive-Radiator Loudspeaker Systems, Part I, Analysis," *J.Audio Eng.Soc.*, vol.22, pp. 592-601 (1974 Oct.)
- [3] Y. Nomura and Z. Kitamura, "An Analysis of Design Conditions for a Phase-Inverter Speaker System with a Drone Cone," *IEEE Trans.Audio Electroacoust.*, vol.AU-21, pp.397-407 (1973 Oct.).
- [4] T.L.Clarke, "Augmented Passive Radiator Loudspeaker," U.S.Patent 4,076,097, application 1976 Aug.4, patented 1978 Feb.28.
- [5] E.Hossbach, "Loud Speaker System," U.S.Patent 3,772,466, application 1971 Nov.24, patented 1973 Nov. 13.
- [6] R.H.Small, "Direct-Radiator Loudspeaker System Analysis," *IEEE Trans.Audio Electroacoust.*, vol.AU-19, pp.269-281 (1971 Dec.); republished in *J.Audio Eng.Soc.*, vol.20, pp.383-395 (1972 June).
- [7] R.H.Small, "Vented-Box Loudspeaker Systems," *J.Audio Eng.Soc.*, vol.21, pp. 363-372 (1973 June); pp. 438-444 (1973 July/Aug.); pp.549-554 (1973 Sept.); pp. 635-639 (1973 Oct.).
- [8] R.H.Small, "Closed-Box Loudspeaker Systems," *J.Audio Eng.Soc.*, vol.20, pp.798-808 (1972 Dec.); vol. 21 pp. 11-18 (1973 Jan./Feb.).

- [9] A.N. Thiele, "Loudspeakers in Vented Boxes," *Proc.IREE Australia*, vol.22, pp.487-508 (1961 Aug.); republished in *J.Audio Eng.Soc.*, vol. 19, pp.382-392 (1971 May); pp.471-483 (1971 Yune).
- [10] A.Budak and P.Aronhime, "Maximally Flat Low-Pass Filters with Steeper Siopes at Cutoff," *IEEE Trans.Audio Electroacoust.*, vol.AU-18,pp. 63-66 (1970 Mar.).
- [11] D.B.Keele, Jr., "A New Set of Sixth-Order Vented-Box Loudspeaker System Alignments," *J.Audio Eng.Soc.*, vol.23 pp.354-360 (1975 June).
- [12] T.L.Clarke, "Build a Superthruser Loudspeaker," *CQ*, vol. 20 pp. 101-104 (1979 Feb.).
- [13] L.Weinberg, *Network Analysis and Syntesis* (McDraw-Hill, New York, 1962), chap.11.