

Метод за моделиране на акустичния канал с пасивни R , L и C елементи

Атанас Ал. Атанасов

Институт по океанология, БАН (Варна)

Най-общата структура на електроакустичния кръг включва: генератор на електрични сигнали - G ; усилвател - U ; управляващ блок - $УБ$ и акустичен път, фиксиран от акустични антени A_1 - излъчвател и A_2 - приемник, разположени в материална среда (Фиг. 1).

Тази блокова схема е в основата на изграждането на най-различни по своето предназначение хидроакустични системи.

Аналитичното описание на динамиката на електроакустичния кръг налага определянето на предавателната функция (комплексен коефициент на усилване).

$$W_{oc}(j\omega) = W_r(j\omega) W_y(j\omega) W_{ak}(j\omega)$$

където $W_{oc}(j\omega)$ е предавателна функция на отворената структура на електроакустичния кръг; $W_r(j\omega)$ - предавателна функция на генератора; $W_y(j\omega)$ - предавателна функция на усилвателя; $W_{ak}(j\omega)$ - предавателна функция на акустичния канал.

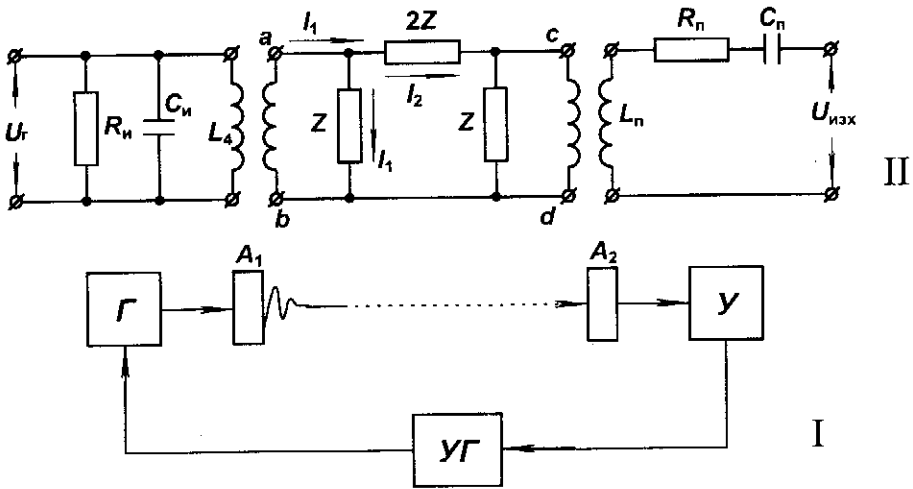
Експерименталното определяне на предавателните функции $W_r(j\omega)$ и $W_y(j\omega)$ в лабораторни условия не представлява трудност. Моделирането на акустичния

канал с пасивни R , L и C елементи е добра основа за експерименталното определяне на $W_{ak}(j\omega)$ на акустичния канал.

Акустичният канал е една сложна термодинамична система. Решаването на матричните уравнения по метода на Крамер, с който аналитично се описва тази система, позволява моделирането на акустичния канал с еквивалентна схема от вида, показан на Фиг. 1-II [Катц, 1964]. За основа присмаме тази популярна еквивалентна схема, която може да получи допълнително обогатяване в зависимост от развитието на термодинамичния анализ.

Конструктивните промени на акустичния канал, също не биха показали съществуващо влияние върху методиката на моделиране на акустичния канал.

Гравивните L , R и C елементи на еквивалентната схема (Фиг. 1-II) са: R'' и R''_n - активните съпротивления на съответните акустични антени A_1 и A_2 ; C'' и C''_n - статичните капацитети; L'' и L''_n - индуктивностите на акустичните антени - излъчвател A_1 и приемник A_2 . Онези част от еквивалентната схема на акустичния канал, отразяваща загубите (товара) от средата, в която се разпро-



Фиг. 1. Блокова схема на електроакустичния кръг (I) и обобщена еквивалентна схема на акустичния канал (II).

страняват звуковите сигнали, е фиксирана от контура *-a-b-c-d-* (Фиг. 1-II). Комплексното съпротивление е $Z = R + j\omega X$, където: R характеризира активните загуби, а X - реактивните загуби. От своя страна активното съпротивление $R = F_1/Q_M$, където: F_1 е линейната зависимост на термодинамичните и на геометричните параметри на акустичните антени; Q_M - механичният качествен фактор на акустичните антени. Реактивната съставка на комплексното съпротивление е $X = F_2(\omega - \omega_0)/\omega_0$, където: F_2 е линейната функция на термодинамичните и на геометричните параметри на акустичните антени; ω - работната честота на акустичните антени; ω_0 - резонансната честота на акустичните антени.

Нека да разгледаме механизма, който илюстрира енергетичните промени в акустичния канал. Веригата, която демонстрира тези промени, е от вида:

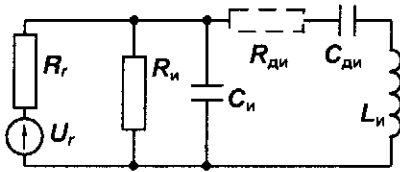
$$U_r \rightarrow E \rightarrow S \rightarrow T \rightarrow D \rightarrow q \rightarrow U_{изх}$$

където: U_r е напрежението на изхода на генератора; E - напрегнатостта на

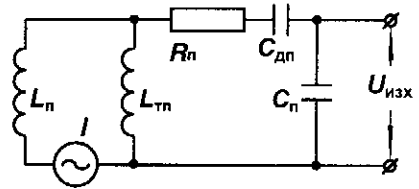
електричното поле на електродите на акустичната антена излъчвател A_1 ; S - механичната деформация на излъчвателя; T - механичната напрегнатост, която се разпространява в материалната среда; D - електричната индукция на електродите на приемната акустична антена A_2 ; q - електричният заряд, който възбужда входа на усилвателя $У$ (Фиг. 1).

Характерно за показаната верига на енергетичните трансформации по акустичния канал е повтарянето на механичната напрегнатост T , която е валидна както за акустичната антена излъчвател A_1 , така и за акустичната антена приемник A_2 .

В реален динамичен работен режим енергетичните промени в акустичния канал са съпроводени с промяна на амплитудата, честотата или фазата на разпространяваните физични реакции. Възможна е и комбинация в промените на тези физични параметри. Отчитането и на тези фактори съществено би утежвило моделирането на електроакустичния кръг.



Фиг. 2. Еквивалентна електрична схема на акустичната антена излъчвател за $\omega = \omega_f$

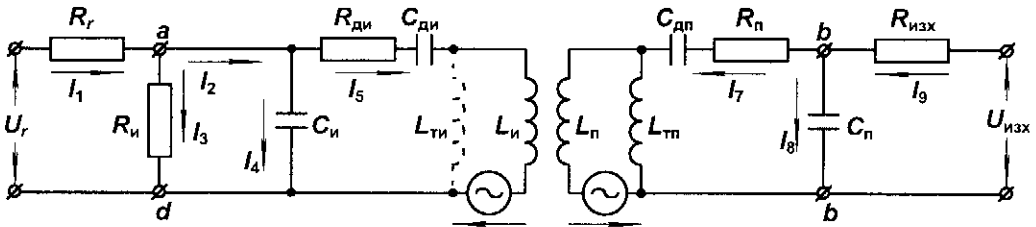


Фиг. 3. Еквивалентна електрична схема на акустичната антена приемник за $\omega = \omega_f$

Допускаме, че отсъстват изкривявания и загуби на енергетичните промени в акустичния канал съгласно показаната верига на преобразуване. Приемаме, че това допускане в еквивалентната електрична схема от Фиг. 1-II се покрива с условието $U_{ab} = U_{cd}$. Съгласно Фиг. 1-II за контурните токове е валидно:

идентични, притежават достатъчно голям механичен качествен фактор - Q_M и работят на собствената си резонансна честота $\omega \rightarrow \omega_0$.

Акустичната антена излъчвател A_1 , която работи в областта на собствената си резонансна честота, може да се моделира с пасивни R, L и C елементи по еквивалентната електрична схема, пока-



Фиг. 4. Еквивалентна електрична схема на акустичния канал за $\omega = \omega_f$

$$I_1 = U_{ab}/Z; \quad I_2 = U_{ab}/3Z.$$

Тъй като $U_{ab} = I_1 Z$, а $U_{cd} = I_2 Z$, условието $U_{ab} = U_{cd}$ е в сила когато комплексното съпротивление $Z \rightarrow 0$.

От своя страна комплексното съпротивление $Z \rightarrow 0$, когато активната съставка $R \rightarrow 0$ и реактивната съставка $X \rightarrow 0$.

Тъй като $R = F_1/Q_M$, а $X = F_2(\omega - \omega_0)/\omega_0$, то условието $Z \rightarrow 0$, при което е валидно $U_{ab} = U_{cd}$, се трансформира в необходимо и достатъчно условие $Q_M \rightarrow \infty$ и $\omega = \omega_0$.

Приемаме, че акустичните антени са

зана на Фиг. 2 [Mason, 1948].

Градивните електрични елементи на тази електрична еквивалентна схема са: R_r - вътрешното съпротивление на генератора; R_u - активното съпротивление на излъчвателя; C_u - статичен капацитет; $C_{ду}$ - динамичен капацитет; R_n - динамично активно съпротивление; L_n - динамична индуктивност.

Според Доля В. К. и Ю. А. Комаров [1984] акустичната антена приемник A_2 , която работи в областта на собствената резонансна честота, може да се моделира от еквивалентна електрична схема, показана на Фиг. 3. Елементите, вклю-

чени в нея, са: L_{II} - динамична индуктивност; C_a - статичен капацитет; C_{III} - динамичен капацитет; R_{II} - активно съпротивление; L_{TII} - индуктивност, характеризираща инерционността на приемника.

Еквивалентните електрични схеми, показани на Фиг. 2 и Фиг. 3, приемаме априори. Те моделират акустичните антени - излъчвател A_1 (Фиг. 2) и приемник A_2 (Фиг. 3), които работят в областта $(\omega - \omega_0) \rightarrow 0$, без да отчитат взаимната си връзка и взаимодействие в рамките на акустичния канал.

Съгласно направените допускания приемаме, че еквивалентната електрична схема на акустичния канал е от вида, показан на Фиг. 4. Обогатяването на тази електрична еквивалентна схема с нови пасивни елементи не би оказало съществено влияние върху предложения метод за моделиране на акустичния канал.

Нека разгледаме контурите $(a - a)$ и $(b - b)$ от еквивалентната електрична схема, показана на Фиг. 4. При синусоидален режим на енергетичните колеба-

$I_7 X_{кII}$ е допълнителна реакция от протичащия ток през индуктивностите L_{II} и L_{TII} в контура $(b - b)$.

Напрежението на контура $(b - b)$ може да се представи от зависимостта:

$$U_{b-b} = I_7 R_{II} + I_7 X_{C_{III}} + I_7 X_{II} + I_5 X_{кII} \quad (2)$$

където:
$$X_{II} = \frac{X_{L_{II}} X_{L_{TII}}}{X_{L_{II}} + X_{L_{TII}}}$$

$I_7 X_{кII}$ е допълнителна реакция внесена в контура $(b - b)$ от протичащия ток I_5 през индуктивностите L_{II} и L_{TII} в контура $(a - a)$.

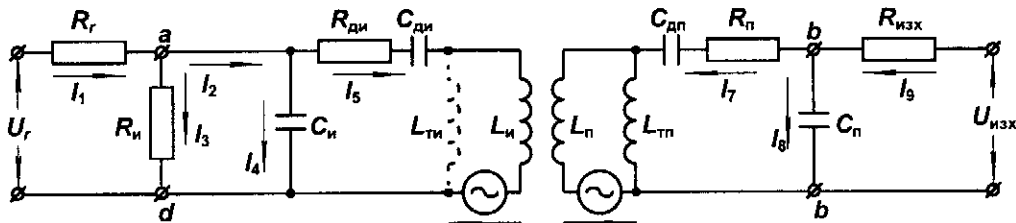
Ако към двете страни на уравненията (1) и (2) прибавим съответно нулевите разлики $I_5 X_{кII} - I_5 X_{кII}$ и $I_7 X_{кII} - I_7 X_{кII}$ те добиват вида:

$$U_{a-a} = I_5 R_{III} + I_5 X_{C_{III}} + I_5 (X_{II} - X_{кII}) + X_{кII} (I_5 + I_7)$$

$$U_{b-b} = I_7 R_{II} + I_7 X_{C_{III}} + I_7 (X_{II} - X_{кII}) + X_{кII} (I_5 + I_7)$$

$$(3)$$

Полагаме, че $I_5 + I_7 = I_6$ в уравнение



Фиг. 5. Приведена еквивалентна електрична схема.

ния с честота $\omega = \omega_0$ за контура $(a - a)$ е в сила:

$$U_{a-a} = I_5 R_{III} + I_5 X_{C_{III}} + I_5 X_{II} + I_7 X_{кII} \quad (1)$$

където:

$$X_{II} = \frac{X_{L_{II}} X_{L_{TII}}}{X_{L_{II}} + X_{L_{TII}}}$$

(3), което ни позволява от еквивалентната електрична схема (Фиг. 4) да получим приведената еквивалентна схема на акустичния канал, показана на Фиг. 5.

Построяването на приведената електрична еквивалентна схема, с помощта на която се моделира акустичният канал, не представлява трудност. Пасив-

ните R , L и C елементи, включени в нейната структура могат аналитично да се определят на основата на физичните параметри типични за акустичните антени - геометрични размери и тип на градивната пиезокерамика. Индуктивностите $L_{\text{из}}$ (на излъчвателя) и $L_{\text{пр}}$ (на приемника) (Фиг. 4), които характеризират инерционността на акустичните антени могат да се определят по зависимостта:

$$L_{\text{ти}} = \gamma(\omega) / \omega C_i R_i \sqrt{1 + Q\gamma^2}$$

[Доля, Комаров, 1984], където: C_i е статичният капацитет; R_i - активното съпротивление; ω - кръговата честота на изменение на механичната напрегнатост T ; $j(\omega)$ - експерименталният коефициент при определяне $L_{\text{ти}}$. Определянето на индуктивността $L_{\text{ки}}$ и $L_{\text{кп}}$ може да се постигне експериментално по еквивалентната електрична схема, показана на Фиг.4. При известна стойност на $V_{\text{Г}}$ и на тока I_1 се определя падът $V_{\text{а}}$ - a за рсжим (на късо) на еквивалентната електрична схема на приемната акустична антена. Определя се и падът $V_{\text{а-а}}$ за работен режим на еквивалентната електрична схема на приемната акустичната антена (Фиг. 4).

Потенциалната разлика ($V_{\text{а-а}} - V_{\text{к}} a - a$) е пропорционална на допълнителния пад, внесен от индуктивността $L_{\text{кп}}$. По аналогичен път може да се оцени индуктивността $L_{\text{кп}}$. I, съгласно приетия коефициент на трансформация $L_{\text{кп}} = L_{\text{кп}}$ (Фиг. 5).

На основата на предположението, че

акустичните антени A_1 и A_2 притсжават достатъчно голям механичен качествен фактор Q_M и работят на резонансна честота ω_0 , е построена приведената електрична схема на акустичния канал.

Моделирането на акустичния канал с помощта на пасивните R , L и C елементи, позволява аналитичен анализ на енергетичните зависимости на разнообразни по своето предназначение акустични системи, построени на основа на функционалната електроакустика (Фиг. 1).

Приведената електрична еквивалентна схема, показана на Фиг. 5 е добра основа за аналитично определяне на параметрите на електроакустичния кръг.

Обогатяването на еквивалентните електрични схеми на приемната и на излъчвателната акустична антена с индуктивността $L_{\text{ки}}$, характеризираща взаимната връзка между акустичните антени, е добра основа за анализ на влиянието на отразените звукови сигнали, които се разпространяват в акустичния канал в реални условия.

Представеният идеализиран модел на акустичния канал, построен на пасивни L , R и C елементи (Фиг. 5), валиден за работен честотен диапазон $(\omega - \omega_0) \rightarrow 0$ и механичен качествен фактор $Q_M \rightarrow \infty$, позволява експерименталното определяне на динамичната характеристика $W_{\text{ар}}(j\omega)$ на акустичния канал. Нейното познаване с добра основа за оценка на устойчивия режим на работата на електроакустичния кръг -основен градивен блок на всяка хидроакустична система.

Литература:

Доля В. К., Ю. А. Комаров, 1984. Градуировка виброприсмников по измерению электрического импеданса. Электрически измервания, 6, 34-35.
Катц Г. В. 1964. Магнитные и диэлектрические приборы. М., Энергия, 182 с.
Плужников В. М. 1969. Диэлектрические

усилители. М., Энергия, 183 с.
Mason W. P. 1965. An Electromechanical Representation of a Piezoelectre Crystal Usdca a Transducer. Proc. IRE, v. 23, 1252 p.
Newell W. 1965. Ultrasonic in integrated electronics. Proc. of IEE, v. 55, 241 p.

Method for modelling of acoustic channel with passive R, L and C elements

Atanas Al. Atanasov

(Summary)

A technique for modelling of acoustic channel with passive R, L and C elements is described. The transformed electrically equivalent scheme which has been obtained

allows experimental determination of the transmitting function of the electroacoustical circle.

Постъпила на 13.10.93 г.