

Обобщен модел на твърда пиезокерамична схема

Атанас Ал. Атанасов

Институт по океанология, БАН, Варна

1. Въведение.

Апаратите, построени на основата на функционалната акустикоелектроника, намират широко приложение в различни по своето предназначение акустични модули за изследване на физичните параметри на морската среда, за изучаване на релефа и хилядолетната структура на морския грунт, както и за осъществяване на хидроакустични телеметрични линии. Не по-малко е присъствието на тези апарати от четвърто поколение в различни области на медицината и промишлеността, за диагностика, контрол и измерване с цел постигането на желаните механични характеристики, к.п.д., както и оптималното съгласуване на входно-изходните характеристики на акустичните сензори. Процесът на разработването на тези апарати започва със съответни моделни изследвания на гравивните твърди пиезокерамични схеми. В основни линии този процес се заключава в следното: На основата на нелинейните и многофазни връзки на гравивната пиезокерамика $D=F(E)$, където D е електричната индукция, а E е напрежнатост на електричното поле, се прави избор на акустичния кристал, физичните параметри на който удовлетворяват една фонова еквивалентна електрична схема (Атанасов, 1992.) Детайлизирането на еквивалентната електрична схема се постига на основата на предполагаемата работа, извършена от действието на външна сила F (при правия пиезоефект), или при подключването на пиезокерамиката към входно напрежение U (при обратния пиезоефект), при което се получават съответните изменения както по електричната, така и по механичната ос на

пиезокерамиката. Получената еквивалентна електрична схема е добра основа за постигане на оптимално съгласуване на входно-изходните параметри на твърдата пиезокерамична схема със съответните блокове от хидроакустичния модул. Подробни еквивалентни електрични схеми, получени в този ред на анализ, са показани в работите на Харкевич (1973), Гейес, Сабате (1967), Камп (1972), Албертс (1963) и др. В своята структура те включват: електрична част, построена на основата на последователно или паралелно включен входен капацитет (C), трансформиращ блок, в който се описват правата и обратната трансформация, и механична част, моделирана с едно или две последователно включени механични съпротивления. Тези еквивалентни електрични схеми не дават описание на входовете и изходите на всеки един от трите гравивни четириполусника, при което се затруднява подробното описание на блока на трансформация, както и детайлното моделиране на механичната част на основата на електромеханичните аналогии. На основата на еквивалентна електрична схема на твърдата пиезокерамична схема, която носи информация за входното електрично съпротивление в статичен или в динамичен режим, могат да се оценят механичните параметри и к.п.д. на разработения акустичен сензор, при използването на традиционния модел генератор - двигател. Този трети контролен модел е разгледан в работите на Гензель, Зазный (1952), Харкевич (1973), Атанасов (1988), Масон (1964) и др. Цел на

настоящата работа е да се представи обобщен модел на твърда пиезокерамична схема, който да притежава подробно описание на входовете и изходите на трите градивни четириполусника на еквивалентната електрична схема.

2. Обобщен математически модел на твърда пиезокерамична схема.

Приемаме, че процесите на трансформация, които се развиват в твърдата пиезокерамична схема, са линейни, без остатъчни деформации. Елементарната работа, извършена от действието на силата F (при правия пиезоэффект), или тази, извършена от подклученото входно напрежение U (при обратния пиезоэффект), могат да се представят от уравненията:

$$dA(F) = dA(L\ el.) + dA(L\ mex.)$$

$$dA(U) = dA(L\ el.) + dA(L\ mex.), \quad (1)$$

където: $dA(L\ el.)$ е елементарната работа, извършена за промени в електричната ос, а $dA(L\ mex.)$ - елементарната работа, извършена за промяна на механичната ос на пиезокерамиката

Допускаме, че елементарната работа $dA(L\ el.) = dA(q)$ за ориентиране на електрическия заряд - q , а $dA(L\ mex.) = dA(S)$ за промяна на дължината - S на механичната ос. При това за правия и обратния пиезоэффект можем да запишем:

$$F = f(q, S)$$

$$U = f(q, S) \quad (2)$$

Отчитаме, че за динамичен, хармоничен режим на работа за пиезокерамиката са валидни следните връзки:

$$I = \frac{dq}{dt} = j\omega D;$$

$$V = \frac{dS}{dt} = j\omega T, \quad \text{където: } I \text{ е входният ток,}$$

D - диелектрична проницаемост

(константа на пиезокерамиката), V - скорост на изменение на дължината на механичната ос, а T - механична напрегнатост (константа на пиезокерамиката).

Уравнения (2), представени с нараствания, добиват вида:

$$dF = \left(\frac{\partial F}{\partial q} \right)_{S=const} dq + \left(\frac{\partial F}{\partial S} \right)_{q=const} dS$$

$$dU = \left(\frac{\partial U}{\partial q} \right)_{S=const} dq + \left(\frac{\partial U}{\partial S} \right)_{q=const} dS \quad (3)$$

$$\text{Полагаме, че } \left(\frac{\partial U}{\partial q} \right)_{S=const} = \frac{1}{C_{bx}};$$

$$-\left(\frac{\partial F}{\partial S} \right)_{q=const} = \frac{1}{n1};$$

$$\left(\frac{\partial F}{\partial q} \right)_{S=const} = -\left(\frac{\partial U}{\partial S} \right)_{q=const} = T_0, \quad \text{като}$$

отчитаме че $F \equiv -T$. При това уравненията (3) могат да се представят като:

$$dF = (T_0) dq - \frac{dS}{n1}$$

$$dU = \frac{dq}{C} - (T_0) dS \quad (4)$$

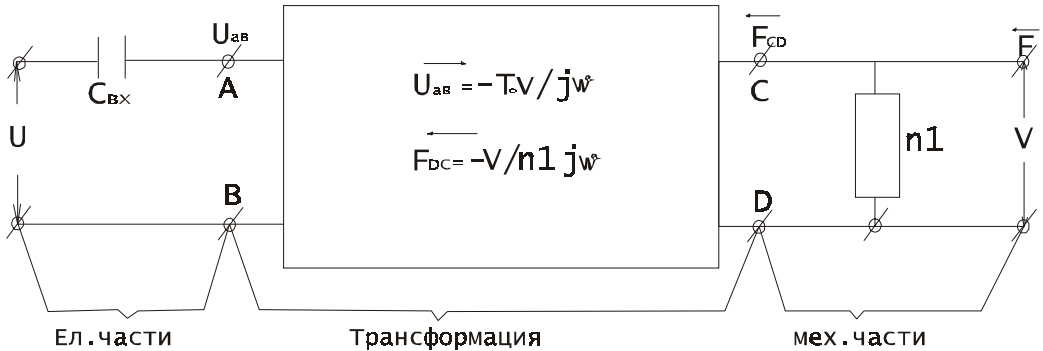
За нулеви начални стойности и за гранични условия: $F_k = F$; $U_k = U$; $q_k = q$; $S_k = S$, като отчетем че, $q = \int I dt = \frac{I}{j\omega}$ и

$$S = \int V dt = \frac{V}{j\omega}, \quad \text{уравненията (4) могат}$$

да се представят като:

$$F = (I T_0 / j\omega) - V / n1 \quad j\omega$$

$$U = (I / C_{bx} j\omega) - T_0 V / j\omega \quad (5)$$



Фиг. 1. Еквивалентна електрическа схема на твърда пиезокерамична схема

За да получим подробно описание за входовете и изходите на трите градивни четириполусника, обединяваме електричните и механичните параметри, включени в структурата на уравненията (5):

$$F - (I T_0 / j\omega) = -V n1 j\omega = F_{cd}$$

$$U - (I / C_{j\omega}) = -T_0 V / j\omega = U_{ab} \quad (6)$$

На фиг. 1 е показана еквивалентната електрическа схема на твърда пиезокерамична схема, построена на основата на обобщения математичен модел (уравнения 5 и 6).

При трансформиране на уравненията (5) в уравнения от вида: $F = F(U, V)$; $I = I(U, V)$ получаваме:

$$F = T_0 U C_{bx} + (T_0 C_{bx} V / j\omega) - (V / n1 j\omega)$$

$$I = C_{bx} U j\omega + T_0 C_{bx} V \quad (7)$$

Приемаме, че $T_0 C_{bx} = 1/n2$. След обединяването на електричните и на механичните параметри, включени в структурата на уравнения (7), получаваме:

$$F - ((1/n2) - 1/n1) V / j\omega = T_0 U C_{bx} = F_{cd}$$

$$I - U C_{bx} j\omega = T_0 C_{bx} V = I_{ab} \quad (8)$$

Еквивалентната електрическа схема на твърдата пиезокерамика, построена в съответствие на математичния модел (уравнения 7 и 8), е показана на фиг. 2.

3. Изводи и коментари.

Двата обобщени модела на твърдата пиезокерамична схема, показани на фиг. 1 и на фиг. 2, са получени от анализа на



Фиг. 2. Еквивалентна електрическа схема на твърда пиезокерамична схема

извършената елементарна работа по електричната ос и по механичната ос при следните външни “смущения”: действието на сила – F , или при подключването на пиезокерамиката към входно напрежение – U . От традиционните модели те се различават по моделирането на механичната част, с едно (фиг. 1) или с две паралелно включени механични съпротивления (фиг. 2), както и с подробното описание на входните и изходните вериги на трите градивни четириполусника на обобщения модел. Това е добра основа за детайлно моделиране на механичната част, както и за подробно изучаване на релаксационните процеси на твърдата пиезокерамична схема в динамични режими на работа. Няма формално основание за предпочитане на едната или на другата еквивалентна схема. Необходимо е да се отбележи, че ако твърдата пиезокерамика работи в режим на излъчване, за предпочитане е еквивалентната схема, показана на фиг. 1 (тя предлага един форсиран режим на работа), докато за режима на работа приемане е удачно използването на еквивалентната схема, показана на фиг. 2 (електричният сигнал на изхода е “филтриран” от външни смущения). При това не представлява трудност преминаването от единия модел, описан с уравненията (5), към другия модел, описан с уравненията (7), и обратно.

Литература

- А т а н а с о в, А. А. 1987. Електроакустична обратна връзка. С., Океанология 17. с.76 - 84.
- А т а н а с о в, А. А. 1992. Избор на кристал за пиезокерамичен преобразувател. С. Океанология, том 1, с.126 - 130.
- К а м п, Л. 1972. Подводная акустика. М. Мир, с. 147 - 159.
- Г е й с, П., П. С а б а т е. 1967. Основы и акустика моря. Ленинград, с. 156 - 162.
- Г е н д з е л, Г., М. Заезный, 1952. Основы акустики. М. Морской транспорт. 385 с.
- Х а р к е в и ч, А.А. 1973. Теория електроакустических преобразователей. М. Наука. с. 33 - 102.
- А l b e r s, V. 1968. Under water acoustics. New York, Plenum Press, p. 8 - 14.
- M a s o n, W.P. 1964. Methods and devices. New York, Academic Press, vol. 1, part B, p. 309 - 316.

Уравненията (6) позволяват директно представяне на връзките, които характеризират трансформациите в права и обратна посока, съгласно фиг. 1:

$$F_{cd} / V = -1 / n1 jw$$

$$U_{ab} / V = -T_0 / jw \quad (9),$$

а уравненията (8) позволяват получаването на правите и обратните връзки на трансформациите, валидни за модела, показан на фиг. 2 :

$$F_{cd} / U = T_0 C_{bx} = 1 / n2$$

$$I_{ab} / V = T_0 C_{bx} = 1 / n2 \quad (10)$$

$$\text{При това : } I/n2 = U_{ab}/VC_{bx} \cdot w = -\dot{F}_{cd}/IC_{bx} \cdot w$$

Трансформациите от уравненията (9) са честотно зависими, което прави модела (фиг. 1) актуален за статичен режим на работа, докато трансформациите, валидни за модела, показан на фиг. 2 (уравнения 10), са честотно независими, при което той става предпочитан при динамичен режим на работа на твърдата пиезокерамична схема.

Еквивалентното механично съпротивление съгласно фиг. 2 е : $N_{ek} = n1n2/(n1+n2) = n1/(1+n1T_0C_{bx}) = n1/[1+(n1/n2)]$. Това съпротивление (N_{ek}) е продукт както на механичните, така и на електричните характеристики на твърдата пиезокерамична схема.

A general model of solid piezoceramic scheme

Atanas Atanasov

(Summary)

A model of solid piezoceramic scheme is presented. It is received as a result of the equations describing the work done for changing of electrical axis when straight piezo effect and for changing of mechanical axis when opposite piezo effect. The model includes a detail description of admission-outlet parameters of the three basic constructive four-polars too, which are in its structure. The parameters characterize the electrical part, mechanical part as well as the transformation which is valid when admitting the straight and opposite piezo effect. The advantage of the model is that it can be applied to detailed modulation of the mechanical part of the model with electrical –mechanical analogies. Not less is the importance of the model as a base when working out the acoustical systems which work in conditions of radiating or accepting as well as in static or dynamic conditions.

Постъпила 13.07.2000 г.