

МОРСКО ИНЖЕНЕРСТВО**Върху моделирането на хидроакустични
пиезокерамични антени***Атанас Ал. Атанасов**Институт по океанология, БАН, Варна***Въведение**

Традиционните обобщени модели на пиезокерамичните антени в своята структура включват електрическа част, блок, дефиниращ трансформацията, реализирана от пиезокерамиката в права и в обратна посока, и механична част. Последната е ограничена от едно или две паралелно включени "механични" съпротивления, дефинирани както от механичните, така и от електрическите характеристики на гравивната пиезокерамика (А т а н а с о в, 2001; Х а р к е в и ч, 1973; К а м п, 1972; А l b e r s, 1968 и др.).

Познаването на механичната част от обобщения модел на хидроакустичните антени позволява прогнозирането на входното им механично съпротивление, както и на резонансната им честота.

Анализът на една колебателна механична система не представлява трудност, ако в нея е възможно да се дефинират тези части, в които са съсредоточени масата, еластичността и механичното им съпротивление.

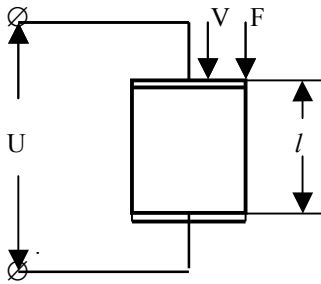
Тъй като хидроакустичните пиезокерамични антени са реални колебателни механични системи, подобно разграничаване е невъзможно. Те се определят като механични системи с разпределени параметри. Ако се направи допускането, че на равни участъци от геометрията на гравивната пиезокерамика на акустичната антена

масата, еластичността и механичното съпротивление приемат еднакви стойности, нещата при моделирането на механичната система в малка степен се опростяват, при което механичните системи с разпределени параметри се трансформират в механична система с равномерно разпределени параметри.

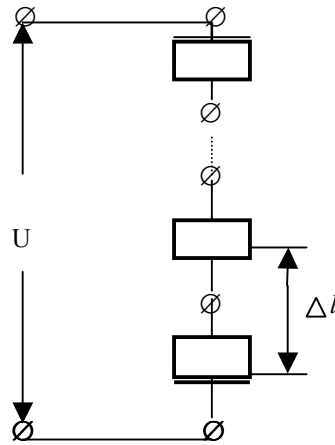
Нека да разгледаме трансформацията на механичната система на дискова пиезокерамична антена с разпределени параметри (показана на фиг. 1) в механична система с равномерно разпределени параметри, която е показана на фиг. 2.

Допускаме, че в дисковата пиезокерамична антена с маса M и еластичност H , подключена към променливо външно захранване U се развиват надлъжни еластични колебания със скорост V под действието на силата F (фиг. 1). Ако с $n=H/l$ означим еластичността на единица дължина, а с $m=M/l$ масата на единица дължина на основата на електромеханичните аналози, механичната част на дисковата пиезокерамична антена с равномерно разпределени параметри можем да моделираме с еквивалентната схема, показана на фиг. 3 (А т а н а с о в, 1998; Х а р к е в и ч, 1973; М а s o n, 1964 и др.).

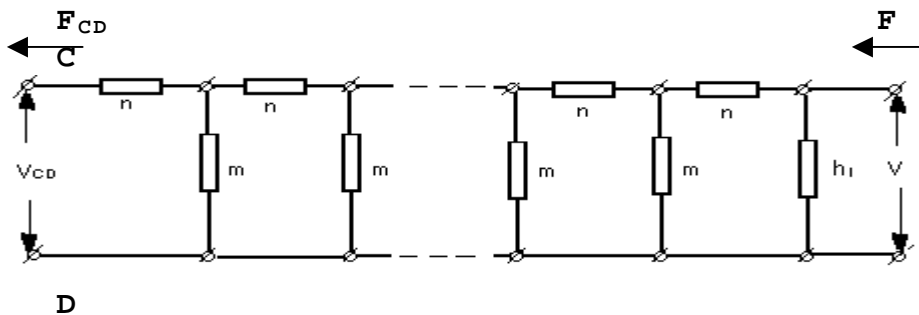
Еквивалентната схема на механичната част на дисковата пиезокерамична антена с равномерно разпределени параметри



Фиг. 1. Дискава пиезокерамична антена с разпределени параметри



Фиг. 2. Дискава пиезокерамична антена с равномерно разпределени параметри



Фиг. 3. Еквивалентна схема на дискава пиезокерамична антена с разпределени параметри

(фиг. 3) може да се разглежда като комбинация от последователно свързани T -схеми и Π -схеми. Тази еквивалентна схема се фиксира от механичното съпротивление h_l , което е продукт както на механичните, така и на електричните характеристики на градивната пиезокерамика (Атанасов, 2001).

Целта на статията е на базата на симетричните еквивалентни T -схеми и Π -схеми, които моделират механичната част от обобщената еквивалентна схема на акустичната пиезокерамична антена да се достигне до един по-гъвкав и по-представителен модел.

Математически модел на механичната част на обобщената еквивалентна схема на акустичната пиезокерамична антена

Допускаме, че при развитието на хармоничните еластични колебания в пиезокерамиката под действие на силата F , отсъстват активни загуби (фиг. 1).

Ако приемем, че $V=V(n)$ и $F=F(m)$ за всеки елементарен участък на акустичната пиезокерамична антена с равномерно разпределени параметри (фиг. 2) е валидно:

$$dV/dl = -j\omega n F; \quad dF/dl = -j\omega m V \quad (1)$$

Преминавайки към ново нарастване (уравнение 1) получаваме:

$$\begin{aligned} d^2 V/dt^2 &= -\omega^2 mnF; \\ d^2 F/dt^2 &= -\omega^2 nmV \end{aligned} \quad (2)$$

За гранични условия: $V_{(0)}=V$; $V_{(l)}=V_{(CD)}$; $F_{(0)}=F$; $F_{(l)}=F_{(CD)}$ (фиг. 3), решението на уравнение (2), което описва динамиката на пасивния механичен четириполюсник, е от вида (Гензель, Заезный, 1952):

$$\begin{aligned} V &= (\cos \alpha l + jZ \sin \alpha l) V_{(0)}; \\ F &= (j(1/Z) \sin \alpha l + \cos \alpha l) F_{(0)} \end{aligned} \quad (3)$$

където: $\alpha = \omega(mn)^{1/2}$, а $Z = (n/m)^{1/2}$

Съгласно уравнение (3) характеристичните съпротивления на четириполюсника, които моделират един елемент (фиг. 2), са:

$$\begin{aligned} Z_{11} &= Z_{22} = \cos \alpha l; \quad Z_{12} = Z \sin \alpha l; \\ Z_{21} &= (1/Z) j \sin \alpha l \end{aligned} \quad (4)$$

На основата на електромеханичните аналогии и на еквивалентните симетрични Т-схеми и П-схеми (Златев, 1964), всеки един елементарен участък на механичната еквивалентна схема с равномерно разпределени параметри (фиг. 2) може да се моделира със следните коефициенти на симетрия:

$$A = D = 1 + Z_{II}/Z_T; \quad B = 1 + Z_{II}/2Z_T;$$

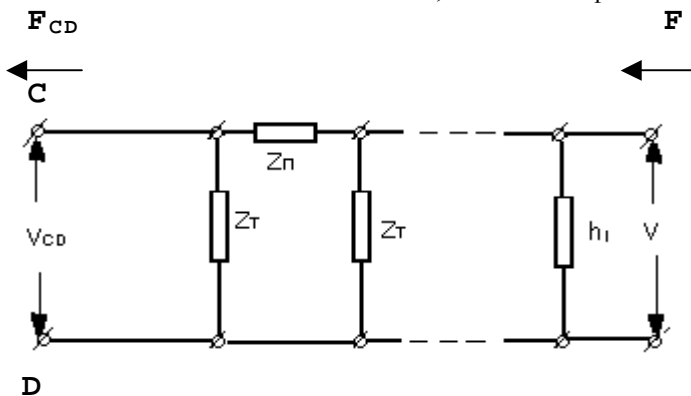
$$C = 2/Z_T \text{ - за Т-схема;}$$

$$A = D = 1 + Z_{II}/Z_T; \quad B = Z_{II}; \quad (5)$$

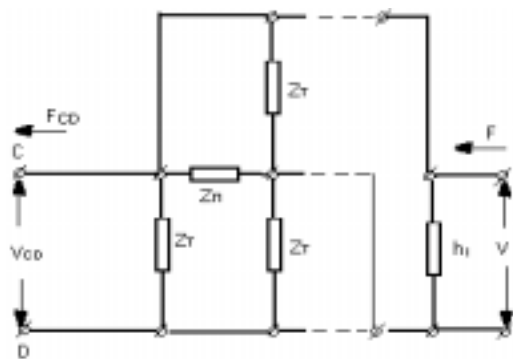
$$C = Z_{II}/Z_T [(Z_{II} + 2Z_T)/(Z_{II}Z_T)] \text{ - за П-схема;}$$

където: $Z_{II} = Z \sin \alpha l$, а $Z_T = Z/j \operatorname{tg} \alpha l$

Всеки един елементарен участък на пиезокерамичната акустична антена (фиг. 2) може да се моделира с еквивалентна П-схема, показана на фиг. 4.



Фиг. 4. Еквивалентна П-схема на елементарен участък от механичната част на модела на акустичната пиезокерамична антена



Фиг. 5. Еквивалентна Т-схема на елементарен участък от механичната част на модела на акустичната пиезокерамична антена

Моделът на елементарен участък на пиезокерамичната акустична антена (фиг. 2), представен с T -схема, е показан на фиг. 5.

Изводи и коментари

Двете градивни съпротивления Z_{II} и Z_T (фиг. 4 и фиг. 5) носят белега на механичните характеристики на пиезокерамиката (m – приведена маса на единица дължина, и n – приведена еластичност на единица дължина).

Прави впечатление, че всяко нарастване води до появата на съпротивлението Z_T (фиг. 4 и фиг. 5), паралелно включено на еквивалентното съпротивление h_1 от механичната част на обобщения модел на акустичната пиезокерамична антена. Като отчетем, че $\alpha = \omega(mn)^{1/2}$ и $Z = (n/m)^{1/2}$, а

$$\operatorname{tg} \alpha l = \sum_{k=1}^{\infty} 8(\alpha l)^2 / [\pi^2 (2k-1)^2 - 4(\alpha l)^2]$$

еквивалентното съпротивление Z_T може да се представи като:

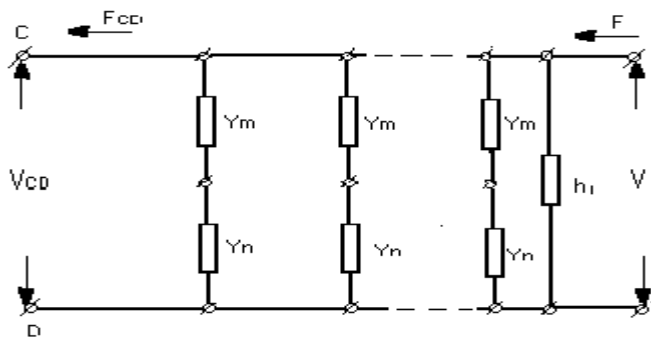
$$Z_T = \sum_{k=1}^{\infty} (1/j\omega m_k) + (1/j\omega n_k) = \sum_{k=1}^{\infty} (Y_{m_k} + Y_{n_k}),$$

където: $m_k = 4m/\pi^2 (2k-1)^2$; $n_k = nl/4k$ като Y_{m_k} и Y_{n_k} са съответните проводимости.

За $k = 1$ то $m_1 = 4m/\pi^2$, $n_1 = nl/4$, а еквивалентното съпротивление Z_T приема вида:

$$Z_T = 1/j\omega(4m/\pi^2) + 1/j\omega(nl/4).$$

Тъй като $\alpha = \omega(mn)^{1/2} \ll 1$, приемаме, че $\sin \alpha l \rightarrow 0$, респективно $Z_{II} = Z \cdot \sin \alpha l \rightarrow 0$ моделите на механичната част на акустичната пиезокерамична антена, показани на фиг. 4 и фиг. 5, могат да се представят чрез обобщения модел, показан на фиг. 6.



Фиг. 6. Модел на механичната част на акустична пиезокерамична антена

Моделът на механичната част на акустичната пиезокерамична антена от фиг. 6 притежава определена гъвкавост и универсалност. Всеки един елементарен участък от механичната система с равномерно разпределени параметри (фиг. 2) може да се моделира от две последователно свързани механични съпротивления m_k и n_k , които са функция на приведената маса m и приведената еластичност n . Моделът, пока-

зан на фиг. 6, е добра основа за проектирането на акустични пиезокерамични антени и позволява постигането на желаните механични характеристики. Не по-малка е и актуалността на модела при сравнителни анализи, свързани с оценка на влиянието на магнитните, електричните и радиоактивните полета върху механичните характеристики на хидроакустичните антени.

REFERENCES

- А т а н а с о в, А. А. 1998. Метод за моделиране на акустичен канал с пасивни R, L и C елементи. С. Океанология, том 2, 209-214.
- А т а н а с о в, А. А. 2001. Обобщен модел на твърда пиезокерамична схема. С. Океанология, том 3, 190-193.
- З л а т е в, М. П. 1964. Основи на електротехниката. С. Техника, 149-153.
- К а м п, Л. 1972. Подводная акустика. М. Мир. 147-159.
- Г е н д з е л ь, Г., М. З а е з н ы й. 1952. Основы акустики. М. Морской транспорт, 385.
- Х а р к е в и ч, А. А. 1973. Теория электроакустических преобразователей. М. Наука. 33-102.
- А l b e r g s, A. 1968. Under Water Acoustics. New York, Plenum Press. 8-14.
- M a s o n, W. P. 1964. Methods and devices. New York. Academic Press, vol. 1, part B. 309-316.
- N e w e l l, W. 1965. Ultrasonic in integrated electronics. Proc. of IEE, v. 55. 241.

Постъпила на 17.01.2003 г.

About shaping of hidroacoustical piezoceramic antennas

Atanas Atanasov

(Summary)

A model of the mechanic part of a hidroacoustical antenna is built on the base of the transformation of the model of the mechanic part of the summarized equivalent scheme into a mechanic system with uniform distributed parameters and also on the base of electrical – mechanical analogies.

The symmetry coefficients and the constructive Z_p and Z_T of the mechanical resistances of the P- schemes and T- schemes in the base of the model are determined.

An uniwersal and completed model of the mechanic part is presented. It is a general equivalent scheme presented by the mechanical conductiviti (Y_m and Y_n) of an elementary part of the mechanical system which have uniform distributed parameters.