

ՏՏԴ 53 +534.2

Ֆիզիկա + Տատանումների տարածում
Գործընթացներ ճայնային դաշտում

**ՊԱՐԲԵՐԱԿԱՆ ՏԱՏԱՆՈՒՄՆԵՐԻ ԳՈՅՈՒԹՅԱՆ ՊԱՅՄԱՆՆԵՐԸ
ՈՒՆԱԿԱՅԻՆ ԿԱՊՈՎ ԷԼԵԿՏՐԱՄԵԽԱՆԻԿԱԿԱՆ ՀԱՄԱԿԱՐԳՈՒՄ
Մելս ՄԻՆԱՍՅԱՆ, Աննա ՄԻՆԱՍՅԱՆ, Արտակ ՄԿՐՏՉՅԱՆ**

Բանալի բառեր. ունակա-ռեզիստիվային շղթա, ունակության մեխանիկական մոդուլյացիա, կապի կոնդենսատորի բևեռացում, բացասական մեխանիկական դիմադրություն, մեխանիկական տատանումների ռեգեներացում

Ключевые слова: резистивно-емкостная цепь, механическая модуляция емкости, поляризация конденсатора связи, отрицательное механическое сопротивление, регенерация механических колебаний.

Keywords: resistive-capacitive circuit, mechanical capacity modulation, polarization coupling capacitor, negative mechanical resistance, regeneration of mechanical vibrations.

М. Минасян, А.Минасян, А.Мкртчян

**Условия существования периодических колебаний в электромеханической
системе с емкостной связью**

Найдено пороговое соотношение для амплитуды возбуждающего сигнала, при которой достигается эффект регенерации механических колебаний в электромеханической системе.

Предполагается наличие в системе некоторого конденсатора электромеханической связи, одна из обкладок которого подвижна. Колебания последней синхронизированы с переменным током зарядки, причем максимумы тока и смещения достигаются одновременно. Этим достигнута оптимальность в фазовой согласованности, обеспечивающая максимум регенерации при заданных амплитуде возбуждения и средней напряженности поля в конденсаторе.

M.Minasyan, A.Minasyan, A. Mkrtchyan

**Conditions for the Existence of Periodic Oscillations in the
Electromechanical System with Capacitive Coupling.**

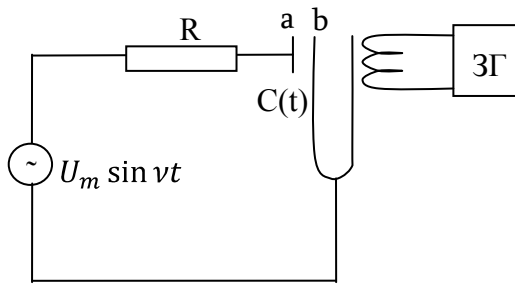
A threshold ratio for the amplitude of the excitation signal which produces a regeneration effect of mechanical vibrations in the electro-mechanical system has been found.

It is assumed that the system has some electromechanical coupling capacitor, one plate of which is movable. The oscillations of the plate are synchronized with the AC charge, and both the maximum current and the maximum displacement are reached at the same time. Thus, optimality in the phase consistency is achieved, ensuring the maximum regeneration for the given excitation amplitude and the average intensity of the field in the capacitor.

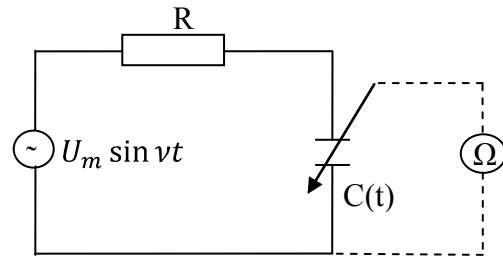
Դիտարկվել է RC-տիպի շղթայում ունակության մեխանիկական մոդուլյացումով ապահովվող էլեկտրա-մեխանիկական փոխազդեցության դեպք, երբ կապի կոնդենսատորի շրջադիրներից մեկի առաձգական տատանումները կարող են ռեգեներացվել թույլ փոփոխական հոսանքի ռեզոնանսային ներգործությամբ: Կոնդենսատորը բևեռացված է ավելի մեծ լարումով, քան թույլատրվում է լարման փոփոխական բաղադրիչի համար: Մեխանիկական տատանումները կոնդենսատորում սինխրոնիզացվում են փոփոխական հոսանքի հետ: Օպտիմալ է, երբ դրանց մաքսիմումների ժամանակապահերը համատեղված են:

Ուսումնասիրվում է փոփոխական հոսանքի RC-տիպի շղթայում ունակության մոդուլյացիա իրականացնող մեխանիկական տատանակ: Նրա ստացիոնար պարբերական ռեժիմը ապահովվում է՝ շնորհիվ կոնդենսատորում փոփոխական բևեռացումները գերազանցող ստատիկ բաղադրիչի ներդրման:

Հայտնի է ունակային կապով էլեկտրամեխանիկական համակարգի մեջ մեխանիկական տատանակի ինքնազրգոման պայմաններին վերաբերող [1] աշխատանքը, ըստ որի՝ բարձրհաճախային (ν) աղբյուրից միջինում որոշ $p_0 > 0$ հզորություն է փոխանցվում մեխանիկականին, քանի դեռ վերջինս ցածր Ω հաճախությամբ փոխում է էլեկտրամեխանիկական կապի օղակի (հարթ կոնդենսատորի) C ունակությունը (նկ.1, նկ.2):



Նկ.1.



Նկ.2

Ակնթարթային ունակության համար տեղի է ունենում

$$C(t) = C_0(1 + \varepsilon \sin \Omega t)^{-1}, \quad (1)$$

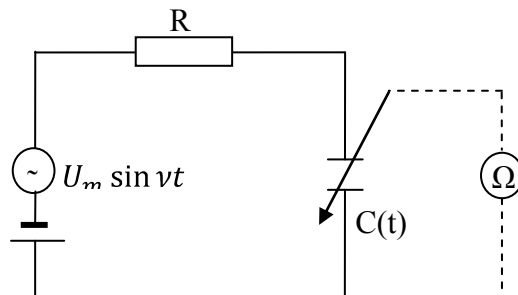
$$\text{իսկ փոխանցվող հզորության համար՝ } p_0 = 0.024 \frac{\varepsilon^2 U_m^2 \Omega^2}{R v^2}. \quad (1')$$

Այստեղ $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$, իսկ l_0 -ն բնութագրում է նկ.1-ի ab միջակայքի լայնությունը: Նրանով է պայմանավորվում ունակության հավասարակշիռ C_0 մեծությունը:

Եթե թույլատրենք $\varepsilon \ll 1$, $\Omega \ll v$ և գնահատենք (1') հզորության հարաբերությունը $0.5 U_m^2 / R$ գործող արժեքին, ապա կստանանք պակաս, քան 10^{-6} կարգի մեծությունն է:

Այդ կապակցությամբ՝ ստորև վերանայվում է [1]-ում քննարկված համակարգը, $\Omega \ll v$ (2) պայմանը փոխարինվում է ռեզոնանսայինով՝ $v = \Omega$, ինչպես նաև ազդանշանային աղբյուրի հետ հաջորդական միացմամբ մտցվում է հաստատուն հոսանքի աղբյուր: Վերջինիս օգնությամբ բևեռացվում է կապի C կոնդենսատորը, և ապահովվում մեխանիկական տատանումների ռեզոնանսային, չնայած $v = \Omega$ և $RC_0 \gg 2\pi/\Omega$ ռեժիմը նման է ֆեմտոստացման առումով [1]-ում մերժվում է:

Դիցուք, էլեկտրամեխանիկական կապով նոր շղթայում, ըստ նկ.3-ի սխեմայի, արդեն առկա է $U_0 \gg U_m$ (2') լարում ապահովող հաստատուն հոսանքի աղբյուր (օրինակ՝ գալվանական էլեմենտ): Նման դեպքում C_0 կոնդենսատորի էլեկտրական դաշտը կունենա և կապահպանի որոշակի կողմնորոշվածություն: Հաստատուն աղբյուրի ստեղծած դաշտի սկզբնական E_0 լարվածությունը կպայմանավորի էլեկտրական դաշտի միջին արժեքը (որը հավասար չէ գրոյի): Այդ կապակցությամբ կարելի է ակնկալել, որ էլեկտրական ազդանշանների v հաճախականությամբ աղբյուրի և C ունակությանը մոդուլացնող մեխանիկական աղբյուրի համատեղ ներգործության հանդեպ կարող է նորից ձևավորվել ռեզոնանսային հատկանիշի բերող արձագանք՝ չնայած սարքում գործող երկու հաճախականությունների համընկմանը ($v \rightarrow \Omega$): Այս վերջինը [1]-ի պարագայում բերում է $p_0 = 0$:



Նկ.3

Կոնդենսատորի շրջադիրների մեխանիկական տեղաշարժման աշխատանքի որակական դիտարկումը համոզում է, որ $p_0 = 0$ արդյունքը իսկապես տեղի ունի, քանի որ էլեկտրական դաշտի կողմից, առանց հաստատուն հոսանքի աղբյուրի մասնակցության, կատարված աշխատանքները մի պարբերության մեջ հավասար չափով դրական են և բացասական՝ սինուսոիդալ դաշտի ակնհայտ

համաչափության պատճառով: Մեր նշանակած (2') պայմանը հենց կոչված է խախտելու տատանման կիսապարբերություններում կատարվող աշխատանքների հավասարությունը:

Անցնենք հավասարումների ձևակերպմանը: Էլեկտրական կողմում գրանցենք՝

$$dU_{\mathcal{U}} = \frac{dq}{C_0} + E_0 dl + R \frac{dq}{dt}: \quad (3)$$

Նրանում $E_0 = \frac{q_0/S}{\varepsilon_0}$, իսկ dl -ը կոնդենսատորի ճեղքի փոփոխությունն է:

Կոնդենսատորի վրա արտաքինից ներգործող dF ուժը հավասարակշռվում է առաձգական k_0 կոշտություն դրսևորող, ինչպես նաև կոլոնյան ձգողություն պայմանավորող հակազդեցություններով: Դրա հետ կապված՝ մեխանիկական կողմում գրանցում ենք՝

$$dF = k_0 dl + E_0 dq: \quad (4)$$

Այսպիսով՝ ստացվում է Էլեկտրական և մեխանիկական մուտքերը միավորող հավասարումների համակարգ՝

$$\begin{cases} dU_{\mathcal{U}} = \frac{dq}{C_0} + E_0 dl + Ri, \\ dF = k_0 dl + E_0 dq: \end{cases}$$

Համակարգում առկա $1/C_0$, k_0 , E_0 գործակիցներով իրականացվող կապերը կարող են պահպանվել նույնությամբ, եթե անցնելու լինենք կոնդենսատորի շրջադիրների հեռավորության և նրանում կուտակված լիցքերի վերջավոր փոփոխություններին այն պայմանով, որ փոփոխությունները փոքր են: Էլեկտրական կողմում մուտքային լարման փոքր փոփոխությունները մենք նշանակում ենք $U_{\mathcal{U}}$ ՝ նույնացնելով օգտակար ազդանշանի հետ: Մեխանիկական կողմում ուժի փոփոխական բաղադրիչի համար մտցնում ենք $f_{\sim}$ նշանակումը, հոսանքի փոփոխական բաղադրիչի համար՝ $i_{\sim}$, լիցքի քանակի փոքր փոփոխության համար՝ $q_{\sim}$, շրջադիրների հեռավորության փոքր փոփոխության համար՝ $l_{\sim}$: Ուրեմն կգրանցվի՝

$$\begin{cases} i_{\sim} = \frac{U_{\mathcal{U}}}{R} - \frac{q_{\sim}}{RC_0} - \left(\frac{E_0}{R}\right) l_{\sim}, \\ f_{\sim} = k_0 l_{\sim} + E_0 q_{\sim}: \end{cases} \quad (3') \quad (4')$$

Հաջորդ ձևափոխություններում նպատակահարմար է $\tilde{p} = d/dt$ դիֆերենցիալ օպերատորի գործածումը: Օրինակ՝ կհամարենք, որ $i_{\sim} = \tilde{p} q_{\sim}$, ինչպես նաև՝ $v_{\sim} = \tilde{p} l_{\sim}$: Դա հնարավորություն է տալիս (3')-ից ստանալու՝

$$q_{\sim} = \frac{C_0(U_{\mathcal{U}} - E_0 l_{\sim})}{1 + \tilde{p} RC_0}: \quad (5)$$

Իսկապես,

$$\begin{aligned} \tilde{p} q_{\sim} &= \frac{U_{\mathcal{U}}}{R} - \frac{q_{\sim}}{RC_0} - \left(\frac{E_0}{R}\right) l_{\sim}, & q_{\sim} + \frac{q_{\sim}}{\tilde{p} RC_0} &= \frac{U_{\mathcal{U}}}{\tilde{p} R} - \frac{E_0}{\tilde{p} R} l_{\sim}, \\ q_{\sim} \left(1 + \frac{1}{\tilde{p} RC_0}\right) &= \frac{1}{\tilde{p}} \left(\frac{U_{\mathcal{U}}}{R} - \frac{E_0}{R} l_{\sim}\right) = \frac{1}{\tilde{p} R} (U_{\mathcal{U}} - E_0 l_{\sim}), \\ q_{\sim} &= \frac{U_{\mathcal{U}} - E_0 l_{\sim}}{\tilde{p} R \left(1 + \frac{1}{\tilde{p} RC_0}\right)} = \frac{U_{\mathcal{U}} - E_0 l_{\sim}}{\tilde{p} R + \frac{1}{C_0}}, \end{aligned}$$

ինչը համընկնում է (5)-ի հետ:

Համանման մոտեցումով կփոխակերպվի (4')-ը: Կստանանք՝

$$f_{\sim} = k_0 l_{\sim} + E_0 C_0 \frac{U_{\mathcal{U}} - E_0 l_{\sim}}{1 + \tilde{p} RC_0}: \quad (6)$$

Քանի որ մեխանիկական մուտքի կողմում առկա է համակարգի հանդեպ (6) տեսքի փոփոխական ուժային ներգործություն, ապա գոյանում է $\frac{f_{\sim}}{v_{\sim}}$ տեսքի հարաբերություն: Այն իրենից ներկայացնում է մեխանիկական մուտքային դիմադրություն՝

$$\begin{aligned} \frac{f_{\sim}}{v_{\sim}} &= \frac{k_0}{\tilde{p}} + \frac{E_0 C_0 (U_{\sim} - E_0 l_{\sim})}{\tilde{v}(1 + \tilde{p} R C_0)} = \frac{k_0}{\tilde{p}} + \frac{E_0 C_0 (U_{\sim} - E_0 l_{\sim})}{\tilde{p} l_{\sim} (1 + \tilde{p} R C_0)} = \\ &= \frac{k_0}{\tilde{p}} - \frac{E_0^2 C_0}{\tilde{p} (1 + \tilde{p} R C_0)} + \frac{E_0 C_0 U_{\sim}}{\tilde{p} (1 + \tilde{p} R C_0) l_{\sim}} : \end{aligned} \quad (7)$$

Ինչպես հայտնի է, $\tilde{p}$ օպերատորի կիրառումը ներդաշնակ ֆունկցիայի հանդեպ բերում է $j\omega$ արտադրիչի առաջացմանը, այսինքն՝ $\tilde{p}$ օպերատորը ուղղակի փոխարինվում է $j\omega$ -ով: Օգտվելով դրանից և նկատի ունենալով $U_{\sim}$ և $f_{\sim}$ մեծությունների սինուսոիդալ բնույթը՝ $U_{\sim} = U_m \sin \nu t = \operatorname{Im}(U_m e^{j\nu t})$ և $f_{\sim} = f_m \sin(\Omega t + \varphi_0)$ ՝ կատանանք մուտքային մեխանիկական դիմադրության (իմպեդանսի) հետևյալ տեսքը՝

$$\frac{f_{\sim}}{v_{\sim}} = \mathcal{R}(\omega)|_{\omega=\nu=\Omega} = \frac{k_0}{j\omega} - \frac{E_0^2 C_0 / j\omega}{1 + j\omega R C_0} + \frac{E_0 C_0 / j\omega}{1 + j\omega R C_0} \frac{U_{\sim}}{l_{\sim}} : \quad (8)$$

Ինչպես ընդունված է կոմպլեքս լայնությունների մեթոդում, կարելի է (8)-ի մեջ փոխակերպել $\frac{U_{\sim}}{l_{\sim}}$ հարաբերությունը՝ հաշվի առնելով, որ $U_{\sim}(t)$ և $l(t)$ մեծությունները ունեն միևնույն հաճախականություն: Բացի դրանից, կարելի է առանձնացնել $\mathcal{R}(\omega)$ իմպեդանսի ակտիվ և ռեակտիվ բաղադրիչները՝ (8)-ում ազատվելով կոմպլեքս հայտարարից: Հաջորդաբար կունենանք՝

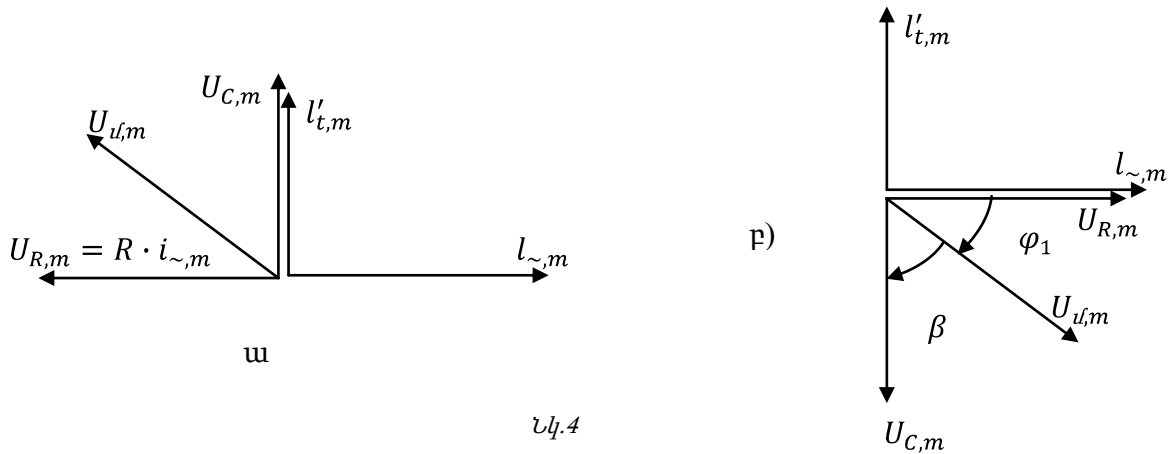
$$\begin{aligned} \frac{U_{\sim}}{l_{\sim}} &= \frac{\dot{U}_{\sim m}}{\dot{l}_m} = \frac{U_{\sim m}}{l_m} e^{-j\varphi_1}, \\ \text{և} \quad \mathcal{R}(\omega) &= \frac{k_0}{j\omega} - E_0^2 \frac{C_0 / j\omega}{1 + j\omega R C_0} + E_0 \frac{C_0 / j\omega}{1 + j\omega R C_0} \frac{U_{\sim m}}{l_m} e^{-j\varphi_1} = \\ &= \frac{k_0}{j\omega} - E_0^2 \frac{j\omega (1 - j\omega R C_0)}{1 + \omega^2 R^2 C_0^2} + E_0 \frac{j\omega (1 - j\omega R C_0)}{1 + \omega^2 R^2 C_0^2} \frac{U_{\sim m}}{l_m} e^{-j\varphi_1} : \end{aligned} \quad (8')$$

Եթե մտցնենք նաև լրացուցիչ β անկյուն՝ պահանջելով, որ տեղի ունենա $\operatorname{tg} \beta = \omega R C_0$, ապա կգրանցվի՝

$$\begin{aligned} \mathcal{R}(\omega) &= \frac{1}{j\omega} \left[k_0 - E_0^2 \frac{C_0}{1 + (\omega R C_0)^2} \right] + \frac{E_0^2 R C_0^2}{1 + (\omega R C_0)^2} - \frac{E_0 C_0 U_{\sim m}}{\omega l_m} \frac{\sin(\varphi_1 + \beta)}{\sqrt{1 + (\omega R C_0)^2}} \\ &\quad + \frac{E_0 C_0 U_{\sim m}}{j\omega l_m} \frac{\cos(\varphi_1 + \beta)}{\sqrt{1 + (\omega R C_0)^2}} : \end{aligned} \quad (9)$$

Կարելի է նկատել, որ $\sin(\varphi_1 + \beta) = 1$ դեպքում ներմուծվում է առավելագույն բացասական դիմադրություն՝ ընձեռնելով ընդհանուր իմպեդանսի ակտիվ մասի նշանափոխության հնարավորություն: Տեսնում ենք նաև, որ ի սկզբանե առկա ակտիվ կորուստները կապված են շղթայի R դիմադրության հետ: Վերջինիս աճի հետ դրանք նվազում են, սակայն չեն կարող բերվել զրոյի, քանի որ $R \rightarrow \infty$ սահմանում կմերժվի լիցքի ցանկացած տեղափոխություն:

Վերջավոր R -ի և $\tau = R C_0 \gg 2\pi/\Omega$ ժամանակային հաստատունի պայմանում RC- շղթա ներմուծվող էլեկտրական իմպեդանսի մեջ բացասական ակտիվ բաղադրիչը ստացվում է առավելագույնը, եթե $U_c(t)$ -ի և $l'_t = v(t)$ -ի փուլերը նույնն են:



Նկ.4-ով տրված ա) և բ) կառուցումները փուլային առումով ապահովում են համապատասխանաբար էլեկտրական և մեխանիկական բացասական դիմադրությունների ներմուծումը՝ նրանց մաքսիմումի ստացումով: Վեկտորային դիագրամները տարբերվում են հատկապես կապված այն բանի հետ, որ անդրադարձվում է $U_{L,m}$ վեկտորը (առաջ կամ ետ է անցնում π ռադիանով): Մեխանիկական տատանումների ամենաարդյունավետ ռեզոնանսային բերող դեպքում $U_{L,m}$ -ի ազդանշանային աղբյուրով պայմանավորվող հոսանքը պետք է հասցվի իր մաքսիմումին, երբ մոդուլացվող ունակությունը դառնում է նվազագույնը: Այդ պահին $l(t)$ -ն հասնում է իր մաքսիմումին: Այդպես կարգավորված համակարգում $U_R(t)$ և $l_{L,m}(t)$ պարբերական ֆունկցիաները սինֆազ են:

Անդրադառնալով (9) իմպենդանսի մյուս (ռեակտիվ) բաղադրիչներին՝ նկատում ենք, որ կապի կոնդենսատորում դրսևորվող դեֆորմացիոն կոշտությունը իզոլիցքային պայմաններում կլինի ամենաբարձր՝ հավասար k_0 -ին: Իրոք, $RC_0 \gg 2\pi/\Omega$ պայմանը կարող է բերել մի ռեժիմի, երբ կոնդենսատորի տատանվող շրջադրի լիցքը գործնականում չի հասցնում փոփոխվել: Ճիշտ հակառակ պարագայում, երբ տեղի ունի $RC_0 \ll 2\pi/\Omega$, կոշտությունը նվազում է՝ զիջելով առաջինին մոտավորապես $E_0 q_0 / l_0$ -ի չափով: Այս գնահատումները, իհարկե, պայմանական են: Հաշվի չի առնված $U_{L,m}$ ազդանշանի ազդեցությունը ևս: Պարզվում է, որ արված գնահատումները, այնուամենայնիվ, կմնան ուժի մեջ, եթե փուլային կապերում ձեռք է բերված ռեզոնանսային առավելագույնս նպաստող ռեժիմը, այն է՝ $\varphi_1 + \beta = \pi/2$, $\sin(\varphi_1 + \beta) = 1$: Դա ապահովում է մեխանիկական իմպենդանսի ռեակտիվ բաղադրիչի անկախությունը $U_{L,m}$ -ից՝ $\cos(\varphi_1 + \beta) = 0$ պատճառով:

Գործնականում հավանական է դառնում, որ մեխանիկական կողմում, այնուամենայնիվ, կներմուծվի որոշ հավելյալ (դրական կամ բացասական) ռեակտիվություն՝ իր մոդուլով համեմատական ազդանշանային $U_{L,m}$ լայնույթին և կոնդենսատորի դաշտի միջին E_0 լարվածությամբ: Նույնպիսի համեմատականություն տեղի ունի նաև ներմուծվող ակտիվ բաղադրիչի մոդուլի համար, և կարևոր է դառնում պարզորոշել $U_{L,m}$ -ին ներկայացվող շեմային պահանջը՝ ռեզոնանսային ակնկալիքի և միաժամանակ (2')-ին բավարարելու իմաստով:

Պահանջենք, որ (9)-ում տեղի ունենա՝

$$\frac{E_0^2 RC_0^2}{1 + (\omega RC_0)^2} - \frac{E_0 C_0 U_{L,m}}{\omega l_{L,m}} \frac{1}{\sqrt{1 + (\omega RC_0)^2}} \leq 0,$$

իսկ $RC_0 \gg 2\pi/\Omega$ դեպքում պարզապես ունենանք $\frac{E_0}{\Omega^2 R} \left[E_0 - \frac{U_{L,m}}{l_{L,m}} \right] \leq 0$:

Այստեղից կստանանք՝

$$\frac{U_0}{l_0} - \frac{U_{L,m}}{l_{L,m}} \leq 0, \quad \frac{U_{L,m}}{U_0} \geq \frac{l_{L,m}}{l_0}, \quad U_{L,m} \geq E_0 l_{L,m} : \quad (10)$$

Եթե ունենք 10 Վ-ի կարգի U_0 և $l_0 \approx 1$ մմ, ապա կստանանք $E_0 \sim 10^4$ Վ/մ: Ենթադրենք՝ տատանումների լայնույթը $l_{\sim, m} \sim 1 \div 10$ մմ է և, ուրեմն, ճեղքի հարաբերական փոփոխությունը կոնդենսատորում չի գերազանցում 1%-ը: Նման դեպքում ռեզոնանսային սկզբնավորումը ապահովող մուտքային ազդանշանի լայնույթն է $U_{\sim, m} = 0,1$ Վ: Այսպիսի լարում կարելի է ապահովել տվիչի արձագանքի համապատասխան ուժեղացումով, երբ նախօրոք վերադարձ կապ է հաստատված ունակային փոխակերպիչից դեպի մուտքային ազդանշանի աղբյուրը՝ միջնորդված ուժեղացման և փուլի պտտման հանգույցներով: Դա ընդունված մոտեցում է և գործածվում է կայուն հաճախությունների ստացման աշխատանքներում:

Հաճախականությունների կայունացման խնդիրը և դրանում տատանողական մեխանիկական համակարգերի օգտագործումը շարունակական մշակման մեջ են տեխնիկայում [2] և գիտական լաբորատորիաներում [3,4]: Դա կապված է հատկապես այն բանի հետ, որ մեխանիկական տատանակներում սեփական հաճախականությունների կախվածությունը արտաքին պայմաններից սովորաբար թույլ է, քան էլեկտրականներում, իսկ դա շահեկան նախադրյալ է:

Գրականություն

1. Никифоров А.Н., Электромеханическая параметрическая система с переменной емкостью, Известия высших учебных заведений, Физика, N9, 1970, с. 64-67.
2. Джонсон Р.А., Механические фильтры в электронике, М., Мир, 1986, с.113.
3. Слабкий Л.И. Методы и приборы предельных измерений в экспериментальной физике. М., Наука, 1973, с.167.
4. Брагинский В.Б., Митрофанов В.П., Панов В.И., Системы с малой диссипацией. М., Наука, 1981, с.128.

Տեղեկություններ հեղինակների մասին

Մելիս Մինասյան – ֆիզ.մաթ. գիտ. թեկնածու, ԱրՊՀ ընդհանուր և կիրառական ֆիզիկայի ամբիոնի դոցենտ

E-mail: mels40@mail.ru

Աննա Մինասյան – ԱրՊՀ ընդհանուր և կիրառական ֆիզիկայի ամբիոն

E-mail: anshog@mail.ru

Արտակ Մկրտչյան – ԱրՊՀ ընդհանուր և կիրառական ֆիզիկայի ամբիոնի մագիստրանտ

E-mail: mkrtichyanartak@mail.ru

Հոդվածը տպագրության է ներառվում խմբագրական կոլեկիայի անդամ, ֆ.մ.գ. դ. Ա.Գ.Ալեքսանյանը