Borislav D. Donevsky; Drumi Dimitrov Bajnov

Исследование n-контурных LC—автогенераторов с нелинейным задающим контуром

Archivum Mathematicum, Vol. 8 (1972), No. 4, 179--185

Persistent URL: http://dml.cz/dmlcz/104777

ARCH. MATH., SCRIPTA FAC. SCI. NAT. UJEP BRUNENSIS, 4,
VIII: 179 — 185, 1972

ИССЛЕДОВАНИЕ n-КОНТУРНЫХ LC — АВТОГЕНЕРАТОРОВ С НЕЛИНЕЙНЫМ ЗАДАЮЩИМ КОНТУРОМ

Б. Д. Доневски, Д. Д. Байнов

(Поступило в редакцию 28-ого августа 1972 г.)

В последнее время емкость запертого $p-n$ перехода довольно широко стала применяться в качестве управляемой реактивности. Легкость управления величиной такой реактивности, широкий диапазон рабочих частот являются положительными свойствами емкости запертого $p-n$ перехода. Но при достаточно большой амплитуде колебаний высокой частоты (по сравнению с напряжением смещения рабочей точки) необходимо принимать во внимание нелинейный характер зависимости емкости зепертого $p-n$ перехода от мгновенной величины напряжения, действующего на него. Это вызывает ряд специфических особенностей в работе различных схем, где применяется эта емкость, и в этом числе в ламповых автогенераторах, где в качестве емкости задающего контура применена нелинейная емкость запертого $p-n$ перехода.

Анализу работы ламповых автогенераторов с линейным контуром посвящено большое количество работ как например [1], [2] и [3]. Настоящая работа выясняет особенности работы ламповых автогенераторов при использовании в качестве емкости задающего контура нелинейной емкости запертого $p-n$ перехода.

В результате анализа найдены условия существования устойчивого колебательного процесса в n-контурных ламповых LC-автогенераторах с нелинейными емкостями, включенными в его частотноопределяющие колебательные контуры.

Проанализируем работу лампового автогенератора с задающими контурами в цепи сетки и с индуктивной обратной связью (фиг. 1). Составим систему дифференциальных уравнений для этой схемы

$$L_K \frac{\mathrm{d}i_K}{\mathrm{d}t} + ч_K i_K + u_K = M_K \frac{\mathrm{d}i_a}{\mathrm{d}t} + p'_K \sin \omega_K t + l'_K \sin qt, \quad (\kappa = 1, 2, \ldots, n). \tag{1}$$

где: L_K — индуктивности, C_K — емкости, $ч_K$ — активные сопротивления контуров, M_K — взаимные индуктивности между контурами и катушками обратной связи.

Предполагаем, что емкости C_K являются функциями напряжений u_K вида

$$C_K = C_{K0} + C_{K1} u_K + C_{K2} u_K, \qquad (\kappa = 1,\ 2, \ldots, n) \tag{2}$$

и что ток в контуре зависит от напряжений следующим образом

(3) $$i_K = \frac{dq_K}{dt} = \frac{dq_K}{du_K}\frac{du_K}{dt} = C_K\frac{du_K}{dt},$$

(4) $$\frac{di_K}{dt} = (C_{K0} + C_{K1}u_K + C_{K2}u_K^2)\frac{d^2u_K}{dt^2} + (C_{K1} + 2C_{K2}u_K)\left(\frac{du_K}{dt}\right)^2.$$

Принимаем, что анодный ток имеет вид

(5) $$i_a = a_0 + a_1\sum_{\nu=1}^{n} u_\nu + a_3\left(\sum_{\nu=1}^{n} u_\nu\right)^3.$$

Используя (4) и (5), перепишем (1) следующим образом

$$L_K(C_{K0} + C_{K1}u_K + C_{K2}u_K^2)\frac{d^2u_K}{dt^2} + L_K(C_{K1} + 2C_{K2}u_K)\left(\frac{du_K}{dt}\right)^2 +$$

$$+ ч_K(C_{K0} + C_{K1}u_K + C_{K2}u_K^2)\frac{du_K}{dt} + u_K = M_K\left[a_1 + 3a_3\left(\sum_{\nu=1}^{n} u_\nu\right)^2\right]\sum_{\nu=1}^{n}\dot{u}_\nu +$$

(6) $$+ p'_K \sin\omega_K t + l'_K \sin qt, \qquad (K = 1, 2, \ldots, n).$$

Полагаем $\frac{1}{L_{K0}C_{K0}} = \omega_K^2$ и система (6) принимает вид

$$\ddot{u}_K + \omega_K^2 u_K = \omega_K^2 M_K\left[a_1 + 3a_3\left(\sum_{\nu=1}^{n} u_\nu\right)^2\right]\sum_{\nu=1}^{n}\dot{u}_\nu - \omega_K^2 L_K C_{K1}u_K\ddot{u}_K -$$

(7) $$- \omega_K^2 L_K C_{K2}u_K^2\ddot{u}_K - \omega_K^2 L_K C_{K1}\dot{u}_K^2 - 2\omega_K^2 L_K C_{K2}u_K\dot{u}_K^2 -$$

$$- \omega_K^2 ч_K C_{K0}\dot{u}_K - \omega_K^2 ч_K C_{K1}u_K\dot{u}_K - \omega_K^2 ч_K C_{K2}u_K^2\dot{u}_K +$$

$$+ \omega_K^2 p'_K \sin\omega_K t + \omega_K^2 l'_K \sin qt.$$

Предполагаем, что $ч_K, a_1, C_{K0}, C_{K1}, C_{K2}, p'_K$ и l'_K – малые величины. Полагаем

$$\begin{aligned} \omega_K^2 M_K a_1 &= \lambda b_K, & -\omega_K^2 ч_K C_{K1} &= \lambda^{3/2} h_K,\\ 3\omega_K^2 M_K a_3 &= d_K, & \omega_K^2 ч_K C_{K2} &= \lambda m_K,\\ -\omega_K^2 L_K C_{K1} &= \sqrt{\lambda}\, e_K, & \omega_K^2 p'_K &= \lambda^{3/2} p_K,\\ -\omega_K^2 L_K C_{K2} &= f_K, & \omega_K^2 l_K &= \sqrt{\lambda}\, l_K^*,\\ -\omega_K^2 ч_K C_{K0} &= \lambda g_K, \end{aligned}$$

где $\lambda > 0$ – малый параметр.

После подстановки $u_K = \sqrt{\lambda}\, x_K$ система (7) принимает вид

$$\ddot{x}_K + \omega_K^2 x_K = \lambda\left\{\left[b_K + d_K\left(\sum_{\nu=1}^{n} x_\nu\right)^2\right]\sum_{\nu=1}^{n}\dot{x}_\nu + (e_K + 2f_K x_K)\,\dot{x}_K^2 +\right.$$

(8) $$\left. + g_K\dot{x}_K + (e_K x_K + f_K x_K)\,\ddot{x}_K + p_K \sin\omega_K t\right\} +$$

$$+ \lambda^2(h_K x_K + m_K x_K^2)\,\dot{x}_K + l_K^* \sin qt, \qquad (K = 1, 2, \ldots, n).$$

Система (8) согласно [5] в первом приближении эквивалентна системе

$$\ddot{x}_K + \omega_K^2 x_K = \lambda F_K[t, x(t), \dot{x}(t), \lambda] + l_K^* \sin qt,$$

(9) $$(K = 1, 2, \ldots, n).$$

Здесь

$$F_K[t, x(t), \dot{x}(t), \lambda] = [b_K + d_K(\sum_{\nu=1}^{n} x_\nu)^2] \sum_{\nu=1}^{n} \dot{x}_\nu + (e_K + 2f_K x_K)\, \dot{x}_K^2 +$$
$$+ g_K \dot{x}_K + (e_K x_K + f_K x_K^2)(l_K^* \sin qt - \omega_K^2 x_K) + p_K \sin \omega_K t +$$
$$+ \lambda(h_K x_K + m_K x_K^2)\, \dot{x}_K, \qquad (K = 1, 2, \dots, n).$$

Предположим, что ω_1 и q ($\omega_1 \neq q$) являются целыми числами и что $\omega_p(p = 2, 3, \dots, n)$ – нецелые числа. Для порождающего решения выбираем частный интеграл порождающей системы (9)

$$x_1^{(0)} = A \cos \omega_1 t + \frac{B}{\omega_1} \sin \omega_1 t + l_1 \sin qt,$$
$$(10) \qquad x_p^{(0)} = l_p \sin qt, \qquad (p = 2, 3, \dots, n),$$
$$l_K = \frac{l_K^*}{\omega_K^2 - q^2}, \qquad (\kappa = 1, 2, \dots, n).$$

Согласно [6], для того чтобы система уравнений (9) имела периодическое периода 2π решение вида

$$(11) \qquad x_K(t) = x_K^{(0)}(t) + \mu x_K^{(1)}(t) + \dots$$

необходимо, чтобы параметры A и B являлись решением амплитудных уравнений

$$(12) \qquad Q(2\pi) = 0, \qquad \dot{Q}(2\pi) = 0,$$

где

$$Q(t) = \frac{1}{\omega_1} \int_0^t F_1[t_1, x^{(0)}(t_1), \dot{x}^{(0)}(t_1), 0] \sin\omega_1 (t - t_1)\, dt_1 .$$

Предполагаем, что система (12) допускает однократное решение $A = A_0$, $B = B_0$.

При наличии условий (12), достаточным условием для существования решения (11) является условие [6]

$$(13) \qquad \left.\frac{D[Q(2\pi), \dot{Q}(2\pi)]}{D[A, B]}\right|_{\substack{A=A_0 \\ B=B_0}} \neq 0$$

Достаточные условия асимптотической устойчивости решения (11) с основными амплитудами A_0 и B_0 имеют вид [6]

$$(14) \qquad \left.\frac{D[Q(2\pi), \dot{Q}(2\pi)]}{D[A, B]}\right|_{\substack{A=A_0 \\ B=B_0}} > 0, \left.\left\{\frac{\partial Q(2\pi)}{\partial A} + \frac{\partial \dot{Q}(2\pi)}{\partial B}\right\}\right|_{\substack{A=A_0 \\ B=B_0}} < 0,$$
$$\int_0^{2\pi} \left(\frac{\partial F_p}{\partial \dot{x}_p(t)}\right)_0 dt < 0, \qquad (p = 2, 3, \dots, n).$$

Значок „0“ у скобок означает, что в производные от функции F_p вместо $x_p(t)$, $\dot{x}_p(t)$, λ, следует подставить $x_p^{(0)}(t)$, $\dot{x}_p^{(0)}(t)$, 0.

Применим результаты работы [6] для нахождения условий существования и асимтотической устойчивости 2π периодического решения вида (11) системы (9).

Рассмотрим следующие случаи:

1. Предположим, что $\omega_1 \neq 2^{\pm 1}q$, $\omega_1 \neq 3^{\pm 1}q$. Амплитудные уравнения (12)для этого случая имеют вид

$$
\begin{aligned}
&f_1\omega_1^4\pi A^3 - f_1\omega_1^2\pi A^2 B - [f_1 l_1 \omega_1^2\pi(4l_1^* - 6l_1\omega_1^2 + 4q^2 l_1)]\, A - \\
&\quad - f_1\pi B^3 - 3f_1\omega_1^2\pi AB^2 - [\omega_1^2\pi(3g_1 + 4b_1 + 6f_1 l_1^2) - \\
&\quad\quad - 4f_1 l_1\pi(l_1^* + l_1 q^2)]\, B = 0, \\
&f_1\omega_1^4\pi A^3 - d_1\omega_1^2\pi BA^2 - f_1 l_1\omega_1^2\pi(4l_1^* - 6l_1\omega_1^2 + 4l_1 q^2)\, A - \\
&\quad - d_1\pi B^3 - 3f_1\omega_1^2\pi AB^2 - \omega_1^2\pi(3g_1 + 4B_1 + 2d_1E^2)\, B = 0.
\end{aligned}
\tag{15}
$$

Достаточные условия асимптотической устойчивости решения (11) с основными амплитудами $A = A_1$, $B = B_1$, являющимися однократным решением системы (15) имеют вид

$$
\begin{aligned}
&[4\omega_1^2\pi(b_1 + g_1) + d_1\pi(3A_1^2\omega_1^2 + B_1 + 2E^2\omega_1^2 + 2f_1\omega_1^2\pi A_1 B_1] \times \\
&\times [6f_1\omega_1^2\pi A_1 B_1 + \omega_1^2\pi(3g_1 + 4b_1) + d_1\pi(3B_1^2 + 2\omega_1 E^2 + \omega_1^2 A_1^2)] - \\
&- [2d_1\pi A_1 B_1 + f_1\pi(6l_1^2\omega_1 - 4l_1 l_1^* + \omega_1^2 A_1^2 + 3B_1^2 - 4q^2 l_1^2)] \times \\
&\times [f_1\omega_1^2\pi(4l_1 l_1^* - 6l_1^2\omega_1^2 - 3\omega_1^2 A_1 + 4q^2 l_1^2 + 3B_1^2) + \\
&+ 2d_1 A_1 B_1\omega_1^2\pi] > 0, \\
&\omega_1^2\pi(8b_1 + 7g_1 + 8f_1 A_1 B_1) + 4d_1\pi[\omega_1^2(A_1^2 + E^2) + B_1^2] < 0, \\
&2(b_p + g_p) + d_p\left(1 + A_1^2 + \frac{B_1^2}{\omega_1^2}\right) < 0, \\
&(p = 2, 3, \ldots, n).
\end{aligned}
\tag{16}
$$

2. Предположим, что $\omega_1 = 2q$. Амплитудные уравнения (12) для этого случая имеют вид

$$
\begin{aligned}
&d_1\omega_1^2\pi A^3 + f_1\omega_1^2\pi A^2 B + \omega_1^2\pi(4b_1 + 4q_1 + 2d_1E^2)\, A + \\
&+ f_1\pi B^3 + d_1\pi AB^2 + f_1 l_1\pi(6l_1\omega_1 - 4l_1^* - 4q^2 l_1)\, B + \\
&+ 4p_1\omega_1^2\pi = 0, \\
&f_1\omega_1^4\pi A^3 - d_1\omega_1^2\pi A^2 B - \omega_1^2\pi f_1 l_1(4l_1^* - 6l_1\omega_1^2 + 4q^2 l_1)\, A - \\
&- d_1\pi B^3 - 3f_1\omega_1^2\pi AB^2 - \omega_1\pi(3g_1 - 4b_1 + 2d_1E^2)\, B - \\
&- 2\omega_1^2 e_1 l_1\pi[l_1(q^2 + \omega_1^2) - l_1^*] = 0.
\end{aligned}
\tag{17}
$$

Достаточные условия асимптотической устойчивости решения (11) с основными амплитудами $A = A_2$, $B = B_2$, являющимися однократным решением системы (17) имеют вид

$$
\begin{aligned}
&[4\omega_1^2\pi(b_1 + q_1) + d_1\pi(3\omega_1^2 A_2^2 + B_2^2 + 2\omega_1^2 E^2) + 2f_1\omega_1^2\pi A_2 B_2] \times \\
&\times [6f_1\omega_1^2\pi A_2 B_2 + \omega_1^2\pi(3g_1 + 4b_1) + d_1\pi(3B_2^2 + 2\omega_1^2 E^2 + \omega_1^2 A_2^2)] -
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
(18)\qquad & -\left[2d_1\pi A_2B_2+f_1\pi(6l_1^2\omega_1^2-4l_1l_1^*+\omega_1^2A_2^2+3B_2^2-4l_1^2q^2)\right]\times\\
& \times\left[f_1\omega_1^2\pi(4l_1l_1^*-6l_1^2\omega_1^2-3\omega_1^2A_2^2+4q^2l_1^2+3B_2^2)+\right.\\
& \left.+\,2d_1\omega_1^2\pi A_2B_2\right]>0,\\
& \omega_1^2\pi(8b_1+3g_1+4q_1)+4d_1\pi[\omega_1^2(A_2^2+E^2)+B_2^2]+\\
& +\,8f_1\omega_1^2\pi A_2B_2<0,\\
& 2(b_p+g_p)+d_p\left(1+A_2^2+\frac{B_2^2}{\omega_2^1}\right)<0,\qquad(p=2,3,\dots,n).
\end{aligned}
$$

3. Предположим, что $2\omega_1 = q$. Амплитудные уравнения (12) для этого случая имеют вид

$$
\begin{aligned}
& d_1\omega_1^2\pi A^3+f_1\omega_1^2\pi A^2B+\omega_1^2\pi[\omega_1^2(4f_1l_1^2+4e_1l_1)+\\
(19)\qquad & +\,\omega_1(4b_1+4g_1+2d_1E^2-4e_1l_1q)-2e_1l_1^*]+f_1\pi B^3+\\
& +\,d_1\pi AB^2+f_1\pi[l_1^2(6\omega_1^2-4q^2)-4l_1l_1^*]\,B+4\omega_1^2\pi=0,\\
& f_1\omega_1^4\pi A^3-d_1\omega_1^2\pi A^2B-\omega_1^2\pi f_1l_1[4l_1^*+l_1(4q^2-6\omega_1^2)]\,A-\\
& -\,d_1\pi B^3-3f_1\omega_1^2\pi AB^2-\pi[\omega_1^2(3q+4b_1+2d_1E^2-4e_1l_1)+\\
& +\,4e_1l_1q\omega_1+2e_1l_1^*]\,B=0.
\end{aligned}
$$

Достаточные условия асимптотической устойчивости решения (11) с основными амплитудами $A = A_3$, $B = B_3$, являющимися однократным решением системы (19) имеют вид

$$
\begin{aligned}
& [4\omega_1^2\pi(b_1+g_1)+d_1\pi(3\omega_1^2A_3^2+2\omega_1^2E^2+B_3^2)+2f_1\omega_1^2\pi A_3B_3+\\
& +\,2\omega_1\pi(2\omega_1^2f_1l_1-e_1l_1^*-2e_1ql_1\omega_1+2e_1l_1\omega_1^2)]\times[6f_1\omega_1^2\pi A_3B_3+\\
& +\,\omega_1^2\pi(3g_1+4b_1)+d_1\pi(3B_3^2+2E^2\omega_1^2+\omega_1^2A_3^2)+2\omega_1e_1\pi(2\omega_1ql_1-\\
(20)\qquad & -\,2\omega_1^2l_1+l_1^*)]-[2d_1\pi A_3B_3+f_1\pi(6l_1^2\omega_1^2-4l_1l_1^*+\omega_1^2A_3^2+\\
& +\,3B_3^2-4q^2l_1^2)]\times[f_1\omega_1^2\pi(4l_1l_1^*-6l_1^2\omega_1^2-3\omega_1^2A_3^2+4q^2l_1^2+\\
& +\,3B_3^2)+2d_1\omega_1^2\pi A_3B_3]>0,\\
& \omega_1^2\pi(7g_1+8b_1)+8f_1\omega_1^2\pi A_3B_3+d_1\pi(4B_3^2+4\omega_1^2E^2+\\
& +\,4\omega_1^2A_3^2)<0,\\
& 2(b_p+g_p)+d_p\left(1+A_3^2+\frac{B_3^2}{\omega_1^2}\right)<0,\qquad(p=2,3,\dots,n).
\end{aligned}
$$

4. Предположим, что $\omega_1 = 3q$. Амплитудные уравнения (12) для этого случая имеют вид

$$
\begin{aligned}
& d_1\omega_1^2\pi A^3+f_1\omega_1^2\pi A^2B+\omega_1^2\pi(4b_1+4g_1+2d_1E^2)\,A+\\
& +\,f_1\pi B^3+d_1\pi AB^2+l_1f_1\pi[l_1(6\omega_1^2-4q^2)-4l_1^*]\,B+\\
& +\,\omega_1\pi[4p_1\omega_1+f_1l_1^2(l_1^*-l_1\omega_1^2)]=0,\\
(21)\qquad & f_1\omega_1^4\pi A^2-d_1\omega_1^2\pi A^2B-f_1l_1\omega_1^2\pi(4l_1^*-6\omega_1^2+4l_1q^2)-\\
& -\,d_1\pi B^3-3f_1\omega_1^2\pi AB^2-\omega_1^2\pi(4b_1+3g_1+2d_1E^2)\,B+\\
& +\,q\omega_1^2\pi E^2=0.
\end{aligned}
$$

Достаточные условия асимптотической устойчивости решения (11) с основными амплитудами $A = A_4$, $B = B_4$, являющимися однократным решением системы (21) имеют вид

$$
\begin{aligned}
& [4\omega_1^2\pi(b_1 + g_1) + d_1\pi(3\omega_1^2A_4^2 + B_4^2 + 2\omega_1^2E^2) + 2f_1\omega_1^2\pi A_4B_4] \times \\
& \times [6f_1\omega_1^2\pi A_4B_4 + \omega_1^2\pi(4b_1 + 3g_1) + d_1\pi(\omega_1^2A_4^2 + 3B_4^2 + 2\omega_1^2E^2] - \\
(22)\qquad & - [2d_1\pi A_4B_4 + f_1\pi(6l_1^2\omega_1^2 - 4l_1l_1^* + \omega_1^2A_4^2 + 3B_4^2 - 4l_1^2q^2) \times \\
& \times [f_1\omega_1^2\pi(4l_1l_1^* - 6l_1\omega_1^2 - 3\omega_1^2A_4 + 4l_1^2q^2 + 3B_4^2 + \\
& + 2d_1\omega_1^2\pi A_4B_4] > 0, \\
& \omega_1^2\pi(8b_1 + 7g_1) + 4d_1\pi[\omega_1^2(A_4^2 + E^2) + B_4^2] + \\
& + 8f_1\omega_1^2\pi A_4B_4 < 0, \\
& 2(b_p + g_p) + d_p\left(1 + A_4^2 + \frac{B_4^2}{\omega_1^2}\right) < 0, \\
& (p = 2, 3, \ldots, n).
\end{aligned}
$$

5. Предположим, что $3\omega_1 = q$. Амплитудные уравнения (12) для этого случая имеют вид

$$
\begin{aligned}
& d_1\omega_1^2\pi A^3 + f_1\omega_1^2\pi[l_1(3\omega_1 - 4q) - l_1^*]\,A^2 + f_1\omega_1^2\pi A^2B + \\
& + \omega_1^2\pi[4(b_1 + g_1) + 2d_1E^2]\,A + f_1\pi B^3 + f_1\pi\,[l_1(3\omega_1 - 4q) + \\
& + l_1^*]\,B^2 + d_1\pi AB^2 + f_1l_1\pi[l_1(6\omega_1 - 2q^2) - 4l_1^*]\,B + \\
& + 4p_1\omega_1^2\pi = 0, \\
(23)\qquad & f_1\omega_1^4\pi A^3 - d_1\omega_1^2\pi E(q - 2\omega_1)\,A^2 - d_1\omega_1^2\pi A^2B - \\
& - f_1\omega_1^2l_1\pi[l_1(4q^2 - 6\omega_1^2) + 4l_1^*]\,A - 2f_1\omega_1\pi[l_1^* + \\
& + l_1\omega_1(4q - 5\omega_1)]\,AB - d_1\pi B^3 - d_1\pi E(2\omega_1^2 - q)\,B^2 - \\
& - 3f_1\omega_1^2\pi AB^2 - \omega_1^2\pi(4b_1 + 3g_1 + 2d_1E)\,B + \\
& + d_1q\omega_1^2\pi E^3 = 0.
\end{aligned}
$$

Достаточные условия асимптотической устойчивости решения (11) с основными амплитудами $A = A_5$, $B = B_5$, являющимися однократным решением системы (23) имеют вид

$$
\begin{aligned}
& [4\omega_1^2\pi(b_1 + g_1) + d_1\pi(3\omega_1^2A_5^2 + B_5^2 + 2\omega_1^2E^2 + 2f_1\omega_1^2\pi A_5B_5) + \\
& + 2f_1l_1\omega_1^2\pi A_5(3\omega_1 - 4q) - 2f_1l_1^*\omega_1\pi A_5] \times [6f_1\omega_1^2\pi A_5B_5 + \\
& + \omega_1^2\pi(3g_1 + 4b_1) + d_1\pi(3B_5^2 + 2\omega_1^2E^2 + \omega_1^2A_5^2) + \\
& + d_1\pi E(4\omega_1^2B_5 - 2qB_5) + 2f_1\omega_1\pi A_5(l_1^* + 4l_1q\omega_1 - 3l_1\omega_1^2)] - \\
(24)\qquad & - [2d_1\pi A_5B_5 + f_1\pi(6l_1^2\omega_1^2 - 4l_1l_1^* + \omega_1^2A_5^2 + 3B_5^2 - 2l_1^2q^2) - \\
& - 2f_1l_1\pi B_5(3\omega_1 - 4q) + 2l_1^*f_1\pi B_5] \times [f_1\omega_1^2\pi(4l_1l_1^* - \\
& - 6l_1^2\omega_1^2 - 3\omega_1^2A_5^2 + 4l_1^2q^2 + 3B_5^2) + 2d_1\omega_1^2\pi A_5B_5 + \\
& + 2d_1\omega_1^2\pi A_5E(q - 2\omega_1) + 2f_1\omega_1\pi B_5(l_1^* + 4l_1q\omega_1 - 3l_1\omega_1^2)] > 0,
\end{aligned}
$$

$$\omega_1^2\pi(8b_1 + 7g_1) + 8f_1\omega_1^2\pi A_5 B_5 + d_1\pi[\omega_1^2(4A_5^2 + 4E^2) + 4B_5^2] < 0,$$

$$2(b_p + g_p) + d_p\left(1 + A_5^2 + \frac{B_5^2}{\omega_1^2}\right) < 0, \qquad (p = 2, 3, \ldots, n).$$

ЛИТЕРАТУРА

[1] Андронов А. А., Витт А. А. и Хайкин С. Э., *Теория колебаний.* Физматгиз, Москва, 1959.

[2] Стрелков С. П., *Введение в теорию колебаний.* ГИТТЛ, 1951.

[3] Капчинский И. М., *Методы теории колебаний в радиотехнике.* Госэнергоиздат, 1954.

[4] Самойленко В. И., *О емкости p—n перехода.* Труды МАИ, вып. 128, Оборонгиз, 1960.

[5] Плотникова Г. В., Байнов Д. Д., *Разрешимость относительно старшей производной системы дифференциальных уравнений, зависящей от малого параметра.* Доклады БАН, т. 18, № 1. 1965.

[6] Байнов Д. Д., Геров Г. Х., *Устойчивость периодических колебаний квазилинейных неавтономных систем с запаздыванием.* Доклады БАН, т. 21, № 8, 1968.

Борислав Доневски
Высший машинно-электротехнический институт
ул. Цар Шишман № 2, София
Болгария

Друми Байнов
Медицинская академия
Оборище 23, София - 4
Болгария