

Կ. Տ. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ

АНАЛИЗ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОННОГО ГЕНЕРАТОРА
 С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ ГАЛЬВАНОМЕТРИЧЕСКОГО
 УСИЛИТЕЛЯ

В гальванометрических усилителях в качестве преобразователей часто применяются индукционные системы. На рис. 1 представлен принципиальная схема автогенераторного преобразователя. Она содержит лампу *L*, преобразователь взаимной индуктивности *M*. Конденсатор *C*, и сопротивление *R*. обеспечиваюот автосмещение. Конденсатор *C* шунтирует генератор по переменному току. Автогенератор составляет плечо моста постоянного тока с сопротивлениями *R*₁, *R*₂, *R*₃ и *R*₄ в его диагонали. Изменение взаимной индуктивности может создаваться, например, перемещением между секциями катушек экрана, связанного с подвижной частью гальванометра. Такие преобразователи нашли применение и в регулирующих приборах. В частности ось рамки гальванометра может проходить по одной из главных осей фигуры экрана. В такой системе обеспечивается минимальный момент инерции и незначительно влияют поступательные перемещения рамки. Также могут применяться системы, в которых одной из обмоток является рамка гальванометра. При изменении коэффициента положительной обратной связи между анодным и сеточным цепями изменяется постоянная составляющая анодного тока лампы. В результате изменяется напряжение в диагонали моста. Для аналитического анализа работы автогенераторных преобразователей и возможности выбора оптимальных параметров необходима удобная аппроксимация нелинейных характеристик усилительного звена. Ниже показывается, что для ряда оптимальных режимов работы автогенераторных преобразователей анодный ток лампы отсечки не достигает.

Автосмещение обеспечивает существенное изменение средней крутизны усилительного элемента по первой гармонике анодного тока. На этом основании аппроксимируем анодно-сеточную характеристику ветвью параболы с вершиной на оси напряжения сетки в точке e_{c0} :

$$i_a = a_0 (e_c - e_{c0})^2 + a_1 (e_c - e_{c0}) \tag{1}$$

Тогда крутизна характеристики

$$S = \left(\frac{\partial i_a}{\partial e_c} \right)_{e_{c0}} = 2a_1 (e_c - e_{c0}) + 3a_2 (e_c - e_{c0})^2 \tag{2}$$

Проницаемость лампы и положение e_{cn} связаны соотношением

$$D = - \left(\frac{\partial e_{cn}}{\partial e_a} \right)_{i_a = 0} \quad (3)$$

Зависимость проницаемости от сеточного и анодного напряжения представим в виде

$$D = D + \lambda_1 \Delta e_s + \lambda_2 \Delta e_a \quad (4)$$

где λ_1 , λ_2 — частные производные проницаемости по напряжениям сетки и анода соответственно;

Δe_s , Δe_a — отклонения напряжений сетки и анода от рабочей точки лампы.

С достаточной для практики точностью можно пренебречь относительно малыми изменениями проницаемости. Это условие приемлемо для рассматриваемых преобразователей и потому, что амплитуда колебания не достигает значительных величин.

Значение e_{cn} для любого напряжения на аноде e_a когда известно e_{cn} при напряжении e_{a0} , получим из (3):

$$e_{cn} = e_{cn0} - D (e_a - e_{a0}) \quad (5)$$

Нагрузка лампы является сложной. Она состоит из нагрузок омической цепи анод-катод и активной.

Активной нагрузкой является цепь положительной обратной связи. Так как это нагрузка в основном состоит из колебательного контура, она обладает избирательными свойствами. Поэтому в дальнейшем высшими гармониками напряжений пренебрежем. Изменения параметров схемы при работе автогенератора, в общем случае, могут быть приведены к изменению коэффициента обратной связи и нагрузки $R_{об}$. Они могут определяться входным сигналом, например, углом поворота подвижной системы. При этом изменяются амплитуды колебаний тока и напряжения, сеточное смещение на Δe_{cs} ; постоянная составляющая анодного тока ΔI_{a0} ; постоянная составляющая анодного напряжения на ΔE_{a0} . Наиболее важным для дальнейшего исследования является преобразование входной величины в приращение напряжения. Так как это преобразование обеспечивает наибольшую чувствительность преобразователя. Задача заключается в определении функциональной зависимости выходного напряжения от входного возмущения. Решение находим на основе равенства членов при одноименных временных составляющих анодного тока, составленных на основе статических характеристик лампы и закона Кирхгофа для линейной цепи.

Напряжение на аноде лампы автогенератора считаем состоящим из постоянной составляющей E_{a0} и первой гармоники:

$$e_a = E_{a0} - U_a \cos \tau \quad (6)$$

Напряжение на сетке лампы состоит из сеточного смещения и первой гармоники:

$$e_c = e_{cm} + U_c \cos \tau. \quad (7)$$

Коэффициент положительной анодной связи между сеточным и анодным цепями

$$K = \frac{U_c}{U_a}. \quad (8)$$

Обозначим:

$$e_0 = e_{cm} - e_{c00}; \quad (9)$$

$$U = U_c - DU_a; \quad (10)$$

$$S_{cm} = 2a_2 e_0 + 3a_3 e_0^3; \quad (11)$$

$$S'_{cm0} = \left(\frac{\partial S}{\partial e_c} \right)_{e_0} = 2(a_2 + 3a_3 e_0^2). \quad (12)$$

Согласно принятым обозначениям:

$$e_c - e_{cn} = e_0 + U \cos \tau. \quad (13)$$

Из (1), (11), (12) и (13) получим постоянную составляющую анодного тока

$$i_{a0} = a_2 e_0^2 + a_3 e_0^3 + 0,25 S'_{cm} U^2; \quad (14)$$

Амплитуда первой гармоники анодного тока будет равна:

$$I_{a1} = (S_{cm} + 0,75 a_3 U^2) U. \quad (15)$$

В силу закона Ома для анодной цепи на основании (15) находим условие баланса амплитуд:

$$S_{cm} + 0,75 a_3 U^2 = \frac{1}{(K - D) R_{0a}}. \quad (16)$$

С другой стороны функциональная связь между смещением и амплитудой колебания напряжения сетки определяется сеточной характеристикой лампы. Эта характеристика для триода описывается выражением

$$i_c = Ae^{Be_c}$$

Реакцией анодного напряжения на ток сетки можно пренебречь. Постоянная составляющая анодного тока

$$i_{a0} = Ae^{Be_{c0}} J_0(BU_c). \quad (17)$$

Согласно закону Ома для цепи сетки (рис. 1) получим следующую связь между амплитудой колебаний напряжения сетки и смещением

$$J_0(BU_c) = - \frac{e_{cm}}{R_c A e^{Be_{cm}}}. \quad (18)$$

Из (18) после дифференцирования получим соотношение

$$U_c dU_c = - N de_{cm}, \quad (19)$$

где

$$N = B^{-1} \left(\frac{B^{-1} - e_{cm}}{R_c A e^{Be_{cm}}} \right) \frac{BU_c}{J_1(BU_c)}. \quad (20)$$

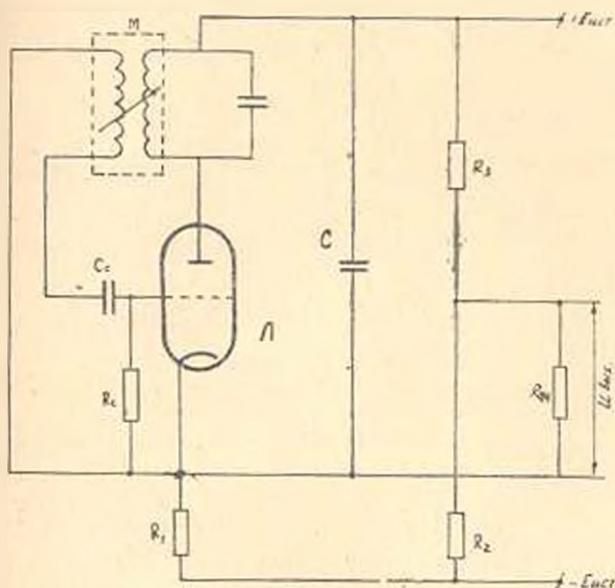


Рис. 1.

Выражение для приращения сеточного смещения

$$de_{c0} = -$$

$$\frac{\Delta U_1 + [S_{c0} D - 1,5 a_3 U_a^2 (\kappa - D) \lambda_2 - \theta_2 \lambda_2] dE_{a0} + 1,5 a_3 U_a^2 \left(\frac{\kappa - D}{\kappa} \right) d\kappa}{S_{c0} - 1,5 a_3 \left[N \left(\frac{\kappa - D}{\kappa} \right)^2 + U_a^2 (\kappa - D) \lambda_1 \right] - \theta_2 \lambda_1} d\kappa \quad (21)$$

где

$$\Delta U_1 = \frac{1}{(\kappa - D) R_{01}} \left(\frac{d\kappa}{\kappa - D} + \frac{dR_{01}}{R_{01}} \right), \quad (22)$$

$$\theta_2 = \frac{1}{(\kappa - D) R_{01}}. \quad (23)$$

Согласно (14) приращение постоянной составляющей анодного тока при условии $E_{a0} = \text{const}$:

$$di_{a0} = \left\{ S_{c0} + 1,5 a_3 U_a^2 (\kappa - D)^2 - 0,5 S_{c0} \left[N \left(\frac{\kappa - D}{\kappa} \right)^2 + \right. \right. \\ \left. \left. + \lambda_1 L_{01}^2 (\kappa - D) \right] \right\} de_{c0} + 0,5 S_{c0} L_{01}^2 \left(\frac{\kappa - D}{\kappa} \right) d\kappa. \quad (24)$$

Динамическая проводимость лампы по постоянной составляющей анодного тока

$$g_{00} = \left(\frac{\partial i_{a0}}{\partial E_{c0}} \right) = \left\{ 0,5 S_{c0} \left[N \left(\frac{\kappa - D}{\kappa} \right)^2 + U_a^2 (\kappa - D) \lambda_1 \right] - \right.$$

$$1,5a_2 U_a (K - D)^2 S_{cm} |de_{cn}| + |S_{cm} + 1,5a_2 U_a^2 (K - D)^2 |D - \\ + 0,5 S_{cm}^2 \left(\frac{K - D}{K} \right). \quad (25)$$

По законам Кирхгофа для цепи постоянного тока преобразователя можно записать

$$di_{an} + G_1 dE_{an} + G_2 dE_{ucm} = 0, \quad (26)$$

где

$$G_1 = \frac{g_1(g_1 + g_2) + g_1(g_1 + g_2 + g_3)}{g_1 + g_2 + g_3}$$

$$G_2 = \frac{g_1(g_2 + g_3) + g_1(g_1 + g_3)}{g_1 + g_2 + g_3}$$

$$g_1 = \frac{1}{R_1}; \quad g_2 = \frac{1}{R_2}; \quad g_3 = \frac{1}{R_3}; \quad g_u = \frac{1}{R_u}$$

Приращение постоянной составляющей анодного напряжения

$$dE_{a0} = - \frac{di_{an} + G_2 dE_{ucm}}{g_{10} + G_1} \quad (27)$$

Рассмотрим случай когда проводимость диагонали моста минимальна ($g_u = 0$). Это будет иметь место, например, когда выходной сигнал преобразователя будет подводиться к каскаду усилителя постоянного тока. Допустим, что источник постоянного тока развивает неизменное по величине напряжение E_{ucm} и внутреннее сопротивление его небольшое. С целью упрощения задачи примем $a_2 = 0$. Это допущение возможно потому, что в пределах изменения напряжения на сетке $a_2 \ll a_1$. Примем также $\lambda_1 = 0$, $\lambda_2 = 0$.

В этом случае искомые величины выразятся следующими соотношениями:

$$S_{cm} = \frac{1}{(K - D) R_{cm}} \quad (16a)$$

$$de_{cn} = - \frac{\Delta b_1}{S_{cm}} - D dE_{a0} \quad (21a)$$

$$di_{an} = \left\{ S_{cm} - 0,5 S_{cm} N \left(\frac{K - D}{K} \right)^2 \right\} de_{cn} + 0,5 S_{cm} \left(\frac{K - D}{K} \right) U_a D dK \quad (24a)$$

$$dE_{a0} = - \frac{di_{an}}{\frac{1}{R_1} + g_{10}} \quad (27a)$$

После обработки экспериментальных данных для ламп 6Н1П, 6Н2П в диапазоне анодного напряжения 50–150 в, автором получено следующее выражение динамического сопротивления по постоянному току в виде

$$g_{10} = 1,5 S_{cm} D \left(\frac{K-D}{K} \right)^2 N. \quad (25)$$

Относительное изменение сопротивления лампы по постоянному току:

$$\frac{\Delta R_0}{R_0} = \frac{dI_{ном}}{I_{но}} \frac{G_1 + g_0}{G_1 + g_{10}} \quad (28)$$

где g_1 — проводимость лампы по постоянному току.

Тогда из допустимой мощности рассеяния P_c в омической нагрузке лампы получим

$$\frac{\Delta R_0}{R_0} = \frac{dI_{ном}}{V P_c} \frac{G_1 + g_0}{G_1 (G_1 + g_{10})} \quad (28a)$$

Последнее выражение позволяет определить, в частности, оптимальное значение омической нагрузки.

В табл. 1 представлены экспериментальные и расчетные величины для лампы 6Н2П при $E_{an} = 110$ в.

Таблица 2

Величины	$K \cdot 10^{-2}$	$K \cdot 10^{-1}$	Δr_{cm} (в)	$\Delta I_{ном}$ (ма)	ΔE_{an} при R_1 в комах		
					33,5	52	90
Расчетные	3,1	8	0,35	0,22	5,5	7,5	10
Экспериментальные . .			0,44	0,23	5,5	7,6	9,5
Расчетные	3,18	6,7	0,4	0,166	4,1	5,5	7,6
Экспериментальные . .			0,5	0,165	3,8	5	7
Расчетные	3,5	6,7	0,6	0,079	1,95	2,6	3,6
Экспериментальные . .			0,7	0,072	1,9	2,5	3,5

Резюмируя изложенное, отметим, что в статье выяснен рабочий режим лампы. Получены в общем и упрощенных видах формулы для определения амплитуд колебаний напряжения на сетке и аноде лампы, сеточного смещения, динамической проводимости лампы автогенератора для гальванометрических усилителей. Расчетные значения и экспериментальные данные показывают удовлетворительное совпадение.

Харьковский политехнический институт

им. В. И. Ленина

Поступило 31.V 1964

ՅՈՒ Ա. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ

ԷԼԵԿՏՐՈՆԱԳԻՆ ԳԵՆԵՐԱՏՈՐԻ ԵՎ ԿԱՎԱՆՈՄՆՏՐԱՅԻՆ ՈՒՓԵՎԱՑՈՒՅԻՉ-ՎԵ-
ՐԱՓՈԽԵԶԻ ՀԱՄԱՏԵՎ ԱՇԽԱՏԱՆՔԻ ԱՆԱԼԻԶԸ

Ա մ վ Ե վ ու մ

Հողվածում տեսարանված է էլեկտրոնային ավտոզեներատորի սկզբուն-
քային սխեման և նրա համատեղ աշխատանքը պալվանոմետրային ուժեղացու-
ցիչ-վերափոխիչի հետ: Պարզարանված է նաև լամպի աշխատանքի ուժիմը:
Անոդա-ցանցային բևաթաղիքը ապրոկսիմացվում է երրորդ ստորձանի
բազմանգամով: Մտոշված է էլքի լարման ֆունկցիոնալ կախումը մուտքի ներ-
գործությունից:

Հարցի լուծումը պահում ենք ստույային հոսանքի փամանակի լամանուն
բաղադրիչների հավասարեցումը, որոնք ստացված են լամպի ստատիկ ընու-
թաղերից և դժային շղթայի համար՝ կիրպհոֆի օրենքից: Արդյունքում ստաց-
ված է ցանցային շեղման, լամպի ցանցի և անոդի լարումների տատանման
ամպլիտուդայի, ավտոզեներատորի լամպի գինամիկ հաղորդակտուլյան
(ըստ հաստատուն հոսանքի), անոդային հոսանքի և լարման աճի, ցանցային
շեղման աճի բանաձևերը ընդհանուր և պարզեցված ձևերով:

Հաշվային և փորձնական տվյալները համընկնում են բախարար շափով
նման վերափոխիչ սխեմաների օպտիմալ սյարամետրերի ընտրության հա-
մար ներկայացված են հանձնարարականներ: