

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

Ю. С. МАНУКЯН

К РАСЧЕТУ ИНДУКЦИОННОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ
СИСТЕМЫ С АВТОГЕНЕРАТОРОМ ДЛЯ
ГАЛЬВАНОМЕТРИЧЕСКИХ УСИЛИТЕЛЕЙ

В индукционных системах преобразователей гальванометрических усилителей [1—2] привлекают внимание системы, в которых преобразователь взаимной индуктивности (ПМ) включен в цепь положительной обратной связи электронного автогенератора. Основные вопросы анализа таких систем освещены в [3]. Вариант конструктивного исполнения ПМ гальванометрического усилителя представлен на рис. 1, принципиальная схема системы — на рис. 2. Эта преобразовательная система сочетает в себе

ряд положительных свойств (небольшой момент инерции подвижной части гальванометра; малое влияние небольших поступательных перемещений подвижной части; хорошая магнитная связь обмоток; возможность свести к минимуму дополнительный индукционный момент; небольшое влияние паразитных индукций и связей; компактность схемы).

Задачей данной работы является установление связей между параметрами исследуемой схемы и входными, выходными величинами, режимом работы преобразовательной системы, а также выяснение их оптимальных значений при разном характере постановки общей задачи. С этой целью по [3] необходимо определить выражения коэффициента положительной обратной связи K автогенератора и нагрузки лампы по первой гармонике анодного тока R_{a1} .

Исследование автора базируется на следующих предположениях:

- 1) сопротивление конденсатора C не учитывается, так как $R_c \gg (\omega C_c)^{-1}$ (рис. 2);
- 2) влияние сеточной цепи на обмотку возбуждения ПМ не учитывается, так как колебательная мощность в сеточной цепи значительно меньше мощности в обмотке возбуждения;

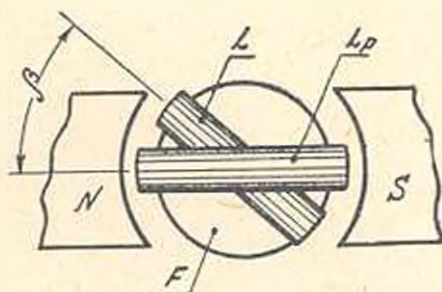


Рис. 1. Преобразователь взаимной индуктивности. L — неподвижная обмотка возбуждения; L_p — подвижная рамка гальванометра; F — сердечник.

Полное сопротивление обмотки возбуждения Z эквивалентно параллельному соединению активного R и индуктивного $X = \omega L$ сопротивлений. Из условия (3) получаем:

$$R = m_R W^2, X = m_X W^2, \quad (5)$$

где

$$m_R = m_z \sqrt{1 + Q^2}, m_X = m_z \sqrt{1 + Q^{-2}}. \quad (6)$$

Воспользовавшись теорией четырех полюсников, определяем параметры цепи положительной обратной связи автогенератора. Окончательно получаем:

$$K = \frac{U_{c-}}{U_{a-}} = \frac{W_{pc}}{W_c}; R_{03} = m_{03} W_{pc}^2, \quad (7)$$

где U_{c-} , U_{a-} — амплитуды напряжения сетки и анода соответственно;

$W_{pc} = W n_1$ — приведенное число витков обмотки возбуждения; (8)

$n_1 = \frac{W_1}{W_2}$ — коэффициент трансформации трансформатора; (8a)

W_1 , W_2 — число витков первичной и вторичной обмоток;

$W_{pc} = x_1 K_r W_p = K_c W_c$ — индукционно связанное число витков рамки; (9)

$m_{03} = x_2 m_R$ — постоянная нагрузки лампы; (10)

$$x_1 = (1 + \gamma^{-2})^{-\frac{1}{2}}, \quad x_2 = \frac{P_{R-}}{P_{a-}} = x_2 \left(1 + \frac{Q}{Q_{2,cc}}\right)^{-1}; \quad (11)$$

P_{a-} — колебательная мощность лампы;

P_{R-} — мощность рассеяния обмотки возбуждения ПМ;

$Q_{2,cc}$ — добротность четырехполюсника, охватывающего конденсатор C и трансформатор $L_1 L_2$ (рис. 2), со стороны вторичной обмотки при холостом ходе.

Общий анализ работы автогенератора в качестве преобразователя показывает, что цепь положительной обратной связи генератора удобно представляется обобщенным параметром

$$R_n = K^2 R_{03} = m_{Rn} W_{pc}^2. \quad (12)$$

Его можно представить условным сопротивлением, приведенным к напряжению сетки U_{c-} и развивающим колебательную мощность лампы P_{a-} . Большие значения R_n обеспечивают большой коэффициент преобразования системы и облегчают режим работы лампы. На основе этого строится расчет элементов схемы. Из (9), (10) находим:

$$R_n = x_2 R_r, \quad (12a)$$

где

$$R_r = m_R (K_r W_p)^2 = K_r^2 R — обобщенный параметр ПМ. \quad (13)$$

Из (12а) следует, что для оптимальной работы системы x_2 должна стремиться к единице. Это условие определяет из (11) значение $Q_{2\text{opt}}$ по величине Q . Величину Q получаем экспериментально.

Для угловой частоты автоколебаний из (1) находим:

$$\omega^2 = \frac{1}{CL} \left(\frac{L}{L_2} + 1 \right). \quad (14)$$

Исследования показывают, что для надежной работы автогенератора желательно чтобы

$$\frac{L_2}{L} = 5 : 7. \quad (15)$$

Это означает, что в обмотке возбуждения ПМ разбивается основная часть реактивной энергии контура, что способствует автоколебательному режиму системы. Следовательно, по (14), (15) можно определить значения L , L_2 и C , которые обеспечивают необходимую величину угловой частоты. Входное возмущение перемещает подвижную систему гальванометра и изменяет коэффициент связи между рамкой и обмоткой возбуждения. В результате изменяется коэффициент положительной обратной связи автогенератора.

Относительное изменение коэффициента обратной связи автогенератора

$$\varepsilon = \frac{dK}{K} = \frac{dK_c}{K_c}. \quad (16)$$

Эти величины определяются экспериментально по выбранным β и приращению $\Delta\beta$ (рис. 1).

При постоянной составляющей анодного напряжения лампы $E_{a0} = \text{const}$ из [3] можно с достаточной точностью получить выражение приращения сеточного смещения

$$de_{cs} = - \frac{S}{S_1} \cdot \frac{dK}{K-D}; \quad (17)$$

приращение постоянной составляющей анодного тока

$$di_{a0s} = - \frac{S^2}{S_1} \cdot \frac{dK}{K-D}, \quad (18)$$

где S — крутизна в рабочей точке лампы, равная статической;

D — проницаемость лампы;

$$S_1 = \left(\frac{\partial S}{\partial e_c} \right)_{e_a} = S^2 R_{cs} \left(\frac{\partial D}{\partial e_c} \right)_{e_a}. \quad (19)$$

После преобразований получим:

$$de_{cs} = - \frac{S^2}{2S_1 D} R_{cs} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{S_{\text{max}}}{S}} \right), \quad (20)$$

$$di_{a0s} = - \frac{S^2}{2S_1 D} R_{cs} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{S_{\text{max}}}{S}} \right), \quad (21)$$

где

$$S_{\min} = \frac{4D}{R_n} \text{ — минимально возможная крутизна лампы для} \quad (22)$$

возбужденного автогенератора.

Обозначим

$$\rho_{i0} = \frac{dI_{i00}}{I}, \quad \rho_s = \frac{S^2}{S_1}. \quad (23)$$

Из (21) находим требуемую крутизну в рабочей точке лампы

$$S^3 + 2\rho_{i0} S^2 + 0.25 (\rho_{i0} S_1)^2 S_{\min} = 0. \quad (23)$$

Для выбранного режима работы лампы получаем

$$W_n = \frac{W_{pc}}{2D} \left(1 \pm \sqrt{1 - \frac{S_{\min}}{S}} \right). \quad (25)$$

Откуда при облегченном режиме ($S = S_{\min}$)

$$n_1 = \frac{K_1}{2D}. \quad (26)$$

Условие баланса амплитуд автогенератора выполняется при $W_{n1} < W_n < W_{n2}$, где величины W_{n1} и W_{n2} соответствуют меньшему и большему значениям (25).

Решение относительно R_n определяет

$$R_n = \frac{D}{S} \left(\frac{\rho_{i0}}{\rho_s} \right)^2 \left(\frac{\rho_{i0}}{\rho_s} - 1 \right)^{-1}. \quad (27)$$

Его минимально возможное значение для выбранного режима работы лампы

$$R_{n \min} = \frac{4D}{S}. \quad (28)$$

при этом

$$R_{n1} = R_1, \quad K = 2D, \quad \rho_{i0} = 2\rho_s. \quad (29)$$

Представленные выше соотношения параметров преобразовательной системы позволяют получить их оптимальные значения. Частота колебаний должна соответствовать наибольшей величине R_n (12а), пропорциональной m_R (6). Эта зависимость определяется экспериментально, и для механизма М24 представлена в табл. 1.

Таблица 1

f [кГц]	5	10	20	30	40	50	60	70	80
$m_R \cdot 10^{-3}$ [ом·мм ⁻²]	37	61	108	146	180	220	255	283	315

Однако, собственная емкость обмоток трансформатора и влияние паразитных связей в цепи ограничивают диапазон частот автогенератора. Поэтому величина R_n при относительно большем числе витков

первичной обмотки оказывается заниженной относительно варианта с меньшим числом витков этой обмотки. Исследования показывают, что результирующее значение приращений анодного тока (21) и сеточного смещения (20) для механизма М24 достигают большей величины при исполнении с большим числом витков. Отмеченное противоречие между числом витков первичной обмотки трансформатора и частотой автоколебаний решается правильным выбором числа витков обмотки возбуждения ПМ с помощью соотношений (14), (15), (25). Величина собственной емкости трансформатора требует экспериментального уточнения.

Определим оптимальное расположение рамки гальванометра относительно обмотки возбуждения. Согласно (21) для наибольшего приращения тока необходимо, чтобы выражение

$$R_{\text{в}} = K_{\text{с}} \cdot \Delta K_{\text{с}} \quad (30)$$

достигло максимума. При выбранной частоте колебаний оптимальность величины определяется экспериментально. В табл. 2 приведены результаты испытания макета ПМ (рис. 1) на базе механизма М24. Частота питания $f = 20 \text{ кГц}$.

Таблица 2

$\beta \text{ [град]}$	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
$K_{\text{с}} \cdot 10^{-3}$	611	604	516	480	440	399	357	313	279	243
$\Delta K_{\text{с}} \text{ [град]} \cdot 10^{-3}$	1,3	2,7	4,9	6,6	7,9	8,4	8,3	7,8	7,4	7,1
$K_{\text{с}} \cdot \Delta K_{\text{с}} \cdot 10^{-3}$	0,8	1,6	2,5	3,2	3,5	3,35	3	2,45	2,15	1,7

Откуда можно принять оптимальное значение $\beta = 15 \div 25^\circ$. Задача дальнейшего расчета заключается в поиске оптимальных параметров системы, обеспечивающих максимум преобразования по анодному напряжению лампы. Рассматриваем случай, когда нагрузочное сопротивление в диагонали моста постоянного тока достаточно большое.

Согласно [3] приращение постоянной составляющей анодного напряжения

$$\Delta E_{\text{ан}} = - \frac{dI_{\text{ан}}}{g_1 + g_{10}}, \quad (31)$$

где g_{10} — динамическая проводимость лампы по постоянному току; $g_1 = R_1^{-1}$ — омическая нагрузка лампы. Эта величина определяется условием работы цепи постоянного тока лампы (ограничением мощности рассеивания, напряжения источника питания $E_{\text{ан}}$ и др.).

Зависимость выходной величины $\Delta E_{\text{ан}}$ (31) от рабочих точек определяет оптимальный режим лампы.

Вариант с исполнением трансформатора большим числом витков несколько труднее поддается предварительному расчету из-за больших собственной емкости первичной обмотки и активных потерь

в ней. Это приводит к снижению величины R_s (12а) за счет уменьшения (11) до $x_s=0,3$. Результаты расчета и экспериментальные данные такого варианта представлены в табл. 3. Основные параметры: триод 6Н12П; $f=10$ кГц;

$$W_p = 230 \text{ вт}; \Delta\beta = 2^\circ; R_s = 19 \text{ ом}; E_{ист} = 220 \text{ в.}$$

Таблица 3

E_{ao} [в]	80	100	120	150	180	200
S [ma в]	2,1	2,6	3,0	3,6	4,6	5,2
n_1 расч.	21,6	31	33,4	37	37,7	38,3
n_1 эксп.	20	30	34	37,5	40	40,7
$di_{ном}$ [ma] расч.	0,075	0,186	0,294	0,480	0,804	0,990
$di_{ном}$ [ma] эксп.	0,070	0,200	0,310	0,545	0,900	1,290
$g_1 \cdot 10^{-3}$ [ma в]	8,15	14,5	24,4	52,6	133	320
ΔE_{ao} [в]	4,2	8,5	10,4	9,5	7	4

Для варианта с меньшим числом витков находим при $E_{ao}=150$ в, $n_1=2$, $f=27$ кГц, $di_{ном}=0,35$ ma. В случае расхождение между экспериментальными и расчетными данными значительно меньше.

Таким образом приведенные автором соотношения позволяют выбрать оптимальные параметры преобразовательной системы (режим работы лампы, данные преобразователя взаимной индуктивности и его цепи, угол поворота подвижной части, входные величины и др.) для различных вариантов постановки задач. Предложенное решение облегчает выбор оптимальных параметров.

Харьковский политехнический институт
им. В. И. Ленина

Поступило 9.VII.1965.

Յու. Ս. ՄԱՆՈՒԿՅԱՆ

ԳԱՆՈՒԹՅՈՒՆ ՈՒՇԵՂԱՑՈՒՑԻՉՆԵՐ ՈՒՆԵՑՈՂ ԱՎՏՈԳՆԵՐԱՏՈՐԻ
ԽՆԴՈՒԿՅՈՒՆ ՎԵՐԱՓՈԽԻՉ ՍԵՍՏԵՄԻ ՀԱՇՎԱՐԿԸ

Ա. մ փ ո փ ու մ

Հոլովածում տևադրանքով և կալվածման տեղի ունեցող անհատականությունների ինքնակցիոն վերափոխիչ սխեմայի հաշվարկի հարցերը: Որոշված են վերափոխիչ սխեմայի էլեմենտների պարամետրերի, մուտքի և ելքի մեծությունների և աշխատանքի ուժի մեծության միջև եղած փոխադարձ կապերը: Բացահայտված են ամփոփված հարաբերակցություններ և պարամետրեր, որոնք մատչելի կերպով ներկայացնում են վերափոխիչ սխեմայի աշխատանքը: Պարզարանված են լամպի աշխատանքի ուժի մեծությունների հաճախականությունը, ինքնակցիոն վերափոխիչի փաթույթների փոխադարձ դասավորության, շարժական սխեմայի տեղադրման օպտիմալ որոշման հարցերը:

Ներկայացված հարաբերությունները թույլ են տալիս ընտրել վերափո-

խիչ սինտեմի օպտիմալ պարամետրերը, քնդհանուր խնդրի դրվածքի տարրերը բնույթների համար: Հաշվային և փորձնական տվյալները համընկնում են քաղաքար չափով:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Куликовский Л. Ф., Мелик-Шахназаров А. М., Рабинович С. Г., Селибер Б. А. Гальванометрические компенсаторы. Изд. Энергия, М. - Л., 1964.
2. Фремке А. В., Киселёва Е. А. Гальванометрический усилитель с преобразователем взаимной индуктивности. «Известия ВУЗ», серия «Приборостроение», № 2, 1962.
3. Минуккин К. С. Анализ работы электронного генератора с преобразователем гальванометрического усилителя. «Известия АН Армянской ССР» (серия ТН), № 2, 1965.
4. Туричин А. М. Электрические измерения неэлектрических величин. Госэнергоиздат, 1959.