

$R_1, \text{ом}$	$R_2, \text{ом}$	$R_3, \text{ом}$	$R_4, \text{ом}$	$R_{\text{экв. н.}} \text{ом}$	$C_1, \text{ф}$	$C_2, \text{ф}$	$E_1, \text{в}$	$E_2, \text{в}$	$U_{01}, \text{в}$	$U_{02}, \text{в}$
500	3725	∞	200	$2 \cdot 10^4$	$1,688 \cdot 10^{-6}$	$0,1908 \cdot 10^{-6}$	-17,5	-17,5	3,467	-0,4715

проводниковых триодах типа П402, П501. Управление ключами осуществлялось триггером на полупроводниках. Сравнение теоретической и экспериментальной кривых показало их практически полное совпадение.

Выводы

С помощью полученных выражений могут быть рассчитаны параметры двухзвенных RC-цепей, воспроизводящих полиномы вида

$$U^*(t) = C_0^* + C_1^* e^{-\frac{t}{\tau}} + C_2^* e^{-2\frac{t}{\tau}}.$$

Использование комбинированных аппроксиматоров с применением двухзвенных RC-цепей позволяет строить генераторы напряжения, в которых воспроизведение исходной функции осуществляется с заданной методической погрешностью.

*Поступило в редакцию
15 июля 1967 г.,
окончательный вариант —
15 декабря 1967 г.*

УДК 621.317.715

*К. Л. КУЛИКОВСКИЙ, О. П. РУСТАМ-ЗАДЕ
(Куйбышев)*

МЕТОД КОМПЕНСАЦИИ МЕХАНИЧЕСКОГО МОМЕНТА РАСТЯЖЕК ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА ГАЛЬВАНОМЕТРИЧЕСКОГО УСИЛИТЕЛЯ

Гальванометрические усилители (ГУ) находят широкое распространение в измерительной технике и практике автоматического контроля и управления благодаря их высокой чувствительности, надежности и стабильности характеристик.

Недостатком указанных устройств является значительная погрешность, обусловленная наличием противодействующего момента растяжек [1]. В связи с этим в ГУ применяются чувствительные элементы, имеющие минимальный противодействующий момент, что достигается применением безмоментных токоподводов. Противодействующий момент может быть также скомпенсирован различными методами:

1) через рамку гальванометра пропускают дополнительный ток, пропорциональный углу поворота подвижной системы; при этом создается момент, противоположный моменту растяжек [2];

2) на подвижную систему чувствительного элемента укрепляют ферромагнитную пластинку, находящуюся в магнитном поле; при повороте системы возникает момент магнитных сил, компенсирующий момент растяжек [3];

3) на подвижную систему помещают дополнительный груз, который при отклонении подвижной системы от начального положения создает момент, уравновешивающий момент растяжек [1];

4) подвижная система гальванометра состоит из двух рамок, укрепленных на оси под углом друг к другу и включенных в плечи моста, питаемого вспомогательным напряжением; при повороте системы вследствие нелинейного изменения магнитного поля в воздушном зазоре возникает дополнительный момент, компенсирующий момент растяжек [4].

Недостатками указанных методов компенсации является сравнительная сложность устройства или невозможность добиться полной компенсации при всех углах отклонения подвижной системы. Разработанный метод электростатической компенсации свободен от указанных недостатков.

С подвижной системой 1 гальванометра Г жестко связана пластина 2 специальной формы (рис. 1), находящаяся под потенциалом U_0 . Пластина 2 располагается на равных расстояниях δ от неподвижных электродов 3, имеющих потенциал U_1 .

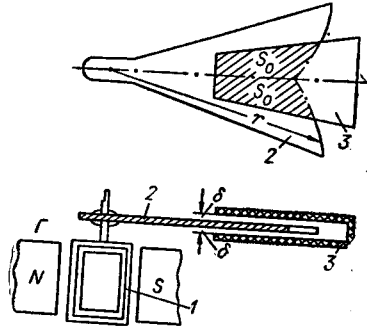


Рис. 1.

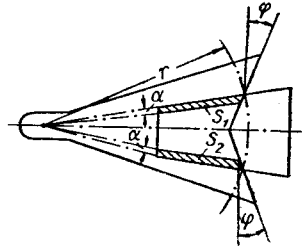


Рис. 2.

На подвижную пластину 2 при отклонении ее на угол α будет действовать момент электростатических сил

$$M_э = \frac{1}{2} (U_1 - U_0)^2 \frac{dC}{d\alpha}.$$

В основу расчета емкости системы примем формулу плоского конденсатора

$$C = 2k \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{\delta},$$

где ϵ — диэлектрическая проницаемость; ϵ_0 — диэлектрическая постоянная; S — активная площадь подвижной пластины (заштрихованная часть); k — коэффициент, учитывающий влияние краевого эффекта.

Для осуществления компенсации момента растяжек, имеющих удельный противодействующий момент W_m , необходимо выполнение равенства

$$\frac{\epsilon \epsilon_0 k}{\delta} (U_1 - U_0)^2 \frac{dS}{d\alpha} - W_m \alpha = 0. \quad (1)$$

Из выражения (1) получаем

$$S = \frac{W_m \delta}{2k \epsilon \epsilon_0 (U_1 - U_0)^2} \alpha^2 + S_0. \quad (2)$$

Форма подвижной пластины (см. рис. 1) обеспечивает соблюдение зависимости (2) площади S от угла поворота α .

Ввиду того, что угол поворота подвижной части чувствительного элемента ГУ мал, подвижной пластине можно придать форму, изображенную на рис. 2.

При повороте подвижной пластины на угол α произойдет изменение активной площади подвижной пластины на величину

$$\Delta S = S_2 - S_1 = r^2 \operatorname{tg} \varphi \alpha^2. \quad (3)$$

С учетом соотношения (3) найдем из выражения (2) зависимость между параметрами, при которой противодействующий момент растяжек будет скомпенсирован:

$$\frac{2k \epsilon \epsilon_0 (U_1 - U_0)^2}{\delta} r^2 \operatorname{tg} \varphi - W_m = 0. \quad (4)$$

Первый член уравнения (4) называется удельным электрическим компенсирующим моментом

$$W_э = \frac{2k \epsilon \epsilon_0 (U_1 - U_0)^2}{\delta} r^2 \operatorname{tg} \varphi.$$

Для осуществления компенсации необходимо выполнение условия $W_m = W_э$. При $W_m > W_э$ будет иметь место лишь частичная компенсация противодействующего момента растяжек, а при $W_m < W_э$ возникнет перекомпенсация. Экспериментальное определение $W_э$ производилось путем сравнения его с W_m . Это сравнение осуществлялось по периоду собственных колебаний подвижной системы, которые вследствие очень малой степени успокоения принимались за свободные колебания.

Выражение для периода свободных колебаний системы при наличии удельного противодействующего момента W_m и удельного компенсирующего момента $W_э$ можно представить в виде

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{W_m - W_э}}$$

Зная период свободных колебаний T при наличии удельного компенсирующего момента $W_э$, а также периода колебаний T_0 при $W_э = 0$, нетрудно определить величину удельного компенсирующего момента

$$W_э = W_m \left[1 - \left(\frac{T_0}{T} \right)^2 \right].$$

Анализ приведенной методики измерения удельного электрического компенсирующего момента показал, что относительная погрешность определения последнего не превышает 2%.

Поставленные эксперименты подтвердили правильность выражения для $W_э$. Коэффициент k , учитывающий влияние краевого эффекта, может быть с высокой точностью определен с помощью метода, описанного в [5].

Для практических целей некоторая неточность определения k не имеет существенного значения, так как путем небольшого изменения разности потенциалов ($U_1 - U_0$) можно всегда достичь полной компенсации противодействующего момента растяжек.

При исследовании динамических свойств чувствительного гальванометра моментом инерции подвижного электрода можно пренебречь. Так, например, момент инерции электрода длиной 10 мм, выполненного из алюминиевой фольги толщиной 50 мк, составляет 3% от момента инерции подвижной рамки гальванометра.

Экспериментальное исследование описанного метода на гальванометрическом компенсаторе типа Ф116 было проведено в проблемной лаборатории Куйбышевского политехнического института им. В. В. Куйбышева и дало положительные результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Ф. Куликовский, А. М. Мелик-Шахназаров и др. Гальванометрические компенсаторы. М., «Энергия», 1964.
2. М. Б. Минц, С. Г. Рабинович. Положительные обратные связи в фотокомпенсационных усилителях.— Измерительная техника, 1963, № 2.
3. В. В. Нешукайтис. Исследование фотоэлектронного компенсационного усилителя. Автореф. дисс. Каунас, 1954.
4. Ю. И. Видманов. Нулевой гальванометр магнитоэлектрической системы. Авторское свидетельство № 106426.— Бюллетень изобретений, 1957, № 6.
5. К. Л. Куликовский. Исследование электрометрических измерительных преобразователей-усилителей. Автореф. дисс. Куйбышев, 1966.

Поступило в редакцию
9 декабря 1966 г.,
окончательный вариант —
11 марта 1967 г.