

З. Ф. СЛЕЗЕНКО

ЛАМПОВЫЙ ЭЛЕКТРОМЕТР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ МАЛЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ФОТОТОКА

При измерении постоянного напряжения или силы тока маломощных источников, имеющих большое внутреннее сопротивление, удобно пользоваться электронными приборами. В этом случае напряжение обычно подводится к цепи сетки электронной лампы, обладающей очень высоким сопротивлением.

При измерении нулевым методом с применением неэлектронного потенциометра в качестве указателя нуля обычно используется гальванометр или квадрантный электрометр. Чувствительность при данном методе измерения определяется чувствительностью нулевого прибора и внутренним сопротивлением измеряемого источника, причем чувствительность понижается с увеличением внутреннего сопротивления. Кроме того, квадрантные электрометры обладают сравнительно низкой чувствительностью, низкой стабильностью и большой инерцией.

Если применить в качестве указателя нуля ламповый электрометр, то можно освободиться от недостатков, присущих гальванометрам и квадрантным электрометрам.

Ламповый электрометр для измерения весьма малых изменений фототока на электрометрическом тетраде 1Э1П выполнен по схеме прямого усиления. Чтобы освободиться от недостатков, наблюдающихся при работе с простыми схемами, и повысить точность измерений, применена уравновешенная несимметричная мостовая схема с одной лампой.

Такой выбор обусловлен тем, что при данной схеме небольшие колебания напряжений источников, питающих схему, автоматически компенсируются и не вызывают изменений нулевого положения измерительного прибора, включенного на выходе схемы [1].

Необходимо отметить, что при измерении слабых токов (или напряжений) наблюдается ряд явлений, усложняющих статическую характеристику тока сетки лампы. Ток сетки имеет следующие составляющие: 1) токи утечки между сет-

кой и остальными электродами по наружной поверхности баллона и внутренним вводам; 2) электронный ток сетки, возникающий вследствие того, что часть электронов, вылетающих с катода, способна преодолевать отрицательный потенциал сетки и попадать на нее; 3) положительный ионный ток вследствие присутствия в лампе ионизированных остатков газа; 4) ток электронной эмиссии с сетки, который появляется при нагревании ее теплом, излучаемым катодом; 5) токи от фотоэмиссии с сетки, которые появляются при действии света от катода, от действия мягких рентгеновских лучей, образующихся от нормального анодного тока, а также от освещения сетки извне; 6) ток от ионной эмиссии с катода.

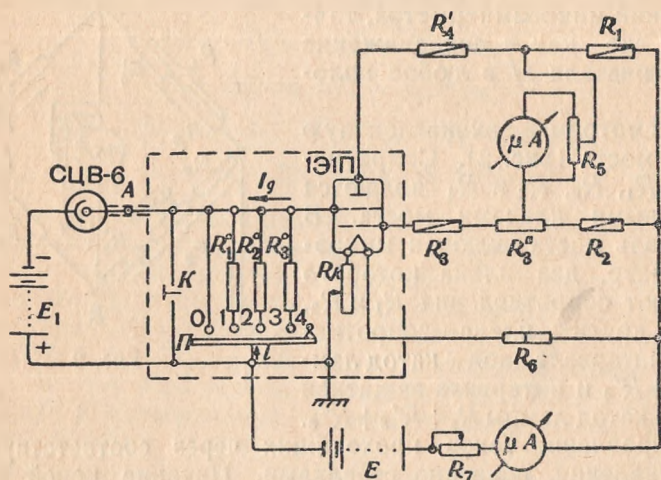


Рис. 1

Поэтому выбор режима работы лампы имеет важное значение. Чтобы исключить влияние некоторых составляющих, электрометрический тетрод помещается в герметическую металлическую камеру, поверхность его предварительно очищается спиртом. На электроды лампы подается заниженное напряжение.

Общий вид схемы изображен на рис. 1. Характерной особенностью входной цепи схемы является использование плавающего потенциала сетки, при котором невозможно получить линейную зависимость на большом интервале изменений фототока.

Особенно такая нелинейность наблюдается при увеличении R_g ; при $R_g = \infty$ линейная зависимость не наблюдается с момента, когда фототок превысит ток сетки [1]. В этом случае сетка получает большой отрицательный заряд, и отклонение микроамперметра будет сильно увеличиваться при незначительном увеличении фототока. Именно это свойство

и использовано в данном усилителе. Практически уже при R_g , равном 10^{12} ом, имеем нелинейную зависимость. И поэтому можно измерять чрезвычайно малые изменения фототока.

Регулировку входной цепи производим следующим образом. В точке A разрываем цепь фототока и устанавливаем переключатель Π в положение 4. Регулируя выходную цепь, устанавливаем микроамперметр в нулевое положение. Затем переключатель Π ставим в положение O и регулировкой величины R_k возвращаем микроамперметр в нулевое положение. При отсутствии тока сетки и незначительной утечки фотоэлемента можно соединить фотоэлемент в точке A , не изменяя показаний микроамперметра, точно так же как и передвижение переключателя Π в любое положение.

Рассмотрим эквивалентную схему моста (рис. 2). Сопротивления R_1, R_2, R_3 и R_4 являются отдельными плечами моста. В диагональ моста включен микроамперметр, два плеча которого образуют сопротивления R_1 и R_2 , а два других плеча — сопротивления интервала анод — катод лампы $R_p + R'_4$ и интервала защитная сетка — катод лампы $R_s + R'_3 + R''_3$.

Направление токов, проходящих через соответствующие сопротивления, показано стрелками. Питание цепей анода, накала и сетки производится от одной общей батареи E .

При выборе величин сопротивлений моста необходимо учитывать следующее. При балансе моста, когда $i_m = 0$, или значительно меньшем величины анодного тока защитной сетки, разность потенциалов между точками A и B схемы будет

$$U_A - U_B = R_2 I_s - R_1 I_a.$$

При $i_m = 0$, $U_A - U_B = 0$:

$$\frac{R_2}{R_1} = \frac{I_a}{I_s}.$$

Для увеличения чувствительности схемы R_1 надо выбирать большим (в нашем случае $R_1 = 10$ ком). Для лампы 1Э1П значение тока $I_s = 400 \mu A$, а $I_a = 100 \pm 60 \mu A$, следовательно, $R_2 = 1$ ком.

Так как значение тока I_a меняется в широких пределах, сопротивление R_3'' выбираем переменным. Величина сопротивления $R_3 = R_3' + R_3''$ выбирается из следующих соображений. При балансе моста потенциал точки B равен потенциалу анода лампы, следовательно, при прохождении тока I_s через

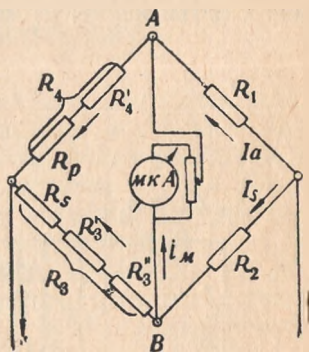


Рис. 2

сопротивление R_3 на нем будем иметь падение напряжения, равное разности между $U_{ao} - U_{so}$, откуда:

$$R_3 = \frac{U_{ao} - U_{so}}{I_s}.$$

В данном случае

$$R_3 = R_3' + R_3'' = 3,3 \text{ ком} + 4,7 \text{ ком}.$$

Величина сопротивления R_4 определяется величиной значения напряжения на аноде и равна 4 ком.

Остальные величины схемы имеют следующие значения:

$$E = 12\text{v}, E_1 = 25 - 30\text{v},$$

$$R_7 - 200 \text{ ом}, R_6 - 150 \text{ ом},$$

$$R_k \sim 60 \text{ ом}, R_1^0 - 10^{10} \text{ ом},$$

$$R_2^0 - 10^{11} \text{ ом}, R_3^0 - 10^{12} \text{ ом}, R_5 - 10 \text{ ком},$$

$$\mu A \text{ типа } M - 24, \mu A \text{ типа } ПМ - 70.$$

Данная схема прошла длительные испытания в лабораторных условиях и показала высокую чувствительность по току и высокую стабильность даже при малоемкостных источниках питания. В лаборатории была проверена чувствительность по току. При включении микроамперметра с ценой деления 10^{-6} А схема дает возможность уверенно измерять ток порядка 10^{-12} А. При использовании измерительного фотоэлемента СЦВ-6 интегральная чувствительность схемы—порядка 10^{-11} — 10^{-12} лм, время отсчета—около одной секунды. Установка малогабаритна, легко изготавливается и легко настраивается.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Б. А. Лопатин. Ламповые гальванометры постоянного тока, М., 1952.
- [2] А. Б. Бонч-Бруевич. Применение электронных ламп в экспериментальной физике, М., 1955.
- [3] Д. Шкловер, ЖТФ, 17, № 11, 1947.