

ИМПУЛЬСНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ pH СТЕКЛЯННЫМ
ЭЛЕКТРОДОМ

А. В. Трофимов и В. А. Заринский

Для измерения pH стеклянным электродом и для измерения искаженных значений э. д. с. высокоомных или легко поляризуемых систем можно пользоваться любым потенциометром, если повысить чувствительность его нулевого прибора до необходимого предела.

Если внутреннее сопротивление измеряемой системы R не превышает нескольких мегом, то определение э. д. с. с точностью до 1mV может быть произведено при помощи зеркального гальванометра в качестве нулевого прибора. Но если сопротивление системы соответствует десяткам или сотням мегом, то достижимая точность в этом случае будет недостаточной.

Простейший способ резкого повышения эффективной чувствительности нулевого прибора дает конденсаторный метод компенсации измеряемого потенциала [1,2]. Он основан на том, что слабый некомпенсированный ток в измеряемой цепи потенциометра, не обнаруживаемый гальванометром, накапливает в конденсаторе заряд Q . Максимальное значение этого заряда Q_m определяется емкостью конденсатора C и значением некомпенсированного напряжения ΔU , причем $Q_m = \Delta U C$ (рис. 1). Если накопленный в конденсаторе заряд затем разрядить на гальванометр при помощи ключа K , то импульс тока (при C от 2 до 4 μF) оказывается достаточно большим, чтобы можно было измерять э.д.с. системы с сопротивлением в несколько десятков мегом с точностью до 1mV.

Темп нарастания заряда конденсатора со временем определяется соотношением $Q/Q_m = e^{-\frac{Rt}{RC}}$. Таким образом, при значении $R = 100 M\Omega$ конденсатор емкостью 2 μF зарядится на $1/3$ своего полного заряда за время около 200 сек., т. е. измерение э.д.с. высокоомных систем (R порядка сотен $M\Omega$) будет требовать слишком много времени. Вследствие ограничений, накладываемых утечкой конденсатора и относительно большой длительностью его зарядки, этот простой принципиально безупречный метод не нашел широкого применения.

Указанные ограничения устраняются, если простой конденсаторный метод дополнить импульсным усилителем и разряд конденсатора производить не на гальванометр, а на сетку усилительной лампы. В этом случае резко снижается требуемая мощность разряда и возникает возможность уменьшить емкость конденсатора в сотни и даже в тысячи раз и, следовательно, во столько же раз уменьшить постоянную времени RC и ускорить процесс зарядки.

По сравнению с другими ламповыми усилителями импульсная схема имеет ряд преимуществ: 1) она не требует никакой настройки и подстройки перед измерениями; 2) нуль гальванометра, включенного в схему, никогда не «дрейфует», так как этот прибор «разомкнут» конденсатором (рис. 2) и чувствителен лишь к изменениям (импульсам) анодного тока, а не к его постоянной составляющей; 3) сеточный ток в этой схеме не может искажать результатов измерений.

Импульсные усилители принципиально были описаны еще в 1931 г. Мортонем [3] и нашли практическое применение в автоматических потенциометрах, где особенно важна стабильность нуля индикаторного прибора и возможность работы без какой-либо подстройки при длительной эксплуатации. Такая схема с лампой 6Ф7 применена, например, фирмой Лидс-Нортсруп в автоматах для измерения и записи рН. Н. А. Шибко и Н. Н. Беляев использовали аналогичную схему (с лампой «79») в автоматическом потенциометре МОСКИП.

Прибор, построенный нами по схеме, изображенной на рис. 2, позволяет определять э.д.с. систем с сопротивлением в сотни мегом при помощи любого потенциометра. Схема имеет две ступени усиления импульсов, подаваемых на сеточный конденсатор входной лампы (тетрода). Усиленный выходной импульс снимается с анода выходного триода и отмечается нулевым стрелочным гальванометром. Обе ступени усиления осуществляются при помощи одной лампы, триода — тетрода 6Ф7.

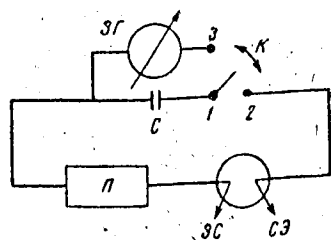


Рис. 1. Схема простого конденсаторного усилителя: ЗГ — зеркальный гальванометр; С — $2-4 \mu F$; П — потенциометр; ЭС — электрод сравнения; Э — стеклянный электрод; К — зарядно-разрядный ключ

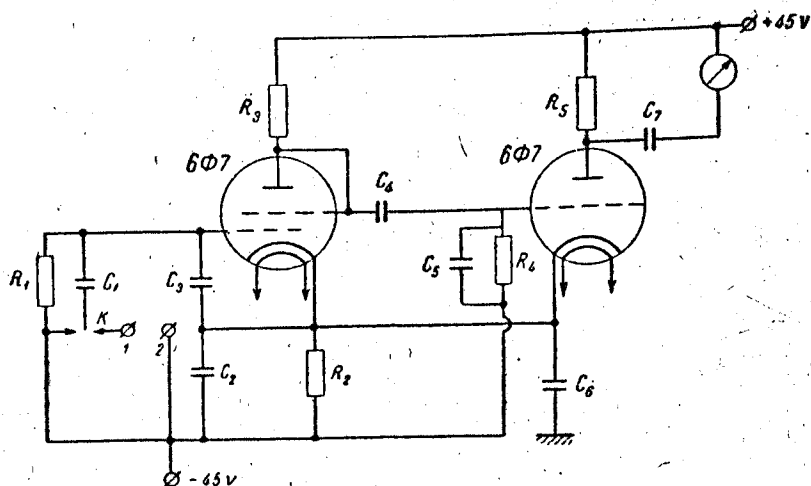


Рис. 2. Схема лампового импульсного усилителя: 1—2 входные клеммы $R_1=10^6 \Omega$; $R_2=3K \Omega$; $R_3=0,1M \Omega$; $R_4=2,5M \Omega$; $R_5=0,25M \Omega$; $C_1=0,01 \mu F$; $C_2=30 \mu F$; $C_3=1000 \mu F$; $C_4=2 \mu F$; $C_5=0,001 \mu F$; $C_6=C_7=4 \mu F$

Техника определения потенциала стеклянного электрода при помощи импульсного усилителя чрезвычайно проста. Лабораторный потенциометр включается последовательно со стеклянным электродом и электродом сравнения в цепь импульсно-конденсаторной схемы (клеммы 1—2, рис. 2). Рабочий ключ (кнопка) потенциометра замыкается на все время работы, и компенсация э.д.с. измеряемой системы производится при помощи зарядно-разрядного ключа К, монтированного на панели усилителя, до прекращения импульсов тока в гальванометре. Темпы заряда — разряда определяются постоянной времени всей схемы и отдельных ее блоков. Приводимые ниже параметры согласованы со средним временем успокоения стрелочных приборов. Постоянная времени процесса зарядки импульсного конденсатора при емкости $C_1 = 0,01 \mu F$ и при сопротивлении электрода $R = 100 M \Omega$ равна 1 сек. При нормальных темпах работы ключом (3—4 сек. на цикл) происходит, таким образом, лишь небольшая

потеря чувствительности от недозарядки конденсатора. Очевидно, что при $R = 1000 \text{ M}\Omega$ эта потеря станет заметной.

Указанная выше точность определения э.д.с. при пользовании стрелочным гальванометром с чувствительностью 10^{-7} A в нашей схеме

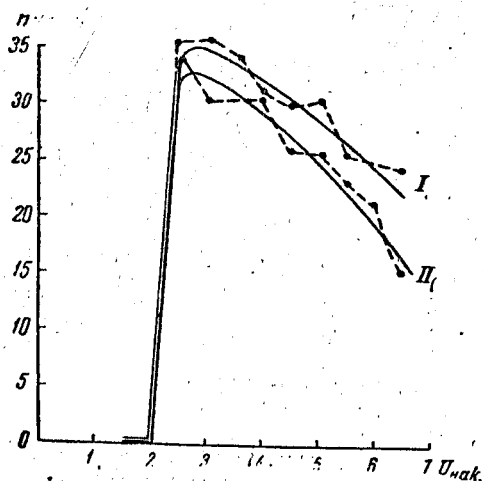


Рис. 3. Зависимость чувствительности (n) импульсного усилителя от напряжения накала при постоянном анодном напряжении: ($U_a = 60 \text{ V}$). n — число делений шкалы гальванометра; I — кривая при отсутствии сопротивления ($R = 0$) в измеряемой цепи; II — кривая для $R = 100 \text{ M}\Omega$ (в обоих случаях с потенциометра подавалось $0,2 \text{ V}$).

циалов). Далее, утечки конденсатора C_1 и конденсатора C_7 должны быть ничтожными, чтобы не пострадала чувствительность схемы (от утечки C_1) или стабильность нуля гальванометра (от утечки C_7).

Накал лампы удобно питать от сети через резонансный трансформаторный стабилизатор простейшего типа (рис. 4). Анодное питание подается от сухой батареи на 60 V , а в случае питания анода от сети оно должно быть дважды стабилизировано резонансным стабилизатором и добавочным неоновым стабилизатором.

Установка оптимального режима схемы производится регулированием тока накала лампы, который в этой схеме значительно ниже нормального ($U_{\text{нак}} \sim 4 \text{ V}$). Это обеспечивает большую длительность жизни лампы 6Ф7. В цепь накала для обеспечения оптимального режима схемы (ее максимальной чувствительности) вводится добавочное «подгоночное» сопротивление: оно подбирается соответственно с кривой рис. 3.

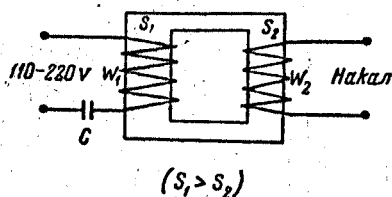


Рис. 4. Схема резонансного стабилизатора на 5 W для питания накала лампы 6Ф7 от сети переменного тока. Железо: Ш — 25; число витков: $W_1 = 3000$; $W_2 = 125$; $P\Phi = 0,36$; $P\Phi = 0,8$; площадь сечения кернов: $S_1 = 3,4 \text{ cm}^2$; $S_2 = 2,0 \text{ cm}^2$; $C = 1,5 \mu\text{F}$, 500 V .

Поступила в редакцию
20.IX.1950

ЛИТЕРАТУРА

- ¹ K. Benevitz u. K. Kellner, Z. anal. Chem. 102, Nr. 1—2 (1935);
- ² П. Крюков и А. Крюков. ЖПХ, 12, № 4 (1939); Ch. Morton, J. Chem. Soc. London, p. 2977 (1931).