

А. СЮГИС

ИССЛЕДОВАНИЕ СИММЕТРИЧНОГО ЭЛЕКТРОННОГО ИНТЕГРАТОРА ДЛЯ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

При количественном анализе методом газовой хроматографии для достижения надлежащей точности необходимо производить электронное интегрирование площадей пиков отдельных разделенных веществ. Однако катарометры газовых хроматографов построены только по балансной схеме. Следовательно, непосредственное применение обычных несимметричных интеграторов приводит к потере компенсации флуктуации, достигаемой в балансной схеме. Напряжение для интегратора можно получить с дополнительного реохорда, установленного в самописец, который применяется для записи хроматограммы. Однако в этом случае кроме статических дополнительных погрешностей возможно возникновение еще и динамической погрешности самописца, который может не успевать следить за острым пиком. Радикальный выход из положения дает применение симметричного интегратора, в котором достигается взаимная компенсация сеточных токов входного двойного триода и тока утечки интегрирующих конденсаторов, благодаря чему уменьшаются погрешности по сравнению с несимметричным интегратором [1]. Симметричный интегратор работает и от несимметричного источника, сохраняя при этом указанную компенсацию погрешностей.

Принципы работы

Рассмотрим блок-схему симметричного интегратора с параллельной обратной связью (рис. 1), питаемого от источников е.д.с. E' и E'' с внутренними сопротивлениями R' и R'' . Входные е.д.с. E' и E'' можно разложить на асимметричную и симметричную компоненты E_a и E_s ; аналогично разлагаются входные напряжения усилителя u' и u'' , а также выходные напряжения U' и U'' :

$$E_a = 1/2(E' - E''); \quad E_s = 1/2(E' + E''); \quad u_a = 1/2(u' - u'') \text{ и т. д.}$$

Усилитель имеет следующие коэффициенты усиления [2]:

$$K_a = \frac{U_a}{u_a}; \quad K_s = \frac{U_s}{u_s}; \quad K_{sa} = \frac{U_s}{u_a} \quad \text{и} \quad K_{as} = \frac{U_a}{u_s}.$$

Полезное усиление усилителя $K_a \gg 1$; K_s обычно около единицы; поскольку усилитель сбалансированный, $K_{sa} \ll 1$ и $K_{as} \ll 1$ и ими можно пренебречь.

Для интегратора получаем следующие выражения компонентов выходного напряжения:

$$U_a = -e^{-\frac{t}{\tau_a}} \int_0^t \frac{1}{\tau \left(1 + \frac{1}{K_a}\right)} E_a e^{\frac{t}{\tau_a}} dt - \frac{R' - R''}{R' + R'' + 2R_0} e^{-\frac{t}{2\tau}} \int_0^t \frac{1}{2\tau \left(1 - \frac{1}{K_a}\right)} E_s e^{\frac{t}{2\tau}} dt, \quad (1)$$

$$U_s = \pm e^{-\frac{t}{\tau_s}} \int_0^t \frac{1}{\tau \left(1 \mp \frac{1}{K_s}\right)} E_s e^{\frac{t}{\tau_s}} dt, \quad (2)$$

где введены следующие постоянные времени:

$$\tau = [R_0 + \frac{1}{2}(R' + R'')]C_0; \quad \tau_a = \tau(K_a + 1) \quad \text{и} \quad \tau_s = \tau(K_s \mp 1).$$

В случае двойных знаков верхний знак соответствует положительной, а нижний — отрицательной обратной связи. При четном числе усилительных каскадов обратная связь по симметричному компоненту положительна, а по асимметричному — отрицательна, что достигается перекрестным соединением интегрирующих конденсаторов. Схема устойчива только при $K_s < 1$; например, для усилителя, изображенного на рис. 2 имеем $K_s = 0,13$.

Для упрощения выражений (1) и (2) положим: $K_a \gg 1$, $t \ll \tau_a$ и за время 2τ изменение E_s мало. Тогда

$$U_a \cong -\frac{1}{\tau} \int_0^t E_a dt - \frac{R' - R''}{R' + R'' + 2R_0} E_s \quad (3)$$

$$U_s \cong \pm K_s E_s. \quad (4)$$

Самописец, подключенный симметрично к выходу, реагирует только на U_a . В выражении (3) первый член представляет полезное напряжение, а второй — паразитное.

Теперь создаем на входе (клеммы 1—1 на рис. 1) искусственную среднюю точку; в этой точке компонент E_a оказывается более ослабленным, чем E_s . Если же нулевой провод усилителя изолировать от «земли» и заставить его потенциал следовать за потенциалом в этой средней точке (при помощи катодного повторителя с дополнительным усилителем сигнала ошибки), то это приводит к уменьшению падения напряжения от компонента E_s на R_0 . Процесс идет до тех пор, пока это падение напряжения от E_s исчезает и потенциал на средней точке содержит только E_s . Это означает, что на усилитель E_s не подается и второй член в выражении (3) исчезает. Окончательно получаем:

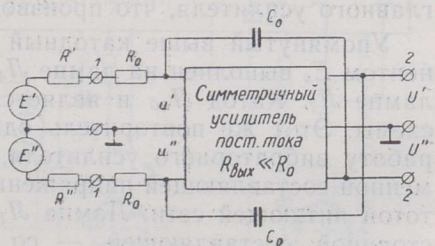


Рис. 1. Блок-схема симметричного интегратора.

$$U_a = -\frac{1}{\tau} \int_0^t E_a dt \quad (5)$$

$$U_s = 0, \quad (6)$$

$$\text{но} \quad U_s^0 = E_s, \quad (7)$$

где U_s^0 — симметричный компонент выходного напряжения интегратора, измеренный относительно «земли».

Экспериментальное исследование

Схема исследованного симметричного интегратора приведена на рис. 2. Интегрирующий контур состоит из R_0 и C_0 . Чувствительность изменяется в пределах от 0,1 до 10 000 $v \cdot сек$ переключением R_0 . Главный усилитель выполнен на лампах L_1 и L_2 с положительной обратной связью внутри усилителя, величина которой изменяется сопротивлением R_{2a} и R_{2b} . Положительной обратной связью можно повысить его коэффициент усиления K_a с 170 до 3000, что еще обеспечено длительно без подрегулировки. Разность сеточных токов двух половин лампы L_1 падает после тренировки ниже $10^{-11} a$.

Стабилизацию нуля главного усилителя обеспечивает вибраторный усилитель на лампах L_3 и L_{4a} . Для модуляции и демодуляции напряжения ошибки применяются поляризованные реле $РП_1$ и $РП_2$, питаемые от мультивибратора на лампе L_8 на частоте $15,2 \pm 0,5 гц$. Усиление вибраторного усилителя (по постоянному напряжению) — 12 000. Итак, общий коэффициент усиления на нулевой частоте — $K_a \geq 14\,000\,000$. Движение якоря модулятора $РП_1$ является единственным источником паразитного напряжения на частоте 15,2 $гц$, что дает постоянное напряжение после демодуляции. Для его подавления зазор контактов уменьшен до 15 $мкм$, а остаточное напряжение компенсируется напряжением, подаваемым от потенциометра R_5 на катод лампы L_3 . Таким образом, достигнуто уменьшение ухода нуля до $\pm 3 мкв$ за 8 ч. Индикатором точной компенсации служит прибор $ИП_1$ при включенном $П_3$. Выходное напряжение демодулятора управляет балансом главного усилителя через лампу L_5 . Прибор $ИП_2$ служит индикатором грубой балансировки главного усилителя, что производится потенциометром R_1 .

Упомянутый выше катодный повторитель для слежения за компонентом E_s выполнен на лампе L_{4b} с усилителем напряжения ошибки на лампе L_7 . Катод L_{4b} и является «плавающей» нулевой точкой всей схемы. Этот же повторитель одновременно обеспечивает нормальную работу вибраторного усилителя, предохраняя его от перегрузки переменной составляющей напряжения E_s , в том числе и от пульсации с частотой питающей сети. Лампа L_7 получает входное напряжение: по постоянной составляющей — со входа прибора через сопротивления 1,8 $мом$, а по переменной — со входа главного усилителя через конденсаторы 0,5 $мкф$. Возможная пульсация напряжения E_a с сетевой частотой эффективно подавляется уже главным усилителем вследствие обратной связи через C_0 ; следовательно, ни одна переменная составляющая не проникает в вибраторный усилитель. Схема допускает величину E_s до $\pm 50 v$ и пульсацию на сетевой частоте в E' и E'' до $0,1 R_0^m v$, где R_0 выражено в килоомах, а $m = \log e$.

Часть схемы на лампах L_{9a} и L_{5b} повышает точность выполнения условия (7), уменьшая влияние изменения напряжений в схеме и влияние нагрузки в 20 раз. Достигнут коэффициент подавления симметричного компонента

$$\frac{E_s}{E_s - U_s^0} = 70.$$

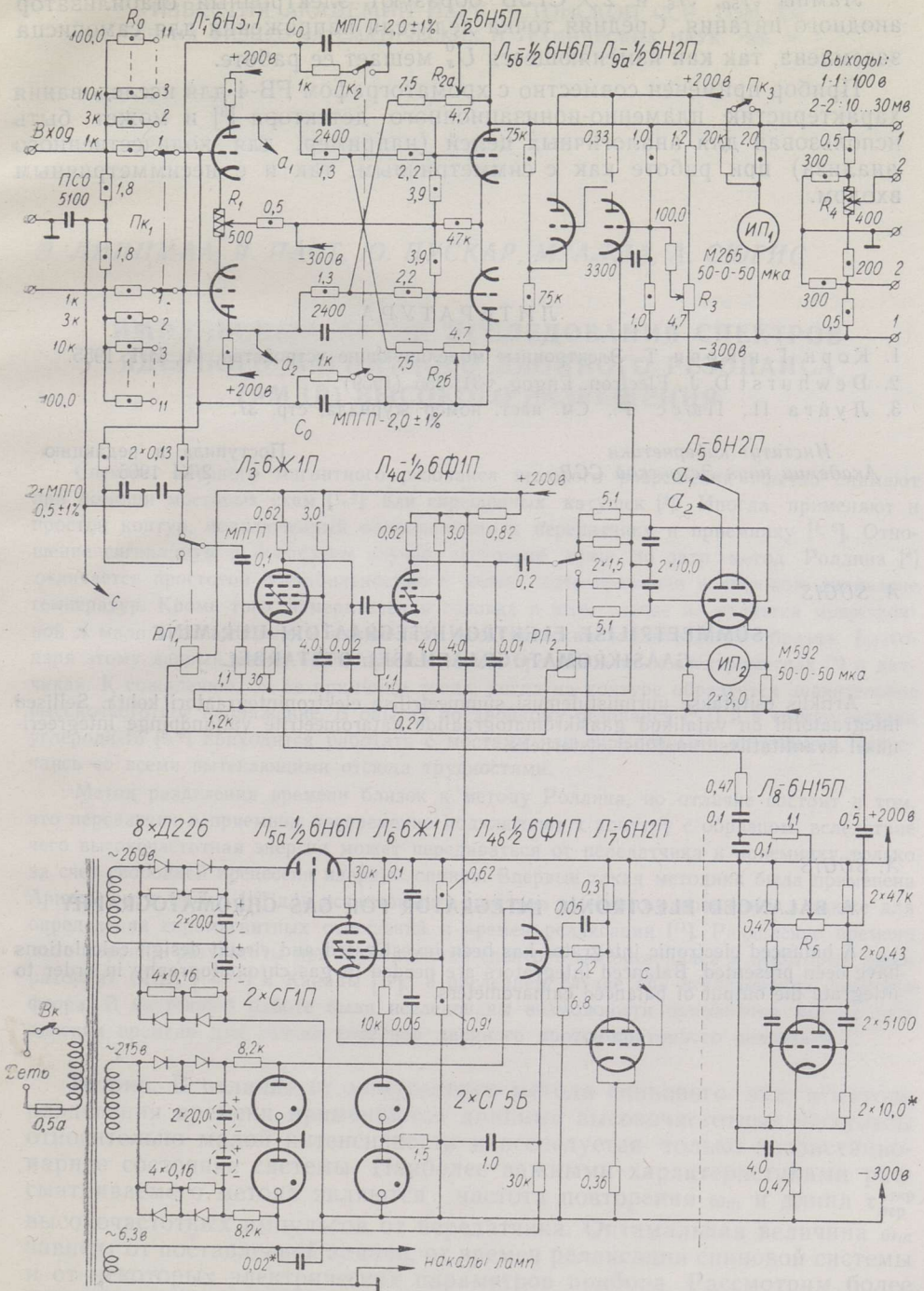


Рис. 2. Схема интегратора. Сопротивления, отмеченные точкой, имеют допуск $\pm 1\%$; остальные детали $\pm 10\%$. Детали, отмеченные звездочкой, подбираются в ходе регулировки.

Лампы L_{5a} , L_6 и $2 \times$ СГ5Б образуют электронный стабилизатор анодного питания. Средняя точка делителя напряжения для самописца заземлена, так как изменяющееся U_s^0 мешает ее работе.

Прибор применен совместно с хроматографом FB-4 для исследования характеристик пламенно-ионизационного детектора [3] и может быть использован для аналогичных целей (например, для количественного анализа) при работе как с симметричным, так и с несимметричным входом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корн Г. и Корн Т., Электронные моделирующие устройства, М., ИЛ, 1955.
2. Dewhurst D. J., Electron. Engng., 31, 355 (1959).
3. Луйга П., Пюсс Р., См. наст. номер журнала, стр. 37.

Институт кибернетики
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
2/XI 1965.

A. SUGIS

SÜMMEETRILISE ELEKTRONINTEGRAATORI UURIMINE GAASIKROMATOGRAAFILISEL OTSTARBEL

Artiklis esitatakse uurimistulemusi sümmeetrilise elektronintegraatori kohta. Sellised integraatorid on vajalikud gaasikromatograafide kataromeetrite väljundpinge integreerimisel kvantitatiivse analüüsi otstarbeks.

A. SUGIS

A BALANCED ELECTRONIC INTEGRATOR FOR GAS CHROMATOGRAPHY

A balanced electronic integrator has been investigated and circuit design calculations have been presented. Balanced integrators are needed in gas chromatography in order to integrate the output of balanced catharometers.