

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА

А. С. МКРТЧЯН

ДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО

Метод и блок-схема. Множительно-делительные устройства являются довольно распространенными приборами (или узлами приборов) и находят широкое применение как в вычислительной технике, так и в измерительной аппаратуре, предназначенной для различных исследований.

Автором этой статьи была сделана попытка создать делительное устройство, которое бы обладало значительным быстродействием и сравнительно небольшой погрешностью в рабочем интервале напряжений входных сигналов. В результате экспериментальных исследований построен макет прибора, принцип работы которого можно уяснить из блок-схемы, приведенной на рис. 1. Входные сигналы дели-

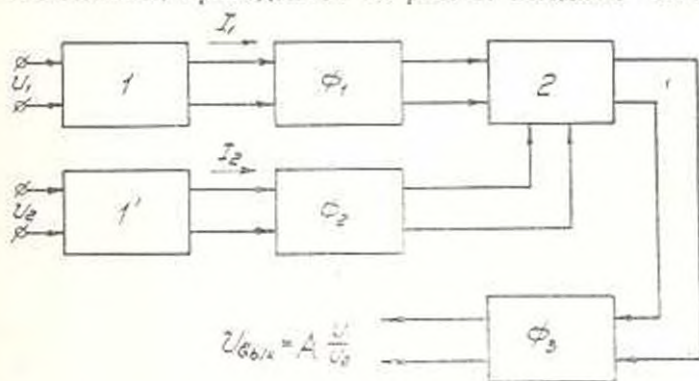


Рис. 1.

мого U_1 и делителя U_2 поступают на усилители I и I' , которые преобразуют эти сигналы в пропорциональный им по амплитуде ток (I_1 и I_2 соответственно). Эти токи, протекая через функциональные преобразователи Φ_1 и Φ_2 , имеющие вольтамперную характеристику $U_\Phi = k_\Phi \lg I_\Phi$, создают на последних падение напряжения, пропорциональное логарифму протекающего через них тока. В блоке 2 производится операция вычитания и, учитывая, что $I_1 = k_1 U_1$ и $I_2 = k_2 U_2$, можно записать выражение для амплитуды напряжения импульса на выходных зажимах блока

$$U_{\text{вых.2}} = k_\Phi \cdot \lg(k_1 \cdot U_1) - k_\Phi \cdot \lg(k_2 \cdot U_2) = k_\Phi \cdot \lg \frac{k_1 \cdot U_1}{k_2 \cdot U_2}. \quad (1)$$

Функциональный преобразователь Φ_2 имеет такую же вольт-амперную характеристику, как и блоки Φ_1 и Φ_3 и производит операцию антилогарифмирования

$$U_{\text{вых}} = A \frac{U_1}{U_2}, \quad (2)$$

где

$$A = R_0 \frac{k_1}{k_2}.$$

Полная принципиальная схема макета делительного устройства приведена на рис. 2. Входные блоки I и I' схемы выполнены на лампах $\Lambda_1 - \Lambda_2$ и $\Lambda_8 - \Lambda_{15}$ соответственно. Лампы Λ_1 и Λ_2 работают в режиме обычных реостатных усилителей. С анода лампы Λ_1 импульс посту-

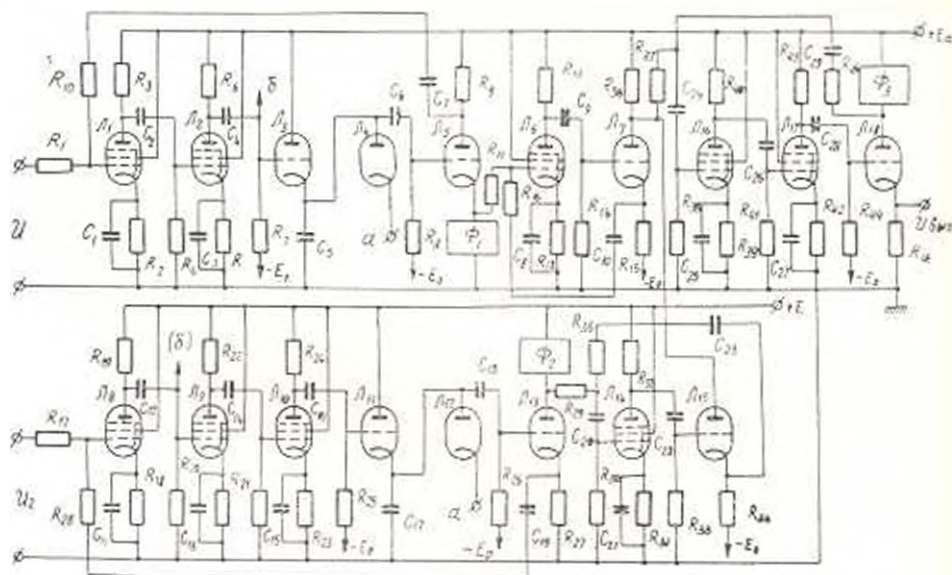


Рис. 2.

пает на сетку нормально запертой лампы Λ_3 . Одновременно на катод лампы Λ_4 поступает положительный прямоугольный импульс длительностью 20 мксек, передний фронт которого несколько опережает входной сигнал. В результате этого лампа Λ_4 запирается и конденсатор C_1 начинает заряжаться током лампы Λ_3 . Напряжение с этого конденсатора через переходную емкость C_2 поступает на сетку запертой лампы Λ_5 . Образующийся при этом импульс анодного сопротивления этой лампы R_1 используется для осуществления стопроцентной обратной связи. В результате этого при нарастании напряжения на входных зажимах схемы и достаточно большом коэффициенте усиления ламп Λ_1 и Λ_2 импульс тока через лампу Λ_3 можно считать равным отношению входного напряжения U_1 к величине сопротивления R_1 . При прохождении входного сигнала через максимум и его дальнейшем спаде потенциал сетки Λ_3 уменьшается и лампа за-

пирается. Это приводит к тому, что ток через лампу $\mathcal{L}_5$ остается равным своему максимальному значению до окончания управляющего импульса на зажиме a (рис. 3, в). Нагрузкой катодной цепи лампы $\mathcal{L}_5$ является функциональный преобразователь Φ_1 . Падение напряжения на его зажимах пропорционально логарифму протекающего через него тока лампы $\mathcal{L}_5$, а путем отсечки анодного тока

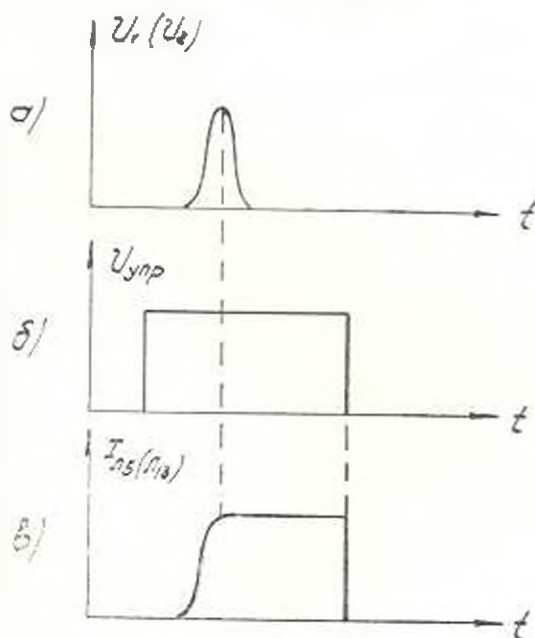


Рис. 3.

лампы $\mathcal{L}_5$ достигается зависимость $I_a = k \cdot U_1 - 1$. Каскады на лампах $\mathcal{L}_6$ и $\mathcal{L}_7$ преобразуют сигнал с функционального преобразователя в пропорциональный ему ток лампы $\mathcal{L}_7$.

Второй канал, содержащий лампы $\mathcal{L}_8 - \mathcal{L}_{15}$, аналогичен рассмотренному выше с той только разницей, что ток через последнюю лампу этого канала $\mathcal{L}_{15}$ имеет противоположное направление. Через сопротивление R_{10} протекает ток, равный алгебраической сумме токов ламп $\mathcal{L}_7$ и $\mathcal{L}_{15}$, в результате чего на его зажимах возникает импульс, пропорциональный разности этих токов (I). Лампы $\mathcal{L}_{16} - \mathcal{L}_{18}$ выполняют операцию антилогарифмирования. Таким образом, с выхода прибора снимается прямоугольный импульс, амплитуда которого пропорциональна частному от деления входных сигналов (2).

Оценка погрешностей. Для определения погрешности преобразования исследуемого делительного устройства найдем зависимость выходного сигнала прибора от входных импульсов и параметров схемы. Для этого обратимся к функциональной схеме исследуемого прибора, представленной на рис. 1.

Считая, что $R_{31} \gg R_{21}$, можно записать:

$$U_{21} = -U_1 \cdot k_1 \cdot S_1 \cdot R_{21}; U_1 = \frac{U_1 \cdot R_{31} + U_{21} \cdot R_{11}}{R_{11} + R_{31}}.$$

Из этих уравнений находим

$$U_{21} = -U_1 \frac{k_1 S_1 R_{21} R_{31}}{R_{11} + R_{31} + k_1 S_1 R_{11} R_{21}}; \quad (3)$$

$$I_{21} = U_1 \frac{k_1 \cdot S_1 \cdot R_{31}}{R_{11} + R_{31} + k_1 \cdot S_1 \cdot R_{11} \cdot R_{21}}. \quad (4)$$

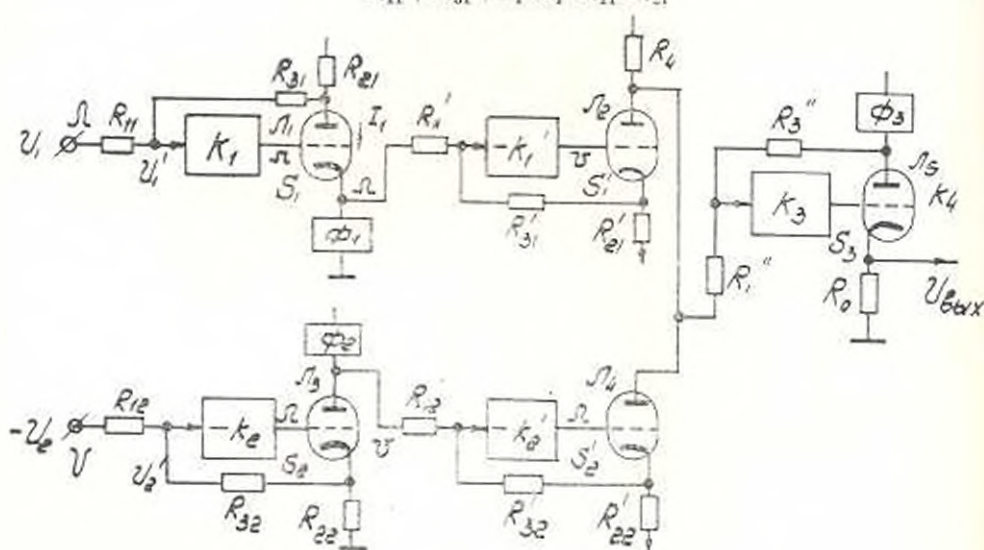


Рис. 4.

Как уже было отмечено выше, зависимость напряжения на зажимах функционального преобразователя от протекающего через него тока имеет вид

$$U_{\Phi 1} = k_{\Phi 1} \cdot \lg I_{21} \cdot (I_{21} - I_{\Phi 1}).$$

Подставляя значение I_{21} из (4) в последнее выражение, получим

$$U_{\Phi 1} = k_{\Phi 1} \cdot \lg \left(U_1 \frac{k_1 \cdot S_1 \cdot R_{31}}{R_{11} + R_{31} + k_1 \cdot S_1 \cdot R_{11} \cdot R_{21}} \right). \quad (5)$$

Аналогично для второго канала

$$U_{\Phi 2} = -k_{\Phi 2} \cdot \lg \left(U_2 \frac{k_2 \cdot S_2 \cdot R_{32}}{R_{12} + R_{32} + k_2 \cdot S_2 \cdot R_{12} \cdot R_{22}} \right). \quad (6)$$

Далее имеем

$$I_{22} = -k_{\Phi 1} \frac{k_1 \cdot S_1 \cdot R_{31}}{R_{11} + R_{31} + k_1 \cdot S_1 \cdot R_{11} \cdot R_{21}} \cdot \lg \left(U_1 \frac{k_1 \cdot S_1 \cdot R_{31}}{R_{11} + R_{31} + k_1 \cdot S_1 \cdot R_{11} \cdot R_{21}} \right). \quad (7)$$

$$I_{21} = k_{\Phi 2} \frac{k_2 \cdot S_2 \cdot R_{32}}{R_{12} + R_{32} + k_2 \cdot S_2 \cdot R_{12} \cdot R_{22}} \cdot \lg \left(U_2 \frac{k_2 \cdot S_2 \cdot R_{32}}{R_{12} + R_{32} + k_2 \cdot S_2 \cdot R_{12} \cdot R_{22}} \right). \quad (8)$$

Кроме того имеем:

$$U_{R4} = -R_4 (I_{22} - I_{21}); \quad U_{\Phi 1} = -U_1 \frac{k_1 \cdot k_2 \cdot R_4}{R_1^2 + R_2^2 + k_2 \cdot k_1 \cdot R_1 \cdot R_2}.$$

где $k_4 = S_2 \cdot R_{\Phi 3}$.

Из вольтамперной характеристики Φ_3

$$I_{\Phi 3} = A \operatorname{anti} \lg \left(\frac{1}{k_{\Phi 3}} \cdot U_{\Phi 3} \right).$$

Используя полученные выше соотношения, будем иметь

$$\begin{aligned} I_{\Phi 3} = A \operatorname{anti} \lg & \left[\frac{k_{\Phi 2}}{k_{\Phi 3}} \cdot R_4 \cdot \frac{R_3}{R_1} \cdot \frac{R_{31}}{R_{11} \cdot R_{21}} \cdot \frac{k_2 \cdot k_4}{1 + \frac{R_3}{R_1} + k_3 \cdot k_4} \right. \\ & \cdot \frac{\frac{k_1 \cdot S_2}{\frac{1}{R_{21}} + \frac{R_{31}}{R_{11} \cdot R_{21}} + k_1 \cdot S_1}}{\times \lg \left(U_1 \frac{k_3 \cdot S_1 \cdot R_{31}}{R_{11} + R_{21} + k_1 \cdot S_1 \cdot R_{11} \cdot R_{21}} \right) -} \\ & \cdot \frac{k_{\Phi 2}}{k_{\Phi 3}} \cdot R_4 \cdot \frac{R_3}{R_1} \cdot \frac{R_{32}}{R_{12} \cdot R_{22}} \cdot \frac{k_2 \cdot k_4}{1 + \frac{R_3}{R_1} + k_3 \cdot k_4} \times \frac{k_2 \cdot S_2}{\frac{1}{R_{22}} + \frac{R_{32}}{R_{12} \cdot R_{22}} + k_2 \cdot S_2}} \\ & \left. \cdot \lg \left(U_2 \frac{k_2 \cdot S_2 \cdot R_{32}}{R_{12} + R_{22} + k_2 \cdot S_2 \cdot R_{12} \cdot R_{22}} \right) \right]. \quad (9) \end{aligned}$$

Из выражения (9) видно, что для получения пропорциональной зависимости между током $I_{\Phi 3}$ и отношением U_1/U_2 необходимо выбирать параметры схемы, исходя из условия

$$\frac{k_{\Phi 2}}{k_{\Phi 3}} \cdot \frac{R_4 \cdot R_3 \cdot R_{31}}{R_1 \cdot R_{11} \cdot R_{21}} (1 - \Delta_3) (1 - \Delta_1) = \frac{k_{\Phi 2}}{k_{\Phi 3}} \cdot \frac{R_4 \cdot R_3 \cdot R_{32}}{R_1 \cdot R_{12} \cdot R_{22}} (1 - \Delta_3) (1 - \Delta_2) = 1. \quad (10)$$

где

$$\begin{aligned} \Delta_1' &= \frac{\frac{1}{R_{21}} + \frac{R_{31}}{R_{11} \cdot R_{21}}}{\frac{1}{R_{21}} + \frac{R_{31}}{R_{11} \cdot R_{21}} + k_1 \cdot S_1}; \quad \Delta_2' = \frac{\frac{1}{R_{22}} + \frac{R_{32}}{R_{12} \cdot R_{22}}}{\frac{1}{R_{22}} + \frac{R_{32}}{R_{12} \cdot R_{22}} + k_2 \cdot S_2}; \\ \Delta_3 &= \frac{1 + \frac{R_3}{R_1}}{1 + \frac{R_3}{R_1} + k_3 R_4} \end{aligned}$$

Если принять $R_{11} = R_{31}$; $R_{11} = R_{32}$; $R_{12} = R_{32}$; $R_{12} = R_{32}$ и $R_1 = R_3$, то последнее равенство можно переписать в виде

$$\frac{k_{\Phi 2}}{k_{\Phi 3}} \cdot \frac{R_3}{R_{21}} (1 - \Delta_3) (1 - \Delta_1) = \frac{k_{\Phi 2}}{k_{\Phi 3}} \cdot \frac{R_4}{R_{12}} (1 - \Delta_3) (1 - \Delta_2') = 1.$$

Откуда

$$k_{\Phi 1} \approx k_{\Phi 2} \approx k_{\Phi 3} \frac{R_{11}}{R_4}, \quad (11)$$

так как $\Delta_1' \ll 1$; $\Delta_2 \ll 1$ и $\Delta_3 \ll 1$.

С учетом перечисленных условий выражение для тока $I_{\Delta 3}$ примет вид

$$I_{\Delta 3} = A \frac{1 - \frac{2}{2 + k_1 S_1 R_{21}}}{1 - \frac{2}{2 + k_2 S_2 R_{22}}} \cdot \frac{U_1}{U_2} = A \cdot \frac{1 - \Delta_1}{1 - \Delta_2} \cdot \frac{U_1}{U_2}. \quad (12)$$

Ошибка преобразования $\Delta I_{\Delta 3}/I_{\Delta 3}$ после соответствующих выкладок и устранения членов второго порядка малости будет

$$\begin{aligned} \frac{\Delta I_{\Delta 3}}{I_{\Delta 3}} = & \frac{2}{k_1 \cdot S_1 \cdot R_{21}} \cdot \left(\frac{\Delta k_1}{k_1} + \frac{\Delta S_1}{S_1} \right) - \frac{2}{k_2 \cdot S_2 \cdot R_{22}} \cdot \left(\frac{\Delta k_2}{k_2} + \frac{\Delta S_2}{S_2} \right) + \\ & + \ln \left(\frac{U_1}{R_{21}} \right) \left[\frac{2}{k_1' S_1' R_{21}'} \cdot \left(\frac{\Delta k_1'}{k_1'} + \frac{\Delta S_1'}{S_1'} \right) + \frac{2}{k_3 k_4} \cdot \left(\frac{\Delta k_3}{k_3} + \frac{\Delta k_4}{k_4} \right) + \right. \\ & + \left. \frac{\Delta k_{\Phi 1}}{k_{\Phi 1}} - \frac{\Delta k_{\Phi 3}}{k_{\Phi 3}} \right] - \ln \left(\frac{U_2}{R_{22}} \right) \left[\frac{2}{k_2' S_2' R_{22}'} \cdot \left(\frac{\Delta k_2'}{k_2'} + \frac{\Delta S_2'}{S_2'} \right) + \right. \\ & + \left. \frac{2}{k_3 k_4} \cdot \left(\frac{\Delta k_3}{k_3} + \frac{\Delta k_4}{k_4} \right) + \frac{\Delta k_{\Phi 2}}{k_{\Phi 2}} - \frac{\Delta k_{\Phi 3}}{k_{\Phi 3}} \right]. \quad (13) \end{aligned}$$

Из рассмотрения этого выражения можно сделать заключение, что соответствующим выбором параметров схемы делительного устройства однозначно определяется погрешность выходного тока этого прибора $\Delta I_{\Delta 3}/I_{\Delta 3}$ от изменения указанных параметров ($k_1, k_1', k_2, k_2', k_3, k_4, S_1, S_1', S_2, S_2'$). Можно выбрать значения элементов исследуемой схемы так, чтобы погрешность результирующего сигнала на выходных зажимах прибора от изменения приведенных выше величин была бы меньше той погрешности, которая обусловлена ошибкой логарифмических преобразователей Φ_1, Φ_2, Φ_3 .

Для реализации операции логарифмирования и антилогарифмирования в исследуемой схеме применены одноступенчатые функциональные преобразователи, состоящие из определенного количества диодных ячеек. Схема такого устройства, реализующая вольт-амперную характеристику $U_{\Phi} = k_{\Phi} \cdot \lg(I_{\Phi} + 1)$, приведена на рис. 5. Макеты преобразователей, собранных по этой схеме, были налажены и исследованы на экспериментальной установке блок-схема, которая приведена на рис. 6.

Прежде чем перейти к рассмотрению работы этой установки, отметим следующее: поскольку схемы преобразователей, выполняющих операцию логарифмирования, собраны на полупроводниковых приборах (диодах Д2В), в рабочих условиях необходимо предусмотреть температурную стабилизацию этого узла для обеспечения постоянства характеристик, входящих в схему полупроводниковых приборов. Кроме того, в целях создания облегченного режима работы указанных полупроводниковых элементов логарифмические преобразователи подключаются к схеме делительного устройства таким образом, что-

бы постоянная составляющая тока через преобразователи была бы равна нулю (функциональные преобразователи в схеме работают в импульсном режиме). Ввиду этого для создания условий, близких к рабочим, при исследовании логарифмических преобразователей на экспериментальной установке (рис. 6), эти преобразователи помещались

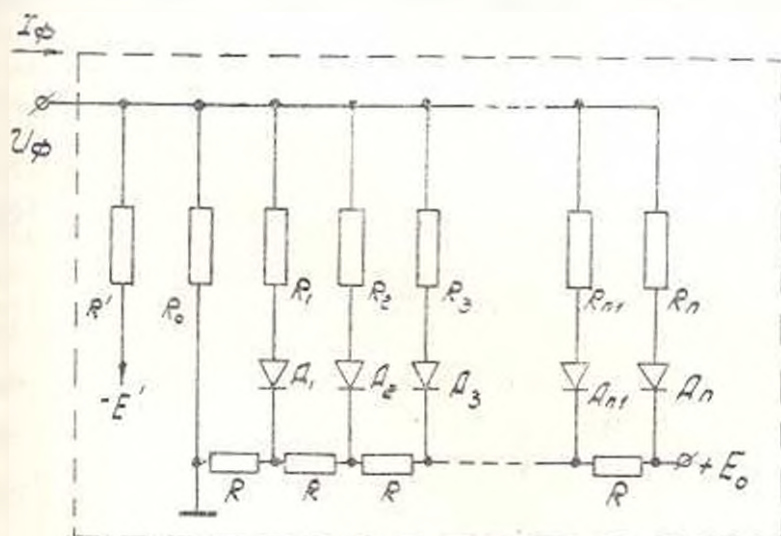


Рис. 6.

в термостат, в котором поддерживалась постоянная температура $20 \pm 1^\circ\text{C}$, а их испытания производились в импульсном режиме (длительность импульсов входного генератора 3–5 мксек, частота следования — 1 кГц).

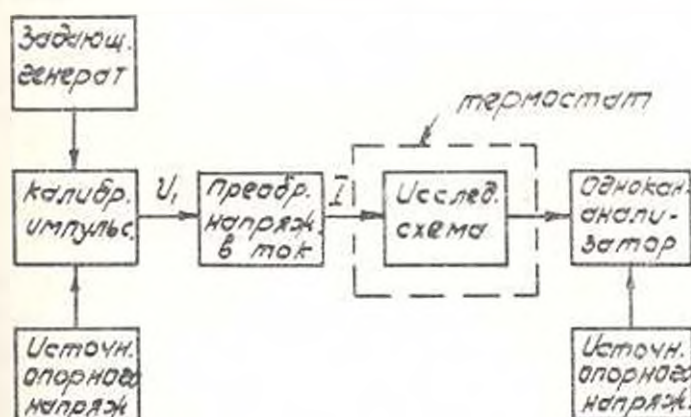


Рис. 6.

Задающим генератором экспериментальной установки 1 служит генератор импульсов типа 26—N. Амплитуда выходных импульсов этого генератора в блоке 2 подвергается калибровке. Точность калибровки $\pm 0,1\%$. Отметим, что калибровка амплитуды импульсов производилась методом сравнения последних с величиной опорного

потенциала. Далее в блоке 3 напряжение сигнала с выходных зажимов калибратора преобразуется в пропорциональный ему ток. Коэффициент пропорциональности вольтамперного преобразователя принят равным единице (I_3 (ма) = $U_{\text{вх}}$ (в)). Пропуская ток I_3 через исследуемую схему функционального преобразователя 4, измеряли падение напряжения на нем при помощи однокаскадного анализатора на туннельных диодах. Для повышения точности измерений амплитуду импульсов с выхода исследуемой схемы ограничивали снизу на определенном уровне источником опорного напряжения 6, в результате чего на вход анализатора подавали сигналы с амплитудой $U_{\phi} - U_{\text{ог}}$.

Анализатор, так же как и исследуемая схема, помещается в термостат с температурой $20 \pm 1^\circ \text{C}$. Возможность применения туннельных диодов в амплитудных анализаторах и точность измерений, которые при этом достигаются, описаны в [1].

По полученным экспериментальным данным построена зависимость $\Delta U_{\text{факт}} = f(n)$ (рис. 7, а). Все приведенные графики построены для схем логарифмических преобразователей со значением $k_{\phi} = 20$.

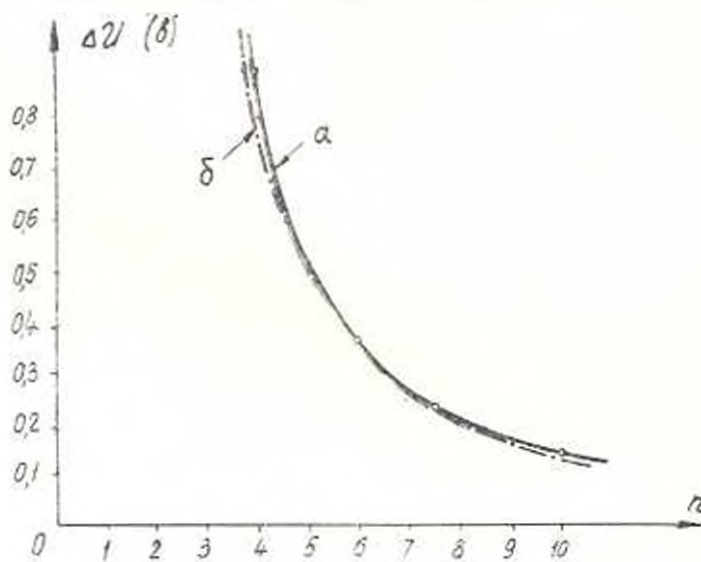


Рис. 7.

Очевидно, что с изменением величины k_{ϕ} пропорционально ему будет изменяться и погрешность преобразования ΔU_{ϕ} . Кривую, изображенную на рис. 7, а, можно представить аналитически в виде

$$\Delta U_{\text{факт}} = 13 \left(\frac{1}{n} \right)^2 \quad \text{при } k_{\phi} = 20$$

(кривая б) из рис. 7 или поскольку $\Delta U_{\text{факт}} = \Delta k_{\phi \text{ макс}} \cdot \lg I_{\phi}$, а для нашей установки I_{ϕ} (ма) = $U_{\text{вх}}$ (в), то можно записать

$$\left(\frac{\Delta k_{\phi}}{k_{\phi}} \right)_{\text{макс}} = 0,65 \left(\frac{1}{n} \right)^2 \cdot \frac{1}{\lg U_{\text{вх}}}. \quad (14)$$

Зависимость $\left(\frac{\Delta k_{\phi}}{k_{\phi}}\right)_{\text{макс}}$ от U_{ϕ} для разных значений n представлена графически на рис. 8. Далее, располагая значением $\Delta U_{\phi \text{ макс}}$, зависимость погрешности выходного напряжения логарифмического преобразователя ΔU_{ϕ} от величины этого напряжения U_{ϕ} аналитически можно записать как

$$\Delta U_{\phi} = \Delta U_{\phi \text{ макс}} \cdot \left| \sin \frac{\pi \cdot n \cdot U_{\phi}}{U_{\phi \text{ макс}}} \right| \quad (15)$$

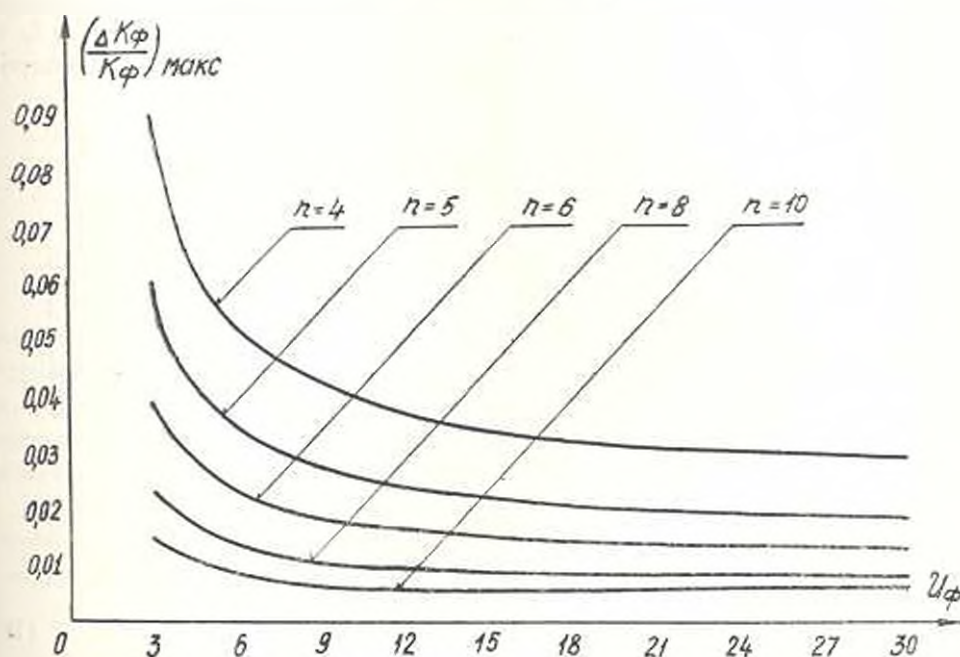


Рис. 8.

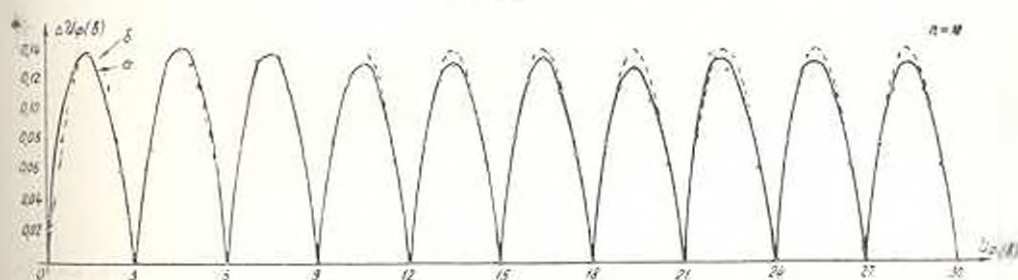


Рис. 9.

На рис. 9 для сравнения приведены две кривые: a — экспериментальная и $б$ — построенная по формуле (15) при $k_{\phi} = 20$, $n = 10$.

Используя выражения (14), (15) и учитывая, что

$$U_{\phi} = k_{\phi} \cdot \lg I_{\phi} \text{ и } \Delta U_{\phi} = \Delta k_{\phi} \lg I_{\phi},$$

получим

$$\frac{\Delta k_{\phi}}{k_{\phi}} = 0,65 \cdot \left(\frac{1}{n} \right)^2 \frac{1}{\lg I_{\phi}} \cdot \left| \sin \frac{\pi \cdot n \cdot \lg I_{\phi}}{\lg I_{\phi \text{ макс}}} \right| \quad (16)$$

или

$$\frac{\Delta k_{\Phi}}{k_{\Phi}} = 1,5 \cdot \left(\frac{1}{n} \right)^2 \cdot \frac{1}{\ln I_{\Phi}} \cdot \left| \sin \frac{\pi \cdot n \cdot \ln I_{\Phi}}{\ln I_{\Phi \max}} \right|, \quad (17)$$

Подставим полученные значения $\frac{\Delta k_{\Phi}}{k_{\Phi}}$ из уравнения (16) или (17) в выражение (13), определяющее относительную погрешность исследуемого устройства. При этом будем считать, что функциональные преобразователи Φ_1 , Φ_2 и Φ_3 , используемые в схеме, идентичны, т. е. $n_1 = n_2 = n_3 = n_{\Phi}$, $I_{\Phi_1 \max} = I_{\Phi_2 \max} = I_{\Phi_3 \max} = I_{\Phi \max}$. Кроме того, примем $\lg I_{\Phi_1} = \lg I_{\Phi_2} = \lg I_{\Phi_3}$ (это условие достигается соответствующим выбором одного из параметров схемы).

В этом случае будем иметь

$$\begin{aligned} \frac{\Delta I_{15}}{I_{15}} = & \left| \frac{2}{k_1 \cdot S_1 \cdot R_{21}} \cdot \left(\frac{\Delta k_1}{k_1} + \frac{\Delta S_1}{S_1} \right) - \frac{2}{k_2 \cdot S_2 \cdot R_{22}} \cdot \left(\frac{\Delta k_2}{k_2} + \frac{\Delta S_2}{S_2} \right) - \right. \\ & + \ln \left(\frac{U_1}{R_{21}} \right) \cdot \left| \frac{2}{k_1 \cdot S_1 \cdot R_{21}} \cdot \left(\frac{\Delta k_1}{k_1} + \frac{\Delta S_1}{S_1} \right) - \frac{2}{k_3 \cdot k_4} \cdot \left(\frac{\Delta k_3}{k_3} + \frac{\Delta k_4}{k_4} \right) \right| - \\ & - \ln \left(\frac{U_2}{R_{22}} \right) \cdot \left| \frac{2}{k_1 \cdot S_2 \cdot R_{22}} \cdot \left(\frac{\Delta k_2}{k_2} + \frac{\Delta S_2}{S_2} \right) + \frac{2}{k_3 \cdot k_4} \cdot \left(\frac{\Delta k_3}{k_3} + \frac{\Delta k_4}{k_4} \right) \right| \Bigg| + \\ & + 1,5 \left(\frac{1}{n_{\Phi}} \right)^2 \cdot \left[\left| \sin \frac{\pi \cdot n_{\Phi} \cdot \ln \left(\frac{U_1}{R_{21}} \right)}{\ln I_{\Phi \max}} \right| - \left| \sin \frac{\pi \cdot n_{\Phi} \cdot \ln \left(\frac{U_2}{R_{22}} \right)}{\ln I_{\Phi \max}} \right| - \right. \\ & \left. - \left| \sin \frac{\pi \cdot n_{\Phi} \cdot \ln \left(\frac{U_1}{U_2} \cdot \frac{R_{22}}{R_{21}} \right)}{\ln I_{\Phi \max}} \right| \right]. \quad (18) \end{aligned}$$

Перепишем (18) в следующем виде

$$F = A + B \{ |\sin ax| - |\sin ay| - |\sin a(x - y)| \}. \quad (19)$$

Здесь $F = \frac{\Delta I_{15}}{I_{15}}$; $a = \frac{\pi \cdot n_{\Phi}}{\ln I_{\Phi \max}}$; $B = 1,5 \left(\frac{1}{n_{\Phi}} \right)^2$;

$$x = \ln \left(\frac{U_1}{R_{21}} \right); \quad y = \ln \left(\frac{U_2}{R_{22}} \right).$$

Через A обозначено выражение, заключенное в фигурные скобки в соотношении (18).

Если считать, что величина A в выражении (19) не зависит от напряжений U_1 и U_2 , то для экстремальных значений функции F при изменении аргументов U_1 и U_2 получим

$$F_{\min} = A - 2B \text{ и } F_{\max} = A + B \quad (20)$$

или $\Delta F = F_{\max} - F_{\min} = 3B$.

Переходя к первоначальным обозначениям, окончательно будем иметь:

$$\left(\frac{\Delta I_{\Delta S}}{I_{\Delta S}}\right)_{U_1, U_2} = \pm 2,25 \left(\frac{1}{n_0}\right)^2. \quad (21)$$

Экспериментальное исследование схемы делительного устройства показало, что погрешность операции деления при помощи указанной схемы при использовании функциональных преобразователей с параметрами $n_0 = 10$ и $k_0 = 20$ не превышает величины $\pm 3 \cdot 5\%$.

Ереванский политехнический
институт им. К. Маркса

Поступило 15.IX.1965

Ա. Ս. ԽԿԵՏՅԱՆ

ԲԱԺԱՆԱԲԱՐՈՒՄԸ

Ա. Վ Փ Ո Փ Ո Ւ Մ

Նկարագրված է էլեկտրոնային սարք, որի կառուցման մասնավորապես խնդրվում է ամպլիտուդային և փուլային զործող երկու խնդրադրված ազդանշանների ամպլիտուդային բաժանումը: Օպտացիոնորեն կառուցված է մուտքի զործող խնդրանքի ամպլիտուդային հաշվարկանքային լուրջիման, համաժամ և անտիդիֆերենսն սկզբունքային Այդ զործողությունները կատարվում են դիոդային ֆունկցիոնալ կերպով օգտագործելով:

Կատարված է տարբեր ֆունկցիոնալ կառուցման բաժանման սխեմայի վերլուծություն: Մասնավորապես արդյունքների հիման վրա կարելի է բնութագրել մշակված սարքի պարամետրները՝ կառուցման ընդհանուր սխեմայի մեծություններ:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Мкртчян А. С. Исследование стабильности работы туннельных диодов в импульсных схемах. «Известия Вузов» раздел «Приборостроение». 1, 1964.