

на Л1). Как известно (1), напряжение на выходе пассивной суммирующей цепочки может быть записано в виде

$$U_a = \frac{r_n}{1 + \sum_{j=1}^2 \frac{r_n}{R_j + R_{gj}}} \sum_{j=1}^2 \frac{U_j}{R_j + R_{gj}}$$

Если выходные сопротивления источников напряжений, подключаемых ко входам I или II не превышает 1000 ом, то будет иметь место следующее неравенство:

$$R_j \ll R_{gj},$$

для которого можно написать

$$U_a = \frac{r_n}{1 + \sum_{j=1}^2 \frac{r_n}{R_{gj}}} \sum_{j=1}^2 \frac{U_j}{R_{gj}}$$

при $R_{g1} = R_{g2} = R = 0,1 \text{ мгом}$

$$U_a = \frac{r_n}{\left(1 + \frac{2r_n}{R}\right) R} \sum_{j=1}^2 U_j = \frac{r_n}{R + 2r_n} \sum_{j=1}^2 U_j$$

Для нашего случая $r_n = 10 \times 10^6 \text{ ом} \gg R$. Можно написать окончательно

$$U_a = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^2 U_j$$

Так как

$$r_n \gg R_j + R_{gj},$$

то влияние изменения параметров сопротивлений суммирующей цепочки практически не будет влиять на точность вычисления суммы (1).

Погрешность суммирования при помощи указанной пассивной цепочки не будет превышать 0,1—0,2%.

Важным этапом при конструировании усилителя явилась разработка линейного детектора, имеющего равномерную частотную характеристику в широком диапазоне частот. Линейный детектор с использованием трансформатора не мог удовлетворить вышеизложенным требованиям. Линейный детектор в рассматриваемом устройстве выполнен следующим образом. Сигнал суммы усиливается левым триодом лампы Л₁ и поступает на фазоинверсный каскад, выполненный на правой половине лампы Л₁. Напряжения, снимаемые с фазоинверсного каскада, поступают на два одинаковых усилителя (лампа Л₂), а затем на две диодные схемы, выполненные на лампе 6Х2П (Д₁, Д₂, Д₃, Д₄). Сопротивление r_c включено на выходе собирательной схемы, построенной на диодах Д₁ и Д₂.

Благодаря фазоинверсному каскаду на сопротивление r_c в любой момент времени всегда воздействуют два одинаковых по величине, но противоположных по знаку напряжения. Причем для одного напряжения какой-либо из диодов D_1 или D_2 всегда оказывается включенным в прямом направлении, а для другого—в обратном. Нетрудно заметить, что диод D_1 открывается тогда, когда на входе фазоинверсного каскада напряжение положительно, а диод D_2 открыт тогда, когда это напряжение отрицательно. Ток, протекающий по сопротивлению нагрузки r_c всегда имеет один и тот же знак. Вольт-амперная характеристика собирательной схемы дана на рис. 2. При отсутствии сигнала через сопротивление течет начальный ток, который создает падение напряжения на нем порядка 0,5—0,6 в. При появлении сигнала начинают работать оба диода, а когда напряжение на входе достигнет величины за-

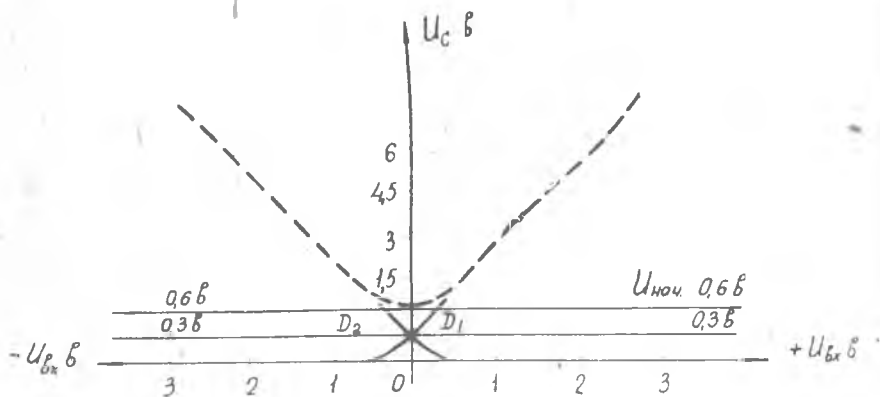


Рис. 2.

пирания диода, начинает работать только тот диод, который оказался включенным в данный момент в положительном направлении. Суммарная вольт-амперная характеристика показана на рис. 2 пунктиром. Нагружена собирательная схема на катодный повторитель, собранный на лампе 6Н6П. С выхода катодного повторителя снимается продетектированное напряжение, изменяющееся от $U_n = 17$ в до $U_{max} = 80$ в.

Частотная характеристика данной схемы линейна в пределах от 20 герц до 20 килогерц. Диоды D_3 и D_4 в работе схемы не участвуют и служат только для симметрирования нагрузки усилительных каскадов лампы L_2 .

Катодный повторитель нагружен на квадрат, выполненный на основе метода кусочно-линейной аппроксимации с использованием ламповых диодов 6Х2П. Начальное напряжение на выходе катодного повторителя выбрано равным 17 в и регулируется после смены лампы 6Н6П или диодов D_1 , D_2 , D_3 и D_4 при помощи пе-

ременного сопротивления $0,5 \text{ мгом}$ (рис. 1). Величина максимального значения входного напряжения выбрана таким образом, чтобы в делителе опорных напряжений можно было использовать кремниевые стабилитроны. Для стабилитрона Д810, примененного в схеме, это напряжение должно быть равно 80 в , а колебания входного напряжения должны лежать в пределах $60\text{—}65 \text{ в}$. Исходя из этих соображений и был изготовлен квадратор, схема которого дана на рис. 1. Аппроксимация параболы осуществляется шестью участками с приведенной погрешностью не превышающей $0,5\%$.

Настройка данного квадратора осуществляется довольно просто и быстро, так как при изменении сопротивления какого-либо участка опорные напряжения не меняются и не влияют на настройку остальных участков. Практически наладка квадратора осуществляется подстройкой наклонов каждого участка вольт-амперной характеристики при помощи переменных сопротивлений 56 ком . Выходное сопротивление катодного повторителя не превышает 50 ом , что позволяет поддерживать напряжение на выходе с точностью 1% при изменении нагрузки от $3\text{—}3,5 \text{ ком}$ на I-м участке до $2,55\text{—}2,9 \text{ ком}$ на VI участке. Если учесть, что наладка квадратора осуществляется совместно с катодным повторителем, то можно считать, что точность возведения в квадрат лежит в пределах $0,5\text{—}0,7\%$. Отладка и проверка квадратора осуществлялась с помощью приборов класса $0,2$. Использование стабилитронов в качестве источников опорных напряжений позволило обойтись только одним стабилизатором постоянного напряжения. Начальный ток через стабилитроны лежит в пределах $4\text{—}6 \text{ ма}$. Измерительный прибор включается вместо сопротивления 1 ком , являющегося общим для квадратора. Такая величина сопротивления позволяет включать в схему квадратора целый ряд приборов, сопротивление рамки которых меньше 1 ком .

В качестве усредняющих в рассматриваемом устройстве используются различные измерительные приборы магнитоэлектрической системы. Для целей регистрации взят прибор Н373-2 со встроенным фотоэлектрическим усилителем Ф17.

Техническая характеристика прибора:

1. Прибор может включаться на несколько пределов измерения $1,5 \text{ та}$, $0,5 \text{ та}$ и 150 мка . Входное сопротивление прибора равно 4 ома для предела $1,5 \text{ та}$ и 11 ом для предела $0,5 \text{ та}$.

2. Время успокоения прибора $2\text{—}3 \text{ сек}$.

3. Класс точности $1,5$.

Кроме того, на панели устройства имеется прибор М24 класса I с током полного отклонения 100 мка , временем успокоения 4 сек и сопротивлением рамки 696 ом . Имеется также возможность подключать к выходным клеммам устройства кроме Н373 микроамперметр типа М252 класса $0,5$ с пределом измерения 75 мка , сопротивлением рамки $1200 \pm 200 \text{ ом}$ и временем успокоения 6 сек .

Включение того или иного прибора осуществляется специальным переключателем. Схемы включения приборов даны на рис. 1.

Кроме указанных приборов, используя клеммы 1 и 4, на выход устройства можно подключить любой другой прибор при соблюдении равенства 1000 *ом* общего сопротивления между этими клеммами. С учетом пикфактора ток полного отклонения взят 500 *мкА* для прибора М24 и 300 *мкА* для прибора М252.

При определении погрешности вычисления дисперсии случайного процесса рассматриваемым устройством спектральную плотность флюктуаций $y(t)$ случайного процесса на выходе квадратора можно определить на основании формулы свертки [2]

$$S_y(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S_x(\nu) \cdot S_x(\omega - \nu) d\nu,$$

где $S_x(\nu)$ — спектральная плотность исследуемого случайного процесса $x(t)$.

Последний интеграл удобно вычислять графоаналитическим методом [3].

Так, если спектральная плотность случайного процесса задана в виде

$$S_x(\omega) = \begin{cases} A & \text{при } 0 \leq \omega \leq \omega_l \\ 0 & \text{при } \omega > \omega_l \end{cases}$$

то спектральная плотность флюктуаций найдется из выражения [4].

$$S_y(\omega) = \frac{A^2}{\pi} (2\omega_l - \omega).$$

Принимая коэффициент передачи усредняющего прибора

$$|k(j\omega)| = \begin{cases} 1 & \text{при } 0 \leq \omega \leq \omega_l \\ 0 & \text{при } \omega > \omega_l \end{cases}$$

и учитывая, что максимальное значение $S_y(\omega)$ имеет место при $\omega=0$, можно оценить дисперсию флюктуаций стрелки измерительного прибора из выражения

$$D_x = \sigma_x^2 \leq \int_0^{\omega_l} s_y(0) |k(j\omega)|^2 d\omega = \int_0^{\omega_l} \frac{2A^2}{\pi} \omega_l \cdot 1^2 d\omega = \frac{2A^2\omega_l \cdot \omega_e}{\pi}.$$

Отсюда среднеквадратичное отклонение стрелки прибора

$$\sigma_x \leq \sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot A \cdot \sqrt{\omega_l} \cdot \sqrt{\omega_e}.$$

Для рассматриваемого процесса дисперсия

$$D_x = A \cdot \omega_l.$$

Отсюда относительная среднеквадратичная ошибка вычисления дисперсии может быть оценена из выражения

$$\delta = \frac{\sigma_x}{D_x} \leq \frac{\sqrt{\frac{2}{\pi}} \cdot A \cdot \sqrt{\omega_l} \cdot \sqrt{\omega_e}}{A \cdot \omega_l} = 0,8 \frac{\sqrt{\omega_e}}{\sqrt{\omega_l}}.$$

Если спектральная плотность исследуемого случайного процесса определена внутри частотного интервала $[\omega_1, \omega_2]$, то аналогичным образом относительную погрешность можно оценить из выражения

$$\delta \leq 0,8 \frac{\sqrt{\omega_e}}{\sqrt{\omega_2 - \omega_1}}.$$

Для взятых измерительных приборов, включаемых по указанной на рис. 1 схеме, коэффициент передачи на 5 герцах составляет 10% своей максимальной величины, а на 10 герцах равен нулю. Таким образом, в нашем случае частоту 6—8 герц можно принять за частоту $\frac{\omega_e}{2\pi}$. Тогда при ширине равномерного частотного спектра исследуемого случайного процесса в 1000 герц относительная среднеквадратичная погрешность не будет превышать

$$\delta \% \leq 0,8 \sqrt{\frac{7}{1000}} \cdot 100 = 6,6 \%.$$

При подключении входов I и II к блоку задержки сигнала, например, с использованием магнитной записи рассматриваемым устройством можно вычислять корреляционные функции по формуле

$$2R_x(\tau) \pm 2D_x = \frac{1}{T} \int_0^T [x(t) \pm x(t - \tau)]^2 dt.$$

Для нормальной работы устройства сигналы, подаваемые на входы I и II, должны изменяться в пределах 0—10 в.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Б. Смоллов, А. Н. Лебедев, К. А. Сапожков, Я. И. Дубинин, Н. А. Смирнов, В. П. Годунов, Е. П. Угрюмов, В. П. Яценко. Вычислительные машины непрерывного действия. Изд. «Высшая школа», 1964.
2. Ф. Ланге. Корреляционная электроника. Судпромгиз, 1963.
3. А. А. Харкевич. Спектры и анализ. Госиздат, 1957.
4. А. И. Комаров. Об определении времени усреднения при экспериментальном вычислении математического ожидания и корреляционной функции стационарных случайных процессов. «Автоматические измерительные и регулирующие устройства». Научные труды вузов Поволжья, вып. 2. Куйбышев, 1965.