

Рис. 6. Частотная характеристика микросхемы.

пряжениях. Снижение граничной частоты транзисторов при малых токах ограничивает возможность уменьшения эмиттерных токов ниже 1—2 мА.

На высоких частотах корпус микросхемы должен быть надежно «заземлен» ленточным проводником. Регулировочные диоды, питающие базы проходных транзисторов, а также выводы баз внешних пар транзисторов должны быть развязаны от корпуса по высокой частоте.

Дрейф устройства по постоянному току, приведенный к входу, составляет не более 2 мкА за 4 ч работы.

Перспективно применение разработанного усилителя в качестве: а) усилителя вертикального отклонения для скоростных осциллографов; б) операционного усилителя, усилителя в умножителях и делителях для микросхемных аналоговых вычислительных устройств (в медицине, биологии); в) усилителя с регулировкой усиления для систем автоматического регулирования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. И. П. Степаненко. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. М., «Энергия», 1967.
2. Б. Д ж и л ь б е р т. Новый метод широкополосного усиления.— Зарубежная радиоэлектроника, 1969, № 1.
3. И. Ф. Николаевский, Д. В. Игумнов. Параметры и предельные режимы работ транзисторов. М., «Советское радио», 1971.
4. Интегральные схемы. Принципы конструирования и производства. Перевод под ред. А. А. Колосова. М., «Советское радио», 1968.

Поступила в редакцию 3 июля 1972 г.

УДК 621.317.755 : (62-50)

**Е.-А. К. БАГДАНКИС, А. И. НАЙДЕНОВ**

(Вильнюс)

### **АВТОМАТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА АМПЛИТУДНОГО МАСШТАБА В СТРОБОСКОПИЧЕСКИХ ОСЦИЛЛОГРАФАХ**

Большинство научных экспериментов сводится к измерению параметров электрических сигналов. Наиболее универсальное устройство для измерения параметров электрических сигналов — осциллограф.

В процессе осциллографических измерений значительное время занимает установка нужного коэффициента отклонения (чувствительности)

осциллографа и измерение амплитуды исследуемого сигнала. Уменьшить это время позволяет автоматическая установка амплитудного масштаба (АУАМ), в результате которой вертикальный размер осциллографического изображения при изменении амплитуды исследуемых сигналов поддерживается заранее заданной, нормализованной величины  $h_0$  с точностью  $\pm \Delta h_0$ . а также вылается информация об амплитуде сигнала. АУАМ по преобразованному сигналу, можно значительно облегчить требования к полосе пропускания автоматически регулируемых элементов. Одновременное использование системы автоматической установки временного масштаба в стробоскопическом осциллографе [5, 6] позволяет почти полностью автоматизировать процесс измерения.

При построении систем АУАМ могут использоваться различные способы регулирования коэффициента отклонения осциллографа, например способ параллельной селекции амплитуды сигнала при помощи ряда компараторов с различными, заранее установленными уровнями срабатывания [7]; способ последовательных приближений, когда коэффициент отклонения осциллографа регулируется с неравномерным, уменьшающимся шагом регулирования; способ последовательного регулирования с достаточно малым шагом [7—9].

В отношении времени регулирования последний способ уступает первым двум, что при визуальном наблюдении осциллограммы не столь существенно, однако он наиболее прост в реализации. Это и определило его использование в описанной ниже системе АУАМ.

На рис. 1 приведена структурная схема стробоскопического осциллографа с АУАМ [7—9].

Функцию слежения за вертикальным размером осциллографического изображения выполняет система датчиков, состоящая из компараторов  $K_1$  и  $K_2$ , имеющих уровни срабатывания  $U_{01}$  и  $U_{02}$  соответственно, причем выполняется условие

$$U_{02} - U_{01} = a_x (h_{\max} - h_{\min}), \quad (1)$$

где  $a_x$  — коэффициент отклонения осциллографа в В/мм считая от выхода аттенюатора;  $h_{\max}$  и  $h_{\min}$  — допустимые пределы изменения вертикального размера осциллографического изображения в миллиметрах.

Амплитуда исследуемого сигнала на выходе электрически управляемого аттенюатора регулируется дискретно с частотой стробимпульсов до выполнения условия

$$U_{01} \leq U_{c.н} < U_{02}, \quad (2)$$

где  $U_{c.н}$  — нормализованная амплитуда сигнала на выходе аттенюатора, при которой вертикальный размер осциллографического изображения равен нормализованному. Цифровой индикатор (счетчик с цифровой индикацией), находящийся в системе регулирования, по окончании процесса регулирования выдает информацию об амплитуде исследуемого сигнала.

Для устранения влияния напряжения пьедестала (постоянного напряжения) исследуемого сигнала на уровни срабатывания компараторов (если пьедестал имеется) служит формирователь уровней (ФУ), который вырабатывает постоянное напряжение, определяющее уровни срабатывания компараторов  $K_1$  и  $K_2$ . Его величина линейно зависит от величины и полярности напряжения пьедестала исследуемого сигнала и не

зависит от величины и полярности переменной составляющей этого сигнала.

Основными параметрами стробоскопического осциллографа с АУАМ являются: динамический диапазон амплитуд исследуемых сигналов, при которых вертикальный размер осциллографического изображения сохраняется заданную, нормализованную величину; время установления (регулирования) нормализованного размера изображения; погрешность установленного коэффициента отклонения осциллографа (погрешность измерения амплитуды).

#### Динамический диапазон.

Поскольку система регулирования находится после стробоскопического преобразователя, динамический диапазон устройства равен динамическому диапазону стробоскопического преобразователя и составляет 40—60 дБ.

**Время установления амплитудного масштаба.** Время установления амплитудного масштаба состоит из трех составляющих: времени компенсации пьедестала исследуемого сигнала, времен прямого и обратного регулирования.

Время компенсации пьедестала по сравнению с временем прямого регулирования мало и в дальнейшем им пренебрегаем.

Под временем прямого регулирования подразумевается время, в течение которого устанавливается амплитудный масштаб при мгновенном увеличении амплитуды исследуемого сигнала от  $U_{\text{сmin}}$  до  $U_{\text{сmax}}$ .

Под временем обратного регулирования подразумевается время, в течение которого появляется импульс сброса, устанавливающий исходный коэффициент отклонения (максимальную чувствительность) осциллографа при уменьшении амплитуды сигнала на выходе attenuатора ниже  $U_{01}$ . Максимальное значение времени обратного регулирования равно периоду развертывающего напряжения  $T_p$ .

Примем, что коэффициент передачи attenuатора в процессе регулирования изменяется по линейному закону, в результате чего шаг изменения амплитуды сигнала на выходе attenuатора постоянный и при амплитуде исследуемого сигнала  $U_c$  равен  $\Delta U_p = \text{const}$ . По окончании процесса регулирования амплитуда сигнала на выходе attenuатора составит

$$U_{\text{с.н}} = \frac{U_{01} + U_{02}}{2} \pm \frac{\Delta U_p + \Delta U_c}{2}, \quad (3)$$

где  $\Delta U_c$  — систематическая погрешность системы регулирования.

Можно считать, что амплитуда сигнала на выходе attenuатора изменяется от

$$U_{\text{с.а}} = U_c K_{\text{ао}} K_{\text{с.п}} \quad (4)$$

до

$$U_{\text{с.но}} = \frac{U_{01} + U_{02}}{2}, \quad (5)$$

где  $K_{\text{ао}}$  — максимальный (исходный) коэффициент передачи управляемого attenuатора;  $K_{\text{с.п}}$  — коэффициент передачи стробоскопического преобразователя.

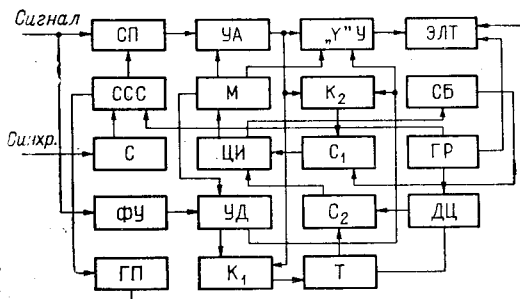


Рис. 1. Структурная схема стробоскопического осциллографа с АУАМ:

СП — стробоскопический преобразователь; УА — управляемый attenuатор; У — усилитель; ЭЛТ — электронно-лучевая трубка; ССС — схема сдвига стробимпульсов; С — синхронизатор; ФУ — формирователь уровней; ГП — генератор подсветки; М — матрица; ЦИ — цифровой индикатор (счетчик с индикацией); УД — управляемый делитель;  $K_1, K_2$  — компараторы;  $C_1, C_2$  — селекторы; Т — триггер; СБ — схема блокировки; ГР — генератор развертки; ДЦ — дифференцирующая цепь.

Вертикальный размер осциллографического изображения при этом равен  $h_0 \pm \Delta h_0$ , где

$$h_0 = \frac{U_{01} + U_{02}}{2a_Y}, \quad (6)$$

$$\Delta h_0 = \frac{U_{02} - U_{01}}{2a_Y} = \frac{\Delta U_p + \Delta U_c}{2a_Y}; \quad (7)$$

$$a_Y = a_0 K_{c.п.} K_{a_0} \quad (8)$$

коэффициент отклонения тракта осциллографа «выход аттенюатора — ЭЛТ»;  $a_0$  — исходный коэффициент отклонения осциллографа.

Так как процесс регулирования начинается с момента, когда  $U_{c.а} \geq U_{02}$  и амплитуда сигнала на выходе управляемого аттенюатора с каждым шагом регулирования уменьшается на величину  $\Delta U_p$ , количество дискретных значений коэффициента отклонения осциллографа с учетом (3)—(8) равно

$$W = \frac{U_{c.а} - U_{c.по}}{\Delta U_p} = \frac{U_c - a_0 h_0}{a_0 (2\Delta h_0 - \Delta h_c)}, \quad (9)$$

где  $\Delta h_c = a_Y \Delta U_c$  — систематическая погрешность поддержания вертикального размера осциллографического изображения. В случае, когда  $\Delta h_0 = \Delta h_c$  и

$$\frac{K_\Phi t_{н.п}}{T_\pi} = \frac{K_\Phi t_{н.г}}{T_\pi} = \frac{K_\Phi t_{н}}{\Delta t} \geq W, \quad (10)$$

время прямого регулирования составляет

$$t_{p.по} = \frac{U_c - a_0 h_0}{a_0 \Delta h_0 F_\pi}, \quad (11)$$

где  $K_\Phi$  — коэффициент, зависящий от формы исследуемого сигнала;  $t_{н.п}$  — длительность преобразованного сигнала;  $T_\pi = 1/F_\pi$  — период стробимпульсов;  $g$  — коэффициент временной трансформации стробоскопического преобразователя;  $t_{н}$  — длительность исследуемого (входного) сигнала;  $\Delta t$  — шаг считывания стробоскопического преобразователя.

Физический смысл выражений (9)—(11) заключается в том, что при выполнении условия (10) процесс регулирования заканчивается в течение одного цикла преобразования (в течение одного периода медленного пилообразного напряжения стробоскопического осциллографа).

Полное время установления масштаба при выполнении условия (10) определяется уравнением

$$t_p = T_p + t_{p.по} = T_p + \frac{U_c - a_0 h_0}{a_0 \Delta h_0 F_\pi}. \quad (12)$$

Однако условие (10) не выполняется, если:

1) недостаточная длительность исследуемого сигнала или недостаточный коэффициент временной трансформации стробоскопического преобразователя;

2) низкая частота повторения исследуемого сигнала (когда в системе автосдвига стробимпульсов используется гладкое медленное пилообразное напряжение — ГМПН) или малое количество точек, приходящихся на изображение (когда в системе автосдвига стробимпульсов используется ступенчато-изменяющееся медленное пилообразное напряжение);

3) исследуемый сигнал имеет острые выбросы.

Определим время установления амплитудного масштаба для перечисленных случаев.

Случаи 1 и 2. Количество тактовых импульсов регулирования при  $t_{н.п1} < t_{p.по}$  в одном цикле преобразования равно

$$W_1 = \frac{t_{н.п1} K_\Phi}{T_\pi}, \quad (13)$$

где  $t_{н.п1}$  — длительность преобразованного сигнала.

Количество нужных циклов преобразования при этом, согласно (9) и (13), составляет

$$M = \frac{W}{W_1} = \frac{U_c - a_0 h_0}{a_0 \Delta h_0 F_{\Pi} K_{\Phi} t_{\text{и.п1}}}. \quad (14)$$

Учитывая, что при системе автосдвига стробимпульсов с ГМПН преобразование временного масштаба происходит и при обратном ходе развертки (с другим коэффициентом трансформации), а также то, что процесс регулирования не успевает закончиться в течение ее прямого хода, для времени установления амплитудного масштаба получим выражение

$$t_{\text{р1}} = T_{\text{р}} \left[ 1 + \frac{U_c - a_0 h_0}{a_0 \Delta h_0 F_{\Pi} K_{\Phi} (t_{\text{и.п1}} + t_{\text{и.п2}})} \right], \quad (15)$$

где  $t_{\text{и.п2}}$  — длительность преобразованного сигнала, полученного при обратном ходе ГМПН.

С л у ч а й 3. Если преобразованный сигнал имеет острые выбросы в начале импульса, длительность которых значительно меньше  $t_{\text{р.п}}$ , хотя длительность плоской части импульса и удовлетворяет условию (10), время установления амплитудного масштаба равно

$$t_{\text{р2}} = T_{\text{р}} + t_{\text{р.п}} + t_{\text{р.в}}, \quad (16)$$

где  $t_{\text{р.п}}$  — время регулирования плоской части;  $t_{\text{р.в}}$  — время регулирования выброса.

Время регулирования плоской части импульса составляет

$$t_{\text{р.п}} = \frac{U_{\text{с.п}} - a_0 h_0}{a_0 \Delta h_0 F_{\Pi}}, \quad (17)$$

где  $U_{\text{с.п}}$  — амплитуда плоской части импульса.

Примем, что по окончании одного цикла регулирования амплитуда плоской части импульса на выходе управляемого аттенюатора равна или меньше  $U_{02}$ . Тогда количество тактов регулирования, нужное для нормализации оставшегося выброса, определяется из уравнения

$$W_2 = \frac{U_c - U_{\text{с.п}} - a_0 h_0}{a_0 \Delta h_0}. \quad (18)$$

Количество тактовых импульсов регулирования выброса за один цикл преобразования равно

$$W_3 = t_{\text{и.в}} K_{\Phi.в} F_{\Pi}, \quad (19)$$

где  $t_{\text{и.в}}$  — длительность преобразованного выброса на уровне 0,5 относительно плоской части импульса;  $K_{\Phi.в}$  — коэффициент формы выброса.

Количество циклов преобразования, нужное для нормализации амплитуды всего сигнала, составляет

$$M_{\text{в}} = \frac{W_2}{W_3} = \frac{U_c - U_{\text{с.п}} - a_0 h_0}{a_0 \Delta h_0 K_{\Phi.в} t_{\text{и.п}}}. \quad (20)$$

Учитывая, что  $t_{\text{р.п}} \leq T_{\text{р}}$ , а также то, что процесс регулирования происходит и в течение обратного хода развертки (при использовании системы автосдвига стробимпульсов с ГМПН), получим для полного времени регулирования выражение

$$t_{\text{р2}} = T_{\text{р}} \left[ 2 + \frac{(U_c - U_{\text{с.п}} - a_0 h_0) T_{\text{п}}}{a_0 \Delta h_0 K_{\Phi.в} (t_{\text{и.в}} + t_{\text{и.во}})} \right], \quad (21)$$

где  $t_{\text{и.во}}$  — длительность выброса, преобразованного при обратном ходе развертки.

Как видно из изложенного, время установления амплитудного масштаба во многом зависит от частоты стробимпульсов, которая непосред-

ственно связана с частотой исследуемого сигнала (особенно при низких частотах). Для устранения этого следует использовать генератор тактовой частоты регулирования, частота генерируемых импульсов которого не зависит от частоты стробимпульсов и выбирается, исходя из быстродействия цепи управления и временных параметров исследуемых сигналов. Время установления временного масштаба при этом значительно уменьшается (все полученные выше выражения действительны при замене  $T_n$  на  $T_{т.г}$ , где  $T_{т.г}$  — период тактовых импульсов регулирования).

Следует отметить, что при изменении амплитуды исследуемого сигнала  $\Delta U_p \neq \text{const}$ . В случае, когда коэффициент передачи управляемого аттенюатора изменяется по закону

$$K_a = K_{a0} - n\Delta K, \quad (22)$$

имеем

$$\Delta U_p = U_c K_{c.п} \Delta K, \quad (23)$$

где  $\Delta K = \text{const}$  — шаг регулирования коэффициента передачи управляемого аттенюатора;  $n = 0, 1, 2, 3, \dots$

Таким образом, при определении времени установления амплитудного масштаба произведения  $a_0(2\Delta h_0 - \Delta h_c)$  и  $a_0\Delta h_0$ , входящие в (9) — (21), должны заменяться выражением (23).

Точность поддержания вертикального размера осциллографического изображения при этом, согласно (7) и (23), равна

$$\Delta h_0 = \frac{U_c K_{c.п} \Delta K + \Delta U_c}{2a_Y}. \quad (24)$$

В случаях, когда  $\Delta K \neq \text{const}$ , что необходимо при регулировании коэффициента отклонения осциллографа по специально заданному закону, а также при непосредственном отсчете амплитуды исследуемых сигналов (например, в милливольтгах), получаем:

$$K_a = K_{a0} - \sum_{m=1}^{m=n} \Delta K_m; \quad (25)$$

$$\Delta U_p = U_c K_{c.п} \Delta K(U_c), \quad (26)$$

причем должно удовлетворяться условие

$$\frac{U_c \left[ \left( K_{a0} - \sum_{m=1}^{m=n-1} \Delta K_m \right) - \left( K_{a0} - \sum_{m=1}^{m=n} \Delta K_m \right) \right] + \Delta U_c}{2a_Y} \leq \Delta h_0, \quad (27)$$

где  $\Delta K(U_c)$  — заранее установленный закон изменения  $\Delta K$ .

**Точность установления коэффициента отклонения.** Точность установленного коэффициента отклонения, т. е. точность совпадения показаний цифрового индикатора с реально установленным коэффициентом отклонения осциллографа, зависит от примененной структуры исполнительного элемента (управляемого аттенюатора). Когда управляемый аттенюатор

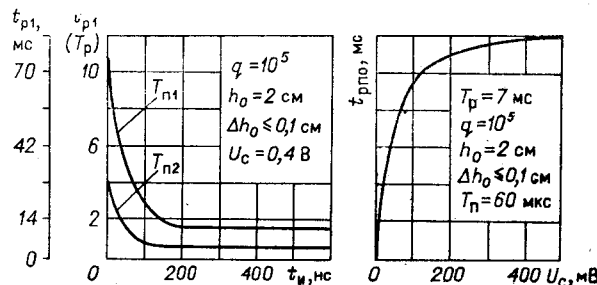
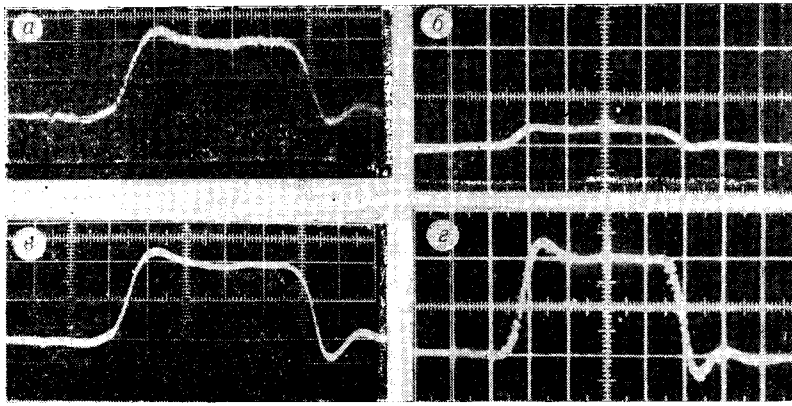


Рис. 2. Зависимость времени установления амплитудного масштаба от амплитуды и длительности исследуемых импульсов ( $q$  — коэффициент временной трансформации стробоскопического преобразователя;  $T_{n1} = 200$  мкс,  $T_{n2} = 60$  мкс — периоды стробимпульсов).



**Рис. 3.** Осциллограммы исследуемых импульсов:  
*а и в* — с экрана системы АУАМ при амплитудах исследуемого сигнала 5 и 400 мВ соответственно; *б и г* — при тех же амплитудах с экрана С1-53 (коэффициент отклонения 10 мВ/см, 200 мВ/см соответственно; длительность развертки 2 нс/см).

представляет собой делитель, коммутируемый электромеханическими элементами (реле, герконами), точность установленного коэффициента отклонения такая же, как и в стробоскопическом осциллографе с ручной установкой амплитудного масштаба. Когда используется бесконтактная регулировка с помощью электрически управляемых аттенуаторов (цифро-аналоговых преобразователей), точность определяется их структурой и режимами работы.

**Эксперимент.** Для экспериментальной проверки основных теоретических положений был собран макет осциллографа, согласно приведенной на рис. 1 структурной схеме. В качестве стробпреобразователя использовалась модернизированная стробоскопическая приставка С1-15/3 к осциллографу С1-15. Динамический диапазон амплитуд исследуемых сигналов и полоса пропускания составляли 5—500 мВ и 800 МГц соответственно.

Приведенные на рис. 2 графики, полученные экспериментальным путем, отображают связь между временем установления амплитудного масштаба, длительностью и амплитудой входных импульсов.

Осциллограммы рис. 3 показывают, что искажения формы исследуемых сигналов визуально не заметны.

## ВЫВОДЫ

Динамический диапазон амплитуд и полоса частот исследуемых сигналов равны соответственно динамическому диапазону и полосе пропускания стробоскопического преобразователя.

Время установления амплитудного масштаба в основном зависит от длительности преобразованного сигнала, точности поддержания вертикального размера осциллографического изображения и частоты регулирования. Величина этого времени уменьшается с увеличением длительности преобразованного сигнала, частоты регулирования и с уменьшением точности поддержания вертикального размера осциллографического изображения.

Погрешность установленного коэффициента отклонения осциллографа из-за системы АУАМ, определяющая точность амплитудных измерений, зависит от структуры исполнительного элемента в «У» тракте осциллографа (управляемого аттенуатора). Минимальную погрешность обеспечивает аттенуатор с электромеханическими коммутирующими элементами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Е. А. Блюдин. Осциллограф с автоматической установкой масштабов.— Вестник Львовского политехнического института, 1966, № 6.
2. Г. Я. Мирский. Радиотехнические измерения. М., «Энергия», 1969.
3. Automatic oscilloscope.— Elektron. Equipm. News, 1964, IX, v. 6, № 6.
4. Саморегулирующийся осциллограф.— Электроника, 1966, № 6.
5. Е.-А. К. Багданскис, В. Б. Квядарас, А. И. Найденов. Стенд для стробоскопического осциллографирования с автоматической установкой временного масштаба.— Приборы и техника эксперимента, 1972, № 6.
6. Е.-А. К. Багданскис, А. И. Найденов. Стробоскопический осциллограф.— Авт. свид. № 354352.— ИПОТЗ, 1972, № 30.
7. Е.-А. К. Багданскис, А. И. Найденов. Автоматическая установка амплитудного масштаба в осциллографических устройствах.— Радиоэлектроника. Труды научно-технической конференции, т. 7. Каунас, 1971.
8. Е.-А. К. Багданскис, А. И. Найденов. Стробоскопический осциллограф. Авт. свид. № 337722.— ИПОТЗ, 1972, № 15.
9. Е.-А. К. Багданскис, А. И. Найденов. Стенд для стробоскопического осциллографирования с автоматической установкой амплитудного масштаба.— Приборы и техника эксперимента, 1972, № 6.

*Поступила в редакцию 3 июля 1972 г.,  
окончательный вариант — 21 ноября 1972 г.*

---