

ЦИФРОВЫЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА

УДК 621.317.3

Г. А. ВЕДЕРНИКОВА, А. И. ИЛЬЕНКОВ,
 И. Я. КОРЧАГИН, Г. Г. МАТУШКИН, В. И. ХАРИТОНОВ

(Новосибирск)

ЦИФРОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ
 ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МИКРОСХЕМ

Одной из важнейших динамических характеристик логических схем (ЛС) является задержка распространения сигнала, определяемая как средняя арифметическая величина задержек включения и выключения схемы. Для ЛС с инвертированием задержка включения $t_{вкл}$ или t^- является задержкой между заданными уровнями увеличения входного и уменьшения выходного сигналов, а задержка выключения $t_{выкл}$ или t^+ — между заданными уровнями уменьшения входного и увеличения выходного сигналов (знаки в показателях обозначают направление изменения выходного сигнала). Графически это показано на рис. 1, а. Часто в качестве заданных уровней сигналов используются пороговые напряжения ЛС; при этом измеренные задержки распространения сигнала близки к задержкам, которые получают при работе ЛС в логических устройствах [1]. С этой же целью входные сигналы предпочтительнее подавать от ЛС того же самого типа.

Динамические характеристики ЛС можно измерять, используя двухлучевой осциллограф. Однако существующие осциллографы по своим техническим ха-

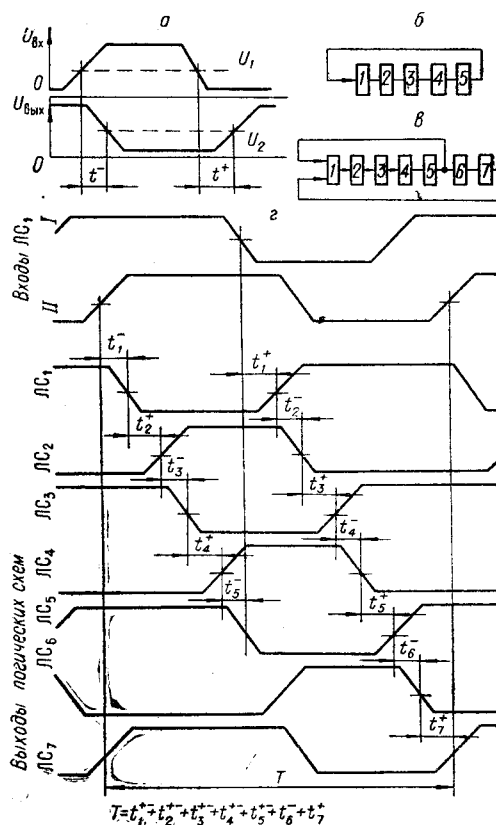


Рис. 1.

рактикам мало пригодны для измерения параметров быстродействующих микросхем, задержки распространения сигнала которых равны нескольким наносекундам. Применение для измерения задержек известных принципов преобразования временных интервалов либо в амплитуду импульсов напряжения, либо с помощью стробоскопического преобразователя связано с необходимостью решения ряда специфических задач, вытекающих из требования по точности измерений и их автоматизации. К числу таких задач относится, например, обеспечение стабильности времени распространения сигнала по формирующим каскадам, получение высокой линейности линейно нарастающего ступенчатого напряжения и др. Кроме того, для реализации всех упомянутых методов измерения задержек необходим задающий генератор с длительностью фронтов менее наносекунды. В итоге измерительное устройство получается сложным, дорогим и не всегда обеспечивающим необходимую точность измерений.

Известен [2] метод определения усредненной задержки распространения сигнала по частоте следования импульсов в кольцевом генераторе, состоящем из нечетного числа ЛС с инвертированием (см. рис. 1, б). Усредненная задержка вычисляется по формуле

$$t_{з. \text{ усред}} = \frac{T}{2N}, \quad (1)$$

где T — период частоты следования импульсов; N — число ЛС в кольцевом генераторе.

Для измерения задержки одной из микросхем можно применить метод замещения. При этом задержка одной из ЛС кольцевого генератора, называемой в дальнейшем образцовой, должна быть известна. Сначала измеряется период частоты кольцевого генератора с образцовой ЛС. Затем образцовая ЛС заменяется испытываемой и снова измеряется период. Разность периодов равна разности задержек образцовой и испытываемой ЛС с соответствующим знаком. Однако кольцевого измерения задержек t^+ и t^- . В то же время раздельное измерение задержек позволяет получить больше информации о качестве микросхем и о происходящих в них процессах.

Таким образом, существующая аппаратура для измерения динамических характеристик микросхем либо дорога и сложна, либо не удовлетворяет ряду требований. Поэтому возникла настоятельная необходимость в разработке простого, дешевого и удобного в эксплуатации измерительного устройства, обеспечивающего необходимую точность и скорость измерения, а также вывод результатов на цифровой регистратор. В предлагаемой работе рассматривается метод измерения и автоматический цифровой измерительный прибор, основанный на этом методе, который предназначен для раздельного измерения задержек распространения сигнала в ЛС с инвертированием.

Раздельное измерение задержек включения и выключения ЛС можно выполнить, используя модифицированный кольцевой генератор. Схема наиболее простого модифицированного генератора приведена на рис. 1, в. Как видно, описанный ранее кольцевой генератор дополнен двумя ЛС, которые вместе с предыдущими ЛС образуют второе кольцо. Здесь используется тот факт, что в схемах ДТЛ, ТТЛ и др. входная часть является одновременно схемой И по высоким и схемой ИЛИ по низким уровням. Поэтому переключение ЛС₁ происходит поочередно по одному и другому входам, как показано на временной диаграмме (см. рис. 1, г).

Один полупериод частоты генератора равен времени прохождения сигнала по меньшему кольцу, а второй полупериод — по большому кольцу. По временной диаграмме видно, что весь период равен сумме t^+ и t^- всех ЛС, составляющих меньшее кольцо, t^- схемы ЛС₆ и t^+ схемы ЛС₇. Если схемы ЛС₆ и ЛС₇ принять за образцовые, то, измеряя изменение периода при поочередной замене образцовых ЛС испытываемой, можно определить для последней t^+ и t^- :

$$t^+ (t^-) = t_0^+ (t_0^-) \pm \Delta t, \quad (2)$$

где t_0^+ , t_0^- — задержки образцовых схем; Δt — изменение периода кольцевого генератора. Таким образом, зная t_0 и измеряя Δt , можно определить t^+ или t^- измеряемых микросхем.

Для быстродействующих ЛС в интегральном исполнении Δt не превышает нескольких наносекунд. Следовательно, разрешающая способность прибора, используемого для измерения периода кольцевого генератора, должна быть порядка десятых долей наносекунд. Существующие цифровые частотомеры в режиме измерения периодов такому требованию не удовлетворяют. Их можно применить в режиме измерения частоты, но при этом требуется дополнительное вычислительное устройство для получения прямого отсчета Δt . Целесообразнее разработать более простое специализированное устройство, обеспечивающее прямой отсчет Δt с необходимой точностью и базирующееся на принципе работы цифрового частотомера.

Создание специализированного измерительного прибора, основанного на применении модифицированного кольцевого генератора, и явилось целью настоящей работы.

Принцип действия разработанного прибора легко понять из анализа следующих соотношений. Если счет импульсов, поступающих от кольцевого генератора, производится в течение интервала времени Θ , то можно записать равенства

$$\Theta = T_0 n_0 = T_{\text{изм}} n_{\text{изм}}, \quad (3)$$

где T_0 — период частоты кольцевого генератора с образцовой ЛС; $T_{\text{изм}}$ — то же, но с испытываемой ЛС; n_0 — число импульсов, поступивших на счетчик от генератора при частоте с периодом T_0 ; $n_{\text{изм}}$ — то же, но при частоте с периодом $T_{\text{изм}}$.

Очевидны также следующие равенства:

$$T_{\text{изм}} = T_0 \pm \Delta t; \quad n_{\text{изм}} = n_0 \mp \Delta n, \quad (4)$$

где Δn — изменение числа импульсов, поступивших на счетчик, при замене образцовой ЛС испытываемой.

Используя (3) и (4), после простых преобразований получаем

$$\Delta t = T_0 \frac{\Delta n}{n_0 \mp \Delta n}. \quad (5)$$

При $\Delta n \ll n_0$ или $\Delta t \ll T_0$, что одно и то же, величиной Δn в знаменателе можно пренебречь. Тогда

$$\Delta t = \frac{T_0}{n_0} \Delta n. \quad (6)$$

Отношение T_0/n_0 является шагом квантования по времени и его целесообразно выбирать кратным десяти для удобства отсчета.

В приборе образцовый период T_0 был выбран равным 200 *нсек*. Такой выбор образцового периода объясняется тем, что его увеличение привело бы к уменьшению чувствительности прибора и увеличению емкости счетчика, а уменьшение T_0 потребовало бы увеличения быстродействия схем прибора и, следовательно, его усложнения. Выбор интервала времени Θ , равного 400 *мксек*, определяется образцовым периодом T_0 из условий получения малой погрешности квантования и соблюдения условия $\frac{T_0}{n_0} = 10^k$, где k — целое число.

Описанный выше метод измерения $t_{\text{вкл}}$ и $t_{\text{выкл}}$ реализован в приборе, построенном по блок-схеме рис. 2. Импульсы с кольцевого генератора через вентиль I_1 пропускаются на счетчик.

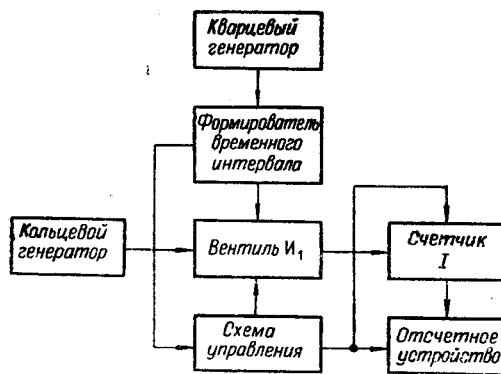


Рис. 2.

Вентиль I_1 открывается прямоугольным импульсом, длительность которого задается кварцевым генератором, формирователем временного интервала и равна 400 *мксек*.

Для выделения Δn , пропорционального Δt [см. (6)], перед каждым измерением в счетчик заносится число, равное дополнению n_0 . Поэтому при измерении образцовой схемы на цифровом индикаторе

появляется показание 000,0. При замене образцовой логической схемы испытываемой возможны два случая. Если $t_{\text{изм}} < t_0$, то частота кольцевого генератора возрастает и счетчик переполняется; при этом Δt регистрируется на цифровом индикаторе в прямом коде. Если же $t_{\text{изм}} > t_0$, частота уменьшается, счетчик не заполняется полностью и Δt регистрируется в дополнительном коде.

Из выражения (6) следует, что отношение $\frac{T_0}{n_0}$ необходимо поддерживать постоянным с большой степенью точности. Выразив n_0 через $\frac{\Theta}{T_0}$, это отношение можно переписать в виде $\frac{T_0}{n_0} = \frac{T_0^2}{\Theta}$, т. е. для обеспечения стабильности последнего выражения необходимо реализовать стабильный интервал времени и стабильный период кольцевого генератора T_0 .

Стабильный интервал времени обеспечивается в приборе с помощью кварцевого генератора. Период кольцевого генератора T_0 зависит от напряжения смещения микросхем, входящих в кольцевой генератор, температуры окружающей среды, а также от саморазогрева микросхем кольцевого генератора.

Указанные выше факторы действуют в комплексе на кольцевой генератор таким образом, что после включения и предварительного прогрева (15—20 *мин*) образцовый период T_0 меняется в течение часа не более чем на 1—1,5 *нсек*. Эти измерения нарушают показания 000,0 счетчика при измерении образцовой частоты, что, в свою очередь, вносит погрешность в измерение. Для устранения этой погрешности в приборе предусмотрена калибровка изменением T_0 , с помощью которой показания счетчика при измерении образцовой частоты устанавливаются в

положение 000,0. Регулировка образцового периода производится изменением напряжения смещения микросхем.

Рассмотрим кольцевой генератор, который определяет в основном точность измерительного устройства. Функциональная схема кольцевого генератора приведена на рис. 3. Микросхемы 1—5 образуют простое кольцо. Микросхемы 6 и 7 — образцовые. Реле P_1 служит для подключения измеряемой схемы вместо образцовой при измерении t^- (времени задержки включения). Реле P_2 необходимо для подключения измеряемой схемы вместо образцовой при измерении t^+ (времени задержки выключения). Реле P_3 подключает емкости $C_{н1}$ и $C_{н2}$, которые имитируют емкостную нагрузку в режиме измерения микросхем с нагрузкой.

Для того чтобы исключить влияние регулировки образцового периода T_0 на измеряемые времена задержки включения и выключения, изменение напряжения смещения производится только у микросхем 2, 3, 4.

Измеряемые микросхемы обладают малыми t^- и t^+ (единицы и десятки наносекунд), поэтому малая добавочная емкость искажает эти параметры. В кольцевом генераторе были применены реле РЭС-9, которые имеют емкости между контактами и корпусом около 2 пф. При монтаже были обеспечены идентичные цепи подключения образцовой и измеряемой микросхем. Эксперименты показали, что необходимо создавать хороший контакт измеряемой микросхемы с выводами кольцевого генератора, при плохом контакте измеренные величины t^- и t^+ могут отличаться от истинных на порядок и более. Для устранения этого явления в приборе применена специальная панель, обеспечивающая хороший контакт. Конструктивно кольцевой генератор выполнен в виде выносного блока. Такая конструкция удобна тем, что этот блок может быть легко заменен при изменении типа микросхем. Кроме того, для этого блока облегчен температурный режим, так как температура вне прибора меняется гораздо меньше, чем в его корпусе.

Более полное представление о приборе дает функциональная схема измерителя, представленная на рис. 4. Задающий кварцевый генератор выдает сигналы с частотой 20 кГц. Триггер Шмидта из этих сигналов формирует меандр, делитель частоты делит на 8, триггер T_1 — на 2, после триггера T_1 получают прямоугольные импульсы длительностью 400 мксек, которые обеспечивают интервал времени Θ . В течение 400 мксек импульсы с кольцевого генератора через вентиль I_1 пропускаются на счетчик.

Для получения цифрового отсчета при непрерывно повторяющихся измерениях перед началом каждого нового измерения результат предыдущего необходимо сбрасывать. Кроме того, необходимо запрещать индикацию на время измерения. Эти задачи выполняет схема

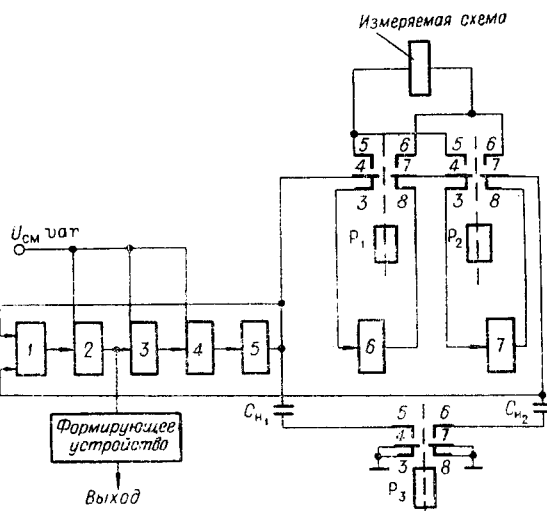


Рис. 3.

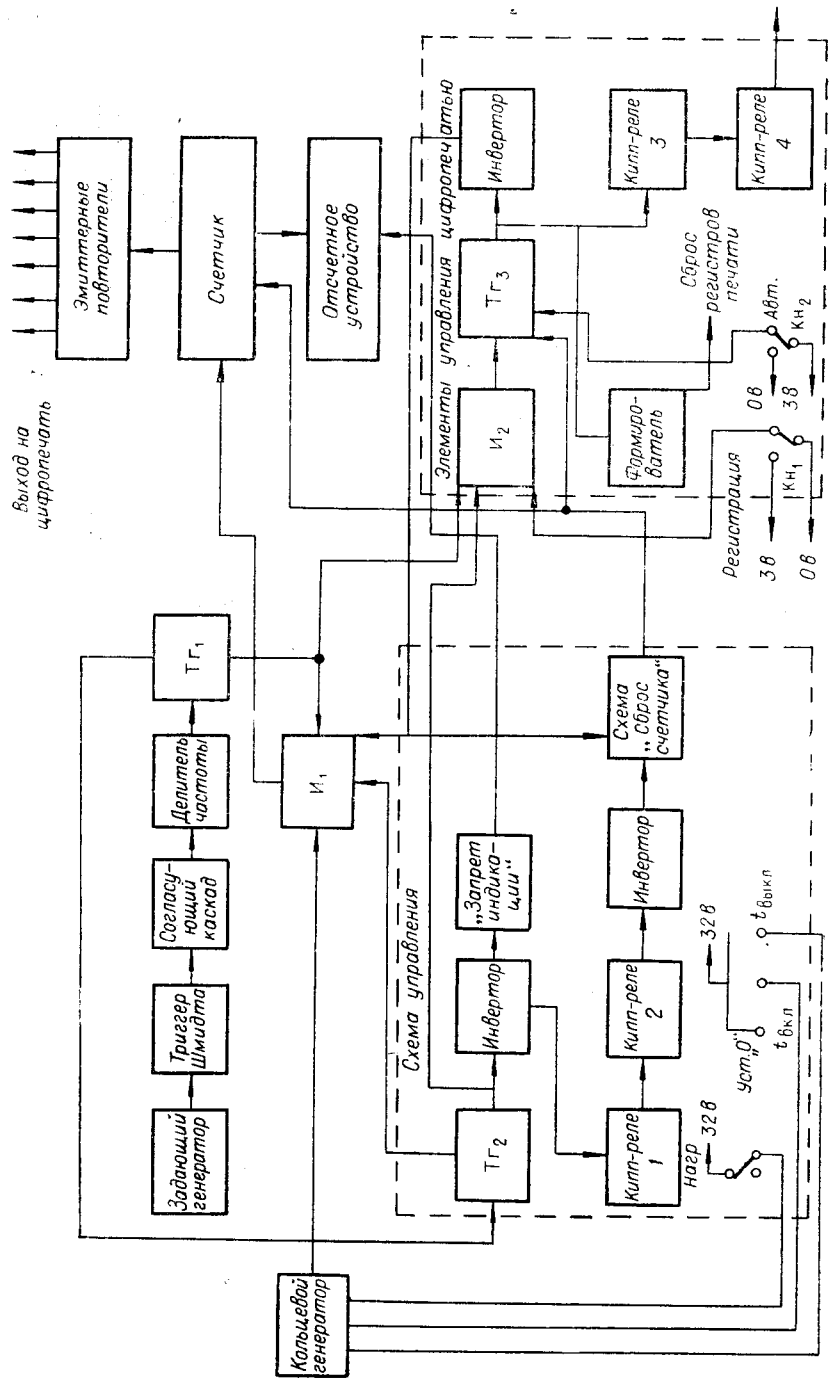


Рис. 4.

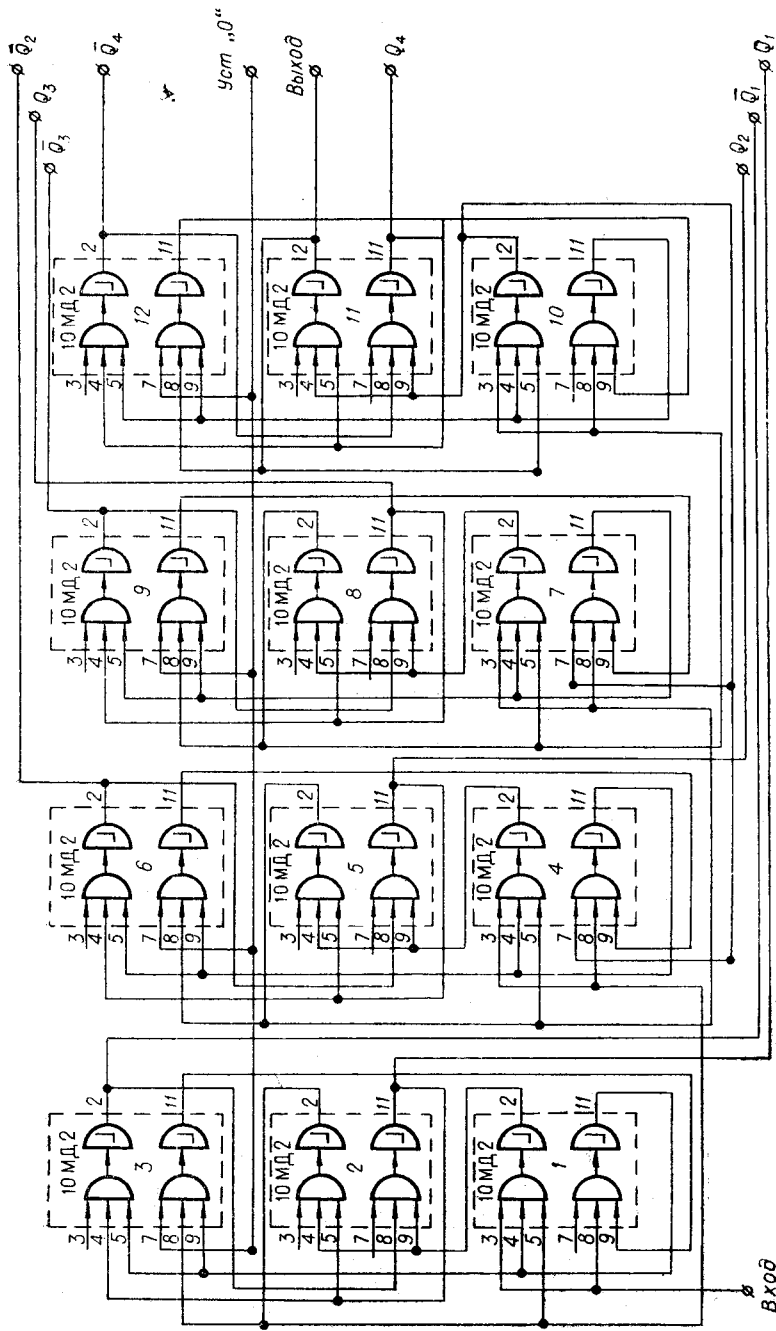


Рис. 5.

управления, которая включает в себя триггер T_2 , кipp-реле 1, кipp-реле 2, а также схемы «запрет индикации», «сброс счетчика». В приборе предусмотрен вывод результатов измерения на цифровой регистратор. При нажатии кнопки «регистрация» триггер T_3 запрещает сброс счетчика и подачу на него импульсов через вентиль I_1 . Сигнал от переброса триггера T_3 поступает на формирователь и на кipp-реле 3. С выхода формирователя выдается импульс на сброс регистров цифropечатающей машины, а с выхода кipp-реле 4 — на перезапись числа из измерителя на цифropечатающую машину.

Вся цифровая часть прибора выполнена на микросхемах ДТЛ типа 1МД42Б и 10МД1—10МД4. Быстродействующая декада счетчика выполнена по классической схеме на 4 счетных триггерах с обратной импульсной связью с 4-го триггера на единичные входы 2-го и 3-го триггеров. В качестве счетного триггера использован триггер, с различных точек которого можно снять задержанные относительно друг друга сигналы. Последнее качество данного триггера позволило четко осуществить временное разделение импульсов — входного и обратной связи. Каждая декада (рис. 5) выполнена без использования навесных элементов на 12 корпусах 10МД2 и имеет разрешающую способность 35 нсек.

Погрешность измерения времен задержки включения и выключения складывается из следующих составляющих:

$$\Delta = \Delta_0 + \Delta_d + \Delta_m + \Delta_k,$$

где Δ_0 — погрешность измерения образцовой схемы; Δ_d — погрешность дискретности, равная 0,1 нсек; Δ_m — погрешность метода, возникающая в результате использования приближенного равенства (6). Последняя зависит от разброса времен задержки включения и выключения измеряемых микросхем и уменьшается при условии сужения диапазона измеряемых величин. Для максимального диапазона времени задержки выключения 30 нсек, которым обладает схема 10МД3, она составляет 1 нсек. Δ_k — погрешность конструкции, возникающая от влияния неидентичности цепей подключения образцовой и измеряемой микросхем к кольцевому генератору. Эта погрешность в разработанной конструкции кольцевого генератора не превышает 0,5 нсек. Таким образом, абсолютная погрешность прибора при изменении Δt менее 1,5 нсек.

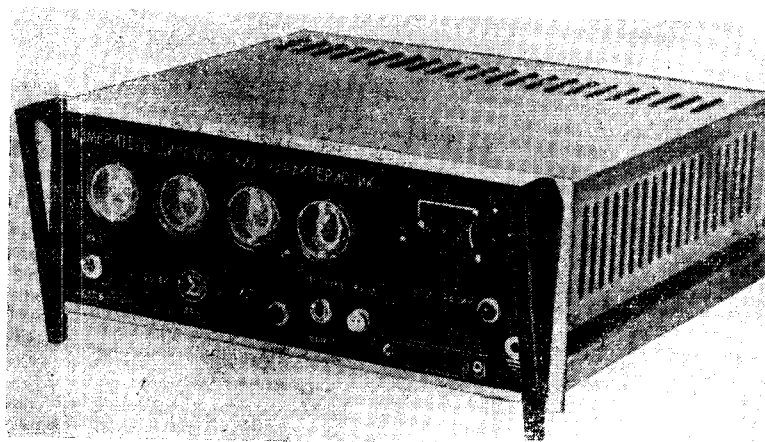


Рис. 6.

Созданный прибор имеет следующие технические характеристики.

1. Прибор позволяет измерять t^- (время задержки включения), t^+ (время задержки выключения) микросхем типа 10МД1 — 10МД4 с нагрузкой и без нагрузки в диапазоне 5—40 *нсек*.
2. Отсчет трехразрядный, десятичный.
3. Вывод информации осуществляется как на индицирующие цифровые лампы, так и в параллельном двоично-десятичном коде на цифровую печатающую машину.
4. Абсолютная погрешность прибора при измерении Δt составляет менее 1,5 *нсек*.
5. Габаритные размеры 100×260×230. Внешний вид прибора показан на рис. 6.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пэдвик. Динамическая проверка интегральных схем.— Электроника (рус. перевод), 1968, т. 41, № 20.
2. Ed. D. Lunn and oth. Analysis and design of integrated circuits. Mc Graw-Hill, 1967.
3. В. П. Петров. Проектирование цифровых систем контроля и управления. М., «Машиностроение», 1967.

Поступила в редакцию
23 сентября 1969 г.