

ИЗМЕРИТЕЛЬ ДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОННЫХ
УСТРОЙСТВ

Для определения динамических параметров электронных устройств широко используют оценку параметров сигнала их отклика на входное импульсное воздействие. Структурная схема такой испытательной установки содержит следующие основные блоки: генератор испытательных импульсов прямоугольной формы ГИИ, испытуемое электронное устройство (либо прибор) ИЭУ, измеритель параметров отклика ИПО, регистрирующее устройство РУ и блок управления БУ (рис. 1).

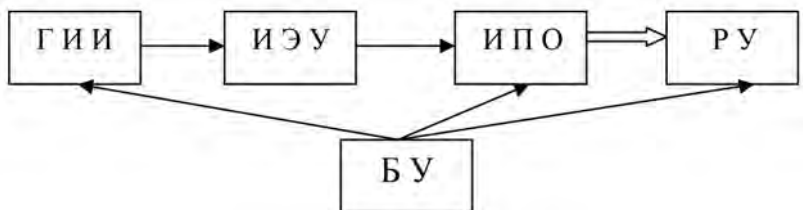


Рис. 1. Обобщенная структурная схема измерения динамических параметров электронных устройств

Выходные импульсные сигналы отклика, обычно прямоугольной формы, характеризуются целым рядом параметров (рис. 2), которые несут количественную информацию о важнейших динамических свойствах испытуемых комплектующих приборов, узлов или готовых электронных изделий. Их цифровое измерение не только позволяет повысить потенциальную точность, но и значительно упрощает обработку и регистрацию РУ выходной информации, получаемой с ИЭУ.

К информационным параметрам отклика в первую очередь относятся мгновенные временные характеристики импульса: протяженность фронтов τ_f и τ_c выходного сигнала на строго заданных уровнях δ от его амплитуды, а также текущие значения длительности τ импульсов. В повседневной практике эти параметры обычно измеряют с помощью осциллографов. Но хотя такой способ измерения, благодаря своей простоте и наглядности, и получил широкое применение, однако во многих случаях он не удовлетворяет требованиям точности, быстроты и удобства измере-

ния. Так, погрешность осциллографических измерений составляет, как правило, около 5 ... 10 %, и только в лучших случаях достигает 2 ... 4 %.

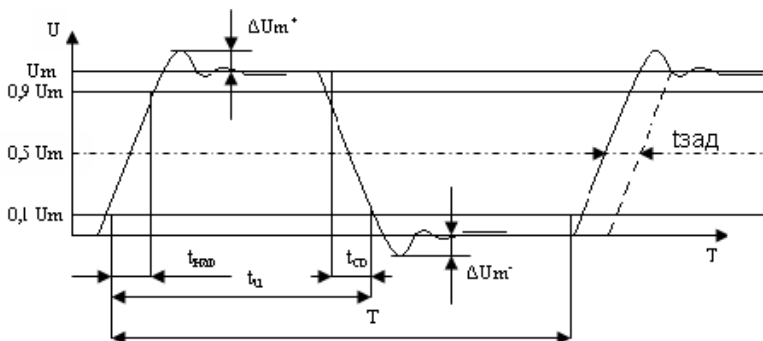


Рис. 2. Вид типового импульсного сигнала отклика

Более высокая точность измерения обеспечивается лишь специализированными приборами. Однако наша промышленность цифровых приборов для измерения целого ряда параметров импульсных сигналов серийно не выпускает [1]. Импортные же цифровые приборы дорогостоящие и дефицитны. В них обычно используют традиционные методы измерения малых временных интервалов: времяимпульсного кодирования либо разновидности нониусного преобразования, которые требуют весьма совершенной элементной базы [2, 3].

Более перспективным направление повышения точности измерения параметров импульсных сигналов является, на наш взгляд, использование предварительного преобразования малых временных интервалов в амплитуду импульсов. Структурная схема предлагаемого цифрового измерителя динамических параметров электронных узлов и устройств с промежуточным время-амплитудным преобразованием, показана на рис. 3. Исследуемые аналоговые сигналы по одному (А) или по двум (А, Б) каналам подаются на соответствующие масштабирующие преобразователи МП1 и МП2 с переменными коэффициентами передачи. Эти преобразователи приводят уровни входных сигналов, находящиеся в диапазоне 0,1 ... 10 В, к стандартному значению, необходимому для нормальной работы последующих блоков.

С помощью следящих аналого-цифровых преобразователей АЦП1 и АЦП2 с времяимпульсным кодированием в приборе получают непрерывную последовательность текущих значений измеряемых параметров. Статическая обработка вычислительным устройством, получаемых случайных последовательностей кодов, обеспечивает высокие значения достоверности и точности экспериментальных данных.

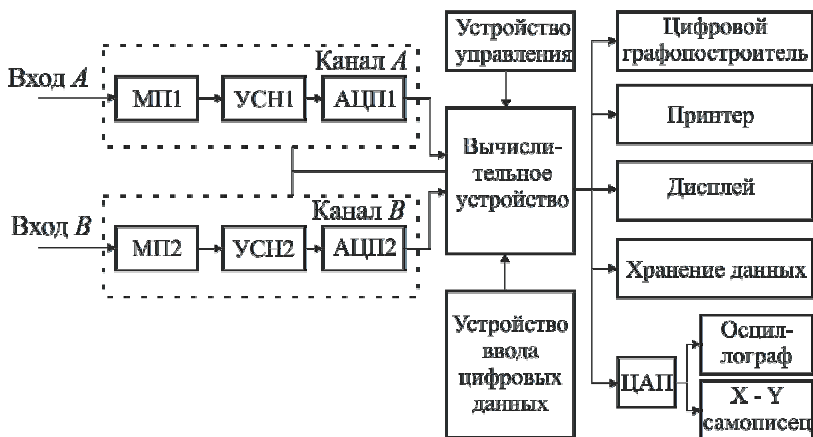


Рис. 3. Структурная схема измерителя динамических параметров электронных устройств

Возможна работа как одного, так и совместно обоих каналов. В последнем случае выборки мгновенных значений сигнала проходят по обоим каналам одновременно, что позволяет сохранять в цифровом коде информацию о временных либо фазовых соотношениях сигналов, необходимую для измерения их взаимных характеристик. Рассчитанные характеристики либо параметры можно наблюдать на дисплее, отображать в виде графиков с помощью цифрового графопостроителя либо хранить данные на съемных накопителях. Дополнительный ЦАП позволяет использовать для таких целей более простые аналоговые устройства: осциллограф и координатный самописец.

На рис. 4 представлена функциональная схема измерителя временных параметров полупроводниковых приборов. В основном метрологическом узле измерителя, т.е. в предлагаемом устройстве сравнения, выполненном на транзисторах 4 ... 7, генераторах тока $I_{Г1}$ и $I_{Г2}$, накопительных конденсаторах 14 и 15, исключаются ряд составляющих основной погрешности. Это позволило повысить разрешающую способность измерителя до нескольких тысяч.

Измеритель содержит пару токовых переключателей на комбинентарных транзисторах. Один из них связан с формирователем импульсов 1 через схему сдвига уровня 2, а другой подключен к испытуемому прибору 3. На вторые входы переключателей токов $I_{К1}$ и $I_{К2}$ отступают опорные напряжения $U_{оп1}$ и $U_{оп2}$, определяющие уровни отсчета измеряемых временных интервалов. Токовые переключатели выполнены на сравнивающих транзисторах разной проводимости 4, 5

и 6, 7 с генераторами 8, 9 стабильного тока в их эмиттерных цепях. Коллекторы транзисторов 4 – 7 попарно объединены и через диоды 10, 11 подключены к источнику напряжения смещения $E_{см}$. Через транзисторы 12 и 13, включенные по схеме с общей базой, они соединены с конденсаторами 14 и 15, параллельно которым включены отсчетные устройства 16 и 17.

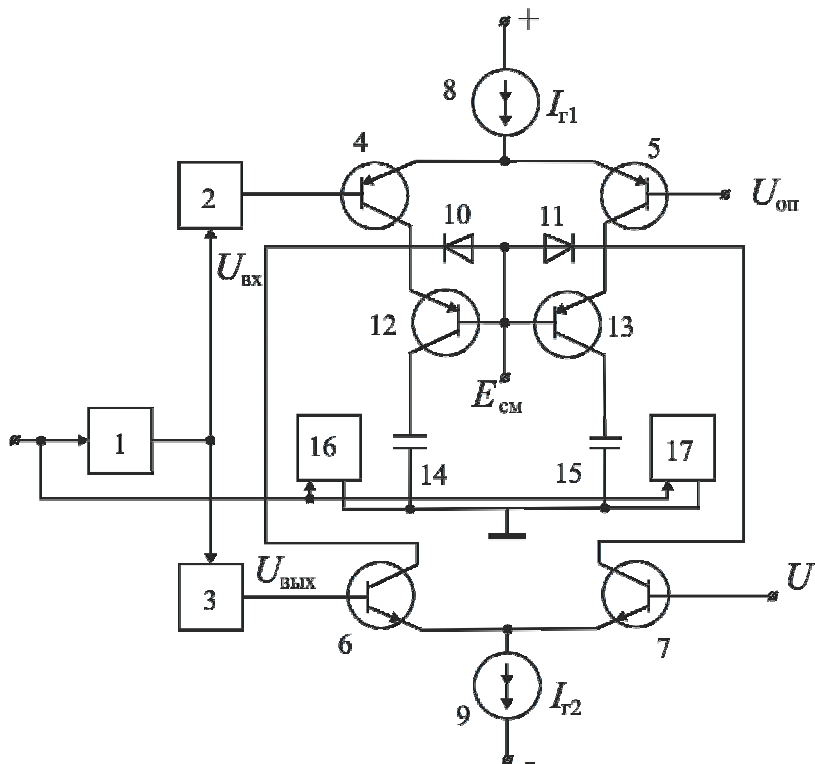


Рис.4. Функциональная схема измерителя динамических параметров на токовых переключателях

Токи $i_{\Sigma 1} > 0$ и $i_{\Sigma 2} > 0$ протекающие через транзисторы 12, 13 и заряжающие конденсаторы 14 и 15, равны:

$$i_{\Sigma 1} = i_{k1} - i_{k3} \approx \frac{I_{T1}}{1 + \exp\left(-\frac{U_{оп1} - U_{вх}(t)}{\Phi_T}\right)} - \frac{I_{T2}}{1 + \exp\left(-\frac{U_{оп2} - U_{вх}(t)}{\Phi_T}\right)} \quad (1)$$

$$i_{\Sigma 2} = i_{k2} - i_{k3} \approx \frac{I_{r1}}{1 + \exp\left(-\frac{U_{оп1} - U_{вх}(t)}{\Phi_T}\right)} - \frac{I_{r2}}{1 + \exp\left(-\frac{U_{оп2} - U_{вых}(t)}{\Phi_T}\right)} \quad (2)$$

где $\Phi_T \approx 25$ мВ – тепловой потенциал транзисторов.

Поскольку значения зарядных токов $i_{\Sigma 1}$ и $i_{\Sigma 2}$ определяются экспоненциальными зависимостями (1) и (2), то можно считать, что их изменения происходят в диапазоне (3–4) Φ_T изменения напряжений $U_{вх}(t)$ и $U_{вых}(t)$ относительно опорных уровней $U_{оп1}$ и $U_{оп2}$ соответственно, т.е. при изменении этих напряжений в диапазоне на 75–100 мВ.

На рис. 5 приведены временные диаграммы, иллюстрирующие работу устройства при измерении, например, задержек включения t_1 и выключения t_2 испытуемого прибора 3 по уровню 0,5. Амплитуда входных и выходных импульсов подавляющего большинства полупроводниковых приборов значительно превышает значения 75–100 мВ. Поэтому можно считать, что напряжения $u_{вх}$ и $u_{вых}$ в таком диапазоне изменяются практически линейно. Следовательно, составляющие функций (1) и (2) нечетны относительно точек

$$u_{вх} = U_{оп1}, \quad u_{вых} = U_{оп2},$$

а площади, описываемые зависимостями (1) и (2), в точности равны площадям прямоугольников, показанных на рис. 5 в, д пунктиром.

Можно записать:

$$\begin{aligned} \frac{1}{C_1} \int i_{\Sigma 1}(t) dt &= \frac{I_{r1} \cdot t_2}{C_1} = U_{c1}; \\ \frac{1}{C_2} \int i_{\Sigma 2}(t) dt &= \frac{I_{r2} \cdot t_1}{C_2} = U_{c2}, \end{aligned}$$

где U_{c1} – напряжение заряда на конденсаторе 14 емкостью C_1 ; U_{c2} – напряжение заряда на конденсаторе 15 емкостью C_2 .

Благодаря объединению коллекторов сравнивающих транзисторов токовых переключателей и выполнению их на транзисторах с разной проводимостью отпадает необходимость в дополнительных схемах: в формирователях старт-стоповых импульсов, схемах их блокировки, ключах и триггерах, которые присущи в традиционных время-амплитудных преобразователях. Этим исключаются погрешности, обусловленные собственными задержками, флуктуациями фронтов и неидеальной формой выходных импульсов этих узлов. Согласующие транзисторы 12 и 13 повышают линейность функции преобразования, поскольку потенциалы на коллекторах сравнивающих транзисторов в процессе заряда конденсаторов 16 и 17 остаются практически неизменными.

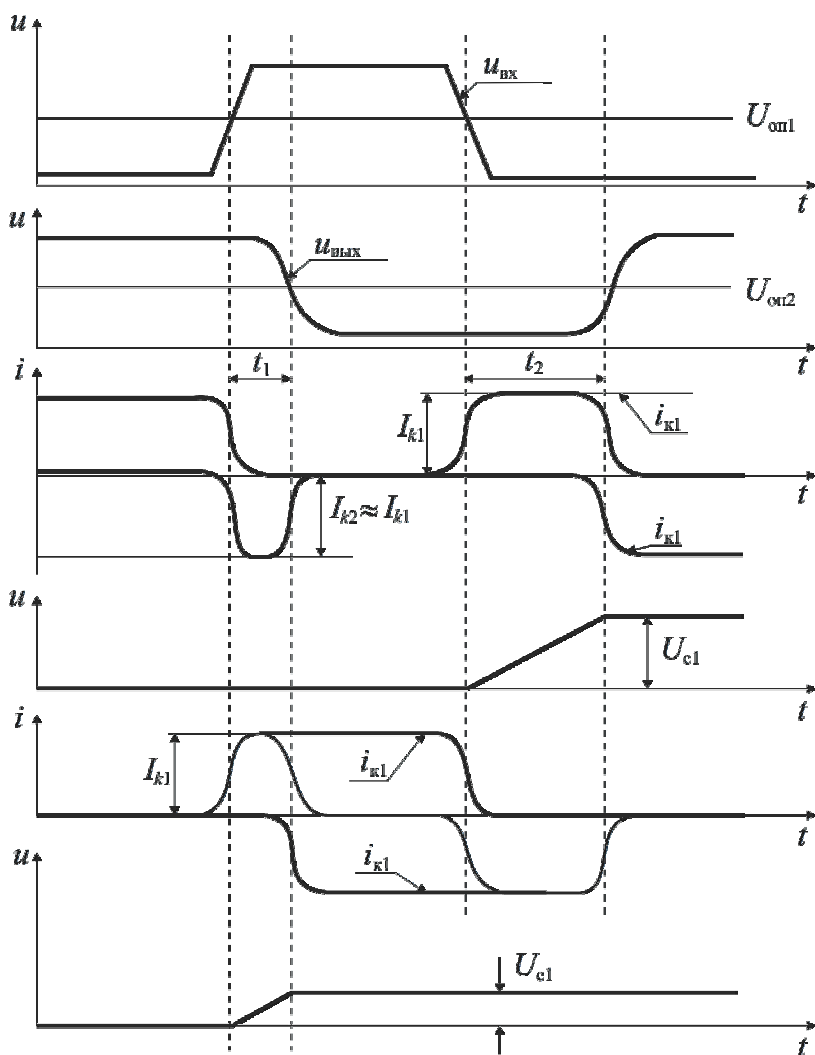


Рис. 5. Временные диаграммы ИПО при измерении задержек включения t_1 и выключения t_2 ИЭУ по уровню 0,5

В разработанном специализированном цифровом измерителе динамических параметров мощных транзисторов диапазон измерений составлял 0,1 мкс ... 100 мс, разрешающая способность достигала 1000 ... 10000, а основная погрешность измерения не превышала

1,0 %. Высокая чувствительность цифровых измерителей, достигающая единиц наносекунд, позволяла обнаруживать малейшие флуктуации временных параметров испытываемых изделий, что весьма важно для диагностики их надежности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чинков В.М. Цифрові вимірювальні прилади. – Харків: НТУ "ХП", 2008. – 508 с.
2. Ковальков В.И. Преобразователь динамических параметров импульсных схем в код. Авт. свид-во СССР № 498733.
3. Измерения в электронике. Справочник / Под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 512 с.