

тронный ресурс]. – Режим доступа: <https://webstore.iec.ch/publication/5515>, свободный (дата обращения: 7.01.2023).

2. Gazizov A.T. UWB pulse decomposition in simple printed structures / A.T. Gazizov, A.M. Zabolotsky, T.R. Gazizov // IEEE Transactions on Electromagnetic Compatibility. – 2016. – Vol. 58, No. 4. – PP. 1136–1142.

3. Шарафутдинов В.Р. Анализ способов резервирования на основе модальной фильтрации / В.Р. Шарафутдинов, Т.Р. Газизов // Системы управления, связи и безопасности. – 2019. – № 3. – С. 117–144.

4. Алхадж Х.А. Обзор исследований по модальному резервированию / Х.А. Алхадж, Т.Р. Газизов // Доклады ТУСУР. – 2022. – Т. 25, № 4. – С. 54–67.

5. Пат. 2 752 233 РФ, МПК H04B 15/02. Способ трассировки печатных проводников на двуслойной печатной плате для цепей с резервированием / А.В. Медведев (РФ), А. Алхадж Хасан (САР), О.М. Кузнецова-Таджибаева (РФ), Т.Р. Газизов (РФ). – № 2020122274; заявл. 06.07.20; опубл. 23.07.21, Бул. № 21. – 8 с.

6. Medvedev A.V. Interconnect Routing on Two Signal Layers of a Modal Reservation PCB: a Case Study // 2022 International Ural Conference on Electrical Power Engineering (UralCon). – 2022. – PP. 301–306.

7. Kuksenko S.P. Preliminary results of TUSUR University project for design of spacecraft power distribution network: EMC simulation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2019. – Vol. 560, – PP. 1–7.

УДК 681.5.08

## **УСТРОЙСТВО ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ИЗМЕРЕНИЯ СТАТИЧЕСКИХ ВОЛЬТ-АМПЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ**

*Т.И. Третьяков, студент каф. ТУ*

*Научный руководитель М.Е. Комнатнов, доцент каф. ТУ, к.т.н.  
г. Томск, ТУСУР, [henos19039@gmail.com](mailto:henos19039@gmail.com)*

Разработано устройство для автоматизированного измерения статических вольт-амперных характеристик биполярных транзисторов со схемой включения с общим эмиттером. Рассмотрен процесс измерения статических вольт-амперных характеристики биполярного транзистора с помощью разработанного устройства.

**Ключевые слова:** биполярный транзистор, широтно-импульсная модуляция, вольт-амперные характеристики, общий эмиттер, автоматизация.

Современные радиоэлектронные средства (РЭС) разрабатываются с применением различных полупроводниковых, одним из которых является биполярный транзистор (БТ). Корректная работа узла, содержащего БТ, требует соответствия его характеристик заданным до-

кументацией [2]. Для описания характеристик БТ используют вольт-амперные характеристики (ВАХ). В основном, при расчётах каскада на БТ применяют статические ВАХ, из которых наиболее известны: входная ( $I_6 = f(U_{63})$ ), выходная  $I_k = f(U_{к3})$  и проходная  $I_k = f(U_{63})$ . Измерение статических ВАХ осложняется в случае, когда требуется получить ВАХ с большим количеством отсчетов для точного построения ВАХ. Автоматизация процесса измерения ВАХ позволяет значительно сократить время, а также получить ВАХ с большим количеством измеренных точек. Цель работы – разработать устройство для автоматизированного измерения статических ВАХ БТ со схемой включения с общим эмиттером.

Разработана схема устройства для автоматизированного измерения статических ВАХ БТ со схемой включения с общим эмиттером (рис. 1). Схема содержит резисторы  $R1, R7$ , ограничивающие входной ток управляющих сигналов широтно-импульсной модуляции (ШИМ) – ШИМ1 и ШИМ2. Резисторы  $R2$  и  $R3$  ограничивают ток заряда и разряда конденсатора  $C1$ . Полевыми транзисторами  $VT1$  и  $VT2$  задаются необходимые значения  $U_{63}$  и  $I_6$  измеряемого БТ (ИБТ)  $VT3$ . Резистор  $R4$  ограничивает  $I_6$  транзистора  $VT3$ , а резистор  $R5$  ограничивает  $I_k$  транзистора  $VT3$  и ток разряда конденсатора  $C2$ . Переменный резистор  $R6$  ограничивает ток заряда конденсатора  $C2$  и коллекторный ток транзистора  $VT3$ . Полевым транзистором  $VT4$  задаётся  $U_{к3}$  и  $I_k$  для транзистора  $VT3$ . Напряжение питания – 5 В. Управление устройством осуществляется микроконтроллером (МК) ATmega328.

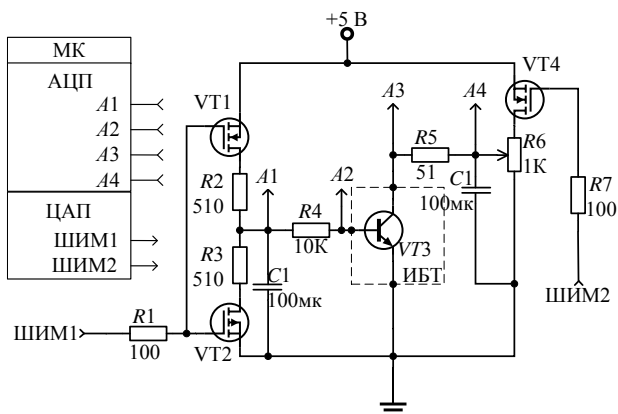


Рис. 1. Схема устройства для автоматизированного измерения статических ВАХ БТ

Процесс измерения статических входной и проходной ВАХ БТ с помощью данного устройства выглядит следующим образом.

1. Подается напряжение 5 В на вход ШИМ2 (при этом VT4 полностью открыт, а  $I_k$  ограничивается только резисторами R5 и R6).

2. Подается сигнал ШИМ с заданным коэффициентом заполнения на вход ШИМ1.

3. Измеряется значение напряжения в точках A1 и A2 (напряжение в точке A2 – это  $U_{\text{бэ}}$  на VT3).

4. Вычисляется  $I_6$  VT3 с учетом значения резистора R4.

5. Измеряется значение напряжения в точках A3 и A4 (напряжение в точке A3 является  $U_{\text{кэ}}$  VT3).

6. Вычисляется  $I_k$  с учетом значения резистора R5.

7. Сохраняются данные в памяти МК, после чего увеличивается коэффициент заполнения сигнала ШИМ1, и измерения заново повторяются.

Процесс измерения статической выходной ВАХ БТ с помощью данного устройства выглядит следующим образом:

1. Подается сигнал ШИМ, коэффициент заполнения которого автоматически подстраивается для достижения заданного значения  $I_6$  VT3.

2. Подается сигнал ШИМ на вход ШИМ2 с постоянным значением коэффициента заполнения, который устанавливает  $I_k$  VT3.

3. Измеряются  $U_{\text{кэ}}$ ,  $I_6$ ,  $I_k$  и вычисляются аналогично статическим входным и проходным ВАХ.

4. Сохраняются данные в памяти МК.

5. Увеличивается коэффициент заполнения сигнала ШИМ на входе ШИМ2, и измерения заново повторяются.

6. Формируется необходимое количество отсчетов для построения ВАХ при заданном  $I_6$ .

7. Изменяется коэффициент заполнения на входе ШИМ1 для расчета статических выходных ВАХ при следующем значении  $I_6$ .

Таким образом, разработано устройство для автоматизированного измерения статических ВАХ БТ со схемой включения с общим эмиттером. Устройство позволило увеличить количество отсчетов при измерении статических ВАХ с 59 до 125 точек. При этом использованием данного устройства позволило сократить время измерения ВАХ БТ до 10 раз, в сравнении с аналогичными измерениями, проводимыми вручную.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 19-79-10162-П) в ТУСУРе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Важенина З.П. Импульсные генераторы на полупроводниковых приборах. – М.: Энергия, 1977. – 112 с.

2. Овсянников Н.И. Кремниевые биполярные транзисторы: справ. пособие. – Минск: Высшая школа, 1989. – 302 с.