Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LI, вып. 2, 1966 г.

УДК 550.835; 621.396.662

ПРИБОР ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЯ ВЫХОДНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТРАНЗИСТОРОВ

А. Я. Синицын, Р. М. Габитов, Г. Д. Шевченко, В. В. Анзель, Э. К. Политов

В практике геофизического приборостроения широко распространены полупроводниковые диоды и триоды, которые позволяют значительно повысить экономичность, снизить габариты и вес аппаратуры. Однако полупроводниковые приборы, обладая высокими эксплуатационными качествами, при современном уровне технологии производства характеризуются разбросом параметров. Поэтому при конструировании ответственных узлов аппаратуры необходимо подбирать диоды и особенно триоды по их электрическим свойствам. Наиболее полное представление об усилительных свойствах транзисторов дает анализ их выходных характеристик. Поскольку процесс снятия характеристик по точкам трудоемок, существуют приборы, позволяющие осуществлять визуальное наблюдение выходных характеристик транзисторов на экране осциллографа. Такие приборы выполнены в СССР и за рубежом в различных модификациях в зависимости от круга решаемых задач и требуемой точности наблюдений. Относительно универсальные установки имеют сложную электронную схему [Конев, Преображенский, 1961, 1963; Черников, 1962], более простые, как правило, обеспечивают возможность лишь качественной оценки усилительных свойств транзисторов [Сонин, 1963].

Прибор, разработанный и сконструированный нами (рис. 1), позволяет при относительной простоте схемы с достаточной степенью точности (для практики геофизического приборостроения) количественно оценивать усилительные свойства триодов с током коллектора до 10 *ма*, наиболее широко используемых в геофизической аппаратуре.

Прибор представляет собой генератор ступенчато изменяющегося тока, который идет на питание базовых цепей транзисторов, и пульсирующего напряжения, которое служит для питания коллекторных цепей транзисторов и получения горизонтальной развертки на экране осциллографа. Исследование выходных характеристик полупроводниковых триодов основано на измерении осциллографом падения напряжения на эталонном сопротивлении, включенном в коллекторную цепь испытуемого транзистора, и сопоставлении этого падения напряжения с масштабной осью, формируемой на экране осциллографа.

Прибор выполнен в виде приставки к электронному осциллографу ЭО-7 и рассчитан на включение в промышленную сеть переменного тока. Он обеспечивает наблюдение на экране осциллографа семейства из четырех выходных характеристик транзистора, включенного по схеме с общим эмиттером. Синусоидальное напряжение, которое снимается с обмотки

II силового трансформатора T_p (рис. 2, *а*), выпрямляется двухполупериодной схемой выпрямления. Полученное в результате пульсирующее напряжение частотой 100 *гц* (рис. 2, *б*) используется для питания коллекторных цепей испытуемых транзисторов. Выпрямителями служат диоды $Д_1$ — $Д_2$ при исследовании транзисторов типа p —n — p (переключатель $П_1$ в положении *1*) и $Д_3$ — $Д_4$ — при испытании триодов типа

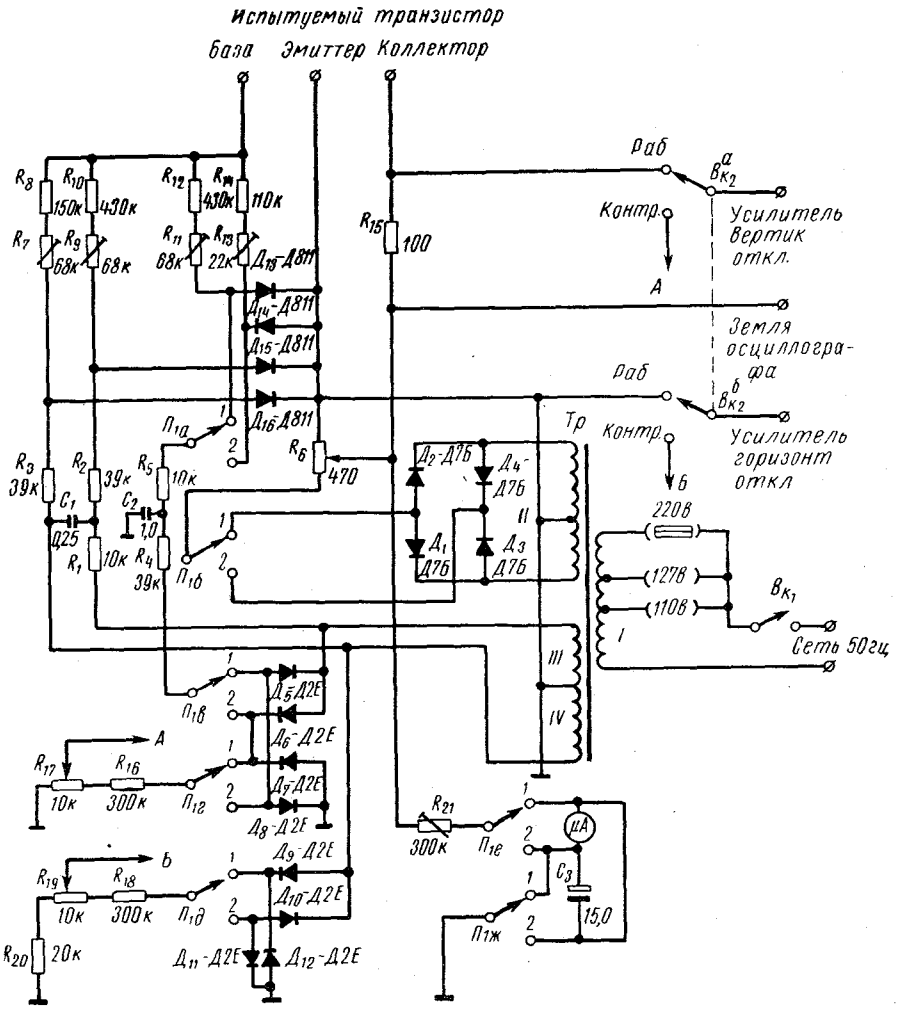


Рис. 1. Принципиальная схема прибора.

n — p — n (переключатель $П_1$ в положении *2*). Амплитуда пульсирующего напряжения, питающего коллекторные цепи, регулируется в пределах от 0 до 20 *в* с помощью потенциометра R_6. Это же напряжение подводится к клемме «Земля» осциллографа ЭО-7. Поскольку усилитель горизонтального отклонения осциллографа подключен к средней точке обмотки трансформатора, на его входных клеммах возникает пульсирующее напряжение, равное по абсолютной величине напряжению питания коллекторных цепей, но противоположное по полярности. В результате луч осциллографа в течение одного периода изменения питающего напряжения дважды совершает прямой и обратный ход в горизонтальном направлении. На вход усилителя вертикального отклонения подается напряжение,

возникающее на эталонном сопротивлении R_{15}, пропорциональное коллекторному току испытуемого транзистора.

База триода питается управляющим током, величина которого в течение одного периода принимает четыре фиксированных значения: 25, 50, 75 и 100 *мка* (рис. 2, *е*). В основу формирования управляющего тока положен известный принцип [Сонин, 1963], который заключается в выпрямлении синусоидального напряжения с помощью кремниевых стабилитронов. Синусоидальное напряжение, возникающее в обмотке *IV* силового трансформатора, через баластное сопротивление R_3 подается на кремниевый стабилитрон $Д_{16}$ типа Д811, который полностью открыт при положительном полупериоде и работает как ограничитель амплитуды до уровня стабилизации при отрицательном полупериоде. Амплитуда импульсов тока, снимаемых с $Д_{16}$ в цепь базы, определяется напряжением стабилизации конкретного экземпляра стабилитрона и величиной сопротивления R_7 и R_8. Сопротивление R_7 — переменное, что позволяет в процессе настройки схемы регулировать амплитуду и довести ее до необходимого значения, равного — 50 *мка* (рис. 2, *в*).

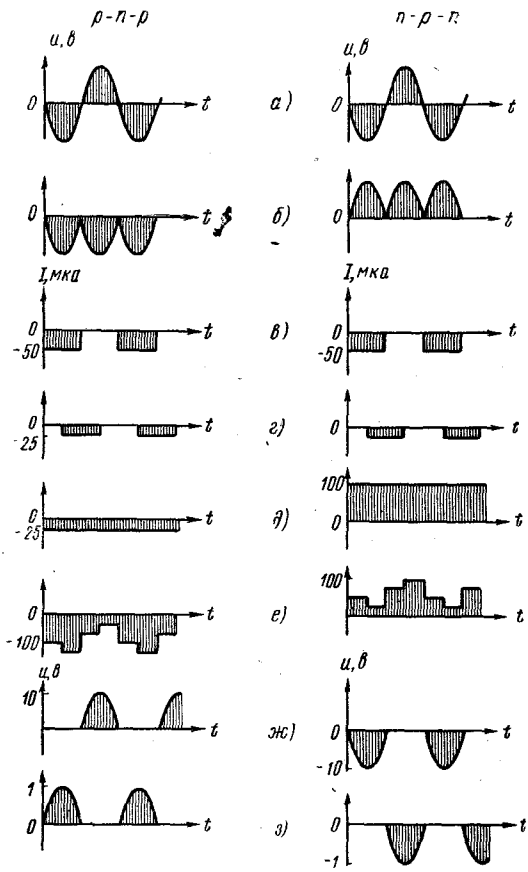


Рис. 2. Графики напряжений u и токов I в схеме прибора: *а* — напряжения питающей сети; *б* — напряжение питания коллекторных цепей транзисторов; *в* — ток через сопротивления R_7 и R_8; *г* — ток через сопротивления R_9 и R_{10}; *д* — опорный ток; *е* — суммарный управляющий ток базы; *ж* — пульсирующее напряжение, используемое для формирования оси абсцисс на экране осциллографа; *з* — пульсирующее напряжение для формирования оси ординат.

Формирование управляющего тока, снимаемого со стабилитрона $Д_{15}$, осуществляется аналогичным образом путем выпрямления синусоидального напряжения, возникающего в обмотке *III* и сдвинутого по фазе на 90° за счет включения фазовращающей цепочки R_1C_1 (рис. 2, *г*). С помощью переменного сопротивления R_9 амплитуда импульсов устанавливается равной — 25 *мка*.

При исследовании транзисторов типа p — n — p в цепь базы помимо импульсного тока подается дополнительно опорный постоянный ток — 25 *мка* (рис. 2, *д*). Для его получения используется напряжение, возникающее в обмотке *III* трансформатора, которое выпрямляется по однополупериодной схеме диодами $Д_5$, $Д_8$ и через электрический фильтр R_4 C_2 и баластное сопротивление R_5 подается на кремниевый стабилитрон $Д_{13}$. Амплитуда тока устанавливается при настройке прибора с помощью пере-

менного сопротивления R_{11}. Сложением всех трех токов формируется суммарный ступенчато изменяющийся управляющий ток (рис. 2, *е*).

При испытании транзисторов типа $n-p-n$ опорный постоянный ток имеет обратное направление и равен 100 *мка*. В этом случае для выпрямления напряжения на выходе обмотки *III* используются диоды $Д_6$, $Д_7$, включенные также по однополупериодной схеме. Выпрямленное напряжение через фильтр и балластное сопротивление подается на стабилитрон $Д_{14}$. Величина тока регулируется сопротивлением R_{13}. Полный управляющий ток образуется в результате алгебраического сложения опорного и пульсирующих токов и также имеет ступенчатую форму.

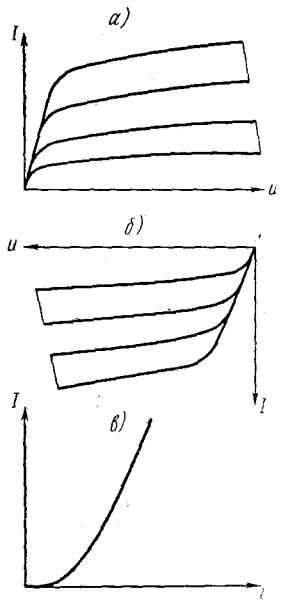


Рис. 3. Характеристики транзисторов, наблюдаемые на экране осциллографа: *а* — семейство выходных характеристик транзисторов типа *p-n-p*; *б* — выходные характеристики транзистора типа *n-p-n*; *в* — вольт-амперная характеристика полупроводникового диода.

Система контроля в приборе, обеспечивающая возможность количественных измерений, включает стрелочный индикатор амплитуды коллекторного напряжения и схему формирования масштабных осей на экране осциллографа. В качестве стрелочного индикатора использован микроамперметр М-494 чувствительностью 50 *мка* на всю шкалу. Индикатор подключен к движку потенциометра R_6 через гасящее сопротивление R_{21}, которое совместно с конденсатором C_3 составляет электрический фильтр. Шкала микроамперметра проградуирована в амплитудных значениях. Переключатель $П_1$ позволяет сохранить неизменным направление тока через микроамперметр независимо от типа испытуемого транзистора.

Принцип получения масштабных осей на экране электронно-лучевой трубки заключается в следующем. При включении тумблера $В_{Т_2}$ в положение «контроль» входные цепи усилителей осциллографа отключаются от выводов транзистора и подсоединяются к потенциометрам R_{17} и R_{19}, на которые подается пульсирующее напряжение. Как отмечено выше, напряжение, подаваемое на вход усилителя горизонтального отклонения, противоположно по полярности напряжению питания коллекторных цепей транзисторов. Поэтому для формирования оси абсцисс на экране осциллографа при исследовании триодов типа $p-n-p$ на вход усилителя горизонтального отклонения подается пульсирующее напряжение положительной полярности, получаемое однополупериодным выпрямлением синусоидального напряжения, которое снимается с обмотки *IV* трансформатора (рис. 2, *ж*). Выпрямление достигается за счет включения диодов $Д_9$, $Д_{12}$. Амплитуда пульсаций, подаваемых на вход осциллографа устанавливается в процессе настройки прибора, равной 10 *в* при уменьшенном до нуля напряжении питания коллекторных цепей транзисторов. При испытаниях триодов типа $n-p-n$ в схему формирования оси абсцисс включаются диоды $Д_{10}$, $Д_{11}$, что позволяет получить на выходе пульсирующее напряжение отрицательной полярности, также равное 10 *в*.

Получение оси ординат на экране осциллографа достигается однополупериодным выпрямлением синусоидального напряжения, снимаемого с обмотки III трансформатора. При испытании триодов типа $p-n-p$ схема выпрямления включает диоды $Д_5$, $Д_8$, для триодов типа

$n—p—n$ — диоды $Д_6$, $Д_7$. Поскольку напряжение, возникающее на эталонном сопротивлении R_{15} и подаваемое на вход усилителя горизонтального отклонения осциллографа в режиме наблюдения выходных характеристик, противоположно по полярности напряжению питания коллекторных цепей, для формирования оси ординат на вход усилителя подаются импульсы положительной полярности для триодов типа $p— n — p$ и отрицательной — для $n — p — n$ (рис. 2, *з*). Амплитуда импульсов устанавливается равной 1 *в* (настройка производится при уменьшенном до нуля напряжении питания коллекторных цепей). Это эквивалентно прохождению через испытуемый транзистор и эталонное сопротивление R_{15} тока в 10 *ма*, так как номинальная величина R_{15} в схеме прибора 100 *ом* $\pm 0{,}5\%$.

Поскольку обмотки *III* и *IV* силового трансформатора намотаны в одну сторону, то синусоидальное напряжение, возникающее на их незаземленных концах, находится в противофазе. Это обеспечивает разновременность поступления импульсов на усилители осциллографа. В результате при включении прибора в режим контроля на экране электронно-лучевой трубки вырисовывается система прямоугольных координатных осей, к которым можно привязать характеристики исследуемых транзисторов.

Кроме того, разработанный прибор можно использовать для наблюдения вольт-амперных характеристик полупроводниковых диодов. В этом случае испытуемый диод подключается к клеммам «эмиттер» — «коллектор». Форма характеристик полупроводниковых приборов, наблюдаемых на экране осциллографа, приведена на рис. 3.

ЛИТЕРАТУРА

Конев К. А., Преображенский Н. И. Приставка к электронному осциллографу ЭО-7 для визуального подбора транзисторов. Советское радио, вып. 7, 1961.

Конев К. А., Преображенский Н. И. Приставка к осциллографу ЭО-7 для визуального подбора транзисторов по их характеристикам. Изв. Ленингр. электротехн. ин-та им. В. И. Ульянова (Ленина), вып. 51. 1963.

Сонин В. К., Сонин Е. К. Приборы для визуальной настройки радиолюбительской аппаратуры. Госэнергоиздат. Массовая библиотека, вып. 483, 1963.

Черников А. И. Испытатель-характериограф полупроводниковых триодов Советское радио, вып. 8, 1962.