

## АВОМЕТР НА ПОЛЕВЫХ ТРАНЗИСТОРАХ

Авометр, собранный на полевых транзисторах, обладает увеличенным входным сопротивлением при измерении напряжений. Им можно измерять: постоянные напряжения до 500 В на шкалах 0—1; 0—2,5; 0—10; 0—25; 0—100; 0—500 В при входном сопротивлении 10 МОм; сопротивления от 30 Ом до 100 МОм на пяти поддиапазонах (середина шкалы «Ом» соответствует 1, 10, 100, 1000 и 10000 кОм) и постоянный ток на шкалах 0—0,5; 0—5; 0—50 и 0—500 мА. С помощью двух выносных пробников по шкале постоянных напряжений можно измерять переменные напряжения звуковых частот (20—20000 Гц) до 300 В и высоких частот (20 кГц—100 МГц) до 25 В.

Ток, потребляемый от источника питания (батарей «Крона» или аккумулятора 7Д-0,1), не превышает 1,6—1,8 мА. Шкалы авометра при измерении токов и напряжений — линейные.

Основным узлом прибора является измерительный блок, собранный по схеме моста, плечи которого образованы резисторами  $R_{12}$ ,  $R_{14}$ , частью переменного резистора  $R_{13}$  и сопротивлением участков истока — сток полевых транзисторов  $T_1$ ,  $T_2$ . В одну из диагоналей моста (стоки  $T_1$ ,  $T_2$  и движок переменного резистора  $R_{13}$ ) подается напряжение от батарей  $B_1$ . В другую диагональ моста (между истоками  $T_1$ ,  $T_2$ ) через переключатель  $B_3$  и резисторы  $R_{15}$ ,  $R_{16}$  включается стрелочный микроамперметр ИП1. По существу мост образован двумя истоковыми повторителями, смонтированными на полевых транзисторах  $T_1$ ,  $T_2$ , нагрузками которых являются резисторы  $R_{12}$ ,  $R_{14}$  и часть переменного резистора  $R_{13}$ .

На затвор транзистора  $T_1$  через цепь  $R_{11}C_1$ , защищающую транзистор от переменных и импульсных напряжений, поступает измеряемое постоянное напряжение. Затвор транзистора  $T_2$  через цепь  $R_{17}C_2$  соединен с положительным полюсом источника питания батарей  $B_1$ . Для защиты транзистора  $T_1$  от больших напряжений его вход защищен кремниевым стабилитроном  $D_1$ , ограничивающим это напряжение до 8—9 В. Понятно, что наличие этого стабилитрона не обязательно.

Когда мост сбалансирован, что достигается переменным резистором  $R_{13}$ , напряжение между истоками  $T_1$ ,  $T_2$  равно нулю и ток в цепи микроамперметра, переключателя  $B_3$  и резисторов  $R_{15}$ ,  $R_{16}$  отсутствует. При поступлении на затвор  $T_1$  измеряемого напряжения баланс моста нарушается и через микроамперметр ИП1 начинает течь ток, пропорциональный величине входного напряжения. Чувствительность измерительного блока по входу (между точками 1—2 схемы) составляет 1 В.

В режиме вольтметра постоянного тока измеряемое напряжение подается к гнездам  $Гн1$ ,  $Гн2$  и через переключатель  $B_2$  поступает на делитель, образованный резисторами  $R_1$ — $R_6$ . Необходимый предел измерения устанавливают переключателем  $B_1$  (положения 1—6). Включение авометра производит переключателем  $B_5$ , который механически связан с переключателем  $B_3$ . Чувствительность измерительного блока, равную 1 В, устанавливают переменным резистором  $R_{16}$  при налаживании авометра. Ручку его на переднюю панель не выводят.

При измерении напряжений переменного тока высокой частоты выходные щупы пробника (рис. 2) подключают к гнездам  $Гн1$ ,  $Гн2$ . Измеряемое напряжение подается на иглу «А» и жаким «Б» пробника. Пробник представляет собой детектор с закрытым входом, нагрузкой которого по постоянному току являются резистор  $R_{n1}$  и делитель  $R_1$ — $R_6$  (см. рис. 1). В положительные полупериоды измеряемого напряжения конденсатор пробника  $C_{n1}$  заряжается до его амплитудного значения. В отрицательные полупериоды — медленно разряжается через высокоомную цепь  $R_{n1}$ ,  $R_1$ — $R_6$ . Сглаживание пульсаций переменного напряжения на затворе  $T_1$  осуществляется цепочкой  $R_{n2}C_{n2}$  и  $R_{11}C_1$ . Сопротивление резистора  $R_{n1}$  при налаживании авометра выбирается таким, чтобы на вход делителя  $R_1$ — $R_6$  поступала постоянная составляющая напряжения, равная эффективному значению измеряемого напряжения. Этим с достаточной для практики точностью достигается совпадение шкал соответствующих пределов для измерений постоянных и переменных напряжений.

Измерение напряжений низкой частоты также производят пробником, выполненным по схеме рис. 2. Отличается он только данными схемами, которые указаны в скобках. При измерении напряжений низкой частоты в качестве выпрямительного элемента  $D_{n1}$  используется диод типа Д218. Превышать значения переменных напряжений, которые могут быть измерены пробниками (до 30 В — для высокочастотного и 300 В — для низкочастотного) нельзя, так как диоды могут пробиться.

Применение полевых транзисторов позволило расширить диапазон измерения сопротивлений до 100 МОм без применения внешних добавочных батарей. Для этих измерений переключатель  $B_1$  устанавливают в одно из положений 7—11. При этом переключатель  $B_2$ , который механически связан с переключателем  $B_1$ , переводится в положение 2 («Ω»). В схеме омметра измеряемое сопротивление  $R_x$  включают (в гнезда  $Гн1$ ,  $Гн2$ ) последовательно с переключателем  $B_2$ , одним из образцовых резисторов  $R_7$ — $R_{10}$  и источником питания омметра. Им служит делитель, образованный резисторами  $R_{18}$ — $R_{21}$  и переменным резистором  $R_{22}$ . Резисторы делителя подобраны так, что его входное сопротивление составляет 1 кОм, а снимаемое напряжение — 1 В, т. е. равно чувствительности измерительного блока. О величине измеряемого

сопротивления  $R_x$  судят по падению напряжения на нем. Это падение измеряется по специальной шкале, градуированной в омах. Пределы измерения сопротивлений изменяют переключателем  $B_1$  (положения 7—11). Установку стрелки микроамперметра на отметку бесконечность производят переменным резистором  $R_{22}$  при разомкнутых гнездах  $Гн1$ ,  $Гн2$ . Следует отметить, что в этом случае по положению движка резистора можно судить о напряжении батарей и исправности авометра в целом.

В схеме омметра минимальное образцовое сопротивление (сопротивление делителя  $R_{18}$ — $R_{22}$ ) на первом пределе измерения « $\times 0,1$  кОм» равно 1 кОм. Для использования одной шкалы омметра на всех пределах измерений необходимо, чтобы общее сопротивление  $R_0$  образцовых резисторов при переходе с одного предела измерения на другой изменялось в 10 раз. Это условие в данной схеме полностью выполняется: на пределе « $\times 0,1$  кОм»  $R_{01}$  равно 1 кОм; на пределе « $\times 1$  кОм»  $R_{02} = 1 + R_{10} = 1 + 9 = 10$  кОм; на пределе « $\times 10$  кОм»  $R_{03} = 1 + R_{10} + R_9 = 1 + 9 + 90 = 100$  кОм и т. д.

Для измерения силы постоянного тока переключатель  $B_3$  устанавливают в положение 1. Микроамперметр ИП1 отключается от измерительного блока и включается в схему многопредельного миллиамперметра с отдельными шунтами  $R_{23}$ — $R_{26}$  и общими гнездами  $Гн3$ ,  $Гн4$ . Изменение пределов измерения силы тока производит переключателем  $B_4$ . В отличие от существующих авометров в данном приборе отсутствует универсальный шунт. Применение отдельных шунтов для каждого предела измерений тока позволяет добиться минимального падения напряжения на участке цепи миллиамперметра, что особенно важно при измерениях режима работы аппаратуры на транзисторах при низких напряжениях источника питания.

Чтобы избежать выхода из строя микроамперметра из-за случайного отключения одного из шунтов, коммутация осуществлена так, что не позволяет включить микроамперметр раньше шунта. Измерительные щупы, вставляемые в гнезда  $Гн3$ ,  $Гн4$ , непосредственно подключаются к шунтам. В момент перехода с одного предела измерения на другой в случае плохого контакта в переключателе одновременно с выключением шунта отключается и микроамперметр.

Когда авометр используют в режиме миллиамперметра, выключателем  $B_5$  отключают питание от измерительного блока.

В авометре можно устанавливать полевые транзисторы типа КП102, КП103 с любыми буквенными обозначениями; микроамперметр с током полного отклонения 50 мкА (М4204, М24, М265); переключатель  $B_1$  галетного типа, одноплотный, желательно керамический, на 11 положений. На ось переключателя  $B_1$  надо насадить кулачок из изоляционного материала (эбонита, гетинакса, полистирола), который в 7—11 положениях  $B_1$  управляет работой контактной группы, набранной из пружинящих контактов от реле и выполняющей функции переключателя  $B_2$ . Переключатели  $B_3$ ,  $B_5$  составлены из двух двохвостых перекидных тумблеров. Переключатель  $B_4$  — галетного типа, одноплотный, на четыре положения и два направления. Все шунты  $R_{23}$ — $R_{26}$  — проволочные.

Основные детали измерительного блока (на рис. 1 они обведены пунктирной линией) смонтированы на печатной плате размером 75×55 мм, которая закрепляется на зажимах микроамперметра. Для подключения полевых транзисторов  $T_1$ ,  $T_2$  на плату установлены панельки от приемника «Селга». Резисторы  $R_1$ — $R_{10}$  припаивают непосредственно к ламелям переключателя  $B_1$ . Резисторы делителя  $R_1$ — $R_{10}$  следует подобрать с точностью  $\pm 1\%$ . Гнезда  $Гн1$ ,  $Гн2$  устанавливают на панели с помощью фторопластовых втулок. При монтаже авометра следует учесть, что для нормальной работы вольтметра с высоким входным сопротивлением и измерения больших сопротивлений (до 100 МОм) недопустимы какие-либо утечки в цепи  $R_1$ — $R_{10}$ , применение некачественных изоляционных материалов. Монтажная плата должна быть тщательно протерта спиртом.

Габариты прибора определяются размерами микроамперметра, переключателей, переменных резисторов. Конструкцию корпуса для пробников легко уяснить из рис. 3. Изготавливают его из эбонита. Корпус высокочастотного пробника внутри оклеивают медной фольгой, которую соединяют с общим проводом. Игла для подсоединения к измеряемой цепи не должна быть длиннее 10 мм.

На лицевой панели авометра размещаются микроамперметр ИП1, переключатели  $B_1$ ,  $B_3$ ,  $B_4$ , потенциометры  $R_{13}$  и  $R_{22}$ . Для батарей  $B_1$  в днище корпуса сделана специальная ниша с крышкой.

Налаживание прибора рекомендуется производить в такой последовательности. Отсоединив диод  $D_1$ , переключатели  $B_1$ ,  $B_3$  устанавливают в положения, показанные на рис. 1, и регулировкой переменного резистора  $R_{13}$  устанавливают стрелку микроамперметра на нулевое деление шкалы. Если это сделать не удастся, надо подобрать транзисторы  $T_1$ ,  $T_2$  с более идентичными параметрами.

Далее калибруют шкалу вольтметра. Установив переключатель  $B_1$  на предел «10В», на вход авометра (гнезда  $Гн1$ ,  $Гн2$ ) от любого источника подают постоянное напряжение 10 В, контролируемое образцовым вольтметром, и, регулируя установочный

резистор  $R_{16}$ , добиваются, чтобы стрелка микроамперметра находилась против последнего деления шкалы (в данном случае оно равно 50). Ввиду хорошей линейности измерительного блока для шкалы напряжений целесообразно использовать имеющуюся шкалу микроамперметра. Если резисторы входного делителя  $R_{1}-R_6$  подобраны с указанной точностью, то на остальных поддиапазонах измерения калировка шкалы будет достигнута автоматически. Отсчет измеряемого напряжения в этом случае производят по шкале микроамперметра, показания которой умножают на коэффициенты, различные для каждого предела измерения.

После этого приступают к налаживанию омметра. С этой целью переключатель  $B_1$  устанавливают в положение 11 (« $\times 0,1$  кОм») и подбирают такое сопротивление резистора  $R_{21}$ , чтобы переменным резистором  $R_{22}$  можно было установить стрелку микроамперметра на крайнее правое деление шкалы (по будущей шкале «омов» это положение стрелки соответствует отметке « $\infty$ ») при изменении напряжения питания от 8,2 до 9,8 В. Иногда требуется подобрать также и сопротивление резистора  $R_{19}$ . Шкалу омметра калибруют, изменяя сопротивление резистора  $R_{20}$  так, чтобы при подключении к гнездам  $Гн1, Гн2$  резистора  $R_x = 1 \text{ кОм} \pm 1\%$  стрелка микроамперметра отклонилась точно на середину шкалы (в нашем случае на 25 делений). Затем переключатель  $B_1$  устанавливают в положение 7 (« $\times 10^3$  кОм»). В этом положении стрелка микроамперметра при разомкнутых гнездах  $Гн1, Гн2$  не должна отклоняться от отметки « $\infty$ » (крайнего деления шкалы микроамперметра). В противном случае транзистор  $T_1$  имеет большой ток затвора, и его следует заменить или поменять местами транзисторы  $T_1$  и  $T_2$ .

Шкалу омметра градуируют с помощью образцовых сопротивлений или строят расчетным путем по формуле:  $\alpha_x = \alpha_n \cdot R_x / (R_n + R_x)$ , где  $\alpha_x$  — число делений шкалы микроамперметра, на которое отклоняется стрелка при измерении сопротивления  $R_x$ ;  $R_x$  — измеряемое сопротивление;  $R_n$  — образцовое сопротивление омметра, равное (по шкале « $\times 1$  кОм») 10 кОм;  $\alpha_n$  — число делений шкалы микроамперметра (в нашем случае  $\alpha_n = 50$ ). Задаваясь различными значениями  $R_x$ , легко подсчитать, какие деления шкалы микроамперметра  $\alpha_x$  им соответствуют, и по полученным данным вычертить шкалу «омов». Для ориентировки приведены данные  $\alpha_x$  для отдельных значений  $R_x$  (опорных точек) на пределе « $\times 1$  кОм».

$R_x$ , кОм	1	2	5	10	20	50	100	500	$\infty$
$\alpha_x$ , град	4,5	8,3	16,3	25	33,3	41,6	45,4	49	50

По окончании расчета эти и промежуточные значения  $\alpha_x$  наносят на шкалу для измерений сопротивлений. На других пределах измерения сопротивлений показания по шкале омметра умножают на соответствующие множители.

Затем проверяют обратное сопротивление стабилитрона  $D_1$ , отключив его от схемы и присоединив к гнездам  $Гн1, Гн2$ . Переключатель пределов  $B_1$  устанавливают в положение « $\times 10^3$  кОм». Если нет заметного отклонения стрелки, диод  $D_1$  устанавливают на место.

Для налаживания выносного пробника при измерении напряжения высокой частоты, авометр устанавливают в режим измерения постоянных напряжений, а выход пробника подключают к гнездам  $Гн1, Гн2$ . На вход пробника (иглу «А», зажим «Б») подают напряжение частотой 100—300 кГц, контролируемое образцовым вольтметром, и подбирают резистор  $R_n$  такой величины, при которой погрешность измерения на отдельных шкалах (1; 2,5; 10; 25 В) авометра не превышала 5%. Диод  $D_{1n}$ , используемый в пробнике, должен иметь обратное сопротивление не менее 500 кОм. Таким же образом подбирают сопротивление  $R_{n1}$  и в низкочастотном пробнике, на вход которого подают переменное напряжение частотой 1000 Гц.

Налаживание миллиамперметра сводится к уточнению сопротивления отдельных шунтов ( $R_{23}-R_{26}$ ), которое производится с помощью образцового миллиамперметра по общепринятой методике.

Порядок работы с авометром следующий. Установив переключатель  $B_3$  в положение («V», « $\Omega$ »), а  $B_1$  на нужный предел измерения напряжений, с помощью потенциометра  $R_{13}$  стрелку микроамперметра ИП1 устанавливают на нулевое деление шкалы. В этом положении авометр подготовлен для измерений постоянных напряжений, а с помощью пробников — и для измерений переменных напряжений.

Для измерения сопротивлений переключатель  $B_1$  переводят на нужный предел и, регулируя переменный резистор  $R_{22}$ , стрелку микроамперметра устанавливают на отметку « $\infty$ » (конец шкалы). После этого измеряемое сопротивление присоединяют к гнездам  $Гн1, Гн2$  и по шкале «омов» производят отсчет с учетом предела измерения.

При измерении силы постоянного тока щупы вставляют в гнезда  $Гн3, Гн4$ , переключатель  $B_3$  переводят в положение «I, Выкл.», а  $B_4$  — на нужный предел измерения.

В дальнейшем такой авометр можно улучшить: ввести в него калибратор напряжения или устройство контроля напряжения батарей.

