

## ЕЛЕКТРИЧЕСКА СХЕМА

Пълната електрическа схема на цифровия волтметър е дадена на фиг. 66.

**Входен усилвател.** Основна задача на входния усилвател е да осигури възможно най-голямо входно съпротивление и минимален входен ток. Това е постигнато с операционния усилвател ИС<sub>1</sub> —  $\mu$ A741 (МAА741 — ЧССР, 1U0741 — НРБ), свързан в неинвертиращ режим със 100% отрицателна обратна връзка (фиг. 66 а). В този случай схемата работи като усилвател с коефициент на усилване 1 (повторител на напрежение). Входният сигнал през резистора  $R_8$  се подава на неинвертиращия вход, а веригата на обратната връзка връща целия изходен сигнал през  $R_{10}$  към инвертиращия вход. По този начин се осигурява най-голямо входно съпротивление и голяма стабилност на схемата.

Измерването на напрежение се подава на входен атенюатор от последователен тип, съставен от резисторите  $R_1$ — $R_4$ . Те трябва да са точни (под 1%) или подобрени с точен омметър. За предпочитане са фабрично точните резистори, тъй като те имат голяма стабилност и по отношение на температурата и стареенето. Атенюаторът е четиристъпален и се превключва с галетния ключ  $K_2$  ( $2 \times 4$  положения).

Резисторът  $R_8$  и кондензаторът  $C_1$  образуват входен филтър за затихване на евентуално проникнали паразитни сигнали. Капацитетът на  $C_1$  е избран с компромисната стойност 0,1  $\mu$ F — при по-голям капацитет се увеличава времеконстантата на измерването, а при по-малък — намалява затихването на филтъра за най-ниските честоти. Качеството на този кондензатор пряко влияе върху точността на измерването, затова той трябва да е с най-голямо изолационно съпротивление на диелектрика, например стирофлексен.

Входната защита срещу свръхнапрежения се осигурява от преходите база — колектор на транзисторите  $T_4$  и  $T_5$  и ограничителния резистор  $R_8$ . Това свързване ограничава максималното напрежение в неинвертиращия вход на операционния усилвател до големината на захранващото напрежение, увеличено с пада в прехода база — колектор. Транзисторите  $T_4$  и  $T_5$  трябва да имат възможно най-малък обратен колекторен ток, тъй като той е смущаващ входен ток. Избраните транзистори КF525 са особено подходящи за случая — техният обратен колекторен ток е само 0,8 пА. Използуваните често за такъв вид защита силициев диоди имат значително по-големи обратни токове — няколко десетки наноампера.

Защитният резистор  $R_8$  е достатъчно голям, така че при мак-

симално претоварване токът през него не е опасен за преходите на  $T_4$  и  $T_5$ . След отстраняване на свръхнапрежението волтметърът заработва нормално.

Наличието на някакво напрежение в изхода на ИС<sub>1</sub>, когато на входа не е подаден сигнал, се дължи на входното напрежение на несиметрия, което за  $\mu$ A741 е около 1 mV. Балансирането на тази несиметрия е възможно с пример-потенциометъра  $R_9$ , включен между изводите 3 и 9 на ИС<sub>1</sub>. С компенсацията на напрежението на несиметрия се намалява и топлинният дрейф на входния усилвател.

Много по-големи неприятности създава входният ток на несиметрия (разликата между токовете в двата входа на операционния усилвател), който при  $\mu$ A741 е около 50 пА. Този ток предизвиква значителен пад във високоомните резистори на входния делител и на измервания източник. Токовата несиметрия е причина за голям топлинен дрейф на нулата и води до грешки в измерването.

Най-простият начин за компенсиране на токовата несиметрия е, като се създаде компенсиращ ток в неинвертиращия вход чрез помощен източник. В схемата на волтметъра този източник е съставен от генератор на постоянен ток, изграден с транзисторите  $T_1$ ,  $T_2$  и  $T_3$ . През неинвертиращия вход на операционния усилвател протича базовият ток на  $T_3$ , който е  $\beta$ -път по-малък от колекторния ток. Чрез изменение на  $R_6$  този ток може да се регулира до постигане на пълна компенсация на токовата несиметрия.

Тъй като транзисторите  $T_1$ ,  $T_2$  и  $T_3$  имат равни или близки топлинни характеристики с тези на входните транзистори на операционния усилвател, схемата компенсира частично и температурния дрейф на входния ток.

**Измерване на съпротивления.** През измервания резистор, включен в буксите  $R_x$ , се пропуска определен ток, получен от токов генератор, изграден с транзистора  $T_6$ . Падът върху  $R_x$  е пропорционален на съпротивлението на резистора и през ключа  $K_1$  се подава във входа на усилвателя ИС<sub>1</sub>.

Токовият генератор има 4 обхвата за постоянен ток: 1 mA, 100  $\mu$ A, 10  $\mu$ A и 1  $\mu$ A. Те се избират с превключвателя  $K_3$  и определят четирите подобхвата за измерване на съпротивления. За удобство при еталонирането към резисторите  $R_{14}$ ,  $R_{16}$ ,  $R_{18}$  и  $R_{20}$ , които опеределят обхватите на генератора, са добавени донаториращите пример-потенциометри  $R_{15}$ ,  $R_{17}$ ,  $R_{19}$  и  $R_{21}$ .

Точността и стабилността на токовия генератор се влияе предимно от изменението на  $U_{BE}$  и  $I_B$  на  $T_6$  при промяна на температурата. Изменението на базовия ток може да се намали, като се подбере транзистор с голямо усилване по ток. Изменението на