

Рис. 1

с наводками легче. Грамотное применение давно известных в радиотехнике методов экранирования позволяет получить достаточно хорошие результаты — после изготовления магнитометра ни наводок, ни “влияния рук” обнаружено не было. Рекомендуем использовать следующие способы экранировки: измерительную катушку заключить в сплошной экран, разомкнутый в одном месте — на стороне, противоположной выводам, чтобы не образовывалось короткозамкнутого витка. Экран катушки соединить только с оплеткой кабеля, а последнюю, в свою очередь, с общим проводом усилителя, рядом с его входом. Поля наводок в этом случае если и воздействуют на два сигнальных провода, то их ЭДС взаимно компенсируются на входе усилителя. Соединять один из выводов катушки с экраном около самой катушки ни в коем случае нельзя.

Экран катушки выполнен из мягкой тонкой медной ленты шириной 30...35 мм и длиной, равной периметру катушки (около 1200 мм). Такой лентой наматаны, например, низковольтные обмотки мощных импульсных трансформаторов питания устаревших ЭВМ. Ленте сначала следует придать U-образный профиль на какой-нибудь оправке, затем ее уложить по периметру катушки вдоль витков, изолированных тесьмой и изоляцией, так, чтобы обмотка заходила внутрь профиля и края его равномерно обжать вокруг обмотки. Не беда, если останется кольцевая щель, все равно экранировка получается достаточной. Работу выполнить легче, если края U-образного профиля смыкаются (или не смыкаются) на внешнем периметре катушки. На выводы катушки надо надеть экранирующий чулок, один конец которого припаять к экрану, а другой — к “земляному” выводу и корпусу соединителя X1. Возможно, что радиолюбители смогут придумать и другие, более простые способы экранировки.

Перейдем теперь к описанию изготовления индикационной части прибора. Детали здесь можно применить самые разные. Операционный усилитель может быть и другого типа, но желательно с внутренней коррекцией, чтобы не возникало проблем с высокочастотным самовозбуждением на разных пределах измерения. Диоды детектора — любые маломощные германиевые. Конденсаторы и резисторы могут быть любых типов, кроме C1, он должен быть бумажным или керамическим с допуском $\pm 10\%$. Переключатель SA1 — на три положения и одно направление, тумблер SA2 может быть любого типа. Измерительная головка типа M4204 с током полного отклонения 50 мкА или ей аналогичная. Следует заметить, что использование измерительных головок с длиной шкалы менее 60 мм неудобно — часто приходится работать в неблагоприятных условиях и с них трудно считать показания, в ряде случаев даже плохо видно стрелку.

Батареями питания послужили использованные шестивольтовые батареи от кассет фотоаппарата “Поляриод”. Они очень плоские, имеют размер бумажно-пластиковой упаковки 90×110 мм и удобно укладываются на дно корпуса прибора. При токе потребления прибора не более 5 мА (причем половина и этого небольшого по величине тока уходит на питание светодиода) срок службы названных батарей очень велик.

В качестве корпуса подойдет пластмассовая или деревянная коробочка, но верхнюю панель надо изготовить из металла, можно использовать фольгированный гетинакс или стеклотекст-

олит. Панель послужит “массой” или общим проводом прибора.

Экран кабеля и один из сигнальных выводов, а также корпус разъема X2 соединяют с верхней панелью проводниками минимальной длины. Монтаж усилителя и детектора магнитометра можно выполнить любым способом, навесным или печатным. В изготовленном приборе монтаж навесной, с использованием выводов переключателя SA1, “земляной” шины из толстого луженого провода, идущего от разъема X2 к отрицательному выводу измерительной головки PA1, и пары дополнительных монтажных стоек. Корпус ОУ лучше располагать поближе к “массе”, а его входные выводы — поближе к разъему X2. Монтаж выходной части прибора может быть произвольным.

Правильно собранный прибор должен заработать сразу, и без налаживания. На всякий случай вольтметром постоянного тока измерьте “сдвиг нуля” ОУ. Постоянное напряжение на выводе 6 должно быть не больше (0,5...1 В на всех пределах измерения). При соедините к этой же точке вход осциллографа, чтобы убедиться в отсутствии самовозбуждения ОУ, проверьте работу на всех пределах переключателя SA1.

Если будет обнаружено самовозбуждение, надо добавить корректирующий АЧХ конденсатор или RC-цепочку. Как это сделать, посмотрите на типовых схемах включения ОУ в справочниках. Осциллограф позволит и проследить форму ЭДС, наводимой в измерительной катушке L1. Поднесите ее к любому работающему прибору или устройству с сетевым питанием — магнитное поле рассеяния силового трансформатора легко обнаруживается.

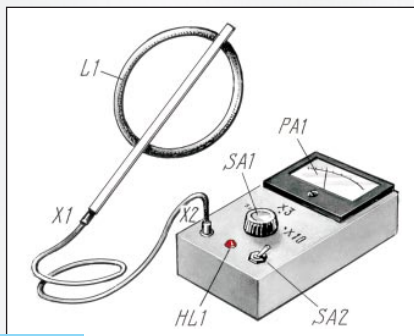


Рис. 2

Сигнал на выходе ОУ можно проконтролировать не только осциллографом, но и на слух, подсоединив высокоомные головные телефоны (наушники) между выводом 6 и общим проводом. Можно даже установить на корпусе прибора гнезда для таких телефонов.

Итак, прибор заработал, но чтобы производить измерения, его нужно еще и откалибровать. Проще всего установить соответствие пределов измерения друг другу: получив почти полное отклонение стрелки на основном пределе “x1”, переключают прибор в положение “x3” и подбором резистора R3 добиваются уменьшения показаний ровно в три раза. Увеличивают поле опять до почти полного отклонения стрелки, и переключив прибор в положение “x10”, подбором резистора R4 добиваются уменьшения показаний в 3,3 раза. После этого нужно произвести абсолютную калибровку.

Сначала чувствительность магнитометра была определена расчетным путем. По формулам, приведенным в первой части статьи, можно определить, что эффективное переменное напряжение сигнала на выходе ОУ составит: $U = \omega \cdot B \cdot S \cdot N \cdot K$, где B — эффективное значение измеряемой магнитной индукции, S и N — площадь круга внутри окружности и число витков измерительной катушки, K — коэффициент усиления ОУ. Постоянное напряжение сигнала на выходе детектора будет в 2,8 раза больше, поскольку детектор выделяет амплитудное значение и удваивает его. Ток в головке I получается делением этого напряжения на общее сопротивление резисторов R6 и R7, принятое равным 150 кОм.

Не успокоившись на достигнутом, автор придумал способ непосредственной калибровки магнитометра, состоящий в следующем. Параллельно виткам измерительной катушки L1, прямо поверх экрана, с помощью шпагата или липкой ленты прикрепить

Ток в калибровочном витке, А	0,03	0,045	0,06	0,09	0,12	0,17
Магнитная индукция, мкТл	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,56
Отсчет по прибору, мкА	10	15	20	30	40	50

еще один виток любого изолированного провода — калибровочный. Его вывод через реостат и амперметр переменного тока подсоединить к накальной (низковольтной) обмотке любого имеющегося сетевого трансформатора. Если ток I_k в калибровочном витке известен, то магнитную индукцию в центре витка можно найти по формуле, известной из учебников общей физики: $B = \mu_0 \cdot I_k / D$, где D — диаметр витка. Такой расчет был произведен, вся установка прокалибрована, результаты расчета приведены в таблице с учетом некоторой погрешности резистора R7.