

**сообщения
объединенного
института
ядерных
исследований
дубна**

13-85-534

В.Н.Дугинов, В.Е.Попов*

ПРИБОР

ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СВЕРХНИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

* Ленинградский институт ядерной физики АН СССР

1985

ВВЕДЕНИЕ

Широкое применение в криогенной термометрии нашли термосопротивления. Они недороги, имеют высокую чувствительность, достаточную стабильность, невелики по размерам. Обычно для этих целей используют угольные сопротивления фирм "Speer", "Matsushita", "Allen-Bradly", а в последнее время и отечественные резисторы/1-4/. Измерение с помощью термосопротивлений температур выше 2К особых технических трудностей не представляет. При более низких температурах возможен перегрев термосопротивлений измерительным током из-за ухудшения теплопередачи, как в рабочем веществе датчика, так и между терморезистором и объектом, температура которого измеряется. Поэтому даже рекомендованный изготовителями измерительный ток может в некоторых случаях привести к перегреву термометра, и мощность, выделяемую в терморезисторе, стараются ограничить величиной 10-12 Вт. Поскольку чувствительность термометра при понижении температуры существенно возрастает, точность измерения сопротивления 0,5% в большинстве случаев является достаточной. Такова же, примерно, и повторяемость характеристик термосопротивлений. На постоянном токе трудно провести измерения при малом уровне измерительного сигнала из-за влияния термо-ЭДС в гальванически замкнутых цепях. Поэтому более широкое применение нашли системы, работающие на переменном токе/5-7/. Мостовые схемы измерения могут давать очень высокую точность, но затрудняют возможность проведения непрерывных измерений с автоматической регистрацией результатов.

В таком случае удобнее использовать схемы с измерением падения напряжения на термосопротивлении при заданном по величине измерительном токе. Усилитель в таком приборе может иметь постоянный коэффициент усиления, а переход с одного предела измерения на другой осуществляется изменением величины измерительного тока. На рис.1 показана зависимость величины мощности, выделяемой измерительным током в терморезисторе, от величины его сопротивления для прибора, в котором падение напряжения на терморезисторе изменяется от 10 до 100 мкВ. Линии 1,2,3 относятся к пределам измерения 1, 10 и 100 кОм соответственно. Шкала температур на этом рисунке приблизительно совпадает с градуировкой резисторов "Speer", имеющих сопротивление 220 Ом при комнатной температуре.

Прибор, основанный на измерении падения напряжения на термосопротивлении, создан сотрудниками ЛЯП ОИАИ и ЛИЯФ АН СССР для использования на рефрижераторах растворения ^3He в ^4He .

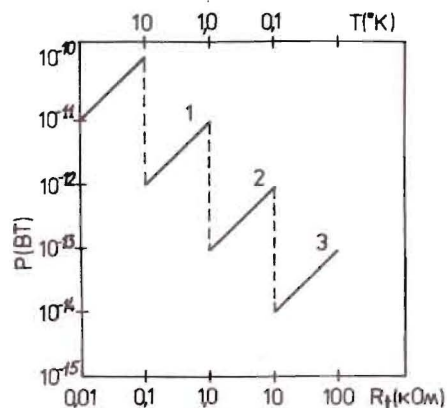


Рис.1. Зависимость мощности, выделяемой измерительным током в терморезисторе, от величин его сопротивления.

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ПРИБОРА

Структурная схема измерителя температур показана на рис.2. Прибор имеет 4 измерительных канала, к каждому из которых можно подключить либо одно из двух термосопротивлений, либо калибровочные сопротивления /на рисунке не показаны/.

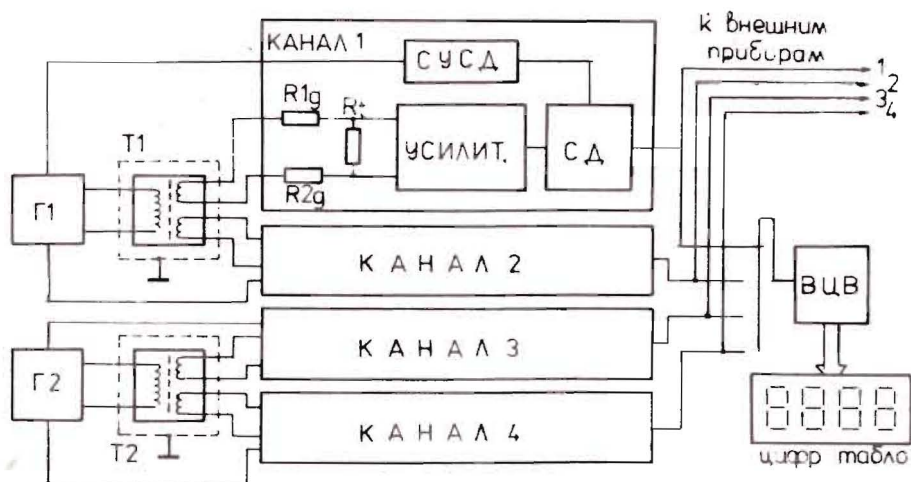


Рис.2. Структурная схема прибора для измерения сверхнизких температур.

В измерителе температур использованы два генератора синусоидальных колебаний Г1 и Г2, собранные по схеме моста Вина, со стабилизацией амплитуды за счет нелинейности отрицательной обратной связи/8/. Нагрузкой генераторов служат трансформаторы

/Т1 и Т2/, с сердечниками на ферритовых кольцах и имеющие по две вторичные обмотки. Трансформаторы помещены в двойные экраны - магнитный и электростатический, исключающие влияние электромагнитных наводок. Измеряемые сопротивления R_t запитываются током, задаваемым сопротивлением R_g , для которых должно выполняться обычное условие $R_g \gg R_t$. Падение напряжения на терморезисторе при этом будет пропорционально величине его сопротивления. Это напряжение усиливается и, после выпрямления синхронным детектором /СД/, измеряется встроенным цифровым вольтметром /ВЦВ/.

ОСНОВНЫЕ УЗЛЫ ИЗМЕРИТЕЛЯ ТЕМПЕРАТУР

Наиболее важным узлом, определяющим основные параметры всего прибора, является измерительный усилитель /рис.3/. Входной каскад, выполненный на операционных усилителях /ОУ/ К140УД8Б, обеспечивает большой дифференциальный коэффициент усиления и единичный коэффициент усиления синфазного сигнала. В отличие от стандартных схем измерительных усилителей/9/ балансировка входного каскада осуществляется переменным сопротивлением R_2 с заземленной средней точкой, что позволяет обойтись без особо точного согласования резисторов, задающих коэффициент усиления входных ОУ. Второй каскад (ДА3) служит для получения однополюсного выходного сигнала и подавления остаточного синфазного сигнала помехи. Подбором резистора R_8 задают коэффициент усиления схемы.

Использованные в этой схеме ОУ 140УД8 не являются оптимальными с точки зрения получения наилучших шумовых параметров, тем не менее, приведенная схема удовлетворительно работает при мощности, подводимой к измерительному сопротивлению, $\sim 10^{-13}$ Вт, что позволяет контролировать температуру до нескольких десятков милликельвинов.

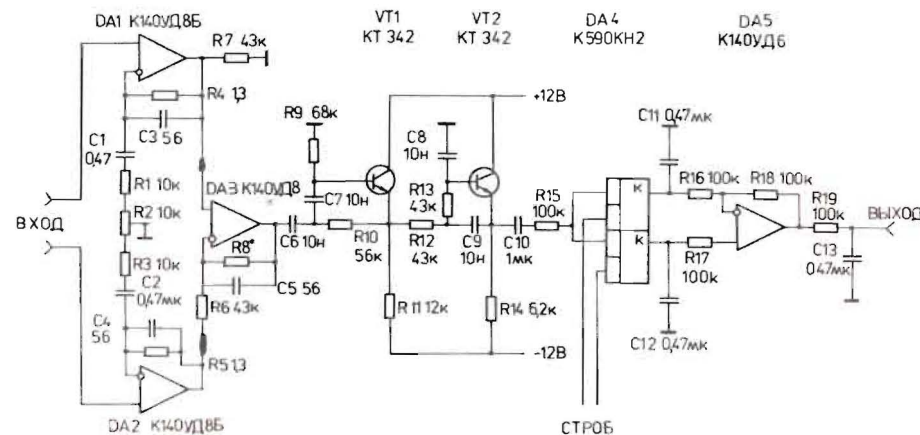


Рис.3. Схема усилителя и синхронного детектора прибора.

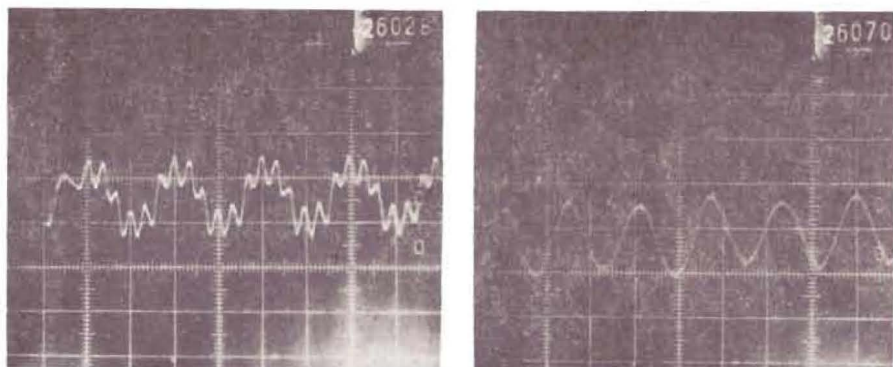


Рис.4. Эпюры напряжения. а/ На выходе DA3; б/ на входе синхронного детектора.

Стоящие после усилителя фильтры верхних и нижних частот (VT1 и VT2) настроены на подавление шумов и сигналов помехи, отличающихся частотой более чем на 30 Гц от измеряемого напряжения.

На рис.4 показаны эпюры напряжения после первого каскада усилителя /левый снимок/ и после всех фильтров /правый снимок/.

Синусоидальный сигнал после фильтров поступает на синхронный детектор. В синхронном детекторе, выполненном на КМОП-ключках микросхемы К590КН2 (DA4) и ОУ К140УД6 (DA5), выходной сигнал усилителя $U(t) = U_0 \cdot \sin \omega t + V(t)$ /здесь U_0 - амплитуда измеряемого сигнала, ω - рабочая частота прибора, $V(t)$ - остаточное напряжение шумов/ умножается на периодическую функцию $F(t)$, попеременно принимающую значения +1 и -1 и когерентную с измеряемым сигналом. После этого осуществляется интегрирование по времени $\sim 0,2$ с, и общее действие схемы синхронного детектора на сигнал аналогично применению фильтра с шириной полосы пропускания около 5 Гц.

Сигналы стробирования синхронного детектора /т.е. функция $F(t)$ / формируются схемой управления синхронного детектора /СУСД на рис.2/, состоящего из фазосдвигающего каскада/7/, обеспечивающего когерентность стробимпульсов и измеряемого напряжения и преобразователя синусоидального сигнала в прямоугольные импульсы TTL-уровня /рис.5/.

Выходное напряжение каждого канала, пропорциональное величине сопротивления терморезистора, может быть измерено встроенным в прибор цифровым вольтметром /ВЦВ на рис.2/, изготовленным на микросхеме К572ПВ2/10/. Этим же вольтметром можно контролировать и напряжения питания.

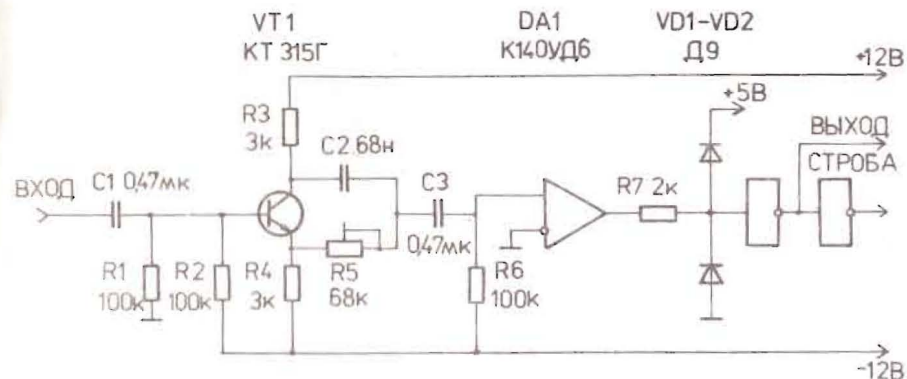


Рис.5. Схема управления синхронным детектором.

КОНСТРУКЦИЯ ПРИБОРА

Конструкция измерителя температур показана на рис.6. Усилители смонтированы на двух платах, по два усилителя с разнесенными рабочими частотами на каждой. Эти платы размещены в отдельных отсеках секционированного корпуса. В заднем отсеке размещены генераторы и схемы управления синхронными детекторами, в крайнем правом отсеке находится цифровой вольтметр.

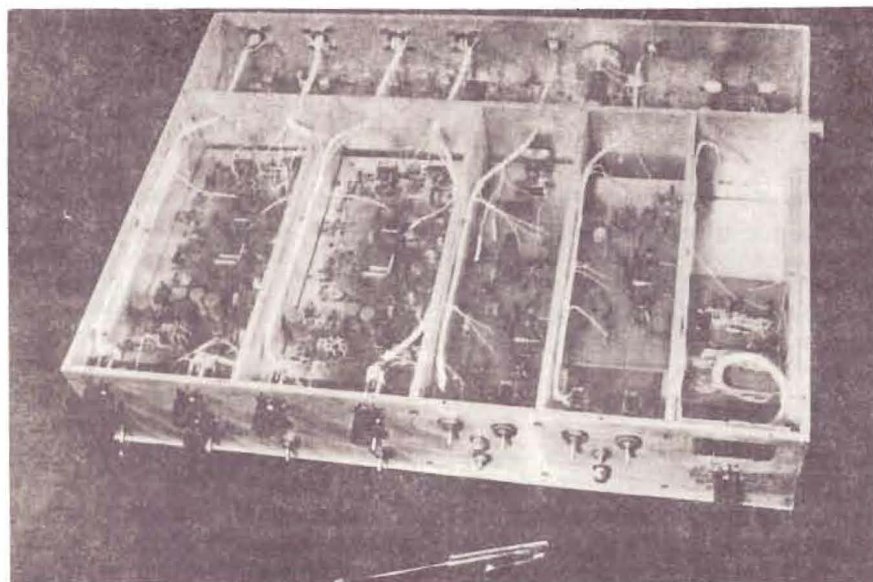


Рис.6. Внешний вид прибора.

Элементы отображения информации с цифрового вольтметра /семисегментные светодиодные индикаторы типа АЛС324/ и ручки управления выведены на переднюю панель. Исключение составляют резисторы балансировки входных каскадов /R2 на рис.3/, которые размещены на платах усилителей. Входные разъемы расположены на задней стенке прибора. Разъем, через который осуществляется питание прибора, стоит на правой боковой стенке корпуса. К этому же разъему подключены выходы всех измерительных каналов, что предоставляет возможность одновременной регистрации сопротивления датчиков температуры внешними устройствами.

Прибор для измерения сверхнизких температур имеет следующие основные характеристики:

Число каналов	4
Число терморезисторов, подключаемых к каждому каналу	2
Амплитудное напряжение на терморезисторах	6÷60 мкВ
Рабочая частота прибора	200-300 Гц
Мощность, выделяемая измерительным током на сопротивлении 10 кОм	$3,6 \cdot 10^{-13}$ Вт
Разрешающая способность при измерении сопротивления	
встроенным вольтметром	1%
внешним цифровым вольтметром	0,5%
Напряжения питания и потребляемые токи	+ 15 В, 300 мА + 6 В, 200 мА - 6 В, 100 мА -15 В, 300 мА

В заключение авторы благодарят Ю.Ф.Киселева за большую помощь в выполнении этой работы, В.В.Полякова, предложившего эффективный способ синхронного детектирования, В.А.Жукова и А.И.Ковалева за стимулирующий интерес к работе, Ю.А.Гребинник, Н.И.Максимову и А.Н.Донского за качественное выполнение радиомонтажных и механических работ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Anderson A.C. Rev.Sci.Instr., 1980, vol.51, No.12, p.1603.
2. Дацков В.И. ОИЯИ, 8-83-717, Дубна, 1983.
3. Тянь Л.С. и др. ПТЭ, 1984, № 4, с.244.
4. Oxford Instruments Cryospares Datasheet, S47, 1972.
5. Алфименков В.П. и др. ОИЯИ, 8-11062, Дубна, 1977.
6. Неганов А.Б. ОИЯИ, 8-85-291, Дубна, 1985.
7. A C Resistance Bridge CRYO-4A. Nucl.Phys.Inst.of Chech. Acad.Sci., Rez., 1978.

8. Бондаренко В.Г. RC-генераторы синусоидальных колебаний. "Связь", М., 1976.
9. Хоровиц П., Хилл У. "Искусство схемотехники". "Мир", М., 1983, т.1.
10. Агрич Ю.В. и др. "Электронная промышленность", 1982, № 4, с.52.