

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Физический факультет

Кафедра общей физики

Бондарь Борис Дмитриевич

КУРСОВАЯ РАБОТА

Измерение вольт-амперных характеристик полевых транзисторов

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа №19306

Научный руководитель:

Н. Н. Лебедев

Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Преподаватель практикума

д.ф.-м.н. В. Б. Рева

Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к.т.н. В.Т. Астрелин

Итоговая оценка

«_____» _____ 20__ г.

Новосибирск 2020

Оглавление

1. Аннотация	3
2. Введение	4
3. Теоретическая часть	5
4. Экспериментальная часть	9
5. Результаты измерений	10
6. Вывод	11
7. Библиографический список	12

Аннотация

Целью работы являлся выбор подходящих компонентов для создания прецизионного термостата. Представлена установка для измерения статических характеристик полевых транзисторов с изолированным затвором и индуцированным каналом n-типа. Измерены характеристики разных образцов полевого транзистора КП901. Сформулирован критерий выбора образца транзистора для прецизионного термостата.

Ключевые слова: полевой транзистор, вольт-амперная характеристика, мост Уинстона, операционный усилитель, собственная индуктивность конденсатора.

Введение

Термостат позволяет создать среду с определенными параметрами, необходимыми для того или иного исследования или корректного функционирования оборудования. Прибор поддерживает заданную температуру по всей площади устройства. Современные приборы оснащены автоматикой и поддерживают температуру без участия человека.

Однако в данном случае термостат работает исключительно как прибор, нагревающий рабочую область выше определенной температуры. В таких условиях целесообразно использовать в качестве нагревающего элемента полевые транзисторы, работающие как резисторы до режима насыщения. В режиме насыщения транзистор проводит ток с минимальными потерями, вследствие чего и не осуществляет нагрев.

Полевой транзистор - это полупроводниковое устройство, управляющее сопротивлением проводящего канала (сток-исток) поперечным каналу электрическим полем затвора. В данном случае нас интересует свойство транзисторов менять свое сопротивление, выполняя функцию нагрузки при определенных условиях.

Отличительными особенностями такой конструкции термостата является простота и точность, однако есть и очевидный недостаток: высокие требования к характеристикам нагревательных элементов. Искомые полевые транзисторы должны обладать схожими ВАХ и током при нулевом напряжении затвора.

Целью данной работы являлось создание измерительного стенда для полевых транзисторов и измерения ВАХ имеющихся компонентов для термостата.

Теоретическая часть

Термостат состоит из медного корпуса и электронной схемы. Изоляция корпуса термостата обеспечивается слоем пенопласта толщиной 20мм. В корпусе размещена схема, компонентами которой являются измерительный мост Уинстона, усилитель ошибки и нагреватели. Также в корпусе размещен дополнительный измерительный терморезистор $R_{изм}$, позволяющий дистанционно контролировать температуру корпуса и ее стабильность. Схема термостата представлена на рисунке 1

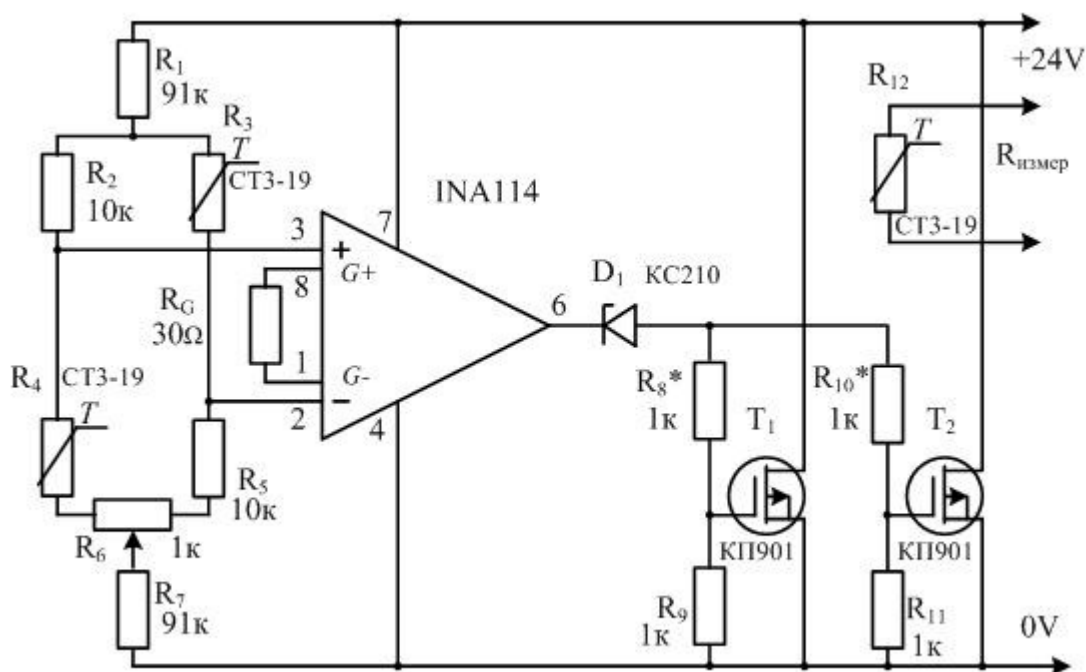


Рисунок 1

Резисторы R_2, R_3, R_4, R_5 образуют измерительный мост. При равных значениях сопротивления входящих в него резисторов, ток к ОУ не идет.

$$\frac{R_5}{R_3} = \frac{R_4}{R_2},$$

$$R_3^2 = R_2^2$$

Максимальная чувствительность моста достигается при равных значениях сопротивлений в плечах моста. Терморезисторы R_3 , R_4 Терморезисторы R_3 , R_4 определяют рабочую температуру, при которой значение их сопротивления становится 10 кОм, значения остальных элементов моста имеют постоянные значения сопротивления в 10 кОм. Резистор R_6 балансирует мост на рабочей температуре, можно сказать, что этим резистором осуществляется установка рабочей температуры термостата. Рабочая температура термостата $T=40^\circ\text{C}$, она выше температуры окружающей среды, поэтому в термостате осуществляется только нагрев.

Выходное напряжение с диагонали моста поступает на входы $\langle + \rangle$ и $\langle - \rangle$ усилитель сигнала ошибки, собранном на измерительном усилителе INA114. Схема INA114 представлена на рисунке 2. Резистор R_{Gain} определяет коэффициент усиления измерительного усилителя. При данном значении $R_{\text{Gain}} = 30\text{ом}$, коэффициент усиления будет около 850.

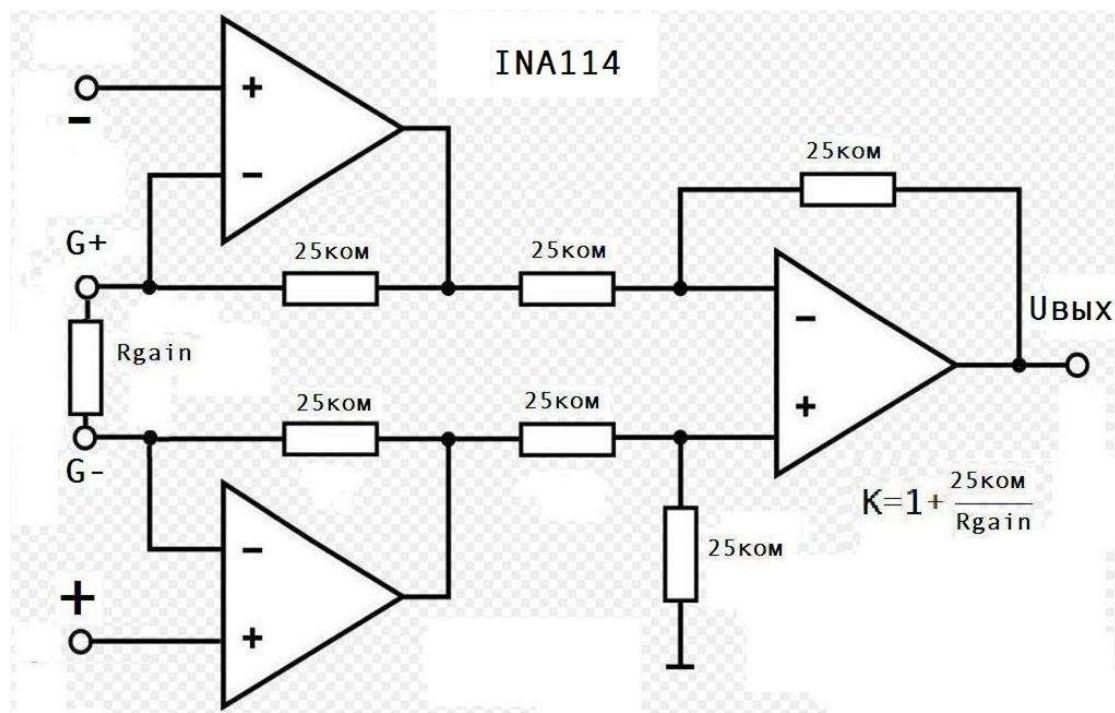


Рисунок 2

Нагрев корпуса термостата осуществляется двумя полевыми транзисторами КП901. Достоинством этого транзистора является

металлический корпус с резьбой М6, хорошая теплопроводность и изолированность самого транзистора от своего корпуса, чем обеспечивается гальваническая развязка корпуса термостата без слюдяных прокладок от напряжения питания всего устройства.

Транзистор со встроенным каналом и изолированным затвором

Основой такого транзистора является кристалл кремния р- или n-типа проводимости.

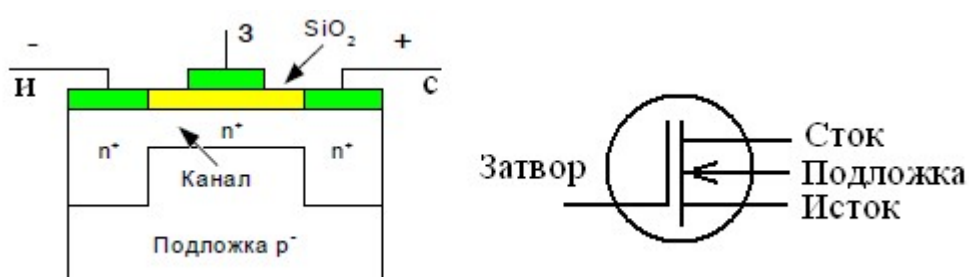


Рисунок 3, полевой транзистор с изолированным затвором, n-тип

Принцип действия.

При подаче на затвор положительного напряжения, носители заряда между стоком и истоком электроны с подложки притягиваются в канал и увеличивают ток стока. Наоборот, при отрицательном напряжении затвора электроны из канала уходят в подложку из канала, что уменьшает ток стока.

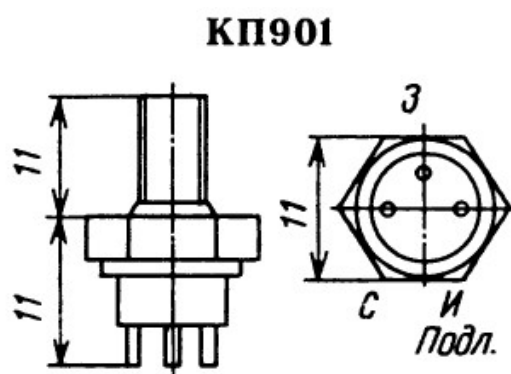


Рисунок 4, полевой транзистор КП901

Максимальное напряжение сток-исток (постоянное). Со звездочкой максимальное напряжение затвор-сток.	$U_{СИ} \max, U^*3C \max$	70; 85*	В
Максимальное напряжение затвор-исток (постоянное).	$U_{ЗИ} \max$	30	В
Ток стока (постоянный). Со звездочкой ток стока (импульсный)	I_C, I^*C, I_I	4	А
Начальный ток стока	$I_C \text{ нач}, I^*C \text{ ост}$	$\leq 200; \leq 50^*$	мА
Крутизна характеристики полевого транзистора	S	50...160	мА/В

Чтобы уменьшить градиент температур вдоль стенок корпуса термостата, его нагрев осуществляется в двух местах. Толстые медные стенки корпуса хорошо проводят тепло. На выходе усилителя INA114 при балансе моста будет напряжение в 12 вольт, это половина общего напряжения питания всего устройства. На нагрев корпуса, а именно для компенсации потерь тепла в окружающую среду идет ток от корпуса термостата через полевые транзисторы порядка 20 мА или меньше. Этому току соответствует напряжение на затворе транзистора примерно $U_z = 0,6\text{В}$. На выходе INA114 напряжение понижается с 12 В до 0,6В благодаря делителю напряжения на стабилитроне КС210 и резисторов R_8, R_9 для T_1 и R_{10}, R_{11} для T_2 .

Резисторами R_8 , R_{10} проводится выравнивание токов через транзисторы T_1 и T_2

Экспериментальная часть

Для измерения вольт-амперных характеристик был собран измерительный стенд. Схема представлена на рисунке 5. Полевой транзистор устанавливался на радиатор, чью роль выполнял медный цилиндр. Напряжение на затвор подавалось от источника питания Б5-47. Величина выходного напряжения источника питания выставлялась переключателем сразу в вольтах. Дискретность установки напряжения 0,1 В, ток стока измерялся цифровым мультиметром МУ-67

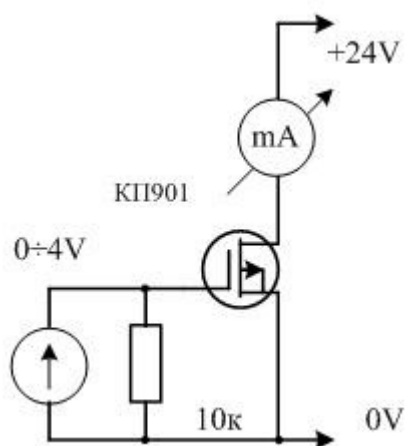
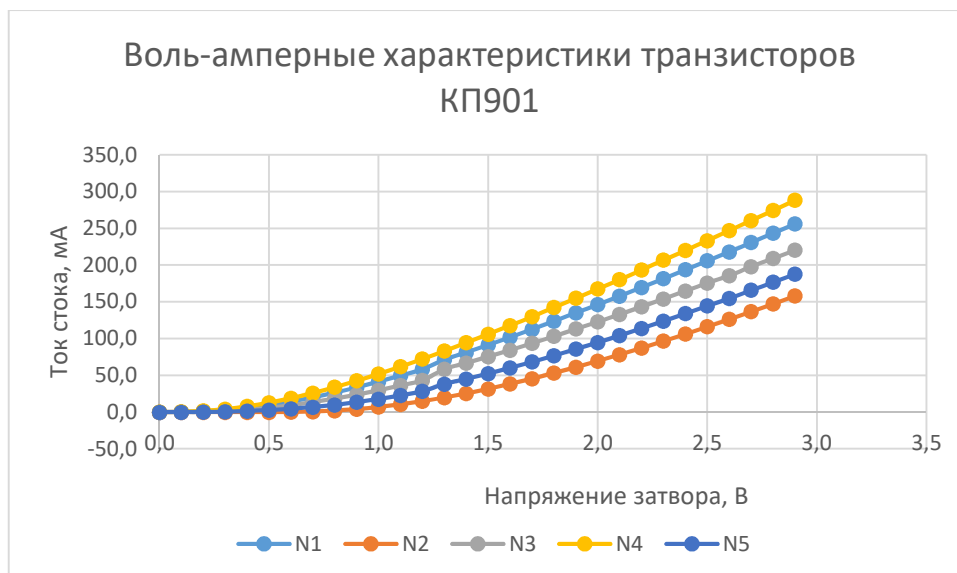


Рисунок 5, измерительный стенд

Результаты измерений

U затвор, В	N1, мА	N2, мА	N3, мА	N4, мА	N5, мА
0,0	0,1	0,0	0	0,1	0
0,1	0,4	0,0	0,1	0,6	0,0
0,2	1,3	0,0	0,6	1,9	0,3
0,3	3,0	0,0	1,6	4,3	0,8
0,4	5,9	0,0	3,5	8	1,7
0,5	9,7	0,0	6,1	13	2,9
0,6	14,5	0,3	9,5	19,1	4,7
0,7	20,3	0,9	13,7	26,2	7,0
0,8	26,7	2,2	18,5	34,1	9,9
0,9	33,8	4,3	23,9	42,8	13,6
1,0	41,6	7,1	29,9	52,1	17,9
1,1	49,8	10,7	36,4	62	22,9
1,2	58,6	15,0	43,4	72,4	28,5
1,3	71,6	20,0	58,7	83,3	38,4
1,4	81,5	25,6	67	94,6	45,3
1,5	91,7	31,8	75,6	106,2	52,6
1,6	102,1	38,5	84,5	118	60,4
1,7	112,8	45,6	93,8	130	68,5
1,8	123,9	53,3	103,3	142,6	77,1
1,9	135,3	61,3	113,4	155,2	86,0
2,0	146,5	69,7	123	167,8	95,0
2,1	158,1	78,4	133,2	180,6	104,4
2,2	169,9	87,4	143,6	193,6	114,1
2,3	181,9	96,8	154,2	207	124,1
2,4	194,0	106,5	165,1	220,2	134,3
2,5	206,2	116,4	176	233,5	144,7
2,6	218,1	126,6	186	247,2	154,8
2,7	231,1	136,9	198,2	260,8	166,0
2,8	243,6	147,5	209,4	274,5	176,9
2,9	256,2	158,3	220,6	288,4	187,9

Таблица 1, результаты измерения ВАХ полевых транзисторов



Были измерены ВАХ пяти полевых транзисторов, которые хоть и были одной модели, но показали различные ВАХ. Измерения проводились для напряжения не более 3В, поскольку при возрастании напряжения ток начинает расти линейно, примерно по 10мА за 0,1В. Линейность начинала наблюдаться тем раньше, чем больше была крутизна роста ВАХ до напряжения около 1,5В

Выводы

Подбор достаточно похожих полевых транзисторов является необходимым условием для создания высокоточного термостата, но осложнен индивидуальными характеристиками каждого отдельного компонента.

Выбор транзисторов с сильно отличающимися ВАХ, например для измеренных образцов 2 и 4, приведет к неравномерности нагрева и неточному значению температуры. Это, в свою очередь, делает термостат непригодным для использования в чувствительном к малым изменениям температуры оборудовании. Однако можно ориентироваться на крутизну роста ВАХ: малая крутизна роста графика ВАХ до значения в 1,5В позволяет выбирать наиболее подходящие для термостата транзисторы.

Библиографический список

- 1) Операционные усилители: http://zpostbox.ru/operatsionny_usilitel.html
- 2) Техническая документация к электронным компонентам:
<https://rudatasheet.ru/transistors/kp901/>
- 3) Усольцев В.К. «Физические основы электроники», часть 1, п. 1.4.1-1.4.2
- 4) У. М. Сиберт, «Цепи, сигналы, системы», т.1, 1988