

ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА РАБОТУ КРЕМНИЕВЫХ БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ

Иванов В.Д., студент гр.468405, Карасик В. Б.¹, студент гр.468405

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники¹
г. Минск, Республика Беларусь

Храмович Е.М. – канд. физ.-мат. наук

Аннотация. Целью статьи является экспериментальное исследование влияния температуры на статические характеристики кремниевого биполярного транзистора КТ315В (п-р-п). Значимость исследования обусловлена необходимостью достижения термостабильности в электронных приборах, работающих в неблагоприятных температурных условиях. В ходе исследования предполагается создать прибор для измерения параметров транзистора: коэффициента усиления по току, тока коллектора и напряжения база-эмиттер в диапазоне температур от +25°C до +120°C. Для проведения исследования будут использованы мультиметры, блок питания, резисторы и управляемый источник нагрева. Полученные результаты показывают степень изменения параметров транзистора от температурных условий и рекомендации по совершенствованию схемотехнических решений с целью повышения надежности приборов на основе модели КТ315В..

Ключевые слова. Биполярный транзистор, КТ315В, температурная зависимость, коэффициент усиления по току, ток коллектора, напряжение база-эмиттер, экспериментальное исследование, термостабильность, дрейф параметров, кремниевый транзистор, п-р-п, схемотехника.

Стабильность и надежность оборудования тесно связаны с температурными условиями, которым подвергаются компоненты. Полупроводниковые компоненты, и в частности биполярные транзисторы, обладают высокой чувствительностью к изменениям температуры, что может привести к колебаниям их электрических параметров. Вследствие этого может возникнуть нестабильность схемы, изменяются рабочие точки, что в некоторых случаях может привести к полному отказу оборудования.. Хотя теоретические температурные зависимости биполярных транзисторов хорошо известны [1, 2], поведение конкретных транзисторов может меняться в результате сложности процессов изготовления и разброса параметров. Целью данного исследования является экспериментальное изучение влияния температуры на основные статические параметры кремниевого биполярного п-р-п транзистора, вроде коэффициент усиления по току в схеме с общим эмиттером (h_{FE}), ток коллектора (I_c) и напряжение база-эмиттер (V_{BE}).

Задачи исследования:

1. Собрать экспериментальную установку для измерения параметров транзистора при контролируемой температуре.
2. Провести измерения указанных характеристик транзистора КТ315В в заданном диапазоне температур от +25°C до +125°C.
3. Обработать полученные экспериментальные данные и построить графики температурных зависимостей.
4. Сделать выводы на основе полученных графиков и данных об измерениях параметров транзистора в зависимости от температуры.

В своей работе мы использовали кремниевый биполярный транзистор КТ315В. Основные характеристики транзистора КТ315В приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Характеристики транзистора КТ315В [3]

Наименование	Значение	Единица измерения
Тип	п-р-п	-
Максимально допустимое напряжение коллектор-эмиттер V_{CE} (max)	40	В
Максимальный ток коллекторам I_c (max)	100	мА
Коэффициент усиления по току (min) (h_{FE} (min))	30	-
Коэффициент усиления по току (max) (h_{FE} (max))	120	-

Для исследования влияния температуры на работу кремниевого транзистора КТ315В были измерены такие параметры, как ток коллектора (I_c), напряжение база-эмиттер (V_{BE}) и напряжение коллектора (V_c). Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1, а

экспериментальная установка - на рисунке 2. Оборудование состоит из транзистора КТ315В, трех мультиметров, настроенных для необходимых измерений, источника питания, двух резисторов 1 кОм, одного резистора 390 Ом, фена в качестве источника тепла, термометра и проводов. Транзистор подвергался воздействию температур 25°C, 50°C, 75°C, 100°C и 120°C. Полученные результаты приведены в таблице 2. Графическое представление температурных характеристик транзистора КТ315В представлено на рисунке 3.

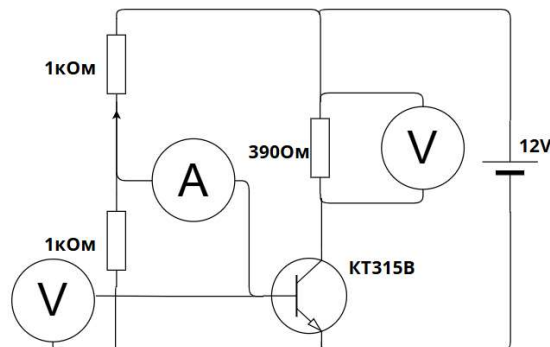


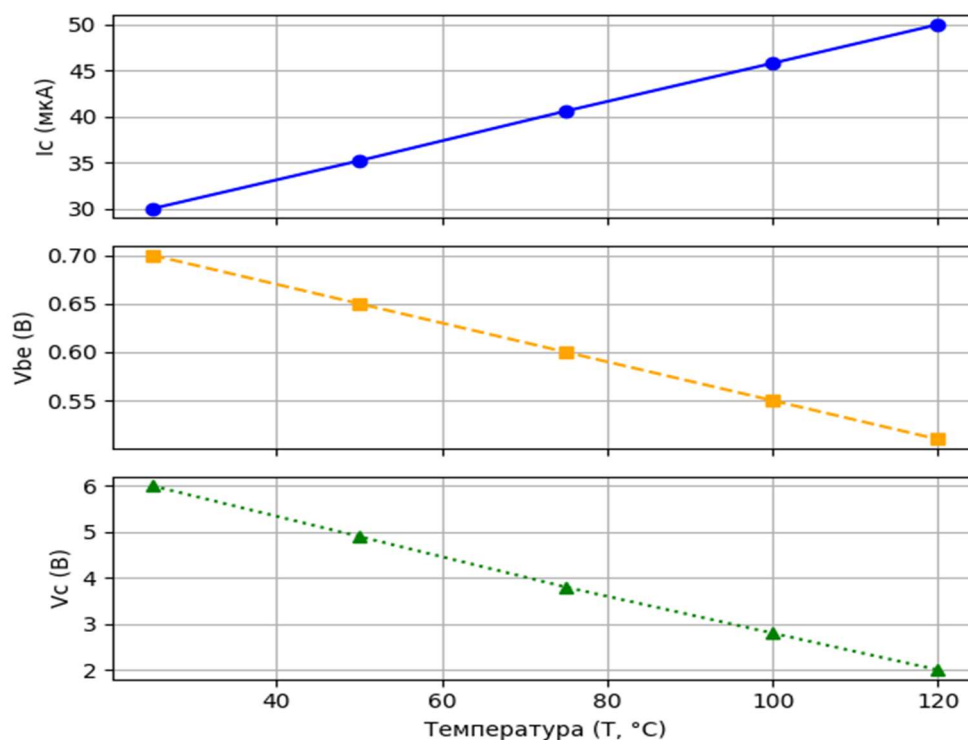
Рисунок 1 - Схема экспериментальной установки

Таблица 2 – ВАР биполярного кремниевых транзистора КТ315В в различных температурах

Температура (Т, °C)	Ток коллектора (I _c , мкА)	Напряжение База-эмиттер (V _{BE} , В)	Напряжение на коллекторе (V _c , В)
25	30	0.7	6
50	35.2	0.65	4.9
75	40.6	0.6	3.8
100	45.8	0.55	2.8
120	50	0.51	2



Рисунок 2 – Фотография экспериментальной установки

Рисунок 3 – Графики зависимости I_C , V_{BE} и I_C от температуры

В активной области КТ315В ток коллектора (I_C) в основном контролируется напряжением база-эмиттер (V_{BE}) и связан с током насыщения (I_S) приблизительным уравнением:

$$I_C \approx I_S \cdot \exp\left(\frac{n \cdot V_{BE}}{V_T}\right), \quad (1)$$

где I_C – ток коллектора; I_S – ток насыщения; V_{BE} – напряжение база-эмиттер; n – коэффициент идеальности; V_T – тепловое напряжение.

Эта зависимость, взятая уравнения Шокли, учитывает усилительное действие транзистора, усиливая экспоненциальную природу I_C по отношению к V_{BE} вместе с его прямой пропорциональностью I_S . V_{BE} и I_S сильно зависят от температуры. Переход база-эмиттер биполярного транзистора n-p-n при прямом смещении в активном режиме можно рассматривать как диод. Зависимость тока от напряжения на этом переходе можно принципиально выразить с помощью уравнения диода Шокли:

$$I_D = I_S \cdot \left(\exp\left(\frac{n \cdot V_D}{V_T}\right) - 1 \right), \quad (2)$$

где I_D – ток диода; I_S – ток обратного насыщения (или масштабный ток); V_D – напряжение на диоде; n – коэффициент идеальности (обычно от 1 до 2, в зависимости от технологического процесса и материала); V_T – тепловое напряжение.

$$I_B = I_S \cdot \left(\exp\left(\frac{n \cdot V_{BE}}{V_T}\right) - 1 \right) \quad (3)$$

Тепловое напряжение V_T прямо пропорционально абсолютной температуре и задается формулой:

$$V_T = \frac{k \cdot T}{q}, \quad (4)$$

где k – постоянная Больцмана (приблизительно $1,38 \times 10^{-23}$ Дж/К); T – абсолютная температура в Кельвинах; q – элементарный заряд (приблизительно $1,602 \times 10^{-19}$ Кл).

Как было выяснено, для схемы с общим эмиттером и фиксированным смещением коллекторный ток (I_c) будет расти с ростом температуры [1,2]. Согласно уравнению V_c , когда I_c растёт, а напряжение питания (V_{cc}) и сопротивление коллектора (R_c) остаются прежними, падение напряжения на R_c , т. е. $I_c \cdot R_c$, также будет расти. Падение напряжения на R_c приведет к снижению коллекторного напряжения (V_c), поэтому в усилителе с общим эмиттером и резистивной нагрузкой коллекторное напряжение обычно уменьшается с ростом температуры, а коллекторный ток увеличивается. В текущих реалиях стабильность компонентов при экстремальных тепловых условиях занимает важное место. Эта работа была посвящена анализу влияния температуры на кремниевый биполярный транзистор КТ315В. Мы исследовали его работу в диапазоне температур от +25°C до +120°C и установили, что его основные свойства очень чувствительны к изменениям температуры. Эмпирически было установлено, что с ростом температуры ток коллектора значительно увеличивается (в проведенном эксперименте он увеличился с 30 мкА до 50 мкА при определенном смещении). Одновременно с этим уменьшается напряжение база-эмиттер (V_{BE}), необходимое для поддержания. Вместе с увеличением тока коллектора пропорционально уменьшается напряжение коллектора (V_c) в схеме с общим эмиттером и резистивной нагрузкой, которое в нашем эксперименте снизилось с 6,0 В до 2,0 В. Данные последствия вызваны процессами происходящими при нагревании транзистора: при нагревании усиливается генерация свободных носителей заряда (увеличивается ток насыщения I_s) и изменяется температурный потенциал V_T , что влияет на проводимость и характеристики р-п-перехода [1, 2]. Отмеченный дрейф параметров показывает, что при проектировании схем на КТ315В (и других БТ) нельзя упускать из виду фактор температуры. Этот параметр особенно важен для аппаратуры, работающей в широком диапазоне температур. Требуется тщательная проработка схемотехнической части, включая оптимизацию структур каскадного смещения для компенсации [1] температурных эффектов, а также тщательный выбор компонентов с гарантированным запасом температурной устойчивости. Полученные нами данные свидетельствуют о том, что температурный режим работы существенно влияет на работоспособность транзистора КТ315В. При проектировании надежных приборов необходимо использовать комбинированную методологию проектирования, включающую теоретический анализ температурных зависимостей и экспериментальную проверку параметров компонентов в реальных условиях эксплуатации.

Список использованных источников:

1. Титце У., Шенк К. Полупроводниковая схемотехника. 12-е изд. Том II: Пер. с нем. – М.: ДМК Пресс., 2009 – 942 с.
2. Пасынков В. В. Полупроводниковые приборы : учебное пособие для вузов / В. В. Пасынков, Л. К. Чиркин. — 11-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2023. — 480 с.
3. КТ315В Datasheet - <https://www.quartz1.com/price/PIC/415N0414914.pdf>

UDC 621.382.33:621.3.017.71-042.3

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF TEMPERATURE ON THE OPERATION OF SILICON BIPOLAR JUNCTION TRANSISTORS

Ivanov V.D., Karasik V.B.¹

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics¹, Minsk, Republic of Belarus

Khramovich E.M. – Ph.D. in Physics and Mathematics

Annotation. The study is aimed at the experimental analysis of the temperature effect on the static characteristics of the silicon bipolar transistor KT315V (n-p-n). The relevance of the work is due to the need to ensure thermal stability of electronic devices operating under extreme temperature conditions. The study plans to assemble a setup for measuring transistor parameters (current gain, collector current, base-emitter voltage) in the temperature range from +25°C to +120°C. The methodology includes the use of multimeters, a power supply, resistors, and a controlled heating source. The results are expected to reveal the degree of transistor parameter drift under thermal influence, which will allow formulating recommendations for optimizing circuit solutions to improve the reliability of KT315V-based devices.

Keywords. Bipolar transistor, KT315V, temperature dependence, current gain, collector current, base-emitter voltage, experimental study, thermal stability, parameter drift, silicon transistor, n-p-n, circuitry.