

ПРОВЕДЕНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ СХЕМ ЭЛЕКТРОННЫХ ДАТЧИКОВ В ДИСТАНЦИОННОМ РЕЖИМЕ

Кострин Д.К.

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) (СПбГЭТУ «ЛЭТИ»), г. Санкт-Петербург, Россия, dkkostrin@etu.ru

Abstract. The paper considers the possibility of studying electronic sensor circuits in remote mode using the LTspice circuit modeling system. As an example, the simulation of an electronic temperature sensor based on the p-n junction of a transistor is considered.

В рамках проводимой на факультете электроники СПбГЭТУ «ЛЭТИ» дисциплины «Датчики в электронных устройствах» студенты экспериментально изучают свойства различных датчиков и схемы их сопряжения с разными электронными устройствами, предназначенными для измерения температуры и влажности, давления и расхода жидкостей и газов, контроля параметров технологических материалов и сред [1].

В результате изучения дисциплины студенты приобретают навыки разработки измерительных устройств для технологий электроники, начиная с первичного преобразователя физической величины и заканчивая получением кондиционированного сигнала, для последующего аналого-цифрового преобразования и дальнейшей обработки информации.

В рамках курса лабораторных работ студентам предоставляется возможность рассчитать, собрать и настроить измерительные устройства с различными датчиками и разнообразными схемотехническими решениями. Лабораторный курс по дисциплине «Датчики в электронных устройствах» является логическим продолжением работы, выполняемой студентами в рамках курсов «Аналоговая схемотехника», «Цифровая схемотехника» и «Микропроцессорная техника».

Вследствие закрытия учебных заведений в рамках всеобщей самоизоляции при пандемии новой коронавирусной инфекции в 2020–2021 гг. проведение курса лабораторных работ в очном режиме стало невозможным, что потребовало разработать новый курс лабораторных работ для прохождения занятий в дистанционном режиме на персональном компьютере. При этом, важным условием для реализации программы в дистанционном режиме является тот факт, что студенты хоть и не получив навыки сборки и отладки электронных схем на лабораторных стендах, должны приобрести навыки разработки электронных устройств и оптимального подбора номиналов используемых компонентов.

Применение компьютерного моделирования на этапе разработки электронных схем позволяет в короткие сроки создавать работоспособные устройства, практически не прибегая к макетированию или сведя его объем к минимуму. Моделирование позволяет уточнять и оптимизировать результаты предварительных расчетов, а порой экспериментально подбирать параметры компонентов и режимы работы схемы.

В настоящее время доступно большое количество разнообразных компьютерных программ, по-

зволяющих производить моделирование работы электронных схем. Одной из наиболее интересных программ является система схемотехнического моделирования LTspice [2–4], которая и была выбрана для разработки нового курса лабораторных работ. Программа LTspice отличается понятным интерфейсом, позволяющим быстро научиться работать с ней.

Рассмотрим одну из лабораторных работ курса, посвященную моделированию датчика температуры на p-n-переходе транзистора [5].

Для того чтобы создать датчик температуры следует обеспечить протекание через диод стабилизированного значения тока, компенсировать постоянную составляющую сигнала датчика, усилить зависимые от температуры слабые изменения падения напряжения на диоде и выполнить калибровку датчика. Выходной сигнал содержит постоянную составляющую, зависящую от ширины запрещенной зоны полупроводника. Независимая от температуры постоянная составляющая падения напряжения на диоде равна 0.5...2.0 В. Чаще всего в датчиках вместо диода используется переход база–эмиттер транзистора, при этом вывод коллектора соединяют с базой. Было замечено, что при таком включении характер спада падения напряжения на диоде с ростом температуры приближается к линейной зависимости.

Существует множество возможных решений при реализации схемы датчика температуры на базе полупроводникового диода. В приведенной на рисунке 1 схеме датчик включен в цепь отрицательной обратной связи операционного усилителя.

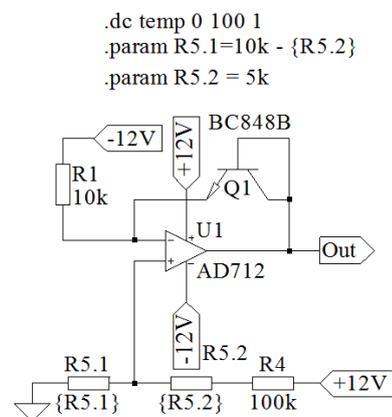


Рисунок 1 – Схема датчика температуры на основе p-n-перехода транзистора

Датчиком служит переход база–эмиттер транзистора Q1 типа BC848B. Рабочий ток датчика задается резистором R1, а выходное напряжение усилителя

равно падению напряжения на транзисторе. При этом выходное сопротивление источника сигнала оказывается близким к нулю, что создает возможность присоединить к датчику любые усилительные звенья, не беспокоясь о согласовании сопротивлений выходного и входного каскадов. Цепь R4–R5 служит для подачи смещения, компенсирующего постоянную составляющую напряжения, равную прямому падению напряжения на датчике температуры при 0 °С (обычно 0.6...0.7 В).

В данном случае моделирование осуществляется в режиме температурного анализа по постоянному току. Запись вида `.dc temp 0 100 1` означает, что моделирование осуществляется в диапазоне 0...100 °С, с шагом в один градус. Результаты моделирования показаны на рисунке 2.

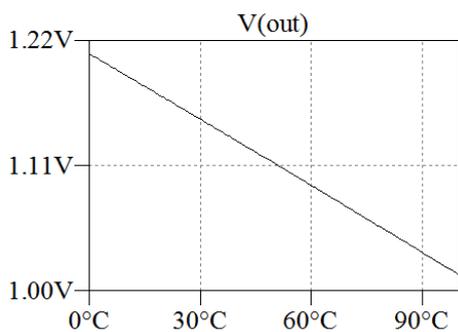


Рисунок 2 – Результаты температурного моделирования

Стоит отметить, что данный тип анализа может быть применен для любого элемента схемы в случае, если в программном пакете есть его тепловая модель.

Очевидно, что изменение напряжения в данном случае имеет слишком малый размах и требуется применение дополнительного усилителя на операционном усилителе. При этом характеристика имеет линейный вид во всем температурном диапазоне.

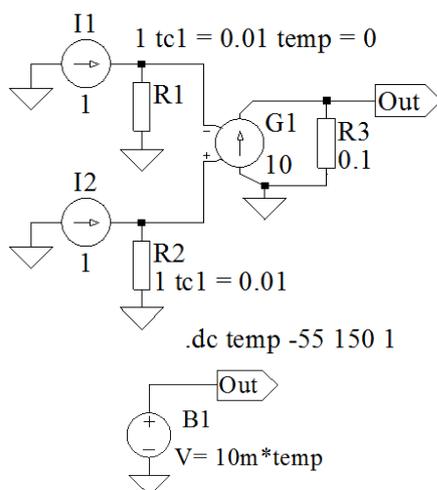


Рисунок 3 – Реализация датчика температуры в виде фрагмента схемы (сверху) и упрощенная реализация в виде источника напряжения (снизу)

Можно отметить, что для моделирования работы электронных компонентов возможно как использование готовых моделей, присутствующих в базовой

версии программы, так и добавление компонентов из библиотек, представленных в сети Интернет. Также возможно собственноручное создание компонентов, реализация их в виде фрагментов цепей или упрощенная замена настраиваемыми источниками тока или напряжения. На рисунке 3 в качестве примера приведена реализация датчика температуры LM35 в виде электронной схемы [6], а также упрощенная реализация в виде источника напряжения.

На рисунке 4 приведены результаты температурного моделирования, одинаковые для обоих вариантов реализации модели датчика.

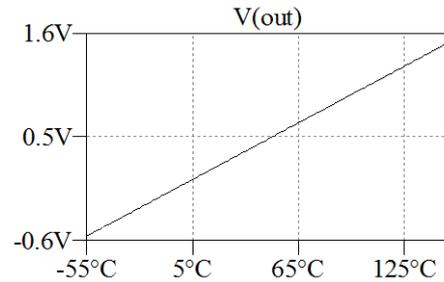


Рисунок 4 – Результаты температурного моделирования

Результаты проведения курса лабораторных работ по дисциплине «Датчики в электронных устройствах» в дистанционном режиме в течение двух лет позволяют сделать следующие выводы:

- замена проведения лабораторных работ в очном режиме на стендах моделированием в системе LTspice позволяет студентам получить навыки разработки электронных устройств и подбора оптимальных номиналов используемых компонентов;
- в случае проведения лабораторных работ в очном режиме осуществление компьютерного моделирования может быть использовано в виде дополнительных занятий для углубленного изучения материала.

Литература

1. Кострин, Д.К. Электронные датчики / Д.К. Кострин. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2018. – 36 с.
2. Система схемотехнического моделирования LTspice. Краткое руководство [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://zpostbox.ru/ltspice.html>.
3. Краткое руководство по симулятору LTspice [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://valvolodin.narod.ru/articles/LTspice.pdf>.
4. Володин, В.Я. LTspice: компьютерное моделирование электронных схем / В.Я. Володин. – СПб.: БХВ-Петербург. – 2010. – 400 с.
5. Кострин, Д.К. Электронные средства контроля технологических процессов / Д.К. Кострин, А.А. Лисенков, А.А. Ухов. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». – 2016. – 228 с.
6. Моделирование работы датчика LM35 [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://colinjs.com/elec/tempsens/tempsens.htm>.