

Соболев Владимир Афанасьевич

ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДЫ MULTISIM 10.1 ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА

Важной составляющей подготовки современных специалистов машиностроительного направления в цикле общепрофессиональных дисциплин государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования является курс "Электротехника и электроника". Одними из основных элементов аналоговых электронных устройств в настоящее время являются различные биполярные транзисторы (БТ), как в дискретном, так и в интегральном исполнении. В статье приведена методика проведения практического занятия - исследования режимов работы БТ в среде Multisim 10.1, - которое позволяет студентам приобрести навыки в изучении полупроводниковых устройств и углубить теоретические знания в этой области.

Адрес статьи: www.gramota.net/materials/1/2016/5/21.html

Статья опубликована в авторской редакции и отражает точку зрения автора(ов) по рассматриваемому вопросу.

Источник

Альманах современной науки и образования

Тамбов: Грамота, 2016. № 5 (107). С. 68-72. ISSN 1993-5552.

Адрес журнала: www.gramota.net/editions/1.html

Содержание данного номера журнала: www.gramota.net/materials/1/2016/5/

© Издательство "Грамота"

Информация о возможности публикации статей в журнале размещена на Интернет сайте издательства: www.gramota.net

Вопросы, связанные с публикациями научных материалов, редакция просит направлять на адрес: almanac@gramota.net

IMAGE OF LYRIC CHARACTER IN PHILOSOPHICAL AND LOVE POETRY BY A. D. DEMENTYEV

Safronova Ekaterina Vital'evna

Verevkina Irina Nikolaevna

Elabuga Institute of Kazan (Volga Region) Federal University

katyusha.safronova.93@mail.ru; in.verevkina@yandex.ru

The article examines the image of a lyric character in the philosophical and love poetry of the well-known contemporary poet A. D. Dementyev. The lyric character of Dementyev is a man of active, strong-willed spirit; his moral position is always sharply defined. In philosophical poems a lyric character acts as a friend and mentor, who has certain life experience. In love lyrics the poet often writes about love sufferings as recollections. In the centre of the poetry there is not so much the image of the beautiful beloved, but the feeling itself.

Key words and phrases: image of lyric character; romanticism; lyric heroine; “splitting into scenes”; description.

УДК 37

Педагогические науки

Важной составляющей подготовки современных специалистов машиностроительного направления в цикле общепрофессиональных дисциплин государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования является курс «Электротехника и электроника». Одними из основных элементов аналоговых электронных устройств в настоящее время являются различные биполярные транзисторы (БТ), как в дискретном, так и в интегральном исполнении. В статье приведена методика проведения практического занятия – исследования режимов работы БТ в среде Multisim 10.1, – которое позволяет студентам приобрести навыки в изучении полупроводниковых устройств и углубить теоретические знания в этой области.

Ключевые слова и фразы: практическое занятие; модель биполярного транзистора (БТ); изучение входных и выходных характеристик БТ; схема измерений; входное и выходное сопротивление; определение коэффициента передачи тока эмиттера; измерение h -параметров биполярного транзистора; малосигнальная эквивалентная схема замещения; включение БТ по схеме с общим эмиттером; коэффициент усиления; компьютерный продукт Multisim 10.1.

Соболев Владимир Афанасьевич, к.т.н.

Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана

vasobolev@bmstu.ru

**ПРИМЕНЕНИЕ СРЕДЫ MULTISIM 10.1
ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ БИПОЛЯРНОГО ТРАНЗИСТОРА**

Расчет и анализ работы аналоговых устройств на биполярных транзисторах (БТ) основан на использовании системы характеристик БТ и уравнений, описывающих взаимосвязь этих характеристик. По данным характеристикам строятся эквивалентные электрические схемы БТ. Такой подход позволяет проводить достаточно точный анализ работы аналоговых устройств методами расчета теории электрических цепей [2].

В компьютерной программе *Multisim 10.1* используется электрическая схема замещения БТ в виде модели Гуммеля – Пуна, которая автоматически упрощается до более простой модели Эберса – Молла, если опустить некоторые параметры. Полный список параметров математической модели биполярного транзистора приведен в [1].

Биполярные транзисторы размещены в группе *TRANSISTOR* компьютерной программы *Multisim 10.1* и подразделяются на подгруппы: *NPN* (*Bipolar Junction Transistor n-p-n* типа), *VJT PNP* (*Bipolar Junction Transistor p-n-p* типа). В программе представлены практически все выпускаемые промышленностью биполярные транзисторы. Заводские параметры используемого БТ можно узнать в окне редактора параметров модели, которое появляется при двойном щелчке по изображению БТ левой кнопкой мыши (ЛКМ) и последующем нажатии кнопки *Edit Model* в диалоговом окне модели. Для изменения любого параметра модели БТ необходимо дважды щелкнуть ЛКМ по данному параметру и затем ввести его новое значение. Для сохранения проведенных изменений необходимо нажать кнопку *Change Part Model*. Этой возможностью можно пользоваться при исследовании влияния некоторых параметров БТ на характеристики режима работы БТ.

В начале практического занятия студентам предлагается исследовать зависимость коллекторного тока I_K от тока базы I_B – входные характеристики маломощного кремниевого транзистора BC107 BP (аналог отечественного КТ310Б) – и определить коэффициент усиления постоянного тока в схеме включения БТ с общим эмиттером. Измерение входных характеристик БТ по схеме с общим эмиттером проводится в соответствии с измерительной схемой (Рис. 1а), в которой изменяется напряжение $U_{БЭ}$ (V_1) и измеряется ток базы при разных напряжениях «коллектор – эмиттер» ($U_{КЭ}$), взятых в качестве параметра. Результаты измерений входных

характеристик при разных напряжениях $U_{КЭ}$ показаны на Рис. 1б. Из анализа этих характеристик видно, что входные характеристики имеют сильно нелинейную зависимость и по существу это – диодная характеристика перехода «база – эмиттер», и что при увеличении напряжения $U_{КЭ}$ характеристика сдвигается вправо. Это происходит из-за эффекта Эрли [2].

Изменяя величину тока базы I_B и измеряя при этом ток коллектора I_K , можно получить зависимость коллекторного тока от тока базы (передаточную характеристику) и вычислить коэффициент усиления постоянного тока в статическом режиме работы БТ. Статический коэффициент передачи базового тока определяется отношением величин тока коллектора и тока базы $\beta_{ст} = I_K/I_B$ (Рис. 2). Как видно из зависимостей, представленных на Рис. 2, его величина лежит в диапазоне значений 300-330.

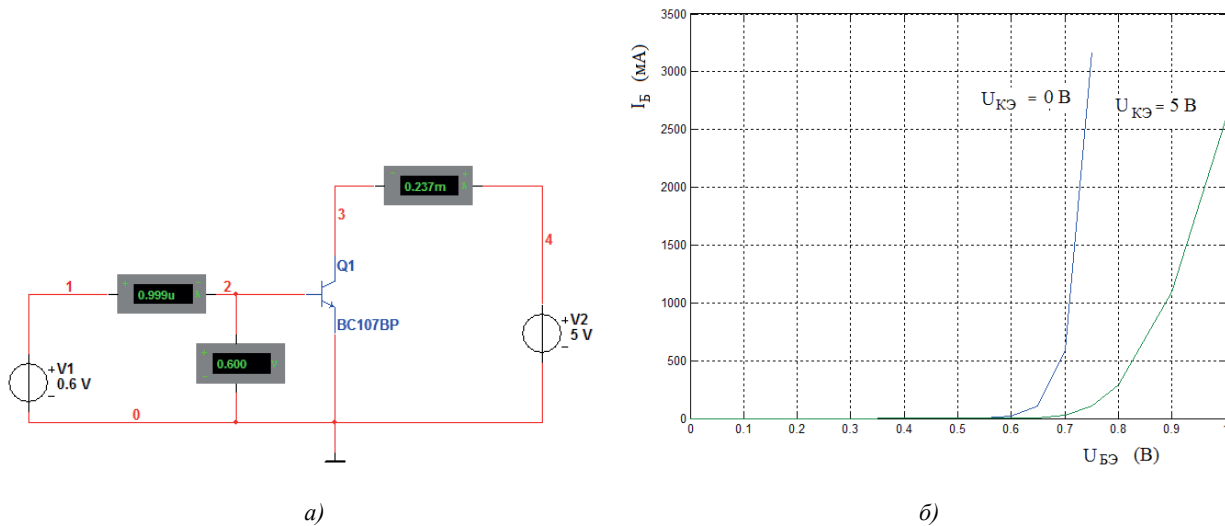


Рис. 1. Схема исследования входной характеристики БТ

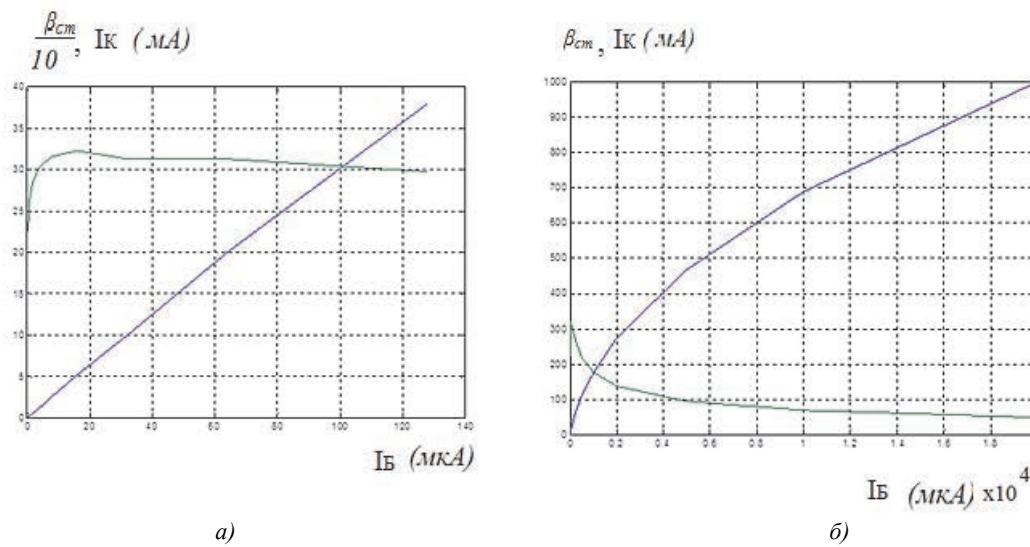


Рис. 2. Зависимость коллекторного тока от тока базы мало мощного кремниевого БТ

По входным характеристикам студенты должны определить традиционным методом входные статическое и динамическое сопротивления для разных рабочих точек БТ [Там же].

В среде *Multisim10.1* очень просто исследовать переход БТ из линейного режима работы в режим насыщения. Проиллюстрировать переход в режим насыщения БТ можно, исследовав изменения коллекторного тока в схеме (Рис. 3) путем изменения величины сопротивления потенциометра $R1$.

Когда ключ К разомкнут, БТ работает в режиме отсечки и падение напряжения между коллектором и эмиттером практически равно напряжению источника питания. При замкнутом ключе, изменяя величину сопротивления потенциометра $R1$, можно убедиться, что уже при сопротивлении $R1$ равном 275 кОм транзистор переходит в режим насыщения. Это проявляется тем, что напряжение между базой и коллектором становится отрицательным (коллекторный переход открывается), напряжение между коллектором и эмиттером падает до десятых долей вольта и ток коллектора увеличивается скачком и больше не зависит от тока базы.

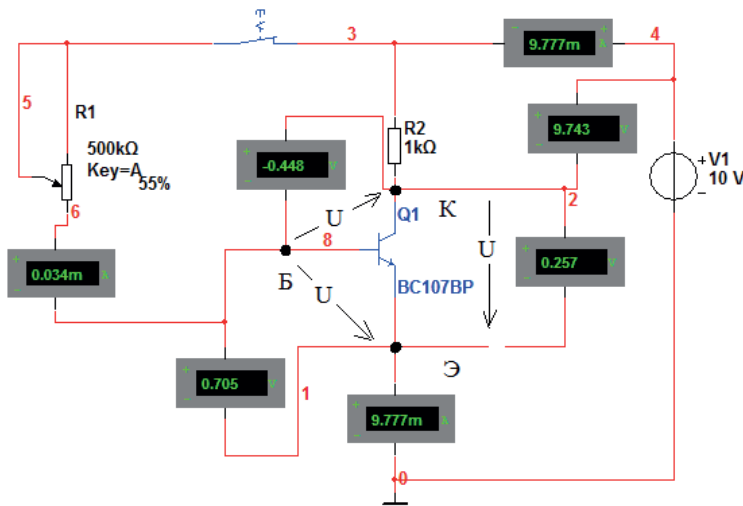


Рис. 3. Схема исследования перехода из линейного режима в режим насыщения БТ

Следующим этапом практического занятия предлагается исследовать выходные вольт-амперные характеристики (ВАХ) БТ с помощью непосредственных измерений в схеме, приведенной на Рис. 4а, где БТ включен по схеме с общим эмиттером и работает в линейном режиме.

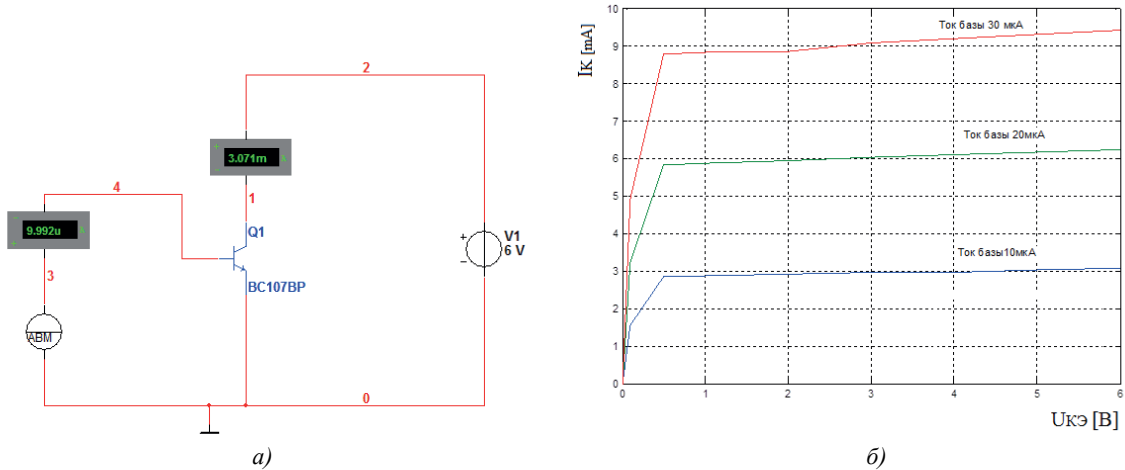


Рис. 4. Измерительная схема для исследования коллекторных характеристик БТ

В качестве источника тока базы можно воспользоваться регулируемым источником тока АВМ (Analog Behavioral Model), расположенным в библиотеке источников электрической энергии программы. Изменяя дискретно через 10 мкА значения тока базы, получим семейство выходных характеристик БТ. На Рис. 4б показаны полученные таким образом коллекторные характеристики БТ при разных значениях тока базы и в зависимости от напряжения $U_{КЭ}$. Из полученных выходных ВАХ видно, что коллекторный ток практически не изменяется при изменении коллекторного напряжения в диапазоне изменения от 0,5 до 6 вольт.

В программе имеется характернограф, который используется для автоматического снятия выходных ВАХ БТ (Рис. 5).

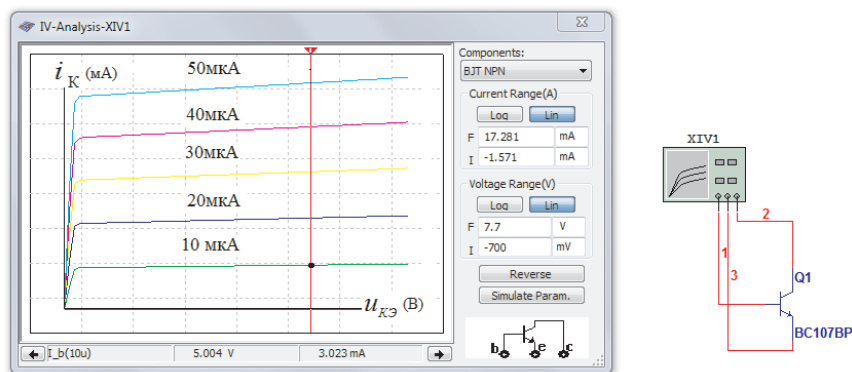


Рис. 5. Выходные характеристики БТ, полученные с помощью IV Analyzer

По выходным характеристикам студенты должны определить для определенной рабочей точки выходное сопротивление и коэффициент обратной связи по напряжению [Там же].

Подключение БТ к характернографу *IV Analyzer* и его диалоговое окно, в котором устанавливаются тип БТ, параметры моделирования и строятся семейства выходных характеристик, показаны на Рис. 5. Для обработки выходных характеристик имеется передвижной курсор графика. Информация о координатах курсора изображается в нижней части диалогового окна. Например, координаты выделенной точки таковы: ток базы $I_{B0} - 10$ мкА, напряжение «коллектор – эмиттер» $U_{КЭ0} - 5$ В, при этом ток коллектора $I_{K0} - 3$ мА. Эту информацию также можно использовать для вычисления выходного сопротивления и коэффициента обратной связи по напряжению БТ.

Из приведенных выходных ВАХ видно, что выходную цепь БТ можно рассматривать как источник тока с величиной $\beta_{cm} I_B$.

В результате проведенных исследований студент должно четко усвоить, что: во-первых, по своему существу БТ можно рассматривать как активный нелинейный элемент, управляемый током; во-вторых, входные и выходные (ВАХ) БТ существенно нелинейны; в третьих, величины входного и выходного сопротивления БТ зависят от его режима работы (выбора координат рабочей точки).

На заключительной стадии практического занятия студентам предлагается исследовать работу БТ в режиме одновременного действия постоянного и переменного тока. При анализе режимов работы БТ, когда на входную цепь действуют одновременно постоянная и переменная составляющие (управляющий сигнал) тока, пользуются методом наложения для нелинейных цепей: сначала проводят расчет цепи с учетом только источников постоянного тока, определяя режим покоя (определяют координаты рабочей точки $U_{КЭ0}$ и I_{B0}), затем приводят расчет режима работы БТ на переменном токе. Такой подход приемлем, если в зоне рабочей точки суммарные амплитуды тока и напряжения менялись незначительно. Для этого управляющий сигнал должен иметь существенно меньшее действующее значение по сравнению с найденными значениями тока и напряжения покоя (режим малых сигналов). Такой подход очень полезен при анализе усилительных каскадов с использованием БТ. Тогда нелинейную функцию можно заменить линейной функцией в области небольших изменений тока и напряжения, т.е. провести линеаризацию ВАХ в рабочей точке ($I_{K0}, U_{КЭ0}$).

Поэтому БТ в рабочей точке в малосигнальном режиме можно рассматривать как линейный четырехполюсник, характеризующийся h - параметрами и имеющий эквивалентную электрическую схему, составленную из линейных элементов (Рис. 6) [Там же]:

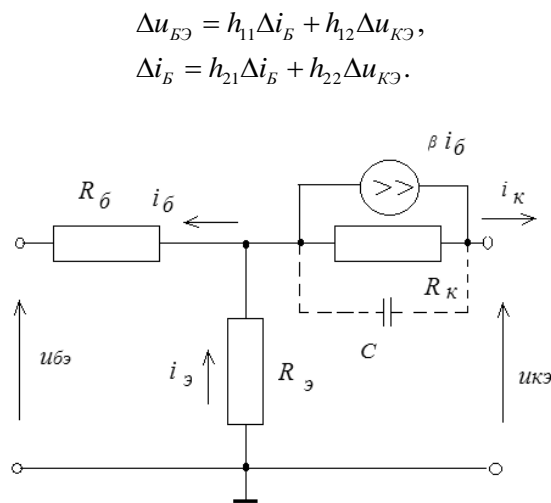


Рис. 6. Электрическая схема замещения БТ

Индексы при токах, напряжениях и резисторах для малых сигналов обозначены прописными буквами. Конденсатор C учитывает емкость коллекторного $p-n$ перехода. При низких и умеренно высоких частотах ее можно не учитывать, поэтому она обозначена пунктиром. Нетрудно получить выражения для определения параметров схемы замещения БТ через его h - параметры: $R_{\bar{b}} = h_{11} - \frac{h_{12}}{h_{22}} (1 + h_{21})$, $R_{\bar{э}} = \frac{h_{12}}{h_{22}}$, $R_{\bar{к}} = \frac{1}{h_{22}}$, $\beta_{\bar{o}} = h_{21}$.

Параметры БТ при малосигнальном режиме можно определить по его входным и выходным ВАХ для заданной рабочей точки. Однако в ряде случаев такой подход не обеспечивает приемлемой точности.

В среде *Multisim10.1* можно этот режим исследовать при одновременном действии разного вида токов. Поэтому, используя среду *Multisim 10.1*, можно непосредственно измерить $R_{\bar{b}}$, $R_{\bar{э}}$, $R_{\bar{к}}$ и $\beta_{\bar{o}}$ в схеме, изображенной на Рис. 7. В качестве источника переменного тока используется генератор синусоидального тока с частотой 1 кГц и действующим значением 10^{-3} В.

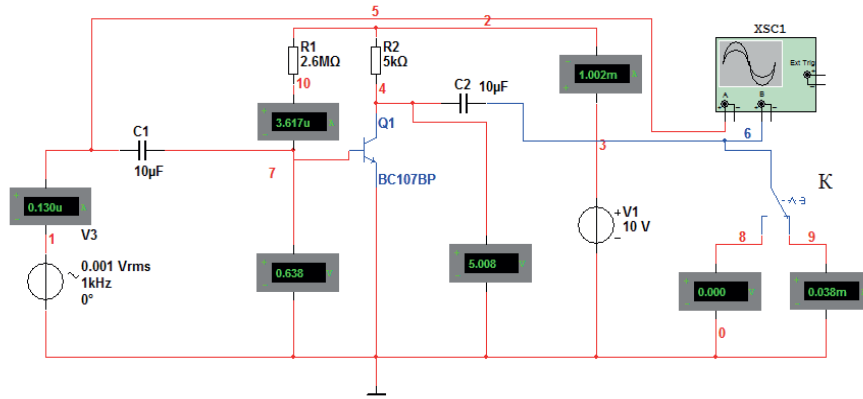


Рис. 7. Схема измерения параметров БТ в малосигнальном режиме

В режиме короткого замыкания ($u_{кз}=0$ и ключ К переключен на амперметр (Рис. 7)) параметр h_{11} равен входному сопротивлению БТ – 7,7 кОм – и определяется делением переменного входного напряжения на переменный входной ток. Коэффициент усиления по переменному току $\beta\partial=h_{21}$ определяется отношением переменного тока коллектора к переменному току базы в режиме короткого замыкания. В нашем случае он равен 292, что практически совпадает с ранее полученным значением $\beta_{сн}$. Параметр h_{22} называется выходной проводимостью $h_{22}=I/R_{вых}$. Значение этого параметра можно вычислить делением величины измеренного выходного напряжения в режиме холостого хода, т.е. при разомкнутой выходной цепи (ключ К переключен на вольтметр), на измеренную величину тока короткого замыкания. При вычислении выходной проводимости по проведенным измерениям следует учитывать сопротивление $R2$, включенное в цепь коллектора. В нашем случае значение h_{22} равно $1,28 \times 10^{-5}$ См. Если провести измерения коэффициента обратного напряжения h_{12} , то можно убедиться, что он равен нулю. Изменение напряжения на коллекторе можно проводить путем изменения величины $R2$.

Кроме определения параметров БТ, в малосигнальном режиме работы в этой схеме можно проводить измерения амплитудной характеристики (АХ) и амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) при работе БТ в режиме линейного усиления с использованием дополнительного двухлучевого осциллографа. Таким образом, предложенная методика исследования режимов работы и исследования параметров БТ в среде *Multisim 10.1* позволяет изучить работу БТ в различных режимах работы в широком диапазоне напряжений и частот.

Список литературы

1. Загидуллин Р. Multisim, LabVIEW, Signal Express. Практика автоматизированного проектирования электронных устройств. М., 2009. 366 с.
2. Опадчий Ю. А., Глудкин О. П., Гуров А. И. Аналоговая и цифровая электроника: учебник для вузов / под ред. О. П. Глудкина. М., 2007. 768 с.

USING MULTISIM 10.1 TO STUDY BIPOLAR TRANSISTOR OPERATING MODES

Sobolev Vladimir Afanas'evich, Ph. D. in Technical Sciences
Bauman Moscow State Technical University
vasobolev@bmstu.ru

The course “Electrical Engineering and Electronics” is an important component of training modern specialists in machine-building in the cycle of the general professional disciplines of the State Educational Standard of Higher Professional Education. Nowadays different bipolar transistors (BT), both discrete and monolithic ones, are the key elements of analogous electronic devices. The article provides a methodology to conduct a practical class – studying the bipolar transistor operating modes in *Multisim 10.1*, which allows students to acquire skills in semiconductor devices and to deepen theoretical knowledge in this sphere.

Key words and phrases: practical class; bipolar transistor (BT) model; studying BT input and output characteristics; measurement scheme; input and output resistance; identifying emitter current transmission coefficient; measuring bipolar transistor h-parameters; small-signal equivalent circuit; switching BT according to common-emitter circuit; amplification coefficient; computer product *Multisim 10.1*.