

УДК 621.374

Л. Б. Лищинская, к. т. н., доц.; М. В. Барабан; Я. С. Рожкова**ИССЛЕДОВАНИЕ ОБОБЩЁННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ
ИММИТАНСА (ОПИ) НА БАЗЕ ОДНОПЕРЕХОДНОГО ТРАНЗИСТОРА
ОТ ПАРАМЕТРОВ ЕГО ФИЗИЧЕСКОЙ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ СХЕМЫ**

В статье разработано математическую модель ОПИ на базе ОТ, которая учитывает зависимость его преобразованного иммитанса от физических параметров ОТ, а также проведено исследование зависимостей преобразованного иммитанса W_{ex} ($W_{вых}$) от физических параметров ОТ и диапазона рабочих частот.

Ключевые слова: *однопереходной транзистор, обобщенный преобразователь иммитанса, Y-параметры, эмиттер, коллектор.*

Введение

Однопереходные транзисторы (ОТ) получили широкое применение в качестве маломощных ключей разных импульсных устройств [1 – 3]. Наличие у них в активном режиме коэффициента передачи по току $h_{21} > 1$ [4] делает его перспективным компонентом обобщенного преобразователя иммитанса (ОПИ) для работы на частотах в несколько сотен МГц [5]. В этом случае, с практической точки зрения, возникает проблема формирования требований к физическим параметрам ОТ, которые обеспечивают получение необходимых значений преобразованных иммитансов W_{ex} ($W_{вых}$).

Постановка задач исследований

С целью определения оптимальных значений физических параметров ОТ, которые обеспечивают при использовании его в качестве ОПИ, получение нужных значений преобразованного иммитанса W_{ex} ($W_{вых}$), а именно получение максимальных значений отрицательных реальных иммитансов и индуктивных преобразованных иммитансов, необходимо решить такие задачи:

- разработать математическую модель ОПИ на базе ОТ, которая учитывает зависимость его преобразованного иммитанса от физических параметров ОТ;
- провести исследование зависимостей преобразованного иммитанса W_{ex} ($W_{вых}$) от физических параметров ОТ и диапазона рабочих частот.

Разработка математической модели

Обобщенный преобразователь иммитанса на базе ОТ являет собой четырехполюсник, который образован ОТ, включенным по схеме с общей базой (δI), к входу которого подключено иммитанс W_2 , что преобразовывается, а к выходу – W_n (рис.1). Причем иммитанс, который преобразовывается, $W_{ex} = f(W_n)$, а $W_{вых} = f(W_2)$.

Для построения математической модели такого ОПИ $_{\delta I}$, которая учитывает физические параметры ОТ, используем его физическую эквивалентную схему, представленную на рис. 2а. Существует большое количество таких эквивалентных схем разной степени сложности. Но, как показывает практика, усложнение эквивалентной схемы не обеспечивает существенного повышения точности расчетов, так как является низкой точностью определения параметров ее элементов. В связи с этим лучше избирать относительно простую физическую эквивалентную схему транзистора (рис. 2а), параметры которой при необходимости можно согласовать с более точными экспериментальными характеристиками [6].

Используется упрощенная физическая эквивалентная схема без учёта паразитных

элементов, так как исследования проводятся на относительно невысоких частотах.

Параметры физической эквивалентной схемы определены по методике, описанной в [6], с использованием экспериментальной установки, описанной в патенте [7].

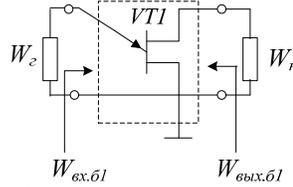


Рис. 1. Высокочастотная часть схемы ОПИ на однопереходном транзисторе с общей базой 1

На этой схеме h_{21} – коэффициент передачи транзистора по току; $R_{\delta 1}, R_{\delta 2}$ – омическое сопротивление базы 1 и базы 2; C_e и R_e – барьерная ёмкость и дифференциальное сопротивление эмиттерного перехода; $C_{\delta 1}$ – диффузионная ёмкость базы 1.

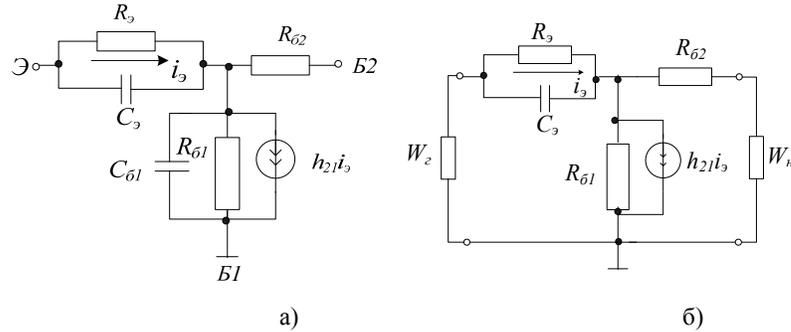


Рис. 2. Эквивалентная схема ОТ (а) и ОПИ_{б1} (б) на однопереходном транзисторе

Заменяя на рис.1 транзистор VT его физической эквивалентной схемой (рис. 2а), получим физическую эквивалентную схему ОПИ_{б1} (рис. 2б).

При больших токах эмиттера $R_e \rightarrow 0$, а $Z_{\delta 1} = 1/j\omega C_{\delta 1}$. С помощью программы «Snap» получим математические выражения Z -параметров представленной эквивалентной схемы:

$$Z_{11} = \frac{R_{\delta 1} \cdot (1 - h_{21})}{1 + j \cdot \omega \cdot C_{\delta 1} \cdot R_{\delta 1}}; \quad Z_{12} = \frac{R_{\delta 1}}{1 + j \cdot \omega \cdot C_{\delta 1} \cdot R_{\delta 1}};$$

$$Z_{21} = \frac{R_{\delta 1} \cdot (1 - h_{21})}{1 + j \cdot \omega \cdot C_{\delta 1} \cdot R_{\delta 1}}; \quad Z_{22} = \frac{R_{\delta 2} + R_{\delta 1} + j \cdot \omega \cdot C_{\delta 1} \cdot R_{\delta 1} \cdot R_{\delta 2}}{1 + j \cdot \omega \cdot C_{\delta 1} \cdot R_{\delta 1}};$$

Тогда матрица сопротивления этой схемы будет выглядеть:

$$[Z_{\delta 1}] = \begin{bmatrix} \frac{R_{\delta 1} \cdot (1 - h_{21})}{1 + j \cdot \omega \cdot C_{\delta 1} \cdot R_{\delta 1}} & \frac{R_{\delta 1}}{1 + j \cdot \omega \cdot C_{\delta 1} \cdot R_{\delta 1}} \\ \frac{R_{\delta 1} \cdot (1 - h_{21})}{1 + j \cdot \omega \cdot C_{\delta 1} \cdot R_{\delta 1}} & \frac{R_{\delta 2} + R_{\delta 1} + j \cdot \omega \cdot C_{\delta 1} \cdot R_{\delta 1} \cdot R_{\delta 2}}{1 + j \cdot \omega \cdot C_{\delta 1} \cdot R_{\delta 1}} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Определитель этой матрицы $\Delta Z_{\delta 1} \neq 0$, в результате чего входное преобразованное сопротивление будет равным

$$Z_{\text{вх.б1}} = Z_{11} - Z_{12} \cdot Z_{21} / (Z_{22} + Z_n), \quad (2)$$

а выходное сопротивление, в свою очередь, буде равняться

$$Z_{\text{вых.б1}} = Z_{22} - Z_{12} \cdot Z_{21} / (Z_{11} + Z_r), \quad (3)$$

где Z_n и Z_r – сопротивления, которые преобразовываются.

Система уравнений (1) – (3) образует математическую модель ОПИ_{б1} и позволяет

провести исследования зависимостей преобразовываемых сопротивлений $Z_{вх \delta 1}$ и $Z_{вых \delta 1}$ от параметров физической эквивалентной схемы ОТ.

Результаты исследования

Обнаружим зависимости входного и выходного импеданса от основных физических параметров схемы, а именно: сопротивления базы 1 ($R_{\delta 1}$) и базы 2 ($R_{\delta 2}$), диффузионной емкости базы 1 ($C_{\delta 1}$), коэффициента передачи транзистора по току h_{21} , предельной частоты транзистора f_T , а также сопротивления нагрузки Z_H для входных $W_{вх}$ параметров и сопротивления генератора (Z_2) для выходных параметров. Результаты многочисленных расчетов входного импеданса представлены на рис. 3 и 4.

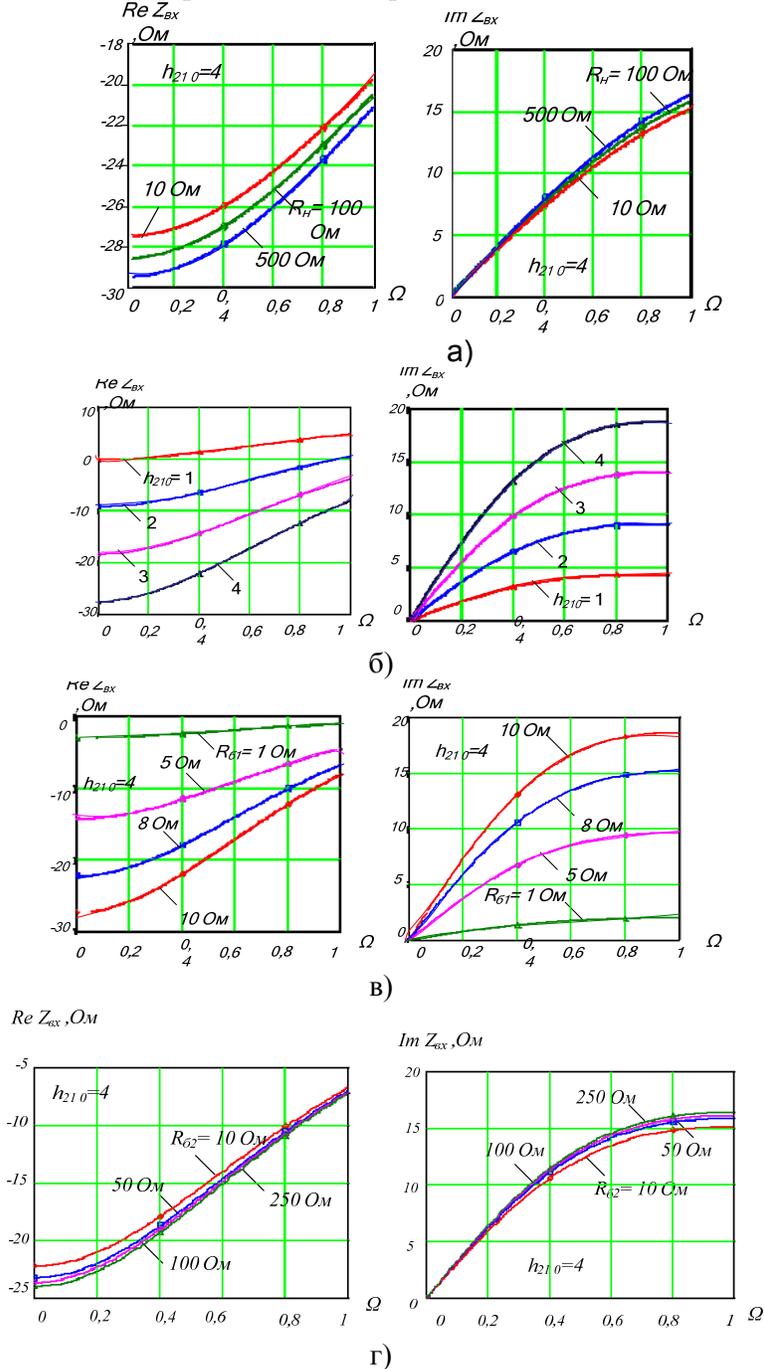


Рис. 3. Зависимость входного импеданса от приведенной частоты $\Omega = f/f_m$ при разных сопротивлениях нагрузки R_H (а); коэффициентах передачи транзистора по току h_{21} (б); значениях сопротивления базы 1 (в); значениях сопротивления базы 2 (г)

Полученные зависимости имеют определенные общие тенденции: нелинейность характеристик и возрастание по модулю для всех параметров. Реальная часть импеданса лежит в области отрицательных значений, что является доказательством того, что устройство является негатроном. Мнимая часть носит индуктивный характер. Это подтверждает возможность использования данного транзистора как эквивалента катушки индуктивности. Заметим, что при $h_{210} \leq 1$ (рис. 3 б) реальная часть входного импеданса становится положительной и с увеличением $\Omega = f/f_T$ возрастает пропорционально с крутизной $S = 0,65 \text{ Ом/МГц}$. При всех значениях $h_{210} > 1$ реальная часть входного импеданса является отрицательной, и транзистор проявляет свойства негатрона.

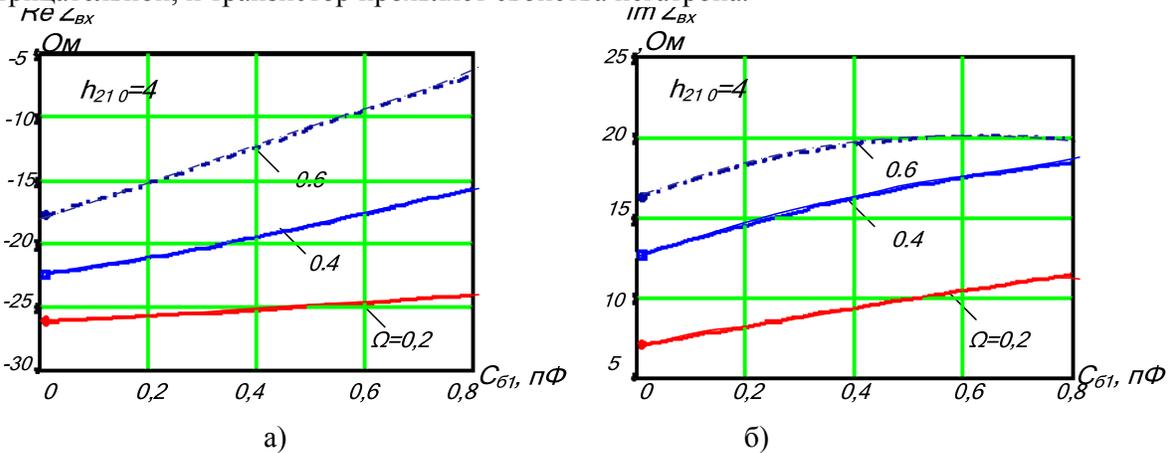


Рис. 4. Зависимость входного сопротивления от $C_{б1}$ при разных значениях Ω

Анализируя зависимость импеданса на входе схемы от емкости базы 1 (рис.4), можно сделать выводы, что при емкостях до $0,8 \text{ нФ}$ зависимость реальной части входного импеданса является практически линейной, растущей и лежит в области отрицательных значений. Мнимая часть в том же диапазоне емкостей является нелинейной, растущей и имеет определенные отклонения при значении $\Omega = 0,6$, что выражаются в прекращении роста входного импеданса при емкости базы 1 $C_{б1} \geq 0,45 \text{ нФ}$.

Результаты многочисленных расчетов выходного импеданса в зависимости от физических параметров ОТ представлены на рис. 5. Частотные характеристики выходного импеданса в зависимости от сопротивления генератора носят противоположный характер: при $R_e = 10 \text{ Ом}$ с ростом частоты происходит рост $R_e Z_{вых}$; при $R_e = 100 \text{ Ом}$ наблюдается нисходящий характер зависимости и при $R_e = 500 \text{ Ом}$, исходное сопротивление $R_e Z_{вых}$ остается практически постоянным.

Реальная часть частотной зависимости $Z_{вых}$ имеет противоречивый характер также при разных значениях h_{210} , а именно: при $h_{210} = 1$ – спадает, при $h_{210} = 2$ – остается постоянным и при $h_{210} > 2$ – носит растущий характер. Мнимая часть частотной характеристики выходного импеданса зависит от размера величины h_{210} только на очень низких частотах (рис. 5).

Как видно на рис. 5 реальная часть выходного импеданса при разных значениях сопротивления базы 1 $R_{б1}$ спадает по всему исследуемому диапазону частот. Оптимальной для данной схемы включения однопереходного транзистора является частота $\Omega_{opt} = 0,5$ (точка пересечения всех полученных зависимостей). На этом же графике видим, что на частоте $\Omega = 0,3$ при $R_{б1} = 5 \text{ Ом}$ наблюдается наименьшее значение мнимой составляющей исходного сопротивления. На мнимой части при $R_{б1} = 5 \text{ Ом}$ является точкой изгиба $\Omega = 0,3$, в которой изменяется характер зависимости с нисходящего на растущий.

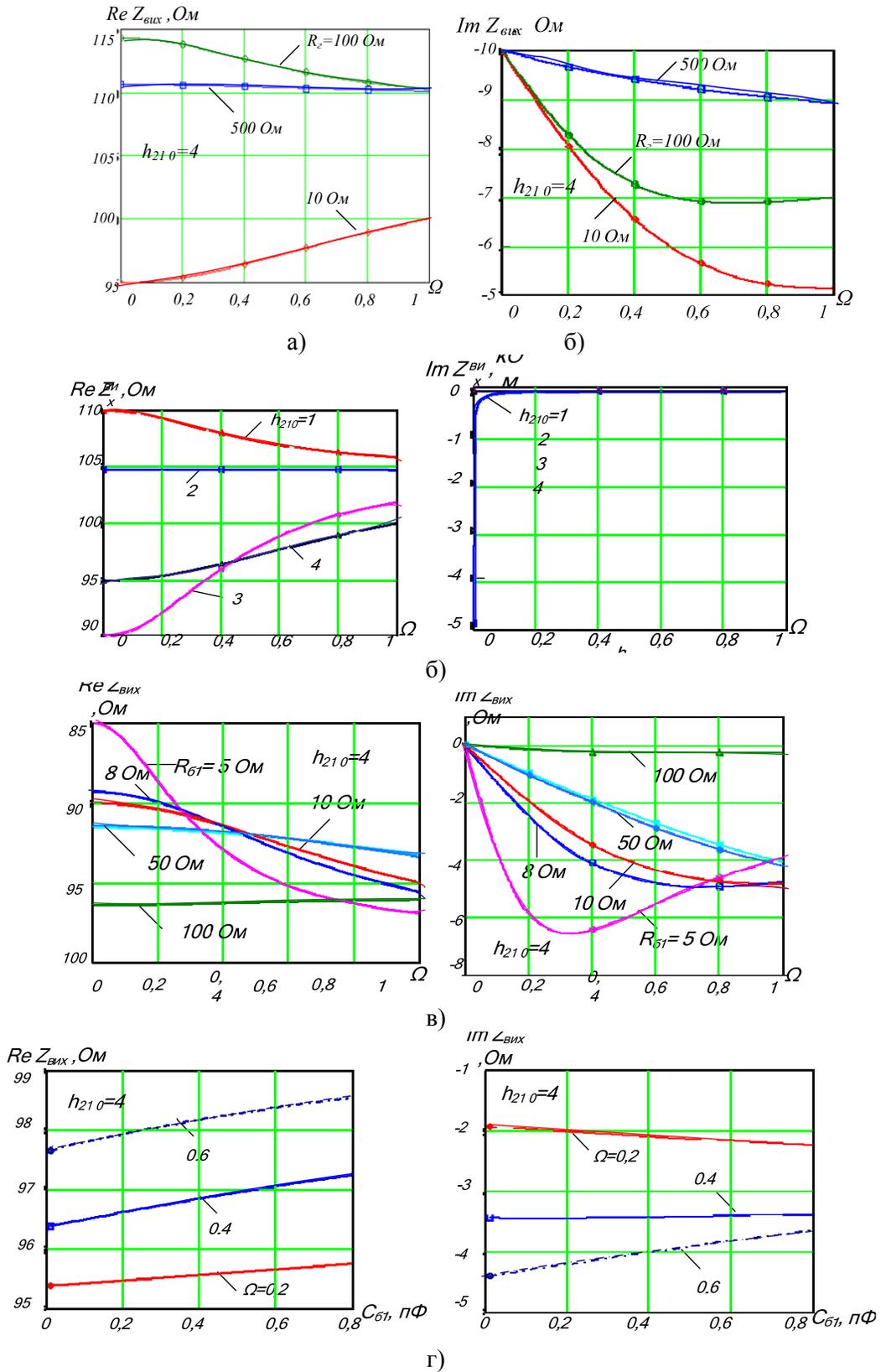


Рис. 5. Зависимость выходного импеданса от $\Omega = f/f_T$ при: разных сопротивлениях генератора R_g (а), коэффициентах передачи транзистора по току h_{21} (б), сопротивлениях базы l (в), и емкости $C_{б1}$ (г)

Реальная часть частотной характеристики выходного импеданса с увеличением
 Наукові праці ВНТУ, 2010, № 2 5

емкости $C_{\delta 1}$ является растущей. Мнимая же часть $Z_{вых}$ ведёт себя противоречиво: при $\Omega = 0,2$ она спадает; при $\Omega = 0,4$ исходное сопротивление остается постоянным на протяжении всего диапазона емкостей и при $\Omega = 0,6$ – зависимость носит растущий характер.

Выводы

Проведенное исследование обнаружило чувствительность преобразованного импеданса однопереходного транзистора к изменению параметров его физической эквивалентной схемы. Это свидетельствует о возможности управления величиной импеданса транзистора при прямом и обратном превращении импеданса путем изменения $R_{\delta 1}$, R_n и $h_{21 0}$.

1. Для входного импеданса вещественная часть имеет наиболее негативный характер, а мнимая наиболее индуктивный характер при таких значениях: $R_{\delta 1} = 10 \text{ Ом}$, $h_{21 0} = 4$, $R_{\delta 2} = 250 \text{ Ом}$.

2. Для выходного сопротивления вещественная часть является наиболее позитивной, а мнимая – наиболее индуктивной при $R_{\delta 1} = 5 \text{ Ом}$, $h_{21 0} = 3$, $R_e = 10 \text{ Ом}$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ленк Дж. Электронные схемы. Практическое руководство / Ленк Дж. – М.: Мир, 1985. – 344 с.
2. Ерофеева И. А. Импульсные устройства на однопереходном транзисторе / И. А. Ерофеева – М.: Связь, 1974. – 72 с.
3. Ольсевич А. Е. Двухбазовые диоды в автоматике / А. Е. Ольсевич, В. В. Михайлов, В. И. Беличенко – М.: Энергия, 1972. – 72 с.
4. Стафаев В. И. Теоретические и экспериментальные исследования двухбазового диода / В. И. Стафаев, А. П. Штагер. – Рига: Знание, 1986. – 525 с.
5. Філінюк М. А. Аналіз і синтез інформаційних пристроїв на базі потенційно нестійких узагальнених перетворювачів імпеданса / М. А. Філінюк – Вінниця: ВДТУ, 1998. – 85 с.
6. Ліщинська Л. Б. Експериментальний метод визначення параметрів одно перехідного транзистора. В кн. «Контроль і управління в складних системах» / Л. Б. Ліщинська, А. Г. Швидюк, М. А. Філінюк – КУСС, 2008. – 137 с.
7. Пат. 41314 України на корисну модель. МПК⁸ G 01 R 27/28. Установка для вимірювання граничної частоти одноперехідного транзистора / Ліщинська Л. Б., Шведюк А. Г., Філінюк М. А., заявник та патентовласник Вінницький нац. техн. ун-т. – №u200900490; Заявл. 23.01.2009; Опубл. 12.05.2009, Бюл. №9.

Лищинская Людмила Брониславовна – к. т. н., доцент кафедры финансового контроля и анализа, e-mail: L_Fil@mail.ru.

Винницкий торгово-экономический институт.

Барабан Мария Владимировна – аспирант кафедры проектирования компьютерной и телекоммуникационной аппаратуры, e-mail: baraban87@gmail.com.

Рожкова Яна Сергеевна – студентка кафедры проектирования компьютерной и телекоммуникационной аппаратуры, e-mail: rozhkova.yana@gmail.com.

Винницкий национальный технический университет.