

*А.Ю. Волков*

*Кыргызско-Российский Славянский университет, г.Бишкек*

*[luckyAleshka@gmail.com](mailto:luckyAleshka@gmail.com)*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНКРЕМЕНТАЛЬНОГО ЭНКОДЕРА В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ PROTEUS**

В статье рассматриваются различные системы автоматизированного проектирования в области электроники, корректировка параметров схемы и моделирование электронной схемы устройства с применением инкрементального энкодера в системе автоматизированного проектирования Proteus.

**Ключевые слова:** инкрементальный энкодер, датчик углового перемещения, приборостроение, САПР.

**Введение.** Применение различных датчиков при разработке измерительно – диагностических устройств связано с различного рода трудностями в проведении инженерных расчетов. Использование виртуальной модели при создании схемы в аналитической форме позволит значительно упростить процесс ее разработки. Сегодня процесс проектирования электронных схем заключается в применении систем автоматизированного проектирования (САПР). Благодаря достаточной памяти современных компьютеров и высокому быстродействию, разработчик принципиальной схемы может выбирать, моделировать многократно используемые модели электронных компонентов, датчиков и т.п.. Для моделирования электрической схемы разработчик может, объединяя модели датчиков в схему будущего измерительного устройства, виртуально наблюдать за ее работой, провести топологию и смоделировать внешний вид будущей печатной платы (ПП). Затем перевести проверенную схему в элемент практической реализации (ПП) и создать рабочий образец разработанного устройства.

**Обзор предлагаемого программного обеспечения.** Результативность аналитической модели в значительной степени зависит от качества используемого программного обеспечения (ПО). Главные требования, предъявляемые к ПО, – простота ввода, поиска элементов моделирования, корректировки исходных данных и расширенный в настоящее время процесс обзора полученного результата с применением технологии визуализации, разработанной ПП в виде 3D – модели.

Современное ПО САПР можно разделить на три группы:

- архитектурно – строительные САПР (CAD/AEC – Architectural, Engineering and Construction);
- машиностроительные САПР (MCAD – Mechanical Computer Aided Design);
- САПР по электронике, которые представлены двумя разновидностями:

ПО, предназначенное для создания электронных схем и их моделирования, и ПО, специализирующееся на разработке печатных плат.

К последней группе САПР можно отнести следующие программы, в которых реализуются удобные графические пользовательские возможности: MicroCap, ELECTRONICS WORKBENCH (EW), PCAD, Proteus и др.

Специалисты многих областей науки и техники используют методы компьютерного моделирования, позволяющие моделировать приборы с заданными параметрами и имитировать их работу. Это в значительной мере упрощает и ускоряет процесс проведения эксперимента.

Рассмотрим программу САПР EW (рис.1), обеспечивающую ввод электрических схем для их дальнейшего моделирования и позволяющую создавать текстовое описание цифровых устройств на языках VHDL и Verilog для синтеза ПЛИС (программируемых логических интегральных схем). Программные продукты EW относятся к средствам EDA (Electronic Design Automation), которые используют конструкторы и схемотехники при компьютерном моделировании электронной аппаратуры [1].

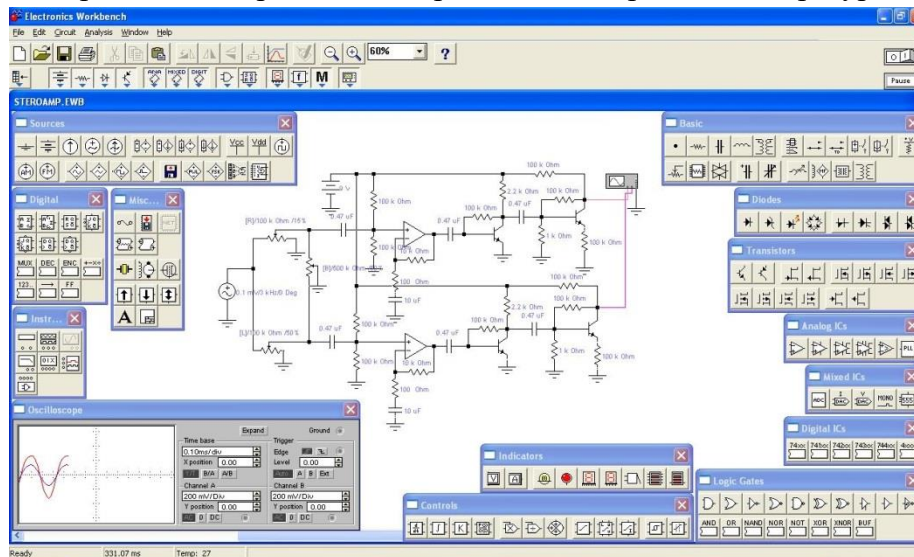


Рисунок 1.Главное окно программы EW

Если в САПР высокого уровня наблюдается узкая специализация, то в программе EW, предназначенной для самостоятельного изучения, а также для обучения студентов технических специальностей, такой направленности нет.

САПР прошли несколько этапов развития, которые во многом определялись характеристиками имеющихся на тот момент электронно – вычислительных машин (ЭВМ). Одной из первых САПР по электронике является программа MicroCap[2] (рис.2) – система компьютерного моделирования аналоговых и цифровых схем, в основе которой лежит технология SPICE.

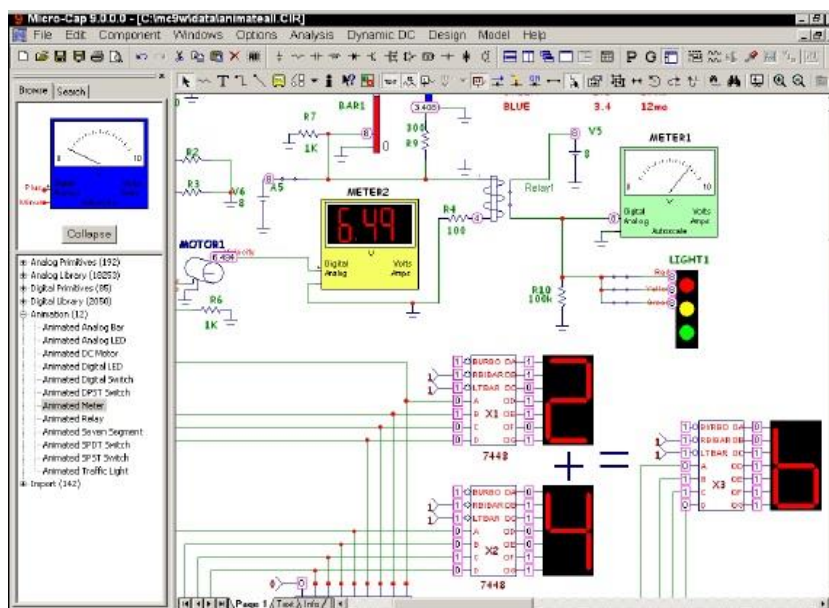


Рисунок 2. Главное окно программы MicroCap

Снижение стоимости аппаратных средств и ПО привело к появлению САПР широкого применения для создания схем и разводки ПП – программы PCAD [3] (рис. 3).

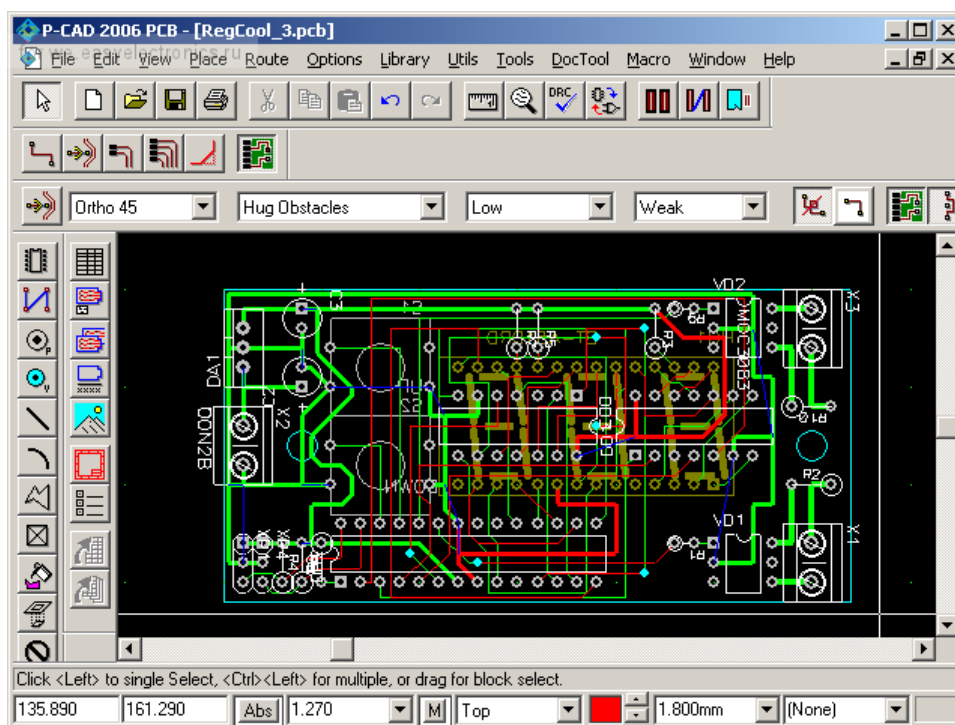


Рисунок 3. Главное окно программы PCAD

Бурное развитие микропроцессоров создало предпосылки использования рабочих станций на персональных ЭВМ, что заметно снизило стоимость внедрения САПР на предприятиях. Постоянно продолжают их совершенствование и расширение функциональности. Примером может служить ПО Proteus [4] (рис. 4), которое состоит из двух частей: ISIS – программы синтеза и моделирования непосредственно электронных схем и ARES – программы разработки ПП.

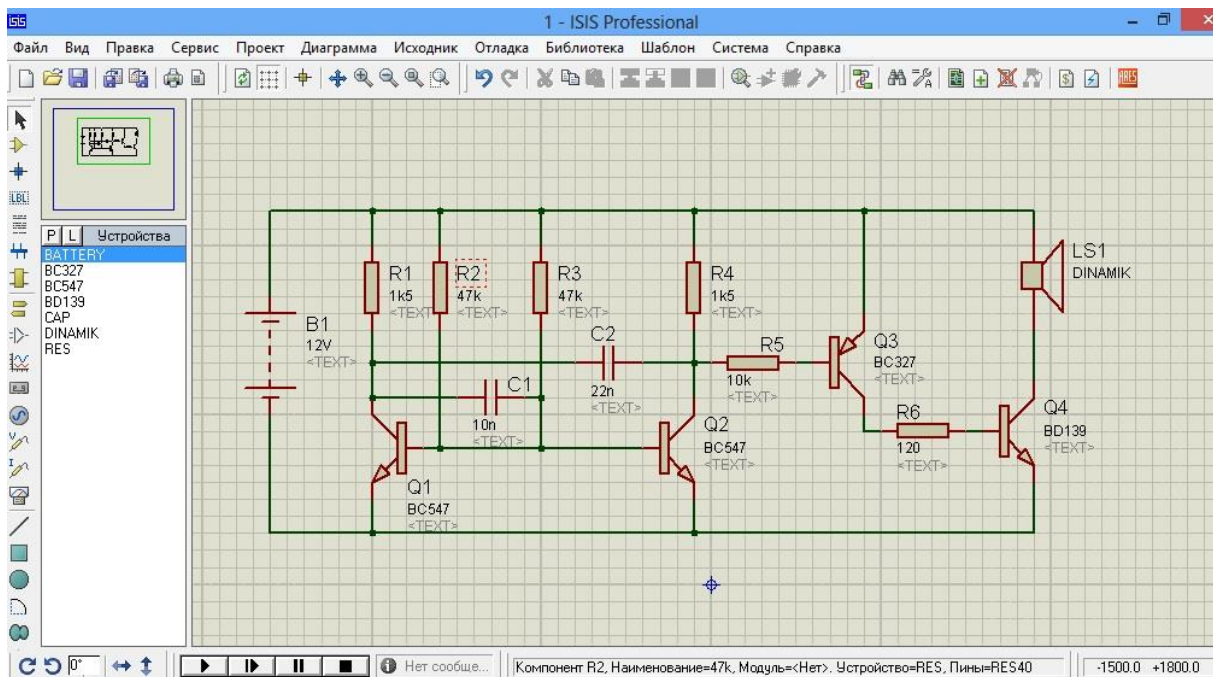


Рисунок 4. Главное окно системы Proteus

После моделирования схемы в разделе ISIS при создании ПП в разделе ARES программа Proteus позволяет разработать топологию будущего устройства и его 3D – модель (рис. 5).

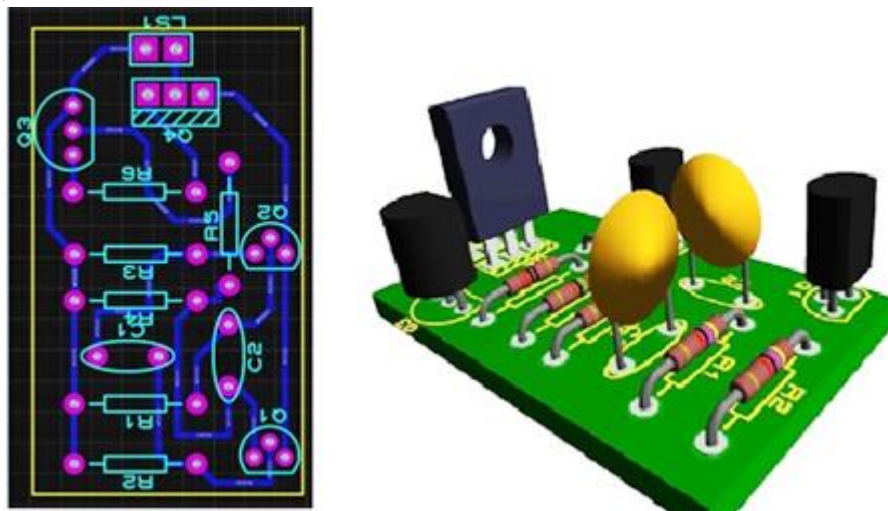


Рисунок 5. 3D – модель в программе Proteus

Proteus может соперничать с ПО, разработчики которого интегрируют в нем модули различного назначения, например P – CAD предназначен для разработки ПП, OrCAD 9.2 [5] – для моделирования электронных устройств и разработки ПП, программа Max+Plus II – для синтеза ПЛИС, выпускаемых фирмой Altera, и такой пакет программ, как MicroCap и др.

Применение САПР дает возможность инженерам многократно использовать и заменять радиокомпоненты, ускоряет процесс проектирования ПП, что в итоге позволяет перейти к безмакетной технологии производства ПП. Это создает условия для автоматизации разработки конструкторской и технологической документации, проведения инженерных расчётов и исследований.

Применяемые вышеперечисленные программы берут на себя рутинную часть разработки электронной аппаратуры, проведения необходимых расчетов, предоставления справочной информации, моделирования созданной схемы, построения ее топологии, оставляя инженеру творческую работу по поиску оптимального технического решения.

**Постановка задачи.** При разработке различных измерительно – диагностических устройств используют датчики, которые преобразуют угол передвижения или перемещения вдоль оси координат в значение напряжения, позволяющее вычислить величину перемещения относительно начального положения [6]. Для моделирования в САПР важно знать характеристики этих сигналов: период, длительности высокого и низкого уровней.

Датчик углового перемещения – устройство, преобразующее угол поворота вращающегося объекта (вала) в электрические сигналы, позволяющие определить этот угол. Датчики разделяются на два типа [7]:

I. Абсолютный – датчик возвращает своё абсолютное положение.

II. Инкрементальный – датчик выдаёт импульсы, означающие изменение его положения.

Кроме того, датчики различаются по принципу действия:

1. резисторные (потенциометры);
2. с щеточными контактами;
3. оптические;
4. магнитные (датчик Холла);
5. индуктивные;
6. емкостные.

Рассмотрим возможность САПР Proteus для проектирования инкрементального энкодера (далее ИЭН) на примере разработки схемы измерительного устройства оптического принципа действия, состоящего из светоизлучателя лампы накаливания или светодиода (СД) и фотоприемника – фотодиода (ФД) или фототранзистора, между которыми находится прерыватель светового потока (диск с прорезями – рис. 6).

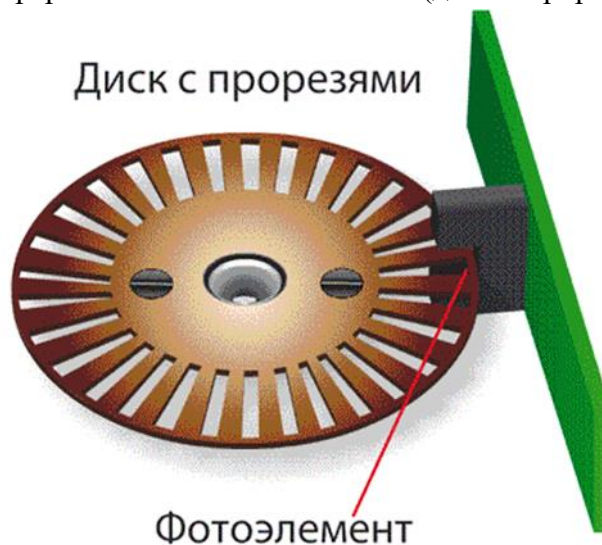


Рисунок 6. Устройство ИЭН

На рис. 7 изображена электрическая принципиальная схема ИЭН, где светодиод Vd1 при прохождении через него прямого тока излучает световой поток, попадающий на фотодиод Vd2. Предельно допустимое значение тока для светодиода, применяемого в схеме (TSAL4400), составляет  $I_{пр} = 100$  мА, при этом максимально допустимая мощность излучателя равна  $P_0 = 160$  мВт [8]. Построим передаточную характеристику датчика – зависимость выходного напряжения  $U$  от мощности излучения светодиода, для чего воспользуемся линейной зависимостью излучаемой мощности от прямого тока. Задавая значения тока реостатом R1 (рис. 7), изменяем мощность светового потока  $P$ . В результате моделирования была построена передаточная характеристика ИЭН (рис. 8). На графике по оси X отложена мощность в относительных единицах  $P/P_0$ , где  $P_0$  – значение мощности при максимальном токе светодиода. На рис. 8 приведены две передаточные характеристики ИЭН, линейные участки которых будут использованы в работе.

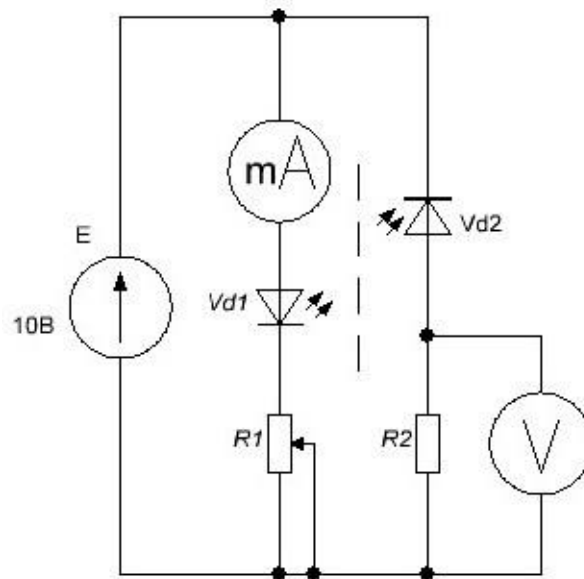


Рисунок 7. Схема ИЭН

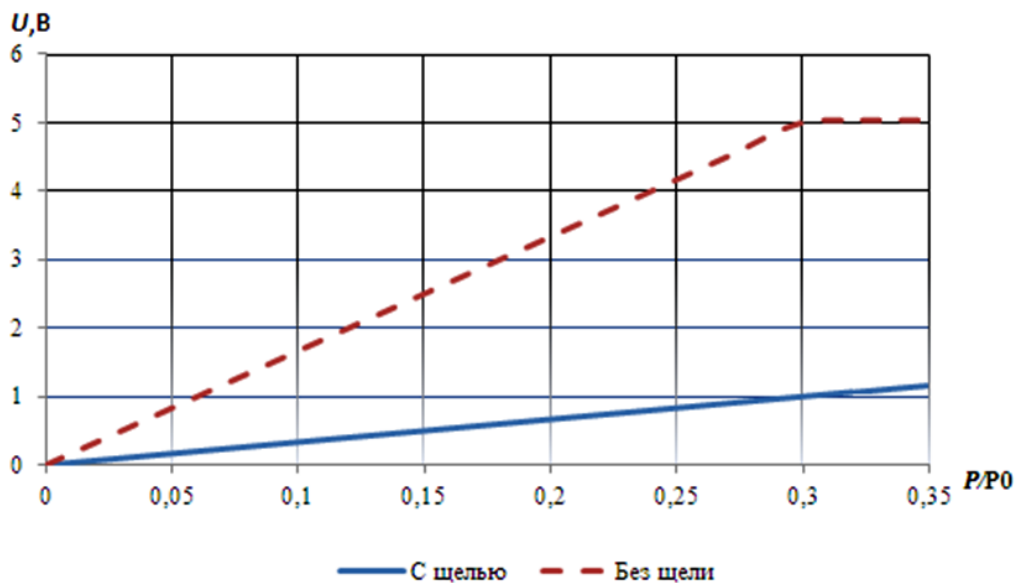


Рисунок 8. Передаточная характеристика ИЭН, построенная в программе Proteus

Рассмотрим работу ИЭН. Светочувствительный фотоприемник выполняется из полупроводникового материала, сопротивление которого изменяется обратно пропорционально освещенности. Падающий на него световой поток вызывает ионизацию в полупроводнике, изменяя его проводимость. В качестве фотоприемника чаще всего применяют фотодиоды. При обратном включении фотодиода фотоэлектрический ток пропорционален освещенности. Присутствие других источников света создаёт помехи, влияющие на результат эксперимента. Чтобы этого не происходило, ИЭН размещается в светонепроницаемом корпусе.

Если для усиления тока добавить к предыдущей схеме каскад на транзисторе (рис. 9), то передаточная характеристика принимает вид, показанный на рис. 10.

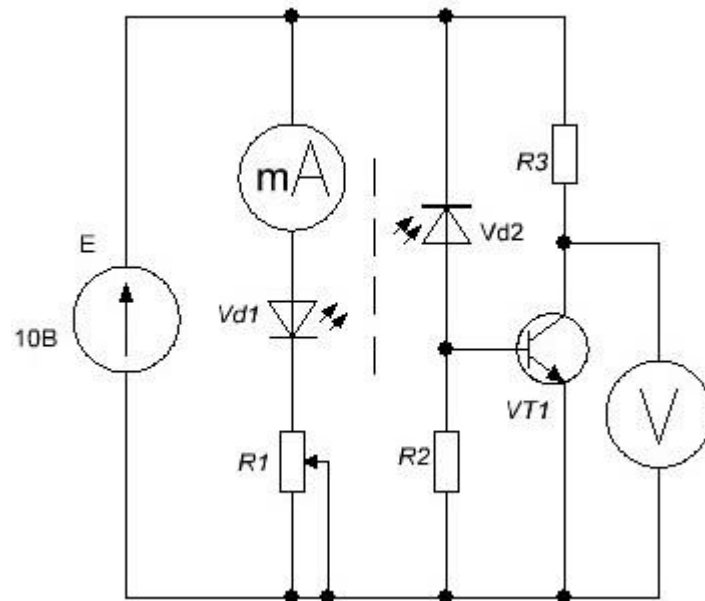


Рисунок 9. Схема ИЭН с однокаскадным усилителем

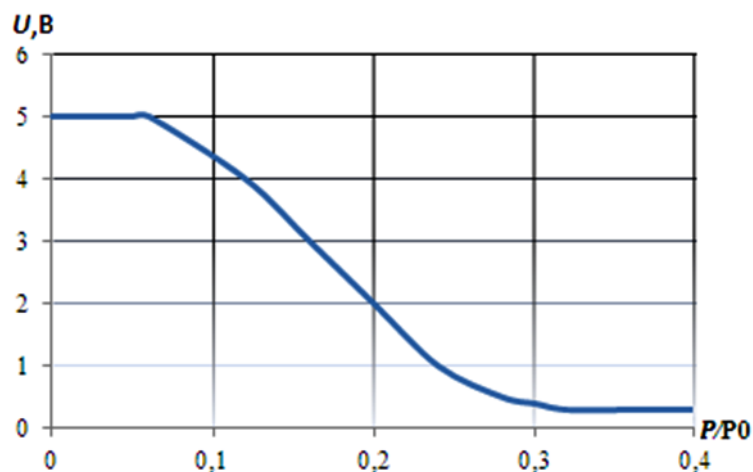


Рисунок 10. Передаточная характеристика ИЭН с однокаскадным усилителем, построенная в программе Proteus

На графике (рис. 10) наблюдаются три участка – сигнал слабый (транзистор закрыт), линейный участок усиления (при увеличении входного сигнала транзистор

приоткрывается), входной сигнал (световой поток) достаточно велик (транзистор полностью открыт).

Для передачи аналогового сигнала используется линейный участок передаточной характеристики. Для передачи цифрового сигнала этот участок не используется во избежание неопределенностей.

Для передачи дискретного сигнала добавим еще один каскад линейного усиления (рис. 11). Полученная передаточная характеристика (рис. 12) инверсна по отношению к предыдущей (рис. 10). Кроме того, линейный участок передаточной характеристики на рис. 12 сократился.

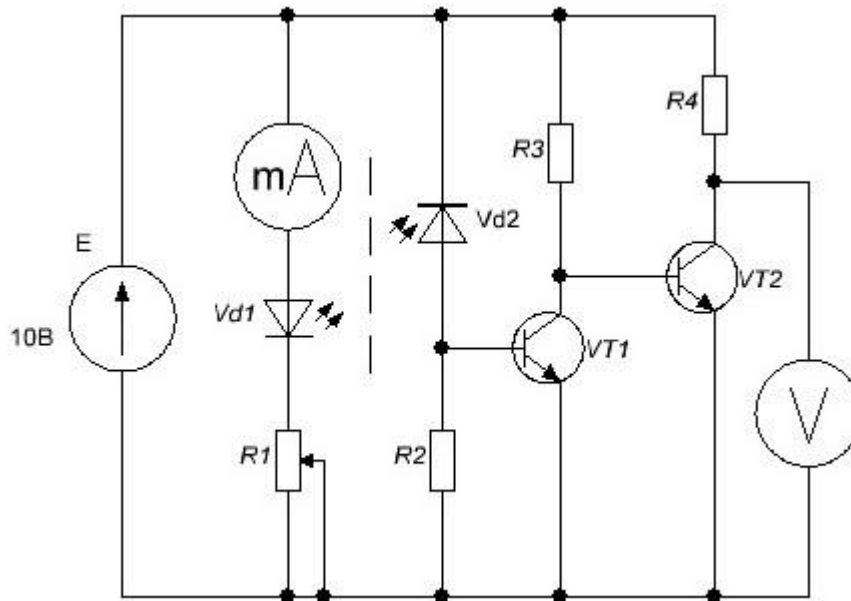


Рисунок 11. Схема ИЭН с двухкаскадным усилителем

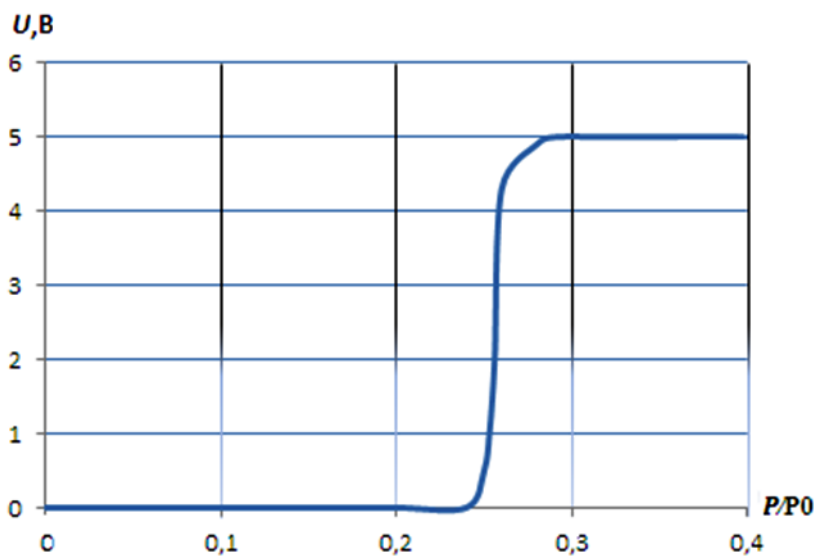


Рисунок 12. Передаточная характеристика ИЭН с двухкаскадным усилителем, построенная в программе Proteus

Если ввести в схему положительную обратную связь (рис. 13), то передаточная характеристика примет вид, показанный на рис. 14.



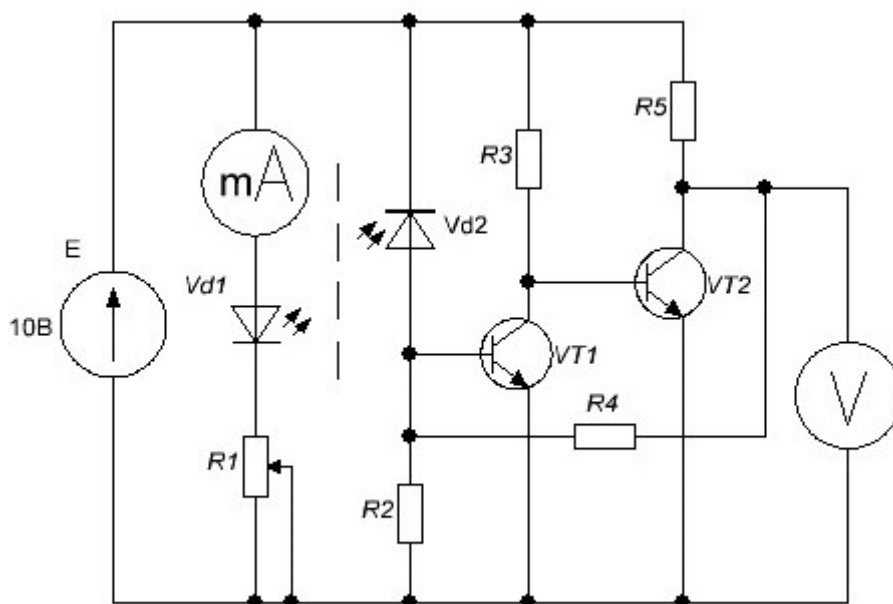


Рисунок 13. Схема ИЭН с двухкаскадным усилителем и ПОС

Введение ПОС приводит к ликвидации линейного участка передаточной характеристики и появлению петли гистерезиса, которая характеризуется различием участков повышения и понижения входного сигнала. Такая схема называется триггером Шмитта.

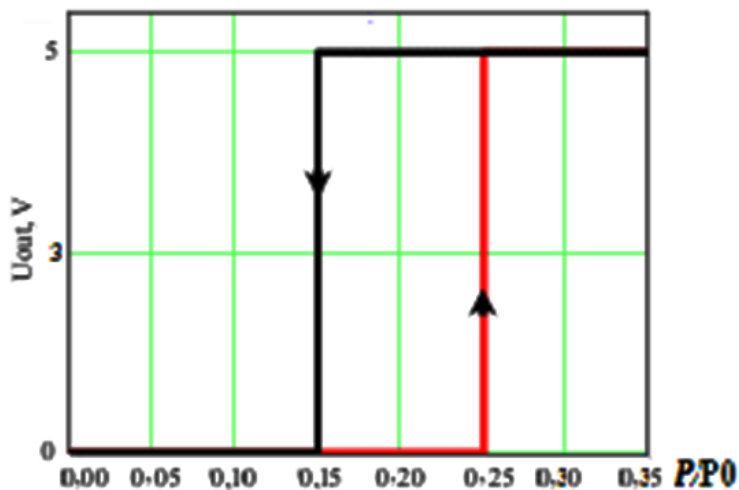


Рисунок 14. Передаточная характеристика ИЭН с двухкаскадным усилителем и ПОС, построенная в программе Proteus

На рис.14 видно, что переключение выходного транзистора происходит скачкообразно: при увеличении светового потока – при значении  $0,25P/P_0$ , при уменьшении светового потока – при значении  $0,15P/P_0$ , что удобно для передачи цифрового сигнала. В частности, при подсчете количества оборотов диска с прорезями (рис. 6) ИЭН с триггером Шмитта формирует один дискретный импульс при прохождении каждой прорези между источником и приемником света. По количеству

импульсов, подсчитанных счетчиком, и известному числу прорезей на диске можно рассчитать число оборотов (угол поворота), на которые повернулся диск.

### **Заключение**

Возможность построения виртуальных моделей в аналитической форме (построение передаточных характеристик) в программе Proteus позволяет получить оптимальный вариант схемы измерительного устройства с применением ИЭН с выходным сигналом, близким к цифровому. Виртуальное моделирование схем в реальном времени значительно сокращает затраты на проведение экспериментов.

### *Литература*

1. Electronics Workbench The Global Standard in Electronics Education. USA: EWC, 2005.
2. Micro – Cap 11 Electronic Circuit Analysis Program User's Guide. USA, 2016.
3. PCAD to Allegro Translation: Steps and Procedures. USA, 2014.
4. Proteus The Complete Electronics Design System Component Library Documentation. USA, 2003. Issue 1.
5. Davis J.H. Electronic Design Project 2 Cadence OrCAD PCB Designer 16.6. USA, 2014.
6. Sensors and transducers / Keith Brindley; London : Heinemann Professional Publishing, 1988. 153 p.
7. Волков А.Ю. О состоянии и перспективах развития средств измерения углового перемещения // Проблемы автоматизации и управления – 2014. – № 1(26). – С. 160 – 168.
8. Infrared Emitters and Detectors Data Book / VISHAY SEMICONDUCTORS. – Germany: Vishay Semiconductor GmbH. – 2008. – 550 p.