



**Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
в г. Смоленске**

**Методическое обеспечение дисциплины**

**ОСНОВЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОМПОНЕНТНОЙ БАЗЫ**

---

(НАИМЕНОВАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)


**Смоленск – 2018 г.**

**Методические материалы составил:**

Доцент кафедры

«Электроники и микропроцессорной техники»

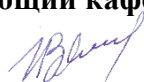
Канд. техн. наук, доцент

  
\_\_\_\_\_

Строев Николай Николаевич  
ФИО

«24» июня 2018 г.

**Заведующий кафедрой «Электроники и микропроцессорной техники»:**

  
\_\_\_\_\_

подпись

Якименко Игорь Владимирович  
ФИО

«02» июля 2018 г.

## 1. Методическое обеспечение лекций

Цель лекций – изучение понятийного аппарата, основных теоретических положений и методов изучаемой дисциплины, необходимых для освоения закрепленных компетенций.

1. Комплект лекций, в формате PDF, расположен на сайте кафедры по ссылке:

<https://drive.google.com/drive/folders/10lmfRHfUmJTjHPNZ7deces1QoFyzMAk>

[https://drive.google.com/drive/folders/1\\_fсPHmniyJPI5le1CbDMevC204Ecjc](https://drive.google.com/drive/folders/1_fсPHmniyJPI5le1CbDMevC204Ecjc)

Пример лекций, в формате мультимедийных презентаций:

|   |  |
|---|--|
| <p style="text-align: center;"><b>Основы проектирования<br/>электронной компонентной<br/>базы (Ю.В. Троицкий)</b></p> <p style="text-align: center;">Лекция №4</p> <p style="text-align: center;">Расчет отклонения заданного параметра<br/>электронного устройства от номинального<br/>значения</p>  | <p style="text-align: center;"><b>Отклонение параметров выходного сигнала от номинала</b></p> <p>Электронные устройства являются функциональными устройствами, выходной сигнал которых является функцией параметров комплектующих, входящих в это устройство, от точности которых зависит и точность реализации заданной функции.</p> <p>Отклонение параметров выходного сигнала электронных устройств от номинала рассчитывается для заданных функциональных зависимостей, аргументы которых являются справочными параметрами используемых компонент.</p> <p>Для решения этой задачи привлекается аппарат дифференциального исчисления. Его применение основано на следующем предположении: если абсолютные погрешности достаточно малы в сравнении со значениями самих величин <math>x_i</math>, а функция <math>Y = f(x_1, \dots, x_n)</math> непрерывна во всей области измерений, то абсолютная погрешность <math>\Delta Y</math> тоже мала. Поэтому, если величины рассматривать как малые приращения аргументов <math>\delta x_i</math>, соответствующая погрешность <math>\Delta Y</math> примет вид <math>\delta Y</math>, а связь между ними определяется соотношением</p> $\Delta Y_{\max} = \frac{\partial y}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial y}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial y}{\partial x_n} \Delta x_n$ <p>Частные производные по каждому аргументу <math>x_i</math> характеризуют чувствительность функции к его отклонению от номинального значения.</p> |
| <p style="text-align: center;"><b>Коэффициент чувствительности</b></p> <p>Коэффициент чувствительности (функция чувствительности или просто чувствительность) представляет собой количественную оценку изменения функции <math>Y(x_1, \dots, x_n)</math>, характеризующей работу электронного устройства (ЭУ) при заданном изменении параметров его компонента <math>x_i</math>.</p> <p>Необходимость расчета функции чувствительности возникает при необходимости учета влияния на характеристики ЭУ:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• технологических разбросов параметров комплектующих АЭУ,</li> <li>• отклонения параметров комплектующих из-за влияния факторов окружающей среды (температуры, влажности, радиации и т.д.).</li> </ul> <p>Коэффициент чувствительности <math>S_i</math> параметра функции <math>Y</math> к изменению параметра компонента <math>x_i</math> определяется как частная производная</p> $S_i = \partial Y / \partial x_i$ | <p style="text-align: center;"><b>Абсолютное отклонение выходного параметра</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Абсолютное отклонение выходного параметра <math>Y</math> при отклонении одного параметра <math>x_i</math> определится как</li> </ul> $\Delta Y_i = (\partial y / \partial x_i) \Delta x_i$ <p>или</p> $\Delta Y_i = S_i \Delta x_i$ <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Абсолютное отклонение выходного параметра <math>Y</math> при отклонении всех параметров <math>x_i</math> определится как</li> </ul> $\Delta Y_{\max} = \sum_{i=1}^n \frac{\partial y}{\partial x_i} \Delta x_i$ <p>или</p> $\Delta Y_{\max} = \sum_{i=1}^n S_i \Delta x_i$   |
| <p style="text-align: center;"><b>Относительное отклонение</b></p> $\delta Y = \frac{\Delta Y}{Y} = \sum_{i=1}^n S_i \frac{\Delta x_i}{x_i} = \sum_{i=1}^n S_i^r \delta x_i, \quad \text{где} \quad \delta x_i = \frac{\Delta x_i}{x_i}$ <p>Выражение</p> $S_i^r = \frac{S_i x_i}{Y}$ <p>называется <b>относительной (relative) чувствительностью</b> к изменению параметра компонента <math>x_i</math>.</p> <p>Значение <b>относительного отклонения выходного параметра</b> <math>\delta Y</math> при использовании значений относительной чувствительности для параметров всех комплектующих проектируемого устройства определится как:</p> $\delta Y = \frac{\Delta Y}{Y} = \sum_{i=1}^n S_i^r \delta x_i, \quad \text{где} \quad \delta x_i = \frac{\Delta x_i}{x_i}$  | <p style="text-align: center;"><b>Среднеквадратическое отклонение</b></p> <p>Поскольку все значения отклонений параметров элементной базы задаются максимально возможными значениями при номинальном режиме эксплуатации, а их реальные значения имеют вероятностный характер распределения в заданном диапазоне, то оценку вероятностного значения погрешности задают среднеквадратическим значением отклонения выходного параметра от номинального значения.</p> <p>Среднеквадратическое абсолютное отклонение определится как</p> $\Delta Y_{sq,er} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i \cdot \Delta x_i)^2}{n}}$ <p>где <math>n</math> – число параметров компонент, влияющих на точность преобразования.</p> <p>Среднеквадратическое относительное отклонение определится как</p> $\delta Y_{sq,er} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (S_i^r \cdot \delta x_i)^2}{n}}$   |

|  |  |
|--|--|
|  |  |
|--|--|

## 2. Методическое обеспечение лабораторных работ

Цель лабораторных работ – закрепление лекционного материала, привитие навыков применения теоретических знаний для решения научно-исследовательских задач, необходимых для освоения закрепленных компетенций.

Задания на лабораторные работы расположены по ссылке:  
<https://drive.google.com/drive/folders/10ImfRHfUmJTjHPNZ7deces1QoFyzMAk>

Пример задания на лабораторную работу.

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА 1 (4 ЧАСА)

#### Задание на лабораторную работу

##### Проектирование схемы электрической принципиальной электронного модуля

Цель работы: проведение схемотехнической разработки электронного модуля.

Подготовка к выполнению работы:

1. Работа выполняется по индивидуальному заданию.  
Для начала проектирования предварительно должно быть разработано ТЗ на разработку, определены параметры, включаемые в ТУ.
2. Постройте структурную и функциональную схемы модуля без оформления в виде чертежей.
3. Подготовьтесь к работе над схемой электрической принципиальной – скопируйте необходимые справочные данные на элементы схемы, разберитесь с особенностями работы элементов.

Задание

1. Постройте библиотечные компоненты, необходимые для реализации схемы, воспользовавшись соответствующими программами САПР. Занесите в отчет краткое описание этапов создания и редактирования библиотечных компонентов, скриншоты настроечных окон с пояснением настроек и возможных вариантов выбора.
2. Просмотрите дерево проекта, убедитесь в наличии всех составляющих элементов схемы, скомпонованных в виде библиотеки проекта. Если обнаружено отсутствие библиотечных компонентов либо их отдельных составляющих, вернитесь к выполнению предыдущего пункта.
3. Проверьте настройки рабочего пространства схемотехнического редактора, при необходимости скорректируйте их.
4. Постройте схему электрическую принципиальную, соблюдая привязку к слоям. При построении схемы используйте результаты предыдущей работы в плане настроек рабочего пространства и соблюдения требований стандартов. Рисование следует начинать с левого верхнего угла, при этом автоматическая нумерация элементов будет отвечать требованиям ЕСКД. Старайтесь рационально использовать рабочее пространство, избегая слишком плотной и слишком свободной компоновки элементов, а также электрических связей.
5. Проверьте работу системы DRC при рисовании схемы, оцените ее возможности. Проведите визуальный контроль нарисованной схемы, отредактируйте надписи и обозначения элементов.
6. Выгрузите NET лист для использования в следующей лабораторной работе. При появлении в процессе выгрузки NET листа предупреждающих сообщений, разберитесь с причиной

предупреждений и устраните проблему. Откройте полученный файл для просмотра в текстовом редакторе. Разберитесь в структуре NET листа, занесите в отчет соответствующие комментарии.

### 3. Методическое обеспечение расчетно-графической работы

расчетно-графической – закрепление лекционного материала, привитие навыков применения теоретических знаний для самостоятельного решения инженерных задач, необходимых для освоения закрепленных компетенций.

Задания на расчетно-графической работу расположены по ссылке:

<https://drive.google.com/drive/folders/10lmfRHfUmJTjHPNZ7deces1QoFyzMAk>

### 4. Методическое обеспечение практических занятий

Цель практических занятий – закрепление лекционного материала, привитие навыков применения теоретических знаний для решения задач, необходимых для освоения закрепленных компетенций.

Задания на задания к практическим занятиям расположены по ссылке:

<https://drive.google.com/drive/folders/10lmfRHfUmJTjHPNZ7deces1QoFyzMAk>

<https://drive.google.com/drive/folders/1-J02IDXmAj4R2IHRY0IJdqxKNwlaKouM>

Пример задания к практическому занятию.

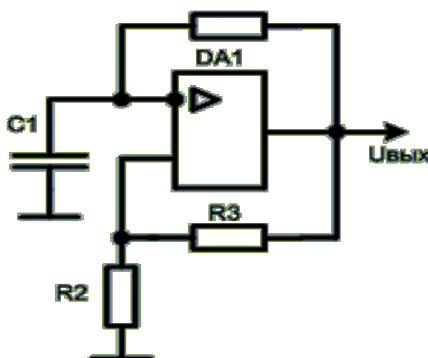
### Практическое занятие №3

#### *Расчет отклонения выходного параметра электронного устройства от номинального значения*

Рассчитать коэффициенты чувствительности  $S_i$  параметра заданной функции  $Y$  к изменению параметра всех компонентов проектируемого устройства и отклонение заданного параметра от номинального значения [1].

#### Пример расчета

*Рассчитать отклонение частоты мультивибратора от заданного номинального значения.*



### Схема автоколебательного мультивибратора

Выходной параметр мультивибратора — частота (период) следования прямоугольных импульсов на выходе ОУ:

$$f_0 = 1/[2C_1R_1 \ln \frac{10}{3}(1+2R_2/R_3)]$$

$$T_0 = 2C_1R_1 \ln \frac{10}{3}(1+2R_2/R_3)$$

является функцией параметров комплектующих компонент (3 резисторов и одного конденсатора), отклонение от номинала которых приведет к отклонению выходного параметра.  
 (для упрощения учебного материала влияние параметров ОУ не рассматривается)

Для расчета отклонения периода  $T_0$  от номинального заданного значения проведем расчет абсолютных  $S_{C_1}$ ,  $S_{R_1}$ ,  $S_{R_2}$ ,  $S_{R_3}$  и относительных чувствительностей  $S_{C_1}'$ ,  $S_{R_1}'$ ,  $S_{R_2}'$ ,  $S_{R_3}'$ .

Для рассматриваемого примера  $C_1 = 1 \text{ нФ}$ ,  $R_1 = 470 \text{ кОм}$ ,  $R_2 = 10 \text{ кОм}$ ,  $R_3 = 100 \text{ Ом}$ .

$$S_{C_1} = dT/dc_1 = 2R_1 \ln \frac{10}{3}(1+2R_2/R_3)$$

$$S_{C_1}' = (2C_1R_1 \ln \frac{10}{3}(1+2R_2/R_3)) / (2C_1R_1 \ln \frac{10}{3}(1+2R_2/R_3)) = 1$$

$$S_{R_1} = dT/dR_1 = 2C_1 \ln \frac{10}{3}(1+2R_2/R_3)$$

$$S_{R_1}' = 1$$

$$S_{R_2} = 4C_1R_1 / (R_3+2R_2)$$

$$S_{R_2}' = 4C_1R_1 R_2 / [(R_3+2R_2) \times 2C_1R_1 \ln \frac{10}{3}(1+2R_2/R_3)] = 2R_2 / [(R_3+2R_2) \ln \frac{10}{3}(1+2R_2/R_3)]$$

$$S_{R_2}' = 0.19$$

$$S_{R_3} = 4C_1R_1 R_2 / (R_3^2+2R_2 R_3)$$

$$S_{R_3}' = 4C_1R_1 R_2 R_3 / [(R_3^2+2R_2 R_3) \times (2C_1R_1 \ln \frac{10}{3}(1+2R_2/R_3))] = 2R_2 / [(R_3+2 R_2) \ln \frac{10}{3}(1+2R_2/R_3)]$$

$$S_{R_3}' = 0.19$$

При рассчитанных значениях относительной чувствительности и заданных параметрах технологического разброса величин емкости конденсатора и сопротивлений резисторов, рассчитаем относительное и среднеквадратическое отклонения частоты (периода) колебаний мультивибратора:

$$\delta f = \delta T = S_{C_1}' \delta C_1 + S_{R_1}' \delta R_1 + S_{R_2}' \delta R_2 + S_{R_3}' \delta R_3$$

При  $\delta C_1 = 1\%$ ;  $\delta R_1 = \delta R_2 = \delta R_3 = 0.5 \%$

$$\delta f = \delta T = 1 \times 1\% + 1 \times 0.5\% + 0.19 \times 0.5\% + 0.19 \times 0.5\% = 1.69\%$$

$$\delta f_{sq.er} = \delta T_{sq.er} = [(1^2 + 0.5^2 + 2 \times 0.19^2 \times 0.5^2) / 4]^{0.5} = 0.56 \%$$

#### Контрольные вопросы

1. Чем определяется чувствительность параметра заданной функции  $Y$  к изменению параметров компонентов проектируемого устройства?
2. Как связано абсолютное значение отклонения параметра заданной функции с абсолютной чувствительностью к изменению параметров отдельных компонентов?
3. Чем отличается относительная чувствительность от абсолютной чувствительности?
4. Как рассчитать среднеквадратическое отклонение параметра заданной функции?
5. Какова вероятность того, что значение отклонения параметра от номинального значения не превысит среднеквадратическое значение?

6. Во сколько раз следует увеличить среднеквадратическое значение, чтобы гарантировать, что вероятность полученного значения будет не менее 93%?

#### *Литература*

1. Конспект лекций по дисциплине «Основы проектирования электронной компонентной базы» раздел «Расчет отклонения заданного параметра электронного устройства от номинального значения».

#### **4. Методическое обеспечение проведения экзамена:**

Экзамена является заключительным этапом изучения дисциплины и имеет цель оценить уровень теоретические знания обучаемых, их навыки и умения применять полученные знания при решении практических задач, а также оценить уровень освоения компетенций закрепленных за дисциплиной.

Вопросы для подготовке к экзамену расположены по ссылке:  
<https://drive.google.com/drive/folders/10ImfRHfUmJTjHPNZ7deces1QoFyzMAk>