

Федеральное агентство по образованию  
Государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
Ивановский государственный химико-технологический университет

**А.Н. Фролов, В.М. Бурков**

# **ОБЩАЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭЛЕКТРОНИКА**

**Учебное пособие**

ИВАНОВО 2007

УДК 667.420

Фролов А.Н. Общая электротехника и электроника, : учеб. пособие /А.Н. Фролов, В.М. Бурков; Иван. гос. хим.-технол. ун-т.- Иваново, 2007.- 48 с. ISBN 5-9616-0220-6

Учебное пособие содержит материал, необходимый для выполнения инженерных расчетов при проектировании электротехнических и электронных устройств различного назначения. Кроме методик расчетов, приводятся некоторые справочные данные и даются рекомендации по использованию для анализа цепей и устройств специального программного обеспечения.

Рекомендуется для студентов всех форм обучения выполняющих курсовое проектирование по дисциплине «Общая электротехника и электроника».

Печатается по решению редакционно-издательского совета Ивановского государственного химико-технологического университета.

Рецензенты:

кафедра электроники и микропроцессорных систем Ивановского Государственного энергетического университета;  
кандидат технических наук А.И. Терехов (Ивановский государственный энергетический университет)

Редактор В.Л.Родичева

Подписано в печать 12.09.07. Формат 60х84 1/16. Бумага писчая. Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 3,10. Тираж 100 экз. Заказ

ГОУВПО Ивановский государственный  
химико-технологический университет

Отпечатано на полиграфическом оборудовании  
кафедры экономики и финансов ГОУВПО «ИГХТУ»  
153460, г. Иваново пр. Ф. Энгельса, 14.

ISBN 5-9616-0220-6

© Ивановский государственный  
химико-технологический  
университет,  
2007

## Методические указания к выполнению курсовой работы

Курсовая работа по дисциплине «Общая электротехника и электроника» выполняется студентами специальности 220301 «Автоматизация технологических процессов и производств» как заключительный этап изучения вышеназванного курса.

Цель курсовой работы :

1. Дать возможность использовать теоретические знания, приобретенные при изучении курса, для решения практических инженерных проблем.
2. Закрепить имеющиеся навыки решения электротехнических задач.
3. Проверить степень усвоения обучающимися соответствующих разделов курса.

Учебное пособие содержит материал по ряду разделов курса «Общая электротехника и электроника». Данный материал позволяет выполнить проектирование некоторых электротехнических и электронных устройств. Каждый из разделов пособия представляет собой самостоятельную, законченную методику расчета конкретного устройства. Объем и содержание курсовой работы определяет преподаватель-консультант.

Пояснительная записка к курсовой работе выполняется на стандартных листах формата А4 и включает следующие разделы:

1. Титульный лист соответствует стандарту для данного вида документации, принятому в ИГХТУ;
2. Содержание пояснительной записки;
3. Исходные данные для проектирования (если производится проектирование нескольких устройств, то исходные данные для каждого устройства);
4. Принципиальные схемы электротехнических или электронных устройств. Выполняются в формате А4 и включаются в Пояснительную записку.
5. Расчет принципиальной схемы с объяснением каждого действия и обоснованиями выбора всех элементов схемы.
6. Графическая часть (если это необходимо). Вольтамперные, амплитудно-частотные, фазо-частотные и другие характеристики. Векторные диаграммы, эпюры тока и напряжения и прочее.
7. Список используемой литературы.

Пояснительная записка может быть оформлена с использованием компьютерных текстовых и графических процессоров, а также различных математических сред или представлена в рукописном варианте и содержать расчет, выполненный вручную. Качество оформления пояснительной записки учитывается при окончательной оценке работы. После представления работы преподавателю-консультанту, она проверяется и подлежит защите.

## 1. Расчёт одноконтурного каскада усилителя мощности

### Данные для проектирования

$P_{\text{вых}}$  - выходная мощность каскада,

$R_{\text{н}}$  - сопротивление нагрузки,

$f_{\text{н}}-f_{\text{в}}$  - диапазон усиливаемых частот,

$M_{\text{н}}$  - коэффициент частотных искажений на нижней частоте,

$E_{\text{п}}$  - ЭДС источника питания.

На рис.1.1 приведена схема усилительного каскада.

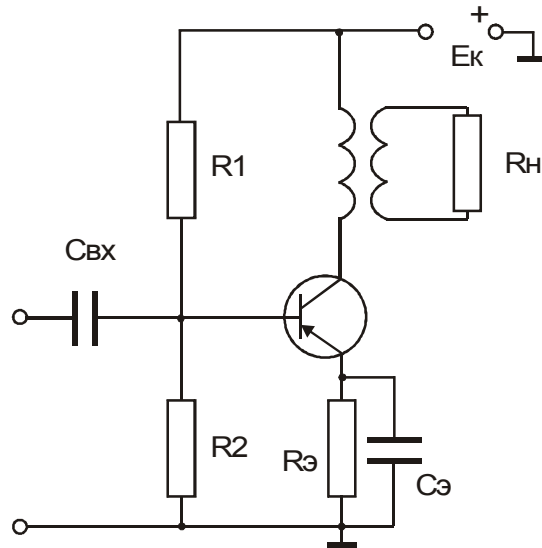


Рис. 1.1. Схема одноконтурного усилителя мощности на биполярном транзисторе

### Порядок расчета

1. Распределяют по цепям частотные искажения.

$$M_{\text{н}} = \prod_{i=1}^k M_{\text{н}i}.$$

Выходной трансформатор  $M_{\text{н}} = 1,12 \div 1,19.$

Цепь эмиттерной стабилизации  $M_{\text{н}} = 1,04 \div 1,12.$

Цепь связи RC между каскадами  $M_{\text{н}} = 1,02 \div 1,07.$

2. Вычисляют мощность сигнала, отдаваемую транзистором

$$P_{\text{с}} \approx \frac{P_{\text{вых}}}{\eta_{\text{тр}}},$$

$\eta_{\text{тр}}$  - КПД выходного трансформатора.

КПД выходного трансформатора определяют из таблицы 1.1.

Таблица 1.1

Мощность, Вт	$\eta_{\text{тр}}$
до 1	0,6÷0,8
от 1 до 10	0,7÷0,85
от 10 до 100	0,75÷0,93

3. Мощность, выделяемая на транзисторе.

$$P_0 \approx \frac{P_{\approx}}{k_A},$$

$k_A$  – коэффициент использования транзистора (0,035-0,45).

4. Ориентировочно определяют падение напряжения на активном сопротивлении первичной обмотки трансформатора и на сопротивлении  $R_{\Sigma}$

$$\Delta U = U_{R_{\Sigma 1}} + U_{R_{\Sigma}} = (0,2 \div 0,3) E_{\Pi}.$$

5. Наибольшее возможное напряжение на транзисторе

$$U_{K_{\Sigma.M}} = (E_{\Pi} - \Delta U) / (0,4 \div 0,45).$$

По двум параметрам  $P_0$  и  $U_{K_{\Sigma.M}}$  выбирают транзистор в разделах «Транзисторы средней и большой мощности».

Кроме того, обычно транзистор проверяют еще и по частоте, при этом

$$f_{h_{21\beta}} \geq \frac{F_B}{\sqrt{M_B^2 - 1}},$$

где  $F_B$  – верхняя граничная частота усилителя;

$M_B$  – коэффициент частотных искажений на данной частоте ( $M_B = M_n$ ).

Данное условие носит предварительный (ориентировочный) характер и обычно удовлетворяется. Для УНЧ как правило используют НЧ и СЧ транзисторы.

При выборе транзистора должны соблюдаться условия:

(выбираются по справочнику )

$$U_{K_{\Sigma.доп}} \geq U_{K_{\Sigma.макс}};$$

$$P_{K.доп} \geq P_0.$$

Также из справочника выписывают:  $U_{K_{\Sigma.доп}}$ ,  $P_{K.доп}$ ,  $I_{K.доп}$ ,  $\beta_{\max}$ ,  $\beta_{\min}$  ( $\beta = h_{21}$ ),

$T_{T.M^{\circ}}$  – наибольшая допустимая температура коллекторного перехода,

$R_{T.T}$  – тепловое сопротивление.

6. Определяют положение точки покоя на выходных статических характеристиках транзистора

$$U_{K_{\Sigma.0}} = E_{\Pi} - \Delta U,$$

$$I_{K.0} = P_0 / U_{K_{\Sigma.0}}.$$

Нагрузочная прямая строится по двум точкам ( $I_{к.0}$ ;  $U_{кэ.0}$ ) и  $(0; U_{кэ.м})$  на выходных статических характеристиках транзистора (схема ОЭ). Пример построения нагрузочной прямой показан на рис.1.2.

7. Определяют рабочий участок нагрузочной прямой.

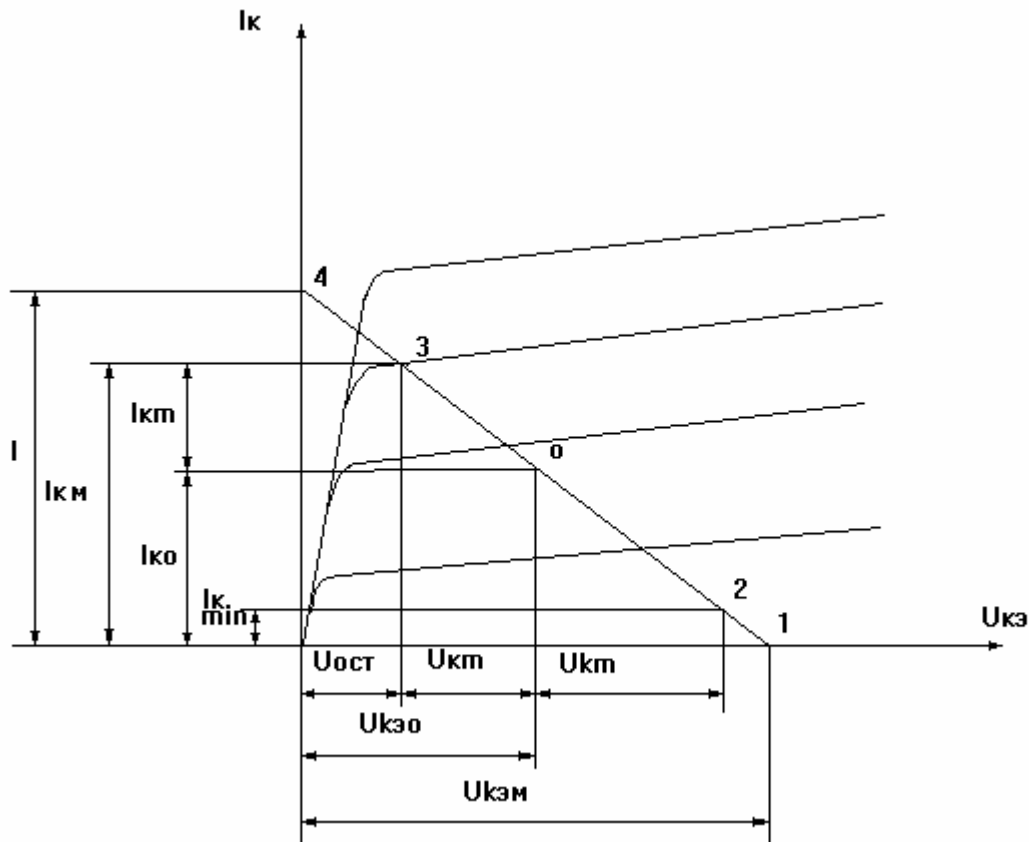


Рис.1.2. Построение нагрузочной прямой на характеристиках транзистора

Задаются величиной остаточного напряжения ( $U_{ост} = 1В$ ) и наименьшим током коллектора  $I_{к.мин}$  (без существенной ошибки принимают  $I_{к.мин} \approx 0$ ). Таким образом, рабочий участок находится между точками Т2 и Т3 (целесообразно, чтобы они были симметричны относительно точки О). Точка 3 должна лежать в районе сгиба характеристики. Если это не соблюдается, нужно изменить положение рабочих точек и, если необходимо, изменить нагрузочную прямую.

8. Из построения определяют:

$$U_{к.м} = U_{кэ.0} - U_{ост} \quad - \text{амплитуда выходного напряжения};$$

$$I_{к.м} = I_{к.м} - I_{ост} \quad - \text{амплитуда выходного тока.}$$

При этом должно соблюдаться условие  $I_{к.м} \leq I_{к.доп}$

9. Вычисляют мощность сигнала, отдаваемую транзистором

$$P_T = 0,125(I_{к.м} - I_{к.мин})^2 R_{кп},$$

$$R_{кп} = U_{кэ.м}/I \quad - \text{сопротивление нагрузки переменному току};$$

$I$  - точка пересечения нагрузочной прямой с осью ординат.

Если полученная мощность  $P_T$  меньше необходимой  $P_{\sim}$ , то увеличивают наклон нагрузочной прямой (увеличивают  $I$ ) и производят проверку.

Нагрузочная прямая не должна выходить из области допустимой мощности.

$$I_K = P_{K, \text{доп}} / U_{K, \text{Э}}$$

10. Диапазон изменения входного тока (тока базы)

$$I_{\text{б}, \text{м}} = I_{K, \text{м}} / \beta_{\text{min}}$$

$$I_{\text{б}, \text{min}} = I_{K, \text{min}} / \beta_{\text{min}}$$

11. По входной характеристике транзистора находят  $U_{\text{бэ}, \text{м}}$  и  $U_{\text{бэ}, \text{min}}$  (рис.1.3.)

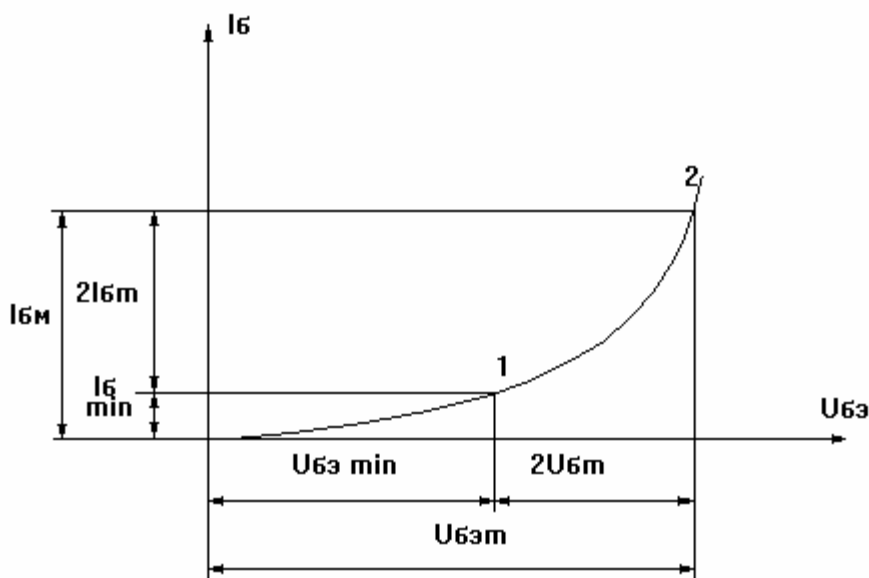


Рис. 1.3. Определение параметров входного сигнала

12. Вычисляют мощность входного сигнала и входное сопротивление транзистора переменному току.

$$P_{\text{вх}} = 2U_{\text{б}, \text{м}} \cdot 2I_{\text{б}, \text{м}} / 8; \quad R_{\text{вх}, \text{тр}} = U_{\text{б}, \text{м}} / I_{\text{б}, \text{м}},$$

$U_{\text{б}, \text{м}}$  и  $I_{\text{б}, \text{м}}$  - соответственно амплитудные значения напряжения и тока базы.

13. Сопротивление в цепи эмиттера определяют по падению напряжения на этом сопротивлении

$$R_{\text{Э}} = U_{R_{\text{Э}}} / I_{K, \text{о}}; \quad U_{R_{\text{Э}}} = (0.5 \div 0.3) \Delta U.$$

14. Определяют емкость конденсатора в цепи эмиттера

$$C_{\text{Э}} \geq 10 / (2\pi f_{\text{н}} R_{\text{Э}}).$$

Если  $C_{\text{Э}} > 30$  мкФ, то емкость можно не учитывать.

15. Задают сопротивление делителя  $R_{1-2}$

$$R_{1-2} \geq (8 \div 12) R_{\text{вх}, \text{тр}};$$

$$R_1 = (E_{\text{п}} \cdot R_{1-2}) / (I_{K, \text{о}} \cdot R_{\text{Э}}); \quad R_2 = (R_1 \cdot R_{1-2}) / (R_1 - R_{1-2}).$$

16. Вычисляют коэффициент усиления каскада по мощности

$$K_p = P_{\text{вых}} / P_{\text{вх}};$$

17. Коэффициент трансформации выходного трансформатора

$$n = \sqrt{\frac{R_H}{R_{KP} f_E}},$$

где  $R_{KP} = U_{KЭ.М}/I$ .

18. Сопротивление обмотки выходного трансформатора:

$$R_{T.1} = 0,5R_{KP}(1 - \eta_T);$$

$$R_{T.2} = 0.5R_H(1-\eta_T)/\eta_T.$$

19. Индуктивность первичной обмотки

$$L = \frac{0,159(R_H + R_{T.2})}{f_H n^2 \sqrt{M_{HT}^2 - 1}},$$

$M_{HT}$  - коэффициент частотных искажений трансформатора на нижней частоте.

20. Площадь поверхности охлаждающего радиатора,

$$S_{ox} = \frac{(1200 \div 1500)P_0}{T_{T.M}^0 - T_{cp.M}^0 - P_0 R_{TT}},$$

где

$T_{cp.M}^0$  - наибольшая возможная температура окружающей среды;

$T_{T.M}^0$  - наибольшая допустимая температура коллекторного перехода;

$R_{TT}$  - тепловое сопротивление .



## 2. Расчет каскада предварительного усиления на биполярном транзисторе

Расчет каскада предварительного усиления начинают с выбора принципиальной схемы, удовлетворяющей заданным условиям. Одна из наиболее распространенных схем представлена на рис. 2.1; здесь  $R_{вх.сл}$  – входное сопротивление следующего каскада с учетом цепей смещения.

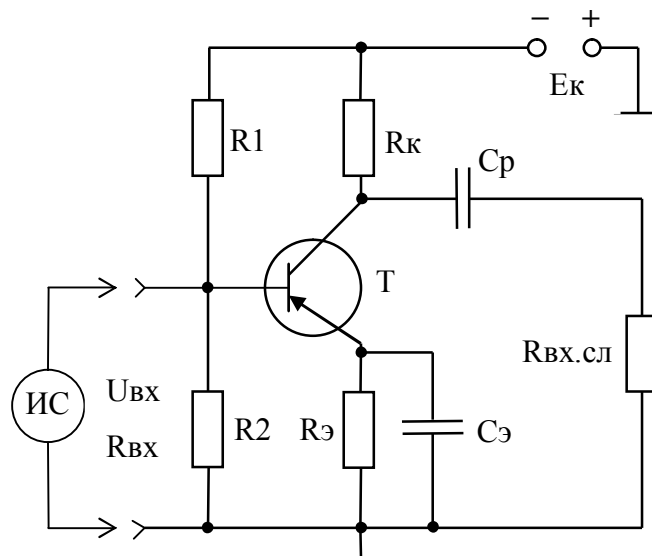


Рис. 2.1. Схема усилительного каскада на биполярном транзисторе

### Порядок расчета

1. Выбирают транзистор каскада предварительного усиления. Выбор производят по граничной частоте, току покоя коллектора и допустимому напряжению между коллектором и эмиттером  $U_{кэ.м.}$ .

Граничную частоту желательно иметь  $f_{гр \min об} \geq 3f_n \beta_{ср}$ ,

где  $f_{гр \min об}$  – минимальная граничная частота в схеме с ОБ;

$\beta_{ср}$  – средний коэффициент передачи тока выбранного транзистора в схеме ОЭ.

Максимальное допустимое значение тока коллектора применяемого транзистора  $I_{к.доп}$  должно быть больше или равно расчетному току покоя цепи коллектора  $I_{к0}$ .

$$I_{к.доп} \geq I_{к0}.$$

Расчетное значение тока покоя коллектора должно обеспечить с достаточным запасом как по нелинейным искажениям, так и с точки зрения изменения точки покоя при колебаниях температуры окружающей среды и замене транзи-

стора максимальную расчетную амплитуду переменной составляющей входного тока транзистора следующего каскада  $I_{б.м.сл}$ .

При наличии в каскаде стабилизации режима обычно достаточно иметь

$$I_{к.о} = (1.3 \div 1.7) I_{б.м.сл}$$

Если полученное значение  $I_{к.о}$  очень мало, его повышают обычно до 1mA.

Максимальное допустимое напряжение между коллектором и эмиттером транзистора должно быть не меньше напряжения питания

$$U_{кэ.доп} \geq E_k$$

Если напряжение питания усилителя для выбранного транзистора велико, его снижают включением в выходную цепь гасящего сопротивления.

Для выбранного транзистора выписать из справочника значения  $U_{кэ.доп}$ ,  $I_{к.доп}$ ,  $\beta_{max}$ ,  $\beta_{min}$ .

2. Определяют величины сопротивлений  $R_3$  и  $R_k$ :

$$R_3 = (0.3 \div 0.6) E_k / I_{к.о};$$

$$R_k = (0.1 \div 0.3) E_k / I_{к.о}.$$

3. Амплитуда переменной составляющей тока коллектора:

$$I_{к.м} = I_{б.м.сл} + U_{б.м.сл} \left( \frac{1}{R_{2сл}} + \frac{1}{R_{1сл}} + \frac{1}{R_k} \right),$$

где  $U_{б.м.сл}$  - амплитуда переменной составляющей входного напряжения транзистора следующего каскада.

4. Определяют максимальное и минимальное значения тока коллектора

$$I_{к.м} = I_{к.о} + I_{к.м};$$

$$I_{к.min} = I_{к.о} - I_{к.м}.$$

Если необходимо,  $I_{к.о}$  увеличивают и повторяют расчёт.

5. Определяют минимальное и максимальное значения тока базы (диапазон изменения входного тока):

$$I_{б.м} = I_{к.м} / \beta_{min};$$

$$I_{б.min} = I_{к.min} / \beta_{min}.$$

6. По входным характеристикам транзистора определяют:

$$U_{бэ.м} \text{ и } U_{бэ.min},$$

$$U_{б.м} \text{ и } I_{б.м}.$$

7. Определяют коэффициенты усиления каскада по току и напряжению:

$$K_I = I_{б.м.сл} / I_{б.м};$$

$$K_U = U_{б.м.сл} / U_{б.м}.$$

8. Определяют сопротивления элементов делителя напряжения  $R_1$  и  $R_2$  (аналогично тому, как и в каскаде усилителя мощности п.15 раздела 1)