

**УЗБЕКСКОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ И ИНФОРМАТИЗАЦИИ  
ТАШКЕНТСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

Методические указания к практическим занятиям и  
индивидуальным заданиям по курсу

**«Электропитание устройств связи»**

(для студентов очного и специального заочного  
обучения по направлению «Телекоммуникации»)

Ташкент 2008

## **Введение**

Настоящие методические указания предназначены для закрепления студентами теоретических знаний, полученных при изучении основных разделов курса «Электропитание устройств связи».

При выполнении расчетов студент должен обосновать выбор наиболее широко применяемых на практике схем отдельных узлов источников электропитания телекоммуникационной аппаратуры и расчет элементов принципиальных схем.

Выполнение расчетов предусматривает как расчет вручную, так и расчет с применением персональных компьютеров, большой объем работы со справочной литературой по современным радиокомпонентам. Программное обеспечение расчетов выполнено на языке программирования VisualBasic с применением .NET Framework технологий.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению образования «Телекоммуникации», очной и специальной формы обучения. Могут быть использованы также студентами родственных направлений образования.

## Практическое занятие №1

### Расчет силового трансформатора инвертора

#### 1. Теоретическая часть

Трансформатором называется статический электромагнитный аппарат, преобразующий электрическую энергию переменного тока с одними параметрами в электрическую энергию переменного тока с другими параметрами. Меняющимися параметрами могут быть: ток, напряжение, число фаз, форма кривой напряжения (в специальных трансформаторах - частота).

В устройствах электропитания трансформатор чаще всего применяется для преобразования переменного напряжения одной величины в переменное напряжение другой величины. По мощности трансформаторы бывают силовыми (на мощность от единиц кВА до сотен кВА) и маломощными (от единиц ВА до единиц кВА). Маломощные трансформаторы применяются в аппаратуре связи и радиоаппаратуре в качестве согласующих или разделительных трансформаторов или для преобразования напряжения или тока. Силовые трансформаторы применяются в цепях питания радиопредприятий и предприятий проводной связи.

Трансформатор - это аппарат переменного тока и на постоянном токе не работает!

Любой трансформатор состоит из двух основных элементов - замкнутого стального сердечника и обмоток, намотанных медным проводом. Сердечник трансформатора делается из пластин специальной электротехнической стали. Толщина этих пластин зависит от рабочей частоты трансформатора, чем больше частота, тем тоньше пластины. По форме сердечника и способу расположения на нём обмоток трансформаторы бывают стержневые, броневые (Ш-образные), торреодальные и ленточные разрезные. По схемному исполнению (т.е. по числу обмоток) трансформаторы бывают одно-, двух- и многообмоточные. Обмотка, включённая в сеть источника электрической энергии, называется первичной, а обмотка, включённая в сеть приёмника энергии (потребителя), называется вторичной. Первичная обмотка трансформатора есть только одна, а вторичных может быть несколько. Однообмоточный трансформатор называется автотрансформатором (пример - бытовой трансформатор в стабилизаторе для ТВ). У него вторичной обмоткой служат отпайки от первичной обмотки. В нём между первичной и вторичной сторонами есть и магнитная и электрическая связь. Двухобмоточный трансформатор имеет одну первичную и одну вторичную обмотки. Они электрически изолированы друг от друга. Многообмоточный трансформатор имеет одну первичную и несколько вторичных обмоток, причём все обмотки электрически не связаны между собой.

По рабочей частоте трансформаторы условно можно разделить на трансформаторы:

- пониженной частоты (ниже 50 Гц);
- промышленной частоты (50 Гц);
- повышенной частоты (100 Гц - 10 кГц);
- высокой частоты (выше 10 кГц).

По числу фаз трансформаторы бывают однофазные (рис. 1.1) и многофазные (трёхфазные, шестифазные и т.д.). Число фаз первичной обмотки определяется числом фаз источника электрической энергии, а число фаз вторичной обмотки определяется назначением трансформатора в схеме. По напряжению трансформаторы бывают низковольтные (напряжение любой его обмотки меньше 1000 В) и высоковольтные (напряжение хотя бы одной выше 1000 В).

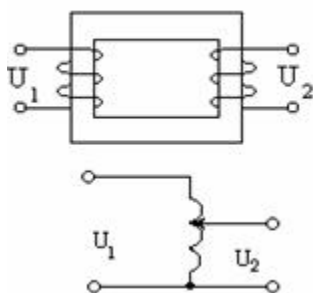


Рис.1.1.

## 2. Задание к расчету

Исходными данными для расчета силового трансформатора инвертора являются:

1. Минимальное и максимальное напряжение сети  $U_{С.мин}$ ,  $U_{С.макс}$ ;
2. Ток в нагрузке  $I_n$ ;
3. Напряжение в нагрузке  $U_n$ ;
4. Частота преобразования  $f_{пр}$ .

Требуется определить:

1. Действующие значения тока первичных и вторичных обмоток;
2. Число витков первичных и вторичных обмоток и обмотки управления;
3. Коэффициент трансформации трансформатора и цепи управления;
4. Определение проводов для обмоток;
5. Потери мощности в обмотках и магнитопроводе.

Варианты заданий приведены на таблице 1.1.

Таблица 1.1

№	$\Delta U_C, \%$	$I_H, A$	$U_H, B$	$f_{np}, кГц$	№	$\Delta U_C, \%$	$I_H, A$	$U_H, B$	$f_{np}, кГц$
1	20	0,5	3	5	41	5	9	36	30
2	4	3	40	10	42	7	1,4	5	40
3	6	10	4	15	43	9	2	27	50
4	8	15	36	20	44	2	20	5,2	100
5	10	20	5	25	45	11	4	24	5
6	12	4	27	30	45	13	6	6	10
7	14	2	5,2	40	47	15	8	20	15
8	16	7	24	50	48	17	10	9	20
9	18	9	6	100	49	19	12	15	25
10	5	11	20	5	50	20	14	3	30
11	7	18	9	10	51	4	16	40	40
12	9	3	15	15	52	6	18	4	50
13	11	6	12	25	53	10	7	5	5
14	3	5	3	30	54	12	11	27	10
15	15	13	40	40	55	14	3	5,2	15
16	17	16	4	50	56	16	15	24	20
17	19	1,5	36	100	57	18	17	6	25
18	13	17	5	5	58	3	19	20	30
19	20	12	27	10	59	5	13	9	40
20	4	9	5,2	15	60	7	20	15	50
21	6	0,5	24	20	61	9	4	12	100
22	8	3	6	25	62	2	6	20	5
23	10	10	20	30	63	11	8	9	10
24	12	15	9	40	64	13	10	15	15
25	14	20	15	50	65	15	12	3	20
26	16	4	3	100	66	17	11	40	25
27	18	2	40	5	67	19	18	4	30
28	15	7	4	10	68	4	3	36	40
29	20	9	36	15	69	6	3	5	50
30	5	11	5	20	70	8	6	27	100
31	7	18	27	25	71	10	5	5,2	5
32	9	3	5,2	30	72	12	13	24	10
33	2	3	24	40	73	14	16	6	15
34	11	6	6	50	74	16	1,5	20	20
35	13	5	20	100	75	18	17	9	25
36	15	13	9	5	76	11	12	15	30
37	17	16	15	10	77	13	1,8	12	40
38	19	1,5	12	15	78	15	2,5	20	50
39	10	17	20	20	79	17	3,6	9	100
40	16	12	9	25	80	20	6	5	20

### 3. Методика расчета

1. Максимальный ток первичной обмотки:

$$I_{1и} = 2,1 \cdot I_n \cdot U_n / (U_{вх.мин} \cdot \gamma_{макс} \cdot \eta)$$

где  $\gamma_{макс}$  – коэффициент заполнения, то есть отношение длительности импульса к периоду ( $\gamma_{макс}=0,1 \dots 0,9$ );

$\eta$  – коэффициент полезного действия преобразователя ( $\eta=0,7 \dots 0,9$ ).

2. Действующие значения тока первичной обмотки:

$$I_1 = I_{1и} \cdot \sqrt{\gamma_{макс}/3}$$

3. Коэффициент трансформации:

$$n = W_1 / W_2 = (U_n + U_{ВЫХ.ВЫПР}) \cdot (1 - \gamma_{макс}) / [(U_{вх.мин} - U_{СИ}) \cdot \gamma_{макс}]$$

где  $U_{ВЫХ.ВЫПР}$  – падение напряжения на выходном выпрямителе ( $U_{ВЫХ.ВЫПР} = 0,6 \dots 1$  В);

$U_{СИ}$  – падение напряжения на силовом транзисторе (2...5 В).

4. Действующее значение тока вторичной обмотки:

$$I_2 = I_1 / n \cdot \sqrt{\gamma_{макс}/3}$$

5. Индуктивность первичной обмотки:

$$L_1 = \gamma_{макс} \cdot U_{вх.мин} / (I_{1и} \cdot f_{пр})$$

6. Определение числа витков первичной обмотки. Выбирается тип магнитопровода и записываются его параметры  $\lambda_c$ ,  $S_c$ ,  $\mu_r$ .

$$W_1 = 10^4 \cdot \sqrt{L_1 \lambda_c / (1,26 \mu_r S_c)}$$

7. Приращение индукции за время импульса:

$$\Delta B = 10^4 \cdot U_{вх.мин} \cdot \gamma_{макс} / (W_1 \cdot S_c \cdot f_{пр})$$

8. Коэффициент трансформации обмотки управления:

$$n_y = W_y / W_2 = (U_y + U_{ВЫХ.ВЫПР}) \cdot (1 - \gamma_{макс}) / [(U_{вх.мин} - U_{СИ}) \cdot \gamma_{макс}]$$

где  $U_y$  – напряжения питания цепи управления ( $U_y = 12 \dots 15$  В).

9. Число витков остальных обмоток:

$$W_2 = n \cdot W_1$$

$$W_y = n_y \cdot W_1$$

10. Диаметр проводов обмоток:

$$d_{1\text{пр.из}} = \pi \cdot d_{\text{вн.м}} / W_1$$

$$d_{2\text{пр.из}} = 1,13 \cdot \sqrt{I_2 / j}$$

где  $j$  – плотность тока ( $J = 4 \dots 10 \text{ A/мм}^2$ ).

11. Потери в проводе первичной обмотки:

$$P_{w1} = I_1^2 \cdot \rho_{w1} \cdot b_1$$

где  $\rho_{w1}$  – погонное сопротивление первичной обмотки ( $\rho_{w1} = 0,142 \text{ Ом/м}$ );

$b_1$  – длина провода первичной обмотки ( $b_1 = 10 \cdot j \cdot W_1$ ).

12. Потери в проводе вторичной обмотки:

$$P_{w2} = I_2^2 \cdot \rho_{w2} \cdot b_2$$

где  $\rho_{w2}$  – погонное сопротивление вторичной обмотки ( $\rho_{w2} = 0,015 \text{ Ом/м}$ )

$b_2$  – длина провода вторичной обмотки ( $b_2 = 10 \cdot j \cdot W_2$ ).

13. Потери в магнитопроводе эквивалентно к потерям в проводах обмотки.

14. Потери в трансформаторе:

$$P_{\text{Тр}} = 2 \cdot (P_{w1} + P_{w2})$$

#### 4. Выполнение расчета

Запуск программного обеспечения осуществляется двойным нажатием на файл «Rasch\_transformatora.exe».

В открывшемся окне (рис 1.2) в первой части расчета вводятся данные о студенте, минимальное и максимальное напряжение сети, ток и напряжение на нагрузке, коэффициент заполнения, коэффициент полезного действия преобразователя, потеря напряжения на силовом ключе и частота преобразования согласно варианта.

После ввода данных нажимается кнопка «Введите данные». Нажатие на закладку «2» приводит к переходу ко второй части расчета. Переход к другим частям расчета производится аналогично и введением необходимых данных (или получением соответствующих расчетных данных).

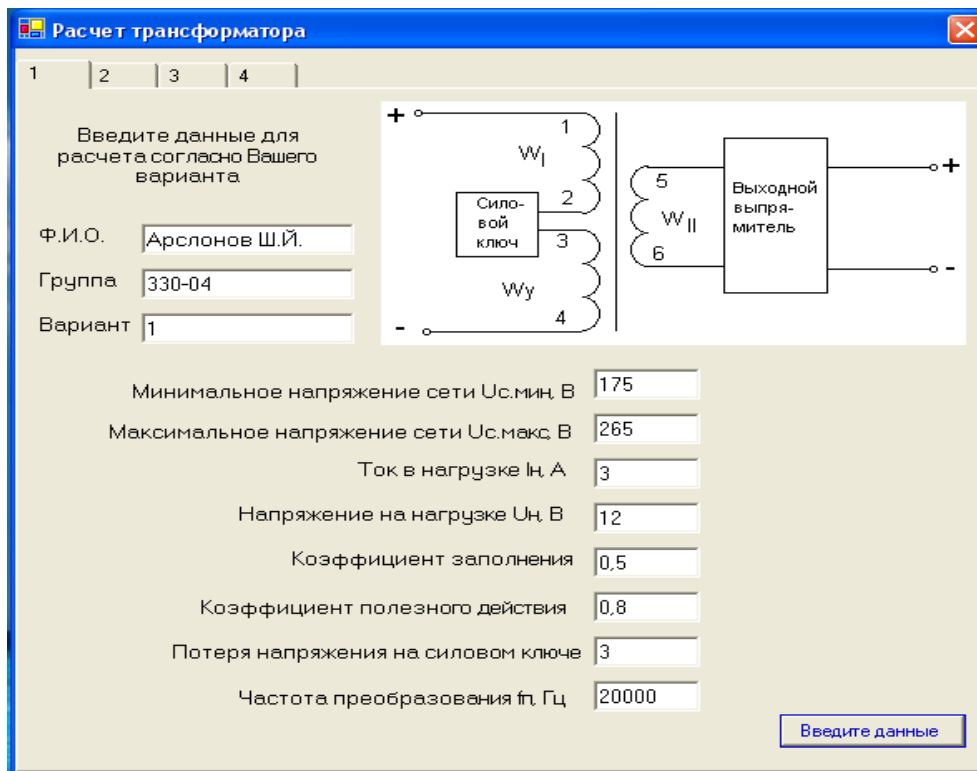


Рис. 1.2

После нажатия кнопки «Конец расчета» результаты расчета будут сохранены в файле «Rasch\_transformatora.txt» (рис. 1.3).

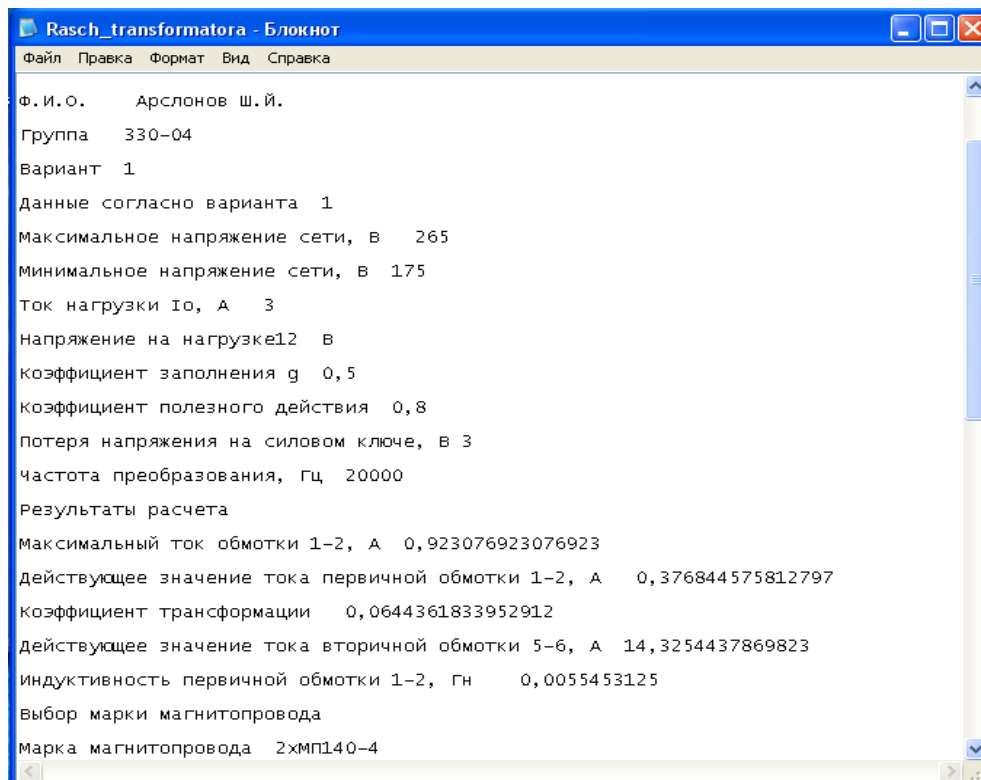


Рис. 1.3

## Практическое занятие №2

### Расчет параметрического стабилизатора

#### 1. Теоретическая часть

В параметрических стабилизаторах постоянного напряжения в качестве линейных элементов применяют резисторы, а в качестве нелинейных – полупроводниковых (кремниевые) стабилитроны и полупроводниковые стабилитроны.

Кремниевый стабилитрон – это плоскостной диод. Его вольтамперная характеристика приведена на рис. 2.1,б. Рабочей частью характеристики является обратная ветвь в области пробоя, где незначительное увеличение напряжения вызывает существенное увеличение тока через стабилитрон. Однако электрический пробой перехода не приводит к повреждению стабилитрона. Таким образом, если стабилитрон включен в обратном направлении, то при значительных изменениях протекающего через него тока (от  $I_{ст.мин}$  до  $I_{ст.макс}$ ) напряжение на нем остается практически постоянным. Если же обратное напряжение на стабилитроне превысит допустимое, мощность, выделяемая в стабилитроне, превысит допустимую. В результате этого электрический пробой переходит в тепловой, и тогда наступает необратимое разрушение p-n перехода.

Принципиальная схема параметрического стабилизатора напряжения на стабилитроне VD приведена на рис. 2.1,а. Сопротивление балластного резистора  $R_0$  подбирается так, чтобы падение напряжения на нем составляло (0,5...3) В

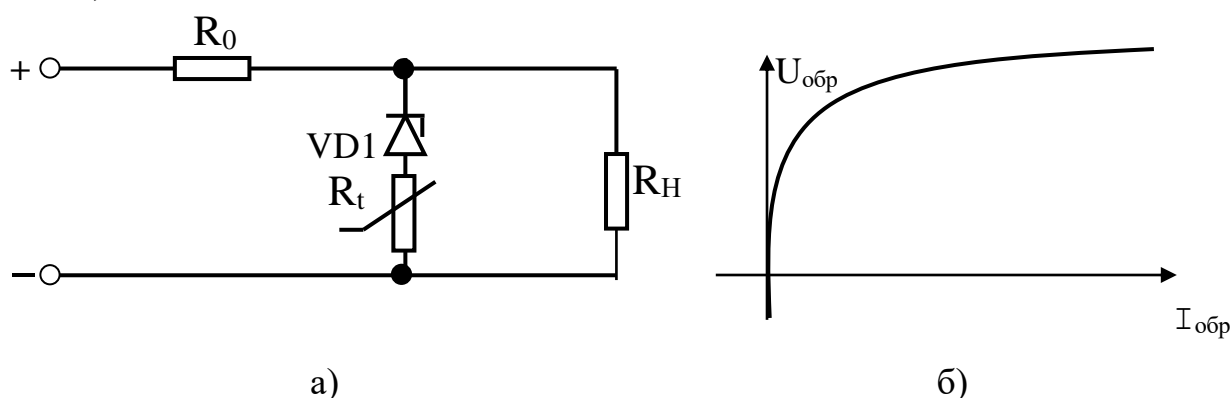


Рис. 2.1.

При увеличении напряжения на входе стабилизатора  $U_{вх}$  напряжение на его выходе  $U_{вых}$ , т.е. на нагрузке  $R_H$ , стремится к увеличению. Но небольшое увеличение напряжения  $\Delta U_{ст}$  на стабилитроне  $VD$  вызывает резкое увеличение тока через него. При этом увеличивается падение напряжения на балластном резисторе  $R_0$ , а напряжение на нагрузке  $R_H$  изменяется незначительно. Приращение напряжения на входе стабилизатора  $\Delta U_{вх}$  распределяется между изменением напряжения на балластном

резисторе  $\Delta U_{R_0}$  и стабилитроне  $\Delta U_{ст}$ :  $\Delta U_{вх} = \Delta U_{R_0} + \Delta U_{ст}$ . Так как сопротивление балластного резистора  $R_0$  много больше сопротивления стабилитрона  $R_d$  ( $R_0 \gg R_d$ ), то почти все изменения входного напряжения выделяются на сопротивлении стабилитрона  $R_d$  и напряжение на нагрузке остается стабильным. Коэффициент полезного действия такого стабилитрона не превышает 30%, а коэффициент стабилизации  $K_{ст} = 50$ . Для получения большего коэффициента стабилизации применяют каскадное включение стабилитронов, но при этом резко уменьшается КПД стабилизатора. Для получения напряжения большего чем допускают параметры одного стабилитрона применяют их последовательное включение.

Параметрические стабилизаторы постоянного напряжения на кремниевых стабилитронах имеют следующие недостатки:

Небольшая допустимая мощность в нагрузке (0,5 ... 3 Вт); невысокий коэффициент стабилизации (до 30); большое выходное сопротивление стабилизатора (6 ... 20 Ом); зависимость параметров стабилитрона от температуры; низкий КПД - (до 30 %).

Из-за этих недостатков параметрические стабилизаторы на кремниевых стабилитронах применяются для стабилизации напряжения питания вспомогательных узлов аппаратуры связи, где не требуются высокие показатели их качества.

Достоинства; простота схемы; малые габариты и масса. Параметрические стабилизаторы на кремниевых стабилитронах широко используются в компенсационных стабилизаторах напряжения в качестве источников опорного напряжения.

Параметрические стабилизаторы на кремниевых стабилитронах широко используются в компенсационных стабилизаторах напряжения в качестве источников опорного напряжения.

## 2. Задание к расчету

Исходными данными для расчета параметрического стабилизатора являются:

1. Выходное напряжение  $U_{вх} = U_{ст}$ ;
2. Выходной ток  $I_{вх} = I_{ст}$ ;
3. Нестабильность входного напряжения  $\Delta U_{вх}$ ;
4. Сопротивление нагрузки  $r_H = U_{ст} / I_{ст}$ ;

Требуется определить:

1. Тип стабилитрона;
2. Номиналы ограничительного резистора и терморезистора;
3. Коэффициент стабилизации  $K_{ст}$ ;
4. Нестабильность выходного напряжения  $\Delta U_{вх}$ ;
5. Коэффициент полезного действия стабилизатора  $\eta$ .

Варианты заданий приведены в таблице 2.1.

Таблица 2.1

№	U <sub>ВЫХ</sub> , В	I <sub>ВЫХ</sub> , МА	ΔU <sub>ВХ</sub> , %	№	U <sub>ВЫХ</sub> , В	I <sub>ВЫХ</sub> , МА	ΔU <sub>ВХ</sub> , %
1	9,1	33	5	41	13	12	10
2	3,3	33	8	42	15	10	15
3	3,9	30	10	43	16	9,4	12
4	4,7	26	15	44	18	8,3	6
5	5,6	21	12	45	20	7,5	9
6	6,8	18	6	46	22	6,8	14
7	3,3	15	9	47	24	6,3	18
8	3,9	15	14	48	27	180	20
9	4,7	13	18	49	32	150	5
10	5,6	11	20	50	39	130	8
11	9	9	5	51	47	110	10
12	8,5	7	8	52	56	96	15
13	6,8	120	10	53	68	75	12
14	0,7	22	15	54	82	60	6
15	6,2	20	12	55	100	50	9
16	6,8	20	6	56	4,7	26	14
17	7	18	9	57	5,6	21	18
18	7,5	17	14	58	6,8	18	10
19	8,2	15	18	59	3,3	15	15
20	9,1	100	20	60	3,9	15	12
21	1,3	100	5	61	4,7	13	6
22	1,9	12	8	62	5,6	11	9
23	6,8	12	10	63	9	9	14
24	6,4	12	15	64	8,5	7	18
25	6,8	81	12	65	6,8	120	20
26	3,3	70	6	66	0,7	22	5
27	3,9	58	9	67	6,2	20	8
28	4,7	55	14	68	6,8	20	10
29	5,6	45	18	69	7	18	15
30	6,8	37,5	20	70	7,5	17	12
31	3,3	37	5	71	8,2	15	6
32	5,6	37	8	72	9,1	100	9
33	4,7	26,5	10	73	1,3	100	14
34	5,6	22,4	15	74	1,9	12	18
35	7,5	20	12	75	6,8	12	12
36	8,2	18	6	76	6,4	12	6
37	9,1	16	9	77	6,8	81	9
38	10	15	14	78	3,3	70	14
39	11	14	18	79	3,9	58	18
40	12	13	20	80	4,7	55	10

### 3. Методика расчета

1. По напряжению стабилизации выбираем тип стабилизатора с дифференциальным сопротивлением  $r_{CT}$  по справочной литературе исходя из следующего требования:

$$U_{ВЫХ} = U_{СТ}$$

2. С учетом приемлемого КПД стабилизатора выбираем ориентировочное значение сопротивления ограничительного резистора  $R_0$  и вводим его значение согласно стандарта.

3. Входной ток и необходимое входное напряжение:

$$\begin{aligned} I_{ВХ} &= I_{СТ} + I_{ВЫХ} \\ U_{ВХ} &= U_{ВЫХ} + I_{ВХ} R_0 \end{aligned}$$

4. Коэффициент стабилизации:

$$K_{СТ} = \left[ 1 - \frac{I_{ВХ} R_0}{U_{ВХ}} \right] \cdot \frac{R_0 + r_{СТ}}{r_{СТ}}$$

5. Нестабильность выходного напряжения:

$$\Delta U_{ВЫХ} = \frac{U_{СТ2} - U_{СТ1}}{U_{ВЫХ}} = \frac{U_{ВХ2} - U_{ВХ1}}{K_{СТ} U_{ВХ}}$$

6. Коэффициент полезного действия стабилизатора:

$$\eta = \frac{I_{СТ} U_{СТ}}{(I_{СТ} + I_{ВЫХ}) U_{ВХ}}$$

7. Рассчитывается сопротивление терморезистора  $R_T$  и выбирается его значение согласно стандарта.

$$R_T = R_H - R_0 - r_{СТ}$$

### 4. Выполнение расчета

Запуск программного обеспечения осуществляется двойным нажатием на файл «Rasch\_param\_stab.exe».

В открывшемся окне (рис.2.2) в первой части расчета вводятся данные о студенте, выходное напряжение, выходной ток и нестабильность входного напряжения.

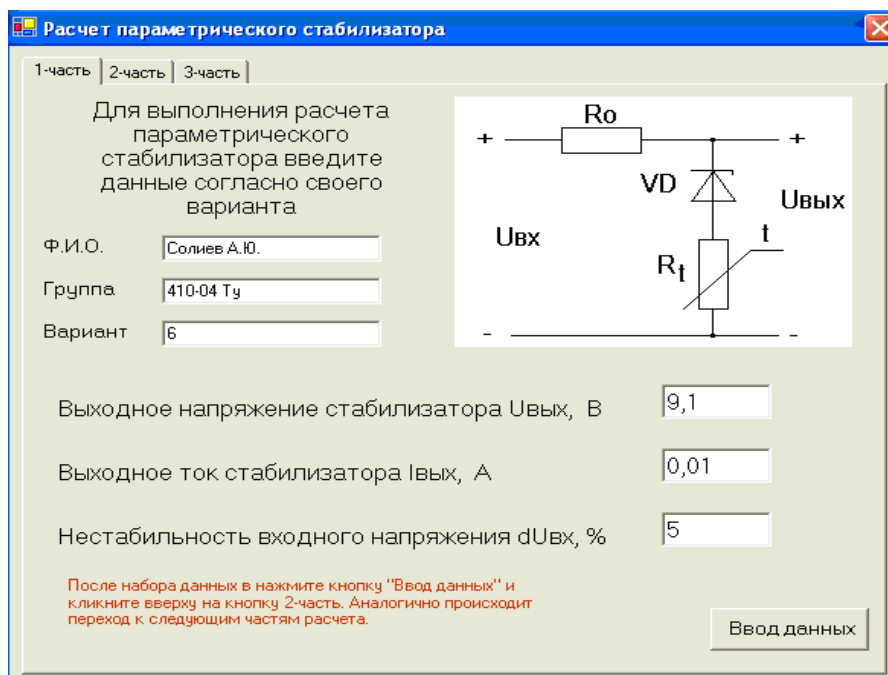


Рис. 2.2.

После ввода данных нажимается кнопка «Ввод данных». Нажатие на закладку «2-часть» приводит к переходу ко второй части расчета. Переход к другим частям расчета производится аналогично и введением необходимых данных (или получением соответствующих расчетных данных).

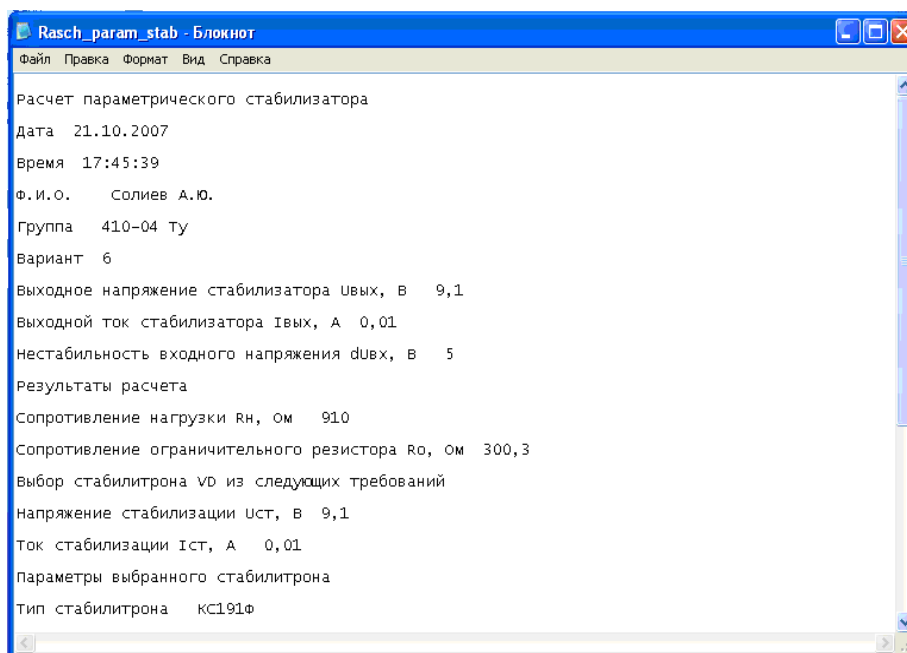


Рис. 2.3

После нажатия кнопки «Конец расчета» результаты расчета будут сохранены в файле «Rasch\_param\_stab.txt» (рис.2.3) в виде отчета задания.

## Практическое занятие №3

### Расчет линейного стабилизатора на базе ИМС

#### 1. Теоретическая часть

В компенсационных стабилизаторах напряжения (КСН) с выходными напряжениями до 30 В широко используются интегральные стабилизаторы серии КР142ЕН. Выпускаются интегральные стабилизаторы трех видов для источников электропитания:

- 1) с регулируемым выходным напряжением (142ЕН1А,Б, 142ЕН2А,Б, 142ЕН3,4, 142ЕН10);
- 2) с фиксированным напряжением, которое при необходимости можно подстраивать с помощью внешнего делителя напряжения (142ЕН6А,Б,В,Г);
- 3) с фиксированным выходным напряжением (142ЕН5А,Б,В,Г, 142ЕН8А,Б,В, 142ЕН9А,Б,В).

Интегральные стабилизаторы напряжения с фиксированным выходным напряжением представляют собой функционально законченные микросхемы. Они отличаются большей мощностью по сравнению с первыми двумя типами. Кроме того, стабилизаторы третьего типа повышают надежность электронных средств благодаря малому количеству выводов (три или четыре) и не требуют дополнительных внешних компонентов. Ниже рассмотрены схемы включения интегральных стабилизаторов напряжения. Основные параметры микросхем серии 142 приведены в табл. 3.1.

Для получения заданных выходных напряжений и улучшения режима работы к микросхеме подсоединяют дополнительные компоненты. На рис. 3.1 показана основная схема включения микросхем 142ЕН1А,Б и 142ЕН2А,Б.

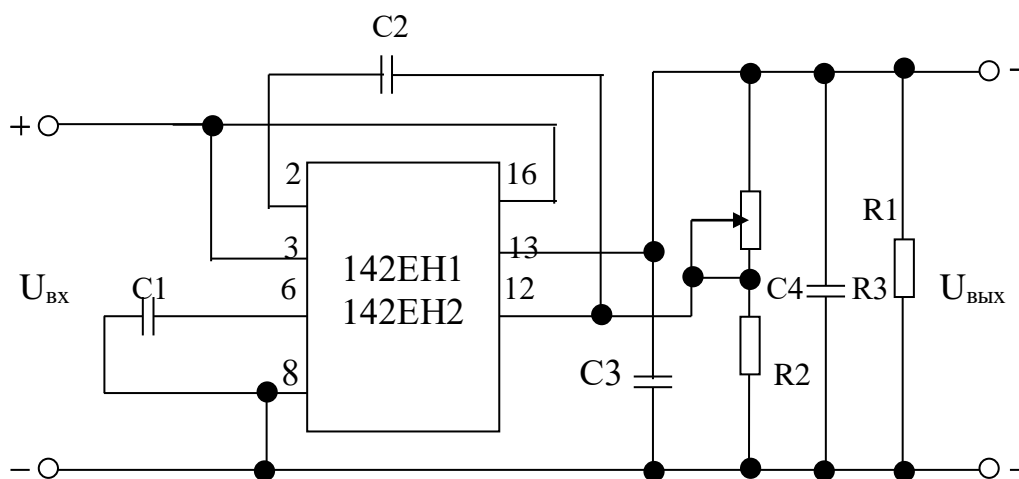


Рис.3.1.

Для повышения устойчивости работы микросхем рекомендуется включение неполярных конденсаторов C1 и C3 емкостью 0,1 мкФ между выводами 6 и 8 (вывод 6 — от внутреннего источника опорного напряжения) и выводами 13 и 8. Резисторы R1 и R2 образуют делитель регулируемого выходного напряжения, R3 — резистор нагрузки, C2 и C4 — корректирующие конденсаторы.

Таблица 3.1

## Основные параметры ИМС серии 142

Условное обозначение	Классификационные параметры в нормальных климатических условиях						Выходной ток (А) при температуре корпуса (°С)					Диапазон входного напряжения, В
	Номинальное напряжение, В	Установочный допуск вых. напряжения, %	Нестабильность по напряжению, %/В	Нестабильность по току, %/А	Минимальное падение напряжения, В	-60	от -40 до +100	от -20 до +80	от -60 до +125	+125		
142ЕН5А 142ЕН5Б 142ЕН5В 142ЕН5Г	5	±2	0,05	1,0	2		2		1,2			3...15
142ЕН6А	±15	±2	0,0015	1,0	2,5				0,2			
142ЕН6Б	±15	±2	0,005	1,0	2,5				0,2			+40... -40
142ЕН6В	±15	±6,7	0,005	1,0	2,5				0,2			
142ЕН6Г	±15	±6,7	0,005	1,0	2,5				0,15			
142ЕН8А	9	±3	0,05	0,67	2,5			1,5		0,5		9..35
142ЕН8Б	12	±3	0,05	0,67	2,5			1,5		0,5		9..35
142ЕН8В	15	±3	0,05	0,67	2,5			1,5		0,5		9..35
142ЕН9А	20	±2	0,05	0,67	2,5			1,5		0,5		20..40
142ЕН9Б	24	±2	0,05	0,67	2,5			1,5		0,5		20..40
142ЕН9В	27	±2	0,05	0,67	2,5			1,5		0,5		20..40

Ток делителя напряжения должен быть не менее 1,5 мА, а ток через резистор R3 должен превышать ток делителя. Типовые емкости конденсаторов при уровнях выходного напряжения ниже 5 В составляют: C2 > 0,1 мкФ; C3 = (5...10) мкФ. При уровнях выходного напряжения выше 5 В емкости конденсаторов выбираются из условий: C2 > 100 пФ; C3 > 1 мкФ.

Основная схема включения микросхем 142ЕН5А,Б,В,Г приведена на рис. 3.2.

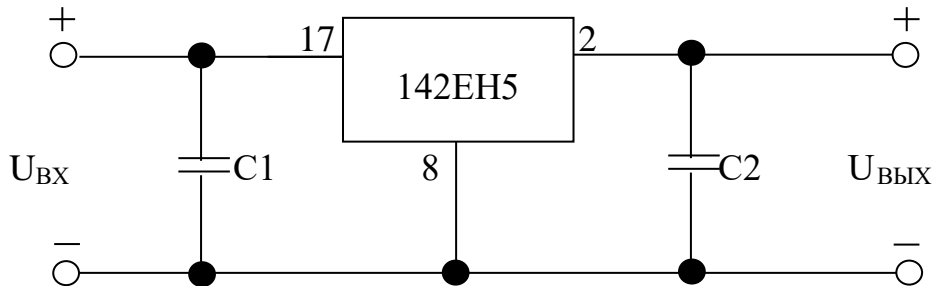


Рис. 3.2.

Схема стабилизатора напряжения с шунтирующим транзистором и ограничением тока приведена на рис. 3.3. Максимально допустимый ток микросхемы увеличивается благодаря транзистору VT2.

Пороговый ток  $I_{\text{ПОТ}}$  при срабатывании защиты от перегрузки по току имеет разброс, определяемый существенным разбросом статического коэффициента усиления транзистора VT2. Поэтому для ограничения тока на определенном уровне при перегрузках в схему введены транзистор VT1 и резистор R1.

Схема работает следующим образом. При малом значении тока нагрузки падение напряжения на резисторе R2 невелико и транзистор VT2 закрыт. При увеличении тока нагрузки увеличивается падение напряжения на резисторе R2 и транзистор VT2 открывается, причем ток в нагрузку поступает двумя путями: через микросхему и через шунтирующий транзистор VT2. При определенном значении тока падение напряжения на резисторе R1 открывает транзистор VT1, шунтируя переход эмиттер-база транзистора VT2. Благодаря этому ограничивается ток на заданном уровне даже при коротком замыкании в нагрузке, а микросхема отключается от коротко-замкнутой цепи собственной внутренней защитой.

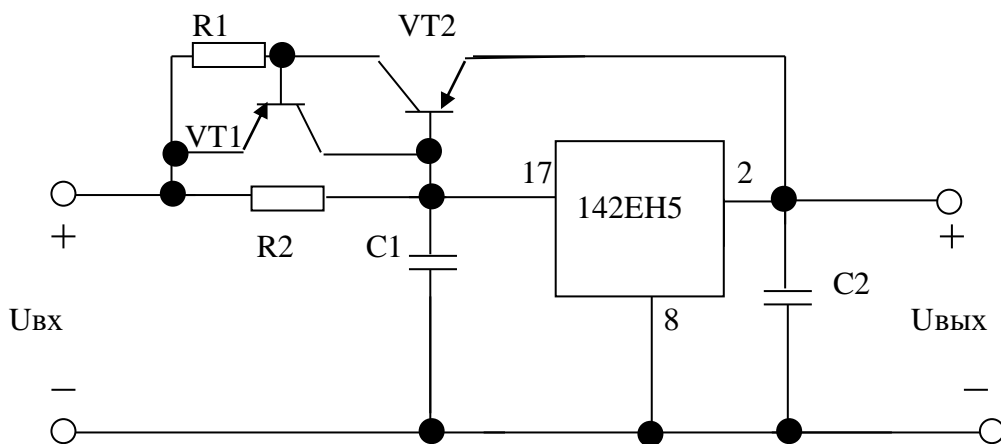


Рис. 3.3.

## 2. Задание к расчету

Исходными данными для расчета линейного стабилизатора на ИМС (рис. 3.3) являются:

1. Входное напряжение  $U_{ВХ}$ .
2. Выходное напряжение  $U_{ВЫХ}$ .
3. Выходной ток  $I_{ВЫХ}$ .

Требуется определить:

1. Тип интегрального стабилизатора.
2. Тип транзисторов и определение их режима работы.
3. Номиналы ограничительных резисторов.

Варианты заданий приведены в таблице 3.2.

Таблица 3.2

№	$U_{ВХ}, В$	$U_{ВХ}, В$	$I_{ВЫХ}, А$	№	$U_{ВХ}, В$	$U_{ВХ}, В$	$I_{ВЫХ}, А$
1	2	3	4	1	2	3	4
<b>1</b>	14±2	5	0,5	<b>41</b>	20±5	9	1,0
<b>2</b>	16±3	15	1,0	<b>42</b>	12±1	9	1,5
<b>3</b>	24±4	12	1,5	<b>43</b>	24±2	16	2,0
<b>4</b>	20±5	9	2,0	<b>44</b>	36±3	27	0,5
1	2	3	4	1	2	3	4
<b>5</b>	12±1	9	0,5	<b>45</b>	18±6	15	1,0
<b>6</b>	24±2	16	1,0	<b>46</b>	30±5	6	1,5
<b>7</b>	36±3	27	1,5	<b>47</b>	12±2	3	2,0
<b>8</b>	18±6	15	2,0	<b>48</b>	24±2	12	0,5
<b>9</b>	30±5	6	0,5	<b>49</b>	16±3	8	1,4
<b>10</b>	12±2	3	1,0	<b>50</b>	18±3	15	1,5
<b>11</b>	24±2	12	1,5	<b>51</b>	10±3	6	2,0
<b>12</b>	16±3	8	2,0	<b>52</b>	12±1	5	0,5
<b>13</b>	18±3	15	0,5	<b>53</b>	24±3	5,2	1,0
<b>14</b>	10±3	6	1,0	<b>54</b>	36±2	24	1,5
<b>15</b>	12±1	5	1,5	<b>55</b>	22±4	20	2,0
<b>16</b>	24±3	5,2	2,0	<b>56</b>	20±3	16	0,5
<b>17</b>	36±2	24	0,5	<b>57</b>	12±2	8	1,0
<b>18</b>	22±4	20	1,0	<b>58</b>	24±3	15	1,5
<b>19</b>	20±3	16	1,5	<b>59</b>	36±4	32	2,0
<b>20</b>	12±2	8	2,0	<b>60</b>	18±5	9	0,5
<b>21</b>	24±3	15	0,5	<b>61</b>	20±4	9	1,0
<b>22</b>	36±4	32	1,0	<b>62</b>	12±3	3	1,5
<b>23</b>	18±5	9	1,5	<b>63</b>	24±3	16	2,0
<b>24</b>	20±4	9	2,0	<b>64</b>	36±3	15	0,5
<b>25</b>	12±3	3	0,5	<b>65</b>	19±3	20	1,5
<b>26</b>	24±3	16	1,0	<b>66</b>	30±3	5	2,0
<b>27</b>	36±3	15	1,5	<b>67</b>	12±2	8	0,5

1	2	3	4	1	2	3	4
<b>28</b>	19±3	20	2,0	<b>68</b>	24±2	9	1,0
<b>29</b>	30±3	5	0,5	<b>69</b>	16±2	15	1,5
<b>30</b>	12±2	8	1,0	<b>70</b>	18±2	16	2,0
<b>31</b>	24±2	9	1,5	<b>71</b>	30±2	25	0,5
<b>32</b>	16±2	15	2,0	<b>72</b>	12±1	5	1,0
<b>33</b>	18±2	16	0,5	<b>73</b>	24±4	20	1,5
<b>34</b>	30±2	25	1,0	<b>74</b>	36±3	5	2,0
<b>35</b>	12±1	5	1,5	<b>75</b>	24±4	12	0,5
<b>36</b>	24±4	20	2,0	<b>76</b>	10±3	5	1,0
<b>37</b>	36±3	5	0,5	<b>77</b>	12±2	9	1,5
<b>38</b>	24±4	12	1,0	<b>78</b>	16±2	15	2,0
<b>39</b>	10±3	5	1,5	<b>79</b>	18±2	16	0,5
<b>40</b>	12±2	9	2,0	<b>80</b>	30±2	25	1,0

### 3. Методика расчета

1. Рассчитывается схема на рис. 3.3 с использованием микросхем серий 142ЕН при входном напряжении  $U_{ВХ}$ , выходном напряжении  $U_{ВЫХ}$  и выходном токе  $I_{ВЫХ}$ . Схема должна обеспечивать ограничение тока на заданном уровне при коротком замыкании в нагрузке. Сначала выбирается тип интегральной микросхемы. Далее выбирается транзистор VT2 из условия рассеивания им выделяющейся мощности в режиме короткого замыкания нагрузки. Цепь ограничения тока рассчитывается с учетом максимального тока нагрузки  $I_{ВЫХ} = I_{Кmax}$ .

2. При коротком замыкании нагрузки в транзисторе VT2 выделяется мощность

$$P_{VT2} = U_{ВЫХ} \cdot I_{ВЫХ}.$$

С учетом разброса параметров компонентов цепи ограничения (напряжения на переходе эмиттер-база транзистора VT1 и сопротивления резистора R1) эту мощность рекомендуется увеличить на 30% и принять

$$P_{VT2} = 1,3 \cdot P_{VT2}$$

3. В качестве транзистора VT2 выбирается тип транзистора, статистический коэффициент усиления которого  $\beta$  при токе коллектора  $I_K$ . Ток базы при этом

$$I_{БVT2} = I_{Кmax} / (1 + \beta)$$

С учетом разброса параметров напряжения  $U_{БЭ}$  транзистора VT2 и сопротивления резистора R2 увеличиваем ток базы транзистора VT2 на 30% :

$$I_{BVT2.UB} = 1,3 \cdot I_{BVT2}.$$

4. Выбираем тип транзистора VT1. Для перевода его в открытое состояние падение напряжения на резисторе R1 должно быть не менее 0,65 В. Исходя из этого, сопротивление резистора R1

$$R1 = U_{ЭБVT2} / I_{Kmax}.$$

5. Минимальный ток нагрузки, превышение которого приводит к переводу транзистора VT2 в открытое состояние, равен  $mI_B$ , где коэффициент  $m$  выбираем в пределах 0,1..0,9. Тогда сопротивление резистора R2 составит:

$$R2 = U_{ЭБVT2} / mI_{B.VT2.UB}$$

#### 4. Выполнение расчета

Запуск программного обеспечения осуществляется двойным нажатием на файл «Int\_stab.exe».

В открывшемся окне (рис. 3.4) в первой части расчета вводятся данные о студенте, входное напряжение, выходной ток и напряжение.

После ввода данных нажимается кнопка «Введите данные». Нажатие на закладку «2» приводит к переходу ко второй части расчета.

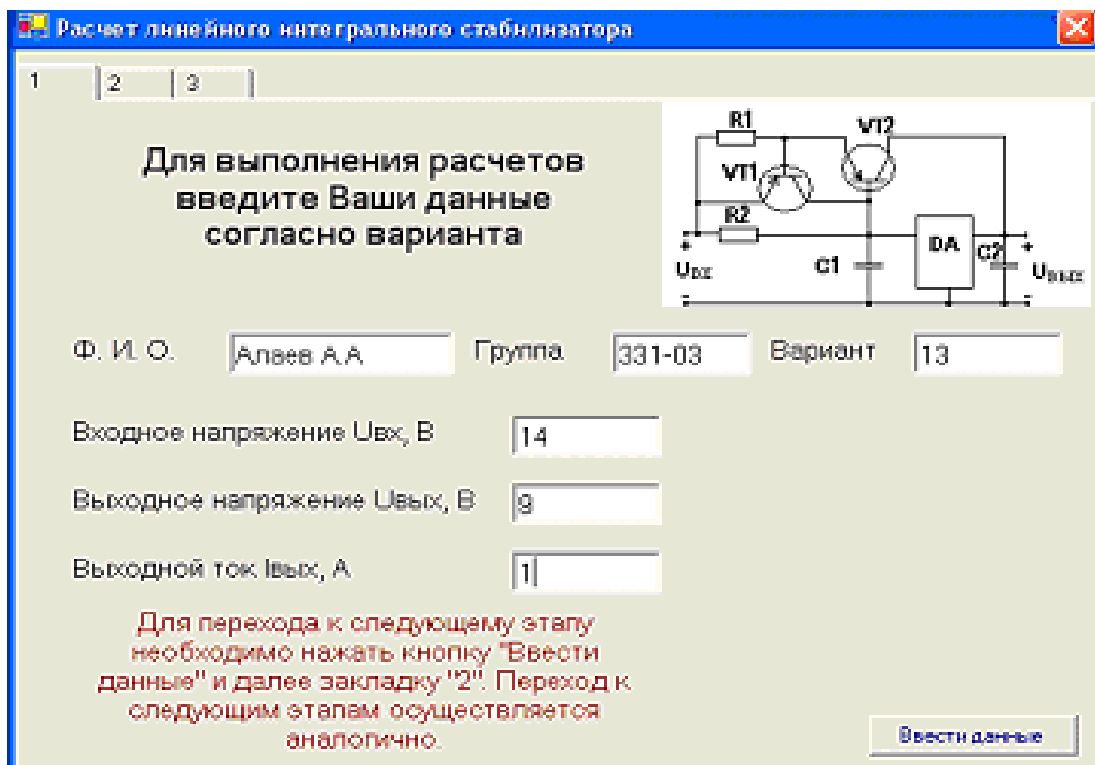


Рис. 3.4.

Переход к другим частям расчета производится аналогично и введением необходимых данных (или получением соответствующих расчетных данных).

После нажатия кнопки «Конец расчета» результаты расчета будут сохранены в файле «Int\_stab.txt» (рис. 3.5).

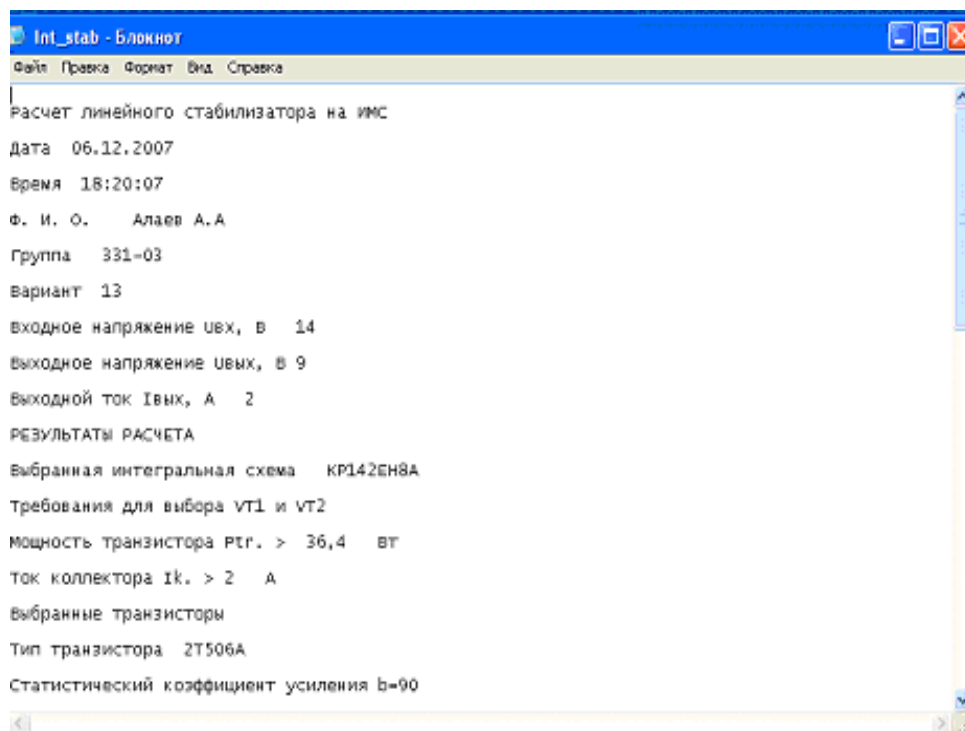


Рис. 3.5

## Практическое занятие №4

### Расчет входного фильтра импульсного стабилизатора

#### 1. Теоретическая часть

Напряжение источников входной электроэнергии переменного или постоянного тока, от которых питаются источник вторичного электропитания (ИВЭ), в силу разных причин имеют широкие пределы изменения номинала:  $\pm 20 \dots 30 \%$ . Кроме того, в процессе работы изменяется ток, потребляемый аппаратурой. Поэтому большинство ИВЭ содержат в своем составе стабилизаторы напряжения и тока как простейшие параметрические, компенсационные так, и более сложные импульсные стабилизаторы.

К первичному источнику питания обычно подключается большое число различных потребителей электроэнергии. Для уменьшения их взаимного влияния на вход ИСН включают сглаживающие фильтры  $L_{ВХ}C_{ВХ}$  (рис. 4.1).

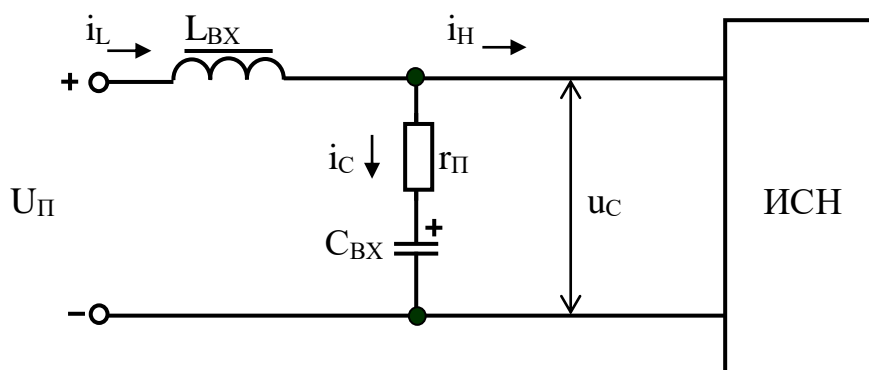


Рис. 4.1

Характерными особенностями работы такого входного фильтра является небольшое переменное напряжение на дросселе  $L_{ВХ}$  и большие скачкообразные изменения тока  $i_C$ , протекающего через конденсатор  $C_{ВХ}$ .

На рис. 4.2 приведены временные диаграммы изменений токов и напряжения для элементов входного фильтра при его работе на ИСН понижающего и инвертирующего типов.

На интервале времени  $\gamma T$  через регулирующий транзистор стабилизатора протекает ток  $i_H$ , равный сумме тока дросселя  $i_L$  и разрядного тока  $i_C$  конденсатора.

При закрытом регулирующем транзисторе ИСН (интервал времени  $(1 - \gamma)T$ ) ток  $i_H = 0$  и происходит заряд конденсатора  $C_{ВХ}$  током  $i_L = i_C$ . Скачкообразные изменения напряжения на конденсаторе обусловлены его эквивалентным последовательным сопротивлением  $r_P$ .

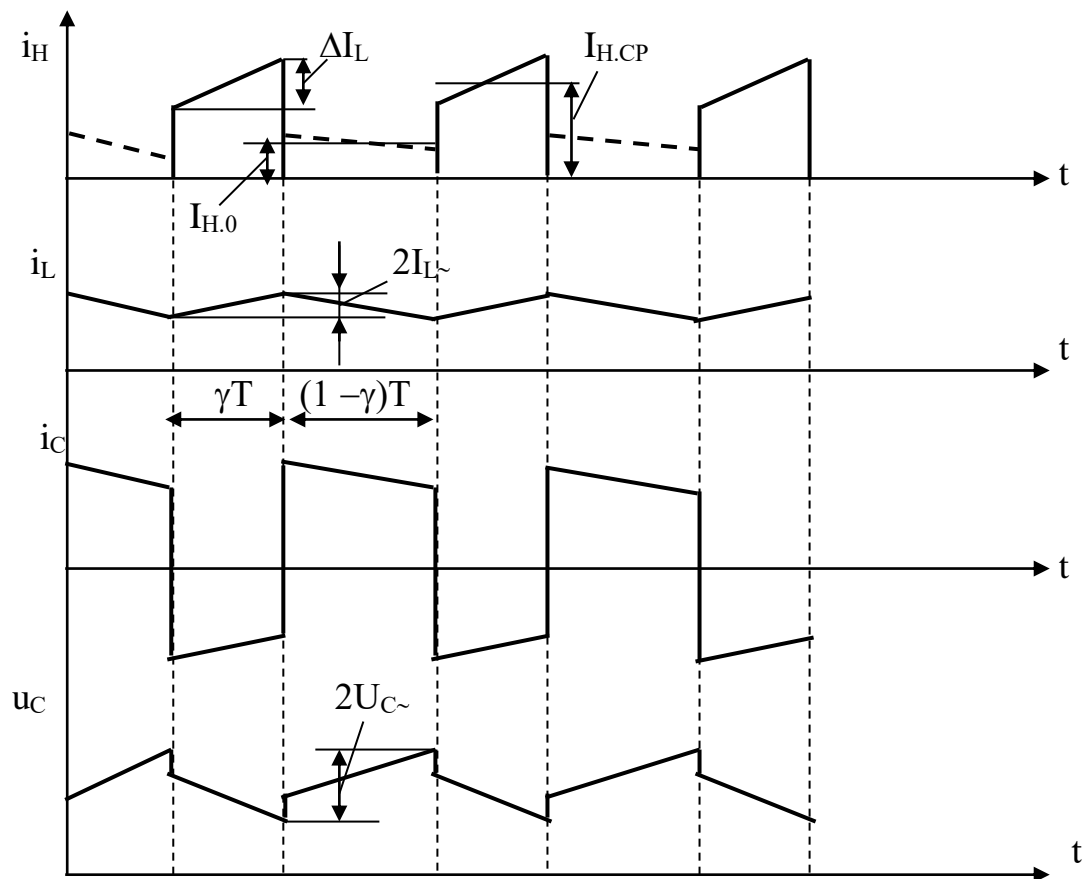


Рис. 4.2

## 2. Задание к расчету

Исходными данными для расчета входного фильтра импульсного стабилизатора являются:

1. Входное напряжение  $U_{П}$ .
2. Ток нагрузки  $I_{н}$ .
3. Изменение тока через дроссель фильтра при открытом регулирующем транзисторе  $\Delta I_L$ .
4. Частота преобразования  $f_{пр}$ .
5. Минимальная и максимальная длительности открытого состояния регулирующего транзистора  $\gamma_{мин}$  и  $\gamma_{макс}$ .
6. Допустимая амплитуда пульсации тока, протекающего через дроссель входного фильтра  $I_{L\sim}$ .

Требуется определить:

1. Емкость входного фильтра, тип и число конденсаторов в фильтре.
2. Амплитуда импульсного тока через один конденсатор на интервалах времени  $\gamma T$  и  $(1 - \gamma_{мин})T$  и амплитуда пульсации напряжения на конденсаторе.
3. Индуктивность дросселя фильтра и тип дросселя.

Варианты заданий приведены на таблице 4.1.

Таблица 4.1.

№	U <sub>П</sub> , В	I <sub>н</sub> , А	ΔI <sub>L</sub> , А	f <sub>пр</sub> , кГц	γ <sub>мин</sub>	γ <sub>макс</sub>	I <sub>L~</sub> , А
1	24±2	0,5	0,1	1	0,2	0,5	0,02
2	36±3	1,0	0,15	2	0,3	0,6	0,025
3	48±4	1,5	0,2	3	0,4	0,7	0,5
4	60±5	2,0	0,25	5	0,5	0,8	0,02
5	12±1	0,5	0,3	10	0,6	0,9	0,025
6	24±2	1,0	0,4	20	0,25	0,6	0,5
7	36±3	1,5	0,5	25	0,2	0,5	0,02
8	48±6	2,0	0,1	50	0,3	0,6	0,025
9	60±5	0,5	0,15	1	0,4	0,7	0,5
10	12±2	1,0	0,2	2	0,5	0,8	0,02
11	24±2	1,5	0,25	3	0,6	0,9	0,025
12	36±3	2,0	0,3	5	0,25	0,6	0,5
13	48±3	0,5	0,4	10	0,2	0,5	0,02
14	60±3	1,0	0,5	20	0,3	0,6	0,025
15	12±1	1,5	0,1	25	0,4	0,7	0,5
16	24±3	2,0	0,15	50	0,5	0,8	0,02
17	36±2	0,5	0,2	1	0,6	0,9	0,025
18	48±4	1,0	0,25	2	0,25	0,6	0,5
19	60±6	1,5	0,3	3	0,2	0,5	0,02
20	12±2	2,0	0,4	5	0,3	0,6	0,025
21	24±3	0,5	0,5	10	0,4	0,7	0,5
22	36±4	1,0	0,1	20	0,5	0,8	0,02
23	48±5	1,5	0,15	25	0,6	0,9	0,025
24	60±4	2,0	0,2	50	0,25	0,6	0,5
25	12±3	0,5	0,25	1	0,2	0,5	0,02
26	24±3	1,0	0,3	2	0,3	0,6	0,025
27	36±3	1,5	0,4	3	0,4	0,7	0,5
28	48±3	2,0	0,5	5	0,5	0,8	0,02
29	60±3	0,5	0,1	10	0,6	0,9	0,025
30	12±2	1,0	0,15	20	0,25	0,6	0,5
31	24±2	1,5	0,2	25	0,2	0,5	0,02
32	36±2	2,0	0,25	50	0,3	0,6	0,025
33	48±2	0,5	0,3	1	0,4	0,7	0,5
34	60±2	1,0	0,4	2	0,5	0,8	0,02
35	12±1	1,5	0,5	3	0,6	0,9	0,025
36	24±4	2,0	0,1	5	0,25	0,6	0,5
37	36±3	0,5	0,15	10	0,2	0,5	0,02
38	48±4	1,0	0,2	20	0,3	0,6	0,025
39	60±3	1,5	0,25	25	0,4	0,7	0,5
40	12±2	2,0	0,3	50	0,5	0,8	0,02

### 3.Методика расчета

1. Определяется ток через конденсатор  $C_{ВХ}$ :

$$I_{C.ВХ} = I_{H.CP} \sqrt{\gamma_{мин} (1 - \gamma_{мин})}$$

С учетом  $f_{пр}$  и  $U_{C.макс} > U_{П.макс}$  выбирается тип конденсатора с допустимым импульсным током  $I_{C.макс}$  и действующим током  $I_{C.д}$ , сопротивлением  $r_{П}$  и фактической емкостью  $C1$ .

2. Определяется число конденсаторов:

$$N_C = I_{C.ВХ} / I_{C.д}$$

3. Вычисляется амплитуда импульсного тока через один конденсатор на интервалах времени  $\gamma T$  и  $(1 - \gamma_{мин})T$ :

$$I_{C.макс} [\gamma T] = [I_{H.CP} (1 - \gamma_{мин}) + \Delta I_L] / N_C$$

$$I_{C.макс} [T] = I_{H.CP} \gamma_{мин} / N_C$$

4. Амплитуда пульсации напряжения на конденсаторе:

$$U_{C\sim} = 0,5 I_{H.CP} [(r_{П} / N_C) + \gamma_{мин} (1 - \gamma_{мин}) / (C1 f_{пр} N_C)]$$

5. Вычисляется индуктивность дросселя:

$$L_{ВХ} = U_{C\sim} / 2 \pi f_{пр} I_{L\sim}$$

Значение дросселя  $L1$  выбирается по стандарту.

### 4. Выполнение расчета

Запуск программного обеспечения осуществляется двойным нажатием на файл «Rasch\_vx\_filtra.exe».

В открывшемся окне (рис. 4.3) в первой части расчета вводятся данные о студенте, входное напряжение  $U_{П}$ , ток нагрузки  $I_{H}$ , изменение тока через дроссель фильтра при открытом регулирующем транзисторе  $\Delta I_L$ , частота преобразования  $f_{пр}$ , минимальная и максимальная длительности открытого состояния регулирующего транзистора  $\gamma_{мин}$  и  $\gamma_{макс}$ , допустимая амплитуда пульсации тока, протекающего через дроссель входного фильтра  $I_{L\sim}$ .

После ввода данных нажимается кнопка «Ввести данные». Нажатие на закладку «2» приводит к переходу ко второй части расчета.

Переход к другим частям расчета производится аналогично и вводятся необходимые данные, или получают соответствующие расчетные данные.

**Расчет входного фильтра ИСН**

1 | 2 | 3

Для выполнения расчетов входного фильтра импульсного стабилизатора напряжения введите данные согласно Вашего варианта

Ф.И.О.  Группа  Вариант

Напряжение питания  $U_n$ , В

Пределы изменения напряжения питания  $dU_n$  +  В -  В

Среднее значение тока нагрузки  $I_{н.ср}$  за время ( $\mu T$ ), А

Изменение тока  $dI_L$  через дроссель при открытом транзисторе, А

Частота преобразования  $f_{пр}$ , Гц

Мин. относительное время открытого состояния транзистора,  $\gamma_{min}$

Макс. относительное время открытого состояния транзистора,  $\gamma_{max}$

Допустимое значение амплитуды пульсации тока через дроссель,  $ILV$ , А

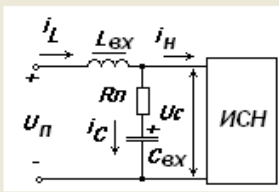


Рис. 4.3

После нажатия кнопки «Конец расчета» результаты расчета будут сохранены в файле «Rasch\_vx\_filtra.txt» (рис. 4.4).

Rasch\_vx\_filtra - Блокнот

Файл Правка Формат Вид Справка

Расчет входного фильтра

Дата 15.12.2007

Время 11:28:43

Ф. И. О. Косимов Ф.Э.

Группа 412-04

Вариант 12

Напряжение питания  $U_n$ , В 27

Пределы изменения входного напряжения  $dU_n$  +7 В -4 В

Среднее значение тока нагрузки за время ( $\mu T$ ),  $I_{н.ср}$ , А 1,5

Изменение тока через дроссель при открытом транзисторе ИСН  $dI_L$ , А 0,2

частота преобразования, Гц 20000

Мин. относительное время открытого состояния транзистора,  $\gamma_{min}$  0,6

Макс. относительное время открытого состояния транзистора,  $\gamma_{max}$  0,9

Допустимое значение амплитуды пульсации тока через дроссель,  $ILV$ , А 0,05

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

действующее значение тока, протекающего через конденсатор,  $I_{с.д.}$ , А 0,734846922834953

выберите конденсатор  $C_{вх}$  из следующего условия

Максимальное напряжение на конденсаторе  $U_{с.мах}$  > 34 В

Рис. 4.4

## Практическое занятие №5

### Расчет устройства управления инвертора

#### 1. Теоретическая часть

На рис. 5.1 показана схема устройства управления, выполненная на логических микросхемах серии 530. Устройство содержит генератор тактовых импульсов (ГТИ), вырабатывающие короткие импульсы с частотой  $T/2 = 30$  мкс. Выход генератора подключен ко входу счетного триггера DD1 (микросхема типа 530TM2), вырабатывающего импульсы управления, сдвинутые один относительно другого на 180 градусов. Парафазные выходы триггера подключены к первым входам двух селекторов импульсов на логических компонентах 4И-НЕ типа 530ЛА1. Вторые входы селекторов подключены ко входам двух ждущих мультивибраторов (ЖМ). Последние служат для защиты источника вторичного электропитания (ИВЭ) от неисправностей в триггере и пропадания синхроимпульсов ГТИ. Ждущие мультивибраторы запускаются через такт спадом импульса счетного триггера DD1 противоположного плеча и вырабатывают импульс положительной полярности длительностью несколько больше  $T/2$ . При остановке триггера или пропадании синхроимпульсов ГТИ ждущий мультивибратор не запускается и на их выходах формируется сигнал лог. 0, при этом на обоих выходах селекторов DD2.1 и DD2.2 формируются сигналы лог. 1, а на выходах предварительных усилителей импульсов DA1.1 и DA1.2 формируются сигналы лог. 0, которые закрывают транзисторы ключевого компонента. Третьи входы селекторов объединены и соединены со входом «ВКЛ» инвертора.

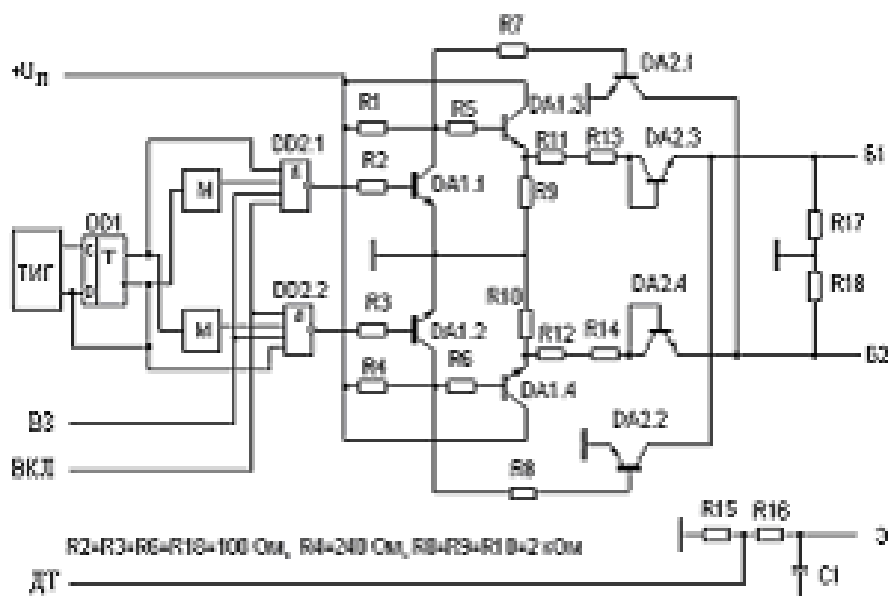


Рис. 5.1

При подаче на вход сигнала лог. 1 разрешается прохождение импульсов через селекторы, а при подаче сигнала лог. 0 запрещается прохождение импульсов, что приводит к отключению ИВЭ. Четвертые входы селекторов объединены и соединены со входом защиты «ВЗ», который соединяется с выходом узла защиты. Схема узла защиты приведена на рис. 5.2. Исполнительный компонент узла защиты (RS-триггер) выполнен на логических схемах 2И-2ИЛИ-НЕ (DD2.1, DD2.2) типа 530ЛР2. На вход R триггера подается сигнал с датчика, установленного в цепи эмиттеров силовых транзисторов.

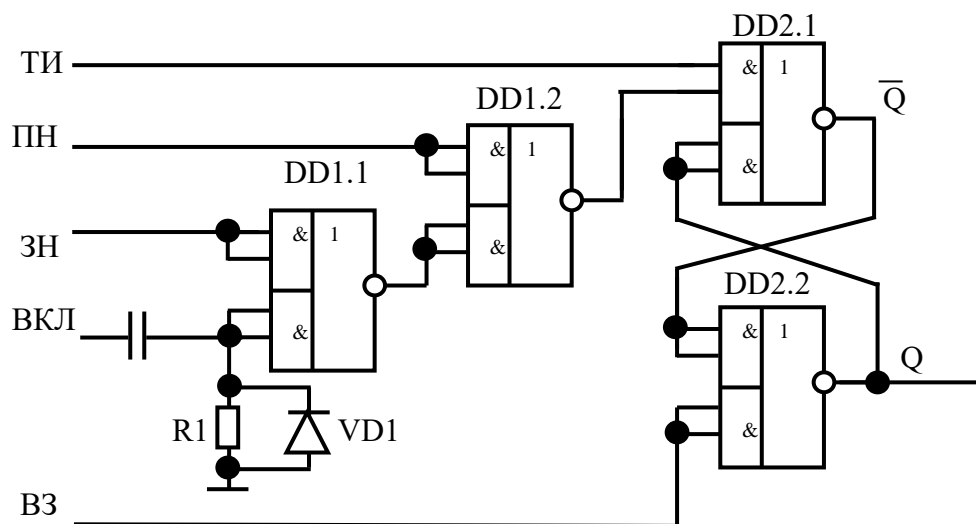


Рис. 5.2

Формирователь импульса аварии выполнен на логических компонентах DD1.1 и DD1.2 типа 530ЛР2. На вход «ПН» подается импульс лог. 1, характеризующий превышение напряжения на выходе ИВЭ выше заданного уровня. Импульс лог. 0, подаваемого на вход «ПН», означает, что напряжение на выходе не превышает заданного уровня. Подаваемый на вход «ЗН» импульс лог. 1, означает, что напряжение на выходе ИВЭ не уменьшилось ниже заданного уровня. Подаваемый на вход «ЗН» импульс лог. 0 указывает, что напряжение на выходе ниже заданного уровня. На вход «ВКЛ» сигнал начальной установки уровнем напряжение +5 В. Резистор R1 и конденсатор C1 выбираются такими, чтобы длительность импульса начальной установки была несколько больше времени выхода ИВЭ на режим. Перед включением ИВЭ на всех входах узла защиты и на выходе «ВЗ» присутствуют импульс лог. 0, что не дает возможности включения ИВЭ.

При подаче на вход ВКЛ напряжение +5 В на выходе DD1.1 формируется импульс лог. 0, а на выходе DD1.2 импульс лог. 1. Это позволяет синхроимпульсу, подаваемому на вход «ТИ», установить на выходе Q RS-триггера сигнал лог. 1. Последний разрешает прохождение импульсов управления на выходе ключевых компонентов инвертора. Если на выходе ИВЭ устанавливается напряжение в пределах заданной нормы, то на входе «ПН» останется сигнал лог. 0, а на входе «ЗН» сигнал лог. 1, который

подтвердит сигнал включения. На выходе S триггера останется сигнал лог. 1. При перегрузке, или коротком замыкании на выходе ИВЭ, на входе ДТ формируется сигнал лог. 1, а на выходе Q сигнал лог.0, что приводит к закрытию транзисторов инвертора. Тактовым импульсом «ТИ» на выходе вновь формируется сигнал лог. 1, что приводит к включению ИВЭ.

Как указывалось ранее, стабилизация и регулирование выходного напряжения ИВЭ осуществляется за счет изменения тока базы силовых транзисторов инвертора путем изменения входного напряжения  $U_{OC}$  предварительного усилителя на транзисторах DD1.1 и DD1.2 (рис. 5.1) и эмиттерного повторителя на транзисторах DA1.3 и DA1.4. Резисторы R11, R12, R14 и диоды DA2.3 и DA2.4. служат для ограничения тока базы силовых транзисторов инвертора, подключенных к выходу эмиттерных повторителей. Транзисторы DA2.1 и DA2.2 служат для форсированного запирающего напряжения (например, б1) импульсом с другого плеча предварительного усилителя (DA1.2) открывается транзистор DA2.2, который подключает напряжение конденсатора C1 обратной полярности к переходу база-эмиттер силового транзистора (б1), форсируя переход последнего в закрытое состояние. Датчик тока (R15) установлен в цепи эмиттеров силовых транзисторов. Резистор R16 служит для выравнивания режимов работы силовых транзисторов. Напряжение на этом резисторе выбирается равным примерно 0,7 В.

Устройство управления должно обеспечивать регулирование тока коллектора силовых транзисторов в пределах  $I_{K.мин} \dots I_{K.макс}$ .

## 2. Задание к расчету

Исходными данными для расчета устройства управления инвертора являются:

1. Пределы регулирования тока коллектора выходных транзисторов  $I_{K.мин} \dots I_{K.макс}$ .
2. Значения сопротивлений резисторов R1, R5, R7, R11, R13, R17.  
Требуется определить:
3. Тип транзисторов предварительного усилителя.
4. Пределы изменения базовых токов транзисторов инвертора.
5. Максимальный и минимальный ток через ограничительные резисторы.
6. Режимы работы усилительных транзисторов.

Варианты заданий приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1

№	I <sub>к.мин</sub> , А	I <sub>к.макс</sub> , А	R1, Ом	R5, Ом	R7, Ом	R11, Ом	R13, Ом	R17, Ом
1	0,2	0,5	240	100	2000	24	24	100
2	0,5	1,0	300	110	2200	27	22	91
3	0,5	0,9	270	120	2400	22	30	120
4	0,2	0,8	220	130	2700	30	20	130
5	0,1	0,5	200	91	1800	18	33	110
6	0,4	1,0	240	82	2000	39	16	150
7	0,5	1,0	300	100	2200	20	27	82
8	0,4	0,8	270	110	2400	24	27	100
9	0,25	0,5	220	120	2700	27	24	91
10	0,3	1,0	200	130	1800	22	22	120
11	0,1	0,6	240	91	2000	30	30	130
12	0,01	0,2	300	82	2200	18	20	110
13	0,15	0,5	270	100	2400	39	33	150
14	0,2	1,0	220	110	2700	20	16	82
15	0,6	1,0	200	120	1800	24	27	100
16	0,09	0,5	240	130	2000	27	27	91
17	0,05	0,5	300	91	2200	22	24	120
18	0,1	1,0	220	100	2700	18	30	110
19	0,08	0,5	200	110	1800	39	20	150
20	0,08	0,6	240	120	2000	20	33	82
21	0,2	0,6	300	130	2200	24	16	100
22	0,5	0,9	270	91	2400	27	27	91
23	0,6	0,9	220	82	2700	22	27	120
24	0,08	0,18	200	100	1800	30	24	130
25	0,2	0,7	240	110	2000	18	22	110
26	0,4	1,0	300	120	2200	39	30	150
27	0,09	0,14	270	130	2400	20	20	82
28	0,06	0,16	220	91	2700	24	33	100
29	0,1	0,5	200	82	1800	27	16	91
30	0,2	1,0	240	100	2000	22	27	120
31	0,04	0,15	300	110	2200	30	27	130
32	0,08	0,20	270	120	2400	18	24	110
33	0,1	0,6	220	130	2700	39	22	150
34	0,6	1,0	200	91	1800	20	30	82
35	0,1	0,4	240	82	2000	24	20	100
36	0,15	0,06	300	100	2200	27	33	91
37	0,025	0,5	270	110	2400	22	16	120
38	0,4	1,2	220	120	2700	30	27	130
39	0,8	1,5	200	130	1800	18	27	110
40	0,7	1,4	180	91	1800	39	15	150

### 3. Методика расчета

1. Схема рассчитываемого устройства управления приведена на рис. 5.1. Исходя из данных согласно варианта выбирается тип транзистора для предварительных усилителей с параметрами  $h_{21Э.мин}$  и  $h_{21Э.макс}$ . Таким образом, устройства управления должно обеспечивать регулирование тока базы транзисторов в следующих пределах:

$$I_{Б.макс} = I_{К.макс} / h_{21Э.мин}$$

$$I_{Б.мин} = I_{К.мин} / h_{21Э.макс}$$

Максимальный ток через ограничительные резисторы:

$$I_{огр.макс} = I_{Б.макс} + U_{ЭБ.макс} / R17$$

где  $U_{ЭБ.макс} = 0,8$  В.

2. Максимальный ток базы транзистора DA1.3 и DA1.4 равен:

$$I_{Б. DA1.3} = I_{огр.макс} / h_{21Э. DA1.3. мин}$$

3. Необходимое максимальное значение напряжения на коллекторе предварительного усилителя:

$$U_{КЭ.П.макс} = I_{Б. DA1.3} \cdot R5 + U_{DA1.3} + I_{огр.макс} \cdot (R11 + R13) + U_{DA2.3} + U_{Б1Э}$$

где  $U_{DA1.3} = U_{DA2.3} = U_{Б1Э} = 0,7$  В.

4. Ток коллектора транзистора DA1.1 в закрытом состоянии:

$$I_{К. DA1.1} = I_{Б. DA1.3} + U_{КЭ.П.макс} / R7$$

5. Максимальное напряжение источника обратной связи:

$$U_{ОС.макс} = U_{КЭ.П.макс} + I_{К. DA1.1} \cdot R1$$

6. Минимальный ток через ограничительные резисторы:

$$I_{огр.мин} = I_{Б.мин} + U_{ЭБ.мин} / R17$$

7. Минимальный ток базы транзистора DA1.3 и DA1.4 равен:

$$I_{Б. DA1.3.мин} = I_{огр.мин} / h_{21Э. DA1.3. мин}$$

8. Необходимое минимальное значение напряжения на коллекторе предварительного усилителя:

$$U_{KЭ.П.мин} = I_{Б. DA1.3} \cdot R5 + U_{DA1.3} + I_{огр.мин} \cdot (R11 + R13) + U_{DA2.3} + U_{Б1Э}$$

где  $U_{DA1.3} = U_{DA2.3} = U_{Б1Э} = 0,5 В$ .

#### 4. Выполнение расчета

Запуск программного обеспечения осуществляется двойным нажатием на файл «Rasch\_ustr\_ustr.exe».

В открывшемся окне (рис. 5.5) в первой части расчета открывается схема рассчитываемого устройства управления.

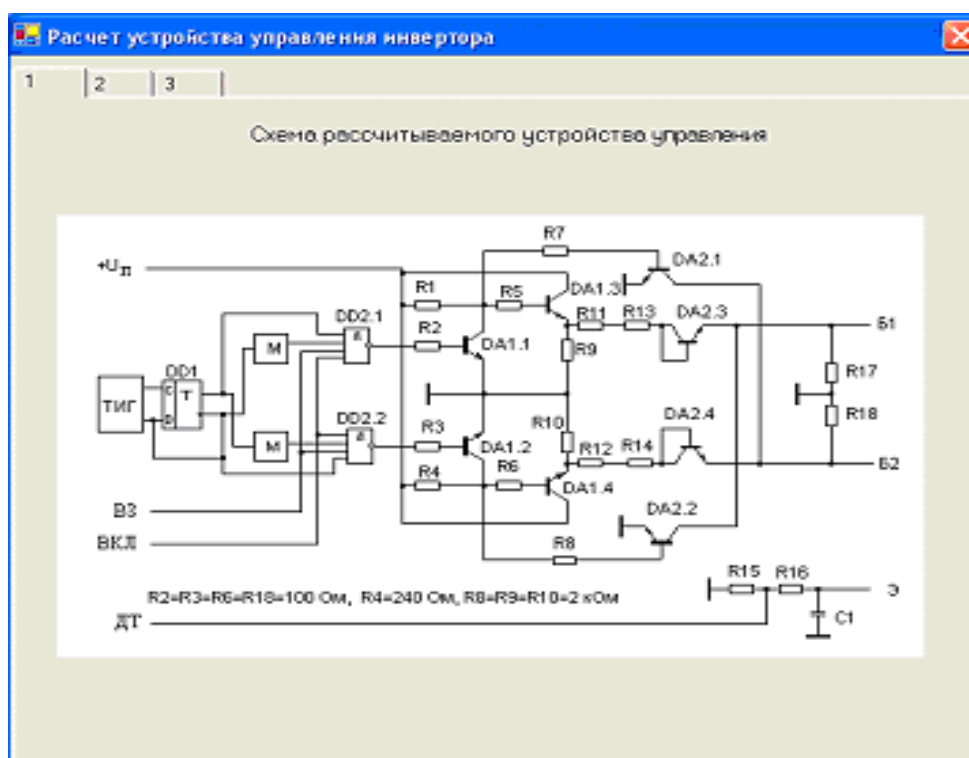


Рис. 5.3.

Нажатие на закладку «2» приводит к переходу ко второй части расчета.

В открывшемся окне (рис. 5.4) вводятся данные о студенте, пределы изменения коллекторного тока транзисторов предварительного усилителя и значения ограничительных резисторов. Далее из данных согласно варианта выбирается тип транзистора для предварительных усилителей с параметрами  $h_{21Э.мин}$  и  $h_{21Э.макс}$  и вводятся их данные.

После ввода данных нажимается кнопка «Введите данные». Нажатие на закладку «3» приводит к переходу ко третьей части расчета.

В открывшемся окне (рис. 5.5) появляются результаты расчетов максимальные и минимальные значения базовых токов транзисторов DA1.1 и DA1.2, максимальные и минимальные токи через ограничительные резисторы, максимальные и минимальные значения тока базы транзисторов

DA1.3 и DA1.4, необходимое максимальное и минимальное значение напряжения на коллекторе предварительного усилителя, ток коллектора транзистора DA1.1 в закрытом состоянии и максимальное напряжение источника обратной связи.

Введите данные согласно Вашего варианта

Ф. И. О.  Группа  Вариант

Изменение тока коллектора от  А до  А

Тип транзисторов DA1.1-DA1.4, DA2.3, DA2.4.

Коэффициент усиления транзистора по току Миним.  Макс.

Напряжение база-эмиттер транзистора, В Миним.  Макс.

Падение напряжения на DA2.3 (DA2.4), В

Сопротивление резистора R1, Ом

Сопротивление резистора R5, Ом

Сопротивление резистора R7, Ом

Сопротивление резистора R11, Ом

Сопротивление резистора R13, Ом

Сопротивление резистора R17, Ом

Рис. 5.4.

1 2 3

Предел изменения тока базы	от 0,01 А до 0,1 А	
Макс. ток, протекающий через ограничительные резисторы	0,108 А	
Максимальный ток базы транзистора DA1.3 (DA1.4)	0,0216 А	
Макс. коллекторное напряжение транзистора DA1.1 (DA1.2)	9,744 В	
Ток коллектора DA1.1 (DA1.2) в закрытом состоянии	0,026472 А	
Макс. напряжение в источнике обратной связи	16,09728 В	
Мин. ток, протекающий через ограничительные	0,012 А	
Минимальный ток базы транзисторов DA1.3 (DA1.4)	0,0012 А	
Мин. напряжение колектора транзисторов DA1.1 (DA1.2)	1,296 В	

После нажатия кнопки "Конец расчетов" результаты расчета будут сохранены в файле "Rasch\_ustr\_upr.txt".

Рис. 5.5

После нажатия кнопки «Конец расчета» результаты расчета будут сохранены в файле «Rasch\_ustr\_upr.txt» (рис. 5.6).

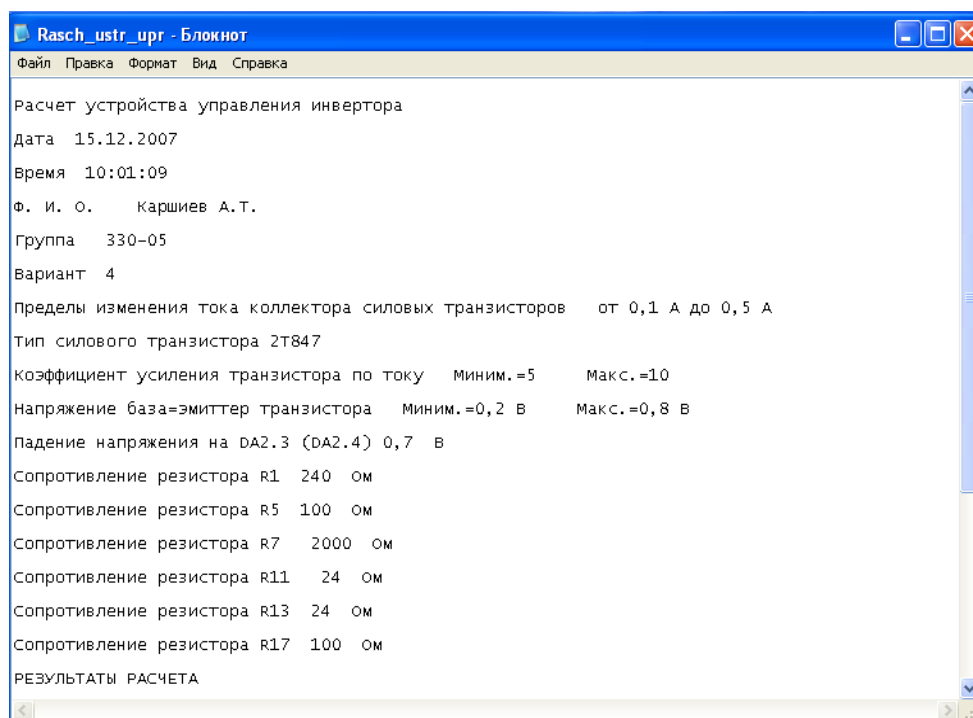


Рис. 5.6

## Практическое занятие №6

### Расчет преобразователя напряжения

#### 1. Теоретическая часть

Для питания аппаратуры связи требуются различные значения постоянных и переменных напряжений. Если есть источник электрического питания, вырабатывающий энергию постоянного тока одного напряжения (аккумуляторная батарея, выпрямитель и т.д.), то для питания аппаратуры связи разными номиналами напряжения применяются специальные устройства, преобразующие напряжение постоянного тока одной величины в напряжение переменного и постоянного тока другой величины. Эти устройства называются преобразователями постоянного напряжения (ППН). Они преобразуют энергию постоянного тока в энергию переменного тока, который можно опять выпрямлять. Преобразователи, преобразующие энергию постоянного тока в энергию переменного тока, называются инверторами. Если на выходе инвертора поставить выпрямитель, то получим, преобразователь с выходом на постоянном токе, он называется конвертором.

В настоящее время в основном используются полупроводниковые преобразователи, которые делаются на транзисторах или на тиристорах. Их основной частью являются инверторы. Они бывают однотактные и двухтактные, с самовозбуждением или с независимым возбуждением (с усилением мощности). Существуют инверторы тока и напряжения.

Тиристорные инверторы классифицируются по принципу коммутации тиристоров: автономные или ведомые сетью, по включению коммутируемой емкости относительно нагрузки - параллельные, последовательные и последовательно-параллельные.

Транзисторные инверторы классифицируются: по способу включения транзисторов - с общим эмиттером или с общим коллектором, по типу обратной связи - с ОС по напряжению, с ОС по току, с ОС по напряжению и току.

Одной из составных частей инвертора является трансформатор, который создает переменное напряжение и преобразует его величину. Так как на вход трансформатора подается постоянное напряжение, то для его нормального функционирования в его первичной цепи нужно устройство, периодически размыкающее и замыкающее цепь постоянного тока - ключ, прерыватель тока. Прерывание тока или изменение направления этого тока вызывает появление в магнитопроводе трансформатора изменяющегося во времени магнитного потока  $\Phi(t)$ , который по закону электромагнитной индукции индуцирует в обмотках трансформатора ЭДС, величина которой пропорциональна скорости изменения магнитного потока и числу витков обмоток. Простейший однотактный инвертор имеет вид как показано на рис 6.1.

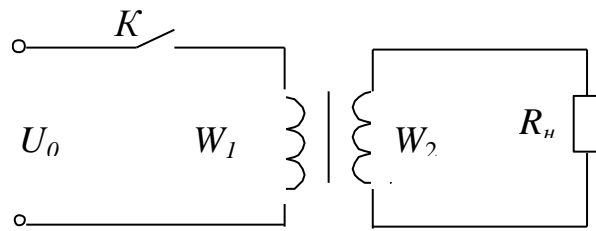


Рис. 6.1

Прерывателем является ключ  $K$ , который периодически замыкается и размыкается, соответственно в сердечнике трансформатора магнитный поток то увеличивается, то уменьшается, создавая на вторичной обмотке переменную ЭДС. В качестве ключа  $K$  можно использовать любые электронные и электромагнитные устройства. Такие преобразователи на современном этапе позволяют получить на выходе переменное напряжение частотой  $30 \div 50$  Гц. Поэтому они используются редко.

На большие мощности используются инверторы с независимым возбуждением (с усилением мощности), схема которого приведена на рис. 6.2.

В этой схеме через  $Tr_2$  управляющий сигнал подается на переход эмиттер-база транзисторов  $T_1$  и  $T_2$ , с заданной частотой.  $T_1$  и  $T_2$  попеременно открываются, создавая в первичных обмотках трансформатора  $Tr_1$  токи разного направления  $I_{K1}$  и  $I_{K2}$ . В результате на выходе  $W_2$  создается переменное напряжение, форма которого задается формой петли гистерезиса сердечника  $Tr_1$ .

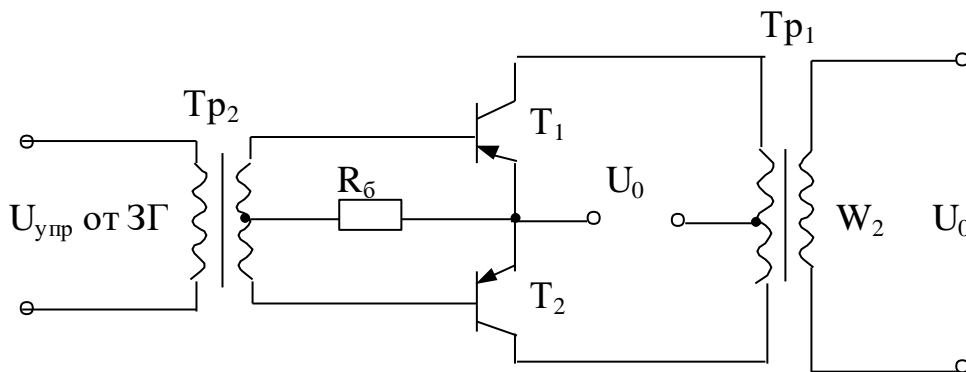


Рис. 6.2

## 2. Задание к расчету

Исходными данными для расчета преобразователя напряжения являются:

1. Входное напряжение  $U_{П}$ ;
2. Выходное напряжение  $U_0$ ;
3. Ток нагрузки  $I_{н}$ ;

4. Пульсация выпрямленного напряжения  $U_{0V}$ .

Требуется определить:

1. Тип выпрямительного диодного моста;
2. Тип ключевых транзисторов и определение их режима работы;
3. Номиналы базовых резисторов и резисторов смещения;
4. Тип и номинал емкости фильтра.

Варианты заданий приведены на таблице 6.1.

Таблица 6.1

№	$U_{П}$ , В	$U_0$ , В	$I_0$ , А	$U_{0V}$ , В	№	$U_{П}$ , В	$U_0$ , В	$I_0$ , А	$U_{0V}$ , В
1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<b>1</b>	24	4	1	0,1	<b>41</b>	12	20	0,5	0,1
<b>2</b>	36	3	0,5	0,2	<b>42</b>	24	9	0,4	0,2
<b>3</b>	48	40	0,2	0,3	<b>43</b>	36	15	1	0,3
<b>4</b>	60	4	1,5	0,4	<b>44</b>	48	42	0,5	0,4
<b>5</b>	12	32	0,25	0,5	<b>45</b>	60	35	0,2	0,5
<b>6</b>	24	5	1	0,1	<b>45</b>	12	4	1,5	0,1
<b>7</b>	36	27	0,4	0,2	<b>47</b>	24	3	0,5	0,2
<b>8</b>	48	5,2	1	0,3	<b>48</b>	36	40	1	0,3
<b>9</b>	60	15	2	0,4	<b>49</b>	48	4	0,4	0,4
<b>10</b>	12	6	1,4	0,5	<b>50</b>	60	32	1	0,5
<b>11</b>	24	20	0,8	0,1	<b>51</b>	12	5	2	0,1
<b>12</b>	36	9	0,3	0,2	<b>52</b>	24	27	1,4	0,2
<b>13</b>	48	15	0,5	0,3	<b>53</b>	36	5,2	0,8	0,3
<b>14</b>	60	42	0,25	0,4	<b>54</b>	48	15	0,3	0,4
<b>15</b>	12	35	0,5	0,5	<b>55</b>	60	6	0,5	0,5
<b>16</b>	24	4	2	0,1	<b>56</b>	12	20	0,15	0,1
<b>17</b>	36	3	1	0,2	<b>57</b>	24	9	0,5	0,2
<b>18</b>	48	40	0,5	0,3	<b>58</b>	36	15	2	0,3
<b>19</b>	60	4	2	0,4	<b>59</b>	48	42	1	0,4
<b>20</b>	12	32	0,5	0,5	<b>60</b>	60	35	0,5	0,5
<b>21</b>	24	5	1	0,1	<b>61</b>	12	4	2	0,1
<b>22</b>	36	27	0,2	0,2	<b>62</b>	24	3	0,5	0,2
<b>23</b>	48	5,2	1,5	0,3	<b>63</b>	36	40	0,15	0,3
<b>24</b>	60	15	0,2	0,4	<b>64</b>	48	4	0,2	0,4
<b>25</b>	12	6	0,8	0,5	<b>65</b>	60	32	0,25	0,5
<b>26</b>	24	20	0,8	0,1	<b>66</b>	12	5	0,2	0,1
<b>27</b>	36	9	1	0,2	<b>67</b>	24	27	0,8	0,2
<b>28</b>	48	15	1	0,3	<b>68</b>	36	5,2	0,8	0,3
<b>29</b>	60	42	0,15	0,4	<b>69</b>	48	15	0,1	0,4
<b>30</b>	12	35	0,5	0,5	<b>70</b>	60	6	1	0,5
<b>31</b>	24	4	1	0,1	<b>71</b>	12	20	0,25	0,1
<b>32</b>	36	3	1	0,2	<b>72</b>	24	9	0,25	0,2
<b>33</b>	48	40	0,3	0,3	<b>73</b>	36	15	1	0,3
<b>34</b>	60	4	2	0,4	<b>74</b>	48	42	0,15	0,4

1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
<b>35</b>	12	32	0,4	0,5	<b>75</b>	60	35	0,3	0,5
<b>36</b>	24	5	1,2	0,1	<b>76</b>	12	4	2	0,1
<b>37</b>	36	27	0,9	0,2	<b>77</b>	24	3	0,4	0,2
<b>38</b>	48	5,2	1,4	0,3	<b>78</b>	36	40	1,2	0,3
<b>39</b>	60	15	0,1	0,4	<b>79</b>	48	4	1,5	0,4
<b>40</b>	12	6	1	0,5	<b>80</b>	60	32	0,1	0,5

### 3.Методика расчета

1. По заданному току нагрузки и выпрямленному напряжению выбирается тип диода для выпрямителя из следующего условия:

$$I_{\text{пр.ср}} \geq 0,5 \cdot I_{\text{н}} .$$

Кроме того, максимально допустимое постоянное обратное напряжение на диодах  $U_{\text{обр}}$  должно превышать обратное напряжение, под которым диоды оказываются в схеме выпрямления:

$$U_{\text{обр}} \geq (\pi/2) \cdot U_{\text{н}} \cdot 1,2$$

2. Ток, коммутируемый транзисторами, ориентировочно определяется по формуле

$$I_{\text{к.нас}} = (U_0 \cdot I_0 + 2 \cdot U_{\text{VD}}) / U_0 \cdot \eta_{\text{Тр}}$$

где  $U_{\text{VD}}$  – падение напряжение на выпрямительном диоде ( $U_{\text{VD}} = 0,6 \dots 1 \text{ В}$ );

$\eta_{\text{Тр}}$  – коэффициент полезного действия трансформатора ( $\eta_{\text{Тр}} = 0,85 \dots 0,95$ )

3. Амплитуда напряжения на коллекторе:

$$U_{\text{КЭ.макс}} = 2,4 \cdot U_{\text{П}}$$

4. По полученным расчетным значениям  $I_{\text{к.нас}}$  и  $U_{\text{КЭ.макс}}$  выбирается тип транзистора и записываются его параметры:  $I_{\text{к. макс}}$ ,  $U_{\text{КЭ.макс}}$ ,  $U_{\text{КЭ.нас}}$ ,  $U_{\text{БЭ.нас}}$ ,  $I_{\text{КБ0}}$ ,  $h_{21Э}$ . С учетом выбранного типа транзистора уточняется ток коллектора

$$I_{\text{к.нас}} = (U_0 \cdot I_0 + 2 \cdot U_{\text{VD}}) / (U_0 - U_{\text{БЭ.нас}}) \cdot \eta_{\text{Тр}}$$

5. Рассчитываются цепи смещения преобразователя. Ток базы транзистора:

$$I_{\text{б.нас}} = 2 \cdot I_{\text{к.нас}} / h_{21Э.мин}$$

6. Сопротивление базового резистора:

$$R_{\text{Б}} = (U_{\text{Б}} - U_{\text{БЭ.нас}}) / I_{\text{б.нас}}$$

где  $U_B$  – напряжение базы ( $U_B = 3 \dots 5$  В).

Резистор  $R_B$  выбирается по стандарту.

Уточняется ток базы транзистора:

$$I_{B,нас} = (U_B - U_{BЭ,нас}) / R_B$$

7. Мощность, выделяемая на базовых резисторах:

$$P_{RB} = I_{B,нас}^2 \cdot R_B$$

8. Сопротивление резистора смещения:

$$R_{CM} = U_0 \cdot R_B / U_{RB}$$

где  $U_{RB}$  – падение напряжения на базовом резисторе ( $U_{RB} = I_{B,нас} \cdot R_B$ ).

Резистор  $R_{CM}$  выбирается по стандарту.

9. Ток, протекающий через резистор  $R_{CM}$ :

$$I_{CM} = U_{II} / (R_B + R_{CM})$$

10. Мощность выделяемая на резисторе смещения:

$$P_{RCM} = I_{CM}^2 \cdot R_{CM}$$

11. Требуемая емкость сглаживающего фильтра:

$$C_{\Phi} = 1,22 \cdot (U_0 \cdot I_0 + 2 U_{VD}) 0,2 \cdot 10^{-6} / U_0$$

где  $\tau$  – длительность фронта импульса преобразователя ( $\tau = (1 \dots 10) \cdot 10^{-6}$ ).

Конденсатор  $C_{\Phi}$  выбирается по стандарту.

#### 4. Выполнение расчета

Запуск программного обеспечения осуществляется двойным нажатием на файл «Rasch\_preobr\_parр.exe».

В открывшемся окне (рис 6.3) в первой части расчета вводятся данные о студенте, входное напряжение, ток и напряжение на нагрузке, пульсация выпрямленного напряжения согласно варианта. Далее из соответствующих условий выбирается тип диодного моста и вводятся его данные.

После ввода данных нажимается кнопка «Введите данные». Нажатие на закладку «2» приводит к переходу ко второй части расчета.

Переход к другим частям расчета производится аналогично и введением необходимых данных (или получением соответствующих расчетных данных).

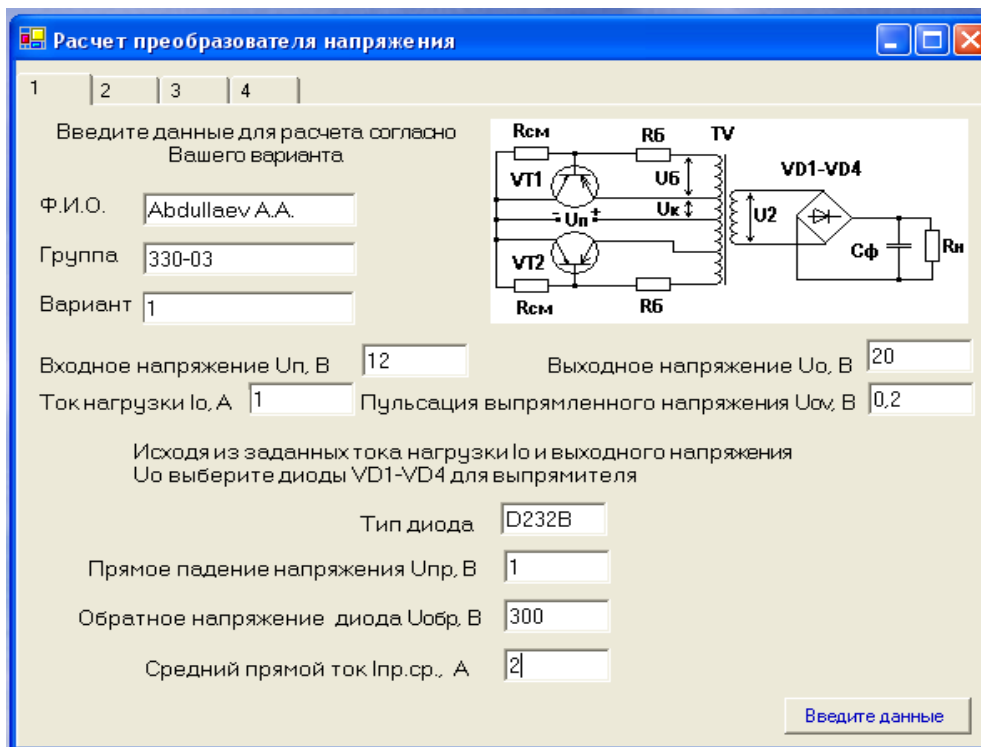


Рис. 6.3.

После нажатия кнопки «Конец расчета» результаты расчета будут сохранены в файле «Rasch\_preobr\_napr.txt» (рис. 6.4).

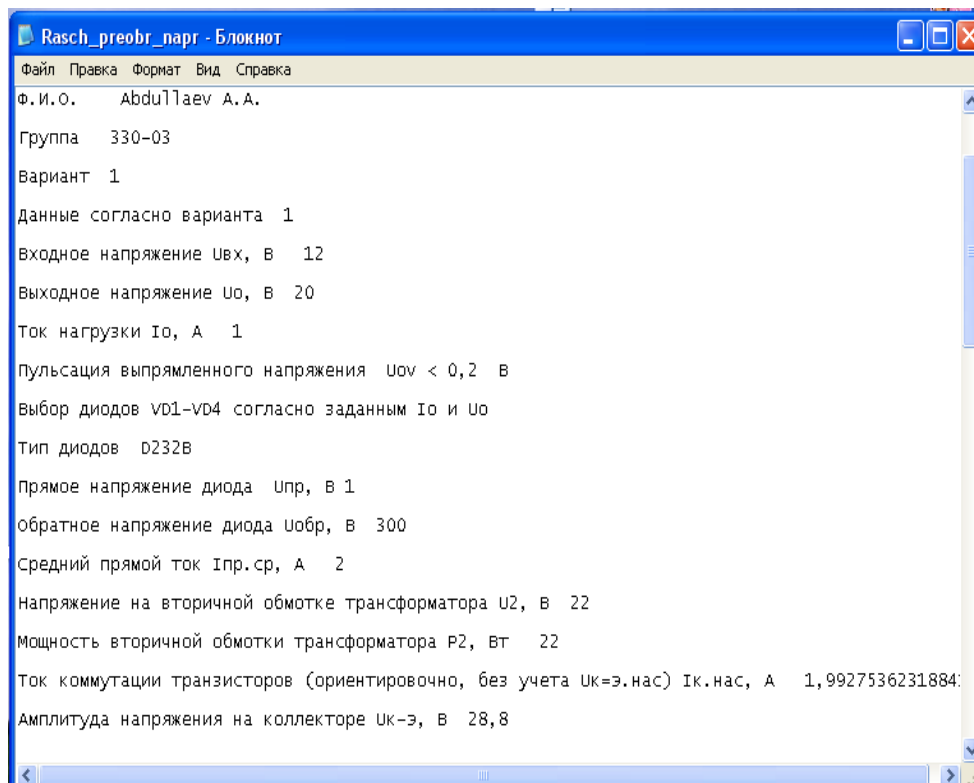


Рис. 6.4

## Практическое занятие №7

### Расчет устройства защиты транзисторного компенсационного стабилизатора

#### 1. Теоретическая часть

В транзисторных стабилизаторах наиболее часто применяются три вида защиты: от повышения выходного напряжения; от понижения выходного напряжения; от перегрузки по току или короткого замыкания в нагрузке.

Защита от превышения и понижения выходного напряжения реализуется за счет введения в стабилизатор дополнительных устройств сравнения (УС) и исполнительного элемента. Устройства сравнения имеет такое же схемное построение, как в КСН последовательного или параллельного типов. В качестве исполнительного элемента принимается реле или полупроводниковый прибор (транзистор, тиристор). Практические схемы защиты от превышения напряжения приведены на рис. 7.1 и 7.2.

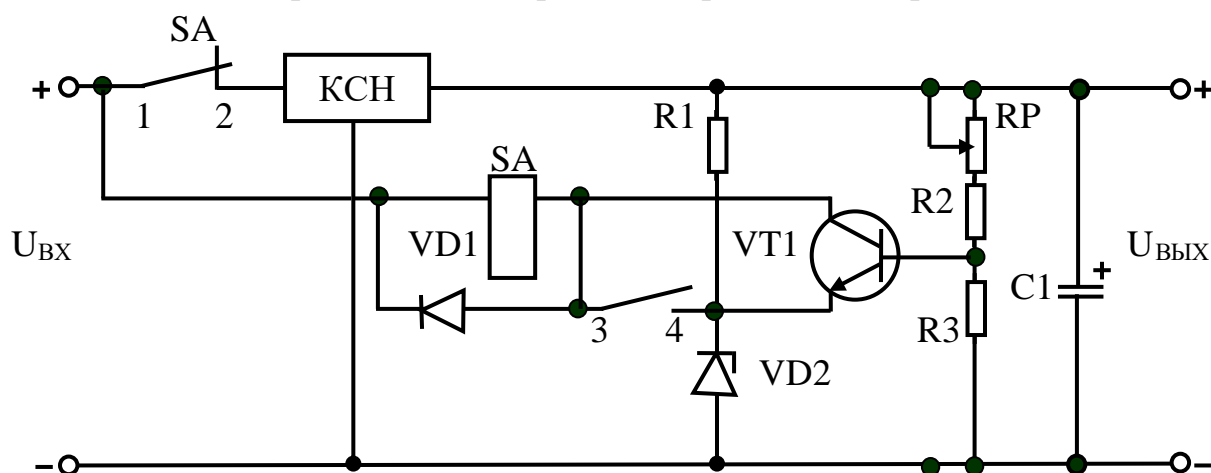


Рис. 7.1

В схеме на рис. 7.1 при превышении выходного напряжения КСН значения  $U_{Н\max}$ , установленного резистором RP, открывается транзистор VT1 и срабатывает реле SA, которое одновременно снимает своими контактами 1-2 напряжения питания  $U_{ВХ}$  со входа КСН и блокирует контактами 3-4 коллектор транзистора VT1. Недостатком схемы является ее инерционность, определяемая временем срабатывания реле (обычно несколько миллисекунд).

В схеме на рис. 7.2 защита от превышения напряжения осуществляется за счет шунтирования входа КСН тиристором VS1. однако при этом происходит сгорание нити предохранителей или пробой тиристора, или же снятия напряжения  $U_{ВХ}$  внутренней схемой защиты по току источника питания  $U_{ВХ}$ , если он ее содержит.

Схема защита от понижения напряжения строится аналогично схеме защиты от превышения напряжения с небольшим отличием в сравнивающем устройстве, которое содержит дополнительно два каскада усиления, или выполняется в виде дифференциального усилителя. В схеме на рис. 7.3 в рабочем состоянии КСН транзисторы VT2 и VT3 открыты, а VT1-закрыт. При понижении выходного напряжения до порога срабатывания защиты  $U_{Н\ min}$  транзисторы VT2 и VT3 закрываются, VT1` открывается и включается реле SA, которое снимает напряжение питания со входа КСН.

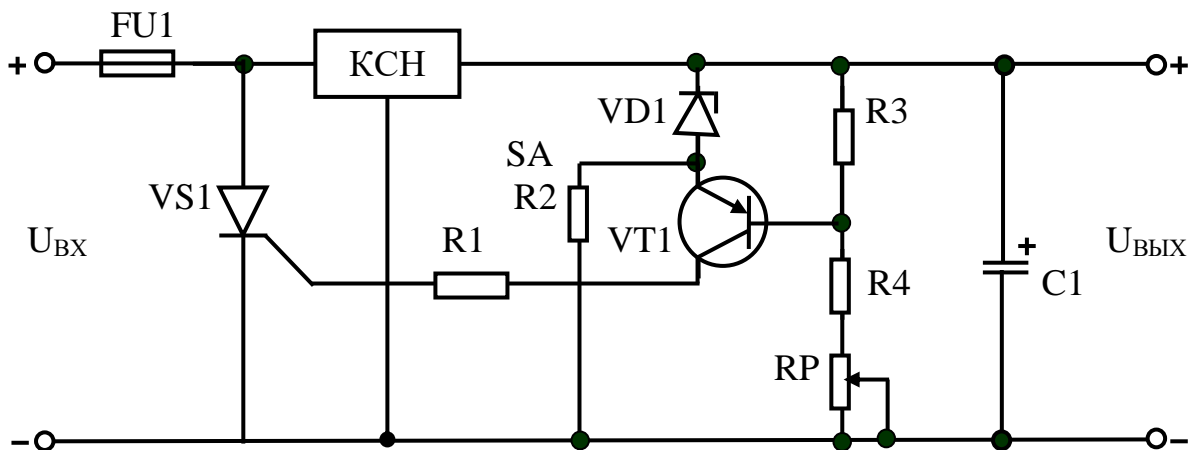


Рис. 7.2

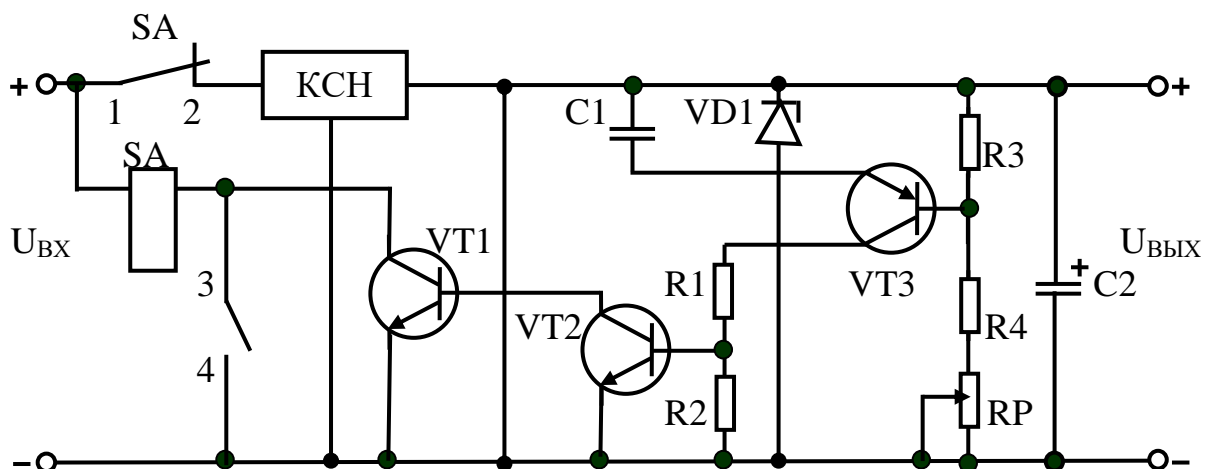


Рис. 7.3

## 2.Задание к расчету

Исходными данными для расчета устройства защиты компенсационного стабилизатора являются:

1. Входное напряжение  $U_{ВХ}$ ;
2. Выходное напряжение  $U_{ВЫХ}$ ;
3. Точность установки  $\Delta U_{Н}$ ;
4. Изменение температуры окружающей среды  $\Delta T_{С}$ ;
5. Напряжения срабатывания защиты  $U_{Н.МАХ}$ .

Требуется определить:

1. Тип реле, стабилитрона и диода;
2. Тип транзистора и режим работы;
3. Типы сопротивления резисторов R1, R2, R3, RP;
4. Температурная погрешность напряжения срабатывания защиты.

Варианты заданий приведены на таблице 7.1.

Таблица 7.1

№	$U_{ВХ}, В$	$U_{ВЫХ}, В$	$\Delta U_{Н}, В$	$\Delta T_{С}, ^{\circ}C$	$U_{Н.МАХ}, В$
1	2	3	4	5	6
1	15±1,5	10	0,5	30	11
2	20±2	16	0,2	25	17
3	30±3	27	0,4	40	28
4	40±4	36	0,3	20	37
5	50±5	42	0,6	50	43
6	25±2,2	24	0,8	35	25
7	35±3,5	27	0,25	15	28
8	45±4	42	0,75	45	43
9	64±6	60	0,125	30	61
10	12±1,5	9	0,5	25	10
11	10±2	8	0,2	40	9
12	8±2	6	0,4	20	7
13	5±2	3	0,3	50	4
14	9±2	5	0,6	35	6
15	6±2	5	0,8	15	6
16	14±2	12	0,25	45	13
17	27±3	24	0,75	30	25
18	16±2	12	0,125	25	13
19	24±3	20	0,5	40	21
20	50±5	42	0,2	20	43
21	25±2,2	24	0,4	50	25
22	35±3,5	32	0,3	35	33
23	45±4	42	0,6	15	43
24	60±6	56	0,8	45	57
25	12±1,5	10	0,25	30	11
26	10±2	9	0,75	25	10
27	8±2	5	0,125	40	6
28	5±2	4	0,5	20	5
29	9±2	6	0,2	50	7
30	6±2	5	0,4	35	6
31	14±2	12	0,3	15	13
32	27±3	20	0,6	45	21

1	2	3	4	5	6
33	16±2	15	0,8	30	16
34	24±3	21	0,25	25	22
35	5±2	2	0,75	40	3
36	19±2	15	0,125	20	37
37	26±2	25	0,5	50	26
38	14±2	10	0,3	35	11
39	27±3	18	0,25	15	19
40	16±2	10	0,4	45	11

### 3. Методика расчета

1.

Выбирается тип реле из следующего условия:

го условия:

$$U_{P.макс} < U_{П} - \Delta U_{Н} .$$

И записываются следующие данные выбранного реле: рабочее напряжение обмотки  $U_{P.макс}$ , сопротивления обмотки  $r_{об}$ , напряжение и ток через контакты  $U_{П}$  и  $I_{К}$ , максимальный ток через обмотку  $I_{об.макс} = U_{P.макс} / r_{об}$ .

2. Выбирается тип стабилитрона с параметрами:

$$\begin{aligned} U_{СТ.мин} &> (U_{П} + \Delta U_{Н} - U_{P.макс}) \\ U_{СТ.макс} &> (U_{П} - \Delta U_{Н} - U_{P.макс}) \\ r_{диф}, \alpha_{н}, I_{СТ.мин} \\ I_{СТ.макс} &> (I_{СТ.мин} + I_{об.макс}) \end{aligned}$$

где  $\alpha_{н}$  – температурный коэффициент.

3. Выбирается тип транзистора с параметрами:

$$\begin{aligned} U_{КЭ.макс} &> (U_{П} + \Delta U_{Н} - U_{СТ.мин}) \\ I_{К.макс} &> I_{об.макс} \\ h_{21Э.мин}, U_{БЭ}, \alpha_{Т}, \\ U_{БЭ.макс} &> (U_{Н.макс} - U_{Н} - \Delta U_{Н}) \end{aligned}$$

где  $\alpha_{Т}$  – температурный коэффициент;

$h_{21Э.мин}$  – коэффициент передачи по току;

$U_{БЭ} = 0,88 \text{ В}$ .

3. Вычисляется ток базы транзистора:

$$I_{Б} = I_{об.макс} / h_{21Э.мин}$$

4. Определяются сопротивления резисторов:

$$R1 < (U_H - \Delta U_H - U_{СТ.макс}) / I_{СТ.мин}$$

$$R3 < (U_{СТ.мин} + U_{БЭ}) / 20 I_B$$

$$R2 < [(U_{H.макс} / (U_{СТ.макс} + U_{БЭ})) - 1] R3$$

$$R_P < [(U_{H.макс} / U_{СТ.мин}) R3] - R2 - R3$$

Резисторы R1, R2, R3 и R<sub>P</sub> выбираются по стандарту.

5. Рассчитывается температурная погрешность напряжения срабатывания защиты:

$$\Delta U_{H.макс} = (\alpha_H + \alpha_T) \Delta T_C / (U_{СТ.мин} + U_{БЭ})$$

6. Выбирается тип диода с параметрами:

$$I_{ПР} > I_{обр}$$

$$U_{обр} > (U_{П} + \Delta U_{П})$$

#### 4. Выполнение расчета

Запуск программного обеспечения осуществляется двойным нажатием на файл «ResRas.exe».

В открывшемся окне (рис. 7.4) в первой части расчета вводятся данные о студенте, входное напряжение питания, номинальное выходное напряжение стабилизатора, точность установки выходного напряжения, напряжение срабатывания защиты и изменение температуры окружающей среды.

Расчет устройства защиты транзисторного стабилизатора

Для проведения расчетов необходимо последовательно, пункт за пунктом ввести данные

1 2 3 4 5 6

**Пожалуйста введите информацию о себе**

Фамилия: Абдуллаев  
 Имя: Абдулла  
 Отчество: Абдуллаевич  
 Группа: 333-02  
 Номер варианта: 1

**Введите данные для расчета согласно варианту**

Входное напряжение питания U<sub>п</sub>, В: 15 +/- 1,5  
 Номинальное выходное напряжение стабилизатора U<sub>ст</sub>, В: 10  
 Точность установки dU<sub>н</sub>, В: 0,5  
 Напряжение срабатывания защиты U<sub>н.макс</sub>, В: 11  
 Изменение температуры окружающей среды dT<sub>с</sub>, град.С: 30

**Ввести данные**

*После выбранных параметров обязательно подтвердите правильность выбора кнопкой "Ввести данные"*

Рис. 7.4.

После ввода данных нажимается кнопка «Ввести данные». Нажатие закладки «2» приводит к переходу ко второй части расчета.

Переход к другим частям расчета производится аналогично и введением необходимых данных (или получением соответствующих расчетных данных).

После нажатия кнопки «Конец расчета» результаты расчета будут сохранены в файле «ResRas.txt» (рис. 7.5).

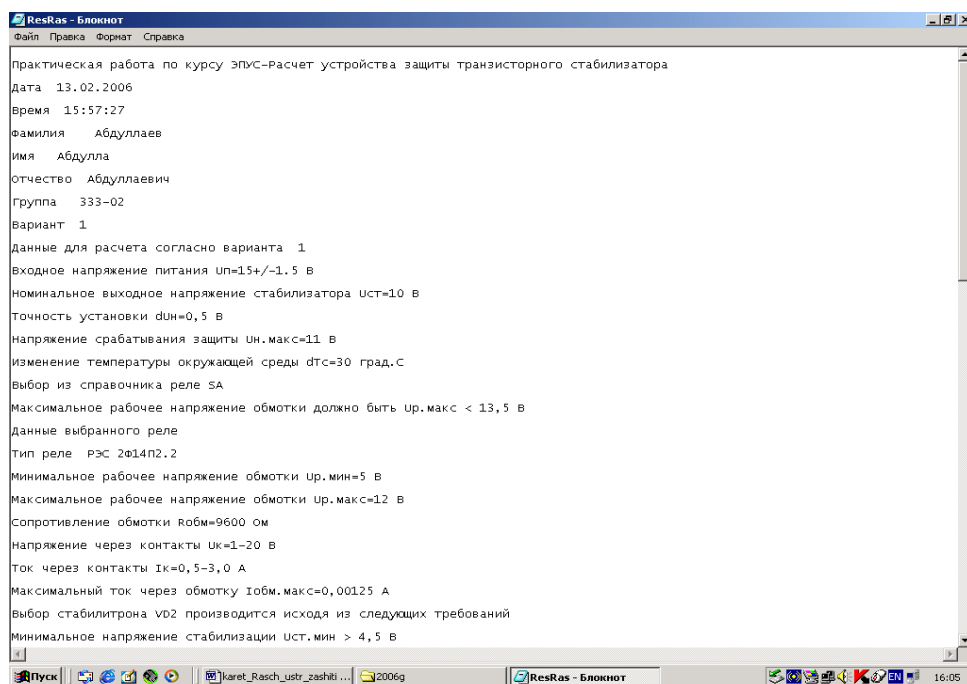


Рис. 7.5

## Практическое занятие №8

### Расчет выпрямительного устройства

#### 1. Теоретическая часть

Распределение электрической энергии в нашей стране производится на переменном токе с частотой  $f=50$  Гц. Вместе с тем аппаратура проводной связи большей частью питается постоянным током различных напряжений. Поэтому возникает необходимость преобразовать переменный ток в постоянный. Для этого можно использовать электрические машины постоянного тока, но они имеют ряд недостатков: вращающиеся части, создают шум, требуют специальных фундаментов и т.д. Поэтому после разработки мощных силовых вентилей перешли от электрических машин к статическим выпрямительным устройствам, т.е. выпрямителям. Они не требуют специальных фундаментов, почти бесшумны, надежны в эксплуатации, легче могут быть автоматизированы и во многих случаях экономичнее, чем электрические машины.

Выпрямителем называется статическое устройство, преобразующее переменный ток в постоянный. В процессе эксплуатации выпрямитель должен отвечать ряду технических требований. Основными из них являются:

- 1) заданные выпрямленного напряжения и мощности;
- 2) допустимый уровень пульсаций выпрямленного напряжения;
- 3) безопасность обслуживания;
- 4) удобство и надежность управления;
- 5) высокий КПД;
- 6) стабильность выпрямленного напряжения;
- 7) высокий коэффициент мощности;
- 8) надежная и быстродействующая защита от сверх токов и перенапряжений;
- 9) низкая стоимость технической эксплуатации;
- 10) малые габариты и вес устройства.

В общем виде выпрямитель состоит из 4-х основных звеньев (рис. 8.1).

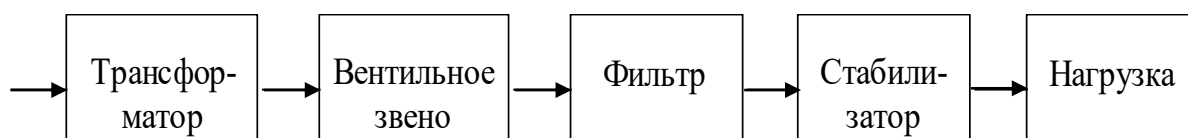


Рис.8.1. Структурная схема одноканального выпрямителя

В мостовой схеме выпрямления иначе ее называют однофазной мостовой схемой Герца, течение одного полупериода выпрямленный ток

течет через VD1, R<sub>H</sub>, VD3 и замыкается на вторичной обмотке трансформатора (рис. 8.2а).

При обратной полярности ток замкнется через VD2, R<sub>H</sub>, VD4 и вторичную обмотку (рис. 8.2б). То есть ток через нагрузку и вторичную обмотку трансформатора течет в течение всего периода. Постоянная составляющая тока через R<sub>H</sub> равна (при условии, что I<sub>m</sub>=U<sub>m</sub>/R<sub>H</sub>):

$$I_0 = \left(\frac{m}{\pi}\right) I_m \cdot \sin \frac{\pi}{m} = \frac{I_m}{\pi} = \frac{2\sqrt{2} U_2}{R_H \cdot \pi} = 0,9 \frac{U_2}{R_H};$$

$$U_0 = 2\sqrt{2} \frac{U_2}{\pi},$$

то есть в 2 раза больше, чем в однофазной одноконтурной схеме. Так как ток по вторичной обмотке трансформатора течет весь период, то действующее его значение определится, как

$$I_2 = \left(\frac{1}{2\pi}\right) \int (I_m)^2 \sin^2 \omega t \, d\omega t = I_m \frac{1}{\sqrt{2}},$$

тогда, сравнивая I<sub>0</sub> и I<sub>2</sub>, получим

$$I_0 = \left(\frac{2}{\pi}\right) \sqrt{2} I_2 = 0,9 \cdot I_2.$$

Так как за каждый полупериод работают попарно два вентиля, то действующее значение тока через каждую пару последовательно соединенных вентилях равен: I<sub>VD</sub> = I<sub>2</sub>/2.

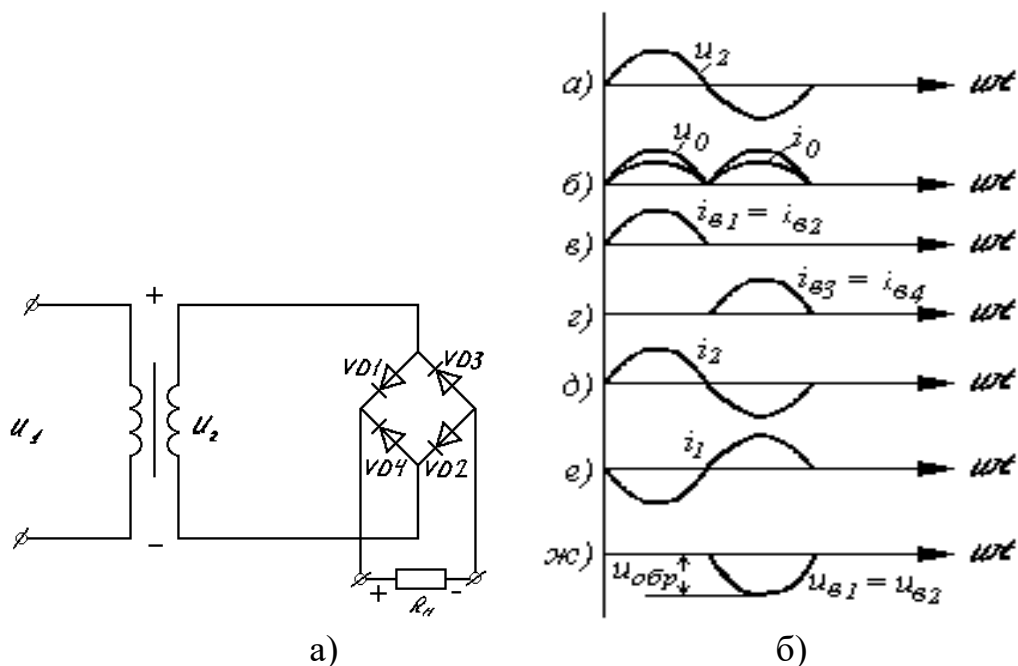


Рис. 8.2. Мостовая схема выпрямления (а) и временные диаграммы (б)

Для этой схемы  $m=2$ ,  $f_{П} = 2 f_{С}$ , обратное напряжение на запертых вентилях определится как  $U_{ОБР}=U_m=\sqrt{2} U_2$ , т.к. вентили подключены к  $U_2$  параллельно.

## 2. Задание к расчету

Исходные данные к расчету выпрямителя являются:

1. Выходное напряжение  $U_{ВЫХ}$ , В.
2. Выходной ток  $I_0$ , А.
3. Общая емкость фильтра  $C$ , мкФ.
4. Коэффициент пульсаций напряжения на нагрузке составляет не более  $K_{П}$ .

Требуется определить:

1. Обоснование схемы выпрямление и выбор типа вентиляей.
2. Расчет параметров трансформатора.
3. Расчет сглаживающего фильтра.
4. Рассчитанное знание коэффициента пульсаций на выходе фильтра.

Варианты заданий приведены в таблице 8.1.

Таблица 8.1.

№	$U_{ВЫХ}$ , В	$I_0$ , А	$C_{общ}$ , мкф	$K_{П}$ , %	№	$U_{ВЫХ}$ , В	$I_H$ , А	$C_{общ}$ , мкф	$K_{П}$ , %
1	5	1	300	8	21	27	1	370	2
2	6	15	330	4	22	20	18	390	8
3	12	8	370	6	23	15	2	420	4
4	3	10	390	8	24	18	0,1	440	7
5	15	20	420	10	25	8	0,5	470	3
6	27	14	440	1	26	30	0,8	500	8
7	20	12	470	6	27	4	0,6	270	2
8	15	16	500	5	28	28	0,4	240	6
9	18	5	270	3	29	36	0,5	220	1
10	8	2	240	1	30	40	1	210	9
11	30	1	220	2	31	24	10	200	8
12	4	25	210	9	32	9	20	330	8
13	28	12	200	6	33	25	15	370	4
14	36	0,6	330	10	34	15	2	390	6
15	40	0,4	370	2	35	27	14	420	8
16	24	0,5	390	8	36	20	12	440	10
17	9	0,3	420	4	37	15	0,4	470	1
18	25	14	440	7	38	18	0,5	500	6
19	11	3	470	3	39	5	0,3	300	5
20	16	1,5	500	8	40	6	15	330	3

### 3. Методика расчета

1. Сопротивление нагрузки

$$R_H = \frac{U_H}{I_0}$$

2. Выпрямленная мощность

$$P_0 = U_H \cdot I_0$$

3. В настоящее время в импульсных источниках питания широко применяются мостовые схемы выпрямления. Их достоинством перед схемой выпрямления со средней точкой является возможность непосредственного подключения к питающей сети, а перед однополупериодной схемой выпрямления является меньшее значение пульсации выпрямленного напряжения и в 2 раза меньше значение обратного напряжения, прикладываемое к диодам. В качестве диодов выбираются выпрямительные диоды и диодные сборки из справочной литературы, у которых допустимый средний прямой ток  $I_{пр.ср.}$  не меньше, чем  $0,5 I_H$ :

$$I_{пр.ср.} \geq 0,5 \cdot I_H$$

Кроме того, максимально допустимое постоянное обратное напряжение на диодах  $U_{обр}$  должно превышать обратное напряжение, под которым диоды оказываются в схеме выпрямления с рис. 8.2.

$$U_{обр.} = \frac{\pi}{2} \cdot U_H \cdot 1,2$$

4. Определяется вид нагрузки, для чего сравниваем заданное значение емкости конденсатора с минимально допустимым для выпрямителя, нагрузка которого начинается с емкостного элемента

$$C_{min.} = 10^6 / (f \cdot R_H)$$

Если  $C_{min} > C_{зад}$  выбирается схема выпрямителя с нагрузкой, начинающейся с индуктивного элемента.

5. Рассчитывается сопротивление диода

$$r_d = \frac{(U_{пр.} - E_{пор.})}{I_{пр.ср.}},$$

где  $U_{пр.}$  - прямое падение напряжения на диоде;

$E_{пор.}$  - порог выпрямления ( $E_{пор.} = 0,7В$ ).

6. Находятся ориентированные значения активной и индуктивной обмотки трансформатора, активного сопротивления дросселя.

$$r_{тр} = 3,5 \frac{U_n}{I_0 f B_m} \cdot \frac{\sqrt[4]{f B_m}}{U_n \cdot I_0}$$

$$L_s = 5 \cdot 10^{-3} \frac{U_n}{I_0 f B_m} \sqrt{\frac{U_n \cdot I_0}{f B_m}}$$

Активное сопротивление дросселя принимается равным  $r_{др} = 0,07 \cdot R_n$ .

7. Выходное сопротивление выпрямителя и ЭДС холостого хода

$$R_{вых} = r_{тр} + 2r_b + m \cdot f \cdot L_s + r_{др}$$

$$E_{ох} = U_n + 2E_{пор} + I_0 R_{вых}$$

8. Напряжение на вторичной обмотке трансформатора

$$U_2 = 1,2U_n$$

9. Критические значения индуктивности дросселя

$$L_{кр.} = R_n \cdot X_m / \omega,$$

где  $X_m$  - коэффициент зависящий от числа фаз для схемы на рис. 8.2.  $X_m = 0,5$ ,  $\omega = 2\pi f$ .

10. Индуктивность дросселя, обеспечивающая получение пульсаций, меньших заданных

$$L = \Delta_m / (\omega^2 C \cdot K_n),$$

где  $\Delta_m$  - коэффициент зависящий от числа фаз для схемы на рис. 8.2,  $\Delta_m = 0,376$

Дроссель фильтра выбирается по стандарту.

11. Ток нагрузки, критический для выбранной индуктивности дросселя

$$I_{окр.} = \frac{E_{ох.}}{\left( \frac{\omega L}{X_m} + R_{вых.} \right)}$$

12. Действующее значение тока диода

$$I_d = 0,707I_0$$

13. Действующее значение тока вторичной обмотки

$$I_2 = \sqrt{2}I_d$$

14. Действующее значение рабочего тока вторичной обмотки

$$I_{1p} = U_2 \cdot I_2 / U_{вх.}$$

15. Габаритная мощность трансформатора

$$S_{тр.} = U_2 \cdot I_2$$

16. Напряжение на нагрузке при холостом ходе, равное, как и в схемах выпрямителей, работающих на емкостную нагрузку

$$U_{0max} = \sqrt{2} \cdot U_2$$

17. Рассчитывается коэффициент пульсаций по первой гармонике для выходного напряжения. Коэффициент сглаживания пульсации фильтром

$$q = \omega^2 LC - 1,$$

откуда

$$K_{п1.вых} = 2/3q$$

#### 4. Выполнение расчета

Запуск программного обеспечения осуществляется двойным нажатием на файл «Rash\_vipr\_ustr.exe».

В открывшемся окне (рис. 8.3) в первой части расчета вводятся данные о студенте, выходное напряжение, выходной ток, общая ёмкость фильтра и коэффициент пульсации напряжения на нагрузке.

После ввода данных нажимается кнопка «Ввести данные». Нажатие закладки «2» приводит к переходу ко второй части расчета.

Переход к другим частям расчета производится аналогично и введением необходимых данных (или получением соответствующих расчетных данных).

После нажатия кнопки «Конец расчета» результаты расчета будут сохранены в файле «ResRas.txt» (рис. 8.4).

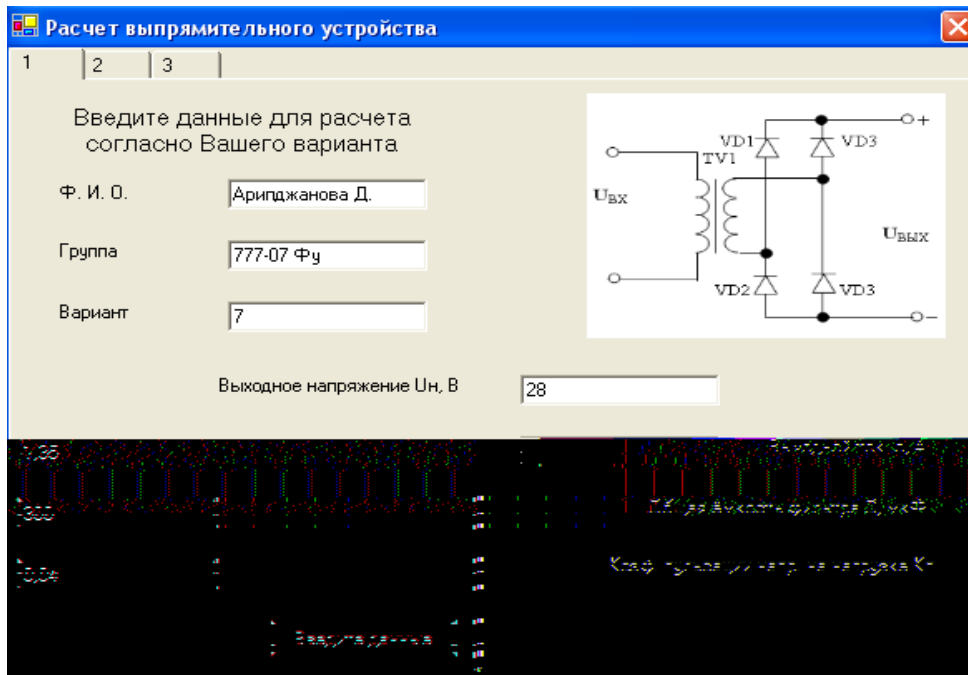


Рис. 8.3.

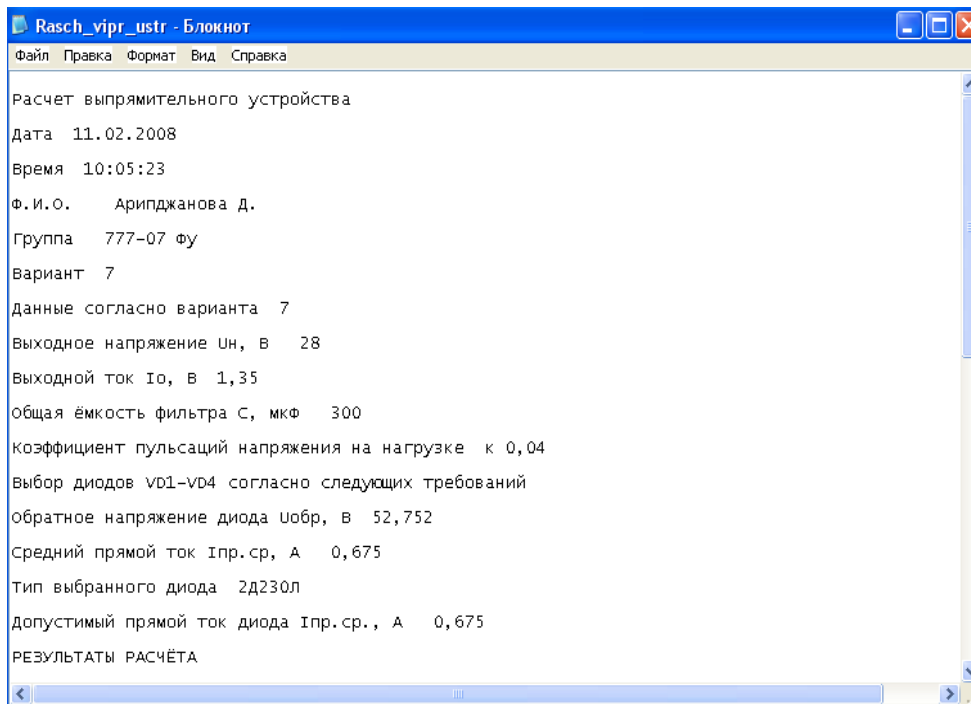


Рис. 8.4.

## Литература

1. Б.М. Махамджанов, М.Э. Яськова, У.Т. Алиев. Электропитание устройств связи. - Т.: ТУИТ, 2005.
2. Березин О.К., Костиков В.Г., Шахнов В.А. Источники электропитания радиоэлектронной аппаратуры. Справочник.-М.: «Три Л», 2000.-400с.
3. В.Е. Китаев, А.А. Бокуняев, М.Ф. Колканов. Расчет источников электропитания устройств связи. - М.: Радио и связь, 1993.
4. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий/Под редакцией А.А.Федорова и Г.В. Сербиновского. - М.: Энергоиздат, 1981
5. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию/Под редакцией А.А. Федорова. - М.: Энергоатомиздат, 1986.

Методические указания к практическим занятиям по курсу  
**«Электропитание устройств связи»**  
(для студентов очной и заочной формы обучения по направлению «Телекоммуникации»)

Работа рассмотрена на заседании НМС ФРРТ \_\_\_\_.\_\_\_\_. 200\_\_ г. (протокол №\_\_\_\_) и рекомендована к печати.

Составители: доц. Сапаев М.С.  
доц. Давронбеков Д.А.  
ст.пр. Алиев У.Т.  
асс. Агзамова М. Р.

Отв. редактор: Абдуазизов А.А.

Редакционно- корректурная комиссия:

Компьютерный набор - Арипджанова Д.  
Корректор - ст. преп. Абдуллаева С.Х.