

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

А.В. Углов, М.Б. Углова

РАСЧЁТ ПРОДОЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Методические указания

по выполнению контрольной работы по дисциплине
«Эксплуатация релейной защиты
электрооборудования электрических станций»
для студентов направления подготовки
13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника»
профиля «Электрические станции»

Севастополь
СевГУ
2021

УДК 621 316.925.1:004.382.7:621.311(076)
ББК 31.27-05я73
У254

Рецензенты:

Н.М. Шайтор – к.т.н., доцент, доцент кафедры
«Возобновляемые источники энергии и электрические системы и сети»
Е.А. Дубков – старший преподаватель кафедры
«Электроэнергетические системы атомных станций»

Углов А.В.

У254 Расчёт продольной дифференциальной токовой защиты электродвигателя собственных нужд электрической станции : методические указания по выполнению контрольной работы по дисциплине «Эксплуатация релейной защиты электрооборудования электрических станций» для студентов направления подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиля «Электрические станции»: методические указания / А.В. Углов, М.Б. Углова ; Министерство науки и высшего образования РФ, Севастопольский государственный университет. – Севастополь: СевГУ, 2021. – 18 с. – Текст : электронный.

Методические указания «Расчёт продольной дифференциальной токовой защиты электродвигателя собственных нужд электрической станции» предназначены для студентов, обучающихся по направлению подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» профиля «Электрические станции» при изучении дисциплины «Эксплуатация релейной защиты электрооборудования электрических станций».

Рассмотрена методика выполнения расчёта продольной дифференциальной защиты электродвигателя собственных нужд электрической станции, выполненной с использованием электромеханического дифференциального реле серии ДЗТ-11 и статического реле серии РСТ-15. В приложениях представлены все справочные данные, необходимые для выполнения контрольной работы.

УДК 621 316.925.1:004.382 621.311(076)
ББК 3127-05я73

Учебное пособие рассмотрено и утверждено на заседании кафедры «Электроэнергетические системы атомных станций», протокол № 2 от 29 августа 2020 г.

Учебное пособие рассмотрено и утверждено на заседании учёного совета Института ядерной энергии и промышленности, протокол № 3 от 30 октября 2020 г.

1. ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

1. В соответствии с вариантом задания (Приложение А) выполнить схему подключения дифференциального реле продольной дифференциальной токовой защиты к защищаемому электродвигателю с указанием параметров элементов схемы.

2. Произвести расчёт дифференциальной защиты электродвигателя с использованием электромеханического дифференциального реле типа ДЗТ-11.

3. Произвести расчёт дифференциальной защиты электродвигателя с использованием статического дифференциального реле типа РСТ-15.

4. Сделать выводы по работе.

2. ПОРЯДОК РАСЧЁТА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО РЕЛЕ ТИПА ДЗТ-11

1. Выбирается число витков тормозной обмотки реле ДЗТ-11 (принимается максимальное).

2. Определяется вторичный ток небаланса в реле в переходном режиме пуска электродвигателя:

$$I_{нб.*} = I_{нб.*} \cdot \frac{K_{пуск.} \cdot I_{ном.дв.}}{K_{IH} \cdot K_{сх}},$$

где $I_{нб.*}$ - относительное значение тока небаланса в режиме пуска или самозапуска электродвигателя (Приложение В); $K_{пуск.}$ - кратность пускового тока электродвигателя к номинальному току (Приложение Б); $I_{ном.дв.}$ - первичный номинальный ток электродвигателя (Приложение Б); K_{IH} - коэффициент трансформации трансформаторов тока со стороны нулевых выводов электродвигателя; $K_{сх}$ - коэффициент схемы трансформаторов тока в соответствии с вариантом задания.

3. Определяется тормозной ток во вторичных цепях защиты в режиме пуска электродвигателя:

$$I_{торм.} = \frac{K_{пуск.} \cdot I_{ном.дв.}}{K_{IH} \cdot K_{сх}}.$$

4. Определяется расчётное число витков рабочей обмотки на реле ДЗТ-11:

$$W_{раб} \leq \frac{1}{K_{отс.}} \cdot \frac{K \cdot I_{торм.} \cdot W_{торм.} \cdot tg \alpha}{I_{нб.}},$$

где $K_{отс.}$ - коэффициент отстройки, равный 1,5; K - коэффициент, учитывающий снижение тормозного тока из-за насыщения трансформаторов тока в нулевых выводах электродвигателя, зависит от величины тока небаланса, в наихудших условиях принимается равным 0,8; $tg \alpha$ - тангенс угла наклона касательной, проведённой из начала координат, к характеристике реле, соответствующей минимальному торможению, и принимается равным 0,87.

5. Принимается число витков рабочей обмотки $W_{раб.}$

6. Определяется начальный ток срабатывания защиты, приведённый ко вторичной обмотке ТА:

$$I_{ср.о} = \frac{F_{с.р.}}{W_{раб.}},$$

где $F_{с.р.} = 100 \text{ А} \cdot \text{в}$ - намагничивающая сила срабатывания реле при отсутствии торможения.

7. Определяется начальный ток срабатывания защиты в долях от номинального тока электродвигателя $I_{ном.дв.}$:

$$I_{*cp.o} = \frac{I_{cp.o}}{I_{ном.дв.}} \cdot K_{IH}.$$

8. Определяется первичный ток от питающей системы при двухфазном КЗ на выводах электродвигателя:

$$I_K^{(2)} = \frac{1}{2} \cdot \frac{S_{ном} \cdot 100}{2 \cdot u_{к\%} \cdot U_{ном}}.$$

9. Определяется рабочая намагничивающая сила при двухфазном КЗ на выводах электродвигателя:

$$F_{раб} = \frac{I_K^{(2)}}{K_I \cdot K_{сх}} \cdot W_{раб}.$$

10. Определяется первичный ток от электродвигателя при двухфазном КЗ на его выводах:

$$I_{к.дв}^{(2)} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot K_{пуск} \cdot I_{ном.дв}.$$

11. Определяется тормозная намагничивающая сила при двухфазном КЗ на выводах электродвигателя:

$$F_{торм} = \frac{I_{к.дв}^{(2)}}{K_I \cdot K_{сх}} \cdot W_{торм}.$$

12. Определяется рабочая намагничивающая сила срабатывания реле ДЗТ-11 в режиме двухфазного КЗ на выводах электродвигателя:

$$F_{раб\ c.p.} = \frac{F_{с.p.}}{1 - \frac{F_{торм}}{F_{раб}} \cdot 0,96}.$$

13. Определяется коэффициент чувствительности защиты при двухфазном КЗ на выводах электродвигателя:

$$K_\chi = \frac{F_{раб}}{F_{раб\ c.p.}}.$$

3. ПОРЯДОК РАСЧЁТА ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СТАТИЧЕСКОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО РЕЛЕ ТИПА РСТ-15

1. Определяется вторичный ток небаланса в реле в переходном режиме пуска электродвигателя:

$$I_{нб.*} = I_{нб.*} \cdot \frac{K_{пуск.} \cdot I_{ном.дв.}}{K_{IH} \cdot K_{сх}},$$

где $I_{нб.*}$ - относительное значение тока небаланса в режиме пуска или самозапуска электродвигателя (Приложение В); $K_{пуск.}$ - кратность пускового тока электродвигателя к номинальному току (Приложение Б); $I_{ном.дв.}$ - первичный номинальный ток электродвигателя (Приложение Б); K_{IH} - коэффициент трансформации трансформаторов тока со стороны нулевых выводов электродвигателя; $K_{сх}$ - коэффициент схемы трансформаторов тока в соответствии с вариантом задания.

2. Определяется расчётный относительный ток срабатывания реле:

$$I_{с.р.расч.*} = \frac{I_{нб.*}}{I_{ном.р.}}.$$

Выбирается уставка реле $I_{уст.*}$, ближайшая большая к расчётной по шкале уставок.

При необходимости можно использовать предусмотренную в реле возможность дискретного увеличения уставок по току срабатывания в два раза ($K = 2$).

3. Рассчитывается число витков трансреактора реле, соответствующее расчётной уставке:

$$W_{расч.*} = \frac{I_{уст.*} \cdot 20}{I_{с.р.расч.*}}.$$

4. По результатам расчёта выбирается число витков трансформатора реле $W_{уст.*}$, ближайшее к расчётному.

5. Определяется коэффициент чувствительности защиты при двухфазном КЗ на выводах электродвигателя:

$$K_u = \frac{I_{к.*}^{(2)} \cdot W_{уст.*}}{I_{уст.*} \cdot 20},$$

где $I_{к.*}^{(2)} = \frac{I_{к.*}^{(2)}}{K_I \cdot I_{ном.р.}}$ - относительный ток двухфазного КЗ.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Варианты задания на контрольную работу

№ вар.	Тип ТСН	$U_{ВН\text{ ном}}$ кВ	Электродвигатель	Схема соединения трансформаторов тока защиты
1	ТРДНС-63000/35	24	ГЦН ВА3-215/109-6АМ03	«Звезда – звезда»
2	ТРДНС-63000/35	20	ЦН Иск. ДВДА-260/99-20-24	«Неполная звезда - неполная звезда»
3	ТРДНС-40000/35	24	ЦН Иск. ДВДА-260/99-20-24	«Звезда – треугольник»
4	ТРДНС-40000/20	20	ЭПН АВ15-36-8АМ	«Звезда – звезда»
5	ТРДНС-63000/150	158	ГЦН ВА3-215/109-6АМ03	«Неполная звезда - неполная звезда»
6	ТРДНС-40000/220	230	ЦН Иск. ДВДА-260/99-20-24	«Звезда – треугольник»
7	ТРДНС-40000/330	330	ЦН Иск. ДВДА-260/99-20-24	«Звезда – звезда»
8	ТРДЦН-63000/330	330	ЭПН АВ15-36-8АМ	«Неполная звезда - неполная звезда»
9	ТРДНС-63000/35	24	ГЦН ВА3-215/109-6АМ03	«Звезда – треугольник»
10	ТРДНС-63000/35	20	ЦН Иск. ДВДА-260/99-20-24	«Звезда – звезда»
11	ТРДНС-40000/35	24	ЦН Иск. ДВДА-260/99-20-24	«Неполная звезда - неполная звезда»
12	ТРДНС-40000/20	20	ЭПН АВ15-36-8АМ	«Звезда – треугольник»
13	ТРДНС-63000/150	158	ГЦН ВА3-215/109-6АМ03	«Звезда – звезда»
14	ТРДНС-40000/220	230	ЦН Иск. ДВДА-260/99-20-24	«Неполная звезда - неполная звезда»
15	ТРДНС-40000/330	330	ЦН Иск. ДВДА-260/99-20-24	«Звезда – треугольник»
16	ТРДЦН-63000/330	330	ЭПН АВ15-36-8АМ	«Звезда – звезда»
17	ТРДНС-63000/35	24	ГЦН ВА3-215/109-6АМ03	«Неполная звезда - неполная звезда»
18	ТРДНС-63000/35	20	ЦН Иск. ДВДА-260/99-20-24	«Звезда – треугольник»
19	ТРДНС-40000/35	24	ЦН Иск. ДВДА-260/99-20-24	«Звезда – звезда»
20	ТРДНС-40000/20	20	ЭПН АВ15-36-8АМ	«Неполная звезда - неполная звезда»
21	ТРДНС-63000/150	158	ГЦН ВА3-215/109-6АМ03	«Звезда – треугольник»
22	ТРДНС-40000/220	230	ЦН Иск. ДВДА-260/99-20-24	«Звезда – звезда»

23	ТРДНС-40000/330	330	ЦН Иск. ДВДА-260/99-20-24	«Неполная звезда - неполная звезда»
24	ТРДЦН-63000/330	330	ЭПН АВ15-36-8АМ	«Звезда – треугольник»
25	ТРДНС-63000/35	24	ГЦН ВА3-215/109-6АМ03	«Звезда – звезда»
26	ТРДНС-63000/35	20	ЦН Иск. ДВДА-260/99-20-24	«Неполная звезда - неполная звезда»
27	ТРДНС-40000/35	24	ЦН Иск. ДВДА-260/99-20-24	«Звезда – треугольник»
28	ТРДНС-40000/20	20	ЭПН АВ15-36-8АМ	«Звезда – звезда»
29	ТРДНС-63000/150	158	ГЦН ВА3-215/109-6АМ03	«Неполная звезда - неполная звезда»
30	ТРДНС-40000/220	230	ЦН Иск. ДВДА-260/99-20-24	«Звезда – треугольник»
31	ТРДНС-40000/330	330	ЦН Иск. ДВДА-260/99-20-24	«Звезда – звезда»
32	ТРДЦН-63000/330	330	ЭПН АВ15-36-8АМ	«Неполная звезда - неполная звезда»
33	ТРДНС-63000/35	24	ГЦН ВА3-215/109-6АМ03	«Звезда – треугольник»
34	ТРДНС-40000/35	24	ЦН Иск. ДВДА-260/99-20-24	«Звезда – звезда»
35	ТРДНС-63000/150	158	ЦН Иск. ДВДА-260/99-20-24	«Неполная звезда - неполная звезда»
36	ТРДЦН-63000/330	330	ЭПН АВ15-36-8АМ	«Звезда – треугольник»

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Параметры защищаемого электродвигателя

Назначение	Тип ЭД	Мощность, <i>Квт</i>	Номиналь- ный ток, А	Кратность пускового тока	$\cos \varphi$
ГЦН	ВА3-215/109- 6АМ03	8000	880	4,5	0,87
ЦН Иск	ДВДА- 260/99-20-24	4000	547	4,8	0,7
ЦН Иск	ДВДА- 260/99-20-24	2500	432	5,2	0,6
ЭПН	АВ15-36- 8АМ	2000	214	5,42	0,9

ПРИЛОЖЕНИЕ В

**Относительные значения тока небаланса в режиме пуска
или самозапуска электродвигателя**

Схема соединения трансформаторов тока защиты	$I_{* \text{ нб.}}$
«Звезда – звезда»	0,30
«Неполная звезда - неполная звезда»	0,34
«Звезда – треугольник»	0,32
«Неполная звезда – треугольник»	0,45

ПРИЛОЖЕНИЕ Г

Основные параметры рабочих трансформаторов собственных нужд

Тип трансформатора	Номинальные значения напряжения, кВ		Схема и группа соединения обмоток	Диапазон регулирования напряжения на стороне ВН, %	Номинальные значения напряжения ВН, кВ			Значения напряжения короткого замыкания соответствующие положению РПН, %		
	ВН	НН			Нижний предел	Среднее положение	Верхний предел	Нижний предел	Среднее положение	Верхний предел
ТМНС-6300/10	10,50	6,30	Y _H /Δ-11	РПН±8 x1,25%	9,45	10,50	11,55	7,95	8,00	8,66
ТДНС-10000/35	10,50 15,75 18,00	6,30	Y _H /Y-0	РПН±8 x1,5%	9,24 13,80 15,84	10,50 15,75 18,00	11,76 17,64 20,16	7,30	8,00	8,80
ТДНС-16000/20	10,50 15,75 18,00	6,3	Y _H /Y-0	РПН±8 x1,5%	9,24 13,86 15,84	10,50 15,75 18,00	11,76 17,64 20,16	9,10	10	11,00
ТРДНС-25000/10	10,5	6,3-6,3	Δ/Δ-Δ-0-0	РПН±8 x1,5%	9,24	10,50	11,76	9,80	10,50	11,45
ТРДНС-25000/35	15,75 18,00 20,00 36,75	6,3-6,3	Δ/Δ-Δ-0-0	РПН±8 x1,5%	13,86 15,84 17,60 32,34	15,75 18,00 20,00 36,75	17,64 20,16 22,40 41,16	9,80	10,50	11,45
ТРДНС-32000/15	15,75 18,00 20,00 24,00 36,75	6,3-6,3	Δ/Δ-Δ-0-0	РПН±8 x1,5%	13,86 15,84 17,60 21,12 32,34	15,75 18,00 20,00 24,00 36,75	17,64 20,16 22,40 26,88 41,16	11,86	12,70	13,80
ТРДНС-40000/20	15,75 18,00 20,00	6,3-6,3	Δ/Δ-Δ-0-0	РПН±8 x 1,5%	13,86 15,84 17,60	15,75 18,00 20,00	17,64 20,16 22,40	11,73	12,70	13,93
ТРДНС-40000/35	24,00 36,75	6,3-6,3	Δ/Δ-Δ-0-0	РПН±8 x 1,5%	21,12 32,34	24,00 36,75	26,88 41,16	11,73	12,70	13,93
ТРДНС-63000/35	20,00 24,00 36,75	6,3-6,3	Δ/Δ-Δ-0-0	РПН±8 x 1,5%	17,60 21,12 32,34	20 24 36,75	22,40 26,88 41,16	12,43	12,7	13,18

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Основные параметры резервных трансформаторов собственных нужд

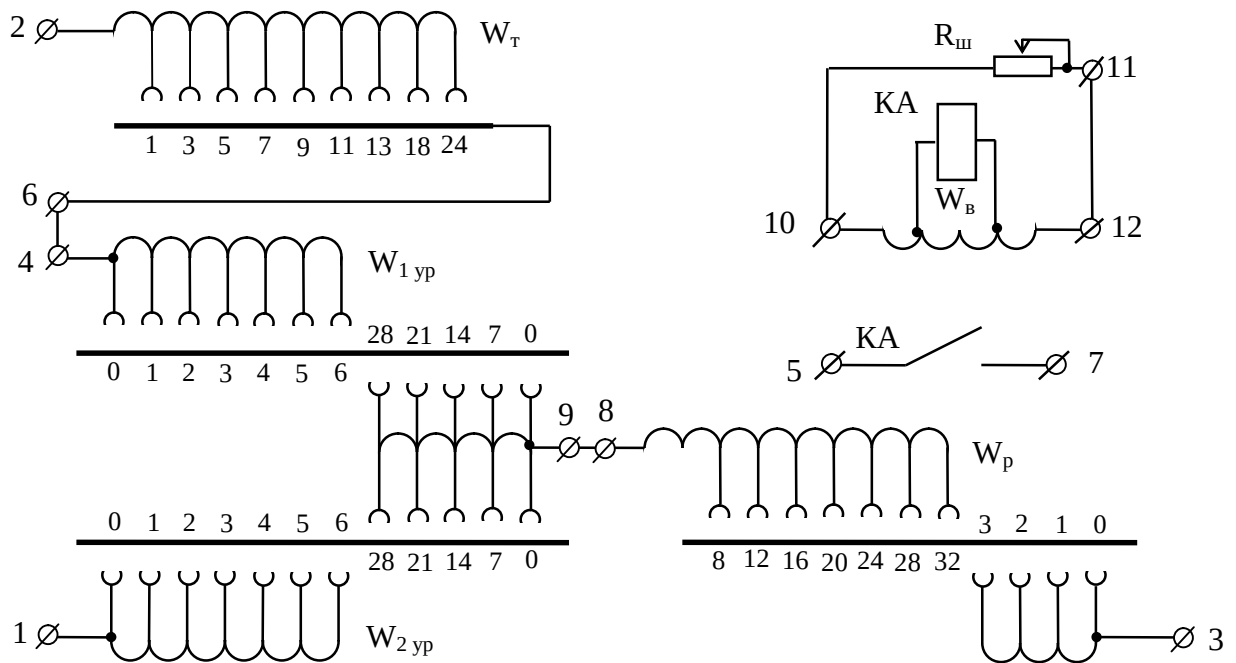
Тип трансформатора	Номинальные значения напряжения, кВ		Схема и группа соединений обмоток	Диапазон регулирования напряжения на створе ВН, %	Номинальные значения напряжения ВН, кВ			Значения напряжения короткого замыкания соответствующие положению РПН, %		
	ВН	НН			Нижний предел	Среднее положение	Верхний предел	Нижний предел	Среднее положение	Верхний предел
ТДН-10000/110	115	6,6	Y _H /Δ-11	РПН в нейтрали ВН±16%; ±9ступеней	96,53	115	133,42	10,49	10,5	11,73
ТДН-16000/110	115	6,6	Y _H /Δ-11	РПН в нейтрали ВН±16%; ±9ступеней	96,58	115	133,42	10,09	10,5	11,05
ТДН-16000/150	158	6,6	Y _H /Δ-11	РПН в нейтрали ВН±12% не менее ±8ступеней	139,04	158	176,96	10,05	-	10,62
ТРДНС-32000/150	158	6,3-6,3	Y _H /Δ-Δ-11-11	РПН в нейтрали ВН±12% не менее ±8ступеней	139,04	158	176,96	10,14	-	10,85
ТРДНС-63000/150	158	6,3-6,3	Y _H /Δ-Δ-11-11	РПН в нейтрали ВН±12%; ±12ступеней	139,04	158	176,96	10,00	-	10,66
ТРДНС-32000/220	230	6,3-6,3	Y _H /Δ-Δ-11-11	РПН в нейтрали ВН±12%; ±12ступеней	202,4	230	257,6	11,0	-	12,0

Приложение Д (продолжение)

Тип трансформатора	Номинальные значения напряжения, кВ		Схема и группа соединения обмоток	Диапазон регулирования напряжения на стороне ВН, %	Номинальные значения напряжения ВН, кВ			Значения напряжения короткого замыкания соответствующие положению РПН, %		
	ВН	НН			Нижний предел	Среднее положение	Верхний предел	Нижний предел	Среднее положение	Верхний предел
ТРДНС-40000/220	230	6,3-6,3	Y _Н /Δ-Δ-11-11	РПН в нейтрали ВН±12%; ±12ступеней	202,4	230	257,6	11,80	11,5	12,3
ТРДНС-40000/330	330	6,3-6,3	Y _Н /Δ-Δ-11-11	РПН в нейтрали ВН±12%; ±8ступеней	290,4	330	369,6	9,0	11,0	14,5
ТРДЦН-63000/330	330	6,3-6,3	Y _Н /Δ-Δ-11-11	РПН в нейтрали ВН±12%; ±12 ступеней	290,4	330	369,6	9,0	11,0	14,5

ПРИЛОЖЕНИЕ Е

Принципиальная электрическая схема реле ДЗТ-11

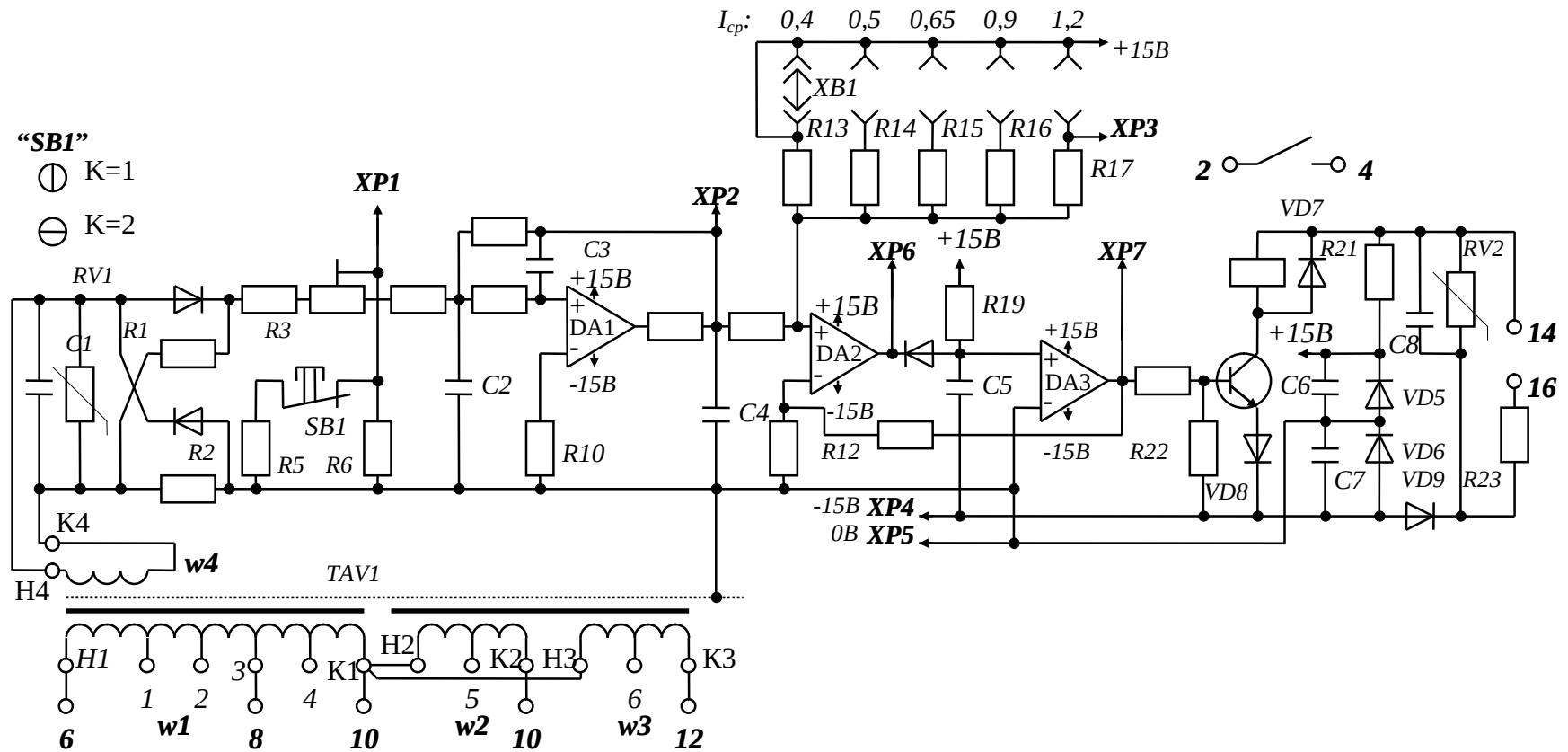


ПРИЛОЖЕНИЕ Ж

Электрическая схема и параметры статического дифференциального реле типа РСТ-15

Основные технические данные реле:

- ◆ Номинальный переменный ток, $I_{ном}$ - 5А.
- ◆ Уставки по току срабатывания $I_{ср}$ (в долях от номинального тока) при коэффициенте кратности шкалы $K=1$: 0,4; 0,5; 0,65; 0,9; 1,2.
- ◆ В реле предусмотрена возможность дискретного увеличения уставок по току срабатывания в два раза ($K=2$).
- ◆ Реле отстроено об бросков намагничивающего тока при включении ненагруженного трансформатора под напряжение с апериодической составляющей, от трансформированных бросков с поглощённой апериодической составляющей и от периодических бросков с амплитудой, превышающей амплитуду синусоидального тока срабатывания до 6,6, не менее, чем в 2,5 раза.
- ◆ Относительная предельная погрешность реле по току срабатывания не более $\pm 7,5\%$ при $K=1$ и не превышает $\pm 10\%$ при $K=2$.
- ◆ Время срабатывания реле при трёхкратном токе срабатывания не более 0,040 с.
- ◆ Коэффициент возврата реле не менее 0,75.
- ◆ Мощность, потребляемая цепями переменного тока при номинальном токе не превышает 2,0 В\А.
- ◆ Номинальное напряжение питания постоянного тока - 220 В.
- ◆ Мощность, потребляемая по цепи питания не превышает 7,0 Вт в нормальном режиме и 9,0 Вт в режиме срабатывания при номинальном напряжении питания.
- ◆ Реле имеет один замыкающийся контакт для коммутации цепей постоянного и переменного тока напряжением от 24 до 250 В.



Принципиальная электрическая схема реле типа РСТ-15

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Задание на контрольную работу	3
2. Порядок расчёта дифференциальной защиты электродвигателя с использованием электромеханического дифференциального реле типа ДЗТ-11	4
3. Порядок расчёта дифференциальной защиты электродвигателя с использованием статического дифференциального реле типа РСТ-15	6
Приложение А. Варианты задания на контрольную работу	7
Приложение Б. Параметры защищаемого электродвигателя	9
Приложение В. Относительные значения тока небаланса в режиме пуска или самозапуска электродвигателя	10
Приложение Г. Основные параметры рабочих трансформаторов собственных нужд	11
Приложение Д. Основные параметры резервных трансформаторов собственных нужд	12
Приложение Е. Принципиальная электрическая схема реле ДЗТ-11 ...	14
Приложение Ж. Электрическая схема и параметры статического дифференциального реле типа РСТ-15	15

**Анатолий Викторович Углов
Марина Борисовна Углова**

**РАСЧЁТ ПРОДОЛЬНОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ
ТОКОВОЙ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ
СОБСТВЕННЫХ НУЖД ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ**

Методические указания

Издаётся в авторской редакции

Изд. № 300/2020. Объем 1,25 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»