

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

В.В. Шестакова

**РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СРАБАТЫВАНИЯ И ПРОВЕРКА
ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЦИФРОВОЙ ДИСТАНЦИОННОЙ
ЗАЩИТЫ ВЫСОКОВОЛЬТНОЙ ЛИНИИ**

Методические указания к выполнению лабораторных работ
по дисциплинам

**Проектирование и эксплуатация РЗА в ЭС,
Релейная защита и автоматика ЭЭС**

Томск-2023

ЗАДАНИЕ

Для линии в заданном районе

- рассчитайте параметры срабатывания трех(четырех) ступеней дистанционной защиты;
- определите выдержки времени ступеней;
- проверьте чувствительность ступеней;
- сделайте выводы о соответствии спроектированной защиты нормативным требованиям.

Указания по выполнению работы в ПК «АРМ СРЗА»

В ПК АРМ СРЗА предусмотрена возможность расчета ДЗ, выполненных на различной элементной базе. Примем к установке современные шкафы серии ШЭ2607 производства НПП «ЭКРА».

Расчет первой ступени. Сопротивление срабатывания первой ступени защиты без выдержки времени должно быть отстроено от КЗ на шинах противоположного конца линии.

Выберите пункт «Задание на расчет». Появится окно (рис. 1).

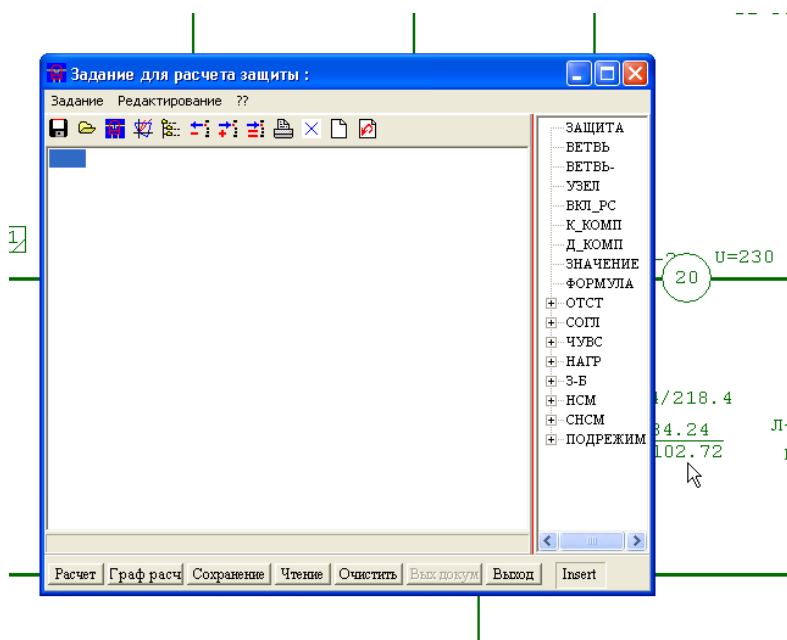
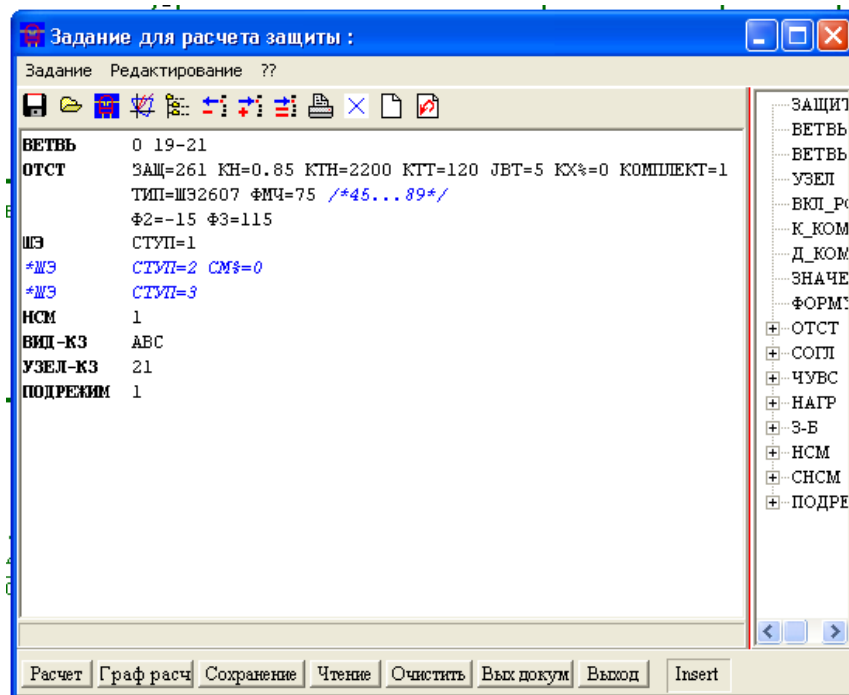


Рис. 1

Выберите пункт «Редактирование» → «Вставить из файла». Появится окно «Выберите нужное задание». В заранее заготовленной в своей рабочей директории папке «Шаблоны заданий» выберите шаблон, предусмотренный разработчиками программы, для расчета уставки первой ступени ДЗ шкафа ШЭ2607 (рис. 2).



б

Рис. 3

Приведем некоторые пояснения по заполнению задания на расчет первой ступени и по принятым обозначениям.

В исходном протоколе часть задания представлена в виде комментария. *Текст комментария отличается от основного текста голубым цветом и начертанием, меняющимся на курсив.* Типы комментариев:

- звёздочка ("*") в начале приказа заключает весь приказ в комментарий,
- символы наклонная-звездочка ("/*") заключает в комментарий текст до символов ("*/") или до конца приказа.

Для того чтобы включить (отключить) комментарий в приказе нужно стереть (напечатать) звёздочку "*" или "/"*".

ВЕТВЬ – ветвь, где установлена защита.

ОТСТ – приказ, по которому проводят отстройку от КЗ вне зоны действия ступени.

ЗАЩ = 261 – номер защиты, складывается из номера элемента ($N=26$) и номера комплекта защиты (1).

КН = 0,85 коэффициент отстройки, для ДЗ $KH < 1$.

КТН = 2200 – коэффициент трансформации трансформатора напряжения

$$КТН = U_{\text{ном}}/U_{\text{TV2}} = 220000 \text{ В} / 100 \text{ В} = 2200.$$

U_{TV2} – номинальное напряжение на вторичной обмотке трансформатора напряжения.

КТТ = 120 – коэффициент трансформации трансформатора тока

$$КТТ = I_{\text{АТ1}}/ I_{\text{ВТ}} = 600 \text{ А} / 5 \text{ А} = 120.$$

$I_{\text{АТ1}}$ – номинальный ток первичной обмотки трансформатора тока. Методику выбора трансформаторов тока смотрите в [2]. В первом приближении можно выбрать этот ток по условиям термической стойкости. Например, для провода АС-240 допустимый продолжительный ток равен примерно 520 А [1, стр. 428]. Выбираем ТА с $I_{\text{АТ1}} = 600 \text{ А}$.

$I_{\text{ВТ}}$ – номинальный ток вторичной обмотки трансформатора тока.

$K_x\%$ – коэффициент, учитывающий погрешности реле. Задается, если это необходимо.

$\Phi_{\text{МЧ}} = 75$ – угол максимальной чувствительности. Может быть примерно равен углу линии $\Phi_{\text{Л}}$.

$\Phi_2 = -15$, $\Phi_3 = 115$ – углы наклона четырехугольной характеристики первой ступени защиты. Углы (в градусах) заданы в соответствии с рекомендациями разработчиков (рис. 4). Как видно, характеристики РС микропроцессорной защиты шкафа ШЭ 2607 имеет форму параллелограммов, усечённых **отрезками направления мощности**, исходящими из начала координат.

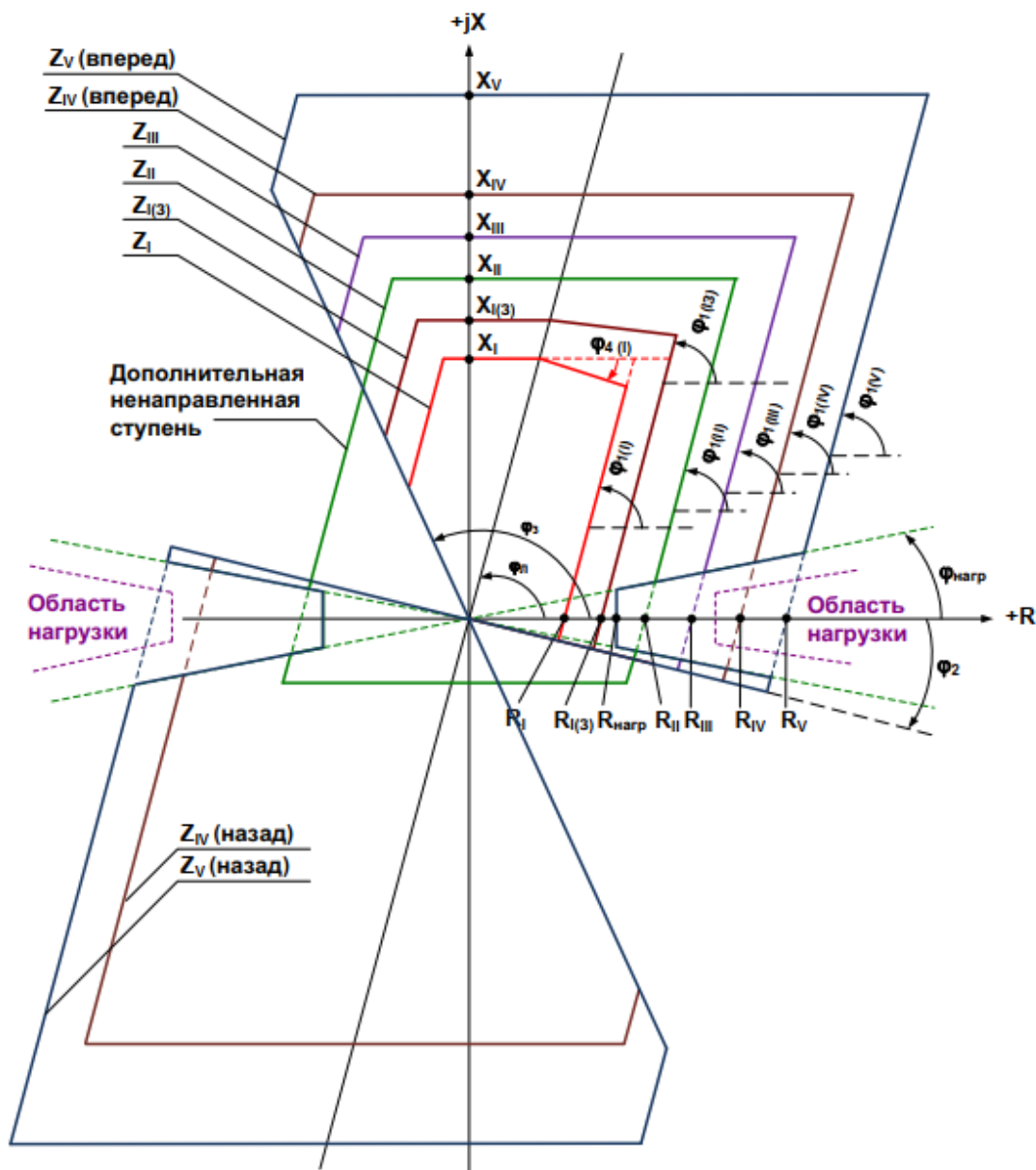


Рис. 4. Характеристики срабатывания реле сопротивления ДЗ шкафа ШЭ-2607 ступеней I, II, III

НСМ 1 – приказ, которым начинается описание первой несимметрии.
 ВИД-КЗ ABC – приказ, задающий вид несимметрии, в данном случае трехфазное КЗ, металлическое.
 УЗЕЛ-КЗ 21 – в этом приказе указывается номер узла, в котором происходит КЗ.
 ПОДРЕЖИМ 1 – в данном задании эта команда не участвует в расчете.

В дальнейших примерах не приводится подробное описание языка задания. Для расшифровки приказов смотрите приложение 2 «Описание языка задания на расчет РЗ».

После заполнения протокола задания даем команду **Расчет**. Программа выдает результат в виде протокола (рис. 5).

Расч усл	Имя	Значен	К	Повреждение	Подрежим	Зл величины
ОТСТРОЙКА	XU	27.3	0.85	ВИД-КЗ АВС		ZCA=32.62 81
	RU	14.6		УЗЕЛ-КЗ 21		
	ФМЧ	75				
	Ф2	-15				
	Ф3	115				
	Ф4	0				

Рис. 5

Принятые обозначения в протоколе:

ZCA — сопротивление на зажимах РС в показательной форме.
 XU, RU— рассчитанные уставки первой ступени, соответственно реактивная и активная составляющие полного сопротивления. Например,

$$XU = KН \cdot ZCA \cdot \sin(\varphi) = 0.85 \cdot 32.62 \cdot \sin(81) = 27.3 \text{ Ом.}$$

Протокол можно сохранить. Для этого в окне протокола зайдите в меню:

Файл – Сохранить в формате RTF – ot_261_1dz.rtf .

Обратите внимание на то, что программа по умолчанию присваивает протоколу имя **261_1dz.rtf**. Рекомендуется перед сохранением изменить название файла на **ot_261_1dz.rtf**.

Так будет проще при большом количестве сохраненных протоколов расчета различать расчеты по согласованию, отстройке и нагрузочным режимам. Все протоколы автоматически сохраняются в Вашу рабочую директорию, выбранную перед началом работы.

Для того чтобы посмотреть графическую характеристику на комплексной плоскости сверните протокол и нажмите на панели «Задание для расчета защиты» кнопку **Граф расч.** Появится окно (рис. 3.8).

При проведении расчёта предполагается, что вектор замера на зажимах РС имеет вокруг своего конца зону неопределенности, которая, в идеализированном виде, представляется окружностью. Эту окружность в дальнейшем будем называть **окружностью погрешностей замера РС**. Эта зона учитывает погрешности расчёта, измерительных трансформаторов, релейной аппаратуры.

Радиус этой окружности определяется коэффициентом КН (коэффициент отстройки). Характеристика РС не должна пересекать окружность погрешностей, а лишь касаться её в одной точке.

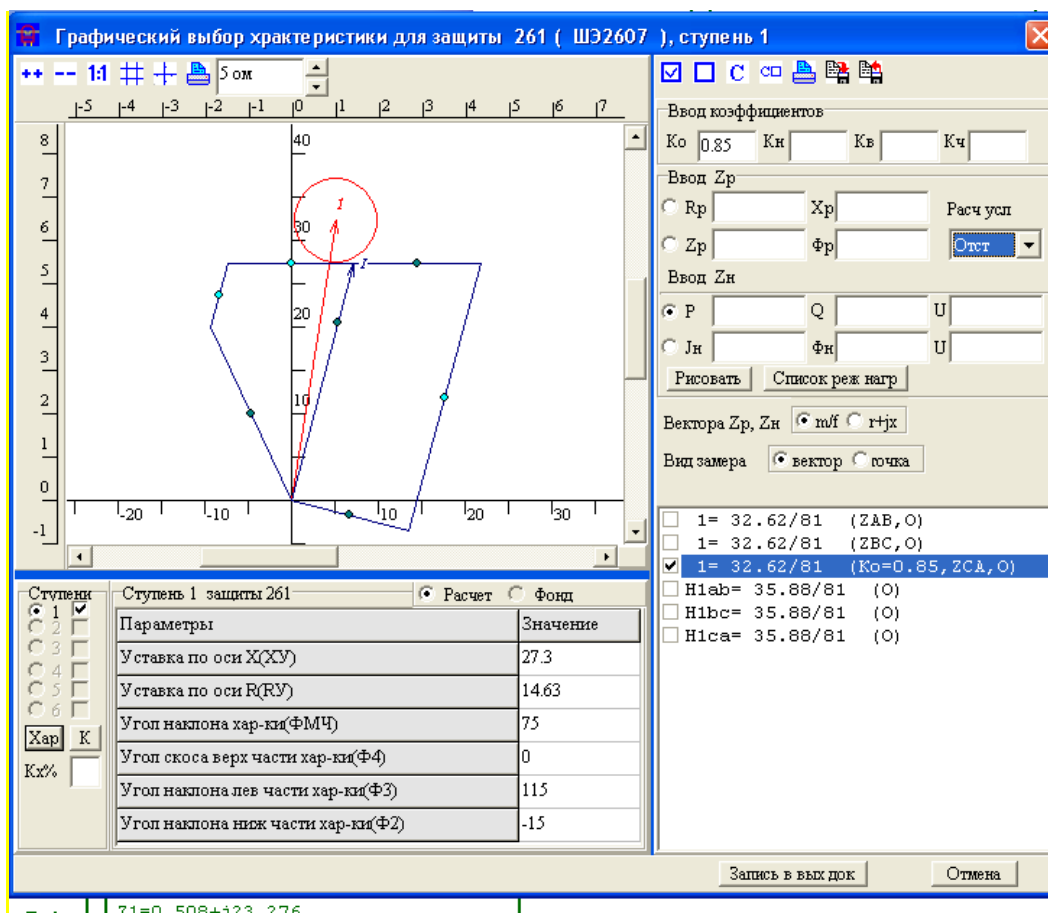


Рис. 6

Дальше необходимо очистить задание для нового расчета (рис. 7).
Иначе один расчет будет накладываться на другой.

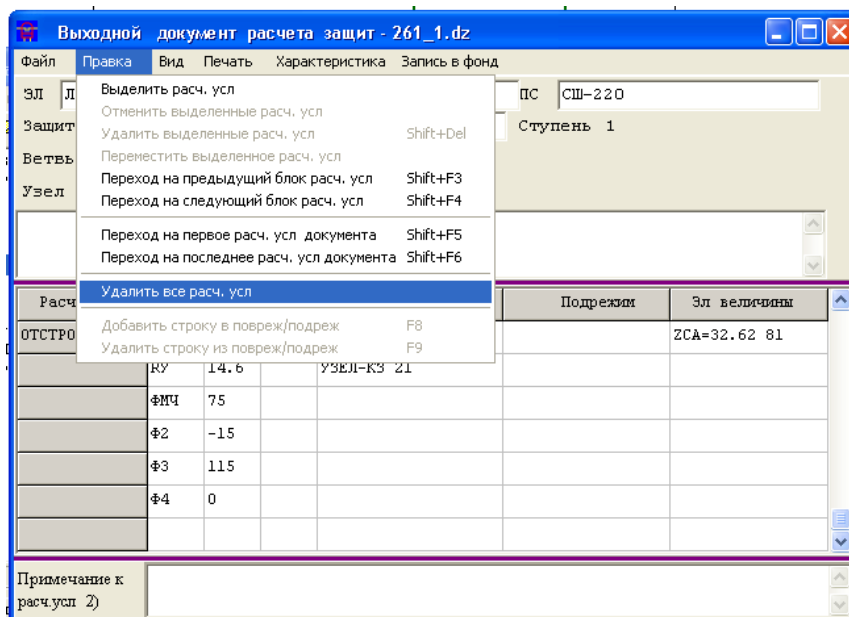


Рис. 7

Потом сохраните очищенный файл задания (рис. 8) и закройте его.

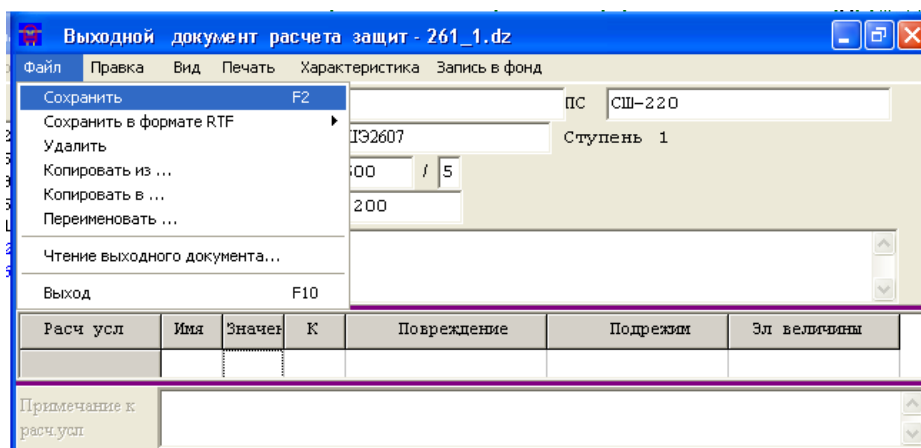


Рис. 8

Очистите окно «Задание для расчета защит» и приступайте к расчету второй ступени.

Расчет второй ступени

Первичное сопротивление срабатывания второй ступени защиты 261 должно быть:

- отстроено от КЗ на шинах низкого напряжения трансформаторов 7 и 8 (рис. 3.1),
- согласовано по чувствительности с первой ступенью защиты 301 (для линии 0 21-22 номер элемента $N = 30$, номер комплекта 1, рис. 3.2),
- согласовано с первой ступенью защиты параллельной линии 1 19-21 (защита 272) при каскадном отключении повреждения на этой линии.

В рассматриваемой схеме необходимо отстроить защиту 261 от КЗ за понизительными трансформаторами при трехфазном КЗ в узле 27 (расчетные условия при КЗ в узлах 28, 29, 30 аналогичны). Для отстройки от КЗ за трансформатором воспользуйтесь шаблоном

-OT_SHE2607.GKZ

в соответствии с приведенной выше методикой расчета первой ступени (рис. 9, а).

Прежде чем приступать к согласованию второй ступени защиты 261 и первой ступени защиты 301 необходимо рассчитать уставки первой ступени защиты 301.

Методика расчета аналогична расчету первой ступени 261. На рис. 9, б приведен только протокол расчета первой ступени защиты 301.

Расч усл	Имя	Значен	К	Повреждение	Подрезки	Эл величины
ОТСТРОЙКА	XU	185.6	0.85	ВИД-КЗ ABC		ZCA=226.33 76
Ктт=3000/5	RY	99.4		УЗЕЛ-КЗ 27		
Кти=2200	ФНЧ	75				
	Ф2	-15				
	Ф3	115				
	Ф4	0				

Примечание к расч усл 1)

а

Выходной документ расчета защит - 301_1.dz

Файл Правка Вид Печать Характеристика Запись в фонд

ЭЛ Л-2.1 ПС СШ-ПС-1

Защита 301 Тип ШЭ2607 Ступень 2

Ветвь 21-22 Ктт 600 / 5

Узел Ктн 2200

Расч усл	Имя	Значен	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ОТСТРОЙКА	XU	69.5	0.85	ВИД-КЗ ABC		ZCA=83.14 81
	RY	37.3		УЗЕЛ-КЗ 22		
	ФНЧ	75				
	Ф2	-15				
	Ф3	115				
	Ф4	0				

Примечание к расч.усл 1)

б
Рис. 9

Для согласования с первой ступенью защиты 301 воспользуйтесь шаблоном

-SG_SHE2607.GKZ.

И при отстройке и при согласовании второй ступени параллельная линия (1 19-21) должна быть отключена, так как для расчета уставки второй ступени нужно обеспечить максимальный ток в защите 261.

На рис. 3.12, а показан исходный незаполненный шаблон задания на согласование. На рис. 3.12, б – заполненный.



СОГЛ – по приказу СОГЛ проводится согласование параметров срабатывания ступеней на смежных участках электрической сети. Рассчитываемая защита - Защ А, а защита, с которой проводится согласование - Защ Б. В данном примере защитой Б является защита 301.

$XU = 69.5$ $RY = 37.5$ – сопротивления уставок первой ступени защиты 301 (рис. 3.10).

ВЕЕР 30/21 – первое число N = 30 номер элемента (линии) с которой производится согласование, 21 – номер узла в начале этой линии от которого начинается «просмотр» линии для поиска конца зоны действия первой ступени защиты Б (защита 301).

ОТКЛ 1 19-21 – отключение параллельной линии, для того, чтобы увеличить ток в рассчитываемой защите 261. Эта команда вставляется из окна команд ПОДРЕЖИМ – ОТКЛ (окно справа на рис. 3.12).

Появляется протокол (его фрагмент представлен на рис. 11, а, полный протокол – таблица 1).

Расч усл	Имя	Значен	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ	XU	73.5	0.85	ВИД-КЗ ABC	ОТКЛ 1 19-21	ZCA=91.91 72
с 1 СТУПЕНЬЮ	RY	39.4		ВЕЕР 30/21		ZBC(B)=63.45 81
XU=69.5	ФМЧ	75		21-22,0.770		
RY=37.5	Ф2	-15		(Lотн_лин=0.770)		
T=0.00	Ф3	115				
ФМЧ 75						
Ф2 -15						
Ф3 115						
Ф4 0						

Рис. 11

Таблица 1

Защита	261	Тип	ШЭ2607	Степень	2
Ветвь	19-21	КТТ	600/5		
Узел		КТН	2200		

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
СОГЛАСОВАНИЕ	XU	73.5	0.85	ВИД-КЗ ABC	ОТКЛ 1 19-21	ZCA=91.91 72

Расч условие	Имя	Знач	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
с 1 СТУПЕНЬЮ ХУ=69.5 РУ=37.5 Т=0.00 ФМЧ 75 Ф2 -15 Ф3 115 Ф4 0 защита 301 ШЭ2607 (21-22) ЭЛ:Л-2.1 ПС:СШ-ПС-1	РУ ФМЧ Ф2 Ф3	41.6 70 -15 115		ВЕЕР 30/21 21-22,0.770 (Лотн_лин=0.770)		ZAB(Б)=63.45 81
	ХУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3	56.2 31.8 70 -15 115	0.85	ВИД-КЗ АВС ВЕЕР 30/21 21-22,1.000 (Лотн_лин=1.000)	ОТКЛ 1 19-21	ZCA=68.74 75 ZAB(Б)=83.14 81
СОГЛАСОВАНИЕ с 1 СТУПЕНЬЮ ХУ=69.5 РУ=37.5 Т=0.00 ФМЧ 75 Ф2 -15 Ф3 115 Ф4 0 защита 301 ШЭ2607 (21-22) ЭЛ:Л-2.1 ПС:СШ-ПС-1	ХУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3	56.2 31.8 70 -15 115	0.85 Котс= 0.66	ВИД-КЗ АВС ВЕЕР 30/21 21-22,0.770 (Лотн_лин=0.770)	ОТКЛ 1 19-21	ZCA=91.91 72 ZAB(Б)=63.45 81 (Граф расч)
СОГЛАСОВАНИЕ с 1 СТУПЕНЬЮ ХУ=69.5 РУ=37.5 Т=0.00 ФМЧ 75 Ф2 -15 Ф3 115 Ф4 0 защита 301 ШЭ2607 (21-22) ЭЛ:Л-2.1 ПС:СШ-ПС-1	ХУ РУ ФМЧ Ф2 Ф3	56.2 31.8 70 -15 115	Котс= 0.85	ВИД-КЗ АВС ВЕЕР 30/21 21-22,1.000 (Лотн_лин=1.000)	ОТКЛ 1 19-21	ZCA=68.74 75 ZAB(Б)=83.14 81 (Граф расч)

Принятые в протоколе обозначения.

<Т=0.00 > – время срабатывания защиты Б, с которой ведётся согласование. Оно указывается для удобства анализа работы защиты, на расчет влияния не оказывает.

21-22, 0.770 – ветвь с защитой которой ведется согласование и относительное расстояние от первого узла в обозначении ветви (21) до точки, где защита 301 выведена на грань срабатывания. По этой

информации можно судить, какой процент линии 21-22 закрыт зоной действия первой ступени защиты 301. В данном примере это 77% длины линии.

$K_{отс} = 0,85$ – если коэффициент отстройки $K_{отс}$, полученный в результате расчета, совпадает с заданным $KН = 0,85$, то в колонке К печатается только текст $K_{отс} = 0,85$.

$K_{отс} = 0.66$ – новое значение $K_{отс}$, полученное в результате расчета при заданных расчетных условиях.

Параметры срабатывания, полученные в результате расчета, проверяются на возможность выставления их на РС. Если рассчитанная уставка получается больше максимального паспортного значения, то в документ печатается значение параметра срабатывания равное максимальному паспортному значению $Z_{МАК}$. В этом случае программа пересчитает коэффициент отстройки относительно максимальной паспортной уставки и тоже выведет его в выходной документ в виде текста « $K_{отс} = \langle \text{значение} \rangle$ ».

За расчетное принимается меньшее сопротивление срабатывания из трех условий. В данном примере наименьшее сопротивление срабатывания получилось по условию согласования с первой ступенью защиты предыдущей линии $N = 30$.

Не закрывая протокол, нажмите кнопку **Граф расч** на панели задания для построения характеристики защиты.

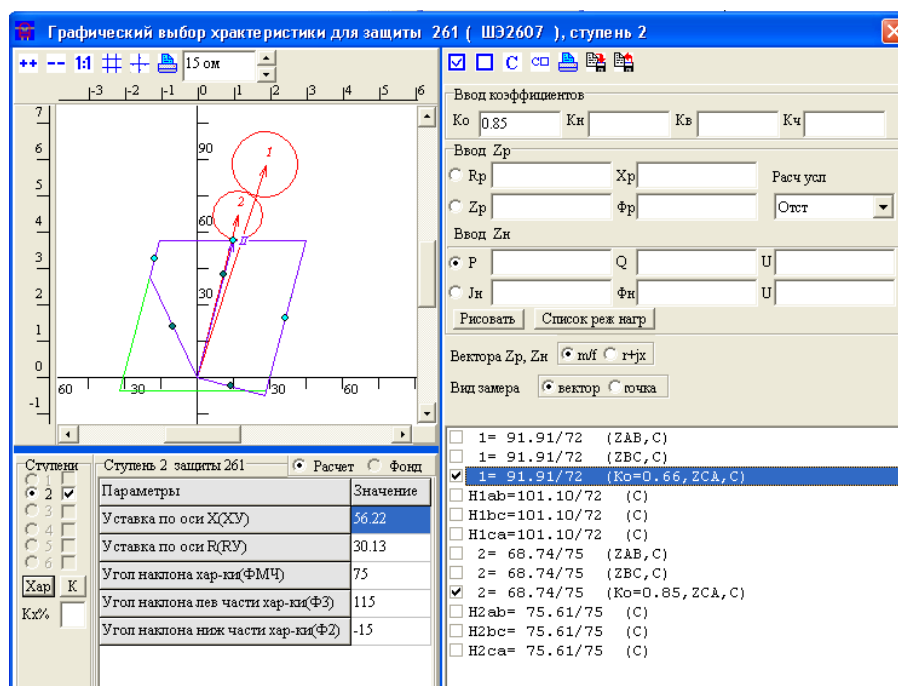


Рис. 12

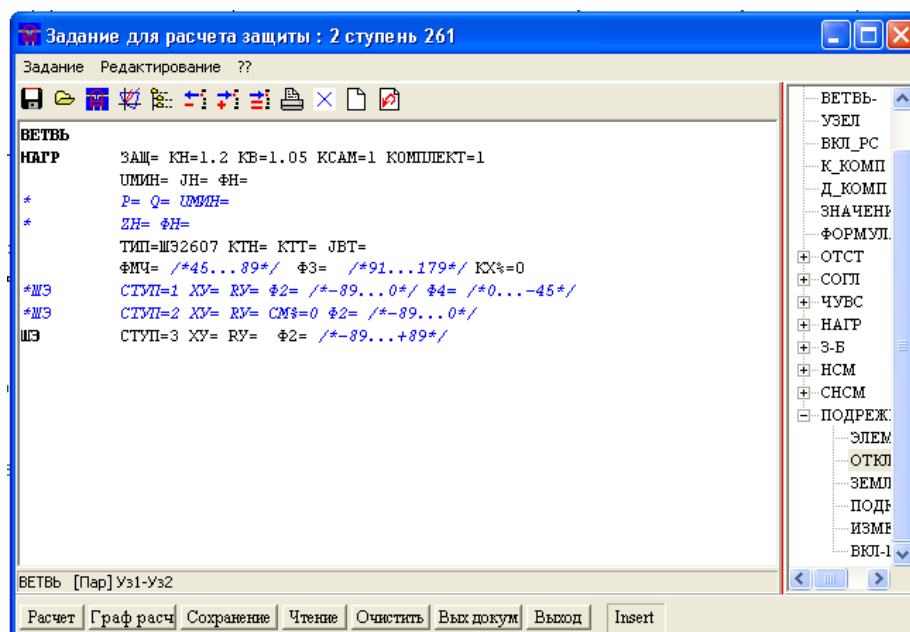
Обратите внимание, в данном случае программа выдает два расчетных условия для $L_{отн_лин}=1.000$ и для $L_{отн_лин}=0.770$.

На графической панели в списке векторов кроме **векторов измерительных органов** (1, 2, ...) приведены также **вектора органа направления мощности**: H_a , H_b , H_c или H_{ab} , H_{bc} , H_{ca} (включение реле ОНМ по умолчанию описано в приказе “ШЭ”). Вектора органа направления мощности должны быть внутри области, определенной углами отсечения $\Phi 2$ и $\Phi 3$.

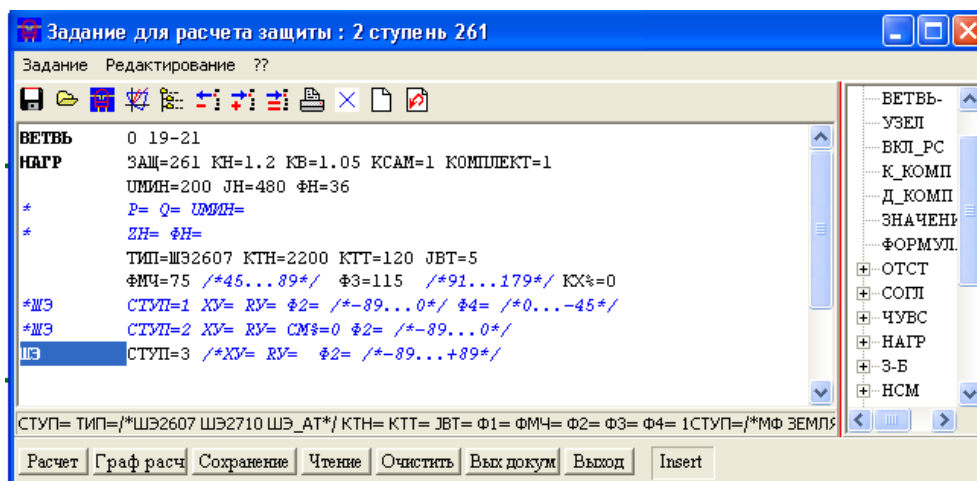
Не забудьте очистить расчетные условия и окно задания, как при расчете первой ступени.

Расчет третьей ступени

Третья ступень ДЗ отстраивается от минимального сопротивления в рабочем режиме нагрузки, то есть в условиях возможного в эксплуатации максимального рабочего тока и минимального напряжения. Для расчета третьей ступени воспользуйтесь шаблоном - NG_SHE2607.GKZ (рис. 13, а, б).



а



б
Рис. 13

Рассмотрим принятые в задании обозначения.

$KB = 1.05$ — коэффициент возврата.

$КСАМ = 1$ – коэффициент самозапуска.

Если рассчитывается защита, установленная на присоединениях 110 кВ и выше, допускается принимать коэффициент самозапуска, учитывающий увеличение тока при самозапуске асинхронных двигателей, $КСАМ = 1$.

Информацию о рабочем режиме можно задавать одним из трех способов:

1. через напряжение, ток и фазу нагрузки

$$U_{МИН} = JH = \Phi H =$$

2. через потоки активной и реактивной мощностей в присоединении

$$P = Q = U_{МИН} =$$

3. через сопротивление и фазу нагрузки

$$ZH = \Phi H =$$

Воспользуемся первым способом. Если о нагрузке нет вообще никаких данных, то можно задавать ток нагрузки в линии исходя из допустимого тока провода, снизив его на 20–30%. Например, для провода АС-240 длительно допустимый ток равен 520 А [1, стр. 432]. Принимаем максимальный ток нагрузки $JH = 480$ А. Угол нагрузки для сетей 110-220 кВ рекомендуется принимать 36 градусов.

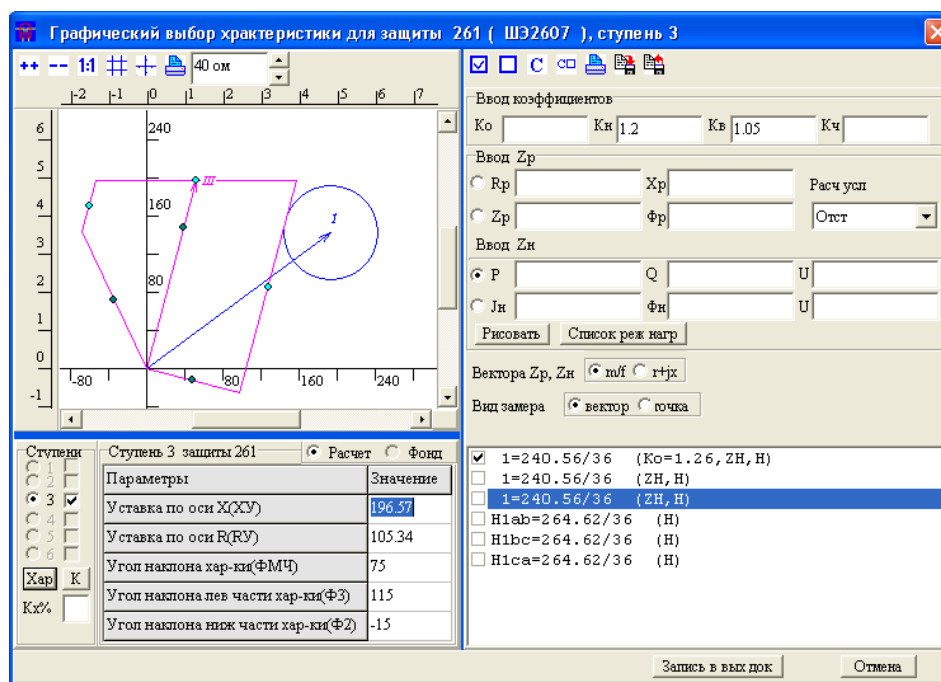
Если есть информация о трансформаторах тока на присоединениях, то допускается принимать максимальный рабочий ток равным номинальному току в первичной обмотке ТА. В рассматриваемом примере для $K_{тт} = 600/5$ этот ток равен 600 А (рис 2.16).

Однако такой подход может неоправданно загроублять защиту. Поэтому лучше принимать максимальный рабочий ток на основании расчетов установившихся режимов заданного района в ПК Мустанг или РАСТР. В этом случае можно рассчитать токи присоединений в максимальном и минимальном рабочих режимах, учесть ремонтные и послеаварийные режимы.

Протокол расчета приведен на рис. 14, 6.

Расч усл	Имя	Значен	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
НАГРУЗКА	XУ	196.6	1.26		КН=1.20 КВ=1.05	ЗН=240.56 36
	РУ	105.3			ЖН=480 УМЖН=200	
	ФМЧ	75			ФН=36	
	Ф2	-15				
	Ф3	115				

а



б

Рис. 14

Проверка чувствительности ДЗ

Теперь необходимо проверить чувствительность защиты. Для проверки чувствительности через защиту должен протекать минимальный ток. Для обеспечения этого условия необходим режим, когда включены обе параллельные линии 0 19-21 и 1 19-21.

Чувствительность для первых ступеней дистанционной защиты допускается не проверять.

Чувствительность второй и третьей ступеней проверяется при трехфазном КЗ в конце линии 1 (узел 21) и в конце линии 2 (узел 22) соответственно. Шаблон для проверки чувствительности шкафа ШЭ2607 – CH_SHE2607.GKZ (рис. 15).

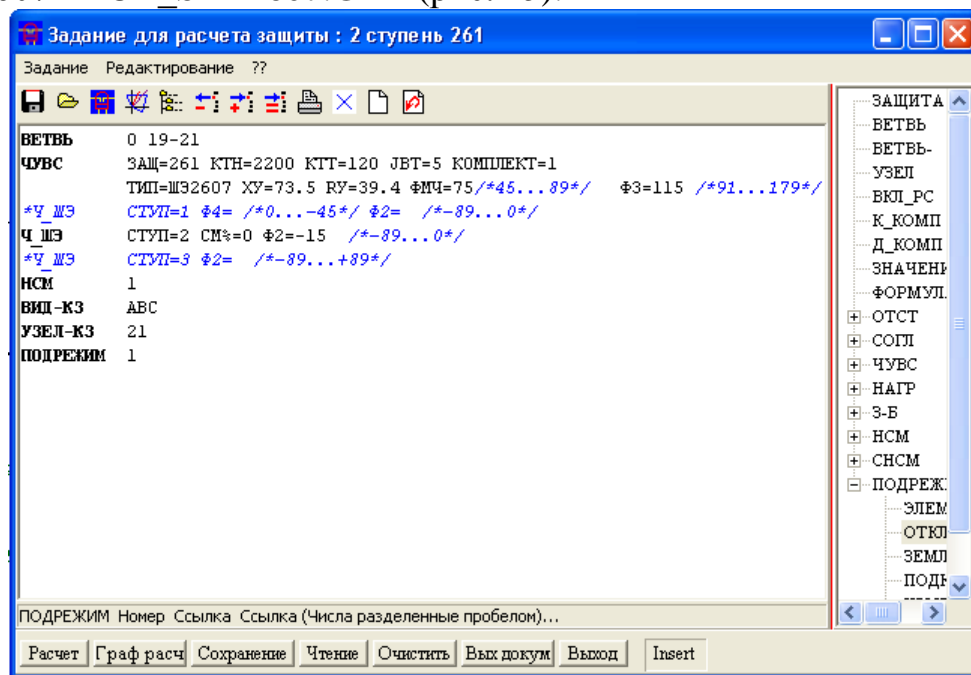


Рис. 15

Принятые обозначения в задании на расчет:

ХУ, RY – рассчитанные ранее уставки нужной ступени,

СМ% – заданное смещение вектора. Для смещения в третий квадрант задавать с «-», для смещения в 1, 2 квадрант с «+».

Выходной документ расчета защит - 261_2.dz

Файл Правка Вид Печать Характеристика Запись в фонд

ЭЛ Л-1.1 ПС СШ-220

Защита 261 Тип ШЭ2607 Ступень 2

Ветвь 19-21 Ктт 600 / 5

Узел Ктн 2200

Расч усл	Имя	Значен	К	Повреждение	Подрежим	Эл величины
ЧУВСТВИ-НОСТЬ	XU	73.5	2.28	ВИД-КЗ ABC		ZAB=32.62 81
	RY	39.4	11.63	УЗЕЛ-КЗ 21		Ip=1826 -83
	ФМЧ	75	КЧзр=			
	Ф2	-15	1.56			
	Ф3	115				
	ХВТ	4.01				
	РВТ	2.15				
	JTP	0.50	30.43			

Рис.16

$K_{Чзр} = 1.56$ – коэффициент чувствительности, рассчитанный как минимальное расстояние от конца вектора замера на РС до характеристики по формуле

$$K_{Чзр} = (Z_p + d_{\min}) / (Z_p) = (32.62 + 32.62 \cdot \sin(115 - 81)) / 32.62 = 1.56,$$

где Z_p – модуль замера на РС;

d_{\min} – минимальное расстояние от конца вектора Z_p до характеристики реле (в данном случае до грани, определяемой углом Φ_3).

$K = 2.28$ – коэффициент чувствительности по отношению к уставке по оси X, рассчитанный по формуле

$$K_{Чх} = X_{уст} / (|Z_p \cdot \sin \Phi_p|) = 73.5 / (32.62 \cdot \sin 81) = 2.28.$$

$K = 11.63$ - коэффициент чувствительности по отношению к уставке по оси R, рассчитанный по формуле

$$K_{Чr} = |(R_{уст} \cdot \sin \Phi_{бс}) / (Z_p \cdot \sin(\Phi_{бс} - \Phi_p))| = | (39.4 \cdot \sin 75) / (32.62 \cdot \sin(75 - 81)) | = 11.63,$$

где $\Phi_{бс}$ – угол наклона характеристики.

При проверке чувствительности ступени ДЗ кроме Кч по сопротивлению определяется Кч по току точной работы

$$K_{Чj} = I_p / I_{тр},$$

где I_p – ток протекающий через РС;

$I_{тр}$ – ток точной работы для данного РС, который определяется по заводской информации, заложенной в программу по типу панели.

В данном примере коэффициент чувствительности по току точной работы **ЖТР** = 30.43.

При определении тока точной работы может быть обнаружено, что уставка во вторичных величинах меньше минимальной паспортной уставки для рассчитываемой панели. В этом случае в выходном документе печатается минимальное паспортное значение.

ХВТ, RBT – сопротивления, приведенные к вторичным цепям с учетом $K_{тт}$ и $K_{тн}$. Например, $XBT = 73.5 \cdot 120 / 2200 = 4.01$ Ом.

Чувствительность третьей ступеней проверяется аналогично. Только в задании на расчет (рис. 3.18) необходимо исключить из задания ступень 2 (надо поставить в начале этой строки «*») и включить в текст задания ступень 3 (стереть «*» перед этой строкой). Также необходимо задать другой узел КЗ (узел 22).

Обратите внимание на то, что теперь вектор замера РС должен находиться внутри характеристики (рис. 17).

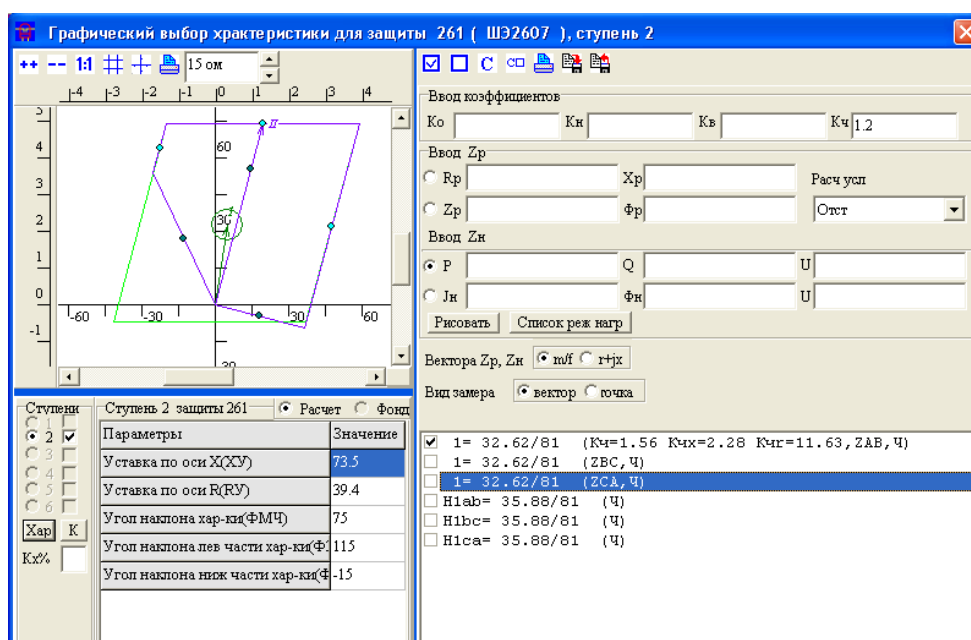


Рис.17

Литература

1. Беркович М.А. и др. Основы техники релейной защиты. – Москва: Энергоатомиздат, 1984. – 376 с.
2. Неклепаев Б.Н., Крючков И.П. Электрическая часть электростанций и подстанций: справочные материалы для курсового и дипломного проектирования. – Москва: Энергоатомиздат, 1989. – 608 с.