

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ  
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра Электроснабжения и электротехники

ОТЧЕТ  
по лабораторной работе  
«Согласование максимальных токовых защит  
с независимыми выдержками времени»

по дисциплине  
«Электроснабжение сельского хозяйства»

Выполнил:  
студент \_\_\_\_\_ гр. АЭФ

\_\_\_\_\_  
ФИО

Преподаватель:

\_\_\_\_\_  
ФИО

Минск 2024г.

## Лабораторная работа.

### Согласование максимальных токовых защит с независимыми выдержками времени

**Цель работы.** Изучить методику согласования максимальных токовых защит с независимыми выдержками времени.

#### План работы.

1. Рассчитать токи срабатывания МТЗ.
2. Согласовать на селективность МТЗ последовательно включенных элементов сети (линий Л1, Л2 и трансформатора).
3. Произвести расчет тока срабатывания токовой отсечки.
4. Определить коэффициенты чувствительности защит и сравнить с допустимыми значениями.
5. Отрегулировать реле согласно рассчитанным уставкам.
6. Проверить селективность защит при коротких замыканиях в различных точках сети.
7. Построить график согласования защит (карту селективности).

**Общие сведения.** Для защиты от коротких замыканий линий, трансформаторов, генераторов и электродвигателей применяется токовая защита. В сельскохозяйственных электроустановках преимущественно применяются два вида токовой защиты: максимальная токовая защита (МТЗ) и токовая отсечка (ТО). Основное различие этих защит состоит в способе согласования на селективность. Так, МТЗ отстраивается на селективность по времени действия. Токовая отсечка является защитой мгновенного действия. Селективность ее обеспечивается отстройкой по току срабатывания.

Ток срабатывания максимальной токовой защиты отстраивается от максимального тока нагрузки и определяется по выражению:

$$I_{с.з.} = \frac{K_n K_{с.зап.}}{K_b} I_{раб. макс.},$$

где  $K_n$  — коэффициент надежности;

$K_{с.зап.}$  — коэффициент самозапуска;

$K_b$  — коэффициент возврата токового реле;

$I_{раб. макс.}$  — максимально возможная величина тока нагрузки с учетом возможных перегрузок в ремонтных и в аварийных режимах, А.

Коэффициент надежности  $K_n$  учитывает разброс по току срабатывания реле, погрешности трансформаторов тока и погрешности при регулировке тока срабатывания.

Коэффициент самозапуска учитывает увеличение тока нагрузки при самозапуске двигателей после восстановления напряжения в результате отключения короткого замыкания на смежном участке или действия АПВ. Величина его рассчитывается по суммарной мощности двигателей защищаемого элемента сети, которые могут работать в режиме самозапуска. Минимальная величина  $K_{с.зап.} = 1$  относится к нагрузке, состоящей из освещения, бытовых приборов; максимальная величина  $K_{с.зап.} = 2,6...3,0$  — для линий и трансформаторов, питающих силовую нагрузку. Для линий напряжением 10 кВ сельских районов  $K_{с.зап.} = 1,2...1,3$ .

Коэффициент возврата зависит от типа токового реле. Для электромагнитных реле РТ-40 заводы-изготовители гарантируют величину  $K_B$  не ниже 0,80; при наладке защиты можно получить  $K_B = 0,85$  и более.

Ток срабатывания реле определяют по формуле:

$$I_{c.p.} = \frac{K_{cx}}{n_1} I_{c.з.},$$

где  $K_{cx}$  — коэффициент схемы при симметричном режиме работы (для схем соединения трансформаторов тока в полную и неполную звезду  $K_{cx} = 1$ , при включении реле на разность токов двух фаз  $K_{cx} = \sqrt{3}$ );

$n_1$  — коэффициент трансформации трансформаторов тока.

Ток уставки реле принимают согласно выражению

$$I_y \geq I_{c.p.}$$

Последовательно расположенные максимальные токовые защиты согласуются на селективность по времени действия. Выдержка времени защиты, расположенной ближе к источнику питания, принимается больше выдержки времени следующей, расположенной дальше от источника.

Уставки по времени срабатывания для МТЗ с независимыми характеристиками выбираются по ступенчатому принципу и рассчитываются по формуле:

$$t_n = t_{n-1} + \Delta t,$$

где  $n$  - последовательный номер защиты, считая от наиболее удаленной от источника питания точки (рисунок 1.)

$\Delta t$  - ступень селективности защиты.

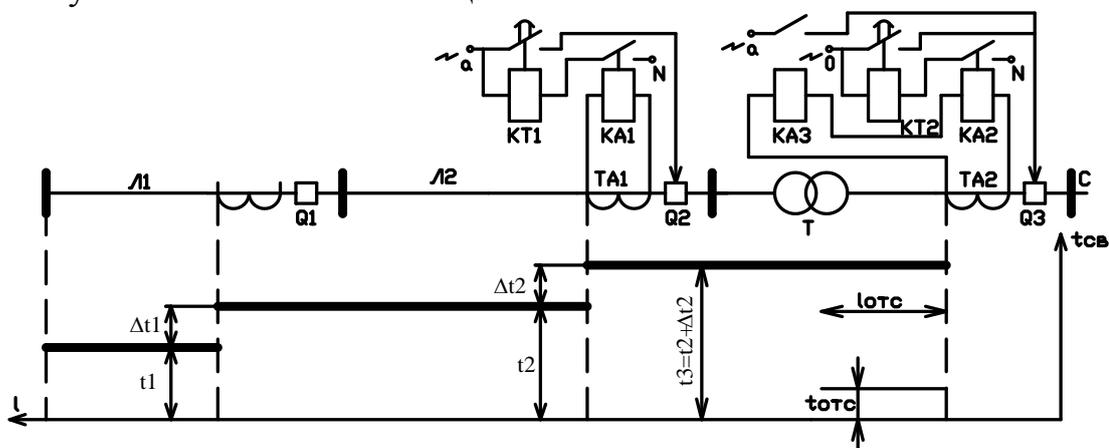


Рисунок 1 - График согласования защит

Степень селективности есть разность между уставками по времени срабатывания последовательно расположенных защит. Она должна учитывать возможные отклонения времени действия двух согласуемых защит от уставок по времени срабатывания. Степень селективности рассчитывается по формуле:

$$\Delta t = t_{B n-1} + t_{p n} + t_{p n-1} + t_{и} + t_{зап.},$$

где  $t_{B n-1}$  - время действия выключателя предыдущей защиты (по направлению от приемника энергии к источнику) с момента подачи импульса тока на отключающую катушку до момента гашения дуги, с;

$t_{p n-1}$  - разброс по времени срабатывания предыдущей защиты (положительная погрешность);

$t_{pn}$  – разброс по времени срабатывания защиты данного участка (отрицательная погрешность), с;

$t_{и}$  — время инерционного выбега реле (учитывается только для инерционных реле), с.

$t_{зап}$  — время запаса, учитывающее неточности, допускаемые при регулировке реле времени, а также увеличение времени действия выключателя в зимнее время, с.

Ток срабатывания отсечки рассчитывается по двум условиям: селективности и отстройки от бросков, намагничивающего тока сетевых трансформаторов, возникающих при включении линии на напряжение.

По условию селективности действия ток срабатывания отсечки отстраивается от максимального тока короткого замыкания в конце защищаемого участка и определяется по формуле:

$$I_{с.з.} = K_{н} I_{КЗ},$$

где  $I_{КЗ}$  - периодическая составляющая тока короткого замыкания для  $t = 0$ .

$K_{н}$  - коэффициент надежности.

В распределительных сетях необходимо отстраивать ток срабатывания отсечки также от броска намагничивающих токов сетевых трансформаторов. Для мгновенных отсечек с реле РТ-40 и промежуточными выходными реле

$$I_{с.з.о} \geq (3..4) I_{н тр.}$$

Для отсечек, выполненных реле РТ-85 и РТМ,

$$I_{с.з.о} \geq (4..5) I_{н тр.},$$

где  $I_{н тр.} = \frac{S_{н тр.}}{\sqrt{3}U_{н}}$  — номинальный ток трансформатора, А.

$S_{н тр.}$  — номинальная мощность трансформатора, кВ·А;

$U_{н}$  — номинальное напряжение сети, кВ.

Из двух значений тока срабатывания отсечки, полученных по формулам, принимается большее.

Чувствительность МТЗ оценивается коэффициентом чувствительности, который определяется по формуле:

$$K_{ч} = \frac{I_{КЗ мин}}{I_{с.з.}},$$

где  $I_{КЗ мин}$  — минимальное значение тока КЗ (в конце защищаемого участка или в конце зоны резервирования) при КЗ, дающем наименьшее значение тока, А. Для сельских сетей напряжением 10–35 кВ это двухфазное КЗ.

В отличие от коэффициента чувствительности МТЗ коэффициент чувствительности отсечки проверяют при КЗ не в конце защищаемой зоны, где отсечка не действует, а по току КЗ в месте установки отсечки. Этот коэффициент определяют по выражению

$$K_{ч отс} = \frac{I_{КЗ мин в месте установки отс.}}{I_{с.з. отс.}}.$$

Для трансформатора  $K_{ч отс. доп} = 2$ .

При использования отсечки для защиты линий (в качестве резервной защиты) допускается  $K_{ч\text{отс.}} < 2$  (при условии, что отсечка защищает не менее 15...20% длины линии).

### Порядок выполнения работы.

1. Ознакомиться со схемой сети, схемами защит, релейной аппаратурой.

На стенде представлена схема радиальной сети с односторонним питанием, состоящая из трех участков — трансформатора и линий Л1 и Л2 (рисунок 1). Там же смонтирована релейная аппаратура защит трансформатора и линии Л2. На линии Л2 установлена МТЗ (реле  $KA1$  и  $KT$ ), на трансформаторе — МТЗ (реле  $KA2$  и  $KT2$ ) и отсечка (реле  $KA3$ ). Защита линии Л1 на стенде не представлена.

2. Включить все участки сети и измерить максимальные токи нагрузки линии Л2 и трансформатора. Для определения первичных токов нагрузки измеренные вторичные токи трансформатора тока необходимо умножить на коэффициент трансформации (коэффициенты трансформации трансформаторов тока приведены в таблице 1.2). Данные измерений и расчетов по величине токов нагрузки занести в таблицу.

Таблица 1 – Параметры элементов сети (задается преподавателем)

Вид оборудования, обозначение на схеме	Характеристика оборудования	Параметры элементов сети
Трансформатор $T$	напряжение, кВ	/
	мощность, кВ·А	
Трансформатор тока $TA1$	$n_1 = I_{1н} / I_{2н}$	
Трансформатор тока $TA2$	$n_1 = I_{1н} / I_{2н}$	
Выключатель $Q1$	Время отключения, с	
Защита линии Л1	Вид защиты	
	Время действия, с	
	Реле времени	

Таблица 2 – Величина токов нагрузки

Вид оборудования, обозначение на схеме	Ток нагрузки, А	
	Измеренное значение тока на стороне НН, А	Расчетное значение тока на стороне ВН, А
Трансформатор $T$		
Линия Л2		

3. Измерить токи трехфазного короткого замыкания в точках К1, К2, К3. Режим короткого замыкания устанавливается нажатием на соответствующие кнопки, смонтированные в мнемоническую схему. Чтобы исключить действие защиты в режимах К3, необходимо уставки реле защит установить максимальными.

Результаты занести в таблицу.

Таблица 3 - Значения токов короткого замыкания

Точка КЗ	Токи короткого замыкания, А			
	Измеренное значение тока на стороне НН, А		Расчетное значение тока на стороне ВН $I_k = I_2 n_1$ , А	
	Л2	Сторона ВН трансформатора	Л2	Сторона ВН трансформатора
К1				
К2	—		—	
К3	—	$\infty$	—	$8n_T =$

4. Рассчитать токи срабатывания МТЗ линии Л2 и трансформатора, определить уставки реле по току срабатывания. Вариант задания указывается преподавателем.

$K_H =$	$K_{с.зап} =$	$K_B =$
$K_{сх} =$	$n_1 =$	
$I_{с.з.Л2} = \frac{K_H K_{с.зап}}{K_B} I_{раб.макс Л2(ВН)} =$		
$I_{с.з.тр} = \frac{K_H K_{с.зап}}{K_B} I_{раб.макс тр(ВН)} =$		
$I_{с.р.Л2} = \frac{K_{сх}}{n_1} I_{с.з.Л2} =$		
$I_{с.р.тр} = \frac{K_{сх}}{n_1} I_{с.з.тр} =$		

5. Рассчитать ток срабатывания отсечки по условиям отстройки от токов внешнего короткого замыкания и бросков намагничивающего тока сетевого трансформатора.

По большему из полученных значений определить уставку токового реле отсечки и отрегулировать реле в соответствии с уставкой.

$I_{с.з.отс.} = K_H I_{КЗ(К2)} =$	
$I_{с.з.отс} \geq (3...4) I_{н.тр.} = (3...4) \frac{S_{н.тр.}}{\sqrt{3} U_H} =$	
$I_{с.р.отс.} = \frac{I_{с.з.отс.} K_{сх}}{K_T} =$	

6. Проверить чувствительность МТЗ и отсечки.

Токи двухфазного КЗ для сельских сетей могут быть рассчитаны из выражения  $I_K^{(2)} = 0,876 I_K^{(3)}$ . Результаты расчета необходимо сравнить с минимальными значениями  $K_{ч}$  из ПУЭ.

$K_{ч} = \frac{I_{КЗ мин}}{I_{с.з.}}$	
---------------------------------------	--

$K_{\text{ч отс}} = \frac{I_{\text{КЗ мин в месте установки отс.}}}{I_{\text{с.з. отс.}}} =$	
--	--

Вывод: Чувствительность МТЗ \_\_\_\_\_ требованиям ТНПА, чувствительность токовой отсечки \_\_\_\_\_ требованиям ТНПА.

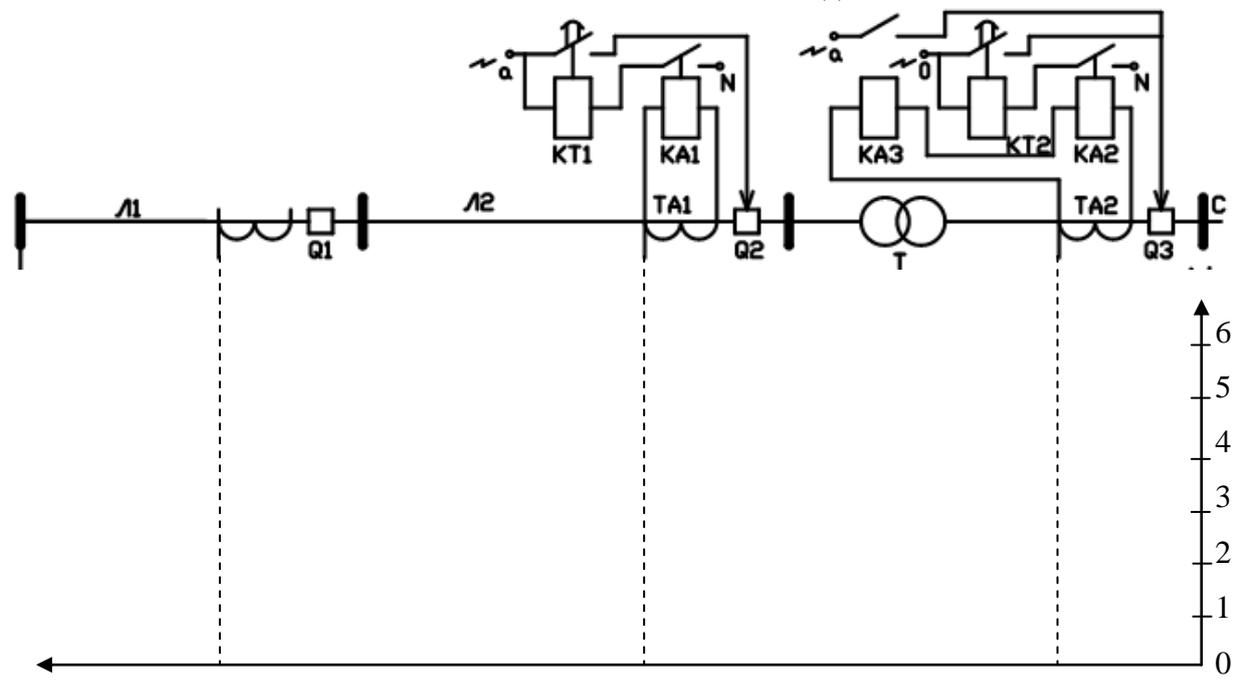
7. Согласовать на селективность МТЗ Л2 и трансформатора. Для этого следует:

- а) рассчитать ступени селективности защит;
- б) определить уставки по времени срабатывания защит;
- в) отрегулировать реле времени на соответствующие уставки.

Необходимые для расчетов сведения об уставках и оборудовании защиты Л1 приводятся в таблице 1.2.

$\Delta t_1 = t_{\text{в}n-1} + t_{\text{р}n} + t_{\text{р}n-1} + t_{\text{и}} + t_{\text{зап}} =$	
$t_2 = t_1 + \Delta t_1 =$	
$\Delta t_2 = t_{\text{в}n-1} + t_{\text{р}n} + t_{\text{р}n-1} + t_{\text{и}} + t_{\text{зап}} =$	
$t_3 = t_2 + \Delta t_2 =$	

8. Построить график согласования МТЗ  $t = f(I)$ .



9. Проверить работу защит при КЗ в точках К1, К2, К3.

Выводы: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_