**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение курсовой работы**

Студент \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

Исходные данные к курсовому проекту: вариант № 18.15

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Вариант | Категория ЭСН | *S*, | Номера электроприемников по таблице 1.5 |
| 18 | 3 | 400 | 3-6-16-20-22-26-28 |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вариант | №  электроприемника | км | м | м | м |
| 15 | 18 | 21 | 10 | 25 | 5 |

**СОДЕРЖАНИЕ**

|  |  |
| --- | --- |
| ВВЕДЕНИЕ................................................................................................................. | 4 |
| 1 Расчет электрических нагрузок цеха. Выбор числа и мощности питающих трансформаторов.......................................................................................................... | 5 |
| 2 Расчет и выбор компенсирующих устройств......................................................... | 13 |
| 3 Расчет и выбор аппаратов защиты и линии электроснабжения.......................... | 15 |
| 4 Расчет токов короткого замыкания.......................................................................... | 22 |
| ЗАКЛЮЧЕНИЕ........................................................................................................... | 32 |
| СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ........................................................ | 33 |

**ВВЕДЕНИЕ**

Система электроснабжения - совокупность устройств для производства, передачи и распределения электрической энергии.

Системы электроснабжения промышленных предприятий создаются для обеспечения питания электроэнергией промышленных приемников электрической энергии, к которым относятся электродвигатели различных машин и механизмов, электрические печи, электролизные установки, аппараты и машины для электрической сварки, осветительные установки и другие промышленные приёмники электроэнергии.

По мере развития электропотребления усложняются и системы электроснабжения промышленных предприятий. Развитие и усложнение структуры систем электроснабжение возрастающие требования к экономичности и надежности их работы в сочетании с изменяющейся структурой и характером потребителей электроэнергии, широкое внедрение устройств управления распределением и потреблением электроэнергии на базе современной вычислительной техники ставят проблему подготовки высококвалифицированных инженеров. С помощью электрической энергии приводятся в движение миллионы станков и механизмов, освещение помещений, осуществляется автоматическое управление технологическими процессами и др.

Для эффективного функционирования предприятия, схема электроснабжения должна обеспечивать должный уровень надежности и безопасности. Требуемый уровень надежности и безопасности схемы электроснабжения обеспечивается строгим соблюдением при выборе оборудования и элементов защиты, норм и правил изложенных в ПУЭ, CНиП и ГОСТ.

**1 Расчет электрических нагрузок цеха. Выбор числа и мощности питающих трансформаторов**

Расчеты ведутся методом коэффициента максимума (упорядоченных диаграмм). Это основной метод расчета электрических нагрузок, который сводится к определению максимальных (*Рм*, *Qм*, *Sм*) рассчитанных нагрузок группы электроприемников.

|  |  |
| --- | --- |
| *Рм* = *КмРсм*, кВт; | (2.1) |
| *Qм* = *Км'* *Qсм*, кВАр; | (2.2) |
| *Sм*=, кВА. | (2.3) |

где *Рм* – максимальная активная нагрузка, кВт;

*Qм* – максимальная реактивная нагрузка, кВАр;

*Sм* – максимальная полная нагрузка, кВА;

*Км* – коэффициент максимума активной нагрузки, определяется по [9, табл. 1.5.3] и зависит от коэффициента использования и эффективного числа электроприемников;

*Км'* – коэффициент максимума реактивной нагрузки;

*Рсм* – средняя активная мощность за наиболее нагруженную смену, кВт;

*Qсм* – средняя реактивная мощность за наиболее загруженную смену, кВАр.

|  |  |
| --- | --- |
| *Рсм* = *Ки*∑*Рн*, кВт; | (2.4) |
| *Qсм* = *Рсмtgφ*, кВАр | (2.5) |

где *Ки* – коэффициент использования электроприемников, определяется на основании опыта эксплуатации [9, табл. 1.5.1];

*Рн* – номинальная активная групповая мощность, приведенная к длительному режиму, без учета резервных электроприемников, кВт;

*tgφ* – коэффициент реактивной мощности;

*n*э = *F*(*n, m, Ки.ср, Рн*) – эффективное число электроприемников, может быть определено по упрощенным вариантам [9, табл. 1.5.4].

Средний коэффициент использования *К*ИСР группы электроприемников определяется по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.6) |

Средний коэффициент мощности *cosφ* и средний коэффициент реактивной мощности *tgφ* определяются по формулам:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.7) |
|  | (2.8) |

Показатель силовой сборки в группе *m* определяется по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2.9) |

где *Рн*.*нб*, *Рн*.*нм* - номинальные приведенные к длительному режиму активные мощности электроприемников наибольшего и наименьшего в группе.

В соответствии с практикой проектирования принимается *Км'* = 1,1 при *n*э < 10; *Км'* = 1 при *n*э > 10.

Приведение мощностей 3-фазных электроприемников к длительному режиму:

- для электроприемников ДР:

|  |  |
| --- | --- |
| , кВт; | (2.10) |

- для электроприемников ПКР:

|  |  |
| --- | --- |
| , кВт; | (2.11) |

- для сварочных трансформаторов ПКР:

|  |  |
| --- | --- |
| , кВт; | (2.12) |

- для трансформаторов ДР:

|  |  |
| --- | --- |
| , кВт; | (2.13) |

где  – приведенная и паспортная активная мощность, кВт;

 – полная паспортная мощность, кВА;

ПВ – продолжительность включения, о.е.

Приведение 1-фазных нагрузок к условной 3-фазной мощности.

Нагрузки распределяются по фазам с наибольшей равномерностью, и определяется величина неравномерности (Н):

|  |  |
| --- | --- |
| , | (2.14) |

где  – мощность наиболее загруженной фазы, кВт.

При Н > 15% и включении на фазное напряжение:

|  |  |
| --- | --- |
| , кВт | (2.15) |

 – условная 3-фазная мощность (приведенная), кВт;

 – мощность наиболее загруженной фазы, кВт.

При Н > 15% и включении на линейное напряжение:

- для одного электроприемника:

|  |  |
| --- | --- |
| , кВт | (2.16) |

- для нескольких электроприемников:

|  |  |
| --- | --- |
| , кВт | (2.17) |

При Н ≤ 15 % расчет ведется как для 3-фазных нагрузок (сумма всех 1-фазных нагрузок).

По номерам находятся нужные электроприемники и разбиваются на группы: 3-фазный ДР, 3-фазный ПКР, 1-фазный ПКР, ОУ. Технические данные электроприемников указаны в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Технические данные электроприемников

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Наименование электроприемника | *Рн*,  кВт | *n* | *Kи* | *cosφ* | *tgφ* |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| 3 | **3-фазный ДР:**  Насосная установка | 55 | 8 | 0,7 | 0,8 | 0,75 |
| 6 | Станок строгальный | 11 | 10 | 0,14 | 0,5 | 1,73 |
| 16 | Автомат фрезерный | 7,5 | 20 | 0,17 | 0,65 | 1,17 |
| 20 | Конвейер ленточный | 35 | 2 | 0,55 | 0,75 | 0,88 |
| 22 | **3-фазный ПКР:**  Кран мостовой, ПВ = 25 % | 30 | 2 | 0,05 | 0,5 | 1,73 |
| 26 | **1-фазный ПКР:**  Аппарат дуговой сварки, ПВ = 60 % | 15 кВ∙А | 5 | 0,3 | 0,35 | 2,67 |
| 28 | **Осветительная установка:**  Лампы накаливания | 9… 11 Вт/ |  | 0,85 | 1 | 0 |

Выбираются виды РУ: ШМА, РП, ЩО.

Так как потребитель – 3-й категории, то принимается однотрансформаторная подстанция.

Формируется схема электроснабжения (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Схема электроснабжения цеха

Нагрузки 3-фазного ПКР приводятся к длительному режиму:



Нагрузка 1-фазного ПКР, включенная на линейное напряжение, приводится к длительному режиму и к условной 3-фазной мощности:









Тогда:



Определяется методом удельной мощности нагрузка ОУ:



Согласно распределению нагрузки по РУ заполняется «Сводная ведомость...» (таблица 1.2).

Колонки 1, 2, 3, 5, 6, 7 заполняются по исходным данным.

Колонка 4: *,* кроме РП2 с 1-фазными электроприемниками и ЩО.

Так как на РП1, РП2, ЩО электроприемники одного наименования, итоговых расчетов не требуется.

Расчеты производятся для ШМА1 И ШМА2.

По формуле (2.9) определяется  и заносятся в колонку 8.

Определяются , результаты заносятся в колонки 9, 10, 11 соответственно.

Определяется , результат заносится в колонку 12.

Определяется , результат заносится в колонку 13.

Рассчитываются ;;,результат заносится в колонки 15, 16, 17 соответственно.

Определяется ток на РУ, результат заносится в колонку 18:











Определяются потери в трансформаторе, результаты заносятся в колонки 15, 16, 17.







Определяется расчетная мощность трансформатора с учетом потерь, но без компенсации реактивной мощности (для однотрансформаторной подстанции).



По справочному пособию по электрооборудованию и электроснабжению [2, с. 107] выбирается КТП 1×400-10/0,4; с трансформатором ТМ 400-10/0,4;

Выбрана цеховая КТП 1×400-10/0,4; = 0,82.

Таблица 1.2 – Сводная ведомость нагрузок по цеху

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Наименование и РУ электроприемников | Нагрузка установленная | | | | | | | Нагрузка средняя за смену | | | | | | Нагрузка максимальная | | | |
| *Рн*,  кВт | *n* | *Рн*∑, кВт | *Ки* | *cosφ* | *tgφ* | *m* | *Рсм*, кВт | *Qсм*, кВАр | *Sсм*, кВА | *nэ* | *Км* | *К'м* | *Рм*, кВт | *Qм*, кВАр | *Sм*, кВА | *Ім*, А |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
| **ШМА1** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Насосная установка | 55 | 4 | 220 | 0,70 | 0,80 | 0,75 | - | 154,00 | 115,50 | 192,50 |  |  |  |  |  |  |  |
| Станок строгальный | 11 | 5 | 55 | 0,14 | 0,50 | 1,73 | 7,70 | 13,32 | 15,39 |  |  |  |  |  |  |  |
| Автомат фрезерный | 7,5 | 10 | 75 | 0,17 | 0,65 | 1,17 | 12,75 | 14,92 | 19,62 |  |  |  |  |  |  |  |
| Конвейер ленточный | 35 | 1 | 35 | 0,55 | 0,75 | 0,88 | 19,25 | 16,94 | 25,64 |  |  |  |  |  |  |  |
| **Всего по ШМА1** |  | 20 | 385 | 0,50 | 0,77 | 0,83 | ≥3 | 193,70 | 160,68 | 253,15 | 20 | 1,20 | 1,0 | 232,44 | 160,68 | 282,57 | 429,33 |
| **ШМА2** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Насосная установка | 55 | 4 | 220 | 0,70 | 0,80 | 0,75 | - | 154,00 | 115,50 | 192,50 |  |  |  |  |  |  |  |
| Станок строгальный | 11 | 5 | 55 | 0,14 | 0,50 | 1,73 | 7,70 | 13,32 | 15,39 |  |  |  |  |  |  |  |
| Автомат фрезерный | 7,5 | 10 | 75 | 0,17 | 0,65 | 1,17 | 12,75 | 14,92 | 19,62 |  |  |  |  |  |  |  |
| Конвейер ленточный | 35 | 1 | 35 | 0,55 | 0,75 | 0,88 | 19,25 | 16,94 | 25,64 |  |  |  |  |  |  |  |
| **Всего по ШМА2** |  | 20 | 385 | 0,50 | 0,77 | 0,83 | ≥3 | 193,70 | 160,68 | 253,15 | 20 | 1,20 | 1,0 | 232,44 | 160,68 | 282,57 | 429,33 |
| **РП1** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Кран мостовой, ПВ = 25 % | 15 | 2 | 30 | 0,7 | 0,8 | 0,75 |  | 21,00 | 15,75 | 26,25 |  |  |  | 21,00 | 15,75 | 26,25 | 39,88 |
| **РП2** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Аппарат дуговой сварки, ПВ = 60 % | 4,07 | 5 | 20,33 | 0,3 | 0,35 | 2,67 |  | 6,10 | 16,29 | 17,39 |  |  |  | 6,10 | 16,29 | 17,39 | 26,42 |
| ЩО с ОУ с ГРЛ |  |  | 4,00 | 0,85 | 0,95 | 0,33 |  | 3,40 | 1,32 | 3,65 |  |  |  | 3,40 | 1,32 | 3,65 | 5,54 |
| Всего на ШНН без КУ |  |  |  |  | 0,80 | 0,74 |  | 224,20 | 194,04 | 300,44 |  |  |  | 262,94 | 194,04 | 326,78 | 496,51 |
| Потери |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 6,54 | 32,68 | 33,33 |  |
| Всего на ВН |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | 269,48 | 226,71 | 352,16 | 535,07 |

**2 Расчет и выбор компенсирующих устройств**

Компенсация реактивной мощности электроустановок потребителей может производится с помощью различных мероприятий без установки дополнительных источников реактивной мощности или при помощи компенсирующих устройств. Первый круг вопросов может решаться в условиях действующего предприятия, поэтому при проектировании рассматриваются только вопросы выбора мощности КУ и их размещения в сетях предприятия.

Исходные данные по нагрузкам представлено в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Исходные данные

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | *cosφ* | *tgφ* | *Рм*, кВт | *Qм*, квар | *Sм*, кВА |
| Всего на НН без КУ | 0,80 | 0,74 | 262,94 | 194,04 | 326,78 |

Определяется расчетная мощность КУ:

= 0,9 ∙ 262,94 ∙ (0,80 – 0,33) =112,32 квар.

Принимается = 0,95, тогда = 0,33.

Выбирается УКМ58-0,4-120-10 У3 со ступенчатым регулированием по 10 квар.

Определяются фактические значения и после компенсации реактивной мощности:

;

= 0,97.

Результаты расчетов заносятся в «Сводную ведомость нагрузок» (таблица 2.2).

Определяются расчетная мощность трансформатора с учетом потерь:

= 0,7 ∙ 273,16 = 191,21 кВ∙А;

;

.

Выбирается трансформатор типа ТМ- 400-10/0,4:

Определяется:

Таблица 2.1 – Сводная ведомость нагрузок

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр |  |  | кВт | , квар | , кВ∙А |
| Всего на НН  без КУ | 0,80 | 0,74 | 262,94 | 194,04 | 326,78 |
| КУ |  |  |  | 120 |  |
| Всего на НН с КУ | 0,96 | 0,28 | 262,94 | 74,04 | 273,16 |
| Потери |  |  | 5,46 | 27,32 | 27,86 |
| Всего на ВН с КУ |  |  | 268,40 | 101,35 | 286,90 |

Приняты:

- КУ типа УКМ58-0,4-120-10 У3;

- Трансформатор типа ТМ-400/10/0,4 кВ с *К*=0,68.

**3 Расчет и выбор аппаратов защиты и линии электроснабжения**

Для выбора аппарата защиты нужно знать ток в линии, где он установлен, тип его и число фаз.

Токи (в амперах) в линии определяются по формулам:

– сразу после трансформатора:

|  |  |
| --- | --- |
| , А | (2.30) |

где *S*T – номинальная мощность трансформатора, кВА;

*U*H.T – номинальное напряжение трансформатора, кВ.

Принимается *U*H.T = 0,4 кВ.

– линия к РУ (РП или шинопровод):

|  |  |
| --- | --- |
| , А | (2.31) |

где *S*M.РУ – максимальная расчетная мощность РУ, кВА;

*U*H.РУ – номинальное напряжение РУ, кВ.

Принимается *U*H.РУ = 0,38 кВ.

– линия к ЭД переменного тока:

|  |  |
| --- | --- |
| , А | (2.32) |

где *Р*Д – мощность ЭД переменного тока, кВт;

*U*H.Д – номинальное напряжение ЭД, кВ;

Д – КПД ЭД, отн.ед.



*Примечание.* Если ЭД повторно – кратковременный режима, то:

|  |  |
| --- | --- |
| *Р*Д = *Р*Д.П√ПВ, кВт | (2.33) |

– линия к сварочному трансформатору:

|  |  |
| --- | --- |
| , А | (2.35) |

где *S*CB – полная мощность сварочного 3 – фазного трансформатора, кВА;

ПВ – продолжительность включения, о.е.

В сетях напряжение менее 1 кВ в качестве аппаратов защиты могут применяться автоматические выключатели (автоматы), предохранители и тепловые реле.

Автоматы выбираются согласно условиям (2.26)-(2.29):

*IH*.A≥*IH*.P; *IH*.P≥*IДЛ* – для линий без ЭД;

*UH*.A≥*UC*; *IH*.P≥1,25*IДЛ* – для линий с одним ЭД;

*IH*.P≥1,1*IM* – для групповой линии с несколькими ЭД,

где *IH*.A – номинальный ток автомата, А;

*IH*.P – номинальный ток расцепителя, А;

*IДЛ* – длительный ток в линии, А;

*IM* – максимальный ток в линии, А;

*UH*.A – номинальное напряжение автомата, В;

*UC* – напряжение сети, В.

|  |  |
| --- | --- |
| *К*О ≥ *IO*/*IHP*; | (2.36) |

*I*О≥*I*ДЛ – для линий без ЭД;

*I*О≥1,2*I*П – для линии с одним ЭД;

*I*О≥1,2*I*ПИК – для групповой линии с несколькими ЭД,

где *К*О – кратность отсечки

*I*О – ток отсечки, А;

*I*П – пусковой ток, А,

|  |  |
| --- | --- |
| *I*П = *К*П *I*Н.Д, А | (2.37) |

где КП – кратность пускового тока. Принимается *К*П = 6,5…7,5 – для АД; *К*П = 2…3 – для СД и МПТ;

*I*Н.Д – номинальный ток, А;

*I*П – пиковый ток, А.

|  |  |
| --- | --- |
| *I*ПИК = *I*П.НБ+ *I*М+ *I*Н.НБ∙*K*И, А | (2.38) |

где *I*П.НБ – пусковой ток наибольшего по мощности ЭД, А;

*I*Н.НБ – номинальный ток наибольшего в группе ЭД, А;

*I*М – максимальный ток на группу, А.

Зная тип, *I*Н.А и число полюсов автомата, выписываются все каталожные данные.

Предохранители выбираются согласно условиям:

– для лини без ЭД:

|  |  |
| --- | --- |
| *I*ВС≥*I*ДЛ, А | (2.39) |

– для линии с ЭД и тяжелым пуском:

|  |  |
| --- | --- |
| *I*ВС≥*I*П/1,6, А | (2.40) |

– для линии с ЭД и легким пуском:

|  |  |
| --- | --- |
| *I*ВС≥*I*П/2,5, А | (2.41) |

– для линии к РУ (РП или шинопровод):

|  |  |
| --- | --- |
| *I*ВС≥*I*П+IДЛ/2,5, А | (2.42) |

– для линии к сварочному трансформатору:

|  |  |
| --- | --- |
| *I*ВС ≥ 1,2*I*СВ√ПВ, А | (2.43) |

где *I*ВС – ток плавкой вставки, А.

|  |  |
| --- | --- |
| *I*Н.П≥*I*ВС, А | (2.44) |

где *I*Н.П – номинальный ток предохранителя, А.

Тепловые реле выбираются согласно условию:

|  |  |
| --- | --- |
| *I*ТР≥1,25*I*Н.Д, А | (2.45) |

где *I*ТР – ток теплового реле, номинальный, А.

Наиболее современными являются автоматы серии ВА и АЕ, предохранители серии ПР и ПН, тепловое реле серии РТЛ.

Проводники для линии ЭСН выбираются с учетом соответствия аппарату защиты согласно условиям:

– для линии, защищенной автоматом с комбинированным расцепителем:

|  |  |
| --- | --- |
| *I*ДОП≥*K*ЗЩ*I*У(П), А | (2.46) |

– для линии, защищенной только от КЗ предохранителем:

|  |  |
| --- | --- |
| *I*ДОП≥*K*ЗЩ *I*ВС, А | (2.47) |

– для линии с тепловым реле:

|  |  |
| --- | --- |
| *I*ДОП≥*K*ЗЩ *I*ТР, А | (2.48) |

где *I*ДОП – допустимый ток проводника, А;

*K*ЗЩ – коэффициент защиты.

Принимают *K*ЗЩ – 1,25 – для взрыво – и пожароопасных помещений; *K*ЗЩ – 1 для нормальных (неопасных) помещений; *K*ЗЩ – 0,33 – для предохранителей без тепловых реле в линии.

По типу проводника, числу фаз и условию выбора формируется окончательно марка аппарата защиты.

1. Составляется расчетная схема ЭСН до электроприемника, подключенного к ШМА1. Этот электроприемник – насосная установка:

*Р*Н = 55 кВт;

cos = 0,8;

η = 0,9;

3 – фазный ДР.

На схему наносятся известные данные (рисунок 3.1).

2. Рассчитываются и выбираются АЗ типа ВА (наиболее современные).

- Линия Т1–ШНН, QF1, линия без ЭД:

Выбирается ВА 51-39 [2, с. 39] со следующими параметрами:



Рисунок 3.1 – Схема ЭСН электроприемника №3

- Линия ШНН–ШМА1, QF2, линия с группой ЭД:

Выбирается ВА 51-39 со следующими параметрами:

Принимаем

Так как на ШМА1 количество ЭД более 5, а наибольшим по мощности является насосная установка, то:

- Линия ШМА1 – насосная установка, QF3, линия с одним ЭД:

Выбирается ВА 52Г-31 со следующими параметрами:

Принимаем

3. Выбираются линии ЭСН с учетом соответствия аппаратам защиты согласно условию:

Для прокладки в воздухе в помещениях с нормальной зоной опасности при отсутствии механических повреждений выбирается кабель марки АВВГ,

* Линия с QF2:

Выбирается кабель 3×АВВГ-1(4×95),

* Линия с QF3:

Выбираем 2×АВВГ-1(4×95),

Выбираем шинопровод ШРА4-630-32-У3 [2, c. 96]:

Сечение шинопровода *a*×*b* = 80×5 мм.

Для системы электроснабжения цеха выбраны:

QF1, ВА 51-39: QF2, ВА 51-39: QF3, ВА 52Г-33:

Линия с QF2 – выбирается 3×АВВГ-1(4×95),

Линия с QF3 – выбирается 2×АВВГ-1(4×95),

**4 Расчет токов короткого замыкания**

Расчет токов КЗ начинается с составления расчетной схемы, схемы замещения и выбора точек КЗ. Для условий курсового проекта токи КЗ определяются только для одной ступени напряжения 0,4 кВ.

Расчетная схема и схема замещения участка электроснабжения строительной площадки для определения токов КЗ приведены на рисунках 4.1, 4.2, 4.3 соответственно.

При составлении эквивалентных схем замещения параметры элементов исходной расчетной схемы приводятся степени напряжения, на котором находится точка КЗ. Расчет выполняется в именованных единицах.

Для определения токов КЗ используются следующие соотношения:

а) 3 – фазного, кА:

|  |  |
| --- | --- |
| *I*K(3) = *U*K/√3*Z*K, кА | (4.1) |

где *U*K – линейное напряжение в точке КЗ, кВ;

*Z*K – полное сопротивление до точки КЗ, Ом;

б) 2 – фазного, кА:

|  |  |
| --- | --- |
| *I*K(2) = √3/2*I*K(3) = 0,87*I*K(3), кА | (4.2) |

в) 1 – фазного, кА:

|  |  |
| --- | --- |
| *I*K(1) = *U*KФ/*Z*П+*Z*T(1)/3, кА | (4.3) |

где *U*KФ – фазное напряжение в точке КЗ, кВ;

*Z*П – полное сопротивление петли «фаза – нуль» до точки КЗ, Ом;

*Z*T(1) – полное сопротивление трансформатора однофазному КЗ, Ом;

г) ударного, кА:

|  |  |
| --- | --- |
| *i*У = √2*К*У*I*K(3), кА | (4.4) |

где *К*У – ударный коэффициент, определяется по графику [7, рис. 1.9.1],

|  |  |
| --- | --- |
| *К*У = *F*(*R*K/*X*K); | (4.5) |

*Примечание*. График может быть построен при обратном соотношении, т.е.

|  |  |
| --- | --- |
| *К*У = *F*(*X*K/*R*K); | (4.6) |

д) действующего значения ударного тока, кА:

|  |  |
| --- | --- |
| *I*У = *qI*K(3), кА | (4.7) |

где *q* – коэффициент действующего значения ударного тока:

|  |  |
| --- | --- |
| *q* = √1+2(*К*У – 1)2. | (4.8) |

Сопротивление схем замещения определяются следующим образом.

1. Для силовых трансформаторов по [7, табл. 1.9.1] или расчетным путем из соотношений:

|  |  |
| --- | --- |
| *R*T = *P*K(*U*HH/*S*T)2∙106, Ом | (4.9) |
| *Z*T = *u*K(*U*2HH/*S*T)∙104, Ом | (4.10) |
| , Ом | (4.11) |

где *P*K – потери мощности КЗ, кВт;

*u*K – напряжение КЗ, %;

*U*HH – линейное напряжение обмотки НН, кВ;

*S*T – полная мощность трансформатора, кВА.

2. Для токовых трансформаторов [9, табл. 1.9.2].

3. Для коммутационных и защитных аппаратов по [9, табл. 1.9.3]. Сопротивление зависят от *I*Н.А аппарата.

*Примечание.* Сопротивление предохранителей не учитывается, а у рубильников учитывается только переходное сопротивление контактов.

4. Для ступеней распределения по [9, табл. 1.9.4].

5. Для линий ЭСН кабельных, воздушных и шинопроводов из соотношений:

|  |  |
| --- | --- |
| *R*Д = *r0L*Л, мОм/м; | (4.12) |
| *X*Д = *x0L*Л, мОм/м. | (4.13) |

где *r0* и *x0* – удельное активное и индуктивное сопротивление, мОм/м;

*L*Л – протяженность линии, м.

Удельное сопротивление для расчета 3 – фазных и 2 – фазных токов КЗ определяются по [9, табл. 1.9.5-1.9.7].

При отсутствии данных *r0* можно определить расчетным путем:

|  |  |
| --- | --- |
| *r0* = 103/γ*S*, | (4.14) |

где *S* – сечение проводов, мм2;

γ – удельная проводимость материала, м/(Ом ∙мм2).

Принимается: γ = 30 м/(Ом\*мм2) – для алюминия; γ = 50 м/(Ом∙мм2) – для меди; γ = 10 м/(Ом\*мм2) – для стали.

При отсутствии данных *x0* можно принять равным:

*x0*КЛ – 0,06 мОм/м – для кабельных линий; *x0*ПР – 0,09 мОм/м – для проводов; *x0*Ш – 0,15 мОм/м – для шинопроводов.

При расчете 1 – фазных токов КЗ значение удельных индуктивных сопротивлений петли «фаза – нуль» принимается равным:

*x0*П = 0,15 мОм/м – для КЛ до 1 кВ и проводов в трубах; *x0*П – 0,4 мОм/м – для изолированных открыто проложенных проводов; *x0*П – 0,2 мОм/м – для шинопроводов.

Удельное сопротивление петли «фаза – нуль» определяется для любых линий по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
| *r0*П = 2*r0*. | (4.15) |

1. Составляется схема замещения и номеруются точки КЗ в соответствии с расчетной схемой.

2. Вычисляются сопротивления элементов и наносится на схему замещения.

Для системы:

*IC* = *S*T/√3*UC* = 400/1,73∙10 = 23,1 А;

Наружная ВЛ АС-3×10/1,8:

= 84 А;

*x0* = 0,4 Ом/км;

*X/0* = *x0LC* = 0,4∙3 = 1,2 Ом;

γ = 30 м/(Ом∙мм2);

*r0 =* 103/γ*S* = 103/30∙10 = 3,33 Ом/км;

*R/C* = *r0LC* = 3,33∙3 = 10 Ом.



Рисунок 4.1 – Схема ЭСН расчетная

Сопротивление приводит к НН:

*RC = R/C*(*UHH/UВН*)2 = 10∙ (0,4/10)2∙103 = 16 мОм;

*XC* = 1,2\*(0,4/10)2∙103 = 1,9 мОм.

Для трансформатора по [9, табл. 1.9.4]:

*R*т =5,5 мОм, *X*т = 17,1 мОм, Z(1)т = 195 мОм.

*QF1*: *RQF1* = 0,11 мОм, *XQF1* = 0,12 мОм, *R*П*QF1* = 0,2 мОм;

*QF2*: *RQF2* = 0,15 мОм, *XQF2* = 0,17 мОм; *R*П*QF2* = 0,4 мОм;

*QF3*: *RQF3* = 2 мОм, *XQF3* = 1,8 мОм; *R*П*QF3* = 0,9 мОм.

Для кабельных линий по [9, табл. 1.9.5]:

*КЛ*1 *r0* = 0,33 мОм/м, *x0* = 0,08 мОм/м;

Так как в схеме 3 параллельных кабеля, то:

*R*КЛ1 = *r0L*КЛ1 = 0,11∙5 = 0,55 мОм;

*X*КЛ1 = *x0L*КЛ1 = 0,08∙5 = 0,4 мОм.

*КЛ*2 *r0 =* 0,33 мОм/м, *x0* = 0,08 мОм/м;

*R*КЛ2 = *r0L*КЛ2 = *1/2\*r0L*КЛ2= 1/2∙0,33∙10 = 1,65 мОм/м;

*X*КЛ2 = *x0L*КЛ2 = 0,08∙10 = 0,8 мОм/м.

Для шинопровода ШРА 630 по справочным данным:

= 0,1 мОм/м; = 0,13 мОм/м;

=0,2 мОм/м; = 0,26 мОм/м.

Для ступеней распределения по [9, табл. 1.9.4]:

*R*С1 = 15 мОм, *R*С2 = 20 мОм.

3. Упрощается схема замещения, вычисляются эквивалентные сопротивления на участках между токами КЗ и наносятся на схему (рис. 2.3):

*R*Э1 = *R*С+*R*Т+*RQF1*+*R*П*QF1+R*С1 = 16+5,5+0,11+0,2+15 = 36,8 мОм;

*X*Э1 = *XС+X*Т+*XQF1* = 1,9+17,1+0,12 = 19,12 мОм;

*R*Э2 = *RQF2*+*R*П*QF2*+*R*КЛ1+ *R*ш+*R*С2 = 0,15+0,4+0,55+0,2+20 = 21,3 мОм;

*X*Э2 = *XQF2+X*КЛ1+ *X*ш = 0,17+0,4+0,26 = 0,83 мОм;

*R*Э3 = *RQF3*+*R*П*QF3*+*R*КЛ2 = 2+0,9+1,65 = 4,55 мОм;

*X*Э3 = *XQF3+X*КЛ2 = 1,8+0,8 = 2,6 мОм.

4. Вычисляются сопротивления до каждой точки КЗ и заносятся в «Сводную ведомость»:

*R*К1 = *R*Э1 = 36,8 мОм, *X*К1 = *X*Э1 = 19,12 мОм;

мОм;

*R*К2 = *R*Э1+*R*Э2 = 36,8+21,3 = 58,1 мОм;

*X*К2 = *X*Э1+ *X*Э2 = 19,12+0,83 = 19,95 мОм;

мОм;

*R*К3 = *R*К2+*R*Э3 = 58,1+4,55 = 62,65 мОм;

*X*К3 = *X*К2+ *X*Э3 = 19,95+2,6 = 22,55 мОм;

мОм;

*R*К1/*X*К1 = 36,8/19,12 = 1,9; *R*К2/*X*К2 = 58,1/19,95 = 2,9;

*R*К3/*X*К3 = 62,65/22,55 = 2,77 мОм.

5. Определяются коэффициенты *К*У и *q*:

*К*У1 = *F*(*R*К1/*X*К1) = *F*(1,9) = 1,0;

*К*У2 = *F*(*R*К2/*X*К2) = *F*(2,9) = 1,0;

*К*У3 = *F*(*R*К3/*X*К3) = *F*(2,77) = 1,0;

*q*1 = √1+2(*К*У1 – 1)2 = 1;

*q*2 = *q*3 = 1.

6. Определяются 3 – фазные и 2 – фазные токи КЗ и заносятся в «Ведомость»:

*I*K1(3) = *U*K1/√3*Z*K1 = 0,38∙103/1,73∙41,5 = 5,29 кА;

*I*K2(3) = *U*K2/√3*Z*K2 = 0,38∙103/1,73∙61,4 = 3,57 кА;

*I*K3(3) = *U*K3/√3*Z*K3 = 0,38∙103/1,73∙66,6 = 3,3 кА;

*I*УК1 = *q*1*I*K1(3) = 5,29 кА;

*I*УК2 = *q*2*I*K2(3) = 3,57 кА;

*I*УК3 = *q*3*I*K3(3) = 3,3 кА;

*i*УК1 = √2*К*У1*I*К1(3) = 1,41∙1,0∙5,29 = 7,46 кА;

*i*УК2 = √2*К*У2*I*К2(3) = 1,41∙1,0∙3,57 =5,04 кА;

*i*УК3 = √2*К*У3*I*К3(3) = 1,41∙1,0∙3,3 = 4,65 кА;

*I*K1(2) = √3/2∙*I*K1(3) = 0,87∙5,29 = 4,6 кА;

*I*K2(2) = √3/2∙*I*K2(3) = 0,87∙3,57 = 3,11 кА;

*I*K3(2) = √3/2∙*I*K3(3) = 0,87∙3,3 = 2,87 кА.



Рисунок 4.2 – Схема замещения



Рисунок 4.3 – Схема замещения упрощенная

7. Составляется схема замещения для расчета 1-фазных токов КЗ (рисунок 4.4) и определяются сопротивления.



Рисунок 4.4 – Схема замещения для расчета 1-фазных токов КЗ

Для кабельных линий:

*X*ПКЛ1 = *x0*П*L*КЛ1 = 0,15∙5 = 0,75 мОм;

*R*ПКЛ1 = 2*r0L*КЛ1 = 2∙0,11∙5 = 1,1 мОм;

*R*Пш = *r0*Пш*L*ш = 0,2∙2 = 0,4 мОм;

*Х*Пш = *х0*Пш*L*ш = 0,26∙2 = 0,52 мОм;

*R*ПКЛ2 = 2*r0L*КЛ2 = 2∙0,33∙10 = 6,6 мОм;

*X*ПКЛ2 = *x0*П*L*КЛ2 = 0,15∙10 = 1,5 мОм;

*Z*П1 = 15 мОм;

*R*П2 = *R*С1+*R*ПКЛ1+ *R*Пш*+R*С2 = 15+1,1+0,4+20 = 36,5 мОм;

*X*П2 = *X*ПКЛ1+ *Х*Пш = 0,75+0,52 = 1,27 мОм;

мОм;

*R*П3 = *R*П2+*R*ПКЛ2 = 36,5+6,6 = 43,1 мОм;

*X*П3 = *X*П2+*X*ПКЛ2 = 1,27+1,5 = 2,77 мОм;

мОм;

*I*K1(1) = *U*КФ/*Z*П1+*Z*Т/3 = 0,22∙103/15+195/3 = 2,75 кА;

*I*K2(1) = *U*КФ/*Z*П2+*Z*Т/3 = 0,22∙103/36,5+195/3 = 2,17 кА;

*I*K3(1) = *U*КФ/*Z*П3+*Z*Т/3 = 0,22∙103/43,2+195/3 = 2,03 кА.

Таблица 4.1 – Сводная ведомость токов КЗ по точкам

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Точка КЗ | Трехфазные токи КЗ | | | | | | | | Двухфазные токи КЗ | Однофазные токи КЗ | |
| *R*к,  мОм | *X*к,  мОм | *Z*к,  мОм | *R*к/ *X*к | *К*у | *q* | *I*к(3),  кА | *iу*,  кА | *I*к(2),  кА | *Z*п,  мОм | *I*к(1),  кА |
| К1 | 36,80 | 19,12 | 41,5 | 1,9 | 1,0 | 1 | 5,29 | 7,46 | 4,60 | 15 | 2,75 |
| К2 | 58,10 | 19,95 | 61,4 | 2,9 | 1,0 | 1 | 3,57 | 5,04 | 3,11 | 36,5 | 2,17 |
| К3 | 62,65 | 22,55 | 66,6 | 2,77 | 1,0 | 1 | 3,30 | 4,65 | 2,87 | 43,2 | 2,03 |

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Курсовая работа по дисциплине «Электроснабжение» рассчитана согласно рекомендованным методикам. В процессе выполнения курсового проекта по теме «Электроснабжение цеха промышленного предприятия» я изучил техническую и справочную литературу, научился составлять однолинейные и развернутые схемы электроснабжения. Я рассчитал сменные и максимальные активные, реактивные и полные нагрузки электроприемников методом коэффициента использования и коэффициента максимума. Все коэффициенты я выбрал из справочной литературы, с условием всех требований ПУЭ.

Электроприемники, работающие в повторно-кратковременном режиме были приведены мной к длительному режиму работы, а однофазные нагрузки – к условию трехфазной мощности. Также я обосновал выбор силового трансформатора с учетом категории электроснабжения учебных мастерских, определил коэффициент загрузки трансформатора с учетом компенсирующих устройств. В процессе выполнения курсового проекта я рассчитал защиты для всех электроприемников и выбрал марку кабеля по сечению и допустимому току, согласно требованиям ПУЭ.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Вахнина, В.В. Проектирование систем электроснабжения [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / В.В. Вахнина [и др.] ; ТГУ ; Ин-т энергетики и электротехники ; каф. «Электроснабжение и электротехника». – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2016. – 78 с. – Режим доступа: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2976>

2. Вахнина, В.В. Системы электроснабжения [Электронный ресурс] : электрон. учеб.-метод. пособие / В.В. Вахнина [и др.] ; ТГУ ; Ин-т энергетики и электротехники ; каф. «Электроснабжение и электротехника». – Тольятти : Изд-во ТГУ, 2015. – 46 с. – Режим доступа: <https://dspace.tltsu.ru/handle/123456789/2943>

3. Конюхова, Е.А. Электроснабжение [Электронный ресурс] : учебник / Е.А. Конюхова. – М. : Издательский дом МЭИ, 2014. – 510 с. – Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/72338>

4. Ополева, Г.Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Г.Н. Ополева. – М. : Форум; ИНФРА-М, 2018. – 416 с. – Режим доступа: <http://znanium.com/bookread2.php?book=953158&spec=1>

5. Шеховцов, В.П. Расчет и проектирование схем электроснабжения. Методическое пособие для курсового проектирования : учеб. пособие / В.П. Шеховцов. – 3-е изд., испр. – М. : Форум; ИНФРА-М, 2019. – 214 с. – (Среднее профессиональное образование). – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/1009603>

6. Шеховцов, В.П. Справочное пособие по электрооборудованию и электроснабжению : учеб. пособие / В.П. Шеховцов. – 3-е изд. – М. : ИНФРА-М, 2019. – 136 с. – (Среднее профессиональное образование). – Режим доступа: <http://znanium.com/catalog/product/1000152>

7. Электротехнический справочник: В 4 т. том 3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ, ред. профессоров МЭИ В. Г. Герасимова и др. (гл. ред. А. И. Попов). – 9-е изд., стер. – М. : Издательство МЭИ, 2004. – 964 с.

8. Конюхова, Е. А. Электроснабжение объектов: учеб. пособие для сред. проф. образования / Е. А. Конюхова. – М. : Издательский центр «Академия», 2006. – 320 с.

9. Сибикин, Ю. Д. Электроснабжение промышленных и гражданских зданий : учеб. для студ. сред. проф. образования / Ю. Д. Сибикин. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 368 с.