

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра электроснабжения

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

О.Г. Локтионова

2017 г.



ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ

Методические указания к практическим занятиям
для студентов направления подготовки 13.03.02
Электроэнергетика и электротехника

Курск 2017

УДК 621.31

Составители: О.М Ларин, Д.В. Куделина

Рецензент:

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение»
В.Н. Алябьев

Электроснабжение: методические указания к практическим занятиям / Юго-Зап. гос. ун-т; сост.: О.М. Ларин, Д.В. Куделина. – Курск, 2017. – 30 с.: ил. 3. – Библиогр.: с. 30.

Содержат сведения по определению основных характеристик электроприемников и установленной мощности систем электрического освещения; по проведению расчета электрических нагрузок, выбору проводов, кабелей, предохранителей, автоматических выключателей; приведен расчет токов короткого замыкания в сети напряжением до 1 кВ и показателей качества электроэнергии, приведены вопросы для самоконтроля.

Методические указания соответствуют требованиям программы, утвержденной учебно-методическим объединением для направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника.

Предназначены для направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.
Усл.печ.л. . Уч.–изд.л. Тираж 100 экз. Заказ . Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040, г.Курск, ул.50 лет Октября, 94

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОПРИЕМНИКОВ

Цель работы: ознакомление с основными характеристиками электроприемников; определение расчетным путем основных характеристик электроприемников.

Краткие методические указания

Основными характеристиками электроприемников являются:

- номинальная мощность $P_H (S_H, Q_H)$;
- номинальное напряжение U_H ;
- номинальный коэффициент мощности $\cos \varphi_H$;
- номинальный КПД η_H ;
- номинальная продолжительность включения $ПВ_H$;
- номинальная частота f_H ;
- номинальный ток i_H .

Номинальная мощность отдельных электроприемников (ЭП) $P_{ном}$ принимается равной:

– механической мощности на валу – для электродвигателей.

При этом для электродвигателей с повторно-кратковременным режимом работы:

$$P_{ном} = P_{пасп} \cdot \sqrt{ПВ}, \quad (1)$$

где $P_{пасп}$ - активная паспортная мощность ЭП;

- для силовых и электропечных трансформаторов (работают, как правило, в длительном режиме):

$$S_{ном} = S_{пасп}, \quad (2)$$

- для сварочных трансформаторов (как правило, работают в ПКР):

$$S_{ном} = S_{пасп} \cdot \sqrt{ПВ}, \quad (3)$$

- для источников света:

$$\text{лампы накаливания } P_{ном} = P_{пасп}, \quad (4)$$

газоразрядные лампы с электромагнитными ПРА

$$P_{ном} = K_{ПРА} \cdot P_{насп} , \quad (5)$$

где $K_{ПРА} = 1,25$ - для люминесцентных ламп;

$K_{ПРА} = 1,1$ - для ламп высокого давления, например, типа ДРЛ.

Под номинальной реактивной мощностью одного ЭП понимается реактивная мощность, потребляемая из сети или генерируемая в сеть при номинальной активной мощности и номинальном напряжении, а для синхронного двигателя ток возбуждения должен быть равным номинальному.

Номинальный ток ЭП $I_{ном}$ определяется по выражениям:

- для электродвигателей

$$I_{ном} = \frac{P_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном} \cdot \cos \varphi \cdot \eta} , \quad (5)$$

где η - КПД электродвигателя;

- для печей генераторов, трансформаторов

$$I_{ном} = \frac{S_{ном}}{\sqrt{3}U_{ном}} . \quad (6)$$

Режимы работы электроприемников.

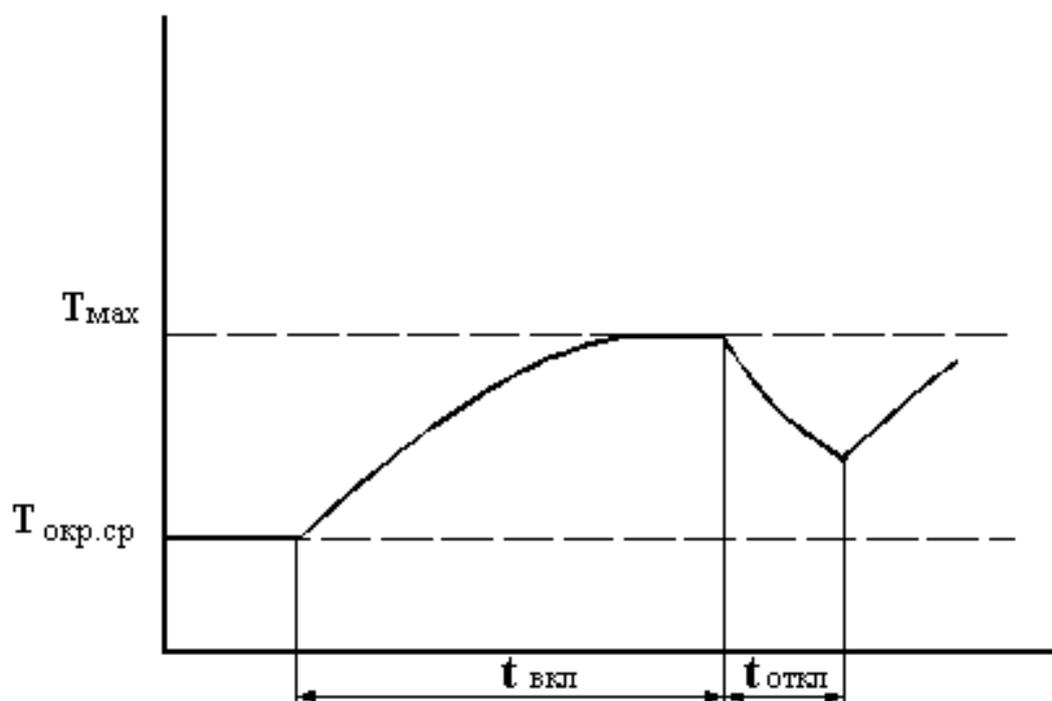


Рисунок 1. График работы электроприемника в длительном режиме

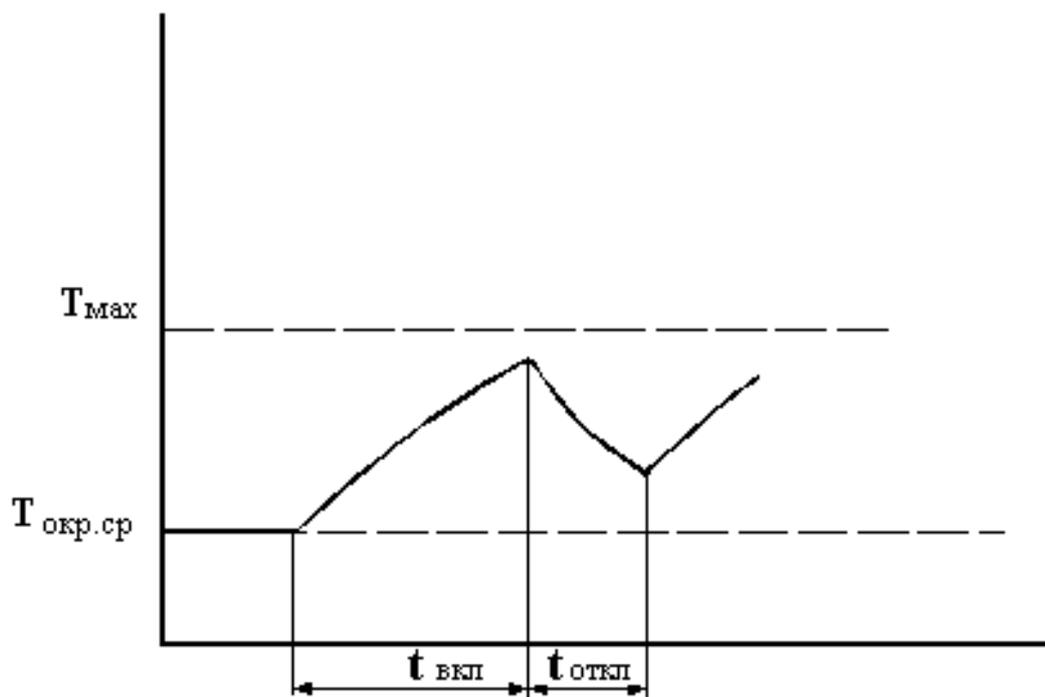


Рисунок 2. График работы электроприемника в повторно-кратковременном режиме

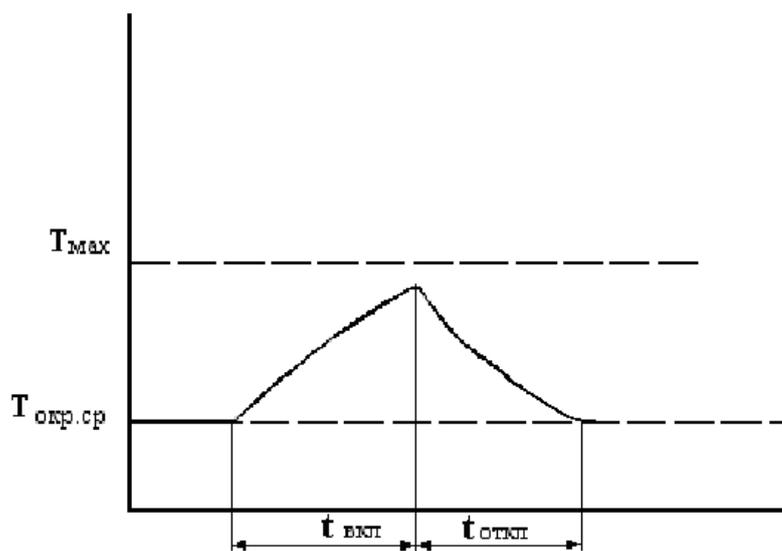


Рисунок 3. График работы электроприемника в кратковременном режиме

Порядок выполнения работы

1. Для заданных преподавателем исходных данных для ЭП различного назначения определить значения номинальной активной мощности.

2. Для заданных преподавателем различных графиков режимов работы ЭП распределить ЭП по группам: ЭП с длительным режимом работы, ЭП с повторно-кратковременным режимом работы, ЭП с кратковременным режимом работы.

3. Для ЭП с повторно-кратковременным режимом работы из п.2 определить продолжительность включения.

4. Для заданных преподавателем ЭП различного назначения определить значения номинальной реактивной мощности.

Контрольные вопросы

1. Номинальная активная мощность ЭП.
2. Номинальная реактивная мощность ЭП.
3. Как определить номинальный ток ЭП.
4. Что такое продолжительность включения?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСТАНОВЛЕННОЙ МОЩНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОСВЕЩЕНИЯ

Цель работы: расчет установленной мощности систем электрического освещения различного назначения.

Краткие методические указания

Порядок расчета освещения по методу коэффициента использования светового потока:

1) определяется расчетная высота H_p , тип и количество светильников в помещении. Для общего освещения помещений должны преимущественно применяться разрядные лампы.

Расчетная высота подвеса светильника определяется исходя из геометрических размеров помещения

$$H_p = H - h_c - h_p, \text{ м}, \quad (1)$$

где H - высота помещения, м,

h_c – расстояние светильника от перекрытия ("свес" светильника, принимается в пределах от 0, при установке светильников на потолке, до 1,5 м), м,

h_p – высота рабочей поверхности над полом (обычно $h_p = 0,8\text{ м}$).

2) по справочным таблицам находятся: коэффициент запаса k_z , коэффициент Z , нормированная освещенность E_n .

3) определяется индекс помещения i (он учитывает зависимость коэффициента использования светового потока от параметров помещения):

$$i = (A \cdot B) / (H_p \cdot (A + B)), \quad (2)$$

где A и B - ширина и длина помещения, м.

4) по справочным таблицам находится коэффициент использования светового потока лампы η в зависимости от типа светильника, коэффициентов отражения стен, потолка и рабочей поверхности ρ_s, ρ_p, ρ_r , высоты подвеса светильников и индекса помещения.

5) находится по следующей формуле необходимый поток одной лампы $\Phi_{\text{л}}$ в люменах:

$$\Phi_{л} = \frac{E_{н} * S * Z * K}{N * n * \eta}, \quad (3)$$

где $E_{н}$ – нормируемая минимальная освещенность, лк;
 S – площадь освещаемого помещения, м²;
 Z – коэффициент минимальной освещенности, определяемый отношением $E_{ср}/E_{min}$, значения которого для ламп накаливания и газоразрядных ламп высокого давления -1,15, для люминесцентных ламп – 1,1;
 K – коэффициент запаса;
 N – число светильников в помещении;
 n – число ламп в светильнике;
 η – коэффициент использования светового потока лампы.

б) выбирается стандартная лампа с близким по величине световым потоком.

При выборе мощности ламп или числа светильников в ряду по результатам расчета освещенности допускается отклонение значений освещенности от значений, требуемых по расчету, в пределах, как правило, до минус 10% - плюс 20% - п.2.96.

Если в результате расчета окажется, что лампа больше по мощности, чем применяемые в выбранном светильнике, или если требуемый поток больше, чем могут дать стандартные лампы, следует увеличить количество светильников и повторить расчет или отыскать необходимое количество ламп, задавшись их мощностью (а, следовательно, и световым потоком лампы F):

$$n = \frac{E_{н} * S * Z * K}{N * \Phi_{л} * \eta}. \quad (4)$$

Расчетная нагрузка P_{p0} питающей осветительной сети, по которой должен производиться выбор проводов сети и электрических аппаратов, определяется умножением установленной мощности $P_{уст}$ ламп на коэффициент спроса, а для газоразрядных ламп — еще и умножением на коэффициент $K_{ПРА}$, учитывающий потери мощности в пускорегулирующей аппаратуре (ПРА):

$$P_{p0} = P_{уст} * K_c * K_{ПРА}, \quad (5)$$

где $K_c = 1$ - для групповой сети и всех звеньев сети аварийного освещения, для мелких производственных зданий;

$K_c = 0,95$ - для производственных зданий, состоящих из отдельных крупных пролетов;

$K_c = 0,9$ - для административных зданий;

$K_c = 0,8$ - для производственных зданий, состоящих из большого числа отдельных помещений;

$K_c = 0,6$ - для складских зданий, состоящих из большого числа отдельных помещений;

$K_{ПРА} = 1,1$ – для ламп типов ДРЛ и ДРИ с электромагнитными ПРА;

$K_{ПРА} = 1,2$ – для ЛЛ со стартерными схемами включения и электромагнитными ПРА;

$K_{ПРА} = 1,3 \div 1,35$ – для ЛЛ с бесстартерными схемами включения;

$K_{ПРА} = 1,05$ – для ламп типов ДРЛ и ДРИ с электронными ПРА;

$K_{ПРА} = 1,1$ – для ЛЛ с электронными ПРА;

$K_{ПРА} = 1,1$ – для ламп ДНаТ с электромагнитными ПРА;

$K_{ПРА} = 1,06$ – для ламп ДНаТ с электронными ПРА.

Порядок выполнения работы

1. Для заданных преподавателем производственных помещений подготовить исходные данные.
2. Рассчитать световой поток одной лампы.
3. Проверить освещенность.
4. Определить расчетную нагрузку разработанной системы освещения.

Контрольные вопросы

1. Назначение системы электрического освещения.
2. Основные источники света, применяемые на промышленных предприятиях.
3. Размещение светильников в производственном помещении.
4. Критерии выбора источников света .
5. Критерии проверки выбранных источников света.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 3

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ НАГРУЗОК УЧАСТКА ЦЕХА МЕТОДОМ $K_{И}$ И $K_{Р}$

Цель работы: определение электрических расчетных нагрузок участка цеха согласно руководящего технического материала РТМ-92.

Краткие методические указания

Расчет электрических нагрузок цеха производится в табличной форме – форма Ф636-92.

На плане цеха намечаются источники питания для электроприемников (ЭП). Расчет производится для каждого источника (распределительные шкафы, пункты, сборки, распределительные шинопроводы). Исходные данные для расчетов (столбцы 1 - 6) заполняются по характеристикам ЭП (столбцы 1- 4) и по справочным данным, откуда берутся значения коэффициентов использования $k_{И}$ и коэффициентов реактивной мощности $\cos\varphi/\operatorname{tg}\varphi$. При этом все ЭП группируются по характерным категориям с одинаковыми значениями номинальной мощности $p_{Н}$, коэффициентов $k_{И}$ и $\cos\varphi/\operatorname{tg}\varphi$ и записываются в одну строку формы Ф636-92. При наличии в справочных материалах интервальных значений $k_{И}$ следует принимать наибольшее значение.

Далее в столбцах 7 и 8 соответственно записываются результаты вычислений $k_{И} \cdot p_{Н}$ и $k_{И} \cdot p_{Н} \cdot \operatorname{tg}\varphi$. В итоговой строке для рассматриваемого источника питания определяются суммы этих величин $\Sigma k_{И} \cdot p_{Н}$, $\Sigma k_{И} \cdot p_{Н} \cdot \operatorname{tg}\varphi$. В итоговой строке определяются также сумма $\Sigma p_{Н}$.

Для рассматриваемого источника питания рассчитывается групповой коэффициент использования $K_{И} = \Sigma k_{И} \cdot p_{Н} / \Sigma p_{Н}$ и найденное значение $K_{И}$ заносится в столбец 5 итоговой строки.

Для определения эффективного числа ЭП $n_{Э}$ в столбце 9 построчно определяются величины $n \cdot p_{Н}^2$ и в итоговой строке суммарное значение $\Sigma n \cdot p_{Н}^2$. В столбцах 10-15 результаты вычислений приводятся только для итоговой строки рассматриваемого источника питания.

В столбце 10 приводится значение n_{Σ} , которое определяется по формуле

$$n_{\Sigma} = \frac{(\sum p_n)^2}{\sum n \cdot p_n^2}, \quad (1)$$

При значительном числе ЭП (магистральные шинопроводы, шины цеховых трансформаторов, в целом по цеху, корпусу, предприятию) n_{Σ} определяется по упрощённой формуле:

$$n_{\Sigma} = \frac{2 \cdot \sum p_n}{p_{n \text{ MAX}}}, \quad (2)$$

где $p_{n \text{ MAX}}$ – номинальная мощность наиболее мощного ЭП группы.

Найденное значение n_{Σ} округляется до ближайшего меньшего целого числа.

По значениям $K_{И}$ и n_{Σ} , приведенным в итоговой строке, находится в справочных таблицах k_p – коэффициент расчётной мощности. Расчётная активная мощность P_p источника питания ЭП напряжением до 1000 В определяется из выражения:

$$P_p = k_p \cdot \sum k_{И} \cdot p_n. \quad (3)$$

В случае, когда расчётная мощность P_p окажется меньше номинальной мощности наиболее мощного ЭП $P_p < p_{n \text{ MAX}}$ следует принимать $P_p = p_{n \text{ MAX}}$, чтобы сечение общего кабеля не оказалось меньше сечения кабеля подходящего к ЭП с $p_{n \text{ MAX}}$.

Расчётная реактивная мощность определяется в зависимости от n_{Σ} .

$$Q_p = 1,1 \cdot \sum_1^n k_{И} \cdot p_n \cdot \text{tg} \varphi_n \text{ при } n_{\Sigma} \leq 10$$

$$Q_p = \sum_1^n k_{И} \cdot p_n \cdot \text{tg} \varphi_n \text{ при } n_{\Sigma} > 10 \quad (4)$$

где 1,1 – расчётный коэффициент РМ, который изменяется в небольших пределах (1-1,1).

Полное значение расчётной нагрузки определяется по формуле:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \text{ кВА}$$

По полному значению определяется расчётный ток, необходимый для выбора отдельных элементов СЭЭП.

$$I_P = \frac{S_P}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \text{ А}; \quad (5)$$

где U_H – номинальное напряжение сети.

Порядок выполнения работы

1. Для заданного преподавателем производственного помещения подготовить исходные данные.
2. Выбрать источники питания и подключить к ним электроприемники.
3. Рассчитать нагрузку выбранных источников питания.

Контрольные вопросы

1. Определение расчетной нагрузки.
2. Вспомогательные методы нахождения расчетной нагрузки.
3. Основные этапы определения расчетной нагрузки по РТМ-92.
4. Зачем находится расчетная нагрузка?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 4

ВЫБОР ПРОВОДОВ И КАБЕЛЕЙ, ВЫБОР ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Цель работы: изучение методов выбора проводов и кабелей для подключения электроприемников, выбора источников питания для электроснабжения групп электроприемников.

Краткие методические указания

Выбор проводов и кабелей.

Для сетей напряжением до 1 кВ определяющим в выборе сечения проводника являются не экономические, а технические требования и условия.

Выбор сечений проводников по техническим условиям включает:

- выбор по условиям теплового нагрева;
- по условиям защиты;
- потерям напряжения;
- механической прочности.

Сечение проводников цеховой сети выбирается по расчетному току нагрузки таким образом, чтобы проводники при токах нагрузки, соответствующих работе в длительном режиме и условиям нормированной для них

температуры среды, не перегревались бы сверх допустимых пределов. В основном зависит от величины расчетного тока, от того, требуется ли защищать сеть от перегрузки или нет, от температурных условий окружающей среды, характера помещения и типа изоляции проводника. Прежде необходимо выбрать марку проводника, определиться с условиями его прокладки и затем выполнять расчет.

Выбор по условиям теплового нагрева. В нормальном режиме нагрев провода или кабеля не должен превышать допустимого. Для этого выбор сечения кабелей производят по таблицам ПУЭ, в которых приводятся значения сечений и соответствующие им допустимые длительные токи $I_{\text{дл доп}}$ для проводов и кабелей различных конструкций.

$$I_{\text{доп.пров}} \geq I_p ; \quad (1)$$

где I_p - расчетный ток линии.

Значения допустимых длительных токов указаны для определенных (нормальных) условий работы проводов и кабелей и их прокладки, При отклонении от этих условий значения допустимых длительных токов, приведенные в таблицах, должны быть умножены на приводимые в ПУЭ поправочные коэффициенты, учитывающие характер нагрузки (при повторно-кратковременном и кратковременном режиме работы ЭП), отклонение температуры окружающей среды от расчетной, количество совместно проложенных проводов и кабелей и тепловые характеристики грунта, в котором проложен кабель.

Выбор по условиям защиты. Это условие используется при защите электрических сетей от перегрузки. Такая защита применяется для следующих видов сетей:

- сети внутри помещений, выполненные открыто проложенными проводниками с горючей наружной оболочкой или изоляцией, должны быть защищены от перегрузки;

- осветительные сети в жилых и общественных зданиях, в торговых помещениях, служебно-бытовых помещениях промышленных предприятий, включая сети для бытовых и переносных электроприемников (утюгов, чайников, плиток, комнатных холодильников, пылесосов, стиральных и швейных машин и т. п.), а также в пожароопасных зонах;

- силовые сети на промышленных предприятиях, в жилых и общественных зданиях, торговых помещениях - только в случаях, когда по условиям технологического процесса или по режиму работы сети может возникать длительная перегрузка проводников;

- сети всех видов во взрывоопасных зонах.

Выбранное сечение проводника по условиям нагрева должно быть согласовано с аппаратом защиты этого проводника по условию:

$$I_{\text{доп.пров}} \geq K_3 \cdot I_{\text{уст}} ; \quad (2)$$

где K_3 – коэффициент защиты или кратность защиты, т.е. отношение дли-

тельно допустимого тока для провода или кабеля к номинальному току или

току уставки срабатывания защитного аппарата при перегрузке или K_3 ;

$I_{уст}$ - ток уставки защитного аппарата.

Из двух условий – выбирается сечение проводника, удовлетворяющее обоим условиям. Но в тех случаях, когда по (2) не совпадает с данными таблиц допустимых токов, допускается применение проводника ближайшего меньшего сечения, но не менее, чем это требуется по условию (2).

Выбор по потерям напряжения. В нормальном режиме сечение и длина кабеля или провода должны обеспечивать отклонение напряжения на зажимах ЭП не более $\pm 5\% U_H$. Падение напряжения в проводе или кабеле определяется по выражению

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_p \cdot L \cdot (r_{уд} \cos \varphi + x_{уд} \sin \varphi) \cdot 10^{-3} \cdot 100\% / U_H, \quad (3)$$

где I_p - расчетный ток линии, А;

L – длина линии, м;

φ - угол нагрузки, градус;

$r_{уд}, x_{уд}$ - удельные активное и индуктивное сопротивления линии, мОм/м.

Выбор по механической прочности. Сечения токопроводящих жил проводов и кабелей в электропроводах должны быть не менее минимально допустимых значений, которые приведены в ПУЭ.

Выбор троллейных линий. Сечения троллейных линий выбирают по нагреву длительно допустимым током нагрузки и проверяют на допустимую потерю напряжения в момент действия пиковой нагрузки. Допустимая потеря напряжения не должна превышать 10 %.

Подвод тока к троллеям может выполняться либо к началу троллеев, которые становятся продолжением питающей линии, либо к середине троллеев. В последнем случае потеря напряжения в троллеях уменьшается. Подвод тока может быть осуществлен в любом месте троллеев, если при этом потери напряжения в сети снижаются.

Потеря напряжения может быть определена по выше приведенной формуле, либо через удельные потери. Удельные потери напряжения ΔU_0 имеют размерность %/А·м, по ним легко вычисляются фактические потеря напряжения ΔU как

$$\Delta U = \Delta U_0 \cdot L \cdot I_{пик}, \quad (4)$$

где L – длина троллей;

$I_{пик}$ - пиковый ток крана.

Выбор силовых шкафов и пунктов выполняют по степени защиты в зависимости от характера среды в цехе, от его комплектации – предохранителями или автоматическими выключателями. Номинальный ток распределительного шкафа или силового пункта $I_{\text{ном}}$ должен быть больше или равным расчётного тока I_p группы ЭП.

$$I_{\text{ном.с.п}} \geq I_p \quad (5)$$

Число присоединений к силовому пункту $N_{\text{прис}}$ и их допустимые токи $I_{\text{доп.прис}}$ должны быть больше или равными числу отходящих от силового пункта линий $N_{\text{лин}}$ и расчетных токов линий $I_{\text{рас.лин}}$.

$$N_{\text{прис}} \geq N_{\text{лин}}, \quad (6)$$

$$I_{\text{доп.прис}} \geq I_{\text{рас лин}}. \quad (7)$$

Особенность выбора магистралей, обычно выполняемых шинопроводами типа ШМА для общепромышленных нагрузок, заключается в том, что номинальный ток шинопровода не должен превышать максимальный ток, протекающий через трансформатор, т. е.

$$I_{\text{трmax}} \geq I_{\text{номШМА}}.$$

С учётом допустимых перегрузок ШМА-68, а также во избежание больших потерь напряжения в сетях, при питании нагрузок от трансформаторов с $U_k=5,5\%$ выбор номинального тока шинопровода следует осуществлять по условию

$$I_{\text{номШМА}} \leq I_{\text{пик}}/(1,5-2),$$

где $I_{\text{пик}}$ -значение пикового тока.

Распределительные шинопроводы выбирают по расчётному току из условия

$$I_p \leq I_{\text{ном}},$$

где $I_{\text{ном}}$ – номинальный ток шинопровода.

Порядок выполнения работы

1. Для заданной преподавателем схемы электроснабжения выбрать источники питания.
2. Произвести проверку выбранных источников питания.
3. Выбрать провода и кабели.

Контрольные вопросы

1. Маркировка проводов и кабелей.
2. Условия выбора проводов и кабелей.
3. Когда выполняется выбор сечения провода или кабеля по уставке защитного аппарата?
4. В каких случаях для питания электроприемников следует использовать распределительные шкафы ?
5. В каких случаях для питания электроприемников следует использовать шинопроводы?

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 5

РАСЧЕТ ТОКОВ КЗ В ЦЕХОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Цель работы: изучение методов расчета токов КЗ в цеховой электрической сети напряжением 380 В.

Краткие методические указания

Расчет токов КЗ в цеховой сети производим в соответствии с ГОСТ 28249-93. Также можно руководствоваться РД 153-34.0-20.527-98. В электроустановках переменного тока напряжением до 1 кВ расчет токов КЗ выполняют с целью проверки коммутационной аппаратуры и проводников на стойкость к токам КЗ, проверки чувствительности и селективности действия защит.

В общем случае для выбора и проверки электрооборудования по условиям КЗ следует определить:

- 1) начальное значение периодической составляющей тока КЗ;
- 2) апериодическая составляющая тока КЗ;
- 3) ударный ток КЗ;
- 4) действующее значение периодической составляющей тока КЗ в произвольный момент времени, вплоть до расчетного времени размыкания поврежденной цепи.

При расчете токов КЗ учитывают все активные и индуктивные сопротивления короткозамкнутой цепи, включая активные сопротивления различных контактов и контактных соединений, а также сопротивлений электрической дуги в месте КЗ – п.1.4 /5/.

Для расчета токов КЗ составляется схема замещения, замещения, в которую входят все сопротивления цепи до точки КЗ. Расчет сопротивлений отдельных элементов выполняется по соотношениям, приведенным в ГОСТ /5/. Для примера приведены расчеты сопротивлений питающих системы и трансформаторов.

Сопротивление питающей системы, представляющей собой источник неизменного по амплитуде напряжения, подключенный к обмотке высшего напряжения трансформатора, питающего рассматриваемую сеть, в миллиОмах :

$$x_c = \frac{U_{\text{ср.НН}}^2}{\sqrt{3}I_{\text{к.ВН}}U_{\text{ср.ВН}}} = \frac{U_{\text{ср.НН}}^2}{S_{\text{к}}} \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где $U_{\text{ср.НН}}$ – среднее номинальное напряжение сети, подключенной к обмотке низшего напряжения трансформатора, В;

$U_{\text{ср.ВН}}$ – среднее номинальное напряжение сети, к которой подключена обмотка высшего напряжения трансформатора, В;

$I_{\text{к.ВН}}$ – действующее значение периодической составляющей тока при трехфазном КЗ у выводов обмотки высшего напряжения трансформатора, кА;

$S_{\text{к}}$ – условная мощность короткого замыкания у выводов обмотки высшего напряжения трансформатора, МВ·А.

При отсутствии указанных данных эквивалентное индуктивное сопротивление системы в миллиОмах допускается рассчитывать по формуле

$$x_{\text{с}} = \frac{U_{\text{ср.НН}}^2}{\sqrt{3} I_{\text{ном.откл}} U_{\text{ср.ВН}}}, \quad (2)$$

где $I_{\text{ном.откл}}$ – номинальный ток отключения выключателя, установленного на стороне высшего напряжения понижающего трансформатора.

Активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности понижающих трансформаторов ($r_{\text{т}}$, $x_{\text{т}}$) в миллиомах, приведенные к ступени низшего напряжения сети, рассчитывают по формулам:

$$r_{\text{т}} = \frac{P_{\text{к.ном}} U_{\text{НН.ном}}^2}{S_{\text{т.ном}}^2} \cdot 10^6 \quad (3)$$

$$x_{\text{т}} = \sqrt{u_{\text{к}}^2 - \left(\frac{100 P_{\text{к.ном}}}{S_{\text{т.ном}}} \right)^2} \cdot \frac{U_{\text{НН.ном}}^2}{S_{\text{т.ном}}} \cdot 10^4,$$

где $S_{\text{т.ном}}$ – номинальная мощность трансформатора, кВ·А;

$P_{\text{к.ном}}$ – потери короткого замыкания в трансформаторе, кВт;

$U_{\text{НН.ном}}$ – номинальное напряжение обмотки низшего напряжения трансформатора, кВ;

$U_{\text{к}}$ – напряжение короткого замыкания трансформатора, %.

Активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности понижающих трансформаторов, обмотки которых соединены по схеме Δ/Y_0 , при расчете КЗ в сети низшего

напряжения следует принимать равными соответственно активным и индуктивным сопротивлениям прямой последовательности. При других схемах соединения обмоток трансформаторов активные и индуктивные сопротивления нулевой последовательности принимаются по данным заводов изготовителей.

Расчет токов трехфазного КЗ

При электроснабжении электроустановки от энергосистемы через понижающий трансформатор начальное действующее значение периодической составляющей трехфазного тока КЗ ($I_{\text{ПО}}$) в килоамперах без учета подпитки от электродвигателей рассчитывается по формуле

$$I_{\text{ПО}} = \frac{U_{\text{ср.НН}}}{\sqrt{3} \sqrt{r_{1\Sigma}^2 + x_{1\Sigma}^2}}, \quad (4)$$

где $U_{\text{ср.НН}}$ - среднее номинальное напряжение сети, в которой произошло короткое замыкание, В;

$r_{1\Sigma}$, $x_{1\Sigma}$ - соответственно суммарное активное и суммарное индуктивное сопротивления прямой последовательности цепи КЗ, мОм.

Наибольшее начальное значение апериодической составляющей тока КЗ ($i_{\alpha 0}$) в общем случае считают равным амплитуде периодической составляющей тока в начальный момент КЗ

$$i_{\alpha 0} = \sqrt{2} I_{\text{ПО}}. \quad (5)$$

Ударный ток трехфазного КЗ ($i_{\text{уд}}$) в электроустановках с одним источником энергии (энергосистема или автономный источник) рассчитывают по формуле

$$i_{\text{уд}} = \sqrt{2} I_{\text{ПО}} K_{\text{уд}}, \quad (6)$$

где $K_{\text{уд}}$ - ударный коэффициент, определяемый по следующей формуле

$$K_{\text{уд}} = (1 + \sin \varphi_k e^{-t_{\text{уд}}/T_a}), \quad (7)$$

где T_a - постоянная времени затухания апериодической составляющей тока

КЗ, рассчитывается как

$$T_a = \frac{x_\Sigma}{\omega_c r_\Sigma}, \quad (8)$$

где x_Σ и r_Σ - результирующие индуктивное и активное сопротивления цепи КЗ, мОм;

ω_c - синхронная угловая частота напряжения сети, рад/с.

φ_k - угол сдвига по фазе напряжения или ЭДС источника и периодической составляющей тока КЗ, который рассчитывают по формуле

$$\varphi_k = \arctg x_{1\Sigma} / r_{1\Sigma}; \quad (9)$$

$t_{уд}$ - время от начала КЗ до появления ударного тока, с, равное

$$t_{уд} = 0,01 \frac{\pi / 2 + \varphi_k}{\pi}. \quad (10)$$

Расчет токов однофазного КЗ

Расчет токов несимметричных КЗ, к которым относится однофазное КЗ, выполняют с использованием метода симметричных составляющих. При этом предварительно необходимо составить схемы замещения прямой, обратной и нулевой последовательностей. Значения токов однофазного КЗ чаще всего используется для проверки чувствительности защитных аппаратов к токам КЗ.

В схему замещения прямой последовательности должны быть введены все элементы расчетной схемы. Схема замещения обратной последовательности также должна включать все элементы расчетной схемы. Сопротивление обратной последовательности трансформаторов, реакторов, воздушных и кабельных линий следует принимать равным сопротивлению прямой последовательности.

Параметры элементов схемы замещения нулевой последовательности определяются согласно п. 8.2.1 /5/ или п. 6.3.2.1 /6/.

Если электроснабжение осуществляется от энергосистемы через понижающий трансформатор, то начальное значение периодической составляющей тока однофазного КЗ от системы ($I_{\text{н0}}^{(1)}$) в килоамперах рассчитывается по формуле

$$I_{\text{по}}^{(1)} = \frac{\sqrt{3}U_{\text{ср.НН}}}{\sqrt{(2r_{1\Sigma} + r_{0\Sigma})^2 + (2x_{1\Sigma} + x_{0\Sigma})^2}}, \quad (11)$$

где $r_{1\Sigma}$ и $x_{1\Sigma}$ определяют как для расчета тока трехфазного КЗ;
 $r_{0\Sigma}$ и $x_{0\Sigma}$ - суммарное активное и суммарное индуктивное
сопротивления нулевой последовательности расчетной схемы
относительно точки КЗ, МОм.

Порядок выполнения работы

1. Для заданной преподавателем схемы электроснабжения составить схему замещения.
2. Рассчитать параметры схемы замещения.
3. Для заданных преподавателем точек КЗ рассчитать значения токов.
4. Для заданной преподавателем схемы источника питания выбрать провода и предохранители для подключения электроприемников.
5. Выбрать кабельную линию и автоматический выключатель для подключения источника питания.
6. Для заданных преподавателем значений токов КЗ проверить выбранные предохранители и автоматический выключатель.

Контрольные вопросы

1. Назначение расчетов токов КЗ в цеховой сети.
2. Основные особенности расчетов токов КЗ в сетях напряжением до 1000 В.
3. Составление схемы замещения для расчета токов трехфазных КЗ.
4. Составление схемы замещения для расчета токов однофазных КЗ.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 6

ВЫБОР ПРЕДОХРАНИТЕЛЕЙ И АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ

Цель работы: ознакомиться с порядком выбора и проверки предохранителей и автоматических выключателей в электрических сетях напряжением 380 В.

Краткие методические указания

Предохранители предназначены для защиты электрических сетей от перегрузок и коротких замыканий. Наибольшее распространение получили плавкие предохранители. Они дешевы и просты по устройству.

Плавкий предохранитель состоит из двух основных частей: корпуса (патрона) из электроизоляционного материала и плавкой вставки. Концы плавкой вставки соединены с клеммами, с помощью которых предохранитель включается в линию последовательно с защищаемым потребителем или участком цепи. Плавкая вставка выбирается с таким расчетом, чтобы она плавилась раньше, чем температура проводов линии достигнет опасного уровня или перегруженный потребитель выйдет из строя.

Предохранители выбираем по следующим условиям.

Номинальное напряжение предохранителя должно соответствовать номинальному напряжению сети. Номинальный ток предохранителя должен быть не менее расчетного тока защищаемой линии.

$$I_{н.пв} \geq I_p .$$

Номинальный ток плавкой вставки выбирается наибольшим из следующих условий:

1) несрабатывания при максимальном рабочем токе

$$I_{н.пв} \geq I_p ;$$

2) при защите одиночного асинхронного электродвигателя с короткозамкнутым ротором — несрабатывание, при его пуске:

$$I_{н.пв} \geq I_{пуск} / k_{п} ;$$

где $k_{п}$ - коэффициент, при защите электродвигателей с коротко-замкнутым ротором и легком пуске (длительностью 2–5 с) принимается равным 2,5, при тяжелом пуске (длительность около

10 с), а также при частых пусках (более 15 в час) или для особо ответственных электродвигателей, ложное отключение которых недопустимо, принимается равным 1,6–2; при защите двигателя с фазным ротором - 0,8–1;

3) обеспечение необходимой чувствительности при КЗ, для выполнения этого условия кратность минимального тока I_{Kmin} при любом виде КЗ по отношению к номинальному току плавкой вставки должна быть:

для невзрывоопасной среды:

$$k_{\text{ч}}^{(1)} = I_{\text{кmin}} / I_{\text{нпв}} \geq 3;$$

для взрывоопасной среды

$$k_{\text{ч}}^{(1)} = I_{\text{к}}^{(1)} / I_{\text{нрасц}} \geq 4.$$

При питании от энергосистемы минимальным током КЗ в установках с глухозаземленной нейтралью в большинстве случаев является ток однофазного КЗ, в установках с изолированной нейтралью — ток двухфазного КЗ.

4) обеспечение отключающей способности, для чего предельный отключаемый ток предохранителя должен быть больше максимального тока КЗ

$$I_{\text{пред откл}} \geq I_{\text{max КЗ}}.$$

Автоматические выключатели (автоматы) низкого напряжения (до 1000 В) предназначены для автоматической защиты электрических сетей и оборудования от аварийных режимов (токов короткого замыкания, токов перегрузки, снижения или исчезновения напряжения), а также для нечастой коммутации номинальных токов (6-30 раз в сутки). Иногда автоматом можно производить редкий запуск и останов асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором.

Автоматический выключатель выбирается исходя из следующих условий:

соответствия номинального напряжения выключателя $U_{\text{н.в}}$ номинальному напряжению сети $U_{\text{н}}$

$$U_{\text{н.в}} \geq U_{\text{н}}$$

соответствия расчетному току защищаемой линии

$$I_{\text{н.в}} \geq I_{\text{р}}.$$

Выбор по условиям защиты от перегрузки и КЗ.

Для защиты от перегрузки служат расцепители, действующие с выдержкой времени – максимальные.

$$I_{\text{н.расц}} \geq I_{\text{р}}.$$

Для защиты от КЗ служат расцепители, действующие без выдержки времени – мгновенные или отсечка:

$$I_{\text{мгн.расц}} \geq 1,25 * I_{\text{пик.}}$$

Условие предельной коммутационной способности. Каталожное значение ПКС должно быть не менее значения тока КЗ, протекающего в цепи в момент расхождения контактов выключателя.

Проверка чувствительности при однофазных КЗ. Значение коэффициента чувствительности при однофазном КЗ на зажимах электродвигателя должно быть:

для невзрывоопасной среды и выключателей с регулируемой защитной характеристикой

$$k_{\text{ч}}^{(1)} = I_{\text{к}}^{(1)} / I_{\text{сп}} \geq 3;$$

для невзрывоопасной среды и выключателей с нерегулируемой защитной характеристикой

$$k_{\text{ч}}^{(1)} = I_{\text{к}}^{(1)} / I_{\text{нрасц}} \geq 3;$$

для взрывоопасной среды

$$k_{\text{ч}}^{(1)} = I_{\text{к}}^{(1)} / I_{\text{нрасц}} \geq 6.$$

Порядок выполнения работы

1. Для заданной преподавателем схемы электроснабжения выбрать защитные аппараты.

2. Проверить выбранные защитные аппараты.

3. Для заданных преподавателем токов КЗ проверить чувствительность выбранных защит.

Контрольные вопросы

1. Назначение и устройство предохранителей.
2. Виды защитных характеристик предохранителей.
3. Основные параметры предохранителей.
4. Назначение и устройство автоматических выключателей.
5. Виды защитных характеристик автоматических выключателей.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 7

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Цель работы: ознакомиться с определением показателей качества электроэнергии.

Краткие методические указания.

Отклонение частоты

Показателем КЭ, относящимся к частоте, является отклонение значения основной частоты напряжения электропитания от номинального значения Δf , Гц

$$\Delta f = f_m - f_{\text{ном}}, (1)$$

где f_m – значение основной частоты напряжения электропитания, Гц, измеренное в интервале времени 10 с в соответствии с требованиями ГОСТ 30804.4.30, подраздел 5.1;

$f_{\text{ном}}$ – номинальное значение частоты напряжения электропитания, Гц.

Номинальное значение частоты напряжения электропитания в электрической сети равно 50 Гц.

Для указанного показателя КЭ установлены следующие нормы:

– отклонение частоты в синхронизированных системах электроснабжения не должно превышать +/- 0,2 Гц в течение 95% времени интервала в одну неделю и +/- 0,4 Гц в течение 100% времени интервала в одну неделю;

– отклонение частоты в изолированных системах электроснабжения с автономными генераторными установками, не подключенных к синхронизированным системам передачи электрической энергии, не должно превышать +/- 1 Гц в течение 95% времени интервала в одну неделю и +/- 5 Гц в течение 100% времени интервала в одну неделю.

Медленные изменения напряжения электропитания (как правило, продолжительностью более 1 мин) обусловлены обычно изменениями нагрузки электрической сети.

Показателями КЭ, относящимися к медленным изменениям напряжения электропитания, являются отрицательное $\delta U_{(-)}$ и

положительное $\delta U_{(+)}$ отклонения напряжения электропитания в точке передачи электрической энергии от номинального/согласованного значения, %:

$$\delta U_{(-)} = \left[(U_0 - U_{m(-)}) / U_0 \right] \cdot 100; \quad (2)$$

$$\delta U_{(+)} = \left[(U_{m(+)} - U_0) / U_0 \right] \cdot 100, \quad (3)$$

где $U_{m(-)}$, $U_{m(+)}$ – значения напряжения электропитания, меньшие U_0 и большие U_0 соответственно, усредненные в интервале времени 10 мин в соответствии с требованиями ГОСТ 30804.4.30, подраздел 5.12;

U_0 – напряжение, равное стандартному номинальному напряжению $U_{\text{ном}}$ или согласованному напряжению U_c .

Установленные нормы медленных изменений напряжения электропитания относятся к 1008 интервалам времени измерений по 10 минут каждый.

Колебания напряжения электропитания (как правило, продолжительностью менее 1 мин), в том числе одиночные быстрые изменения напряжения, обуславливают возникновение фликера.

Показателями КЭ, относящимися к колебаниям напряжения, являются кратковременная доза фликера P_{st} , измеренная в интервале времени 10 мин, и длительная доза фликера P_{lt} , измеренная в интервале времени 2 ч, в точке передачи электрической энергии.

Для указанных показателей КЭ установлены следующие нормы:

кратковременная доза фликера P_{st} не должна превышать значения 1,38,

длительная доза фликера P_{lt} не должна превышать значения 1,0 в течение 100% времени интервала в одну неделю.

Гармонические составляющие напряжения обусловлены, как правило, нелинейными нагрузками пользователей электрических сетей, подключаемыми к электрическим сетям различного напряжения. Гармонические токи, протекающие в электрических сетях, создают падения напряжений на полных сопротивлениях электрических сетей. Гармонические токи, полные сопротивления

электрических сетей и, следовательно, напряжения гармонических составляющих в точках передачи электрической энергии изменяются во времени.

Показателями КЭ, относящимися к гармоническим составляющим напряжения являются:

- значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения до 40-го порядка $K_{U(n)}$ в процентах напряжения основной гармонической составляющей U_1 в точке передачи электрической энергии;

- значение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения (отношения среднеквадратического значения суммы всех гармонических составляющих до 40-го порядка к среднеквадратическому значению основной составляющей) K_U , % в точке передачи электрической энергии.

Несимметрия трехфазной системы напряжений обусловлена несимметричными нагрузками потребителей электрической энергии или несимметрией элементов электрической сети.

Показателями КЭ, относящимися к несимметрии напряжений в трехфазных системах, являются коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} и коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} .

Для указанных показателей КЭ установлены следующие нормы:

- значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} и несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 2% в течение 95% времени интервала в одну неделю;

- значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} и несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} в точке передачи электрической энергии, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 4% в течение 100% времени интервала в одну неделю.

Порядок выполнения работы

1. Для заданной преподавателем схемы электроснабжения рассчитать значения отклонений напряжения.
2. По заданному графику напряжения рассчитать значения высших гармоник.
3. По заданным значениям напряжения определить коэффициенты несимметрии.

Контрольные вопросы

1. Основные причины возникновения несимметричных режимов работы в трехфазных электрических сетях.
2. Метод симметричных составляющих и его применение к определению прямой, обратной и нулевой последовательностей при несимметричных режимах.
3. В чем проявляется вредное воздействие токов и напряжений обратной и нулевой последовательностей на электроприемники.
4. Основные методы по снижению несимметрии в трехфазных электрических сетях.
5. Причины появления высших гармоник в электрических сетях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий [Текст]: Учебник для студентов высших учебных заведений/Б.И.Кудрин. – М.:Интермет Инжиниринг, 2005. – 672 с.:ил.
2. Кудрин Б.И. Электроснабжение (2-е изд., перераб. и доп.) [Текст]: Учебник/Б.И.Кудрин. – М.: Академия, 2012. – 352 с.
3. Правила устройства электроустановок [Текст]. Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. 4-й выпуск. – Новосибирск; Сиб.унив.изд-во, 2006. – 854 с.:ил.
4. Конюхова Е.А. Электроснабжение объектов (10-е изд., стер.) [Текст]: Учебное пособие – М.: Академия, 2012. – 320 с.
5. ГОСТ 32144-2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. М.:Стандартинформ, 2014. – 19 с.