МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Кафедра „Электроника и робототехника"

«ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ»

Зав. кафедрой _____
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)

_____ «____»_____201__г.
(подпись)

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

На тему:
Анализатор несинусоидальности напряжения в электрических сетях

Специальность 5В071600 - Приборостроение
Выполнил (а) _____ Группа_____
(Ф.И.О.)
Научный руководитель Жумстазин Бурши Абилович

Консультанты:
по экономической части:
К.Э.Н., доцент Фекисова А.Ч
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)
_____ «05» 06 2019 г.
(подпись)

по безопасности жизнедеятельности:
Д.Х.Н., профессор Приходько Н.Г.
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)
_____ «23» 05 2019 г.
(подпись)

Нормоконтролер: к.т.н., доцент Читамбаев Т.О.
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)
_____ «10» 06 2019 г.
(подпись)

Рецензент: _____
(ученая степень, звание, Ф.И.О.)
_____ «____»_____201___г.
(подпись)

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
«АЛМАТИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ЭНЕРГЕТИКИ И СВЯЗИ»

Институт Космической инженерии и телекоммуникаций

Кафедра „Электроника и робототехника"

Специальность 5В071600 „Приборостроение

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипломного проекта

Студенту Мусаеву Данияру
(Ф.И.О.)

Тема проекта Анализатор несинусоидальности напряжения в электрических цепях

Утверждена приказом по университету № ___ от «___» _____ 201_г.

Срок сдачи законченного проекта « ___ « _____ 201__ г.

Исходные данные к проекту (требуемые параметры результатов исследования (проектирования) и исходные данные объекта):
Arduino Uno (микроконтроллер), LCD дисплей, мелкие комплектующие (резисторы, конденсаторы и т.д)

Перечень вопросов, подлежащих разработке в дипломном проекте, или краткое содержание дипломного проекта:
В дипломном проекте рассматриваются теоретические и практические вопросы, связанные с оценкой влияния несимметрии напряжения на работу электрооборудования на примере прибора, который симметрирует напряжение в электрических цепях

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1) Титульный лист
2) Актуальность
3) Методика оптимизации работы
4) Разработка протокола
5) Разработка прибора
6) БЖД
7) Технико-экономическое обоснование

Основная рекомендуемая литература:

1) Гераскин О.Т., Черепанов В.В. Методы расчета несинусоидальных и несимметричных режимов сложных систем электроснабжения промышленных предприятий // Исследование качества электрической энергии в сложных электрических системах. С.Б. науч. тр. - Братск: БрИИ, 1990 г. - С. 56-62
2) Ахроменко В.И., Щербаков А.Н. О результатах контроля и путях повышения качества электроэнергии в распределительных сетях // Электроснабжение - 2003. - №1 - С. 60-63

Консультации по проекту с указанием относящихся к ним разделов проекта

Раздел	Консультант	Сроки	Подпись
БЖД	Прохоренко Н.Т.	13.02-29.05.19	
Эконом. часть	Бекишева А.И.	14.02-20.04.19	
Теоретическая	Жумагазин. Б.А.	17.03-26.05.19	
Экспериментальная	Жумагазин. Б.А.	22.03-29.05.19	
Разработка прибора	Жумагазин. Б.А.	22.03-28.05.19	

График
подготовки дипломного проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Теоретическая часть		
Экспериментальная часть		
Разработка проекта		
Безопасность жизнедеятельности		
Технико-экономическое обоснование		

Дата выдачи задания «01» февраля 2019 г.

Заведующий кафедрой _____ (Чиналиев Г.О.)

Научный руководитель проекта _____ (Жумагали Б.А.)

Задание принял к исполнению студент _____ (Мусаев Данияр)

Аннотация

В данном дипломном проекте рассматриваются вопросы, связанные с оценкой влияния несимметрии на работу, причины, следствия и существующие решения асимметричных неисправностей. Также рассмотрены особенности несимметричных режимов работы электросетей и методики снижения несимметрии токов и напряжений электрической.

Проведен расчет показателей несимметричных электрических сетей. Для этого провели два этапа: расчет показателей несимметрии для токов и напряжений электрической сети; усреднение полученных экспериментальных данных. Также была разработана автоматизированная система симметрирования фазных токов и напряжений.

Дипломный проект состоит из 90 страниц, 16 таблицы, 36 рисунков и библиографических источников.

Summary

In this graduate project examines the issues related to the assessment of the effect of asymmetry on the work, causes, consequences and existing solutions of asymmetric faults. Also considered are the features of asymmetric modes of operation of electrical networks and methods for reducing the asymmetry of currents and electrical voltages.

The calculation of indicators of asymmetric electrical networks. For this, we performed two stages: calculation of asymmetry indices for currents and voltages of the electrical network; averaging the experimental data An automated system for balancing phase currents and voltages was also developed.

The diploma project consists of 90 pages, 16 tables, 36 figures and bibliographic sources.

Аңдатпа

Дипломдық жобада асимметрияның кемшіліктердің жұмысына, себептеріне, салдарларына және қолданыстағы шешімдеріне әсерін бағалауға байланысты мәселелер қарастырылады. Сондай-ақ, электр желілерінің асимметриялы жұмыс режимдері мен токтардың асимметриясын және электр кернеулерін азайту әдістерін қарастырады.

Асимметриялық электр желілерінің көрсеткіштерін есептеу. Бұл үшін біз екі кезеңді өткіздік: электр желісінің токтарына және кернеулері үшін асимметрия көрсеткіштерін есептеу; эксперименттік деректерді орташалау. Фазалық токтар мен кернеулерді теңгерудің автоматтандырылған жүйесі әзірленді.

Дипломдық жоба 90 бет, 16 кесте, 36 суреттен және библиографиялық көздерден тұрады.

Содержание

Введение ... 7
1 Методы оптимизации работы электросетей ... 8
1.1 Причины, следствия и существующие решения асимметричных неисправностей ... 8
1.2 Особенности несимметричных режимов работы электросетей ... 9
1.3 Методики снижения несимметрии токов и напряжений электрической сети ... 8
2 Расчет показателей несимметричных электрических сетей ... 20
2.1 Расчет показателей несимметрии для токов и напряжений электрической сети ... 9
2.2 Усреднение полученных экспериментальных данных ... 9
3 Разработка анлизатора несимметрии ... 20
3.1 Принцип работы прибора ... 9
3.2 Алгоритм регулирования тока ... 9
3.3 Преимущества предлагаемой методики перед существующими решениями ... 9
4 Экспериментальные результаты ... 20
4.1 Разработка автоматизированной системы симметрирования фазных токов ... 9
4.2 Методы расчета параметров симметрирующих устройств ... 9
5 Безопасность жизнедеятельности ... 61
5.1 Анализ условий труда ... 61
5.2 Расчет вентиляции ... 65
5.2.1 Исходные данные ... 65
5.2.2 Расчет тепловых нагрузок в помещении ... 65
5.2.3 Внешние тепловые нагрузки ... 66
5.2.4 Внутренние тепловые нагрузки ... 68
5.2.5 Расчет теплового баланса помещения ... 70
5.3 Выбранный кондиционер и его размещение ... 71
6 Технико-экономическое обоснование проекта ... 73
6.1 Резюме ... 73
6.2 Трудоемкость разработки продукта ... 74
6.3 Расчет затрат на разработку анализатора ... 75
6.4 Материальные затраты ... 76
6.5 Затраты на оплату труда ... 78
6.6 Социальный налог ... 79
6.7 Амортизация основных фондов ... 79
6.8 Прочие затраты ... 79
6.9 Смета затрат на разработку анализатора ... 81
6.10 Определение предположительной цены прибора ... 81
6.11 Экономический эффект ... 82
Заключение ... 84
Список литературы ... 85

Введение

Устранение неисправностей представляет большой интерес, поскольку электрические помехи могут вызвать ряд серьезных проблем в системах передачи и распределения электроэнергии, а также для чувствительных нагрузок. В общем, неисправности могут быть симметричными или асимметричными. Симметричные неисправности представляют собой короткое замыкание фазы, которое приводит к сильным провалам напряжения. К счастью, они редко встречаются в энергосистемах.

Несимметричные неисправности вызывают провалы напряжения в зависимости от расстояния между неисправностями.

Расположение и нагрузка. Кроме того, они гораздо чаще встречаются в энергосистемах [1 – 4]. Поскольку трехфазный отказ иногда приводит к полному прерыванию потока энергии от коммунального предприятия, этот тип.

С этим условием можно эффективно справиться, только используя дорогую систему бесперебойного питания (ИБП), имеющую отдельный аккумулятор или дизель-генератор. Типичные примеры промышленного применения, которые требуют строго регулируемого источника питания, включают обработка полупроводников, электромагнитная совместимость (ЭМС), электромагнитные помехи (ЭМП) и генерация магнитного поля.

Общепринятым способом решения этой проблемы является установка различных типов оборудования для компенсации и кондиционирования мощности или предоставление нестандартного источника питания, содержащего специальные электронные компоненты питания [5–9]. Хотя эти решения эффективны, они являются дорогостоящими и используются только в нескольких приложениях. Кроме того, они требуют минимум четверти цикла для начала работы, что ограничивает их применение только в чрезвычайно чувствительных приложениях нагрузки [10]. Кроме того, поскольку большинство устройств для кондиционирования и регулирования мощности контролируются напряжением, они сталкиваются с проблемами производительности при питании нелинейных нагрузок.

Гораздо менее дорогостоящее решение с возможностями регулирования и кондиционирования питания возможно, если защита от любого из состояний отказа, кроме трехфазного отказа, считается адекватной. В этом документе предлагается более дешевое решение этой проблемы, при котором обычные затраты сводятся к минимуму.

Выпрямитель / инвертор, обычно используемый в качестве источника питания для двигателя переменного тока переменной частоты, используется для регулирования мощности чувствительной нагрузки. В предлагаемой системе инвертор всегда физически подключен к нагрузке и, таким образом, может практически мгновенно реагировать на помехи в источнике питания.

Единственная ответственность инвертора поддерживать постоянными и сбалансированными токи трехфазной нагрузки. Если система питания

испытывает какой-либо асимметричный отказ или страдает от дисбаланса напряжения источника, мощность затем уравновешивается инвертором источника напряжения с регулируемым током с использованием недавно разработанной системы управления двигателем с переменной частотой [11,12]. Однако они также идеально подходят для непосредственного управления переменными токами с любой сбалансированной нагрузкой, с или без соответствующей ЭДС (то есть нагрузки двигателя). Хотя асимметричная неисправность вызывает помехи в цепи напряжения постоянного тока силового преобразователя предлагаемой системы, показано, что этот эффект можно эффективно устранить путем жесткого регулирования тока инвертора.

Таким образом, возможность повреждения системного оборудования, критических нагрузок потребителя и прерывания обслуживания потребителя может быть устранена в подавляющем большинстве случаев неисправности.

1 Методы оптимизации работы электросетей

Формирование промышленности и распространение бытовой техники приводит к непрерывному повышению мощностей электропотребления, что является актуальным как для мегаполисов, так и для населенных пунктов, а также поселков приближенных к городскому типу, что в последнее время по требованиям к надёжности их электроснабжения стало ближе к промышленным потребителям [1-9, 15-18]. Сельскохозяйственные потребители на в нынешнее время имеет на своем балансе огромное количество линий электропередачи, трансформаторных подстанций, а также электродвигателей и других производственных электроустановок (рисунок 1.1).

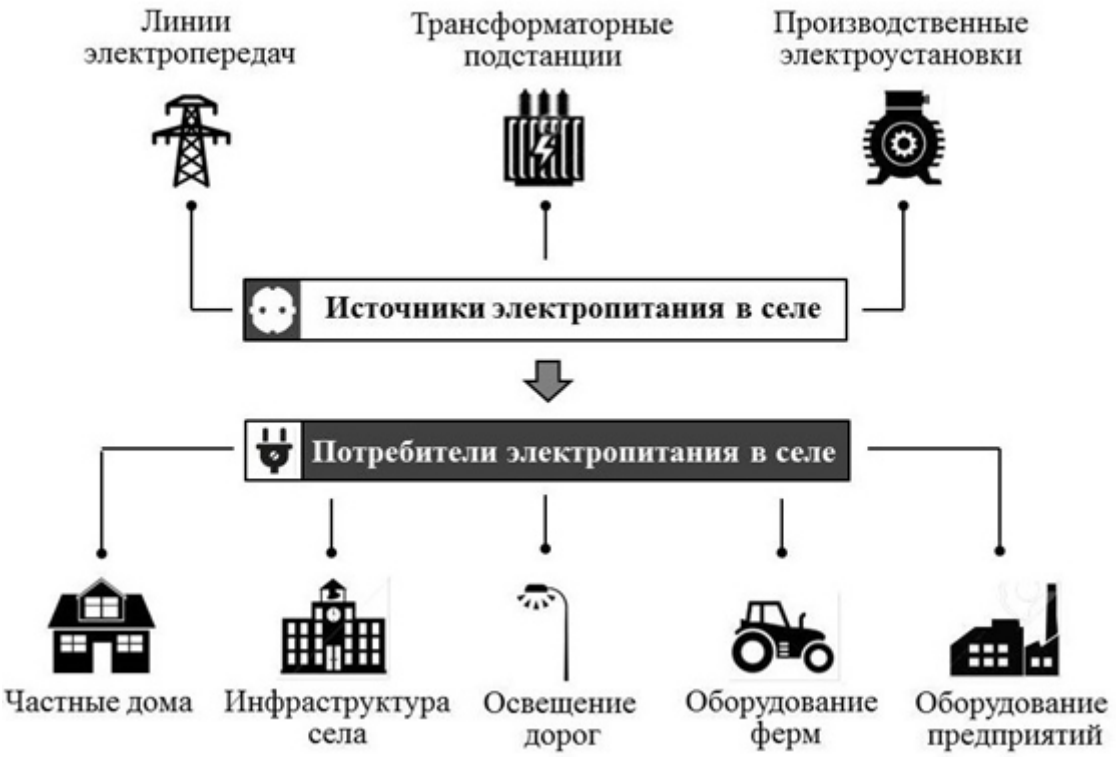

Рисунок 1.1 – Диаграмма электроснабжения

Главной особенностью электроснабжения в поселках является появление несимметричных режимов работы электросистемы, которые зачастую связаны с неравномерностью распределения нагрузок по фазам, а также применение в сельскохозяйственном участке высокомощных однофазных электрических приемников [14-20]. Несимметричный режим определяется разными условиями работы фаз. Степень несимметрии системы определяются следующими характеристиками:

– коэффициент напряжения обратной последовательности;
– коэффициент напряжения нулевой последовательности;
– коэффициент тока обратной последовательности;
– коэффициент тока нулевой последовательности;
– коэффициент потери мощности.

Величина данных коэффициентов, которые характеризуются воздействием несимметрии сети на работу электрических установок.

1.1 Причины, следствия и существующие решения асимметричных неисправностей

Причины, последствия и существующие решения асимметричных неисправностей Погодные условия, ветви деревьев, контакты людей или животных и нарушения изоляции могут создавать как симметричные, так и асимметричные неисправности. Относительно небольшое количество нагрузок вблизи места повреждения будет проходить через наихудшее из возможных условий отказа и часто испытывать провисание, близкое к нулю, с последующим прерыванием из-за срабатывания автоматических выключателей, установленных на стороне электросети.

Однако большинство нагрузок, которые, как правило, находятся вдали от места повреждения, будут испытывать провисание величины в зависимости от расстояния между нагрузкой и местом повреждения, а также продолжительности, необходимой для работы установленных защитных устройств и схем. на стороне коммунального предприятия [13].

Величина этих провалов всегда ниже, чем близких к месту повреждения. Чтобы исследовать влияние асимметричной неисправности на чувствительную нагрузку, моделирование проводилось во время наихудшего возможного состояния неисправности для нагрузки (то есть вблизи точки неисправности F) с использованием пассивной заземленной нагрузки 500 ВА.

Для обобщения здесь предполагается, что токи нагрузки находятся в расчете на единицу (п.у.) системы. Во время такой нагрузки и условий эксплуатации, когда фаза А испытывает однофазное замыкание на землю (S-L-G), токи фазы для нагрузки будут:

$$I_a = 0 \quad I_b = I_c = 1$$

Точно так же, когда две фазы, А и В, одновременно испытывают замыкание на землю, то есть двойную линию на землю (D-L-G), токи и фазы для нагрузки будут:

$$I_a = I_b = 0 \quad I_c = 1$$

Тем не менее, в случае однофазного повреждения (S-L-L) между двумя фазами, А и В, соотношения для фазных токов нагрузки будут:

$$I_a = -I_b \quad I_c = 1$$

На рисунке 1.1 показаны результаты моделирования для токов нагрузки, когда нагрузка испытывает одиночные замыкания линия-земля, двойная линия-земля и линия-линия соответственно. Статистические данные показали, что провалы, снижающие номинальное напряжение сети до 40–50% и продолжающиеся менее 2 с, приводят к примерно 92% от общего количества прерываний, с которыми сталкиваются промышленные приложения

Традиционные средства для промышленных потребителей которые устраняют асимметричные неисправности и предотвращают значительные финансовые потери – это установка различных типов устройств регулирования и кондиционирования мощности (например, компенсатор последовательного падения напряжения, изолированный параллельный компенсатор падения напряжения.

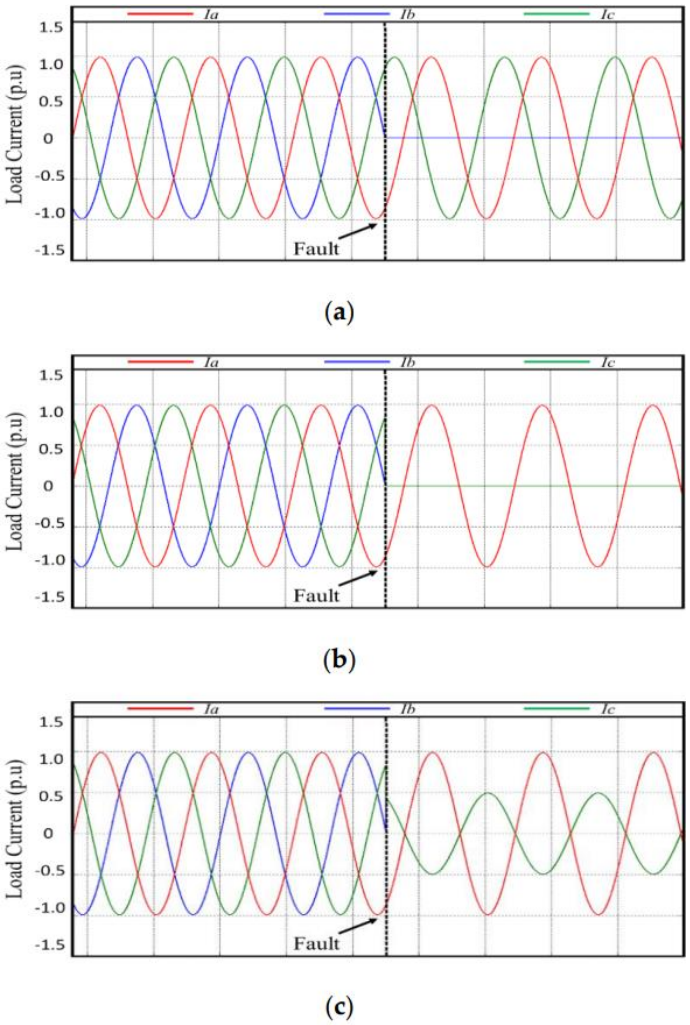

Рисунок 1.1 – Текущие загрузочные токи: a – однофазная цепь, b –двухфазные цепь, c – трехфазные цепь

1.2 Особенности несимметричных режимов работы электросетей

Несимметричный режим работы электросети относится к эксплуатационному режиму, в котором важно видеть различия от режима аварийного, который связан с краткими замыканиями, проблемами с проводами и т.д. В зависимости от причины несимметрии напряжений и токов электросети, несимметрию можно подразделить на продольную и поперечную (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Виды несимметричных режимов работы электросетей

Вид несимметрии	Причины	Дополнительные примеры
Продольная	несимметрия элементов электрической сети	неполнофазные режимы воздушных линий
		несимметрия параметров фаз элементов электросети
Поперечная	при помощи подключения однофазных несимметричных нагрузок	разница в номиналах активных и реактивных сопротивлений фаз приемников электроэнергии
	подключением многофазных несимметричных нагрузок	

При проектировании систем электрических снабжений сельскохозяйственных объектов зачастую не учитывается общая нагрузка и мощность отдельных потребителей электроэнергии для реализации равномерного распределения по фазам сети, кроме того, вследствие развития коммунально-бытового сектора, к линии дополнительно подключается большое количество новоиспеченных электрических приёмников. Проведя анализ статистики тем в профильных изданиях видно, что в сельском хозяйстве Казахстана нарушаются правила симметричного подключения однофазных потребителей, происходящие больше чем в 90% случаях [4-8, 10-18]. Если перераспределить нагрузки можно заметно сделать лучше показатели качества работ электросетей, а также провести уменьшение потерь электрической энергии и самое главное – стабилизирование напряжений.

Иногда при неслучайных нессиметриях тока и напряжения в электрических сетях часто получаются вероятностные нессиметрии [1, 19-29], которые приводят к нежеланным отключениям и подключениям пользователей электрической энергии, которые считаются недопустимыми для обычного режима работы. Во время вероятностных несимметрий уровень нагрузок фаз меняются вне зависимости от друг друга. В итоге, трехфазная регуляция напряжений, которые часто применяются в сельских электрических

сетях, не могут дать нормальное напряжение приёмниках токов без использования других мер по симметрии токов фаз, потому как эта схема означает равнозначное воздействие на все перечисленные фазы.

1.2 Потери и погрешности работы электросети, связанные с несимметрией токов

Таким образом для электроснабжения сельских объектов чаще всего используются асинхронные электродвигатели, так же рассматриваются эффекты, связанны с несимметрией токов будут отнесены к ним. В асинхронных электродвигателях, так же как и во многих электродвигателях, несимметрия токов и напряжений приводит к провалам мощности, что приводит к добавочному нагреву. В таком случае появляется противодействующий центробежная сила, которая в последствии снижает полезный момент электродвигателя [30] и рассчитывается таким образом:

$$\begin{cases} m = \frac{s}{2-s} \cdot \frac{Z_1^2}{Z_2^2} \cdot k_U^2 \\ k_U = \frac{U_2}{U_1} \end{cases}, \qquad (1.1)$$

где s – скольжение асинхронного двигателя, т.е. относительная разность скоростей вращения ротора и возникновения переменного магнитного потока статора двигателя ($s = (n1 - n)/n$), n – скорость вращения ротора,

$n1$ – синхронная скорость двигателя), $Z1$ – сопротивление прямой последовательности, $Z2$ – сопротивления обратно пропорциональной последовательности,

$U1$, $U2$ – напряжения, kU – коэффициент несимметрии напряжений.

Так как для нормального режима работы индукционного электрического двигателя ($Z2 \approx 0{,}16 \cdot Z1$, $s = 0{,}05$), так же для пускового режима ($Z2 = Z1$, $s = 1$) снижения центробежной силы равно квадрату нагрузки (рисунок 1.2):

$$\begin{cases} m_{\text{н}} = \frac{0{,}05}{2-0{,}05} \cdot \left(\frac{1}{0{,}16}\right)^2 \cdot k_U^2 \approx k_U^2 \\ m_{\text{п}} = \frac{1}{2-1} \cdot \left(\frac{1}{1}\right)^2 \cdot k_U^2 = k_U^2 \end{cases}. \qquad (1.2)$$

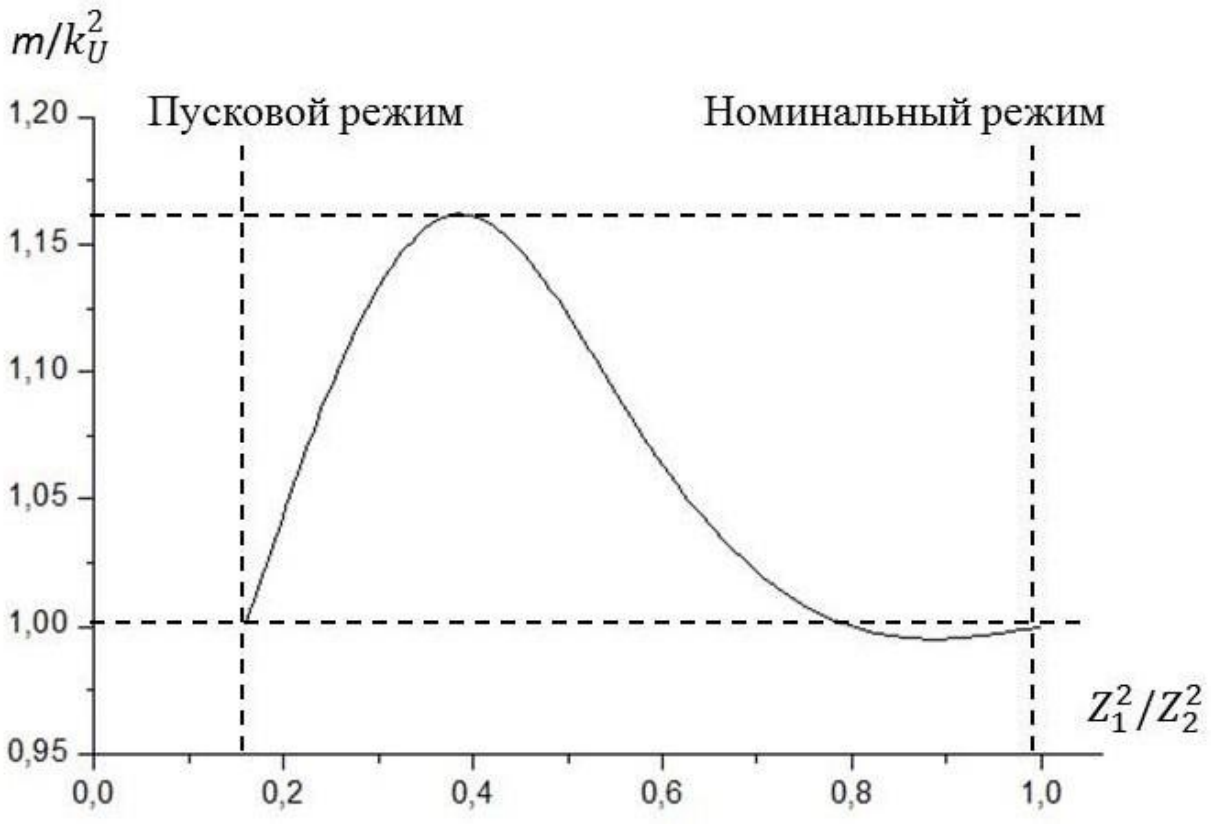

Рисунок 1.2 – Соотношение вращающего момента и квадрату нагрузки в зависимости от соотношения прямой и обратной последовательности для пускового и номинального режимов работы электродвигателя

В асинхронных электродвигателях при малейшем напряжении обратной последовательности, появляется большие токи ток, что приводит к тому, что сопротивление обратной последовательности в 5 – 7 раз меньше сопротивления прямой последовательности. Обратный ток приводит к дополнительному нагреванию статора электродвигателя и ротора, сильно снижает мощность электрического двигателя и эксплуатационный срок [30, 31]. Тем самым по статистике более 20% асинхронных двигателей становятся непригодными по причине несимметрии токов. Допустимым уровнем несимметрии по силе тока и напряжения считается несимметрия в 2%. Для поддержания срока службы машины при несимметрии больше 2% рекомендуется снизить мощность на валу двигателя либо увеличить его номинальную мощность.

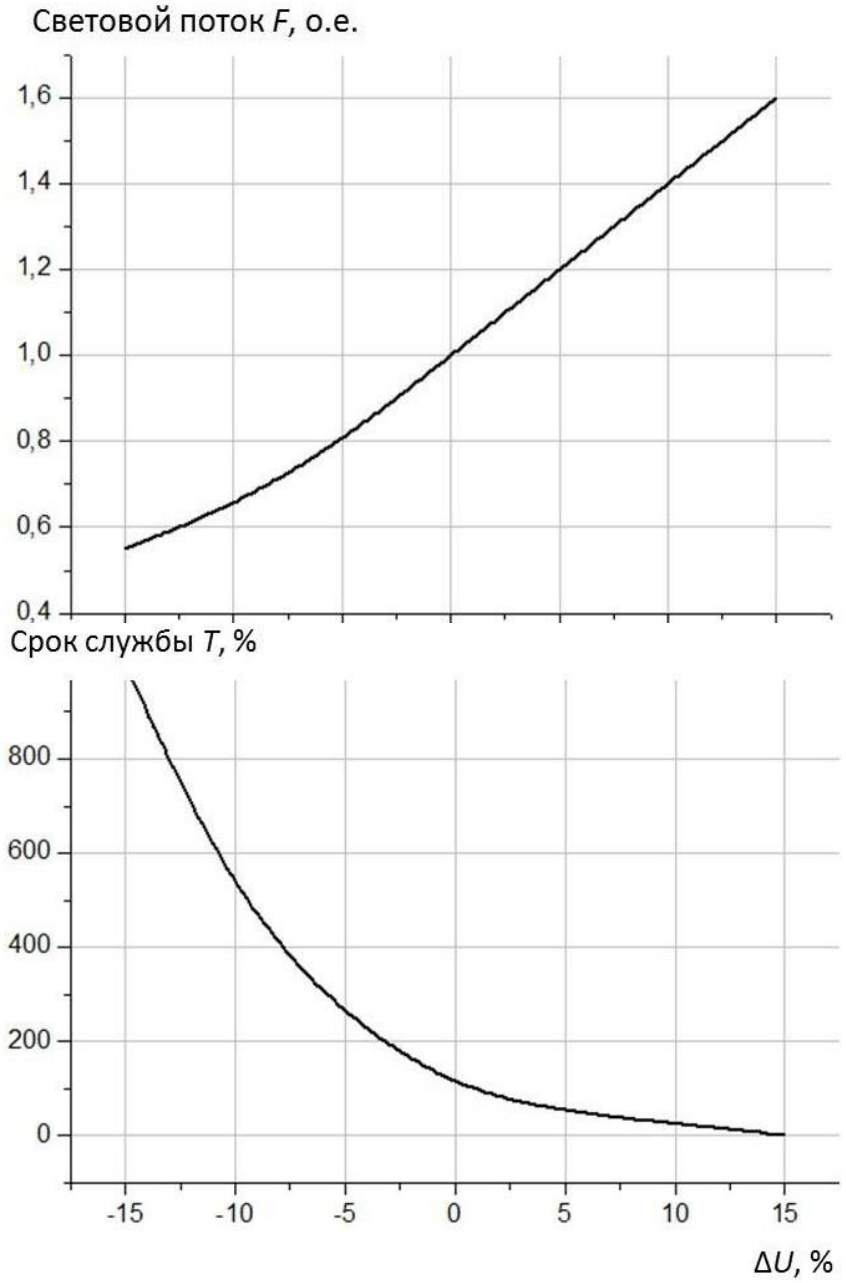

Рисунок 1.3 – Зависимость светового потока и срока службы лампы накаливания от отклонения напряжения от номинального значения

Влияние несимметрии напряжений на потребителей электроэнергии можно показать на примере использования ламп накаливания (рисунок 1.3)

Относительно небольшие отклонения напряжения от номинального значения Uн могут быть описаны при помощи следующей системы уравнений [14]:

$$\begin{cases} \frac{F}{F_{\text{Н}}} \approx \left(\frac{U}{U_{\text{Н}}}\right)^{3,6} \\ \frac{P}{P_{\text{Н}}} \approx \left(\frac{U}{U_{\text{Н}}}\right)^{1,6} \\ \frac{\eta}{\eta} \approx \left(\frac{U}{U_{\text{Н}}}\right)^{2} \\ \frac{\text{T}}{\text{T}_{\text{Н}}} \approx \left(\frac{U}{U_{\text{Н}}}\right)^{-14} \end{cases}, \qquad (1.3)$$

где F и FН – действующее и нормированное значения светового потока,

P и PН – действующее и нормированное показания мощности, η и ηН – действующее и нормированное значения светоотдачи,

T и TН – действующее и нормированное значения эксплуатационного срока лампы.

Следовательно, даже в этих рамках, параметры режима работы электрического прибора меняются в большом значении, а эксплуатационный срок может быть существенно снижен. В данном случае нужно обратить внимание, несмотря на то, что лампа накаливания на сельхоз объектах часто используют люминесцентные лампы, эксплуатационный срок который сокращается на 20-30% при увеличении напряжения на 10% и газоразрядные лампы, работа которых при снижении напряжения на 20% и далее неприспособленны. Несимметрия в системе электрической сети также негативно влияет на работу релейной защиты, уменьшается сопротивляемость систем автоматизации, выводит из строя электрические приборы и приведит к значительным ошибкам при расчете электрической энергии.

А так же можно подчеркнуть то, что несимметрия токов в линиях электропередачи, распределительных сетях и трансформаторах значительно снижает пропускную способность системы. При несимметричном распределении нагрузки одна из фаз работает с перегрузкой в ΔI, а другие с недостатком нагрузки. Увеличение потерь энергии можно описать формулой:

$$\Delta W = I2r + (I + \Delta I)2r + (I - \Delta I)2r = 3I2r + 2\Delta I2r\ , \qquad (1.4)$$

где r – активное сопротивление фазы линии. На рисунок 1.4 показан рост потерь, которые связаны с несимметрией токов

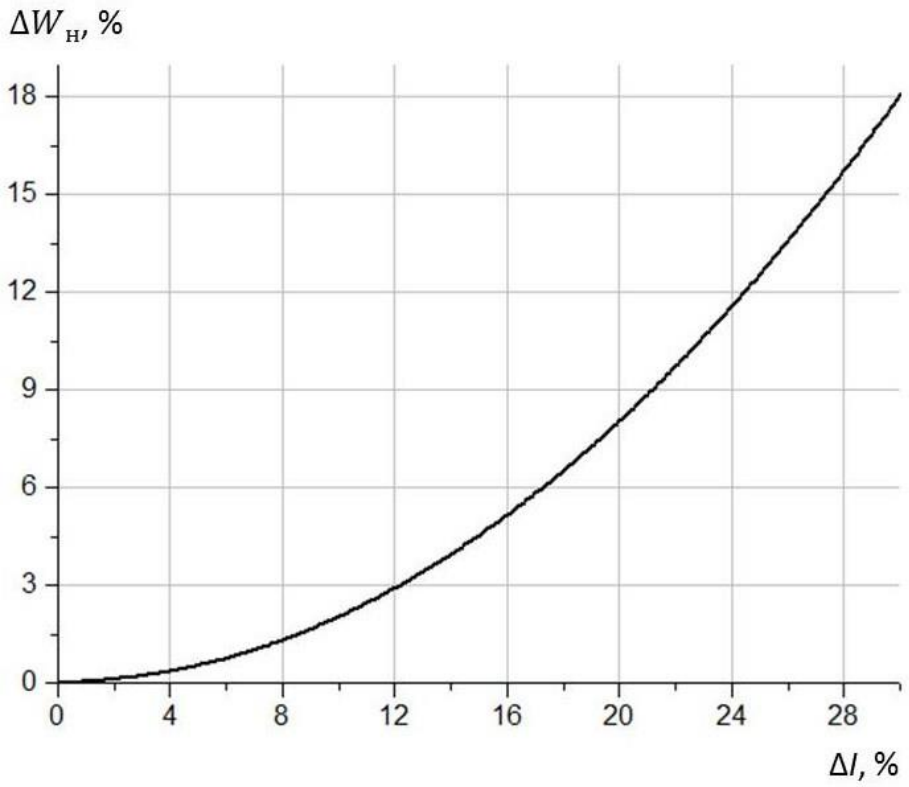

Рисунок 1.4 – Рост потерь энергии в линии электропередачи, которые связаны с несимметрией токов

Характерным признаком несимметрии нагрузки является повышенный шум у трансформаторов. Магнитные потоки, которые создаются токами нулевой последовательности, замыкаются через ферромагнитные части трансформатора, разогревают их, вследствие чего ухудшается режим охлаждение активной части и трансформатор при загрузке ниже номинальной может оказаться перегруженным, вплоть до выхода его из строя. Для снижения потерь напряжения и энергии в электросети приходится повышать номинальную мощность трансформатора.

Потери мощности в сети, связанные с несимметрией токов, выражаются через коэффициент увеличения потерь мощности:

$$\text{КР} = \frac{\Delta \text{P}_\text{Н}}{\Delta \text{P}_\text{С}}, \tag{1.5}$$

где ΔPн – потери мощности в электросети при несимметричном режиме,

ΔPс – потери мощности в электросети, обусловленные протеканием токов прямой последовательности.

Коэффициент увеличения потер мощности также можно выразить через коэффициент несимметрии токов нулевой и обратной последовательности ($K0I$ и $K2I$, соответственно), сопротивление нулевой последовательности $R0$ и сопротивление обратной последовательности $R1$:

$$\begin{cases} K_P = 1 + \frac{R_0}{R_1} K_{0I}^2 + K_{2I}^2 \\ K_{0I} = \frac{I_{01}}{I_{11}} \cdot 100\% \\ K_{2I} = \frac{I_{21}}{I_{11}} \cdot 100\% \end{cases} , \qquad (1.6)$$

где $I01$ – ток нулевой последовательности, $I11$ – ток прямой последовательности,

$I21$ – ток обратной последовательности.

В случае трехфазной четырехпроводной линии, который будет рассмотрен далее, систему уравнений (1.6) можно упростить до следующего вида:

$$K_P = 1 + K_{01}^2 \left(1 + \frac{3R_N}{R_Ф}\right) + K_{21}^2 \quad , \qquad (1.7)$$

где RN – активное сопротивление нулевого провода линии, а $RФ$– активное сопротивление фазного провода линии.

Таким образом, уменьшить потери энергии и мощности, вызванные несимметрией токов можно уменьшая величину тока, протекающего по электролинии, либо уменьшая сопротивление линии.

Важно указать, что еще большую несимметрию может вызвать подключение к электрической сети с нарушенной симметрией трехфазной конденсаторной батареи. Кроме этого, при этом изменяется общая реактивная мощность конденсаторных батарей и потери распределяется неравномерно. Нормальная эксплуатация возможна лишь при том условии, что мощность потерь в каждой фазе не превышает номинальной величины. Располагаемая мощность установки уменьшается прямо пропорционально номинальной мощности [29, 30] и определяется соотношением:

$$Q_{расп} = Q_н(1 + k_U^2) \cdot \left(\frac{U'}{U_{max}}\right)^2 \quad , \qquad (1.8)$$

где $Umax$ – напряжение самой загруженной фазы установки,

U' – рабочее напряжение конденсаторной батареи.

Располагаемая мощность такой системы может быть определена как верхний предел реактивной мощности трехфазной конденсаторной установки, которая может быть использована при несимметричном напряжении без снижения срока службы конденсаторов.

Характерно, что коэффициенты несимметрии напряжения

рассчитываются аналогично коэффициентам несимметрии токов. Коэффициент несимметрии напряжения по нулевой последовательности характеризует трехфазную систему напряжений основной частоты по отклонению от симметрии междуфазных напряжений. При этом учитывается неравенство действующих значений напряжений в фазах сети и относительный угловой сдвиг фазы между ними. Значения коэффициентов несимметрии напряжения могут быть определены следующим образом:

$$\begin{cases} K_{0U} = \frac{U_{01}}{U_{11}} \cdot 100\% \\ K_{2U} = \frac{U_{21}}{U_{11}} \cdot 100\% \end{cases}, \qquad (1.9)$$

где $U01$ – напряжение нулевой последовательности, $U11$ – напряжение прямой последовательности,

$U21$ – напряжение обратной последовательности.

Кроме того несимметрия напряжений нарушает режим работы многофазных выпрямителей. При симметричном напряжении токи одинаковы во всех выпрямителях, а при несимметричном напряжении они могут значительно отличаться. Таким образом, часть выпрямителей оказывается недогруженной и допустимая мощность выпрямителя снижается. С другой стороны, при несимметрии напряжений появляются пульсации двойной частоты выпрямленного тока с амплитудой, значение которой пропорционально коэффициенту несимметрии напряжений. Такие пульсации входят в резонанс, перегружают конденсаторы и, случается, что выводят их из строя, а также они отрицательно влияют на работу связи даже в случае применения сглаживающих фильтров.

1.3 Методики снижения несимметрии токов и напряжений электрической сети

Методики снижений несимметрии тока и напряжения в электрических сетях своей целью ставят уменьшение коэффициента несимметрии по обратно пропорциональной и 0 последовательностей до допустимых пределов [1-9, 19-29, 34]. Их можно разделить на 4 подгруппы (рисунок 1.5):

– снижение сопротивлений нулевых последовательностей;

– снижение коэффициентов нулевых последовательностей токов;

– снижение коэффициентов обратной последовательности токов;

– комбинированная методика по уменьшению тока при прямых и обратных последовательностях.

Сильное снижение несимметрий тока, используя выравнивание нагрузки фаз можно достичь переводом электросети в режиме полузамкнутых или замкнутых сетях [32]. Следовательно, в этой методике замыкается сеть,

которая питается от одного (что более предпочтительно для уменьшения несимметрии), либо нескольких распределительных трансформаторов. При большом количестве линий сетей замыкания малых напряжений получается более значимое выравнивание. Поскольку некоторое количество амплитуд и фаз тока и напряжения принято считать случайной величиной, то можно рассчитать, что математические ожидания напряжений обратных последовательностей приравниваются к 33% от максимума в замкнутых линиях. Во время замыкания электросети потеря снижается путем разрежения нулевого и фазного провода, а также увеличивается качества напряжений. Тем не менее, во время увеличения количества замыкаемых магистралей экономическая эффективность этого метода существенно уменьшается, поскольку в замкнутых сетях с несколькими распределительными трансформаторами проходят уравнивающие токи, которые создают вспомогательные потери мощностей и электроэнергий.

Чтобы снизить перекос фазового напряжения имеет смысл прибегать к технологиям, которые не выравнивают напряжения на всех фазах отдельно, а симметрирует фазы меж собой в рамках всей трехфазовой системы [34, 35].

Такие устройства потребляют меньшее количество электрической энергии, но и существенно уменьшает электрическое потребление из сети для электрических приёмников.

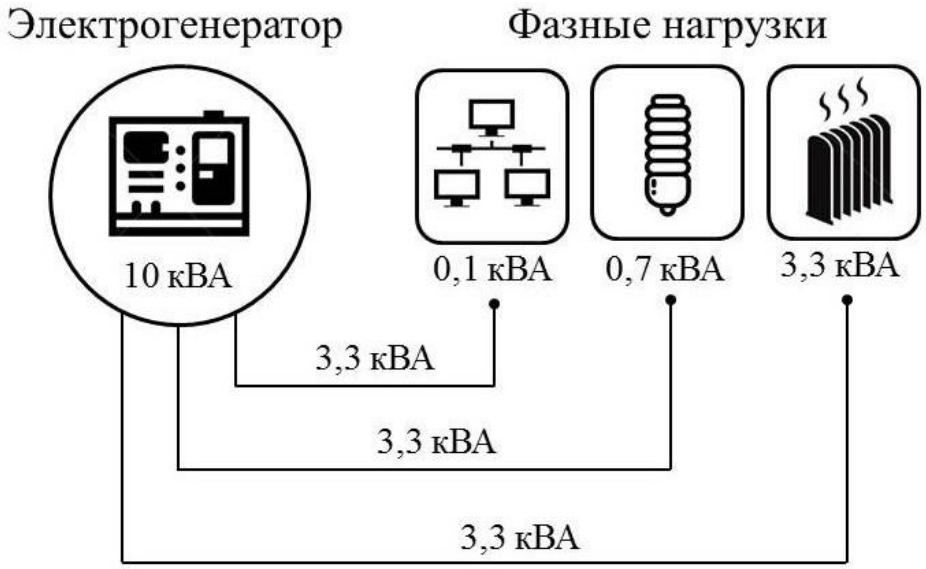

Рисунок 1.5 – Схема подключения электроприемников напрямую к электросети: максимальная нагрузка на одну фазу составляет треть суммарной мощности электрогенератора

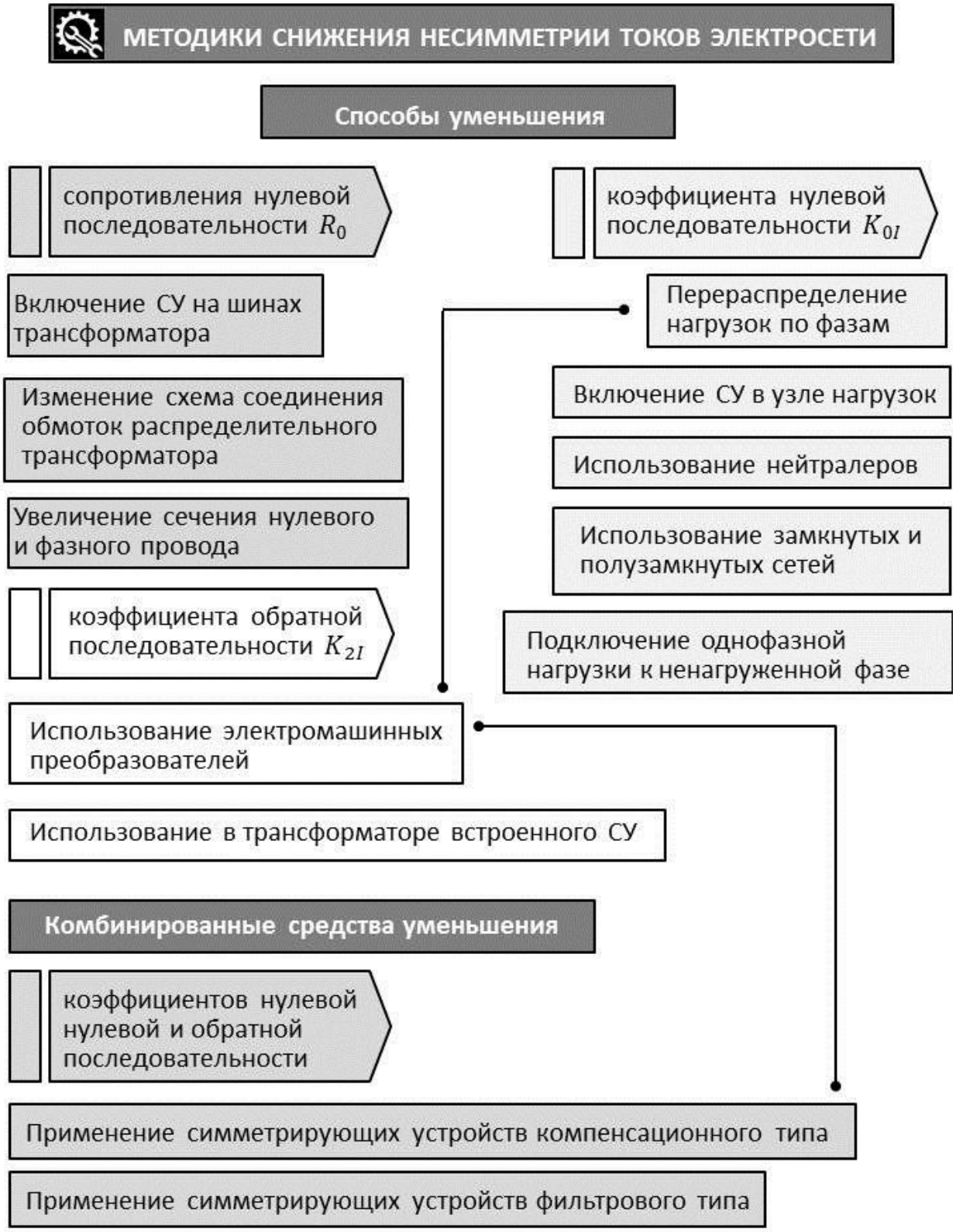

Рисунок 1.6 – Методики снижения несимметрии токов в электросети

Таким образом, при прямом подключении сильного однофазового электрического приемника случается искажение фаз (рисунок 1.6) и увеличивается шанс повреждения, но если мощь этого фазового потребителя увеличивает часть трехфазовой мощи – сбой в работе и отключение оборудования, то применение рассмотренной технологии разрешает выровнять нагрузку (рисунок 1.7 – 1.8).

К ключевым преимуществам данной технологии относятся экономичность, надежность и безопасность, а ещё:

– уменьшение уровня энергопотребления из сети;

– снижение расходов на электроэнергию для питания приемников и обеспечения необходимой величины фазных напряжений;

– использование генераторов меньшей мощности для той же группы электроприемников;

– снижение расходов на ремонт и сервисное обслуживание электроприемников, поврежденных вследствие перекоса фаз;

– обеспечение возможности подключать фазных потребителей мощностью до 50% трехфазной мощности;

– обеспечение устойчивой работы электроприемников;

– надежность устройства для симметрирования фазных нагрузок и устранения перекоса фазных напряжений в связи с отсутствием подвижных частей; защита генератора от механических повреждений и приводного двигателя вследствие перекоса фаз;

– защита от электротравматизма и возгорания, вызванных износом изоляции вследствие перекоса фаз.

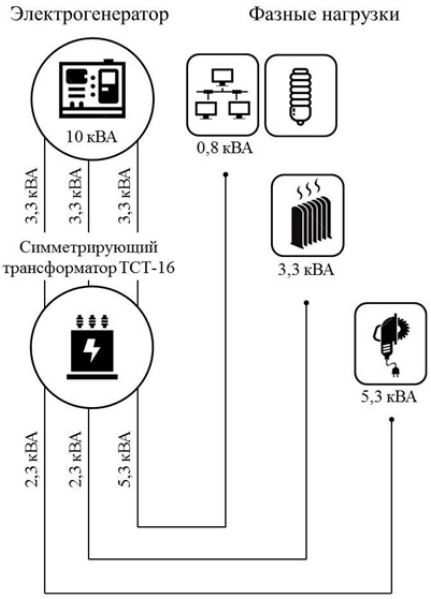

Рисунок 1.7 – Схема подключение электроприемников большой нагрузки к электрогенератору через симметрирующий трансформатор с использованием технологии симметрирования фаз между собой в рамках трехфазной систем

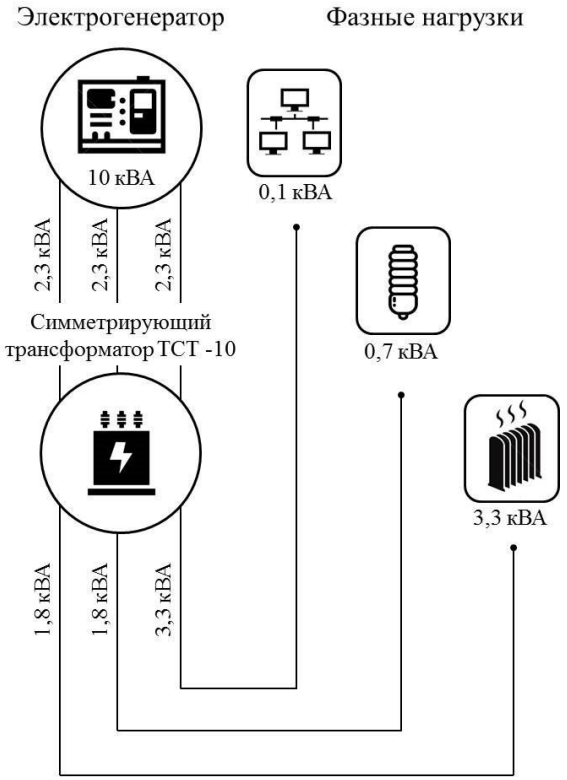

Рисунок 1.8 – Схема подключение электроприемников нагрузки к электрогенератору малой мощности через симметрирующий трансформатор с использованием технологии симметрирования фаз между собой в рамках трехфазной системы

Увеличение сечения фазного и нулевого проводов приводит к увеличению в ней токов нулевой и обратной последовательностей, что, в свою очередь, приводит к увеличению коэффициентов $K0I$ и $K0I$, см. (1.6).

Переход на следующий номинал сечения провода требует дополнительных затрат, которые составляют 5-10% от стоимости электросети.

В работах [18, 19] было предложено использовать фонарный провод, как способ увеличения сечения нулевого провода. Был рассмотрен вариант, при котором фонарный провод в дневное время подключается параллельно нулевому, и после автоматически отключается. Это является ключевым недостатком данного подхода, поскольку, как, показывают исследования, проводимые в электросетях, значительная несимметрия нагрузок проявляется именно в вечерние часы.

Метод изменения схемы соединения обмоток трансформатора [1418] реализуется заменой в сельских сетях трансформаторов со схемой соединения обмоток «звезда-звезда с нулем» на трансформатор со схемой соединения «звезда-зигзаг с нулем». Схема соединения обмоток трансформатора «звезда-звезда с нулем» является распространенной в связи с тем, что имеет более простое конструктивное исполнение, меньшие размеры и меньшую стоимость, однако эти трансформаторы имеют большое сопротивление токам нулевой последовательности, что обусловлено тем, что магнитное поле,

создаваемое токами нулевой последовательности имеет сложную конфигурацию и замыкается как в пределах магнитопровода, так и через бак трансформатора. Статистический анализ и расчеты [14, 16] показывают, что потеря напряжения при несимметричном режиме может доходить до 25-20% в сравнении к 4-5% в симметричном режиме, а каждому значению несимметрии напряжении соответствует 1,7% дополнительного отклонения напряжения. Поэтому часто такие трансформаторы выбираются с завышенным значением мощности на 2-3 ступени.

Результаты теоретического моделирования и практических замеров показывают, что в сельских электросетях с исходным уровнем несимметрии нагрузок невозможно обеспечить снижение потерь энергии заменой трансформаторов в связи со следующими причинами:

– применение в сетях трансформаторов с малым сопротивлением нулевой последовательности приводит к увеличению в линии и трансформаторе токов нулевой и обратной последовательностей, что увеличивает коэффициент увеличения потерь мощности KP, аналогично тому, как это происходит в компенсационном способе;

– эквивалентное сопротивление нулевой последовательности сети с трансформаторами, имеющими малое сопротивление $Z0$, определяются в большей степени сопротивлением линии, которое значительно выше сопротивления таких трансформаторов;

– в связи с увеличением токов обратной последовательности в сети с трансформаторами с малым сопротивлением $Z0$, в узлах нагрузки возрастает напряжение обратной последовательности, что отрицательно влияет на работу трехфазных асинхронных электродвигателей.

Тем не менее, трансформаторы с малым сопротивлением нулевой последовательности со схемой «звезда-зигзаг с нулем» позволяют существенно снизить в узлах нагрузки напряжение нулевой последовательности. Таким образом, их применение может быть целесообразно в сельских сетях с коммунально-бытовой нагрузкой.

Перераспределение нагрузок по фазам обслуживающим персоналом на всех элементах системы электроснабжения позволяет своевременно воздействовать на работу системы и существенно повысить ее технико-экономические показатели. Перераспределение нагрузок производится по результатам контрольных замеров распределения нагрузки в электросети. Исследования показывают, что такой метод позволяет снизить потери электроэнергии на 15…20%, а также улучшает показатели качества стабилизации напряжения, уменьшает коэффициент несимметрии по обратной и нулевой последовательностям напряжения.

Автоматическое подключение однофазной нагрузки к наименее загруженной фазе осуществляется путем применения симметрирующих устройств (СУ) [37-40], что позволяет добиться равномерного распределения по фазам однофазных нагрузок сети и приводит к уменьшению тока нулевой последовательности, а, соответственно, и дополнительных потерь в

электросети. В сельских сетях сложность может состоять в подборе однофазной автоматически переключаемой нагрузки соответствующей мощности. Важно помнить, что при использовании СУ происходит снижение надежности электроснабжения однофазной переключаемой нагрузки.

Использование этого метода наиболее эффективно для повышения качества параметров электроснабжения, поскольку приводит к минимизации коэффициентов нулевой и обратной последовательностей напряжения. С другой стороны, для уменьшения потерь электрической энергии, обусловленных несимметрией токов, этот способ не приемлем, так как использование такого трансформатора с СУ приводит к росту коэффициента увеличения потерь мощности KP.

Использование нейтралера представляет собой подключение к электросети трехфазного электромагнитного аппарата с обмоткой, выполненной по схеме встречного зигзага для создания искусственной нулевой точки [14-16]. Снижение несимметрии фазных напряжений может быть достигнуто уменьшением длины нулевого провода путём перемещения нейтрали к однофазным электроприёмникам. Электросеть выполняется трёхпроводной с линейным напряжением эквивалентным номинальному напряжению трёхфазных электроприёмников, а от нейтралера до электроприёмника – четырёхпроводной. В этом случае напряжение смещения нейтрали будет минимально, так как протяжённость нулевого провода мала. Точка включения нейтралера выбирается так, чтобы сопротивление нулевой последовательности было меньше заданного значения. В результате использования нейтралера существенно снижается неравномерность распределения токов по фазам, что приводит к ослаблению несимметрии напряжения и уменьшению его потерь в наиболее загруженной фазе, а значит к повышению пропускной способности линии. Кроме того, при установке нейтралера увеличиваются токи однофазного короткого замыкания, что повышает надёжность защиты низковольтной сети. Тем не менее, нейтралер на сегодняшний день считается устаревшим техническим решением, поскольку его применение ограничивается трансформаторами мощностью до 40 кВА.

С целью симметрирования электросети также применяются электромашинные преобразователи числа фаз, где передача и преобразование энергии осуществляется по схеме «трехфазная сеть трехфазный электродвигатель однофазный генератор однофазная нагрузка». Однофазная нагрузка не связана с трехфазной питающей сетью и эффекты несимметричного распределения нагрузки не оказывают влияния на электросеть. Основными проблемами данной методики является высокая стоимость оборудования и большие потери энергии, что нивелирует положительный эффект [28].

Использование симметрирующих устройств включает в себя применение СУ, которые воздействуют только на токи обратной последовательности и снижают коэффициент несимметрии токов обратной

последовательности *K*2*I*, см. (1.6). Принцип работы основан на том, что пульсирующие индуктивно-емкостные элементы совпадают по фазе и компенсируют пульсирующую мощность однофазной нагрузки [37-40].

Применение комбинированных симметрирующих устройств позволяет компенсировать токи обратной и нулевой последовательностей [38-40].

Симметрирующие устройства этого типа могут снижать токи обратной и нулевой последовательностей сети. Недостатком данного типа устройств является невозможность регулирования мощности, что в свою очередь снижает качество симметрирования либо вынуждает использовать дополнительные устройства, что увеличивает сложность, размер и себестоимость схемы. Анализ показывает, что для наиболее эффективного снижения дополнительных потерь мощности и повышения качества электрической энергии, обусловленных несимметрией токов в электросети наиболее целесообразно использовать шунто-симметрирующие устройства с малым сопротивлением токам нулевой последовательности.

2 Расчет показателей несимметричных электрических сетей

Для устранения несимметрии токов, обусловленной неравномерно и случайно распределённой однофазной нагрузкой, которая является одной из главных причин низкой эффективности использования электрической энергии в пригородных распределительных сетях, нужно провести математическое моделирование процессов, возникающих в электрических сетях и на основе результатов моделирования выбрать оптимальный метод, который позволить уменьшить негативное влияние несимметрии трехфазной сети.

В условиях эксплуатации электросетей определение показателей несимметрии токов и напряжений имеет смысл проводить по результатам измерений модулей токов и напряжений, используя в дальнейших расчетах модульный метод [41-42].

2.1 Расчет показателей несимметрии для токов и напряжений электрической сети

Для проведения расчётов необходимо амперметрами измерить пять фазных токов IA , IB , IC , IN , IBC , включив их через измерительные трансформаторы тока, причем измерение тока IBC должно быть проведено двумя амперметрами, включенными через измерительные преобразователи тока в фазах В и С. На основе этих данных в результате преобразований получены выражения для симметричных составляющих токов [41]:

$$\begin{cases} \overline{I_0} = \frac{d-je}{3} \\ \overline{I_1} = \frac{3\cdot I_A^2 - I_A(d+\sqrt{3}\cdot e) + 2\sqrt{3}\cdot g + j(\sqrt{3}\cdot I_A^2 - I_A(\sqrt{3}\cdot d - e) - 2\sqrt{3}\cdot h)}{6\cdot I_A} \\ \overline{I_2} = \frac{(3\cdot I_A^2 - I_A(\sqrt{3}\cdot e - d) - 2\sqrt{3}\cdot g) - j(\sqrt{3}\cdot I_A^2 - I_A(\sqrt{3}\cdot d + e) - 2\sqrt{3}\cdot h)}{6\cdot I_A} \end{cases}, \quad (2.1)$$

где коэффициенты $b1$, $b2$, c1, $c2$ определяются следующим образом.

$$\begin{cases} b_1 = \frac{I_A^2 + I_{BC}^2 - I_N^2}{2\cdot I_{BC}} \\ b_2 = \frac{I_B^2 + I_{BC}^2 - I_C^2}{2\cdot I_{BC}} \end{cases}, \quad (2.2)$$

$$\begin{cases} c_1 = \sqrt{I_A^2 - b_1^2} \\ c_2 = \sqrt{I_B^2 - b_2^2} \end{cases}. \quad (2.3)$$

А уже на их основе, в свою очередь, в соответствии с модульным методом рассчитываются коэффициенты d, e, g, h:

$$d = \frac{I_A^2 - I_{BC}^2 - I_N^2}{2 \cdot I_A}, \tag{2.4}$$

$$e = \sqrt{I_N^2 - d^2}, \tag{2.5}$$

$$g = c_1(b_1 + b_2), \tag{2.6}$$

$$h = b_1 b_2 - c_1 c_2, \tag{2.7}$$

Используя формулу (2.1) можно определить коэффициенты обратной и нулевой последовательностей токов:

$$\begin{cases} \overline{K_{2I}} = \frac{\overline{I_2}}{\overline{I_1}} \\ \overline{K_{0I}} = \frac{\overline{I_0}}{\overline{I_1}} \end{cases}. \tag{2.8}$$

Подобным образом рассчитываются коэффициенты несимметрии напряжений по обратной и нулевой последовательности. Первым этапом расчета является вычисление симметричных составляющих прямой, обратной и нулевой последовательности напряжения:

$$\begin{cases} \overline{U_0} = \frac{U_A + p + q - j \cdot (s - r)}{3} \\ \overline{U_1} = \frac{\left(2 \cdot U_A + \sqrt{3} \cdot (s + r) - (p + q)\right) + j\left((s - r) + \sqrt{3} \cdot (p - q)\right)}{6} \\ \overline{U_2} = \frac{\left(2 \cdot U_A - \sqrt{3} \cdot (s + r) - (p + q)\right) + j\left((s - r) - \sqrt{3} \cdot (p - q)\right)}{6} \end{cases}, \tag{2.9}$$

где коэффициенты p и q определяются как:

$$p = \frac{U_A^2 + U_B^2 - U_{AB}^2}{2 \cdot U_A}, \tag{2.10}$$

$$q = \frac{U_A^2 + U_C^2 - U_{CA}^2}{2 \cdot U_A}, \tag{2.11}$$

И используются для вычисления коэффициентов s и r:

$$s = \sqrt{U_B^2 - p^2}, \tag{2.12}$$

$$r = \sqrt{U_C^2 - g^2}. \tag{2.13}$$

C

На основе (2.9) рассчитываются коэффициенты обратной и нулевой последовательностей напряжений:

$$\begin{cases} \overline{K_{2U}} = \frac{\overline{U_2}}{\overline{U_1}} \\ \overline{K_{0U}} = \frac{\overline{U_0}}{\overline{U_1}} \end{cases}. \tag{2.14}$$

Расчёт по формуле (2.8) позволяет также вычислить коэффициент потерь мощности KP:

$$K_P = 1 + K_{2I}^2 + 4 \cdot K_{0I}^2. \tag{2.15}$$

Формулы (2.1-2.15), рассмотренные выше, позволяют вычислить показатели несимметрии токов и напряжений, а также коэффициент потерь мощности, которые обусловлены несимметрией токов в электросети с распределенной нагрузкой и симметрирующим устройством. Исходными данными для расчета показателей несимметрии токов и напряжений служат измеренные величины токов и напряжений, которые используются в модульном методе расчёта и представлены в таблицах 2.1-2.2. Алгоритм математического моделирования показан на блок-схемах рисунков 2.1-2.6-2.8.

Общее представление об алгоритме расчета показателей несимметрии электросети дает рисунок 2.1. Схема, представленная на рисунке, состоит из пяти основных блоков: (1) проведение серии измерений фазных токов и напряжений; (2) усреднение данных измерений; (3) промежуточные расчеты, (4) вычисление симметричных составляющих токов и напряжений; (5) определение коэффициентов обратной и нулевой последовательностей.

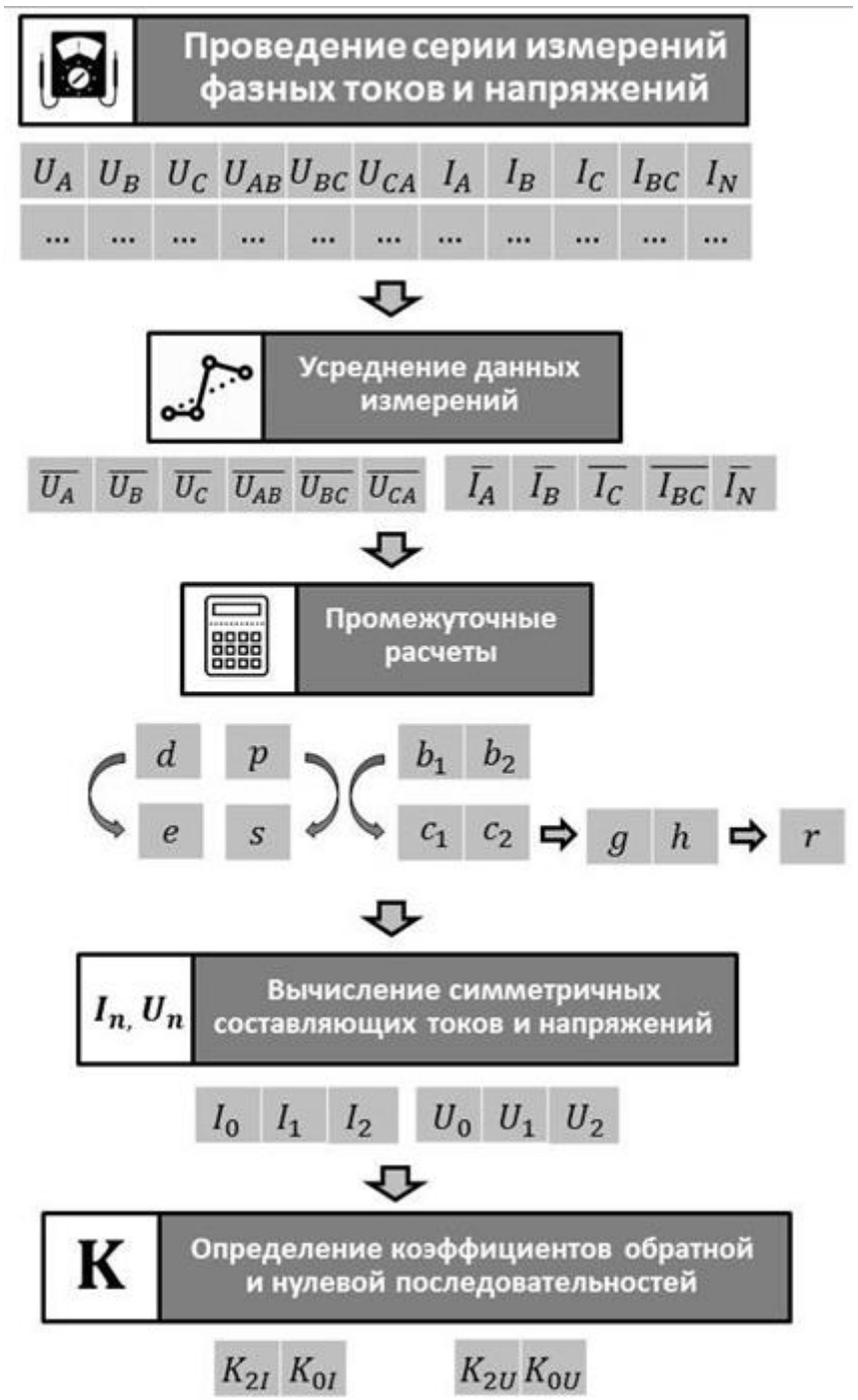

Рисунок 2.1 – Блок-схема расчета показателей несимметрии электросети

Исходными данными расчета являются результаты измерений, при этом в ходе эксперимента фиксируется время измерений, включая интервал между измерениями (подразумевается, что данный показатель является фиксированным). Первый блок данных составляют напряжения: UA, UB, UC и UAB, UBC, UCA [29], представленные в таблице 2.1 а также на графиках (рисунок 2.2 и 2.3).

Таблица 2.1 – Фазные напряжения электросети

UA	UB	UC	UAB	UBC	UCA
236	236	231	413	404	408
234	238	229	414	402	403
230	240	231	413	409	403
234	237	231	411	399	403
238	235	232	408	400	406
233	236	232	411	405	408
232	235	231	409	401	403
238	233	227	411	396	403
237	233	228	413	398	405
247	235	229	417	403	402
239	235	228	415	398	401
236	238	234	413	411	402
235	241	233	418	409	405
233	239	232	414	408	404
236	236	232	412	408	403
233	234	227	409	398	401
238	242	233	420	407	410
236	239	231	417	403	409
238	237	236	415	410	412
238	239	235	417	412	413
239	235	238	411	410	414
240	241	237	419	412	413
235	243	239	420	415	411
233	242	234	414	412	405
234	244	235	418	410	402
231	232	233	418	406	408
231	239	229	416	404	407
236	243	224	421	414	409
239	241	238	417	415	413

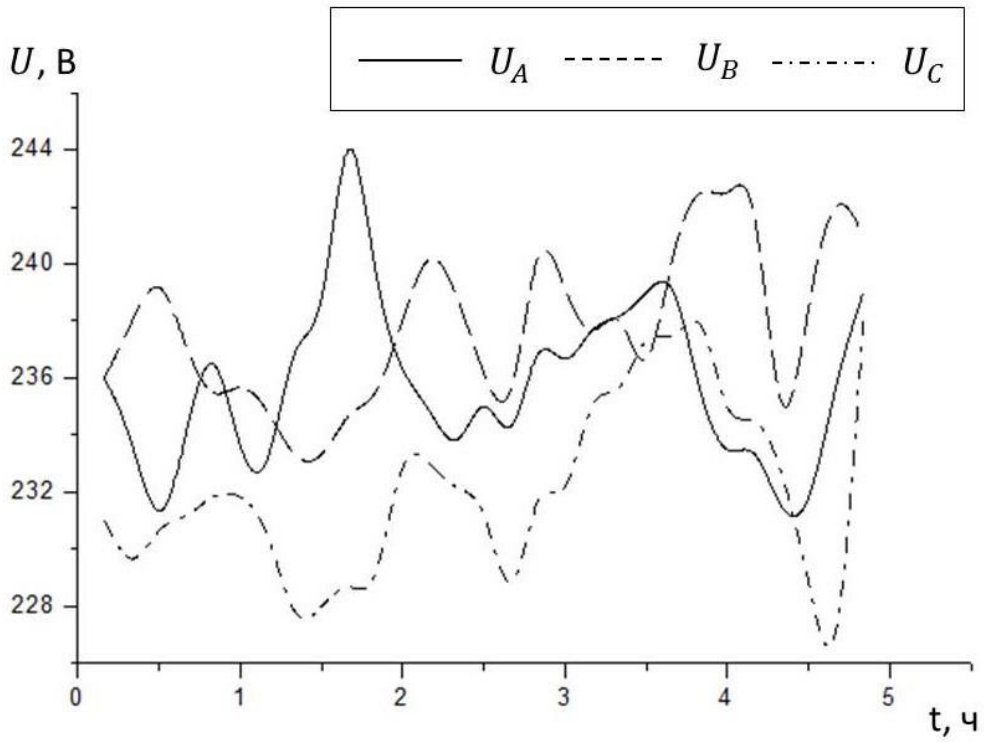

Рисунок 2.2 – Колебания напряжений UA, UB и UC в зависимости от времени

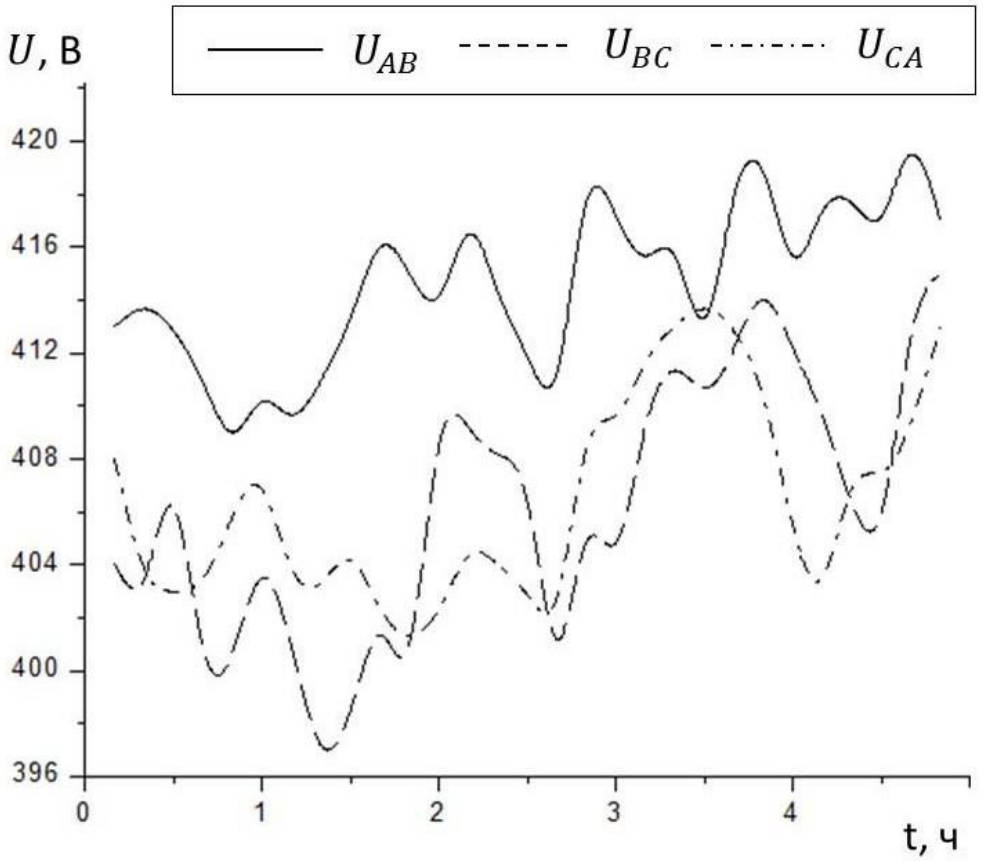

Рисунок 2.3 – Колебания напряжений UAB, UBC и UCA в зависимости от времени

Текущий блок данных составляют токи: IA, IB, IC , IN, IBC, представленные в таблице 2.2 а также на графиках (рисунок 2.4 и 2.5):

Таблица 2.2 – Фазные токи электросети

$\boldsymbol{IA}$	$\boldsymbol{IB}$	$\boldsymbol{IC}$	$\boldsymbol{IN}$	$\boldsymbol{IBC}$
96	20	98	68	90
75	20	91	54	87
72	20	88	51	82
75	21	89	49	81
81	25	87	50	83
81	30	93	50	88
78	25	102	60	92
72	21	100	60	95
76	21	94	58	92
80	21	97	56	91
74	30	95	47	89
78	22	100	61	96
79	22	97	57	93
74	22	94	55	89
81	21	100	59	96
81	22	102	60	99
72	24	110	69	102
78	24	103	67	98
81	23	103	66	96
81	22	98	64	93
91	27	95	58	91
92	37	98	52	89
92	26	103	62	98
76	34	100	62	101
96	20	98	68	90
75	20	91	54	87
72	20	88	51	82
75	21	89	49	81
81	25	87	50	83

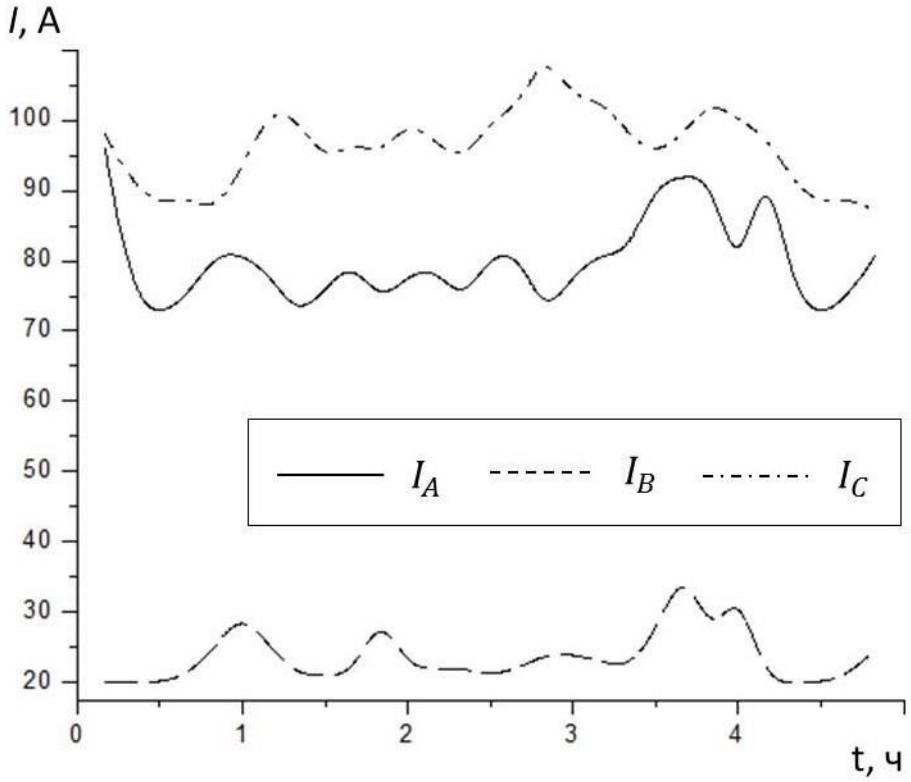

Рисунок 2.4 – Колебания токов IA, IB, IC в зависимости от времени

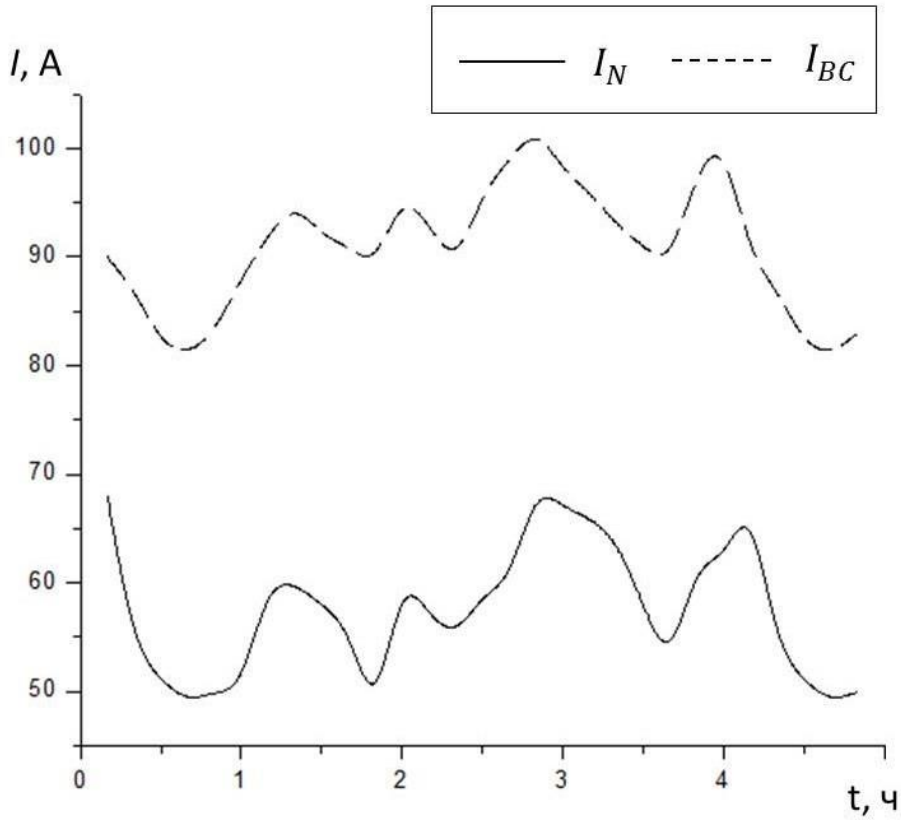

Рисунок 2.5 – Колебания токов IN, IBC в зависимости от времен

2.2 Усреднение полученных экспериментальных данных

Следующий этап включает в себя усреднение полученных экспериментальных данных и их использование при расчете коэффициентов $b1$, $b2$, c1, $c2$, d, e, g, h, p, q, s и r (рисунок 2.6), которые в дальнейшем могут быть использованы для вычисления коэффициентов обратной и нулевой последовательностей токов и напряжений, а также коэффициента потерь мощности.

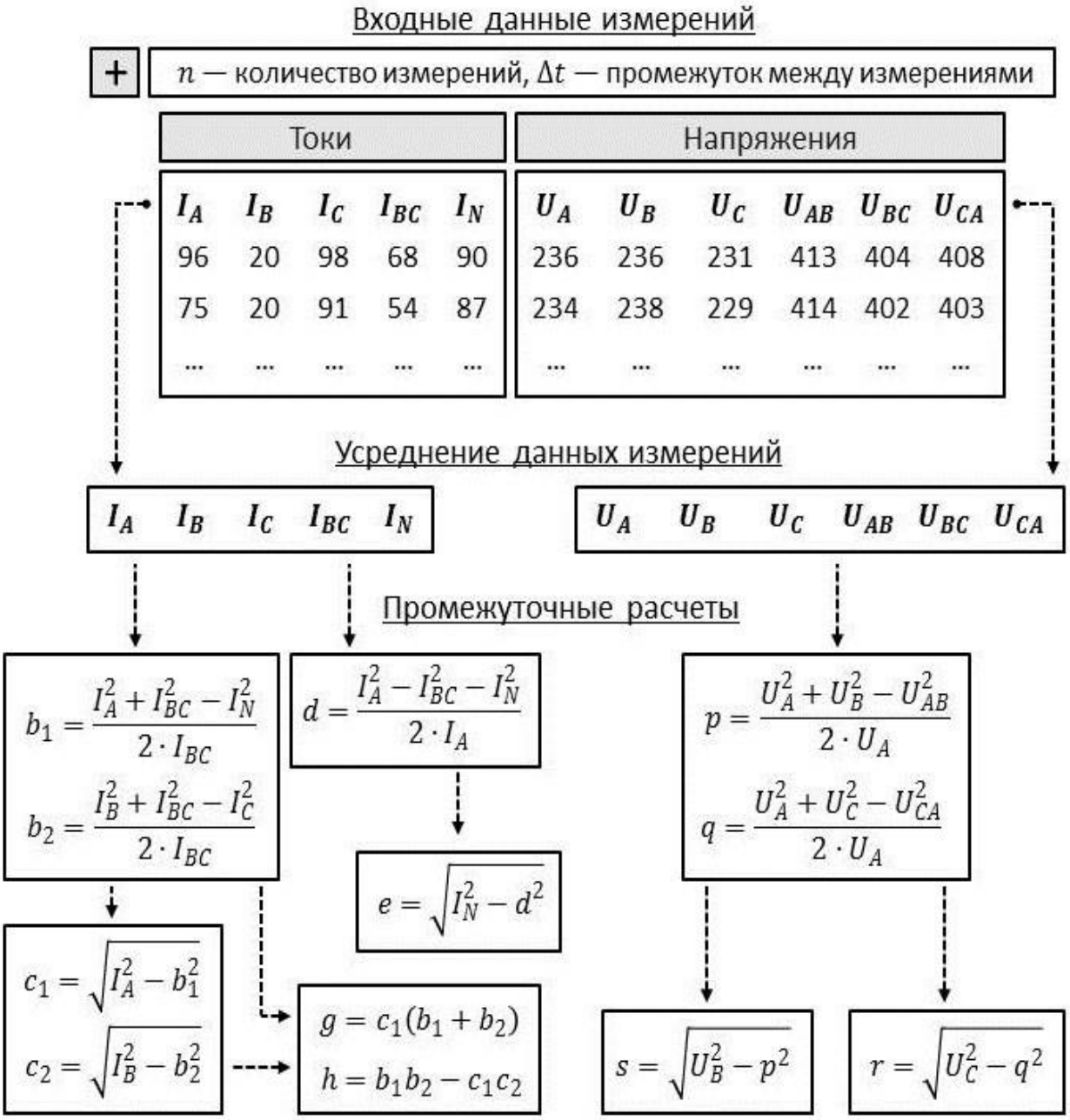

Рисунок 2.6 – Блок-схема проведения усреднения данных измерений и промежуточных расчетов

Как показано на рисунке 2.6, на основе усредненных значений токов IA, IB, IC , IN, IBC , программный комплекс рассчитывает коэффициенты $b1$, $b2$, c1, $c2$, на основе которых, в свою очередь вычисляются значения коэффициентов d, e, g, h. Аналогично проводится операция для усредненных значений фазных напряжений UA, UB, UC и UAB, UBC, UCA. На их основе рассчитываются значения p и q, с помощью которых вычисляются коэффициенты s и r.

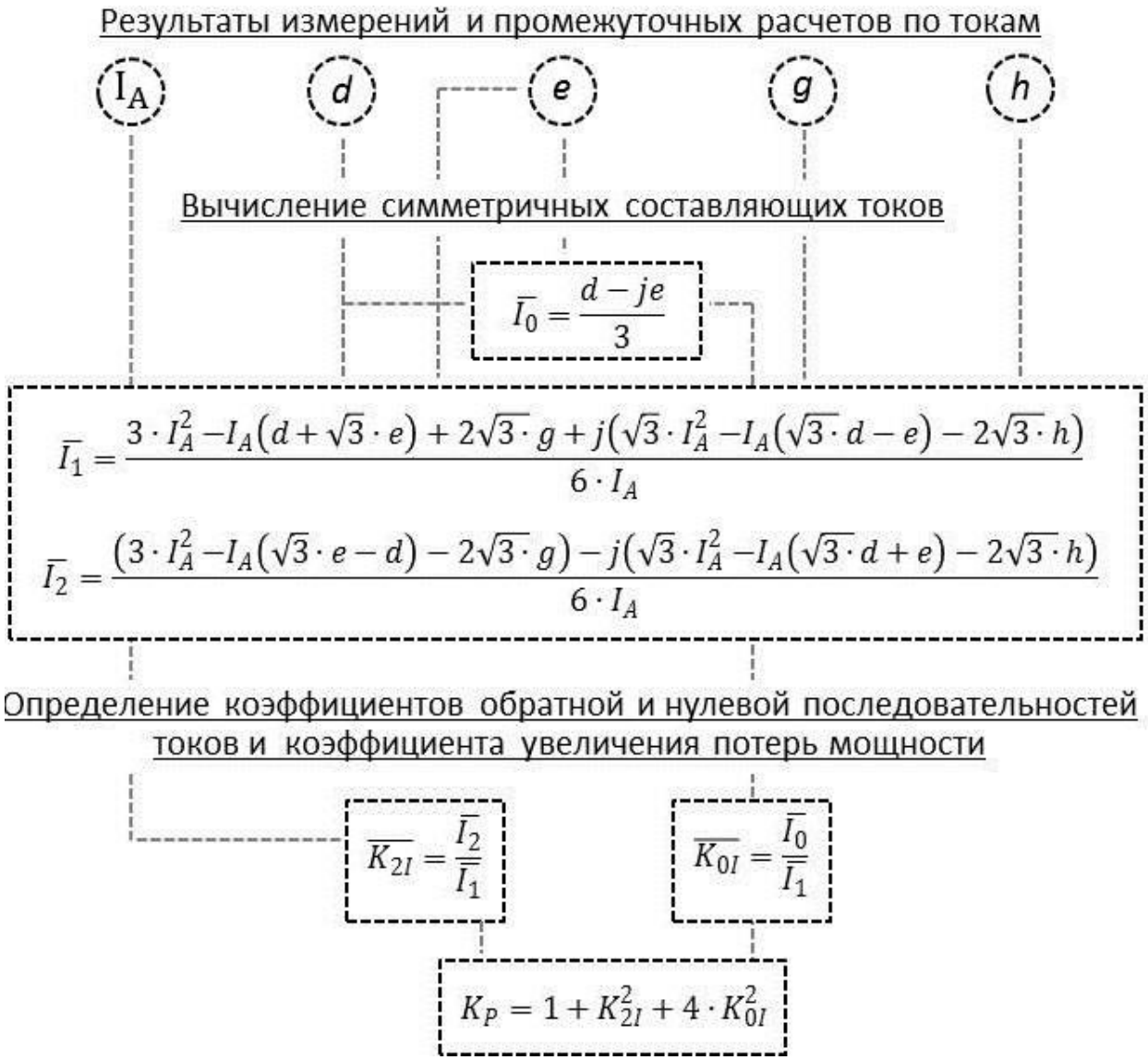

Рисунок 2.7 – Блок-схема определение коэффициентов обратной и нулевой последовательностей токов и коэффициента увеличения потерь мощности

Последние этапы алгоритма отвечают за определение коэффициентов обратной и нулевой последовательностей токов, коэффициента увеличения потерь мощности (рисунок 2.6) и коэффициентов обратной и нулевой последовательностей напряжений (рисунок 2.7).

Рисунок 2.8 – Блок-схема определение коэффициентов обратной и нулевой последовательностей напряжений

Вычисление коэффициентов обратной и нулевой последовательностей токов (рисунок 2.9) производится на основе значений симметричных составляющих токов, которые, в свою очередь, рассчитываются на основе усредненного значения IA и коэффициентов d, e, g, h. Коэффициенты обратной и нулевой последовательностей напряжений (рисунок 2.10) рассчитываются на основе значений симметричных составляющих напряжений, которые вычисляются с использованием значения UA и коэффициентов $p, q,$
s, r.

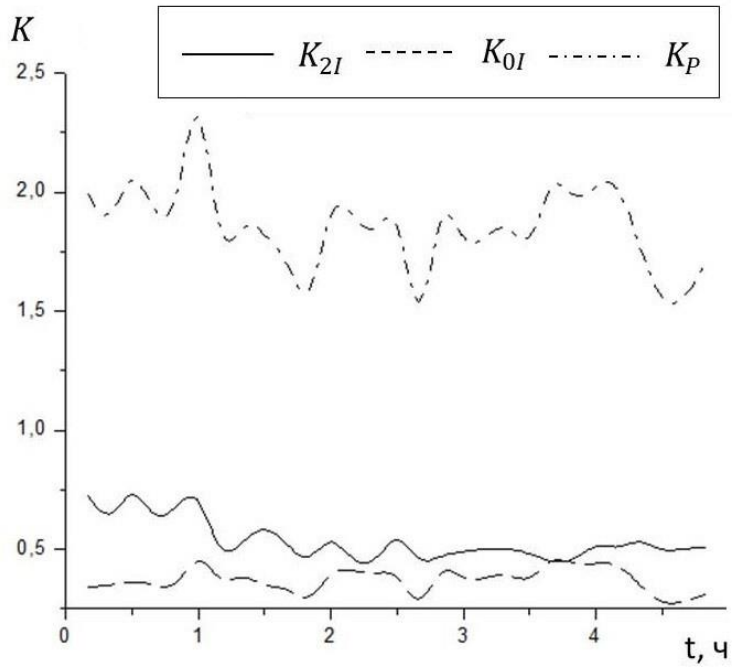

Рисунок 2.9 – Колебания коэффициентов обратной и нулевой последовательностей токов и коэффициента увеличения потерь мощности

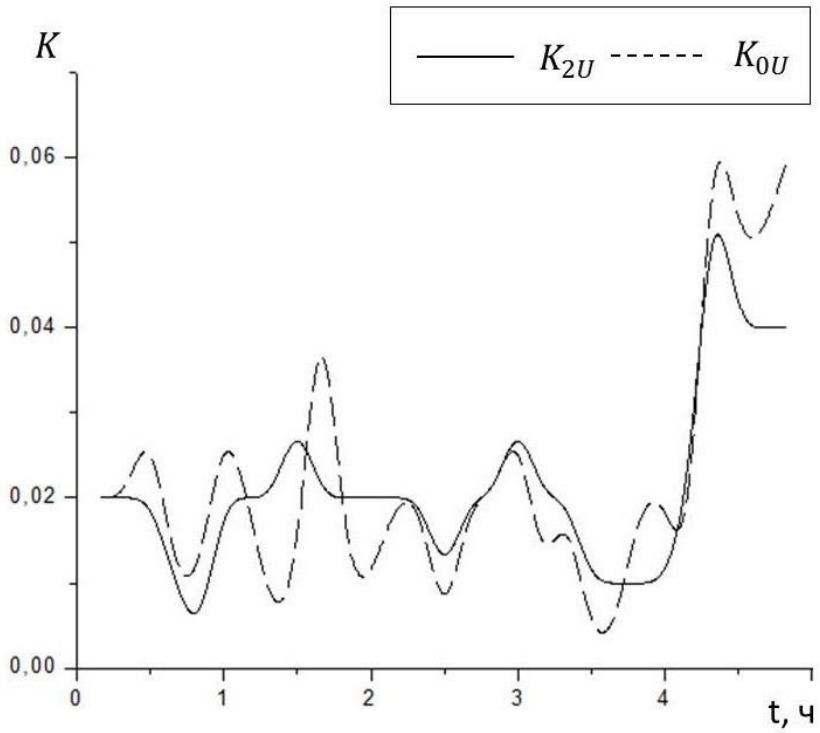

Рисунок 2.10 – Колебания коэффициентов обратной и нулевой последовательностей напряжений в зависимости от времени

При расчете коэффициента увеличения потерь мощности используются уже полученные значения коэффициентов обратной и нулевой последовательностей токов.

Предлагаемый метод устранения несимметриии:

– Он должен обеспечивать защиту чувствительных нагрузок во время всех типов несимметричных неисправностей, будь то вблизи или вдали от точки / места неисправности.

– Схема управления должна основываться на текущем алгоритме регулирования, чтобы избежать проблем производительности при работе с большим количеством нелинейных нагрузок для промышленного использования.

Предложенная топология должна быть экономичной, с мгновенным откликом, чтобы обеспечить высокие возможности регулирования и кондиционирования мощности и сделать ее осуществимой для всех чувствительных нагрузок.

3 Разработка анлизатора несимметрии

3.1. Принцип работы прибора

Простая схема предложенного метода асимметричной коррекции ошибок показана на рисунке 2. Однако на рисунке 3 показана полная схема предлагаемого метода. В схеме, показанной на рисунке 3, типовой инвертор источника напряжения с регулируемым током подключен параллельно к электросети, питающей чувствительную нагрузку. Предлагаемая система также оснащена изолирующим тиристорным блоком (или контакторами). Во время нормальной работы чувствительная нагрузка получает питание от сети / источника питания, и токи нагрузки контролируются на всем протяжении.

Между тем, конденсатор звена постоянного тока заряжается через зарядное устройство-выпрямитель. Во время любого провала, который приводит к падению тока нагрузки до 1% ~ 50% от номинального тока нагрузки, инвертор мгновенно вводит разницу между номинальной нагрузкой и токами напряжения без использования изолирующих тиристоров. Однако при любых сбоях SLG, DLG и или SLL, которые приводят к уменьшению одной или двух фаз до 50% от номинального тока фазы, активируется изолирующий тиристорный блок, чтобы изолировать неисправную фазу от нагрузки, и инвертор мгновенно подает питание неисправный фазный ток в нагрузке, чтобы поддерживать постоянный ток нагрузки в течение всего времени неисправности. Поскольку предлагаемая система предназначена для критически важных приложений, требующих постоянных токов, опорные токи фиксированы для любого конкретного приложения нагрузки. Если нагрузка изменяется, опорные токи могут быть соответствующим образом отрегулированы. Это можно сделать с помощью внешней петли напряжения.

При таком условии, контролируемый сигнал ошибки контура напряжения генерирует ссылку для внутренней токовой петли. Это позволяет предложенной асимметричной методике исправления неисправностей корректировать провисания при любых условиях нагрузки, независимо от расстояния между нагрузкой и местоположением неисправности.

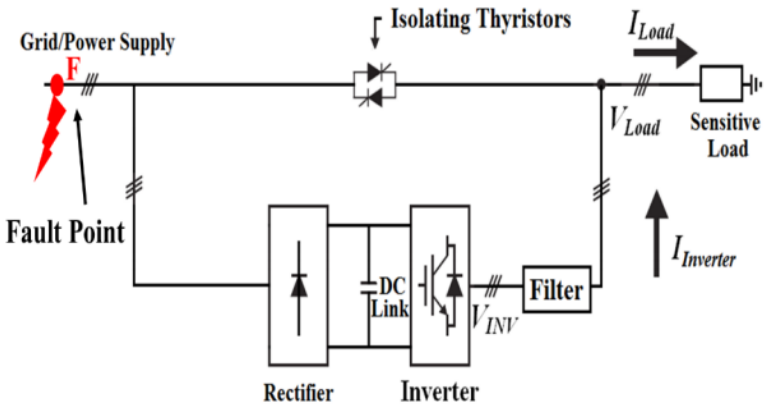

Рисунок 3.1 – Простая схема предлагаемой методики устранения

несимметричной неисправности для чувствительных нагрузок

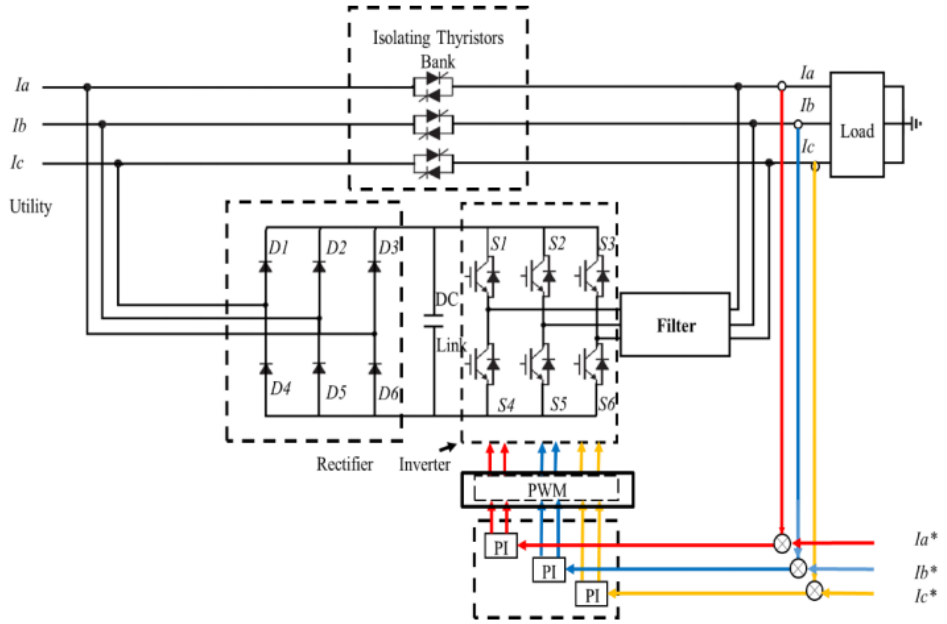

Рисунок 3.2 – Полная схема предлагаемой техники исправления несимметричной неисправности для чувствительной нагрузки.

3.2. Алгоритм регулирования тока

Текущее регулирование для предлагаемой асимметричной техники устранения неисправностей достигается с помощью ПИ-регулятора, реализованного в стационарной системе отсчета, как обсуждалось в [18]. На рисунке 4 показана блок-схема «модели среднего значения» инвертора предлагаемой методики исправления неисправностей. На данной диаграмме U (s) это номинальный ток нагрузки, E (s) ошибка обратной связи и номинальные токи нагрузки, а VDC прямое усиление линейного усилителя, который заменяет ШИМ-модулятор. Входной ток сетки моделируется как ток ввода I (s), а Y (s) требуемый выходной ток инвертора для получения регулируемого тока для нагрузки.

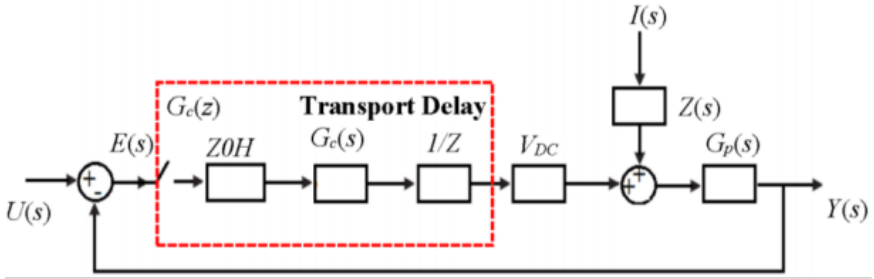

Рисунок 3.3 – Блок-схема модели среднего значения предложенного метода исправления несимметричной ошибки

Передаточная функция преобразователя тока с регулируемым напряжением задается как:

$$Y(s) = \frac{U(s) * G_c\,(s) * V_{DC} * G_p\,(s)}{1 + G_c\,(s) * V_{DC} * G_p\,(s)} + \frac{I(s) * Z(s) * G_c\,(s)}{1 + G_c\,(s) * V_{DC} * G_p\,(s)}$$

Функцией контроллера Gc (s) в этой системе является согласование выходных токов Y (s) с номинальными токами нагрузки U (s) как можно ближе. Теория цепей дает передаточную функцию «завод» R / L:

$$G_p\,(s) = \frac{1}{R(1 + sT)}$$

$$T = \frac{L}{R}$$

Передаточная функция импеданса нагрузки Z (s) составляет:

$$Z(s) = R(s) + sL(s),$$

где R (s) сопротивление нагрузки;
L (s) индуктивность нагрузки.

Gc(s) – является передаточной функцией регулятора PI и определяется как:

$$G_c\,(s) = K_p\left(1 + \frac{1}{s\tau_r}\right),$$

где τr – отношение пропорционального и интегрального коэффициентов усиления (Kp / Ki).
Подставляя уравнения (5) и (7) в (8), коэффициент усиления прямого пути разомкнутого контура предложенного система будет:

$$G_pG_c(s) = \frac{V_{DC} \times K_P}{R \times \tau_r} \times \frac{1 + s\tau_r}{s\,(1 + sT)} \tag{1.1}$$

Которая является системой второго порядка и имеет фазовую характеристику, которая является асимптотой «90» на высоких частотах [19,20].

Общая задержка передачи и выборки для реализованного алгоритма регулирования тока для инвертора составляет около 0,75 периода несущей.

Задержки контура управления могут быть смоделированы с использованием теории Z-преобразования [21,22] с элементом удержания

нулевого порядка (ZOH) для моделирования задержки выборки и блоком 1 / Z последовательно с контроллером для моделирования задержки транспортировки. На Рисунке 5 показан график Боде для коэффициента усиления прямой линии разомкнутой петли реализован текущий алгоритм управления с учетом задержек при транспортировке и выборке:

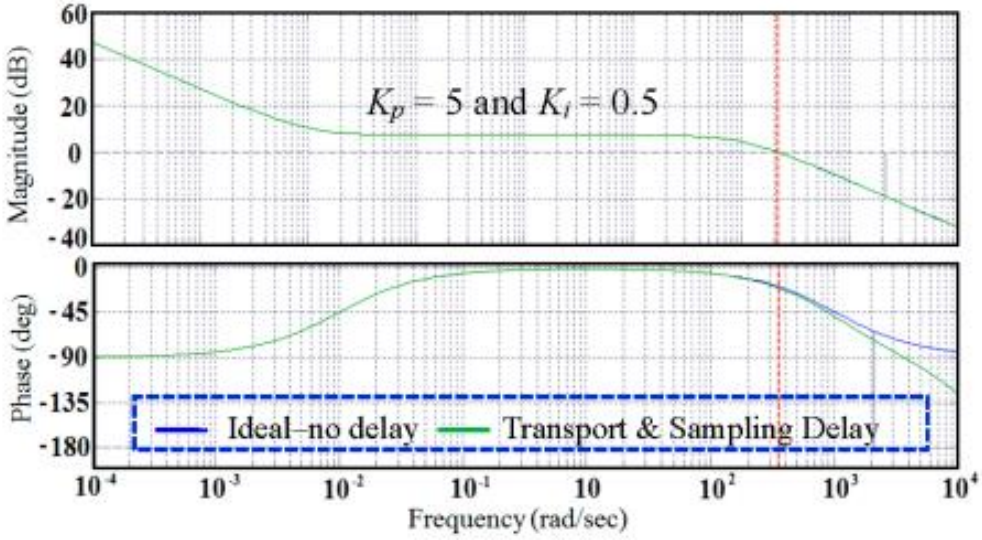

Рисунок 3.4 – Боде-график Open Loop Forward Path Gain для реализованного контроллера с эффектами переноса и задержки выборки

3.3 Преимущества предлагаемой методики перед существующими решениями

Преимущества предлагаемой методики коррекции неисправностей с асимметричным исправлением неисправностей обсуждаются с точки зрения возможностей защиты, преобразования мощности и регулирования.

Подробное сравнение на основе защитных возможностей для различного оборудования для кондиционирования приведено в [23]. Тем не менее, эта статья включает в себя сравнение предлагаемой системы исправления ошибок с обычными системами преобразования мощности, упомянутыми в [23], как показано в таблице 1. Для сравнения показано, что предлагаемый метод исправления ошибок решает большую часть качества электроэнергии проблемы, кроме перерывов между 0,15 и 500 с и перебоев более 500 с. Это связано с ограничениями накопления энергии в звене постоянного тока.

Однако, поскольку предлагаемый метод основан на текущем алгоритме управления, он предлагает лучшую производительность при работе с нелинейными нагрузками. Поскольку онлайновая система ИБП обеспечивает наилучшие возможности по регулированию и регулированию электропитания, проводится подробный сравнительный анализ предлагаемой техники и онлайн-системы ИБП (таблица 2). Эта таблица показывает, что основным

источником питания для онлайновой системы ИБП является инвертор; однако предложенный метод исправления ошибок использует полезность в этом отношении. Эффективность системы ИБП онлайн ниже, чем предлагаемая методика. Это связано с тем, что работа онлайновой системы ИБП включает двойное преобразование мощности, то есть переменный / постоянный ток и постоянный / переменный ток, что увеличивает общую мощность системы до 210% от номинальной мощности (100% для инвертора и 110% для выпрямителя, поскольку он питает как линию постоянного тока, так и инвертор одновременно) [24]. Тем не менее, общая мощность предлагаемой системы составляет около 110 (100% для инвертора и 10% для выпрямителя, поскольку она заряжает только линию постоянного тока инвертора). Размер, стоимость и вес системы ИБП онлайн также выше, чем предлагаемая система.

4 Экспериментальные результаты

Для проверки предложенного метода исправления неисправностей для чувствительных нагрузок был создан небольшой прототип системы на рисунках 3.1 и 3.2. Системные параметры приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Системные параметры

Параметры	Значение
Напряжение сети и частота	220 В, 50 Hz
Постоянное напряжение	365 В
Загрузочное напряжение	160 Ом
Индуктивная нагрузка	21.5 mH
Индуктивный фильтр	0.265 mH

Аппаратное обеспечение для предлагаемой методики асимметричного исправления неисправностей для чувствительных нагрузок состоит из трех основных частей: контроллера цифрового сигнального процессора (DSP) для реализации требований управления для инвертора предлагаемой системы, компонентов питания для управления потоком мощности и RL. нагрузки. Для обработки данных используется процессор DSP TMS320F28335 от Texas Instruments с внешней тактовой частотой 150 МГц. 12-битный канал АЦП от этого контроллера DSP используется для выборки сигналов тока нагрузки, поступающих от датчиков тока. Несущая частота 10 кГц используется для генерации сигналов широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Программируется ПИ-регулятор с пропорциональным (Kp) и интегральным (Ki) усилением 5 и 0,5 соответственно. Контроллер реализован в стационарной системе отсчета с использованием процессора DSP для регулирования тока нагрузки при любых асимметричных неисправностях.

При нормальной работе на нагрузку подается ток от сети, а конденсатор звена постоянного тока заряжается через выпрямитель. В определенный момент, скажем, t = tf ault, предполагается, что асимметричная неисправность возникает на стороне энергосистемы, и активируется изолирующий транзисторный блок для изоляции неисправной фазы от нагрузки. Между тем, инвертор мгновенно подает ток неисправной фазы на нагрузку, чтобы поддерживать постоянный ток нагрузки (ILoad). На рисунке 3.5a показаны экспериментальные результаты для токов сети / источника питания (IGrid) после изоляции неисправной фазы, когда сеть испытывает ошибку S-L-G. На рисунке 3.5b показан постоянный и сбалансированный ток нагрузки, полученный во время такого состояния с использованием предложенного метода устранения неисправностей. Экспериментальные формы сигналов для сетки (IGrid) и токов нагрузки (ILoad) при отказах D-L-G и S-L-L показаны на рисунке 3.6a, b. Однако отклик инвертора при сбоях S-L-G, D-L-G и S-L-L показан на рисунке 3.7a,b.

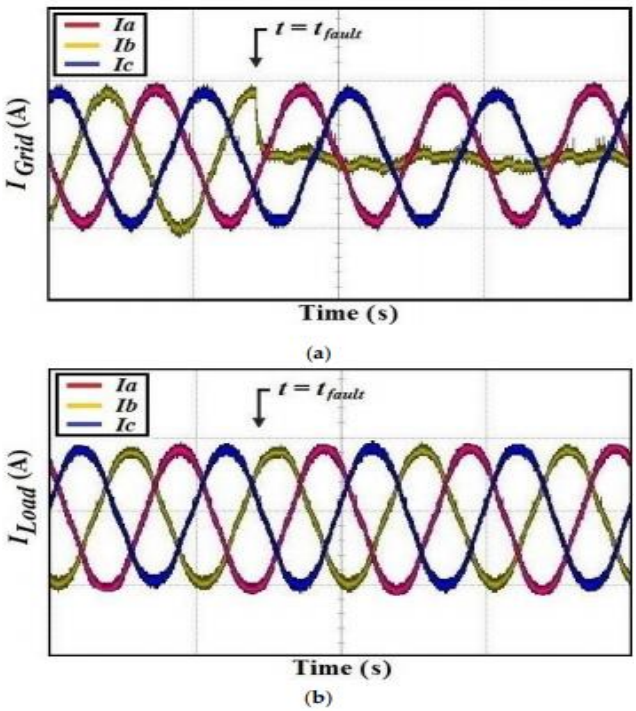

Рисунок 3.5 – Экспериментальные формы колебаний: (a) сеточных токов (IGrid); и (b) токи нагрузки (ILoad) с помощью предлагаемой техники исправления несимметричных неисправностей во время неисправности S-L-G (ось X: 20 мс / дел; ось Y: 1 A / дел).

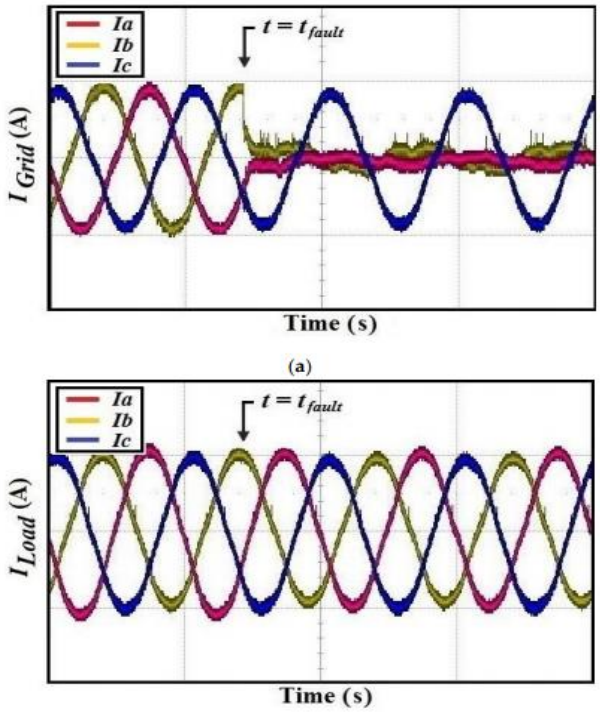

Рисунок 3.6 – Экспериментальные формы колебаний: (a) сеточных токов (IGrid); и (b) токи нагрузки (ILoad) с помощью предлагаемой техники исправления несимметричных неисправностей во время неисправностей S-L-L и D-L-G (ось X: 20 мс / дел; ось Y: 1 A / дел)

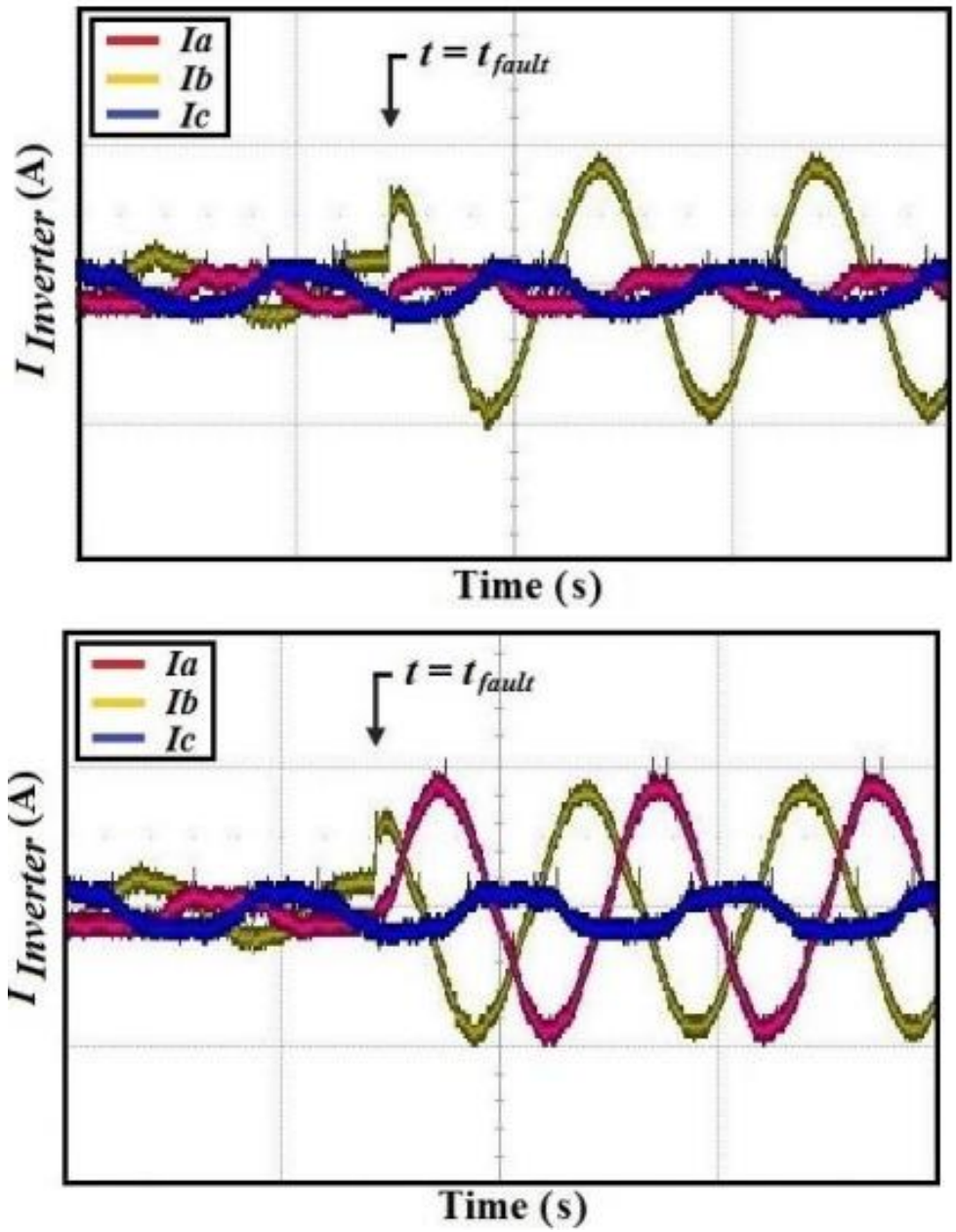

Рисунок 3.7 – Экспериментальные осциллограммы инверторных токов с предложенным методом асимметричной коррекции неисправностей во время: (а) S-L-G; (б) S-L-L; и неисправности D-L-G (ось X: 20 мс / дел; ось Y: 1 A / дел).

Из приведенных экспериментальных результатов видно, что токи нагрузки с использованием предложенного метода исправления неисправностей сбалансированы и постоянны, если источник питания проходит через любую из вышеупомянутых асимметричных неисправностей.

Эти экспериментальные результаты получают, когда чувствительная нагрузка работает вблизи места повреждения, то есть наихудшего состояния отказа. Поскольку большинство нагрузок работают вдали от места

повреждения и испытывают провалы напряжения различной величины, экспериментальные результаты были получены в течение провала в течение 8 мс, чтобы исследовать работу и производительность предложенного метода исправления неисправностей. На рисунке 3.8а показаны экспериментальные осциллограммы тока сетки (IGrid), показывающие, что при t = tf ault сетка испытывает ошибку и начинает подавать провал в течение 8 мс после каждого полупериода. Во время такого состояния инвертор мгновенно подает дополнительный ток в течение того же интервала на нагрузку, чтобы поддерживать постоянный ток нагрузки. Это приводит к плавной компенсации токов нагрузки. На рисунок 3.8б, в показаны токи инвертора и нагрузки. При работе с предложенным методом устранения неисправностей напряжение в звене постоянного тока силового преобразователя также испытывает помехи, вызванные несимметричными неисправностями.

Однако этот эффект эффективно устраняется жестким регулированием тока инвертора. На рисунке 3.9а – с показано изменение напряжения звена постоянного тока во время таких неисправностей. Поскольку время удержания предлагаемой системы в зависимости от нестабильности полностью зависит от размера критической нагрузки и способности системы аккумулировать энергию, важно уделить внимание емкости системы постоянного тока перед установкой предлагаемой системы вместе с чувствительная нагрузка определенной оценки [25]. Энергия компенсации, мощность и емкость звена постоянного тока могут быть выражены следующим образом:

$$E = \frac{1}{2} C_{DC} \left(Vdc^2{}_{DC} - V^2{}_{Grid\_peak} \right) [J]$$

$$P = \frac{C_{DC} \left(Vdc^2{}_{DC} - V^2{}_{Grid\_peak} \right)}{2T} [W]$$

$$C_{DC} = \frac{PT}{0.5 \left(Vdc^2{}_{DC} - V^2{}_{Grid\_peak} \right)} [F]$$

где T время компенсации

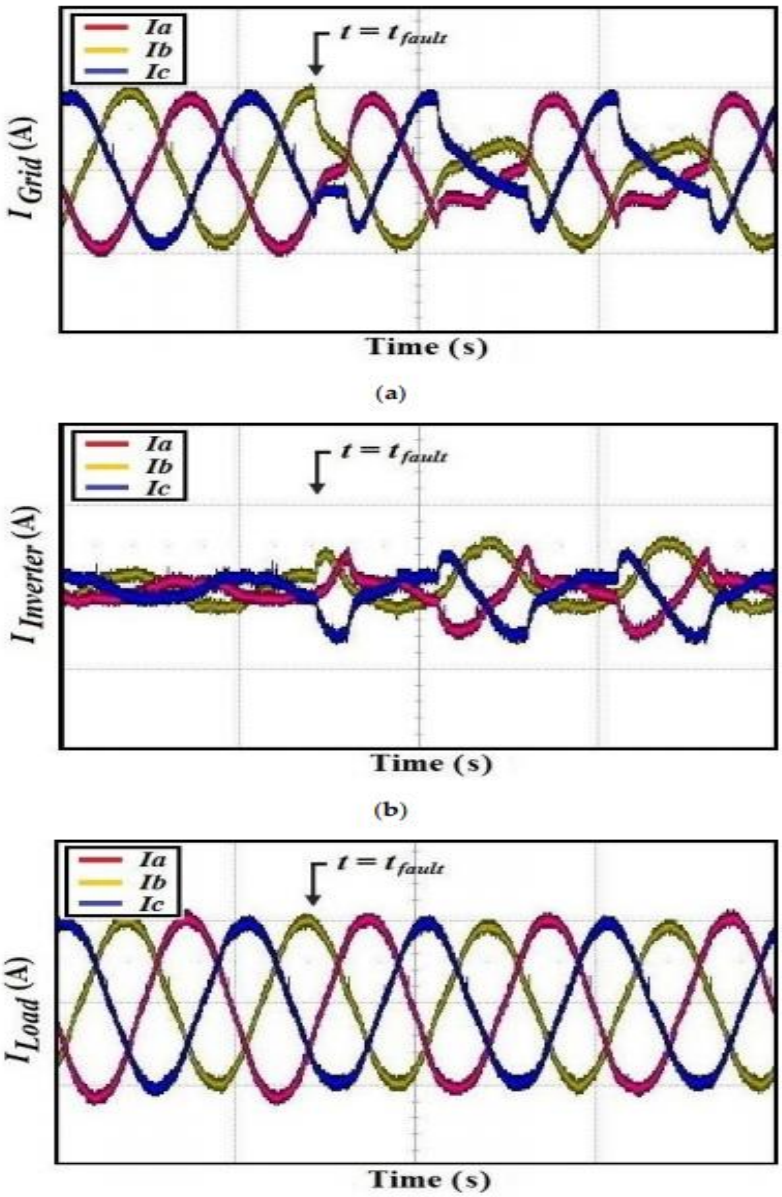

Рисунок 3.8 – Экспериментальные формы колебаний: (а) токи сетки (IGrid); (б) инверторные токи (IInverter); и (с) токи нагрузки (ILoad) с помощью предлагаемой методики асимметричного исправления неисправностей во время провисания в течение 8 мс после каждого полупериода (ось X: 20 мс / дел; ось Y: 1 A / дел)

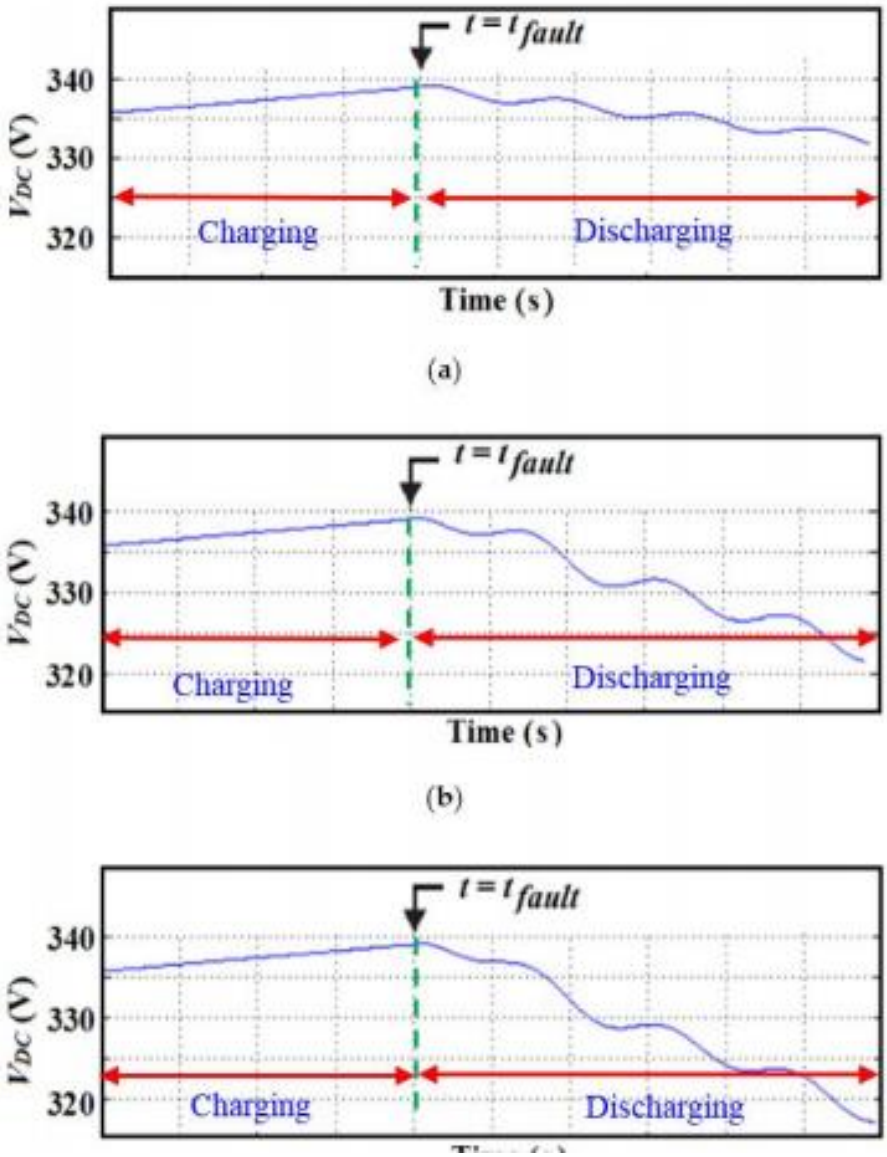

Рисунок 3.9 – Напряжение звена постоянного тока (V), когда на сеть воздействуют: (а) S-L-G; (б) S-L-L; и (с) неисправности D-L-G (ось X: 0,1 с / дел; ось Y: 5 В / дел)

4.1 Разработка автоматизированной системы симметрирования фазных токов

Описанные выше системы для автоматизации балансировки (симметрии) фазового тока могут быть использованы в качестве основы для создания устройств, которые эффективно снижают уровень асимметрии в сельской электроцепи. Типичным прибором для балансировки нагрузки трехфазной четырехпроводной линии можно считать систему, которая обеспечивает переключение однофазной нагрузки на наименее нагруженную фазу, определяемую путем сравнения аргументов (фаз) основной гармоники напряжение нулевой последовательности (NPP) относительно каждого из фазных напряжений в точке подключения однофазной нагрузки.

Переключение однофазной нагрузки, когда это происходит при превышении порога NNP.

Из недостатков этого метода можно выделить следующие:

– низкая чувствительность к уровню фазового тока, дисбаланс

– трехфазная четырехпроводная сеть;

– балансировка нагрузок не является коммуникативной, поскольку для диагностики и технического обслуживания устройства необходимо обесточить электрическую сеть и демонтировать электрические изделия;

– эта группа изобретений трудна для реализации и, как следствие, неприемлема для широкого использования в электрических сетях.

Более предпочтительным вариантом является установка для автоматической балансировки нагрузки в линиях трехфазной четырехпроводной цепи, часть которой потребители являются однофазными.

Технический результат достигается за счет того, что в устройстве, включающем переключение по меньшей мере части однофазных нагрузок на наименее нагруженную фазу, для каждой из коммутируемых однофазных нагрузок в точке ее подключения к линии определяют Значения активной мощности соответствуют каждому из фазных напряжений и токов нулевой проводной линии без учета текущей однофазной нагрузки. Линия с максимальным модулем активной мощности, знак которой противоположен знаку активной мощности наиболее нагруженной фазы, принимается за линию с наименьшей нагрузкой. Из недостатков изобретения можно выделить следующее:

– нет возможности централизованного управления по команде оператора с АРМ;

– не предусмотрено исправление переключения однофазного потребителя между фазами;

– метод дорогой, поскольку для каждой нагрузки предполагается установка устройства с датчиками тока и напряжения.

Задача, решаемая в этой работе, заключается в повышении чувствительности устройств для балансировки фазных токов и создании группы автоматических устройств для устранения дисбаланса фазных токов

четырехпроводной трехфазной цепи, переключения однофазных нагрузок между тремя фазами для достижения равномерное распределение нагрузки по трехфазной цепи с возможностью контроля работы и управления системой через рабочее место оператора. Эта проблема решается за счет того, что в предлагаемой группе изобретений имеется несколько модулей, отвечающих за балансировку фазных токов.

Ключевым элементом схемы является центральный модуль, который обеспечивает следующие функции:

– программный анализ показаний датчиков тока;

– регистрация переключения однофазных нагрузок между фазами трехфазной цепи;

– отправка данных в зависимый модуль. В свою очередь, зависимый модуль отвечает за:

– обработка данных, отправляемых центральным модулем;

– переключение однофазной нагрузки между фазами трехфазной цепи.

Технический результат и эффективность системы достигается за счет вышеуказанного набора функций:

– использование технологии PLC для связи между зависимыми и центральными модулями (увеличение скорости устранения асимметрии).

– улучшение качества электроэнергии, поставляемой однофазному потребителю, путем переключения нагрузки между фазами за короткое время.

– использование триаков в качестве переключающих элементов (мгновенное переключение однофазной нагрузки между фазами трехфазной цепи без отсутствия скачков напряжения).

– повышение надежности оборудования для балансировки фазных токов в трехфазных сетях из-за отсутствия электромеханических изделий в системе балансировки.

– возможность контролировать работу цепи на расстоянии с помощью АРМ (упрощенное обслуживание устройств для балансировки фазных токов).

– использование внутренней памяти устройства (регистрация однофазного переключения потребителей между фазами).

Результатом внедрения этой схемы является повышение эффективности устройств для балансировки фазных токов трехфазной четырехпроводной цепи, достижения высокой скорости переключения однофазной нагрузки между фазами трехфазной цепи. сеть на любых уровнях асимметрии, устраняя падения напряжения. Также достигается упрощение при реализации и установке устройства балансировки однофазных нагрузок трехфазной линии. Кроме того, конструкция обеспечивает переключение однофазной нагрузки между фазами трехфазной цепи по команде оператора в режиме реального времени.

Схема устройства, реализующего этот алгоритм, показана на рисунках 4.13–4.15. На схеме также показано, как подключить однофазную нагрузку к трехфазной четырехпроводной линии.

Блок 1 содержит датчики для определения фазных токов 9,10,11 соответствующих фаз трехфазной цепи F1, F2, F3. Блок 8 ПЛК модема для устройств связи 1,2 по линиям электропередач. В форме блока 7 показана центральная плата со встроенными часами 13 реального времени, преобразователем 15 UART, его работа основана на использовании микроконтроллера 14 AVR и его дополнительной привязке. Блок 12 представляет собой автоматизированное рабочее место оператора, подключенного через разъем 30. Клеммы устройства 20-25 предназначены для подключения фаз трехфазной цепи к датчикам тока и модему ПЛК.

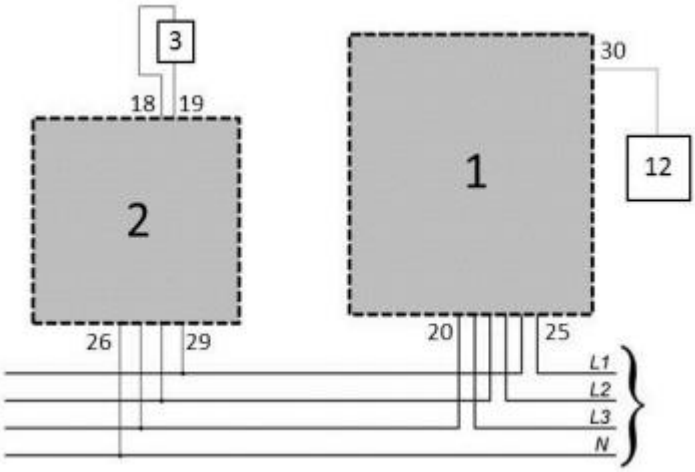

Рисунок 4.13 – Общая схема автоматизированной системы симметрирования фазных токов

Зависимый модуль 2 предназначен для переключения однофазной нагрузки 3 между фазами F1, F2, F3 и включает в себя блок 6 симисторной коммутации, каскад из трех симисторов 17, управляемый через оптоизолятор 16 контроллером 4. Для приема и для передачи информации используется модем 5 ПЛК. 18,19 подключена однофазная нагрузка, выводы 26-29 используются для подключения устройства к трехфазной четырехпроводной цепи.

Основной алгоритм работы устройства заключается в следующем: центральный управляющий модуль 1 (рисунок 4.15) определяет ток, протекающий через каждую фазу трехфазной линии, с использованием трансформаторов тока 9-11. Принцип действия трансформаторов тока основан на эффекте Холла. Микроконтроллер 14 принимает информацию о токах, протекающих в фазах, в виде аналогового сигнала. Далее сигнал преобразуется аналого-цифровым преобразователем для дальнейшей программной обработки и вывода показаний оператору. Для обеспечения связи между рабочей станцией 12 оператора и центральным модулем используется преобразователь USB-UART 15. Часы 13 реального времени необходимы для регистрации времени переключения нагрузки между фазами

трехфазной цепи. ПЛК-модем 8 используется для связи между центральным и зависимыми модулями по линиям электропередачи. Центральный модуль предполагает подключение от 1 до 125 зависимых модулей.

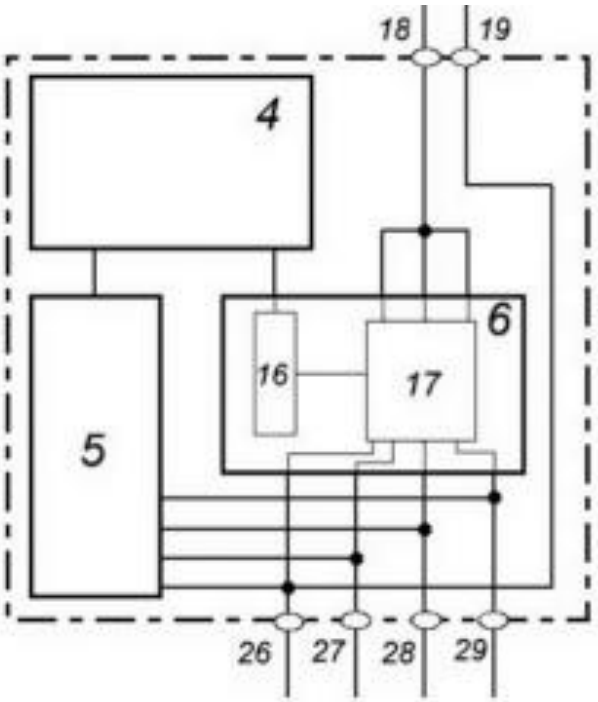

Рисунок 4.14 – Зависимый модуль автоматизированной системы симметрирования фазных токов

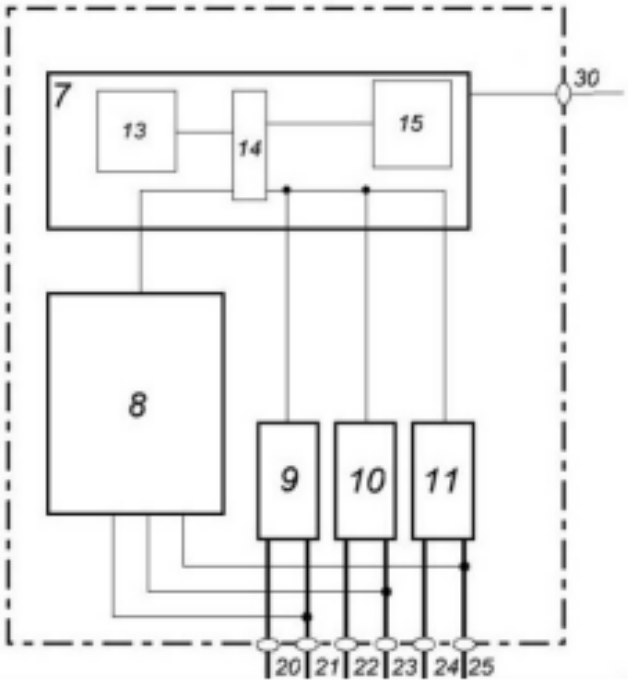

Рисунок 4.15 – Центральный модуль автоматизированной системы симметрирования фазных токов

Зависимый модуль 2 (рисунок 4.14) предназначен для переключения однофазной нагрузки между фазами и трехфазной сетью и включает в себя блок коммутации 6. Блок коммутации состоит из ступени 17 симистора и оптопары, обеспечивающей «сухой» контакт »для защиты логической электроники и модема ПЛК. Видеоблок 4 показывает зависимую плату, которая является блоком 6 управления переключением, и плату, используемую для получения данных от центрального модуля через PLC.

Следует отметить, что до 125 зависимых модулей. Это означает, что каждый из них может использоваться для управления конкретным зависимым модулем для устранения дисбаланса фазного тока.

4.2 Методы расчета параметров симметрирующих устройств

Модульный метод расчета симметричных компонентов, приведенный в разделе 2, позволяет нам рассмотреть процесс дальнейшей реализации алгоритма такого типа для определения параметров балансировочного устройства. Тем не менее наиболее эффективным методом является выбор параметров балансировочного устройства в зависимости от показателей асимметрии токов и напряжений в электрической цепи, например, метода симметричных координат, который основан на использовании симметричных матриц преобразования координат. В рамках этого метода система уравнений для токов и напряжений выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} \begin{cases} \overline{I_A} = \overline{I_1} + \overline{I_2} + \overline{I_0} \\ \overline{I_B} = \overline{a^2}\overline{I_1} + \bar{a}\overline{I_2} + \overline{I_0} \\ \overline{I_C} = \bar{a}\overline{I_1} + \overline{a^2}\overline{I_2} + \overline{I_0} \end{cases} \\ \begin{cases} \overline{U_A} = \overline{U_1} + \overline{U_2} + \overline{U_0} \\ \overline{U_B} = \overline{a^2}\overline{U_1} + \bar{a}\overline{U_2} + \overline{U_0} \\ \overline{U_C} = \bar{a}\overline{U_1} + \overline{a^2}\overline{U_2} + \overline{U_0} \end{cases} \\ \bar{a} = e^{j2\pi/3} = e^{-j4\pi/3} = -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}j \end{cases}, \qquad (4.6)$$

где a в этой системе уравнений оператор вращения, также называемый фазовым множителем.

Решая систему (4.6) для симметричных составляющих прямой, обратной и нулевой последовательностей токов и напряжений, можно получить следующие соотношения:

$$\begin{cases} \begin{cases} \overline{I_1} = \frac{1}{3}\left(\overline{a^2}\,\overline{I_C} + \bar{a}\overline{I_B} + \overline{I_A}\right) \\ \overline{I_2} = \frac{1}{3}\left(\overline{a^2}\,\overline{I_B} + \bar{a}\overline{I_C} + \overline{I_A}\right) \\ \overline{I_3} = \frac{1}{3}\left(\overline{I_C} + \overline{I_B} + \overline{I_A}\right) \end{cases} \\ \begin{cases} \overline{U_1} = \frac{1}{3}\left(\overline{a^2}\,\overline{U_C} + \bar{a}\overline{U_B} + \overline{U_A}\right) \\ \overline{U_2} = \frac{1}{3}\left(\overline{a^2}\,\overline{U_B} + \bar{a}\overline{U_C} + \overline{U_A}\right) \\ \overline{U_3} = \frac{1}{3}\left(\overline{U_C} + \overline{U_B} + \overline{U_A}\right) \end{cases} \\ \bar{a} = -\frac{1}{2} + \frac{\sqrt{3}}{2}j \end{cases} \tag{4.7}$$

Из полученного выражения следует, что асимметричная система фазовых токов в рамках этого варианта должна быть разложена на три трехфазные симметричные системы прямой, обратной и нулевой оценки.

В общем случае нагрузка в электрической цепи состоит из трехфазных симметричных электроприводов, которые образуют трехфазную симметричную нагрузку, и однофазных электроприводов, включая фазные напряжения, которые образуют трехфазную несбалансированную нагрузку.

Если симметричный механизм подключен непосредственно к узким нагрузкам, то схема питания может быть представлена на рисунках 4.16, где общая сумма представляет общую мощность трехфазной симметричной нагрузки; ПЗС полная мощность трехфазной несимметричной нагрузки.

Дальнейший анализ предполагает использование в расчетах индикаторов дисбаланса тока и напряжения, некоторые допущения перечислены ниже:

– система натяжения шин трансформатора Т1 является симметричной и не зависит от нагрузки цепи;

– все элементы цепи, включая трансформаторы и СУ, имеют линейные параметры;

– трехфазная асимметричная нагрузка и СУ имеют статический характер.

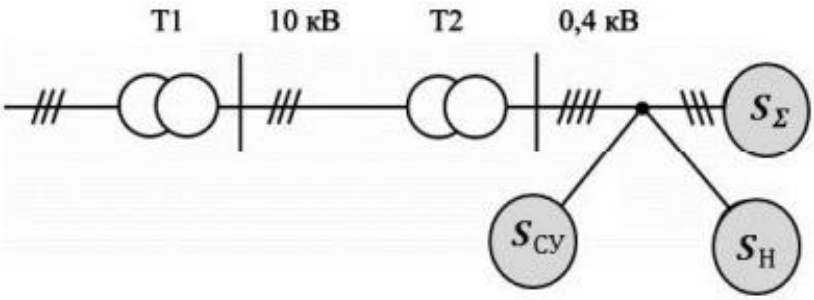

Рисунок 4.16 – Схема участка электрической цепи с нагрузками и симметрирующим элементом

Чтобы построить трехфазную несимметричную нагрузочную цепь, ее следует заменить на несбалансированный источник напряжения. В результате этой замены схема становится симметричной, а противоположные симметричные составляющие токов и напряжений не зависят друг от друга.

Эквивалентная схема электрической цепи с нагрузкой и балансировочным прибором (рисунок 4.17) в этом случае должна состоять из следующих элементов:

– источники неизвестных напряжений $\overline{U_{\text{н}a1}}, \overline{U_{\text{н}b1}}, \overline{U_{\text{н}c1}}$;

– симметричные составляющие напряжений прямой, обратной и нулевой последовательностей $\overline{U_{\text{н}1}}, \overline{U_{\text{н}2}}, \overline{U_{\text{н}0}}$;

– система фазных напряжений вторичной обмотки трансформатора Т1: $\overline{U'_{\text{A}}}/\bar{n}, \overline{U'_{B}} = \overline{U'_{B}}/\bar{n}, \overline{U'_{C} = \overline{U'_{C}}/\bar{n}}$;

– комплексное сопротивление прямой и обратной последовательности линии $\overline{Z'_{\text{лн}1}} = \overline{Z'_{\text{лн}2}}$;

– комплексные сопротивления трансформатора Т2: $\overline{Z'_{T1}} = \overline{Z'_{T2}}, \overline{Z'_{T0}}$.

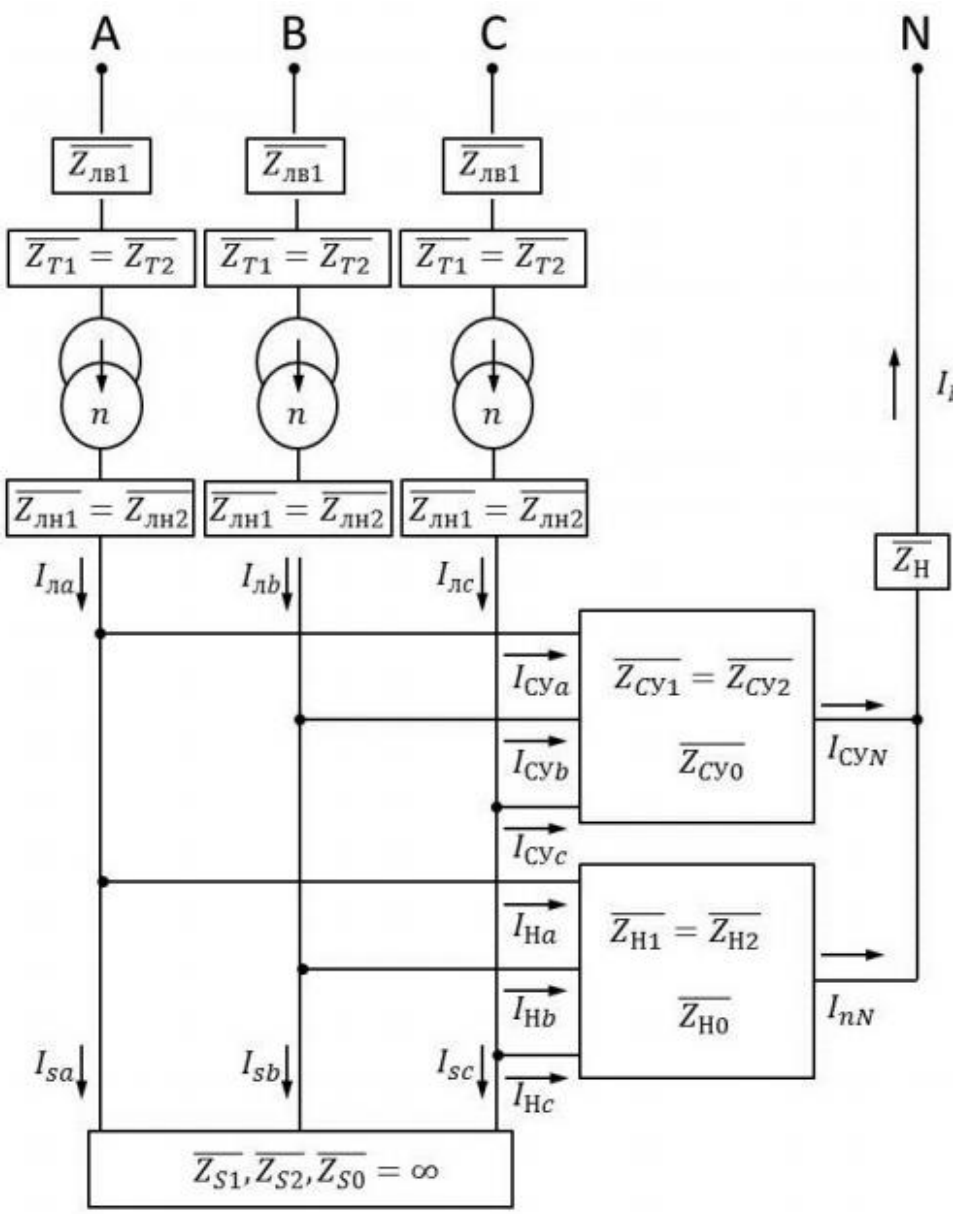

Рисунок 4.17 – Схема замещения участка электрической цепи с нагрузками и симметрирующим элементом

Сопротивление трансформатора, следовательно, можно рассчитать как:

$$Z_{T1} = Z_{T2} = Z_{T*} \cdot \frac{U_{ном}^2}{S_{ном}}, \tag{4.8}$$

где $ZT*$ полное сопротивление трансформатора в относительных единицах,

Snom номинальная мощность трансформатора,

Unom номинальное напряжение вторичной обмотки трансформатора.

В симметричной цепи симметричная система напряжений вызывает

симметричную систему токов одинаковой последовательности, на основе которой можно создавать независимые цепи прямой, обратной и нулевой последовательностей для основной фазы. Если сопротивление нулевой последовательности трансформатора $ZT0 = \infty$, нет необходимости в цепи нулевой последовательности. Если в схеме прямой последовательности мы заменим активную и пассивную параллельные ветви одной эквивалентной ветвью с источником напряжения и проводимостью рассчитывается как Uэ1 и проводимостью Yэ1, то можно построить следующую схему (рисунок 4.18):

Напряжение и проводимость вычисляется как:

$$\begin{cases} \overline{U_{э1}} = \frac{\overline{Y_1} \cdot \overline{U'_1}}{\overline{Y_1} + \overline{Y_{p1}}} \\ \overline{Y_{э1}} = \overline{Y_1} + \overline{Y_{p1}} \end{cases}, \tag{4.9}$$

$$\begin{cases} \bar{Y}_{э2} = \bar{Y}_2 + \bar{Y}_{p2} \\ \begin{cases} \bar{Y}_2 = \frac{1}{\overline{Z_2}} \\ \overline{Z_2} = \overline{Z_{лв2}} + \overline{Z_{Т2}} + \overline{Z_{лн2}} \end{cases} \\ \bar{Y}_{р2} = \bar{Y}_{су2} + \bar{Y}_{s2} \end{cases}, \tag{4.10}$$

Следующим шагом является построение прямой (рисунок 4.19a), обратной связи (рисунок 4.19b) и нулевой (рисунок 4.19c) последовательностей для основной фазы симметричной цепи с SU.

Трехфазная асимметричная нагрузка и СУ имеют статический характер.

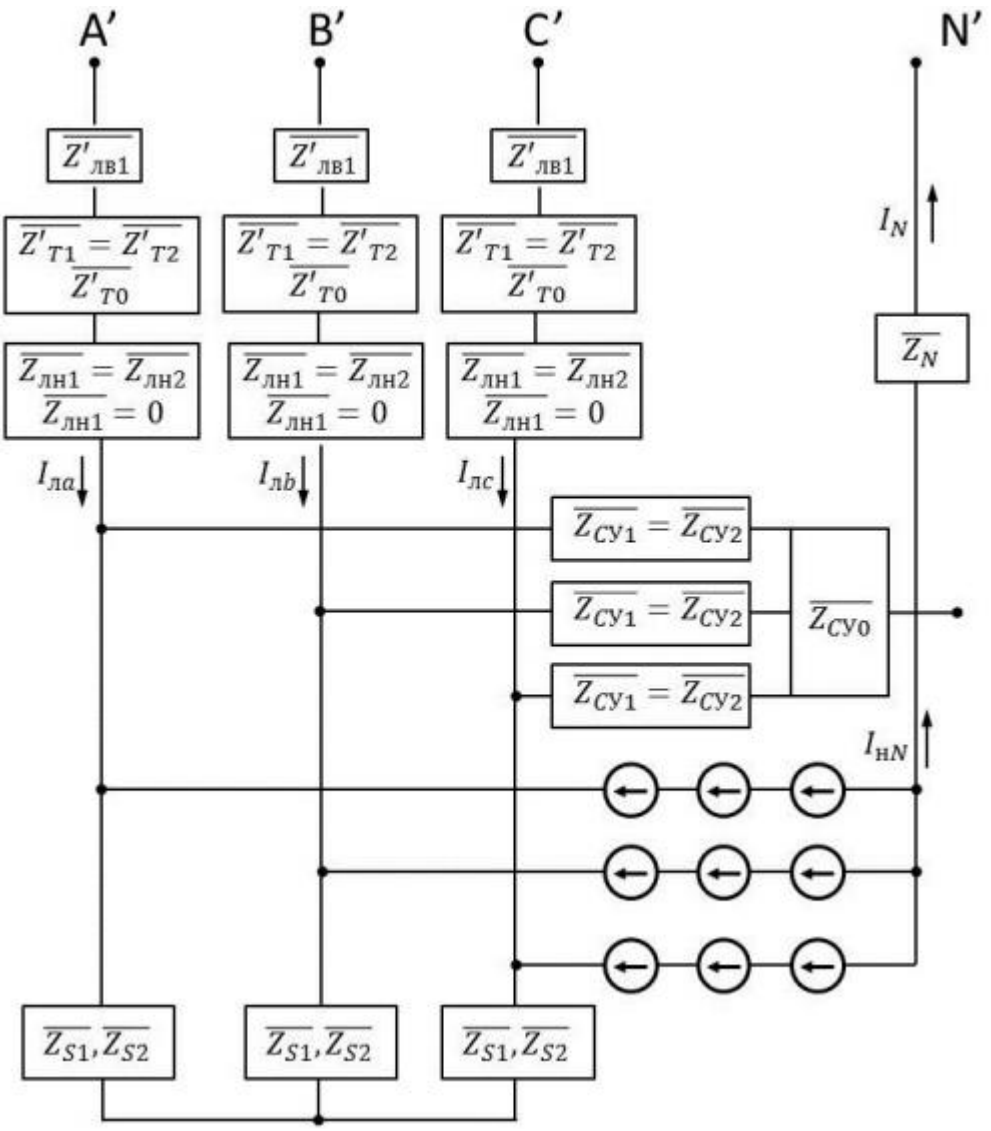

Рисунок 4.18 – Схема замещения участка электрической цепи с трехфазным несимметричным источником напряжения и приведенными параметрами

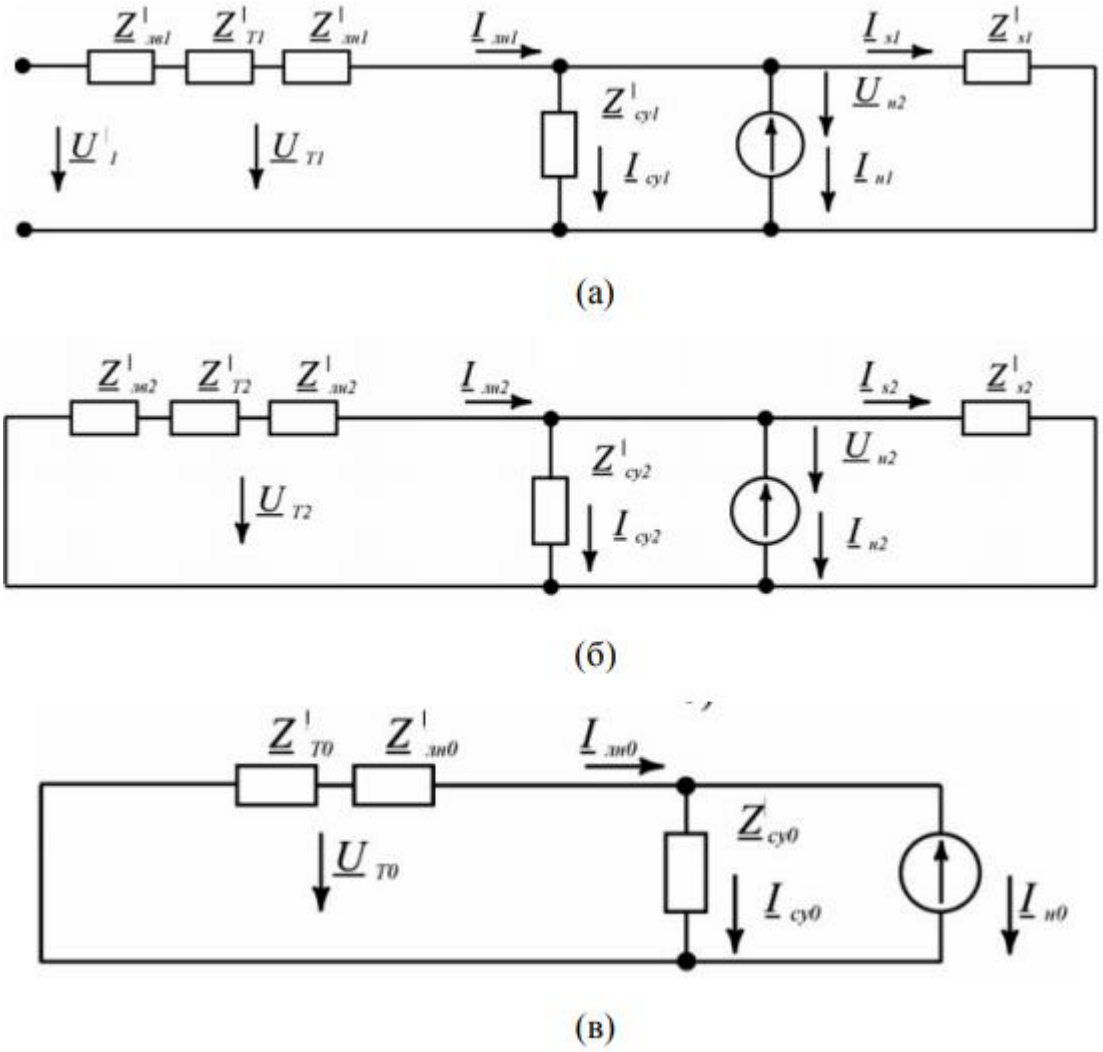

Рисунок 4.19 – Схемы прямой, обратной и нулевой последовательностей для основной фазы симметричной цепи с СУ

Аналогично для схемы нулевой последовательности проводимость может быть определена как:

$$\begin{cases} \bar{Y}_{э0} = \bar{Y}_{су0} + \bar{Y}_0 \\ \begin{cases} \bar{Y}_0 = \frac{1}{\bar{Z}_0} \\ \bar{Z}_0 = \bar{Z}_{Т0} + \bar{Z}_{лн0} \end{cases} \end{cases} \quad (4.12)$$

После преобразований схем можно получить одноконтурные вычислительные схемы для замены прямого, обратного и нулевого аргументов после 112 (рисунок 4.19) и составить следующие уравнения по второму закону Кирхгофа:

$$\begin{cases} \frac{\overline{I_{н1}}}{\overline{Y_{э1}}} + \overline{U_{н1}} = \overline{U_{э1}} \\ \frac{\overline{I_{н2}}}{\overline{Y_{э2}}} + \overline{U_{н2}} = 0 \\ \frac{\overline{I_{н0}}}{\overline{Y_{э0}}} + \overline{U_{н0}} = 0 \end{cases}, \tag{4.13}$$

$$\begin{cases} \overline{U_{на}} = \frac{\overline{I_{на}}}{\overline{Y_a}} \\ \overline{U_{нb}} = \frac{\overline{I_{нb}}}{\overline{Y_b}} \\ \overline{U_{нc}} = \frac{\overline{I_{нc}}}{\overline{Y_c}} \end{cases}, \tag{4.14}$$

где

$$\begin{cases} \overline{Y_a} = y_a \cdot e^{-j\varphi_a} \\ \overline{Y_b} = y_b \cdot e^{-j\varphi_b} \\ \overline{Y_c} = y_c \cdot e^{-j\varphi_c} \end{cases} \tag{4.15}$$

Выразив через симметричные составляющие (4.11) можно получить следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \overline{U_{н1}} + \overline{U_{н2}} + \overline{U_{н0}} = \frac{\overline{I_{н1}} + \overline{I_{н2}} + \overline{I_{н0}}}{\overline{Y_a}} \\ \overline{a^2}\overline{U_{н1}} + \bar{a}\overline{U_{н2}} + \overline{U_{н0}} = \frac{\overline{a^2 I_{н1}} + \bar{a}\overline{I_{н2}} + \overline{I_{н0}}}{\overline{Y_b}} \\ \overline{a^2}\overline{U_{н2}} + \bar{a}\overline{U_{н1}} + \overline{U_{н0}} = \frac{\overline{a^2 I_{н2}} + \bar{a}\overline{I_{н1}} + \overline{I_{н0}}}{\overline{Y_c}} \end{cases}. \tag{4.16}$$

Далее полученную систему уравнений нужно подставить значения $\overline{U_{н1}}, \overline{U_{н2}}, \overline{U_{н0}}$, полученные из (4.13):

$$\begin{cases} \overline{U_{э1}} = \bar{I}_{н1} \cdot \frac{\overline{Y_a} + \overline{Y_{э1}}}{\overline{Y_a} \cdot \overline{Y_{э1}}} + \bar{I}_{н2} \cdot \frac{\overline{Y_a} + \overline{Y_{э2}}}{\overline{Y_a} \cdot \overline{Y_{э2}}} + \bar{I}_{н0} \cdot \frac{\overline{Y_a} + \overline{Y_{э0}}}{\overline{Y_a} \cdot \overline{Y_{э0}}} \\ \overline{U_{э1}} \cdot \overline{a^2} = \overline{a^2}\bar{I}_{н1} \cdot \frac{\overline{Y_b} + \overline{Y_{э1}}}{\overline{Y_b} \cdot \overline{Y_{э1}}} + \bar{a}\overline{I_{н2}} \cdot \frac{\overline{Y_a} + \overline{Y_{э2}}}{\overline{Y_a} \cdot \overline{Y_{э2}}} + \bar{I}_{н0} \cdot \frac{\overline{Y_b} + \overline{Y_{э0}}}{\overline{Y_b} \cdot \overline{Y_{э0}}} \\ \overline{U_{э1}} \cdot \bar{a} = \bar{a}\overline{I_{н1}} \cdot \frac{\overline{Y_a} + \overline{Y_{э1}}}{\overline{Y_a} \cdot \overline{Y_{э1}}} + \overline{a^2}\bar{I}_{н2} \cdot \frac{\overline{Y_a} + \overline{Y_{э2}}}{\overline{Y_a} \cdot \overline{Y_{э2}}} + \bar{I}_{н0} \cdot \frac{\overline{Y_a} + \overline{Y_{э0}}}{\overline{Y_a} \cdot \overline{Y_{э0}}} \end{cases}. \tag{4.17}$$

Решение этой системы методом Крамера позволяет получить выражения для определителей $\overline{\Delta}$, $\overline{\Delta}1$, $\overline{\Delta}2$, $\overline{\Delta}0$:

$$\bar{\Delta} = \frac{\bar{B}_{\Delta}}{\bar{A}_{\Delta}} \Rightarrow \bar{\Delta} = \frac{\bar{Y}_M^3(\bar{a}-\bar{a}^2)}{\bar{Y}_a\bar{Y}_b\bar{Y}_c\bar{Y}_{э1}\bar{Y}_{э2}\bar{Y}_{э0}}; \tag{4.18}$$

$$\bar{\Delta}_1 = \frac{\bar{B}_{\Delta 1}}{\bar{A}_{\Delta 1}} \Rightarrow \bar{\Delta}_1 = \frac{\bar{U}_{э1}\cdot\bar{Y}_{н1}^3\cdot(\bar{a}-\bar{a}^2)}{\bar{Y}_a\bar{Y}_b\bar{Y}_c\bar{Y}_{э2}\bar{Y}_{э0}}; \tag{4.19}$$

$$\bar{\Delta}_2 = \frac{\bar{B}_{\Delta 2}}{\bar{A}_{\Delta 2}} \Rightarrow \bar{\Delta}_2 = \frac{\bar{U}_{э1}\cdot\bar{Y}_K^2\cdot(\bar{a}-\bar{a}^2)}{\bar{Y}_a\bar{Y}_b\bar{Y}_c\bar{Y}_{э0}}; \tag{4.20}$$

$$\bar{\Delta}_0 = \frac{\bar{B}_{\Delta 0}}{\bar{A}_{\Delta 0}} \Rightarrow \bar{\Delta}_0 = \frac{\bar{U}_{э1}\cdot\bar{Y}_L^2\cdot(\bar{a}-\bar{a}^2)}{\bar{Y}_a\bar{Y}_b\bar{Y}_c\bar{Y}_{э2}}; \tag{4.21}$$

В этих выражениях YM, YK и YL определяются как

$$\bar{Y}_M = \sqrt[3]{3\bar{Y}_a\bar{Y}_b\bar{Y}_c + \bar{Y}_{\Delta 0}^2(\bar{Y}_{э2} + \bar{Y}_{э0}) + \bar{Y}_{E0}\bar{Y}_{э2}\bar{Y}_{э0}}; \tag{4.22}$$

$$\bar{Y}_K = \sqrt{\bar{Y}_{э0}\bar{Y}_{E1} - \bar{Y}_{\Delta 2}^2}; \tag{4.23}$$

$$\bar{Y}_L = \sqrt{\bar{Y}_{э2}\bar{Y}_{E2} - \bar{Y}_{\Delta 1}^2}; \tag{4.24}$$

где

$$\bar{Y}_{\Delta 0}^2 = \bar{Y}_a\bar{Y}_b + \bar{Y}_c\bar{Y}_b + \bar{Y}_a\bar{Y}_c; \tag{4.25}$$

$$\bar{Y}_{\Delta 1}^2 = \bar{Y}_a\bar{Y}_b\bar{a} + \bar{Y}_c\bar{Y}_b + \bar{a}^2\bar{Y}_a\bar{Y}_c; \tag{4.26}$$

$$\bar{Y}_{\Delta 2}^2 = \bar{Y}_a\bar{Y}_b\bar{a}^2 + \bar{Y}_c\bar{Y}_b + \bar{a}\bar{Y}_a\bar{Y}_c; \tag{4.27}$$

$$\bar{Y}_{E1} = \bar{Y}_a + \bar{a}\bar{Y}_b + \bar{a}^2\bar{Y}_c; \tag{4.28}$$

$$\bar{Y}_{E2} = \bar{Y}_a + \bar{a}^2\bar{Y}_b + \bar{a}\bar{Y}_c; \tag{4.29}$$

Зная определители, из системы уравнений (4.17) можно вывести выражения эквивалентных проводимостей прямой, обратной и нулевой последовательностей:

$$\begin{cases} \bar{Y}_{э1} = \frac{\Delta_1}{\Delta} \\ \bar{Y}_{э2} = \frac{\Delta_2}{\Delta} \\ \bar{Y}_{э0} = \frac{\Delta_0}{\Delta} \end{cases} => \begin{cases} \bar{Y}_{э1} = \frac{\bar{U}_A\bar{Y}_A + \bar{a}\bar{U}_B\bar{Y}_B + \bar{a}^2\bar{U}_C\bar{Y}_C}{3\cdot(\bar{U}_{э1} - \bar{U}_{н1})} \\ \bar{Y}_{э2} = \frac{-\bar{U}_A\bar{Y}_A - \bar{a}\bar{U}_C\bar{Y}_C - \bar{a}^2\bar{U}_B\bar{Y}_B}{3\bar{U}_{н2}} \\ \bar{Y}_{э0} = \frac{-\bar{U}_A\bar{Y}_A - \bar{U}_C\bar{Y}_C - \bar{U}_B\bar{Y}_B}{3\bar{U}_{н0}} \end{cases}. \quad (4.30)$$

В результате на основе системы уравнений (4.30) можно найти проводимости СУ:

$$\begin{cases} \bar{Y}_{СУ1} = \bar{Y}_{э1} + \bar{Y}_1 + \bar{Y}_{s1} \\ \bar{Y}_{СУ2} = \bar{Y}_{э2} + \bar{Y}_2 + \bar{Y}_{s2} \\ \bar{Y}_{СУ0} = \bar{Y}_{э1} - \bar{Y}_0 \end{cases}, \quad (4.31)$$

Полученная система позволяет определить параметры СУ в зависимости уровня несимметрии токов и напряжений исследуемой цепи, в частности напряжения прямой, обратной и нулевой последовательностей (4.32) и ток прямой, обратной и нулевой последовательностей (4.33):

$$\begin{cases} \overline{U_{н1}} = \frac{\overline{U_a}}{1+\overline{K_{2Uн}}} \\ \overline{U_{н2}} = \overline{U_{н1}} \cdot \overline{K_{2Uн}} \\ \overline{U_{н0}} = \overline{U_{н1}} \cdot \overline{K_{0Uн}} \end{cases} \quad (4.32)$$

$$\begin{cases} \overline{I_{н1}} = \frac{\overline{I_a}}{1+\overline{K_{2Iн}}+\overline{K_{0Iн}}} \\ \overline{I_{н2}} = \overline{I_{н1}} \cdot \overline{K_{2Iн}} \\ \overline{I_{н0}} = \overline{I_{н1}} \cdot \overline{K_{0Iн}} \end{cases} \quad (4.33)$$

где $K2U$н и $K0U$н – коэффициенты несимметрии напряжений,

$K2I$н и $K0I$н – коэффициенты несимметрии токов, которые определяются отношениями параметров по обратной и нулевой последовательностей к соответствующим параметрам по прямой последовательности.

5 Безопасность жизнедеятельности

В данной дипломной работе были проведены исследования в области измерения и анализа показателей качества электрической энергии в электрических сетях, а конкретнее не синусоидальности напряжения.

Также производилась разработка прибора, или анализатора не синусоидальности напряжения в электрических цепях.

5.1 Анализ условий труда

Исследования и разработка несинусоидальных анализаторов напряжения в электрических цепях проводятся в помещении (лаборатории) размером 10х6х3,5 м. Площадь 60 м2, объем 210 м3. В комнате 3 окна, 1 входная дверь и 1 межкомнатная дверь. Сама лаборатория разделена на 2 комнаты. Первая комната для веб-моделирования, общая площадь 18 м2. Второй по разработке, сборке и калибровке самого устройства, площадь которого составляет 42 м2.

Помещение лаборатории должно быть светлым и просторным, средняя норма площади для каждого работающего должна составлять 14 м2. Высота потолков в лаборатории должна быть 3,5–4 м Потолок окрашивают в белый цвет, а стены – либо в белый, либо в теплые светлые тона.

В данном помещении находятся 4 специалиста поразработке прибора, или анализатора не синусоидальности напряжения в электрических цепях.

В первом помещении находятся 5 рабочих мест, 3 из которых оборудованы для цифрового анализа и поверки нашего устройства и для вспомогательных работ. А 2 других рабочих места оборудованы паяльными станциями мультиметрами и другими приборами для сборки анализатора.

Второе помещение имеет 2 рабочих места, одно из котрых оборудовано для веб-моделирования устройства, а второе остается для вспомогательных работ. Также данное помещение служит для хранения образцов разработанных раннее, для запасных инструментов и различных деталей. В первой комнате также имеются ячейки хранения всего ранне перечисленного. План помещения представлен на рисунке 37.

Для оптимальной работы инженеров используются следующие типы оборудования:

– Моноблок 21.5" HP 22-C0085UR – 4 шт;

– TDM Ящик ЯТП-0,25 220/42-2авт IP54 – 2 шт;

– Понижающий и повышающий трансформатор на 220v/110 v и 110v/220v ST-500VA – 2 шт;

– Цифровой осциллограф UTD2052CL 50 МГц UNI-T – 1 шт;

– Лабораторный блок питания Haitronic HPS305D – 3 шт;

– Мультиметр цифровой ЗУБР 59804, MX-804, МАСТЕР, пробник и тестер напряжения – 4 шт.

Поскольку работа инженеров тесно связана с электрическими устройствами, в частности с электричеством, компьютерами, паяльными станциями, они подвержены ряду опасных факторов, которые в свою очередь негативно влияют на их здоровье.

Во-первых, помещения, где расположены рабочие места с компьютерами, должны быть оснащены защитным заземлением (зонированием). Не должно быть рабочих мест вблизи силовых кабелей и входов, высоковольтных трансформаторов, технологического оборудования, которое мешает работе компьютеров.

При работе с персональным компьютером на работника могут влиять следующие опасные и вредные производственные факторы:

– повышенный уровень электромагнитного излучения;
– повышенный уровень статического электричества;
– сниженная ионизация воздуха;
– статическая физическая перегрузка;
– перенапряжение визуальных анализаторов
– недостаточная освещенность рабочего места.

Поэтому, чтобы избежать производственных травм или заболеваний, работники должны делать перерывы при работе с персональными компьютерами и соблюдать определенные правила для их правильного использования.

Во-вторых, в лаборатории рабочие будут частично контактировать с электричеством. И в нашем случае следует отметить, что электробезопасность является приоритетом

Поражение электричеством может иметь место в следующих формах:

– остановка сердца или дыхания при прохождении электрического тока чере тело;
– ожог;
– механическая травма из-за сокращения мышц под действием тока;
– ослепление электрической дугой.

Причины поражения электрическим током могут быть следующими:

1) Случайное прикосновение к токоведущей детали (из-за незнания, спешки, действия отвлекающих факторов и т. д.).

2) Нарушение изоляции. Причины могут быть следующие:

– Заводской брак;
– Старение;
– Загрязнение пылью;
– Смачивание;
– Механическое повреждение (например, инструментом);
– Механический износ (например, наизгибе);
– Преднамеренна японча.

3) Отсутствие заземления. В заземленной аппаратуре в случае контактатоковедущих частей с металлическим корпусом происходит короткое

замыкание и сгорают предохранители, а в незаземленной корпус оказывается под напряжением.

4) Замыкание в результатеаварии. Например, сильный ветер или другая причина может вызвать повреждение воздушной линии электропередачи и падение провода на проходящий параллельно воздушный провод радио или телефона, после чего считающийся низковольтным провод оказывается под высоким напряжением.

5) Несогласованность действий. Иногда случается, что когда один человек работает в аппаратуре, другой подает на нее напряжение. Высоковольтные линии передач и переменного тока могут наводить высокое переменное напряжение в проходящих рядом низковольтных линиях электропередачи, линиях связи, изолированных от земли трубопроводах и любых других протяженных проводниках. Оно может возникнуть даже на корпусе автомобиля.

6) Остаточное напряжение. Линия электропередачи имеет очень большую электрическую емкость, по тэтой причине если линию отключить от источника напряжения, некоторое время все равно будет сохраняться разность потенциалов, и одновременное прикосновение к разным проводам или к проводу и заземленному предмету может привести к электрическому удару. Однократная разрядка линии с помощью заземленного проводника может оказаться недостаточной.

7) Статическое напряжение. возникает в результате на копления электрического заряда на изолированном проводящем объекте под действием трения.

8) Шаговое напряжение.Возникает при ходьбе, когда правая и левая нога находятся на разном расстоянии от источника напряжения (упавшего на землю провода или пробитого кабеля).

В-третьих, сотрудники будут работать с трансформаторами тока и напряжения, а также со счетчиками электроэнергии и иметь частичный контакт с электричеством. Здесь также есть много опасных факторов, о которых сотрудники должны быть проинформированы и, соответственно, должны быть проинструктированы. Они включают:

– повышенная температура поверхности изделия, оборудования, инструмента;

– повышенная температура воздуха рабочей зоны;

– пожароопасность;

– повышенное напряжение в электрической цепи, замыкание которой может происходить через тело рабочего;

– острые кромки, заусенцы, шероховатости на поверхности деталей.

Также на работников распространяются факторы, которые характеризуют интенсивность труда, включают:

– интеллектуал;

– сенсорный;

– эмоциональный стресс;
– степень однообразия нагрузок;
– режим работы.

Санитарно-гигиенические факторы, которые выявляются как части внешней рабочей среды, также влияют на:

– микроклимат;
– состояние воздушной среды;
– освещенность;
– шум;
– всевозможные излучения и воздействия.

Рабочий день для сотрудников нашей лаборатории длится с 9:00 до 18:00, с перерывом на обед(12:30-13:30). Рабочий день составляет 8 часов, что соответствует ГОС-стандарту.

Рабочие места создаются согласно СНИП РК, согласно которому создаются оптимальные условия для удобного положения рабочего за рабочим столом. Высота стола 750 мм, которая удовлетворяет ГОСТу. Также помещение пожаробезопастно. То есть имеется противопожарный инвентарь, соблюдена электробезопасность и проинструктированы все сотрудники, которые имеют непосредственный доступ к лаборатории.

Соблюдением требований охраны труда, промышленной безопасности, электробезопасности, пожарной безопасности и производственной санитарии, работниками осуществляет своевременно непосредственный руководитель.

5.2 Расчет вентиляции

Задание:

– рассчитать количество воздуха, необходимое для подачи в помещение;
– проверить уже установленные кондиционеры в данном помещении;
– по найденному значению количества воздуха подобрать соответствующую модель кондиционера;
– привести основные характеристики выбранного кондиционера;
– привести схему расположения кондиционера в помещении и схему подачи воздуха;
– сделать выводы и предложения.

5.2.1 Исходные данные

Исходные данные указана в ниже приведенной таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Общие данные для растчета

Город	Алматы
Параметры помещения (Д х Ш х В), м	10 х 6 х 3,5
Кол-во оборудования, шт	10
Мощность Роб, Вт	ПК – 340, Трн. I – 250, Трн. U – 400, Осц. – 120, БП 50
КПД, η	0,9
Данные по ист. света: мощ. N ос.уст., Вт/м2	36
Вид источника света	люминесцентные лампы
Число сотрудников: мужчины	4
Кол-во окон	3
Площадь 1 окна, м2	2,5
Расположение	Юг
Вид	жалюзи пластиковый переплет загрязнение незначительное
Расчетное время суток, ч	13-14
Температура в помещении, 0С: летом	25
зимой	20
Вид положения работы	сидя

5.2.2 Расчет тепловых нагрузок в помещении

Составление баланса тепла и влажности в помещении с кондиционированием воздуха осуществляется по хорошо известным методам, принятым в технологии отопления и вентиляции. Здесь следует учитывать все факторы, влияющие на изменение состояния воздушной среды помещения. Чтобы составить тепловой баланс помещения, необходимо определить весь подвод тепла и потери в помещении. В помещениях различного назначения выделяют две основные категории тепловых нагрузок:

тепловые нагрузки, Возникающие снаружи помещения (Наружные);

тепловые нагрузки, Возникающие внутри зданий (внутренние).

5.2.3 Наружные тепловые нагрузки

$$Q_{огр} = V_{пом} \cdot X_o \cdot (t_{Нрасч} - t_{Врасч}), \quad Вт \tag{5.1}$$

где Vпом – объем помещения, м3:

$$V_{пом} = 10 \cdot 6 \cdot 3{,}5 = 210 \text{ м3};$$

Хо – удельная тепловая характеристика, Вт/м3 0С:

$$X_o = 0.42 \quad Вт / м^3 {}^0C;$$

$t_{Нрасч}$ – наружная температура (параметр А). Для холодного периода

– средняя температура самого холодного месяца в 13 часов, для теплого периода – средней температуре самого жаркого месяца в 13 часов.

$t_{Врасч}$ – внутренняя температура, выбирается с учетом комфортных условий или технологических требований, предъявляемых к производственным процессам.

Для теплого времени года:

tНрасч = 29,4 0С;

tВрасч = 25 0С;

$$Q_{огр} = 210 \cdot 0{,}42 \cdot 4{,}4 = 388{,}08 Вт.$$

Для холодного времени года:

tНрасч = -9 0С;

tВрасч = 20 0С;

$$Q_{огр} = 210 \cdot 0{,}42 \cdot (-29) = -2557{,}8 \text{ Вт}.$$

Избыточное тепло солнечного излучения, в зависимости от типа стекла, поглощается окружающей средой помещения почти до 90%, остальное отражается. Максимальная тепловая нагрузка достигается при максимальном уровне излучения, который имеет прямые и рассеянные компоненты.

Интенсивность радиации зависит от ширины местности, времени года и времени суток. Теплопоступление от солнечного излучения через остекление определяется по формуле (5.2):

$$Q_p = (q^I F_0^I + q^{II} F_0^{II}) \cdot \beta_{с.з.} \qquad (5.2)$$

где qI, qII – тепловые потоки от прямой и рассеянной солнечной радиации, Вт/м2;

FIo, FIIo – площади светового проема, облучаемые и необлучаемые прямой солнечной радиацией, м3;

βс.з. – коэффициент теплопропускания.

βс.з. = 0.15

При отсутствии наружных затеняющих козырьков, ребер и т. д. для периода облучения остекления солнцем, когда его лучи проникают через окно в помещение FIo=Fo; FIIo=0, (3) [1]:

$$Q_p = q^I F_0 \cdot \beta_{с.з.} = (q_{вп} + q_{вр}) \cdot K_1^c \cdot K_2 \cdot \beta_{с.з.} \cdot n \cdot S_o, \quad Вт \tag{5.3}$$

где qвп; qвр – тепловые потоки от прямой рассеянной радиации, Вт/м2. По таблице 5.2 для Юга, после полудня в 12-13 ч. при расположении З:

Таблица 5.2 Поверхностная плотность теплового потока (прямой и рассеянной) солнечной радиации в июле, Вт/м2

Географическая широта, градус	Часы до полудня	Ориентация вертикального светового проема								Часы после полудня
44	5-6	С	СВ	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З	СЗ	18-19
		84 42	222 53	292 58	72 40	— 23	— 22	— 22	— 23	
	6-7	42 70	369 98	452 112	209 86	— 55	— 44	— 44	— 44	17-18
	7-8	— 77	357 110	500 130	333 109	— 71	— 55	— 55	— 55	16-17
	8-9	— 71	256 101	490 121	398 108	66 79	— 60	— 59	— 60	15-16
	9-10	— 64	84 80	371 100	387 101	162 81	— 63	— 60	— 62	14-15
	10-11	— 60	2 71	193 81	305 86	245 84	— 67	— 60	— 64	13-14
	11-12	— 59	— 67	37 72	214 79	288 85	73 77	— 65	— 65	12-13

qвп = 73 Вт/м2; qвр = 77 Вт/м2;

Fo = nSo = 3·2,5=7,5 м2 – площадь светового проема (n – число окон; So – площадь 1 окна);

K1 – коэффициент затемнения остекления переплетами (KC1 – для облученных проемов). По таблице 5.3:

Таблица 5.3 – Коэффициент (К1) затемнения остекления переплетами

Заполнение светового проема	К1
Остекление в пластиковом переплете: одинарное двойное	 0,8 0,72
Остекление без переплетов: одинарное двойное	 1,0 0,9
Остекление в деревянных переплетах одинарное двойное	 0,65 0,6

КС1= 0.72;

К2 – коэффициент загрязнения остекления. По таблице 5.3:

Таблица 5.4 Коэффициент загрязнения остекления (К2)

Степень загрязнения остекления	К2
Значительное	0,85
Умеренное	0,9
Незначительное	0,95
Чистое стекло	1

К2 = 0.95.

Тогда:

$$Q_р = (73 + 77) \cdot 0.72 \cdot 0.95 \cdot 0.72 \cdot 0.15 \cdot 7{,}5 = 83{,}106 Вт$$

5.2.4 Внутренние тепловые нагрузки

Внутренние нагрузки в жилых, офисных или относящихся к сфере обслуживания помещениях слагаются в основном из тепла:

– выделяемого людьми;

– выделяемого лампами и очсвещением, электробытовыми приборами и т. д.;

– выделяемого компьютерами, печатающими устройствами фотокопировальными машинами и прочее.

В производственных и технологических помещениях различного назначения дополнительными источниками выработки тепла могут быть: отапливаемое производственное оборудование, горячие материалы, в том числе жидкости и различные полуфабрикаты, продукты сгорания и химические реакции.

Подвод тепла (теплопоступления) от людей зависит от интенсивности работы и параметров окружающего воздуха. Тепло, выделяемое человеком, состоит из ощутимого (кажущегося), то есть передаваемого в комнатный воздух конвекцией и излучением, и скрытого тепла, расходуемого на испарение влаги с поверхности кожи и из легких.

Летом при 24 0С один мужчина выделяет явного тепла 67 Вт, а общего – 102 Вт. Тогда выделение явного тепла в помещении составит:

$$Q_л^я = 67 * 4 = 268 \text{ Вт.}$$

А выделение общего тепла:

$$Q_л^о = 102 * 4 = 408 \text{ Вт.}$$

Зимой при 200 С один мужчина выделяет явного тепла 82 Вт, а общего – 103 Вт. Тогда выделение явного тепла в помещении составит:

$$Q_з^я = 82 * 4 = 336 \text{ Вт.}$$

А выделение общего тепла:

$$Q_з^о = 103 * 4 = 412 \text{ Вт.}$$

Прибыль тепла от осветительных приборов, оргтехники и оборудования рассчитывается следующим образом. Подвод тепла от ламп определяется по формуле (5.4) [1]:

$$Q_{осв} = \eta \cdot N_{осв} \cdot F_{пол}, \quad Вт \tag{5.4}$$

где η – коэффициент перехода электрической энергии в тепловую (для люминесцентных ламп η=0.5-0.6);

Nосв – установленная мощность ламп (N= 36 Вт/м2);

Fпол – площадь пола: $F_{пол} = 10 * 6 = 60$ м^2.

Тогда:

$Q_{осв} = 0{,}5 * 36 * 60 = 1080$Вт.

Тепло, выделяемое производственным оборудованием, определяется по формуле (5.5) [1]:

$$Q_{об} = N_э * \eta_э \tag{5.5}$$

где NЭ электрическая мощность прибора, Вт;

ηЭ коэффициент, учитывающий долю тепла, поступающего в помещение.

Если прибор находится в помещении без укрытия: ηЭ = 1

Тогда $Q_{об} = (400 * 2 * 1) + (250 * 2 * 1) + (340 * 4 * 1) + (120 * 1 * 1)$ $(50 * 3 * 1) = 2930$ Вт

Приток тепла от офисного оборудования составляет 30% от мощности оборудования:

$$Q_{орг} = 2930 * 0{,}3 = 879 \text{ Вт}$$

5.2.5 Расчет теплового баланса помещения

На основании проведенных расчетов составим баланс прироста тепла в помещении, который рассчитывается по формуле (5.6):

$$Q_{ёçá} = Q_{ð} + Q_{ê}^{ÿ} + Q_{ïñá} + Q_{íá} + Q_{íðá} + Q_{íáð} \tag{5.6}$$

Лето:

$Q_{изб} = 83{,}106 + 268 + 1080 + 2930 + 879 + 388{,}08 = 5628{,}186$ Дж

Зима:

$Q_{изб} = 83{,}106 + 336 + 1080 + 2930 + 879 - 2557{,}8 = 2750{,}306$ Дж

Поскольку тепловой баланс для лета больше, чем зимний тепловой баланс, мы рассчитываем тепловое напряжение воздуха по формуле (5.7):

$$Q_н = \frac{Q_{изблето}*860}{V_{пом}} \quad (5.7)$$

Тогда:

$$Q_н = \frac{5628{,}186 * 860}{210} = 23{,}0487 \text{ ккал/м3}$$

При $Q_н$ > 20 ккал/м3, Δt = 8 °C,

Определение количества воздуха, необходимого для прохождения в помещение, рассчитывается по формуле (5.8):

$$L = \frac{Q_{изб}*860}{C*\Delta t*\gamma} \quad (5.8)$$

Тогда:

$$L = \frac{23.0487*860}{0.24*8*1206} = 8.56 \text{ м3/час}$$

где C=0,24 ккал/(кг°C) – теплоемкость воздуха,

γ=1,206 кг/м3 – удельная масса приточного воздуха.

Определение скорости воздухообмена можно рассчитать по формуле (5.9):

$$N = \frac{L}{V_{пом}} \quad (5.9)$$

Тогда:

$$N = \frac{8.56}{210} = 2{,}65 \text{ час-1}$$

5.3 Выбор кондиционера. Схема расположения

Обеспечение комфортного воздуха в жилых и производственных помещениях зависит от систем аспирации, вентиляции, отопления и кондиционирования воздуха.

После завершения этих расчетов в качестве модели был выбран кондиционер Fujitsu ASY7USBCW с подходящими характеристиками, приведенными в таблице (5.4). Кондиционер с воздушным охлаждением, состоящий из двух блоков: внутреннего блока (самого кондиционера), в котором расположены компрессор, испаритель, вентилятор и автоматика; Наружный блок выносной конденсатор или теплообменник. Воздух поступает

прямо сверху в помещение и втягивается через переднюю панель.

Таблица 5.4 – Основные технические характеристики

Модель	ASY7USBCW/AOY7USNC
Тип	настенная сплит-система
Дополнительные режимы	автоматический режим
Основные режимы	охлаждение/обогрев
Максимальный воздушный поток, м3/час	380
Мощность в режиме охлаждения, Вт	2200
Мощность в режиме обогрева,Вт	2300
Потребляемая мощность при охлаждении, Вт	830
Потребляемая мощность при обогреве, Вт	750
Пульт дистанционного управления	есть
Таймер включения/выключения	есть
Фаза	однофазный
Другие функции и особенности	дезодорирующий фильтр, функция запоминания настроек
Электропитание, В	220
Класс энергоэффективности (охлаждение)	D
Класс энергоэффективности (обогрев)	D
Охлаждение	от +21С до +43С
Нагрев	от -5С до +24С

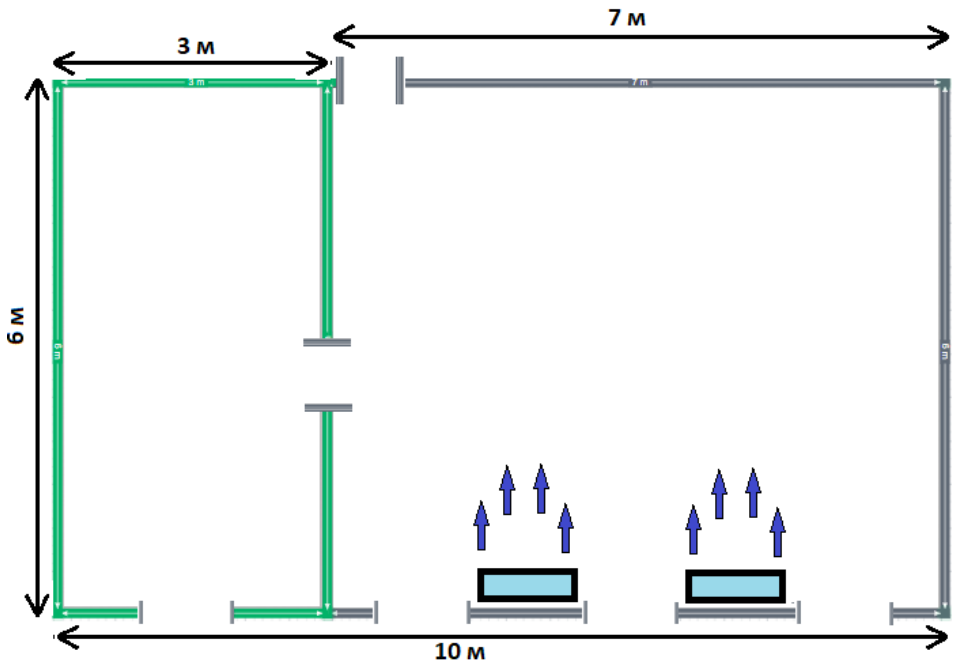

Рисунок 5.1 – Схема расположения кондиционера в производственном помещении

Вывод по разделу: Рассмотрев условия труда и рассчитав вентиляцию в помещени, я пришел к выводу, что в данную метрологическую лабораторию подходит кондиционер с верхней подачей воздуха модели Fujitsu ASY7USBCW (рисунок 38), который будет удовлетворять полученным требованиям по необходимому количеству воздуха. Из расчетов видно, что при достаточно маленьком пространстве и большом количестве человек и оборудования, количество избыточного тепла очень высоко, что предполагает установку достаточно мощной системы кондиционирования.

6 Экономическая часть

6.1 Резюме

Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения экономической эффективности и режимной безопасности функционирования электрических сетей путем улучшения качества электрической энергии. Одним из направлений решения данного вопроса является развитие существующих и разработка новых методов и средств проведения мониторинга показателей качества электрической энергии, что позволяет повысить эффективность использования энергоресурсов.

Требования к контролю КЭ подразумевают в первую очередь контроль параметров напряжения, в соответствии с законодательством РК, включая сбор статистики и выдачу отчетов.

В последние 15 лет происходит изменение характера нагрузки электросетей. Повсеместное внедрение инверторов (компьютеры, бытовая электроника, производственное оборудование), внедрение частотных преобразователей, электронных регуляторов скорости двигателей, регулируемого освещения (диммеров), использование электронных балластов ведет к резкому увеличению высших гармоник тока в электросети. Мощность гармоник, выбрасываемых нагрузкой в электросеть, в ближайшие годы будет только возрастать.

Если контроль и проводится, то только формальный, без применения каких-либо мер по приведению показателей качества электрической энергии к уровню, определенному Государственным стандартом.

Это приводит к необоснованным экономическим потерям многих потребителей электроэнергии, что является следствием снижения эффективности использования промышленного и бытового электрооборудования, выхода его из строя.

В связи с этим, возникает необходимость комплексного контроля КЭ.

В данном проекте был разработан анализатор несимметрии напряжения в электрических сетях

Все этапы разработки были выполнены одним человеком с использованием сторонней помощи.

В условиях сегодняшнего рынка, крайне необходимо, чтобы расходы, вложенные в исследование продукта, окупили себя. В этой главе производится организационно–экономический вычисление коммерческой цены разработки анализатора. Расчеты учитывают расходы на исследование и введение, расходы до внедрения и после, экономию расходов.

Разрабатывая новый продукт, необходимо правильно рассчитать проектную стоимость, которая напрямую зависит от сроков его исполнения.

Разработка проектов программных средств связана со значительными затратами ресурсов (трудовых, материальных, финансовых).

В связи с этим создание и реализация каждого проекта программного обеспечения нуждается в соответствующем технико-экономическом обосновании

Для того, чтобы определить трудоемкость разработки программного проекта, необходимо составить список всех основных этапов и видов работ, которые должны быть выполнены. Определение трудоемкости (затрат времени) на разработку ПП вызывает такие же трудности, что и нормирование любого творческого труда, содержащего технические (рутинные) элементы. Творческие элементы труда программистов практически не нормируются, они могут быть определены либо на основе экспертных оценок опытных программистов, либо жестко заданными сроками разработки, в которые программист обязан найти решение. Определение затрат на разработку ПП производится путем составления соответствующей сметы, которая включает следующие статьи: материальные затраты, затраты на оплату труда, социальный налог, амортизация основных фондов, прочие затраты. Прямые материальные затраты включают в себя фактическую себестоимость основных материалов, израсходованных на производство.

Первичными документами для составления «сметы затрат» являются: план проведения работ по модернизации и реконструкции – график основных этапов и содержание работ, смета на приобретение оборудования для проведения работы, смета на приобретение основных и вспомогательных материалов, смета на покупку комплектующих изделий, расчет затрат на потребляемую электроэнергию, а также определение суммы амортизационных отчислений, используемых оборудования и приборов.

6.2 Трудоемкость продукта

Основными задачами планирования работ являются:

– определение объема предстоящих работ;

– взаимная увязка работы и установление рациональной последовательности предстоящих работ;

– установление сроков выполнения работ.

Работы по планированию сводятся к составлению перечня работ, определению их трудоемкости, расчету длительности цикла работ, обоснования сметы затрат на проведение работ.

Полный перечень работ с разделением их по этапам выполнения проекта следует оформить в виде таблицы, фрагмент которой показан в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Распределение работ по этапам и видам и оценка их трудоемкости.

Этапы разработки ПП	Вид работы на данном этапе	Трудоемкость разработки ПП	
		Чел. х час	Час х день
Анализ требований	Формирование цели и задач проекта, выделение базовых сущностей и взаимосвязей между ними	1 х 16	8 х 2
Анализ рынка	Анализ подобных проектов и выявление заинтересованности в данном продукте	1 х 16	8 х 2
Проектирование	Получение технических заданий, назначение требований к анализатору несимметрии, оценка и подбор оборудования	1 х 24	8 х 3
Реализация	Экспериментирование и анализ, строение прототипов, как целой системы, так и ее частей	1 х 48	8 х 6
Тестирование продукта	Тестирование и дополнение в системе	1 х 32	8 х 5
Подготовка инструкции	Подготовка полной инструкции для работы с прибором	1 х 8	8 х 1
Внедрение и поддержка	Обучение сотрудников, исправление выявленных ошибок.	1 х 32	8 х 5
Итого трудоемкость выполненной работы		1 х 176	8 х 22

6.3 Затрат на разработку анализатора

Для затрат на разработку ПП нужно составить смету, которая включает следующие статьи:

– материальные затраты;
– затраты на оплату труда;
– социальный налог;
– амортизация основных фондов;
– прочие затраты.

6.4 Материальные затраты

Затраты на основные и вспомогательные материалы относятся к материальным затратам. Расчет затрат на материальные ресурсы и стоимость оборудования производятся по форме, приведенной в Таблице6.2 – 6.3

Таблица 6.2 – Стоимость оборудования и ПО

№	Наименование	Описание	Цена за ед., тг	Сумма, тг
1	Моноблок	«21.5» HP 22-C0085UR	153 590	614 360
2	Операционная система	Microsoft Windows 7 Professional DVD 32/64-bit Russian Only Kazakhstan (License) OEM	10 400	41 600
3	Антивирус	ESET NOD32 Cyber Security Pro	9 990	9 990
4	Трансформатор тока	TDM Ящик ЯТП-0,25 220/42-2авт IP54	13 200	26 400
5	Трансформатор напряжения	Понижающий и повышающий трансформатор на 220v/110 v и 110v/220v ST-500VA	19 530	39 060
6	Осциллограф	Цифровой осциллограф UTD2052CL 50 МГц UNI-T	125 000	125 000
7	Блок питания	Лабораторный блок питания Haitronic HPS305D	14 590	43 770
8	Мультиметр	Мультиметр цифровой ЗУБР 59804, MX-804, МАСТЕР	4 730	18 920
9	Металлический архивный шкаф	Шкаф ШАМ-12 (1860x425x500мм)	38 000	152 000
10	Стол компьютерный	Длина, мм: 850; глубина, мм: 400; высота, мм: 750	25 000	100 000
11	Стул		10 000	40 000
12	Стеллаж	высотой 2 м. ширина 1 м. глубина 30 см. 4 полки	19 000	38 000
13	Стол лабораторный	Стол без тумб ЛАБ-ОМ-09) Длина, мм: 3100; глубина, мм: 550; высота, мм: 750	43 000	43 000
				1 292 100

Затраты на транспортировку составляют 5-10% стоимости используемого оборудования:

$$З_{тр} = С_{об} \times 0{,}06. \quad (6.3)$$

Затраты, которые уходят непосредственно на монтаж, в среднем составляют 4 – 6 % от стоимости используемого оборудования:

$$З_м = С_{об} \times 0{,}04\,. \qquad (6.4)$$

Сумма, необходимая для монтажа и для транспортировки, рассчитывается согласно формуле (6.4) и (6.3)

$$З_м = 1\,292\,100 \times 0{,}04 = 51\,684 \text{ тг},$$
$$З_{тр} = 1\,292\,100 \times 0{,}05 = 64\,605 \text{ тг}.$$

Стоит отдельно посчитать затраты на сборку 1 единицы продукта. Все затраты на сборку указы в таблице 6.3.

Таблица 6.2 – Стоимость оборудования для сборки единицы продукта

№	Наименование	Описание	Цена за ед., тг	Сумма, тг
1	Преобразователь напряжения Optim, 24/12В, 3 А	Преобразователь напряжения	11 200	11 200
2	ADS1115 модуль АЦП 4 канала	Блок АЦП	1 300	1 300
3	DSPIC30F5011-30I/PT	Процессор	1 230	1 230
4	AMP-X286	Встраиваемый блок питания	3 490	3 490
5	ЖК-дисплей 1602	Дисплей	830	830
6	Оперативная память	Запоминающее устройство	1 200	1 200
7	Радиомодуль	Блок связи с ПК	940	940
8	Мелкая электроника	Контакты, кабеля и т. д.	1 000	1 000
9	Прогрманое обеспечение		-	-
10	Корпус	На заказ	2000	2000
Итого				22 020

Учитывая затраты на транспортировку и монтаж, общая сумма капиталовложений на оборудование рассчитывается по формуле:

$$К_{об} = С_{об} + З_{тр} + З_м + З_{пр} \qquad (6.5)$$
$$К_{об} = 1\,292\,100 + 51\,684 + 64\,605 + 22\,020 = 1\,430\,409 \text{ тг}.$$

Но также стоит учесть, что при сборке каждой новой модели в будущем, затраты не будут прежними, так как оборудование включенное в стоимость в общую сумму капиталовложений не будет учитываться.

Эта глава включает затраты на технологические нужды, которые приведены в Таблице 6.4. Общая сумма затрат рассчитывается по формуле (6.6).

$$З_э = \sum_{i=1}^{n} М_i * K_i * T_i * Ц\,, \qquad (6.6)$$

С 1 января 2019 года цена на электроэнергию по тарифу ТОО «АлматыЭнергоСбыт» составляет 16.9 тенге за 1 кВт*час без НДС

Таблица 6.4 – Затраты на технологические нужды

Наименование оборудования	Паспортная мощность, кВт	Коэффициент использова-ния мощности	Время работы оборудования для разработки ПП, ч	Цена Электроэнер-гии тг/кВт*ч	Сумма, тг
Ноутбук	0.3	0,7	192	15,90 16.90	641,088
Моноблок	0.34	0.7	192		726.56
Трансформатор тока	0.25	0.5	100		198.75
Трансформатор напряжения	0.4	0.5	100		318
Осциллограф	0.12	0.4	81		61.82
Блок питания	0.05	0.5	64		26.44
Мультиметр	автономен				
Кондиционер	0.75	0.7	64		534.24
Итого затраты на электроэнергию					1864.81

6.5 Затраты на оплату труда

Эта статья затрат учитывает выплаты по заработной плате за выполненную работу, исчисленные на основании тарифных ставок и должностных окладов в соответствии с принятой в организации – разработчике системой оплаты труда. Затраты на оплату труда рассчитывают по форме, приведенной в таблице 6.6.

Общая сумма затрат на оплату труда рассчитывается по формуле (6.7).

$$З_{тр} = \sum_{i=1}^{n} ЧС_i * T_i, \quad (6.7)$$

Почасовая заработная плата будет = 700 тг

Ежедневная заработная плата будет равна:

$$З_{дн} = З_ч * 8ч = 700*8 = 5\ 600 \text{ тг}$$

Таблица 6.5 – Затраты на оплату труда

Категория работника	Трудоемкость разработки, чел. х ч	Часовая ставка, тг/ч	Сумма, тг
Разработчик	1 х 176	700	123 200
ИТОГО затрат на оплату труда			123 200

6.6 Социальный налог

Отчисления на социальные нужды учитывает 9,5 % от затрат на оплату труда всех работников, однако пенсионные отчисления (10% от Зтр) не облагаются социальным налогом.

Обязательные пенсионные отчисления составят:

ОПВ = 123 200 * 10% = 12 320 (тенге).

Отсюда, сумма социального налога составит:

СН = (123 200 – 12 320) * 9,5% = 10 533,6 (тенге).

6.7 Амортизация основных фондов

По статье «Амортизация основных фондов» рассчитываются амортизационные отчисления, исходя из стоимости основных средств, используемых в процессе разработки продукта, сроков эксплуатации оборудования и годовой нормы амортизации.

Амортизация отчисления определяются согласно данным таблицы. Сумма амортизационных отчислений вычисляется по формуле (6.8).

$$\mathrm{P_м} = \frac{\mathrm{C_{обор}} \times \mathrm{H_а} \times N}{100 \times 12 \times \mathrm{t}}, \qquad (6.8)$$

где $\mathrm{H_а}$ – норма амортизации (25%);
$\mathrm{C_{обор}}$ – первоначальная стоимость оборудования (тенге);
N – время использования оборудования (дней);
t – количество рабочих дней в месяце.

Тогда:

$$\mathrm{P_{ам}} = \frac{1\,292\,100 \times 0{,}25 \times 22}{12 \times 22} = 26\,918.75 \text{ тг}$$

6.8 Прочие затраты

Статья «Прочие затраты» представляет собой расходы за аренду помещения, коммунальные услуги, затраты на электроэнергию и другие хозяйственные и организационные расходы.

Арендная плата за 1 кв.м. площади определяется:

$$А_п = С \times S \times К1 \times К2 \times К3 \times К4 \times К5 \times К6;$$

где $А_п$ – ставка арендной платы за пользование помещением;

С – базовая ставка арендной платы за имущественный наем 1 кв.м. – 1,5 МРП;

S – арендная площадь, квадратный метр;

Все коэффициенты узнаем из Приложения 1.

К1 = 1,0;

К2 = 1,0;

К3 = 0,7;

К4 = 1,0;

К5 = 0,9;

К6 = 1,0.

Тогда:

$А_п$ = 1,5 x 2525 x 60 x 1 x 1 x 0.7 x 1 x 0.9 x 1 = 143 167 тг

Расходы на электроэнергию представлены в таблице 6.

Эта глава включает затраты на технологические нужды, которые приведены в Таблице 6.. Общая сумма затрат рассчитывается по формуле (6.).

$$З_э = \sum_{i=1}^{n} М_i * K_i * T_i * Ц, \quad (6.9)$$

С 1 января 2019 года цена на электроэнергию по тарифу ТОО «АлматыЭнергоСбыт» составляет 16.9 тенге за 1 кВт*час без НДС

Таблица 6.6 – Затраты на электроэнергию

Наименование оборудования	Паспортная мощность, кВт	Коэффициент использования мощности	Время работы оборудования для разработки ПП, ч	Цена Электроэнергии тг/кВт*ч	Сумма, тг
Ноутбук	0.3	0,7	192	15,90	641,088
Моноблок	0.34	0.7	192		726.56
Трансформатор тока	0.25	0.5	100		198.75
Трансформатор напряжения	0.4	0.5	100		318
Осциллограф	0.12	0.4	81		61.82
Блок питания	0.05	0.5	64		26.44
Мультиметр	автономен				
Кондиционер	0.75	0.7	64		534.24
Освещение	0.9	0.7	192		1923.26
Итого затраты на электроэнергию					3788.07

Арендная плата за месяц составляет 143 167 тенге. Расходы за электроэнергию 3 788.07 тенге в месяц. Итого по прочим затратам сумма составляет 146 956.07 тенге.

6.9 Смета затрат на разработку анализатора

Рассчитав все возможные затраты, связанные с созданием продукта обеспечения, опираясь на расчеты, полученные в пунктах 4 – 8 составил смету общих затрат и отразила ее в Таблице 6.6.

Таблица 6.7 – Смета затрат на разработку ПП

Статья затрат	Сумма, тг
Оплата труда	123 200
Затраты на ед. продукта	22 020
Социальный налог	10 533.6
Амортизация основных фондов	26 918.75
Прочие затраты	146 956.07
ИТОГО по смете	329 627.42

6.10 Определение предположительной (договорной) цены прибора

Величина возможной (договорной) цены продукта устанавливается на основе эффективности, качества и сроков её выполнения на уровне, отвечающим экономическим интересам заказчика (потребителя) и исполнителя и вычисляется по формуле (6.5).

$$Ц_д = З_{нир}\left(1 + \frac{Р}{100}\right), \quad (6.10)$$

Р–средний уровень рентабельности продукта принимается в размере 20%.

$$Ц_д = 329\ 627.42 * (1+0,2) = 395\ 552.9 \text{ (тенге)}.$$

Далее определяется цена реализации с учетом налога на добавленную стоимость (НДС), ставка (НДС) устанавливается законодательно. Налоговым Кодексом РК на 2019 год ставка НДС установлена в размере 12%.

Цена реализации с учетом НДС рассчитывается по формуле (6.6):

$$Цр = Цд + Цд * НДС \quad (6.11)$$

$$Ц_р = 395\ 552.9 + 395\ 552.9 * 0,12 = 443\ 019.25 \text{ (тенге)}.$$

Рассчитанная возможная цена продукта составит 443 019.25 тенге.

Вывод по разделу: сделав полный и тщательный анализ вышеприведенных вычислений, можно прийти к тому, что реализация анализатора несинмметрии с экономической точки зрения, который был разработан в данной работе, принесет экономический эффект.

В последние годы потребность в контроле качества электроэнергии возникает все больше, не только в крупных производственных предприятиях, но также и в других сферах. И к одним из основных факторов качества электроэнергии является несимметрия напряжения, иными словами влияние гармоник на качество электроэнергии.

6. 11 Экономический эффект

Анализатор несимметрии – узкоспециалезировнанный прибор, который направлен на измерение гармониканпряжения в любой электрической цепи. Он имеет несколько аналогов, которые могут снимать и другие показатели качества электроэнергии, но они очень дорогостоящие. Проведя анализ цен приборов контроля показателей КЭ, я определил, что цены варьируются от 700 000 тг до 2 500 000 тг. Следовательно можно сделать вывод что это довольно дорогостоющее оборудование.

Также не маловажным плюсом данного прибора является то что, он направлен на контроль гармоник напряжения (несимметрии в цепи). И это очень важно, так как одна из наиболее частых проблем на крупных предприятиях это гармоники, которые могут вызвать в цепи колебания всевозможных частот, вплоть до наивысших, которые в значительной степени могут повысить амплитуду напряжения, то есть вызвать перенапряжение в цепи. Перенапряжение в цепи в свою очередь может привести к плачевным последствиям.

Следовательно, для любых предприятий, в частности производственных необходим контроль гармоник напряжения в цепи.

Созданный продукт может оказать положительный экономичсекий эффект, так как при расчете договорной цены, ясно, что он гораздо дешевле аналогов. Также будет иметь спрос, в силу своей функциональности и узкоспециализированности.

И при расчете на то, что будем продавать по 8 шт в месяц, можно рассчитать экономический эффект по формуле 6.12.

$$ЭΔ = Р – З \qquad (6.12)$$

где Р – реализация, З – затраты на реализацию

А экономическая эффективность рассчитывается по формуле 6.13.

$$Э = \frac{ЭΔ}{З} \qquad (6.13)$$

Тогда

З = 22020*8 + 123 200*4 + 10533.6*4 + 26918.75 + 143 167+3 788.07 *8 =
= 911 484.71 тг (Все затраты на реализацию 8-ми анализаторов, с учетом зарплат четырех сотрудников)

Р = 443 019.25 * 8 = 3 544 154 тг

ЭΔ = 3 544 154 – 911 484.71 = 2 632 669.29 тг

$$Э = \frac{2\ 632\ 669.29}{911\ 484.71} = 2.88$$

Отсюда можно сделать вывод, что наш продукт будет более чем успешен с коммерческой точки зрения.

Заключение

В результате выполнения работы было определено, что в сети низкого напряжения может возникать как неслучайная несимметрия, так и вероятностная. Первая вызвана большим количеством нерационально распределенных несимметричных нагрузок, вторая – нелинейных нагрузок. В целом этими нагрузками могут выступать коммунально-бытовые нагрузки, а также оборудование на предприятиях, симметричное исполнение которых невозможно или экономически нецелесообразно.

Также было выявлено, что несимметрия отрицательно влияет на работу асинхронных двигателей, трансформаторов, конденсаторных батарей, выпрямителей и линии электропередачи. Это влияние сводится к дополнительным нагревам и уменьшению производительности, что является причиной уменьшения эффективности работы и сокращения срока эксплуатации оборудования.

Рассмотрев причины возникновения и влияние несимметрии был проведен анализ методов её компенсации при котором было выявлено, что для устранения неслучайной симметрии достаточно рационального распределения нагрузок на стадии проектирования. Для устранение вероятностной составляющей несимметрии целесообразным можно считать использование трансформаторов, имеющих схему соединения «звезда-зигзаг с нулем», но так как большая часть используемых трансформаторов имеет схему соединения «звезда-звезда с нулем», то в данном случае необходимо предусмотреть установку СУ в нулевом проводе.

В месте с тем так же эффективно применение шунто-симметрирующих устройств с малым сопротивлением токам нулевой последовательности, однако их использование при динамической нагрузке сопряжена с дополнительными потерями в самом устройстве. Данное явление связано с тем, что устройства рассчитываются исходя из максимального уровня несимметрии, которая не всегда имеет место. Избежание дополнительных потерь возможно путем применения автоматически регулируемых ШСУ.

В Экономическом разделе проведен анализ экономической эффективности, при этом детально рассмотрено технико-экономическое обоснование НТИ, посредством которого выявлено, что сильные стороны работы преобладают над слабыми сторонами и угрозами реализации, что делает данное НТИ весьма актуальным. Также был рассмотрен план выполнения работы, произведена оценка трудоемкости, определена оценка уровня исследовательской работы, которая имеет сравнительно высокую значимость теоретического и практического уровня, при этом может использоваться на всех предприятиях энергетической отрасли.

В разделе «Безопасность жизнедеятельности» представлена оценка условий труда, анализ вредных и опасных факторов, рассмотрены мероприятия и средства защиты от этих факторов, пожарная безопасность, а также правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.

Список литературы

1 Б.С.Байкенов. Дипломное проектирование. Методические указания для студентов специальности 5В071600 – «Приборостроение». – Алматы: АУЭС, 2015. – 25 с

2 Akagi, H. Active harmonic filters. Proceedings of the IEEE. Vol. 93, 2005, No. 12, pp. 2128-2141.

3 Depenbrock, M. The FBD-method, a generally applicable tool for analyzing power relations. IEEE transactions on power systems. Vol. 8, No 2, 1993, pp. 381 – 387.

4 Аррилага, Дж Гармоники в электрических системах / Дж Аррилага, Д. Брэдли, П. Боджер.: пер. с англ. – Москва: Энергоатомиздат, 1990 г. – 330 с.

5 Karimi, H. An adaptive filter for synchronous extraction of harmonics and distortions. IEEE transactions on power delivery / H.Karimi, M.Karimi Ghartemani, M. Iravani, Vol. 18, No 4, 2003, pp. 1350-1355.

6 Ахроменко В.И., Щербак А.Н. О результатах контроля и путях повышения качества электроэнергии в распределительных сетях Московской области // Электроснабжение.– 2003.–№1 – С. 60–63.

7 Валов В.М., Мире А., Штаде Д. Простая математическая модель для определения высших гармоник тока сети, питающей шестифазные выпрямительные установки в промышленных системах электроснабжения // Пром. энергетика. – 1988. – №2. – С. 30–33.

8 Веников В.А., Либкинд М.С., Константинов Б.А. Народно-хозяйственное значение повышения качества электроэнергии // Электричество.– 1974. – № 11.– С. 1–28. 11.

9 Геддей Д.К., Смит Д.С., Райт Р.О. и др. Контроль гармонических искажений в электрических сетях Австралии // Влияние электроустановок высокого напряжения на окружающую среду. – Пер. докл. Междунар. конф. по большим электрическим системам (СИГРЭ-86) / Под ред. Ю.П. Шкарина. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – С. 51–59.

10 Гераскин О.Т., Черепанов В.В. Методы расчета несинусоидальных и несимметричных режимов сложных систем электроснабжения промышленных предприятий // Исследование качества электрической энергии в сложных электрических системах: Сб. науч. тр. – Братск: БрИИ, 1990. – С. 56–62.

11 Карташев И.И., Пономаренко И.С. Определение виновника искажений напряжения путем приборного контроля качества электроэнергии // Збірник праць. IV Міжнародноі наковоі конференціі "Ефективність та якість електропостачання промисових підприемств". –, Украіна (Маріуполь), 24–26 травня 2000.– С. 337–340.

12 Смирнов С.С. Метод оценки вклада мощной искажающей нагрузки в коэффициенты высших гармоник напряжения сети высокого напряжения // Электричество. –2008. –№. 8.– С. 28–36

13 ГОСТ 13109-97 – Электрическая энергия. Совместимость

технических средств. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

14 Методики применения прибора «Энергомонитор 3.3 Т1», Санкт-Петербург, 2009 г., 30 с.

15 Приборы для измерений электроэнергетических величин и показателей качества электрической энергии Редакция 11, 2016г., 120 с.

16 Гармонический анализ и синтез периодических сигналов: Описание к лабораторной работе / Сост. С.Н. Жуков, И.Я. Королев Н. Новгород: ННГУ, 2005 10 с.

17 Трэвис Дж., Кринг Дж. LabVIEW для всех. 4-е издание, перераб. и доп. М.: ДМК Пресс, 2011. 904 с.

18 Оценка использования сертифицированных регистраторов показателей качества электроэнергии / И. С. Шиханов, А. С. Карпов, В. В. Ярошевич, Г. П. Фастий, Е. А. Токарева // Труды Кольского научного центра РАН. Энергетика. 2015. Вып. 11. С. 55-67.

19 Магда Ю. С. LabVIEW: практический курс для инженеров и разработчиков. М.: ДМК Пресс, 2012. 208 с.

20 Анализ влияния несимметричных режимов и гармонических составляющих тока нагрузки на условия работы гидрогенераторов ГЭС-3 каскада Нивских ГЭС. Электрофизические проблемы надежности эксплуатации высоковольтных сетей / Ю. М. Невретдинов, А. В. Карпов, И. Е. Кабеев, А. В. Бурцев. Апатиты: КНЦ РАН, 2006. 96 с.

21 Pradhan; Oevdutt; Lakshmi Lakshminarayanan and Vineeth PatiI. "A LabVIEW Based power Analyzer."

22 Saiteja; S.; Vinodkumar; O.V.V.S.; Srikanth; T.; & Bhaskar Rao; Y. Labview Based Harmonic Analyser.

23 Проекты с использованием контроллера Arduino. – СПб.: БХВ-Петербург, 2014. – 400 с.: ил. – (Электроника).

24 Петин В.А. Проекты с использованием контроллера Arduino – Спб., БХВПетербург, 2016. – 460 с.

25 Омельченко Е.Я., Танич В.О., Маклаков А.Н. Краткий обзор и перспективы применения микропроцессорной платформы Arduino // Электротехнические системы и комплексы: междунар. сб. науч. тр. / под ред. Г.П. Корнилова, Е.А. Пановой. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им Г.И. Носова, 2013. Вып. 21. С. 28-33.