

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ЗА СЧЕТ УМЕНЬШЕНИЯ
НЕСИММЕТРИИ ФАЗНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ**

А. Н. Попов

Алтайский государственный технический университет
им. И.И.Ползунова
e-mail:soh@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрен один из способов повышения качества электроэнергии. Предложенный способ основан на исправлении несимметрии напряжений в трехфазных цеховых сетях. Разрабатывается устройство симметрирования фазных напряжений. Прибор непосредственно включается в цепь перед приемником электроэнергии, устранение несимметрии напряжений производится изменением фазного напряжения сети через вольтодобавочный трансформатор при помощи симисторных ключей. Управление процессом симметрирования осуществляется микропроцессорной системой управления, которая связана с силовой цепью с помощью понижающего трансформатора.

Ключевые слова: несимметрия, качество электроэнергии, трансформатор, симистор.

Электричество является важнейшим сырьем, потребляемым в процессе материального производства. Ее качество существенно влияет на технико-экономические характеристики и надежность работы электрооборудования. Выходящие за установленные допустимые пределы колебания, отклонения и несимметрия напряжений, а так же другие факторы приводят к экономическим потерям из-за неоптимальной работы электроприемников и увеличению брака продукции.

Проводившиеся в Российской Федерации в 2004 году аналитической компанией CNewsAnalytics исследования показали, что среди 500 российских компаний, участвующих в опросе, около 70% из них испытывают проблемы, вызванные низким качеством электроэнергии. При этом в качестве главной причины проблем 17% респондентов указали ненормативные отклонения или колебания напряжения, 10% – перенапряжения, 71% — провал или исчезновение напряжения (включая полное отключение) и лишь 2% - электромагнитные и радиочастотные помехи. Названные причины являются наиболее типичными [1]. Гистограмма, отражающая распределение отклонений показателей качества электроэнергии по частоте их возникновения представлена на рисунке 1.

В условиях материального производства качество электрической энергии существенно влияет на технико-экономические характеристики и надежность работы электрооборудования. Особая роль в ухудшении показателей качества электроэнергии (ПКЭ) принадлежит мощным электроприемникам с резкопеременными режимами энергопотребления. В России и за рубежом ведутся работы в направлении улучшения ПКЭ путем совершенствования существующих, а также создания и внедрения новых технологий и устройств.

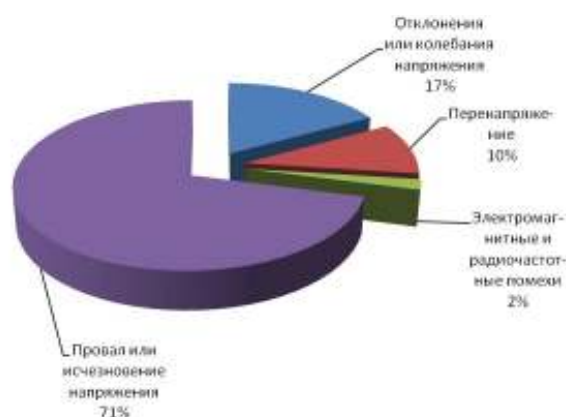


Рисунок 1 – Гистограмма распределения отклонений показателей качества электроэнергии

Несимметрия напряжения в электрических сетях предприятий обусловлена наличием мощных однофазных нагрузок (индукционных плавильных печей, сварочных агрегатов, печей электрошлакового переплава), а также трехфазных, длительно работающих в несимметричном режиме (например, электродуговые сталеплавильные печи). Трехфазная система напряжений может быть несимметричной при питании предприятия от тяговой подстанции переменного тока.

Так, на предприятии НПФ ЗАО «Святозар» в городе Барнауле при производстве изделий из полимерных соединений при помощи термопластавтомата Tianjian PLUTO PL 3600 вследствие несимметрии напряжения в трехфазной сети возникает брак продукции.

Проведенные совместно со службой главного энергетика предприятия исследования показали, что причиной подобного брака являются процессы, происходящие в электромагнитной системе асинхронного двигателя привода станка под влиянием периодически возникающих значительных отклонений фазных напряжений от номинальных значений. Так как ток прямой последовательности в статоре двигателя создает магнитное поле, вращающееся с синхронной частотой в направлении вращения ротора, а при несимметрии токи обратной последовательности в статоре создают магнитное поле, вращающееся относительно ротора с двойной синхронной частотой в направлении, противоположном вращению, в электрической машине возникает тормозной электромагнитный момент. Электродвигатель несколько снижает обороты, при этом шнек термопластавтомата не может создать достаточного давления в цилиндре, а следовательно, в пресс-форму не поступает необходимое количество расплава, что вызывает брак продукции. Сопротивление обратной последовательности электродвигателей примерно равно сопротивлению заторможенного двигателя и, следовательно, в 5–8 раз меньше сопротивления прямой последовательности. Поэтому даже небольшая несимметрия напряжений вызывает значительные токи обратной последовательности. Токи обратной последовательности, накладываясь на токи прямой последовательности, вызывают также дополнительный нагрев статора и ротора (особенно массивных частей ротора), что приводит к ускоренному старению изоляции и, как следствие, уменьшению к.п.д. двигателя. При этом срок службы полностью загруженного асинхронного двигателя, работающего при несимметрии напряжения 4%, сокращается в 2 раза, а при несимметрии напряжения 5% мощность двигателя уменьшается на 5–10%.

Подобная ситуация наблюдается не только в рассмотренном конкретном производственном процессе, но и на любых аналогичных точных производствах, в которых основной движущей силой являются асинхронные двигатели.

Таким образом, существует необходимость в разработке устройства, которое бы устраняло несимметрию и скачки напряжения в сети, не нарушая при этом производственный цикл предприятий. Первым этапом в проектировании устройства симметрирования напряжения явилась разработка его структурной схемы (рисунок 2). Она включает УВ – устройство ввода, обеспечивающее подключение устройства к питающей сети; УСУ – устройство согласования уровней фазных сетевых напряжений в уровни, воспринимаемые блоком УУС; УУС – устройство управления симисторами, в соответствии с логикой восстановления симметрии фазных напряжений, формирующее сигналы, подаваемые на управляющие электроды симисторов, подключенных к обмоткам вольдобавочного трансформатора; СУ – система управления; БП – блок питания, обеспечивающий преобразование одного из фазных напряжений питающей сети в постоянное напряжение, необходимое для питания всех других блоков устройства; БРТ – блок регулируемых трансформаторов; БС – блок симисторов.

Устройство для устранения несимметрии напряжений в трехфазной сети для надлежащего выполнения своих функций должно обладать быстродействующей системой сбора и обработки информации о состоянии напряжения в фазах питающей сети.

Для этого система управления оснащается быстродействующим микроконтроллером (МК).

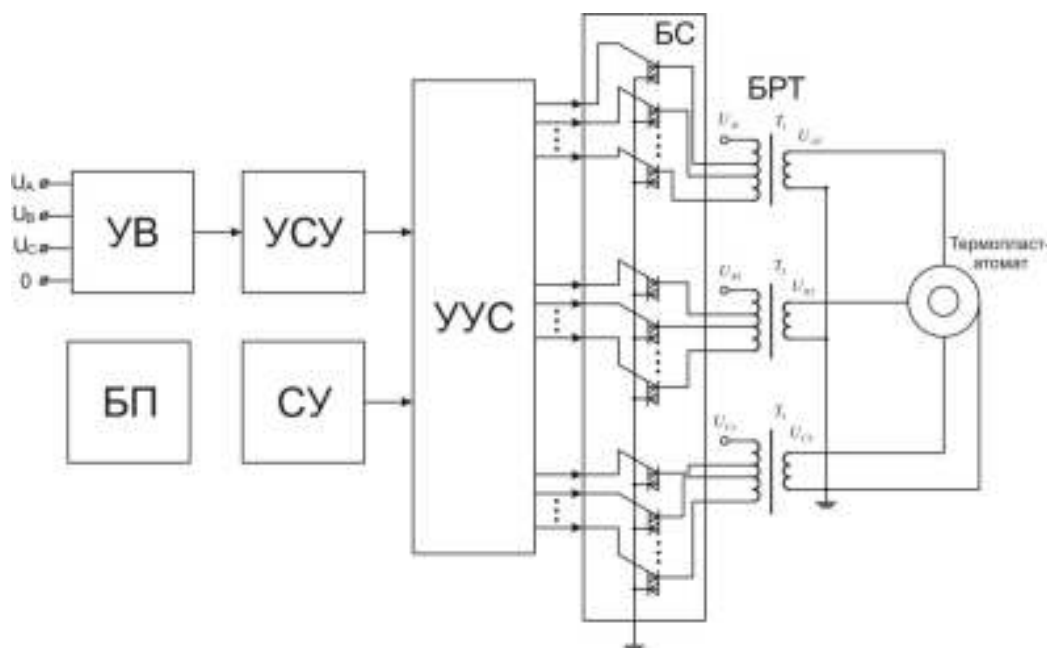


Рисунок 2 – Структурная схема

Основные требования, предъявляемые к МК следующие:

– минимум 4 полноценных 8-ми битных порта ввода/вывода (для обмена цифровой информацией);

- последовательный и параллельный порты (для подключения ПК и сбора статистических данных);
- шина I2C (для удаленного управления режимом работы устройства);
- 8-ми канальный 10-ти разрядный АЦП.

Данным требованиям в полной мере отвечает микроконтроллер марки PIC16F877A фирмы Microchip (рисунок 3).

Для того чтобы записать программу в МК необходима программа-программатор и соответствующая плата-программатор. Для чего нужна плата? Во-первых, для организации интерфейса с портом компьютера, через который код программы поступает в МК. Во-вторых, необходима некоторая логическая схема, которая управляет процессом программирования МК.

Для программирования микроконтроллера была собрана плата-программатор с подключением к персональному компьютеру через COM порт с возможностью присоединения данного микроконтроллера в корпусе DIP-40 (рисунок 4) [2].

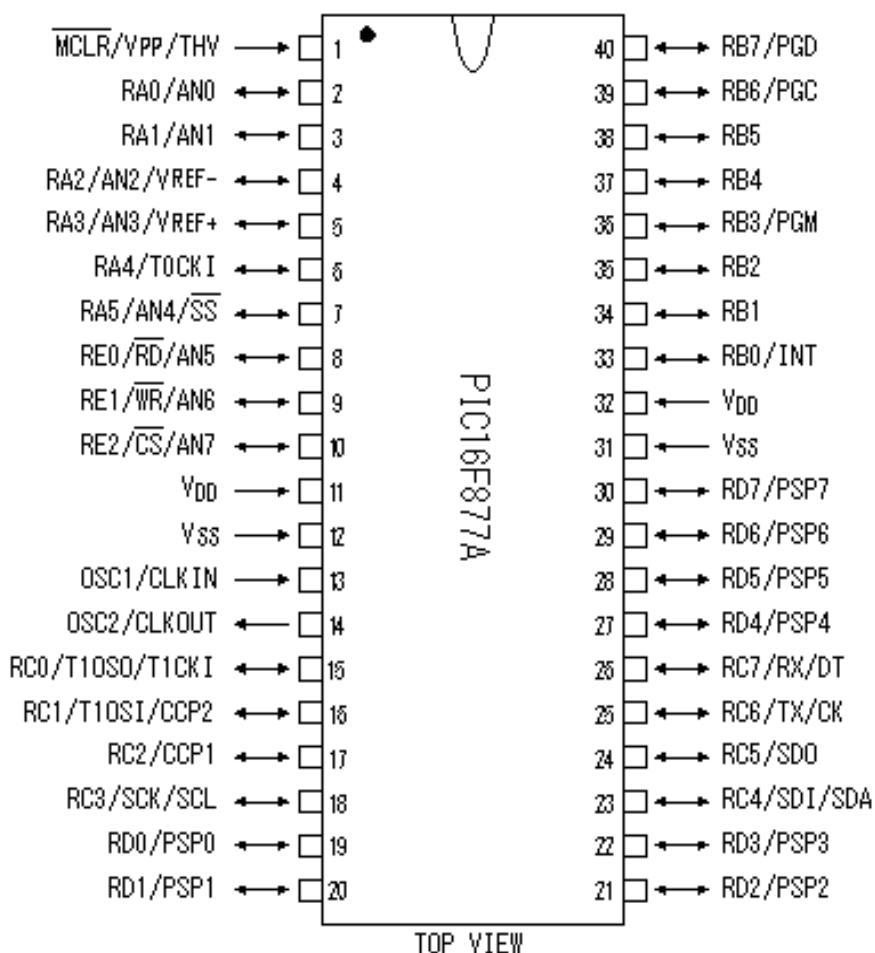


Рисунок 3 – Микроконтроллер PIC16F877A в корпусе DIP-40

Для осуществления проверки платы на работоспособность в программе WinPic были проведены соответствующие тесты, которые, не сразу, но все же увенчались успехом.

Следующим этапом являлась разработка тестовой платы, с помощью которой постепенно, по частям, производилась бы сборка разрабатываемого устройства. Внешний вид тестовой платы представлен на рисунке 5, а схема ее работы по частям рассмотрена ниже.

Фазное напряжение питания электроприемника не может напрямую восприниматься аналого-цифровым преобразователем (АЦП) микропроцессорной системы управления. АЦП микроконтроллера может воспринимать только постоянное напряжение от нуля до пяти вольт. В связи с этим было собрано устройство, преобразующее фазное напряжение в соответствующее постоянное напряжение (рисунок 6).

Переменное напряжение 220 В посредством трансформатора Т1 понижается до 6 В, которое подается на диодный мост VD1. Включенный между трансформатором и диодным мостом подстроечный резистор R1 позволяет довести напряжение до нужного значения и при необходимости регулировать его. Посредством диодного моста сигнал переменного напряжения преобразуется в двухполупериодный сигнал. Далее собрана схема, описанная в литературе как «пиковый детектор». Она формирует на выходе сигнал с напряжением постоянного тока, который соответствует предельной величине амплитуды входного напряжения. Таким образом, выставляя напряжение на переменном резисторе 2,5 В, соответствующее фазному напряжению 220 В, АЦП имеет возможность воспринимать изменение этого фазного напряжения.

В данном устройстве МПСУ должна управлять внешней нагрузкой, т.е. вольтдобавочным трансформатором, при помощи симисторных ключей. Для решения подобной задачи была создана схема управления, преобразующая сигналы стандартных логических уровней в сигналы управления цепями высокой мощности. При выполнении данной схемы была создана гальваническая развязка цепей микроконтроллера и управляемых им цепей 220 В. Без такой развязки эксплуатация подобного устройства была бы слишком небезопасной.

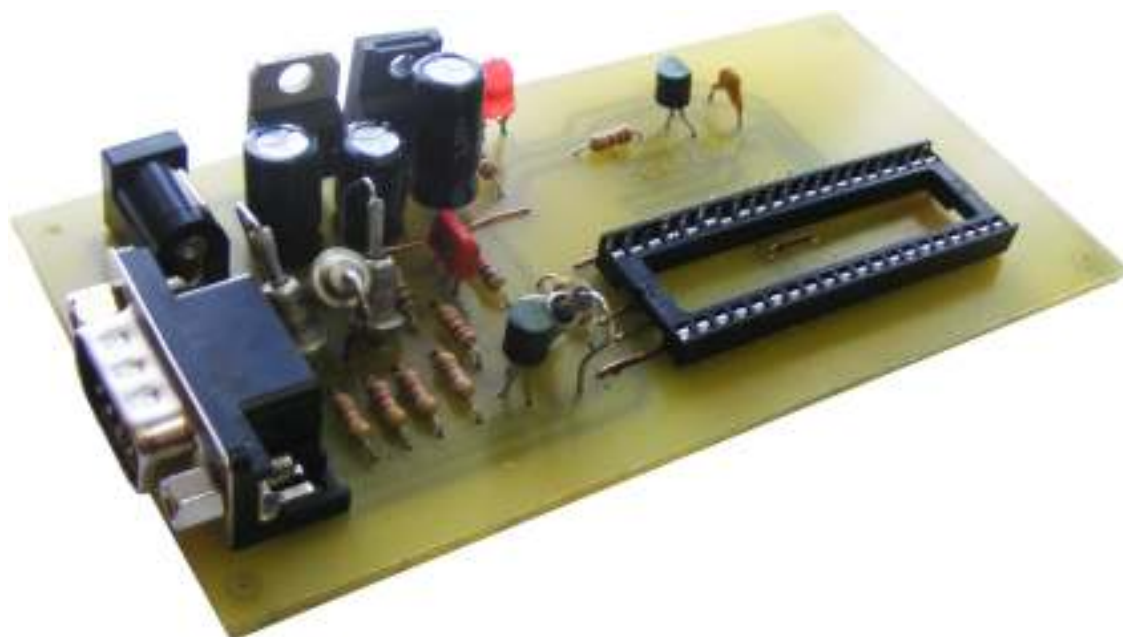


Рисунок 4 – Плата-программатор



Рисунок 5 – Тестовая плата

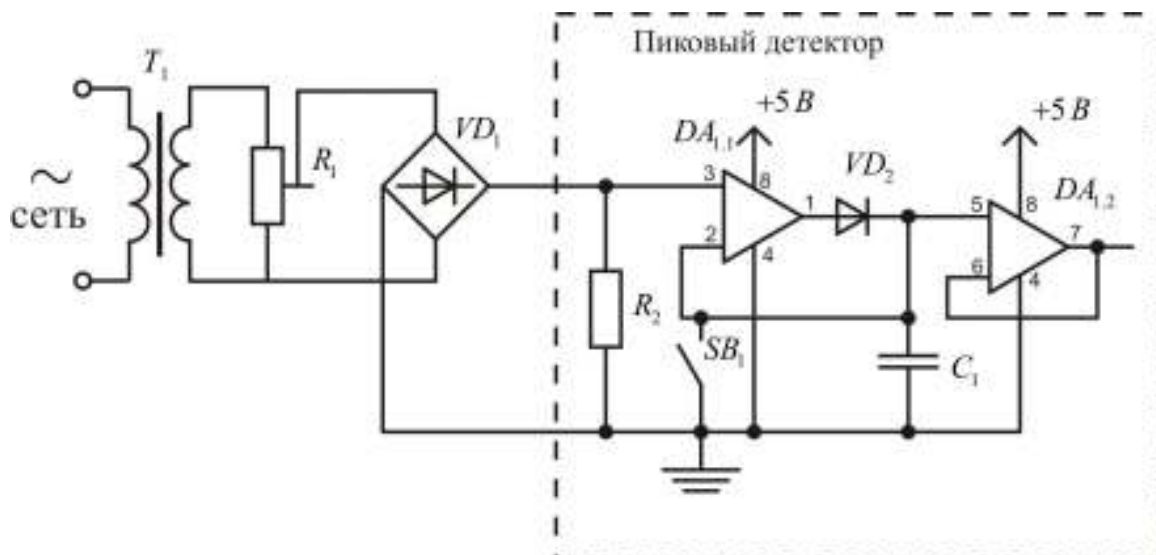


Рисунок 6 – Схема, обеспечивающая преобразование напряжения

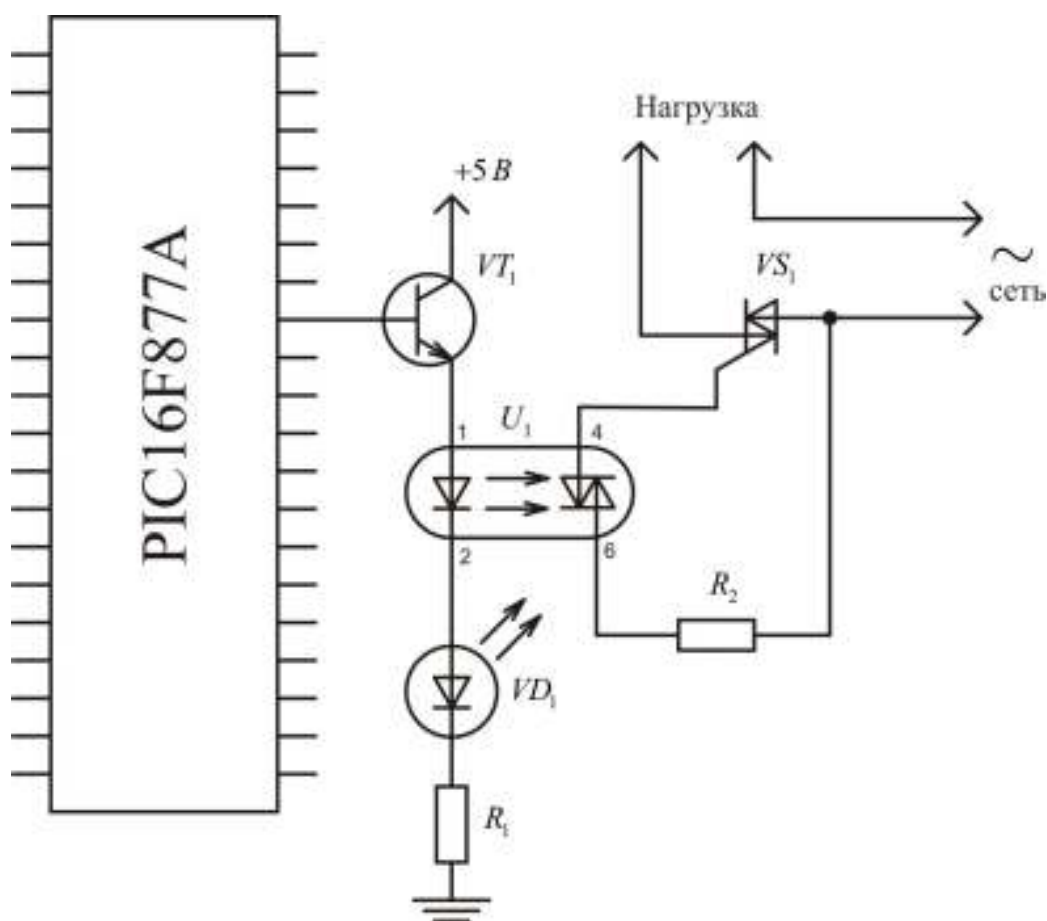


Рисунок 7 – Схема управления мощной нагрузкой

В схеме используется мощный симистор МАС223А6. Этот симистор позволяет коммутировать ток до 20 А. Для гальванической развязки цепей микроконтроллера и силовых цепей нагрузки используется оптодинистор МОС3021. Для того чтобы не создавать лишней нагрузки на выход микроконтроллера для управления светодионом фотодинистора используется ключ на транзисторе КТ315. При отключенной нагрузке от источника питания 220В на выходе микроконтроллера должен быть выставлен логический ноль. При этом ключ VT_1 закрыт, ток через светодиод фотодинистора не течет, и симистор тоже закрыт. Когда нужно включить нагрузку, микроконтроллер устанавливает на своем выходе логическую единицу. Светодиоды обоих фотодинисторов включены последовательно, динисторы же включены встречно-параллельно, при этом один из них работает при положительной полуволне, а второй при отрицательной. При этом цепь между управляющим выводом симистора и источником питания 220 В замыкается, симистор открывается и нагрузка получает питание.

Для осуществления пофазного регулирования напряжений необходим трансформатор с некоторым количеством отпаяк, управляемых симисторными ключами. Оптимальным в этом случае явилось решение принять десять отпаяк трансформатора с шагом регулирования 10 В и десять отпаяк с шагом регулирования в 1 В. Таким образом фазное напряжение можно регулировать в пределах от 170 В до 280 В, при этом регулирование отпайками с шагом в 10 В было решено использовать как в положительную

сторону, так и в отрицательную, а регулирование отпайками с шагом в 1 В- только в положительную.

Расчет трансформатора производился в соответствии с упрощенной методикой, когда исходными начальными данными являлись:

- напряжение первичной обмотки U_1 ;
- напряжение вторичной обмотки U_2 ;
- ток вторичной обмотки I_2 ;
- мощность вторичной обмотки $P_2 = I_2 U_2 = P_{\text{вых}}$.

Так как мощность нагрузки для собираемого опытного образца мала, то и выходная мощность вторичной обмотки вольтдобавочного трансформатора так же невелика.

Расчет трансформатора начинается с выбора магнитопровода, то есть определения его конфигурации и геометрических размеров. Был выбран магнитопровод броневое пластинчатого типа. Размеры магнитопровода выбранной конструкции, необходимые для получения от трансформаторов заданной мощности, были найдены на основании выражения:

$$S_{cm} \cdot S_{ок} = \frac{0,901 \cdot P_{\text{вых}}}{B_{\text{max}} \cdot J \cdot K_{ок} \cdot K_{cm}},$$

где S_{cm} – сечение стали магнитопровода в месте расположения катушки;

$S_{ок}$ – площадь окна в магнитопроводе;

B_{max} – магнитная индукция;

J – плотность тока;

$K_{ок}$ – коэффициент заполнения окна;

K_{cm} – коэффициент заполнения магнитопровода сталью.

Величины электромагнитных нагрузок B_{max} и J зависят от мощности, снимаемой со вторичной обмотки цепи трансформатора, и берутся для расчетов из соответствующих таблиц. Коэффициент заполнения окна $K_{ок}$ для обмоток, выполненных проводом круглого сечения с эмалевой изоляцией так же берется из соответствующей таблицы. Коэффициент заполнения сечения магнитопровода сталью K_{cm} зависит от толщины стали, конструкции магнитопровода и способа изоляции пластин друг от друга. Величина коэффициента K_{cm} для наиболее часто используемой толщины пластин так же находится по соответствующей таблице.

Величина номинального первичной обмотки находится по формуле:

$$I_1 = \frac{P_{\text{вых}}}{U_1 \cdot \eta \cdot \cos \varphi},$$

где величина η и $\cos \varphi$ трансформатора, входящие в выражение, зависят от мощности трансформатора.

Диаметр проводов в каждой обмотке без учета толщины изоляции определяется следующим образом:

$$d = 1,13 \cdot \sqrt{S_{np}},$$

где сечение провода в обмотке $S_{np} = I/J$.

Число витков в обмотках трансформатора определяется по формуле:

$$W_n = 45 \frac{U_n \cdot (1 - \Delta U_n / 100)}{B \cdot S_{cm}},$$

где n – номер обмотки, ΔU – падение напряжения в обмотках, выраженное в процентах от номинального значения.

Таким образом, был собран маломощный трансформатор, способный регулировать напряжение в заданных пределах.

Для осуществления пофазного регулирования требуется большое число отпаяк вольтдобавочного трансформатора. В общем случае каждая отпайка управлялась бы отдельным портом микроконтроллера, но количество портов микроконтроллера ограничено. Для этого используется микросхема КР1533ИДЗ, которая позволяет, используя четыре порта на входе, управлять шестнадцатью портами на выходе. При выполнении микросхемой функции дешифрации четырехразрядного кода, задаваемого на входах D1 - D4, входы С1 и С2 являются стробирующими, и на них должно быть подано напряжение низкого уровня. Если хотя бы на одном из них установлен высокий уровень напряжения, то на всех 16 выходов устройства будет высокий уровень напряжения вне зависимости от состояния входов D1 - D4. При выполнении операции демультимплексирования входы D1 - D4 являются селектирующими, а один из входов С1, С2 играет роль информационного. Соответствующий код на входах D1 - D4 позволяет сигналу от информационного входа проходить к выбранному выходу. Другой из входов С1, С2 используется в качестве стробирующего и на нем должно быть напряжение низкого уровня. При высоком уровне на стробирующем входе все выходы устанавливаются в состояние "1".

Таким образом, на данный момент фактически собрана схема управления для одной из фаз линии, питающей электроприемник, в нашем случае термoplastавтомат Tianjian PLUTO PL 3600. Для оставшихся двух фаз схемы будут аналогичны.

В дальнейшем планируется произвести полную сборку опытного образца симметрирующего устройства, разработать рабочую программу для МК и приступить к его испытаниям.

Применение микропроцессорной системы управления дает практически неограниченные возможности в смысле развития и совершенствования устройства. В сочетании с постоянной возможностью совершенствования программы, при необходимости, собранные статистические данные о показателях качества электроэнергии можно либо выводить на средства отображения, либо отправлять в диспетчерский пункт.

Разрабатываемое устройство можно будет широко применять на промышленных предприятиях. Его простота и в то же время надежность позволят значительно улучшить показатели качества электроэнергии на предприятиях города. Плюсом является и тот факт, что прибор позволяет регулировать несколько показателей качества одновременно, что делает его многофункциональным. Данный прибор можно применять для различного типа электрооборудования, что делает его еще более востребованным на предприятиях.

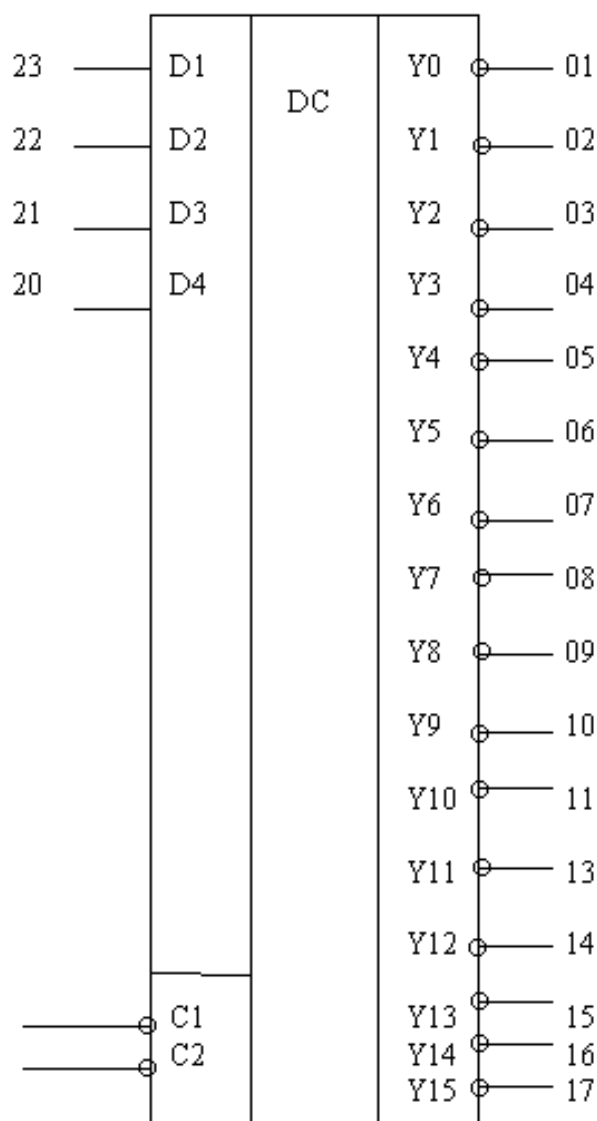


Рисунок 8 – Микросхема КР1533ИД3

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кириенко, В. П. Улучшение качества электроэнергии с помощью трансформаторно-тиристорного модуля с микропроцессорной системой управления при резкопеременном характере энергопотребления в цеховой сети [Текст] / В. П. Кириенко, А. Б. Лоскутов, С. А. Ваганов // Промышленная энергетика. – 2007. – №5. – С. 42–46.
2. Сопряжение компьютеров с внешними устройствами [Электронный ресурс] / Д. В. Иванов. – Электрон.дан. – 2005-2010. – Режим доступа: <http://www.pcports.ru>
3. Граф, Р. Электронные схемы: 1300 примеров [Текст] : пер. с англ. / Р. Граф. – М. : Мир, 1989. – 688 с.
4. Вениаминов, В. Н. Микросхемы и их применение [Текст] : справочное пособие / В. Н. Вениаминов, О. Н. Лебедев, А. И. Мирошниченко. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Радио и связь, 1989. – 240 с.