

**МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ И СТУДЕНТОВ**

24-29 апреля 2009 г.

ЭЛЕКТРОПРИВОД И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 621.313.333

**ЭЛЕКТРОПРИВОД МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА КРАНА С СИСТЕМОЙ ИЗМЕРЕНИЯ
МАССЫ ПОДНИМАЕМОГО ГРУЗА БЕЗ ДАТЧИКОВ УСИЛИЯ**

ПАНКРАТОВ Е. А., КАРЯКИН А. Л.

ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Подъемно-транспортные механизмы получили широкое распространение в промышленности, строительстве и т. д. К этим механизмам относятся мостовые, козловые, башенные, порталные краны, крановые перегружатели, транспортеры и т. д.

По данным Ростехнадзора, наблюдается устойчивый рост травматизма и аварий на грузоподъемных кранах [1]. Сложившаяся неудовлетворительная ситуация с аварийностью и травматизмом при эксплуатации грузоподъемных машин обусловлена, в первую очередь, продолжающимся старением основных фондов предприятий. В настоящее время в России из почти 280 тыс. работающих грузоподъемных кранов более 85 % отработали нормативный срок службы. Обновление фондов производится крайне медленно: при норме 8-10 % ежегодно обновляется не более 1 % кранового парка.

Решение проблемы повышения надежности и безопасности эксплуатации грузоподъемных кранов во многом зависит от решения следующих задач:

- повышения организационно-технической и исполнительской дисциплины эксплуатации кранов;
- точного выполнения всех предписаний по техническому контролю, планово-предупредительным ремонтам и техническому обслуживанию, как по времени и составу этих операций, так и по качеству [2];
- повышения уровня оснащенности грузоподъемных кранов приборами и устройствами безопасности с одновременным повышением их надежности и числа контролируемых параметров.

Из информационного письма от 21.04.2003 г. Головной организации по краностроению в области приборов безопасности НТЦ «Строймашавтоматизация» следует, что около четверти аварий и несчастных случаев происходит по причинам, связанным с приборами и системами безопасности, поэтому вопросам их применения придается большое значение. Перспективным для дальнейшего развития приборов и систем безопасности является расширение их функций с объединением в составе единой системы.

Современные системы измерения массы груза построены на основе датчиков усилия, которые обладают рядом недостатков:

- датчики усилия, предназначенные для установки под опору подшипника грузовой лебедки (применяются только при симметричной навивке двух ветвей каната на барабан), требуют внесения изменений в металлоконструкцию крана, что существенно повышает стоимость оснащения крана ограничителем грузоподъемности;
- датчик усилия роликового типа, легко монтируемый на одном из грузовых канатов крана, как показывает эксплуатация, недостаточно надежен, и его применение зачастую ограничивается конструкцией крана;

– при установке датчика усилия, встраиваемого в ось уравнительных или верхних блоков, зачастую возникают проблемы в установке датчика при расположении блоков под настилом грузовой тележки.

В связи с этим актуальным является совершенствование защиты кранов, расширение их функциональных возможностей с одновременным повышением надежности. На рис. 1 приведены методы измерения массы поднимаемого груза.

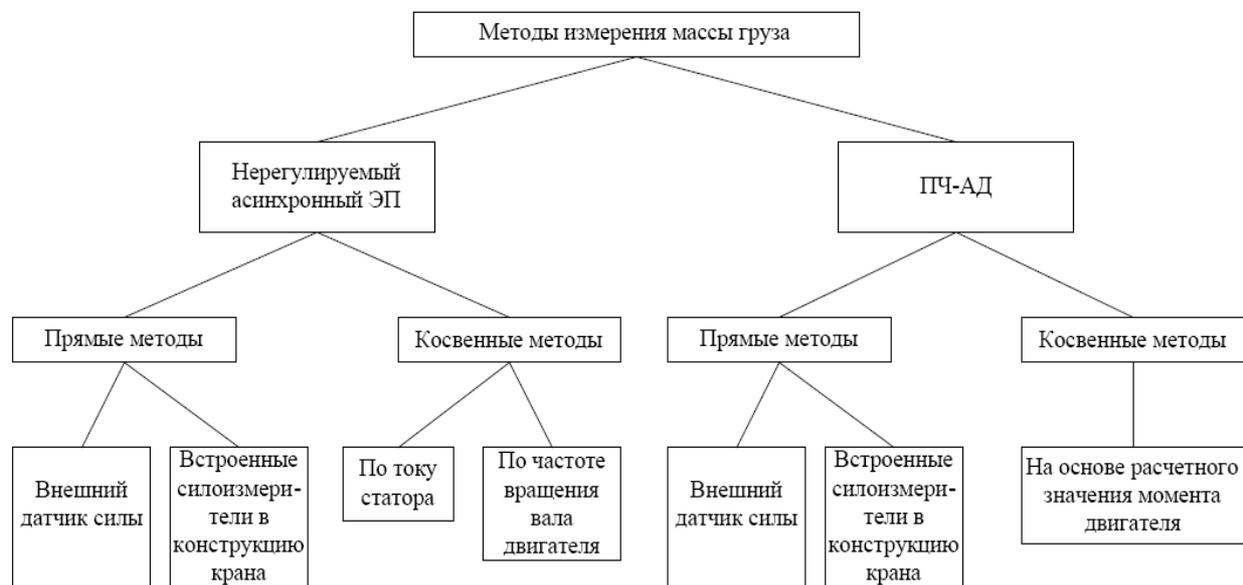


Рис. 1. Методы измерения массы груза на крюке

В настоящее время в подъемно-транспортных механизмах все большее распространение получает электропривод, построенный на основе ПЧ-АД (преобразователь частоты – асинхронный двигатель). Поэтому будем рассматривать электропривод на основе ПЧ-АД.

Для выявления параметров, по которым возможно определить массу поднимаемого груза, необходимо исследовать процесс подъема груза с помощью математических моделей.

При электроприводе с ориентацией системы координат по вектору потокосцепления ротора момент двигателя имеет следующее выражение [4]:

$$M = \frac{3}{2} p_n \cdot k_2 \cdot \psi_2 \cdot i_{1\beta}, \quad (1)$$

где p_n – число пар полюсов; $k_2 = \frac{L_m}{L_2}$ – безразмерный коэффициент; ψ_2 – потокосцепление ротора;

$i_{1\beta}$ – проекция вектора тока статора.

Для моделирования механизма подъема кранового электропривода будем использовать двухмассовую расчетную схему. Процесс подъема груза можно разделить на 2 этапа. Первый этап начинается с момента пуска двигателя и заканчивается в момент времени, когда усилие в полиспасте станет удовлетворять выражению

$$F = m \cdot g, \quad (2)$$

где m – масса груза.

Второй этап начинается с момента отрыва груза от основания.

По данной расчетной схеме можно определить крутящий момент сопротивления, который создается силой F :

$$M_c = \frac{F \cdot D_6}{2\alpha \cdot i_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{мех}}}, \quad (3)$$

где D_6 – диаметр грузового барабана, α – кратность полиспаста, $i_{\text{мех}}, \eta_{\text{мех}}$ – передаточное число и КПД механизма подъема соответственно.

Запишем уравнение движения кранового электропривода:

$$M = \frac{J_{\Sigma}}{p_n} \cdot \frac{d\omega}{dt} + M_c + M_T, \quad (4)$$

где J_{Σ} – суммарный момент инерции вращающихся масс, приведенных к валу двигателя; p_n – число пар полюсов; M_T – момент, развиваемый тормозным устройством (электромагнитом или гидротолкателем).

На рис. 2 приведена функциональная схема кранового электропривода с ограничителем грузоподъемности на основе наблюдающего устройства. В данной схеме наблюдатель вычисляет необходимые параметры, которые нельзя определить прямым методом.

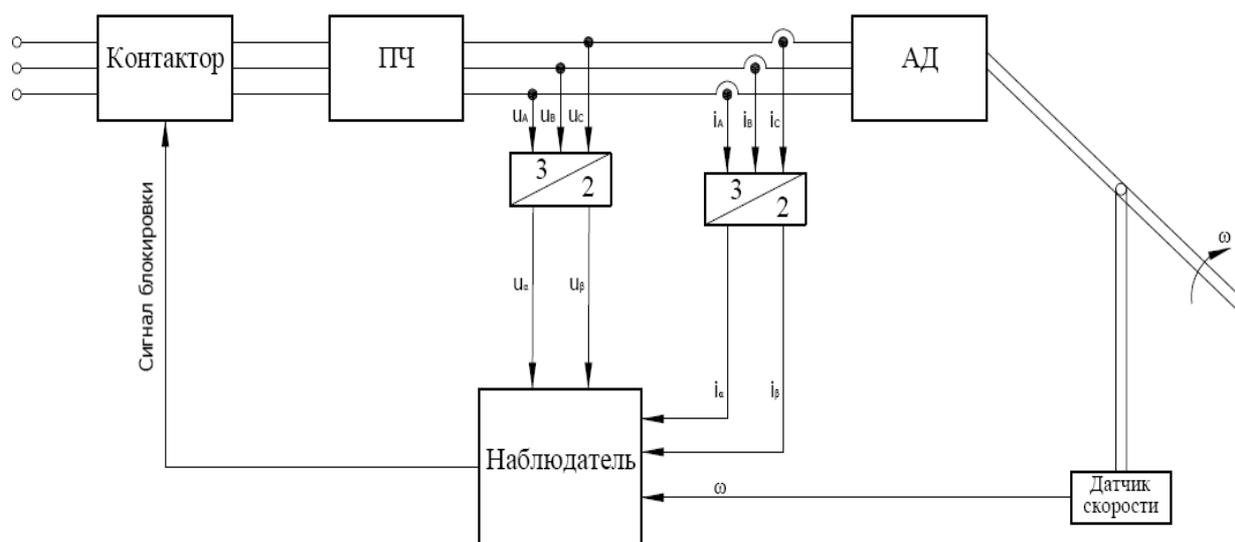


Рис. 2. Функциональная схема кранового электропривода с ограничителем грузоподъемности на основе наблюдающего устройства

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Невзоров, Л. А. Устройство и эксплуатация грузоподъемных кранов / Л. А. Невзоров, Ю. И. Гудков, М. Д. Полосин. – М.: НИЦ «Академия», 2000. – 230 с.
2. Никитин, К. Д. Эксплуатация и состояние парка грузоподъемных кранов в Красноярском регионе / К. Д. Никитин // Подъемно-транспортное дело. – 2003. – № 2. – С. 13-14.
3. Правила устройства и безопасной эксплуатации грузоподъемных кранов (ПБ 10-382-00). – М.: ПИО ОБТ, 2000. – 268 с.
4. Соколовский, Г. Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г. Г. Соколовский – М.: ACADEMIA, 2006.

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ДАТЧИКОВ

ЗЕЗЕГОВ И. В.

ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Датчик – это элемент, преобразующий контролируемую величину одного вида в величину другого вида, удобную для передачи по линиям связи и дальнейшего преобразования.

С помощью датчиков можно контролировать давление, температуру, расход, перепады, уровень, концентрацию, перемещение, положение, вибрацию, радиоактивность, число оборотов и др.

Датчики подразделяются на:

- индуктивные, емкостные, магнитные, оптические, ультразвуковые;
- линейных и угловых перемещений;
- датчики контроля потока;
- акустические датчики контроля уровня без контакта со средой;
- датчики давления и температуры.

В настоящее время в России и за рубежом создан широкий спектр датчиков физических величин, основанных на различных эффектах.

По мере того, как растет применение электроники, все большее значение приобретают датчики, которые играют роль посредников между окружающим нас аналоговым миром и цифровыми системами обработки информации о признаках этого мира. Поэтому неудивительно, что изготовитель датчиков, стараясь расширить возможности своих устройств, обращаются к технологии интегральных схем, т.е. к созданию полупроводниковых (ПП) (микроэлектронных) датчиков, которые со встроенными функциональными элементами становятся все более похожими на интегральные микросхемы.

Микроэлектронные датчики (МЭД), объединяющие датчики полупроводниковые и на основе материалов, используемых в микроэлектронике, бесспорно, представляют одно из самых перспективных направлений развития этого класса изделий, поскольку позволяют реализовать новейшие достижения. Основным технологическим материалом для изготовления МЭД в настоящее время остается кремний. Хотя известны работы по созданию датчиков на арсениде галлия, сегнетоэлектриках, высокотемпературных сверхпроводниках и др. Кремний доминирует в качестве материала для МЭД, поскольку обеспечивает высокую стабильность и незначительный дрейф характеристик, в том числе вследствие высокой упругости. Кремний отличают хорошие пьезоэлектрические свойства, высокая чувствительность к изменению характеристик внешних воздействующих факторов, включая температуру, влагу, радиацию, давление. Важнейшее значение имеет и тот факт, что чувствительные элементы на кремнии хорошо согласуются и могут быть интегрированы в МЭД совместно с устройством усиления и нормирования сигналов, подавления шумов и помех, компенсации погрешностей и дрейфов. Это позволяет рассматривать МЭД как элементы электронной техники, обладающие унифицированными и нормируемыми характеристиками.

В то же время, возможности кремния далеко не исчерпаны, а воспроизводимость результатов на его основе пока не имеет себе равных. На основе кремниевых технологий, реализующих свойства полупроводников с собственной проводимостью, возможно воспроизведение тензоэлектрических, пьезоэлектрических, резистивных, терморезистивных, термоэлектрических, емкостных, индукционных и других физических эффектов.

Можно предположить, что ПП датчики будут развиваться по трем направлениям:

1. «Интеллектуализация» датчиков: введение в контур датчиков микропроцессорных средств обработки измерительной информации и пассивных структурно-избыточных элементов.
2. Синтез волоконно-оптических датчиков различных физических величин и средств сопряжения с объектами измерений.
3. Широкое внедрение в производство традиционных типов датчиков, изготавливаемых по технологии интегральных микросхем и синтез на этой основе рядов полупроводниковых, интегральных датчиков различных физических величин.

Такой резкий рост потребности в датчиках самых разнообразных физических величин вызван ведущей тенденцией современного развития всех областей техники, заключающейся в автоматизации процессов управления, контроля, диагностирования и т. д.

В последнее время в связи с удешевлением электронных систем все чаще применяются датчики со сложной обработкой сигналов, возможностями настройки и регулирования параметров и стандартным интерфейсом системы управления. Имеется определенная тенденция расширительной трактовки и перенесения этого термина на измерительные приборы, появившиеся значительно ранее массивного использования датчиков, а также по аналогии – на объекты иной природы, например, биологические. Понятие датчика по практической направленности и деталям технической реализации близко к понятиям измерительный инструмент и измерительный прибор, но для этих устройств преобладает аспект их использования человеком, а датчики, как правило, используются в автоматическом режиме.

УДК 621.316.716.2

ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО НА ОСНОВЕ МНОГООБОМОТЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА С ПРИМЕНЕНИЕМ АЛГОРИТМА ФАЗОВОЙ МОДУЛЯЦИИ

ОСИПОВ П. А.

ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Двухзвенные преобразователи частоты выполняются с применением трехфазных мостовых выпрямителей, потребляющих несинусоидальный ток. Использование двухзвенных преобразователей частоты на промышленных предприятиях приводит к искажению характеристик питающей сети.

Рассмотрим группу из шести низковольтных двухзвенных преобразователей частоты, работающих параллельно от одного трехфазного трансформатора. Несинусоидальные входные токи, потребляемые трехфазными мостовыми выпрямителями преобразователей частоты, синфазны и усиливают свое воздействие, складываясь в магнитной системе питающего трехфазного трансформатора в один общий пульсирующий магнитный поток, что вызывает искажение формы тока в первичной обмотке трансформатора.

Фильтрокомпенсирующее устройство для группы преобразователей частоты выполняется с применением алгоритма фазовой модуляции. Алгоритм фазовой модуляции обеспечивает рассогласование совместного действия преобразователей частоты на сеть. Реализация алгоритма фазовой модуляции предполагает выполнение трансформатора, питающего преобразователя частоты, многообмоточным с соединением вторичных обмоток в трехфазный зигзаг. Соотношение витков трехфазного зигзага ω'/ω'' определяет сдвиг фаз входного тока относительно тока сети (рис. 1).

Расчет сдвигов фаз вторичных обмоток трансформатора производится по следующим формулам:

$$\varphi_i = \varphi_{\text{в}} - \frac{\varphi_{\phi}}{2} - \varphi_{\phi}(i-1), \quad i=1; 2; \dots; \frac{n}{2};$$

$$\varphi_i = \varphi_{\text{в}} + \frac{\varphi_{\phi}}{2} + \varphi_{\phi}\left(i - \frac{n}{2} - 1\right), \quad i=\left(\frac{n}{2}+1\right); \dots; n;$$

$$\varphi_{\phi} = \frac{\tau_{\text{в.н.}}}{n} = \frac{60}{6} = 10^{\circ} - \text{фазовый сдвиг между входными токами преобразователей частоты.}$$

В результате расчета получены следующие сдвиги фаз, °: -5, -15, -25, +5, +15, +25, и построены диаграммы модулированных токов при частоте сети $f=50$ Гц, условии работы силовых ключей мостовых выпрямителей в режиме естественной коммутации, что предполагает длительность бестоковой паузы $\tau_{\text{в.н.}} = 60^{\circ}$ и начальной фазе $\varphi_{\text{н}} = 0^{\circ}$ (рис. 2).

Кривая суммарного фазного тока обмоток низшего напряжения многообмоточного трансформатора имеют синусоидальную форму (рис. 3). Следовательно, пульсации магнитного

потока в магнитопроводе трансформатора устранены, и форма кривой тока в первичной обмотке синусоидальна. Многообмоточный трансформатор работает в нормальном режиме работы с симметричной нагрузкой фаз и синусоидальным магнитным потоком.

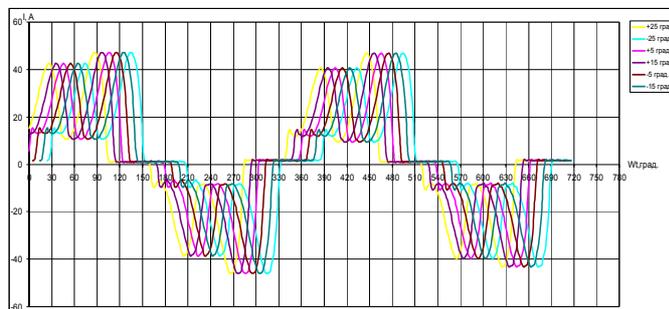
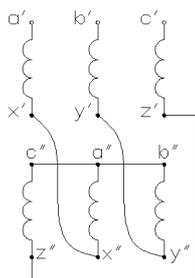


Рис. 1. Схема соединения обмоток низшего напряжения трансформатора

Рис. 2. Диаграмма модулированных токов вторичных обмоток многообмоточного трансформатора

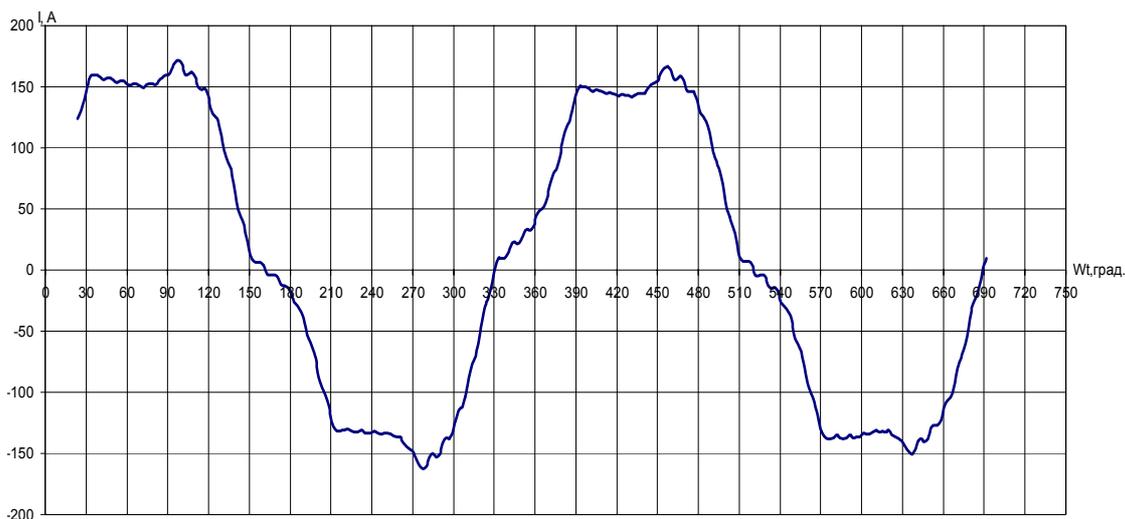


Рис. 3. Суммарный ток обмоток низшего напряжения фазы A входного силового трансформатора

Фильтрокомпенсирующее устройство на основе многообмоточного трансформатора с применением алгоритма фазовой модуляции позволяет устранить искажения формы кривой тока сети от группы преобразователей частоты и способно выполнять функции силового понижающего трансформатора для группы преобразователей частоты.

ЯЧЕЙКИ КРУ 6(10) КВ СПЕЦИАЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ

НАСОБИН А. В., БУРЯКОВ С. И.
ЗАО «Высоковольтный союз»

К обеспечению надежной работы системы электроснабжения шахт и разрезов применяются особые требования, так как оборудованию приходится работать в жестких условиях постоянной запыленности и воздействия взрывной волны. Поэтому производители подходят с особой тщательностью к разработке и производству электрооборудования, используя передовые технологии и материалы.

ЗАО «Высоковольтный союз» на основе единого конструктива производит широкий спектр шкафов КРУ-6(10) кВ специального применения.

Шкаф рудничного нормального исполнения (КРУ) ЗКВЭ-10РН (рис. 1) предназначен для комплектации подземных подстанций, взрывобезопасных по газу и пыли, а также для защиты и управления подземными токоприемниками шахт (табл. 1).

Рис. 1. Шкаф рудничного нормального исполнения



Комплектное распределительное устройство ЗКВЭ-10РН соответствует требованиям ГОСТ 14693-90 и ТУ 3414-009-05755513-2002, а также нормативных документов: ГОСТ 12.2.007.0-75, ГОСТ 12.2.007.4-75, ГОСТ 24754-81, ГОСТ Р 51330.20-99, Правил безопасности в угольных шахтах (РД 05-94-95), Единых правил безопасности при разработке рудных, нерудных и россыпных полезных ископаемых подземным способом (ПБ-06-111-96).

Таблица 1

Основные параметры шкафов КРУ ЗКВЭ-10РН

Наименование параметров	Норма
Номинальное напряжение (линейное), кВ	6, 10
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	7,2, 12
Номинальный ток главных цепей, А	630...1600
Номинальный ток отключения вакуумного выключателя ОП, кА	20
Ток термической стойкости в течение 3 с, кА	20
Номинальный ток электродинамической стойкости (амплитуда), кА	51
Коммутационная износостойкость, циклов:	25 000 50
– при номинальном токе, "В-1 _п -0"	
– при токе отключения "ВО", операций	
Ресурс по механической стойкости циклов "В-1 _п -0"	25 000
Полное время отключения вакуумного выключателя, не более, с	0,07

Габаритные размеры каждого шкафа: ширина 830 мм, глубина 1150 мм, высота 2200 мм, масса каждого шкафа КРУ в сборе не превышает 800 кг.

Номинальные значения климатических факторов внешней среды по ГОСТ 15543.1-89 и ГОСТ 15150-69 для видов климатического исполнения УХ Л 5, при этом:

- высота установки над уровнем моря – не более 1250 м;
- диапазон значений температуры окружающего воздуха для исполнений УХЛ5 (эффективное значение) – от -10 до +35 °С;



– окружающая среда окружающего шкафы КРУ воздуха – до 10 мг/м^3 , пыль не взрывоопасная.

На базе шкафов серии ЗКВЭ-10РН производятся комплектные распределительные пункты (КРП) 6(10) кВ в модульном исполнении.

Шкафы КРУ ЗКВЭ-6(10)-630-20 (рис. 2) с кабельными вводами и выводами предназначены для приема и распределения электроэнергии и устанавливаются на общем постаменте на поворотной платформе в закрытом кузове экскаватора.

Рис. 2. Шкафы КРУ ЗКВЭ-6(10)-630-20

Шкафы КРУ ЗКВЭ-6(10)-630-20 предназначены для поставок как потребителям Российской Федерации, так и на экспорт (табл. 2).

Таблица 2

Основные параметры шкафов КРУ

Наименование параметров	Норма
Номинальное напряжение (линейное), кВ	10(6)
Наибольшее рабочее напряжение, кВ	12(7,2)
Номинальный ток главных цепей, А	630
Номинальный ток отключения вакуумного выключателя ОТ, кА	20
Ток термической стойкости в течение 3 с, кА	20
Номинальный ток электродинамической стойкости (амплитуда), кА	51
Коммутационная износостойкость, циклов:	
– при номинальном токе, "В-1 _п -0"	40 000
– при токе отключения "ВО", операций	50
Ресурс по механической стойкости циклов "В-1 _п -0"	40 000***
Полное время отключения вакуумного выключателя, не более, с	0,07

Характеристики шкафов (КРУ) ЗКВЭ-6(10)-630-20.

Номинальные значения климатических факторов внешней среды по ГОСТ 15543.1-89 и ГОСТ 15150-69 для видов климатического исполнения У2.1; УХЛ2.1; Т2.1, при этом:

- высота установки над уровнем моря – не более 1250 м;
- диапазон значений температуры окружающего воздуха для исполнений У2.1 и УХЛ2.1 (эффективное значение) – от минус 40 до плюс 40 °С, для исполнения Т2.1 – от минус 10 до плюс 55 °С.
- окружающая среда должна быть невзрывоопасной и не пожароопасной, тип атмосферы – II по ГОСТ 15150-69, при этом допускается запыленность окружающего шкафы КРУ воздуха до 10 мг/м.

Шкафы КРУ ЗКВЭ-6(10)-630-20 в части воздействия механических факторов внешней среды соответствуют группе условий эксплуатации М29 по ГОСТ 17516.1-90 и обеспечивают нормальную работу и нормальные параметры при следующих условиях:

- 1) вибрационные нагрузки в диапазоне 1-35 Гц с максимальным ускорением до 0,5 g;
- 2) одиночные удары с максимальным ускорением до 3 g длительностью 2-20 мс.
- 3) крен и дифферент – до 15 градусов.

Показатели надежности:

а) ресурс по коммутационной стойкости соответствует коммутационному ресурсу встроенного вакуумного выключателя – 50, числу операций отключений и включений номинального тока отключения;

б) механический ресурс – не менее числа циклов по механическому ресурсу вакуумного выключателя;

в) срок службы до среднего ремонта – 10 лет;

г) срок службы до списания – 25 лет, при условии своевременной замены комплектующей аппаратуры, срок службы которой менее 25 лет, и проведения своевременного технического обслуживания изделия в соответствии с требованиями эксплуатационной документации.

Шкафы КРУ представляют собой жесткую бескаркасную конструкцию, разделенную на отсеки: ввода (линии), сборных шин, выкатной тележки, релейный отсек РЗА.

Шкафы КРУ унифицированы, и независимо от схем главных и вспомогательных цепей, имеют аналогичную конструкцию основных узлов и одинаковые габаритные размеры.

В шкафах КРУ имеется быстродействующая дуговая защита, выполненная на светочувствительных элементах, установленных в высоковольтных отсеках.

Перечисленные выше ячейки широко используют в горно-металлургической промышленности Российской Федерации, а именно, Кемеровская область, Южуралникель, Учалинский ГОК, Гайский ГОК, Качканарский ГОК.

УДК 621.3

ЗАЩИТА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ПОМОЩИ РС-ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ

ШАДРИН Д. П., БУРЯКОВ С. И.
ЗАО «Высоковольтный союз»

В течение всего времени работы электрооборудование подвергается воздействиям перенапряжений. Они вызывают старение изоляции, которое может привести к выходу из строя и дорогостоящему ремонту оборудования. Перенапряжения могут быть вызваны различными факторами, которые можно подразделить на 2 основные группы: перенапряжения, возникающие под воздействием грозы, и внутренние перенапряжения (коммутационные; возникающие в режиме дугового однофазного замыкания на землю; феррорезонансные).

Для предотвращения негативных воздействий на оборудование в настоящее время в основном применяют нелинейные ограничители перенапряжений, но РС-ограничители как альтернативные заслуживают более пристального внимания.

Применение ограничителей перенапряжений существенно повышает надежность и безаварийность электрооборудования, экономит до 50 % средств на текущий и капитальный ремонт, продлевает срок службы электрооборудования с низким уровнем изоляции в 2-2,5 раза. Также снижает внеплановые простои технологического оборудования из-за отказов электроустановок в результате пробоев изоляции при воздействии коммутационных перенапряжений, что в итоге благоприятно влияет на рост финансовых показателей предприятий.

Наиболее актуальным является применение ограничителей для защиты электроустановок с частыми коммутациями (электродвигатели, трансформаторы, нефтебуровые установки, подъемные установки, экскаваторы и др.) и электрооборудования с низким уровнем электрической прочности изоляции (электродвигатели, длительно находящиеся в эксплуатации, кабели с резиновой изоляцией, сухие трансформаторы, электрооборудование химического производства). Коммутационное перенапряжение возникает при работе любых типов выключателей: масляных, электромагнитных, воздушных, вакуумных. Поэтому применение ограничителей перенапряжений целесообразно во всех случаях, особенно в цепях с вакуумными выключателями, создающими наиболее опасные для изоляции перенапряжения.

Действие устройства основано на ограничении амплитуды перенапряжений за счет уменьшения волнового сопротивления защищаемого объекта с помощью емкости и устранения многократных повторных зажигания дуги в выключателе с помощью активного сопротивления. Последовательное включение конденсатора и резистора и оптимальный подбор параметров

указанных элементов позволяет эффективно сглаживать высокочастотные составляющие, возникающие в сетях 6-10 кВ.

Ограничитель состоит из трех одинаковых RC-цепочек, соединенных в звезду с заземленной нулевой точкой. Основные преимущества RC-ограничителей перенапряжений перед другими защитными устройствами (вентильные разрядники и нелинейные ограничители перенапряжений ОПН, ОПНК и др.) состоят в следующем:

- лучшие защитные средства (более высокий уровень ограничения перенапряжений и способность гасить повторные зажигания дуги в выключателе);
- высокая надежность и долговечность;
- высокая термическая стойкость при длительных, до 24 часов, однофазных замыканиях на землю в карьерных сетях 6-10 кВ с изолированной нейтралью.

Дополнительный эффект от использования RC-ограничителей состоит в следующем:

- улучшение фазовой характеристики сетей с изолированной нейтралью, что приводит к повышению эффективности защит от однофазных замыканий на землю за счет емкостной составляющей тока однофазного замыкания;
- значительное улучшение работы тиристорных преобразователей (возбудителей) в низковольтных комплексных установках (НКУ) на экскаваторах за счет уменьшения помех от перенапряжений в сетях 6-10 кВ;
- облегчает процесс отключения коротких замыканий за счет сглаживания высокочастотных составляющих тока КЗ.

Опытно-промышленные партии RC-ограничителей внедрены в эксплуатацию на разрезе «Березовский-1», «Бородинский» ОАО «Красноярскуголь», «Черемховский», «Азейский» ОАО «Востсибуголь» для защиты электродвигателей 10 кВ роторных комплексов и конвейерных линий, ОАО «КАМАЗ» – для защиты печных трансформаторов. В настоящее время ЗАО «Высоковольтный союз» комплектует высоковольтные ячейки ЗКВЭ-10РН RC-ограничителями и поставляет их для подземных РУ и РУ, используемых при добыче открытым способом.

Результаты производственных испытаний показали, что RC-ограничители снижают коммутационные перенапряжения до безопасной для изоляции электродвигателей величины (максимальные перенапряжения с подключенными ограничителями не превышают $1,6 U_{ном}$).

На разрезе «Березовский-1» RC-ограничители эксплуатируются в течение 13 лет. За указанный срок ни один RC-ограничитель не вышел из строя. В таблице показаны результаты сравнительных испытаний RC-ограничителей и ОПНК-10 на объектах разреза «Березовский-1». Средний срок службы ОПНК-10 на разрезе составил 1,26 года.

Статистические параметры перенапряжений при коммутации электродвигателей 10 кВ на разрезе ОАО «Березовский-1»

Электро-двигатели	Тип выключателя	Режим коммутации	Без ограничителя перенапряжения		ОПНК-10		RC-ограничитель	
			$K_{ср}^*$	$K_{макс}^{**}$	$K_{ср}$	$K_{макс}$	$K_{ср}$	$K_{макс}$
Акдэ-16-1042	ВВТЭ-10-20/630	Включение	1,8	2,2	1,8	2,2	1,1	1,3
		Отключение на холостом ходу	1,86	2,6	1,86	2,6	1,1	1,2
АОК-500-наклонный конвейер	КВТ-10-5/400	Включение						
		ДВ № 1	1,42	2,4	1,42	2,4	1,26	1,4
		ДВ № 2	1,38	1,8	1,38	1,8	1,2	1,5
		ДВ № 3	1,46	2,6	1,46	2,6	1,1	1,36
		Отключение на холостом ходу						
		ДВ № 1	1,92	3,6	1,82	2,9	1,5	1,6
ДВ № 2	1,86	3,2	1,82	2,9	1,1	1,12		
ДВ № 3	2,2	3,9	1,9	3,0	1,2	1,48		

* $K_{ср} = U_{ср} / U_{ф}$ – средний коэффициент коммутационных перенапряжений;

** $K_{макс} = U_{макс} / U_{а}$ – максимальный коэффициент коммутационных перенапряжений.

Таким образом, проектируя новую электросистему или модернизируя старую, необходимо помнить, что стандартным ОПНам существует достойная альтернатива, которая позволяет увеличить срок службы оборудования и уменьшить затраты на его ремонт.

УДК 621.314.21

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БРОСКА ТОКА НАМАГНИЧИВАНИЯ ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ ТРАНСФОРМАТОРА НА СЕТЕВОЕ НАПРЯЖЕНИЕ

МАКАРИЧЕВ К. В.

ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Одним из главных показателей работы электротехнического комплекса является показатель надежности оборудования. Зачастую на правильность функционирования электротехнического оборудования влияет правильность расчета переходных процессов при изменении конфигурации электротехнического комплекса (включение/выключение трансформаторов, двигателей и пр.).

Одним из таких переходных процессов является бросок тока намагничивания при включении трансформатора на сетевое напряжение. Достаточно большой бросок тока намагничивания может вызвать просадку напряжения в сети. Однако наибольшее влияние бросок тока намагничивания оказывает на релейную защиту.

От правильной оценки величины броска тока намагничивания зависит правильность расчета и настройки релейной защиты, что, в свою очередь, является важным показателем при оценке надежности системы.

Также важной задачей является оценка влияния конструктивных параметров трансформатора на величину броска тока намагничивания.

При расчете пусковых режимов трансформатора решается достаточно простая задача электротехники: расчет переходных процессов в цепях при синусоидальном напряжении.

В расчете переходных процессов цепей, содержащих индуктивность, фигурирует величина индуктивности катушки. Индуктивность определяется как коэффициент пропорциональности между током в контуре и магнитным потоком, образованным этим контуром. Однако на практике мы имеем дело с катушками (или обмотками) в конструкции которых входят ферромагнетики. Для электрических машин это электротехническая сталь.

Поскольку электротехническая сталь имеет нелинейные магнитные характеристики (отражается кривой намагничивания), а свойства магнитного материала оказывают сильное влияние на магнитный поток, то и значение магнитного потока катушки с изменением тока изменяется нелинейно (или непропорционально) току. Поэтому значение индуктивности при нелинейной характеристике магнитного материала не будет величиной постоянной. В связи с этим задача расчета переходного процесса усложняется за счет появления нелинейного индуктивного сопротивления.

Данную задачу можно решать различными методами. В работе* авторы используют дифференциальные уравнения, описывающие как электрические, так и магнитные цепи. Учет нелинейности величины индуктивности обмотки авторы производят на основании кусочно-линейной аппроксимации кривой намагничивания, и для каждого участка определяется свое значение относительной магнитной проницаемости и как следствие, индуктивности. На основании полученных значений производится расчет переходного процесса.

Для решения данной задачи предложена математическая модель трансформатора, в которой отсутствует понятие «индуктивность» как таковое. В качестве исходных данных для работы модели используются: напряжение питания, конструктивные параметры (число витков, активное сопротивление обмотки, площадь сечения магнитопровода и длина средней линии), а также кривая намагничивания магнитного материала.

* Котенев, С. Переходные процессы при включении силового трансформатора в сеть с синусоидальным напряжением / С. Котенев, А. Евсеев // Силовая электроника, № 4. – 2005 г.

Структурная схема модели в программе MATLAB, приложении Simulink, представлена на рис. 1.

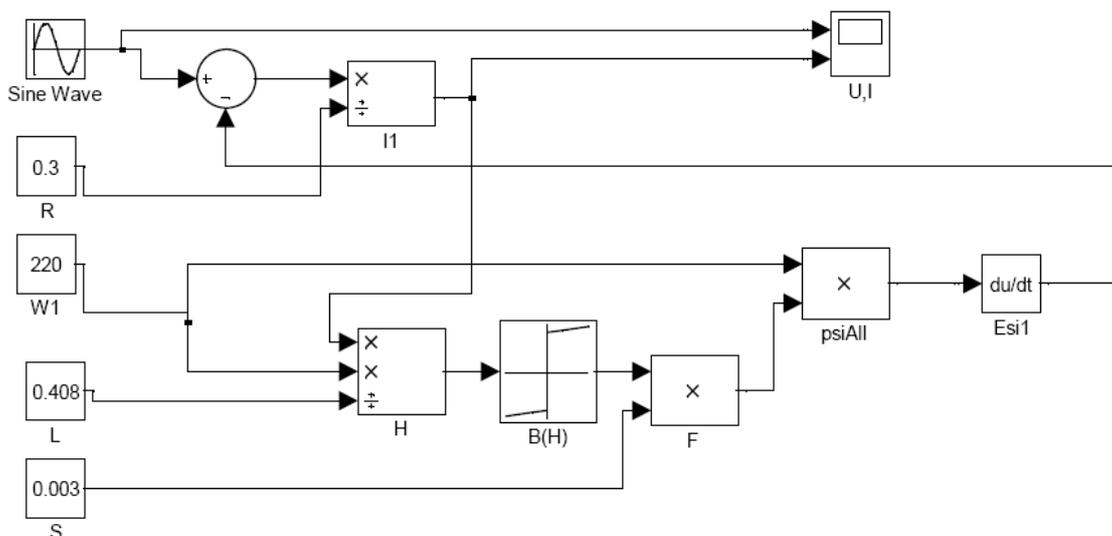


Рис. 1. Структурная схема модели

Принцип работы модели достаточно прост и основан на вычислении мгновенных значений периодически изменяющихся физических величин.

Поскольку при рассмотрении физических процессов, происходящих в системе, возникает вопрос: величина тока влияет на величину магнитного потока, а величина магнитного потока влияет на величину тока, необходимо определить, что является первопричиной. Ответ на этот вопрос однозначен: ток, поскольку в начальный момент времени предпосылок для возникновения магнитного потока нет (ток отсутствует), а для возникновения тока есть (напряжение приложено).

В связи с вышесказанным, преобразование физических величин в модели можно выразить следующим образом:

$$i = \frac{U - E_{\text{си}}}{R} \Rightarrow H = \frac{IW}{l} \Rightarrow B = f(H) \Rightarrow \Phi = B \cdot S \Rightarrow \Psi = \Phi \cdot W \Rightarrow E_{\text{си}} = -\frac{d\Psi}{dt}$$

В начальный момент времени принимается, что индукция магнитного поля в сердечнике равна нулю, ЭДС самоиндукции также равна нулю. Далее происходит циклическое вычисление новых значений физических величин на основании значений предыдущего шага. Алгоритм работы модели также наглядно иллюстрирует рис. 1.

В работе* авторами был произведен расчет броска тока намагничивания для нескольких трансформаторов различной конфигурации, а также произведен замер броска тока намагничивания для сравнения расчетных и опытных значений.

При опробовании модели, предлагаемой в данном докладе, были получены графики переходных процессов при включении трансформаторов и значения бросков тока намагничивания. В таблице приведены опытные значения бросков токов, расчетные значения, полученные авторами работы*, и расчетные значения, полученные при моделировании предлагаемым методом.

Как видно из табл., расчетные методы (как численные методы, так и результаты моделирования) обладают погрешностью. Большей частью погрешность обусловлена не учетом параметров поля рассеяния, вихревых токов и пр. Однако, точность модели позволяет оценить величину броска тока намагничивания, а также установить влияние конструктивных параметров на величину последнего. На рис. 2 представлены результаты моделирования переходного процесса при включении трансформатора на сетевое напряжения (для строки, выделенной курсивом в таблице).

* Котенев, С. Переходные процессы при включении силового трансформатора в сеть с синусоидальным напряжением / С. Котенев, А. Евсеев // Силовая электроника, № 4. – 2005 г.

Результаты расчетов и испытаний

Сердечник	Число витков	Активное сопротивление, Ом	Численный метод 1*, А	Численный метод 2*, А	Опытные данные, А	Результат моделирования, А
ОЛ120/200-80	206	0,2	160	179	130	115
ОЛ120/200-60	268	0,3	126	146	103	93
ОЛ100/180-80	206	0,26	135	156	133	100
ОЛ100/160-100	220	0,3	120	135	103	87
ОЛ80/140-80	275	0,8	73	91	80	54
ОЛ70/130-60	367	1,5	47	62	40	36
ОЛ70/120-40	660	3,4	24	33	23	18

* – численные методы, использованные авторами работы (см. ссылку на стр. 268).

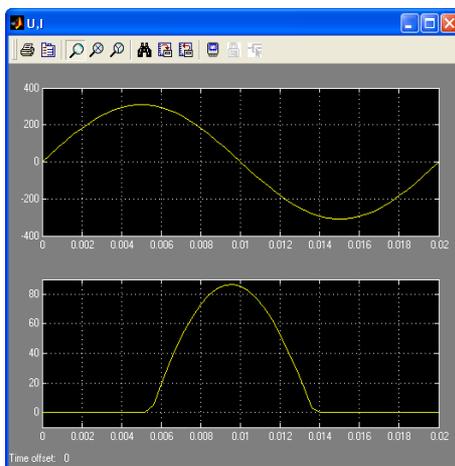


Рис. 2. Результаты моделирования

УДК 62-83:621.532.5

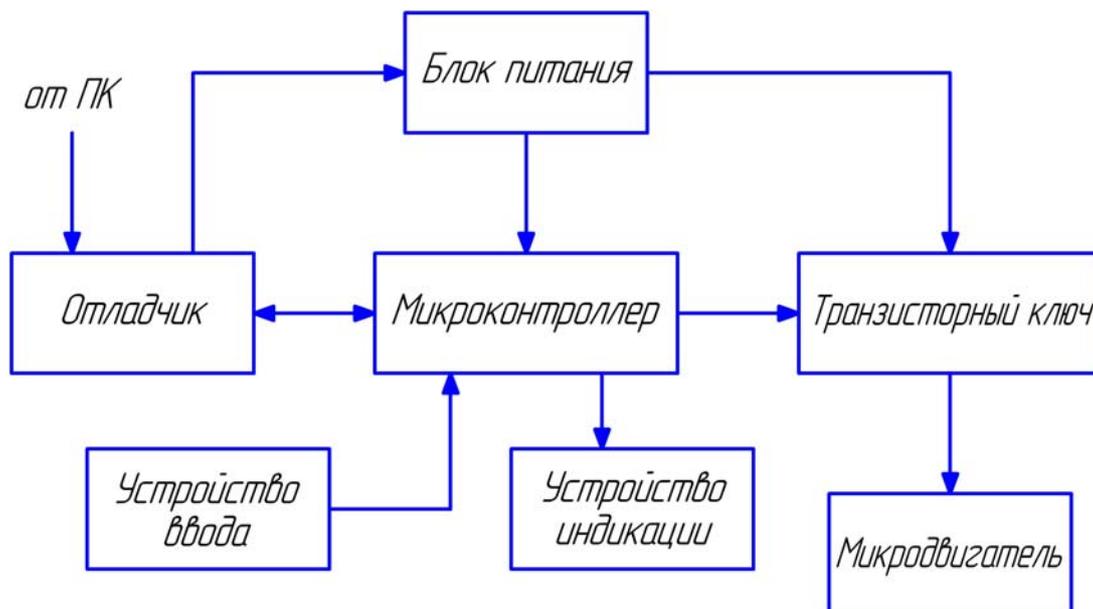
ПРОГРАММИРОВАНИЕ И НАЛАДКА УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРА PIC16F874A

ШИМКИВ А. В., МАРУГИН А. П.

ГОУ ВПО «Уральский государственный горный университет»

Данная работа представляет собой стенд для проведения лабораторных занятий по дисциплине электропривод, выполненный с целью получения студентами практических навыков работы с современными устройствами управления приводами, в частности, микроконтроллерами. Структурная схема стенда представлена на рисунке.

Блок микроконтроллера представляет собой контроллер PIC16F874A производства компании Microchip, включающий в себя порты ввода-вывода, 3 канала АЦП, аппаратный ШИМ, а также быстродействующие таймеры. Отладчик также производства компании Microchip, марки PicKit2. Блок питания реализован на трансформаторе и элементах электроники, выполняющих функцию выпрямления и стабилизации выходного напряжения трансформатора. В качестве устройств индикации и ввода применяются светодиоды и кнопки.



Структурная схема стенда

Управление двигателем осуществляется посредством изменения скважности управляющих импульсов, величина которой определяется программой, записанной в память микроконтроллера с помощью отладчика.

Программа управления двигателем, разрабатываемая в процессе выполнения лабораторной работы, задействует канал АЦП контроллера (для задания скорости вращения), дискретные входы (включение двигателя, включение фиксированной скорости), дискретный выход, необходимый для управления транзисторным ключом, а также дискретные выходы для индикации скважности.

Ход выполнения лабораторной работы:

1. На языке Pic Basic Pro пишется программа;
2. Полученный результат компилируется;
3. С помощью отладчика производится запись программы в память микроконтроллера;
4. Производится запуск программы для управления микродвигателем.

Данные типы устройств управления, в частности микроконтроллеры, получили широкое распространение в нашей повседневной жизни: на них реализованы различные часы, таймеры, регуляторы освещения и температуры, контроллеры для бытовых приборов.