

ЗАЩИТА ТРЕХФАЗНЫХ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ КОМПЛЕКСНЫМИ УНИВЕРСАЛЬНЫМИ СРЕДСТВАМИ

В.В. Гурин, канд. техн. наук, доцент, Е.В. Лавцевич, аспирантка (УО БГАТУ)

Аннотация

Приведен анализ использования параметров асинхронного электродвигателя для контроля его аварийных состояний. Приведены характеристики комплексных универсальных устройств защиты электродвигателей, используемых в Беларуси и соседних странах.

Введение

В известной литературе [1] описаны разнообразные устройства защиты электродвигателей, выпускаемые до 90-х годов прошлого столетия. В них принцип комплексности и универсальности не раскрыт. В последние годы на рынках Беларуси и в соседних странах появилось более десятка комплексных и универсальных устройств защиты. Их особенности не систематизированы и не раскрыты в достаточной мере. Далее в статье показана возможность построения комплексных универсальных защит с выбором основного параметра контроля и приведена характеристика комплексных универсальных устройств защиты, имеющих на рынках Беларуси и в соседних странах.

Основная часть

К устройствам защиты электродвигателей в сельском хозяйстве предъявляются следующие требования:

- комплексность, т.е. способность защищать электродвигатель комплексно, во многих аварийных состояниях;
- универсальность, т.е. возможность применения для многих электродвигателей, например, имеющих номинальные токи от 10 до 127 А;
- модульность, т.е. устройство должно состоять из основного и дополнительных функциональных модулей защиты, контролирующих определенное аварийное состояние электродвигателя. Изъятие из устройства определенного модуля защиты не должно нарушать функционирования других модулей. Это позволит, во-первых, выбирать модули защиты в зависимости от аварийных состояний электродвигателя на данной рабочей машине; во-вторых, повысить ремонтпригодность устройства защиты;
- диагностировать перед пуском электродвигателя полнофазность сетевого напряжения и порядок

чередования фаз, а также состояние изоляции электродвигателя;

- наличие индикации о причине аварийного отключения;
- степень защиты устройства должна быть IP 65 при индивидуальном монтаже и IP 31 – при монтаже в оболочке комплектного низковольтного устройства со степенью защиты IP 54.

Анализ изменения параметров асинхронного электродвигателя в аварийных режимах показал, что контролем одного параметра невозможно обеспечить полную защиту электродвигателя от всех аварийных режимов. Такой же вывод находим в работах [1,2]. Возможность контроля аварийных состояний через параметры электродвигателя изображена в табл. 1.

Из табл. 1 следует:

- 1) контроль наибольшего числа аварийных режимов обеспечивают параметры, ток и температура;
- 2) состояние изоляции обмотки можно контролировать только отдельной защитой по ее сопротивлению постоянному току. Этот же параметр контроля рекомендуется в ПУЭ;
- 3) виброускорение (m/c^2) электродвигателя можно контролировать только с помощью датчика вибрации. Этот датчик косвенно контролирует также износ подшипников;
- 4) нарушение охлаждения электродвигателя и частые пуски можно контролировать только температурной защитой.

Таким образом, в основу построения простейшей комплексной модульной защиты первого уровня должен быть положен модуль контроля тока. Этот модуль должен быть обязательно дополнен следующими модулями:

- предпускового контроля неполнофазного режима питающей сети;

**Таблица 1. Возможность контроля аварийных состояний
трехфазного асинхронного электродвигателя**

№	Аварийное состояние или режим работы	Параметр контроля*									
		U, В	I, А	P ₁ , Вт	θ, °С	γ, град	cos φ, о.е.	ΔQ, Дж	R _{из} , кОм	Φ _{рас} , В·с	δ, м/с ²
1	Неполнофазное питание перед включением и обратное чередование фаз	+	-	-	-	⊕	-	-	-	-	-
	Неполнофазное питание при работе	±	⊕	±	+	+	-	±	-	±	-
2	Перегрузка технологическая (неравномерная и пульсирующая)	-	+	+	⊕	-	±	+	-	±	-
3	Стопорный режим	-	⊕	±	±	-	±	±	-	+	-
4	Отклонение напряжения выше нормы **	⊕	±	±	±	-	±	±	-	±	-
5	Несимметрия напряжения выше нормы	+	⊕	±	+	±	±	±	-	±	±
6	Увлажнение обмотки	-	-	-	-	-	-	-	⊕	-	-
7	Износ подшипников	-	±	±	+	-	-	-	-	±	⊕
	Разрушение подшипников	-	⊕	±	+	-	-	±	-	±	-
8	Вибрация электродвигателя выше нормы	-	-	-	-	-	-	-	-	-	⊕
9	Нарушение охлаждения	-	-	-	⊕	-	-	-	-	-	-
10	Частые пуски	-	±	±	⊕	-	-	±	-	±	-

Примечания: “+” – возможен контроль; “±” – возможен контроль при некоторых условиях (ограничен контроль); “-” – невозможен контроль; ⊕ – наиболее приемлемый параметр контроля.
 *U – напряжение, В; I – ток, А; P₁ – потребляемая мощность, Вт; θ – температура, °С; γ – фазовый угол между напряжениями, град; cos φ – коэффициент мощности, о.е.; ΔQ – количество теплоты в тепловом реле, Дж; R_{из} – состояние изоляции, кОм; Φ_{рас} – магнитное поле рассеяния обмотки статора, В·с; δ – виброускорение, м/с².
 **Отклонение напряжения опасно только при увеличении тока выше номинального значения.

– предпускового контроля обратного чередования фаз;
 – предпускового контроля сопротивления изоляции.

В более сложной комплексной защите второго уровня, при пульсирующих нагрузках, частых пусках и возможности нарушения охлаждения электродвигателя используются модули первого уровня, и добавляется модуль контроля температуры обмотки электродвигателя.

Комплексная защита третьего уровня дополнительно к модулям второго уровня контролирует износ подшипников и имеет модуль контроля вибрации.

В отдельных случаях комплексные защиты указанных уровней могут иметь дополнительные модули, обусловленные особенностями использования электродвигателя на данной рабочей машине, осо-

бенностями окружающей среды, управления и автоматизации. Дополнительные модули следующие: защиты обмоток электродвигателя от импульсных перенапряжений; контроля тока утечки; защиты обмоток от увлажнения во время технологических пауз; сушки обмоток во время технологических пауз; контроля минимальной нагрузки; внешнего управления от технологических датчиков; коммутации (при переключениях в силовой цепи); интерфейса связи с ПЭВМ высшего уровня.

На рис.1 (а) приведена структурная схема комплексной модульной защиты первого уровня, а на рис.1 (б) – третьего уровня.

Как же реализуются указанные выше требования в комплексных универсальных защитах асинхронных

электродвигателей, известных на рынке Беларуси и других стран? Для ответа на этот вопрос проведем

анализ известных в Беларуси и в других странах комплексных универсальных устройств защиты (табл. 2).

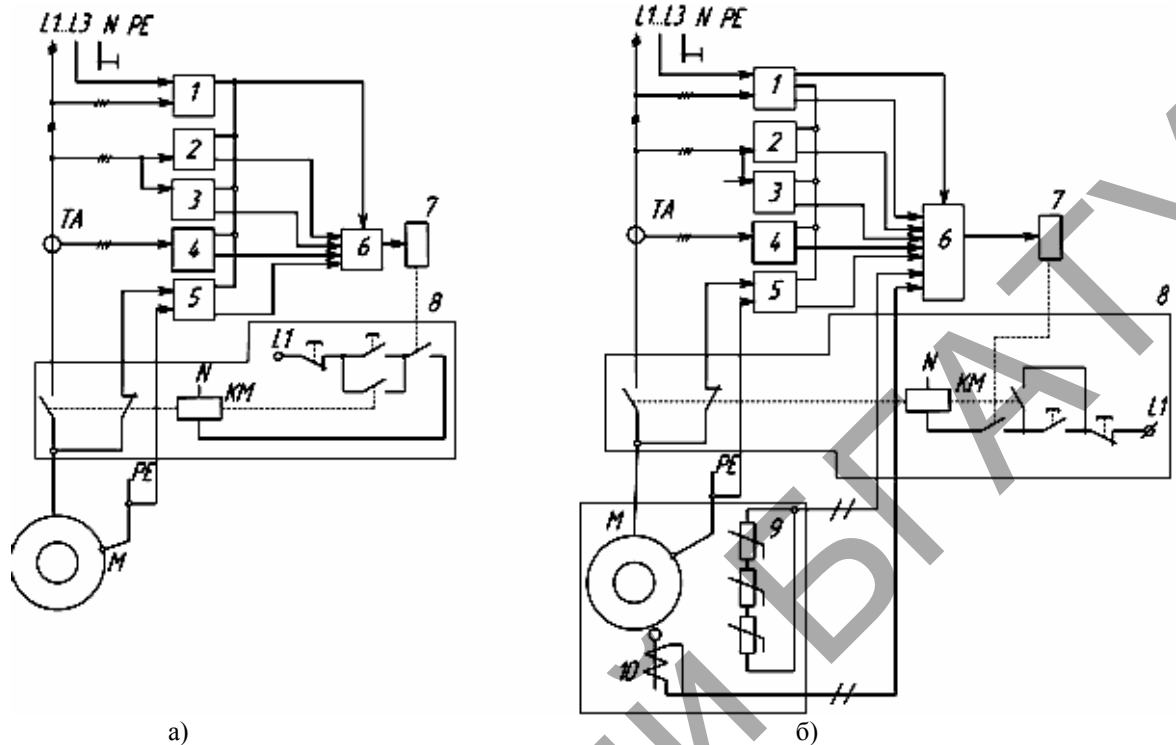


Рисунок 1. Структурные схемы комплексной универсальной защиты первого уровня (а) и третьего уровня (б):
1 – блок питания; 2 – модуль контроля обратного чередования фаз; 3 – модуль контроля неполнофазного режима;
4 – модуль контроля тока; 5 – модуль контроля сопротивления изоляции; 6 – микропроцессорный блок;
7 – исполнительный орган; 8 – блок коммутации; 9 – термодатчики;
10 – датчик вибрации; ТА – датчики тока

Таблица 2. Характеристика комплексных универсальных устройств защиты асинхронного электродвигателя, имеющих на рынках Беларуси и соседних стран

Марка защитного устройства, страна-изготовитель	Вид устройства по основному параметру защиты	Защищаемые аварийные состояния АД	Примечания
Си ЭЗ, Беларусь, завод «Мегом», НПП «БИНАР», г.Витебск	Токовое электронное	Неполнофазный режим, стопорный режим, перегрузка. По заказу – контроль температуры	На токи 8-25 А; 20-80 А. При перегрузке 1,5 In время срабатывания – 20 с, при 3,5 In – 5 с. Питание – от токовых цепей защищаемого электродвигателя. Степень защиты IP40. Цена: 140 400 бел. руб.
РЗД-3М, Россия, ОАО «ВНИИР», г.Чебоксары	Токовое электронное	Неполнофазный режим, перегрузка, КЗ, стопорный режим	На ток от 2,5 до 800 А (с ТТ). При 1,2In tcr=120...150 с, При 6In tcr=10...12 с. Степень защиты IP40. Питание – от токовых цепей защищаемого электродвигателя.
АЗД, Украина, г.Донецк	Токовое электронное	Перегрузка, стопорный режим, неполнофазный режим	На токи от 50 до 2500 А (с ТТ). Контролируется ток 2-х фаз. Степень защиты IP40. Питание – от токовых цепей защищаемого электродвигателя.
РЗД-1, Россия, ОАО «ВНИИР», г.Чебоксары	Токовое электронное и, возможно, температурное	Неполнофазный режим, перегрузка, стопорный режим, контроль изоляции перед пуском. Возможен контроль температуры с помощью позисторов СТ-14.	На ток от 0,2 до 100 А и более с внешними ТТ. Дополнительно – контроль технологического параметра. Информационный выход. Степень защиты IP30.

продолжение таблицы 2

Марка защитного устройства, страна-изготовитель	Вид устройства по основному параметру защиты	Защищаемые аварийные состояния АД	Примечания
РЭЗЭ-6, РЭЗЭ-7, ООО «Тетра, Ltd», Украина, Харьков	Токовое электронное (РЭЗЭ-7), токовое электронное и тепловое (РЭЗЭ-6)	Перегрузка, несимметрия, неполнофазный режим, перегрев обмотки. Минимальная нагрузка (х.х), контроль изоляции (РЭЗЭ-6).	На токи до 6 А (РЭЗЭ-7), от 1 до 625 А в 4-х диапазонах (РЭЗЭ-6). *Цена: 140 070 бел.руб.(РЭЗЭ-7); 240 990 бел.руб.(РЭЗЭ-6). Степень защиты IP30.
БТЗ1-1У, Россия, ОАО «Рикор электроникс», ООО «Приборы и механизмы», г.Чебоксары	Токовое электронное	Неполнофазный, перегрузка, КЗ, снижение Rиз	На токи 2...500 А. В дежурном (отключенном) положении контролируется Rиз и наличие напряжения по фазам, производится профилактическая сушка обмоток электродвигателя. Цена : 487 200 бел.руб. Степень защиты IP31.
УЗ-ЭД, Россия, ОАО «Старорусприбор», г.Старая Русса, Новгородской обл.	Токовое электронное	Предпусковой контроль сопротивления изоляции, перегрузка, неполнофазный режим, ассиметрия токов.	На токи от 2 до 165 А с шагом 1 А, от 20 до 680 А с шагом 4 А, от 5 до 37,4 А с шагом 0,2 А. Контроль двух фаз. Диапазон уставок времени срабатывания при 1,3In от 2 до 15 с, с шагом 1 с. Выдержка времени на повторный пуск. Переключение «звезда-треугольник». Степень защиты IP40.
ЗРВ10, Германия, «Siemens»	Токовое электронное	Неполнофазный режим, перегрузка с характеристиками класса 5,15,25.	Собственное энергоснабжение, токи до 100 А. Степень защиты IP31. Цена: 360 000 бел.руб.
РДЦ-01, Украина, ОАО «Электротехнический завод», г.Киев	Токовое микро-процессорное	Неполнофазный режим, несимметрия токов, чередование фаз, перегрузка, отклонение напряжения	На токи от 5 до 500 А (с ТТ). Диапазон уставок по току 0,1 А; 1 А; 10 А. Время запуска АД 1...10 с, задержка при х.х.– до 255 с. Степень защиты IP30. Повторные пуски 0...5 через 15 с. Цифровой индикатор. Цена: 202 140 бел.руб.
УБЗ-301, Россия, НПП «Новатек-Электро», Санкт-Петербург	Токовое микро-процессорное	Неполнофазный, перегрузка, несимметрия, предпусковой контроль напряжения, обратного чередования фаз, сопротивления изоляции. Контроль сопротивления изоляции при работе электродвигателя.	На токи от 5 до 600 А (5-50 А; 10-100 А; 63-630 А). Точная установка тока уставки. Контроль токов двух фаз. Тепловая модель электродвигателя. Без цифрового индикатора. Степень защиты прибора IP40, клемника IP20. Через отдельный блок обмена – связь по интерфейсу RS-485. Цена: 327 990 бел.руб.
БЗ (БЗ-3,БЗ-5,БЗ-6), Россия, ООО «Спецэлектро», Смоленская обл., г.Рудня	Токовое микро-процессорное	Неполнофазный, перегрузка, несимметрия, контроль минимальной нагрузки, предпусковой контроль изоляции	На токи от 5 до 630 А. Цифровой индикатор. Встроенная тепловая модель. Интерфейсы: RS-232, RS-485; USB. Счетчик часов активной и реактивной энергии (токов), индикатор $\cos \varphi$. Возможность подключения датчиков температуры, вибрации и т.п. Степень защиты IP31. Цена: 504 000 бел.руб.

продолжение таблицы 2

Марка защитного устройства, страна-изготовитель	Вид устройства по основному параметру защиты	Защищаемые аварийные состояния АД	Примечания
РЗ-03-07, Беларусь, ОАО «Энситех», г.Минск	Токовое микро-процессорное	Трехступенчатая максимальная токовая защита с независимой выдержкой времени, асимметрия тока, предпусковой контроль сопротивления изоляции, неполнофазный режим.	Ток 0,1...75 А. Архив событий, учет моторесурса, учет электроэнергии. Переносной пульт оператора. Интерфейсы RS-485, RS-232, цифровой индикатор в пульте оператора. Степень защиты IP31. Цена: 944 000 бел.руб. Пульт управления – 1 200 000 бел.руб.
EOCR-3M420, Ю.Корея, «EOCR»	Токовое микро-процессорное	Перегрузка, стопорный режим, несимметрия тока, неполнофазный режим	На токи 0,5...60 А. Цифровая индикация. Архивация последних трех событий. Класс защитных характеристик 10, 20, 30 с. Степень защиты IP31. Цена: 690 000 бел.руб.

*Цена определена по прайс-листам производителей на 20.12.2007 г.

Из табл. 2 можно сделать следующие выводы:

1) комплексные универсальные защиты являются токовыми;

2) наиболее простые комплексные универсальные защиты имеют проходные датчики тока (СиЭЗ, РЗД-3М, АЗД). Они защищают асинхронные электродвигатели в неполнофазном режиме, при перегрузке и в стопорном режиме. Питание их электронных схем организовано от токовых цепей защищаемого электродвигателя. Это позволяет включить электродвигатель на заведомо неполнофазную сеть, без проверки сопротивления изоляции обмотки перед пуском. В этом их недостаток;

3) большие функциональные возможности имеют токовые электронные реле в сочетании с температурной защитой и дополнительно с контролем сопротивления изоляции перед пуском (РЗД-1, РЭЗЭ-6, БТЗ1-1У, УЗ-ЭД);

4) наибольшие функциональные возможности обеспечивают токовые микропроцессорные защиты. Они позволяют формировать время-токовые характеристики во всем диапазоне перегрузок, изменять вид время-токовых характеристик по классам защит (5, 10, 15 и т.д.), что означает время срабатывания при шестикратной перегрузке, иметь повышенный диапазон регулирования тока уставки, моделировать тепловое состояние электродвигателя, иметь интерфейсы связи с компьютерными системами высшего уровня, обеспечивать индикацию текущих значений, уставок, аварийных режимов, память событий. Некоторые из них, например, РЗ-03-07, представляют собой мониторы сети, позволяющие измерять напряжение, токи, электрическую энергию, $\cos \varphi$, моторесурс и др. величины. Такие устройства защиты, как РЗ-03-07, характеризуются избыточностью контролируемых параметров;

5) известные комплексные универсальные устройства защиты построены не на модульном принципе;

6) ни одно известное устройство защиты не контролирует вибрацию электродвигателя и не обеспечивает защиты обмоток электродвигателя от импульсных перенапряжений;

7) большинство известных токовых устройств защиты АД рассчитаны на средние и большие токи, а

в сельском хозяйстве используются электродвигатели малой мощности;

8) все известные устройства защиты имеют низкую степень защиты от воздействия окружающей среды и не пригодны для работы в сельском хозяйстве без специальных защитных оболочек.

Выводы

1. Устройство защиты асинхронного электродвигателя для условий сельскохозяйственного производства должно быть комплексным, модульным, микропроцессорным (без индикатора), универсальным (охватывать в нескольких габаритах токи от 0,1 до 127 А), иметь степень защиты IP65 для индивидуального монтажа и IP31 – для монтажа в НКУ.

2. В основу построения комплексного, универсального и модульного устройства защиты должен быть положен параметр контроля тока. Этот основной модуль должен быть дополнен следующими модулями (для первого уровня защиты): предпускового контроля неполнофазного режима; предпускового контроля обратного чередования фаз; предпускового контроля сопротивления изоляции обмоток. Для второго уровня защиты, кроме указанных модулей, добавляется модуль контроля температуры обмотки. Для третьего уровня защиты, кроме указанных модулей, добавляется модуль контроля вибрации (контроля износа подшипников) и модули дополнительных возможностей.

3. Ни одно известное устройство защиты асинхронного электродвигателя не соответствует этим требованиям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Грундулис, А.О. Защита электродвигателей в сельском хозяйстве/ А.О. Грундулис. – 2-е изд. – Москва: Агропромиздат, 1988. – 111с.

2. Данилов, В.Н. Повышение эксплуатационной надежности электродвигателей, используемых в сельскохозяйственном производстве, электронными средствами защиты: автореф.... дис. д-ра техн. наук: 05.20.02/ В.Н. Данилов. – Челябинск, 1991. – 36 с.