

$$N_o = \frac{2fD}{\frac{D}{v} + \frac{v-v_0}{\alpha_1 g \left(\frac{f}{\sqrt{1-\left(\frac{D-d_n+b}{D}\right)^2}} - \frac{D-d_n+b}{D} \right)}} \times \sqrt{\left(\frac{EL(d_n-b)^2}{4d_n} \right)^2 + \left(\frac{ELD^2}{4d_n} (\alpha_1 - \sin \alpha_1 \cos \alpha_1) \right)^2} \quad (26)$$

Общая мощность на привод плющилки:

$$N = N_m + N_o = \frac{Df}{\frac{D}{v} + \frac{v-v_0}{\alpha_1 g \left(\frac{f}{\sqrt{1-\left(\frac{D-d_n+b}{D}\right)^2}} - \frac{D-d_n+b}{D} \right)}} \times \left(\frac{LbygD}{\cos \alpha_1} \cdot \alpha_2 + 2 \sqrt{\left(\frac{EL(d_n-b)^2}{4d_n} \right)^2 + \left(\frac{ELD^2}{4d_n} (\alpha_1 - \sin \alpha_1 \cos \alpha_1) \right)^2} \right) \quad (27)$$

Выводы

Мощность на привод плющилки существенно зависит от диаметра и длины валцов, зазора между валцами, модуля упругости зерна и скорости зернового потока.

При этом снизить затраты мощности на трение скольжения зерна по поверхности валцов можно увеличивая начальную скорость зернового потока до окружной скорости валцов, а также путём применения валцов с рабочей поверхностью, имеющей рифли и исключаяющей возникновение скольжения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горячкин, В.П. Собрание сочинений: в 3 т. / В.П. Горячкин. – Москва: Колос, 1965. – Т. 3. – 384 с.
2. Воробьев, Н.А. Теоретические исследования производительности вальцово-плющилки / Н.А. Воробьев // Агропанорама. – 2008. – №2. – С. 45 – 48.

УДК 62-83:621.313.333:621.316-9 (088.8)

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 19.02.2008

О ПАРАМЕТРАХ ТРЕХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ЕГО ЗАЩИТЫ ОТ ПЕРЕГРУЗКИ

В.В. Гурин, канд. техн. наук, Е.В. Лавцевич, аспирантка, П.А. Равинский, аспирант (УО БГАТУ)

Аннотация

Приведен анализ изменения параметров трехфазного асинхронного электродвигателя, используемых для его защиты от перегрузки. Количественный анализ изменения температуры, тока, потребляемой мощности и cosφ приведен для электродвигателей серии 4А. Из анализа следует, что наиболее увеличивается при перегрузке температура обмотки статора, затем ток и потребляемая мощность.

Введение

Статистический материал, собранный в ряде научно-исследовательских организаций и вузов, свидетельствует о том, что аварийность асинхронных электродвигателей в сельском хозяйстве остается большой, на уровне 15...20%. Высокая аварийность наносит значительный ущерб производству, и поэтому вопросы защиты электродвигателей особенно актуальны в на-

стоящее время. Одним из мероприятий, позволяющих существенно снизить аварийность электродвигателей, является применение устройств защиты. Однако в известной литературе нет анализа возможных параметров защиты асинхронного электродвигателя от перегрузки. Приведенный в статье качественный и количественный анализ изменения параметров асинхронных электродвигателей при перегрузке устраняет этот пробел.

Основная часть

Для защиты электродвигателя от перегрузки применяются параметры, изображенные на рис. 1.

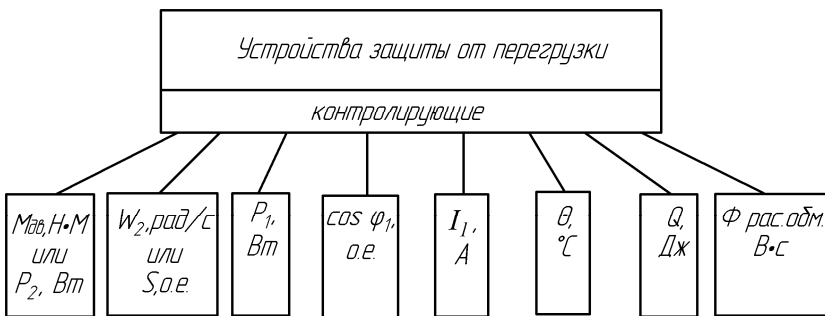


Рисунок 1. Параметры, позволяющие контролировать перегрузку электродвигателя.

Контролировать момент электродвигателя $M_{об}$ или мощность на валу P_2 можно, используя датчики момента и мощности, устанавливаемые между валами электродвигателя и рабочей машины, но такой контроль не используется, т.к. имеет большие трудности в реализации из-за сложности датчиков момента (мощности), их дороговизны и необходимости устанавливать датчики между валами.

Контроль скорости ω_2 на валу электродвигателя или скольжения s ротора также требует установки очень точного датчика скорости или скольжения на валу электродвигателя. Это неудобно реализовать на практике, поэтому такой контроль не используется.

Потребляемая из сети мощность P_1 успешно может быть использована, поскольку она пропорциональна мощности на валу. Особенно эффективно использовать контроль потребляемой мощности для электродвигателей малой мощности, или малой син-

хронной скорости вращения, когда коэффициент мощности претерпевает значительные изменения, а ток изменяется незначительно. Этот способ не получил должного применения до последнего времени. В связи

с появлением интегральных микросхем типа АД7755 для электронных счетчиков появилась реальная возможность построения устройств защиты от перегрузки с контролем потребляемой мощности.

Защита от перегрузки по коэффициенту мощности основана на контроле увеличения $\cos \varphi$ при перегрузке для некоторых электродвигателей, обычно малых по мощности, или имеющих низкую синхронную частоту вращения.

Достоинства этого способа защиты от перегрузки состоят в том, что не требуется измерять значения тока и напряжения, а необходимо измерять фазу между ними. Это позволяет использовать одно и то же устройство для различных по мощности электродвигателей, но весьма избирательно, точно зная, что $\cos \varphi$ увеличивается при перегрузке, например, по данным справочника [1].

Недостатки способа защиты от перегрузки по значению $\cos \varphi$ состоят в следующем:

- в ограниченности применения (не для всех электродвигателей);
- при стопорном режиме (максимальная нагрузка) $\cos \varphi$ снижается до 0,45-0,5 и устройство не реагирует на этот аварийный режим;
- влияние отклонений напряжений на $\cos \varphi$. Известно, что уменьшение напряжения приводит к увеличению $\cos \varphi$. Следовательно, может наблюдаться ложное увеличение перегрузки на валу, а на самом деле – уменьшение напряжения в сети;
- низкая точность задания вставки защиты.

Этот способ защиты электродвигателя от перегрузки получил ограниченное применение.

Ток I_1 , потребляемый электродвигателем, является главным источником потерь в электродвигателе и причиной его нагрева. Этот параметр широко используется для построения токовых устройств защиты (рис.2).

Электромеханические реле максимального тока отключают электродвигатель при превышении вставки реле мгновенно, без выдержки времени (токовая отсечка), (линия 3 на рис.3). Эти же реле вместе с реле времени могут обеспечить токовую отсечку

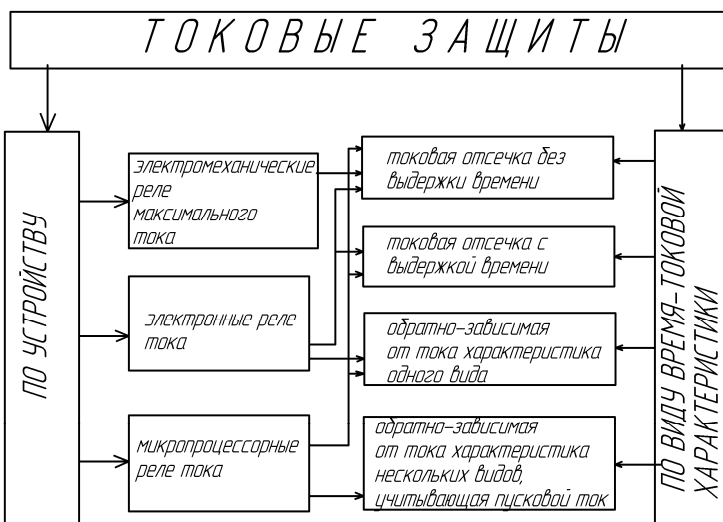


Рисунок 2. Виды токовых защит по устройству и виду времени – токовой характеристики.

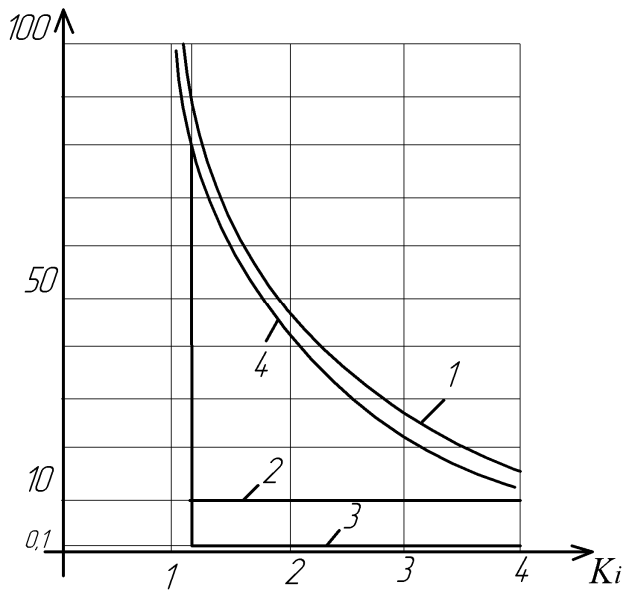


Рисунок 3. Перегрузочная характеристика электродвигателя и время-токовые характеристики устройства токовой защиты: 1 - допустимая перегрузочная характеристика электродвигателя; 2 - токовая отсечка при $K_i \geq 1,2$ с выдержкой времени 10 с; 3 - токовая отсечка при $K_i \geq 1,2$ без выдержки времени; 4 - обратно-зависимая от тока характеристика аппарата защиты.

с выдержкой времени (линия 2 на рис.3).

Получения одной выдержки времени недостаточна для обеспечения токовой защиты электродвигателя от перегрузки. Например, при перегрузке 30 % с помощью реле времени обеспечивается выдержка времени 30 с. Если же перегрузка будет 20 %, то реле максимального тока не сработает. Этого нельзя допустить, т. к. что перегрев обмотки всего на $8 \dots 10^{\circ} \text{C}$ сокращает её срок службы в 2 раза. Если же настройка реле будет соответствовать номинальному току, то при переменной, не опасной нагрузке с кратковременными выбросами тока выше номинального значения, реле будет ложно срабатывать. По этим причинам электро-механические и электронные реле с отсечкой не могут обеспечить защиту электродвигателя от перегрузки при переменной нагрузке на валу.

Для защиты электродвигателей от перегрузки наиболее подходят *электронные реле перегрузки*, обеспечивающие обратно-зависимую от тока характеристику (линия 4 на рис.3).

На рис. 3 характеристика 1 представляет собой допустимую перегрузочную характеристику асинхронного электродвигателя. Защитная характеристика аппаратов защиты должна проходить ниже перегрузочной характеристики электродвигателя 1 во всем диапазоне значений кратностей тока перегрузки.

Микропроцессорные реле тока совершеннее электронных реле, поскольку обработку сигнала производят

в цифровом виде и позволяют получить больше настроек параметров контроля, имеют память [2-3]. Они позволяют получить семейство обратнозависимых время-токовых характеристик, описываемых различными уравнениями, например, следующего вида:

$$t_{cp} = \frac{Q}{K_i^2 - 1}, \quad (1)$$

где Q – некоторое число, которое выбирается в зависимости от типоразмера электродвигателя;

K_i – кратность тока перегрузки, $K_i = I/I_n$.

Контроль выделенного в обмотке тепла от протекающего тока изменяется пропорционально выделенному теплу на нагревателе электротеплового реле. Следовательно, контролируя тепло от нагревателя теплового реле, можно косвенно контролировать тепло, выделенное в обмотке электродвигателя. Такие устройства получили название *тепловой защиты электродвигателя*.

Основной характеристикой электротеплового токового биметаллического реле является его защитная время-токовая характеристика, представляющая собой зависимость времени срабатывания t_{cp} от тока:

$$t_{cp} = T_{б.э} \cdot \ln \frac{I^2 - I_0^2}{I^2 - I_{погр}^2}, \quad (2)$$

где $T_{б.э}$ – постоянная времени нагрева биметаллического элемента, с;

I, I_0 – ток нагрева и ток предварительного подогрева биметаллического элемента, А;

$I_{погр}$ – пограничный ток или максимальный ток несрабатывания электротеплового реле, А;

$I_{погр} = 1,05 I_{ном.тепл.реле}$ [4].

Выражение (2) обеспечивает обратнозависимую от тока характеристику и наиболее полно соответствует защитной характеристике электродвигателя в области малых перегрузок и неудовлетворительно соответствует защитной характеристике электродвигателя при пусковых токах.

Современные электротепловые токовые биметаллические реле имеют температурную компенсацию, уменьшающую влияние температуры окружающей среды на характеристики реле и механизм ускоренного срабатывания при неполнофазном режиме.

Недостатки электротепловых токовых биметаллических реле следующие:

- недостаточная стабильность характеристик во времени (в процессе эксплуатации характеристика биметалла реле и других частей изменяется из-за изменений молекулярной структуры материала от тепловых воздействий);

- разброс параметров срабатывания реле, зависимость их от температуры;

- недостаточная коррозионная стойкость реле в условиях сельскохозяйственных помещений (коррозия приводит к изменению усилий в трущихся частях реле и изменению защитных характеристик реле);

- недостаточная стойкость реле к токам КЗ;
- малый диапазон тока регулирования реле, в связи с чем требуется иметь в хозяйстве большой арсенал реле. Например, в диапазоне только до 10 А необходимо иметь 19 типоразмеров реле.

Указанные недостатки позволяют сделать заключение о несовершенстве электротепловых токовых биметаллических реле и о необходимости поиска альтернативных защитных средств. Этот вывод подтверждают отечественные [5] и зарубежные исследователи [6].

Температура обмотки электродвигателя θ (или его частей) также широко используется для контроля перегрузки электродвигателя. Температура обмотки вторична по отношению к току. В то же время температура обмотки зависит не только от тока, но и от потерь в стали, в роторе, в подшипниках, условий охлаждения электродвигателя. Наконец, температура является тем параметром, который ограничивает мощность электродвигателя, т.е. играет главную роль в определении долговечности электродвигателя. Устройства защиты, контролирующие температуру, получили название *температурных защит*.

Температурная защита электродвигателей основана на контроле температуры его обмоток с помощью встраиваемых внутрь обмоток термодатчиков или с помощью специальных схем, контролирующих сопротивление обмоток. Последний случай встречается редко, к тому же, по сопротивлению обмоток можно определить среднюю температуру, а с помощью термодатчиков – температуру в наиболее нагреваемой части обмотки, что является важным преимуществом термодатчиков.

Опыт применения устройств встроенной температурной защиты (УВТЗ) в сельском хозяйстве показал их следующие недостатки [7]:

- чтобы подключить УВТЗ, необходимы дополнительные монтажные работы, связанные с прокладкой двух проводов от УВТЗ к электродвигателю. В действующих электроустановках трубы, в которых проложены провода, имеют изгибы, что делает невозможной протяжку в них дополнительных проводов;
- с увеличением расстояния от УВТЗ до электродвигателя (наибольшее расстояние – 50...70м) возрастает расход проводов, снижается надежность защиты;
- запаздывание срабатывания позисторов при стопорном режиме работы в связи с большой постоянной времени нагревания термодатчиков;
- наведение паразитных ЭДС в проводах подключения термодатчиков, что приводит к ложным срабатываниям устройств защиты.

В последнее время наблюдается тенденция косвенного определения температуры обмотки по тепловой модели с использованием микропроцессорных устройств. Однако такой способ менее надежен, чем использование термодатчиков.

Контроль электромагнитных полей рассеяния $\Phi_{рас}$ обмоток электродвигателя осуществляется установкой датчиков поля возле обмоток электродвигателей. Поля рассеяния пропорциональны току электро-

двигателя, поэтому при перегрузке сигнал возрастает. Однако установка датчиков возле обмотки не простая задача. Поэтому данный способ не нашел применения. За рубежом известно устройство фирмы Adwell (Великобритания), построенное на использовании полей рассеяния обмоток [8].

Установим изменение основных параметров электродвигателя при перегрузке: потребляемой мощности P_1 ; потребляемого тока I_1 ; коэффициента мощности $\cos \varphi$; температуры превышения $\Delta\theta$. Считаем, что электродвигатель питается трехфазным номинальным симметричным напряжением, температура и влажность окружающего воздуха и теплоотдача электродвигателя постоянны.

Относительное изменение потребляемой мощности P_1^* при перегрузке 25 % ($P_{1,25}$) в процентах к мощности при номинальной нагрузке $P_{1н}$ определяется выражением:

$$P_1^* = \frac{P_{1,25} - P_{1н}}{P_{1н}} \cdot 100\% = \frac{1,25\eta_n - \eta_{1,25}}{\eta_{1,25}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где η_n , $\eta_{1,25}$ – номинальный и при перегрузке 25 % коэффициент полезного действия электродвигателя, о.е., [1].

Относительное изменение тока I_1^* при перегрузке $I_{1,25}$ в процентах к номинальному току $I_{1н}$ определяется выражением:

$$I_1^* = \frac{I_{1,25} - I_{1н}}{I_{1н}} \cdot 100\% = \times \frac{1,25 \cos \varphi_n \cdot \eta_n - \cos \varphi_{1,25} \cdot \eta_{1,25}}{\cos \varphi_{1,25} \cdot \eta_{1,25}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где $\cos \varphi_n$, $\cos \varphi_{1,25}$ – номинальный и при перегрузке 25 % коэффициент мощности электродвигателя, о.е., [1].

Относительное изменение $\cos \varphi^*$ при перегрузке $\cos \varphi_{1,25}$ в процентах к номинальному значению $\cos \varphi_n$ определяется выражением:

$$\cos \varphi^* = \frac{\cos \varphi_{1,25} - \cos \varphi_n}{\cos \varphi_n} \cdot 100\%. \quad (5)$$

Относительное изменение температуры превышения $\Delta\theta^*$ обмотки при перегрузке $\Delta\theta_{1,25}$ к номинальной температуре $\Delta\theta_{раб}$ в процентах составит:

$$\Delta\theta^* = \frac{\Delta\theta_{1,25} - \Delta\theta_{раб}}{\Delta\theta_{раб}} \cdot 100\% = \frac{1,25\eta_n - \eta_{1,25} - 0,25\eta_n \cdot \eta_{1,25}}{(1 - \eta_n) \cdot \eta_{1,25}} \cdot 100\%. \quad (6)$$

Расчеты выполнены с применением компьютерной программы MS Excel. В качестве примера на рис.4 изображено изменение указанных параметров для четырехполюсных асинхронных электродвигателей.

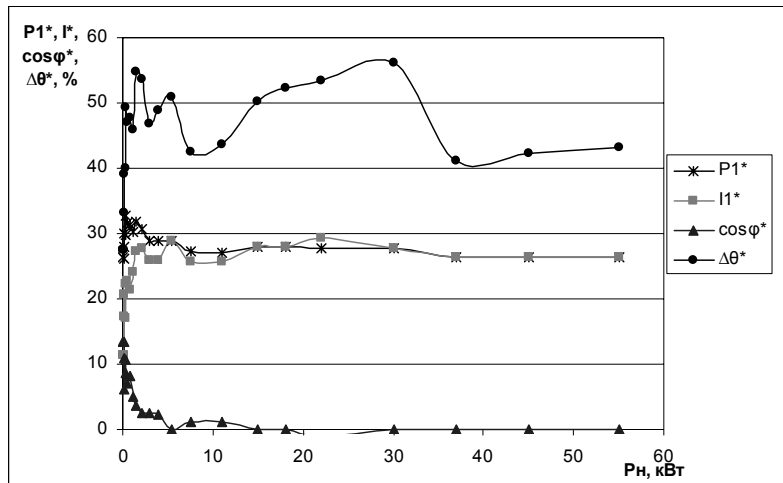


Рисунок 4. Относительное изменение параметров асинхронных электродвигателей при синхронной частоте вращения 1500 мин⁻¹ основного исполнения (до 55 кВт) при перегрузке в зависимости от номинальной мощности.

Заключение

Полученные результаты расчетов позволяют сделать следующие выводы:

- наибольшие изменения при перегрузке имеет температура превышения $\Delta\theta^*$;
- наименьшее процентное изменение при перегрузке имеет параметр $\cos\varphi^*$, причем этот параметр приемлем только для электродвигателей малой мощности. Для многих электродвигателей этот параметр не может применяться из-за нулевых или отрицательных значений приращения параметра;
- если сравнить изменение параметров P_1^* и I_1^* при перегрузке, то для всех синхронных частот вращения вначале (до мощности 5,5 кВт) большие изменения имеет мощность P_1^* , а при номинальных мощностях более 5,5 кВт имеет место примерно одинаковое изменение P_1^* и I_1^* ;
- при современном состоянии температурных и тепловых защит, характеризующихся многими и су-

щественными недостатками, на первом месте по возможностям оказываются токовые микропроцессорные защиты от перегрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кравчик, А.Э. Асинхронные двигатели серии 4А: справочник/ А.Э. Кравчик и [др.]. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.
2. Михайлов, Н.М., Яковлев, С.К. Зарубежные устройства защиты трехфазных асинхронных электродвигателей на базе микропроцессоров и микроЭВМ/ Н.М. Михайлов, С.К. Яковлев // Сб. трудов ВНИИР.— Чебоксары, 1987. – С. 53-58.
3. Радин, В.И. Применение микроУВМ для управления режимами работы асинхронного электродвигателя общего назначения/ В.И. Радин и [др.]// Электротехника. – 1987, №4. – С. 17-19.
4. Чунихин, А.А. Электрические аппараты. Общий курс: учебник/ А.А. Чунихин. – 3-е изд. – Москва: Энергоатомиздат, 1988. – 720 с.
5. Мусин, А.М. Пути повышения надежности электроприводов в сельском хозяйстве/ А.М. Мусин // Электроника. – 1978, №10. – С. 10-12.
6. Wilson, C. Motor protection under fire-more accuracy required say users/ Clive Wilson // Elec.Times. – 1976, №4407. – С. 7-13.
7. Кунин, Р.З. Применение встроенной температурной защиты/ Р.З. Кунин// Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1981, №10. – С. 42-43.
8. Rickson, C. Защитные устройства для двухскоростных двигателей. Cost effective protection for two-speed motors / C. Rickson // "Elec. Times". – 1975.– №4342. – С. 9.

“Агропанорама” - научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса. Это издание для тех, кто стремится донести результаты своих исследований до широкого круга читателей, кого интересуют новые технологии, кто обладает практическим опытом решения задач.

Журнал “Агропанорама” включен в список изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований по сельскохозяйственным и техническим наукам (сельскохозяйственное машиностроение, транспорт, геоэкология, энергетика). Журнал выходит раз в два месяца, распространяется по подписке и в розницу в киоске БГАТУ. Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков - 74884, предприятий и организаций - 748842. Стоимость подписки на второе полугодие 2008 года: для индивидуальных подписчиков - 17700 руб., ведомственная подписка - 35400 руб.