

Построение новых защит на основе анализа характера изменения суммарной мгновенной мощности при возмущении электрической цепи

РАЙНИН В.Е., КОБОЗЕВ А.С., СЕРЕДА А.Г.

Применение в устройствах защиты микропроцессорной техники дает возможность извлекать из данных о контролируемых параметрах (ток, напряжение, мощность) дополнительную информацию о коэффициенте мощности или постоянной времени. Это позволяет существенно повысить возможности защит, при этом эффективность новых, более совершенных защит, во многом зависит от скорости определения дополнительных параметров. Показано, что можно быстро (в течение первых 20 мс после возникновения тока возмущения) определить значение коэффициента мощности путем анализа характера изменения суммарной мгновенной мощности трехфазной цепи. Полученная информация позволяет отстроиться от пусковых токов электродвигателей и тем самым существенно повысить чувствительность защиты к небольшим токам КЗ. В результате появляется возможность реализовывать как защиту «дальнего резервирования», так и защиту от удаленных КЗ. Показано, что быстрое определение постоянной времени в первый момент пуска асинхронного электродвигателя (до начала вращения ротора), позволяет контролировать изменение сопротивления обмоток и, соответственно, их температуру по характеру изменения мгновенной мощности. Это позволяет использовать сами обмотки в качестве датчиков температуры для построения эффективной тепловой защиты электродвигателей, работающих в тяжелом повторно-кратковременном режиме.

Ключевые слова: суммарная мгновенная мощность в переходном режиме, быстрое извлечение информации о $\cos\varphi$, совершенствование токовых защит сетей и электродвигателей.

В настоящее время в электрических сетях 0,4 кВ в качестве критерия срабатывания защит используются значения токов, их интегралов Джоуля, а также степень несимметрии напряжений. Однако для повышения качества защиты нужны дополнительные критерии. Возможности микропроцессорной техники позволяют использовать более сложные параметры, например, мощность.

Так, в терминалах БМРЗ-0,4, разработанных НТЦ «МЕХАНОТРОНИКА», в качестве критерия срабатывания защиты «дальнего ре-

The application of the protection devices of microprocessor technology allows to extract data traditionally controlled parameters (current, voltage, power) for more information on power factor or time constant. This significantly increases the possibilities of protection, the effectiveness of new, more perfect protection, largely depend on how quickly define additional settings. It is shown that you can quickly (within the first 20 ms after the inception of the current disturbances) to determine the value of the power factor by analysis of the nature of changes in the total instantaneous power of three-phase circuit. This information allows us to separate from the starting current of the motor, and, thereby, increase the sensitivity of protection to small short circuit currents. In the result, there appears the possibility to implement, as the protection of «remote backup», and protection against remote short circuit. It is shown that quickly determine the time constant in the first moment of start-up of the asynchronous electric motor (until the beginning of rotor rotation), allows you to control the change of resistance of windings and temperature on the character of change of instantaneous power. This allows you to use winding themselves as temperature sensors for building effective thermal protection electric motors working in heavy intermittent duty.

Key words: total instantaneous power in transitional regime, rapid retrieval of information about $\cos\varphi$, improvement of current protection networks and electric motors.

зервирования» используется соотношение действующих значений активной и реактивной составляющих приращения фазного тока, для определения которых измеряется активная и реактивная мощность. В конечном счете, контролируется коэффициент мощности цепи (или при синусоидальных токах – $\cos\varphi$). Это позволяет выяснить является ли ток возмущения пусковым током электродвигателя или соизмеримым или даже меньшим током короткого замыкания, поскольку известно, что при пусках асинхронных двигателей

$\cos j = (0,2, 0,3)$, в то время как при небольших токах КЗ в линии $\cos j = (0,7, 0,8)$.

Однако достоверно выполнить идентификацию можно только после окончания переходного процесса изменения тока возмущения. Так как длительность переходного процесса, в частности, при пуске электродвигателя доходит до 60 мс, быстроедействие защит в этом случае будет находиться в пределах 80–100 мс, что является недостаточным для защиты «дальнего резервирования» или при удаленных КЗ.

Определить $\cos j$ в начале переходного процесса в симметричной трехфазной линейной цепи с синусоидальным напряжением можно, анализируя поведение кривой суммарной мгновенной мощности. Дело в том, что в отличие от мгновенных мощностей каждой фазы их сумма не зависит от случайного параметра – начальной фазы включения.

Мгновенные мощности каждой фазы равны [1]:

$$p_a(t) = 2UI \sin(\omega t + \gamma) [\sin(\omega t + \gamma - j) - \sin(\gamma - j)] e^{-t/\tau};$$

$$p_b(t) = 2UI \sin(\omega t + 2\pi/3) [\sin(\omega t + \gamma - j + 2\pi/3) - \sin(\gamma - j + 2\pi/3)] e^{-t/\tau};$$

$$p_c(t) = 2UI \sin(\omega t - 2\pi/3) [\sin(\omega t + \gamma - j - 2\pi/3) - \sin(\gamma - j - 2\pi/3)] e^{-t/\tau};$$

где U и I – соответственно, действующие значения фазного напряжения и тока; τ – постоянная времени цепи; γ – начальная фаза включения.

Опуская промежуточные преобразования, приведем конечное выражение для суммарной мгновенной мощности симметричной трехфазной системы в переходном режиме:

$$Sp(t) = 3UI [\cos j - \cos(\omega t + j)] e^{-t/\tau}. \quad (1)$$

Анализ выражения (1) показывает, что характер изменения функций $Sp(t)$ в начале переходного процесса имеет вид затухающих колебаний относительно установившегося значения. Размах колебаний существенно зависит от постоянной времени цепи, т.е. от $\cos j$. Поэтому по виду зависимости $Sp(t)$ в начале переходного процесса можно идентифицировать вид тока возмущения. В качестве примера на рис. 1 приведен график функции $Sp(t)$ для $\cos j = 0,4$ и $0,2$. Наиболее информативным параметром, характеризующим размах функции при разных значениях $\cos j$, является отноше-

ние разности экстремальных значений мощности к их сумме:

$$K_p = \frac{Sp_{\max} - Sp_{\min}}{Sp_{\max} + Sp_{\min}}. \quad (2)$$

На рис. 2 приведен график зависимости $\cos j = f(K_p)$. Серым цветом выделены участки графика, соответствующие зонам небольших токов КЗ ($\cos j = 0,7, 0,8$ и пусковых токов электродвигателя ($\cos j = 0,2, 0,3$). Как видно из графика, предложенный параметр действительно может быть надёжным критерием для идентификации вида возмущения электрической цепи.

Идея быстрого определения коэффициента мощности по кривой суммарной мгновенной мощности в начале переходного процесса оказалась плодотворной и для другой задачи: температурной (тепловой) защиты асинхронных двигателей, не имеющих встроенных датчиков температуры и работающих в тяжелом повторно-кратковременном режиме.

Для двигателей, работающих в обычных режимах, принято использовать тепловую защиту от перегрузок на основе контроля интеграла Джоуля. Применение в том или ином виде указанного интеграла обеспечивает косвенный контроль температуры обмотки. Но для двигателей, работающих в тяжелом повторно-кратковременном режиме, защиты на основе интеграла Джоуля существенно замедляют работу технологического оборудования и в итоге снижают его производительность.

Поэтому многие компании переходят на более динамичные защиты с фиксированным

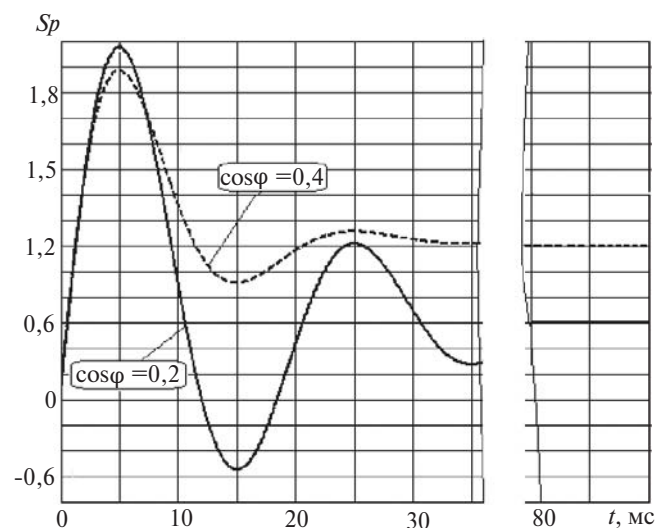
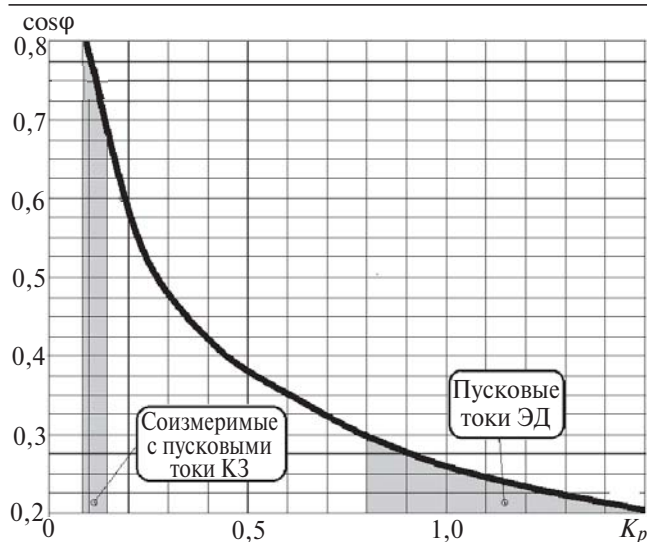


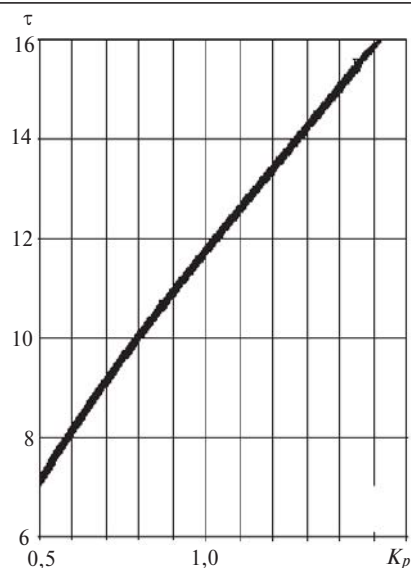
Рис. 1. Зависимости изменения суммарной мгновенной активной мощности во времени в переходном режиме при разных значениях $\cos j$

Рис. 2. Зависимость $\cos j$ от коэффициента K_p

временем срабатывания. Временная задержка в 10–30 с заметно ограничивает время существования тока перегрузки и тем самым позволяет значительно быстрее произвести повторное включение двигателя. Однако при достаточно агрессивном режиме частых пусков без снижения нагрузки на технологическое оборудование температура обмоток может значительно превысить допустимый уровень. Поэтому защита с постоянной временной задержкой применяется в сочетании с дополнительным контролем температуры обмоток. Так, фирма ABB предлагает электродвигатели типа CM-MSE, CM-MSS и CM-MSN с встроенными в их статорную обмотку термисторами, а защиту таких двигателей осуществляет соответствующими реле перегрузки (E16DU–E1250DU) [2].

В то же время существуют защиты с косвенным контролем температуры обмоток. Например, контроль температуры осуществляется путём измерения сопротивления статорной обмотки электродвигателя [3], которое выполняется специальным устройством, подключаемым к обмотке двигателя перед его пуском.

Однако более удобным является такой способ контроля температуры, при котором в качестве датчика температуры используется не термистор, а обмотки электродвигателя. В основе предлагаемого метода лежит зависимость активного сопротивления обмоток и, соответственно, постоянной времени цепи с двигателем от температуры. Изменение постоянной времени можно определить по характеру кривой суммарной мгновенной мощности на первом периоде пускового режима двигателя. Следует отметить, что выполнение анализа в начале пуска позволяет исключить наложение

Рис. 3. Зависимость t от K_p

на этот процесс изменения постоянной времени, вызванной нарастанием скорости вращения ротора.

Информативность ранее выбранного параметра K_p для определения температуры обмоток подтверждается следующим. На рис. 3 приведен расчетный график зависимости $t = f(K_p)$ для реальных значений изменения постоянной времени. Если постоянную времени обмоток двигателя при окружающей температуре принять равной $t_{ок} = 15,6$ мс (что соответствует значению $\cos j = 0,2$), то при увеличении температуры на 125 °С активное сопротивление обмоток увеличится в 1,5 раза, соответственно, уменьшится постоянная времени $t_{125} = t_{ок} / 1,5 = 10,4$ мс. При этом из рис. 3 следует, что при изменении постоянной времени t в 1,5 раза коэффициент K_p изменится в 1,7 раза. Для сведения укажем, что модуль комплексного сопротивления обмоток в этом случае увеличится всего на 2,5%, что практически не отразится на действующем значении пускового тока.

Следует отметить, что предлагаемый метод позволяет выполнять контроль температуры обмоток двигателя при каждом его очередном пуске, при этом в качестве датчиков температуры используются сами обмотки.

Список литературы

1. Чаплыгин Е.Е., Калугин Н.Г. Теория мощности в силовой электронике: Учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальности «Промышленная электроника». М., 2006. <http://lib.podelise.ru/docs/85/index-6539.html?page=6>
2. Низковольтное оборудование ABB. Контактные, реле управления, аппараты защиты электродвигателей / Технический каталог ABB. 2010.

3. Патент РФ № 2227354. Способ тепловой защиты двигателя и устройство для его осуществления.
<http://www.findpatent.ru/patent/222/2227354.htm>

Райнин Валерий Ефимович – профессор кафедры электрических и электронных аппаратов НИУ «МЭИ». Окончил электромашиностроительный факультет Харьковского политехнического института в 1962 г. Защитил докторскую диссертацию по теме «Статические устройства защиты низковольтных электрических аппаратов» в МЭИ (ТУ) в 1999 г.

Кобозев Александр Сергеевич – научный консультант ООО «Экотест», г. Харьков, Украина. Окончил электромашиностроительный факультет Харьковского политехнического института (ХПИ) в 1961 г., канд. техн. наук. Защитил диссертацию по теме «Повышение предельной коммутационной способности токоограничивающих выключателей за счет оптимизации их параметров» в ХПИ в 1981 г.

Середа Александр Григорьевич – доцент кафедры электрических аппаратов Национального технического университета «Харьковский политехнический институт» (НТУ «ХПИ»), г. Харьков, Украина. Окончил электромашиностроительный факультет Харьковского политехнического института (ХПИ) в 1996 г. Защитил диссертацию по теме «Оптимизация индукционно-динамического расцепителя с целью повышения токоограничивающей способности быстродействующих автоматических выключателей» в НТУ «ХПИ» в 2002 г.