

УПРАВЛЕНИЕ ВЫБЕГОМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УСПЕШНОГО САМОЗАПУСКА

Б.В. Жилин

Работа посвящена исследованию процессов при самозапуске для разработки управляющих воздействий на выбег асинхронных двигателей с целью обеспечения восстановления нормального режима работы.

Ключевые слова: самозапуск, асинхронный двигатель, переходный процесс.

Самозапуск – это процесс, возникающий в электродвигательной нагрузке после кратковременного перерыва питания. Подразумевается кратковременный перерыв питания такой длительности, что электродвигатели (ЭД) с приводным механизмом не успевают затормозиться до полной остановки, и после подачи питания начинают разгон с ненулевой скорости вращения. В большинстве случаев перерывы такой длительности возникают при срабатывании устройств релейной защиты и автоматики в системах электроснабжения при различных повреждениях элементов. В отношении самозапуска ЭД можно разделить на три группы. 1. Самозапуск необходим: ЭД ответственных механизмов, остановка которых вызывает прерывание сложного технологического процесса. Собственно и требование длительности перерыва питания на время срабатывания автоматики для первой категории по надежности, обусловлено необходимостью обеспечения самозапуска таких ЭД. 2. Самозапуск необязателен: ЭД неответственных механизмов, остановка которых допустима с точки зрения обеспечения непрерывности технологического процесса, при их последующим пуске. 3. Самозапуск недопустим: ЭД механизмов, неконтролируемый разгон которых после перерыва питания может повлечь нежелательные последствия (травмы персонала, выход из строя оборудования, например, гидравлический удар и т.д.).

Если исключить из рассмотрения особо мощные ЭД, для которых применяются специальные схемы пуска, то пуск одиночного ЭД, в общем случае, обеспечен и не требуется проведения специальных расчетов. И хотя при самозапуске разгон ЭД происходит с ненулевой скорости – это более тяжелый режим, в том смысле, что участвуют в самозапуске все ЭД, подключенные к общим шинам питания, поэтому в питающей сети протекают большие токи, а собственно самозапуск может не произойти, то есть ЭД после восстановления питания все равно затормозятся. Это объясняется тем, что группа ЭД при разгоне потребляет из сети одновременно токи близкие к пусковым, причем приводной механизм нагружен. При этом при подаче питания после перерыва происходит снижение напряжения на зажимах ЭД существенно больше допустимого для нормальных режимов.

Процесс самозапуска состоит из двух процессов: процесс выбега – при потере питания ЭД, и процесс разгона – при повторной подаче питания после кратковременного перерыва. В данном случае возникновение кратковременного перерыва питания может быть по двум основным причинам. 1. При потере питания одной секцией распределительного устройства (РУ) и последующего срабатывания автоматики ввода резерва (АВР) на секционном выключателе, на РУ главной понизительной подстанции, отдельно стоящего РУ, на РУ цеховой трансформаторной подстанции. Длительность перерыва питания определяется уставкой АВР и собственным временем срабатывания (отключения) вводного выключателя и (включения) секционного выключателя. 2. При отключении питающей линии и последующем успешном автоматическом повторном включении (АПВ). Длительность перерыва питания определяется уставкой АПВ и собственным временем срабатывания выключателя в голове линии. Заметим, что бестоковая пауза имеет такую длительность, что имеется техническая возможность производить коммутации во время выбега, при соответствующей настройке релейной защиты и автоматики.

Так как питание теряет группа ЭД, подключенных к одной секции шин, то процесс группового выбега имеет особенности. ЭД в процессе выбега генерируют ЭДС: у СД, у которых есть обмотка возбуждения, и которые переходят в генераторный режим – ЭДС затухает медленно по мере снижения скорости вращения; у АД, на роторе которых есть остаточное намагничивание, создающее магнитное поле аналогично обмотке возбуждения СД, ЭДС затухает быстрее, так как уменьшается скорость вращения и уменьшается остаточное намагничивание. Однако на общих шинах потерявших питание во время выбега поддерживается остаточное напряжение, которое уменьшается с течением времени, и которое позволяет обмениваться ЭЭ выбегающим ЭД. Образуется автономная электрическая система: причем двигатели, которые тормозятся медленнее (меньше момент сопротивления и больше инерционность системы «ЭД-приводной механизм») имеют на зажимах напряжение, опережающее на угол δ напряжение быстро тормозящих ЭД, и поэтому отдают энергию двигателям с «отстающим» напряжением, подпитывая их и замедляя их торможение. Это приводит к тому, что у ЭД с опережающей ЭДС появляется дополнительный тормозной момент, и они замедляют вращение быстрее, чем при одиночном выбегае. А у ЭД с отстающей ЭДС появляется дополнительный вращающий момент, и они замедляют вращение медленнее, чем при одиночном выбегае. В результате все двигатели выбегают синхронно, то есть с одной электрической частотой. Однако, при снижении остаточного напряжения на шинах до $0,25 \cdot U_{НОМ}$ по [1], до $0,6 \cdot U_{НОМ}$ по [2], обмен мощностями между ЭД уменьшается и не может «удержать» ЭД с «отстающим» напряжением на той же частоте, и система «разваливается» (то есть возникает асинхронный ход, аналогичный энергосистеме) и ЭД далее выбегают индивидуально.

Таким образом, если ЭД с неотвественным механизмом (который может не участвовать в самозапуске) будет тормозиться медленнее, чем двигатели с ответственными механизмами, то целесообразно не отключать его на время выбега, так как он отдаст часть своей механической энергии другим ЭД, что позволит достигнуть меньшего скольжения к моменту повторной подачи питания. И напротив, если ЭД ответственных механизмов тормозятся медленнее и отдают энергию остальным ЭД, то целесообразно отключить такие ЭД с неотвественными механизмами на время выбега. Заметим, что при повторной подаче питания, т.е. к моменту начала разгона, ЭД неотвественных механизмов всегда должны быть отключены.

Еще одна причина кратковременного перерыва питания - это электрически близкое короткое замыкание (КЗ), которое затем отключается релейной защитой. Перерыв питания возникает при глубокой посадке напряжения вследствие КЗ, его длительность определяется временем срабатывания релейной защиты и выключателя, отключающего КЗ. Заметим, что выбег на КЗ, когда ЭД генерируют ЭДС и отдают часть своей энергии в виде тока КЗ (подпитка КЗ двигателями), они сильнее тормозятся, чем при выбеге при отключении питания, обменных процессов между ЭД практически не происходит, отключение на время выбега не имеет смысла, и нет технической возможности это сделать.

Другим фактором, на который можно повлиять работой автоматики, и тем самым улучшить условия самозапуска, является воздействие статических компенсирующих устройств (КУ) реактивной мощности (РМ), выполненных на основе конденсаторных батарей. Очевидно положительное влияние КУ на этапе разгона ЭД: снижают потребление узлом нагрузки РМ и, как следствие, повышают напряжение на зажимах разгоняющихся ЭД, повышая их вращающий момент.

Но не так очевидно влияние КУ на выбег асинхронных двигателей (АД), особенно при глубокой степени компенсации. Рассмотрим случай выбега одиночного АД с параллельно включенной конденсаторной батареей. Под действием остаточный ЭДС через конденсаторы протекает ток опережающей ЭДС на угол близкий к 90° , реактивная составляющая которого одновременно является и намагничивающим током АД. Увеличение намагничивающего тока ведёт к увеличению ЭДС, увеличение которой к увеличению тока, т.е. процесс развивается лавинообразно и устанавливается достаточно высокое значение ЭДС [3] - остаточное напряжение в терминах самозапуска. Это является первым эффектом взаимовлияния статических КУ и выбегающего АД, так как при групповом выбеге это позволит выбегающим АД дольше обмениваться энергией, дополнительно тормозя одни двигатели, и передавая энергию другим. Влияние этого на успешность самозапуска должно решаться в комплексе с анализом процессов описанных выше.

Однако при увеличении степени компенсации, т.е. увеличении мощности КУ, возникает ещё процесс самовозбуждения. При увеличении мощности конденсатора, собственная частота колебательного контура "КБ-индуктивность АД" будет уменьшаться и наступит момент, когда частота колебаний этого контура станет меньше частоты вращения ротора, что соответствует отрицательному скольжению АД, то есть отбору кинетической энергии ротора в колебательный контур, где она рассеивается в активных сопротивлениях [3] - это явление известно как конденсаторное торможение АД. Таким образом, имеются нижние границы величины ёмкости КБ и скорости вращения ротора, ниже которых самовозбуждение прекращается. Отбор энергии с ротора, то есть дополнительная торможение ротора во время выбега ведёт к тому, что к моменту подачи питания двигатель затормозится больше, чем без конденсаторов. При групповом выбеге с КБ имеет место аналогичный процесс, когда описанные явления "распределяются" на несколько выбегающих двигателей.

Для оценки влияния статических КУ на выбег АД можно определять соотношение параметров системы характерных только для ёмкости конденсаторов, которые не зависят от параметров режима: коэффициента загрузки АД, вида характеристики момента сопротивления и т.д. То есть выявляется только факт наступления самовозбуждения АД, и определяется нижняя граница области самовозбуждения в координатах параметров системы. Использовалась методика [3], при этом делаются допущения: не учитываются потери в стали АД и влияние чистоты на активное сопротивление ротора, токи и напряжение синусоидальны. Результаты расчетов показали [4], что для общепромышленных АД с короткозамкнутым ротором самовозбуждение появляется при выполнении соотношения

$$Q_K \geq (0,55...0,70) \cdot Q_{\text{НОМ АД}},$$

где Q_K – мощность статических КУ; $Q_{\text{НОМ АД}}$ - реактивная номинальная мощность АД. Диапазон каталожных данных для АД до 1 кВ $\text{tg}\varphi_{\text{НОМ}}=0,45...0,71$; для АД выше 1кВ $\text{tg}\varphi_{\text{НОМ}}=0,50...0,80$, что позволяет грубо оценить, что самовозбуждение появляется при выполнении соотношений: до 1 кВ $Q_K \geq (0,25...0,49) \cdot P_{\text{НОМАД}}$, выше 1 кВ $Q_K \geq (0,30...0,58) \cdot P_{\text{НОМАД}}$. Принимая во внимание максимальные значения коэффициента реактивной мощности, потребляемой в часы больших суточных нагрузок электрической сети, для энергопринимающих устройств потребителей в точках поставки с уровнем напряжения 110 кВ (154 кВ) $\text{tg}\varphi_{\text{НОМ}}=0,5$; 35 кВ и 6...20 кВ $\text{tg}\varphi_{\text{НОМ}}=0,4$; 0,4 кВ $\text{tg}\varphi_{\text{НОМ}}=0,35$ [5], можно видеть, что максимальные значения для обеспечения требований энергосистемы $Q_K=(0,30...0,36) \cdot P_{\text{НОМАД}}$.

Можно видеть, что возникновение самовозбуждения АД, т.е. отрицательное влияние статических КУ на выбег может проявиться только при более глубокой степени компенсации, чем это требуют условия присоединения к электрическим сетям энергоснабжающей организации (с учетом

того, что кроме электродвигательной присутствует статическая нагрузка). Увеличение мощности статических КУ свыше требуемых энергосистемой возможно при использовании статических регулируемых источников РМ (на основе полупроводниковой коммутации), применяемых для решения широкого круга задач управления режимами систем электроснабжения.

Таким образом, улучшения условий самозапуска с целью успешного восстановления нормального режима электродвигательной нагрузки после кратковременного перерыва питания, во-первых, возможно посредством коммутации части ЭД в процессе выбега, на основе анализа характеристик и параметров ЭД и приводных механизмов. Во-вторых, воздействие статических КУ на выбегающие АД также требует анализа, так как их отключение на время выбега способно повлиять на дополнительное торможение ЭД, и облегчить условия последующего разгона и успешность самозапуска в целом.

Список литературы

1. Сыромятников И.А. Режимы работы асинхронных и синхронных двигателей. М.: Энергоатомиздат, 1984. 240 с.
2. Гуревич Ю.Е., Либова Л.Е., Хачатрян Э.А. Устойчивость нагрузки электрических систем. М.: Энергоиздат, 1981. 206 с.
3. Кашкалов В.И. Конденсаторное торможение асинхронных двигателей. М.: Энергия, 1977. 121 с.
4. Жилин Б.В. Применение статических источников реактивной мощности в целях оптимизации режима распределительных сетей: дис. ... канд. техн. наук. М., 1986. 173 с.
5. Приказ Министерства энергетики РФ от 23 июня 2015 г. N 380 "О Порядке расчета значений соотношения потребления активной и реактивной мощности для отдельных энергопринимающих устройств (групп энергопринимающих устройств) потребителей электрической энергии". [Электронный ресурс] URL: <http://base.garant.ru/71146780/#ixzz5VskGY771> (дата обращения: 21.06.2018).

Жилин Борис Владимирович, д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой, glnbv@mail.ru, Россия, Новомосковск, Новомосковский институт РХТУ им. Д.И. Менделеева

ELECTRIC MOTOR CONTROL FOR ENSURING A SUCCESSFUL SELF-ENTRY

B.V. Zhilin

The work is devoted to the study of processes with self-starting for the development of control actions on asynchronous motors with the aim of restoring normal operation.

Key words: self-starting, asynchronous motor, transient process.

Zhilin Boris Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor, head of chair, glnbv@mail.ru, Russia, Novomoskovsk Institute (branch) D.Mendeleev University of Chemical Technology of Russia

УДК 621.3

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВОЗМОЖНЫХ ОСТАНОВОК РАБОЧИХ МАШИН

А.Н. Шпиганович, В.И. Зацепина, Е.П. Зацепин, С.С. Астанин

Приводится анализ технических составляющих производства после чего производится экономическая оценка оборудования в производственных процессах. В качестве примера оборудования используются технические данные с оборудования предприятия ПАО «НЛМК» после чего делается вывод о экономической целесообразности применения различных способов повышения надёжности с целью предотвращения остановки производства.

Ключевые слова: отказ оборудования, надёжность оборудования, экономический эффект резервирования, электрооборудование.

В системах электроснабжения, без наличия структурного и временного резервирования, а тем более средств автоматики и релейной защиты возможны возникновения отказов, вызывающих остановки технологических машин. Вынужденные остановки машин возможны как отказов приемников электрической энергии, так и разъединителя главной понизительной подстанции, то есть электрооборудования любого уровня системы электроснабжения. Как правило, отказы электрооборудования не зависимо от их вида, будь то случайные или постепенные они не взаимосвязаны между собой. Поэтому подходы к технико-экономической их оценке должен быть однотипными, хотя они будут, в некоторой степени, отличаться друг от друга. Так для случайных отказов, оценка должна выполняться непосредственно через функцию распределения длительностей их устранения.

Системы электроснабжения промышленных предприятий, как правило, относятся к сложным, иерархическим, обычно их делят на шесть уровней [1]. Первый уровень состоит из электроприемников, представляющих электрические двигатели и приводные устройства. Следовательно, эффективность функционирования технологического процесса, выпуск продукции предприятием, напрямую зависит от безотказности обеспечения питанием электроприемников. Вынужденные перерывы в обеспечении электроэнергией приемников определяются отказами электрооборудования уровней системы электроснабжения. Оборудование систем промышленного предприятия, будь то технологическая, электрическая, релейной