

Регулируемый электропривод и его роль в энергосбережении

Зайцев А.И., Лядов Ю.С.

Рассматриваются вопросы энергосбережения при использовании регулируемых электроприводов для механизмов с вентиляторной характеристикой, дается оценка электромагнитной совместимости комплекса «преобразователь - регулируемый электродвигатель - питающая сеть».

Энергосбережение (рационализация производства, распределения и использования всех видов энергии) стало в последние годы одним из приоритетных направлений технической политики во всех развитых странах мира. Энергосбережение в любой сфере сводится к снижению бесполезных потерь. Анализ структуры потерь в сфере производства, распределения и потребления электроэнергии показывает, что основная составляющая потерь (до 90 %) приходится на сферу потребления.

В течение длительного отрезка времени в России и странах СНГ отпускная цена на энергоносители была значительно ниже фактической стоимости, что не стимулировало оптимизацию энергопотребления и внедрения энергосберегающих технологий. По оценкам специалистов, среднее энергопотребление на единицу валового национального продукта в России в 2-3 раза превышает соответствующие показатели передовых стран мира. Опережающий рост стоимости энергоносителей привел к тому, что энергетическая составляющая в себестоимости готовой продукции на предприятиях достигает 20-60 %. Поэтому чрезвычайную актуальность приобретает разработка комплекса технических и организационных мероприятий, направленных на оптимальное использование энергетических ресурсов. Для решения этих задач принят Федеральный закон «Об энергосбережении» от 3 апреля 1996 г. Закон регулирует отношения, возникающие в процессе деятельности в области энергосбережения, в целях создания экономических и организационных условий для эффективного использования энергетических ресурсов.

Из спектра различных решений, применяемых для энергосбережения, одно из наиболее эффективных и быстро окупаемых, требующих относительно небольших капиталовложений - внедрение высокотехнологичной и наукоемкой энергосберегающей техники - частотно-регулируемых асинхронных приводов, позволяющих оптимизировать режимы работы турбомеханизмов в широком диапазоне изменения нагрузок.

К таким механизмам относятся питательные, сетевые, циркуляционные, подпиточные насосы, тяго-дутьевые вентиляторы на электростанциях, а также многие тысячи насосов, обеспечивающих снабжение горячей и холодной водой, отопительные системы и другие объекты коммунального хозяйства. Около 25 % вырабатываемой электроэнергии потребляется электроприводами турбомеханизмов.

Традиционные способы регулирования подачи насосных и вентиляторных установок осуществляются дросселированием напорных линий и изменением общего числа работающих агрегатов по одному из технологических параметров.

Эти способы регулирования направлены на решение технологических задач и практически не учитывают энергетических аспектов транспорта воды или газа.

Применение регулируемого электропривода турбомеханизмов позволяет создать новую энергосберегающую технологию, в которой экономится не только электроэнергия, но и сберегается тепловая энергия и сокращается расход воды за счет снижения ее утечек при превышениях давления в магистрали.

Дополнительно новая энергосберегающая технология в вентиляторных установках с большой суммарной мощностью позволяет регулировать мощность в часы максимума нагрузки и тем самым сократить затраты на электроэнергию при двухставочном тарифе. При частотном регулировании насосов можно в значительной степени избежать аварийных ситуаций за счет предотвращения гидравлических ударов, возникающих при изменении режимов работы и пуске системы при нерегулируемом

электроприводе.

Электромагнитная совместимость в системе преобразователь частоты - асинхронный двигатель (ПЧ-АД)

В автономных инверторах напряжения (АИН) формирование выходных сигналов осуществляется методами широтно-импульсной модуляции (ШИМ) прямоугольной формы одинаковой амплитуды, но разной длительности, полезная составляющая которой имеет форму синусоиды заданной частоты и амплитуды.

Крутизна фронта импульсов определяется скоростью переключения импульсов напряжения силовых ключей автономных инверторов напряжения. При использовании различных полупроводниковых приборов она составляет для тиристоров SCR 4-10 мкс, для транзисторов IGBT 0,05-0,1 мкс.

Существенно более высокое быстродействие транзисторов IGBT, являющееся преимуществом для реализации высокочастотной широтно-импульсной модуляции и минимизации потерь энергии в АИН и АД, негативно проявляется в протекании переходных процессов в цепи АИН - соединительный кабель - АД на интервалах времени фронта. В этом случае, согласно теории цепей, кабель следует рассматривать как однородную длинную линию с распределенными параметрами. Прохождение импульсного сигнала с крутым фронтом вызывает в кабеле волновые процессы, приводящие к появлению перенапряжений на зажимах двигателя [1].

Кабель, длина которого соизмерима с длиной волны, считается «длинным кабелем». Критической считается длина кабеля, равная половине длины волны, при которой к обмоткам АД прикладываются импульсы напряжения, близкие к двойному напряжению.

Волновые процессы наиболее опасны для изоляции обмотки АД, так как в ней могут возникать значительные перенапряжения (до 1000 В) при номинальном напряжении 400 В [2]. При быстром нарастании напряженности электрического поля на фронте волны в изоляции машины возникают заметные диэлектрические потери. Увеличение несущей частоты ШИМ с целью улучшения энергетических показателей преобразователей частоты и приближения полезной составляющей выходного напряжения преобразователя к синусоиде также приводит к повышению вероятности возникновения перенапряжений и увеличению диэлектрических потерь. В результате этих процессов срок службы изоляции АД сократился до 3—4 лет. Методы ШИМ-управления, оказав благотворное влияние на выходной ток АИН и приблизив его к синусоиде, одновременно превратили ранее «безболезненную» для двигателя прямоугольную форму выходного напряжения в серию прямоугольных импульсов, следующих с высокой частотой и имеющих передний фронт высокой крутизны.

Электромагнитная совместимость АИН и АИТ с питающей сетью

Выбор типа преобразователя для частотно-регулируемого привода связан в первую очередь с решением задачи компенсации реактивной мощности нагрузки. Любой автономный инвертор как ключевой коммутатор при работе на индуктивную нагрузку должен содержать в своем составе конденсаторы в качестве энергопоглотителей для исключения перенапряжений при мгновенной коммутации тока с фазы на фазу двигателя. В автономном инверторе тока такие конденсаторы находятся на стороне нагрузки (на стороне переменного тока). Как любые токовые источники подобного типа, они содержат в звене постоянного тока дроссель большой индуктивности, работающий как фильтр. Схемная модификация первых автономных инверторов тока (АИТ), в которой компенсирующие конденсаторы через мост обратных диодов были вынесены на сторону постоянного тока, получила в дальнейшем название автономного инвертора напряжения (АИН), поскольку, оказавшись на входе инвертора, конденсаторы стали одновременно играть роль С-фильтра, придав такому инвертору свойства источника напряжения. На протяжении нескольких десятилетий именно вид входного фильтра являлся основным классификационным признаком АИТ и АИН.

При исследовании проблемы электромагнитной совместимости преобразователей частоты необходимо рассмотреть два самостоятельных вопроса: высшие гармоники, генерируемые преобразователем в сеть (коэффициент искажений), и потребляемая из сети реактивная мощность (фактор $\cos\varphi$).

В ПЧ с АИТ сетевой преобразователь представляет собой управляемый (тиристорный) выпрямитель, работающий на сглаживающий дроссель большой индуктивности.

Высшие гармоники тока, генерируемые сетевым выпрямителем ПЧ с АИТ в питающую сеть, относительно невелики, поскольку ступенчато-прямоугольная форма входного тока обеспечивает реальный коэффициент гармоник не ниже 0,96-0,97. При правильном выборе согласующего трансформатора или сетевого реактора в мощных преобразователях коэффициент искажения напряжения в точке подключения без дополнительных мероприятий не превышает нормируемое значение 5 %.

Иная картина при работе ПЧ с АИН. Здесь сетевой преобразователь - это неуправляемый (диодный) выпрямитель, работающий на емкостный фильтр.

Форма сетевого тока такого преобразователя в общем случае представляет собой несколько синусоидальных импульсов, возникающих при заряде емкости фильтра. Гармонический состав такого тока крайне неблагоприятен. Для его улучшения необходимо устанавливать реакторы и на вход выпрямителя, и в звено постоянного тока (LC-фильтр). Причем сводить всю индуктивность только в одно место схемы не рекомендуется, так как при этом ухудшаются другие характеристики выпрямителя (либо $\cos\phi$, либо коэффициент искажений напряжения).

По вопросу потребления реактивной мощности картина достоинств и недостатков ПЧ с АИТ и ПЧ с АИН зеркально меняется. В ПЧ с АИТ в номинальном режиме сетевой $\cos\phi = 0,87-0,9$ и ухудшается (снижается) пропорционально величине выходного напряжения инвертора. В ПЧ с АИН сетевой $\cos\phi$, как правило, не ниже значения 0,97. Улучшение сетевого $\cos\phi$ для ПЧ с АИТ решается путем установки на вход компенсирующих или фильтро-компенсирующих устройств (ФКУ). Такое ФКУ, решая одновременно задачу фильтрации 5, 7 и 11-й гармоник, оказывается весьма небольшим и недорогим благодаря использованию современных малогабаритных косинусных конденсаторов. Таким образом, ни ПЧ с АИТ, ни ПЧ с АИН в классическом варианте своего построения не обладают необходимой электромагнитной совместимостью с сетью и требуют установки дополнительных устройств, поставляемых как опции.

Существенно улучшить электромагнитную совместимость АИТ с сетью можно путем замены управляемого выпрямителя на управляемый выпрямитель с искусственной коммутацией.

Технико-экономические показатели

Не следует, однако, думать, что переход от нерегулируемого к регулируемому электроприводу (РЭП) является тривиальной задачей, решаемой путем простой замены одного типа электропривода на другой. Этот переход требует в общем случае и изменения технологического процесса. Правильное применение регулируемого электропривода приводит к изменению и упрощению технологического цикла, автоматизации технологического процесса. В этой связи целесообразен пересмотр в ряде случаев как технологических схем, так и норм проектирования с тем, чтобы наиболее эффективно использовать преимущества РЭП. Это особенно важно, если учесть, что капитальные затраты, связанные с установкой регулируемого электропривода, превышают таковые по сравнению с нерегулируемым электроприводом. Разработка технико-экономического предложения, обосновывающего решение о внедрении РЭП, должна базироваться в каждом конкретном случае на технико-экономическом анализе, учитывающем все факторы эффективности. Целесообразность затрат на РЭП, позволяющих отказаться от дросселирования рабочей среды механическими устройствами регулирования (направляющими аппаратами, регулирующими клапанами и т.п.), определяется не только экономией электроэнергии и топлива, но и рядом других факторов, к которым относятся возможность дополнительной выработки электроэнергии в максимуме нагрузки энергоблока за счет повышения КПД технологического процесса, увеличение межремонтного периода и сокращение затрат на ремонты электротехнического и тепломеханического оборудования, экологический эффект, проявляющийся в уменьшении выброса в атмосферу загрязняющих веществ. Регулируемый электропривод как способ энергосбережения, по данным многочисленных зарубежных и отечественных

исследований, а также практики считается окупаемым, если период окупаемости не превышает пяти лет. Такой подход к окупаемости проектов внедрения РЭП является традиционным для промышленно развитых стран, в которых проблемы энерго- и ресурсосбережения решаются на основе долгосрочной государственной политики.

Следует отметить, что с предельным сроком окупаемости в ряде стран связан средний срок списания первоначальной стоимости энергосберегающего оборудования. Так, например, в США после амортизационной реформы 1981 года этот срок сокращен до пяти лет, что явилось мощным экономическим рычагом ускорения обновления оборудования в пользу нового энергосберегающего, соответствующего передовому уровню техники и технологии.

Большие сроки окупаемости относятся к наиболее дорогостоящим проектам, например, автоматизации крупной насосной с мощными сетевыми насосами, оснащенными РЭП, реконструкции водопитательной установки котлов мощных энергоблоков с заменой в ряде случаев насосных агрегатов и оснащением их РЭП и т.п.

Эффективность применения регулируемого электропривода можно охарактеризовать важными интегральными показателями.

Коэффициент удельной экономии электроэнергии, учитывающий вклад 1 кВт установленной мощности регулируемого электропривода в экономию электроэнергии, можно определить как

$$K_{\text{Э}} = \text{Э} / P_{\text{рэл}},$$

где Э – экономия электроэнергии (кВт·ч / год);
 $P_{\text{рэл}}$ – установленная мощность двигателя (кВт).

Если $K_{\text{Э}} > 800$, то оснащение механизмов собственных нужд РЭП, как правило, оказывается целесообразным.

Литература

1. Калашников Б.Е. Проблемы «длинного кабеля» в электроприводах с IGBT-инверторами // Электротехника. - 2002. - № 12. - С. 24-26.
2. Беспалов В.Я., Зверев К.Н. Импульсные перенапряжения в обмотках асинхронных двигателей при питании от ШИМ-преобразователей // Электротехника. - 1999. - № 9. С. 56-59.

Журнал «Электротехнические комплексы и системы управления», www.v-itc.ru/electrotech