

УДК 621.314

ИЗМЕРЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕКУПЕРАЦИИ ЧАСТОТНО-УПРАВЛЯЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

© 2014 А.Р. Шириев, В.И. Доманов, В.С. Шигаев

Ульяновский государственный технический университет

Поступила в редакцию 19.11.2014

В статье рассматривается использование частотно управляемых асинхронных электроприводов с точки зрения возможностей рекуперации электроэнергии, возникающей в результате перехода электропривода в режим торможения, а также различные способы сохранения этой энергии. Рассмотрен исследовательский комплекс, позволяющий изучить эффективность рекуперации. особое внимание в статье уделено преимуществам рекуперации в многодвигательных электроприводах.

Ключевые слова: асинхронный электропривод, частотное управление, рекуперация, многодвигательный электропривод, активный выпрямитель

Асинхронные и вентильные машины с преобразователями частоты получили широкое применение за счет ряда преимуществ: плавный пуск, снижение потребляемой мощности при работе с ненагруженным механизмом, значительное снижение потребляемой реактивной мощности, широкие возможности для автоматизации [1, 2]. Механизмы, работающие не только в двигательном, но и в генераторном режиме, имеют дополнительные возможности для энергосбережения. При переходе двигателя в генераторный режим его эффективность оказывается довольно низкой (рис. 1).

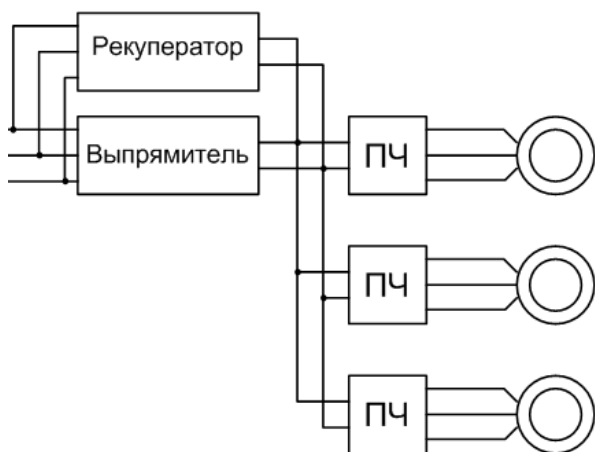


Рис. 1. Многодвигательный ЭП с рекуператором и выпрямителем

Шириев Анатолий Ринатович, инженер кафедры «Электропривод и автоматизация промышленных установок». E-mail: shiriev.anatoliy@gmail.com

Доманов Виктор Иванович, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок». E-mail: andrew.domanov@gmail.com

Шигаев Владимир Сергеевич, аспирант. E-mail: vsh3looo@gmail.com

В результате проведенных экспериментов на типовых электроприводах максимальный процент возврата составил 30%. Таким образом можно сделать вывод, что с преобразователем частоты (ПЧ) можно использовать рекуператор вдвое меньшей мощности, без риска повреждения оборудования. На рис. 2. представлена схема с отдельным рекуператором, мощность которого может быть значительно ниже суммарной мощности системы [3, 4].

При испытании настройке и оптимизации системы рекуперации необходимо иметь оборудование, позволяющее измерять разнообразные параметры – ток, напряжение и вычисляющее на их основе потребляемую или генерируемую активную и реактивную мощность $\cos\phi$. Эти данные необходимы, чтобы оптимизировать силовой преобразователь по параметру КПД. Для решения этой задачи был разработан экспериментальный стенд для изучения рекуператора (рис. 2). Он позволяет вычислять КПД следующих узлов рекуператора: КПД ПЧ в режим рекуперации; КПД системы совместно работающего ПЧ и рекуператора.

Для исследования КПД комплекса ПЧ – рекуператор необходимо имитировать режим, когда двигатель переходит в генераторный режим. Он возникает при интенсивном торможении высоко инерционной нагрузки, или при опускании груза в грузоподъемных механизмах. В лабораторных условиях используют 2 двигателя, один из которых работает в генераторном режиме, а второй в двигательном. В ходе эксперимента задается номинальная частота вращения, после чего включается режим торможения с ускорением, равным разгонному, но с противоположным знаком. В ходе эксперимента определяется потребленное количество энергии $W_{ном.}$,

возвращенное в звено постоянного тока $W_{рек.п.т.}$, возвращенное в сеть $W_{рек.сети}$. Из полученных данных можно вычислить:

- КПД рекуператора:

$$\frac{W_{рек.сети}}{W_{рек.п.т.}}$$

- КПД ПЧ в режим рекуперации:

$$\frac{W_{рек.п.т.}}{W_{пот.}}$$

- КПД системы совместно работающего ПЧ и рекуператора:

$$\frac{W_{рек.сети}}{W_{пот.}}$$

Отношение энергии, возвращенной в сеть, к потребленной из сети и является КПД системы

рекуперации. Согласно экспериментам он составляет ~30%. В данной системе потери приходятся на ПЧ во время работы в двигательном режиме, в двигателе во время преобразования электроэнергии в механическую работу, и обратно, потери в ПЧ и потери в рекуператоре. В виду большого числа преобразований КПД получается относительно низким. Большая часть потерь происходит во время преобразования механической энергии в электрическую. Общеизвестно, что любая электромашина является обратимой и может работать как в генераторном, так и в двигательном режиме. Во время проектирования двигатель оптимизируется по критерию максимального КПД в двигательном режиме, в результате такой оптимизации в генераторном режиме КПД снижается, что также сказывается на КПД системы.

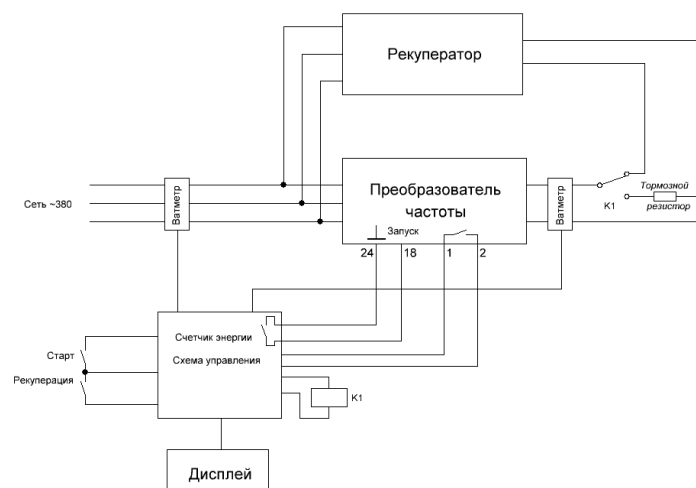


Рис. 2. Функциональная схема испытательного стенда рекуператора

Исследовательский стенд содержит двунаправленный измеритель электроэнергии, измеритель электроэнергии протекающей в звене постоянного тока, систему управления ПЧ, блок формирования интервала Δt . Для обеспечения работы стенда был разработан двунаправленный трехфазный счетчик электроэнергии (ДСЭ). Особенностью счетчика является проведение измерения за короткое время (единицы секунд), это требует получение данных с высоким разрешением. ДСЭ построен на базе трехфазного счетчика электроэнергии «Меркурий 230» и МК используемого в УУ. Измерение энергии счетчиком осуществляется цифровым методом с частотой выборки равной 4000 Гц по каждому каналу измеряемой величины напряжения или тока. Связь счетчика электроэнергии с УУ происходит по интерфейсу rs485. Анализ результатов экспериментов показал, что погрешность составляет ~0,5%, однако имеется тенденция к увеличению

погрешности со временем, поэтому было принято решение изменить алгоритм вычисления энергии с учетом того что счетчик предоставляет в МК значения среднего тока и энергии каждые 1,28 с., в течение которых считанные данные постоянны. Если потребляемая мощность будет значительно меняться во времени, погрешность измерения может существенно увеличиться. Наиболее существенная часть погрешности вносится в том момент, когда счетчик обновляет регистры данных мощности. Реальное количество энергии вычисляется по формуле

$$t_1 W_0 + t_2 W_1$$

где t_1 – интервал времени от предыдущего считывания значения со счетчика до обновления регистров счетчика; t_2 – интервал времени от обновления регистров счетчика до последнего считывания значения со счетчика; W_0 – предыдущая

считанная со счетчика мощность; W_1 - текущая считанная со счетчика мощность.

Вычисленное МК значение мощности будет $(t_1 + t_2)W_1$. Таким образом, погрешность измерения находится по выражению

$$(t_1 + t_2) \cdot W_1 - (t_1 \cdot W_0 + t_2 \cdot W) = t_1 W_1 - t_1 W_0 = t_1 \cdot (W_1 - W_0)$$

Видно, что погрешность увеличивается, если следующее значение мощности существенно отличается от предыдущего и уменьшается при уменьшении t_1 , где t_1 является случайным числом, которое зависит от частоты измерения:

$$n = \frac{1}{t_1 + t_2}.$$

Таким образом, увеличивая частоту измерения можно снизить величину этой ошибки.

Сравнение показаний, измеренных счетчиком, с показаниями, вычисленными на основе мощности, считанной со счетчика, составило 0,061%. Со временем эта погрешность (в процентном выражении) уменьшается, что связано с ручной синхронизацией начала и конца измерения. Средняя погрешность составляет 0,03%. Эта погрешность определялась относительно показаний счетчика, погрешность которого, согласно документации, составляет 1%, таким образом, суммарная погрешность УИ составляет 1,03%.

Особенностью предлагаемого алгоритма является необходимость синхронизации включения режима рекуперации с измерительными циклами счетчика, что также учтено в исследовательском стенде.

$$W = W + P_{\text{сум}} \cdot n \cdot \frac{1,28}{3,6}$$

где W – учтенная электроэнергия; $P_{\text{сум}}$ – средняя суммарная мощность; n – число измерений выполненных счетчиком; 1,28 – время одного измерения; 3,6 – коэффициент переводящий Ватт*секунды в миллиВатт*часы.

Разработанный стенд позволяет измерять параметры рекуператора и определять эффективность рекуперации. В ходе эксперимента удалось получить возврат энергии в количестве ~30%.

Выводы: существуют различные схемы рекуперации, эффективность которых определяется условиями эксплуатации электроприводов. В большинстве случаев мощность рекуператора может составлять 30% от мощности электропривода. Предлагаемый алгоритм вычисления электроэнергии в различных режимах работы позволяет определить КПД рекуперации с высокой точностью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Новиков, П.П. Контроль напряжения ПЧ // Силовая электроника. 2012. №2. С. 34-36.
2. Попков, О.З. Основы преобразовательной техники. Учебное пособие для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. 632 с.
3. Семенов, Б.Ю. Силовая электроника для любителей и профессионалов. – М.: Изд-во «СОЛОН-Р», 2001. 336 с.
4. Браславский, И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод: Учеб. пособие для студ. вузов / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишиматов, В.Н. Поляков; под ред. И.Я. Браславского. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. 256 с.

RECUPERATION EFFICIENCY MEASUREMENT OF FREQUENCY OPERATED ELECTRIC DRIVE

© 2014 A.R. Shiriyev, V.I. Domanov, V.S. Shigayev

Ulyanovsk State Technical University

In article use of frequency operated asynchronous electric drives from the point of view of opportunities the recuperation of electric power as a result of transition the electric drive to the braking mode, and also various ways of preservation of this energy is considered. The research complex allowing to study the efficiency of recuperation is considered. Special attention in article is paid to advantages of recuperation in multi-engine electric drives.

Key words: asynchronous electric drive, frequency control, recuperation, multi-engine electric drive, active rectifier

Anatoliy Shiriev, Engineer at the Department "Electric Drive and Plants Automation". E-mail: shiriev.anatoliy@gmail.com; Viktor Domanov, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department "Electric Drive and Plants Automation". E-mail: andrew.domanov@gmail.com; Vladimir Shigaev, Post-graduate Student. E-mail: vsh3looo@gmail.com