

АВТОМАТИКА И ТЕЛЕМЕХАНИКА

УДК 62-83:621.313.333

Н. В. САМОВЕНДЮК, аспирант, Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого, г. Гомель

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ АСИНХРОННЫХ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Описаны принципы построения автоколебательных электроприводов на основе общепромышленных трехфазных асинхронных электродвигателей. Рассмотрены схемы включения статорных обмоток, способы запуска электроприводов и способы управления параметрами автоколебаний.

В директиве Президента Республики Беларусь № 3 говорится о принятии кардинальных мер по экономии и бережливому использованию топливно-энергетических и материальных ресурсов во всех сферах производства [1].

Снижение металлоемкости рабочих машин, повышение динамических и энергетических показателей достигается использованием безредукторных электроприводов, в которых отсутствуют различного рода механические преобразователи и потери энергии в которых снижают до 30 % полезной мощности [2].

Среди режимов работы безредукторных электроприводов можно выделить автоколебательный режим, обеспечивающий мягкий реверс, исключая ударные процессы. Для построения электроприводов, работающих в этом режиме, используется общий принцип построения автоколебательных механических систем разомкнутого типа: создание консервативной пары «масса – упругость» и воздействие на нее активным нелинейным электромагнитным усилителем, компенсирующим диссипативные нагрузки. Реализацию данного принципа можно осуществить с помощью однофазного асинхронного двигателя (ОАД) с пружиной или маятником на валу [3, 4].

Принцип работы асинхронных автоколебательных приводов. Механическая характеристика ОАД имеет необходимый для автоколебаний Z-образный вид, устойчивые и неустойчивые участки которого представлены на рисунке 1. При включении ОАД в сеть переменный ток, протекающий по обмотке статора, создает пульсирующее магнитное поле, ось которого совпадает с осью обмотки. При этом в обмотке ротора наводится электродвижущая сила (ЭДС) и начинает

протекать ток. В результате взаимодействия тока ротора с магнитным полем возникают силы, результирующий момент которых относительно оси вращения оказывается равным нулю.

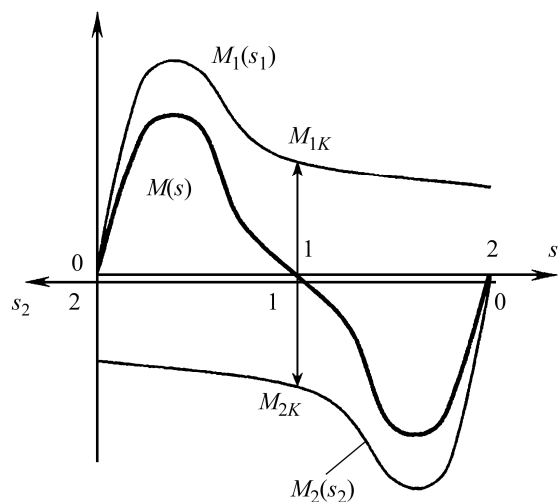


Рисунок 1 – Механические характеристики однофазного асинхронного двигателя:
 M – момент; s – скольжение

Пульсирующее магнитное поле можно представить в виде суммы двух магнитных полей, вращающихся в противоположные стороны с угловой скоростью ω . При неподвижном роторе (скольжение $s = 1$) моменты (M_1, M_2), создаваемые полями, вращающимися относительно ротора с одинаковыми синхронными скоростями в разные стороны, равны и направлены встречно. Результирующий момент M , действующий на ротор, равен нулю. При скольжениях, отличных от единицы, двигатель развивает вращающий момент в одном или другом направлениях в зависимости от того, в какую сторону развернут ротор внешней силой.

Если ротору внешним усилием придать начальную скорость, то он начинает развивать момент и разгоняться. Это объясняется тем, что в об-

мотке ротора вследствие того, что она пересекает магнитное поле, возникает еще одна ЭДС и ток. В результате взаимодействия этого тока с полем статора создается вращающий момент. По мере разгона электродвигателя момент, создаваемый пружиной, вначале «помогает» электродвигателю, а затем начинает противодействовать. По мере увеличения угла поворота вала ротора электродвигателя позиционный момент от действия пружины, присоединенной к валу двигателя, увеличивается. После того как позиционный момент станет больше момента двигателя, скорость последнего начнет уменьшаться вплоть до полной остановки двигателя. В это время вращающий момент двигателя становится равным нулю, а позиционный момент от действия пружины достигает своего максимального значения. Далее ротор двигателя начинает раскручиваться в обратную сторону за счет воздействия на него позиционного момента пружины, и цикл повторяется аналогично.

Таким образом, в автоколебательной системе с ОАД и подпружиненным валом одновременно происходят два принципиально различных физических процесса: периодическое преобразование потенциальной энергии в кинетическую и компенсация механической энергии, потребляемой нагрузкой, электромагнитной энергией, вырабатываемой электродвигателем.

Построение автоколебательных систем по изложенному принципу на основе однофазных электродвигателей ограничено низким КПД и мощностью ОАД. Построение автоколебательных электроприводов на основе общепромышленных трехфазных асинхронных электродвигателей (АД) позволяет существенно расширить область применения подобных приводов. Главное условие создания такой автоколебательной системы заключается в использовании нелинейной механической характеристики АД, которую можно получить при включении трехфазного АД в однофазную сеть. В качестве упругого элемента для создания автоколебаний могут выступать пружина (механическая или электрическая), маятник, магнитный подвес.

Схемы включения статорных обмоток АД для автоколебательного режима. Известны различные схемы включения статорных обмоток трехфазного АД для работы от однофазной сети [5]. Недостатком предложенных схем является отключение в рабочем режиме одной из фаз статора и, как следствие, снижение магнитодвижущей силы (МДС). Для автоколебательного режима наилучшими являются схемы, представленные на рисунке 2 [4, 6].

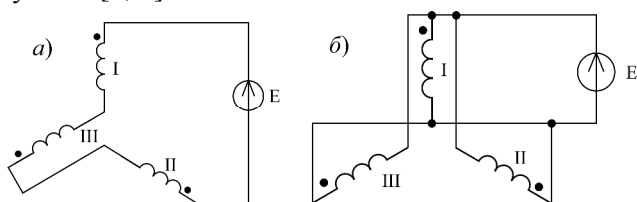


Рисунок 2 – Схемы включения статорных обмоток:
а – последовательное; б – параллельное

Преимуществом данных схем включения является то, что за счет согласного и встречного включения статорных обмоток достигается максимальная суммарная МДС (рисунок 3), равная геометрической сумме относительных МДС отдельных фазных обмоток. При этом параллельное включение статорных обмоток предпочтительнее, так как при таком включении значение магнитодвижущей силы будет наибольшим из-за максимального значения тока, протекающего через статорные обмотки.

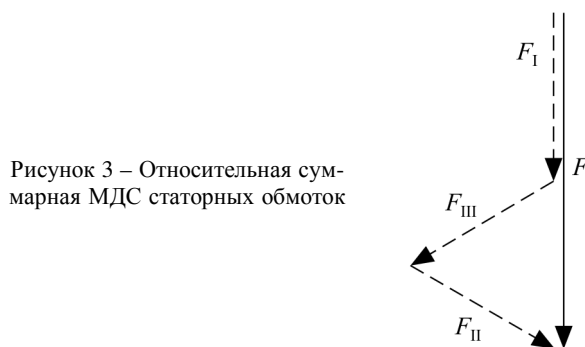


Рисунок 3 – Относительная суммарная МДС статорных обмоток

Способы пуска асинхронных автоколебательных электроприводов. Как уже отмечалось выше, для запуска автоколебательного электропривода в рабочий режим необходимо ротору АД придать начальную скорость внешним усилием. В работе [7] приведены условия пуска электродвигателя в устойчивый автоколебательный режим. Согласно предложенным условиям механический запуск ОАД в устойчивый колебательный режим может осуществляться по двум вариантам получения автоколебательной системой энергии:

- 1) система получает определенное (достаточное) количество потенциальной энергии за счет поворота вала АД на начальный угол φ_0 ;
- 2) система получает достаточное количество кинетической энергии за счет придания валу АД начальной угловой скорости ω_0 .

Помимо этого имеется возможность и электрического запуска ОАД в устойчивый автоколебательный режим. В этом случае для придания начальной скорости ротору двигателя необходимо создать в его воздушном зазоре вращающееся магнитное поле. Этого можно достичь путем включения последовательно с одной из обмоток двигателя пускового конденсатора (рисунок 4). При включении конденсатора последовательно в одной из обмоток, например, обмотке II, МДС, создаваемая ее током, получается сдвинутой во времени относительно МДС первой и третьей обмоток. В результате взаимодействия МДС всех обмоток возникает вращающееся магнитное поле и пусковой момент, который заставляет ротор двигателя поворачиваться.

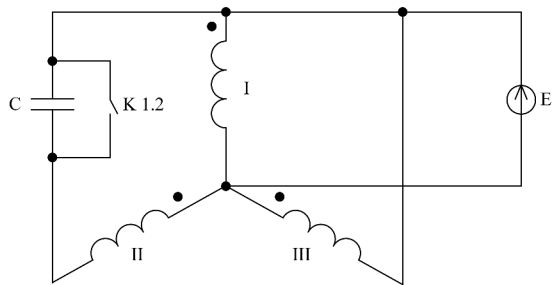


Рисунок 4 – Схема пуска АД

Для того чтобы двигатель не сорвался во вращение, необходимо после поворота ротора на заданный угол отключить конденсатор. Этого можно достичь с помощью применения концевого выключателя и контактов электромагнитного реле, обеспечивающих шунтирование конденсатора при выходе АД в рабочий автоколебательный режим (рисунки 4, 5).

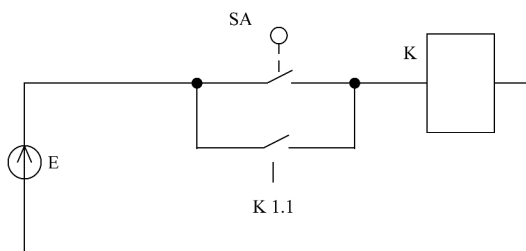


Рисунок 5 – Схема шунтирования конденсатора

Способы управления автоколебательным режимом. В рассмотренных автоколебательных системах отсутствует стабильность частоты и амплитуды колебаний. Поэтому одной из главных задач построения автоколебательных электроприводов на основе АД – это возможность управления параметрами колебаний, которое может иметь либо механическую, либо электрическую природу. В первом случае регулируется частота собственных колебаний системы за счет изменения жесткости пружины или длины и массы маятника [3]. При этом регулирование частоты сопровождается взаимосвязанным изменением амплитуды колебаний.

Разделить эти процессы механическим путем невозможно. Необходимо использовать электрическое управление, когда регулируется только амплитуда колебаний. В работах [8, 9] описаны возможности управления автоколебаниями за счет введения в статорную цепь активно-реактивных сопротивлений. Согласно этой методике для независимого регулирования амплитуды автоколебаний необходимо стабилизировать частоту питающей сети, а затем варьировать значениями активно-реактивных сопротивлений или амплитуды питающего напряжения.

Получено 09.03.2009

N. V. Samovenduk. Principles of construction of asynchronous self-oscillatory electric drives.

The principles of construction of self-oscillatory drives on the basis of conventional industrial three-phase asynchronous engines are described in a paper. The schemes of stator windings for automatic starting, ways of starting electric drives and ways of self-oscillation mode control are also considered in it.

Выводы. Для построения современных асинхронных автоколебательных электроприводов необходимо:

1 Построить автоколебательную систему на базе ОАД – упругий элемент.

2 В качестве ОАД использовать общепромышленные трехфазные АД в однофазном включении.

3 Статорные обмотки АД подключить к однофазной электросети, причем две обмотки должны включаться последовательно, а третья – встречно для создания максимальной МДС.

4 В качестве упругого элемента использовать пружину (механическую или электрическую), маятник, магнитный подвес.

5 Для пуска электропривода последовательно одной из фазных обмоток включить конденсатор, после выхода двигателя в режим автоколебаний конденсатор должен отключаться.

6 Управление амплитудой и частотой автоколебаний можно осуществлять либо через механическую часть электропривода (изменения длины и массы маятника, жесткости пружины), либо через изменение амплитуды питающего напряжения или варьированием дополнительных активно-реактивных сопротивлений, введенных в статорную цепь.

Список литературы

- 1 Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства : директива Президента Республики Беларусь № 3 от 11.06.2007 // Экономическая газета. – 2007. – № 46. – 22 июня. – С. 2–5.
- 2 Грачев, С. А. Безредукторный электромашинный привод периодического движения / С. А. Грачев, В. И. Луковников. – Мн. : Выш. шк., 1991. – 160 с.
- 3 Власов, Н. П. Автоколебательная схема с однофазным асинхронным мотором / Н. П. Власов // Журнал технической физики. – 1935. – Т. V, № 4. – С. 641–653.
- 4 Автоколебательный электропривод : пат. С1 ВУ, МПК H02P 7/62 / В. В. Тодарев, Л. В. Веппер, В. И. Луковников. – № 4958; заявл. 01.06.1999; опубл. 30.03.2003 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. – 2003. – № 1.
- 5 Вольдек, А. И. Электрические машины / А. И. Вольдек. – Л. : Энергия, 1978. – 832 с.
- 6 Стенд динамических испытаний пружин : пат. 1С1 ВУ, МПК G01B 1/00, G01M 13/00 / В. И. Луковников, Ю. А. Рудченко. – № 2156; заявл. 14.02.2005; опубл. 30.09.2005 // Афіцыйны бюлетэнь / Дзярж. пат. ведамства Рэсп. Беларусь. – 2005. – № 3.
- 7 Луковников, В. И. Критический сравнительный анализ методов исследования электромеханических автоколебательных систем / В. И. Луковников, Ю. А. Рудченко, Г. И. Селиверстов // Вестн. ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2007. – № 2. – С. 76–81.
- 8 Ивахненко, А. Г. Из лабораторной практики / А. Г. Ивахненко // Автоматика. – 1956. – № 2. – С. 38–42.
- 9 Антипенко, В. И. Исследование асинхронного двигателя в автоколебательном режиме / В. И. Антипенко // Автоматика. – 1963. – № 4. – С. 51–62.