

ВКЛЮЧЕНИЕ ТРЁХФАЗНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА ОТ ОДНОФАЗНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В.В. Масолов

В работе обсуждается современное состояние теории и практики включения трёхфазного асинхронного двигателя переменного тока от однофазной электрической системы: наиболее распространенные виды соединения обмоток статора двигателя, принципы и особенности их функционирования.

Ключевые слова: трехфазная цепь, фаза, электротехника, электрическая сеть, двигатель.

Трёхфазная цепь является частным случаем многофазных электрических систем, представляющих собой совокупность электрических цепей, в которых действуют электродвижущие силы (далее ЭДС) одинаковой частоты, сдвинутые по фазе относительно друг друга на определенный угол. Каждую из частей многофазной системы, характеризующуюся одинаковым током, называют фазой, т.е. фаза – это участок цепи, относящийся к соответствующей обмотке генератора или трансформатора, линии и нагрузке. Таким образом, понятие «фаза» имеет в электротехнике два различных значения:

- фаза как аргумент синусоидально изменяющейся величины;
- фаза как составная часть многофазной электрической системы.

Разработка многофазных систем была обусловлена исторически. Важнейшей предпосылкой разработки многофазных электрических систем явилось открытие явления вращающегося магнитного поля (Г. Феррарис и Н. Тесла, 1888 г.). Первые электрические двигатели были двухфазными, но они имели невысокие рабочие характеристики. Наиболее рациональной и перспективной оказалась трехфазная система. Большой вклад в разработку трехфазных систем внес выдающийся русский ученый-электротехник Михаил Осипович Доливо-Добровольский, создавший трехфазные асинхронные двигатели, трансформаторы, предложивший трех- и четырехпроводные цепи, в связи с чем по праву считающийся основоположником трехфазных систем (сетей). Трёхфазные и однофазные системы одинаково широко используются в электрооборудовании многоквартирных и частных домов. Вообще-то промышленная сеть изначально трехфазная и в большинстве случаев к многоквартирному дому или улице частных домов подходит именно трехфазная сеть. Потом уже она разветвляется на три однофазные. Это сделано в целях обеспечения максимально эффективной пере-

дачи электроэнергии от электростанции к потребителям, а также с целью максимального снижения потерь в процессе транспортировки. Стоит отметить, что трехфазные сети в квартирной электросети используются достаточно редко. Три фазы подают одному абоненту только в случае использования на кухнях трехфазных электрических плит или для подключения чрезвычайно мощных потребителей в частных домах (мощные нагревательные и отопительные устройства). Если сети не имеют каких-то специфических параметров, то их можно различить еще и по значению входного напряжения. Абоненту (потребителю) можно инициировать подключение частного дома к трехфазным сетям, для этого понадобятся технические условия (проект на подключение) со стороны электроснабжающей организации и договор о технологическом подключении, а это, как следствие, экономические затраты и бюрократия [1]. Поэтому и возникает потребность подключения трёхфазного двигателя переменного тока от имеющейся у каждого потребителя однофазной сети.

Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором (далее АДКЗ) при подключении электрической сети работает по принципу индукции токов от обмоток статора на замкнутые проводники ротора. В результате их протекания по короткозамкнутым обмоткам в каждой из них возникает магнитное поле, вступающее во взаимодействие с силовыми линиями статора, так получается вращающий момент, приводящий к круговому движению оси двигателя. Среди разных способов подключения трехфазных АДКЗ в однофазную сеть наиболее простой – подключение третьего контакта обмотки ротора через фазосдвигающий конденсатор. Частота вращения трехфазного двигателя, работающего от однофазной сети, остается почти такой же, как и при его включении в трехфазную сеть. Точные значения потери мощности зависят от схемы подключения, условий работы двигателя, величины емкости фазосдвигающего конденсатора. Ориентировочно, трехфазный двигатель в однофазной сети теряет около 30–50 % своей мощности. В основном для работы в однофазных сетях используются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором (А, АО2, АОЛ, АПН и др.) [3]. В случае бытовой сети, с точки зрения получения большей выходной мощности наиболее целесообразным является однофазное подключение трехфазных двигателей по схеме «треугольник». При этом их мощность может достигать 70 % от номинальной. Два контакта в распределительной коробке подсоединяются непосредственно к проводам однофазной сети (220 В), а третий – через рабочий конденсатор (C_p) к любому из двух первых контактов или проводам сети. Если электродвигатель имеет какую-то нагрузку, т.е. к валу подключен исполнительный механизм, он или не запустится, или будет набирать обороты очень медленно. Тогда для быстрого пуска необходим дополнительный пусковой конденсатор (C_p). Пусковые конденсаторы включаются только на время пуска двигателя (2–3 сек, пока обороты не достигнут примерно 70 % от номинальных), затем пусковой конденсатор нуж-

но отключить и разрядить. Необходимая емкость рабочих конденсаторов для работы трехфазного двигателя в однофазной сети зависит от схемы подключения обмоток двигателя и других параметров.

Для соединения «треугольником»:

$$C_p = 4800 \cdot I/U,$$

где C_p – емкость рабочего конденсатора в мкФ; I – ток в А; U – напряжение сети в В.

Ток рассчитывается по формуле:

$$I = P/(1,73 \cdot U \cdot \eta \cdot \cos\phi),$$

где P – мощность электродвигателя кВт; η – КПД двигателя; $\cos\phi$ – коэффициент мощности; 1,73 – коэффициент, характеризующий соотношение между линейным и фазным токами.

Правильность подбора емкости конденсатора проверяется результатами эксплуатации двигателя. Если её значение оказалось больше, чем требуется при данных условиях работы, двигатель будет перегреваться. Если емкость конденсатора оказалась меньше требуемой, выходная мощность электродвигателя будет слишком низкой. Резонно подбирать конденсатор для трехфазного двигателя, начиная с малой емкости и постепенно увеличивая её значение до оптимального. Если есть возможность, лучше подобрать емкость измерением тока в проводах, подключенных к сети и к рабочему конденсатору, например токоизмерительными клещами. Значение тока должно быть наиболее близким [2]. Замеры следует производить при таком режиме, в котором двигатель будет работать. При определении пусковой емкости исходят прежде всего из требований создания необходимого пускового момента. Необходимо обратить внимание на то, что пусковая емкость – это не емкость пускового конденсатора. Пусковая емкость равна сумме емкостей рабочего (C_p) и пускового ($C_{п}$) конденсаторов. Если по условиям работы пуск АДКЗ происходит без нагрузки, то пусковая емкость обычно принимается равной рабочей, т.е. пусковой конденсатор не требуется. Пуск под нагрузкой требует наличия дополнительной емкости ($C_{п}$), подключаемой на время запуска двигателя. Увеличение отключаемой емкости приводит к возрастанию пускового момента, и при некотором определенном ее значении момент достигает своего наибольшего значения. Дальнейшее увеличение емкости приводит к обратному результату: пусковой момент начинает уменьшаться. Исходя из условия запуска двигателя под нагрузкой, близкой к номинальной, пусковая емкость должна быть в 2–3 раза больше рабочей. Но если двигатель имеет небольшую нагрузку при запуске, емкость пускового конденсатора может быть меньше или, как описано выше, его вообще может не быть. Необходимо отметить, что у двигателя, подключенного к однофазной сети через конденсатор, работающего без нагрузки, по обмотке, питаемой через конденсатор, идет ток, на 20–30 % превышающий номинальный. Поэтому если двигатель исполь-

зуется в недогруженном режиме, то емкость рабочего конденсатора следует уменьшить. Но тогда, если двигатель запускался без пускового конденсатора, последний может потребоваться. Лучше использовать не один большой конденсатор, а несколько поменьше, отчасти из-за возможности подбора оптимальной емкости, подсоединяя дополнительные или отключая ненужные, оставшиеся можно использовать в качестве пусковых.

Необходимое количество микрофард (мкФ) набирается параллельным соединением нескольких конденсаторов, исходя из того, что суммарная емкость при параллельном соединении считается по формуле: $C_{\text{общ}} = C_1 + C_1 + \dots + C_n$. В качестве рабочих используются обычно металлизированные бумажные или пленочные конденсаторы (МБГО, МБГ4, К75-12, БГТ, СВВ-60 и др.). Допустимое напряжение используемых конденсаторов должно не менее чем в 1,5 раза превышать напряжение сети. Эксперимент проводился с трехфазным асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором АОЛ22-43Ф мощностью 400 Вт. На валу двигателя установлен наждачный камень, надёжное соединение которого осуществляется с помощью фланца. Данный двигатель преобразован в самодельный заточный станок и использовался в домашних условиях от однофазной сети для заточки ножей, сверл, шлифовки металлических изделий. Двигатель работал с конденсатором С1 емкостью 20 мкФ. В результате удалось быстро запустить АДКЗ без пускового конденсатора и заметно увеличить крутящий момент, ощущаемый при торможении наждачного камня на валу двигателя. К сожалению, провести более объективную проверку затруднительно, поскольку в любительских условиях практически невозможно обеспечить нормированную механическую нагрузку на двигатель.

Использование АДКЗ в однофазной сети является универсальным средством в домашних условиях. Принципы подключения трехфазных асинхронных двигателей в однофазную электрическую систему уже устоялись и остаются неизменными в течение столетия, что не исключает их развитие в части улучшения электромагнитной совместимости электроприводов с питающей сетью.

Библиографический список

1. Кацман, М.М. Электрические машины: учебник для студ. учреждений сред. проф. образования / М.М. Кацман. – 12-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2013. – 496 с.
2. Кацман, М.М. Лабораторные работы по электрическим машинам и электрическому приводу: учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / М.М. Кацман. – 8-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2014. – 256 с.
3. Москаленко, В.В. Электрический привод / В.В. Москаленко. – М.: «Мастерство», 2000.

[К содержанию](#)