

УДК 62-83:621.313.333

ПУСК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ

Ю. А. РУДЧЕНКО, В. А. САВЕЛЬЕВ, Н. В. САМОВЕНДЮК,
А. А. ТОЛСТЕНКОВ

Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь

Введение

В ряде областей народного хозяйства, где требуется осуществлять колебательное движение рабочего органа машины без повышенных требований к качеству колебаний, более перспективным оказывается применение автоколебательных режимов работы электродвигателей. Это, например, испытательные стенды пружинных подвесок и других упругих элементов, станки-качалки, аппараты спортивной вибростимуляции, игрушки, рекламные качающиеся устройства, колокола и т. д. В подобного рода устройствах естественным образом создается автоколебательная электромеханическая система «двигатель – упругий элемент». В качестве упругого элемента здесь выступает нагрузка в виде маятника или пружины, а в качестве двигателя – трехфазный общепромышленный асинхронный электродвигатель (рис. 1).

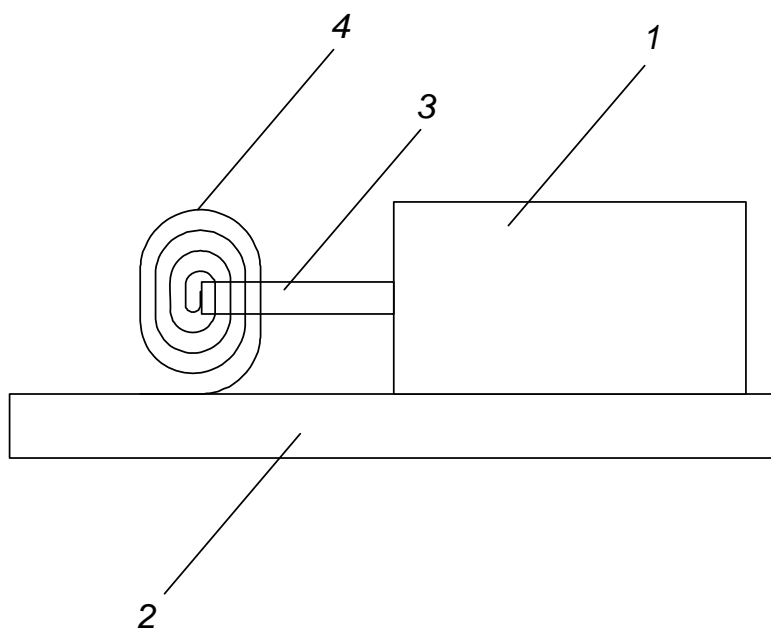


Рис. 1. Трехфазный асинхронный двигатель с пружиной на валу:
1 – трехфазный асинхронный двигатель; 2 – станина; 3 – вал двигателя; 4 – пружина

Необходимым условием работы асинхронного двигателя в автоколебательном режиме является создание в его воздушном зазоре пульсирующего магнитного поля, что достигается путем включения двигателя в однофазную сеть [1]. В данной работе предлагается несколько способов пуска асинхронного двигателя в автоколебательный режим.

Конденсаторный пуск. Как известно [2], запустить асинхронный двигатель непосредственно включением в однофазную сеть невозможно. Это обусловлено характером магнитного поля, которое при таком включении двигателя является пульсирующим. При этом пусковой момент двигателя равен нулю.

Для получения пускового момента асинхронного двигателя требуется создать в его воздушном зазоре вращающееся магнитное поле. Это достигается путем включения последовательно с одной из обмоток двигателя конденсатора. Схема подключения обмоток трехфазного асинхронного двигателя при конденсаторном пуске в автоколебательный режим показана на рис. 2.

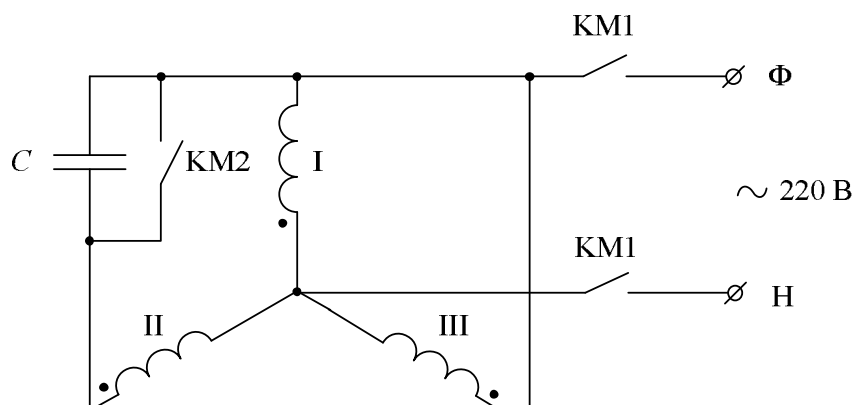


Рис. 2. Схема включения обмоток трехфазного асинхронного двигателя при конденсаторном пуске в автоколебательный режим

При включении конденсатора последовательно с одной из обмоток, например, с обмоткой II, магнитодвижущая сила (МДС), создаваемая током этой обмотки, получается сдвинутой во времени относительно МДС первой и третьей обмоток. В результате взаимодействия МДС всех обмоток возникает вращающееся магнитное поле и пусковой момент. Ротор двигателя начинает поворачиваться.

После достижения валом двигателя заданного угла поворота замыкается контакт конечного выключателя QS , конденсатор шунтируется контактом контактора $KM2$ и двигатель переходит в режим автоколебаний. Одна из возможных схем управления конденсаторным пуском приведена на рис. 3.

При нажатии кнопки «Пуск» $SB1$ замыкаются силовые контакты контактора $KM1$, обеспечивающие подключение двигателя к однофазной сети. Кнопка «Стоп» $SB2$ служит для отключения двигателя от сети.

Режим автоколебаний достигается следующим образом. После шунтирования конденсатора по фазным обмоткам двигателя протекает ток, который создает неподвижное в пространстве пульсирующее с частотой сети магнитное поле. При этом в обмотке ротора наводится электродвижущая сила (ЭДС) и протекает ток. В результате взаимодействия этого тока с полем статора создается вращающий момент. По мере поворота вала ротора электродвигателя позиционный момент от действия пружины, присоединенного к валу двигателя (рис. 1), увеличивается. После того, как позиционный момент станет больше момента двигателя, скорость последнего начнет уменьшаться вплоть до полной остановки двигателя. В этот момент времени 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.

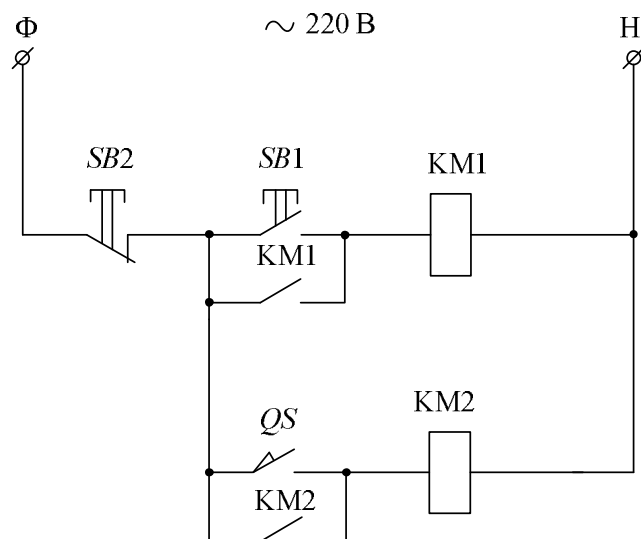


Рис. 3. Схема управления конденсаторным пуском двигателя в автоколебательный режим

Трехфазный пуск. В электроустановках, где есть трехфазная сеть, более целесообразным является трехфазный пуск асинхронного двигателя в автоколебательный режим. Его преимуществом по сравнению с конденсаторным пуском является более высокий пусковой момент и отсутствие необходимости в использовании фазосдвигающего элемента.

Для обеспечения запуска асинхронного двигателя в автоколебательный режим предлагается на время пуска соединять обмотки двигателя в «звезду» и подключать к трехфазной сети. Схема включения в сеть и управления запуском двигателя представлены на рис. 4 и 5.

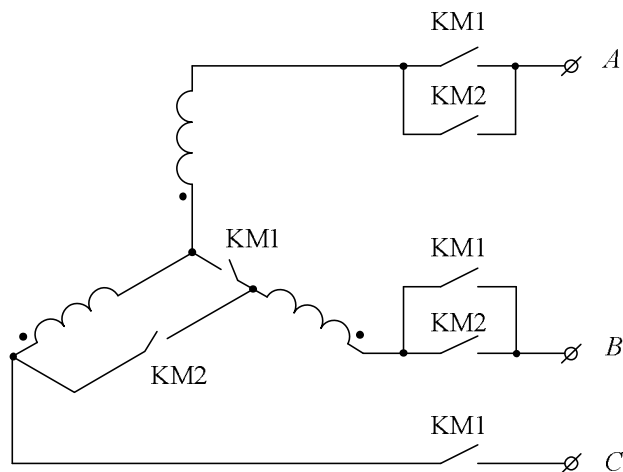


Рис. 4. Схема включения обмоток трехфазного асинхронного двигателя при трехфазном пуске в автоколебательный режим

На время пуска, при помощи кнопки *SB1*, включается контактор *KM1*, в результате обмотки двигателя соединяются звездой и подключаются к трехфазной сети (рис. 6). В воздушном зазоре двигателя образуется вращающееся магнитное поле, возникает пусковой момент и ротор начинает поворачиваться.

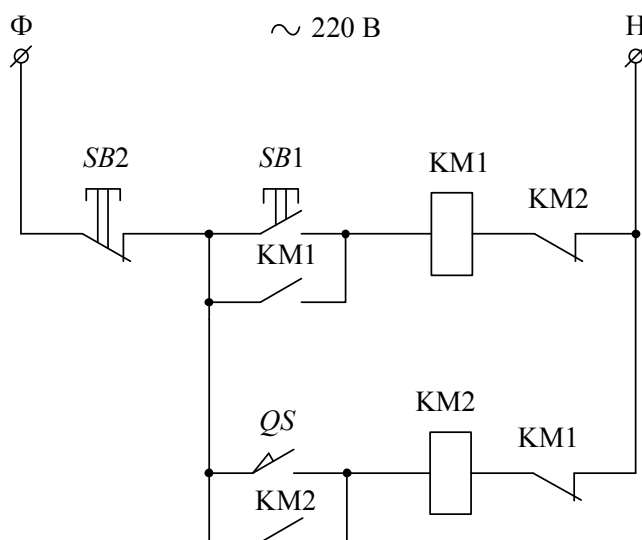


Рис. 5. Схема управления трехфазным пуском двигателя в автоколебательный режим

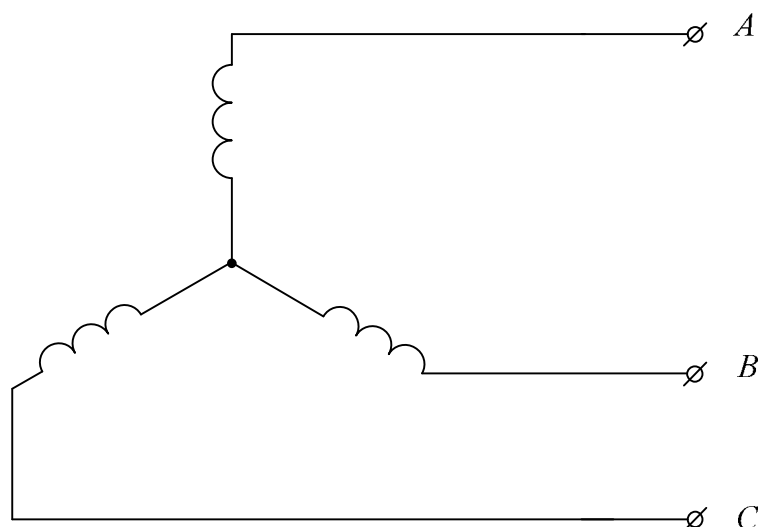


Рис. 6. Схема включения обмоток двигателя на время пуска

При повороте ротора двигателя на угол, обеспечивающий возникновение устойчивых автоколебаний, замыкается контакт конечного выключателя *QS*, контактор *KM1* отключается и включается контакт контактора *KM2*. Обмотки двигателя соединяются последовательно и включаются на линейное напряжение трехфазной сети (рис. 7). В результате в воздушном зазоре возникает пульсирующее магнитное поле и асинхронный двигатель входит в автоколебательный режим.

Определение угла поворота ротора. Для успешного запуска асинхронного двигателя в автоколебательный режим требуется знать угол поворота ротора, при достижении которого должен шунтироваться конденсатор – при конденсаторном пуске, или обмотки двигателя должны переключаться с трехфазной схемы включения (рис. 6) на однофазную – при трехфазном пуске (рис. 7).

Для определения угла переключения требуется решить уравнение движения электромеханической автоколебательной системы «однофазный асинхронный двигатель – позиционный элемент». В качестве позиционного элемента может выступать нагрузка пружинного или маятникового типа, закрепленная на валу двигателя.

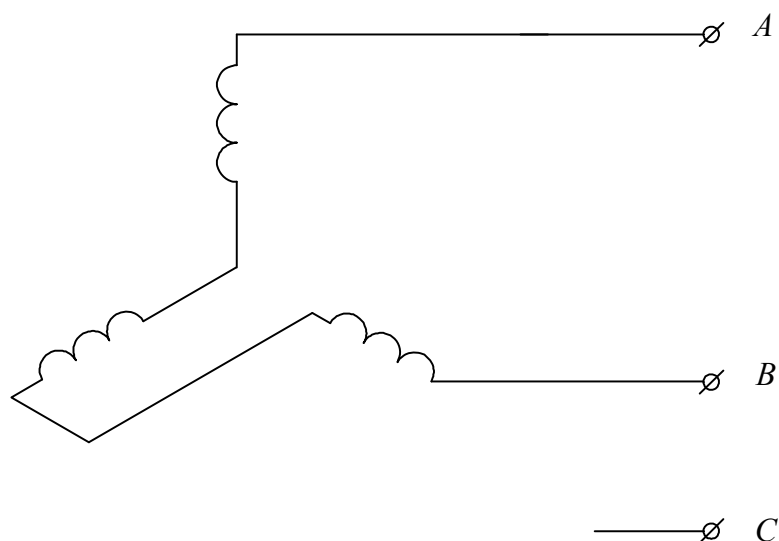


Рис. 7. Схема включения обмоток после запуска двигателя

Уравнение движения электромеханической автоколебательной системы «однофазный асинхронный электродвигатель – линейная пружина» можно записать в виде [3]:

$$\ddot{\varphi} + \dot{\varphi} = f(\dot{\varphi}) = \mu_1 \dot{\varphi} - \mu_2 \dot{\varphi}^3 - \mu_3 \text{Sign}(\dot{\varphi}) - \mu_4 \dot{\varphi}, \quad (1)$$

где $\varphi, \dot{\varphi}, \ddot{\varphi}$ – угловое перемещение ротора, его скорость и ускорение соответственно; $f(\dot{\varphi})$ – функция, учитывающая диссипативные силы нагрузки и электромагнитные силы однофазного асинхронного двигателя; μ_1, \dots, μ_4 – коэффициенты, учитывающие параметры автоколебательной системы, можно определить по выражениям, приведенным ниже в виде таблицы.

Коэффициенты	Аналитические соотношения	Коэффициенты	Аналитические соотношения
μ_1	$\frac{3\sqrt{3} \cdot M_{\text{кр}}}{2 \cdot \omega_1 \cdot \omega_0 \cdot J_{\Sigma}}$	μ_3	$\frac{M_{\text{тр}\Sigma}}{\omega_0^2 \cdot J_{\Sigma}}$
μ_2	$\frac{3\sqrt{3} \cdot M_{\text{кр}} \cdot \omega_0}{2 \cdot \omega_1^3 \cdot J_{\Sigma}}$	μ_4	$\frac{H_{\Sigma}}{J_{\Sigma} \cdot \omega_0}$

Примечание. $M_{\text{кр}}$ – критический момент однофазного асинхронного двигателя; ω_1 – синхронная скорость асинхронного двигателя; $\omega_0 = \sqrt{C_{\Sigma}/J_{\Sigma}}$ – собственная частота колебаний; C_{Σ} – суммарный коэффициент жесткости; J_{Σ} – суммарный момент инерции системы; $M_{\text{тр}\Sigma}$ – суммарный момент сухого (Кулоновского) трения; H_{Σ} – суммарный коэффициент демпфирования.

Решение уравнения (1), при определенных условиях [3], дает два положительных вещественных корня:

$$\varphi_{M1} = \frac{4}{3} \cdot \sqrt{\lambda_1} \cdot \cos\left(\frac{\psi}{3} - 120^\circ\right); \quad (2)$$

$$\varphi_{M2} = \frac{4}{3} \cdot \sqrt{\lambda_1} \cdot \cos\left(\frac{\psi}{3}\right), \quad (3)$$

где φ_{Mi} – амплитуда колебаний; ψ , λ_1 , λ_2 – бифуркационные параметры автоколебательной системы, определяемые по выражениям:

$$\psi = \arccos\left(-\frac{9\lambda_2}{p\sqrt{\lambda_1^3}}\right);$$

$$\lambda_1 = \frac{\mu_1 - \mu_4}{\mu_2};$$

$$\lambda_2 = \frac{\mu_3}{\mu_2}.$$

Анализ устойчивости движения позволяет установить, что корень φ_{M1} является амплитудой неустойчивых предельных циклов колебаний, а корень φ_{M2} – устойчивых.

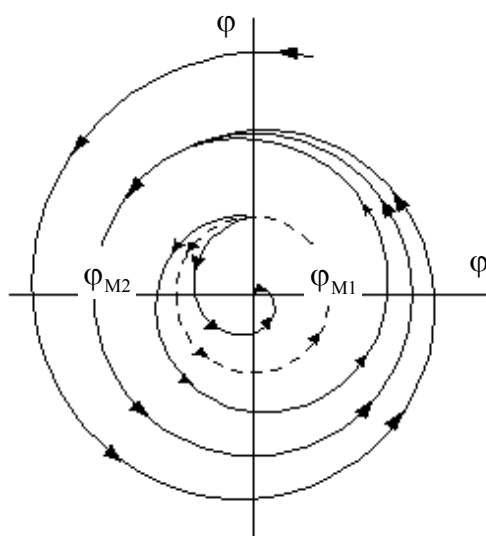


Рис. 8. Фазовый портрет автоколебательного движения

Если срабатывание конечного выключателя QS (рис. 3 и 5) будет происходить при углах, меньших φ_{M1} , то автоколебания ротора двигателя будут неустойчивыми и двигатель остановится. Если значение угла переключения ($\varphi_{пер}$) будет лежать в интервале $\varphi_{M1} < \varphi_{пер} \leq \varphi_{M2}$, то двигатель будет устойчиво работать в автоколебательном режиме, однако будет постоянно срабатывать конечный выключатель (так как амплитуда колебаний больше угла переключения), что приведет к быстрому выходу его из строя. Следовательно, угол переключения $\varphi_{пер}$ должен быть больше величины φ_{M2} , т. е.

$$\varphi_{\text{пер}} > \varphi_{\text{м2}} = \frac{4}{3} \cdot \sqrt{\lambda_1} \cdot \cos\left(\frac{\psi}{3}\right).$$

Заключение

Конденсаторный пуск асинхронного двигателя в автоколебательный режим следует использовать в электроустановках с однофазной сетью.

В электроустановках, где есть трехфазная сеть, более рациональным является трехфазный пуск асинхронного двигателя в автоколебательный режим.

Угол переключения обмоток двигателя с трехфазного включения на однофазное должен быть больше амплитуды устойчивых предельных циклов колебаний.

Литература

1. Луковников, В. И. Исследование автоколебательного движения однофазного асинхронного электродвигателя с линейной пружиной на валу / В. И. Луковников, Л. В. Вешпер // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2001. – № 2. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2001. – С. 33–42.
2. Торопцев, Н. Д. Трехфазный асинхронный двигатель в схеме однофазного включения с конденсатором / Н. Д. Торопцев. – Москва : НТФ «Энергопрогресс», 2000. – 72 с.
3. Луковников, В. И. Критический сравнительный анализ методов исследования электромеханических автоколебательных систем / В. И. Луковников, Г. И. Селиверстов, Ю. А. Рудченко // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. – 2007. – № 2. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2001. – С. 76–81.

Получено 12.11.2009 г.