

УДК 621.313.1

СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ В АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОМ РЕЖИМЕ

И. В. ШАШКОВ, Ю. А. РУДЧЕНКО

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

Введение

Интерес к автоколебательным режимам электроприводов возник еще в первой половине XX в. Появляются различные способы создания автоколебательного режима электродвигателей. Одним из таких способов является создание электромеханической автоколебательной системы на основе однофазного асинхронного электродвигателя (АД), к валу которого присоединен позиционный элемент, обладающий упругостью в том или ином виде [1], [2]. Это может быть механическая, магнитная или электрическая пружина, а также маятник.

Несмотря на перспективность, внедрение этого подхода сдерживается необходимостью в использовании серийных однофазных электродвигателей, не выпускаемых на большие мощности.

Упростить реализацию подобного рода приводов позволяет замена однофазного АД общепромышленным трехфазным АД, обмотки которого пересоединены для подключения к однофазной электрической сети, с целью перевода его в однофазный режим работы.

Автоколебательный режим работы общепромышленного трехфазного АД позволяет отказаться от использования механических преобразователей вида движения в колебательных электроприводах различных устройств. В то же время данный режим работы двигателя является малоизученным. В общеизвестных литературных источниках по теории электрических машин и теории электропривода, например [3], [4] и др., нет упоминаний о данном режиме работы.

Целью создания стенда является изучение работы общепромышленного трехфазного АД в автоколебательном режиме.

Описание стенда

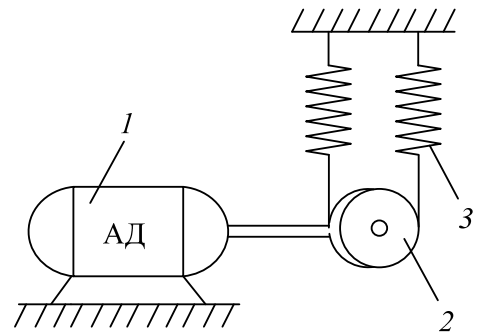
На кафедре «Электроснабжение» Гомельского государственного технического университета имени П. О. Сухого создан стенд (рис. 1) для проведения экспериментальных исследований автоколебательного режима работы АД. Функциональная схема стенда приведена на рис. 1, б.

Экспериментальная установка представляет собой трехфазный АД, закрепленный на станине. На вал двигателя насажен шкив. Пружины растяжения одним концом крепятся к неподвижному основанию, а вторым концом через гибкий металлический трос – к шкиву.

При работе в автоколебательном режиме двигатель подключается к сети по одной из схем однофазного включения [5]. В этом случае механическая характеристика АД получается Z-образной, симметричной относительно начала координат. Возможные схемы подключения трехфазного общепромышленного АД представлены на рис. 2.



а)



б)

Рис. 1. Стенд для испытания АД в автоколебательном режиме:
 а – фото стенда; б – функциональная схема экспериментальной установки:
 1 – асинхронный электродвигатель; 2 – шкив; 3 – пружина

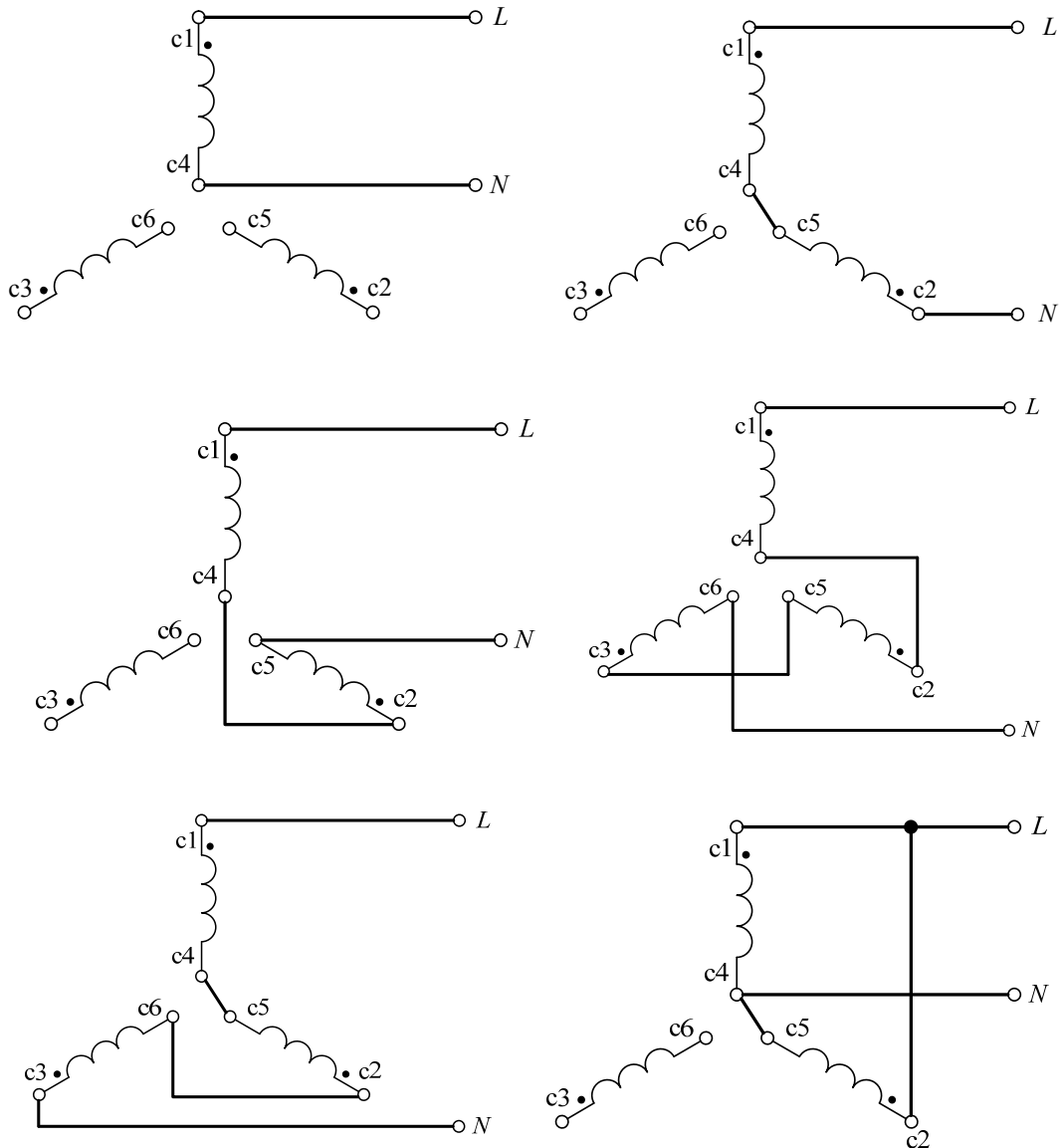


Рис. 2. Схемы подключения трехфазного АД к однофазной сети (окончание см. на с. 88)

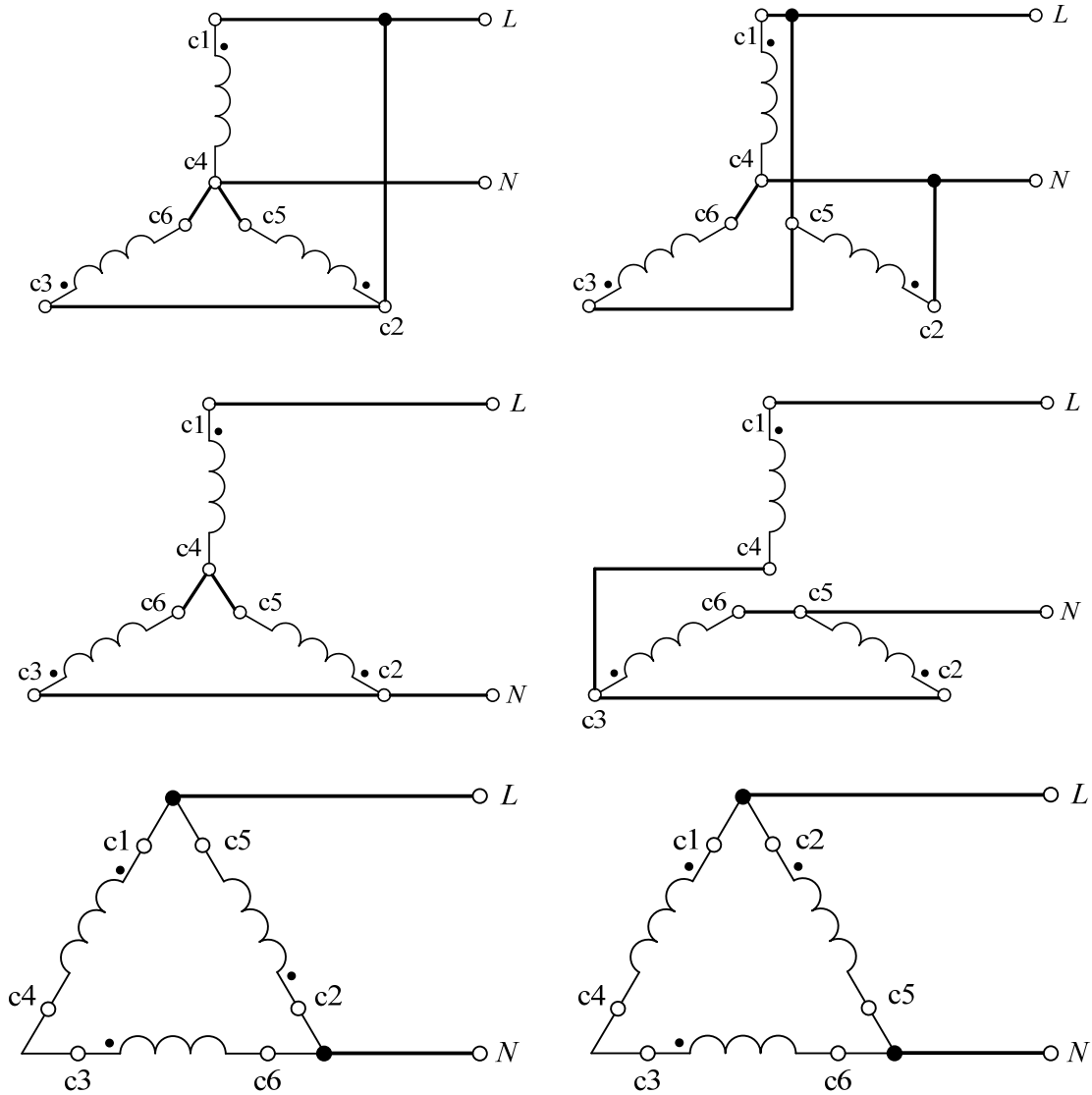


Рис. 2. Окончание (начало см. на с. 87)

Для регулирования напряжения питания АД стенд оборудован лабораторным автотрансформатором типа ЛАТР-2М с диапазоном регулирования 0–250 В. Для измерения параметров работы АД в автоколебательном режиме стенд имеет ряд приборов. Для измерения параметров электропотребления используется комбинированный прибор Д522 с пределами измерения: по току – 0,1–50 А, по напряжению – 100–600 В. Для измерения фазных токов, протекающих в обмотках АД, имеются клещи токоизмерительные УТВ3201. Для измерения частоты вращения вала используем бесконтактный оптический тахометр ДО-03-02.

Определение параметров стенда

Для анализа работы АД в автоколебательном режиме дополнительно необходимы некоторые параметры экспериментальной установки, которые не приводятся в паспортных данных. Такими параметрами являются суммарные момент сухого трения $M_{тр\Sigma}$ и момент инерции J_{Σ} установки, приведенные к рабочему валу. Они определялись экспериментально-расчетным путем. На рис. 3 представлена схема проведения опыта.

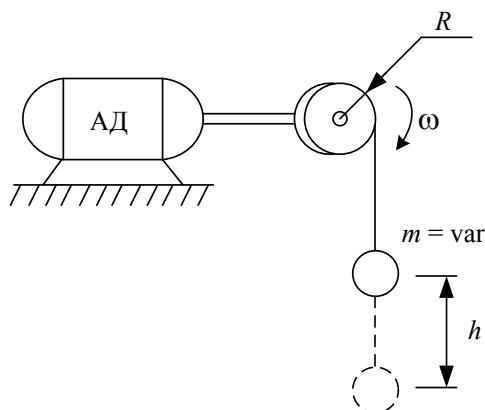


Рис. 3. Схема экспериментального определения суммарных момента сухого трения и момента инерции установки

Для определения суммарных момента сухого трения и момента инерции на шкив радиусом R была намотана невесомая упругая нить, к которой привязывался груз различной массы m . До определенного момента, пока масса не превышала m_0 , вал двигателя не вращался. С дальнейшим увеличением массы груза вал начинал вращение. Дифференциальное уравнение, описывающее данную систему, имеет вид:

$$(J_{\Sigma} + J_m) \frac{d\omega}{dt} + M_{\text{тр}\Sigma} = GR. \quad (1)$$

После подстановки в (1) выражений для момента инерции груза $J_m = mR^2$ и его веса $G = mg$ получим, что

$$(J_{\Sigma} + mR^2) \frac{d\omega}{dt} + M_{\text{тр}\Sigma} = mgR. \quad (2)$$

Подставляя в уравнение (2) условия предельного состояния равновесия системы – значение m_0 и $\frac{d\omega}{dt} = 0$, нашли суммарный момент трения по выражению

$$M_{\text{тр}\Sigma} = m_0 g R.$$

При увеличении массы груза до значения m_1 шкив приходил во вращение под действием силы тяжести груза. Нить начинала разматываться, и груз проходил расстояние h за время t .

Так как в процессе равноускоренного движения производная $\frac{d\omega}{dt} = \frac{2h}{Rt^2}$, то после подстановки в (2) и преобразований определили суммарный момент инерции установки по выражению

$$J_{\Sigma} = \frac{gR^2 t^2}{2h} (m - m_0) - mR^2. \quad (3)$$

Результаты определения суммарных момента сухого трения и момента инерции установки приведены в табл. 1.

Для определения жесткости пружины один ее конец закрепляли к неподвижному основанию, а к свободному концу подвешивали груз различной массы и замеряли вы-

соту пружины. Жесткость пружины, приведенная к рабочему валу (валу двигателя), определялась по выражению

$$C_{\text{пр}} = \frac{mgR^2}{H - H_0},$$

где m – масса подвешиваемого к пружине груза; g – ускорение свободного падения; R – радиус шкива; H – высота пружины; H_0 – свободная высота пружины.

Для определения коэффициента демпфирования пружины один ее конец закрепили к неподвижному основанию, а к свободному концу подвесили груз. Данная система представляет собой линейный осциллятор. Если предположить, что в системе присутствует только линейно-вязкое трение, то уравнение, описывающее такую систему, будет иметь следующий вид:

$$m\ddot{x} + K\dot{x} + Cx = 0,$$

где C – коэффициент жесткости пружины (жесткость пружины); K – коэффициент вязкого трения в пружине (коэффициент демпфирования); m – масса груза.

Проведя несложные преобразования, приведем уравнение к стандартному виду

$$\ddot{x} + 2\gamma\dot{x} + \omega_0^2 x = 0,$$

где x – величина перемещения свободного конца пружины; γ – постоянная затухания, характеризующая интенсивность вязкого трения в системе;

$$\gamma = \frac{K}{2m};$$

ω_0 – частота собственных колебаний осциллятора;

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{C}{m}}.$$

Если трение настолько слабо, что $\gamma < \omega_0$, общее решение уравнения имеет колебательный характер и может быть представлено в следующем виде:

$$x(t) = X_0 e^{-\gamma t} \cos(\omega t + \delta_0),$$

где X_0 – амплитуда колебаний в начальный момент времени (при $t = 0$); δ_0 – начальная фаза колебаний; ω – частота колебаний осциллятора.

Растянув пружину и отпустив ее свободный конец с грузом, измерили время, за которое осциллятор совершил N полных циклов колебаний.

Определили частоту колебаний осциллятора:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi \frac{N}{T_N},$$

где T_N – время, за которое осциллятор совершил N полных циклов колебаний, и период колебаний

$$T = \frac{T_N}{N}.$$

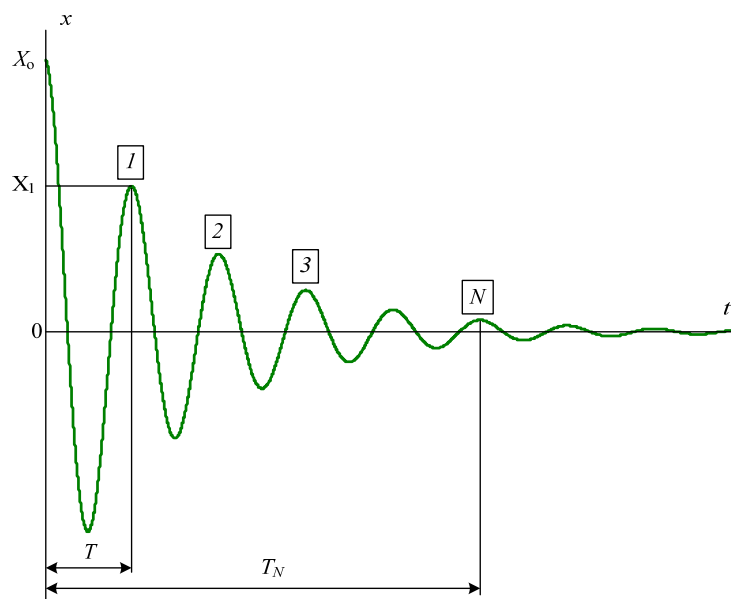


Рис. 4. Форма колебаний свободного конца пружины (для случая, когда $\delta_0 = 0$)

Для момента времени, соответствующего одному полному циклу колебаний $t = T_1 = T$, измерили значение растяжения пружины X_1 . Решение уравнения движения для этого момента времени имеет вид:

$$x(T_1) = x(T) = X_0 e^{-\gamma T} \cos(\omega T + \delta_0) = X_1.$$

Если в момент $t = 0$ скорость движения свободного конца пружины равна нулю (пружину растянули и отпустили, не прикладывая к ней внешних дополнительных усилий), то начальная фаза колебаний будет также равна нулю $\delta_0 = 0$ (для случая, показанного на рис. 4). Таким образом, решение примет вид:

$$X_0 e^{-\gamma T} \cos(\omega T) = X_1.$$

В этом случае в момент времени, соответствующий периоду колебаний $t = T$ (а также для момента времени $t = 2T, 3T, \dots$ и т. д.), функция косинуса становится равна единице $\cos(\omega T) = 1$ и решение примет вид:

$$X_0 e^{-\gamma T} = X_1.$$

Отношение $\eta = \frac{X_1}{X_0} = e^{-\gamma T}$ называют декрементом колебаний, он характеризует скорость затухания колебаний.

Отсюда можно выразить и определить постоянную затухания

$$\gamma = -\frac{1}{T} \ln \left(\frac{X_1}{X_0} \right).$$

Коэффициент демпфирования пружины определили по выражению

$$K = 2m\gamma.$$

Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Технические характеристики экспериментальной установки

Параметр	Единица измерения	Характеристика
Тип двигателя	–	4AA56B4У3
Мощность двигателя	кВт	0,18
Номинальное напряжение двигателя	В	380/220
Диапазон регулирования напряжения установки	В	0–250
Номинальный ток двигателя	А	1,15/0,67
Кратность максимального момента двигателя	отн. ед.	2,2
Кратность минимального момента двигателя	отн. ед.	1,5
Кратность пускового момента двигателя	отн. ед.	2,1
Синхронная частота вращения двигателя	об./мин	1500
Номинальная частота вращения двигателя	об./мин	1370
Скольжение номинальное	%	8,9
Скольжение критическое	%	50,5
Номинальный КПД	отн. ед.	0,64
Номинальный коэффициент мощности двигателя	отн. ед.	0,64
Номинальный момент двигателя	Н · м	1,26
Критический момент двигателя	Н · м	2,772
Критическое скольжение двигателя	%	50,5
Критическая частота вращения двигателя	об./мин	742,5
Диаметр шкива	мм	19
Тип пружины	–	Цилиндрическая растяжения
Свободная высота пружины	мм	467
Суммарный момент сухого трения установки	Н · м	0,0168
Суммарный момент инерции установки	кг · м ²	0,000788
Жесткость пружины, приведенная к рабочему валу	Н · м/рад	0,00966
Коэффициент демпфирования пружины	отн. ед.	0,0234

Заключение

В дальнейшем будет экспериментально изучена работа АД в автоколебательном режиме. Планируется определить:

- 1) оптимальную схему соединения обмоток двигателя для его работы в автоколебательном режиме;
- 2) зависимость параметров колебательного движения (амплитуда и частота колебаний) от параметров электропитания (напряжения на обмотках двигателя) и нагрузки (жесткости пружин);
- 3) энергетические параметры работы АД в автоколебательном режиме (потребляемую из сети активную мощность, КПД, значение силы тока и т. д.).

Литература

1. Власов, Н. П. Автоколебательная схема с однофазным асинхронным мотором / Н. П. Власов // Журн. техн. физики. – 1935. – Т. V, вып. 4. – С. 641–653.
2. Антипенко, В. И. Исследование асинхронного двигателя в автоколебательном режиме / В. И. Антипенко // Автоматика. – 1963. – № 4. – С. 51–62.
3. Вольдек, А. И. Электрические машины. Машины переменного тока : учеб. для вузов / А. И. Вольдек, В. В. Попов. – СПб. : Питер, 2010. – 350 с. : ил.

4. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода : учеб. для вузов / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – М. : Энергоиздат, 1981. – 576 с. : ил.
5. Торопцев, Н. Д. Трехфазный асинхронный двигатель в схеме однофазного включения с конденсатором / Н. Д. Торопцев. – М. : Энергопрогресс, 2000. – 72 с. : ил.

Получено 17.02.2016 г.