

УДК 621.313.333.2:621.316.7

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СХЕМ ПОДКЛЮЧЕНИЯ ТРЕХФАЗНОЙ ОБМОТКИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ К ОДНОФАЗНОЙ СЕТИ**В.В. Харламов¹, А.Г. Галкин², Ю.В. Москалев¹, В.С. Лысенко¹**¹ Омский государственный университет путей сообщения
Россия, 644046, г. Омск, пр. Маркса, 35² Уральский государственный университет путей сообщения
Россия, 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66

Аннотация. Выполнен обзор технических средств для подключения трехфазной обмотки статора асинхронного двигателя к однофазной сети, рассмотрены их основные достоинства и недостатки. Приведена и доказана теорема о получении трехфазной симметричной системы напряжений с использованием двух однофазных источников электродвижущей силы. На основании доказанной теоремы предложена электрическая схема для подключения трехфазной обмотки статора асинхронного двигателя к однофазной сети. Выполнен расчет токов, активной и реактивной мощности, коэффициента мощности двух однофазных источников электродвижущей силы и асинхронного двигателя при изменении скольжения в рабочем диапазоне. Сопротивления фаз асинхронного двигателя были определены с использованием Г-образной схемы замещения для различных скольжений. В программе Simulink пакета Matlab было проведено имитационное моделирование работы асинхронного двигателя, подключенного с использованием рассматриваемой схемы. Для практической реализации предложенной схемы в качестве одного однофазного источника переменного напряжения можно использовать однофазную сеть, в качестве другого – полупроводниковый преобразователь, подключенный к однофазной сети.

Ключевые слова: однофазная сеть, асинхронный двигатель, трехфазная обмотка, преобразование фаз, трехфазное симметричное напряжение, доказательство теоремы, Г-образная схема замещения.

Повышение надежности и энергетической эффективности различных систем электропривода является важным направлением научных исследований. Существует большое количество устройств с асинхронными двигателями, которые подключаются к однофазной электрической сети, в основном это различные бытовые приборы и устройства, например насосы, деревообрабатывающий электроинструмент, зернодробилки, компрессоры.

Для подключения к однофазной сети используют:

1) однофазные асинхронные двигатели. Такие электрические двигатели спроектированы для работы от однофазной сети, для создания вращающегося магнитного поля в их конструкцию заложен ряд особенностей (однофазная

Харламов Виктор Васильевич (д.т.н., проф.), заведующий кафедрой «Электрические машины и общая электротехника».

Галкин Александр Геннадьевич (д.т.н., проф.), заведующий кафедрой «Электро-снабжение транспорта».

Москалев Юрий Владимирович (к.т.н., доц.), доцент кафедры «Электрические машины и общая электротехника».

Лысенко Виктор Сергеевич, аспирант.

и вспомогательная обмотка на статоре, экранированные полюса и др.) [1];

2) асинхронные двигатели с трехфазной обмоткой на статоре. Для подключения к однофазной сети такого двигателя обычно используется дополнительное устройство, которое обеспечивает преобразование однофазного напряжения в трехфазное.

Как показано в [2, 3], энергетические показатели асинхронных двигателей с трехфазной обмоткой на статоре выше, чем у однофазных, также лучше использование активных материалов в заданном габарите.

Однофазные двигатели изготавливаются серийно с номинальной мощностью менее 1 кВт, поэтому для устройств с большей мощностью используются трехфазные асинхронные двигатели с преобразователем количества фаз; в большинстве случаев мощность трехфазных двигателей бытовых устройств, подключаемых к однофазной сети, не превышает 3 кВт.

В настоящее время для подключения трехфазной обмотки статора асинхронного двигателя к однофазной сети разработано множество устройств и схем [1–17], которые можно разделить на несколько групп.

1. Схемы с использованием фазосдвигающих реактивных элементов. Такие схемы часто применяются практически, потому что они наиболее просты и дешевы, но при их использовании к трехфазной обмотке статора асинхронного двигателя будет приложено несимметричное напряжение, величина несимметрии которого зависит от нагрузки на валу. Как показано в [4], с использованием индуктивного и емкостного фазосдвигающих элементов можно обеспечить симметричное трехфазное напряжение на обмотке статора при изменении нагрузки, но при этом необходимо регулировать реактивные токи фазосдвигающих элементов. Регулирование реактивного тока фазосдвигающего элемента можно реализовать различными способами, например в [5] рассмотрено устройство, в котором регулирование емкостного тока осуществляется с использованием электронной схемы.

2. Электромеханические фазорасщепители. У таких специальных асинхронных машин на статоре расположены две двигательные и одна генераторная обмотка с различным количеством витков, обмотки соединены в несимметричную «звезду». К основным недостаткам таких устройств можно отнести большие массогабаритные показатели, наличие шума и вибрации при их работе, а также невысокий КПД в сравнении с другими типами преобразователей фаз. Обычно фазорасщепители используются на электроподвижном составе, в настоящее время их заменяют на более экономичные полупроводниковые преобразователи.

3. Трансформаторные и автотрансформаторные преобразователи фаз. Такие устройства содержат магнитопровод с несколькими обмотками. Например, в [6] приведен преобразователь однофазного напряжения в трехфазное, у которого стержни выполнены из электротехнической стали с различными характеристиками, за счет чего образуется необходимое смещение фаз магнитных потоков в стержнях и обеспечивается создание трехфазного напряжения на выходе устройства. Такие преобразователи имеют большие массогабаритные показатели, высокий расход дорогостоящих активных материалов.

4. Электронные схемы для преобразования количества фаз. Наиболее совершенные преобразователи однофазного напряжения в трехфазное реализованы в настоящее время на базе различных электронных схем [7–17]. Среди них большее распространение получила схема, состоящая из однофазного мостового выпрямителя, сглаживающего фильтра и трехфазного автономного инвертора напряжения, к которому подключается трехфазная обмотка статора. К недостат-

кам такой схемы можно отнести появление высших гармоник в токе однофазной сети, генерацию высших гармоник напряжения и тока на выходе инвертора, наличие которых негативно влияет на работу асинхронной машины.

Таким образом, разработка и создание новых схем для подключения трехфазной обмотки асинхронного двигателя к однофазной сети, которые будут обеспечивать симметричное трехфазное напряжение с минимальным содержанием высших гармоник напряжения и тока в обмотке двигателя, остается актуальной задачей.

Рассмотрим и докажем теорему, на основании которой можно реализовать устройство для подключения трехфазной обмотки асинхронного двигателя к однофазной сети.

Теорема: к трехфазной нагрузке будет приложено трехфазное симметричное напряжение, если относительно одного узла трехфазной нагрузки к двум другим узлам подключить по одному идеально однофазному источнику синусоидальной ЭДС с одинаковым действующим значением и смещением одной ЭДС на $1/6$ периода относительно другой.

Доказательство: рассмотрим схему замещения, состоящую из трехфазной нагрузки, соединенной «треугольником», к трем узлам A, B, C которой подключены два однофазных источника синусоидальной ЭДС, как показано на рис. 1.

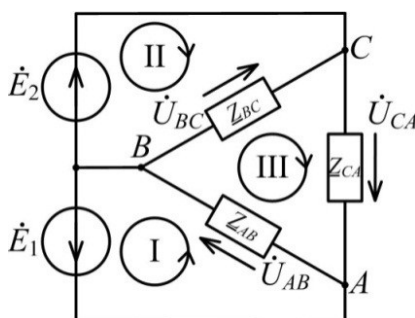


Рис. 1. Схема замещения

Для схемы, приведенной на рис. 1, в соответствии со вторым законом Кирхгофа можно записать:

$$\begin{cases} \dot{U}_{AB} = \dot{E}_1; \\ -\dot{U}_{BC} = \dot{E}_2; \\ \dot{U}_{AB} + \dot{U}_{BC} + \dot{U}_{CA} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

Для создания симметричной трехфазной системы напряжений на нагрузке синусоидальные ЭДС двух источников должны быть с одинаковым амплитудным (действующим) значением и смещением одной ЭДС на $1/6$ периода относительно другой. Рассмотрим случай, когда ЭДС E_2 опережает ЭДС E_1 на $1/6$ периода:

$$\dot{E}_1 = E, \quad (2)$$

$$\dot{E}_2 = -\dot{a}^2 E, \quad (3)$$

где E – действующее значение ЭДС источника, В;

a – комплексный оператор поворота: $\dot{a} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$.

Запишем напряжения, приложенные к каждой фазе, с учетом (2) и (3):

$$\begin{cases} \dot{U}_{AB} = \dot{E}_1 = E; \\ \dot{U}_{BC} = -\dot{E}_2 = \dot{a}^2 E; \\ \dot{U}_{CA} = -\dot{U}_{AB} - \dot{U}_{BC} = -E - \dot{a}^2 E. \end{cases} \quad (4)$$

Для доказательства теоремы используем метод симметричных составляющих; если напряжение обратной и нулевой последовательности на трехфазной нагрузке равны нулю, то трехфазная система будет симметричной. Определим три симметричные составляющие напряжения:

$$\dot{U}_1 = \frac{\dot{U}_{AB} + \dot{a}\dot{U}_{BC} + \dot{a}^2\dot{U}_{CA}}{3}, \quad (5)$$

$$\dot{U}_2 = \frac{\dot{U}_{AB} + \dot{a}^2\dot{U}_{BC} + \dot{a}\dot{U}_{CA}}{3}, \quad (6)$$

$$\dot{U}_0 = \frac{\dot{U}_{AB} + \dot{U}_{BC} + \dot{U}_{CA}}{3}. \quad (7)$$

Подставим напряжение U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} из системы (4) в выражение (6):

$$\dot{U}_2 = \frac{E + \dot{a}^2(\dot{a}^2 E) + \dot{a}(-\dot{a}^2 E - E)}{3} = \frac{E + \dot{a}^4 E - \dot{a}^3 E - \dot{a}E}{3} = \frac{E + \dot{a}E - E - \dot{a}E}{3} = 0.$$

После нескольких математических преобразований можно видеть, что напряжение обратной последовательности равно нулю.

Подставим напряжение U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} из системы (4) в выражение (7):

$$\dot{U}_0 = \frac{E + \dot{a}^2 E + (-\dot{a}^2 E - E)}{3} = \frac{E + \dot{a}^2 E - \dot{a}^2 E - E}{3} = 0.$$

В результате преобразований получаем, что напряжение нулевой последовательности равно нулю.

Определим, чему равно напряжение прямой последовательности, для этого подставим напряжение U_{AB} , U_{BC} , U_{CA} из системы (4) в выражение (5):

$$\dot{U}_1 = \frac{E + \dot{a}(\dot{a}^2 E) + \dot{a}^2(-\dot{a}^2 E - E)}{3} = \frac{E + \dot{a}^3 E - \dot{a}^4 E - \dot{a}^2 E}{3} = \frac{E + E - \dot{a}E - \dot{a}^2 E}{3} = \frac{E + 2E}{3} = E.$$

Напряжение прямой последовательности будет равно действующему значению ЭДС источников питания.

Таким образом, напряжения обратной и нулевой последовательности равны нулю, поэтому если относительно одного полюса трехфазной нагрузки к двум другим полюсам подключить по одному идеальному однофазному источнику синусоидальной ЭДС с одинаковым действующим значением и смещением одной ЭДС на $1/6$ периода относительно другой, то к трехфазной нагрузке будет приложено трехфазное симметричное напряжение, что и требовалось доказать.

В случае если ЭДС E_2 отстает от ЭДС E_1 на $1/6$ периода, доказательство аналогичное, при этом изменится чередование фаз, т. е. напряжения прямой и нулевой последовательности будут равны нулю, а напряжение обратной последовательности будет равно действующему значению ЭДС источников.

Доказательство также справедливо для трехфазной нагрузки, соединенной «звездой», и других схем соединения без нулевой точки, т. к. эти схемы с использованием эквивалентных преобразований можно преобразовать в «треугольник».

Практическое применение теоремы. На основании предложенной теоремы можно спроектировать устройство для подключения трехфазной обмотки электрической машины к однофазной сети, при этом в качестве одного источника переменного синусоидального напряжения будет выступать однофазная сеть, в качестве другого – полупроводниковый преобразователь, который подключается к однофазной сети.

Выполним анализ потребляемых токов и мощностей при подключении трехфазной обмотки асинхронного двигателя с использованием схемы, приведенной на рис. 1. Как было доказано, к трехфазной обмотке статора электрической машины будет приложено трехфазное симметричное напряжение, поэтому каждую фазу асинхронного двигателя можно представить в виде Г-образной схемы замещения. Эквивалентные комплексные сопротивления каждой фазы будут равны между собой, эти сопротивления будут изменяться в зависимости от нагрузки на валу машины.

В качестве примера рассмотрим асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором типа 4А80В4У3, основные параметры двигателя приведены в таблице [18].

Основные параметры асинхронного двигателя типа 4А80В4У3

P_n , кВт	η_n , о.е.	$\cos\phi_n$, о.е.	S_n , о.е.	Параметры Г-образной схемы замещения, Ом					
				R_μ	X_μ	R_l	X_l	R'_2	X'_2
1,5	0,77	0,83	0,067	17,64	117,54	7,42	4,83	4,14	7,42

Для определения токов схемы замещения (см. рис. 1) запишем математическую модель в матричном виде:

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & \underline{Z}_{AB} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\underline{Z}_{BC} & 0 \\ 0 & 0 & \underline{Z}_{AB} & \underline{Z}_{BC} & \underline{Z}_{CA} \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & -1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \dot{I}_1 \\ \dot{I}_2 \\ \dot{I}_{AB} \\ \dot{I}_{BC} \\ \dot{I}_{CA} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{E}_1 \\ \dot{E}_2 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (8)$$

На основании известных параметров Г-образной схемы замещения (см. таблицу) были определены значения активной и реактивной составляющих комплексного сопротивления каждой фазы асинхронного двигателя типа 4А80В4У3 в зависимости от скольжения S (рис. 2). С использованием математической модели (8) были рассчитаны токи двух однофазных источников и токи в трех фазах двигателя (рис. 3).

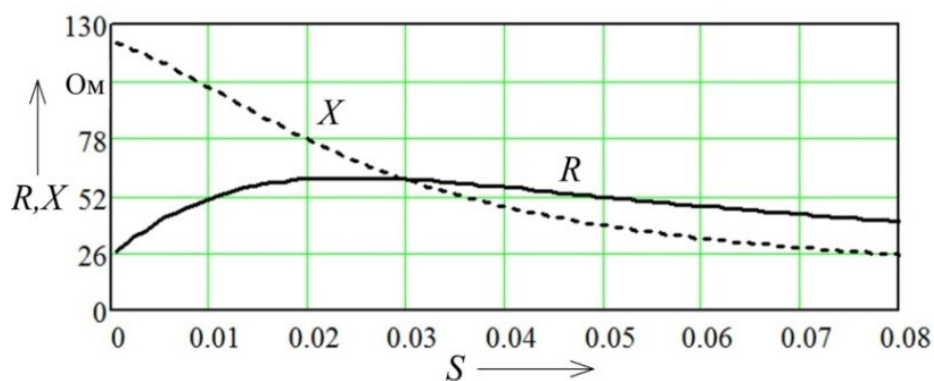


Рис. 2. Изменение составляющих комплексного сопротивления асинхронного двигателя типа 4А80В4У3 в зависимости от скольжения

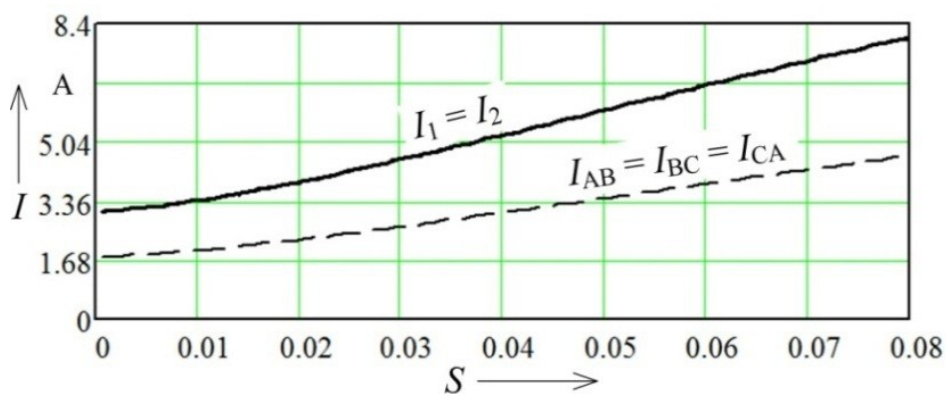


Рис. 3. Изменение токов однофазных источников и фаз обмотки статора асинхронного двигателя в зависимости от скольжения

Как видно из рис. 3, действующие значения токов в каждой фазе нагрузки равны между собой, также равны токи двух источников $I_1 = I_2$.

На рис. 4 приведены графики изменения активной и реактивной мощности источников ЭДС и фазы асинхронного двигателя.

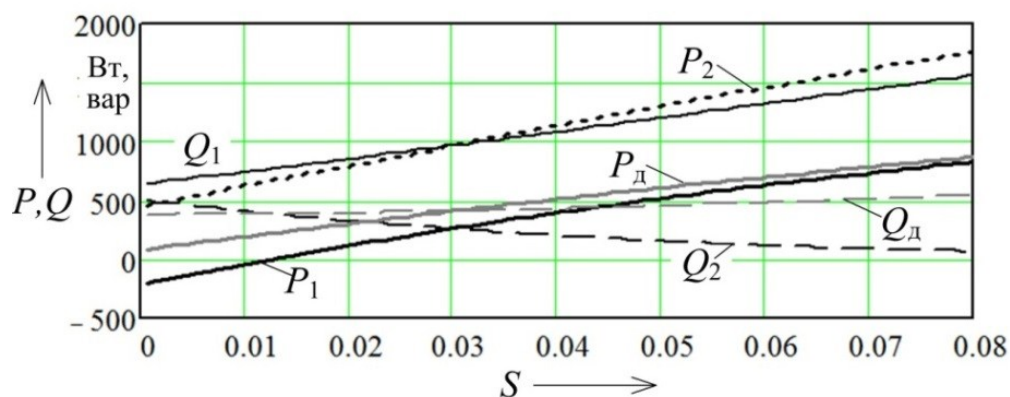


Рис. 4. Изменение активной и реактивной мощности однофазных источников и фазы обмотки статора двигателя в зависимости от скольжения

На рис. 5 представлен график изменения коэффициента мощности источников ЭДС и асинхронного двигателя.

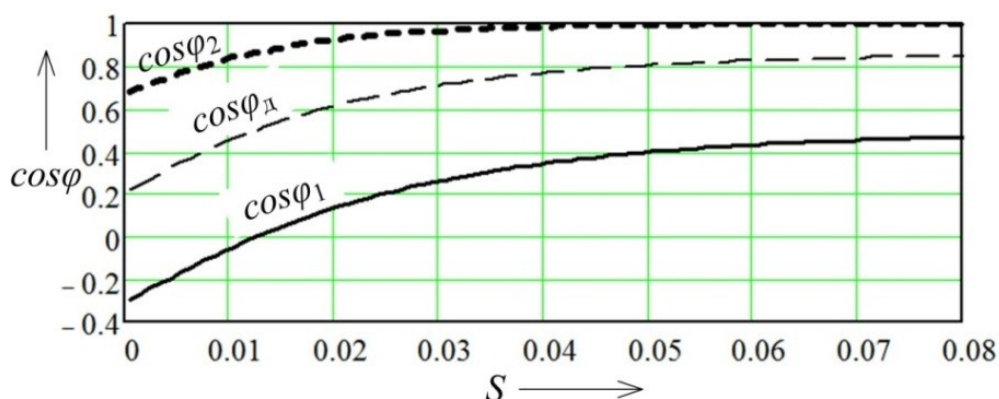


Рис. 5. Изменения коэффициента мощности источников ЭДС и фазы асинхронного двигателя в зависимости от скольжения

Как видно из рис. 4, источник переменной ЭДС E_1 будет переходить в режим потребителя активной мощности при скольжении асинхронного двигателя меньше 0,012 для рассматриваемого примера. Коэффициент мощности у первого источника ниже, чем у источника ЭДС E_2 в рабочем диапазоне изменения скольжения (см. рис. 5). Эти особенности схемы нужно учитывать при проектировании полупроводникового преобразователя, который будет формировать с использованием широтно-импульсной модуляции (ШИМ) необходимое напряжение с заданным действующим значением и фазой относительно напряжения однофазной сети.

Для определения возможности практического применения предложенной схемы было выполнено имитационное моделирование в программе *Simulink* пакета *Matlab*. На рис. 6 изображена имитационная модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором. Необходимые для моделирования параметры блока «Асинхронная машина» *Simulink* были рассчитаны с использованием методики [19] на основании известных паспортных данных машины, приведенных в таблице.

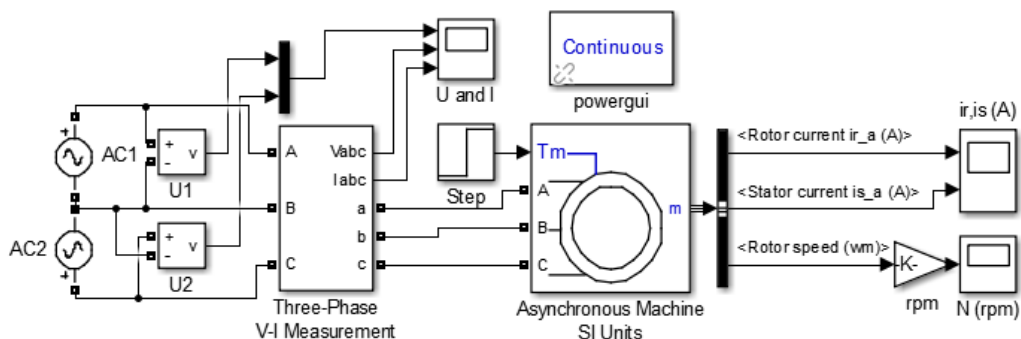


Рис. 6. Имитационная модель асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в программе *Simulink* пакета *Matlab*

Модель представляет собой схему, включающую в себя два однофазных источника (у источников переменного напряжения АС1 и АС2 были заданы одинаковые амплитудные значения напряжения, равные 311,13 В, при этом начальные фазы составляли 0 и +60 градусов соответственно), асинхронный двигатель, блоки для измерения и осциллографы для отображения напряжения.

На рис. 7 приведены временные диаграммы ЭДС однофазных источников (а) и напряжений трехфазной обмотки статора асинхронного двигателя (б).

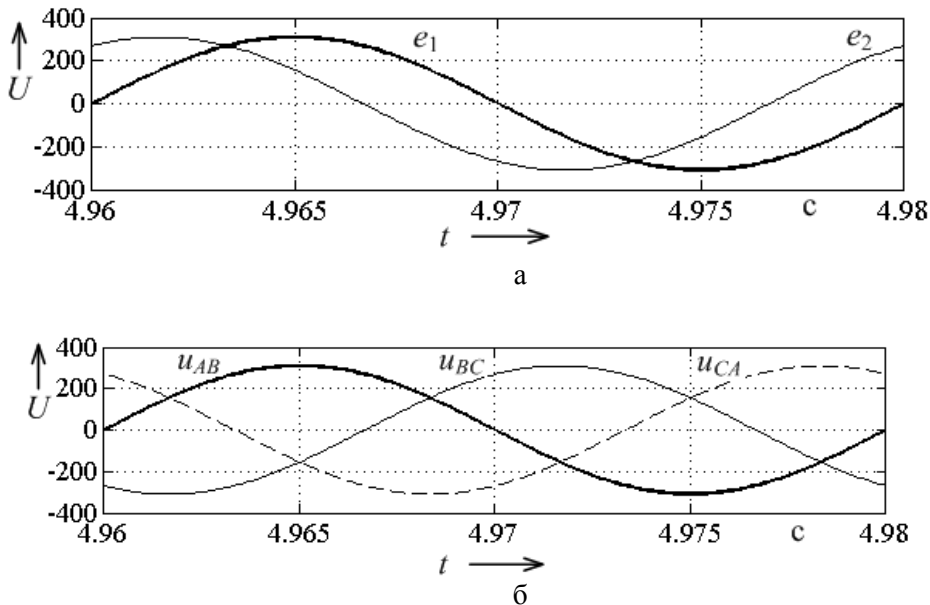


Рис. 7. Временные диаграммы напряжения однофазных источников (а) и трехфазной обмотки статора асинхронного двигателя (б)

Анализируя временные диаграммы напряжения обмотки статора асинхронного двигателя (см. рис. 7, б), можно видеть, что фазы образуют симметричную трехфазную систему напряжений. Действующее значение ЭДС однофазных источников и линейные напряжения, приложенные к обмотке статора, равны 220 В.

На рис. 8 изображена принципиальная электрическая схема устройства для преобразования однофазного напряжения в симметричное трехфазное напряжение, с использованием которой можно практически реализовать предложенный подход [20].

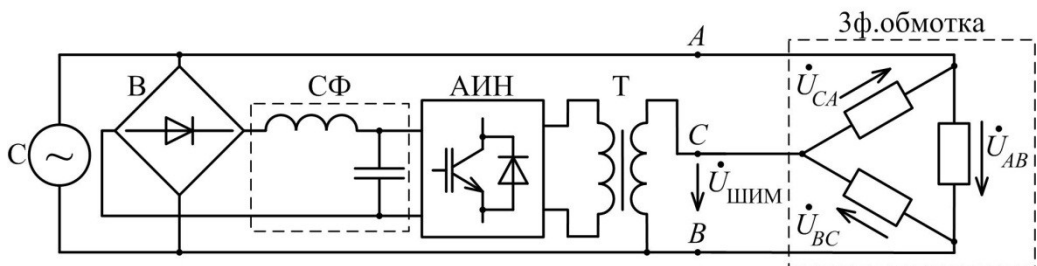


Рис. 8. Принципиальная электрическая схема для преобразования однофазного напряжения в симметричное трехфазное напряжение

На рис. 8 вход выпрямителя (В) подключен к однофазной сети (С), а выход через сглаживающий фильтр (СФ) подключен ко входу однофазного автономного инвертора напряжения (АИН), к выходу которого подключена первичная обмотка однофазного трансформатора (Т). Один вывод вторичной обмотки трансформатора соединяется с одним выводом однофазной сети, ко второму выводу вторичной обмотки трансформатора и двум выводам однофазной сети подключается трехфазная обмотка статора асинхронного двигателя.

Работу предложенного электронного преобразователя можно пояснить следующим образом: напряжение однофазной сети приложено к выпрямителю, на конденсаторе сглаживающего фильтра формируется постоянное напряжение, которое поступает на вход однофазного АИН. Управление полупроводниковыми ключами инвертора позволяет обеспечить на первичной обмотке трансформатора последовательность прямоугольных импульсов, скважность которых изменяется по синусоидальному закону во времени.

При реализации ШИМ несущая частота существенно выше частоты модуляции; гармоники, кратные несущей частоте, присутствующие в спектре выходного напряжения АИН, будут снижаться при трансформировании за счет индуктивностей рассеяния, межвитковых и межобмоточных емкостей трансформатора. Во вторичной обмотке трансформатора будет наводиться ЭДС с меньшим содержанием высших гармоник. Таким образом, трансформатор (Т) в схеме (см. рис. 8) будет выполнять несколько функций: гальваническая развязка, согласование уровней напряжения, снижение высших гармоник напряжения.

Частота модуляции при работе АИН должна быть равна частоте однофазной сети. Для определения оптимальной несущей частоты необходимы дополнительные исследования, которые должны учитывать особенности конструкции однофазного трансформатора, особенности перемагничивания его сердечника, дополнительные потери, влияние индуктивностей рассеяния, межвитковых и межобмоточных емкостей трансформатора на снижение высших гармоник в ЭДС вторичной обмотки трансформатора при разных значениях несущей частоты и видов ШИМ.

Таким образом, схема, приведенная на рис. 8, позволит обеспечить необходимое напряжение на вторичной обмотке однофазного трансформатора с заданной начальной фазой относительно напряжения однофазной сети.

На рис. 9 показана векторная диаграмма, поясняющая создание системы трехфазного симметричного напряжения на трехфазной обмотке статора.

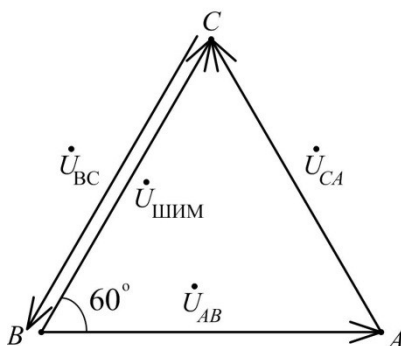


Рис. 9. Векторная диаграмма напряжений для пояснения работы предложенного устройства

Для обеспечения симметричного трехфазного напряжения на нагрузке необходимо с помощью АИН в точке С относительно точки В ($U_{\text{шим}}$ на рис. 8) сформировать напряжение с амплитудным значением, равным напряжению однофазной сети, и с начальной фазой, опережающей (отстающей от) напряжение однофазной сети U_{AB} на 60 градусов (вектор $U_{\text{шим}}$ на рис. 9). Геометрическая разность векторов напряжений $U_{\text{шим}}$ и U_{AB} будет равна вектору напряжения U_{CA} . Векторы напряжений U_{BC} и $U_{\text{шим}}$ равны по модулю и находятся в противофазе (см. рис. 9). В результате к каждой фазе трехфазной нагрузки, соединенной в схему «треугольник», будет приложены напряжения с одинаковыми амплитудными значениями и со сдвигом на 120 градусов.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы:

1. Рассмотрены существующие способы и технические средства для подключения трехфазной обмотки статора асинхронного двигателя к однофазной сети, к их основным недостаткам можно отнести снижение энергетических показателей и уменьшение полезной мощности на валу электрической машины.

2. Представлена и доказана теорема, которая теоретически обосновывает возможность получения трехфазной симметричной системы напряжений на трехфазной нагрузке с использованием двух источников переменной ЭДС.

3. Выполнен анализ потребляемых токов, активной и реактивной мощности при подключении трехфазного асинхронного двигателя типа 4А80В4УЗ с использованием предложенной схемы. По однофазным источникам ЭДС протекают токи с одинаковым действующим значением, при этом они имеют различную загрузку по активной и реактивной мощности, при уменьшении нагрузки на валу двигателя (скольжение меньше 0,012) один источник ЭДС переходит в режим потребителя активной мощности.

4. Выполнено имитационное моделирование работы асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором в установившемся режиме работы, при этом трехфазная обмотка статора двигателя была подключена к двум однофазным источникам переменного синусоидального тока. В результате были получены временные диаграммы напряжений трехфазной обмотки, на основании анализа которых можно сделать вывод о симметрии трехфазной системы напряжений.

5. Предложена схема для включения трехфазной обмотки статора асинхронного двигателя к однофазной сети, с использованием которой можно практически реализовать рассмотренную теорему. В качестве первого источника переменного тока использована однофазная сеть, в качестве второго – полупроводниковый преобразователь, подключенный к однофазной сети.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хрущев В.В. Электрические микромашины автоматических устройств: Учебник для вузов. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 368 с.
2. Вольдек А.И., Попов В.В. Электрические машины. Машины переменного тока. – СПб.: Питер, 2010. – 352 с.
3. Петров А.П. Исследование асинхронных конденсаторных двигателей с трехфазными обмотками: Дис. ... канд. техн. наук: 05.09.01. – М., 1999. – 179 с.
4. Харламов В.В., Москалев Ю.В., Лысенко В.С. Повышение эффективности использования трехфазных асинхронных электродвигателей при питании от однофазной сети // Омский научный вестник. – 2018. – № 3(159). – С. 27–31.
5. Nabil A. Three Phase Induction Motor Operating from Single Phase Supply With An Electronically Controlled Capacitor // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. 2012. Vol. 2. Pp. 523–528.

6. А.с. 2192088 РФ, МПК H02M 5/14. Преобразователь однофазного напряжения в трехфазное / Таранов М.А., Юндин М.А. Заявитель и патентообладатель Азово-Черноморская государственная агроинженерная академия. – № 2001124135/09; заявл. 29.08.01; опубл. 27.10.02, Бюл. № 30.
7. А.с. 2344540 РФ, МПК H02P 1/42. Однофазно-трехфазный реверсивный коммутатор / Радченко М.В., Радченко Т.Б., Стальная М.И., Киселев В.С., Лядова Т.А. Заявитель и патентообладатель Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова. – № 2007106343/09; заявл. 19.02.07; опубл. 20.01.09, Бюл. № 2.
8. *Patil S., Aspalil M.* Operating Three Phase Induction Motor Connected to Single Phase Supply // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. 2012. Vol. 2. Pp. 523–528.
9. *Kadam A., Shaikh A.* Simulation And Implementation Of Three Phase Induction Motor On Single Phase By Using PWM Techniques // International Journal of Engineering Research and General Science. 2014. Vol. 2. Pp. 93–104.
10. *Huang Y., Zhong Y., Zheng Z., Wu H.* Analysis of Two-Phase Operation Mechanism of Three-Phase Motor Based on Capacitor Phase Shift Method // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vols. 556-562. Pp. 2058–2062.
11. *Sreehitha G., Teja A., Kondenti P., Rao P.* Control of a Three Phase Induction Motor using Single Phase Supply // International Journal of Engineering Trends and Technology. 2012. Vol. 3. Pp. 431–436.
12. *Malyar V., Malyar A.* Mechanical characteristics of three-phase induction motors with single-phase power supply // Electrical Engineering and Electromechanics. 2016. no. 3. Pp. 21–24.
13. *Zuriman A.* A Simple Method For Operating The Three-Phase Induction Motor On Single Phase Supply (For Wye Connection Standard) // International Journal of Engineering Trends and Technology. 2013. Vol. 5. No. 1. Pp. 13–16.
14. *Мощинский Ю.А., Петров А.П.* Математические модели трехфазных асинхронных двигателей, включенных в однофазную сеть // Электричество. – 2000. – № 2. – С. 40–46.
15. *Алиев И.И.* Асинхронные двигатели в трехфазном и однофазном режимах. – М.: Радио Софт, 2004. – 128 с.
16. *Mohanty N., Muthu R.* Microcontroller Based PWM Controlled Four Switch Three Phase Inverter Fed Induction Motor Drive // Serbian Journal of Electrical Engineering. 2010. Vol. 7, No. 2. Pp. 195–204.
17. *Murthy S., Berg G., Singh B., Singh J.* Transient Analysis Of A Three Phase Induction Motor With Single Phase Supply // IEEE Transaction on Energy Conversion. 1983. Vol. 102. Pp. 28–37.
18. *Кравчик А.Э., Шлаф М.М., Афонин В.И.* Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.
19. *Черных И.В.* Моделирование электротехнических устройств в *MatLab*, *SimPowerSystems* и *Simulink*. – М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. – 288 с.
20. А.с. 181495 РФ, МПК H01F 30/00. Преобразователь однофазного напряжения в симметричное трехфазное / Харламов В.В., Москалев Ю.В., Лысенко В.С. Заявитель и патентообладатель Омский государственный университет путей сообщения. – № 2018113567; заявл. 13.04.18; опубл. 17.07.18, Бюл. № 20.

Статья поступила в редакцию 31 июля 2018 г.

IMPROVEMENT OF SCHEMES FOR CONNECTION OF THREE-PHASE ASYNCHRONOUS MOTOR TO A SINGLE PHASE NETWORK

V.V. Kharlamov¹, A.G. Galkin², Y.V. Moskaev¹, V.S. Lysenko¹

¹ Omsk State Transport University
35, Marx av., Omsk, 644046, Russian Federation

² Ural State University of Railway Transport
66, Kolmogorova St., Ekaterinburg, 620034, Russian Federation

Abstract. *In the paper the review of technical devices for connection of a three-phase winding of the stator of the asynchronous motor to a single-phase network is carried out, their main advantages and shortcomings are considered. A theorem on obtaining a three-phase symmetric stress system using two single-phase sources of electromotive force is presented and proved. On the basis of the proved theorem the electric scheme for connection of a three-phase stator winding of the asynchronous motor to a single-phase network is offered. In the article authors calculate currents, active and reactive power, the power factor of the two single-phase sources of electromotive force and an asynchronous motor when changing the slip in the operating range. The phase resistances of the asynchronous motor were determined using an L-shaped equivalent circuit. In the program package Matlab Simulink was carried out simulation of the induction motor connected by means of the schema under consideration. For the practical implementation of the proposed scheme as one single – phase AC voltage source can be used single-phase network, as the other – a semiconductor converter connected to a single-phase network.*

Keywords: *single-phase network, asynchronous motor, three-phase winding, phase transformation, three-phase symmetrical voltage, proof of the theorem, L-shaped equivalent circuit*

REFERENCES

1. *Hrushchev V. V.* Elektricheskie mikromashiny avtomaticheskikh ustroystv [Electric micromachines of automatic devices]. Leningrad, Energoatomizdat, 1985. 368 p. (In Russian).
2. *Voldek A. I., Popov V. V.* Elektricheskie mashiny. Mashiny peremennogo toka. [Electric machines. AC machines] Saint-Petersburg, Piter, 2010. 352 p. (In Russian).
3. *Petrov A. P.* Issledovanie asinkhronnykh kondensatornykh dvigatelej s tryokhfaznymi obmotkami: Diss. ... cand. tech. nauk. Moscow, 1999. 179 p. (In Russian).
4. *Kharlamov V. V., Moskaev Yu. V., Lysenko V. S.* Improving the efficiency of three-phase asynchronous motors when powered from a single-phase network // Omsk scientific bulletin. 2018. no. 3(159). Pp. 27 – 31. (In Russian).
5. *Nabil A.* Three Phase Induction Motor Operating from Single Phase Supply With An Electronically Controlled Capacitor // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. 2012. Vol. 2. Pp. 523–528.
6. *Taranov M. A., Yundin M. A.* Preobrazovatel' odnofaznogo napryazheniya v trekhfaznoe [The converter from single-phase to three-phase voltage]. Patent RF, no. 2192088, 2002.
7. *Radchenko M. V., Radchenko T. B., Stal'naya M. I., Kiselev V. S., Lyadova T. A.* Odnofazno-trekhfaznyj reversivnyj kommutator [Single-phase three-phase reversible commutator]. Patent RF, no. 2344540, 2009.
8. *Patil S., Aspalli M.* Operating Three Phase Induction Motor Connected to Single Phase Supply // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. 2012. Vol. 2. Pp. 523–528.

Victor V. Kharlamov (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.

Aleksander G. Galkin (Dr. Sci. (Techn.)), Professor.

Yuriy V. Moskaev (Ph.D. (Techn.)), Associate Professor.

Victor S. Lysenko, Postgraduate Student.

9. *Kadam A, Shaikh A.* Simulation And Implementation Of Three Phase Induction Motor On Single Phase By Using PWM Techniques // International Journal of Engineering Research and General Science. 2014. Vol. 2. Pp. 93–104.
10. *Huang Y., Zhong Y., Zheng Z., Wu H.* Analysis of Two-Phase Operation Mechanism of Three-Phase Motor Based on Capacitor Phase Shift Method // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vols. 556-562. Pp. 2058–2062.
11. *Sreehitha G., Teja A., Kondenti P., Rao P.* Control of a Three Phase Induction Motor using Single Phase Supply // International Journal of Engineering Trends and Technology. 2012. Vol. 3. Pp. 431–436.
12. *Malyar V., Malyar A.* Mechanical characteristics of three-phase induction motors with single-phase power supply // Electrical Engineering and Electromechanics. 2016. no. 3. Pp. 21–24.
13. *Zuriman A.* A Simple Method For Operating The Three-Phase Induction Motor On Single Phase Supply (For Wye Connection Standard) // International Journal of Engineering Trends and Technology. 2013. Vol. 5. No. 1. Pp. 13–16.
14. *Moshhinskij Y. A., Petrov A. P.* Mathematical models of three-phase asynchronous motors connected in a single-phase network // Elektrichestvo. 2000. no. 2. Pp. 40-46. (In Russian).
15. *Aliev I. I.* Asinkhronnye dvigateli v trekhfaznom i odnofaznom rezhimakh [Asynchronous motors in three-phase and single-phase modes] Moscow, Radio Soft, 2004. 128 p. (In Russian).
16. *Mohanty N., Muthu R.* Microcontroller Based PWM Controlled Four Switch Three Phase Inverter Fed Induction Motor Drive // Serbian Journal of Electrical Engineering. 2010. Vol. 7, No. 2. Pp. 195–204.
17. *Murthy S., Berg G., Singh B., Singh J.* Transient Analysis Of A Three Phase Induction Motor With Single Phase Supply // IEEE Transaction on Energy Conversion. 1983. Vol. 102. Pp. 28–37.
18. *Kravchik A. E., Shlaf M. M., Afonin V. I.* Asinkhronnye dvigateli serii 4A: Spravochnik [Asynchronous motors series 4A: Reference] Moscow, Energoizdat, 1982. 504 p. (In Russian).
19. *Chernykh I. V.* Modelirovanie ehlektrotekhnicheskikh ustroystv v MatLab, SimPowerSystems i Simulink [Modeling of electrical devices in MatLab, SimPowerSystems and Simulink] Moscow, DMK Press; Saint-Petersburg, Piter, 2008. 288 p. (In Russian).
20. *Kharlamov V.V., Moskalev Y.V., Lysenko V.S.* Preobrazovatel' odnofaznogo napryazheniya v simmetrichnoe trekhfaznoe [The converter from single-phase to symmetrical three-phase voltage]. Patent RF, no. 181495, 2018.