

УДК 621.313.13

А.И. ЛУЖНЕВ
Государственное высшее учебное заведение
«Донецкий национальный технический университет»
lugnev@mail.ru

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ВЕНТИЛЬНЫЙ РЕАКТИВНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ: СХЕМА ПИТАНИЯ

Предложен термин универсальный вентильный реактивный двигатель. Рассмотрена структура и основные особенности универсального вентильного реактивного двигателя. Синтезирована схема питания универсального вентильного реактивного двигателя.

Ключевые слова: универсальный вентильный реактивный двигатель, схема питания, одновременная коммутация фаз, трехфазный мостовой выпрямитель, трехфазный нулевой выпрямитель, механические характеристики.

Возросший интерес к вентильным реактивным двигателям (ВРД) (в зарубежной литературе именуемыми SRM – Switched reluctance Motor [1]) и регулируемым приводам на их основе, проявляемый многими специалистами мира в области электромеханики, объясняется рядом их преимуществ, по сравнению с другими типами регулируемого привода: простота и надежность конструкции, высокая ремонтопригодность, низкие стоимость и эксплуатационные затраты, высокие массогабаритные характеристики, широкий диапазон регулирования частоты вращения, высокий КПД во всем диапазоне регулирования, простота управления [2]. Однако многоцелевое применение вентильных реактивных двигателей сдерживается недостаточной изученностью физических процессов в системе «силовой преобразователь – электромеханический преобразователь энергии – определитель углового положения ротора – микропроцессорное устройство управления». Серийному производству ВРД будет способствовать создание вентильного электропривода, инвариантного к роду питающего напряжения. Такой двигатель должен работать с заданными характеристиками как от источника постоянного тока (аккумуляторной батареи, сети постоянного тока), так и от трехфазной и однофазной сети переменного тока.

Известны универсальные коллекторные двигатели, которые могут работать от источника постоянного и переменного напряжения [3], и универсальные асинхронные двигатели, которые работают от однофазной и трехфазной сети переменного тока [4]. Как показывает анализ, вентильный реактивный двигатель может объединять вышеуказанные свойства. Вентильный реактивный двигатель, который может работать от источника постоянного напряжения, однофазной и трехфазной сети переменного тока, в этом смысле тоже является универсальным.

Цель статьи – синтезировать схему питания универсального вентильного реактивного двигателя, рассмотреть особенности возможных способов питания.

Возможность и особенности работы ВРД от трехфазной сети переменного тока рассмотрены в [5,6]. Для питания обмоток ВРД целесообразно использовать однополярное напряжение, поэтому в общем случае схема питания ВРД, работающего от трехфазной сети переменного тока должна содержать трехфазный выпрямитель, емкость и n-фазный инвертор напряжения. Схема питания четырехфазного ВРД с полумостовым инвертором приведена на рис. 1.

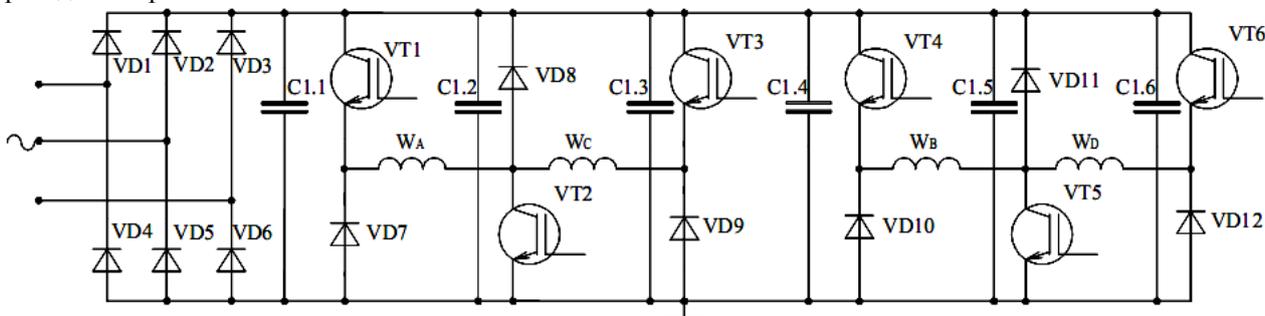


Рисунок 1 – Схема питания четырехфазного ВРД от трехфазной сети

В [7] представлены особенности работы и предложена схема питания ВРД от однофазной сети переменного тока. На рис. 2 приведены механические характеристики ВРД, полученные путем математического моделирования при различном питании. Параметры напряжения питания подбирались таким образом, что бы среднее выпрямленное напряжение было одинаковым для всех условий питания.

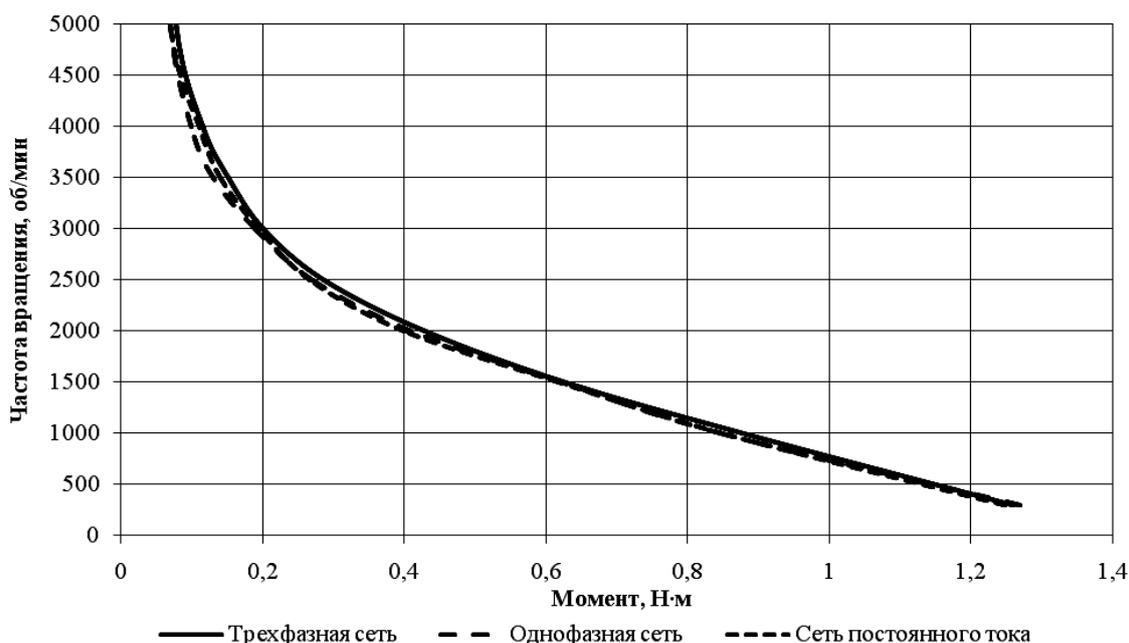


Рисунок 2 – Механические характеристики ВРД

Как видно из полученных результатов, механические характеристики при разном роде питания идентичны, что подтверждает возможность и эффективность работы ВРД как от источника постоянного напряжения, так и от трехфазной и однофазной сети переменного тока.

В предложенной схеме выпрямитель «развязывает» источник питания и силовой полупроводниковый преобразователь, поэтому в универсальном ВРД можно использовать одновременную коммутацию фаз (ОКФ), как способ повышения энергетических характеристик двигателя [8]. При реализации этого способа емкость обеспечивает безопасную траекторию переключения фаз и, чем меньше значение емкости, тем эффективнее используются преимущества ОКФ.

Наиболее распространенными на предприятиях и в быту являются трехфазная сеть переменного тока с напряжением 380 В, однофазная сеть 220 В и сеть постоянного тока 220 В. Универсальный ВРД должен иметь схему питания, которая сможет обеспечить постоянство выходных характеристик двигателя при разном питании. Приведенная схема (рис. 1) позволяет питать ВРД как от трехфазной сети, так и от однофазной сети и от сети постоянного тока, но не обеспечивает неизменности выходных характеристик. При работе от источника постоянного напряжения или однофазной сети переменного тока питание будет подаваться на две фазы выпрямителя (будут работать соответственно либо два, либо четыре диода выпрямителя). Но при этом значение среднего напряжения на выходе выпрямителя будет существенно отличаться в зависимости от рода тока – на уровне 220 В при питании от сети постоянного тока, 300 В при питании от однофазной сети и 500 В при питании от трехфазной сети. Соответственно и выходные параметры ВРД будут изменяться в широких пределах. В зависимости от условий питания емкость схемы будет обеспечивать безопасную траекторию переключения фаз, выполнять функцию сглаживающего фильтра либо осуществлять вольтодобавку при ОКФ [8], что требует изменения величины емкости в широких пределах.

Указанных недостатков лишена схема питания универсального ВРД, приведенная на рисунке 3. Данная схема позволяет изменять свою конфигурацию в зависимости от рода питания и таким образом обеспечивать постоянство выходных характеристик. Тиристоры VS1-VS3 работают либо в режиме диодов, либо постоянно закрыты. Рассмотрим особенности работы схемы при различном питании.

Питание от сети постоянного тока 220 В. Постоянное напряжение подается на выводы «А» и «0». В таком режиме питания целесообразно использовать способ ОКФ, который позволит за счет вольтодобавки увеличить уровень среднего выходного напряжения [8]. Для этого необходима малая величина емкости, поэтому емкость C2 не подключается (зажимы «1» и «2» остаются разомкнутыми). При этом подключенной остается только распределенная емкость C1, которая имеет малое значение. Система управления тиристорами в данном режиме питания обеспечивает их работу в качестве выпрямительных диодов. При такой конфигурации схемы ток, потребляемый двигателем, протекает через два ключа – VD 1 и VD 4 (рис. 4).

Питание от однофазной сети 220 В. Однофазное напряжение подается на выводы «А» и «В». В таком режиме питания необходимо сглаживать пульсации выходного напряжения. Поэтому закорачиваются зажимы «1» и «2» и параллельно конденсаторам C1.1..C1.6 подключается конденсатор C2 с емкостью на несколько порядков больше (рис. 5). Система управления тиристорами в данном режиме питания обеспечивает их работу в качестве выпрямительных диодов.

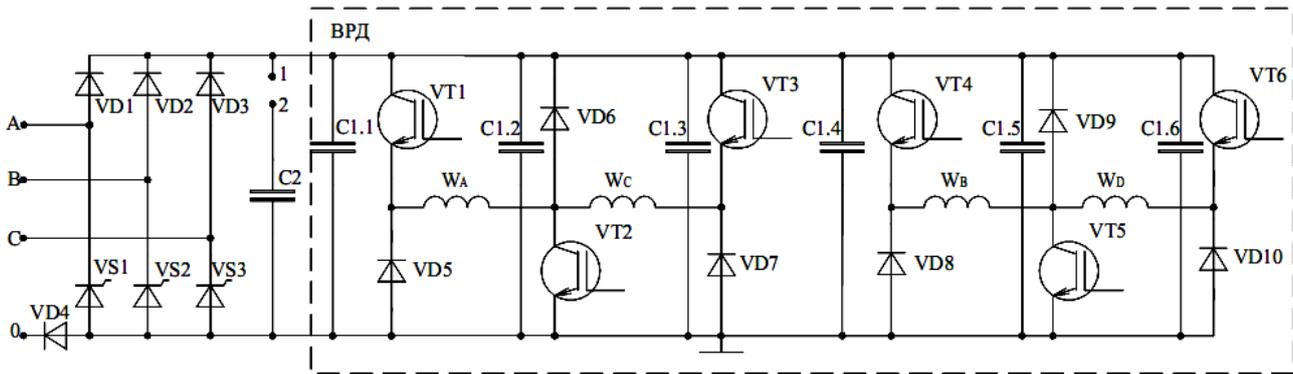


Рисунок 3 – Схема питания универсального ВРД

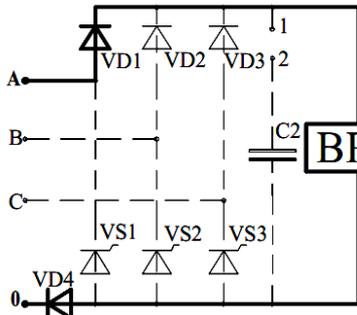


Рисунок 4 – Схема подключения ВРД к сети постоянного тока

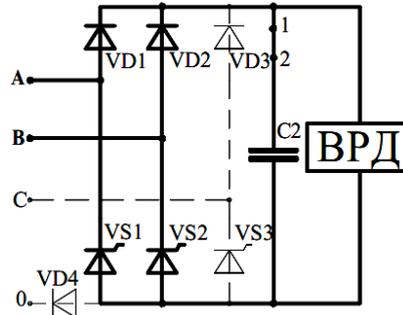


Рисунок 5 – Схема подключения ВРД к однофазной сети

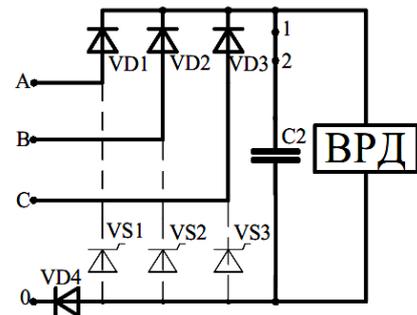


Рисунок 6 – Схема подключения ВРД с трехфазным нулевым выпрямителем

Питание от трехфазной сети 380 В. Использование тиристоров в схеме питания позволяет программно реализовывать схему трехфазного мостового выпрямителя и схему трехфазного нулевого выпрямителя. Соответственно в первом случае среднее напряжение на выходе выпрямителя будет на уровне 500 В, а во втором случае – на уровне 300 В. При этом для снижения пульсаций вращающего момента так же целесообразно фильтровать выпрямленное напряжение, поэтому зажимы «1» и «2» закорачиваются. Если программно обеспечить работу тиристоров в режиме диодов, то получим конфигурацию схемы, с использованием трехфазного мостового выпрямителя, приведенную на рис. 1, только с большим значением емкости. Конфигурация трехфазного нулевого выпрямителя получится, если тиристоры VS1-VS3 находятся в постоянно закрытом состоянии (рис. 6). Диод VD4 обеспечивает безопасность работы в этом режиме.

В табл. 1 приведены выходные параметры универсального ВРД при рассматриваемых видах питания. Данные получены путем математического моделирования двигателя с номинальной мощностью 155 Вт, номинальной частотой вращения 1500 об/мин, рассчитанного на номинальное напряжение питания 300 В. Механические характеристики этого двигателя при различном питании показаны на рис. 7.

Таблица 1 - Выходные параметры универсального ВРД

Режим питания	Среднее значение выпрямленного напряжения, В	Мощность, Вт	Плотность тока, МА/м ²
Постоянное напряжение 220 В	240	150	5,6
Однофазное напряжение 220 В	288	155	5,7
Трехфазное напряжение 380 В (нулевая схема)	291	156	5,78
Трехфазное напряжение 380 В (мостовая схема)	530	192	7,58

Из характеристик (рис. 7) следует, что характеристики универсального ВРД практически идентичны при использовании нулевой схемы выпрямления. Однако использование трехфазного мостового выпрямителя позволяет получить в двигателе большую мощность за счет увеличения токовой нагрузки двигателя. Это возможно, если двигатель имеет достаточный запас по токовой нагрузке.

Использование нулевой схемы выпрямления приводит к усложнению схемы питания и требует большего количества полупроводниковых приборов. Средствами управления и в схеме трехфазного мостового выпрямителя можно получить такую же механическую характеристику, однако это приведет к уменьшению КПД и росту пульсаций момента двигателя.

Нулевую схему выпрямления можно рекомендовать для ВРД малой мощности, при этом создаваемая ею постоянная составляющая тока сети, ввиду малости, не оказывает влияния на работу трансформатора и других потребителей.

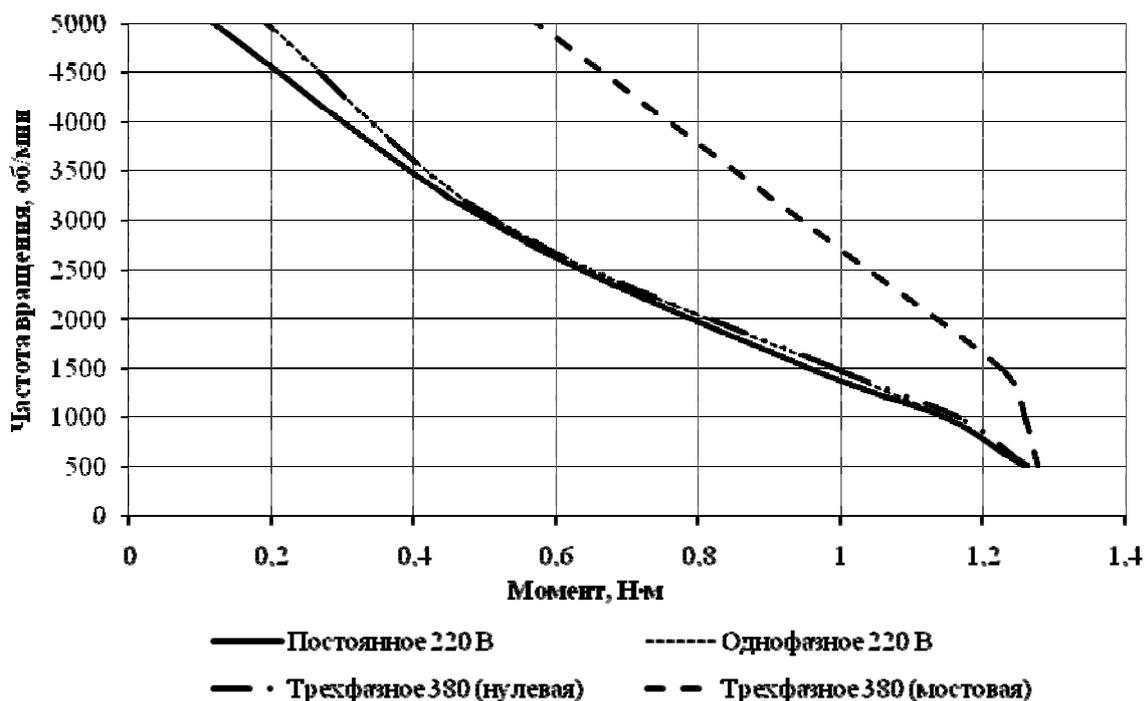


Рисунок 7 – Механические характеристики универсального ВРД

Выводы. Предложенная схема питания универсального ВРД обеспечивает неизменность выходных характеристик двигателя при различном роде питания. Для маломощных двигателей целесообразно использовать схему питания с нулевым трехфазным выпрямителем. Универсальный ВРД средней мощности следует рассчитывать на трехфазное напряжение 380 В и напряжение постоянного тока 440 В. Определение параметров схем и исследование характеристик двигателя в различных режимах питания является предметом дальнейших исследований универсального ВРД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Miller T.J.E. Switched Reluctance Motors and Their Control // T.J.E. Miller // Oxford: Magna Physics Publishing and Clarendon Press, 1993. – 205 p.
2. Бычков М.Г. Вентильно-индукторный электропривод: современное состояние и перспективы развития / М.Г. Бычков // Рынок Электротехники. – 2007. - № 2.
3. Копылов И.П. Электрические машины: учеб. для вузов / И.П. Копылов; перераб. - [2-е изд.]. – М.: Высш. шк., Логос, 2000. – 607 с.
4. Алексеев О.В. Электротехнические устройства: учеб. для вузов // О.В. Алексеев, В.Е. Китаев ; под общ. ред. А.Я. Шихина. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 336 с.
5. Васильев Л.А. Особенности работы вентильного реактивного двигателя от сети переменного тока / Л.А. Васильев, Ю.В. Мнускин, А.И. Лужнев // Праці Луганського відділення Міжнародної Академії Інформатизації. Науковий журнал. – 2009. - ч. I, №2 (19). – С. 24-28.
6. Зинченко Е.Е. Математическая модель вентильного индукторно - реактивного двигателя питающегося от выпрямителя / Е.Е. Зинченко // Технічна електродинаміка. – 2009. - №4. – С. 23-28.
7. Васильев Л.А. Вентильный реактивный двигатель при питании от однофазной сети переменного тока / Л.А. Васильев, Ю.В. Мнускин, А.И. Лужнев // Праці Луганського відділення Міжнародної Академії Інформатизації. Науковий журнал. - 2011. - №1 (23). — С. 14-18.
8. Васильев Л.А. Одновременная коммутация фаз и ее влияние на выходные характеристики ВРД / Л.А. Васильев, Ю.В. Мнускин, А.И. Лужнев // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Електротехніка і енергетика». - 2009. - випуск 9 (158). –С. 43-47.

REFERENCES

1. Miller T.J.E. Switched Reluctance Motors and Their Control / T.J.E. Miller // Oxford: Magna Physics Publishing and Clarendon Press, 1993. – 205 p.
2. Bychkov M.G. Switched reluctance drive: modern state and prospects of development. // M.G. Bychkov. «Rynok elektrotehniki», № 2, 2007.

3. Kopylov I.P. Electric machinery: Tutorial // I.P. Kopylov, 2-e izd., pererab. – M.: Vyssh.shk., Logos, 2000. – 607 s.
4. Alekseev O.V. Electrotechnical apparatus // O.V. Alekseev, V.E. Kitaev ; pod obshh. red. A.Ja. Shihina . – M. : Jenergoatomizdat, 1981g. – 336 s
5. Vasil'ev L.A. Characteristics of switched reluctance motor supplied from alternating current network // L.A. Vasil'ev, Ju.V. Mnuskin, A.I. Luzhnev // Praci Lugans'kogo viddilennja Mizhnarodnoї Akademii Informatizacii. Naukovij zhurnal. №2 (19) 2009 chastina I, s 24-28.
6. Zinchenko E.E. Mathematical model of switched reluctance motor with feeding from rectifier // E.E. Zinchenko // Tehnichna elektrodinamika. – 2009.- №4. – S.23-28.
7. Vasil'ev L.A. Switched reluctance motor with feeding from single-phase alternating current network // L.A. Vasil'ev, Ju.V. Mnuskin, A.I. Luzhnev // Praci Lugans'kogo viddilennja Mizhnarodnoї Akademii Informatizacii. Naukovij zhurnal. №1 (23) – Lugans'k, 2011. – 155 s. s 14-18.
8. Vasil'ev L.A. Simultaneous phases commutation and its influence on output characteristics of switched reluctance motor // L.A. Vasil'ev, Ju.V. Mnuskin, A.I. Luzhnev - Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tehnicnogo universitetu. Serija «Elektrotehnika i energetika», випуск 9 (158). – Donec'k, 2009. s. 43-47

Надійшла до редакції 26.03.2013

Рецензент: О.П. Ковальов

А.І. ЛУЖНСВ

Державний вищий навчальний заклад «Донецький національний технічний університет»

Універсальний вентильний реактивний двигун: схема живлення. Запропонований термін універсальний вентильний реактивний двигун. Розглянута структура і основні особливості універсального вентильного реактивного двигуна. Синтезована схема живлення універсального вентильного реактивного двигуна.

Ключові слова: універсальний вентильний реактивний двигун, схема живлення, одночасна комутація фаз, трифазний мостовий випрямляч, трифазний нульовий випрямляч, механічні характеристики.

A. LUZHNEV

State Institution of Higher Education “Donetsk National Technical University”

Universal Switched Reluctance Motor: Power Circuit. This paper presents structure and main features of switched reluctance motor which can operate from direct current network, single-phase and three-phase alternating current network and in this regard can be considered as universal. A definition of the term “universal switched reluctance motor” is given. Analysis of power circuits of switched reluctance motors is given. Main drawbacks of power supply scheme are shown. Possible schemes of power supply of universal switched reluctance motor with feeding from direct current network 220 V, single-phase alternating current network 220 V and three-phase network 380 V are shown. Analysis of configurations of power circuits and operation modes are given for different types of power supply. Researches of synthesized power circuits are carried out on the basis of mathematical modeling. Output characteristics of motor (speed-torque and mechanical power) under operation with proposed power circuits are given. Calculations provided of voltage mean value on output of the rectifier. Recommendations provided for application of analyzed circuits taking into account their peculiarities. A power circuit is proposed which can provide invariability of output characteristics of motor supplied from different voltage sources.

Key words: universal switched reluctance motor, power circuit, simultaneous phases commutation, three-phase bridge rectifier, three-phase neutral rectifier, speed-torque characteristics.