

УДК 621.313.13

Л.А. Васильев, Ю.В. Мнускин, А.И. Лужнев

## УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ВЕНТИЛЬНЫЙ РЕАКТИВНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНЫМ КОММУТАЦИОННЫМ БУФЕРОМ

*У статті запропонована схема живлення універсального вентильного реактивного двигуна з послідовним комутаційним буфером. Показано, що використання послідовного комутаційного буфера покращує вихідні характеристики універсальних вентильних реактивних двигунів при живленні від мережі однофазного змінного струму, а також усуває необхідність переключення ємностей в залежності від режиму живлення двигуна.*

*В статье предложена схема питания универсального вентильного реактивного двигателя с последовательным коммутационным буфером. Показано, что использование последовательного коммутационного буфера улучшает выходные характеристики универсальных вентильных реактивных двигателей при питании от сети однофазного переменного тока, а так же устраняет необходимость переключения емкостей в зависимости от режима питания двигателя.*

В регулируемых электроприводах вентильные реактивные двигатели (ВРД) способны составить конкуренцию частотно-регулируемым асинхронным двигателям, благодаря таким преимуществам, как надежность и простота конструкции, широкий диапазон регулирования частоты вращения высокая ремонтно-пригодность, низкие эксплуатационные затраты, высокие массогабаритные характеристики, высокий КПД во всем диапазоне регулирования [1]. С целью расширения их области применения в [2] был предложен ВРД, который может работать, как от источника постоянного напряжения, так и от трехфазной и однофазной сети переменного тока.

Известные универсальные коллекторные двигатели работают от источника постоянного и переменного напряжения [3]. Универсальные асинхронные двигатели работают от однофазной и трехфазной сети переменного тока [4]. Вентильный реактивный двигатель, который может работать от источника постоянного напряжения, однофазной и трехфазной сети, нами предложено назвать универсальным вентильным реактивным двигателем (УВРД).

Схема питания УВРД (рис. 1) содержит трехфазный выпрямитель, который благодаря наличию управляемых ключей способен изменять свою конфигурацию в зависимости от рода питания, распределенную емкость  $C1.1 - C1.6$  и емкость  $C2$ , которая выполняет роль фильтра выходного напряжения выпрямителя, и подключается при питании от однофазной и трехфазной четырехпроводной сети переменного тока. Ее значение выбирается на порядок выше значения емкости  $C1$ .

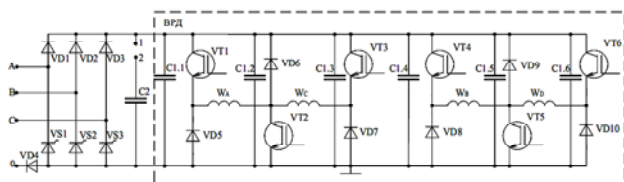


Рис. 1. Схема питания УВРД

Наличие в схеме выпрямителя, который "развязывает" источник питания и силовой полупроводниковый преобразователь, позволяет реализовать в УВРД способ одновременной коммутации фаз (ОКФ) для повышения энергетических характеристик двигателя [5]. Сущность данного способа заключается в непосред-

ственной передаче электромагнитной энергии от предыдущей рабочей фазы к последующей, минуя накопительный буфер энергии и источник питания УВРД. При этом происходит форсированное переключение участвующих в передаче энергии фаз, вследствие чего улучшается коэффициент заполнения токовой диаграммы и увеличивается момент двигателя.

Поскольку в начальный момент времени при одновременной коммутации в выключаемой фазе протекает значительный по величине ток, а во включаемой фазе ток равен нулю, то необходимо принять меры по обеспечению безопасной траектории переключения фаз, которую можно обеспечить подключением емкости  $C1.1 - C1.6$  которую назовем параллельным коммутационным буфером. Для использования в полной мере преимуществ ОКФ емкость параллельного коммутационного буфера должна иметь малое значение.

В схеме рис. 1 возникает противоречие, связанное с тем, что для большего эффекта использования одновременной коммутации фаз необходима малая величина емкости, а при питании от однофазной сети переменного тока необходима хорошая фильтрация выходного напряжения выпрямителя, а, следовательно, и большее значение емкости. Это противоречие разрешено в схеме рис. 1 путем дополнительного подключения большой емкости  $C2$ , но это не позволяет в полной мере использовать преимущества ОКФ при питании от однофазной сети. К тому же подключение емкости  $C2$  требует размещения дополнительных выводов в барне УВРД и ручной коммутации, что усложняет эксплуатацию двигателя и снижает надежность работы привода.

Дальнейшим развитием рассмотренной схемы является схема питания УВРД с последовательным коммутационным буфером, приведенная на рис. 2.

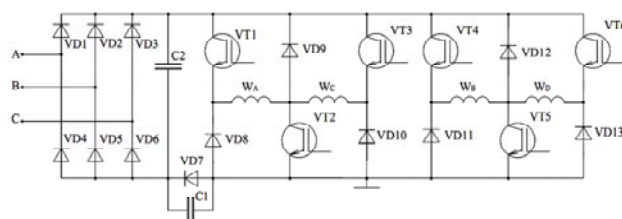


Рис. 2. Схема питания УВРД с последовательным коммутационным буфером

© Л.А. Васильев, Ю.В. Мнускин, А.И. Лужнев

Данная схема обеспечивает работу ВРД как от сети постоянного тока, так и от однофазной и трехфазной сетей переменного тока. Но в ней, в отличие от схемы рис. 1, вместо параллельного коммутационного буфера используется последовательный коммутационный буфер С1. Величина емкости последовательного коммутационного буфера в несколько раз меньше емкости С2, которая подключена постоянно и служит фильтром при питании от однофазной сети переменного тока, и значение которой определяется требуемым сглаживанием пульсаций выпрямленного напряжения. Таким образом, в схеме рис. 2 не возникает противоречия при выборе величины емкостей, так как их функции четко распределены.

Как показано на рис. 3 при одновременной коммутации емкости С1 и С2 оказываются включенными последовательно, результирующее значение емкости становится меньше С1, поэтому преимущества ОКФ используются в полной мере независимо от режима питания.

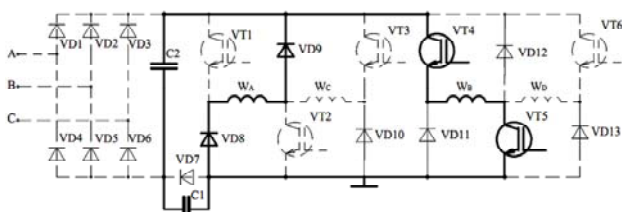


Рис. 3. Конфигурация схемы УВРД при ОКФ

Методом математического моделирования проведен сравнительный анализ работы УВРД с последовательным и параллельным коммутационными буферами.

Моделирование проводилось для двух УВРД: маломощного УВРД 1 (мощность  $P_2 = 155$  Вт, номинальная частота вращения  $n_2 = 1500$  об/мин,  $C1 = 2$  мкФ,  $C2 = 500$  мкФ) и тягового УВРД 2 (мощность  $P_2 = 30$  кВт, номинальная частота вращения  $n_2 = 615$  об/мин,  $C1 = 10$  мкФ,  $C2 = 2000$  мкФ).

На рис. 4 приведены временные зависимости напряжения на емкостях С1 и С2 и напряжения питания фаз УВРД 1 при работе от однофазной сети переменного тока. Как видно из графика, емкость С2 обеспечивает фильтрацию выходного напряжения выпрямителя, а емкость С1 – вольтодобавку при одновременной коммутации фаз.

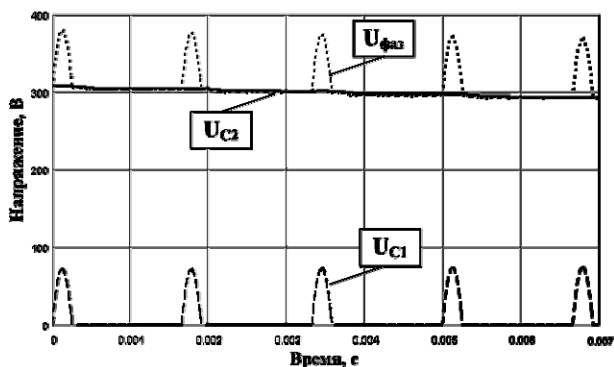


Рис. 4. Графики напряжения на емкостях и напряжения питания фаз

При питании фаз двигателя напряжение емкости С1 складывается с напряжением на выходе выпрямителя, обеспечивая форсированное переключение фаз.

Для сравнения параметров УВРД с использованием последовательного или параллельного коммутационного буфера был проведен расчет выходных характеристик двигателей – полезной мощности ( $P_2$ ) и отношения электрических потерь в двигателе к полезной мощности ( $\xi$ ).

Выходные параметры УВРД 1 и УВРД 2 в рассматриваемых схемах рис. 1 и рис. 2 при различных источниках питания для номинальных частот вращения приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Параметры УВРД 1				
Напряжение питания	Схема рис. 1		Схема рис. 2	
	$P_2$ , Вт	$\xi$ , о.е.	$P_2$ , Вт	$\xi$ , о.е.
Постоянное	165	0,27	164	0,27
Однофазное	178	0,30	187	0,32
Трехфазное	208	0,41	209	0,41

Таблица 2

Параметры УВРД 2				
Напряжение питания	Схема рис. 1		Схема рис. 2	
	$P_2$ , кВт	$\xi$ , о.е.	$P_2$ , кВт	$\xi$ , о.е.
Постоянное	21,7	0,05	22	0,05
Однофазное	14,7	0,05	21	0,07
Трехфазное	35	0,07	35	0,08

На рис. 5, 6 приведены механические характеристики УВРД 2 при однофазном и трехфазном питании с использованием в схеме питания последовательного или параллельного коммутационного буфера.

Как видно из результатов расчета для УВРД 1 (табл. 1) использование последовательного коммутационного буфера практически не влияет на выходные характеристики двигателя при питании от источника постоянного напряжения и от трехфазной сети переменного тока, однако увеличивает выходную мощность на 5 % при однофазном питании.

Результаты расчета для УВРД 2 показывают, что использование последовательного коммутационного буфера дает значительное увеличение мощности двигателя при питании от однофазной сети переменного тока (на 42 %) при практически неизменном уровне электрических потерь.

Механические характеристики УВРД 2 (рис. 5) также отражают преимущество использования последовательного коммутационного буфера при однофазном питании – увеличение выходной мощности двигателя во всем диапазоне скоростей вращения.

При питании от сети постоянного тока и от трехфазной сети характеристики УВРД по схемам рис. 1 и рис. 2 идентичны (рис. 6). Но при этом в схеме рис. 2 несколько снижаются пульсации мгновенного момента двигателя за счет лучшей фильтрации напряжения выпрямителя, и емкость последовательного

коммутационного буфера работает при меньшем напряжении, чем емкость параллельного, что снижает эксплуатационные требования, предъявляемые к коммутационному буферу.

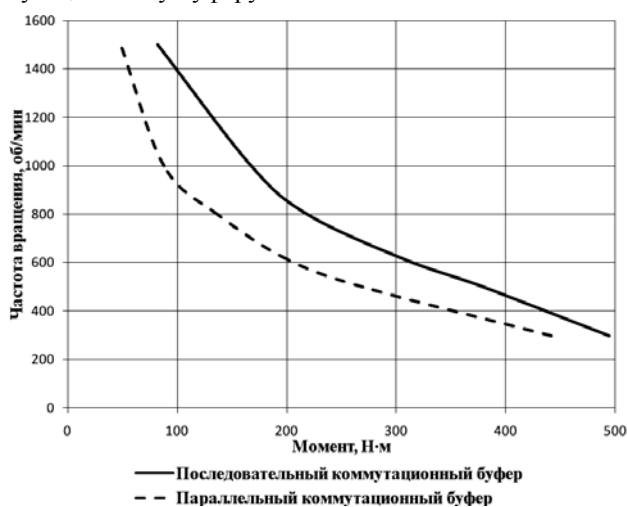


Рис. 5. Механические характеристики УВРД 2 при однофазном питании

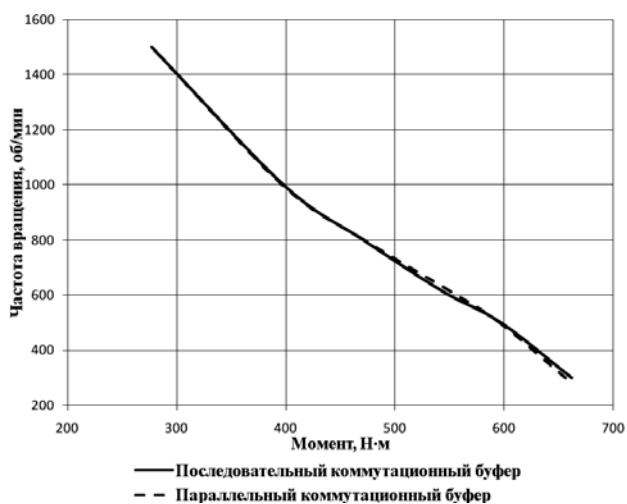


Рис. 6. Механические характеристики УВРД 2 при трехфазном питании

Полученные результаты свидетельствуют об эффективности работы универсального вентильного реактивного двигателя с последовательным коммутационным буфером.

Определение параметров схемы питания, способов и критериев управления УВРД, исследование характеристик двигателя в различных режимах питания и работы является предметом дальнейших исследований универсального вентильного реактивного двигателя.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бычков М.Г. Вентильно-индукторный электропривод: современное состояние и перспективы развития // Рынок электротехники. – 2007. – №2.
2. Лужнев А.И. Универсальный вентильный реактивный двигатель. Схема питания // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: "Електротехніка і енергетика". – 2013. – №1(14). – С. 178-182.
3. Копылов И.П. Электрические машины: Учебник для вузов. 2-е изд., перераб. – М.: Высшая школа, Логос, 2000. – 607 с.
4. Алексеев О.В., Китаев В.Е., под общ. ред. Шихина А.А. Электротехнические устройства: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 1981. – 336 с.
5. Васильев Л.А., Мнускин Ю.В., Лужнев А.И. Одновременная коммутация фаз и ее влияние на выходные характеристики ВРД // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія "Електротехніка і енергетика". – 2009. – №9(158). – С. 43-47.

**REFERENCES:** 1. Bychkov M.G. Ventil'no-induktomyj elektroprivod: sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitija. *Rynok elektrotehniki*, 2007, no.2. 2. Luzhnev A.I. Universal'nyj ventil'nyj reaktivnyj dvigatel'. Shema pitaniya. *Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tehničnogo universitetu*. Serija: "Elektrotehnika i energetika", 2013, no.1(14), pp. 178-182. 3. Kopylov I.P. *Elektricheskie mashiny: Uchebnik dlja vuzov. 2-e izd., pererab.* Moscow, Vysshaja shkola Publ., Logos Publ., 2000. 607 p. 4. Alekseev O.V., Kitaev V.E., pod obshh. red. Shihina A.Ya. *Elektrotehnicheskie ustrojstva: Uchebnik dlja vuzov*. Moscow, Energoatomizdat, 1981. 336 p. 5. Vasil'ev L.A., Mnuskin Ju.V., Luzhnev A.I. Odnovremennaja kommutacija faz i ee vlijanie na vyhodnye harakteristiki VRD. *Naukovi praci Donec'kogo nacional'nogo tehničnogo universitetu*. Serija "Elektrotehnika i energetika", 2009, no.9(158), pp. 43-47.

Надійшла (received) 22.10.2013

Васильев Леонид Александрович<sup>1</sup>, к.т.н., доц.,  
 Мнускин Юрий Витальевич<sup>1</sup>, к.т.н., доц.,  
 Лужнев Антон Игоревич<sup>1</sup>, аспирант,  
<sup>1</sup>Донецкий национальный технический университет,  
 83000, Донецк, ул. Артема, 58,  
 тел/phone +38 062 3010306, e-mail: lealvas@mail.ru,  
 yurimn@gorizont.dn.ua, lugnev@mail.ru

L.A. Vasil'ev<sup>1</sup>, Yu.V. Mnuskin<sup>1</sup>, A.I. Luzhnev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Donetsk National Technical University  
 58, Artyom Street, Donetsk, 83001, Ukraine

#### A multipurpose switched reluctance motor with a series commutation buffer.

In this paper, a power-supply circuit for a multipurpose switched reluctance motor with a series commutation buffer is presented. It is shown that a series buffer improves output characteristics of multipurpose switched reluctance motors under supply from a single-phase circuit and also lifts necessity of switching capacitors according to the motor power supply modes.

**Key words** – multipurpose switched reluctance motor, power circuit, simultaneous phases commutation, three-phase bridge rectifier, speed-torque characteristics.