

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

УДК 621.313.3

Мещеряков В. Н., Байков Д.В.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ МАТРИЧНОГО ТИПА ПРИ РАБОТЕ
НА АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Работа посвящена исследованию асинхронного электропривода на базе матричного преобразователя частоты, представляющего собой комбинацию виртуального активного выпрямителя и виртуального автономного инвертора напряжения с непосредственным управлением по методу пространственно-векторной модуляции. Исследования проводились методом математического моделирования в программе Matlab/Simulink. Показаны результаты моделирования выходного напряжения и тока матричного преобразователя частоты при различных выходных частотах, произведен гармонический анализ выходного напряжения преобразователя.

Ключевые слова: матричный преобразователь частоты, асинхронный двигатель, автономный инвертор напряжения, активный выпрямитель, пространственно-векторная модуляция.

ВВЕДЕНИЕ

Постоянное стремление к повышению энергетической эффективности, включающей в себя обеспечение синусоидальности входных токов, близкий к единице коэффициент мощности, а также возможность сброса электрической энергии в режиме рекуперативного торможения в промышленную сеть – это один из основных современных путей развития электропривода переменного тока.

В настоящее время на международном рынке преобразовательной техники наиболее распространенными и востребованными являются двухзвенные преобразователи частоты (ДПЧ). Большая часть таких преобразователей выполняется на основе автономных инверторов напряжения (АИН), реже инверторов тока (АИТ). АИН обычно связывают с промышленной сетью с помощью диодного моста, а для обеспечения тормозных режимов работы асинхронного двигателя в звене постоянного тока устанавливают тормозной резистор или дополнительный тиристорный мост, подключенный между звеном постоянного тока и промышленной сетью. Данные технические решения хороши для определенных условий работы, но обладают значимыми недостатками: потребляют значительную реактивную мощность и характеризуются высоким коэффициентом гармоник входного тока. Устранить данные проблемы можно заменив в топологии преобразователя диодный мост на активный выпрямитель (АВ). Однако это не позволит решить еще одну насущную проблему – наличие накопителя в звене постоянного тока (конденсатора в АИН или дросселя в АИТ), существенно влияющего на массогабаритные показатели преобразователя и влекущего за собой дополнительные проблемы, связанные с ограничением эксплуатационных условий работы электропривода и периодической замены накопителя. Данные аспекты не позволяют достичь максимальных значений удельной мощности и уменьшить размеры преобразователя, тем самым расширив сферу применения частотных преобразователей в промышленности. Поэтому по-прежнему актуальными остаются вопросы повышения качества потребляемой энергии, энергетической эффективности и надежности электропривода.

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Наиболее перспективным направлением развития рекуперативного электропривода переменного тока видится сравнительно новая разновидность непосредственных преобразователей частоты – матричный преобразователь частоты (МПЧ) [1-3], не содержащий в своем составе ненадежных элементов и характеризующийся более высоким качеством потребляемой энергии и малыми массогабаритными показателями.

Только сейчас первые опытные образцы МПЧ выходят на мировой рынок силовой преобразовательной техники, характеризуясь высокими энергетическими показателями и не менее высокой ценой, что по-прежнему заставляет их оставаться объектом научно-технических изысканий [4]. Тем не менее существующие топологии силовой части МПЧ позволяют снизить размеры входного фильтра или полностью исключить его из конструкции преобразователя, а отсутствие звена постоянного тока влечет к существенному снижению массогабаритных показателей и повышению надежности всего электропривода в целом, что делает этот тип преобразователей привлекательным объектом для исследований. Особое внимание исследователей привлекает разработка энергосберегающего электропривода на базе асинхронного двигателя (АД), управляемого МПЧ, о чем свидетельствует растущее число научных публикаций, подтверждающих преимущества МПЧ по сравнению с традиционными ДПЧ. Выделяются следующие достоинства МПЧ: двунаправленный обмен энергией между питающей сетью и двигателем без дополнительных устройств; высокие энергетические и динамические характеристики; отсутствие в силовой части дорогостоящих электролитических конденсаторов большой емкости, существенно ухудшающих массогабаритные показатели преобразователя [5, 6].

При проектировании асинхронного электропривода на базе преобразователя частоты матричного типа наиболее важным является выбор способа управления силовой частью и расчет входного фильтра, обеспечивающего заданный коэффициент мощности при минимальных размерах преобразователя.

В настоящее время разработано несколько алгоритмов управления силовой частью МПЧ, условно их можно разделить на алгоритмы скалярной и простран-

ственно-векторной модуляции. К алгоритмам скалярной модуляции относятся базовый метод управления [7-8], его развитие, известный как оптимизированный алгоритм Вентарини [9] и алгоритм канадского ученого Жиль Роя [10]. Отличие между ними заключено лишь в том, что вычисленные по оптимизированному алгоритму коэффициенты модуляции зависят от коэффициента передачи напряжения, а в алгоритме канадского ученого они постоянны и равны своему максимальному значению.

Общим недостатком перечисленных алгоритмов является недостаточно высокое значение выходного напряжения. Так, базовый метод управления и алгоритм Роя способны обеспечить максимальный коэффициент передачи, равный 0,5, а оптимизированный алгоритм Вентарини и пространственно-векторная модуляция – не более 0,866. Это значит, что из сети 220/380 В МПЧ способен сформировать выходное напряжение не более 190/330 В, что несомненно вносит ограничение в сферу применения МПЧ в промышленности и ставит перед учеными задачу по разработке новых и модификации существующих алгоритмов управления преобразователем с целью повышения максимально возможного значения коэффициента передачи без существенного ухудшения спектра выходного напряжения.

В работах [9,11] МПЧ был представлен в виде эквивалентной схемы замещения, представленной на рис. 1. Этот факт и развитие современной микропроцессорной техники дали возможность строить системы управления МПЧ на основе хорошо известных пространственно-векторных алгоритмов управления выпрямительной и инверторной частей ДПЧ.

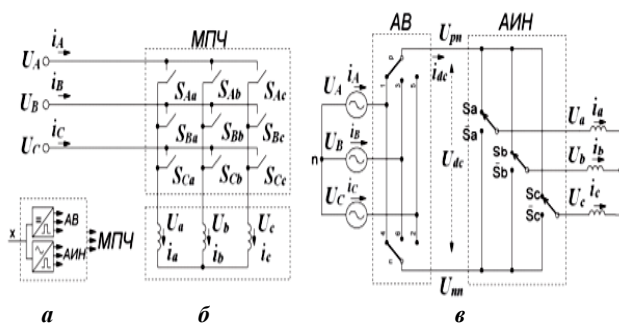


Рис. 1. МПЧ: а – управляющая часть; б – силовая часть; в – схема замещения

Для корректной работы матричного электропривода в режиме пространственно-векторной модуляции (отсутствие интервалов короткого замыкания фаз сети и разрыва тока нагрузки) необходимо, чтобы в любой момент времени выполнялось следующее условие: из девяти двунаправленных ключей МПЧ одновременно замкнутыми (активными) всегда должны быть три ключа, относящиеся к разным фазам нагрузки [12]. Поэтому существует 27 разрешенных комбинаций открытых ключей, представленных в таблице и разделенных на три группы. Для каждой комбинации линейные напряжения входа и выхода могут быть выражены в виде пространственных векторов.

Группа I соответствует случаю, когда все три выходные фазы каким-либо способом соединены только с двумя входными фазами и содержит 18 комбинаций

активных векторов выходного напряжения \vec{U}_o и активных векторов входного \vec{I}_i , имеющих фиксированное направление

Группа II соответствует случаю, когда все три фазы связаны только с одной из выходных и содержит 3 комбинации нулевых векторов выходного напряжения и входного тока.

Группа III соответствует случаю, когда величина и фаза каждого из векторов являются переменными и содержат 6 комбинаций, в которых каждая выходная фаза связана с различной входной фазой. Эта группа векторов не используется.

Состояние ключей МПЧ

Группа	№	Вектор	Ключи	\vec{U}_o	\vec{I}_i
I	1	+1	S _{Aa,Bb,Bc}	(2/3)U _{AB}	2/√3i _a
	2	-1	S _{Ba,Ab,Ac}	-(2/3)U _{AB}	-2/√3i _a
	3	+2	S _{Ba,Cb,Cc}	(2/3)U _{BC}	2/√3i _a
	4	-2	S _{Ca,Bb,Bc}	-(2/3)U _{BC}	-2/√3i _a
	5	+3	S _{Ca,Ab,Ac}	(2/3)U _{CA}	2/√3i _a
	6	-3	S _{Aa,Cb,Cc}	-(2/3)U _{CA}	-2/√3i _a
	7	+4	S _{Ba,Ab,Bc}	(2/3)U _{AB}	2/√3i _b
	8	-4	S _{Aa,Bb,Ac}	-(2/3)U _{AB}	-2/√3i _b
	9	+5	S _{Ca,Bb,Cc}	(2/3)U _{BC}	2/√3i _b
	10	-5	S _{Ba,Cb,Bc}	-(2/3)U _{BC}	-2/√3i _b
	11	+6	S _{Aa,Cb,Ac}	(2/3)U _{CA}	2/√3i _b
	12	-6	S _{Ca,Ab,Cc}	-(2/3)U _{CA}	-2/√3i _b
	13	+7	S _{Ba,Bb,Ac}	(2/3)U _{AB}	2/√3i _c
	14	-7	S _{Aa,Ab,Bc}	-(2/3)U _{AB}	-2/√3i _c
	15	+8	S _{Ca,Cb,Bc}	(2/3)U _{BC}	2/√3i _c
	16	-8	S _{Ba,Ab,Cc}	-(2/3)U _{BC}	-2/√3i _c
	17	+9	S _{Aa,Ab,Cc}	(2/3)U _{CA}	2/√3i _c
	18	-9	S _{Ca,Cb,Ac}	-(2/3)U _{CA}	-2/√3i _c
II	19	0	S _{Aa,Ab,Ac}	0	0
	20	0	S _{Ba,Bb,Bc}	0	0
	21	0	S _{Ca,Cb,Cc}	0	0
III	22	-	S _{Aa,Bb,Cc}	u _i	i ₀
	23	-	S _{Aa,Cb,Bc}	-u _i	i ₀
	24	-	S _{Ba,Cb,Ac}	-u _i	i ₀
	25	-	S _{Ba,Ab,Cc}	u _i	i ₀
	26	-	S _{Ca,Ab,Bc}	u _i	i ₀
	27	-	S _{Ca,Bb,Ac}	-u _i	i ₀

Таким образом, пространственно-векторная модуляция МПЧ подразумевает полный контроль над вектором выходного напряжения \vec{U}_o и вектором входного тока \vec{I}_i , используя 18 активных векторов I группы и 3 нулевых вектора II группы [5].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Работа преобразователя частоты матричного типа исследовалась в среде моделирования Matlab/Simulink. Нагрузкой преобразователя служили обмотки трехфазного общепромышленного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором типа АИР90L4 мощностью 2,2 кВт, 1500 об/мин, параметры которого закладывались в имитационную модель. МПЧ был реализован с помощью 9 двунаправленных ключей, выполненных по схеме с общим эмиттером и способных блокировать обратное напряжение и проводить ток в обоих направлениях.

Для обеспечения электромагнитной совместимости с питающей сетью, а также для сглаживания вход-

ных токов и получения жесткой характеристики входа по напряжению был установлен LC фильтр. Так как входной фильтр такого рода потребляет из сети реактивный (емкостной) ток, то емкость фильтра выбиралась из условия обеспечения коэффициента мощности не ниже 0,8 при 10% загрузке, а индуктивность – согласно IEEE Стандарту 519-1992 с целью обеспечения хорошего качества потребляемого входного тока.

Результаты моделирования МПЧ с асинхронным двигателем при частоте модуляции $f_s=5$ кГц и выходных частотах f_o 25, 50 и 100 Гц представлены на рис. 2 - 4 соответственно. На рисунках показаны осциллограммы выходного тока и напряжения МПЧ, а также спектр гармоник выходного напряжения МПЧ при различных выходных частотах.

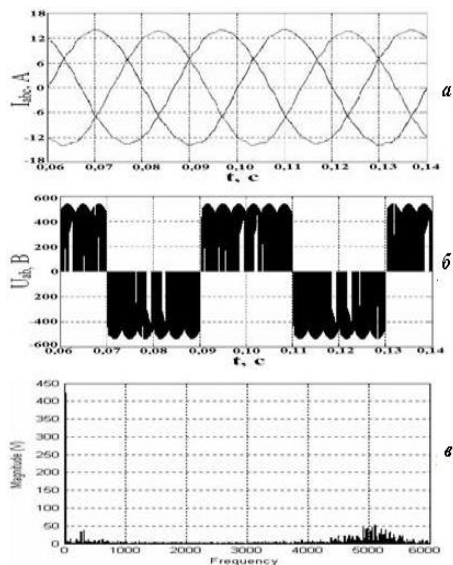


Рис. 2. Результаты моделирования МПЧ с асинхронным двигателем при выходной частоте $f_o=25$ Гц: а – выходной ток МПЧ; б – выходное линейное напряжение МПЧ; в – спектр гармоник выходного напряжения МПЧ

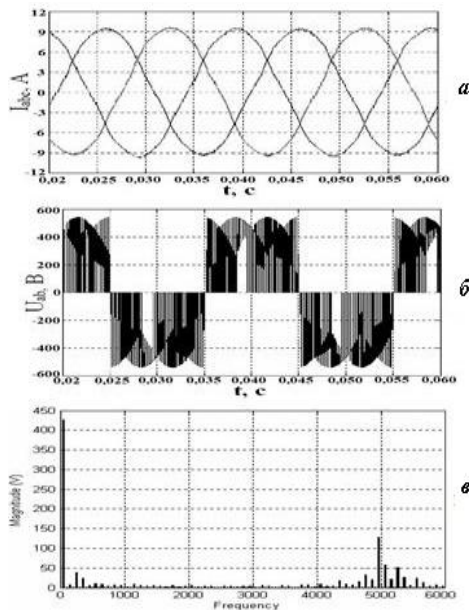


Рис. 3. Результаты моделирования МПЧ с асинхронным двигателем при выходной частоте $f_o=50$ Гц: а – выходной ток МПЧ; б – выходное линейное напряжение МПЧ; в – спектр гармоник выходного напряжения МПЧ

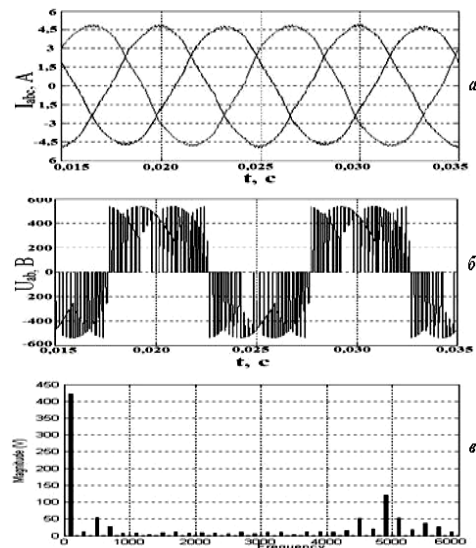


Рис. 4. Результаты моделирования МПЧ с асинхронным двигателем при выходной частоте $f_o=100$ Гц: а – выходной ток МПЧ; б – выходное линейное напряжение МПЧ; в – спектр гармоник выходного напряжения МПЧ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ОБСУЖДЕНИЕ

На основании проведенного исследования было определено:

1. Практическая реализация матричного преобразователя сильно осложнена из-за проблем с безопасной коммутацией ключей и требует либо введения в силовую часть преобразователя датчиков тока для каждого двунаправленного ключа, либо осуществления поэтапной коммутации четырех транзисторов.

2. Применение матричной структуры преобразования электрической энергии в современном электроприводе переменного тока может повысить надежность системы, так как при отказе одной из фаз первичного источника алгоритм управления может с легкостью работать с оставшимися фазами входного напряжения, обеспечивая напряжение более низкого качества, но достаточное для поддержания работоспособности электрического привода.

3. Входной фильтр МПЧ лишь замыкает формируемые преобразователем составляющие входных токов, поэтому имеет небольшие ценовые и массогабаритные показатели.

4. Необходимо произвести оптимизацию и адаптацию алгоритмов управления МПЧ, представляющего собой комбинацию виртуального автономного инвертора напряжения и виртуального активного выпрямителя, с целью удаления в выходном напряжении паразитных гармоник в низкочастотной части спектра.

5. Качество выходного напряжения матричного преобразователя частоты сильно ухудшается в случае несимметричной работы сети, что наиболее заметно при максимальных выходных частотах.

6. При данном алгоритме управления МПЧ выходное напряжение вне зависимости от выходной частоты не имеет крупных гармоник до момента достижения частоты коммутации ключей.

7. Стратегия пространственно-векторной модуляции способна обеспечить коэффициент передачи напряжения, равный 0,866, что достигается при $\cos\varphi_i=1$.

Это означает, что для заданного угла входного сдвига фаз φ_i максимальное выходное напряжение снижается пропорционально $\cos\varphi_i$. Несмотря на это, качество работы асинхронного электропривода на базе МПЧ снижается в меньшей степени, т. к. режим малой мощности может быть как при малой нагрузке на валу, так и при низких скоростях вращения АД, а при малой нагрузке будет целесообразным обеспечить в МПЧ режим потребления реактивной мощности с целью компенсации первой гармоники емкостного тока входного фильтра, что приведет к повышению коэффициента.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант №15-38-50155 «Исследование и математический анализ алгоритма управления преобразователем частоты матричного типа для электроприводов переменного тока».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергосберегающий промышленный регулируемый асинхронный электропривод нового поколения на основе двухзвенно-непосредственных преобразователей частоты / Р.Т. Шрейнер, В.К. Кривовяз, А.И. Калыгин и др. // Силовая электроника. 2007. №1. С. 42-45.
2. Klumpner C., Wijekoom T., P.Wheeler A new class of hybrid AC/AC direct power converter // IEEE Industry App. Conference. 2005, vol. 4, pp. 2374-2381.
3. Wheeler P., Grant D. Matrix converters a technology review / Practical Matrix Converter // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2002, vol, 49, pp. 276.
4. Виноградов А.Б. Новые алгоритмы пространственно-векторного управления матричным преобразователем частоты // Электричество. 2008. №3. С. 41-52.

5. Мещеряков В.Н., Байков Д.В. Математический анализ и моделирования преобразователя частоты матричного типа с непосредственным управлением по методу пространственно-векторной модуляции // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Энергетика. 2015. Т. 15. №1. С. 21-33.
6. Байков Д.В., Карасев А.В. Матричный преобразователь частоты – перспективное решение в сфере экономии энергии и развития электропривода // Труды VIII Международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014: в 2 т. / отв. за вып. И.В. Гуляев. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. С. 492-494.
7. Alesina A., Venturini M. The generalized transformer: a new bi-directional sinusoidal waveform frequency converter with continuous variable adjustable input power factor // IEEE PESC'80. 1980, pp. 242-252.
8. Venturini M. A new sinewave in, sinewave out conversion technique which eliminates reactive elements // POWERCON'80. 1980, pp. E3/1-E3/15.
9. Alesina A., Venturini M. Analysis and Design of Optimum-Amplitude Nine-Switch Direct AC-AC Converters // IEEE Transactions on Power Electronics. January 1989, vol. 4, no.1, pp. 101-112.
10. Asynchronous operation of cycloconverter with improved voltage gain by employing a scalar control algorithm / G. Roy, L. Duguay, S. Manias, G. April // IEEE IAS Conference Record. 1987, pp. 889-898.
11. Alesina A., Venturini M. Intrinsic amplitude limits and optimum design of 9-switches direct PWM ac-ac converters // IEEE PESC'88. 1988, vol. 2, pp. 1284-1291.
12. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина». Иваново, 2008. С. 123.

INFORMATION IN ENGLISH

RESEARCH OF THE MATRIX TYPE FREQUENCY CONVERTER DURING OPERATION WITH THE INDUCTION MOTOR

Meshcheryakov V.N., Baykov D.V.

The research of the induction motor based on matrix type frequency converter which is the combination of the virtual active front end and virtual autonomous voltage inverter with direct control by the method of space vector modulation was discovered. The researches were simulated by the method of mathematical simulation program Matlab/Simulink. The results of simulation the output voltage and current of the matrix type frequency converter at different output frequencies, produced by harmonic analysis of the output voltage of the matrix converter were shown.

Keywords: matrix type frequency converter, induction motor, autonomous voltage inverter, active front end, space vector modulation.

REFERENCES

1. Shreyner R.T., Krivoviyaz V.K., Kalygin A.I. *Energoberegayushchij promyshlennyj reguliruemyy asinhronnyj elektroprivod novogo pokoleniya na osnove dvuhzvenno-neposredstvennyh preobrazovatelej chastoty* [Energy-saving industrial asynchronous electric adjustment of the new generation on the basis of a two-tier direct-frequency converters]. *Silovaya elektronika* [Power electronics], 2007, no.1, pp. 42-45.
2. Klumpner C., Wijekoom T., P.Wheeler A new class of hybrid AC/AC direct power converter // IEEE Industry App. Conference. 2005, vol. 4, pp. 2374-2381.

3. Wheeler P., Grant D. Matrix converters a technology review / Practical Matrix Converter // IEEE Transactions on Industrial Electronics. 2002, vol, 49, pp. 276.
4. Vinogradov A.B. *Novye algoritmy prostranstvenno-vektornogo upravleniya matrichnym preobrazovatelem chastoty [New algorithms for space vector control of a matrix frequency converter]*. *Elektrichestvo* [Electrical Technology], Russia, 2008, no. 3, pp. 41-52 (in Russ.)
5. Meshcheryakov V.N., Baykov D.V. *Matematicheskij analiz i modelirovaniya preobrazovatelya chastoty matrichnogo tipa s neposredstvennym upravleniem po metodu prostranstvenno-vektornoy modulyatsii* [Mathematical Analysis and Simulation of Space Vector Modulated Direct Controlled Matrix Converter]. *Vestnik yuzhno-ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: energetika* [Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering], 2015, vol. 15, no. 1, pp. 21-33.
6. Baykov D.V., Karasev A.V. *Matrichnyy preobrazovatel' chastoty – perspektivnoe reshenie v sfere ekonomii energii i razvitiya elektroprivoda* [Matrix frequency converter – perspective solution in the field of energy-saving and electric drive development]. *Tруды VIII Mezhduнародной (XIX Vserossiyskoy) konferentsii po avtomatizirovannomu elektroprivodu AEP-2014* [Proc. of the VIII International (XIX All-Russian) Conference on automated electric drive AEP 2014]. Saransk, 2014, pp. 492-494.

7. Alesina A., Venturini M. The generalized transformer: a new bi-directional sinusoidal waveform frequency converter with continuous variable adjustable input power factor // IEEE PESC'80. 1980, pp. 242-252.

8. Venturini M. A new sinewave in, sinewave out conversion technique which eliminates reactive elements // POWERCON'80. 1980, pp. E3/1-E3/15.

9. Alesina A., Venturini M. Analysis and Design of Optimum-Amplitude Nine-Switch Direct AC-AC Converters // IEEE Transactions on Power Electronics. January 1989, vol. 4, no.1, pp. 101-112.

10. Asynchronous operation of cycloconverter with improved voltage gain by employing a scalar control algorithm / G. Roy, L. Duguay, S. Manias, G. April // IEEE IAS Conference Record. 1987, pp. 889-898.

11. Alesina A., Venturini M. Intrinsic amplitude limits and optimum design of 9-switches direct PWM ac-ac converters // IEEE PESC'88. 1988, vol. 2, pp. 1284-1291.

12. Vinogradov A.B. *Vektornoe upravlenie elektroprivodami peremennogo toka* [Vector Control of AC electric drives]. GOU VPO "Ivanovskiy gosudarstvennyy energeticheskiy universitet imeni V. I. Lenina" [Ivanovo Power Engineering Institute Publ.]. 2008, 298 p.

УДК621.314.64

Николаев А.А., Денисевич А.С., Ложкин И.А., Тухватуллин М.М.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЗАВОДА ММК METALURJI НА РАБОТУ ГЛАВНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

В статье рассмотрен способ повышения надежности работы главных электроприводов стана горячей прокатки «1750» ЗАО «ММК Metalurji» (г. Искендерун), Турция за счет использования резервов реактивной мощности статического тиристорного компенсатора, установленного на электрической подстанции завода. Разработана математическая модель преобразователя частоты с многоуровневым активным выпрямителем. На модели проведены исследования переходных процессов токов и напряжений при возникновении провалов напряжения в сети 34,5 кВ. Определены причины отключения преобразователей частоты и доказана эффективность способов демпфирования провалов напряжения с использованием внутривзаводского статического тиристорного компенсатора.

Ключевые слова: провал напряжения, преобразователь частоты, активный выпрямитель, главный привод, статический тиристорный компенсатор.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время главные электроприводы прокатных станов выполняются на базе высоковольтных синхронных двигателей и преобразователей частоты (ПЧ) с активными выпрямителями (АВ) и автономными инверторами напряжения (АИН). Силовая схема АВ и АИН выполнена на базе полностью управляемых полупроводниковых вентилях (IGCT тиристоры или IGBT транзисторы). Опыт эксплуатации показывает, что системы управления этих ПЧ не адаптированы к несимметричным провалам напряжения [1]. Кратковременные провалы напряжения, которые характеризуются длительностью 100- 200 мс и глубиной 10-40% , очень часто приводят к отключению электроприводов и нарушению технологического процесса, сопровождающегося значительным экономическим ущербом. Аналогичная проблема существует на металлургическом заводе ЗАО «ММК Metalurji» (г. Искендерун, Турция), где функционирует стан горячей прокатки «1750», в состав которого входят группа черновых клетей (2 клетки с высоковольтными синхронными двигателями 6600 и 7800 кВт) и группа чистовых клетей (4 клетки с двигателями 9500 и 8500 кВт). Силовая схема ПЧ выполнена на базе многоуровневых АВ и АИН.

На данном заводе существует проблема возникновения провалов напряжения в питающей линии 380 кВ. Данные провалы трансформируются сетевыми трансформаторами 380/34,5 кВ во внутривзаводскую сеть и вызывают отключение ПЧ. В статье рассмотрен способ повышения надежности работы электроприводов стана горячей прокатки (СГП) за счет объединения секции 34,5 кВ, питающей

электросталеплавильный комплекс, включающий в себя сверхмощную дуговую сталеплавильную печь ДСП-250 (300 МВА), установку ковш-печь (УКП), статический тиристорный компенсатор СТК 330 МВАр, с другой секцией 34,5 кВ, от которой получают питание главные электроприводы СГП.

ОПИСАНИЕ ПРОБЛЕМЫ ВЛИЯНИЯ ПРОВАЛОВ НАПРЯЖЕНИЯ НА РАБОТУ ГЛАВНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СТАНА ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ «1750»

Металлургический завод получает питание по одной питающей линии электропередачи 380 кВ от районной подстанции Erzincan (рис. 1). Главная понизительная подстанция завода включает в себя открытое распределительное устройство (ОРУ) 380 кВ и закрытое распределительное устройство (ЗРУ) 34,5 кВ, которые связаны между собой четырьмя силовыми понизительными трансформаторами единичной мощностью 155 МВА. Трансформаторы Т₁ и Т₂ осуществляют подвод питания к четырем секциям ЗРУ-34,5 кВ, к которым подключены электроприемники станов горячей и холодной прокатки, непрерывно-равномерного агрегата, агрегатов горячего цинкования и полимерных покрытий, кислородной станции и др. Трансформаторы Т₃ и Т₄ включены на параллельную работу для питания электросталеплавильного комплекса, включающего самую мощную в мире дуговую сталеплавильную печь ДСП-250 (300 МВА), а также установку ковш-печь (48 МВА). Статический тиристорный компенсатор (СТК) 330 МВАр подключен на одну секцию с дуговой печью и установкой ковш-печь и в нормальном режиме осуществляет компенсацию реактивной мощности электросталеплавильного комплекса, симметрирование и