

МОДИФИЦИРОВАННЫЕ АЛГОРИТМЫ ВЕКТОРНОЙ МОДУЛЯЦИИ ДЛЯ СИНХРОННОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ТРЕХ ИНВЕРТОРОВ

В. И. Олещук

Институт энергетики Академии наук Молдовы

Аннотация. В работе показано, что в преобразовательных системах трансформаторного типа на базе трех инверторов модифицированные алгоритмы синхронной векторной модуляции позволяют обеспечить четвертьволновую симметрию напряжения на инверторных обмотках силового трансформатора при любых (в том числе дробных) соотношениях между частотой коммутации вентилей и выходной частотой. Установлены зоны рационального использования алгоритмов непрерывной и прерывистой модуляции.

Ключевые слова: инвертор напряжения, широтно-импульсная модуляция, многообмоточный силовой трансформатор, управление и регулирование, коэффициент искажения напряжения.

Введение

Регулируемый электропривод на базе преобразователей параметров электрической энергии повышенной мощности является одним из наиболее эффективных средств прямой и значительной экономии электроэнергии в системах с электродвигателями различного назначения.

Параметры и характеристики систем регулируемого электропривода в большой степени зависят от используемых в преобразователях методов, способов и алгоритмов широтно-импульсной модуляции управляющих и выходных сигналов преобразователей. Развитие теории и практики цифровой импульсной модуляции для систем преобразования параметров электрической энергии является поэтому актуальной проблемой в области силовой электроники и автоматизированного электропривода [1-4].

В последнее время повышенное внимание уделяется разработкам в области новых топологий преобразовательных систем, в том числе систем на базе многообмоточных силовых трансформаторов.

Мощные преобразовательные системы трансформаторного типа характеризуются относительно низкими частотами переключения силовых вентилей. Для подобных систем одной из проблем является обеспечение синхронизации и симметрии кривых выходного напряжения. С целью улучшения спектрального состава напряжения на обмотках трансформатора, специализированные алгоритмы модуляции, в том числе рассмотренные в данной работе, могут быть использованы в таких системах.

© Олещук В. И., 2018

1. Преобразовательная система на базе трех инверторов

Модернизированная структура системы регулируемого электропривода, базирующаяся на трех инверторах напряжения и многообмоточном силовом трансформаторе, была недавно предложена и описана [5]. На рис. 1 представлена базовая топология такой системы, характеризующаяся специальной схемой соединения выходных цепей инверторов с соответствующими обмотками силового трансформатора. В частности, подобная структура системы является перспективной для использования в корабельном тяговом электроприводе средней и большой мощности [6].

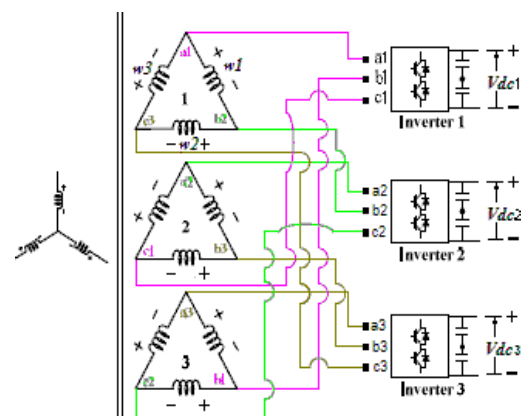


Рис. 1. Топология преобразовательной системы трансформаторного типа для регулируемого электропривода на базе трех инверторов напряжения со специальной схемой соединения инверторов с обмотками силового трансформатора (вариант соединения обмоток трансформатора по схеме треугольника)

Стандартные алгоритмы векторной модуляции, являющейся одним из самых распространенных видов широтно-импульсной модуляции для систем регулируемого электропривода, характеризуются асинхронным характером осуществления модуляционных процессов в системе, что приводит к асимметричным формам выходного напряжения инверторов, с появлением в спектре напряжений весьма нежелательных субгармоник (основной частоты) [7-10]. При этом для обеспечения синхронного характера модуляционных процессов в системах могут быть использованы модифицированные схемы и алгоритмы векторной модуляции [11-14].

2. Специализированная векторная модуляция для синхронного регулирования системы на базе трех инверторов

Временные диаграммы на рис. 2 показывают базовые сигналы и кривые линейного выходного напряжения инвертора, регулируемого на базе алгоритма синхронной непрерывной модуляции на интервале 0° - 60° периода выходной частоты системы. В частности, на рис. 2 представлены соответственно (сверху вниз): последовательность переключения ключей инвертора (со стандартным обозначением состояний ключей, приведенным в [14]), управляющие сигналы соответствующих ключей в фазах *a*, *b*, *c* трехфазного инвертора, и соответствующая часть линейного выходного напряжения инвертора. Продолжительность сигналов β_j характеризует суммарную продолжительность включенного состояния ключей внутри тактового подинтервала τ , сигналы γ_k генерируются по краям соответствующих β -сигналов. Длительность пауз λ_k характеризует продолжительность выключенного (нулевого) состояния вентиляей.

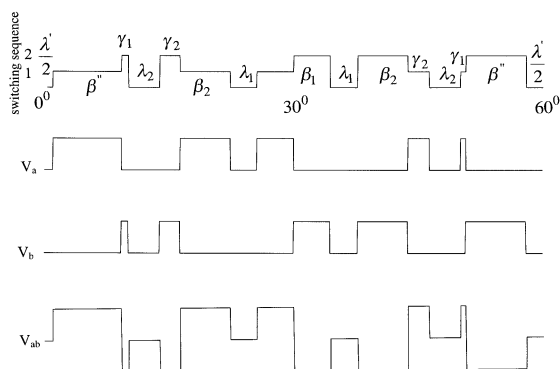


Рис. 2. Последовательность переключения ключей инвертора, управляющие сигналы, и соответствующая часть линейных выходных напряжений инвертора с синхронной непрерывной модуляцией на интервале 0° - 60°

Базовая система уравнений для определения параметров (длительностей) управляющих сигналов (в секундах) на всем диапазоне регулирования инверторной системы с алгоритмами синхронной векторной модуляции при скалярном регулировании системы включает восемь функциональных соотношений (1)-(8):

Для $j=2, \dots, i-1$:

$$\beta_j = \beta_1 \cos[(j-1-K_3)\tau K_{ov1}] \quad (1)$$

$$\gamma_j = \beta_{i-j+1} \{0.5 - 0.87 \tan[(i-j-K_3)\tau]\} K_{ov2} \quad (2)$$

$$\beta_i = \beta'' = \beta_1 \cos[(i-K_3-1)\tau K_{ov1}] K_s \quad (3)$$

$$\gamma_1 = \beta'' \{0.5 - 0.87 \tan[(i-K_3-2)\tau + (\beta_{i-1} + \beta_i + \lambda_{i-1})/2]\} K_s K_{ov2} \quad (4)$$

$$\lambda_j = \tau - (\beta_j + \beta_{j+1})/2 \quad (5)$$

$$\lambda_i = \lambda' = (\tau - \beta'') K_{ov1} K_s \quad (6)$$

$$F_i = \frac{1}{6(2i-1)\tau} \quad (7)$$

$$F_{i-1} = \frac{1}{6(2i-3)\tau}, \quad (8)$$

где: β - суммарная продолжительность включенного состояния ключей внутри тактового подинтервала; γ - меньшая часть суммарной продолжительности включенного состояния ключей; λ - длительность пауз нулевого уровня; τ - длительность тактового подинтервала; $m = F/F_m$ - коэффициент модуляции; F - операционная частота системы; F_m - максимальная частота преобразовательной системы, F_i и F_{i-1} - граничные частоты между поддиапазонами регулирования; $\beta_1 = 1.1\tau m$ до первой частоты зоны сверхмодуляции $F_{ov1} = 0.907 F_m$ (при $F < F_{ov1}$), и $\beta_1 = \tau$, когда $F > F_{ov1}$; $K_s = [1 - (F - F_i)/(F_{i-1} - F_i)]$ - коэффициент синхронизации; первый индекс сверхмодуляции $K_{ov1} = 1$ при $F < F_{ov1}$, и $K_{ov1} = [1 - (F - F_{ov1})/(F_{ov2} - F_{ov1})]$, когда $F_{ov1} < F < F_{ov2} = 0.952 F_m$; второй индекс сверхмодуляции $K_{ov2} = 1$ когда $F < F_{ov2}$, и $K_{ov2} = [1 - (F - F_{ov2})/(F_m - F_{ov2})]$ когда $F_{ov2} < F < F_m$.

Текущие значения фазовых напряжений V_{as1} , V_{bs1} и V_{cs1} первого инвертора напряжения трехинверторной преобразовательной системы (**Inverter 1** на рис. 1) определяются в соответствии с (9)-(11):

$$V_{as1} = V_{a10} + (V_{a10} + V_{b10} + V_{c10})/3 \quad (9)$$

$$V_{bs1} = V_{b10} + (V_{a10} + V_{b10} + V_{c10})/3 \quad (10)$$

$$V_{cs1} = V_{c10} + (V_{a10} + V_{b10} + V_{c10})/3, \quad (11)$$

где V_{a10} , V_{b10} и V_{c10} - полярные напряжения инвертора.

Напряжения на обмотках инверторной стороны силового трансформатора (V_{w1} , V_{w2} , V_{w3} на рис. 1) определяются в функции фазных напряжений каждого инвертора системы в соответствии с (12)-(14), которые соответствуют случаю соединения обмоток трансформатора в треугольник (рис. 1).

$$V_{w1} = V_{as3} - V_{bs1} \quad (12)$$

$$V_{w2} = V_{bs1} - V_{cs2} \quad (13)$$

$$V_{w3} = V_{cs2} - V_{as3} \quad (14)$$

Фазовый сдвиг между соответствующими управляющими сигналами и кривыми выходного напряжения трех инверторов в преобразовательной системе с алгоритмами синхронной векторной модуляции равен 120° . Также в данной системе обеспечивается дополнительный сдвиг между управляющими сигналами трех инверторов, который равен $1/3$ продолжительности тактовых подинтервалов τ .

3. Моделирование процессов в системе с синхронной векторной модуляцией

На рис. 3 – рис. 8 представлены результаты моделирования (MATLAB-моделирование) режимов работы преобразовательной системы на базе трех инверторов, регулируемых (по закону $V/F=const$) при помощи алгоритмов синхронной векторной модуляции, при условии равенства питающих напряжений на входах инверторов ($V_{dc1}=V_{dc2}=V_{dc3}$).

На представленных диаграммах показаны кривые базовых напряжений в системе: полярные напряжения V_{a10} , V_{a20} , V_{a30} трех инверторов, фазное V_{as1} и линейное V_{al1b1} напряжения на выходе первого инвертора системы, а также напряжения на обмотках силового трансформатора V_{w1star} и $V_{w1delta}$, соответствующие вариантам соединения обмоток трансформатора по схеме звезды и треугольника. Показаны также характеристики гармонического состава линейного напряжения V_{al1b1} первого инвертора и напряжения $V_{w1delta}$ на соответствующей обмотке силового трансформатора. В частности, на рис. 3, 5, и 7 показаны формы базовых напряжений на периоде выходной (рабочей) частоты системы.

Диаграммы на рис. 3-4 иллюстрируют формы базовых напряжений в системе и соответствующие спектральные характеристики базовых напряжений в преобразовательной системе, регулируемой на базе алгоритмов непрерывной синхронной модуляции векторного типа (SPWM). Выходная частота системы равна при этом $F=35\text{Гц}$, а частота коммутации вентиля равна $F_s=1000\text{Гц}$. Коэффициент модуляции равен $m=0.7$ в этом случае.

Диаграммы на рис. 5-6 иллюстрируют формы базовых напряжений в системе и соответствующие спектральные характеристики базовых напряжений в преобразовательной системе, регулируемой на базе алгоритмов прерывистой синхронной векторной модуляции с 30-градусными интервалами непроводящего состояния вентиля (DPWM30. $F=35\text{Гц}$, средняя частота коммутации вентиля для этого режима $F_s=1\text{кГц}$, $m=0.7$).

Приведенные на рис. 7-8 диаграммы показывают формы базовых напряжений и соответствующие спектральные характеристики напряжений в преобразовательной системе, регулируемой на базе алгоритмов прерывистой синхронной векторной модуляции с 60-градусными интервалами непроводящего состояния вентиля (DPWM60. $F=35\text{Гц}$, средняя частота коммутации вентиля $F_s=1\text{кГц}$, $m=0.7$).

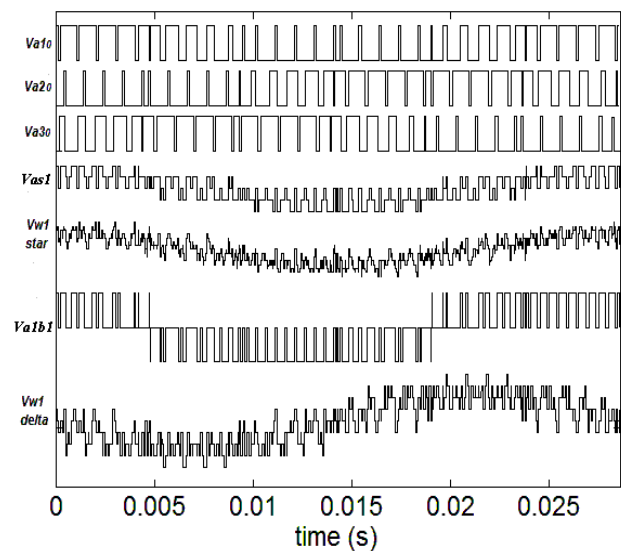


Рис. 3. Полярные, фазные, линейные напряжения V_{a10} , V_{b10} , V_{c10} , V_{as1} , V_{al1b1} , и напряжения на обмотках трансформатора V_{w1star} и $V_{w1delta}$ преобразовательной системы с синхронной непрерывной широтно-импульсной модуляцией ($F=35\text{Гц}$, $F_s=1\text{кГц}$, $F_s/F=28.6$, $m=0.7$)

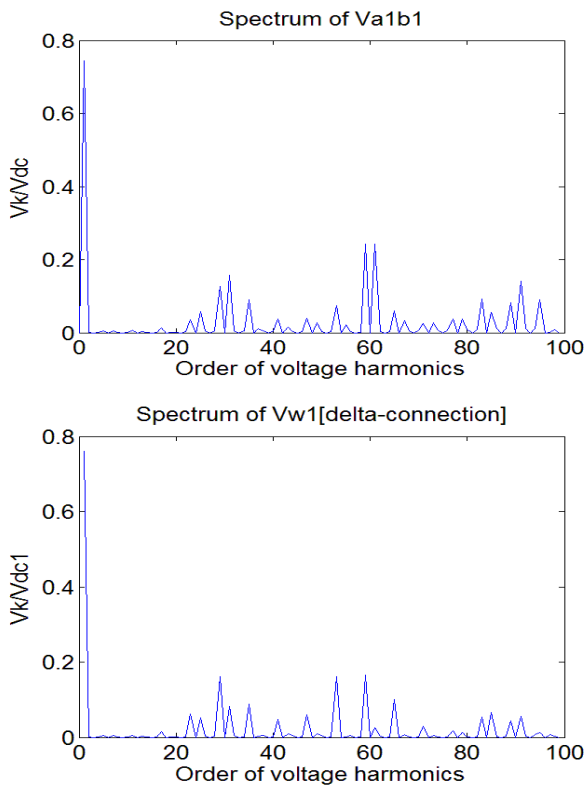


Рис. 4. Спектральный состав напряжений в системе с непрерывной синхронной модуляцией ($F=35\Gamma\text{y}$, $F_s=1\text{k}\Gamma\text{y}$, $m=0.7$)

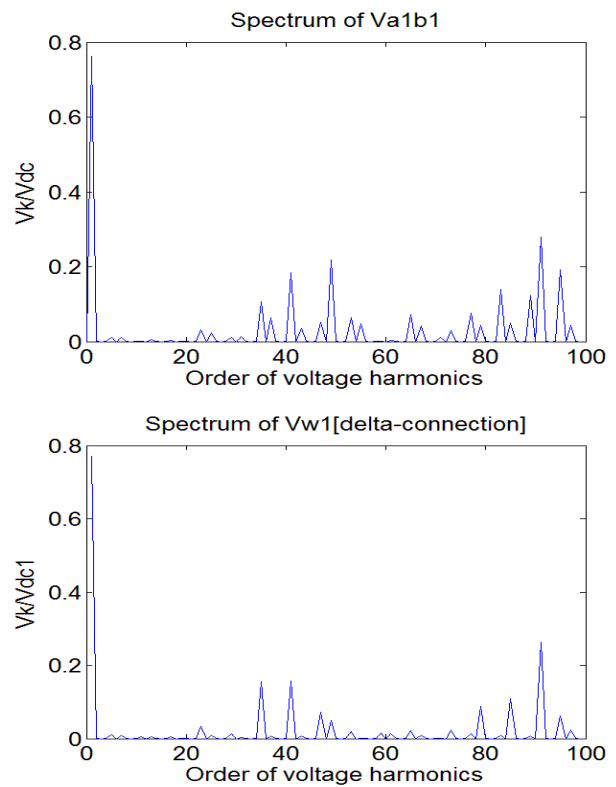


Рис. 6. Спектральный состав напряжений в системе с прерывистой синхронной модуляцией (DPWM30, $F=35\Gamma\text{y}$, $F_s=1\text{k}\Gamma\text{y}$, $m=0.7$)

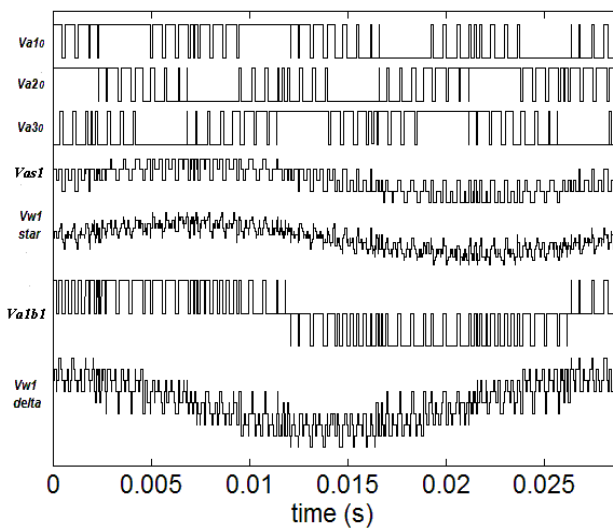


Рис. 5. Полярные, фазные, линейные напряжения V_{a10} , V_{b10} , V_{c10} , V_{as1} , V_{a1b1} , и напряжения на обмотках трансформатора V_{w1star} и $V_{w1delta}$ преобразовательной системы с синхронной прерывистой модуляцией (DPWM30, $F=35\Gamma\text{y}$, $F_s=1\text{k}\Gamma\text{y}$, $F_s/F=28.6$, $m=0.7$)

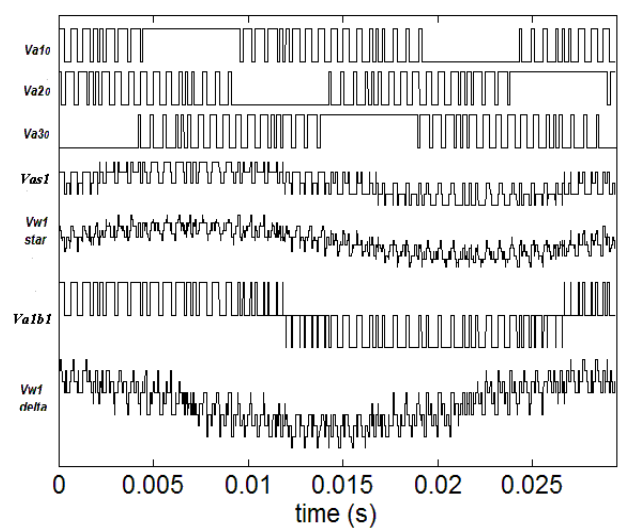


Рис. 7. Полярные, фазные, линейные напряжения V_{a10} , V_{b10} , V_{c10} , V_{as1} , V_{a1b1} , и напряжения на обмотках трансформатора V_{w1star} и $V_{w1delta}$ преобразовательной системы с синхронной прерывистой модуляцией (DPWM60, $F=35\Gamma\text{y}$, $F_s=1\text{k}\Gamma\text{y}$, $F_s/F=28.6$, $m=0.7$)

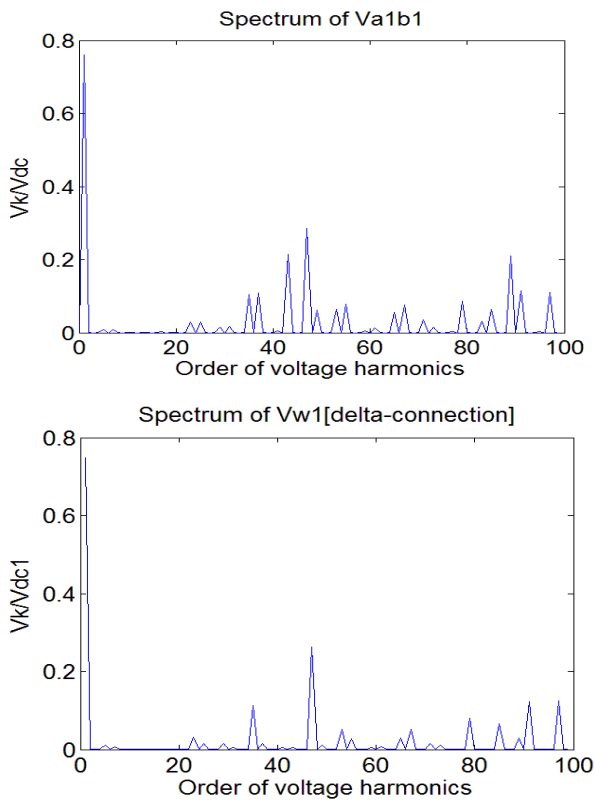


Рис. 8. Спектральный состав напряжений в системе с прерывистой синхронной модуляцией (DPWM60, $F=35\Gamma\text{ц}$, $F_s=1\text{k}\Gamma\text{ц}$, $m=0.7$)

Чтобы подчеркнуть характерные особенности разработанного метода синхронной векторной модуляции, для анализируемых режимов работы систем были выбраны дробные соотношения между частотой переключения вентиля инверторов и рабочей (операционной) частотой системы: $F_s/F=1000\Gamma\text{ц}/35\Gamma\text{ц}=28.6$. Анализ спектрального состава базовых форм выходных напряжений в системе, представленного на рис. 4, 6, и 8, показывает, что в спектрах данных напряжений отсутствуют четные гармоники и субгармоники (основной частоты).

Взвешенный коэффициент искажения напряжения (Weighted Total Harmonic Distortion factor (*WTHD*)) является важным критерием для оценки качества выходного напряжения преобразовательных систем и для сопоставления по данным критериям эффективности алгоритмов управления и модуляции в системах [3,7,14]. На рис. 9 представлены результаты определения коэффициента

$$(WTHD = (1/V_{w1}) \left(\sum_{k=2}^{1000} (V_{w1k}/k)^2 \right)^{0.5}) \text{ для ли-}$$

нейного напряжения на выходе инвертора V_{alb1} и для напряжения на обмотках трансформатора V_{w1} в функции коэффициента модуляции m инверторов системы электропривода, регулируемых на

базе алгоритмов синхронной непрерывной (CPWM) и прерывистой (DPWM30 и DPWM60) модуляции. Средняя частота коммутации вентиля инверторов для всех анализируемых вариантов принята равной $1000 \Gamma\text{ц}$.

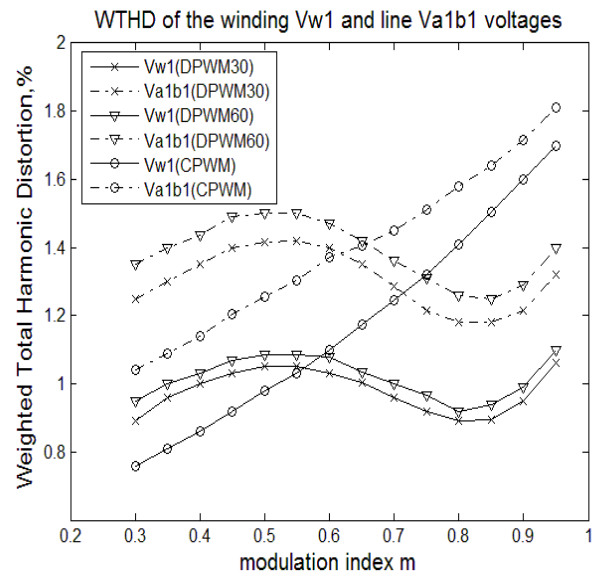


Рис. 9. Взвешенный коэффициент искажения напряжения *WTHD* базовых напряжений в системе в функции коэффициента модуляции m инверторов системы

Анализ представленных на рис. 9 результатов расчета взвешенного коэффициентов искажения напряжения *WTHD* показывает, что как благодаря новой схеме соединения между инверторами и обмотками силового трансформатора, так и благодаря модернизированным алгоритмам модуляции трех инверторов напряжения, в системе наблюдается существенное улучшение интегральных спектральных характеристик напряжения на обмотках силового трансформатора (см. сплошные кривые на рис. 9 в сопоставлении с пунктирными кривыми, соответствующими коэффициентам искажения напряжения при стандартной схеме соединения инверторов с обмотками трансформатора).

Из представленных на рис. 9 данных также следует, что для анализируемой преобразовательной системы трансформаторного типа с тремя инверторами напряжения, на пониженных и средних выходных частотах системы электропривода для регулирования инверторов системы целесообразно использовать алгоритмы непрерывной синхронной модуляции, а на повышенных выходных частотах использование алгоритмов прерывистой синхронной модуляции позволяет обеспечить лучший спектральный состав выходного напряжения.

Выводы

Для преобразовательных систем трансформаторного типа на базе трех инверторов напряжения модифицированные алгоритмы синхронной векторной модуляции позволяют обеспечить на всем диапазоне регулирования четвертьволновую симметрию напряжений на инверторных обмотках многообмоточного трансформатора при любых (в том числе дробных) соотношениях между частотой коммутации вентилей инверторов и выходной частотой системы.

Установлено, что для анализируемой преобразовательной системы трансформаторного типа с тремя инверторами, на пониженных и средних выходных частотах системы электропривода для регулирования инверторов системы целесообразно использовать алгоритмы непрерывной синхронной модуляции, а на повышенных выходных частотах использование алгоритмов прерывистой синхронной модуляции позволяет обеспечить лучший спектральный состав выходного напряжения.

Определено, что взвешенный коэффициент искажения напряжения на обмотках инверторной стороны силового трансформатора системы со специальной схемой соединения обмоток и инверторов с алгоритмами синхронной широтно-импульсной модуляции в среднем на 10-30 процентов меньше, чем в системе со стандартным соединением обмоток и инверторов, что способствует соответствующему снижению потерь как в обмотках инверторной стороны трансформатора, так и во всех трех модулированных инверторах системы.

Улучшенный спектральный состав напряжений и токов на обмотках инверторной стороны силового трансформатора позволяет обеспечить снижение потерь в соответствующих обмотках, а также снизить коммутационные потери в инверторной части системы, способствуя тем самым общему повышению эффективности функционирования преобразовательной системы.

Список использованной литературы

1. Bose, B. K. Modern Power Electronics and AC Drives [Text] / Prentice Hall, Upper Saddle River, 2002.
2. Jung, J.-J., Lee, H.-J., Sul, S.-K. Control of the modular multilevel converter for variable-speed drives [Text] // Proc. of IEEE Int. Conf. Power Electron., Drives, Energy Syst., 2012, pp. 1–6.
3. Holmes, D. G., Lipo, T. Pulse Width Modulation for Power Converters. Principles and Practice [Text] / IEEE Press, 2003.

4. Bose, B. K. Power electronics, smart grid, and renewable energy systems [Text] // Proceedings of the IEEE, 2017, vol. 105, no. 11, pp. 2011–018.

5. Yongsoon Park, Sungjae Ohn, Seung-Ki Sul. Multi-level operation with two-level converters through a double-delta source connected transformer [Text] // Journal of Power Electronics, 2014, vol. 14, no. 6, pp. 1093–1099.

6. Sungjae Ohn, Yongsoon Park, Seung-Ki Sul. Multi-level operation of triple two-level PWM converters [Text] // Proc. of IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE'2015), 2015, pp. 4283–4289.

7. Narayanan, G., Ranganathan, V. T. Extension of operation of space vector PWM strategies with low switching frequencies using different overmodulation algorithm [Text] // IEEE Trans. Power Electronics, 2002, vol. 17, no. 3, pp. 788–798.

8. Mohan, N., Undeland, T. M., Robbins, W. P. Power Electronics, 3rd ed. [Text] / John Wiley & Sons, 2003.

9. Beig, A. R., Narayanan, G., Ranganathan, V. T. Modified SVPWM algorithm for three level VSI with synchronized and symmetrical waveforms [Text] // IEEE Trans. Ind. Electron., 2007, vol. 54, no. 1, pp. 486–494.

10. Wei Chen, Haiwei Sun, Xin Gu, Changliang Xia. Synchronized space vector PWM for three level VSI with lower harmonic distortion and switching frequency [Text] // IEEE Trans. Power Electron., 2016, vol. 31, no. 9, pp. 6428–6441.

11. Oleschuk, V., Gregor, R., Rodas, J., Giangreco, G. Dual three-phase system based on four neutral-point-clamped inverters with synchronized space-vector modulation [Text] // Proc. of European Conf. on Power Electronics and Applications (EPE'2013), 10 p

12. Oleschuk, V., Ermuratskii, V., Berzan, V. Multilevel converters and drives with space-vector modulation and voltage waveform symmetries [Text] // Proc. of IEEE Int'l Conf. on Applied and Theoretical Electricity (ICATE'2014), 2014, 6 p.

13. Oleschuk, V., Prudeak, R., Sizov, A. Dual three-phase multi-inverter system controlled by specialized algorithms of synchronized PWM [Text] // Technical Electrodynamics, 2014, no. 1, pp. 35-40.

14. Oleschuk, V., Barrero, F. Standard and non-standard approaches for voltage synchronization of drive inverters with space-vector PWM: A survey [Text] // International Review of Electrical Engineering, 2014, vol. 9, no. 4, pp. 688–707.

References

1. Bose, B. K. (2002) Modern Power Electronics and AC Drives, Prentice Hall, Upper Saddle River, 536 p.

2. Jung, J.-J., Lee, H.-J., Sul, S.-K. (2012) Control of the modular multilevel converter for variable-speed drives, Proc. of IEEE Int. Conf. Power Electron., Drives, Energy Syst., pp. 1–6.
3. Holmes, D. G., Lipo, T. (2003) Pulse Width Modulation for Power Converters. Principles and Practice, IEEE Press, 628 p.
4. Bose, B. K. (2017) Power electronics, smart grid, and renewable energy systems, Proceedings of the IEEE, vol. 105, no. 11, pp. 2011–2018.
5. Yongsoon Park, Sungjae Ohn, Seung-Ki Sul (2014) Multi-level operation with two-level converters through a double-delta source connected transformer, Journal of Power Electronics, vol. 14, no. 6, pp. 1093–1099.
6. Sungjae Ohn, Yongsoon Park, Seung-Ki Sul (2015) Multi-level operation of triple two-level PWM converters, Proc. of IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE'2015), pp. 4283–4289.
7. Narayanan, G., Ranganathan, V. T. (2002) Extension of operation of space vector PWM strategies with low switching frequencies using different overmodulation algorithm, IEEE Trans. Power Electronics, vol. 17, no. 3, pp. 788–798.
8. Mohan, N., Undeland, T. M., Robbins, W. P. (2003) Power Electronics, 3rd ed., John Wiley & Sons, 802 p.
9. Beig, A. R., Narayanan, G., Ranganathan, V. T. (2007) Modified SVPWM algorithm for three level VSI with synchronized and symmetrical waveforms, IEEE Trans. on Ind. Electron., vol. 54, no. 1, pp. 486–494.
10. Wei Chen, Haiwei Sun, Xin Gu, Changliang Xia (2016) Synchronized space vector PWM for three level VSI with lower harmonic distortion and switching frequency, IEEE Trans. on Power Electron., vol. 31, no. 9, pp. 6428–6441.
11. Oleschuk, V., Gregor, R., Rodas, J., Giangreco, G. (2013) Dual three-phase system based on four neutral-point-clamped inverters with synchronized space-vector modulation, Proc. of European Conf. on Power Electronics and Applications (EPE'2013), 10 p.
12. Oleschuk, V., Ermuratskii, V., Berzan, V. (2014) Multilevel converters and drives with space-vector modulation and voltage waveform symmetries, Proc. of IEEE Int'l Conf. on Applied and Theoretical Electricity (ICATE'2014), 6 p.
13. Oleschuk, V., Prudeak, R., Sizov, A. (2014) Dual three-phase multi-inverter system controlled by specialized algorithms of synchronized PWM, Technical Electrodynamics, no. 1, pp. 35–40.
14. Oleschuk, V., Barrero, F. (2014) Standard and non-standard approaches for voltage synchronization of drive inverters with space-vector PWM: A survey, International Review of Electrical Engineering, vol. 9, no. 4, pp. 688–707.

MODIFIED ALGORITHMS OF PULSEWIDTH MODULATION FOR CONTROL AND ADJUSTMENT OF POWER CONVERSION SYSTEM ON THE BASE OF THREE INVERTERS

V. I. Oleschuk

Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Moldova

Abstract. *Parameters and characteristics of adjustable speed electric drives depend to a large extent on the used methods and techniques of control and modulation. Multi-winding power transformer systems are between perspective topologies of power conversion systems. These medium-power and high-power systems are characterized by relatively low switching frequency of inverters. In this work, modification of algorithms of space-vector modulation has been executed for transformer-based system with three converters, which allows providing an improvement of spectral composition of winding voltages of the system. Set of control functions includes in this case eight basic correlations for continuous determination of parameters of control signals. Also, some additional correlations, characterized this triple-inverter system, have been used during analysis. MATLAB-simulation of modulation processes in transformer-based system has been executed for different modes of its operation. Areas of the rational use of continuous and discontinuous versions of modified algorithms of modulation have been established. It has been found that for the analyzed transformer-based system it is reasonable to use algorithms of continuous modulation at lower and medium output frequencies of the system, and at higher output frequencies, the use of algorithms of discontinuous modulation makes it possible to provide the better spectral composition of the winding voltage. Advanced harmonic composition of spectra of voltage and current in this system allows providing the corresponding decrease of losses both in the windings of multi-winding transformer and in the inverter part of the system.*

Keywords: *voltage source inverter, pulsewidth modulation, power transformer, voltage control and adjustment, voltage distortion factor.*

МОДИФІКОВАНІ АЛГОРИТМИ ВЕКТОРНОЇ МОДУЛЯЦІЇ ДЛЯ СИНХРОННОГО РЕГУЛЮВАННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ НА БАЗІ ТРЬОХ ІНВЕРТОРІВ

В. І. Олещук

Інститут енергетики Академії наук Молдови

Анотація. *Параметри та характеристики регульованих електроприводів швидкості значною мірою залежать від використовуваних методів і прийомів керування та модуляції. Силкові трансформаторні системи з декількома обмотками розташовані між перспективними топологіями систем перетворення потужності. Ці середньосильні і високовольтні системи характеризуються порівняно низькою частотою перемикання інверторів. В роботі виконана модифікація алгоритмів просторово-векторної модуляції для трансформаторної системи з трьома перетворювачами, що дозволяє забезпечити поліпшення спектрального складу напруг обмотки системи. Набір функцій керування для системи з багатошаровим трансформатором включає в цьому випадку вісім базових кореляцій для безперервного визначення параметрів керуючих сигналів. Також були використані деякі додаткові кореляції, що характеризують цю систему потрійної інвертора, під час аналізу. MATLAB-симуляція процесів модуляції на базі трансформаторної системи була виконана для різних режимів його роботи. Визначено сфери раціонального використання безперервних та розривних версій модифікованих алгоритмів модуляції. Встановлено, що для аналізованої системи на основі трансформаторів доцільно використовувати алгоритми безперервної модуляції на низьких і середніх вихідних частотах системи, а при більш високих вихідних частотах використання алгоритмів розривної модуляції дає можливість забезпечити кращий спектральний склад напруги обмотки Розширений гармонійний склад спектрів напруги та струму в цій системі дозволяє забезпечити відповідне зменшення втрат як в обмотках багатообмоткового трансформатора, так і в інверторній частині системи.*

Ключові слова: *інвертор напруги, широтно-імпульсна модуляція, багатообмотувальний силовий трансформатор, управління і регулювання, коефіцієнт спотворення напруги.*

Получено 19.03.2018



Олещук Валентин Игоревич, доктор (хабилитат) технических наук, главный научный сотрудник Института энергетики Академии наук Молдовы. Ул. Академическая, 5, Кишинев, Молдова, E-mail: oleschukv@hotmail.com, тел. +373-22-738062

Valentin Oleschuk, Dr. (Habilitation) of Science, Chief Scientist, Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Moldova, Academy Str., 5, Kishinev, Moldova. E-mail: oleschukv@hotmail.com, phone: +373-22-738062

ORCID ID: 0000-0002-7413-4867