

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 2, Number 306 (2016), 139–146

UDC 621.314.5

METHODS OF SWITCHING ANGLES BASED ON PULSE WIDTH MODULATION FOR MULTILEVEL INVERTER**S.A. Orynbayev¹, S.S. Moldakhmetov², B.K. Baibutanov²,
M.B. Jeshmetov¹, D.S. Aueszhanov¹**¹Taraz State University named after M. Kh. Dulaty, Taraz,²Kazakh National Research Technical University named after K. Satpayev, Almaty, KazakhstanE-mail: seitzhan_74@mail.ru, smsayat@mail.ru, baibutanov_b@mail.ru, emb.ntu.94@mail.ru,
aueszhanov2001@bk.ru,**Keywords:** multilevel inverter, PWM, switching angle, THD, Simulink.

Abstract. This article proposes the methods of switching angles of a multilevel inverter. These switching methods based on a pulse width modulation, which is obtained by comparing the ideal sine wave and triangular pulse sequence. PWM based methods have been used widely for level commutation of multilevel power inverters due to their simplicity, flexibility and reduced THD of output voltage. In this paper, a novel analysis of four species of PWM based methods for thirteen level single phase inverter is presented. The article highlights the following strategies: Phase disposition PWM strategy, Phase opposition disposition PWM strategy, Alternate phase opposition disposition PWM strategy, Carrier overlapping PWM strategy, Variable frequency PWM strategy. The article describes the algorithms for obtaining the control pulse sequence and proposes how the strategy can reduce the harmonic components of the inverter output voltage. For this purpose, each of the performed strategies is modeled in the Simulink environment for different frequencies.

УДК 621.314.5

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДИК КОММУТАЦИИ СТУПЕНЕЙ МНОГОУРОВНЕВОГО ИНВЕРТОРА НА ОСНОВЕ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ**С.А. Орынбаев¹, С.С. Молдахметов², Б.К. Байбутанов²,
М.Б. Ешметов¹, Д.С. Ауесжанов¹**¹Таразский государственный университет имени М.Х. Дулати, Тараз;²Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Республика Казахстан)

Ключевые слова: многоуровневый инвертор, ШИМ, угол коммутации, коэффициент нелинейных искажений, Simulink.

Аннотация. В данной статье исследованы методики коммутации ступеней многоуровневого инвертора. Данные методики используют широтно-импульсную модуляцию для коммутации, которая получается путем сравнения эталонного синусоидального сигнала и последовательности треугольных импульсов. В статье описаны алгоритмы получения управляющей последовательности импульсов и исследовано, как та или иная стратегия позволяет уменьшить коэффициент гармонических составляющих выходного напряжения инвертора. Для этого в среде Simulink произведено моделирование каждой из стратегий для различных частот.

Введение. Топология построения многоуровневого инвертора позволяет осуществлять коммутацию уровней напряжения. При этом в большинстве случаев та или иная топология отличается лишь количеством используемых ключей коммутации, источников питания и других элементов исполнения.

Использование определенной топологии не позволяет получить весомое преимущество в уменьшении гармонических составляющих. Для этого используется определенная стратегия выбора времени коммутации каждой из ступеней многоуровневого инвертора. На данный момент существуют различные стратегии, применяемые для реализации многоуровневого инвертора [1-3]. Большинство из них основано на использовании широтно-импульсной модуляции [4-6].

Использование ШИМ широко распространено для получения синусоидального напряжения на выходе одноуровневого инвертора, где ширина импульсов несущего колебания изменяется по синусоидальному закону. Но ШИМ можно использовать и для коммутации в многоуровневом инверторе с той лишь разницей, что несущие колебания формируют каждую из ступеней инвертора отдельно [7-10].

На базе топологии построения многоуровневого инвертора, представленной в [11], исследуем, как различные стратегии позволяют уменьшить коэффициент гармонических составляющих, и выберем оптимальную.

Стратегии коммутации. Стратегии коммутации, основанные на ШИМ, которые будут исследованы в данной статье, приведены ниже:

- синфазная ШИМ стратегия;
- противофазная ШИМ стратегия;
- чередующаяся противофазная ШИМ стратегия;
- стратегия ШИМ с наложением несущих колебаний;
- стратегия ШИМ с различной частотой.

Рассмотрим синфазную ШИМ стратегию коммутации ступеней. В качестве модулирующего сигнала U_s задана синусоида амплитудой 312 В и частотой 50 Гц по закону

$$U_s = 312 \sin 100\pi t \quad (1)$$

В качестве же несущего колебания будет выступать треугольный сигнал симметричной формы, т.е. продолжительность роста такого сигнала, равна продолжительности его спада [12]. Пример такого сигнала указан на рисунке 1. Частота несущего треугольного сигнала будет неизменной, но должна быть в несколько раз больше частоты модулирующего синусоидального сигнала. Амплитуда треугольного сигнала выбирается в зависимости от амплитуды ступени многоуровневого инвертора.

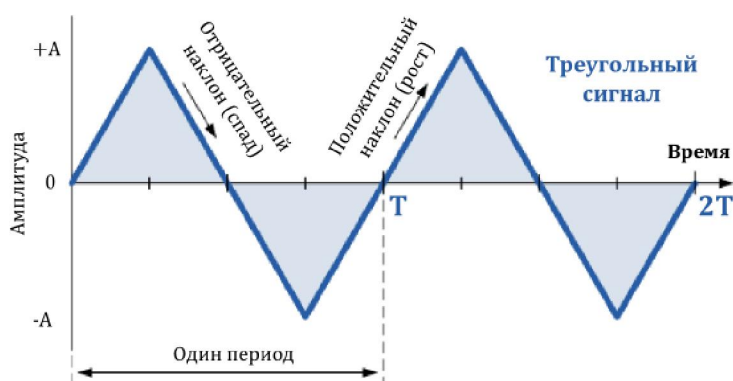


Рисунок 1– Временная диаграмма треугольного сигнала

Введем понятие частотного коэффициента k_f , который будет равен отношению частоты несущего колебания f_c к частоте модулирующего сигнала f_s .

$$k_f = \frac{f_c}{f_s} \quad (2)$$

Таким образом, мы можем исследовать влияние данного коэффициента на коэффициент нелинейных искажений.

Аналогично введем понятие амплитудного коэффициента k_A , который будет рассчитываться по формуле

$$k_A = \frac{n \cdot A_c}{f_s}, \quad (3)$$

где n – количество ступеней инвертора, A_c – амплитуда несущего колебания, A_s – амплитуда модулирующего сигнала.

Рассмотрим стратегии на основе трехуровневого инвертора [13]. Пусть уровень ступеней будет одинаковым и условно равен 1, в этом случае амплитуда модулирующего колебания равна 3.

На рисунке 2а представлена диаграмма выбора времени коммутации по стратегии синфазной ШИМ. Для данного случая значение частотного коэффициента k_f равно 20, т.е. частота несущих треугольных сигналов в 20 раз превышает частоту синусоидального колебания. Значение амплитудного коэффициента k_A равно 1.

Как видно из рисунка, несущие колебания для каждой ступени находятся в одной фазе. Число несущих, необходимых для получения времени коммутации на каждом уровне равно числу ступеней инвертора, умноженному на два. Необходимо заметить, что все несущие одинаковой амплитуды. Согласно данной стратегии, если значение несущего треугольного колебания для данного момента времени выше чем значение синусоидального сигнала, то формируется значение высокого уровня, в противном случае – формируется значение низкого уровня. Таким образом, генерация коммутирующего импульса производится всякий раз, когда треугольный импульс ступени больше синусоиды.

Согласно принципу формирования управляющих импульсов по закону противофазной ШИМ стратегии все несущие колебания положительной полуволны находятся в одной фазе друг относительно друга, и все несущие колебания отрицательной полуволны также находятся в одной фазе, но при этом в противофазе несущим колебаниям положительной полуволны (рисунок 2б).

Для чередующейся противофазной ШИМ стратегии несущие колебания одинаковой амплитуды находятся в противофазе относительно соседних (рисунок 2в). Фактически данная и предыдущая стратегии удобны с точки зрения применения, поскольку сдвиг по фазе на 180° смещает несущие так, что положительные и отрицательные полуволны находятся в одинаковом положении относительно несущих. Таким образом, импульсы формируются для положительной и отрицательной полуволн одинаково, что очень удобно.

Поскольку синусоида имеет характерную крутизну, число переключений для нижних уровней инвертора меньше чем число переключений верхних уровней. Для того, чтобы уравнивать количество переключений для всех уровней можно использовать разные частоты для несущих колебаний. Это реализуется в стратегии ШИМ с частотой. Диаграмма положения несущих для данной стратегии показана на рисунке 2г ($k_{f1} = 40$, $k_{f2} = 20$, $k_{f3} = 12,5$, $k_A = 1$).

С помощью ШИМ с наложением несущих колебаний можно увеличить или уменьшить длительность коммутирующих импульсов и исключить кратковременные всплески. Это достигается за счет увеличения амплитуды несущих колебаний, поскольку треугольные сигналы обрезаются и становятся трапециевидными. Диаграмма положения несущих колебаний для стратегии ШИМ с наложением несущих колебаний показана на рисунке 2д ($k_f = 20$, $k_A = 1,5$).

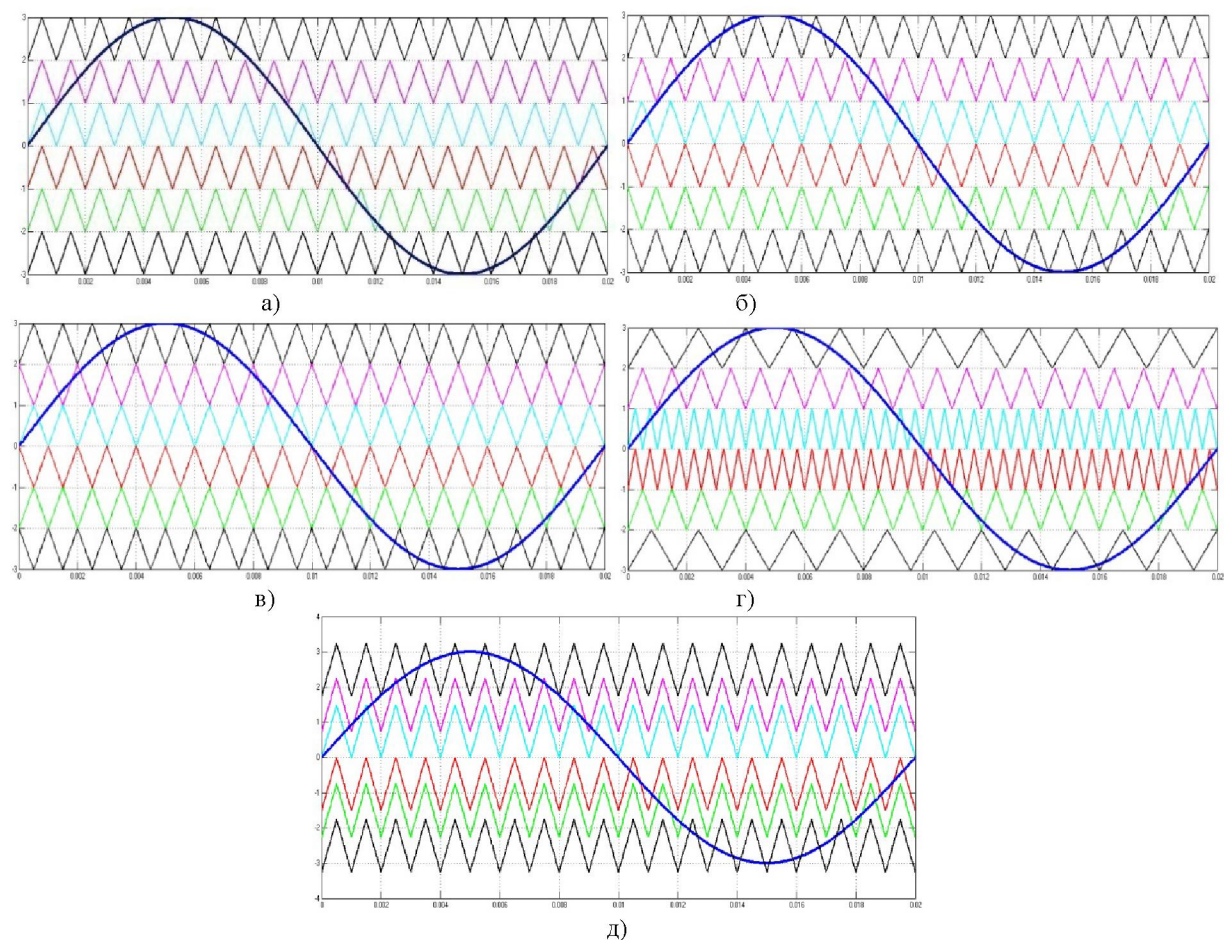


Рисунок 2 – Диаграммы положения несущих колебаний для различных стратегий стратегии

Моделирование и результаты. Для исследования влияния стратегий коммутации на коэффициент гармонических составляющих построим специальную модель в среде визуального моделирования Simulink.

На рисунке 3 представлена модель 6-уровневого инвертора для исследования методик коммутации [14]. Блок Sine Wave генерирует синусоидальное колебание частотой 50 Гц и амплитудой 312 В. Блок Repeating Sequence генерирует треугольный сигнал несущего колебания. Данный сигнал складывается с постоянной составляющей от блока Constant, значение которого регулируется в зависимости от ступени многоуровневого инвертора. Треугольный и синусоидальный сигналы сравниваются оператором сравнения Relational Operator, сигнал с которого поступает на силовой ключ. Если Синусоидальный сигнал больше треугольного, то оператором генерируется логическая единица, в противном случае – логический ноль. Чтобы исследовать только воздействие той или иной стратегии исключим влияние IGBT, которые заменим обычными силовыми ключами, которые представлены блоками Ideal Switch [15].

Выходное напряжение, полученное в результате моделирования, отличается от обычного ступенчатого напряжения наличием широтно-импульсной модуляции (рисунок 4). Следует заметить что, чем ближе импульсы к границе перехода на высокий уровень, тем шире импульсы и наоборот.

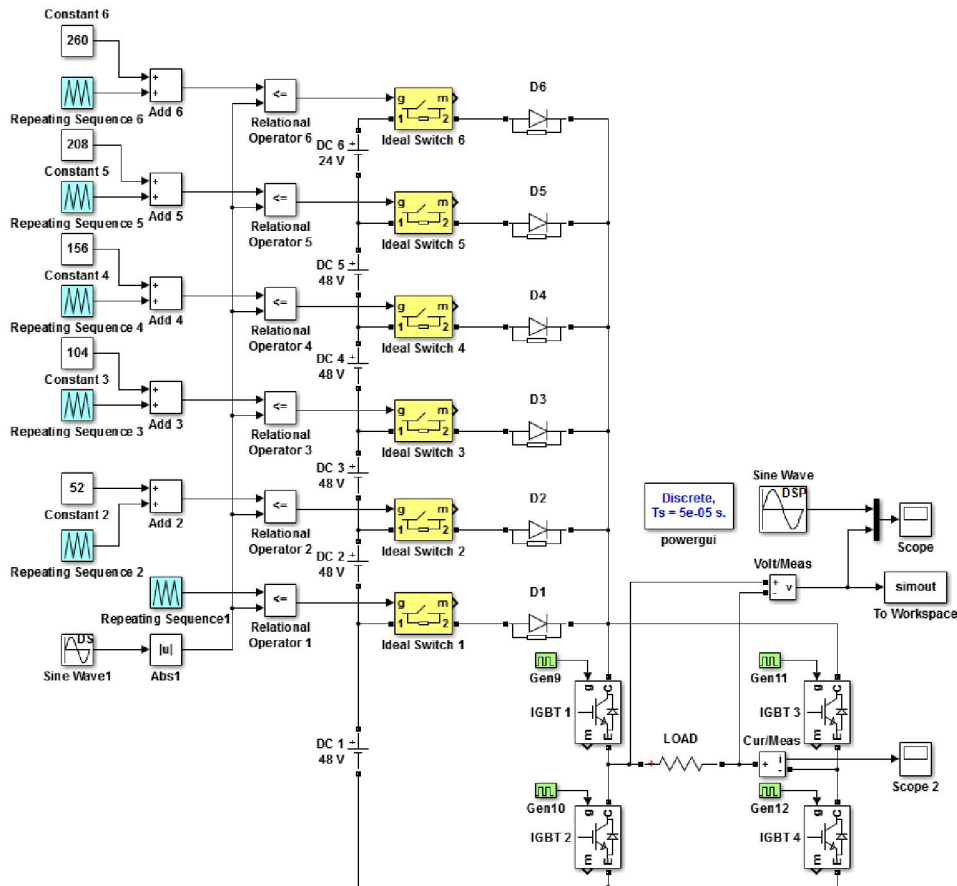


Рисунок 3 – Модель 6-уровневого инвертора для исследования методик коммутации

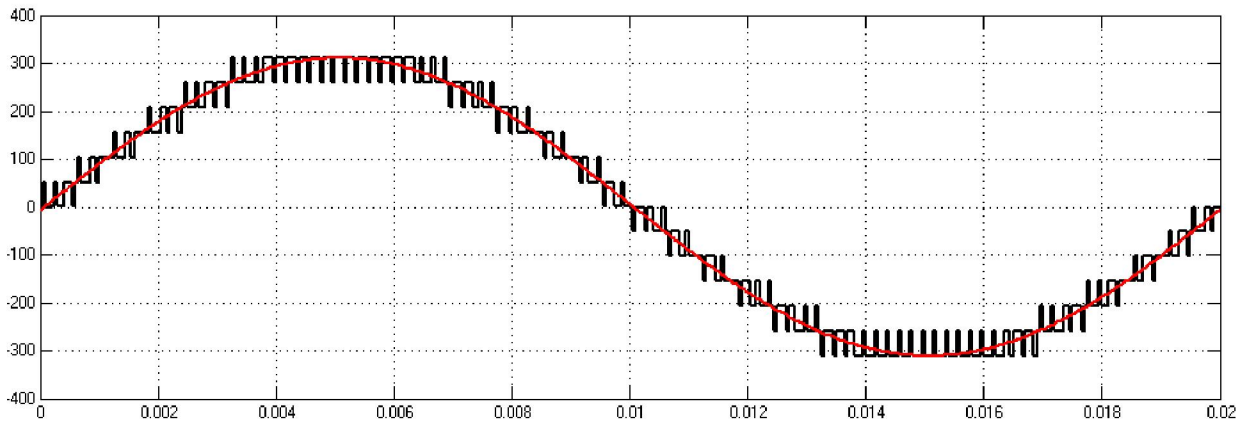


Рисунок 4 – Осциллограмма выходного напряжения

Для сравнения стратегий важно значение коэффициент нелинейных искажений, который с помощью блока powergui автоматически рассчитывается посредством быстрого преобразования Фурье. Данные для стратегий занесены в таблицу 1.

Как можно заметить, коэффициенты нелинейных искажений довольно большие, связанных с наличием высоких частот в выходном напряжении инвертора. Поэтому данные стратегии применяются с фильтром низких частот. Чтобы не исказить низкие частоты необходимо выбрать фильтр с гладкой АЧХ на частотах полосы пропускания [16, 17]. Используем типовой фильтр Баттерворта третьего порядка с частотой среза 1000 Гц [18]. Для моделирования фильтр

Баттерворта построен при помощи блока Analog Filter Design, где задаются порядок фильтра и частота среза 6283,2 рад/с. Результаты моделирования занесены в таблицу 2.

Таблица 1 – Коэффициенты нелинейных искажений различных методик без фильтрации

Период	Частота	ПФ ШИМ	ЧПФ ШИМ	ШИМ с НН	ШИМ с РЧ
0,0013	769,2	9,3	10,05	14,24	9,27
0,0012	833,3	9,75	9,6	15,65	9,54
0,0011	909,1	8,78	7,91	13,8	9,7
0,001	1000	8,38	10,08	15,12	9,46
0,0009	1111,1	8,99	9,15	14,73	7,86
0,0008	1250	8,98	9	14,39	8
0,0007	1428,6	8,94	9,22	14,3	8,92
0,0006	1666,7	9,14	9,08	14,4	9,12
0,0005	2000	8,27	8,98	15,05	8,19
0,0004	2500	8,71	9,01	14,29	8,65
0,0003	3333,3	9,01	9,17	14,8	8,96
0,0002	5000	9,86	9,64	14,6	9,22
0,0001	10000	13,1	13,3	21,11	11,42

Таблица 2 – Коэффициенты нелинейных искажений различных методик после фильтрации

Период	Частота	ПФ ШИМ	ЧПФ ШИМ	ШИМ с НН	ШИМ с РЧ
0,0013	769,2	7,04	7,51	11,49	6,98
0,0012	833,3	6,95	6,42	11,8	6,93
0,0011	909,1	6,08	4,44	9,69	7,8
0,001	1000	5,85	7,1	9,6	7,23
0,0009	1111,1	4,88	5,17	7,98	4,44
0,0008	1250	4,33	5,26	6,37	4,38
0,0007	1428,6	3,21	4,59	4,84	3,75
0,0006	1666,7	2,63	3,79	3,19	3,05
0,0005	2000	2,28	2,31	2,11	2,54
0,0004	2500	1,65	1,43	2,35	2
0,0003	3333,3	1,4	1,67	2	1,38
0,0002	5000	1,74	1,7	2,47	1,37
0,0001	10000	4,18	4,09	3,63	1,85

На основе результатов моделирования построен график зависимости коэффициента нелинейных искажений от частоты несущего колебания. На данном графике пунктирными линиями показаны результаты моделирования стратегий без фильтрации, а сплошными – моделирование с ФНЧ.

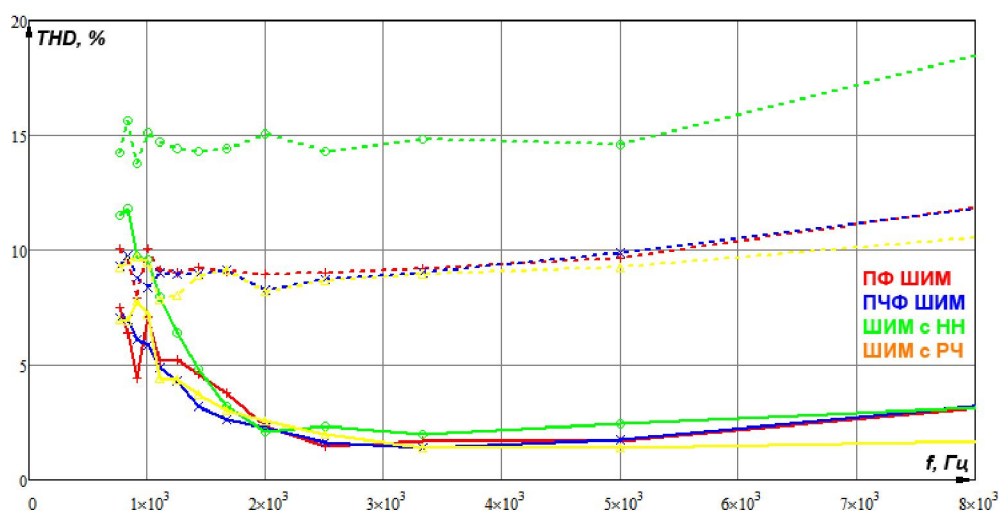


Рисунок 5 – График зависимости коэффициента нелинейных искажений от частоты несущего колебания

Как видно из рисунка 5, для всех стратегий при низких значениях частотного коэффициента k_f наблюдается высокое значение коэффициента нелинейных искажений, а с увеличением частоты несущих данный коэффициент спадает до определенного минимума и затем незначительно увеличивается. При этом наиболее низкий коэффициент нелинейных искажений наблюдается при использовании стратегии коммутации на базе ШИМ с РЧ. При реализации силового инвертора все же не следует выбирать большую частоту, поскольку с частотой возрастают потери энергии на переходные процессы. Также следует иметь в виду, что коммутация осуществляется силовыми ключами, например, IGBT или MOSFET, переходные процессы в которых при высокой частоте переключений могут вывести их из строя [19, 20].

Заключение. В статье исследованы методики коммутации ступеней многоуровневого инвертора на базе широтно-импульсной модуляции. По результатам моделирования в среде Simulink получены зависимости коэффициента нелинейных искажений от частоты для различных стратегий без фильтрации выходного напряжения инвертора, и с ФНЧ. Выяснено, что наиболее низкий коэффициент нелинейных искажений можно получить при использовании стратегии коммутации на базе ШИМ с различными частотами для ступеней.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Rodríguez J., Jih-Sheng Lai and Fang Zheng Peng. Multilevel inverters: A survey of topologies, controls and applications // IEEE Trans. Ind. Electron. – 2002. – vol.49(4). – p. 724-738.
- [2] Singh B., Mittal N., Verma K. S., Singh D., Singh S. P., Dixit R., Singh M. and Baranwal A. Multi-level inverter: a literature survey on topologies and control strategies // International Journal of Reviews in Computing. – 2012. – vol. 10. –p.1-16.
- [3] Govindaraju C., Baskaran K. Optimized Hybrid Phase Disposition PWM Control Method for Multilevel Inverter // International Journal of Recent Trends in Engineering. – 2009. – vol. 1(3). – p.129-134.
- [4] Arun V., Shanthy B., Natarajan S. P. Performance Analysis of Multicarrier SPWM Strategies for Three Phase Z - Source Seven Level Cascaded Inverter // International Journal of Modern Engineering Research. – 2013. – vol.3, issue.1. – p. 204-211.
- [5] Johnson Uthayakumar R., Natarajan S.P., Padmathilagam.V. A New Three Phase Seven Level Asymmetrical Inverter with Hybrid Carrier and Third Harmonic Reference // International Journal of Modern Engineering Research. –2012. – Vol.2, Issue.4. – p.1814-1818.
- [6] Seyezhai R., Mathur B.L. Implementation and Control of Variable Frequency ISPWM Technique for an Asymmetric Multilevel Inverter // European Journal of Scientific Research . – 2010. – Vol.39, №4. –p. 558-568.
- [7] Seyezhai R. Investigation of Performance Parameters For Asymmetric Multilevel Inverter Using Hybrid Modulation Technique // International Journal of Engineering Science and Technology. – 2011. – 3(12). – p. 8430-8443.
- [8] Jeevananthan S., Nandhakumar R. and Dananjayan P. Inverted Sine Carrier for Fundamental Fortification in PWM Inverters and FPGA Based Implementations // Serbian Journal of Electrical Engineering. – 2007. – Vol. 4, №2. – p. 171-187.
- [9] Seyezhai R., Mathur B.L. Hybrid Multilevel Inverter using ISPWM Technique for Fuel Cell Applications // International Journal of Computer Applications. – 2010. – Vol. 9, №1.
- [10] Selva Kumar R., Karthick V., Arun D. A Review on Dead-Time Effects in PWM Inverters and Various Elimination Techniques // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. – 2014. – №1 (4). – p. 385 – 387.
- [11] Moldakhmetov S., Issebergenov N., Kasymov A. Multilevel inverter based on level switch and H-bridge // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2015. – vol.10(16). – p. 6884-6887.
- [12] Espinosa E.E., Espinoza J.R., Melin P.E., Ramirez R.O., Felipe Villarroel, Munoz J.A., Luis Moran. A New Modulation Method for a 13-Level Asymmetric Inverter Toward Minimum THD // IEEE Transactions on Industry Applications. – 2014. – №3.– p. 1924-1933.
- [13] Taissariyeva K., Issebergenov N. The research of the solar panels-commutator-inverter-load system with the pulse-amplitude control // SPIE Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments. – 2014.
- [14] Chakravarty S. Technology and Engineering Applications of Simulink. – InTech, 2012. – pp. 266.
- [15] Debnath S., Narayan R. THD Optimization in 13 level photovoltaic inverter using Genetic Algorithm // International Journal of Engineering Research and Applications. – 2012. – №3. – p. 385-389.
- [16] Gupta A., Tripathi G. Ch. Design and Analysis of Low Pass FIR & IIR Filter and Find Optimum Result Using Neural Network // Global Journal of Researches in Engineering. –2010. –Vol. 10, Issue 7. – p. 61-64.
- [17] Burlaka V.V., Gulakov S.V., Bublik S.K., Dyachenko M.D. Shunt Active Filter With Improved Suppression Of High-Order Current Harmonics // Visnik Priazovskogo Derzhavnogo Technichnogo Univercitetu. – 2009. – Vol. 19. – p. 237 – 241.
- [18] Моин В.С. Стабилизированные транзисторные преобразователи. М.: Энергоатомиздат. – 1986. – С. 81 – 112.
- [19] Kulkarni V.V., Swami L.B. MOSFET Based High Frequency Inverter for Induction Heating Equipment Using MATLAB/Simulink Environment // International Journal Of Innovations In Engineering Research And Technology. –2014. – Vol. 1, Issue 1.
- [20] Rajesh J., Deepak S.V., Ramjee S.V. High-Frequency Resonant Matrix Converter using IGBT-Based Bidirectional Switches for Induction Heating // Int. Journal of Engineering Research and Applications. – 2014. – Vol. 4, Issue 2. – p. 451-457.

REFERENCES

- [1] Rodriguez J., Jih-Sheng Lai and Fang Zheng Peng. Multilevel inverters: A survey of topologies, controls and applications. *IEEE Trans. Ind. Electron.*, **2002**, vol.49(4), p. 724-738 (in Eng.).
- [2] Singh B., Mittal N., Verma K. S., Singh D., Singh S. P., Dixit R., Singh M. and Baranwal A. Multi-level inverter: a literature survey on topologies and control strategies. *International Journal of Reviews in Computing*, **2012**, vol. 10, p.1-16 (in Eng.).
- [3] Govindaraju C., Baskaran K. Optimized Hybrid Phase Disposition PWM Control Method for Multilevel Inverter. *International Journal of Recent Trends in Engineering*, **2009**, vol.1(3), p.129-134(in Eng.).
- [4] Arun V., Shanthi B., Natarajan S. P. Performance Analysis of Multicarrier SPWM Strategies for Three Phase Z - Source Seven Level Cascaded Inverter. *International Journal of Modern Engineering Research*, **2013**, vol.3, issue.1, p. 204-211 (in Eng.).
- [5] Johnson Uthayakumar R., Natarajan S.P., Padmathilagam.V. A New Three Phase Seven Level Asymmetrical Inverter with Hybrid Carrier and Third Harmonic Reference. *International Journal of Modern Engineering Research*, **2012**, Vol.2, Issue.4, p.1814-1818 (in Eng.).
- [6] Seyezhai R., Mathur B.L. Implementation and Control of Variable Frequency ISPWM Technique for an Asymmetric Multilevel Inverter. *European Journal of Scientific Research*, **2010**, Vol.39, №4, p. 558-568(in Eng.).
- [7] Seyezhai R. Investigation of Performance Parameters For Asymmetric Multilevel Inverter Using Hybrid Modulation Technique. *International Journal of Engineering Science and Technology*, **2011**, 3(12), p. 8430-8443(in Eng.).
- [8] Jeevananthan S., Nandhakumar R. and Dananjayan P. Inverted Sine Carrier for Fundamental Fortification in PWM Inverters and FPGA Based Implementations. *Serbian Journal of Electrical Engineering*, **2007**, Vol. 4, №2, p. 171-187 (in Eng.).
- [9] Seyezhai R., Mathur B.L. Hybrid Multilevel Inverter using ISPWM Technique for Fuel Cell Applications. *International Journal of Computer Applications*. **2010**, – Vol. 9, №1(in Eng.).
- [10] Selva Kumar R., Karthick V., Arun D. A Review on Dead-Time Effects in PWM Inverters and Various Elimination Techniques. *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. **2014**, №1 (4), pp. 385 – 387 (in Eng.).
- [11] Moldakhmetov S., Issembergenov N., Kasymov A. Multilevel inverter based on level switch and H-bridge. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*. **2015**, vol.10(16), p. 6884-6887 (in Eng.).
- [12] Espinosa E.E., Espinoza J.R., Melin P.E., Ramirez R.O., Felipe Villarroel, Munoz J.A., Luis Moran. A New Modulation Method for a 13-Level Asymmetric Inverter Toward Minimum THD. *IEEE Transactions on Industry Applications*, **2014**, №3, p. 1924-1933(in Eng.).
- [13] Taissariyeva K., Issembergenov N. The research of the solar panels-commutator-inverter-load system with the pulse-amplitude control. *SPIE Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments*, **2014** (in Eng.).
- [14] Chakravarty S. Technology and Engineering Applications of Simulink. – *InTech*, **2012**, pp. 266 (in Eng.).
- [15] Debnath S., Narayan R. THD Optimization in 13 level photovoltaic inverter using Genetic Algorithm. *International Journal of Engineering Research and Applications*, **2012**, №3, p. 385-389 (in Eng.).
- [16] Gupta A., Tripathi G. Ch. Design and Analysis of Low Pass FIR & IIR Filter and Find Optimum Result Using Neural Network. *Global Journal of Researches in Engineering*, **2010**, Vol. 10, Issue 7, p. 61-64 (in Eng.).
- [17] Burlaka V.V., Gulakov S.V., Bublik S.K., Dyachenko M.D. Shunt Active Filter With Improved Suppression Of High-Order Current Harmonics. *Visnik Priazovskogo Derzhavnogo Technichnogo Univercitetu*, **2009**, Vol. 19, p. 237 – 241(in Eng.).
- [18] Moïn V.S. Stabilizirovannyye tranzistornyye preobrazovateli. *M.: Energoatomizdat*, **1986**, pp. 81-112 (in Russ.).
- [19] Kulkarni V.V., Swami L.B. MOSFET Based High Frequency Inverter for Induction Heating Equipment Using MATLAB/Simulink Environment. *International Journal Of Innovations In Engineering Research And Technology*, **2014**. Vol. 1, Issue 1(in Eng.).
- [20] Rajesh J., Deepak S.V., Ramjee S.V. High-Frequency Resonant Matrix Converter using IGBT-Based Bidirectional Switches for Induction Heating. *Int. Journal of Engineering Research and Applications*. **2014**, Vol. 4, Issue 2, p. 451-457 (in Eng.).

ЖАЗЫҚТЫҚ-ИМПУЛЬСТІК МОДУЛЯЦИЯ НЕГІЗІНДЕ КӨПДЕНГЕЙЛІ ИНВЕРТОР САТЫЛАРЫНЫҢ ҚОСЫЛУ ӘДІСТЕМЕЛЕРІН ЗЕРТТЕУ

С.А. Орынбаев¹, С.С. Молдахметов², Б.К. Байбутанов², М.Б. Ешметов¹, Д.С. Ауесжанов¹

¹М.Х. Дулати атындағы Тараз мемлекеттік университеті, Тараз

²Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы)

Түйін сөздер: көп деңгейлі инвертор, ЖИМ, коммутация бұрышы, сызықты емес бұрмалау коэффициенті, Simulink.

Аннотация. Берілген мақалада көпдеңгейлі инвертор сатыларының қосылу әдістемесі зерттелген. Бұл әдістемелер қосылулар үшін жазықты-импульстік модуляцияны қолданады. Ол эталондық синусоидты сигналмен үшбұрыштық импульстардың тізбегін салыстырумен алынады. Мақалада басқарушы импульстарды алу алгоритмы суреттелген және әрбір стратегиялардың инвертор шығыс кернеуінің гармоникалық құраушылары коэффициентін азайтатыны зерттелген. Ол үшін Simulink ортасында әртүрлі жиілік стратегиясына модельдеу жүргізілді.

Поступила 13.03.2016 г.