

PWM Regulation of Grid-Tied PV System on the Base of Photovoltaic-Fed Diode-Clamped Inverters

Oleschuk V., and Ermuratskii V.

Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Moldova
Kishinev, Republic of Moldova

Abstract. Investigation of grid-tied photovoltaic system on the base of two diode-clamped inverters, controlled by specific algorithms of pulse-width modulation (PWM), has been done. This system includes two strings of photovoltaic panels feeding two diode-clamped inverters. The outputs of inverters are connected with the corresponding windings on the primary side of three-phase transformer, connected with a grid. In order to reduce phase voltage distortion and to increase efficiency of operation of the system, special scheme of control and modulation of inverters has been used, providing minimization of common-mode voltages and voltage waveforms symmetries under different operating conditions. Detailed simulation of processes in this photovoltaic-fed power conversion system has been executed. The results of simulations verify good performance of photovoltaic system regulated in accordance with specific strategy of control and modulation.

Keywords: diode-clamped inverter, photovoltaic panels and strings, schemes of control and modulation, voltage harmonic composition.

MID-reglare a instalației fotovoltaice cu invertoarelor cu diode de limitare a supratensiunilor

Olesciuk V., Ermuratschii V.

Institutul de Energetica al Academiei de Stiinte a Moldovei
Chisinau, Republica Moldova

Rezumat. Se prezintă rezultatele investigației funcționării sistemului fotovoltaic racordat la rețeaua electrică de alimentare, ce include două invertoare cu diode de limitare a supratensiunilor. Funcționarea sistemului fotovoltaic se asigură în baza utilizării algoritmilor specifici de modulație cu durată de impulsuri (MID). Acest sistem include două blocuri de module fotovoltaice conectate în serie, care alimentează cu energie electrică două invertoare cu diode de limitare a supratensiunilor. Ieșirile invertoarelor sunt conectate cu înfășurările corespunzătoare ale circuitului primar al transformatorului cu trei faze. Înfășurările secundare ale transformatorului sunt conectate cu rețeaua. Pentru majorarea eficienței de reglare a sistemului se utilizează o strategie specială de dirijare și modulare a semnalelor invertoarelor, care asigură minimizarea tensiunii secvenței zero și simetrizarea formei tensiunii invertoarelor pentru diverse condiții de funcționare. Simulările matematice ale regimurilor de funcționare a proceselor în obiectul analizat au confirmat eficiența funcționării instalației dirijată în baza strategiei și algoritmilor elaborați.

Cuvinte-cheie: invertoare cu diode de limitare a supratensiunilor, module fotovoltaice, strategia de dirijare și modulare, componența spectrală a armonicilor tensiunii.

ШИМ-регулирование фотопреобразовательной установки на базе инверторов с отсекающими диодами

Олещук В.И., Ермуратский В.В.

Институт энергетики Академии наук Молдовы
Кишинев, Республика Молдова

Аннотация. Выполнено исследование связанной с сетью фотопреобразовательной системы на базе двух инверторов с отсекающими диодами, регулируемых при помощи специальных алгоритмов широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Данная система содержит два блока последовательно соединенных фотопреобразовательных панелей, питающих инверторы с отсекающими диодами. Выходные цепи инверторов подключены к обмоткам на первичной стороне трехфазного трансформатора, вторичные обмотки которого связаны с сетью. С целью повышения эффективности регулирования системы, использована специальная стратегия управления и модуляции инверторами, обеспечивающая минимизацию напряжений нулевой последовательности в системе и симметрию форм выходного напряжения инверторов при различных условиях функционирования. Выполнено моделирование процессов в рассматриваемой фотопреобразовательной системе, результаты моделирования подтвердили при этом эффективность работы установки, регулируемой на базе предложенной стратегии управления инверторами с отсекающими диодами.

Ключевые слова: инвертор с отсекающими диодами, фотопреобразовательные панели и блоки, стратегия управления и модуляции, спектральный состав напряжения.

Введение

Фотопреобразовательные системы являются одной из перспективных областей практического применения комбинированных структур силовых преобразователей на базе сдвоенных инверторов напряжения [1],[2]. При этом наряду со стандартными двухуровневыми инверторами в подобных системах могут быть использованы каскадно-включенные инверторы с отсекающими диодами.

На рис. 1 приведена структура силовых цепей фотопреобразовательной системы на базе сдвоенных (каскадных) инверторов с отсекающими диодами, питающихся от двух изолированных фото-электрических панелей с выходными напряжениями постоянного тока V_{dc1} и V_{dc2} . При этом возможно как непосредственное подключение фотоэлектрических панелей ко входам двух инверторов, так и подключение через промежуточное звено постоянного тока, показанное в данном случае штриховой линией. Сдвоенные инверторы соединены с сетью через трехфазный трансформатор с разомкнутыми обмотками на первичной стороне. Подобная топология является одной из наиболее рациональных для использования в фотопреобразовательных системах повышенной мощности.

Трехфазный инвертор с отсекающими диодами и с синхронной ШИМ

Базовая структура трехуровневого инвертора со средней точкой в цепи источника питания (инвертор с фазами *a*, *b*, *c* на рис. 1) представлена на рис. 2. Каждая из трех фаз инвертора содержит четыре силовых ключа, шунтированных обратными диодами, а также два фиксирующих диода.

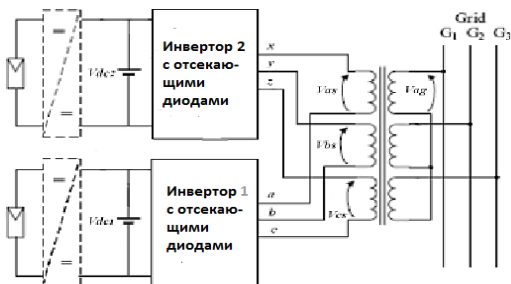


Рис. 1. Топология фотопреобразовательной системы на базе инверторов с отсекающими диодами.

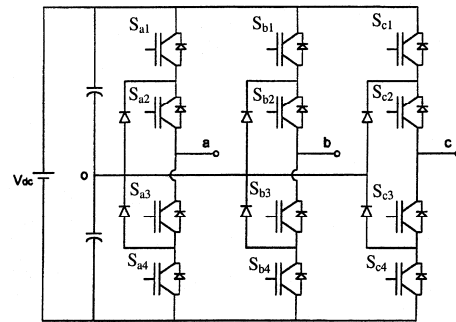


Рис. 2. Структура силовых цепей инвертора с отсекающими диодами.

На рис. 3 приведена диаграмма состояний вектора выходного напряжения трехуровневого инвертора. Общее число состояний ключей для данной силовой структуры равно двадцати семи, которым соответствуют девятнадцать векторов напряжения, показанных на рис. 3 большими и малыми стрелками [5].

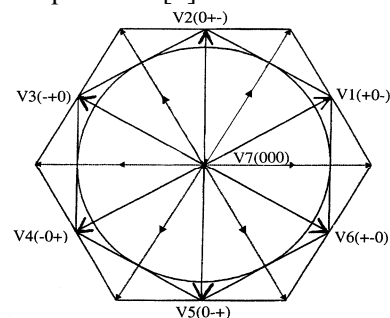


Рис. 3. Векторная диаграмма состояний ключей инвертора с отсекающими диодами.

Двенадцать (шесть и шесть) больших пространственных векторов напряжения, как показано на рис. 3, расположены на периферии двух представленных шестиугольников, а шесть малых векторов расположены в середине соответствующих больших векторов. Нулевой вектор напряжения расположен в центре приведенной системы. В общем случае каждый вектор может быть представлен тремя различными сочетаниями состояний силовых ключей.

Соответствующие состояния силовых ключей инвертора, изображаемые условно в виде троичной системы (+, 0, -), определяются для каждой из трех фаз инвертора как [6]-[8]:

- + if S_1, S_2 are ON and S_3, S_4 are OFF;
- 0 if S_2, S_3 are ON and S_1, S_4 are OFF;
- if S_3, S_4 are ON and S_1, S_2 are OFF.

Для устранения асинхронного принципа управления, характерного для стандартных схем векторной ШИМ, при управлении сдвоенными инверторами с отсекающими диодами предложено использовать новый метод синхронной векторной модуляции [3],[8]. В качестве иллюстрации на рис. 4 представлены (для первого 60-градусного интервала периода выходной частоты) последовательность переключения (диаграмма) состояний ключей, полярные V_a , V_b , и линейное V_{ab} напряжения инвертора с непрерывной схемой синхронной ШИМ, обеспечивающей полное устранение напряжений нулевой последовательности и непрерывную синхронизацию формы кривой выходного напряжения в системе [8].

В частности, на рис. 4 сигналы β_j представляют суммарную продолжительность включенного состояния вентилях в течение тактового подинтервала τ , сигналы γ_k формируются по краям соответствующих β -сигналов. Длительность нулевых пауз λ_k характеризует продолжительность нулевого состояния вентилях.

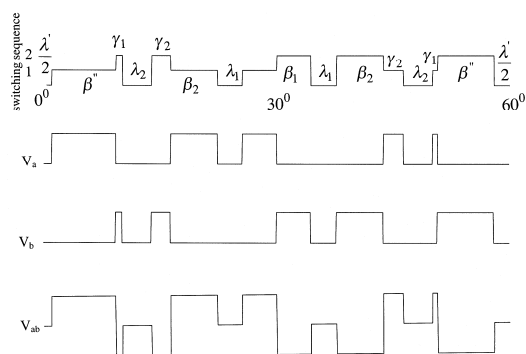


Рис. 4. Диаграмма состояний вентилях, полярные V_a , V_b , и линейное V_{ab} напряжения инвертора с синхронной непрерывной ШИМ.

Для повышения эффективности функционирования фотопреобразовательных систем на базе сдвоенных инверторов, инверторы, питаемые более высоким напряжением постоянного тока $V_{dc-highest}$ должны работать с более низкой частотой коммутации вентилях (при этом номинальное значение частоты коммутации равно F_{s0}). Если питающие инверторы напряжение имеет пониженное значение V_{dc-low} , частота коммутации вентилях F_s может быть при этом соответственно увеличена:

$$F_{s0} V_{dc-highest} = F_s V_{dc-low} \quad (1)$$

В случае неодинаковых выходных токов двух фотоэлектрических панелей в каскадной преобразовательной системе, инвертор с более высоким значением потребляемого тока $I_{dc-higher}$ должен работать с более низкой частотой коммутации вентилях $F_{s-lower}$, а инвертор с более низким током потребляемым током $I_{dc-lower}$ должен работать с более высокой частотой коммутации вентилях $F_{s-higher}$, а именно:

$$F_{s-higher} I_{dc-lower} = F_{s-lower} I_{dc-higher} \quad (2)$$

С учетом (1) и (2), определение продолжительности тактовых подинтервалов τ в функции частоты коммутации вентилях F_s базируется на выражении (3) для непрерывной (CPWM, [8]) и двойной прямой (DDPWM, [8],[9]) схем синхронной модуляции, и на (4) для прерывистой (DPWM, [8]) версии синхронной ШИМ:

$$\tau_{CPWM,DDPWM} = 1 / 2F_s \quad (3)$$

$$\tau_{DPWM} = 1 / 1.5F_s \quad (4)$$

При этом определение текущих продолжительностей управляющих сигналов инверторов со средней точкой в цепи источника питания осуществляется на базе соотношений (3)-(8).

РЕГУЛИРОВАНИЕ ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ НА БАЗЕ ИНВЕРТОРОВ С СИНХРОННОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ

При регулировании выходных напряжений каждого из сдвоенных инверторов преобразовательной системы на базе алгоритмов синхронной векторной ШИМ вышеупомянутая стратегия управления обеспечивает полное устранение напряжений нулевой последовательности в системе, фазные напряжения V_{as} , V_{bs} и V_{cs} системы со сдвоенными инверторами и с двумя изолированными источниками постоянного тока (рис. 1) определяются в соответствии с (5) - (7) [8]:

$$V_{as} = V_a + V_x \quad (5)$$

$$V_{bs} = V_b + V_y \quad (6)$$

$$V_{cs} = V_c + V_z \quad (7)$$

где $V_a, V_b, V_c, V_x, V_y, V_z$ - полярные напряжения инверторов с отсекающими диодами (рис. 2).

Описанная в [1] стратегия управления фотопреобразовательной системой обеспечивает передачу в сеть максимальной мощности от двух изолированных фотоэлектрических панелей, а также стабилизацию величины основной гармоники выходного фазного напряжения сдвоенных инверторов. В частности, в случае низких амплитуд выходных напряжений фотоэлектрических панелей (при низком уровне солнечной радиации), значения коэффициентов модуляции m_1 и m_2 сдвоенных инверторов должны быть относительно большими. В случае более высоких напряжений звеньев постоянного тока (при высоком уровне солнечной радиации), коэффициенты модуляции модулированных инверторов должны быть соответственно уменьшены для обеспечения постоянного значения фазного выходного напряжения при изменении интенсивности освещения фотопреобразовательных панелей.

На рис. 5 – рис. 16 представлены кривые опорных напряжений (а также спектры фазного выходного напряжения) фотопреобразовательной системы на базе каскадно-соединенных инверторов с отсекающими диодами для двух режимов управления для случая равенства постоянных напряжений ($V_{dc1}=V_{dc2}$) и токов ($I_{dc1} = I_{dc2}$) источников постоянного тока. Полярные V_a, V_x , и линейное V_{ab} напряжения, а также напряжение нулевой последовательности V_0 и фазное напряжение V_{as} сдвоенных инверторов со средней точкой в цепи источника питания приведены для периода выходной частоты. Спектры фазного напряжения показаны на рис. 6, 8, 10, 12, 14, 16. Кривые, представленные на рис. 5 – 10, соответствуют режимам управления при питании системы повышенным напряжением постоянного тока, кривые, представленные на рис. 11 – 16, соответствуют режиму работы системы при пониженном напряжении источника постоянного тока. Выходная частота системы $F = 50 \text{ Hz}$. Частота коммутации инверторов равна $F_s = 1 \text{ kHz}$ для случая повышенного напряжения питания, и $F_s = 1,5 \text{ kHz}$ для случая пониженной величины напряжения питания. Отношение величин питающих напряжений в этом случае равно 1,5:1 в соответствии с (1).

При этом кривые, приведенные на рис. 5-6 и на рис. 11-12, иллюстрируют функционирование системы на базе сдвоенных инверторов с алгоритмами непрерывной синхронной ШИМ при питании повышенным (рис. 5-6, $m_1=m_2=0.6$) и пониженным (рис. 11-12, $m_1=m_2=0.9$) напряжением звена постоянного тока при соотношении амплитуд упомянутых напряжений, равном 1,5:1. Кривые, приведенные на рис. 7-8, а также на рис. 13-14, иллюстрируют работу системы на базе инверторов с прямой синхронной ШИМ, являющейся одной из разновидностей непрерывной схемы модуляции для инверторов со средней точкой в цепи источника питания [6]-[9]. Кривые, приведенные на рис. 9-10 и рис. 15-16, показывают базовые формы напряжений и спектр фазного V_{as} напряжения для системы, регулируемой на базе алгоритмов прерывистой синхронной ШИМ [8].

Анализ спектральных характеристик фазного напряжения фотопреобразовательной системы на базе сдвоенных инверторов с различными разновидностями синхронной модуляции (см. рис. 6, 8, 10, 12, 14, 16) показывает, что в спектре фазного напряжения отсутствуют четные гармоники и субгармоники применительно к любому режиму функционирования системы и при любой частоте коммутации вентилей инверторов со средней точкой в цепи источника питания.

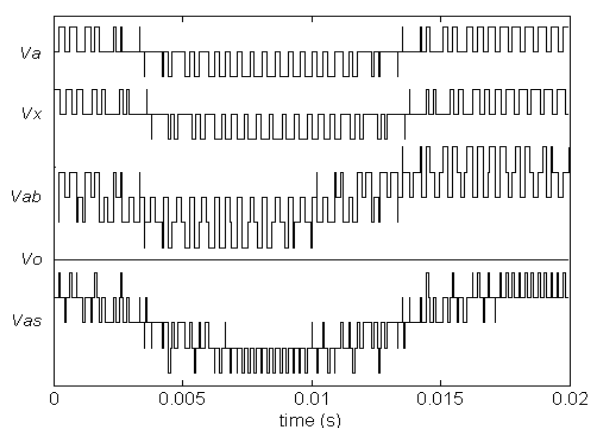


Рис. 5. Полярные V_a и V_x и линейное V_{ab} напряжения, напряжение нулевой последовательности V_0 и фазное V_{as} напряжение в системе с непрерывной синхронной ШИМ ($F=50\text{Hz}$, $F_s=1\text{kHz}$, $V_{dc1}=V_{dc2}=V_{dc-high}$, $m_1=m_2=0.6$).

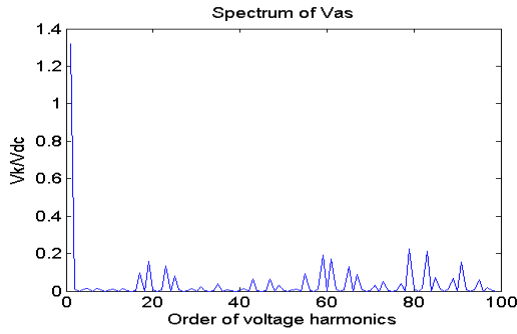


Рис. 6. Спектр фазного напряжения V_{as} в системе с непрерывной синхронной ШИМ ($F=50\text{Hz}$, $F_s=1\text{kHz}$, $V_{dc1}=V_{dc2}=V_{dc-high}$, $m_1=m_2=0.6$).

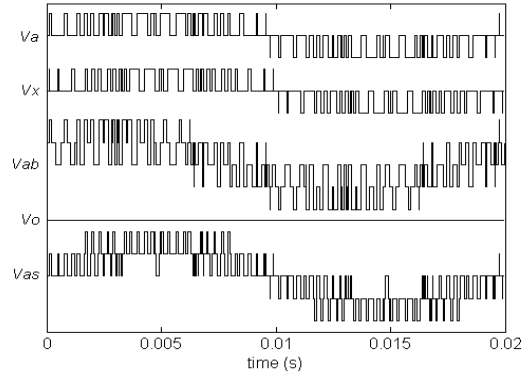


Рис. 9. Полярные V_a и V_x и линейное V_{ab} напряжения, напряжение нулевой последовательности V_0 и фазное V_{as} напряжение в системе с прерывистой синхронной ШИМ ($F=50\text{Hz}$, $F_s=1\text{kHz}$, $V_{dc1}=V_{dc2}=V_{dc-high}$, $m_1=m_2=0.6$).

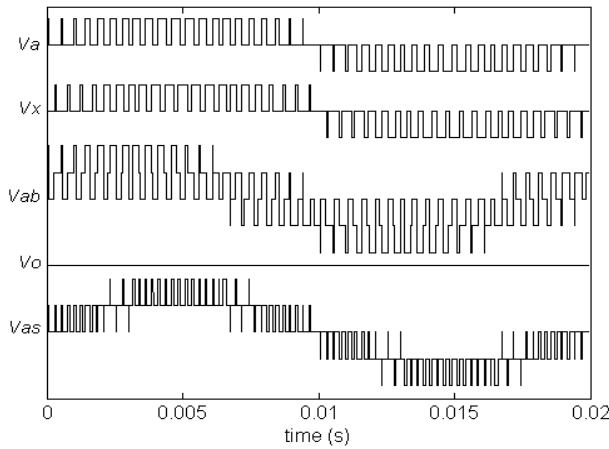


Рис. 7. Полярные V_a и V_x и линейное V_{ab} напряжения, напряжение нулевой последовательности V_0 и фазное V_{as} напряжение в системе с прямой синхронной ШИМ ($F=50\text{Hz}$, $F_s=1\text{kHz}$, $V_{dc1}=V_{dc2}=V_{dc-high}$, $m_1=m_2=0.6$).

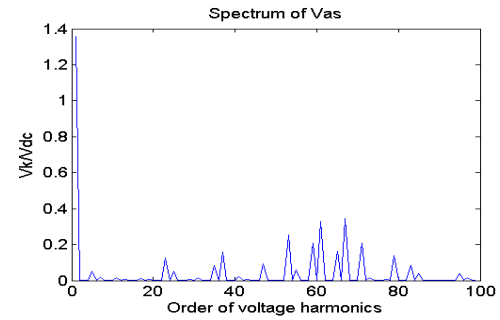


Рис. 10. Спектр фазного напряжения V_{as} в системе с прерывистой синхронной ШИМ ($F=50\text{Hz}$, $F_s=1\text{kHz}$, $V_{dc1}=V_{dc2}=V_{dc-high}$, $m_1=m_2=0.6$).

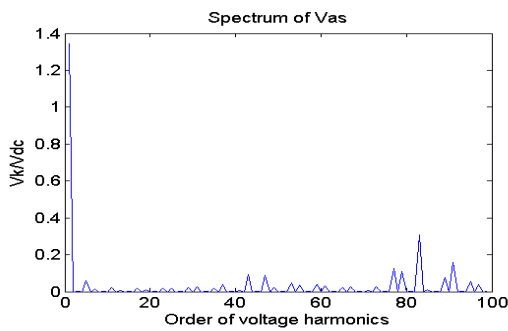


Рис. 8. Спектр фазного напряжения V_{as} в системе с прямой синхронной ШИМ ($F=50\text{Hz}$, $F_s=1\text{kHz}$, $V_{dc1}=V_{dc2}=V_{dc-high}$, $m_1=m_2=0.6$).

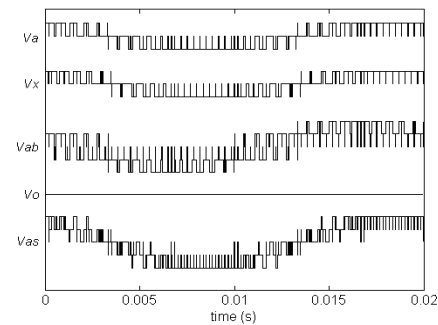


Рис. 11. Полярные V_a и V_x и линейное V_{ab} напряжения, напряжение нулевой последовательности V_0 и фазное напряжение V_{as} в системе с непрерывной синхронной ШИМ ($F=50\text{Hz}$, $F_s=1.5\text{kHz}$, $V_{dc1}=V_{dc2}=V_{dc-low}$, $m_1=m_2=0.9$).

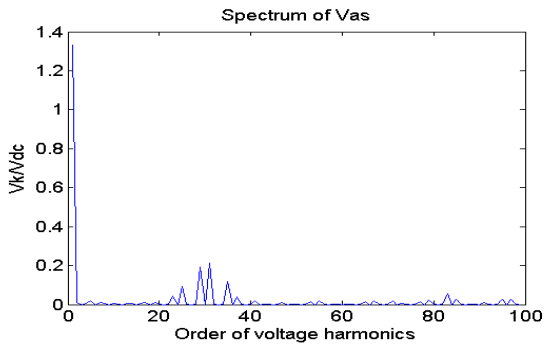


Рис. 12. Спектр фазного напряжения V_{as} в системе с непрерывной синхронной ШИМ ($F=50\text{Hz}$, $F_s=1,5\text{kHz}$, $V_{dc1}=V_{dc2}=V_{dc-low}$, $m_1=m_2=0.9$).

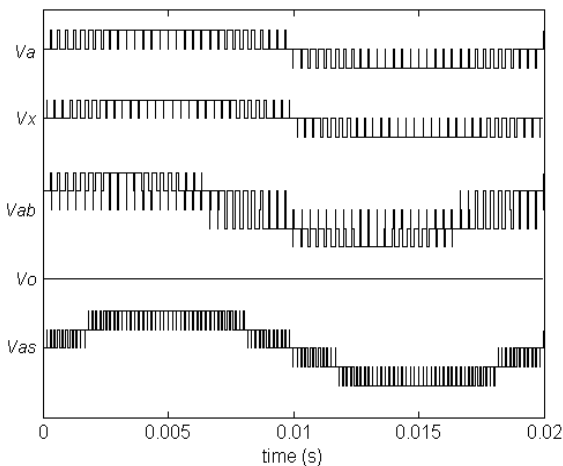


Рис. 13. Полярные V_a и V_x и линейное V_{ab} напряжения, напряжение нулевой последовательности V_0 и фазное напряжение V_{as} в системе с синхронной прямой ШИМ ($F=50\text{Hz}$, $F_s=1,5\text{kHz}$, $V_{dc1}=V_{dc2}=V_{dc-low}$, $m_1=m_2=0.9$).

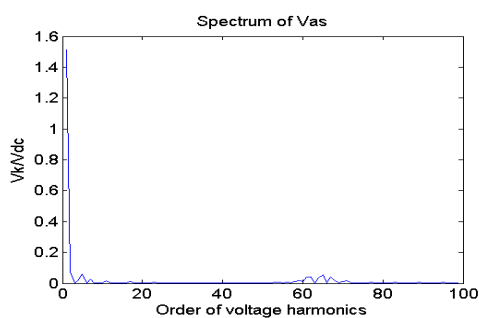


Рис. 14. Спектр фазного напряжения V_{as} в системе с синхронной прямой ШИМ ($F=50\text{Hz}$, $F_s=1,5\text{kHz}$, $V_{dc1}=V_{dc2}=V_{dc-low}$, $m_1=m_2=0.9$).

При различных условиях солнечного освещения двух стандартных фотопреобразовательных панелей выходные токи панелей также имеют неодинаковые значения. В этом случае для обеспечения максимальной передаваемой мощности в системе и для стабилизации величины основной гармоники

фазного тока двояных инверторов коэффициенты модуляции инверторов m_1 и m_2 должны быть в обратно пропорциональной зависимости от соответствующих величин выходных токов I_{dc1} и I_{dc2} фотопреобразовательных панелей [1].

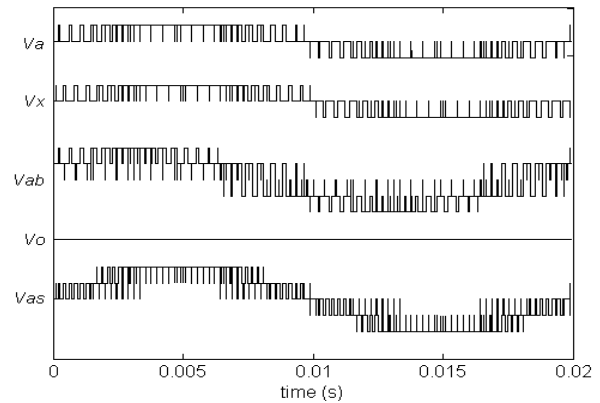


Рис. 15. Полярные V_a и V_x и линейное V_{ab} напряжения, напряжение нулевой последовательности V_0 и фазное напряжение V_{as} в системе с синхронной прерывистой ШИМ ($F=50\text{Hz}$, $F_s=1,5\text{kHz}$, $V_{dc1}=V_{dc2}=V_{dc-low}$, $m_1=m_2=0.9$).

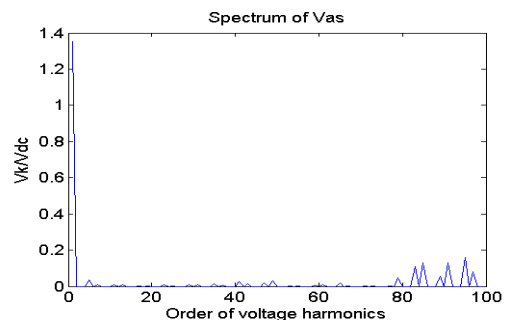


Рис. 16. Спектр фазного напряжения V_{as} в системе с синхронной прерывистой ШИМ ($F=50\text{Hz}$, $F_s=1,5\text{kHz}$, $V_{dc1}=V_{dc2}=V_{dc-low}$, $m_1=m_2=0.9$).

Рис. 17 – 20 иллюстрируют режим управления системой с прерывистой синхронной ШИМ при неодинаковой нагрузке фотопреобразовательных панелей, когда $I_{dc1} \neq I_{dc2}$. В частности, кривые, приведенные на рис. 17-18, иллюстрируют функционирование системы при режиме управления, при котором $I_{dc1}=0.8I_{dc2}$, а коэффициенты модуляции двух инверторов соответственно равны $m_1=0.9$ и $m_2=0.72$. Кривые, представленные на рис. 19-20, иллюстрируют функционирование системы при режиме управления, при котором $I_{dc1}=0.6I_{dc2}$, а коэффициенты модуляции двух инверторов при этом соответственно равны

$m_1=0.9$ и $m_2=0.54$. Анализ гармонического состава фазного выходного напряжения в системе показывает (см. рис. 18 и рис. 20), что и в случае неодинаковой загрузки фотопреобразовательных панелей в спектре фазного напряжения каскадной преобразовательной системы с синхронной ШИМ отсутствуют четные гармоники и субгармоники.

Таким образом, в преобразовательной системе на базе двояных инверторов с отсекающими диодами, для управления и модуляции в которой используется специализированная схема на базе семи векторов напряжения, отмеченных на рис. 3 большими стрелками, на всем диапазоне регулирования наблюдается полное устранение нежелательных напряжений нулевой последовательности. Подобная схема управления обеспечивает устранение напряжений нулевой последовательности как при одинаковых амплитудах выходных токов фотопреобразовательных панелей (см. рис. 5, 7, 9, 11, 13, 15), так и при неодинаковых значениях выходных токов (рис. 17, 19). При этом использование алгоритмов синхронной векторной ШИМ для управления двояными инверторами позволяет также обеспечить стабилизацию величины первой (основной) гармоники фазного напряжения в системе при любых режимах функционирования фотопреобразовательной системы.

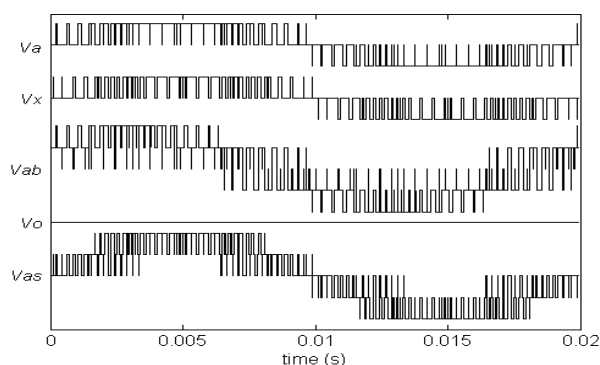


Рис. 17. Полярные V_a и V_x и линейное V_{ab} напряжения, напряжение нулевой последовательности V_0 и фазное напряжение V_{as} в системе с синхронной прерывистой ШИМ ($F=50\text{Hz}$, $F_s=1,5\text{kHz}$, $I_{dc1}=0.8I_{dc2}$, $m_1=0.9$, $m_2=0.72$).

Одним из самых подходящих критериев для оценки качества выходного напряжения в фотопреобразовательной системе является коэффициент гармонических искажений (*Total Harmonic Distortion - THD*). В

частности, в соответствии с большинством стандартов для энергетических систем с частотой 50 Гц, рекомендуется рассчитывать коэффициент искажения напряжения вплоть до 40-ой гармоники [4].

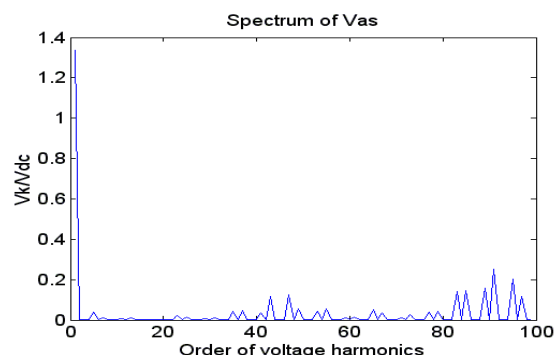


Рис. 18. Спектр фазного напряжения V_{as} в системе с синхронной прерывистой ШИМ ($F=50\text{Hz}$, $F_s=1,5\text{kHz}$, $I_{dc1}=0.8I_{dc2}$, $m_1=0.9$, $m_2=0.72$).

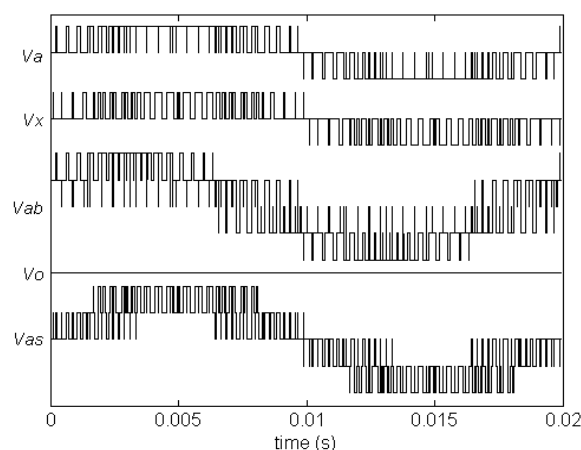


Рис. 19. Полярные V_a и V_x линейное V_{ab} напряжения, напряжение нулевой последовательности V_0 и фазное напряжение V_{as} в системе с синхронной прерывистой ШИМ ($F=50\text{Hz}$, $F_s=1,5\text{kHz}$, $I_{dc1}=0.6I_{dc2}$, $m_1=0.9$, $m_2=0.54$).

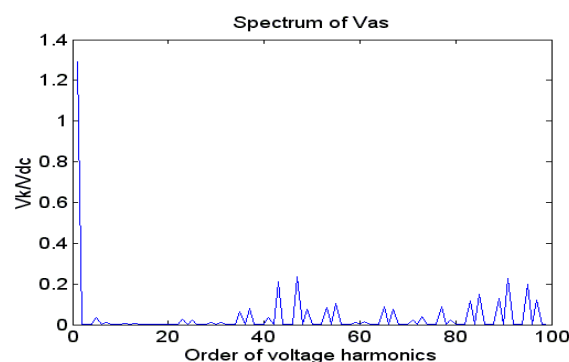


Рис. 20. Спектр фазного напряжения V_{as} в системе с синхронной прерывистой ШИМ ($F=50\text{Hz}$, $F_s=1,5\text{kHz}$, $I_{dc1}=0.6I_{dc2}$, $m_1=0.9$, $m_2=0.54$).

На рис. 21 приведены результаты расчета зависимости коэффициента искажений фазного напряжения V_{as} от коэффициента модуляции инверторов $m=m_1=m_2$ для системы на базе сдвоенных инверторов с отсекающими диодами при одинаковых напряжениях ($V_{dc1}=V_{dc2}$) и токах ($I_{dc1}=I_{dc2}$) источников питания (двух фотопреобразовательных панелей). В качестве трех базовых схем управления при этом использовались алгоритмы непрерывной синхронной модуляции (CPWM), прямой синхронной ШИМ (DDPWM), и прерывистой синхронной модуляции (DPWM). Коэффициент

искажения напряжения ($THD = (1/V_1) \sqrt{\sum_{k=2}^{40} V_{1k}^2}$) рассчитан с учетом низших гармоник вплоть до 40-ой гармоники фазного напряжения. Выходная частота системы равна 50Hz, частоты коммутации вентилях каждого инвертора равны соответственно $F_s=1kHz$ и $F_s=1.5kHz$.

Представленные на рис. 21 результаты вычислений показывают, что для систем с широким диапазоном управления (большой величиной изменения коэффициента модуляции сдвоенных инверторов) меньшие значения коэффициента искажения фазного напряжения наблюдаются в случае использования алгоритмов прерывистой синхронной ШИМ, а также при использовании схемы прямой синхронной модуляции.

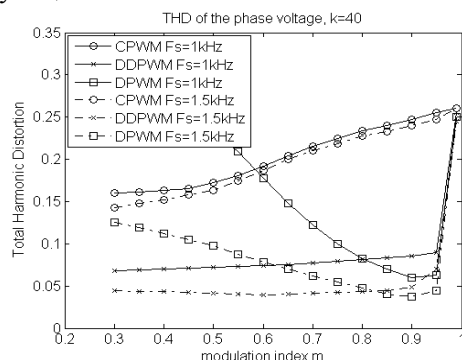


Рис. 21. Зависимость коэффициента искажения (THD) фазного напряжения V_{as} системы от коэффициента модуляции $m=m_1=m_2$ при использовании непрерывной (CPWM), прямой (DDPWM), и прерывистой (DPWM) схем синхронной ШИМ.

Представленные на рис. 2.21 результаты расчетов показывают также существенную зависимость коэффициента искажения

фазного напряжения от частоты коммутации вентилях сдвоенных инверторов, в связи с чем данный фактор может быть успешно использован при разработке систем управления фотопреобразовательными системами с обратной связью от тока нагрузки.

Общее сопоставление степени искажения выходного напряжения инверторов с асинхронной ШИМ и с синхронной векторной модуляцией, выполненное в [3], показывает, в частности, что при соотношении частоты коммутации вентилях и выходной частоты инвертора, равном 40 (что соответствует режиму $2000Гц/50Гц=40$ для фотопреобразовательных систем с постоянным уровнем солнечного освещения), алгоритмы синхронной модуляции обеспечивают примерно 15-процентное снижение величины коэффициента искажения, а для режима с меньшим соотношением этих частот ($1000Гц/50Гц=20$) использование алгоритмов синхронной модуляции обеспечивает уже примерно 40-процентное снижение величины коэффициента искажения фазного напряжения в системе по сравнению с коэффициентом искажения напряжения в системе на базе инверторов со стандартной асинхронной ШИМ.

Заключение

В фотопреобразовательных системах на базе инверторов с отсекающими диодами, регулируемых при помощи алгоритмов синхронной модуляции, обеспечивается повышение эффективности функционирования систем за счет исключения из спектра фазных выходных напряжений четных гармоник и субгармоник, а также за счет минимизации величины нежелательных напряжений нулевой последовательности, что имеет место применительно к любым режимам работы систем, в том числе для режимов работы с существенной разницей в уровнях солнечного освещения автономных блоков фотопреобразовательных панелей.

В рассматриваемых фотопреобразовательных системах на базе каскадно-связанных инверторов при равных напряжениях и токах фотопреобразовательных панелей алгоритмы прерывистой и прямой схем синхронной модуляции обеспечивают лучший спектральный состав фазного напряжения по

сравнению с случаем использования в системе алгоритмов непрерывной синхронной ШИМ.

При флюктуациях солнечного освещения дальнейшее повышение эффективности функционирования фотопреобразовательных систем на базе каскадно-соединенных инверторов может быть обеспечено за счет гибкого регулирования частоты коммутации вентиля в функции выходного тока фотопреобразовательных панелей. При этом особенно эффективным подобное регулирование проявляется в преобразовательных системах с прямой синхронной ШИМ, а также с прерывистой синхронной модуляцией.

Литература (References)

- [1] Grandi G., Ostojic D., Rossi C., and Lega A., "Control strategy for a multilevel inverter in grid-connected photovoltaic applications," Proc. of 2007 IEEE Aegean Conf. on Electrical Machines, Power Electronics and Electromotion, 6 p., 2007.
- [2] Grandi G., Rossi C., Ostojic D., and Lega A., "A new multilevel conversion structure for grid-connected PV applications," IEEE Trans. on Ind. Electronics, vol. 56, no. 11, pp. 4416-4426, 2009.
- [3] Oleschuk V., and Blaabjerg F., "Direct synchronized PWM techniques with linear control functions for adjustable speed drives," Proc. of the IEEE Applied Power Electronics Conf. (APEC'2002), pp. 76-82, 2002.
- [4] Aiello M., Cataliotti A., Favuzza S., and Graditi G., "Theoretical and experimental comparison of total harmonic distortion factors for the evaluation of harmonic and interharmonic pollution of grid-connected photovoltaic systems," IEEE Trans. on Power Delivery, vol. 21, no. 3, pp. 1390-1397, 2006.
- [5] Trzynadlowski A.M., Introduction to Modern Power Electronics, John Wiley & Sons, 1998.
- [6] Ratnayake R.M.N., and Murai Y., "A novel PWM scheme to eliminate common-mode voltage in three-level voltage source inverter," Proc. of IEEE Power Electron. Specialists Conf. (PESC'98), pp. 269-274, 1998.
- [7] Zhang H., A. von Jouanne, Dai S., Wallace A.K., and F. Wang, "Multi-level inverter modulation schemes to eliminate common-mode voltage," IEEE Trans. Ind. Appl., vol. 36, no. 6, pp. 1645-1653, 2000.
- [8] Oleschuk V., Profumo F., Tenconi A., Bojoi R., and Stankovic A.M., "Cascaded three-level inverters with synchronized space-vector modulation," Proc. of IEEE Ind. Appl. Soc. Conf. (IAS'2006), pp. 595-602, 2006.
- [9] Stefanovic V.R., and Vukosavic S.N., "Space-vector PWM voltage control with optimized

switching strategy," Proc. of IEEE Ind. Appl. Soc. Conf. (IAS'92), pp. 1025-1033, 1992.

About authors.



Валентин Олещук, доктор (хабилитат) техн. наук, главный научный сотрудник Института энергетики Академии наук Молдовы. Областью его научных интересов являются стратегии управления и модуляции для силовых преобразователей параметров электрической энергии, для регулируемого электропривода, и для систем возобновляемой энергетики. E-mail: oleschukv@hotmail.com



Владимир Ермуратский, доктор (хабилитат) технических наук, главный научный сотрудник Института энергетики Академии наук Молдовы, Область научных интересов: возобновляемые источники энергии, солнечная энергетика, силовые полупроводниковые преобразователи, электрические конденсаторы, энергетическая эффективность, теплоэнергетика, теплотехника. E-mail: ermuratskie@gmail.com