



Простая пространственно-векторная схема ШИМ с четвертьволновой симметрией для однофазных многоуровневых инверторов напряжения

Simple Quarter-Wave-Symmetric Space Vector PWM Scheme for Single-Phase Multilevel Voltage Source Inverters



Лопаткин Николай Николаевич
*Кафедра математики,
физики, информатики*
Алтайский государственный
гуманитарно-педагогический
университет им. В.М. Шукшина
Бийск, Россия

Nikolay Lopatkin
*Mathematics, Physics,
Informatics department*
*Shukshin Altai State University
for Humanities and Pedagogy*
Biysk, Russia
nikolay_lopatkin@mail.ru



Рассматриваемые вопросы / Issues Under Consideration

1. ВВЕДЕНИЕ. ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ / INTRODUCTION. PURPOSE OF RESEARCH

2. СУЩНОСТЬ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВЕКТОРНОЙ ШИМ ДЛЯ ОДНОФАЗНОГО МНОГОУРОВНЕВОГО ИНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ / ESSENCE OF NEW SPACE VECTOR PWM TECHNIQUE FOR SINGLE-PHASE MULTILEVEL VOLTAGE SOURCE INVERTER

- Особенности взятия отсчетов / Sampling Features
- Формирование сигнала выходного напряжения / Output Voltage's Signal Shaping

3. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ / SIMULATION RESULTS

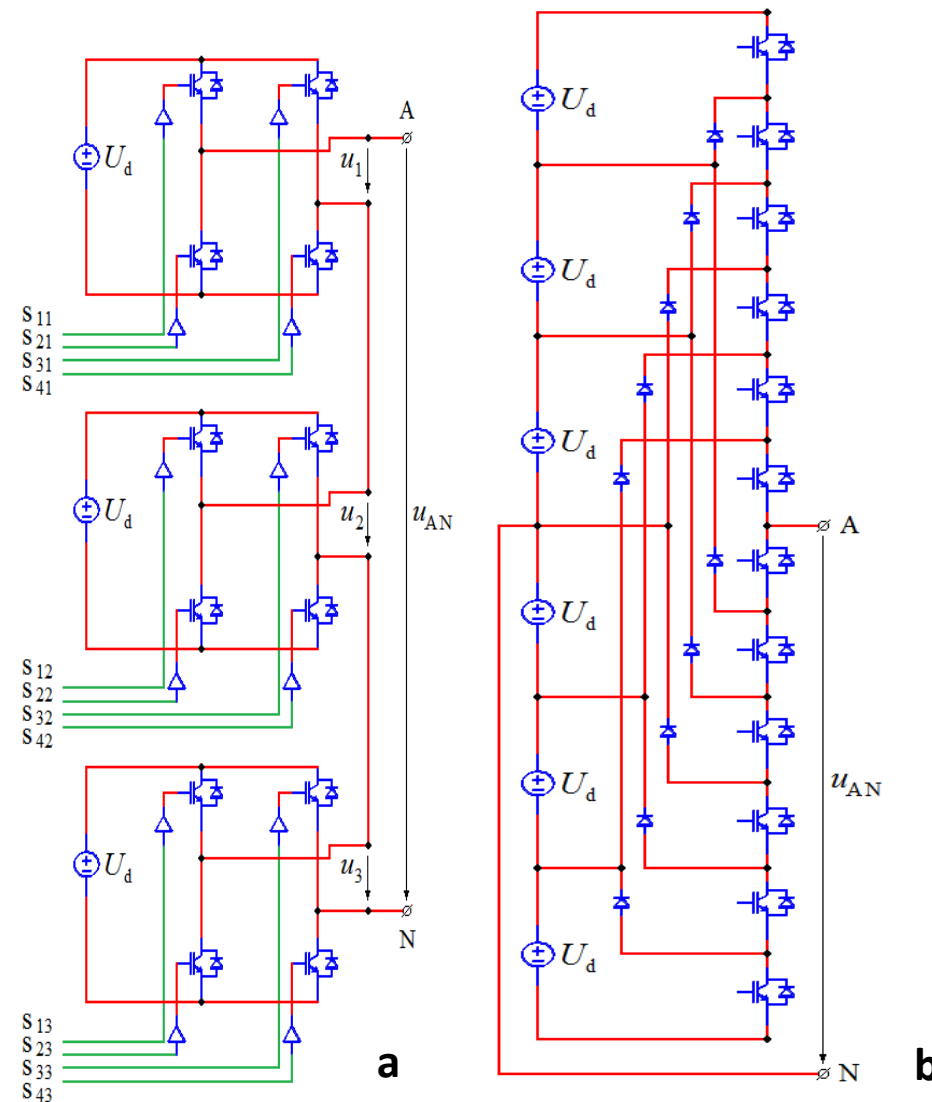
- Типичные формы сигналов, спектры и значения THD напряжения и тока / TYPICAL VOLTAGE AND CURRENT WAVEFORMS, SPECTRA AND THD VALUES
- Зависимости THD и взвешенного THD от коэффициента амплитудной модуляции / THD AND WEIGHTED THD DEPENDENCES ON AMPLITUDE MODULATION INDEX

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ / CONCLUSION

ВВЕДЕНИЕ. ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ / INTRODUCTION. PURPOSE OF RESEARCH

Многоуровневые инверторы напряжения (МУИН) стали привычными источниками среднего и высокого переменного напряжения, покрывая потребность в высоких значениях мощности и высоком качестве питания. Однофазные МУИН обычно используются для питания нагрузок переменного тока небольшой мощности, в том числе для нужд многих малых предприятий и большинства новых домов. В частности, такие инверторы востребованы в системах возобновляемой энергетики и распределенной генерации. Однофазные инверторы модульной конструкции могут быть легко собраны друг с другом в качестве фазных плеч для создания мощных трехфазных схем. Что касается питающих источников постоянного напряжения, все основные промышленные однофазные схемы МУИН можно разделить на два класса: с отдельными источниками на двухуровневую инверторную ячейку и с подключением к последовательно соединенным источникам, см. Рис. 1. Второй класс конкурентоспособен по количеству источников только в трехфазных цепях, тогда как элементарные ячейки первого класса являются наиболее хорошо изученными, надежными и универсальными, а H-мост является наиболее широко используемым из всех них.

Рис. 1. Семиуровневые представители двух классов однофазных многоуровневых инверторов напряжения (и фазных плеч): каскадный H-мостовой инвертор (a); инвертор с фиксированной нейтральной точкой (b). Seven-level representatives of two classes of single-phase multilevel voltage source inverters (and phase legs): cascaded H-bridge inverter (a); neutral point clamped inverter (b).



ВВЕДЕНИЕ. ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ / INTRODUCTION. PURPOSE OF RESEARCH

Хотя основными типами модуляции, используемыми в однофазных многоуровневых преобразователях, являются скалярные (обычно синусоидальная ШИМ с многоуровневыми несущими), достаточно широкий список публикаций посвящен проектированию и исследованию технологий пространственно-векторной ШИМ (ПВШИМ). В частности, многие исследователи успешно используют ПВШИМ для выбора ключевых состояний векторов для достижения таких очень разных важных целей, как подавление тока утечки, управление инвертором в выпрямительном (обратном) режиме, балансировка напряжений емкостей и уменьшение числа переключений силовых ключей.

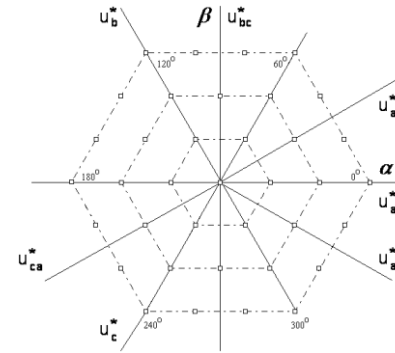
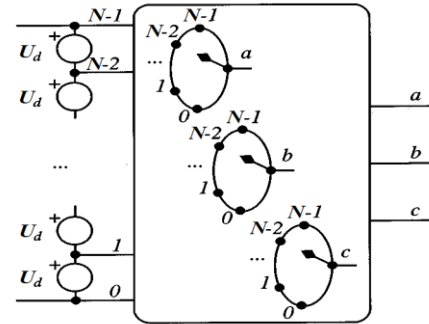
Цель данной работы - предложить новую, общую и простую технологию ПВШИМ для однофазных МУИН любых произвольных топологий с любым нечетным числом уровней (включая нулевой уровень). Предлагаемая схема ПВШИМ концентрируется на генерации заданной формы сигнала напряжения в соответствии с опорным напряжением, с достаточно низким содержанием гармоник и достаточно низким числом переключений. Таким образом, технология отвечает только за качество выходного напряжения и тока. Проблемы балансировки напряжений емкостей, равномерной нагрузки по току и распределения напряжений между силовыми ключами, снижения синфазного напряжения и т.д. должны быть решены за счет избыточности ключевых состояний при настройке для конкретной топологии МУИН. В отличие от многих обоснованных, высококачественных и полезных методов, которые требуют больших вычислительных затрат, предлагаемый метод обеспечивает быстрое и простое вычисление двух модулирующих пространственных векторов (ПВ) и их коэффициентов заполнения без какого-либо увеличения сложности при увеличении коэффициента модуляции и числа уровней инвертора. Действенность разработанных алгоритмических операций доказана с помощью моделирования в PSIM.

PURPOSE OF RESEARCH is to propose a new, general and simple SVPWM technique for single-phase MLVSI of any arbitrary topologies with any odd numbers of the levels (including the zero level). The proposed SVPWM scheme concentrates on generating a specified voltage waveform, according to the reference voltage, with enough low harmonics' content and enough low switchings' number.

СУЩНОСТЬ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВЕКТОРНОЙ ШИМ ДЛЯ ОДНОФАЗНОГО МНОГОУРОВНЕВОГО ИНВЕРТОРА НАПЯЖЕНИЯ / ESSENCE OF NEW SPACE VECTOR PWM TECHNIQUE FOR SINGLE-PHASE MULTILEVEL VOLTAGE SOURCE INVERTER

Техника трехфазной пространственно-векторной ШИМ / Three-Phase Space Vector PWM Technique

Функциональная схема трехплечевого (трехфазного) N-уровневого инвертора напряжения
Functional diagram of a three-leg (three-phase) N-level voltage source inverter



Axes of the phase voltages and the phase-to-phase voltages in the $\alpha\beta$ complex plane

Однофазная пространственно-векторная ШИМ / Single-Phase Space Vector PWM

Диаграмма пространственных векторов (фазов) семипровольного однофазного инвертора напряжения показана на Рис. 2, где нормированный опорный пространственный вектор напряжения (ОПВН) $\dot{u}_{ref}^*$ перемещается против часовой стрелки и может быть определен следующим образом:

$$\dot{u}_{ref}^*(t) = U_{ref}^* \cdot e^{j\theta(t)},$$

здесь U_{ref}^* - нормированное абсолютное значение (или модуль) $\dot{u}_{ref}^*$, θ - его аргумент, $\theta(t) = \omega t - \pi/2$, т.е. $\theta(0) = -\pi/2$; j - мнимая единица; здесь и далее звездочки в надстрочных знаках обозначают относительные значения, нормализованные постоянным напряжением единичного (базового) уровня U_d , т.е. $u_X^* = u_X/U_d$, $u_{XY}^* = u_{XY}/U_d$ и т.д.

Начальная фаза θ здесь выбрана для получения нормированного опорного напряжения $\dot{u}_{ref}^*(t)$ как действительной части фазора ОПВН в виде синусоидальной функции времени:

$$u_{ref}^*(t) = \text{Re}(\dot{u}_{ref}^*(t)) = U_{ref}^* \cdot \cos \theta = U_{ref}^* \cdot \sin \omega t.$$

Коэффициент амплитудной модуляции выходного напряжения

$$m_a = U_{ref}/U_d = U_{ref}^*$$

Кратность частоты коммутации

$$m_f = f_s/f = T/T_s$$

Выполняемые ПВ

$$\dot{V}_z = z \cdot U_d, \quad \dot{V}_z^* = z, \quad z \in \{-N, -N+1, \dots, -1, 0, 1, \dots, N-1, N\}.$$

Выходное напряжение инвертора

$$u_{AN}^* = u_1^* + u_2^* + u_3^*$$

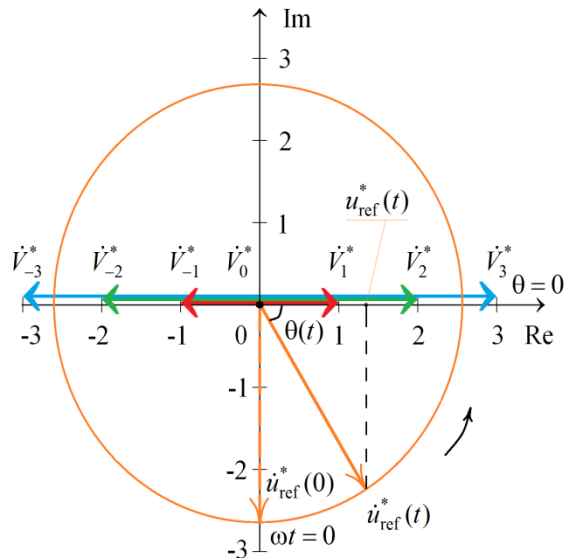


Рис. 2. ОПВН
7-уровневого МУИН

СУЩНОСТЬ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВЕКТОРНОЙ ШИМ ДЛЯ ОДНОФАЗНОГО МНОГОУРОВНЕВОГО ИНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ / ESSENCE OF NEW SPACE VECTOR PWM TECHNIQUE FOR SINGLE-PHASE MULTILEVEL VOLTAGE SOURCE INVERTER

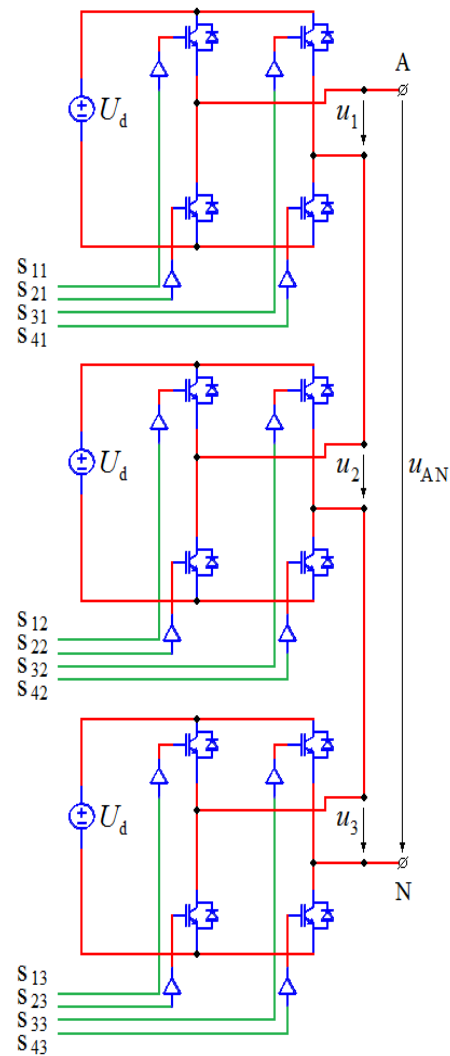


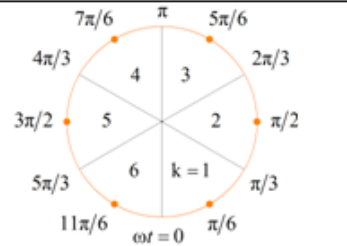
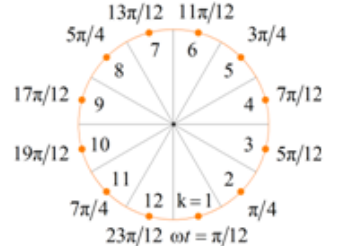
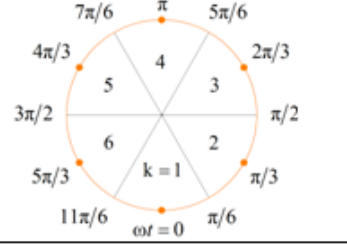
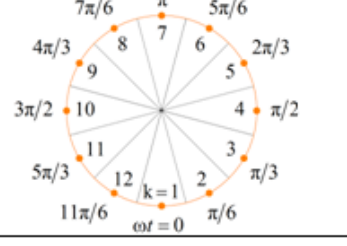
Таблица 1. Пространственные векторы напряжения семиуровневого каскадного Н-мостового инвертора.

Пространственные векторы напряжения	Комбинации нормированных напряжений Н-мостовых ячеек (u_1^*, u_2^*, u_3^*)
$\dot{V}_0^* = u_{AN}^* = 0$	$(0,0,0); (0,1,-1); (0,-1,1); (1,0,-1); (1,-1,0); (-1,0,1); (-1,1,0)$
$\dot{V}_1^* = u_{AN}^* = 1$	$(1,0,0); (1,1,-1); (1,-1,1); (0,1,0); (0,0,1); (-1,1,1)$
$\dot{V}_2^* = u_{AN}^* = 2$	$(1,1,0); (1,0,1); (0,1,1)$
$\dot{V}_3^* = u_{AN}^* = 3$	$(1,1,1)$
$\dot{V}_{-1}^* = u_{AN}^* = -1$	$(-1,0,0); (-1,1,-1); (-1,-1,1); (0,-1,0); (0,0,-1); (1,-1,-1)$
$\dot{V}_{-2}^* = u_{AN}^* = -2$	$(-1,-1,0); (-1,0,-1); (0,-1,-1)$
$\dot{V}_{-3}^* = u_{AN}^* = -3$	$(-1,-1,-1)$

СУЩНОСТЬ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВЕКТОРНОЙ ШИМ ДЛЯ ОДНОФАЗНОГО МНОГОУРОВНЕВОГО ИНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ / ESSENCE OF NEW SPACE VECTOR PWM TECHNIQUE FOR SINGLE-PHASE MULTILEVEL VOLTAGE SOURCE INVERTER

Особенности взятия отсчетов / Sampling Features

Table 2. Two versions of reference voltage sampling.

Version	Assigned equation of sampled reference voltage value u_{refsk}^*	Frequency modulation index m_f	Positions of $u_{ref}^*(t)$ samples
I	$m_a \cdot \sin \frac{\pi \cdot (2 \cdot k - 1)}{m_f}$	6	
		12	
II	$m_a \cdot \sin \frac{2 \cdot \pi \cdot (k - 1)}{m_f}$	6	
		12	

Нечетная симметрия

$-s(\omega t) = s(-\omega t)$

Полуволновая симметрия

$-s(\omega t) = s(\omega t \pm \pi)$



Четвертьволновая симметрия

$s(\pm\pi - \omega t) = s(\omega t)$

Это может привести к снижению уровня гармоник низкого порядка, поскольку косинусные компоненты в гармониках ряда Фурье сигнала отсутствуют.

СУЩНОСТЬ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВЕКТОРНОЙ ШИМ ДЛЯ ОДНОФАЗНОГО МНОГОУРОВНЕВОГО ИНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ / ESSENCE OF NEW SPACE VECTOR PWM TECHNIQUE FOR SINGLE-PHASE MULTILEVEL VOLTAGE SOURCE INVERTER

Формирование сигнала выходного напряжения / Output Voltage's Signal Shaping

Двухкомпонентный принцип Two-Component Principle

Подобно тому, как это было сделано в ранее предложенной авторской методике трехфазной ПВШИМ с четвертьволновой симметрией (ЧВС-ПВШИМ), здесь мы используем двухкомпонентное формирование результирующего мгновенного значения нормализованного выполняемого выходного напряжения - особого вида модулирующего сигнала, который принимает целочисленные значения как мгновенные значения нормализованного выполняемого пространственного вектора напряжения (ВПВН) $\dot{u}_{\text{exe}}^*(t)$ и воздействует на интерфейс управления ключами инвертора для получения масштабированного выходного напряжения (здесь показано как непосредственно выполняемое на интервале отсчета ШИМ k):

$$u_{\text{exek}}^*(t_{\text{sk}}) = \left\lfloor u_{\text{refsk}}^* \right\rfloor + f_{\text{exek}}(t_{\text{sk}})$$

где t_{sk} - текущее время от начала периода отсчета ШИМ с номером k , $t_{\text{sk}} = t - (k-1) \cdot T_s$; t - общее текущее время; $f_{\text{exek}}(t_{\text{sk}})$ - импульсная функция, принимающая только значения 0 и 1.

СУЩНОСТЬ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВЕКТОРНОЙ ШИМ ДЛЯ ОДНОФАЗНОГО МНОГОУРОВНЕВОГО ИНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ / ESSENCE OF NEW SPACE VECTOR PWM TECHNIQUE FOR SINGLE-PHASE MULTILEVEL VOLTAGE SOURCE INVERTER

Формирование сигнала выходного напряжения / Output Voltage's Signal Shaping

Двухкомпонентный принцип Two-Component Principle

Здесь, в отличие от техники трехфазной ЧВС-ПВШИМ, $f_{\text{exek}}(t_{\text{sk}})$ зависит от единственного опорного значения, а именно u_{refsk}^* , и имеет единственный импульс значения 1 на одном периоде отсчета ШИМ.

Чтобы соблюсти общий принцип вольт-секундного баланса, присущий всем типам ШИМ, для среднего за один период дискретизации T_s значения $f_{\text{exek_mean}}$ величины $f_{\text{exek}}(t_{\text{sk}})$ должно быть выполнено равенство:

$$f_{\text{exek_mean}} = u_{\text{refsk}}^* - \left\lfloor u_{\text{refsk}}^* \right\rfloor = \left\{ u_{\text{refsk}}^* \right\}.$$

Это легко достижимо здесь, так как $\left\lfloor u_{\text{refsk}}^* \right\rfloor$ и $\left\lfloor u_{\text{refsk}}^* \right\rfloor + 1$ являются координатами двух модулирующих пространственных векторов на вещественной оси на Рис. 2, и $\left\{ u_{\text{refsk}}^* \right\}$ является относительной длительностью действия вектора с координатой $\left\lfloor u_{\text{refsk}}^* \right\rfloor + 1$ (время его работы равно $\left\{ u_{\text{refsk}}^* \right\} \cdot T_s$).

СУЩНОСТЬ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВЕКТОРНОЙ ШИМ ДЛЯ ОДНОФАЗНОГО МНОГОУРОВНЕВОГО ИНВЕРТОРА НАПЯЖЕНИЯ / ESSENCE OF NEW SPACE VECTOR PWM TECHNIQUE FOR SINGLE-PHASE MULTILEVEL VOLTAGE SOURCE INVERTER

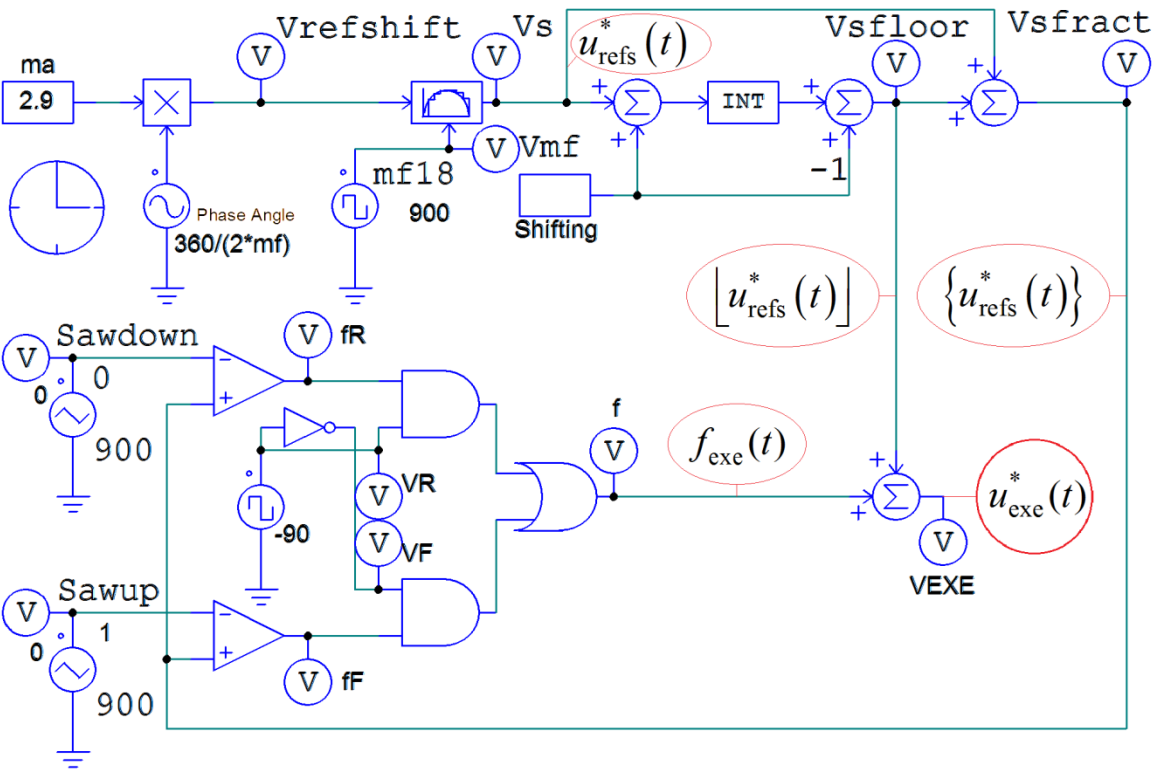
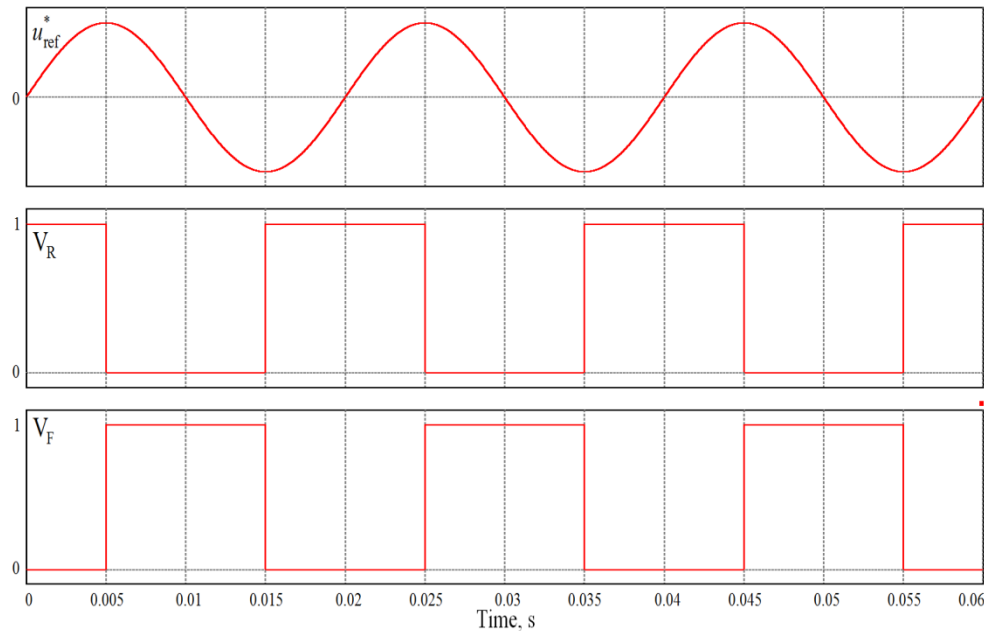
Формирование сигнала выходного напряжения / Output Voltage's Signal Shaping

Двухкомпонентный принцип

Two-Component Principle

Позиционирования импульса $f_{exek}(t_{sk})$

$f_{exek}(t_{sk})$ pulse positioning

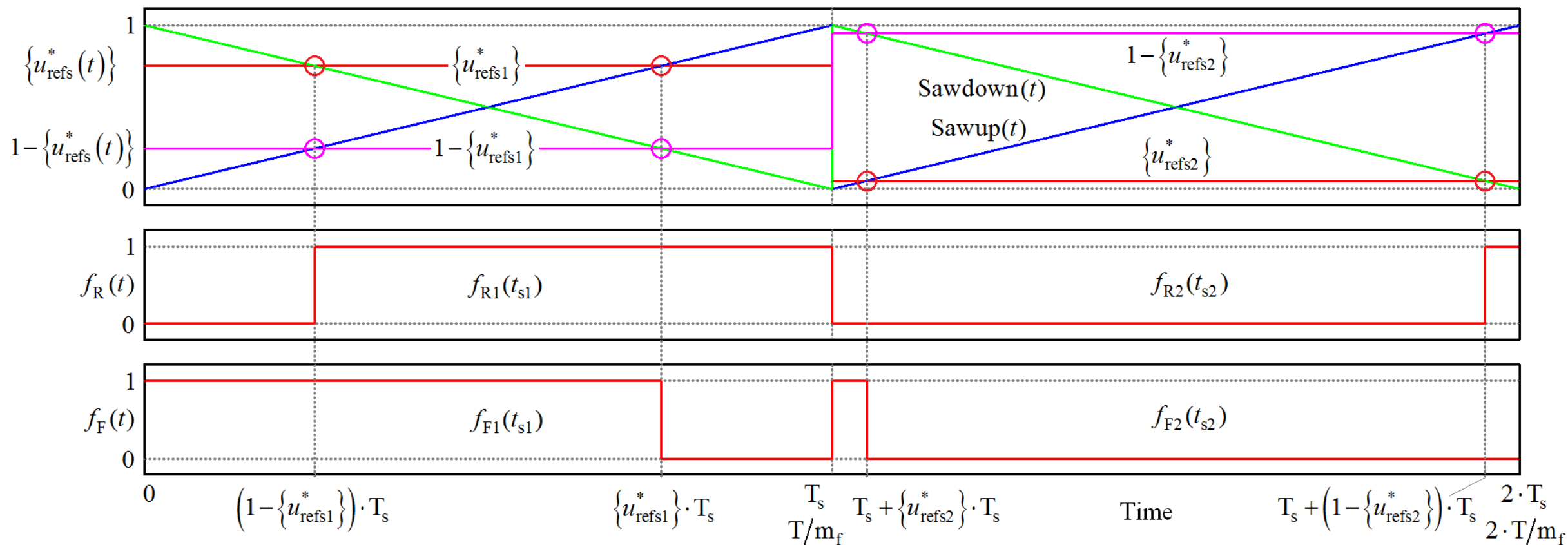


Сигналы для позиционирования / Positioning signals

Модулятор / MODULATOR

СУЩНОСТЬ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВЕКТОРНОЙ ШИМ ДЛЯ ОДНОФАЗНОГО МНОГОУРОВНЕВОГО ИНВЕРТОРА НАПЯЖЕНИЯ / ESSENCE OF NEW SPACE VECTOR PWM TECHNIQUE FOR SINGLE-PHASE MULTILEVEL VOLTAGE SOURCE INVERTER

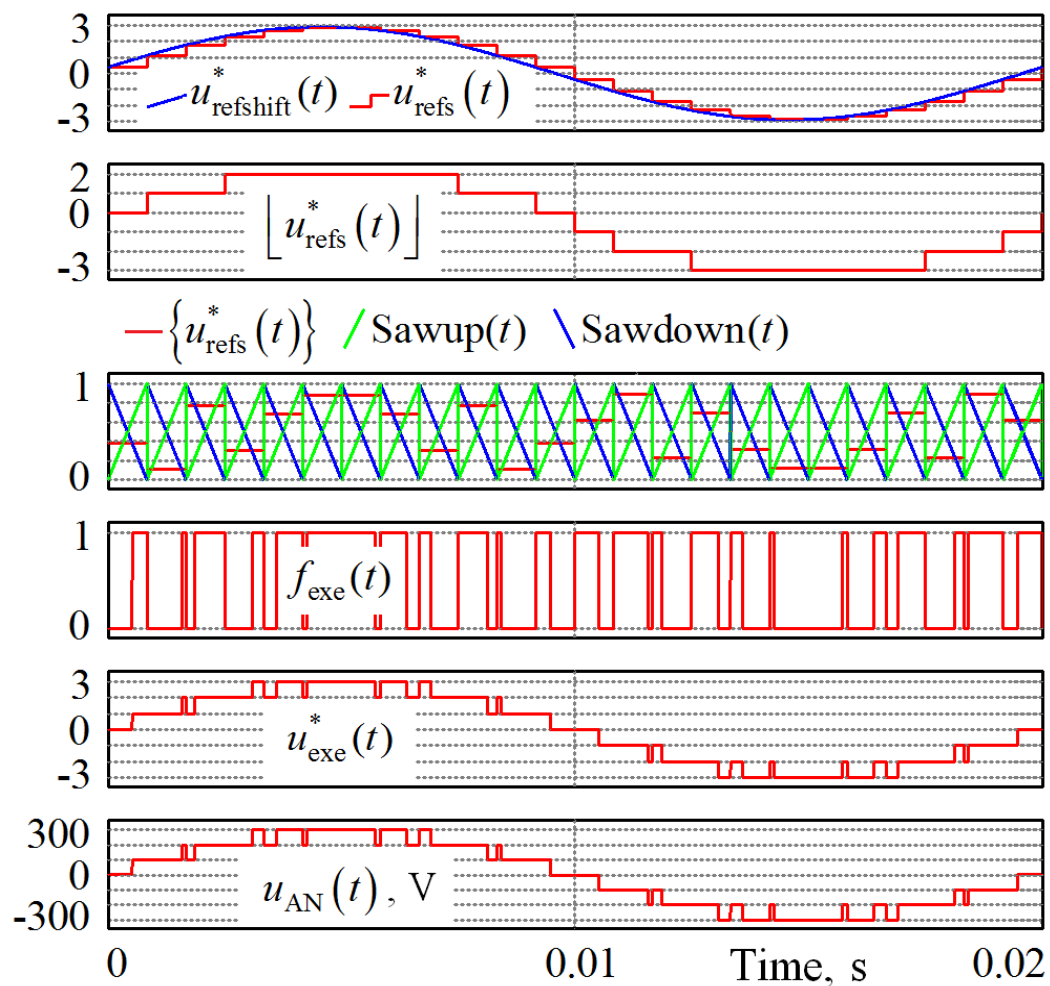
Формирование сигнала выходного напряжения / Output Voltage's Signal Shaping



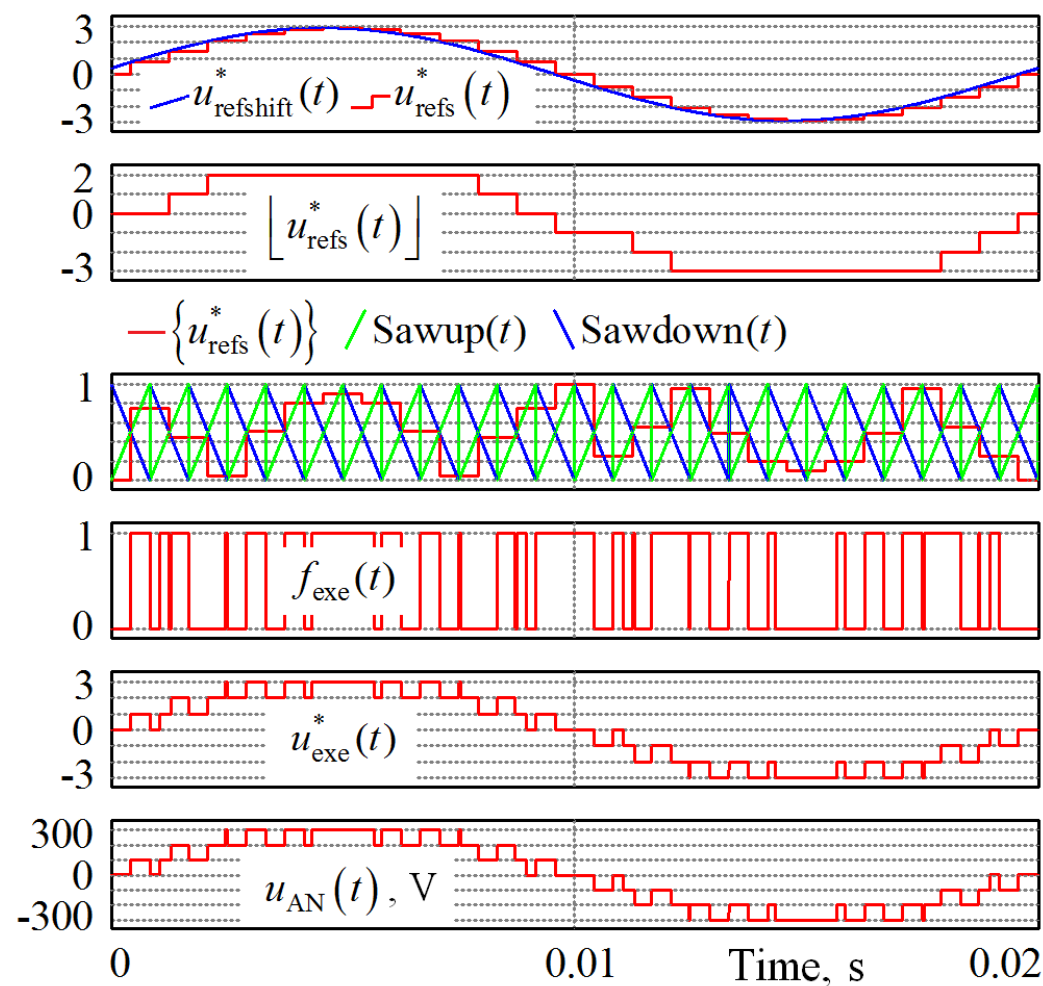
Генерирование импульсов $f_{\text{exe}}(t)$ / Pulses of $f_{\text{exe}}(t)$ generating

СУЩНОСТЬ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВЕКТОРНОЙ ШИМ ДЛЯ ОДНОФАЗНОГО МНОГОУРОВНЕВОГО ИНВЕРТОРА НАПЯЖЕНИЯ / ESSENCE OF NEW SPACE VECTOR PWM TECHNIQUE FOR SINGLE-PHASE MULTILEVEL VOLTAGE SOURCE INVERTER

Формирование сигнала выходного напряжения / Output Voltage's Signal Shaping



Version I

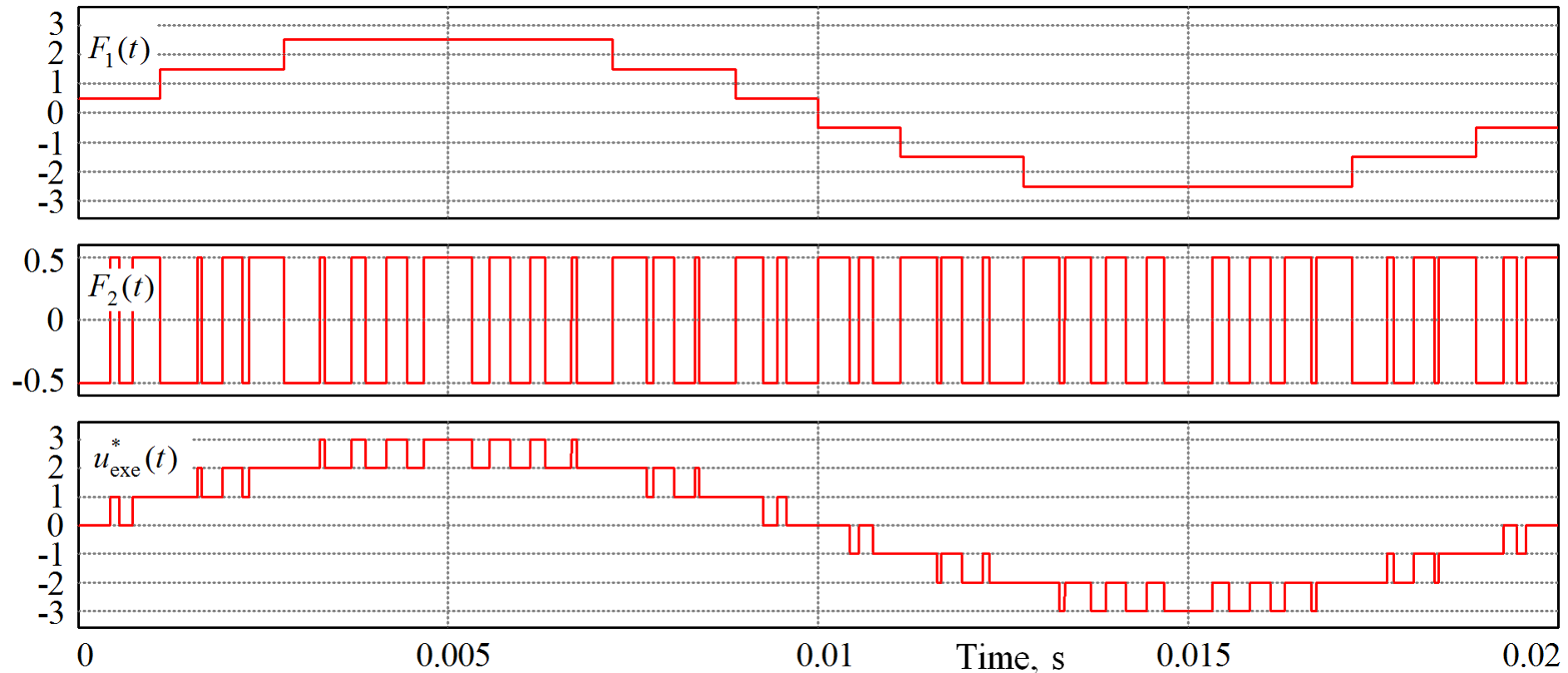


Version II

СУЩНОСТЬ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВЕКТОРНОЙ ШИМ ДЛЯ ОДНОФАЗНОГО МНОГОУРОВНЕВОГО ИНВЕРТОРА НАПЯЖЕНИЯ / ESSENCE OF NEW SPACE VECTOR PWM TECHNIQUE FOR SINGLE-PHASE MULTILEVEL VOLTAGE SOURCE INVERTER

Формирование сигнала выходного напряжения / Output Voltage's Signal Shaping

$$u_{\text{exe}}^*(t) = F_1(t) + F_2(t), \quad F_1(t) = \left\lfloor u_{\text{refs}}^*(t) \right\rfloor + 0.5, \quad F_2(t) = f_{\text{exe}}(t) - 0.5$$

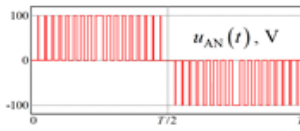
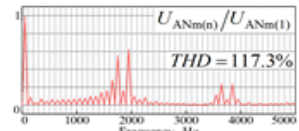
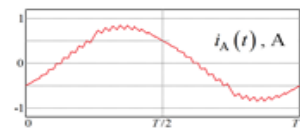
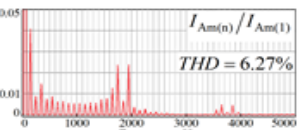
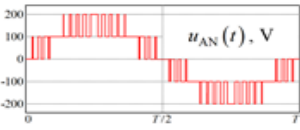
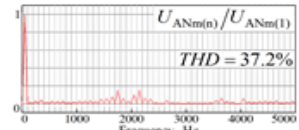
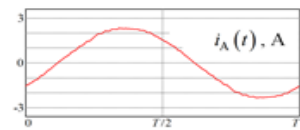
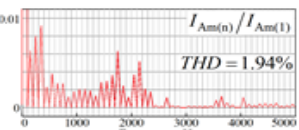
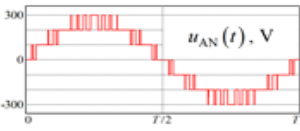
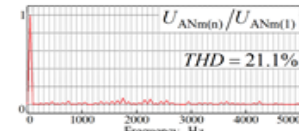
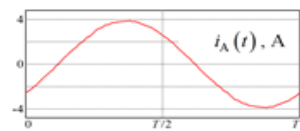
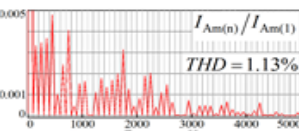


Декомпозиция формы сигнала выполняемого выходного напряжения в версии I / Decomposition of executed output voltage waveform of version I

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ / SIMULATION RESULTS

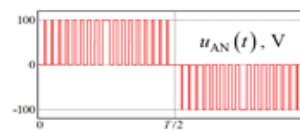
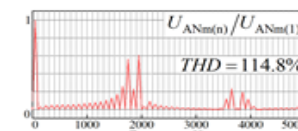
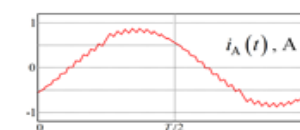
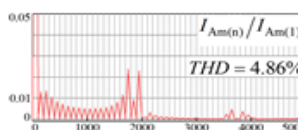
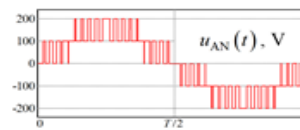
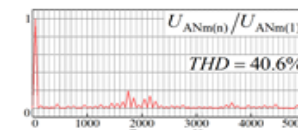
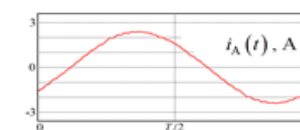
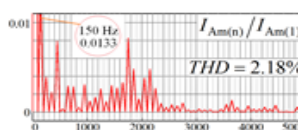
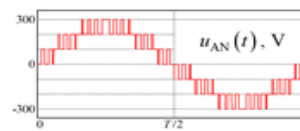
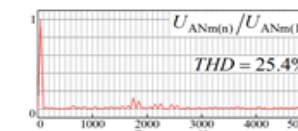
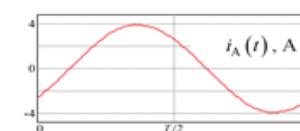
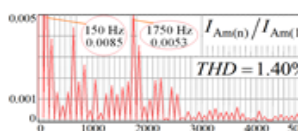
ТИПИЧНЫЕ ФОРМЫ СИГНАЛОВ, СПЕКТРЫ И ЗНАЧЕНИЯ THD НАПРЯЖЕНИЯ И ТОКА

Table 3. Waveforms, spectra and THD of version I of reference voltage sampling.

Amplitude modulation index m_a	Voltage and current waveforms	Voltage and current spectra
0.5	 $u_{AN}(t), V$	 $U_{ANm(n)}/U_{ANm(1)}$ $THD = 117.3\%$
	 $i_A(t), A$	 $I_{Am(n)}/I_{Am(1)}$ $THD = 6.27\%$
1.5	 $u_{AN}(t), V$	 $U_{ANm(n)}/U_{ANm(1)}$ $THD = 37.2\%$
	 $i_A(t), A$	 $I_{Am(n)}/I_{Am(1)}$ $THD = 1.94\%$
2.5	 $u_{AN}(t), V$	 $U_{ANm(n)}/U_{ANm(1)}$ $THD = 21.1\%$
	 $i_A(t), A$	 $I_{Am(n)}/I_{Am(1)}$ $THD = 1.13\%$

Вариант I

Table 4. Waveforms, spectra and THD of version II of reference voltage sampling.

Amplitude modulation index m_a	Voltage and current waveforms	Voltage and current spectra
0.5	 $u_{AN}(t), V$	 $U_{ANm(n)}/U_{ANm(1)}$ $THD = 114.8\%$
	 $i_A(t), A$	 $I_{Am(n)}/I_{Am(1)}$ $THD = 4.86\%$
1.5	 $u_{AN}(t), V$	 $U_{ANm(n)}/U_{ANm(1)}$ $THD = 40.6\%$
	 $i_A(t), A$	 $I_{Am(n)}/I_{Am(1)}$ $THD = 2.18\%$
2.5	 $u_{AN}(t), V$	 $U_{ANm(n)}/U_{ANm(1)}$ $THD = 25.4\%$
	 $i_A(t), A$	 $I_{Am(n)}/I_{Am(1)}$ $THD = 1.40\%$

Вариант II

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ / SIMULATION RESULTS

Conventional AC Total Harmonic Distortion (THD)

$$K_{hu} = \frac{U_{(hh)}}{U_{(1)}}$$

$$K_{hu} = \frac{\sqrt{U^2 - U_{(1)}^2}}{U_{(1)}} = \sqrt{\left(\frac{U}{U_{(1)}}\right)^2 - 1}$$

$$K_{hu} = \frac{\sqrt{U_{(hh)}^2}}{U_{(1)}} = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} U_{(k)}^2}}{U_{(1)}}$$

U , $U_{(k)}$, and $U_{(hh)}$ are the RMS values $\left(\sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T (\dots)^2 dt}\right)$ of the whole voltage signal u (including fundamental

component $u_{(1)}$), its k -order component $u_{(k)}$ and higher harmonics component $u_{(hh)}$, $u = u_{(1)} + u_{(hh)}$

n-Order Integrated Voltage Harmonics Factor (IHF)

$$\overline{K}_{hu}^{(n)} = WTHD^{(n)} = \frac{\overline{U}_{(hh)}^{(n)}}{\overline{U}_{(1)}^{(n)}} = \frac{\overline{U}_{(hh)}^{(n)} \cdot \omega^n}{U_{(1)}}$$

Prof. G.S. Zinoviev (NSTU, Novosibirsk), before the year 1990

$$\overline{K}_{hu}^{(n)} = \frac{\sqrt{\left(\overline{U}^{(n)}\right)^2 - \left(\overline{U}_{(1)}^{(n)}\right)^2}}{U_{(1)}/\omega^n} = \sqrt{\left(\frac{\overline{U}^{(n)} \cdot \omega^n}{U_{(1)}}\right)^2 - 1}$$

$$\overline{K}_{hu}^{(n)} = \frac{\sqrt{\left(\overline{U}_{(hh)}^{(n)}\right)^2}}{U_{(1)}/\omega^n} = \sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} \left(\frac{U_{(k)}}{k^n \cdot U_{(1)}}\right)^2}$$

$\overline{U}^{(n)}$, $\overline{U}_{(1)}^{(n)}$, $\overline{U}_{(hh)}^{(n)}$ are the RMS of
 $\overline{u}^{(n)}$, $\overline{u}_{(1)}^{(n)}$, $\overline{u}_{(hh)}^{(n)}$ $\overline{u}^{(n)} = \int \dots \left(\int u dt\right) \dots dt$,
 $\overline{u}^{(n)} = \overline{u}_{(1)}^{(n)} + \overline{u}_{(hh)}^{(n)}$ n times

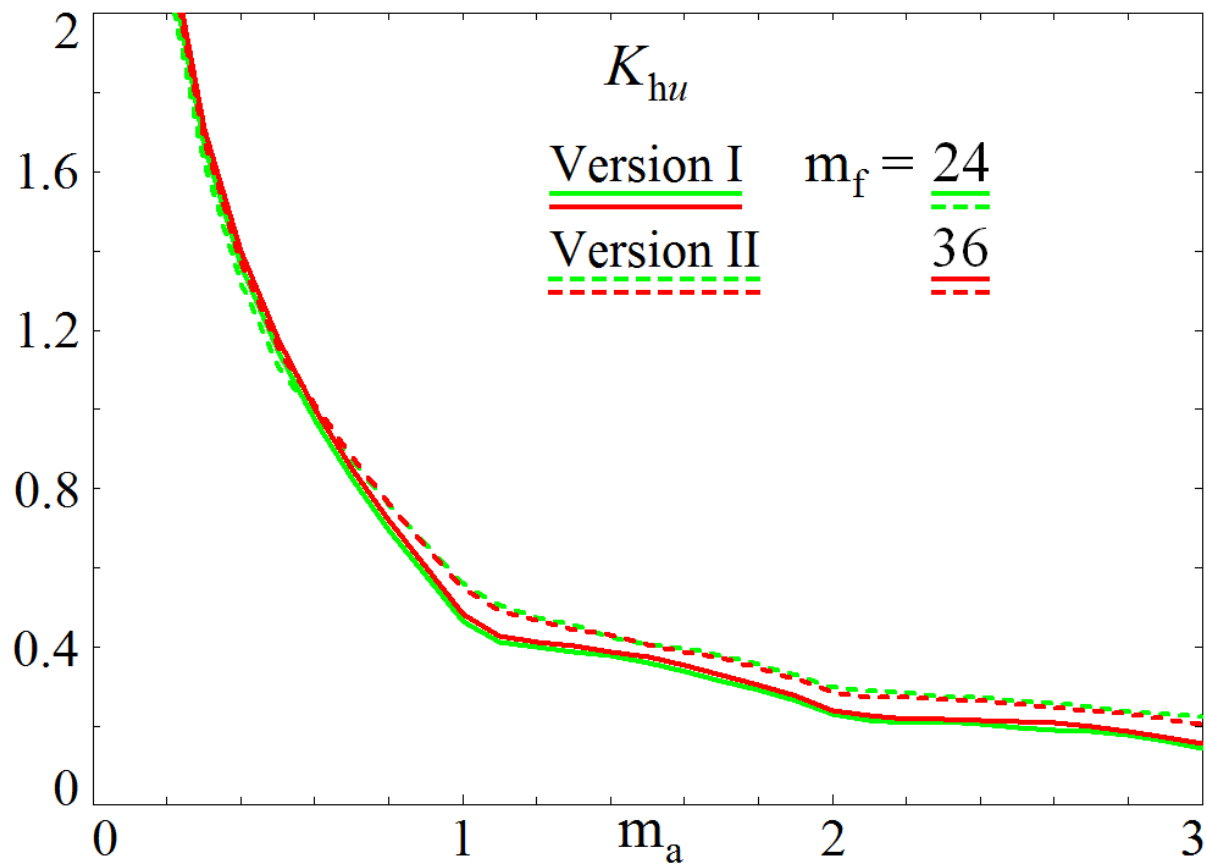
The particular case

Holmes, D.G., Lipo, T.A., about 2000

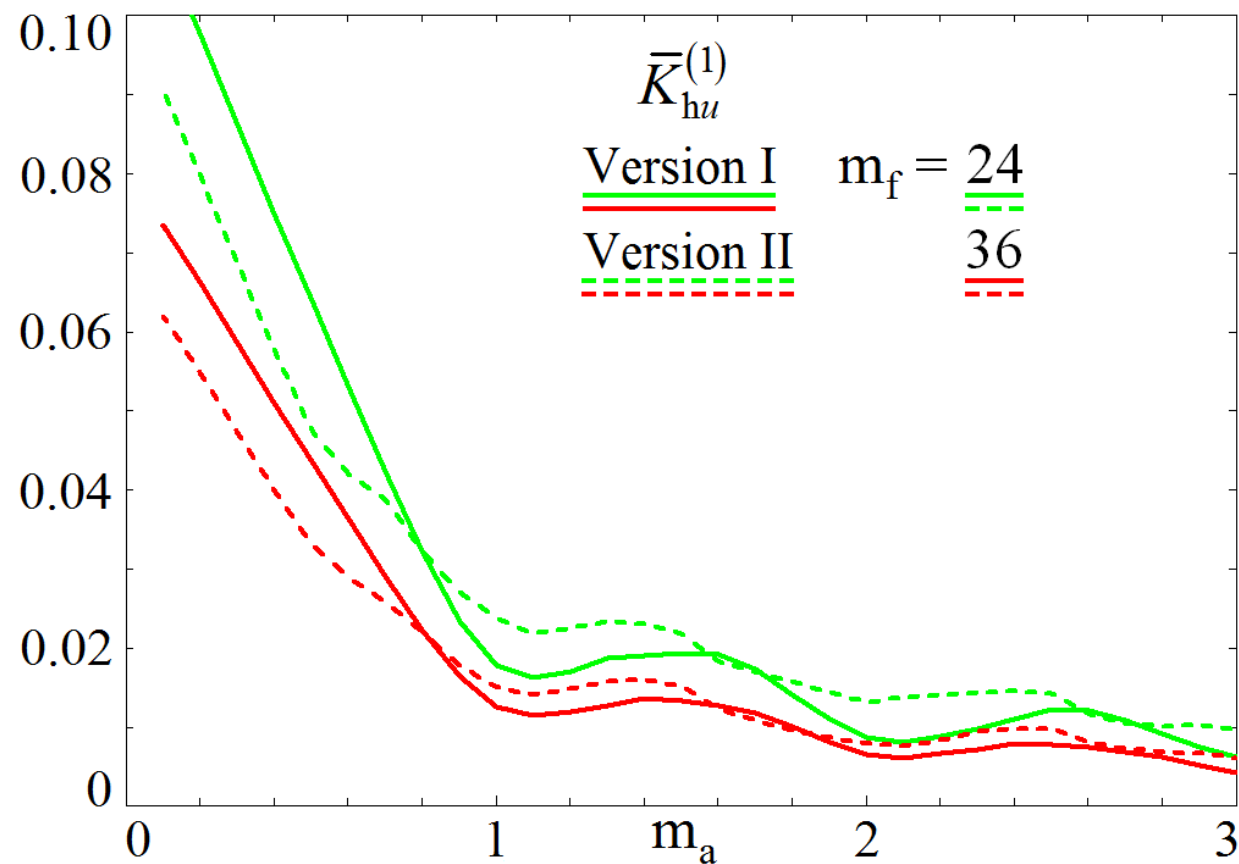
$$WTHD^{(1)} = \sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} \left(\frac{U_{(k)}}{k \cdot U_{(1)}}\right)^2}$$

РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ / SIMULATION RESULTS

Зависимости THD и взвешенного THD от коэффициента амплитудной модуляции / THD AND WEIGHTED THD DEPENDENCES ON AMPLITUDE MODULATION INDEX



THD



Взвешенный THD первого порядка

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

✓ Предложен новый и простой пространственно-векторный алгоритм ШИМ для однофазного многоуровневого инвертора напряжения любой произвольной топологии с любым произвольным нечетным числом генерируемых уровней напряжения для получения формы сигнала напряжения с четвертьволновой симметрией. Простота метода достигается в значительной степени за счет использования целых и дробных частей нормированных отсчетов опорного напряжения в качестве координат и относительных времен действия модулирующих векторов, соответственно.

✓ Проверка предложенного алгоритма была проведена на модели пакета PSIM. Следует отметить, что нет необходимости усложнять алгоритм и изменять схему модулятора при увеличении количества уровней МУИН.

✓ Этот метод может помочь улучшить качество выходной энергии без снижения КПД инвертора, поскольку он позволяет получить приемлемое качество выходного тока в активно-индуктивных нагрузках даже при малых значениях частотного коэффициента модуляции ШИМ (и, следовательно, небольших динамических потерях мощности в ключах). Методика перспективна для однофазных многоуровневых инверторов с достаточно большим числом источников постоянного напряжения, когда качество выходной мощности значительно повышается. В частности, рассматриваемое управление может быть востребовано для инверторов, интегрированных с фотоэлектрическими системами.

CONCLUSION

- ✓The new and simple space vector PWM algorithm for single-phase multilevel voltage source inverter of any arbitrary topology with any arbitrary odd number of generated voltage levels is offered to produce a quarter-wave-symmetric voltage waveform. The simplicity of the technique is achieved largely due to using the integer and fractional parts of the reference voltage normalized samples as the coordinates and duty cycles of the modulating vectors, respectively.
- ✓The verification of the proposed algorithm has performed on the PSIM package model. Should be noticed, that there is no need to complicate the algorithm and change the modulator circuit while the number of MLVSI levels is increasing.
- ✓This technique can help to improve the output energy quality without reducing the inverter efficiency, since it allows obtaining an acceptable quality of output current in active-inductive loads even with small values of the PWM frequency modulation index (and hence small dynamic power losses in the switches). The technique is promising for single-phase multilevel inverters with enough high number of supplying equal DC voltage sources, when the quality of the output power increases significantly. In particular, the considered control can be in demand for inverters integrated with photovoltaic systems.

Спасибо за внимание!

Thank you for your attention!

Welcome to Altai



Росрыболовство



КГТУ



- ❑ **Editor in Chief:** Prof. Dr. Sergei D. Odintsov
- ❑ **Symmetry** is an **international, peer-reviewed, open access** journal covering research on symmetry/asymmetry phenomena wherever they occur in all aspects of natural sciences.
- ❑ **High Visibility:** Indexed within **Scopus, SCIE (Web of Science), CAPus / SciFinder, Inspec**, and many other databases.
- ❑ **Journal Rank:** JCR - Q2 (Multidisciplinary Sciences) / CiteScore - Q1 (General Mathematics)
- ❑ **Awards**

Symmetry also offers some awards for Best Papers, reviewers and authors, for example:

- Symmetry 2023 Best Paper Award
- Symmetry 2022 Outstanding Reviewer Awards (500 CHF)
- Symmetry 2022 Young Investigator Award (2,000 CHF)
- Symmetry 2022 Best Ph.D. Thesis Award (500 CHF)
- etc.

<https://www.mdpi.com/journal/symmetry/awards>



Special Issue "Symmetry/Asymmetry in Power Electronics"

- ❑ **Guest Editor: Dr. Nikolay N. Lopatkin and Prof. Dr. Aleksey V. Udovichenko**
- ❑ Deadline for manuscript submissions: 31 December 2023.
- ❑ The Guest Editors call for papers devoted to power quality and its indicators, conductive types of electromagnetic compatibility, balanced three-phase and any poly-phase power generation, multilevel circuitry and control of inverters and converters, distributed generation's architecture and control, interleaved circuits' forming and control, bidirectional active power flow, and improved algorithms for power electronics' systems control. Ideas around employing symmetry/asymmetry should be properly highlighted.



Scan the QR code to access my Special Issue!

https://www.mdpi.com/journal/symmetry/special_issues/symmetry_power_electronics

