

УДК 621.314

**ФОРМИРОВАНИЕ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ МНОГОУРОВНЕВОГО ИНВЕРТОРА НА БАЗЕ ОРТОГОНАЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ**

**Т.А.Терещенко, докт.техн.наук, В.А.Беженар,**  
**Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,**  
**пр. Победы, 37, Киев, 03056, Украина.**

*Предложен алгоритм формирования выходного напряжения многоуровневого инвертора на базе ортогональных преобразований – Уолша, Хартли, преобразования в ориентированном базисе (ОБ) и обобщенного ОБ-преобразования. Оценены достоинства и недостатки полученных схем инверторов с суммированием выходных напряжений инверторных ячеек в общем контуре с точки зрения частоты переключения ключей и коэффициента нелинейных искажений. Библи. 3, рис. 1.*

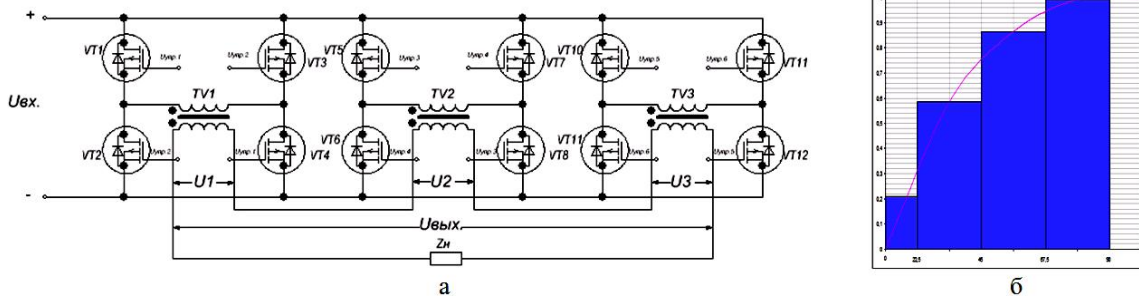
**Ключевые слова:** инвертор напряжения, дискретные ортогональные преобразования.

**Введение.** В настоящее время высоковольтные полупроводниковые приборы характеризуются значительными потерями на переключение, что ограничивает их частотный диапазон и делает неэффективным использование в процессе формирования напряжения метода ШИМ. Потому актуальной задачей является поиск новых алгоритмов при минимизации количества переключений ключей, в частности, методов формирования ступенчатого напряжения путем суммирования напряжений инверторных ячеек в общем контуре [1,2].

**Формирование ступенчатого напряжения на базе преобразования Уолша.** Перспективным методом синтеза преобразователей электрической энергии является использование ортогональных базисов. Исследования в этой области были начаты в конце 70-х годов XX века. В работе [2] показана возможность реализации многоуровневого инвертора, состоящего из нескольких инверторных ячеек, каждый из которых реализует одну из функций Уолша. Коэффициенты трансформации определяются представлением квазисинусоидального ступенчатого сигнала в виде полинома Уолша. Например, полином Уолша 4-го порядка

$$f(t) = 0,637wal(1,t) - 0,264wal(2,t) - 0,127wal(3,t) - 0,052wal(4,t) \quad (1)$$

содержит четыре функции Уолша, причем весовые коэффициенты при аппроксимирующих функциях высоких порядков отличаются от весового коэффициента при основной гармонике данного полинома, по крайней мере, на один-два порядка, что позволяет с некоторыми допущениями пренебречь ими. В выражении (1) пренебрежем четвертым слагаемым. Тогда схема инвертора будет состоять из трех инверторных ячеек, например, мостовых (рис. 1, а) с суммированием напряжений в общем контуре, причем коэффициенты трансформации численно равны значениям коэффициентов выражения (1). Форма напряжения на нагрузке на  $\frac{1}{4}$  периода выходного напряжения показана на рис. 1, б.



**Рис. 1**

**Формирование ступенчатого напряжения на базе ортогональных преобразований.** В настоящее время получили развитие методы спектрального анализа дискретных функций на конечных интервалах [3]. Проанализируем возможность их использования для формирования квазисинусоидального сигнала. Рассмотрим лишь те преобразования, базисные функции которых – целочисленные значения (0, 1, -1) и легко могут быть реализованы в схеме рис. 1, а. Таким условиям удовлетворяют преобразования Хартли на интервале  $N=3$ , преобразование в ориентированном базисе (ОБ) на интервале  $N=3^n$  и обобщенное преобразование в ориентированном базисе на интервале  $N=3^{n1}2^{n2}$ . Минимальной частоте переключения вентилям соответствуют преобразования Хартли и ОБ при  $N=3$  и обобщенное ОБ при  $N=6$ .

Аналогично предыдущему методу на основе преобразования Уолша определим следующий порядок синтеза ступенчатого напряжения многоуровневого инвертора на базе ортогональных преобразований: разложение ступенчатого напряжения в ортогональный ряд (Хартли, ОБ, обобщенного ОБ) прямого преобразования; синтез ступенчатого напряжения по формуле обратного преобразования; упрощение формулы путем отбрасывания составляющих с малыми весовыми коэффициентами; реализация базисных функций обратного преоб-

разования инверторными ячейками, а значений спектральных составляющих – амплитудой питающего напряжения ячеек или коэффициентами трансформации.

Для преобразования Хартли ступенчатое напряжение описывается формулой

$$f(t) = 0,708 \text{ har}(1, t) - 0,283 \text{ har}(2, t) - 0,74 \text{ har}(3, t); \quad (2)$$

для обобщенного преобразования в ориентированном базисе справедливо

$$f(t) = 0,638 \text{ ob}(1, t) - 0,264 \text{ ob}(2, t) - 0,162 \text{ ob}(3, t), \quad (3)$$

где функции обратного преобразования *har* и *ob* принимают значения (1,-1,-1); (1,0,1); (1,1,1) и (-1,1,1); (1,-1,0); (1,-1,1); (1,1,-1); (1,1,0); (1,1,1). Выходные напряжения на нагрузке для рассмотренных случаев содержат три и шесть ступеней на ¼ периода выходного напряжения соответственно.

Значения коэффициента нелинейных искажений для ступенчатого напряжения по способу Уолша составляет 26%, по способу ОБ – 22%, по способу обобщенного ОБ – 13%. Схема силовой части во всех трех случаях одинакова, изменяется лишь алгоритм управления ключами для реализации базисных функций преобразования.

**Выводы.** Формирование выходного напряжения многоуровневого инвертора на базе ортогональных преобразований обеспечивает возможность использования недорогих стандартных электронных компонентов при максимальной экономической эффективности. Использование ОБ преобразования для синтеза схемы инвертора характеризуется более низким уровнем гармонических искажений выходного напряжения по сравнению с преобразованием Уолша при уменьшении частоты переключения ключей в 1,25 раза.

Наиболее низкий коэффициент нелинейных искажений (13%) обеспечивает схема на основе обобщенного ОБ-преобразования без увеличения числа инверторных ячеек, однако частота переключения ключей при этом возрастает в 1,5 раза.

1. Анисимова Т.В., Данилина А.Н., Крючков В.В. Способы повышения качества выходного напряжения инверторов со ступенчатым выходным напряжением // Вестник МАИ. – 2009. – №1. – С. 103–112.

2. Солодовников А.И. Анализ и синтез статических преобразователей частоты с использованием ортогональных базисов: Дис. канд. тех. наук. – Киев, 1979. – 385 с.

3. Жуikov В.Я., Терещенко Т.А., Петергеря Ю.С. Дискретные спектральные преобразования на конечных интервалах. – К.: НТУУ «КПИ», 2010. – 244 с.

УДК 621.314

**ФОРМУВАННЯ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ БАГАТОРІВНЕВОГО ІНВЕРТОРА НА БАЗІ ОРТОГОНАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ**

**Т.О.Терещенко**, докт.техн.наук, **В.А.Беженар**,

**Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»**,

**пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна.**

*Запропоновано алгоритм формування вихідної напруги багаторівневого інвертора на базі ортогональних перетворень – Уолша, Хартли, перетворення в орієнтованому базисі (ОБ) та узагальненого ОБ-перетворення. Оцінено переваги і недоліки отриманих схем інверторів з додаванням вихідних напруг інверторних комірок у спільному контурі з точки зору частоти переключення ключів і коефіцієнта нелінійних спотворень. Бібл. 3, рис. 1.*

**Ключові слова:** інвертор напруги, дискретні ортогональні перетворення.

**MULTILEVEL INVERTER OUTPUT VOLTAGE GENERATION BASED ON ORTHOGONAL CONVERSION**

**T.O. Tereshchenko, V.A. Bezhenar,**

**National Technical University of Ukraine "KPI",**

**Peremogy, 37, Kyiv, 03056, Ukraine.**

*An algorithm is proposed for the forming of multilevel inverter output voltage based on orthogonal transforms - Walsh, Hartley, transform at oriented basis (OB) and extended OB-transform. The advantages and disadvantages of obtained multilevel inverter schemes are evaluated from the point of switching frequency and total harmonic distortion. References 3, figure 1.*

**Key words:** multilevel inverter, discrete orthogonal transforms.

1. Anisimova T.V., Danilina A.N., Kriuchkov V.V. Methods to improve output voltage of multilevel inverters // Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta. – 2009. – №1. – Pp. 103–112. (Rus)

2. Solodovnikov A.I. Analysis and synthesis static frequency converters using orthogonal bases: Dis. PhD. – Kyiv, 1979. – 385 p. (Rus)

3. Zhuikov V.Ya., Tereshchenko T.A., Petergeria Yu.S. Discrete spectral transform on finite intervals. – Kyiv: National Technical University of Ukraine "KPI", 2010. – 244 p. (Rus)

Надійшла 12.01.2012

Received 12.01.2012