

Рис. 2. Сравнение алгоритмов. а) эталонное изображение; б) алгоритм с дискретизацией прямой; в) алгоритм с выбором минимального расстояния

Заключение

Алгоритмы обратного проецирования действительно могут применяться для реконструкции кристаллических решеток. Модификации процедур восстановления в ряде случаев позволяют увеличить точность реконструкции объекта. Кристаллическая решетка, являясь, по сути, множеством узлов, хорошо сочетается с алгоритмами, работающими с множеством точек, а не с сетками прямых.

Таким образом, методы трёхмерной реконструкции кристаллических решеток по проекциям позволяют получать изображения решеток для их дальнейшего исследования. Качество алгоритма может определяться не только точностью и скоростью работы, но также и устойчивостью к шумам и случайным трансформациям эталонной кристаллической решетки.

Литература

1. Кларк, Э. Р. Микроскопические методы исследования материалов / Э. Р. Кларк, К. Н. Эберхардт. – М.: Техносфера, 2007. – 367 с.
2. Куприянов, А.В. О наблюдаемости кристаллических решеток по изображениям их проекций [Текст] / А.В. Куприянов, В.А. Соيفер // Компьютерная оптика. – 2012. – Т. 36, № 2. – С. 249-256.
3. Куприянов А.В. Оценка меры схожести кристаллических решеток по координатам их узлов в трехмерном пространстве [Текст] / А.В. Куприянов, Д.В. Кириш // Компьютерная оптика. – 2012. – Т. 36, № 4. – С. 590-595.

А. Г. Юдинцев

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕХФАЗНОГО ИНВЕРТОРА С ВЕКТОРНОЙ ШИМ

(Национальный исследовательский Томский политехнический университет,
Научно-исследовательский институт Автоматики и электромеханики Томского
государственного университета систем управления и радиоэлектроники)

В настоящее время, несмотря на развитый рынок готовых решений трёхфазных автономных преобразователей, изготавливаемых для питания оборудования электропривода переменного тока, а также для систем электропитания



различных ответственных потребителей, существует огромный пласт технических задач, решить которые, с помощью предлагаемого рядом зарубежных фирм готового оборудования, становится невозможным по техническому несоответствию с требованиями заказчика. А также, существует необходимость обеспечения оборонной промышленности страны отечественными разработками. В связи с этим, сегодня крайне актуальными являются исследования и разработка трехфазных автономных инверторов напряжения (АИН), применяемых в авиа-космической технике и оборудовании морского базирования. Одним из краеугольных камней на этапе разработки АИН является система управления – алгоритм реализуемый системой и микропроцессорная структура, с помощью которой этот алгоритм обеспечивается.

АИН представляет собой силовую преобразовательную матрицу (рис.1), состоящую из полупроводниковых ключей (S_1 - S_6), которая питается от идеального источника постоянного напряжения (E_d) и управляется системой управления (СУ) в соответствии с алгоритмом, с целью обеспечения переменным трехфазным напряжением всевозможной нагрузки (Z_H).

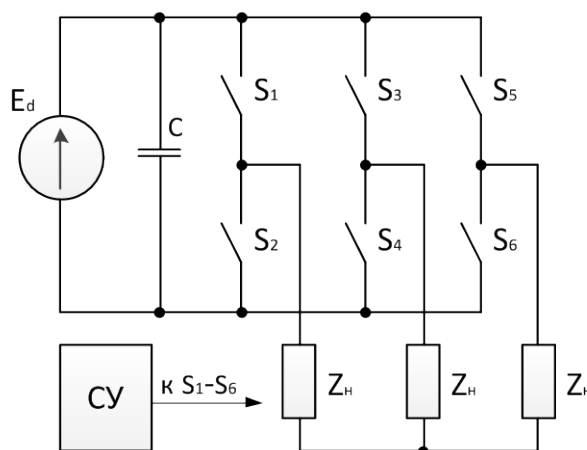


Рис. 1. Трёхфазный автономный инвертор напряжения

Разработка системы управления трехфазным АИН начинается с выбора алгоритма управления и его математической реализации на модели, с целью проверки корректности выбранных коэффициентов, входных и выходных параметров, а также для обеспечения наглядности протекания электромагнитных процессов и более глубокого их понимания. В связи с этим, наиболее полезной является разработка модели в виде математических выражений (например в среде MathCAD).

На сегодня разработано множество алгоритмов управления трехфазными АИН [1], но с развитием микропроцессорной техники, широкое применение получили алгоритмы векторной широтно-импульсной модуляции (ШИМ) [2]. При реализации этой разновидности ШИМ, дважды за период выходной частоты каждая фаза инвертора становится неуправляемой и коммутация силовых



ключей в ней не происходит. Для каждой фазы выходного напряжения, которое можно представить в виде синусоид заданных дискретными отсчетами n

$$A_n := \sin(\theta_n) \quad B_n := \sin\left(\theta_n - \frac{2\pi}{3}\right) \quad C_n := \sin\left(\theta_n + \frac{2\pi}{3}\right)$$

дважды за период выходной частоты, наступает интервал равный $\frac{\pi}{6}$, когда значение напряжения этой фазы максимально по модулю (Рис.2). Согласно алгоритму векторной ШИМ, на время этого интервала соответствующий ключ (S1-S6), должен оставаться открытым.

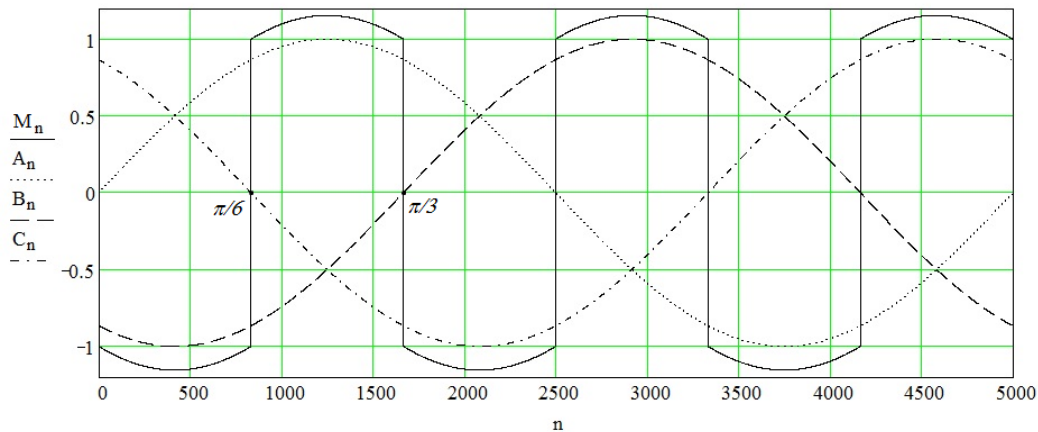


Рис. 2. Трехфазная система напряжений, представленная в виде дискретных отсчетов n

Сигнал предмодуляции $Pred_n$, который подмешивается в управляющие эталонные синусоиды, опишем следующими выражениями:

$$M_n := \text{if}\left[\left(A_n\right)^2 > \left(B_n\right)^2, \text{if}\left[\left(A_n\right)^2 > \left(C_n\right)^2, A_n, C_n\right], \text{if}\left[\left(B_n\right)^2 > \left(C_n\right)^2, B_n, C_n\right]\right] \cdot \frac{km}{\cos\left(\frac{\pi}{6}\right)}$$

$$p_n := \text{if}\left(\sin\left(3 \cdot \theta_n - \pi\right) > 0, 1, -1\right)$$

$$Pred_n := p_n - M_n$$

Тогда, управляющие сигналы с предмодуляцией третьей гармоникой, при коэффициентах модуляции $k_m=1$ и $k_m=0,7$, примут вид (рис. 3, 4):

$$pA_n := \left(A_n \cdot \frac{km}{\cos\left(\frac{\pi}{6}\right)}\right) + Pred_n \quad pB_n := \left(B_n \cdot \frac{km}{\cos\left(\frac{\pi}{6}\right)}\right) + Pred_n \quad pC_n := \left(C_n \cdot \frac{km}{\cos\left(\frac{\pi}{6}\right)}\right) + Pred_n$$

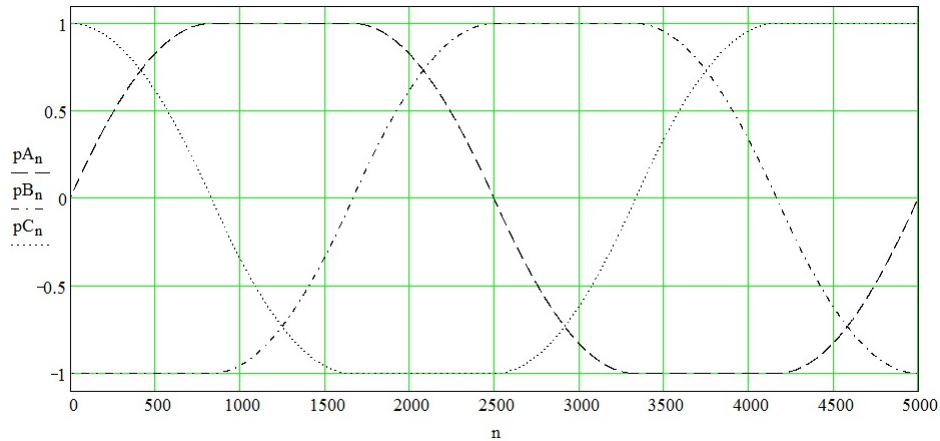


Рис. 3. Управляющие сигналы предмодулированные 3-й гармоникой при коэффициенте модуляции $k_m=1$

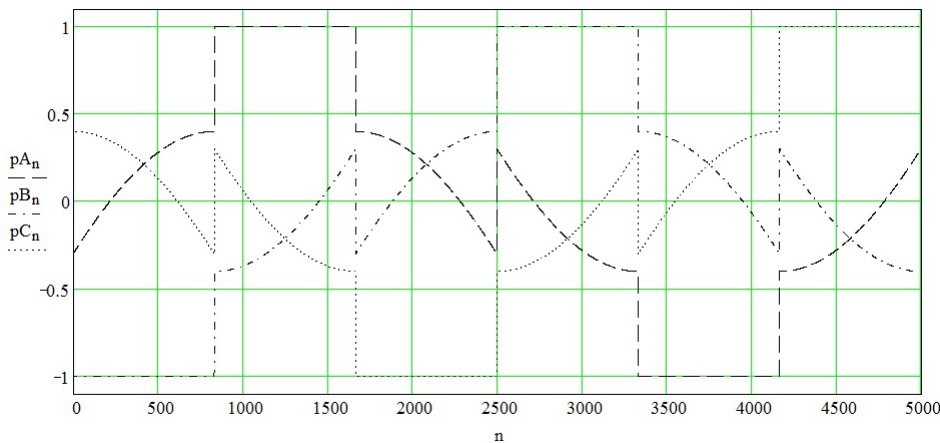


Рис. 4. Управляющие сигналы предмодулированные 3-й гармоникой при коэффициенте модуляции $k_m=0,7$

Для получения суммарного сигнала управления силовыми ключами, необходимо промодулировать сигналы управления опорным пилообразным напряжением, которое можно выразить как

$$r_n := \frac{2}{\pi} \cdot \text{asin} \left[\sin \left[\left(\theta_n \cdot A \right) - \frac{\pi}{2} \right] \right]$$

Тогда модулированные сигналы управления фазами примут вид (рис. 5).

$$mA_n := \text{if}(pA_n > r_n, 1, 0) \quad mB_n := \text{if}(pB_n > r_n, 1, 0) \quad mC_n := \text{if}(pC_n > r_n, 1, 0)$$

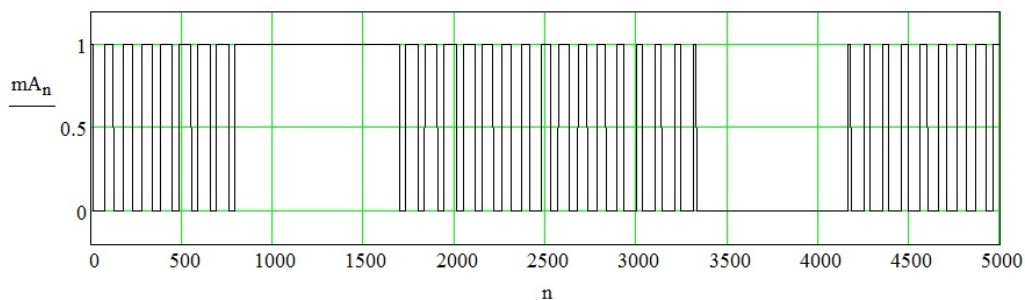


Рис. 5. Широтно-модулированный сигнал по фазе А



Фазные напряжения выхода инвертора определяются следующим образом, (вид фазы А представлен на рис. 6)

$$u_{A_n} := \left[\frac{2 \cdot E \cdot (mA_n)}{3} \right] - \left(\frac{E \cdot mB_n}{3} \right) - \left(\frac{E \cdot mC_n}{3} \right)$$

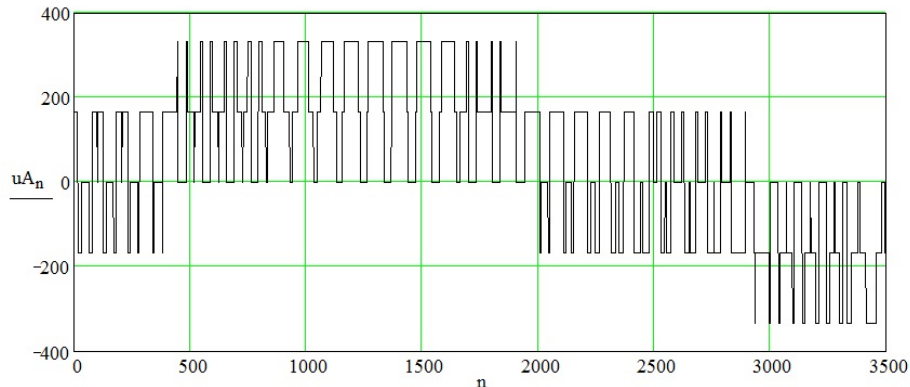


Рис. 6. Выходное напряжение фазы А

Построение подобных моделей позволяет построить выходную характеристику 3-х фазного инвертора в зависимости от коэффициента модуляции k_m , получить относительные длительности ширины управляющих импульсов для дальнейшего использования при физическом эксперименте, а также наглядно рассмотреть электромагнитные процессы в инверторе, при изменении входных данных (напряжение питания моста, значение k_m).

Литература

1. Мелешин В. И. Управление транзисторными преобразователями электроэнергии / В. И. Мелешин, Д. А. Овчинников – Москва: «Техносфера», 2011. – 576 с.
2. Чаплыгин Е. Е. Спектральное моделирование преобразователей с широтно-импульсной модуляцией. Учебное пособие по курсу «Моделирование электронных устройств и систем» / Е. Е. Чаплыгин – Москва: Изд-во МЭИ, 2009. – 56 с.

Д.Е. Яблоков

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОБОБЩЕННЫХ КОНЦЕПЦИЙ В ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ЯЗЫКАХ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

(Самарский государственный университет)

Сфера компьютерных наук, которая возникла сравнительно недавно, проделала стремительное развитие от состояния, когда в ней был занят лишь небольшой круг специалистов, до состояния, когда речь идет о повсеместном использовании компьютерных технологий и связанных с ними результатов исследований в той или иной предметной области. Быстрый рост этого направления