

УДК 621.3

DOI: 10.30987/conferencearticle_61c997eee93d06.85734365

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ АВТОНОМНЫМ ИНВЕРТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Николай Валентинович Чуприна

Брянский государственный технический университет, аспирант
Российская Федерация, Брянск, nikochuprina212@yandex.ru

Аннотация. Проведен краткий обзор электроприводов переменного тока, применяемых в промышленности и на транспорте. Приведены результаты сравнения систем управления автономным инвертором напряжения, входящим в электропривод с асинхронным или синхронным двигателем.

Ключевые слова: автономный инвертор напряжения, модуляция, тяговый электропривод, асинхронный двигатель, синхронный двигатель.

COMPARATIVE ANALYSIS OF CONTROL SYSTEMS FOR A VOLTAGE SOURCE INVERTERS FOR AC DRIVES

Nikolay V. Chuprina

Bryansk State Technical University, graduate student, Russian Federation, Bryansk
nikochuprina212@yandex.ru

Abstract. The brief survey of electric drives implicated in both industry and transport are carried out. The results of comparison of control systems of a voltage source inverters included in an electric drive system with an asynchronous or synchronous motor are presented. The results were obtained by means of Matlab.

Keywords: voltage source inverter, modulation, traction electric drive, asynchronous motor, synchronous motor.

Автономные инверторы напряжения (АИН) активно применяются в электроприводах переменного тока, в частности и в тяговых электроприводах. Например, в тепловозе 2ТЭ25А, имеющем в качестве приводных двигателей асинхронные машины, для управления двигателями применяются преобразователи частоты, состоящие из неуправляемого выпрямителя, звена постоянного тока и автономного инвертора напряжения.

Автономный инвертор напряжения отличается от автономного инвертора тока и автономного резонансного инвертора тем, что электроэнергия на ключи поступает от источника напряжения, а не от источника тока (т.е. отсутствует реактор). В реальных системах источники напряжения, от которых АИН получает питание, имеют индуктивность (кроме аккумуляторных батарей). С целью исключения влияния индуктивности на электромагнитные процессы в АИН на входе используется емкостной фильтр. С помощью емкостного фильтра входные импульсы тока инвертора замыкаются, исключая входной источник напряжения.

В электроприводах переменного тока для управления трехфазными асинхронным и синхронными двигателями наибольшее распространение получили трехфазные АИН, выполненные по мостовой схеме. В основе таких инверторов лежат транзисторные ключи.

В электроприводе наибольшее распространение получили следующие типы управления АИН [1, 2]:

1. Широтно-импульсная модуляция (ШИМ);
2. Пространственно-векторная модуляция (ПВМ).

Методы ШИМ на основе несущей гармоники были разработаны самыми первыми и получили широкое распространение в электроприводе переменного тока. Одним из первых модулируемых сигналов для ШИМ является синусоидальный сигнал. Коэффициент модуляции для такой ШИМ может достигать до 78,5% от напряжения звена постоянного тока. Решению повышения коэффициента модуляции в ШИМ посвящено много исследований в области силовой электроники [4].

Проблема неполного использования напряжения звена постоянного тока привела к развитию ШИМ с инжекцией третьей гармоники. Данный тип модуляции предложен в 1975 г. Бум. Данный тип модуляции за счет добавления гармоник третьего порядка в синусоидальный сигнал позволяет увеличить коэффициент модуляции на 15,5% [4].

Другим методом увеличения выходного напряжения является ПВМ. Данный тип модуляции впервые был представлен в 1980 г., а после значительно усовершенствован Ван де Бройком в 1988 г. [5]. Результаты его применения схожи с инжекцией третьей гармоники, но процессы самой модуляции совершенно разные. С развитием микропроцессорной техники ПВМ стала одной из важнейших модуляций трехфазных АИН [6]. Одним из параметров, используемых в сравнительных оценках различных систем электропривода, является коэффициент гармонических искажений (КГИ). КГИ возможно выразить следующим образом [3]:

$$\text{КГИ} = \frac{\sqrt{\sum_i^{\infty} I_i^2}}{I_1},$$

где:

I_i – амплитуда i -ой гармоники, кроме несущей гармоники (1-ой);

I_1 – амплитуда несущей гармоники.

При помощи разработанной математической модели электропривода, состоящего из преобразователя частоты, включающего неуправляемый выпрямитель, звено постоянного тока, АИН и асинхронный двигатель 4А112М4У3 со скалярной системой управления были получены следующие результаты, представленные на рис. 1. На рис. 1 (а) – представлены зависимости КГИ тока фазы А статора от частоты коммутации ключей f_k при различных моментах нагрузки на двигателе для АИН с ПВМ, а 1 (б) – представлены зависимости КГИ тока фазы А статора от частоты коммутации ключей f_k при различных моментах нагрузки на двигателе для АИН с ШИМ, 1

(в) – зависимость КГИ напряжения фазы А статора от индекса модуляции μ для АИН с ПВМ, (г) – зависимость КГИ напряжения фазы А статора от индекса модуляции μ для АИН с ШИМ.

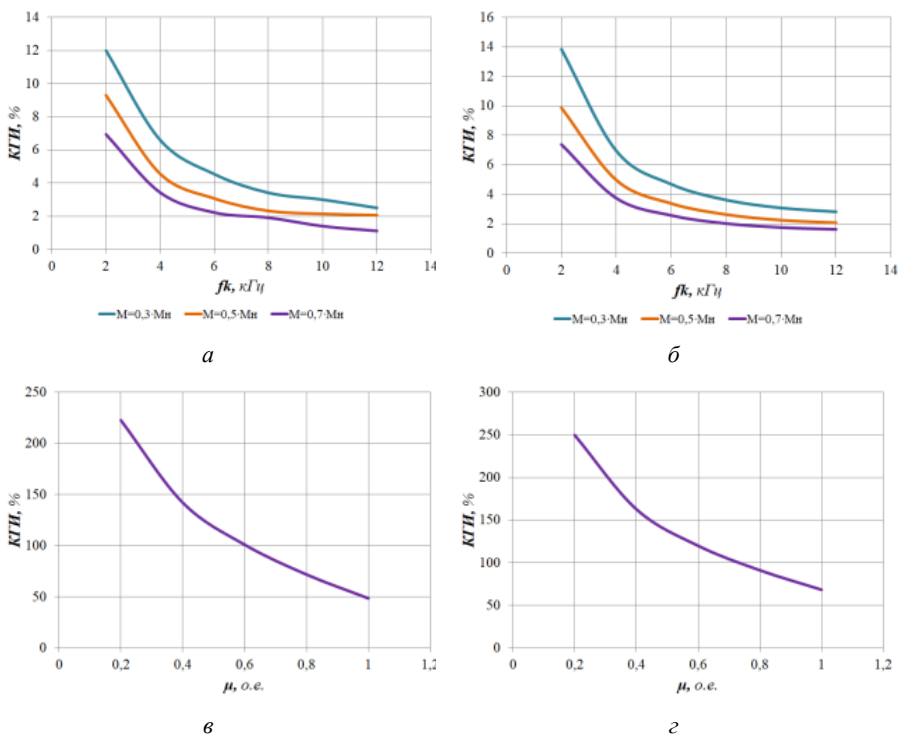


Рисунок 1 – (а) – зависимость КГИ от f_k для АИН с ПВМ, (б) – зависимость КГИ от f_k для АИН с ШИМ, (в) – зависимость КГИ от μ для АИН с ПВМ, (г) – зависимость КГИ от μ для АИН с ШИМ

Математическое моделирование при получении зависимостей КГИ тока фазы А статора от частоты коммутации ключей f_k при различных моментах сопротивления ($M=0,3 M_n$; $M=0,5 M_n$; $M=0,7 M_n$) на двигателе проводилось при задании на амплитуду напряжения статора $U=311 В$ и частоту тока $f=50 Гц$. Изменение частоты коммутации ключей f_k выполнялось в диапазоне от 2 кГц до 12 кГц. Как видно из рис. 1 (а) увеличение частоты коммутации транзисторных ключей ведет к уменьшению гармонических искажений тока (аналогично рис. 1 (б)). Относительное значение КГИ у АИН с ПВМ в среднем на 9% меньше чем у АИН с ШИМ. Наибольшая разница КГИ составляет 1,85% и получается при моменте $M=0,3 M_n$.

Математическое моделирование при получении зависимости КГИ напряжения фазы А статора от индекса модуляции μ , проводилось при частоте тока статора $f=50$ Гц, моменте нагрузки $M=0$ Нм, частоте коммутации ключей $f_k=5$ кГц. Как видно из зависимости КГИ напряжения фаза А от индекса модуляции μ (рис. 1 (в)) с уменьшением индекса модуляции происходит возрастание КГИ (аналогично рис. 1 (г)), в диапазоне от 48,49% (соответствует $\mu=1$ о.е.) до 222,69% (соответствует $\mu=0,2$ о.е.) (рис. 1 (г)). Относительное значение КГИ у АИН с ПВМ в среднем на 20% меньше чем у АИН с ШИМ.

Полученные результаты показывают лучшие показатели качества при управлении двигателем от АИН с ПВМ, но разница в динамических и статических показателях минимальна по сравнению с ШИМ. Результаты моделирования, полученные для асинхронного двигателя, будут аналогичными для синхронного двигателя. Для тяговых электроприводов переменного тока в будущем целесообразно применять ПВМ для управления АИН, либо же другие виды ШИМ, имеющие лучший индекс модуляции μ .

Список литературы

1. Автономные инверторы: учебное пособие/ Д. Н. Томашевский – Екатеринбург: Издательство Урал. ун-та, 2019 – 120 с.
2. Преобразовательная техника: учебное пособие / М. В. Гельман, М. М. Дудкин, К. А. Преображенский. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2009. – 425 с.
3. Энергосберегающий асинхронный электропривод: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И. Я. Браславский, З. Ш. Ишматов, В. Н. Поляков. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 256 с. ISBN 5-7695-1704-2/
4. Study of A Novel Over-Modulation Technique Based on Space-Vector PWM / H. Quan, Z. Gang, C. Jie, Z. Wu, and Z. Liu // IEEE Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring (CDCIEM), pp. 295-298, 2011.
5. Harmonic Analysis of a Space Vector PWM Inverter using the Method of Multiple Pulses/ A.W. Leedy, and R.M. Nelms // IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 4, pp. 1182-1187, July 2006.
6. Relationship Between Space-Vector Modulation and Three- Phase Carrier-Based PWM: A Comprehensive Analysis / K. Zhou and D. Wang // IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 49, No. 1, pp. 186-196, February 2002.

Материал принят к публикации 12.10.21.