

Силовая электроника

УДК 621.314

Д.Р. Ушаков

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
пр. Победы, 37, г. Киев, 03056, Украина.

Зависимость тока статора асинхронного двигателя при питании от мостового инвертора напряжения в установившемся режиме от скольжения

Предложена модель для исследования и расчета токов статора основной и высших гармоник асинхронного двигателя при заданной форме импульсного напряжения. Проведен анализ влияния скольжения на форму тока статора при питании от трехфазного мостового инвертора напряжения. Приведена зависимость формы тока статора от величины скольжения для различных режимов работы асинхронного двигателя. Библ. 4, рис. 6.

Ключевые слова: скольжение; мостовой инвертор напряжения; асинхронный двигатель.

Введение

В настоящее время в промышленных приводах широко используются асинхронные двигатели (АД), получающие питание от трехфазных автономных инверторов напряжения (АИН) [1], в фазном токе которых присутствуют высшие гармоники, отрицательно влияющие на момент, развиваемый АД, а также величину потерь [2]. Поскольку при управлении АД, фазный ток является одним из основных регулируемых параметров, получение информации о реальном его значении является актуальной задачей [3,4]. Актуальность анализа тока статора асинхронного двигателя состоит также в том, что с помощью полученной информации можно установить состояние и режим работы самого АД и в соответствии с этим выбрать режим работы АИН, при котором обеспечивается низкое значение коэффициента гармонических искажений. Целью данной статьи является анализ зависимости формы тока статора асинхронного двигателя от скольжения, при питании от мостового трехфазного АИН.

Результаты исследований

На практике в зависимости от режима работы АИН форма тока статора асинхронного двигателя в установившемся режиме может иметь

высокое значение коэффициента гармонических искажений. Причиной этого является значительное влияние скольжения высших гармонических составляющих на результирующий спектр тока. Асинхронный двигатель является динамической нелинейной нагрузкой, для исследования тока статора используется однофазная Г-образная схема замещения асинхронного двигателя [2].

Схема замещения для первой гармоники содержит последовательно соединенные активное сопротивление R/S_1 и индуктивное сопротивление $X_1 = \omega_0 L$ (ω_0 – частота основной гармоники, L – индуктивность обмотки статора). Схема замещения для высших гармоник содержит последовательно соединенные активное сопротивление R и X_1 .

Методика расчета тока статора асинхронного двигателя заключается в разложении питающего напряжения U_Σ на первую U_1 и высшие U_n гармоники. Пренебрегая влиянием вихревых токов и нелинейностью кривой намагничивания главной магнитной цепи и моментами коммутации, а также отсутствием фазной несимметрии на основании принципа суперпозиции производится расчет токов I_{ni} на каждом i -интервале питающего напряжения высших составляющих. Запишем выражение для определения суммарного тока статора I_Σ :

$$I_\Sigma = I_1 + \sum_{i=0}^n I_{Hi}. \quad (1)$$

где I_1 – амплитуда тока основной гармоники.

Скольжение для высших гармоник рассчитывается по следующей формуле:

$$s_v = \frac{(n_v \pm n_2)}{n_v} = \frac{v n_1 \pm n_1 (1 - s_1)}{v n_1} = \frac{v \pm (1 - s_1)}{v}, \quad (2)$$

где, v – номер гармонической составляющей, n_1 – частота вращения поля сети, n_2 – частота вращения ротора, n_v – частота вращения поля v -гармонической составляющей.

При расчете принимается, что скольжение для всех гармоник, превышающих частоту основной составляющей:

$$s_v = \lim_{v \rightarrow \infty} \left(\frac{v \pm (1 - s_1)}{v} \right) = 1. \quad (3)$$

На выходе мостового трехфазного АИН форма питающего напряжения U_Φ и его первая гармоническая составляющая U_1 имеет вид, показанный на рис. 1 (а). На рис. 2 (б) показана форма напряжения высших составляющих $U_\Theta = U_\Phi - U_1$ соответственно.

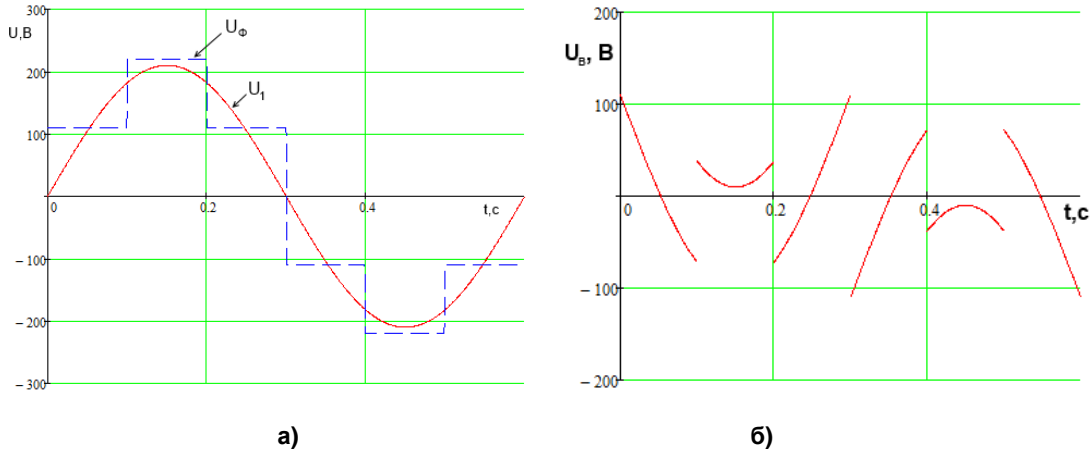


Рис. 1.

Для расчета тока на каждом интервале постоянства питающего напряжения является суммой свободной $I_{св}$ и вынужденной I_Θ состав-

ляющих. Суммарный ток I_Σ на периоде питающего напряжения определяется по формуле:

$$I_\Sigma = I_1 + \sum_{i=0}^n (I_{св} + I_\Theta) = \frac{U_1}{\sqrt{\left(\frac{R}{s_1}\right)^2 + (\omega \cdot L)^2}} \cdot \sin(\omega \cdot t - \varphi) + A_1 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} + \sum_{i=0}^n \frac{U_i}{\sqrt{R^2 + (\omega \cdot L)^2}} \cdot \sin(\omega \cdot t - \varphi - \psi_i) + U_i + A_i \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}, \quad (4)$$

где $A_1 = -\frac{U_1}{\sqrt{\left(\frac{R}{s_1}\right)^2 + (\omega \cdot L)^2}} \cdot \sin(-\varphi)$, $A_i = I_{i-1}(\psi_i) - I_i(0)$, $\varphi = \arctg\left(\frac{\omega \cdot L \cdot s_1}{R}\right)$,

ω – частота питающего напряжения.

Результат расчета тока основной составляющей, высших составляющих и суммарного тока статора при $R=0,15$ Ом, $L=0,3$ мГн, $\omega=2\pi/0.6$ представлен на рис. 2.

Формы тока статора асинхронного двигателя для различных значений скольжения основной составляющей представлены на рис. 3 (а – для $s_1=0,9$; б – для $s_1=0,5$; в – для $s_1=0,1$).

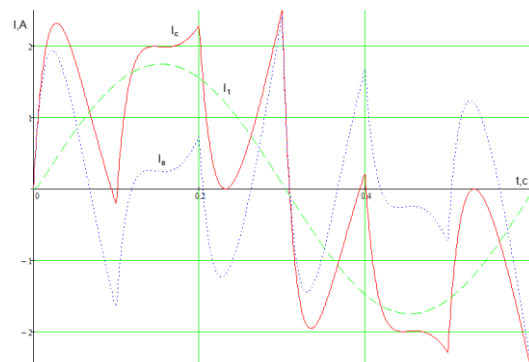


Рис. 2.

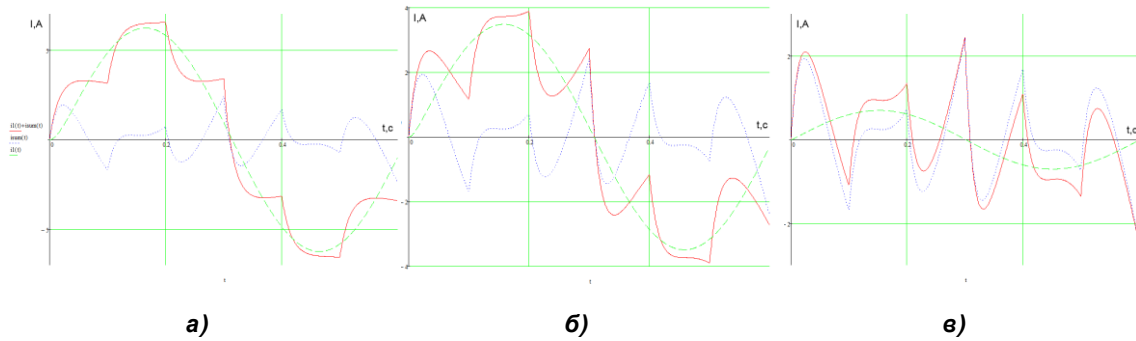


Рис. 3.

Анализируя зависимость формы тока статора асинхронного двигателя от скольжения основной составляющей видно, что при снижении значения скольжения возрастает отношение амплитуды суммарного тока высших составляющих к амплитуде основной гармоники, что в свою очередь ведет к увеличению коэффициента гармонических искажений тока статора.

Зависимость коэффициента гармонических искажений тока статора при питании от мостового АИН представлена на рис. 4.

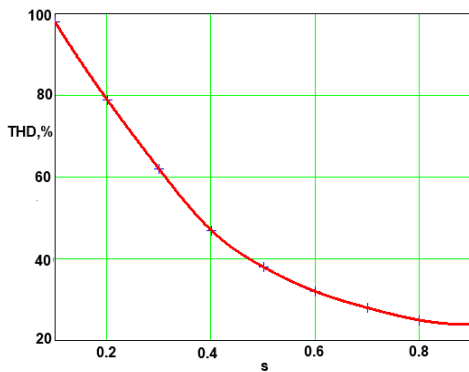


Рис. 4.

В установившемся режиме при низких значениях скольжения основной составляющей

($s_1 \approx 0,1 \dots 0,5$) форма тока статора характеризуется высоким значением коэффициента гармонических искажений. Как видно из полученных результатов при значении скольжения основной составляющей ($s_1 \approx 0,3$) изменяется направление протекания тока на полупериоде питающего напряжения, что создает необходимость использования полностью управляемых вентильных элементов мостового трехфазного АИН. Минимальное значение скольжения основной гармонической составляющей, при котором соблюдается направление протекания тока статора рассчитывается из следующего неравенства:

$$\frac{U_1}{\sqrt{\left(\frac{R}{s_1}\right)^2 + (\omega \cdot L)^2}} \cdot \sin(\omega \cdot t_1 - \varphi) + A_1 \cdot e^{-\frac{t_1}{\tau}} + \sum_{i=0}^n \frac{U_i}{\sqrt{R^2 + (\omega \cdot L)^2}} \cdot \sin(\omega \cdot t_1 - \varphi - \psi_i) + U_i + A_i \cdot e^{-\frac{t_1}{\tau}} < 0, \quad (5)$$

где t_1 – интервал постоянства структуры.

Результаты моделирования работы асинхронного двигателя 5.4HP 1450rpm при питании от мостового трехфазного АИН получены при помощи пакета Matlab Simulink. Блок-схема модели представлена на рис. 5.

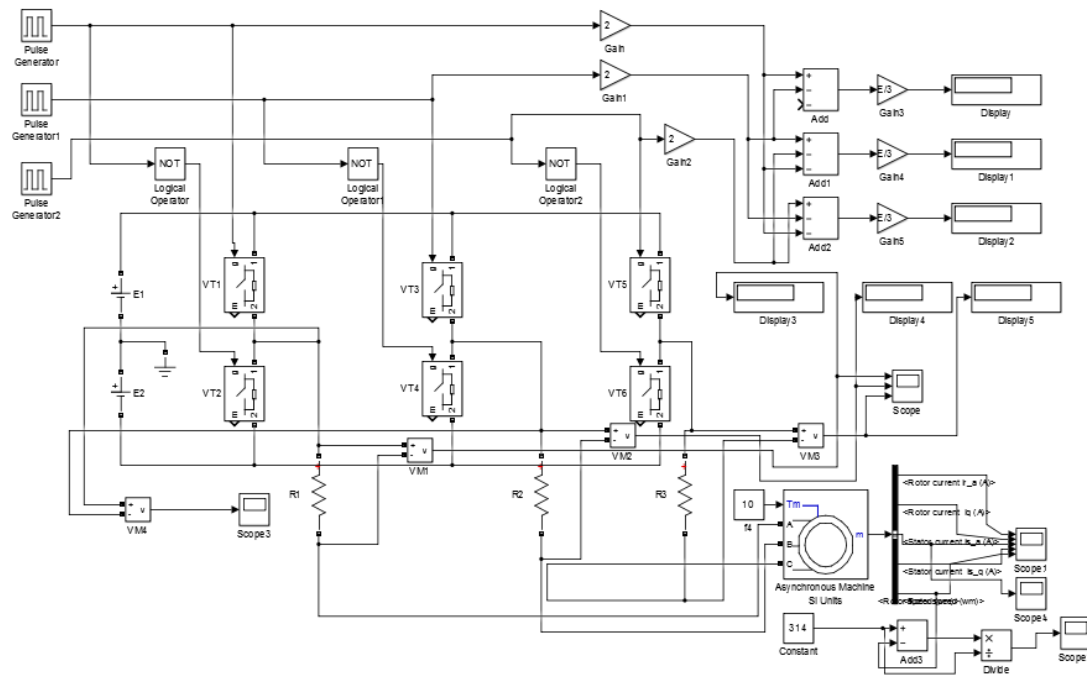


Рис. 5.

Блок схема модели состоит из мостового трехфазного АИН, построенного на ключевых элементах ($VT1-VT6$), системы управления ключевыми элементами (Pulse Generator0-Pulse Generator2, Logical Operator-Logical Operator2), источников постоянного напряжения ($E1, E2$), асинхронного двигателя и измерительных элементов.

Форма питающего напряжения и тока статора асинхронного двигателя показаны на рис. 6.

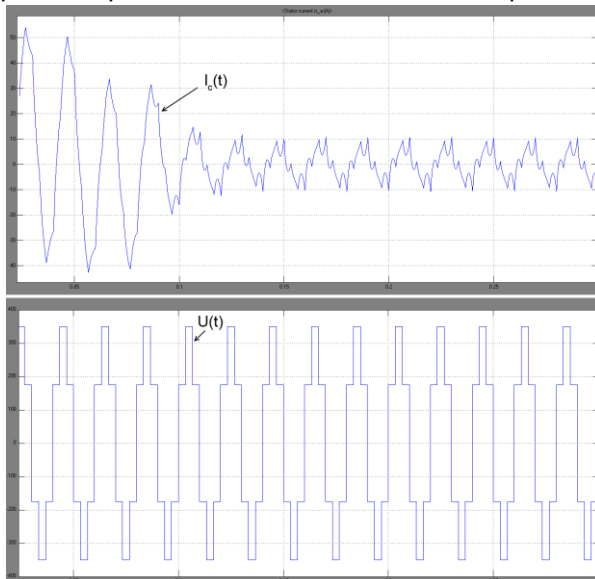


Рис. 6.

Скольжение основной гармонической составляющей в установившемся режиме ($t > 0.15$)

составляет $s_1 \approx 0,3$, и как видно из рис. 6 изменяется направление протекания тока на полупериоде питающего напряжения. Таким образом, результаты моделирования подтверждают корректность проведенных аналитических расчетов предложенным методом.

Выводы

Исследована зависимость тока статора асинхронного двигателя от скольжения в установившемся режиме, показана форма тока статора при питании от трехфазного мостового инвертора с заданной формой питающего импульсного напряжения. Предложена методика расчета тока статора асинхронного двигателя при известной форме питающего напряжения, полученного с помощью АШИМ. Показаны результаты моделирования тока статора асинхронного двигателя при питании от мостового АИН. Доказана необходимость использования полностью управляемых вентильных элементов мостового АИН при работе на асинхронных двигателе. Корректность аналитических расчетов подтверждена результатами моделирования.

Список использованных источников

1. Любарский Б.Г. Моделирование тягового привода на основе СДПМ / Б.Г. Любарский, А.В. Демидов, Т.В. Парфенюк. – Х.: Світлотехніка та електроенергетика. – 2014. – № 2. – С. 41–46.

2. Немцев Г.А. Влияние высших гармонических составляющих на работу асинхронных двигателей / Г.А. Немцев, Е.А. Селезнёв, Л.А. Шестакова // Вестник Чувашского университета. – 2014. – № 2. – С. 46-51.
3. Родькин Д.И. Обоснование расчётных схем замещения асинхронных двигателей / Д.И. Родькин, Ю.В. Ромашихин // Технічна електродинаміка. – 2012. – № 2. – С. 89-90.
4. Кондратюк О.Ю. Анализ аварийных режимов работы асинхронных двигателей к вопросу выбора их эффективной защиты / О.Ю. Кондратюк, А.Б. Егоров // Системи обробки інформації. – Х.: ХУ ПС, 2006. – Вип. 4 (53). – С. 79-86.

Поступила в редакцию 03 июня 2016 г.

УДК 621.314

Д.Р. Ушаков

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
пр. Перемоги, 37, м. Київ, 03056, Україна.

Залежність струму статора асинхронного двигуна при живленні від мостового інвертора напруги в усталеному режимі від ковзання

Запропоновано модель для дослідження і розрахунку струмів статора основної і вищих гармонік асинхронного двигуна при заданій формі імпульсної напруги живлення. Проведено аналіз впливу ковзання на форму струму статора при живленні від трифазного мостового інвертора напруги. Наведено залежність форми струму статора від величини ковзання для різних режимів роботи асинхронного двигуна. Бібл. 4, рис. 6.

Ключові слова: ковзання; мостовий інвертор напруги; асинхронний двигун.

UDK 621.314

D. Ushakov

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute",
Peremohy ave., 37, Kyiv, 03056, Ukraine.

Induction motor stator current dependance of slipping powered by voltage source inverter in steady state

A model for calculation of stator currents and higher harmonics components of the induction motor, and the current calculation method by a given form of voltage was proposed. The influence of induction motor slipping effect for stator current form powered by the three-phase bridge inverter was analyzed. Dependence of the induction motor stator current shape of the slipping was demonstrated. References 4, figures 6.

Keywords: slipping; bridge voltage source inverter; induction motor.

References

1. Lyubarskii, B. G., Demidov, A. V., Parfenyuk, T. V. (2014). Lyubarskii M.G. Simulation of traction drive based on SDP. Svitlotekhnika ta elektroenergetika. No 2. Pp. 41-46. (Rus)
2. Germans, G. A., Seleznev, E. A., Shestakov, L. A. (2014). The impact of higher harmonic components to work asynchronous motors. Bulletin of the University of Chuvashia. No. 2. Pp. 46-51. (Rus)
3. Rodkin, D. I., Romashihin, Y. (2012). Justification of the calculated equivalent circuits of induction motors. Tehnichna elektrodinamika. No. 2. Pp. 89-90. (Ukr)
4. Kondratyuk, O. Yu., Egorov, A. B. (2006). Analysis of the emergency operating modes of asynchronous motors to question the choice of their effective protection. Sistemi obrobki Informacie. HU PS Vol. 4 (53). Pp. 79-86. (Ukr)