УДК 621.3.07
https://doi.org/10.31474/2074-2630-2020-1-70-73

Д.О. КАРДАШ, Н.Л. ТЮТЮННИК
Державний Вищий Навчальний Заклад
«Донецький національний технічний університет»
dmytro.kardash@donntu.edu.ua

АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВИЩИХ ГАРМОНІК ПРИ ЖИВЛЕННІ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА ВІД АВТОНОМНОГО ІНВЕРТОРА НАПРУГИ У SIMULINK

У цій статті розглянуто автономні інвертори напруги трирівневої та дворівневої топології при живленні асинхронного двигуна. Проведено аналіз впливу частоти опорного сигналу та структури АІН на форму синусоїди струму. Зроблено порівняння значень коефіцієнту нелінійних спотворень за тих же умов. Результати отримано за допомогою інтерфейсу FFT Analysis графічного середовища для моделювання та аналізу Simulink. Виконано розрахунок параметрів асинхронного двигуна, проведено оцінку та порівняння перехідних процесів електромагнітного моменту, кутової швидкості та струмів статора і ротора двигуна.

Ключові слова: вищі гармоніки, асинхронний двигун, автономний інвертор напруги, simulink, matlab, широтно-імпульсна модуляція

Під час роботи двигун, окрім корисної роботи, виділяє тепло. Цей ефект супроводжує увесь час його функціонування, але перегрівання скорочує загальну тривалість експлуатації машини. Наявність гармонік у прикладеній напрузі може призвести до надмірного нагрівання.[4]

Тому метою цієї статті було проведення порівняння топологій автономних інверторів напруги(АІН) та оцінка впливу на електричні та електромеханічні показники двигуна у перехідних процесах.

Для отримання невідомих параметрів двигуна, на основі паспортних даних, була використана методика зі статті[5]. Результати зведено у таблицю 1. Отримані дані використані на моделі, зібраній у середовищі Simulink(представлено на рисунку 1).

Таблиця 1 Параметри двигуна 4А132М2У3[1]

$U_л$, В	$P_н$, кВт	$n_н$, об/хв.	$\eta_н$, %	$\cos\varphi_н$	$I_н$, А	$m_к$	$J_{дв}$, кг·м^2	L_{ls}, Гн	L'_{lr}, Гн	L_m, Гн	R_s, Ом	R'_r, Ом
380	11	2931	88	0.9	21.1	2.8	0.023	0.023	0.034	0.1	0.44	0.254

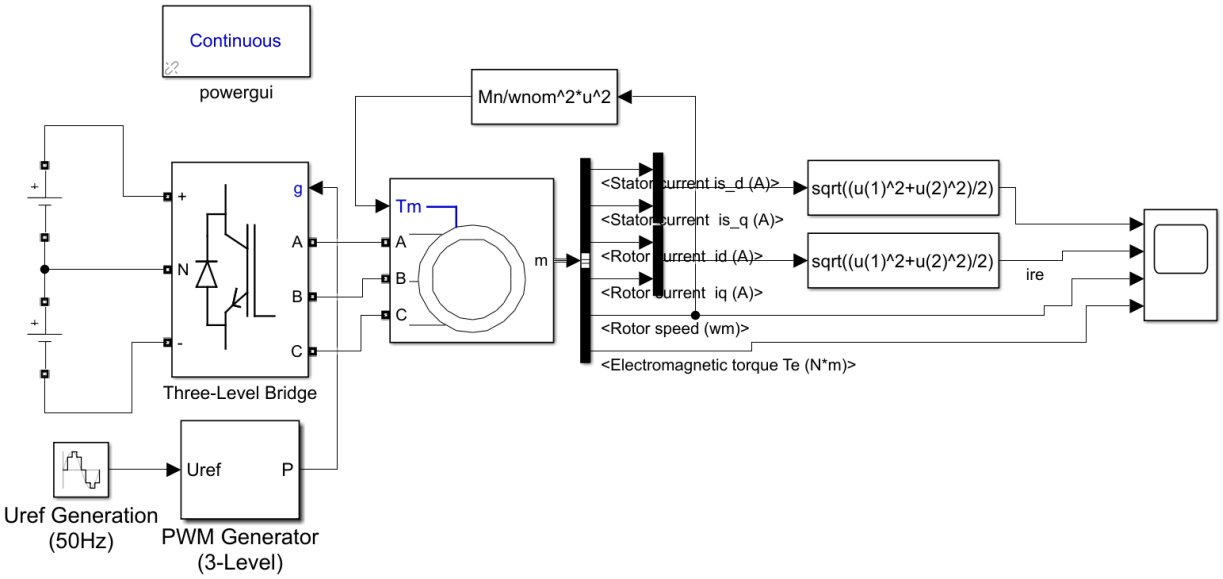

Рисунок 1 – Модель живлення асинхронного двигуна від автономного інвертора напруги трирівневої топології

Відмінність дворівневої(PWM 2-level) топології широтно-імпульсної модуляції(ШІМ) від трирівневої(PWM 3-level) у тому, що перша генерує один[2], а друга – два опорні сигнали пилкоподібної форми: один у додатній половині осі ординат, інший у від`ємній на два різних плеча вентелів перетворювача. Діаграму роботи такого

© Кардаш Д.О., Тютюнник Н.Л., 2020

приладу представлено на рисунку 2.

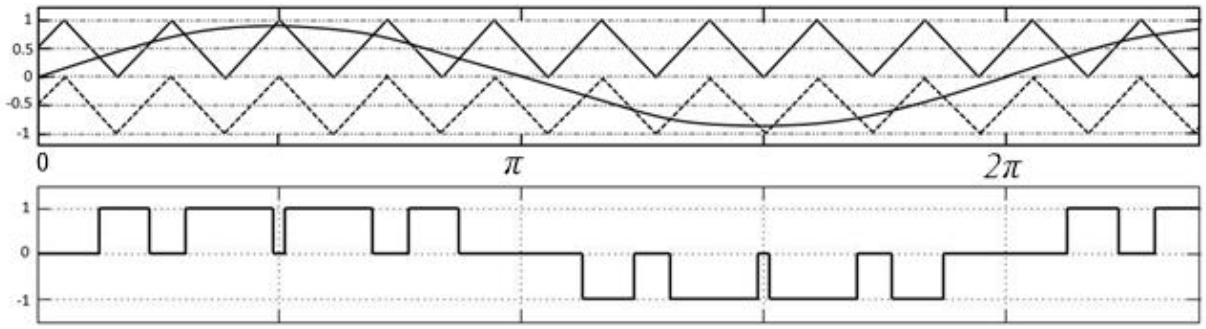

Рисунок 2 – Діаграма роботи 3-рівневого ШІМ

Лінійна напруга на виводах інвертора знаходиться за формулою:

$$U_{л} = m \cdot \frac{U_{dc}}{2} \cdot \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{2}}$$

Звідки напруга джерела постійного струму, яка інвертується:

$$U_{dc} = \frac{2 \cdot U_{л} \cdot \sqrt{2}}{m \cdot \sqrt{3}} = \frac{2 \cdot 380 \cdot 1,414}{0,95 \cdot 1,732} = 654 \text{ В},$$

де m=0,95 – коефіцієнт модуляції.

Слід зазначити, що для трирівневої топології джерело постійного струму складається із двох послідовно з'єднаних, в даному випадку, – акумуляторних батарей для того, щоб забезпечити живлення кожного з плечей перетворювача. Для дворівневого АІН такої потреби немає, що спрощує схему та здешевлює реалізацію такої структури. Саме тому, при моделюванні у середовищі Simulink два блоки DC Voltage було замінено на один з еквівалентою їм напругою, Three-level bridge на Universal Bridge, а PWM Generator (2-Level) на (3-level). У іншому схеми не відрізняються.

Параметри моделювання: Solver – ode23s, Max step size, Rel. tol. – 1e-4. Результати моделювання зведені у таблицю 2. Можна побачити, що зі зменшенням частоти опорного сигналу трирівнева топологія, як і дворівнева АІН, що прогнозовано, на виході видають гірші кількісні показники – коефіцієнт нелінійності спотворень(Total harmonic distortion – THD). На рисунку 3 представлено форми синусоїд отриманих для частот опорних сигналів 1200 Гц та 1650 Гц. Як можна бачити із застосуванням трирівневої ШІМ отриманий сигнал більше походить на ідеальну синусоїду. При зменшені частоти опорних сигналів різниця стає ще більш разючою.

Таблиця 2 –Порівняння кількісних показників двох топологій

Частота опорного сигналу, Гц	Коефіцієнт нелінійних спотворень, %	
	Дворівнева топологія АІН	Трирівнева топологія АІН
1650	8,82	4,36
1500	9,8	4,69
1350	10,85	5,31
1200	12,31	5,88

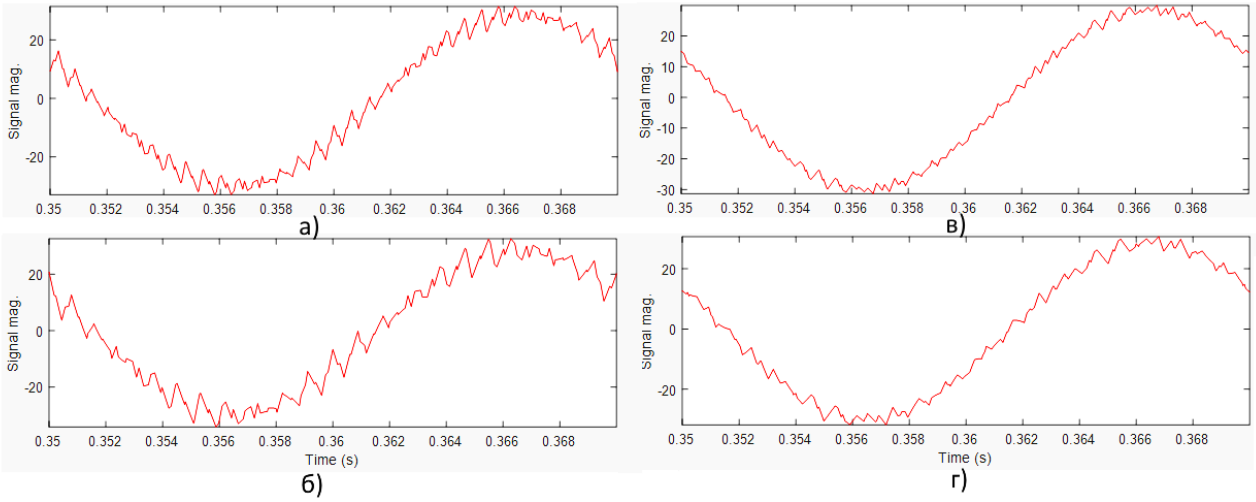

Рисунок 3 – Форма синусоїди при зміні частоти опорного сигналу від 1650 до 1200 Гц для дворівневої топології АІН (а,б) та трирівневої (в,г) отримані через FFT Analysis

На рисунках 4 та 5 представлені ефективні значення струмів статора і ротора – ліворуч. Праворуч – графіки кутової швидкості та електромагнітного моменту.

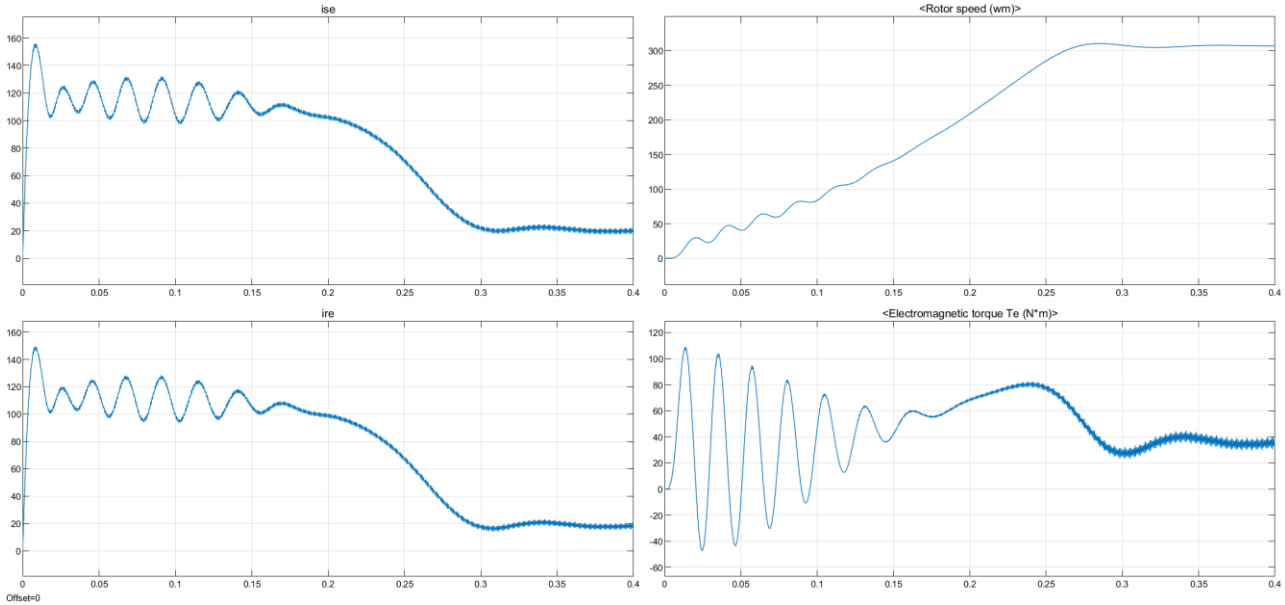

Рисунок 4 – Графіки перехідних процесів струмів статора, ротора, кутової швидкості ротора та електромагнітного моменту (PWM 3-level)

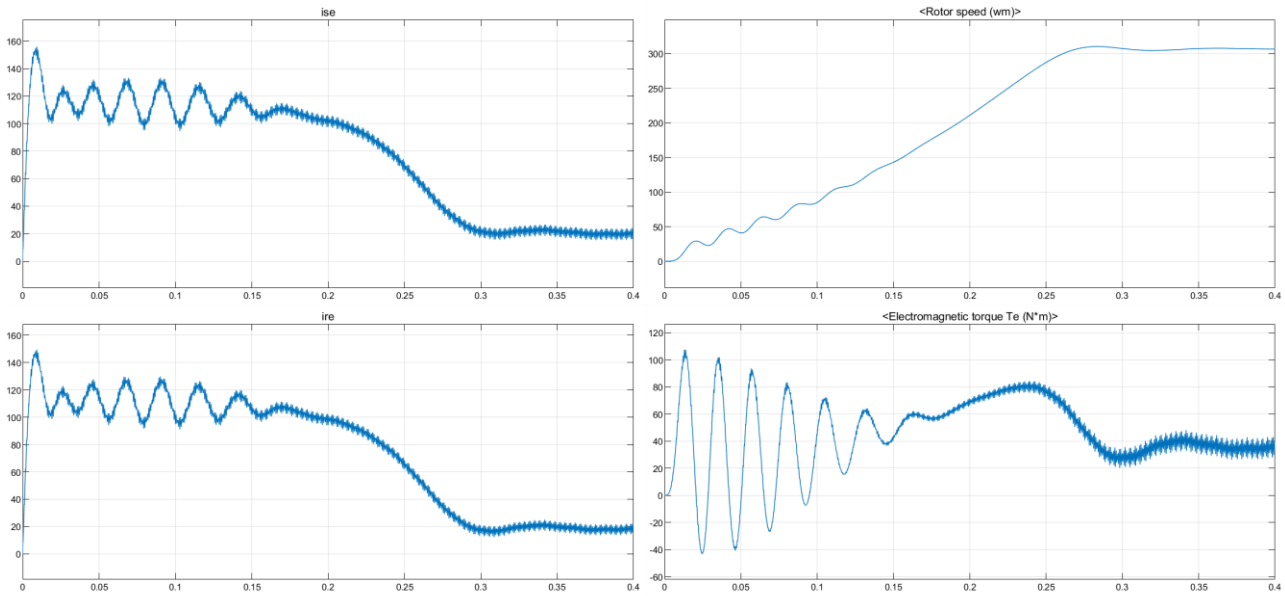

Рисунок 5 – Графіки перехідних процесів струмів статора, ротора, кутової швидкості ротора та електромагнітного моменту (PWM 2-level)

Висновки. Перехідні процеси у асинхронному двигуні дають зрозуміти, що автономні інвертори обидвох топологій при досліджуваних частотах приблизно з однаковою ефективністю змушують двигун набирати оберти до номінальної швидкості,, що не відміняє того факту, що форма струмів та електромагнітного моменту значно викривлена, а тому питання впливу вищих гармонік на стан машини та втрати у перехідних, а також сталих режимах потребує подальшого, більш детального дослідження у рамках інших статей.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Кравчик А. Э. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А.Э. Кравчик, М. М. Шлаф, В. И. Афонин, Е. А. Соболенская. – М.: Энергоатомиздат, 1982. – 504с.

2. Шавьолкін О.О. Силові напівпровідникові перетворювачі енергії : навч. посібник / О. О. Шавьолкін ; Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. – 403 с.

3. P. C. Krause, O. Wasynczuk, and S. D. Sudhoff, Analysis of Electric Machinery and Drive Systems. IEEE, 2002.

4. P. K. Sen and H. A. Landa, "Derating of induction motors due to waveform distortion," in Industrial Applications Society, 36th Annual Petroleum and Chemical Industry Conference, 1989.

5. Мощинский Ю. А. Определение параметров схемы замещения асинхронной машины по каталожным данным / Ю. А. Мощинский, В. Я. Беспалов, А. А. Кирякин // Электричество. – 1998. – № 4. – С. 38–42

6. S. Attaway, "MATLAB Programs," in MATLAB, Elsevier, 2019, pp. 201–244.

7. Толочко О. І. Моделювання електромеханічних систем. Математичне моделювання систем асинхронного електроприводу: навчальний посібник / О. І. Толочко – Київ, НТУУ «КПІ», 2016. – 150 с. іл.

REFERENCES

1. A.E. Kravchik, M.M. Schlaf, V.I. Afonin and E.A. Sobolenskaya Asynchronous motors of the 4A series: Reference book. Energoatomizdat, 1982.

2. O. Shavolkin Power Semiconductor Power Converters: Tutorial manual KhNUMG, 2015.

3. P. C. Krause, O. Wasynczuk, and S. D. Sudhoff, Analysis of Electric Machinery and Drive Systems. IEEE, 2002.

4. P. K. Sen and H. A. Landa, "Derating of induction motors due to waveform distortion," in Industrial Applications Society, 36th Annual Petroleum and Chemical Industry Conference, 1989.

5. Yu. A. Moshchinsky V. Ya. Bespalov and A. A. Kiryakin "Determination of the equivalent circuit parameters of an asynchronous machine from catalog data", Electricity. - 1998. - No. 4. - pp. 38–42

6. S. Attaway, "MATLAB Programs," in MATLAB, Elsevier, 2019, pp. 201–244.

7. O. Tolochko Modeling of electromechanical systems. Mathematical modeling of system asynchronous power supply: a textbook, NTUU "KPI", 2016.

Надійшла до редколегії 23.12.2019 Рецензент: д.т.н.Нікіфоров А.П

D. KARDASH, N. TIUTIUNNYK
State Institution of Higher Education «Donetsk National Technical University»

Analysis of the effect of higher harmonics on the power supply of the induction motor from the autonomous voltage inverter in simulink. Autonomous voltage inverters(AVI) of three-level and two-level topologies power supplying an induction motor are considered in this article. The influence of the carrier frequency and the structure of the AVI on the shape of the current sine wave is analyzed. A comparison of the values of the coefficient of nonlinear distortions under the same conditions is made. The results are obtained using FFT Analysis in Simulink. The parameters of the induction motor have been calculated, the transient torque, velocity, and current transients of the motor stator and rotor have been obtained and compared.

During operation, the engine, besides useful work, releases heat. This effect accompanies it throughout its operation, but overheating shortens the overall life of the machine. The presence of harmonics in the applied voltage can lead to excessive heating. Therefore, the purpose of this article was to compare the topologies of autonomous voltage inverters and to evaluate the effect on electrical and electromechanical motor performance in transients. Three-level AVI diagram of operation is considered.

Technique from the aricle by Moshchinsky et al. was used to obtain unknown engine parameters based on passport data. The transients in the asynchronous motor make it clear that the autonomous inverters of both topologies at the tested frequencies make Simulink motor model to speed up to a nominal speed with about equal efficiency, which does not eliminate the fact that the shape of the currents and the electromagnetic torque is significantly distorted. The state of the machine and the losses in the transitional as well as the steady modes require further, more detailed study in the context of other articles.

Keywords: higher harmonics, induction motor, autonomous voltage inverter, simulink, matlab, pulse width modulation