

Multi-speed mode of asynchronous motor

Sergey Goloschapov

Kherson State Maritime Academy, Kherson

<https://orcid.org/0000-0001-5206-4610>

Halyna Doshchenko

Kherson State Maritime Academy, Kherson

<https://orcid.org/0000-0002-1004-4934>

Dmytro Nahovskyi

Kherson State Maritime Academy, Kherson

<https://orcid.org/0000-0001-6920-0324>

Abstract. *In this work, the principle of quasi-frequency regulation of an asynchronous motor with a short-circuited rotor is considered, which consists in the fact that during the formation of the supply voltage from the electrical network, half cycles are "caught", which form a three-phase system of voltages with a frequency reduced, accordingly, by a given number of times, with a possible minimum asymmetry and content of higher harmonics in the supply voltage curve.*

Keywords: *asynchronous motor, frequency, harmonics.*

Багатошвидкісний режим асинхронного двигуна

Сергій Голощанов

Херсонська державна морська академія, м. Херсон

<https://orcid.org/0000-0001-5206-4610>

Галина Дощенко

Херсонська державна морська академія, м. Херсон

<https://orcid.org/0000-0002-1004-4934>

Дмитро Наговський

Херсонська державна морська академія, м. Херсон

<https://orcid.org/0000-0001-6920-0324>

Анотація. *В наведеній роботі розглядається принцип квазічастотного регулювання асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, який полягає в тому, що при формуванні живлячої напруги з електромережі "вихоплюються" півперіоди, які формують трифазну систему напруг з частотою, зменшену, відповідно, у задану кількість разів, з можливо мінімальною асиметрією і змістом вищих гармонійних у кривій живлячої напруги.*

Ключові слова: *асинхронний двигун, частота, гармоніка.*

Керування швидкістю асинхронних двигунів (АД) є актуальною задачею особливо в суднових приводах вантажопідйомних механізмів: кранів, лебідок. Одним із застосовуваних способів регулювання є використання АД з фазним ротором з регулюванням швидкості шляхом введення резистора в коло ротора. Однак цей спосіб з енергетичної точки зору не є економічним, до того ж двигун з фазним ротором більш коштовний, ніж з короткозамкненим. Також із способів безконтактного керування багатошвидкісним режимом є застосування тиристорно-транзисторних перетворювачів частоти в приводах з короткозамкненим ротором. Подібні режими керування використовуються в бортових кранах підвищеної вантажопідйомності. Однак вони теж коштовні й складні. Для лебідок вантажопідйомністю 1-5 т їх застосування економічно не вигідне – у них використовуються багатошвидкісні двигуни – теж коштовні і громіздкі.

Альтернативою цьому може бути одношвидкісний АД з короткозамкненим ротором з використанням квазічастотного управління. При цьому виключається двигун з фазним ротором й не використовується дорогий перетворювач частоти. Електронна апаратура, використовувана при побудові подібних схем, значно простіше й дешевше застосовуваних.

На практиці одним із найбільш застосовуваних співвідношень швидкостей є діапазон 1:2:4:6 [1], що відповідає роботі АД на частотах f , $f/1,5$, $f/3$ та $f/6$. Враховуючи дискретний характер перемикання сформованих частот приймаємо наступний діапазон частот, що перемикаються: f , $f/1,67$, $f/3$ та $f/6$. За приведених даних діапазона частот співвідношення швидкостей складатимуть 1:2:3,6:6. Вказана дискретність перемикання частот приблизно відповідає наведеній. Реалізація формування вказаних частот полягає у наступному.

Режим f . У режимі f двигун працює у звичайному паспортному режимі. На нього надходить змінна напруга мережної частоти, забезпечуючи роботу привода на верхній швидкості.

У режимах $f/1,67$, $f/3$ і $f/6$ з бортової мережної напруги "вихоплюються" півперіоди, які формують частоту, зменшену, відповідно, у 1,67, 3 й 6 разів, з можливо мінімальною асиметрією і змістом вищих гармонійних у кривій живлячої напруги. Розрахунки будемо вести до 7-ї гармоніки. При цьому у значеннях вихідної напруги будуть присутні тільки непарні гармоніки, тобто 1-а, 3-я, 5-а і 7-а.

Режим $f/1,67$. Формування живлячої напруги в цьому режимі показано на рис. 1. Робочими залишаються тільки заштриховані області синусоїдального сигналу. Основна гармоніка має в 1,67 рази меншу частоту в порівнянні з мережною. Розкладаючи одержану криву в ряд Фур'є [2], маємо у відносних одиницях:

$$U_{f/1,67} = 0,692 \sin \omega t - 0,342 \sin 3\omega t + 0,0656 \sin 7\omega t$$

Тут п'ята гармоніка відсутня, тому що коефіцієнт при ній дорівнює нулю по розрахунку. Побудова отриманої кривої в системі Mathcard дає (рис. 2.)

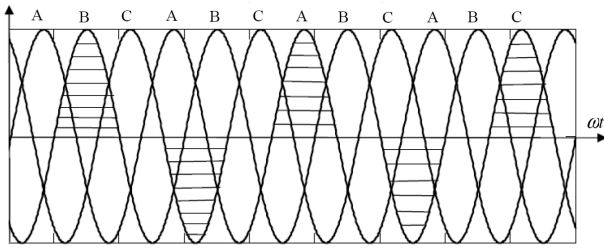


Рис. 1. Формування живлячої напруги частоти $f/1,67$

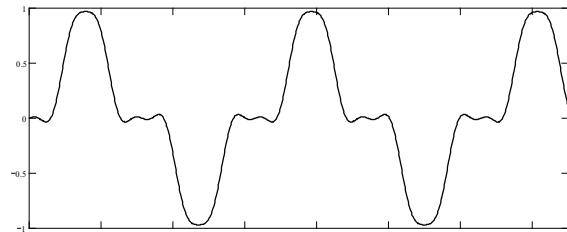


Рис. 2. Крива живлячої напруги в режимі $f/1,67$

При з'єднанні обмоток статора зіркою буде відсутня третя гармоніка і крива струму у відносних одиницях (рис.3) визначиться за виразом:

$$I_{f/1,67} = 0,692 \sin \omega t + 0,0656 \sin 7 \omega t$$

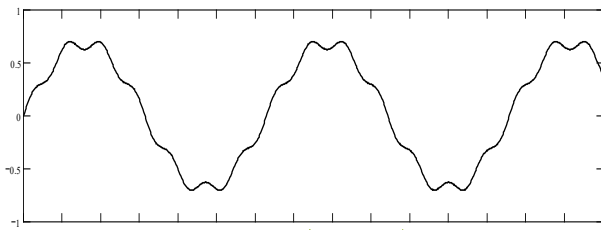


Рис. 3. Форма струму в режимі $f/1,67$

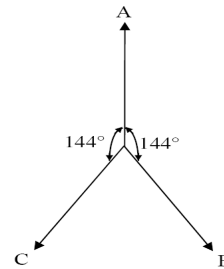


Рис. 4. Система фазних напруг в режимі $f/1,67$

Слід зазначити, що система напруг, яка формується в режимі $f/1,67$ не є симетричною і має вигляд, представлений на рис. 4. Для аналізу впливу несиметрії фазних напруг на момент двигуна скористаємося методом симетричних складових.

Згідно нього пряма послідовність струмів створює робочий момент двигуна і є основною. Зворотна теж створює момент, але направлений в зворотному напрямку, тобто тормозний. Нульова послідовність на величину моменту двигуна не впливає і створює додаткові втрати. Розрахунки показують, що несиметрична система рис.4 може бути представлена як сума прямої послідовності з коефіцієнтом 0,943, зворотної з коефіцієнтом 0,263 та нульової з коефіцієнтом 0,206. Враховуючи, що при нормальній роботі двигуна на струмах прямої послідовності при ковзанні $S_{пр}=(0,02 \div 0,05)$ ковзання на зворотній послідовності складає біля $S_{зв} \approx 2$, дія струмів зворотної послідовності на момент буде в приблизно в 2 рази менше розрахункової.

Режим $f/3$. Відносно просто досягається зменшення частоти в три рази, як показано на рис. 5. Основна гармоніка має в три рази меншу частоту в порівнянні

з мережною, і містить, крім основної гармоніки, весь спектр непарних гармонік [3]. Розкладаючи отриману рис.5 криву в ряд Фур'є, маємо:

$$U_{f/3} = 0,405 \sin \omega t - 0,333 \sin 3\omega t + 0,216 \sin 5\omega t - 0,092 \sin 7\omega t$$

Побудова отриманої кривої в системі Mathcard дає (рис. 6):

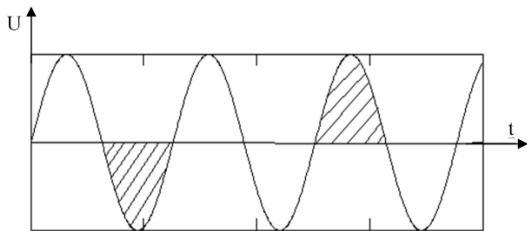


Рис. 5. Формування живлячої напруги частоти $f/3$

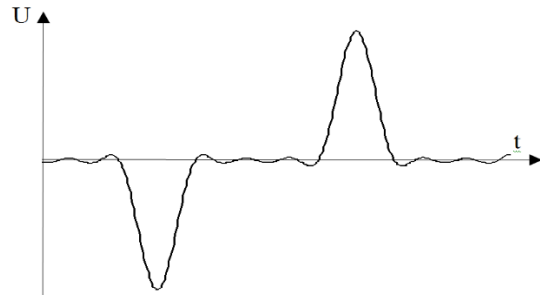


Рис. 6. Розрахункова крива живлячої напруги частоти $f/3$

Режим $f/6$. Гармонійний спектр кривої напруги при зменшенні частоти в шість разів наведено на рис. 7. Якщо обмежитися розрахованими гармоніками, вихідна напруги у відносних одиницях складе (рис. 8):

$$U_{f/6} = 0,205 \sin \omega t - 0,185 \sin 3\omega t + 0,168 \sin 5\omega t - 0,126 \sin 7\omega t$$

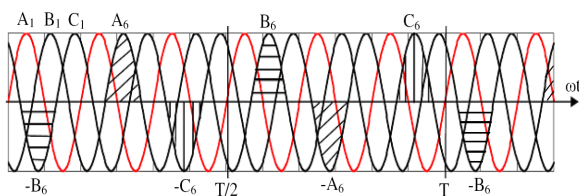


Рис.7 Формування живлячої напруги в режимі $f/6$

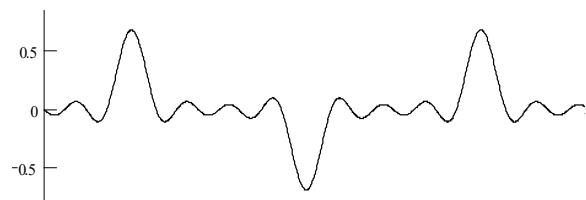


Рис.8 Формування живлячої напруги в режимі $f/6$

Висновки. Квазічастотний режим керування швидкістю АД призводить до відносно простих, але ефективних схем живлення з заданою частотою. На цьому принципі можна будувати багатошвидкісні електроприводи з заданим діапазоном регулювання.

Список використаних джерел

1. Голощапов С.С., Колебанов О.К., Іванов А.А. Основи суднового електроприводу: навч. посібник. Херсон, 2024 - 162 с.
2. Маляр В.С. Теоретичні основи електротехніки. Електричні кола: навч. посібник. Львів, 2012. – 312 с.
3. Литвин І.І., Конопчук О.М., Желізняк Г.О. Вища математика. Навчальний посібник. – Київ. 2004. – 368 с.