

## ДОСЛІДЖЕННЯ АМПЛІТУДНОГО СПЕКТРУ ВХІДНОГО СТРУМУ АСИНХРОННО-ВЕНТИЛЬНОГО КАСКАДУ

Бараненко Т. К., Саравас В. Е.

Приазовський державний технічний університет

*Розроблено алгоритм побудови імітаційної моделі АВК для дослідження гармонійних спотворень. Виконано аналіз впливу регульованого електропривода по схемі АВК на мережу живлення шляхом аналізу амплітудних спектрів вищих гармонік, а також інтергармонік вхідного струму, що отримані за допомогою імітаційного моделювання при різних параметрах досліджуваної системи.*

**Постановка проблеми.** На сучасних промислових підприємствах широко використовуються різного роду системи частотно-регульованого електропривода. Так, з метою рекуперації енергії ковзання застосовуються різні каскадні схеми включення асинхронного двигуна, при яких в його роторний ланцюг подається регульована напруга. Частотно-регульований електропривод по схемі асинхронного вентильного каскаду (АВК) має суттєві переваги в порівнянні з іншими схемами, тому що її застосування дозволяє підвищити експлуатаційні характеристики привода. АВК можуть бути виконані як із перетворювачем частоти з проміжним ланцюгом постійного струму, так і з безпосереднім зв'язком із застосуванням циклоконверторів. Проте, частотні перетворювачі в системах електропостачання є нелінійним навантаженням і джерелом вищих гармонік (ВГ), а також, інтергармонік (ІГ). Значний економічний ефект, що одержується в результаті впровадження частотних перетворювачів, в суттєвій мірі зменшується за рахунок їх негативного впливу на системи електропостачання. На жаль, на практиці, у багатьох випадках, враховується тільки ефект, зумовлений частотними перетворювачами в системах електропривода та інших системах, і ігноруються наслідки дій ВГ та ІГ на системи електропостачання: електрообладнання, системи релейного захисту, автоматики та телемеханіки.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогоднішній день виконані значні дослідження питання впливу АВК на навантаження і точність (якість) роботи самого привода. Аналіз і оцінка вихідних параметрів АВК детально аналізується, наприклад, в [1, 2]. Проте до кінця не розв'язана проблема електромагнітної сумісності (ЕМС) АВК з мережею живлення. Рішення задачі дослідження амплітудного спектру кривої вхідної напруги надано в [3]. Питання оцінки частот і амплітуд гармонійних спектрів кривих вхідних струмів АВК для вирішення проблеми ЕМС надано не було.

**Мета статті.** З метою дослідження впливу регульованого електропривода по схемі АВК на мережу живлення необхідно отримати і проаналізувати амплітудні спектри гармонік вхідного струму при різних значеннях параметрів системи, що досліджується.

**Основні матеріали дослідження.** Асинхронно-вентильний каскад, як джерело несинусоїдального вхідного струму, був досліджений за допомогою імітаційної моделі, що побудована в середовищі інженерного моделювання Matlab. На етапі підготовки моделі прийняті наступні допущення:

- трифазна асинхронна машина є електрично симетричною, втрати в сталі не враховуються;
- силові тиристорні ключі мають нескінченно великий вхідний опір у закритому стані.

Запропонована імітаційна модель дозволила розрахувати амплітудні спектри вхідного струму і напруги. Для прикладу на рис. 1, 2 наведені крива та амплітудний спектр вхідного струму, отримані для АВК номінальною потужністю 7,5 кВт.

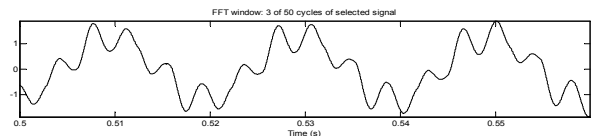


Рисунок 1 – Крива вхідного струму АВК

Виконані дослідження амплітудних спектрів вхідного струму АВК дозволяють зробити висновок, що для коректної оцінки впливу гармонійних спотворень в мережу живлення необхідно урахувувати амплітуди ІГ рівно як і амплітуди ВГ.

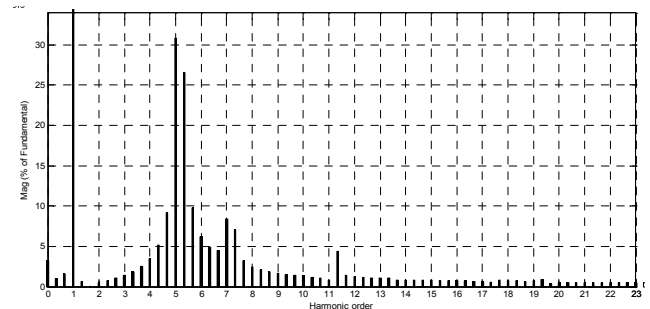


Рисунок 2 – Амплітудний спектр вхідного струму АВК

Відносні амплітуди ІГ вхідного струму АВК змінюються в діапазоні 2 - 37 %, а тому можуть зумовити суттєвий вплив на ступінь оцінки спотворень кривих вхідних струмів і напруг. Тому за допомогою імітаційного моделювання був проведений аналіз змін амплітуд ВГ і ІГ вхідного струму АВК залежно від зміни різних його параметрів.

Щоб виявити вплив характеристик системи на показники якості мережі живлення, були проведені модельні експерименти, при яких змінювалися в певних межах наступні параметри: номінальна потужність двигуна та його частота обертання; значення індуктивності ланки пост. струму; кут управління вентиллями інвертора  $\beta$ .

Доведено, що рівень гармонійних спотворень кривої вхідного струму АВК суттєво залежить від зміни величини кута управління вентилями інвертування  $\beta$ . Найбільші значення відносних амплітуд ВГ та ІГ спостерігаються при значенні кута управління вентилями інвертора  $\beta = 30^\circ$ .

Як показали численні дослідження, амплітуди ВГ та ІГ вхідного струму АВК суттєво залежать від потужності навантаження на валу двигуна. Як приклад на рис. 3 наведені відповідні графіки залежності відносних амплітуд 5-ї ВГ та її бічних складових кривої вхідного струму АВК в залежності від відносного навантаження при значенні кута управління вентилями інвертора  $\beta = 30^\circ$ .

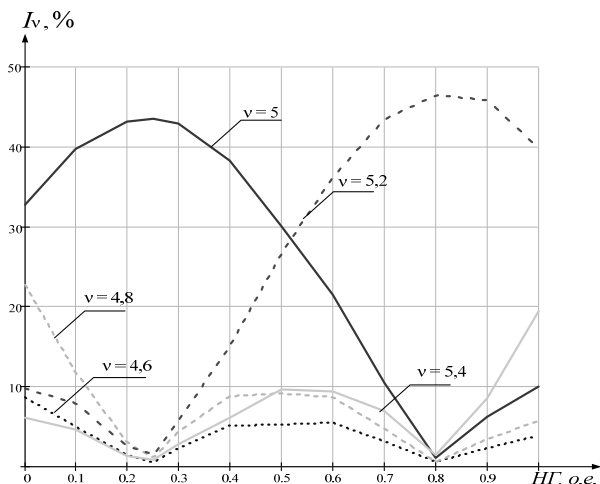


Рисунок 3 – Залежність зміни 5-ї ВГ та ІГ вхідного струму АВК від зміни навантаження на валу двигуна

Наведений рисунок ілюструє, що при зміні навантаження відносні амплітудні значення ІГ змінюються згідно тому ж закону, що і ВГ. Також згідно проведеним дослідженням можна зробити висновок про те, що значення ІГ в окремих випадках можуть перевищувати значення ВГ. Так, на рис. 3 наочно показано, що при відносних значеннях навантаження в діапазоні  $0,6 \div 1$  значення ІГ з відносною частотою  $v = 5,2$  перевищує значення 5-ї ВГ.

В табл. 1 наведені діючі значення вхідного струму АВК, а також співвідношення між діючими значеннями ВГ та ІГ, розраховані при різних значеннях потужності навантаження на валу двигуна. Очевидно, що при іншій потужності двигуна співвідношення між діючими значеннями ВГ та ІГ вхідного струму можуть відрізнятися від зазначених в табл. 1, проте наведені величини діючих значень вхідного струму в цілому зберігатимуться.

**Висновки.** Доведена можливість дослідження амплітудного спектру вхідного струму АВК за допомогою комбінованого імітаційного моделювання, що дозволяє врахувати в амплітудному спектрі вхідного струму як ВГ, так і ІГ. Доведено, що амплітуди ВГ та ІГ вхідного струму АВК залежать від режиму роботи двигуна, кута управління вентилями інвертора  $\beta$  а також значення навантаження на валу двигуна. Встановлено, що спектральний склад кривої вхідного струму АВК, разом з ВГ, містить ІГ, амплітуди яких досягають 2 – 37 % і можуть перевершувати рівні ВГ.

Таблиця 1 – Порівняння діючих значень вхідного струму АВК при різних значеннях потужності навантаження на валу двигуна

Параметр	Навантаження, в.о.		
	х. хід	0,6	1
Діюче значення вхідного струму, %	110	110,5	110,7
Основна гармоніка вхідного струму, %	100	100	100
Діюче значення ВГ вхідного струму, %	32	23	4
Діюче значення ІГ вхідного струму, %	32	41	38
Перевищення діючого значення вхідного струму ІГ над діючим значенням ВГ вхідного струму	в 1 раз	в 1,8 раз	в 33 раз

### Список використаних джерел

1. Refoufi L. Harmonic Analysis Of Slip Energy Recovery Induction Motor Drives / L. Refoufi, P. Pillay // IEEE Transactions On Energy Conversion, Vol. 9, No.4, December 1994. – P. 665 – 672.
2. Seman S. Ride-Through Analysis of Doubly Fed Induction Wind-Power Generator Under Unsymmetrical Network Disturbance / S. Seman, J. Niiranen, A. Arkkio // IEEE Transactions On Power Systems, Vol. 21, No. 4, November 2006. – P. 1782 – 1789.
3. Бараненко Т. К. Моделирование характеристик асинхронно-вентильного каскада в среде MATLAB / Т. К. Бараненко, В. Е. Саравас // Вісник КДПУ імені Михайла Остроградського. – 2009. - №3. – Ч.2. – С.127-130.

### Анотація

#### ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНОГО СПЕКТРА ВХОДНОГО ТОКА АСИНХРОННО-ВЕНТИЛЬНОГО КАСКАДА

Бараненко Т. К., Саравас В. Е.

*Разработан алгоритм построения имитационной модели АВК для исследования гармонических искажений. Произведен анализ влияния АВК на питающую сеть путем анализа амплитудных спектров ВГ, а также ИГ сетевого тока.*

### Abstract

#### RESEARCH OF AMPLITUDE SPECTRUM OF INPUT CURRENT OF ASYNCHRONOUS VALVE CASCADE

T. Baranenko, V. Saravas.

*An algorithm of construction of the asynchronous valve cascade simulation model for research of harmonic distortions is developed. An analysis of amplitude spectrum of harmonics and interharmonics of input current got by the imitation modeling is considered.*