

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
імені адмірала Макарова**

**СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИКИ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ
СПАЕ-2024**

ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

25 квітня 2024 року

**Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова**

**Навчально-науковий інститут автоматики і електротехніки
пр. Центральний, 3, м. Миколаїв**

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

Миколаїв • НУК • 2024

УДК 681.5:621.3
С 89

**Матеріали публікуються за оригіналами, наданими авторами.
Претензії до організаторів не приймаються.
Відповідальний за випуск А.В. Обрубов**

Сучасні проблеми автоматики та електротехніки: матеріали всеукраїнської науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК, 2024. – 68 с.

У збірці представлені матеріали доповідей на всеукраїнській НТК "Сучасні проблеми автоматики та електротехніки" СПАЕ-2024. Розглянуто питання теорії, практики та розвитку електроенергетичних систем, електричних та електронних пристроїв суднового та загальнопромислового обладнання. Збірник може бути корисним для наукових співробітників, викладачів, інженерів та студентів.

ОРГАНІЗАТОРИ:

Міністерство освіти і науки України
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2024

ЗМІСТ

ПЛЕНАРНА СЕКЦІЯ.....	3
Обрубов А. В., Павлов Г. В., Вінниченко І. В. Особливості визначення передавальних функцій перетворювачів за обвідною	3
Козлов М. О., Жук Д. О., Жук, О. К., Лінченко В. В. Високочастотна модель системи загальносуднового асинхронного електропривода за схемою "АІН з ШІМ - АД".....	8
Дьяконов О. С., Воскобоєнко В. І. Крамаренко А. В. Перспективи впровадження САПР Еріан для розробки та виробництва судових головних розподільних щитів.....	14
Топалов А. М. Автономний робот для відбору та аналізу проб води	19
Костенко Д. В., Овсянников В. М. Використання сучасної судової сигналізації в навчальному процесі	20
Трешнюк А. І., Дьяконов О. С. Розробка системи дистанційного керування дроном.....	28
Прищепов Є. О. Удосконалення рефлектиметричного вимірювального перетворювача рівня.....	31
Демідов І. А. Побудова траєкторії руху МРО з урахуванням невизначеностей у вигляді перешкод.....	33
Горбов В. Ю. Робастно оптимальна система керування квадрокоптером в режимі руху програмованою траєкторією для задач моніторингу місцевості.....	34
Іхсанов Ш. М., к.т.н., доц., Пустовий А. О. Дослідження швидкості передачі та захист інформації в TCP/IP комунікаціях	37
СЕКЦІЯ 1. ЕНЕРГЕТИЧНА ЕЛЕКТРОНІКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРИЧНІ АПАРАТИ.....	41
Бабкін Г. В., Овсянников В. М. Втілення перетворювачів постійного струму в потужнисулову енергетику	41
Чекунов В. К., Новогрецький С. М. Особливості розрахунку перехідних процесів у гребній електричній установці змінного струму	45
Костюченко В. І., Меліхов Д. С., Новогрецький С. М., Чекунов В. К. Втрати активної потужності в магнітопроводі при поперечному підмагнічуванні постійним струмом	47
Буряк В. С., Кудрявцев О. С. Компенсаційні стабілізатори з низькими втратами напруги	50
Верещаго Є. М., к.т.н., Стогнієнко Є. В., Зівенко О. В., Єременко А. П. Створення нейро-нечіткого контролера для керування джерелом живлення.....	52
Гулько В. І., Танасова О. Д., Фещук Т. А. Дослідження тривалої електричної міцності (ресурсу) діелектричної системи занурювальних високовольтних імпульсних конденсаторів	59
Гулько В. І., Танасова О. Д., Перекупка І. А. Створення енергоємних високовольтних імпульсних конденсаторів для занурювальних електророзрядних установок.....	62
Піряник А. Р., Солобута Л. В. Створення швидкодіючого радіомоста для передачі даних між комп'ютерами	65

УДК 621.314.621

Козлов М. О., Жук Д. О., к.т.н., Жук, О. К., к.т.н., Лінченко В. В.

Національний університет кораблебудування ім. адмірала Макарова, м. Миколаїв

ВИСОКОЧАСТОТНА МОДЕЛЬ СИСТЕМИ ЗАГАЛЬНОСУДНОВОГО АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЗА СХЕМОЮ «АІН З ШІМ – АД»

Широкомасштабне застосування сучасних частотно-регульованих електроприводів, виконаних за схемою АІН з ШІМ – АД обумовлено їх високими енергетичними показниками та ефективністю управління навантаженням. Однак, при несучих частотах ШІМ від одиниць до десятків кілогерц власні паразитні параметри таких систем обумовлюють появу кондуктивних ЕМП що протікають як в мережу живлення, так і в навантаження. Ці ЕМП викликають перегрів обмоток, старіння ізоляції і передчасний вихід з ладу АД [1].

Високочастотна комутація в силових напівпровідникових пристроях викликає високочастотні диференційні (симетричні) та синфазні (несиметричні) струми, що протікають через паразитні ємності кабелю, двигуна та інвертора [2, 3].

Несиметричні паразитні струми призводять до проблем з електромагнітними завадами, несправності захисту від короткого замикання на землю та виходу із ладу підшипників асинхронного двигуна [4].

Симетричні паразитні струми призводять до появи перенапруги на клеммах двигуна, що може призвести до пробую міжвиткової ізоляції обмоток статора. Також перенапруга може спричинити часткові розряди в асинхронному двигуні, тим самим зменшуючи термін його служби [4–6].

Дослідження, проведені в [1, 7], показують, що достовірна оцінка ЕМП в системі АІН – АД можлива лише на основі уточнених схем заміщення, складених для широкого діапазону частот і враховують паразитні параметри всіх елементів системи, у тому числі інвертора та двигуна.

Метою роботи є визначення схеми заміщення та параметрів елементів асинхронних електроприводів за схемою «АІН з ШІМ – АД», що найбільш розповсюджені на судах, для оцінки електромагнітних перешкод (ЕМП).

Системи асинхронних машин із частотно-регульованим приводом (рис. 1) [1] є невід'ємною частиною нашого повсякденного життя, враховуючи їх застосування у багатьох галузях. Ці електричні машини наражаються на ризик виникнення ЕМП через методи високочастотної широтно-імпульсної модуляції (ШІМ) у перетворювачах частоти (ПЧ). Оскільки час перемикання (наростання та спаду) сучасних транзисторів, таких як MOSFET та IGBT, що використовуються в блоках інверторів, відносно короткий (50–250 нс), проблеми з ЕМП, що створюються високочастотними асинхронними приводами є значними. Наведені ЕМП можуть призвести до помітного пошкодження підшипників, валу та ізоляції обмоток асинхронних машин, що призведе до зниження надійності та навіть передчасного виходу її з ладу [8].

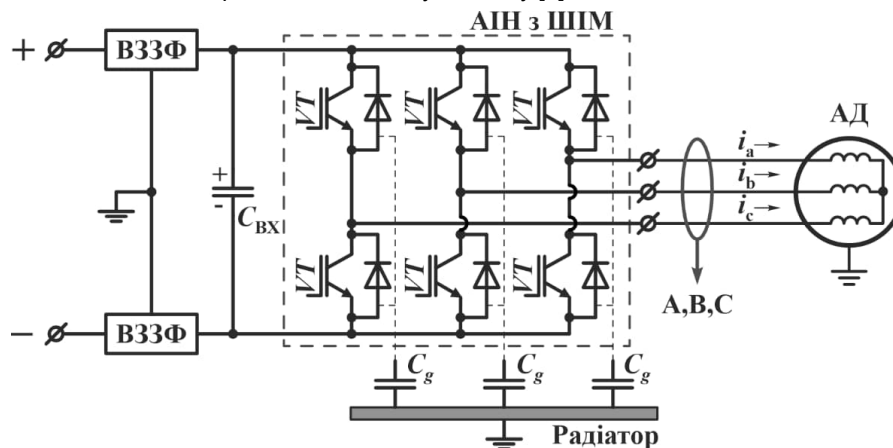


Рисунок 1 – Система АІН з ШІМ – АД, що досліджується

Існує безліч проблем при проектуванні та експлуатації приводів із регульованою швидкістю. На виході силового електронного перетворювача створюється імпульсна напруга з крутим фронтом через швидке наростання і спад часу перемикання напівпровідників (НП). Це викликає хвильовий ефект у системах з довгим кабелем [9], внаслідок чого на клеммах двигуна може виникнути перенапруга, при поверненні відбитої хвилі [9], що може в 2–3 рази перевищувати напругу ланки постійного струму [10]. Це може призвести до пошкодження підшипників, валу та ізоляції обмоток двигуна, прискорити старіння [11].

У літературі в даний час виділяють дві категорії моделей високочастотних машин: перша категорія ґрунтується на аналізі методом кінцевих елементів [12], який використовує чисельні та математичні підходи для створення високочастотної моделі асинхронного двигуна аналізу електромагнітного поля [13, 14]. Друга категорія виводиться з використанням еквівалентної схеми [13–15]. Відповідна модель АД будується з використанням вимірних імпедансів машини в діапазоні частот від сотень Гц до десятків МГц [13–15]. Такі схеми не вимагають знання геометрії машини і властивостей її конструкційних матеріалів. Натомість основна увага в цих моделях приділяється характеристикам високочастотного імпедансу машини.

Високочастотна модель АД. Параметри моделі високочастотної машини слід визначати за допомогою прямих вимірювань імпедансу. Вимірювання імпедансу в диференціальному режимі (ДР) та синфазному режимі (СР) надають необхідні дані для високочастотної моделі АД. Щоб відобразити поведінку машини модель повинна бути охарактеризована в діапазоні частот, зазвичай від 100 Гц до 10 МГц [13–15]. Цей діапазон частот зазвичай ділиться на низькі частоти (<10 кГц), середні частоти (10–500 кГц) та високі частоти (500–10 МГц). Характеристики імпедансу двигуна в діапазоні середніх та високих частот не залежать від швидкості ротора та струму статора [15].

Для вимірювання імпедансу ДР, вимірювач повного опору слід підключити між двома паралельно з'єднаними фазами та несиметричною фазою [15], як показано на рис. 2,а. Імпеданс СР вимірюється між трьома паралельно з'єднаними фазами та корпусом двигуна, який зазвичай заземлений [15], як показано на рис. 2,б. Ці вимірювання надають необхідну інформацію для визначення параметрів моделі. Пропонована універсальна модель заснована на розширенні досліджень [15], в яких використовується проста односекційна високочастотна схема заміщення обмотки для кожної з фази АД (рис. 3).

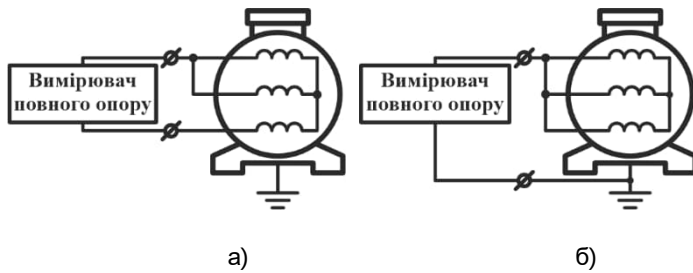


Рисунок 2 – Методи вимірювання імпедансу обмоток статора асинхронного двигуна а) – диференційний «зірка» б) – синфазний «зірка»;

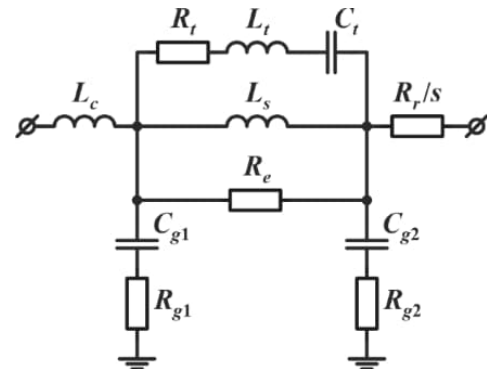


Рисунок 3 – Еквівалентна схема однієї з фаз асинхронного двигуна

На рис. 3 конденсатори C_{g1} та C_{g2} є еквівалентними паразитними ємностями між фазою і землею та нейтраллю і землею. R_{g1} та R_{g2} – еквівалентні опори обумовлені скін-ефектом та ефектом близькості між обмоткою та землею. L_s є індуктивністю розсіювання обмотки статора, а R_e являє собою високочастотні втрати вихрових струмів в сердечнику статора. Елементи R_t , L_t , C_t використовуються для відображення другого резонансу на характеристиці імпедансу ДР АД через ефект міжвиткового ємнісного зв'язку обмотки статора. L_c являє собою сукупну індуктивність внутрішніх провідників машини до обмотки статора [15] та індуктивність розсіювання статора в перших декількох витках паза [15, 16]. Параметри елементів розраховуються шляхом оцінки характеристик імпедансу СР та ДР. На рис. 3 показано залежний від ковзання опір R_r/s , де R_r означає опір ротора, а s являє собою ковзання машини [16]. Він потрібен, щоб модель відображала поведінку АД низькочастотної області.

Параметри моделі визначаються із характерних ділянок та точок на імпедансах ДР та СР (рис. 4). В якості досліджуваного двигуна [8] використовувався АД Baldor EM3710T потужністю 4 кВт при з'єднанні обмоток «зіркою» з номінальною частотою обертання 1800 об/хв.

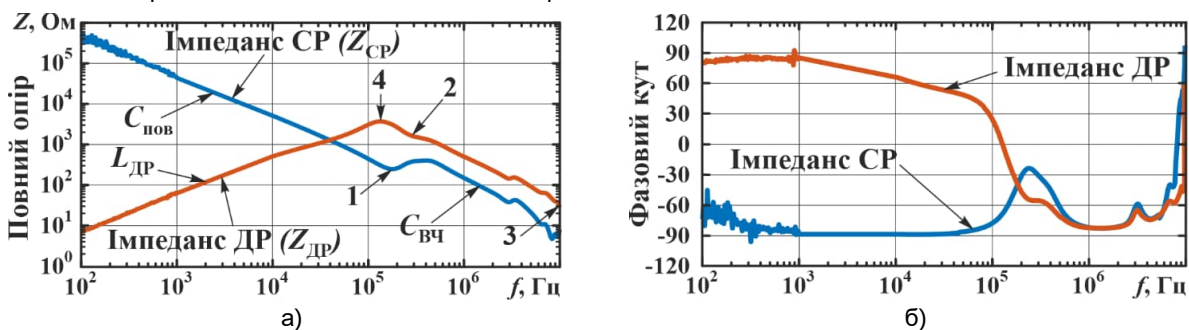


Рисунок 4 – Частотні залежності повного опору в синфазному та диференційному режимах (а), та їх фазні зсуви (б) з пронумерованими точками та ділянками для розрахунку параметрів моделі.

Спочатку повна $C_{пов}$ та високочастотна $C_{ВЧ}$ ємність обмотки щодо землі визначається з нахилів імпедансу СР, як показано на рис. 4,а.

$$C_{пов} = \frac{1}{2\pi f_{пов} Z_{пов}}; \quad C_{ВЧ} = \frac{1}{2\pi f_{ВЧ} Z_{ВЧ}} \quad (1, 2)$$

де $f_{\text{пов}}, f_{\text{вч}}$ – частоти обраних точок на інтервалах $C_{\text{пов}}, C_{\text{вч}}$ синфазного режиму відповідно (рис. 3,а); $Z_{\text{пов}}, Z_{\text{вч}}$ – абсолютні значення повного опору в обраних точках.

Далі обчислюються паразитні ємності C_{g1} та C_{g2} [15]:

$$C_{g1} = \frac{1}{3} C_{\text{вч}}; \quad C_{g2} = \frac{1}{3} (C_{\text{пов}} - C_{\text{вч}}). \quad (3, 4)$$

Еквівалентні опори обумовлені скін-ефектом та ефектом близькості між обмоткою та землею, розраховуються на основі імпедансу Z_3 в резонансній нульовій точці 3 та імпедансу Z_1 в резонансній точці 1 на рис. 4,а:

$$R_{g1} = \frac{2}{3} Z_3; \quad R_{g2} = 3 Z_1; \quad (5, 6)$$

де Z_1, Z_3 – абсолютні значення повного опору в обраних точках.

Індуктивність розсіювання обмотки статора L_s визначається з індуктивностей ДР та СР [14, 15]:

$$L_s = L_{\text{CP}} + \frac{4}{9} L_{\text{ДР}}; \quad L_{\text{ДР}} = \frac{Z_{\text{ДР}}}{2\pi f_{\text{ДР}}} \quad (7, 8)$$

де $L_{\text{ДР}}$ – індуктивність обмотки, що визначається з відповідних нахилів імпедансу ДР (рис. 3,а); $f_{\text{ДР}}$ – частота обраної точки на інтервалі $L_{\text{ДР}}$ диференційного режиму (рис. 4,а); $Z_{\text{ДР}}$ – абсолютне значення повного опору в обраній точці.

Індуктивність обмотки в синфазному режимі L_{CP} визначається з резонансу в точці 1 (рис. 4,а) [14]:

$$L_{\text{CM}} = \frac{1}{12\pi^2 C_{g2} f_1^2}; \quad (9)$$

де f_1 – частота в точці резонансу 1.

Опір високочастотних втрат в залізі R_e розраховується на основі імпедансу Z_4 резонансної полюсної точки 4 [14, 15]:

$$R_e = \frac{2}{3} Z_4; \quad (10)$$

де Z_4 – абсолютне значення повного опору в точці 4.

Міжвиткова ємність C_t в 10 разів нижча, чим загальна ємність обмотки однієї з фаз на землю [15]:

$$C_t = \frac{1}{10} (C_{g1} + C_{g2}); \quad (11)$$

Індуктивність L_t та опір R_t для послідовної RLC ланки розраховуються на основі імпедансу Z_2 резонансної нульової точки 2:

$$L_t = \frac{1}{4\pi^2 C_t f_2^2}; \quad R_t = Z_2, \quad (12, 13)$$

де f_2 – частота в точці 2 (рис. 4,а); Z_2 – абсолютне значення повного опору в точці 2.

Індуктивність розсіювання першого витка високочастотного статора L_c розраховується за резонансною нульовою точкою 3 наступним чином:

$$L_c = \frac{1}{4\pi^2 C_{g1} f_3^2}; \quad (14)$$

де f_3 – частота в точці 3 (рис. 4,а).

Високочастотна модель АІН з ШІМ. Для повного та точного дослідження асинхронного електропривода необхідно також враховувати еквівалентну схеми трифазного інвертора з урахуванням паразитних параметрів (рис. 5).

Основні паразитні компоненти пропонованої ВЧ схеми інвертора, представленої на рис. 5:

– Блукаючі індуктивності з'єднувальних провідників. Ці параметри впливають на загальну індуктивність ланки та сильно залежать від конструкції ПЧ. Ці індуктивності (L_w) можна оцінити за аналітичною формулою для двох паралельних циліндричних провідників або для круглого чи прямокутного одновиткового контуру [18].

– Паразитні індуктивності конденсаторів. Зазвичай неможливо оцінити їх аналітично, але можна виміряти. Типові значення – $L_{\text{CE}} = 5 - 20$ нГн для керамічних конденсаторів та $L_{\text{EL}} = 30 - 100$ нГн для великих електролітичних конденсаторів [19]. Для отримання великої еквівалентної ємності з низькою еквівалентною паразитною індуктивністю зазвичай використовується паралельне з'єднання обох типів конденсаторів [18].

– Паразитні ємності між ключами та землею. Заземлення з міркувань безпеки вводиться між радіатором ключів (MOSFET або IGBT) та металевим корпусом. Значення цих ємностей можна оцінити за допомогою

формули конденсатора з паралельними пластинами. Вони залежать від розміру та геометрії силових ключів, та для MOSFET або IGBT результуюча паразитна ємність становить близько сотень пФ (виміряна).

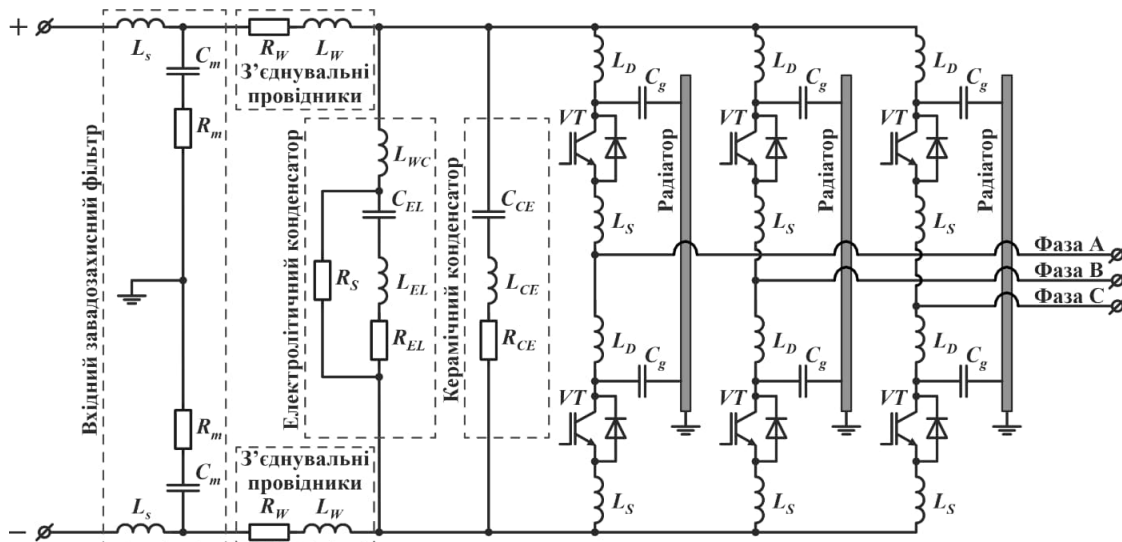


Рисунок 5 – Еквівалентна високочастотна схема трифазного інвертора з урахуванням власних та паразитних параметрів [17].

У схемі досліджуваної установки, представленої на рис.1 та рис.5, розв'язка джерела постійного струму (некерований випрямляч або шина постійного струму) та АІН здійснюється за допомогою вхідного Г-подібного заводозахисного LC-фільтра (ВЗЗФ) нижніх частот з хвильовим опором 50 Ом, індуктивністю 50 мкГн. В якості силових ключів АІН використовуються IGBT-транзистори типу SKM200GB122D з максимальною напругою 1200В, максимальним струмом 150А.

В системі АІН з ШІМ – АД, що показана на рис. 1 на виході АІН були виміряні синфазні та диференційні струму (несиметричні та симетричні складові) за допомогою давачів струму тороїдальної форми (рис. 6).



Рисунок 6 – Вимірювання синфазного (а) та диференційного (б) струму для трифазної системи.

Моделювання. Згідно із досліджуваною схемою асинхронного електропривода (рис. 1), та відповідно до схем заміщення АД (рис. 3) та АІН (рис.5) було розроблено імітаційну модель в середовищі Matlab Simulink, що складається з моделі АІН з ШІМ (рис.7) на вихід якого підключено АД, що утворений з'єднанням зіркою моделей фази АД (рис. 8,б). Керування роботою АІН відбувається за допомогою ШІМ генератора показаного на рис. 8,в. Модель, відповідних рисунку 6, вимірювачів синфазного та диференційного струмів показана на рис. 8,а.

На рис. 9 показані змодельовані та експериментальні форми диференційних (рис. 9,а) та синфазних (рис. 9,б) струмів для з'єднання обмоток АД «зіркою». Експериментальні характеристики були отримані шляхом дослідження АІН (ABB ACS150-03U-09A8-2) з підключичним АД (Baldor EME3710T) [8].

Як видно з рис. 9,а високочастотна модель асинхронного електропривода досить точно відтворює результати вимірювання диференційного струму. На рис. 9,б видно, що пікові значення синфазного струму, що відтворенні моделлю, близькі до виміряних значень. Згідно з [14], всплески синфазних струмів обумовлені високим значенням dU/dt , під час комутації силових ключів. Існують і незначні відмінності між змодельованими та експериментальними результатами, а саме додаткові коливання в виміряному синфазному струмі (рис. 9,б). Ці коливання відсутні в змодельованих результатах, оскільки використовується високочастотна модель АД (рис. 3, рис. 8,б) низького порядку. Очікується, що модель високочастотної машини вищого порядку може покращити точність моделювання синфазних струмів, шляхом додавання більшої кількості компонентів схеми, проте методологія визначення їх параметрів буде більш складною.

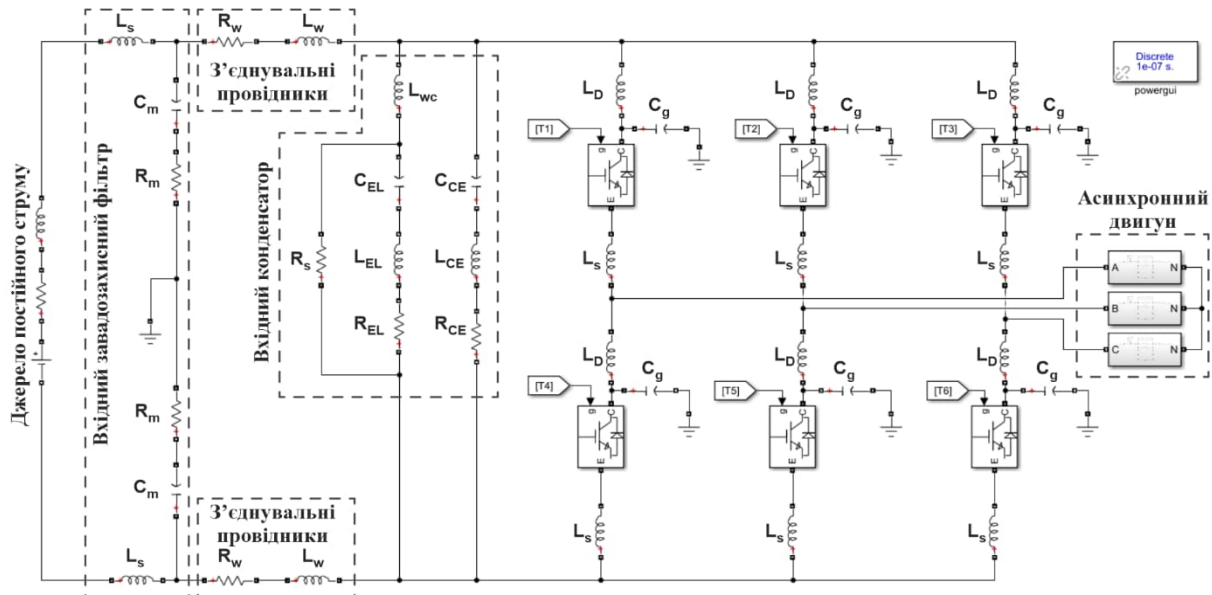


Рисунок 7 – Імітаційна модель «АІН з ШІМ – АД» в середовищі Matlab Simulink

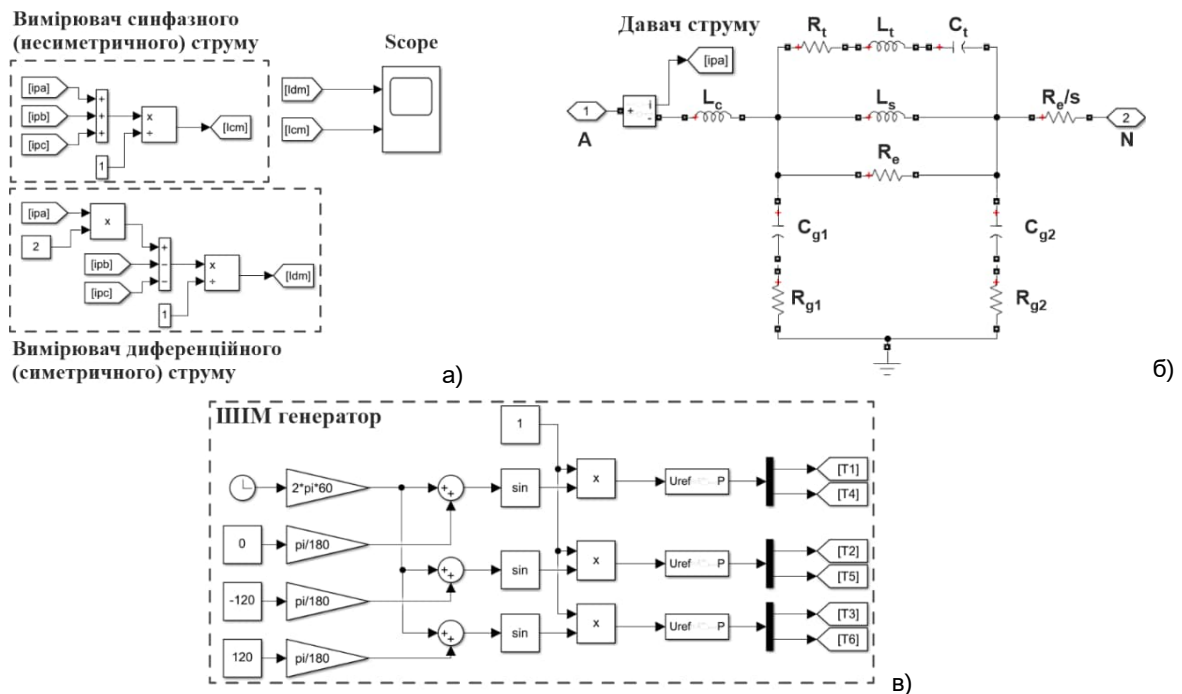


Рисунок 8 – Елементи моделі: а) – вимірювачі струму; б) – модель однієї з фаз АД; в) – ШІМ генератор

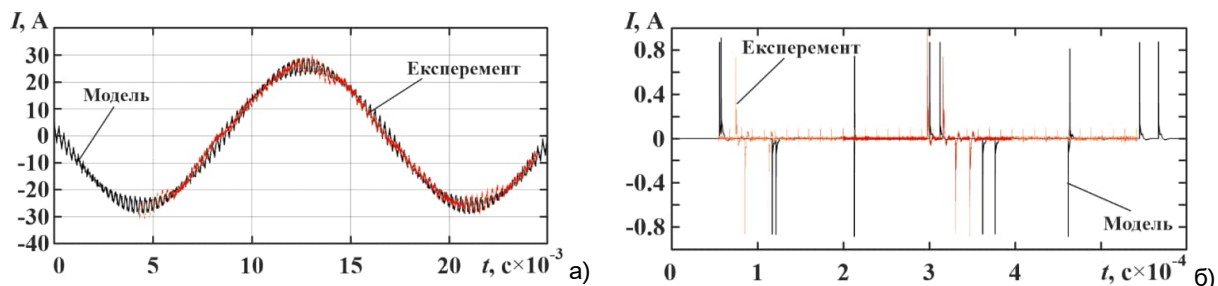


Рисунок 9 – Часові діаграми: а) – диференційного струму; б) – синфазного струму на виході АІН в порівнянні з експериментальними результатами

Висновки. Для оцінки ЕМП у системі АІН з ШІМ – АД побудовано високочастотну модель з урахуванням внутрішніх і паразитних параметрів АІН та АД, та подальшим її моделюванням з використанням пакету MATLAB Simulink. При побудові моделі запропоновані еквівалентні схеми інвертора та обмоток статора АД. Параметри обмоток визначалися виходячи з аналізу експериментальних частотних залежностей імпедансу

АД, за винятком залежного від ковзання опору R_r / s , що визначають вимірюючи механічну швидкість обертання АД, та розраховують значення R_r / s відповідним чином.

В результаті моделювання отримані часові діаграми синфазних та диференціальних струмів на виході інвертора. Шляхом порівняння змодельованих та експериментальних результатів підтверджено достовірність запропонованої моделі асинхронного електропривода.

Встановлено, що на виході інвертора сплески кривої симетричної складової струму обумовлені високими значеннями dU/dt і паразитними ємностями навантаження, причому коливання, що супроводжують кожен сплеск мають власну частоту, що відповідає резонансній частоті імпедансу синфазного режиму (рис. 3,а) [1, 14]. Запропоновану схему асинхронного електропривода за схемою АІН з ШІМ – АД рекомендовано використовувати при дослідженні диференціальних (симетричних) та синфазних (несиметричних) ЕМП в СЕЕС.

Список використаних джерел

1. Жук Д.О. Симметричные и несимметричные помехи в системе инвертор с ШИМ – асинхронный двигатель. Вісник КДПУ. Наукові праці КДПУ: Випуск 2/2003(19) – Кременчук: КДПУ, 2003. – С. 121–125.
2. Weens, Y., Idir, N., Bausiere, R., & Franchaud, J. J. (2006). Modeling and simulation of unshielded and shielded energy cables in frequency and time domains. *IEEE Transactions on Magnetics*, 42(7), 1876–1882.
3. Arnedo, L., & Venkatesan, K. (2003). High frequency modeling of induction motor drives for EMI and overvoltage mitigation studies. *IEEE International Electric Machines and Drives Conference*, 2003. IEMDC'03, Madison, WI, USA, 2003, pp. 468-474 vol.1.
4. De Paula, H., de Andrade, D. A., Chaves, M. L. R., Domingos, J. L., & de Freitas, M. A. A. (2008). Methodology for Cable Modeling and Simulation for High-Frequency Phenomena Studies in PWM Motor Drives. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 23(2), 744–752.
5. Mirafzal, B., Skibinski, G. L., & Tallam, R. M. (2009). A Failure Mode for PWM Inverter-Fed AC Motors Due to the Antiresonance Phenomenon. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 45(5), 1697–1705.
6. Wang, L., Ngai-Man Ho, C., Canales, F., & Jatskevich, J. (2010). High-Frequency Modeling of the Long-Cable-Fed Induction Motor Drive System Using TLM Approach for Predicting Overvoltage Transients. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 25(10), 2653–2664.
7. Жук Д.А. Защита асинхронного двигателя от перенапряжений в системе частотно-регулируемого электропривода с учетом кабельной линии. *Электромашиностроение и электрооборудование. Респ. межвед. науч.-техн. сб.* – 2001. – Вып. 57. – С. 40-44
8. Aria Fani. Simulation and Experimental Verification of Universal High Frequency Induction Machine Model for Arbitrary Stator Winding Connections. author's abstract of. diss.: 01.22 / THE UNIVERSITY OF BRITISH COLUMBIA
9. S. Amarir, and K. Al-Haddad, "A modeling technique to analyze the impact of inverter supply voltage and cable length on industrial motor-drives," *IEEE Trans. Power. Electron.*, vol. 23, no. 2, pp. 753–762, Mar. 2008.
10. S. Amarir, and K. Al-Haddad, "A modeling technique to analyze the impact of inverter supply voltage and cable length on industrial motor-drives," *IEEE Trans. Power. Electron.*, vol. 23, no. 2, pp. 753–762, Mar. 2008.
11. A. Muetze, and A. Binder, "Calculation of influence of insulated bearings and insulated inner bearing seats on circulating bearing currents in machines of inverter-based drive systems," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 42, no. 4, pp. 965-972, Jul/Aug. 2006.
12. O. Magdun, A. Binder, and C. Purcarea, "High-frequency induction machine models for calculation and prediction of common mode stator ground currents in electric drive systems," in *Proc. 13th European Conference on Power Electronics and Applications (EPE)*, Sept. 2009, pp. 1–8.
13. N. Idir, Y. Weens, M. Moreau, and J. J. Franchaud, "High-frequency behavior models of AC motors," *IEEE Trans. Magn.*, vol. 45, no. 1, pp. 133–138, Jan. 2009.
14. M. Schinkel, S. Weber, S. Guttowski, W. John, and H. Reichl, "Efficient HF modeling and model parameterization of induction machines for time and frequency domain simulations," in *Proc. Applied Power Electronics Conference (APEC)*, pp. 1181–1186, Mar. 2006.
15. M. S. Toulabi, L. Wang, L. Bieber, S. Filizadeh, and J. Jatskevich, "A Universal HighFrequency Induction Machine Model and Characterization Method for Arbitrary Stator Winding Connections," *IEEE Transactions on Energy Conversion*, pp. 1-12, 2019.
16. B. Mirafzal, G. Skibinski, R. Tallam, D. Schlegel, and R. Lukaszewski, "Universal induction motor model with low-to-high frequency-response characteristics," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 43, no. 5, pp. 1233–1246, Sept/Oct. 2007.
17. G. Grandi, I. Montanari, and U. Reggiani, "Effects of power converter parasitic components on conducted EMI," in *Proc. Int. Zurich Symp. EMC*, Zurich, Switzerland, Feb. 18–20, 1996, pp. 499–504.
18. Grandi, D. Casadei and U. Reggiani, "Common- and differential-mode HF current components in AC motors supplied by voltage source inverters," in *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 19, no. 1, pp. 16-24, Jan. 2004.
19. P. A. Chatterton and M. A. Houlden, *EMC: Electromagnetic Theory to Practical Design*. New York: Wiley, 1992.

Наукове видання

СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИКИ ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКИ – 2024

ВСЕУКРАЇНСЬКА НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ

25 квітня 2024 року

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки
просп. Центральний, 3, м. Миколаїв

МАТЕРІАЛИ КОНФЕРЕНЦІЇ

(українською мовою)

Відповідальний за випуск А.В. Обрубов
Комп'ютерна верстка А.В. Обрубов