



УКРАЇНА

(19) UA (11) 20237 (13) U
(51) МПК (2006)
H02P 27/04МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту**(54) СПОСІБ ОБМЕЖЕННЯ ВИХІДНИХ СТРУМІВ ТРИФАЗНОГО МОСТОВОГО ІНВЕРТОРА НАПРУГИ З ШИРОТНО-ІМПУЛЬСНИМ РЕГУЛЮВАННЯМ ВИХІДНОЇ НАПРУГИ, ЯКИЙ ЖИВИТЬ ДВИГУН ЗМІННОГО СТРУМУ**

1

(21) u200607944

(22) 14.07.2006

(24) 15.01.2007

(46) 15.01.2007, Бюл. № 1, 2007 р.

(72) Волков Олександр Васильович, Скалько Юрій Сергійович

(73) ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

(57) Спосіб обмеження вихідних струмів трифазного мостового інвертора з широтно-імпульсним регулюванням вихідної напруги, який живить двигун змінного струму, який полягає у тому, що контролюють вихідні фазні струми інвертора, порівнюють миттєві абсолютні значення кожного з контрольованих вихідних фазних струмів інвертора з припустимим для них граничним значенням, і якщо ці струми не перевищують граничного значення, задають відкриті і закриті стани силових ключів інвертора від вихідних сигналів системи автоматичного керування електроприводом, який **відрізняється** тим, що вихідні фазні струми інвертора контролюють безпосередньо у вихідних фа-

2

зах інвертора, а при перевищенні абсолютним значенням струму в одній з вихідних фаз інвертора граничного значення: при одній полярності вихідного фазного струму інвертора - відкривають у даній фазі інвертора один силовий ключ, з'єднаний з негативним полюсом інвертора, відкривають у двох інших фазах інвертора по одному силовому ключу, зв'язаному з позитивним полюсом інвертора, інші силові ключі інвертора закривають, а при протилежній полярності вихідного фазного струму інвертора - відкривають у даній фазі інвертора один силовий ключ, з'єднаний з позитивним полюсом інвертора, відкривають у двох інших фазах інвертора по одному силовому ключу, зв'язаному з негативним полюсом інвертора, інші силові ключі інвертора закривають, при цьому силові ключі інвертора встановлюють у початковий стан, що задається від вихідних сигналів системи автоматичного керування електроприводом, після зниження абсолютним значенням вихідного струму інвертора припустимого граничного значення.

Корисна модель відноситься до галузі електротехніки, конкретно - до частотно-регульованих електроприводів змінного струму, в яких як перетворювач частоти використовується трифазний автономний інвертор з широтно-імпульсним регулюванням вихідної напруги.

Обмеження вихідних струмів інвертора призначено, по-перше, для виключення аварійних відключень частотно-регульованого електропривода змінного струму в динамічних режимах (внаслідок зростання вихідних струмів інвертора понад припустимі значення для силових ключів інвертора), по-друге, для запобігання виходу з ладу силових ключів інвертора в даних режимах і, по-третє - для підвищення експлуатаційної надійності в цілому зазначених електроприводів.

Відомий спосіб обмеження вихідних струмів трифазного мостового інвертора з широтно-імпульсним регулюванням вихідної напруги, який

живить асинхронний двигун, реалізований у системі регулювання перетворювача частоти SAMI [1], який полягає в тому, що контролюють статорні струми двигуна, формують сигнали завдання полярності напівхвиль основних гармонік вихідних фазних напруг інвертора, які дорівнюють плюс одиниці - для позитивної полярності чи мінус одиниці - для негативної полярності зазначених напівхвиль основних гармонік, обчислюють добутки згаданих сигналів завдання полярності напівхвиль основних гармонік вихідних фазних напруг на відповідні фазні значення статорних струмів двигуна, підсумовують отримані добутки сигналів, обчислюють активну складову статорного струму двигуна шляхом виділення постійної складової із сумарного сигналу, порівнюють активну складову статорного струму двигуна з її припустимим максимальним значенням, при досягненні сигналом активної складової статорного струму двигуна

(13) U

(11) 20237

(19) UA

припустимого максимального значення зменшують частоту й амплітуду основної гармоніки вихідної напруги інвертора; при цьому зменшують амплітуду основної гармоніки вихідної напруги шляхом скорочення тривалості часу провідного стану інвертора, при якому відкриті силові ключі двох фаз одного полюса інвертора і третьої фази іншого полюса інвертора та збільшення тривалості часу непровідного стану інвертора, при якому відкриті три силові ключі, зв'язані з одним полюсом інвертора, і закриті три силові ключі, зв'язані з іншим полюсом інвертора.

Недоліком відомого способу є низька швидкість процесу обмеження вихідного струму інвертора, зумовлена значним часовим запізнюванням, внесеним операцією виділення сигналу постійної складової (реалізованої на основі фільтра низької частоти) при обчисленні активної складової статорного струму двигуна. Як наслідок, для динамічних приводів, що характеризуються високими темпами розгону і гальмування, ударним прикладенням моменту навантаження, цей спосіб не може бути застосований, тому що при його використанні не забезпечується безаварійний режим обмеження вихідного струму інвертора (через перевищення вихідними струмами припустимої струмової комутаційної здатності для силових ключів інвертора, що призводить, якщо негайно не закрити силові ключі інвертора, до виходу їх із ладу, а отже - до припинення функціонування електропривода).

Найбільш близьким за технічною сутністю до запропонованого способу обраний спосіб обмеження вихідних струмів трифазного мостового інвертора з широтно-імпульсним регулюванням вихідної напруги, який живить асинхронний двигун, прийнятий нами за прототип, реалізований у частотно-регульованому асинхронному електроприводі [2], що полягає в тому, що контролюють миттєві значення вихідних фазних струмів інвертора непрямо через вимірювані значення вхідного струму інвертора, і якщо ці струми не перевищують припустимого граничного значення, відкриті й закриті стани силових ключів інвертора задають від вихідних сигналів системи автоматичного керування електроприводом, а при перевищенні абсолютним значенням струму в одній з вихідних фаз інвертора допустимого граничного значення інвертору задають непровідний стан, при якому відкривають три силові ключі, зв'язані з одним полюсом інвертора, інші три силові ключі інвертора, зв'язані з іншим полюсом інвертора, закривають, при цьому назад силові ключі інвертора приводяться в стан, що задається від вихідних сигналів системи автоматичного керування електроприводом, у черговий момент часу завдання від не наступного провідного стану інвертора, при якому відкритий один силовий ключ, зв'язаний з одним із полюсів інвертора, відкриті два силові ключі, зв'язані з іншим полюсом інвертора, інші три силові ключі інвертора закриті.

Недоліком відомого способу є відсутність обмеження вихідних струмів інвертора в динамічних режимах (при високих темпах розгону і гальмування, ударних навантаженнях) електропривода. А саме: ця ситуація спостерігається протягом непровідного стану інвертора, якому відповідають: три

одночасно відкриті ключі, зв'язані з одним полюсом інвертора, та три одночасно закриті силові ключі, зв'язані з іншим полюсом інвертора. При зазначеному стані силових ключів інвертора вихідні фазні струми інвертора не дорівнюють нулю, тому що відбувається фактично коротке замикання між собою трьох фазних статорних обмоток обертowego електродвигуна змінного струму (через три одночасно відкриті силові ключі інвертора), а вхідний струм інвертора (при зазначеному стані силових ключів) - дорівнює нулю. Якщо протягом розглянутого непровідного стану інвертора хоча б один з вихідних фазних струмів інвертора за абсолютним значенням перевищить припустиме граничне значення струму для застосовуваного силового ключа, то при здійснюваному непрямому контролі миттєвих значень цих струмів (через поточне значення вхідного струму інвертора) перевищення зазначеного струму фактично не діагностується (оскільки в цей час вхідний струм інвертора дорівнює нулю). Як наслідок, вихідні фазні струми інвертора (а отже, також струми через відкриті силові ключі відповідних фаз інвертора) продовжують зростати, викликаючи або подальше спрацювання аварійного захисту (у вигляді екстреного закриття всіх силових ключів інвертора), або приводячи до виходу з ладу силових ключів інвертора (і, в будь-якому випадку, - до припинення нормального функціонування електропривода змінного струму).

В основу корисної моделі поставлене завдання розроблення способу обмеження вихідних струмів трифазного мостового інвертора з широтно-імпульсним регулюванням вихідної напруги, який живить двигун змінного струму, за допомогою якого забезпечується ефективне обмеження вихідних струмів інвертора в будь-яких (динамічних чи статичних) режимах роботи частотно-регульованого електропривода змінного струму, що збільшує експлуатаційну надійність зазначеного електропривода в цілому.

Вирішення цього завдання досягається тим, що в способі обмеження вихідних струмів трифазного мостового інвертора з широтно-імпульсним регулюванням вихідної напруги, який живить двигун змінного струму, який полягає в тому, що контролюють вихідні фазні струми інвертора, порівнюють миттєві абсолютні значення кожного з контрольованих вихідних фазних струмів інвертора з припустимим для них граничним значенням, і якщо ці струми не перевищують припустимого граничного значення, задають відкриті і закриті стани силових ключів інвертора від вихідних сигналів системи автоматичного керування електроприводом. Причому додатково контролюють вихідні фазні струми інвертора безпосередньо у вихідних фазах інвертора, а при перевищенні абсолютним значенням струму в одній з вихідних фаз інвертора припустимого граничного значення здійснюють подальші переключення силових ключів інвертора. А саме: при одній полярності цього вихідного фазного струму інвертора відкривають у даній фазі інвертора один силовий ключ, з'єднаний з негативним полюсом інвертора, відкривають у двох інших фазах інвертора по одному силовому ключу, зв'язаному з позитивним полюсом інверто-

ра, інші силові ключі інвертора закривають. При протилежній полярності даного вихідного фазного струму інвертора - відкривають у цій фазі інвертора один силовий ключ, з'єднаний з позитивним полюсом інвертора, відкривають у двох інших фазах інвертора по одному силовому ключу, зв'язаному з негативним полюсом інвертора, інші силові ключі інвертора закривають. При цьому силові ключі інвертора встановлюють у початковий стан, що задається від вихідних сигналів системи автоматичного керування електроприводом, після зниження абсолютним значенням вихідного струму інвертора припустимого граничного значення.

Здійснюваний у запропонованому способі безпосередній контроль миттєвих значень вихідних фазних струмів інвертора у всіх можливих режимах його роботи (у провідному і непровідному стані інвертора) і використання нової послідовності керування силовими ключами інвертора, що задається при досягненні вихідними струмами інвертора припустимого граничного значення, виключає неприпустиме наростання струму в силових ключах інвертора, запобігає аварійним відключенням електропривода в динамічних і стаціонарних режимах роботи або вихід з ладу силових ключів інвертора, підвищує в цілому експлуатаційну надійність частотно-регульованого електропривода змінного струму.

Таким чином, нові ознаки при взаємодії з відомими ознаками забезпечують виявлення нових технічних властивостей - шляхом схемних удосконалень та введення нових операцій розроблено спосіб обмеження вихідних струмів трифазного мостового інвертора напруги з широтно-імпульсним регулюванням вихідної напруги, який живить двигун змінного струму. Це забезпечує усій заявленій сукупності ознак відповідність критерію «новизна».

Аналоги, які містять ознаки, що відрізняються від прототипу, не знайдені, рішення явним чином не випливає з рівня техніки. Виходячи з вищевикладеного, можна зробити висновок, що запропоноване рішення задовольняє критерію «винахідницький рівень».

Ідея корисної моделі пояснюється кресленнями:

на Фіг.1 - функціональна схема варіанта пристрою, що реалізує запропонований спосіб;

на Фіг.2 - спрощена розрахункова схема силових частин частотно-регульованого електропривода змінного струму;

на Фіг.3-6 - еквівалентні схеми заміщення, що ілюструють варіанти підключення статорних обмоток двигуна до інвертора;

на Фіг.7 - часова діаграма вихідного фазного струму інвертора.

Функціональна схема пристрою на Фіг.1 містить трифазний мостовий інвертор 1 з широтно-імпульсним регулюванням вихідної напруги, який живить двигун 2 змінного струму (асинхронну, синхронну чи синхронно-реактивну електричну машину). Інвертор 1 складається із шести керованих силових ключів 3-8, шунтованих зворотними діодами 9-14. Причому, силові ключі 3, 5, 7 (з непарними номерами) зв'язані з позитивним полюсом (+) джерела живлення U , а силові ключі 4, 6, 8 (з пар-

ними номерами) зв'язані з негативним полюсом (-) цього джерела живлення. Керуючі входи силових ключів 3-8 інвертора позначені відповідно: +А, -А, +В, -В, +С, -С (де букви А, В, С - вказують, до якої фази інвертора належить силовий ключ; знаки «+» і «-» вказують на те, з яким полюсом інвертора з'єднаний безпосередньо даний силовий ключ).

У складі пристрою на Фіг.1 також містяться: система автоматичного керування 15 електроприводом, датчики струму 16-18, блок 19 виділення модуля (що складається з вузлів 20-22 виділення модуля), блоки компараторів 23 і 24 (що складаються з компараторів відповідно 25-27 і 28-30), перетворювач коду 31 та блок мультиплексорів 32 (що складається із шести залежних двоканальних мультиплексорів 33-38). При цьому виходи датчиків струму 16-18 зв'язані з входами блоку компараторів 23 і блоку 19 виділення модуля, виходи якого з'єднані з входами блоку компараторів 24. Виходи блоків компараторів 23 і 24 приєднані до входів перетворювача коду 31, зв'язаного своїми виходами з одними із входів блоку мультиплексорів 32, другі входи якого підключені до виходів системи автоматичного керування 15 електроприводом. Блок мультиплексорів 32 зв'язаний своїм керуючим входом через логічний елемент «АБО» 39 з виходами блоку компараторів 24, а виходом - через блок драйверів 40 з керуваними входами силових ключів 3-8 інвертора 1.

У спрощеній розрахунковій схемі силових частин частотно-регульованого електропривода змінного струму, наведеній на Фіг.2, силові ключі 3-8 інвертора 1, шунтовані зворотними діодами 9-14, представлені ідеалізованими ключами: +А, -А, +В, -В, +С, -С; електродвигун 2 змінного струму - у вигляді трифазного електричного кола, що містить активні опори R і індуктивності L розсіювання двигуна, проти-ЕРС двигуна (останні - зі значеннями E_A , E_B , E_C відповідно для фаз «А», «В» і «С» двигуна або однойменних фаз інвертора 1). Для вихідних фазних струмів I_A , I_B , I_C інвертора показані на Фіг.2 стрілками їх умовні позитивні напрямки. При цьому для електродвигуна 2 вважаємо з'єднання його трифазної статорної обмотки в «зірку» без нульового проводу (що найчастіше застосовується на практиці).

Еквівалентні схеми заміщення, представлені на Фіг.3, ілюструють підключення статорних обмоток двигуна:

а - при вихідному провідному стані інвертора (наприклад, з відкритими силовими ключами 3, 6, 8 на Фіг.1 або +А, -В, -С на Фіг.2);

б - при вихідному непровідному стані інвертора (наприклад, з відкритими силовими ключами 4, 6, 8 на Фіг.1 або -А, -В, -С на Фіг.2);

в - для стану силових ключів інвертора, що настав у режимі обмеження вихідних струмів інвертора (коли відкриті силові ключі 4, 5, 7 на Фіг.1 або -А, +В, +С на Фіг.3-6). На Фіг.6 показана перетворена схема, що відповідає стану силових ключів інвертора, що настав у режимі обмеження вихідних струмів інвертора (відкриті силові ключі 4, 5, 7 у схемі на Фіг.1 або ключі -А, +В, +С у схемі на Фіг.2).

Для часової діаграми на Фіг.7 застосовуються наступні позначення: I_A - поточне значення вихід-

ного струму інвертора; I^*_M - припустиме граничне значення (для силових ключів інвертора) вихідного фазного струму інвертора.

Запропонований спосіб обмеження вихідних струмів трифазного мостового інвертора 1 з широтно-імпульсним регулюванням вихідної напруги, який живить двигун змінного струму 2, функціонує наступним чином.

За допомогою датчиків струму 16-18, установлених на виході інвертора 1, контролюють вихідні фазні струми I_A , I_B , I_C інвертора, порівнюють миттєві абсолютні значення $|I_A|$, $|I_B|$, $|I_C|$ (що обчислюються на виході блоку 19 виділення модуля) зазначених струмів із припустимим для них граничним значенням I^*_M (за допомогою компараторів 28-30 у блоці компараторів 24).

Якщо абсолютні значення $|I_A|$, $|I_B|$, $|I_C|$ цих струмів не перевищують граничного значення I^*_M , вихідні сигнали компараторів 28-30 (що входять до складу блоку компараторів 24) дорівнюють нулю, дорівнює нулю вихідний сигнал логічного елемента «АБО» 39, що надходить на керуючий вхід блоку мультиплексорів 32. При зазначеному нульовому значенні керуючого сигналу блоку мультиплексорів 32 у ньому знаходяться одночасно замкнутими всі нормальнозамкнуті (н-з) контакти шести мультиплексорів 33-38 (що входять до складу блоку мультиплексорів 32). При цьому через н-з контакти мультиплексорів 33-38 надходять на входи блоку драйверів 40 сигнали керування $+A$, $-A$, $+B$, $-B$, $+C$, $-C$ силовими ключами 3-8 інвертора, що задаються від вихідних сигналів $+A_1$, $-A_1$, $+B_1$, $-B_1$, $+C_1$, $-C_1$ системи автоматичного керування 15 електроприводом:

$$\begin{cases} +A = +A_1; +B = +B_1; +C = +C_1; \\ -A = -A_1; -B = -B_1; -C = -C_1. \end{cases} \quad (1)$$

Причому, відкритим станам силових ключів 3-8 інвертора відповідають значення зазначених сигналів керування $+A$, $-A$, $+B$, $-B$, $+C$, $-C$ чи $+A_1$, $-A_1$, $+B_1$, $-B_1$, $+C_1$, $-C_1$, рівні логічній одиниці (лог. «1»), а закритим станам - рівні логічному нулю (лог. «0»). При неперевищенні абсолютними значеннями $|I_A|$, $|I_B|$, $|I_C|$ вихідних струмів інвертора I_A , I_B , I_C граничного значення I^*_M , відбувається нормальна (без примусового обмеження вихідних струмів інвертора) робота електропривода змінного струму, при якій відкриті та закриті стани силових ключів 3-8 інвертора задаються від вихідних сигналів $+A_1$, $-A_1$, $+B_1$, $-B_1$, $+C_1$, $-C_1$ системи автоматичного керування 15 електроприводом.

Розглянемо ситуацію, коли відбулося перевищення абсолютним значенням струму в одній з вихідних фаз інвертора 1 граничного значення I^*_M . Нехай, наприклад, це сталося (у момент часу t_1 Фіг.7) при позитивній полярності ($I_A > 0$) вихідного струму I_A у фазі А інвертора. У даний момент часу інвертор 1 міг знаходитися як у провідному стані (при якому підключення фазних статорних обмоток електродвигуна 2 відповідало схемі на Фіг.3), так і - у непровідному стані (при якому фазні статорні обмотки електродвигуна 2 були підключені відповідно до схеми на Фіг.4). Напрямок струму I_A , що відповідає його позитивній полярності, зазначено на Фіг.3, 4 стрілкою, показаною суцільною лінією;

присутня полярність вхідної напруги U інвертора 1 показана при цьому без дужок.

При позитивній полярності струму I_A вихідний сигнал компаратора 25 (що входить до складу блоку компараторів 23) дорівнює лог. «1». При перевищенні абсолютним значенням $|I_A|$ цього струму йому встановленого граничного значення I^*_M , стає рівним лог. «1» вихідний сигнал компаратора 28 (що входить до складу блоку компараторів 24). Даному стану вихідних сигналів компараторів 25 і 28 відповідають (незалежно від стану вихідних сигналів інших компараторів 26, 27 і 29, 30) наступні вихідні логічні сигнали перетворювача коду 31:

$$\begin{cases} +A_2 = 0; +B_2 = 1; +C_2 = 1; \\ -A_2 = 0; -B_2 = 0; -C_2 = 0 \end{cases} \quad (2)$$

При надходженні з виходу компаратора 28 сигналу лог. «1» на вхід логічного елемента «АБО» 39, на виході останнього формується сигнал лог. «1», що впливає на керуючий вхід блоку мультиплексорів 32 і викликає одночасне замикання в блоці 32 усіх нормально-відкритих (н-в) контактів шести мультиплексорів 33-38. При цьому на входи блоку драйверів 40 надходять сигнали $+A$, $-A$, $+B$, $-B$, $+C$, $-C$, рівні вихідним сигналам $+A_2$, $-A_2$, $+B_2$, $-B_2$, $+C_2$, $-C_2$ перетворювача коду 31:

$$\begin{cases} +A = +A_2; +B = +B_2; +C = +C_2; \\ -A = -A_2; -B = -B_2; -C = -C_2. \end{cases} \quad (3)$$

Від впливу зазначених вхідних сигналів блоку драйверів 40 відкриваються в даній фазі (А) інвертора силовий ключ $-A$ в схемі на Фіг.2 (чи ключ 4 у схемі на Фіг.1), з'єднаний з негативним полюсом ($-U$) інвертора, відкриваються в двох інших фазах (В і С) інвертора по одному силовому ключу $+B$ и $+C$ в схемі на Фіг.2 (чи ключі 5 і 7 у схемі на Фіг.1), зв'язаному з позитивним полюсом ($+U$) інвертора, інші силові ключі $+A$, $-B$, $-C$ інвертора в схемі на Фіг.2 (чи ключі 3, 6, 8 у схемі на Фіг.1) закриваються.

Стану силових ключів інвертора 1, що настав, відповідно до еквівалентної схеми на Фіг.2, відповідає схема підключення статорних обмоток електродвигуна 2, наведена на Фіг.5 (де стрілкою, показаною суцільною лінією, зазначений напрямок протікання струму I_A при його позитивній полярності). Відомими методами теоретичної електротехніки перетворимо схему на Фіг.5 до еквівалентної, представленої на Фіг.6, для якої лінійні значення E_{BA} , E_{CA} проти-ЕРС двигуна визначаються з залежностей:

$$\begin{cases} E_{BA} = E_B - E_A; \\ E_{CA} = E_C - E_A. \end{cases} \quad (4)$$

На Фіг.5,6 полярність вхідної напруги U інвертора, що показана без дужок, відповідає розглянутому стану силових ключів інвертора 1, що настав після перевищення абсолютним значенням $|I_A|$ вихідного струму I_A інвертора (що характеризується позитивною полярністю $I_A > 0$) граничного значення I^*_M .

З урахуванням співвідношень, що виконуються на практиці,

$$|U| > |E_{BA}| \text{ і } |U| > |E_{CA}|, \quad (5)$$

після завдання відкритих і закритих силових ключів 3-8 інвертора 1 від вихідних сигналів перетворювача коду 31 почне зменшуватися (на інтервалі часу t_1 - t_2 на Фіг.7) абсолютне значення $|I_A|$ фазного вихідного струму I_A інвертора. У такий спосіб фактично забезпечується ефективне примусове обмеження абсолютних значень $|I_A|$ вихідного фазного струму I_A інвертора (при розглянутій його позитивній полярності) нижче граничного значення:

$$|I_A| < I^*_{M} \quad (6)$$

Використовуємо реалізацію компараторів 28-30 з «петлею» спрацьовування, при якій для цих компараторів характерні дві уставки: уставка спрацьовування, рівна згаданому граничному значенню I^*_{M} вихідного струму інвертора, і уставка повернення I^{**}_{M} , що складає трохи менше значення (наприклад, рівне $I^{**}_{M} \approx 0,9 I^*_{M}$). З урахуванням даної технічної реалізації компараторів 28-30 попереднє описаний стан силових ключів інвертора (відповідне інтервалу часу t_1 - t_2 зниження вихідного струму I_A інвертора на Фіг.7) зберігається доти, поки абсолютне значення $|I_A|$ вихідного струму інвертора не зменшиться нижче уставки повернення:

$$|I_A| \leq I^{**}_{M} \quad (7)$$

Після цього змінюються (у момент часу t_2 на Фіг.7) вихідні сигнали компаратора 28 і логічного елемента «АБО» 39 на лог. «0». Внаслідок цього в блоці мультиплексорів 32 усі шість мультиплексорів 33-38 повертаються у вихідне (початкове) положення, що відповідає замкнутому стану н-з контактів цих мультиплексорів, при якому вхідні сигнали $+A$, $-A$, $+B$, $-B$, $+C$, $-C$ для блоку драйверів 40 задаються від вихідних сигналів $+A_1$, $-A_1$, $+B_1$, $-B_1$, $+C_1$, $-C_1$ системи автоматичного керування 15 електроприводом відповідно (2). Таким чином, силові ключі 3-8 інвертора 1 встановлені в початковий стан, що задається від вихідних сигналів $+A_1$, $-A_1$, $+B_1$, $-B_1$, $+C_1$, $-C_1$ системи автоматичного керування 15 електроприводом, після зниження абсолютним значенням $|I_A|$ вихідного струму інвертора I_A припустимого граничного значення I^*_{M} .

Розглянемо іншу ситуацію, коли відбулося перевищення абсолютним значенням $|I_A|$ струму I_A (у тій же фазі А інвертора) граничного значення I^*_{M} при негативній полярності ($I_A < 0$) зазначеного струму. Нехай це сталося в момент часу t_3 на часовій діаграмі на Фіг.7. У даний момент часу інвертор 1 міг знаходитися як у провідному (при якому підключення фазних статорних обмоток електродвигуна 2 відповідало схемі на Фіг.3,а), так і в непровідному стані (при якому фазні статорні обмотки електродвигуна 2 були підключені відповідно до схеми на Фіг.3). Напрямок струму I_A , що відповідає його негативній полярності, зазначено на Фіг.3, 4 стрілкою, показаною пунктиром; присутня при цьому полярність вхідної напруги U інвертора показана в дужках.

При негативній полярності струму I_A вихідний сигнал компаратора 25 (що входить до складу блоку компараторів 23) дорівнює лог. «0». При перевищенні абсолютним значенням $|I_A|$ цього струму йому встановленого граничного значення I^*_{M} , стає рівним лог. «1» вихідний сигнал компаратора 28 (що входить до складу блоку компараторів

24). Зазначеному стану вихідних сигналів компараторів 25 і 28 відповідають (незалежно від стану вихідних сигналів інших компараторів 26, 27 і 29, 30) наступні вихідні логічні сигнали перетворювача коду 31:

$$\left. \begin{aligned} +A_2 = 1; +B_2 = 0; +C_2 = 0; \\ -A_2 = 0; -B_2 = 1; -C_2 = 1. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

При надходженні з виходу компаратора 28 сигналу лог. «1» на вхід логічного елемента «АБО» 39, на виході останнього формується сигнал лог. «1», що впливає на керуючий вхід блока мультиплексорів 32 і викликає одночасне замикання в блоці 32 усіх н-о контактів шести мультиплексорів 33-38. При цьому на входи блоку драйверів 40 надходять відповідно (3) сигнали $+A$, $-A$, $+B$, $-B$, $+C$, $-C$, рівні вихідним сигналам $+A_2$, $-A_2$, $+B_2$, $-B_2$, $+C_2$, $-C_2$ перетворювача коду 31.

Від впливу зазначених вхідних сигналів блоку драйвера 40: відкриваються в даній фазі (А) інвертора силовий ключ $+A$ в схемі на Фіг.2 (чи ключ 3 у схемі на Фіг.1), з'єднаний з позитивним полюсом ($+U$) інвертора, відкриваються у двох інших фазах (В і С) інвертора по одному силовому ключу $-B$ і $-C$ в схемі на Фіг.2 (чи ключі 6 і 8 у схемі на Фіг.1), зв'язаному з негативним полюсом ($-U$) інвертора, інші силові ключі $-A$, $+B$, $-B$, $+C$ інвертора в схемі на Фіг.2 (чи ключі 4, 5, 7 у схемі на Фіг.1) закриваються.

Стану силових ключів інвертора 1, що настав, відповідно до еквівалентної схеми на Фіг.2, відповідає схема підключення статорних обмоток електродвигуна 2, показана на Фіг.5 (де стрілкою, показаною пунктиром, зазначений напрямок протікання струму I_A при негативній його полярності). Відомими методами теоретичної електротехніки схема на Фіг.5 може бути перетворена до еквівалентної схеми, представленої на Фіг.6, у якій значення E_{BA} , E_{BC} проти-ЕРС двигуна знаходяться з залежностей (4).

З урахуванням співвідношень, що виконуються на практиці, з (5), після завдання відкритих і закритих станів силових ключів 3-8 інвертора 1 від вихідних сигналів перетворювача коду 31 відбувається зниження (за абсолютною величиною) на інтервалі часу t_3 - t_4 на Фіг.7 вихідного фазного струму I_A інвертора, чим досягається обмеження зазначеного струму в межах співвідношення (6).

При спаданні абсолютного значення $|I_A|$ вихідного струму I_A інвертора нижче уставки повернення I^{**}_{M} компаратора 28, змінюються на лог. «0» вихідні сигнали зазначеного компаратора 28 і логічного елемента «АБО» 39. Унаслідок цього в блоці мультиплексорів 32 усі шість мультиплексорів 33-38 повертаються у вихідне (початкове) положення, що відповідає замкнутому стану н-з контактів цих мультиплексорів, при яких вхідні сигнали $+A$, $-A$, $+B$, $-B$, $+C$, $-C$ блоку драйверів 40 задаються від вихідних сигналів $+A_1$, $-A_1$, $+B_1$, $-B_1$, $+C_1$, $-C_1$ системи автоматичного керування 15 електроприводом відповідно (2). Таким чином, силові ключі 3-8 інвертора 1 встановлені в початковий стан, що задається від вихідних сигналів $+A_1$, $-A_1$, $+B_1$, $-B_1$, $+C_1$, $-C_1$ системи автоматичного керування 15 електроприводом. Це здійснено після зниження абсо-

лютим значенням $|I_A|$ вихідного струму I_A інвертора припустимого граничного значення I^*_M .

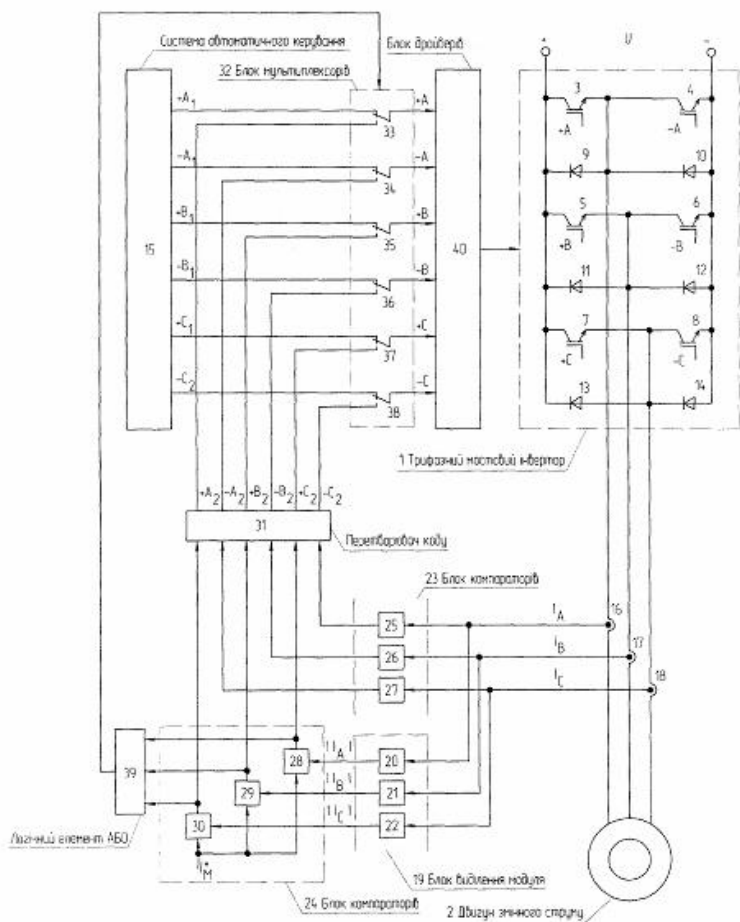
Ефективне обмеження, що реалізується за допомогою запропонованого способу, вихідного струму трифазного мостового інвертора, який живить двигун змінного струму, дозволяє помітно підвищити експлуатаційну надійність частотно-регульованого електропривода змінного струму в динамічних режимах роботи.

Виходячи з вищевикладеного, можна зробити висновок, що рішення, яке заявляється, задовольняє критерію «Промислове застосування».

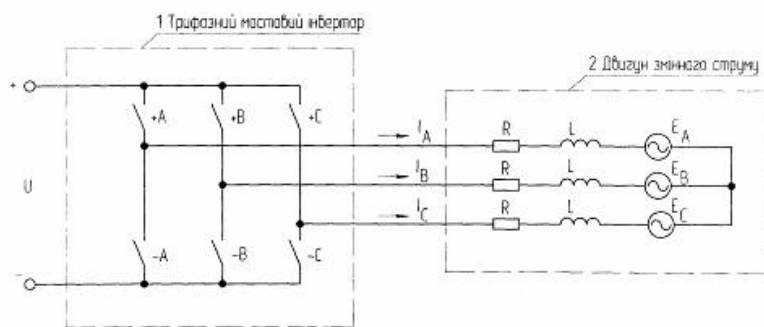
Джерела інформації:

1. Волков А.В., Андриенко П.Д. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод / Электро-техн. пром-сть. Сер. Электропривод, 1983, вып. 9(119), с. 18.

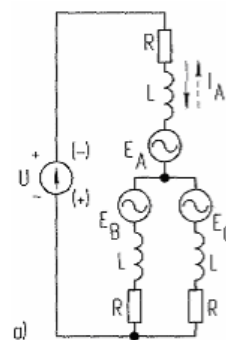
2. Авторское свидетельство №1309247 СССР, МКИ H02P 7/42. Частотно-регулируемый асинхронный электропривод / А.В.Волков (СССР). Опубл. 07.05.87. Бюл. №17.



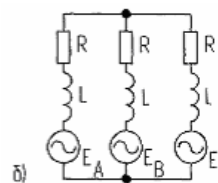
Фиг. 1



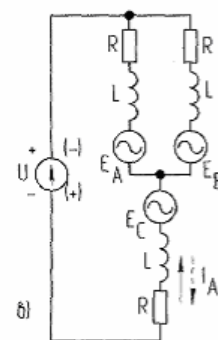
Фиг. 2



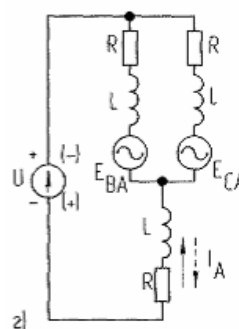
Фиг.3



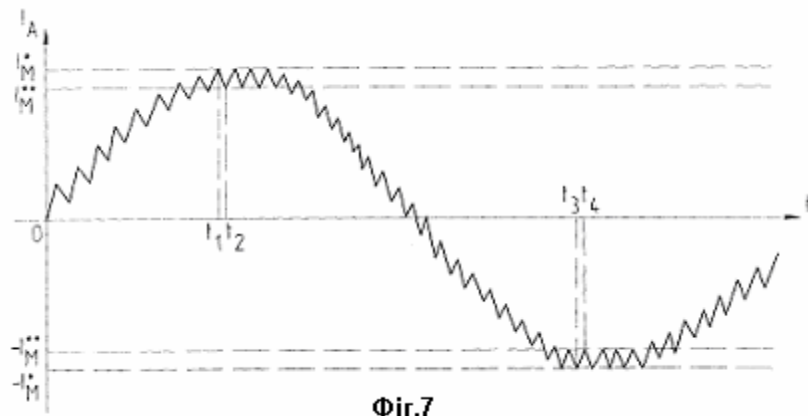
Фиг.4



Фиг.5



Фиг.6



Фиг.7