



УКРАЇНА

(19) UA (11) 77829 (13) C2
(51) МПК (2006)
H02P 27/04

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(54) АСИНХРОННИЙ ПРИВІД З ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ ЧАСТОТИ

1

(21) а200500561

(22) 21.01.2005

(24) 15.01.2007

(46) 15.01.2007, Бюл. № 1, 2007 р.

(72) Шацьолкін Олександр Олексійович, Мірошник
Денис Миколайович(73) ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

(56) SU 991572, 1983

EP 0078394, 1983

SU 1164853, 1985

SU 1515309, 1989

RU 2207699, 2003

(57) Асинхронний привід з перетворювачем частоти, який містить автономний інвертор напруги, що має два входи керування частотою і амплітудою вихідної напруги, два силові входи і три вихідних затискачі, трифазний асинхронний двигун, джерело постійної напруги, давач струму джерела постійної напруги, що має два входи і один вихід, імпульсний перетворювач, що підвищує значення вхідної напруги, який складається з транзистора, формувача імпульсів, діода, конденсатора і дроселя, один вивід якого підключений до позитивного затискача джерела, а другий - до анода діода і до колектора транзистора, вхід керування якого з'єднаний з виходом формувача імпульсів, катод діода підключений до першого силового входу автономного інвертора напруги і позитивного затискача конденсатора, негативний затискач якого з'єднаний з емітером транзистора і з першим входом давача струму джерела постійної напруги, при цьому другий вхід давача струму джерела постійної напруги з'єднаний з негативним затискачем джерела постійної напруги, виводи статора трифазного асинхронного двигуна підключені до від-

2

повідних вихідних затискачів автономного інвертора напруги, який відрізняється тим, що додатково введені другий діод, другий транзистор, другий формувач імпульсів, вузол блокування імпульсів, що має три входи і два виходи, давач напруги, давач вхідного струму автономного інвертора напруги, систему регулювання з двох каналів, що містять регулятор напруги і релейний регулятор струму, які мають вхід задання і вхід зворотного зв'язку, а також блок задання, що має три виходи, перший і другий приєднано до відповідних входів керування автономним інвертором напруги, а третій - до входів задання регуляторів напруги каналів системи регулювання, входи зворотного зв'язку регуляторів напруги з'єднані з виходом давача напруги, входи якого з'єднано з затискачами конденсатора, виходи регуляторів напруги в кожному каналі з'єднані з входами задання релейних регуляторів струму, входи зворотного зв'язку яких з'єднані з виходом давача струму джерела постійної напруги, виходи релейних регуляторів струму з'єднані з першим і другим входами вузла блокування імпульсів, третій вхід якого з'єднаний з виходом давача вхідного струму автономного інвертора напруги, входи якого з'єднані відповідно з емітером першого транзистора і другим силовим входом автономного інвертора напруги, при цьому перший і другий виходи вузла блокування імпульсів з'єднані відповідно з входами першого і другого формувачів імпульсів, вихід другого формувача імпульсів з'єднаний з входом керування другого транзистора, емітер якого з'єднаний з анодом першого діода, а колектор - з його катодом, анод другого діода з'єднаний з емітером першого транзистора, а катод - з колектором першого транзистора.

Винахід відноситься до області електротехніки і може бути застосований для асинхронного електроприводу з низьковольтним джерелом постійної напруги для узгодження напруг двигуна і джерела, а також його регулювання (транспорт, в металургійній промисловості на кранах, на металорізальних верстатах і т.д.).

Відомий перетворювач включає джерело постійної напруги (акумуляторну батарею) і вентиль-

но-трансформаторний інвертор напруги [Маренич К.Н., Ставицкий В.Н., Самойлов А.И. Обоснование технических решений для создания асинхронного частотно-регулируемого электропривода шахтного аккумуляторного электровоза. // Донбас-2020: наука і техніка - виробництво: Матеріали науково-практичної конференції, м. Донецьк, 05-06 лютого 2002р. - Донецьк, ДонНТУ Міністерства освіти і науки, 2002. - 700с.], що складається з трифазного

(13) C2

(11) 77829

(19) UA

трансформатора з трьома первинними обмотками, виконаними з середнім виводом, до яких підключаються три нульові однофазні інвертори на тиристорах, що вимикаються, із зустрічно-паралельно підключеними зворотними діодами, нульовий вивід (середня точка) інвертора і загальна точка з'єднання тиристорів всіх інверторів підключені до відповідних виводів джерела, вторинні обмотки трансформатора з'єднані в зірку і підключаються безпосередньо до обмотки статора асинхронного двигуна.

Пристрій працює таким чином

Три нульові інвертори перетворюють напругу постійного струму в трифазну змінну і за допомогою трансформатора підвищують її величину до потрібного для двигуна значення напруги.

Цей перетворювач має наступні недоліки

1. Застосування трансформатора, розрахованого на повну потужність електроприводу, значно погіршує масогабаритні показники приводу.

2. Застосування трансформатора, що підвищує вхідну напругу, в такому перетворювачі призводить до збільшення струму в первинному колі, що при використанні стандартних силових напівпровідникових модулів в первинному колі трансформатора збільшує їх потужності.

3. Перетворювач споживає струм імпульсного характеру від джерела постійної напруги (наприклад, акумуляторна батарея), що погіршує режим роботи останнього і обумовлює установку додаткового фільтра.

Найбільш близьким аналогом до винаходу є пристрій [Справедливый В.И. Оптимальное управление солнечным асинхронным частотно-регулируемым электроприводом водяного насоса. // Вестник национального технического университета "Харьковский политехнический институт", сборник научных трудов "Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика". - Харьков: НТУ "ХПИ", 2002, №12. - Т.2], який містить автономний інвертор напруги, що має два входи керування частотою і амплітудою вихідної напруги, два силові входи і три вихідних затискачі, трифазний асинхронний двигун, джерело постійної напруги, давач струму джерела постійної напруги, що має два входи і один вихід, давач напруги джерела постійної напруги, що має два входи і один вихід, імпульсний перетворювач, що підвищує значення вхідної напруги, який складається з транзистора, формувача імпульсів, системи широтно-імпульсної модуляції (ШИМ), діода, конденсатора і дроселя, один вивід якого підключається до позитивного затискача джерела, а другий до анода діода і до колектора транзистора, вхід керування якого, з'єднаний з виходом формувача імпульсів, катод діода підключений до першого силового входу автономного інвертора напруги і позитивного затискача конденсатора, негативний затискач якого з'єднаний з емітером транзистора, другим силовим входом автономного інвертора напруги і з першим входом давача струму джерела постійної напруги, при цьому другий вхід давача струму джерела постійної напруги з'єднаний з негативним затискачем джерела постійної напруги, при цьому входи давача напруги джерела постійної напруги з'єднані відповідно з двома затискачами джерела

постійної напруги, виводи трифазного асинхронного двигуна підключені до відповідних вихідних затискачів автономного інвертора напруги, обидва входи керування якого з'єднані з відповідними двома виходами нейрорегулятора, третій вихід якого підключено до входу системи широтно-імпульсної модуляції, вихід якої з'єднаний з входом формувача імпульсів, що керує транзистором, при цьому обидва входи нейрорегулятора з'єднані відповідно з виходами давачів напруги і струму джерела постійної напруги.

Пристрій працює таким чином

Імпульсний перетворювач підвищує напругу джерела, щоб потім, подаючи підвищену напругу на вхід інвертора, забезпечити живлення асинхронного двигуна. Керування перетворювачем здійснюється від системи керування, що побудована на основі нейромереж, і яка має три вихідних сигнали керування: γ - коефіцієнт заповнення імпульсів, який перетворюється в імпульси керування транзистором за допомогою системи з ШИМ, f_1 - частота першої гармоніки вихідної напруги інвертора, що подається на статор асинхронної машини; A_m - коефіцієнт модуляції (відношення поточного значення вихідної напруги інвертора до найбільшого, яке характеризується напругою на вході інвертора). Оцінюючи параметри сонячного генератора (напруга, струм), нейрорегулятор визначає потрібні значення γ - за умови забезпечення максимуму напруги на вході інвертора, і f_1 , A_m - за умови досягнення найбільшої швидкості обертання двигуна. Цей пристрій має наступні недоліки.

1. Імпульсний перетворювач у колі постійного струму не забезпечує можливість рекуперації енергії до джерела.

2. Засіб керування імпульсного перетворювача не забезпечує плавного регулювання і стабілізації його вихідної напруги, в першу чергу у зв'язку з відсутністю зворотного зв'язку за цією величиною. Крім того щонайменші зміни параметрів сонячного генератора призведуть до того, що нейрорегулятор змінюватиме величину γ , а, отже, при однієї частоті модуляції вихідна напруга імпульсного перетворювача не може бути стабільною.

3. Використання ШИМ транзистором імпульсного перетворювача не забезпечує можливості обмеження пульсацій струму джерела на заданому рівні.

Ознаки найближчого аналога, які сходяться з ознаками винаходу, що заявляється, - автономний інвертор напруги, що має два входи керування частотою і амплітудою вихідної напруги, два силові входи і три вихідних затискачі, трифазний асинхронний двигун, джерело постійної напруги, давач струму джерела постійної напруги, що має два входи і один вихід, імпульсний перетворювач, що підвищує значення вхідної напруги, який складається з транзистора, формувача імпульсів, діода, конденсатора і дроселя, один вивід якого підключається до позитивного затискача джерела напруги, а другий до анода діода і до колектора транзистора, вхід керування якого, з'єднаний з виходом формувача імпульсів, катод діода підключений до першого силового входу автономного інвертора

напруги і позитивного затискача конденсатора, негативний затискач якого з'єднаний з емітером транзистора і з першим входом давача струму джерела постійної напруги, при цьому другий вхід давача струму джерела постійної напруги з'єднаний з негативним затискачем джерела постійної напруги, виводи трифазного асинхронного двигуна підключені до відповідних вихідних затискачів автономного інвертора напруги.

У винаході поставлене завдання поліпшення енергетичних показників електроприводу. Це досягається шляхом:

- забезпечення рекуперації енергії в джерело в генераторному режимі роботи.

- обмеження амплітуди пульсацій струму джерела з тим, щоб звести до мінімуму витрати на його нагрів.

- за рахунок зменшення вищих гармонійних складових у вихідній напрузі при її амплітудному керуванні на частотах нижчих за номінальну, а також за рахунок можливості регулювання частоти обертання двигуна вище за номінальну при постійному електромагнітному моменті на валу двигуна.

Поставлене завдання розв'язується за рахунок того, що асинхронний привід з перетворювачем частоти включає автономний інвертор напруги, що має два входи керування частотою і амплітудою вихідної напруги, два силові входи і три вихідних затискачі, трифазний асинхронний двигун, джерело постійної напруги, давач струму джерела постійної напруги, що має два входи і один вихід, імпульсний перетворювач, що підвищує значення вхідної напруги, який складається з транзистора, формувача імпульсів, діода, конденсатора і дроселя, один вивід якого підключається до позитивного затискача джерела, а другий до анода діода і до колектора транзистора, вхід керування якого, з'єднаний з виходом формувача імпульсів, катод діода підключений до першого силового входу автономного інвертора напруги і позитивного затискача конденсатора, негативний затискач якого з'єднаний з емітером транзистора і з першим входом давача струму джерела постійної напруги, при цьому другий вхід давача струму джерела постійної напруги з'єднаний з негативним затискачем джерела постійної напруги, виводи трифазного асинхронного двигуна підключені до відповідних вихідних затискачів автономного інвертора напруги, згідно до винаходу до нього додатково введені другий діод, другий транзистор, другий формувач імпульсів, вузол блокування імпульсів, що має три входи і два виходи, давач напруги, давач вхідного струму автономного інвертора напруги, систему регулювання з двох каналів, які містять регулятор напруги ІП-типу і релейний регулятор струму, які мають вхід завдання і вхід зворотного зв'язку, а також блок завдання, що має три виходи, перший і другий приєднано до відповідних входів керування автономним інвертором напруги, а третій до входів завдання регуляторів напруги каналів системи регулювання, входи зворотного зв'язку регуляторів напруги з'єднані з виходом давача напруги, входи якого з'єднані з затискачами конденсатора, виходи регуляторів напруги ІП-типу у кожному каналі з'єднані з входами завдання релейних регуляторів

струму, входи зворотного зв'язку яких з'єднані з виходом давача струму джерела постійної напруги, виходи релейних регуляторів струму з'єднані з першим і другим входами вузла блокування імпульсів, третій вхід якого з'єднаний з виходом давача вхідного струму автономного інвертора напруги, входи якого з'єднані відповідно з емітером першого транзистора і другим силовим входом автономного інвертора напруги, при цьому перший і другий виходи вузла блокування імпульсів з'єднані відповідно з входами першого і другого формувачів імпульсів, вихід другого формувача імпульсів з'єднаний з входом керування другого транзистора, емітер якого з'єднаний з анодом першого діода, а колектор - з його катодом, анод другого діода з'єднаний з емітером першого транзистора, а катод з колектором першого транзистора.

Введенням в схему імпульсного перетворювача, що підвищує вхідну напругу, другого транзистора, і другого діода зустрічно-паралельно відповідно першому діоду і транзистору, а також введенням у коло керування першого і другого транзисторів пристрою блокування імпульсів - забезпечується можливість двонаправленого потоку енергії між асинхронним двигуном і джерелом постійної напруги. Перший транзистор працює в схемі імпульсного перетворювача, що підвищує вхідну напругу, у режимі двигуна, забезпечуючи прямий напрямок енергії від джерела до двигуна. Тоді як, другий транзистор працює в схемі імпульсного перетворювача, що знижує напругу на конденсаторі, який працює в генераторному режимі зі зворотним напрямом передачі енергії до джерела. А вузол блокування імпульсів визначає порядок включення першого і другого транзисторів, залежно від середнього значення вхідного струму автономного інвертора напруги, за допомогою давача вхідного струму інвертора.

Введенням системи автоматичного регулювання напруги на конденсаторі, яка є достатньою умовою створення частотно-регульованого електроприводу, - забезпечується можливість регулювання і стабілізації напруги на вході автономного інвертора напруги незалежно від режиму роботи електроприводу. Вона виконана з двох ідентичних каналів керування відповідно першим і другим транзисторами, які складаються з регулятора напруги ІП-типу і регулятора струму, який виконаний у вигляді релейного елемента з регульованими нижнім і верхнім порогами, з виходу якого сигнал керування поступає на відповідний формувач імпульсів через пристрій блокування імпульсів. Релейний елемент дозволяє підвищити швидкодію контуру струму, а також обмежити амплітуду пульсацій струму джерела на заданому рівні.

Введенням в коло керування електроприводом блоку завдання, здійснюється сумісне керування імпульсним перетворювачем і автономним інвертором напруги, що дає можливість регулювання частотою обертання асинхронного двигуна. Два виходи блоку завдання формують сигнали завдання на частоту основної гармоніки вхідної напруги і коефіцієнт модуляції, що поступають до відповідних входів керування інвертора напруги. При цьому сигнал на третьому виході блока завдання, що поступає до входу системи автоматич-

ного регулювання напруги на конденсаторі, формується за функціональною залежністю від завдання на частоту вихідної напруги, з метою реалізації одного із законів частотного керування асинхронним двигуном. Таким чином, регулювання амплітуди основної гармоніки напруги, якою живиться статор двигуна, здійснюється в двох зонах: 1) регулювання методом ШІМ за допомогою автономного інвертора напруги, за рахунок зміни коефіцієнта модуляції, коли необхідна величина вихідної напруги перетворювача, менше значення, що визначається напругою джерела, при коефіцієнті передачі імпульсного перетворювача, що дорівнює 1 (перший і другий транзистори вимкнені); 2) регулювання за допомогою імпульсного перетворювача, за рахунок підвищення напруги на виході останнього, коли потрібна величина вихідної напруги перетворювача, що необхідна для реалізації частотного керування асинхронним двигуном, більше величини, що визначається напругою джерела. При цьому автономний інвертор напруги формує вихідну напругу при коефіцієнті модуляції близькому до 1. Це дозволяє поєднувати в пристрої амплітудне і широтно-імпульсне керування, що зменшить амплітуди вищих гармонік у напрузі статора двигуна на знижених частотах. Крім того, за рахунок підвищення напруги на двигуні вище за номінальне значення можна реалізувати частотне керування електроприводом з постійним моментом при частотах вище за номінальну. В цьому випадку обмеження в регулюванні надають тільки механічні властивості двигуна і електричні властивості джерела.

Запропоновані ознаки дозволяють забезпечити одночасно з узгодженням напруг низьковольтного джерела і двигуна, двосторонній обмін енергією між ними, а також обмежити амплітуду пульсацій струму, споживаного від джерела, і поліпшити гармонійний склад вихідної напруги перетворювача.

Відмічені ознаки складають суть винаходу, тому що є необхідними і достатніми для досягнення технічного результату - забезпечення двостороннього обміну енергією між джерелом і двигуном з можливістю збільшення потужності останнього, а також зменшення витрат у двигуні внаслідок того, що запропонований винахід дозволяє поліпшити гармонійний склад напруги, що подається на статор асинхронного двигуна, і в джерелі, за рахунок обмеження амплітуди пульсацій його струму.

Суть винаходу пояснюється схемами, що наведені на фіг. 1-2.

На фіг. 1 представлені: джерело постійної напруги 1, дросель 2, перший транзистор 3, перший діод 4, конденсатор 5, другий транзистор 6, другий діод 7, автономний інвертор напруги 8, асинхронний двигун 9, блок завдання 10, давач струму джерела напруги 11, давач напруги 12, давач вхідного струму автономного інвертора напруги 13, система автоматичного керування 14, вузол блокування імпульсів 15, перший формувач імпульсів 16, пульт керування 17, другий формувач імпульсів 18.

На фіг. 2 додатково представлені: регулятор напруги першого та другого каналів системи автоматичного керування відповідно 19, 20, регулятор

струму першого та другого каналів системи автоматичного керування відповідно 2, 22.

Асинхронний привід з перетворювачем частоти працює таким чином.

По команді (ПУСК/СТОП) і завданню командоапарату на швидкість обертання двигуна з пульта керування 17, блок завдання 10 генерує три сигнали завдання, два з яких (коефіцієнт модуляції і завдання на вихідну частоту інвертора) поступають на входи керування автономного інвертора напруги 8. При цьому третій сигнал завдання на напругу на конденсаторі поступає на вхід завдання регуляторів напруги 19, 20 системи автоматичного керування 14, що складається з двох каналів регулювання [виділені пунктиром на фіг. 2]. При цьому один канал регулює напругу на конденсаторі в режимі двигуна, а другий - в генераторному режимі. Кожний з каналів має двоконтурну структуру, із зовнішнім контуром регулювання напруги на конденсаторі (оцінюється вихідний сигнал давача напруги 12), і внутрішнім контуром регулювання струму джерела постійної напруги [оцінюється вихідний сигнал давача струму джерела постійної напруги 11]. При цьому регулятори струму джерела 21 (22) в двох каналах регулювання виконані у вигляді релейного елементу з регульованими верхнім і нижнім порогами спрацьовування. З виходу релейних регуляторів струму джерела постійної напруги 21, 22 імпульси керування поступають на вузол блокування імпульсів 15. Останній розподіляє імпульси керування залежно від режиму роботи електроприводу за допомогою сигналу, що поступає від датчика вхідного струму інвертора 13. З виходу блоку 15 імпульси керування посилюються за допомогою формувачів імпульсів 16, 18, що забезпечують гальванічне розв'язання кіл керування і силових кіл, а також здійснюють керування транзисторів 3, 6 імпульсного перетворювача, до складу якого також входять дросель 2, два діоди 4, 7 і конденсатор 5. При цьому перемиканням транзистора 3, що утворює схему імпульсного перетворювача, що підвищує вхідну напругу, забезпечується регулювання напруги на конденсаторі вгору від значення напруги джерела 1 за завданням блоком 10 законом у режимі двигуна. У свою чергу перемикання транзистора 6 забезпечує скидання енергії з конденсатора 5 в джерело 1 в генераторному режимі, із збереженням функції регулювання напруги на конденсаторі при цьому. Напруга на конденсаторі перетворюється автономним інвертором напруги 8 в трифазну напругу регульованої амплітуди і частоти, що дозволяє регулювати частоту обертання асинхронного двигуна 9.

Особливістю асинхронного приводу з перетворювачем частоти є керування асинхронним двигуном за допомогою регулювання амплітуди основної гармоніки напруги, що подається на статор асинхронної машини, в першій зоні за допомогою автономного інвертора, а в другій зоні за допомогою імпульсного перетворювача, що підвищує вхідну напругу, і вихідної частоти основної гармоніки напруги за допомогою автономного інвертора, що можливо при поєднанні властивостей амплітудного і широтно-імпульсного керування.

При подальшому збільшенні напруги на вході інвертора вище за номінальне значення до вели-

чини U_{\max} і, відповідно, частоти на його виході до f_{\max} дозволяє також реалізувати частотне регулювання електроприводу з постійним моментом. В цьому випадку обмеження в регулюванні надають

механічні здібності двигуна і електричні здібності джерела (падіння напруги на джерелі при номінальному струмі навантаження).

