



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 87168

(13) U

(51) МПК

H02M 5/02 (2006.01)

H02P 27/08 (2006.01)

H02P 27/16 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2013 09712	(72) Винахідник(и):	Родькін Дмитро Йосипович (UA), Юхименко Михайло Юрійович (UA)
(22) Дата подання заявки:	05.08.2013	(73) Власник(и):	КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО, вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, Полтавська обл., 39600 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель:	27.01.2014		
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	27.01.2014, Бюл.№ 2		

## (54) СПОСІБ КЕРУВАННЯ ТРИФАЗНИМ ТРАНЗИСТОРНИМ РЕГУЛЯТОРОМ НАПРУГИ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА З ПОКРАЩЕНИМИ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ ПОКАЗНИКАМИ

### (57) Реферат:

Спосіб керування трифазним транзисторним регулятором напруги для живлення асинхронного двигуна з покращеними енергетичними показниками полягає в підключенні фаз навантаження до мережі живлення через силові транзисторні ключі протягом першої частини півперіоду живлячої напруги без зміни її параметрів, а протягом наступної частини півперіоду напруги - шляхом широтної модуляції живлячої напруги. Формування імпульсів керування силовими транзисторами відбувається таким чином, що початок відкриття транзистора синхронізується з моментом переходу синусоїди живлячої напруги через нуль, при цьому відбувається формування напруги на навантаженні протягом визначеної частини півперіоду напруги живлення шляхом безпосереднього підключення до мережі, а протягом наступної частини півперіоду вихідної напруги перетворювача - шляхом модуляції напруги мережі при змінному значенні коефіцієнту заповнення імпульсів, коли початкове значення коефіцієнта заповнення імпульсів не залишається постійною величиною, а розраховуються системою управління в залежності від загального кута відкривання транзисторів регулятора напруги і змінюється від цього початкового значення до нуля за синусоїдальним законом.

UA 87168 U



Корисна модель належить до електротехніки, а саме до систем управління асинхронними електричними двигунами з короткозамкнутим ротором. Корисна модель може бути використана для автоматичного регулювання напруги асинхронних двигунів, що працюють в умовах навантаження, яке періодично змінюється, і може бути використана в системах електроприводу механізмів безперервного вантажопасажирського транспорту (ескалаторів метро, конвеєрів, канатних доріг і тому подібне) для покращення енергетичних показників електропривода та економії електроенергії.

Відомий ряд способів регулювання напруги асинхронного двигуна, що забезпечують раціональне енергоспоживання. Всі вони зводяться до прямого або непрямого виявлення одного з параметрів асинхронного двигуна (швидкості, ковзання, коефіцієнта потужності, коефіцієнта корисної дії, коефіцієнта статичної перевантажуваності) і побудові системи стабілізації цього параметра для підтримки високих значень коефіцієнтів потужності та корисної дії асинхронного двигуна при глибокій зміні навантаження.

Проте, незалежно від того, за яким параметром здійснюється регулювання напруги двигуна, ефективність споживання електроенергії в руховому режимі й ефективність генерації енергії в гальмівних режимах роботи асинхронної машини визначається перш за все способом фазового регулювання змінної напруги. Відомі способи управління трифазними перетворювачами, що базуються на поетапній зміні кількості імпульсів протягом півхвилі вихідної напруги, причому вказування числа імпульсів відбувається дискретно, що призводить до небажаних кидків струму в силових колах перетворювача в моменти дискретного перемикавання. Переривчастий характер напруги навантаження є основним фактором, що приводить до виникнення вищих гармонік в перетворювачах змінної напруги й призводить до погіршення енергетичних показників системи електропривода.

Відомий спосіб управління регулятором напруги з широтно-імпульсною модуляцією (ШИМ) [Способ управления широтно-импульсным регулятором переменного напряжения и устройство для его осуществления: RU (11) 2228538 (13) C2 (51) 7 G05F 1/66, H02M 5/22], за яким підключення навантаження до живлячої мережі відбувається протягом цілого числа півперіоду живлячої напруги в усьому діапазоні регулювання, причому кількість півперіоду підключеного стану навантаження кожного каналу багатоканального регулятора пропорційно дорівнює потужності на навантаженні, інтервал відключеного стану навантаження встановлюють однаковим для всіх каналів і регульованим в діапазоні регулювання, а інтервал підключеного стану навантаження кожного каналу регулювання складає не менше 10 періодів імпульсного регулювання, причому період імпульсного регулювання встановлюють не менше 20 мс.

Суттєвими ознаками, що збігаються із способом, що заявляється, є:

- використання режиму широтно-імпульсної модуляції вихідної напруги перетворювача;
- використання системи керування, яка формує змінне число імпульсів керування протягом півхвилі вихідної напруги перетворювача.

Недоліками наведеного способу керування регулятором змінної напруги є:

- низьке значення коефіцієнту корисної дії (ККД), обумовлене тим, що вся потужність, що віддається в навантаження, послідовно перетворюється в кожному з двох каскадів перетворювача;

- другий силовий ключ перетворювача працює при підвищеній напрузі (максимальна напруга на другому силовому ключі більш ніж в два рази перевищує максимальну напругу на першому силовому ключі), чим обумовлені великі втрати, що виникають при комутації цього ключа.

З технічної літератури [Леонтьев А., Лукин С. Регулятор напруги з фазо-імпульсним управлінням. Радіо, 1992 № 9, - С. 43] відомий спосіб фазо-імпульсного управління тиристорним регулятором, що полягає у зміні в часі моменту вмикання тиристорного ключа відносно моменту переходу живлячої напруги через нуль. При зміні моменту вмикання тиристора відбувається зміна часу протікання струму через навантаження, а тим самим зміна потужності за період живлячої напруги.

Суттєвими ознаками, що збігаються із способом, що заявляється, є:

- використання синхронізації за часом з моментом переходу кривої напруги живлячої мережі через нуль моменту початку формування півхвилі вихідної напруги перетворювача;
- використання системи керування, яка формує змінне число імпульсів керування протягом півхвилі вихідної напруги перетворювача.

Недоліками цього способу є:

- використання для здійснення регулювання напруги тиристорних силових ключів з неповною керованістю, що призводить до необхідності використання кіл штучної комутації тиристорів і зменшує частоту перемикавання;

- струм, що подається на навантаження, може стрибком змінюватися від нуля до максимуму, залежно від значення напруги, що прикладається в даний момент, що зменшує надійність роботи;

- обмеження струму статора призводить до збільшенню втрат енергії асинхронного двигуна;

5 всі регулятори з фазо-імпульсним регулюванням є джерелами промислових перешкод.  
Найбільш близьким аналогом за технічною суттю та ефектом, що досягається, є спосіб управління широтно-імпульсним регулятором змінної напруги [Ставицкий В.Н., Маренич К.Н. Полупроводниковый преобразователь для автоматизированного электропривода горной машины. Матеріали науково-практичної конференції, м. Донецьк, 05-06 лютого 2002 р.], що  
10 полягає у формуванні напруги на обмотках статора двигуна шляхом подачі імпульсів управління на силові транзистори, включені до кожної з фаз перетворювача. Параметри імпульсів напруги, що подаються на обмотки статора двигуна встановлюють таким чином, щоб середній обертаючий момент двигуна перевищував момент опору робочої машини. При цьому амплітудне значення напруги на обмотках статора асинхронного двигуна плавно регулюється  
15 зміною параметрів імпульсів.

Ознаки, які збігаються із суттєвими ознаками способу, що заявляється:

- підключенні фаз навантаження до мережі живлення через силові транзисторні ключі;
- формування вихідної напруги перетворювача шляхом широтно-імпульсної модуляції живлячої напруги.

20 Цей спосіб має істотні недоліки:

- відсутність можливості формування першої гармоніки напруги на обмотках статора і струму в обмотках статора, зсунутих відносно напруги живлячої мережі;
- відсутність можливості визначення транзисторних ключів, які необхідно відкрити першими;
- установка величини пускового струму і подача імпульсів управління на відповідні  
25 транзистори регулятора напруги, в порядку і з параметрами, що визначаються заданим параметрично темпом погіршує техніко-економічні показники системи електропривода;
- спосіб має низькі показники коефіцієнта потужності, а також не усуває повною мірою просадки напруги мережі при пуску двигуна;

- внаслідок погіршення умов самоохолодження двигуна зменшується час можливої роботи зі  
30 зниженою напругою і збільшується тривалість інтервалу часу між пусками та обмежується кількість можливих пусків двигуна.

Задачею корисної моделі є розробка способу керування трифазним транзисторним регулятором напруги для живлення асинхронного двигуна з метою підвищення енергетичної ефективності електроприводів технологічних механізмів з асинхронними двигунами при  
35 формуванні спеціальних режимів роботи або під час пуску.

Поставлена задача вирішується тим, що за рахунок підключенням обмоток статора двигуна до трифазної мережі через транзисторний регулятор змінної напруги з широтно-імпульсним управлінням, формування керуючих імпульсів на управляючих електродах силових транзисторів відбувається таким чином, що початок відкриття транзистора синхронізується з моментом  
40 переходу півхвилі напруги живлячої мережі через нуль. При цьому відбувається формування напруги на навантаженні протягом певної частини півперіоду живлячої напруги безпосередньо від мережі, а в іншій частині півперіоду вихідної напруги перетворювача - шляхом модуляції напруги мережі. При цьому зміна коефіцієнту заповнення імпульсів модульованої напруги відбувається за синусоїдальним законом від початкового значення до нуля.

45 Це дозволяє покращити гармонічний склад вихідної напруги, зменшити вплив перетворюючого пристрою на мережу живлення та інших споживачів, що підвищує енергетичну ефективність електроприводів технологічних механізмів з асинхронними двигунами при формуванні спеціальних режимів роботи або під час пуску.

Суть корисної моделі пояснюється кресленнями, де на фіг. 1 показана силова схема  
50 регулятора напруги, що реалізує запропонований спосіб, на якій прийняті позначення: 1, 2, 3 - силові транзистори регулятора змінної напруги в кожній фазі перетворювача; 4 - трифазний перемикач; 5 - трифазний датчик напруги живлячої мережі; 6 - система управління, синхронізована з напругою мережі й призначена для формування сигналів управління транзисторами; 7 - трифазний датчик струму в обмотках статора; 8 трифазний датчик напруги  
55 на обмотках статора двигуна; 9 - навантаження - асинхронний двигун з трифазною обмоткою статора; А, В, С - фази перетворювача; VT1, VT2, VT3 - сигнали управління силовими тиристорами;  $U_{\gamma}$  - напруга управління перетворювачем.

На фіг. 2 наведено часові діаграми формування сигналів управління транзисторами й діаграми зміни напруги та струмів на активно-індуктивному навантаженні в режимі регулювання  
60 напруги. На фіг. 2 прийняті наступні позначення:  $U_{MA}$  - напруга фази А живлячої мережі;  $U_{MB}$  -

напруга фази В живлячої мережі;  $U_{\text{тс}}$  - напруга фази С живлячої мережі;  $U_{\text{на}}$  - напруга фази А навантаження;  $U_{\text{нв}}$  - напруга фази В навантаження;  $U_{\text{нс}}$  - напруга фази С навантаження;  $I_{\text{ма}}$  - навантажувальна складова струму фази А мережі;  $I_{\text{мв}}$  навантажувальна складова струму фази В мережі;  $I_{\text{мс}}$  - навантажувальна складова струму фази С мережі; VT1, VT2, VT3 - сигнали управління транзисторами 1, 2, 3 фази А, В і С відповідно;  $\alpha_{\text{в}}$  - кут відкриття транзистора при позитивній півхвилі живлячої напруги;  $\alpha_{\text{н}}$  - кут відкриття транзистора при негативній півхвилі живлячої напруги;  $\theta_{\text{к}}$  - кут випередження моменту переходу напруги мережі через нульове значення;  $\varphi_{\text{н}}$  - фазовий кут навантаження;  $T_{\text{к}}$  - період комутації силового транзисторного ключа при формуванні другої частини півхвилі напруги;  $T_{\text{м}}$  - період мережевої напруги.

На фіг. 3 наведено результати аналізу енергетичних характеристик перетворювача, де прийняті позначення 1 - характеристика для способу, вибраного у якості прототипу; 2 - характеристика для способу, що заявляється;  $\alpha$  - кут відкриття транзистора;  $U$  - напруга фази навантаження.

Спосіб реалізується наступним чином. Система управління 6 (фіг. 1) за сигналом  $U_{\text{м}}$  формує синхроімпульси, що випереджають момент переходу напруги мережі через нуль на кут  $\theta_{\text{к}}$ . Величина кута випередження вибирається з умови нормального завершення процесів комутації транзисторів регулятора напруги. Залежно від величини напруги управління  $U_{\text{у}}$  виконується фазова затримка відносно синхроімпульсів і регулювання кутів перемикання  $\alpha_{\text{н}}$  на зниження напруги. В першу чергу проводиться збільшення кута перемикання  $\alpha_{\text{в}}$  від 0 до  $\pi$  при незмінному значенні  $\alpha_{\text{н}}=\pi$ . У другу чергу проводиться зменшення кута перемикання  $\alpha_{\text{н}}$  від до 0 при незмінному значенні  $\alpha_{\text{в}}$ . У обох випадках сигнали управління транзисторами VT1, VT2 і VT3 формують відповідно до знаку напругу мережі між моментом перемикання в одному півперіоду й моментом перемикання  $\alpha_{\text{н}}$  наступного півперіоду.

Розглянемо реалізацію способу, що заявляється в режимі збільшення кута перемикання. Алгоритм формування сигналів управління транзисторами VT1, VT2 і VT3 показаний на фіг. 2 (а). Початком відліку часу вважається момент формування синхроімпульсу, що випереджає нульове значення напруги мережі при його переході з області негативних значень в область позитивних значень. Сигнал управління VT1 транзистором 1 фази А (фіг. 1) в даному режимі формують, починаючи з моменту перемикання при позитивному знаку напруги мережі й до моменту перемикання на пониження напруги  $\theta=\pi+\alpha_{\text{н}}$  наступного півперіоду. У даному режимі значення  $\alpha_{\text{н}}=\pi$  і момент перемикання на зниження напруги збігається з моментом формування синхроімпульсу, тобто випереджає момент переходу напруги мережі через нуль на кут  $\theta_{\text{к}}$ . Сигнал управління VT2 транзистором 2 формують, починаючи з моменту перемикання  $\alpha_{\text{в}}$  при негативному знаку напруги мережі й до синхроімпульсу півперіоду позитивних значень. При цьому початкове значення коефіцієнта заповнення імпульсів не є постійною величиною, а розраховується системою управління 6 в залежності від кута відкриття транзисторів  $\alpha_{\text{в}}$  регулятора напруги і змінюється від розрахованого початкового значення до нуля за синусоїдальним законом. Наприклад, якщо величина  $\alpha_{\text{в}}$  складає  $45^\circ$ , то величина коефіцієнта заповнення імпульсів в початковий момент складає 25 %, що розраховується із співвідношення  $45^\circ/180^\circ$ , якщо кут  $\alpha_{\text{в}}$  складе  $90^\circ$ , коефіцієнт заповнення становитиме 50 % ( $90^\circ/180^\circ$ ). В результаті, якщо кут  $\alpha_{\text{в}}$  збільшується від 0 до  $180^\circ$ , початкове значення коефіцієнта заповнення імпульсів ШІМ буде збільшуватися пропорційно від 0 до 100 %.

Діаграми зміни напруги навантаження  $U_{\text{н}}$  і струму  $I_{\text{м}}$  для трьох фаз регулятора напруги приведені на фіг. 2 (б). Оскільки навантаження носить активно-індуктивний характер, то протягом інтервалу часу від  $\theta=0$  до  $\theta=\varphi_{\text{н}}$  складова навантаження струму мережі має негативні значення. На початку півперіоду позитивних значень напруги мережі сигнали управління подаються на транзистори 1 і 3. Наявність керуючих сигналів, одночасно на транзисторах двох фаз викликає перенапруження, викликані різкою зміною знаку струму навантаження. При позитивному знаку струм мережі протікає через транзистор 1, а транзистор 3 вимкнений і знаходиться в "імпульсному" режимі оскільки може оперативно вмикатися при зміні полярності струму. Напруга на навантаженні протягом інтервалу відкритого стану транзистора 1 дорівнює напрузі мережі  $U_{\text{на}}=U_{\text{ма}}$ . Перемикання на модуляцію мережевої напруги виконується в момент часу, визначуваний кутом  $\varphi_{\text{н}}$ , шляхом переключення сигналів управління з транзистора 1 на транзистор 3. Під дією сигналу VT3 (фіг. 1) транзистор 3 відкривається і через нього протікає комутуючий струм. Він протікає згідно напрямку провідності транзистора 3 і зустрічно струму навантаження транзистора 1. Комутуючий струм обмежується малим опором короткого замикання і швидко досягає значення струму навантаження. За цієї умови сумарний струм через транзистор 1 стає рівним нулю. Складова навантаження струму мережі далі протікає через транзистор 3, а транзистор 1 продовжує працювати в "імпульсному" режимі. Перемикання

на зниження напруги виконується у момент часу, визначуваний кутом  $\alpha_n$  перед зміною знаку напруги мережі.

Для цього перемикають сигнал управління з транзистора 3 на транзистор 2. Транзистор 2 відкривається, в результаті утворюється контур комутації і виникає струм, що протікає через транзистори 2 і 3. Після зміни полярності напруги комутуючий струм і струм навантаження міняють напрям і їх сумарний струм, що протікає через транзистор 3, знижується до нульового значення. Складова навантаження струму мережі далі протікає через транзистор 2, а транзистор 3 переходить в "імпульсний" режим роботи. Напруга фази В навантаження стає рівною напрузі мережі  $U_n = U_m$ .

Для розгону асинхронного двигуна при пуску необхідно, щоб середній момент двигуна був завжди позитивним, але, якщо при цьому не виникатиме в певні моменти часу негативний момент, то зменшуються втрати, знижуються механічні і теплові навантаження на двигун, а це можна здійснити, постійно контролюючи положення вектора струму статора і вектора потоку двигуна і встановлюючи такий порядок подачі імпульсів напруги на обмотки статора включенням транзисторів транзисторного регулятора напруги, при якій вектор струму статора, що утворюється в результаті протікання струму через транзистори транзисторного регулятора напруги, випереджатиме вектор потоку на кут, більший нуля, але менший  $\pi$ .

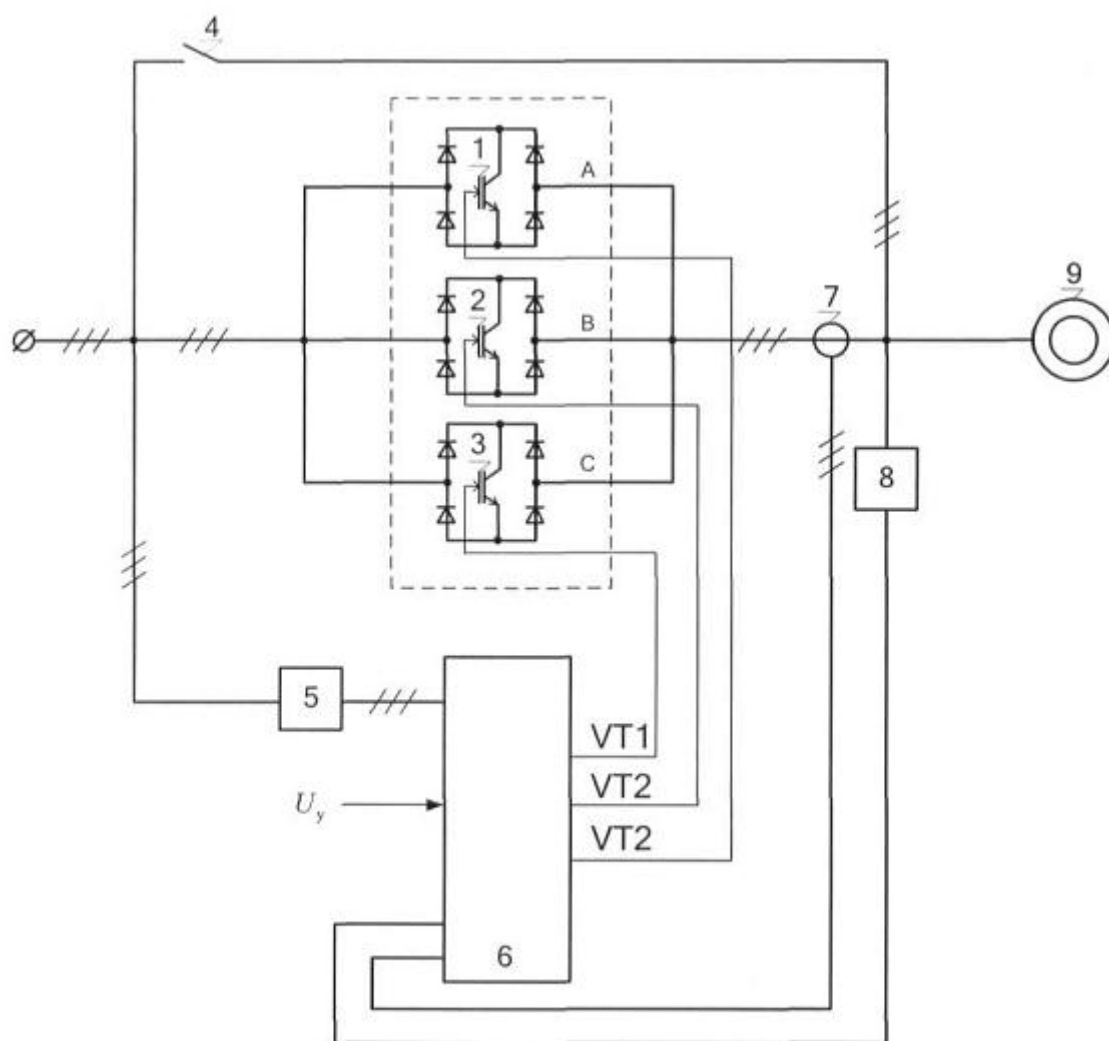
За сигналами датчика напруги мережі 5 система управління 6 визначає в кожний момент часу, яке положення в площині поперечного перетину машини займає вектор струму статора. За сигналами датчика напруги 8 на обмотках статора і сигналах датчика струму 7 в обмотках статора система управління розраховує в кожний момент часу, яке положення в площині поперечного перетину двигуна займає вектор потоку і визначає моменти часу відкривання конкретних транзисторів регулятора напруги таким чином, щоб кут між векторами струму і напруги був позитивним і за величиною близький до нуля.

При цьому порядок вмикання транзисторів регулятора напруги та число послідовно працюючих транзисторів в одному циклі формування напруги фази статора асинхронного двигуна встановлюють для досягнення необхідної взаємної просторової орієнтації векторів напруги живлячої мережі й потоку двигуна, положення якого визначає система управління 6 за напругою на обмотках статора і струму в обмотках статора двигуна. На всіх етапах формування напруги живлення асинхронного двигуна з випереджаючим струмом статора амплітуда струму управляється замкнутою системою автоматичного регулювання.

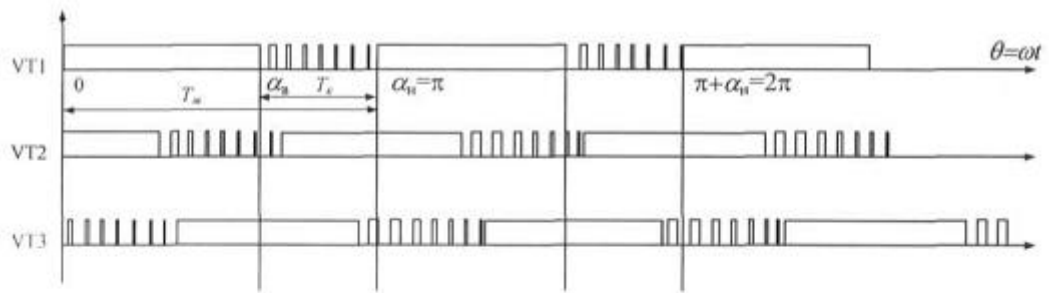
Результати порівняння характеристик способу регулювання напруги, вибраного як найближчий аналог, і способу, що заявляється, в функції кута відкривання а наведені на фіг. 3. На фіг. 3 (а) наведено значення коефіцієнта гармонік перетворювача. На фіг. 3 (б) наведено амплітудне значення діючої вихідної напруги перетворювача. На фіг. 3 (в) наведені значення амплітуди основної гармоніки вихідної напруги.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

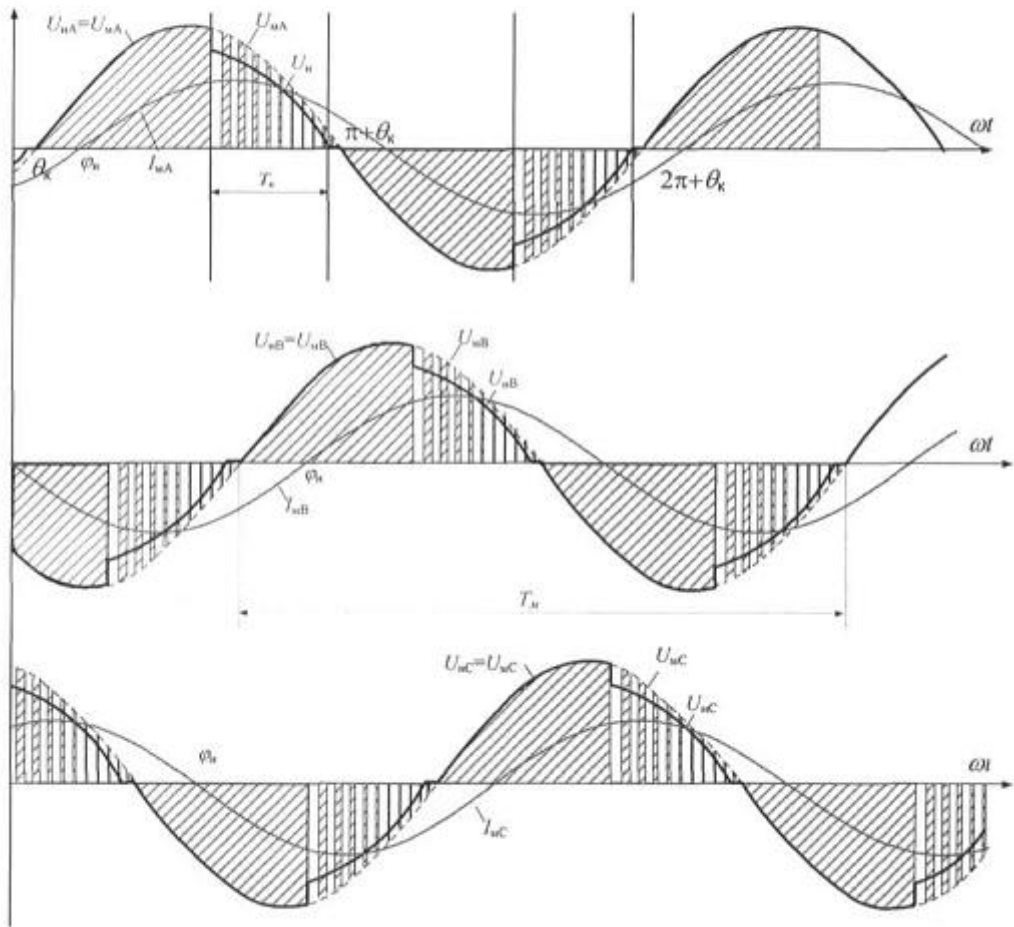
Спосіб керування трифазним транзисторним регулятором напруги для живлення асинхронного двигуна з покращеними енергетичними показниками, що полягає в підключенні фаз навантаження до мережі живлення через силові транзисторні ключі протягом першої частини півперіоду живлячої напруги без зміни її параметрів, а протягом наступної частини півперіоду напруги - шляхом широтної модуляції живлячої напруги, який **відрізняється** тим, що формування імпульсів керування силовими транзисторами відбувається таким чином, що початок відкриття транзистора синхронізується з моментом переходу синусоїди живлячої напруги через нуль, при цьому відбувається формування напруги на навантаженні протягом визначеної частини півперіоду напруги живлення шляхом безпосереднього підключення до мережі, а протягом наступної частини півперіоду вихідної напруги перетворювача - шляхом модуляція напруги мережі при змінному значенні коефіцієнту заповнення імпульсів, коли початкове значення коефіцієнта заповнення імпульсів не залишається постійною величиною, а розраховуються системою управління в залежності від загального кута відкривання транзисторів регулятора напруги і змінюється від цього початкового значення до нуля за синусоїдальним законом.



Фиг. 1



a)



б)

Фиг. 2



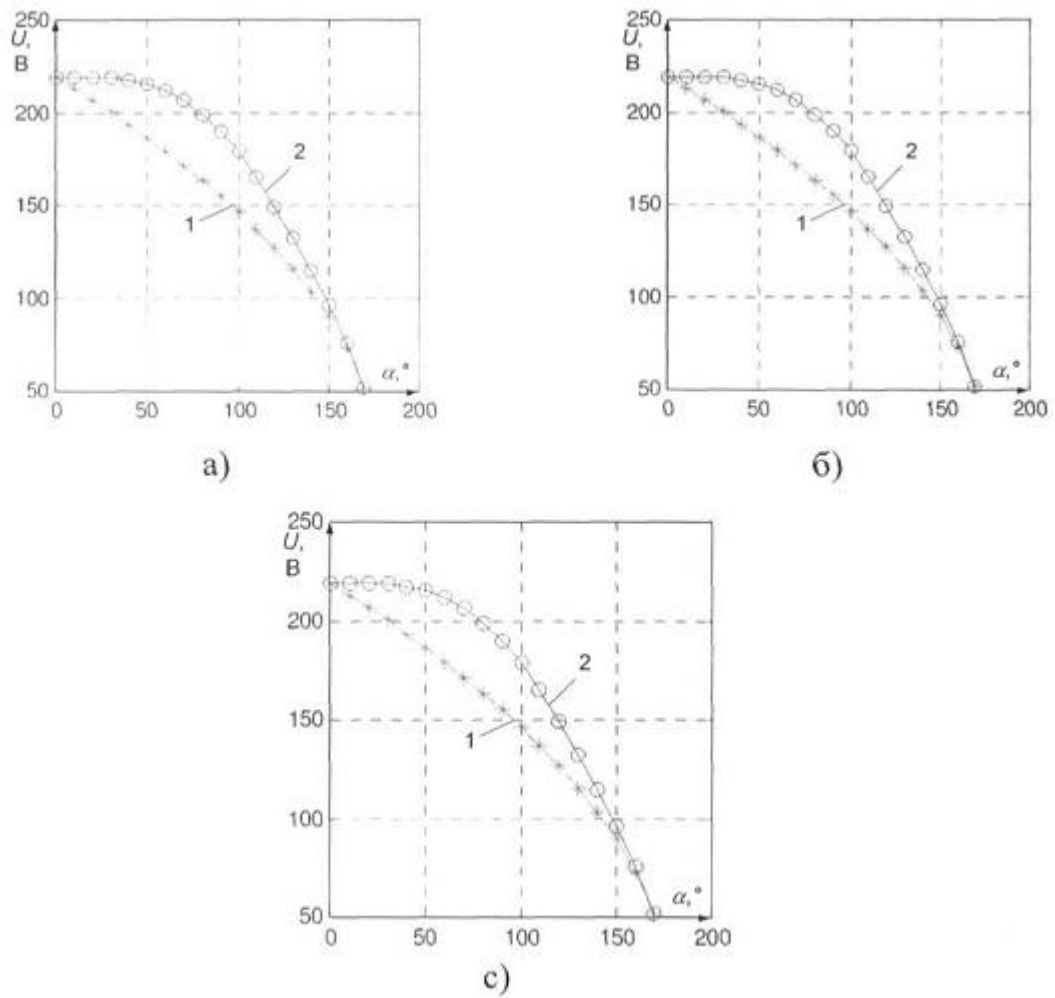


Fig. 3

Комп'ютерна верстка І. Скворцова

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601