



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **110595** (13) **C2**
(51) МПК
H02P 27/06 (2006.01)
H02P 1/26 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки:	a 2015 05188	(72) Винахідник(и):	Кулик Максим Володимирович (UA)
(22) Дата подання заявки:	27.05.2015	(73) Власник(и):	Кулик Максим Володимирович, вул. Артема, 41, м. Дніпродзержинськ, Дніпропетровська обл., 51927 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	12.01.2016	(74) Представник:	Низова Інна Олександрівна, реєстр. №373
(41) Публікація відомостей про заявку:	10.11.2015, Бюл.№ 21	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	UA 106389 C2, 26.08.2014 UA 56661 A, 15.05.2003 US 5672950 A, 30.09.1997 US 4099108 A, 04.07.1978 US 6384568 B1, 07.05.2002 US 2003160582 A1, 28.07.2003
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	12.01.2016, Бюл.№ 1		

(54) СПОСІБ КЕРУВАННЯ АСИНХРОННИМ ДВИГУНОМ

(57) Реферат:

Використання: в галузі електротехніки для управління асинхронними двигунами.

Суть: спосіб полягає у регулюванні вхідної напруги та частоти асинхронного двигуна за допомогою перетворювача частот. Управління здійснюють по заданому значенню частоти обертання шляхом одночасної зміни частоти і діючого значення напруги перетворювача. Формують моментальні сигнали фаз і форму сигналів управління силового модуля, розраховують діюче значення вихідної напруги з урахуванням сталості $U/f = \text{const}$. При заданих частоті і рівні діючої напруги перетворювача частот використовують сформований лінійно-частотно-модульований сигнал, що враховує поточне значення фази. Порівнюють поточне значення вказаного сигналу з попереднім значенням і, в разі їх невідповідності, формують сигнал запису нових значень сигналу у регістр зсуву. За допомогою нього реалізують режим збереження попереднього значення фази в момент перемикання роботи генератора лінійно-частотно-модульованого сигналу. Формують поточне значення напруги живлення асинхронного двигуна шляхом порівняння попереднього значення напруги і максимально можливого з урахуванням поточної фази та режиму роботи генератора. Формують широтно-імпульсно-модульовані сигнали. За допомогою автоматичного регулювання скважності вказаних сигналів відповідно до заданого алгоритму управління асинхронним двигуном формують величину сталості $U/f = \text{const}$.

Технічні переваги: регулювання в широкому діапазоні частоти обертання вала двигуна; підтримання заданих характеристик при різних значеннях вхідної напруги; обмеження струмів в обмотках; спрощення системи управління; забезпечення повної відповідності режиму його роботи заданому алгоритму; підвищення надійності та енергоефективності.

UA 110595 C2

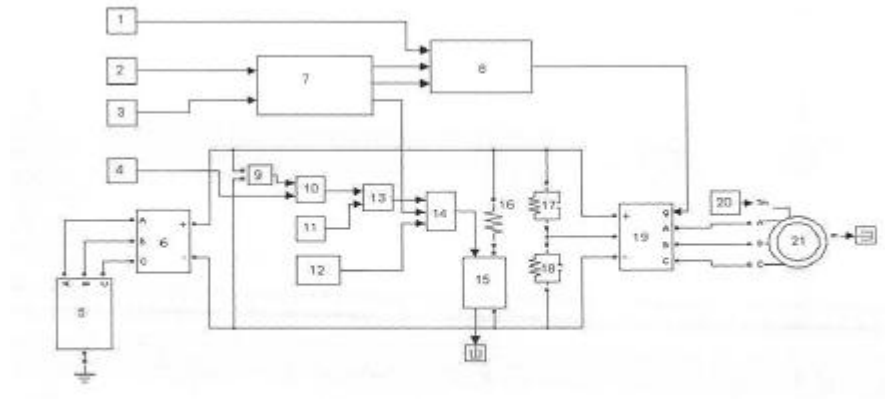


Fig. 1

Винахід належить до галузі електротехніки, а саме стосується способів керування електричними двигунами із використанням перетворювальної техніки, та може бути використаний для частотно-фазового управління асинхронними двигунами у різних сферах промислового виробництва.

З рівня техніки відомий спосіб плавного управління асинхронним електродвигуном з коротко замкнутим ротором, який полягає в тому, що трифазну напругу подають через три пари зустрічно-паралельно включених тиристорів на статорні обмотки асинхронного двигуна, а на керуючі входи тиристорів подають сигнали з системи імпульсно-фазового управління, синхронізованої по напрузі мережі, на вхід якої подають сигнал у вигляді напруги, еквівалентній куту відкриття тиристорів, значення якого у кожний момент часу задають заздалегідь, при цьому вимірюють миттєві та діючі значення напруг у мережі і струмів у статорних обмотках асинхронного двигуна і при відхиленні їх від заданих значень припиняють подачу сигналів управління на тиристори, причому виміряні діючі значення струму одної із фаз у кожний період мережі оцінюють на максимум і при досягненні максимуму запам'ятовують його, після чого знову вимірюють діюче значення струму у кожний період мережі і порівнюють його з максимальним значенням, при відхиленні від максимального значення на задану величину формують сигнал для повного відкриття тиристорів і підтримують його на період роботи асинхронного двигуна у номінальному режимі [див. патент Російської Федерації № 2256285 (C1) з класу МПК⁷ H02P1/28, опублікований 10.07.2005 у Бюл. № 19].

Недоліком відомого способу є складність регулювання частоти обертання асинхронного двигуна, складність системи управління та необхідність обов'язкової синхронізації роботи системи управління з мережею живлення.

Відомий також спосіб управління асинхронним двигуном, в якому по заданому значенню частоти обертання асинхронного двигуна і по прийнятому закону скалярного частотного управління двигуном формують на виході перетворювача координат складові вектора напруги в нерухомих двофазних координатах (U^{α} , U^{β}), по яких генератор широтно-імпульсної модуляції виробляє керуючі сигнали для автономного інвертора напруги, який із постійної напруги формує вихідну перемінну напругу з широтно-імпульсною модуляцією, при цьому зміну завдання по частоті зупиняють при зміні вхідної перемінної напруги в широких межах або при зміні значення завдання по частоті, коли струм або напруга у ланці постійного струму досягає своїх критичних значень і вимикає автономний інвертор напруги від джерела постійного струму доти, доки струм або напруга в ланці постійного струму не стане нижче критичного значення [див. патент Російської Федерації № 2361356 (C1) з класів МПК⁶ H02P21/00, H02H7/08, опублікований 10.07.2009 у Бюл. №19].

Недоліком відомого способу є складність обчислень для реалізації системи управління, яка здійснює динамічну зміну режимів роботи асинхронного двигуна, а також коливання значення швидкості двигуна при постійному навантаженні.

Найбільш близьким аналогом за кількістю суттєвих ознак та технічним результатом, що досягається, є спосіб управління асинхронним двигуном, що полягає у регулюванні вхідної напруги та частоти асинхронного двигуна за допомогою перетворювача частот, при якому керують вихідною частотою та напругою перетворювача під час пуску двигуна, зменшуючи вихідну напругу і частоту перетворювача до мінімальної величини, у разі збільшення струму в силовому колі до величини, що перевищує робоче значення, при цьому як перетворювач використовують силові керовані ключі, роботою яких управляють за допомогою керуючих сигналів, які отримують з мікроконтролерної системи керування, на яку подають сигнали з датчика швидкості двигуна та з задавального пристрою, за допомогою якого задають бажану величину швидкості, значення напруги для кожної фази, номінальне значення протікаючого струму та величину періоду пуску [див. патент України № 106389 (C2) з класів МПК¹⁴ H02P 23/00, H02P 27/00, H02M 5/00, H02K 17/00, опублікований 26.08.2014 у Бюл. №16].

Недоліком відомого способу є складність реалізації системи управління асинхронним двигуном, а також необхідність використовувати датчик швидкості двигуна, що в цілому обмежує сферу застосування даного способу.

В основу винаходу поставлена задача удосконалення способу управління асинхронним двигуном за рахунок забезпечення можливості оперативно управляти асинхронним двигуном при зміні вхідної напруги в широкому діапазоні, в тому числі в умовах несинусоїдальної вхідної напруги, здійснювати при цьому плавний пуск двигуна без використання датчика частоти обертання, гальмування і вихід на задану швидкість, використовуючи заданий оператором алгоритм, а також за рахунок загального спрощення системи управління та забезпечення можливості безперервного управління асинхронним двигуном у всьому діапазоні швидкостей шляхом відповідних технологічних змін.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі управління асинхронним двигуном, що полягає у регулюванні вхідної напруги та частоти асинхронного двигуна за допомогою перетворювача частот, згідно з пропозицією, управління здійснюють по заданому значенню частоти обертання шляхом одночасної зміни частоти і діючого значення напруги перетворювача, для чого формують моментальні сигнали фаз і форму сигналів управління силового модуля, а також розраховують діюче значення вихідної напруги з урахуванням сталості $U/f=\text{const}$, при цьому за умови заданих частоти і рівня діючої напруги перетворювача частот використовують сформований лінійно-частотно-модульований сигнал, що враховує поточне значення фази, при цьому порівнюють поточне значення вказаного сигналу з попереднім значенням і, в разі їх невідповідності, формують сигнал запису нових значень сигналу у регістр зсуву, за допомогою якого реалізують режим збереження попереднього значення фази в момент перемикання роботи генератора лінійно-частотно-модульованого сигналу, а також формують поточне значення напруги живлення асинхронного двигуна шляхом порівняння попереднього значення напруги і максимально можливого з урахуванням поточної фази та режиму роботи генератора лінійно-частотно-модульованого сигналу, на основі чого формують широтно-імпульсно-модульовані сигнали, за допомогою автоматичного регулювання скважності яких формують величину сталості $U/f=\text{const}$.

Застосування у запропонованому способі лінійно-частотно-модульованого сигналу дозволяє враховувати поточне значення фази обертального руху асинхронного двигуна, яке порівнюється з програмним значенням, в результаті чого приймається рішення про оптимальний алгоритм управління асинхронним двигуном. При цьому автоматичне регулювання скважності широтно-імпульсно-модульованого сигналу дозволяє забезпечити обмеження струмів в обмотках двигуна та повну відповідність режиму асинхронного двигуна заданому оператором алгоритму управління і при цьому обійтися без залучення датчика швидкості обертання, що служить для формування широтно-імпульсно-модульованих сигналів фаз.

Вищевказані ознаки запропонованого технічного рішення є суттєвими ознаками винаходу, що заявляється, а їх сукупність дозволяє отримати очікуваний технічний результат - спрощення системи управління асинхронним двигуном, забезпечення повної відповідності режиму роботи асинхронного двигуна заданому оператором алгоритму, обмеження струмів в обмотках двигуна, підвищення надійності та енергоефективності роботи двигуна, забезпечення можливості регулювання в широкому діапазоні частоти обертання вала електродвигуна, забезпечення плавного запуску двигуна та його зупинки, а також підтримання заданих характеристик при зміні значення вхідної напруги в широкому діапазоні, зокрема і в умовах роботи асинхронного двигуна при несинусоїдальній напрузі живлення.

Подальша суть винаходу пояснюється в описі, який наведено нижче як необмежувальний приклад, з посиланням на ілюстративний матеріал, на якому зображено: на фіг. 1 - загальна блок-схема системи управління асинхронним двигуном відповідно до запропонованого способу управління; на фіг. 2 - блок-схема підсистеми управління перетворювачем частот; на фіг. 3 - блок-схема підсистеми формування сигналів управління силовим модулем з урахуванням системи управління перетворювачем; на фіг. 4 - режими роботи двигуна при управлінні запропонованим способом.

Зображена на фіг. 1 загальна схема системи управління асинхронним двигуном відповідно до запропонованого способу управління включає наступні позначення: 1 - блок задавання частоти широтно-імпульсної модуляції; 2 - блок задавання алгоритму роботи перетворювача частот; 3 - блок встановлення мінімального часу між корекцією розрахункового значення швидкості і поточного, сформованого системою управління; 4 - блок задавання максимально допустимої напруги в колі постійного струму; 5 - блок живлення від мережі змінного струму; 6 - блок перетворення змінної напруги трифазної мережі в постійну; 7 - блок формування моментальних сигналів фаз і форми сигналів управління силового модуля, а також розрахування діючого значення вихідної напруги та реалізації необхідної умови $U/f=\text{const}$; 8 - блок формування сигналів управління силового модуля; 9-16 - блоки реалізації керованого обмежувача напруги живлення силового модуля; 17-18 - блоки реалізації подільника напруги; 19 - блок реалізації багаторівневого силового модуля; 20 - блок з імітованим навантаженням; 21 - блок живлення асинхронного двигуна.

Зображена на фіг. 2 блок-схема підсистеми управління перетворювачем частот включає наступні позначення: 22-27 - блоки аналізу заданого алгоритму; 28-31 - блоки вибору поточного способу управління; 32-41 - блок формування лінійно-частотно-модульованого (ЛЧМ) сигналу; 42-53 - блоки задання тактових частот для ЛЧМ-генератора (генератора лінійно-частотно-модульованого (ЛЧМ) сигналу) і формування заданої напруги в обмотках асинхронного двигуна з урахуванням сталості $U/f=\text{const}$.

Зображена на фіг. 3 блок-схема підсистеми формування сигналів керування силовим модулем з урахуванням системи управління перетворювачем частот включає наступні позначення: 54-56 - блоки задання зсуву фази для трифазної системи управління; 57, 59, 61-65 - блоки формування фаз; 58, 65-67 - блоки корекції напруги з урахуванням частоти; 68-91 -

5 блоки формування вихідних сигналів для силового модуля.

Запропонований спосіб управління асинхронним двигуном здійснюють наступним чином.

Спочатку задають початкові умови для системи управління асинхронним двигуном (фіг.1), а саме: частоту широтно-імпульсної модуляції (блок 1), алгоритм роботи перетворювача енергії (блок 2), мінімальний час між корекцією розрахункового значення швидкості і поточного, сформованого системою управління (блок 3) та максимально допустиму напругу в колі постійного струму (блок 4).

Після цього задані блоками 2 і 3 дані разом, у вигляді алгоритму роботи асинхронного двигуна, направляють у систему управління (блок 7). На підставі вхідних даних і заданого алгоритму управління в блоці 7 формують моментальні сигнали фаз і форму сигналів управління силового модуля, а також розраховують діюче значення вихідної напруги з урахуванням сталості $U/f=\text{const}$. При цьому як силовий модуль (блок 19) використовують, наприклад, силовий модуль, побудований на біполярних транзисторах з ізольованим затвором (IGBT модуль), підключений до кіл живлення асинхронного двигуна (блок 21) з імітованим навантаженням (блок 20). Остаточне формування сигналів управління IGBT модуля здійснюють у блоці 8.

Далі на підставі часового інтервалу формують поточне і попереднє (якщо $t_0 \neq 0$) значення параметрів алгоритму, заданих блоками 1-4, і при порівнянні попереднього значення з поточним забезпечують відповідний режим роботи ЛЧМ-генератора. Вибір характеру зміни частоти обертання асинхронного двигуна здійснюють за допомогою тригерів 26 і 27 (фіг. 2), де сформований сигнал направляють на стартовий тригер (блоки 28-31), за допомогою якого запускають таймери-лічильники управління ЛЧМ-генератором (блоки 42-48) і формують порядок зміни фази сигналів управління асинхронним двигуном.

На фіг. 4 в графічному вигляді представлено реалізовану ЛЧМ-генератором закономірність зміни частоти обертання асинхронного двигуна, яка описує найбільш характерні режими роботи асинхронного двигуна при зміні фази сигналів управління силового модуля на заданій ділянці з початковою та кінцевою частотою обертання двигуна, (блоки 32-41).

Зміну частоти обертання асинхронного двигуна можна також представити у вигляді:

$$f(t) = f_0 + b \times t, \quad (1)$$

$$\text{де } t \in \left\{ -\frac{T_c}{2}; \frac{T_c}{2} \right\};$$

$$f_0 = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{2} - \text{центральне значення несучої частоти};$$

$$b = \frac{F_{\max} - F_{\min}}{T_c} - \text{крутизна зміни частоти ЛЧМ сигналу};$$

F_{\max}, F_{\min} – максимальна (кінцева) і мінімальна (початкова) частота ЛЧМ сигналу.

При цьому фазу з ЛЧМ сигналом визначають як:

$$\varphi(t) = 2\pi \int_0^t f(t) dt = 2\pi \left(f_0 t + \frac{b}{2} t^2 \right). \quad (2)$$

З рівнянь (1) і (2) ЛЧМ сигнал управління асинхронним двигуном може бути представлений у вигляді:

$$S(t) = S_0 \sin(\varphi_0 + \varphi(t)) = S_0 \sin \left(\varphi_0 + 2\pi \left(f_0 t + \frac{b}{2} t^2 \right) \right). \quad (3)$$

Сформований таким чином ЛЧМ сигнал подають в блок формування широтно-імпульсно-модульованих сигналів для силового модуля і визначення зміни частоти (блок 38), в якому порівнюють поточне значення сигналу з попереднім значенням і, в разі невідповідності, формують сигнал запису нових значень сигналу (тобто старого сигналу і нового сигналу) у регістри зсуву (вхід II блоку 29). За допомогою вказаного сигналу формують запит на перезапуск таймера лічильника часу, представленого у вигляді D-тригера (блоки 45, 46). За допомогою регістра зсуву на D-тригері (блоки 47, 48) реалізують режим збереження попереднього значення фази в момент перемикання роботи генератора. Це дозволяє зв'язати значення фази на початку роботи ЛЧМ-генератора з фазою сигналу попереднього відлікового інтервалу, мінімальний розмір якого задають блоком 3 фіг. 1.

Після цього на підставі алгоритму і поточного значення фаз формують поточне значення напруги живлення асинхронного двигуна (блоки 49-53) шляхом порівняння попереднього значення напруги і максимально можливого з урахуванням поточної фази та режиму роботи ЛЧМ-генератора.

Отримане таким чином поточне значення напруги живлення асинхронного двигуна разом із попередньо сформованими у блоці 7 фіг. 1 сигналами фаз, подають у блок 8 фіг. 1, де враховують кількість фаз і формують широтно-імпульсно-модульовані сигнали (блоки 54-66, фіг. 3.). У блоках 67-73 зібраний генератор широтно-імпульсно-модульованих сигналів, за допомогою якого формують імпульси згідно з фазою "А" (не показано) управляючих сигналів і частоти модуляції, заданої в блоці 1 фіг. 1. Аналогічно для фаз "В" і "С" (не показано) формують управляючі сигнали в блоках 76-91 фіг. 3.

Потім вказані сигнали, сформовані у блоці 8 фіг. 1, подають на силовий модуль. Після чого сигнали, перетворені за формою та амплітудою за допомогою силового модуля, подають безпосередньо на асинхронний двигун.

Для забезпечення надійної роботи перетворювача фаз і самого асинхронного двигуна, а також для обліку коливання напруги в мережі та стабілізації напруги в результаті роботи системи управління при гальмуванні двигуна, переході на пониженому швидкості або реверсі, у запропонованому способі застосовують також керований регулятор напруги з урахуванням поточного значення напруги і максимально заданого блоком 4 фіг. 1. Таким чином, при перевищенні заданої напруги відкривається IGBT-транзистор (блок 15 фіг. 1), в результаті чого надмірна напруга розсіюється на баластному резисторі 16 (фіг. 1). Для досягнення оптимального управління даним транзистором, його відкривання здійснюють управляючими імпульсами від тактового генератора (блок 12 фіг. 1), завдяки чому досягають збільшення надійності системи управління та сталості значення напруги в колі ланки постійного струму.

Порівняльний аналіз вищевказаного технічного рішення з найбільш близьким аналогом показав, що використання у запропонованому у винаході сформованого лінійно-частотно-модульованого сигналу, який враховує поточне значення фази, за умови $U/f = \text{const}$, величину сталості яких формують за допомогою автоматичного регулювання скважності широтно-імпульсно-модульованого сигналу відповідно до заданого алгоритму управління асинхронним двигуном, призводить до появи якісно нових технічних властивостей, зокрема таких:

забезпечення можливості регулювання в широкому діапазоні частоти обертання вала асинхронного двигуна;

підтримання заданих характеристик при різних значеннях вхідної напруги, наприклад при несинусоїдальній напрузі;

обмеження струмів в обмотках двигуна;

спрощення системи управління асинхронним двигуном та забезпечення повної відповідності режиму його роботи заданому алгоритму;

забезпечення плавного запуску та зупинки двигуна, підвищення його надійності та енергоефективності.

Оскільки сукупність цих властивостей не була встановлена раніше з існуючого рівня техніки, можна зробити висновок про відповідність запропонованого технічного рішення критерію "винахідницький рівень".

При цьому у відомих джерелах патентної та іншої науково-технічної інформації не виявлено способів управління асинхронним двигуном із вказаною в пропозиції сукупністю суттєвих ознак, тому запропоноване технічне рішення вважається таким, що відповідає критерію "новизна".

Крім того, за результатами перевірки на практиці, запропонований спосіб управління асинхронним двигуном є придатним для промислового застосування, оскільки не містить у своєму складі жодних технологічних операцій або конструкцій чи матеріалів, які неможливо було б відтворити на сучасному етапі розвитку науки і техніки, зокрема у електротехнічній галузі, а отже, дане технічне рішення вважається таким, що відповідає критерію "промислова придатність".

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

Спосіб керування асинхронним двигуном, що включає регулювання вхідної напруги та частоти асинхронного двигуна за допомогою перетворювача частот, який **відрізняється** тим, що керування здійснюють по заданому значенню частоти обертання шляхом одночасної зміни частоти і діючого значення напруги перетворювача частот, для чого формують моментальні сигнали фаз і форму сигналів керування силового модуля, а також розраховують діюче значення вихідної напруги з урахуванням сталості $U/f = \text{const}$, при цьому за умови заданих

- частоти і рівня діючої напруги перетворювача частот використовують сформований генератором лінійно-частотно-модульований сигнал, що враховує поточне значення фази, при цьому порівнюють поточне значення вказаного сигналу з попереднім значенням і, в разі їх невідповідності, формують сигнал запису нових значень сигналу у регістр зсуву, за допомогою якого реалізують режим збереження попереднього значення фази в момент перемикавання роботи генератора лінійно-частотно-модульованого сигналу, а також формують поточне значення напруги живлення асинхронного двигуна шляхом порівняння попереднього значення напруги і максимально можливого з урахуванням поточної фази та режиму роботи генератора лінійно-частотно-модульованого сигналу, на основі чого формують широтно-імпульсно-модульовані сигнали, за допомогою автоматичного регулювання скважності яких відповідно до заданого алгоритму керування асинхронним двигуном формують величину сталості $U/f=\text{const}$.

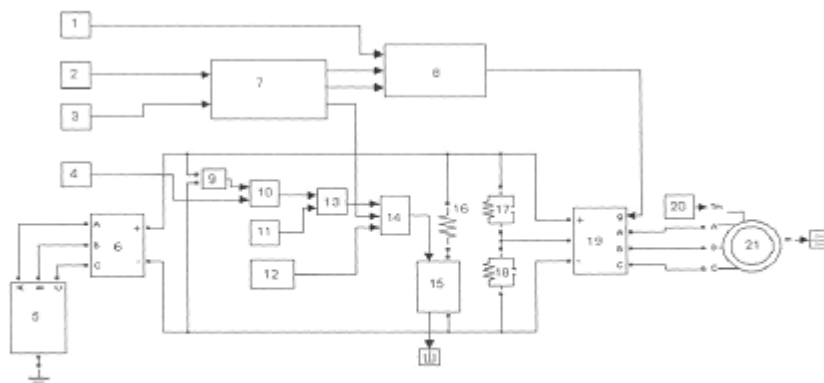


Fig. 1

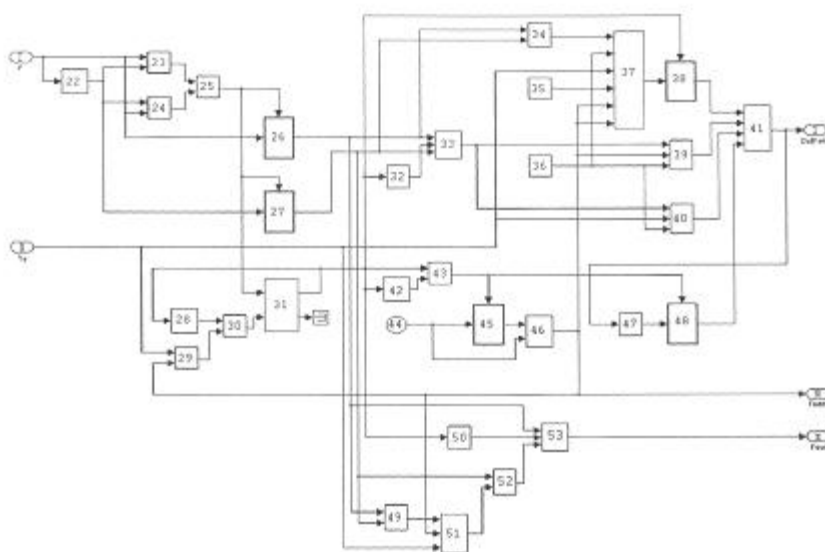
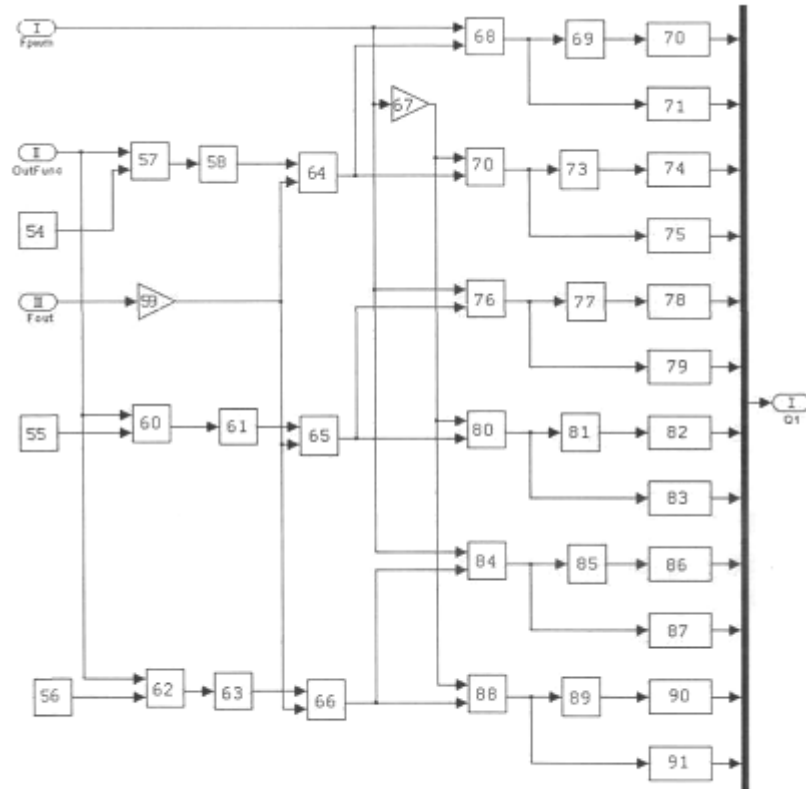
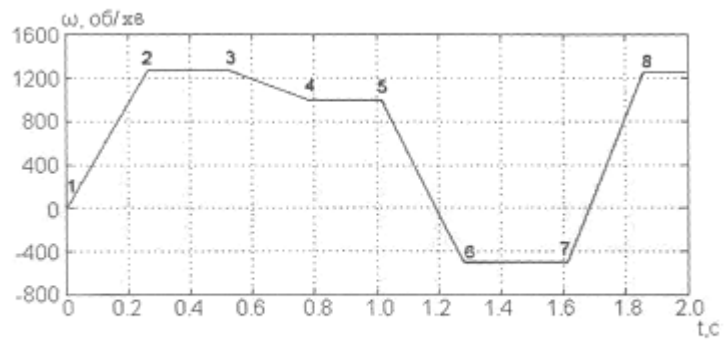


Fig. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

Комп'ютерна верстка Д. Шеверун

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

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