



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 103519

(13) U

(51) МПК

H02P 21/06 (2006.01)

H02P 21/10 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
УКРАЇНИ

## (12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

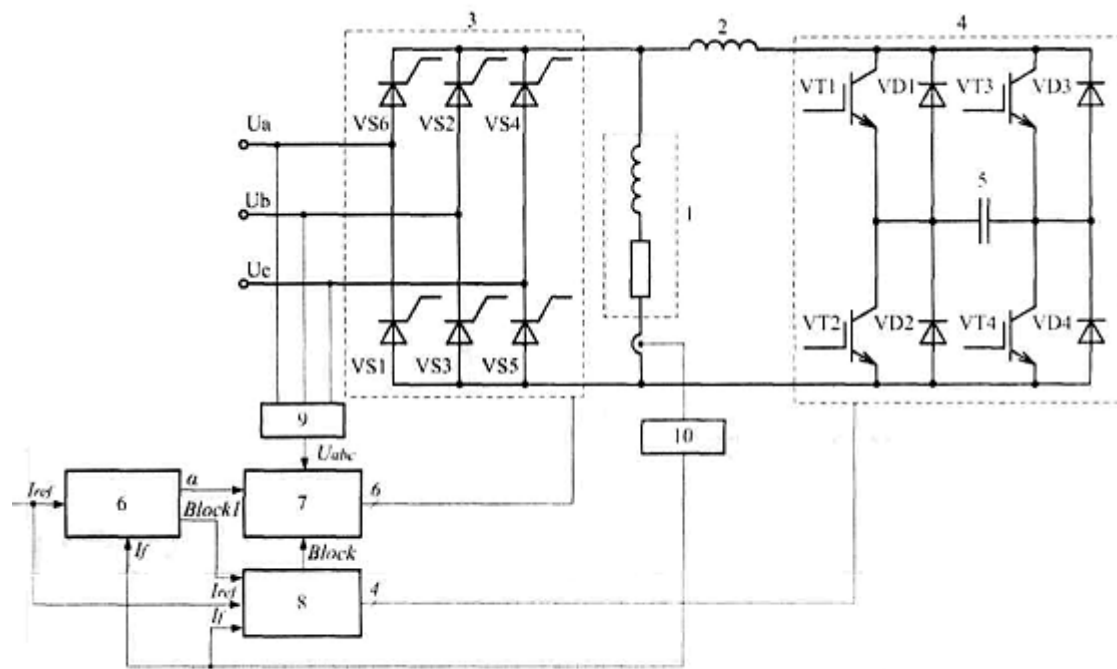
(21) Номер заявки: <b>u 2015 04552</b>	(72) Винахідник(и): <b>Бялобржеський Олексій Володимирович (UA), Слободенюк Дмитро Володимирович (UA), Слободенюк Юлія Олександрівна (UA)</b>
(22) Дата подання заявки: <b>12.05.2015</b>	
(24) Дата, з якої є чинними права на корисну модель: <b>25.12.2015</b>	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: <b>25.12.2015, Бюл.№ 24</b>	(73) Власник(и): <b>КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО, вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, Полтавська обл., 39600 (UA)</b>

## (54) СПОСІБ КЕРУВАННЯ ЗБУДЖЕННЯМ СИНХРОННОГО ДВИГУНА В ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМАХ

### (57) Реферат:

Спосіб керування збудженням синхронного двигуна в динамічних режимах, в якому включають регулювання збудження синхронного двигуна, підключають обмотку збудження до джерела постійного струму, при зміні режиму обмотку збудження підключають до накопичувального конденсатора, відводять надлишкову енергію на накопичувальний конденсатор, забезпечують заряд конденсатора. Задають струм збудження, контролюють струм обмотки збудження, визначають похибку за струмом збудження, якщо похибка за струмом не перевищує граничне значення блокують роботу накопичувального конденсатора, стабілізують струм обмотки збудження шляхом пропорційно-інтегрального регулювання, якщо похибка за струмом збудження перевищує додатне граничне значення, розблоковують роботу накопичувального конденсатора та блокують роботу джерела постійного струму, шляхом релейного регулювання керують зарядом накопичувального конденсатора, якщо похибка за струмом збудження перевищує від'ємне граничне значення, розблоковують роботу накопичувального конденсатора та блокують роботу джерела постійного струму, шляхом релейного регулювання керують розрядом накопичувального конденсатора.

UA 103519 U



Фиг. 2

Корисна модель належить до галузі електротехніки і може бути використана для підвищення стійкості привідних синхронних двигунів технологічних об'єктів та для ефективного гасіння коливань ротора синхронних двигунів, що працюють в умовах різко змінного навантаження.

Відомий спосіб для форсування струму збудження синхронного двигуна [Патент UA, № 60652, МПК H02P 9/10, H02P 9/14, 2003.]. Спосіб форсування струму збудження синхронного двигуна та пристрій для його реалізації, Нізімов В.Б., Нізімов Р.В., Сторожко В.С.), при якому регулюють струм обмотки збудження пропорційно обмірюваної електромагнітної потужності двигуна, контролюють струм і напругу статора і при перевищенні струмом наперед заданого значення, або при короткочасному глибокому зниженні напруги в електромережі нижче допустимого рівня, знімають керуючі імпульси з мостового випрямляча, включають попередньо заряджений від незалежного джерела енергії конденсатор, зустрічною напругою зарядженого конденсатора вимикають тиристори випрямляча, розряджають конденсатор на обмотку збудження і при досягненні струмом збудження заданого значення встановлюють новий кут керування тиристорами випрямляча відповідно до нового режиму, подають керуючі імпульси на тиристори випрямляча і вимикають конденсатор, який відрізняється тим, що реалізують коливальний розряд конденсатора в контурі збудження за час, що дорівнює - чверті періоду власних коливань контуру збудження.

Суттєвими ознаками, що збігаються з пропонованим технічним рішенням, є застосування конденсатора в контурі збудження, розряд його енергії на обмотку збудження.

Недоліками відомого рішення є: неконтрольований розряд конденсатора.

Відоме технічне рішення [Патент US, № WO 2013/060575 A2, МПК H02P 1/60, H02P 25/02, 2013. Спосіб та пристрій керування синхронним двигуном, Jujing Liu, Hongyang Zhang, Djorde Savinovic.]. Спосіб керування збудженням синхронного двигуна, що включає в себе ротор з обмоткою збудження, яка живиться постійним струмом, і збудник, під'єднаний до обмотки збудження, який генерує постійний струм в прямому напрямку через обмотку збудження, для створення електромагнітного поля і розрядний резистор, електрично під'єднаний до обмотки збудження, виконується в наступному порядку: забезпечують протікання струму в прямому напрямку через обмотку під час додатної на півхвилі струму збудження та розрядний резистор при відключеному збуднику; забезпечують ввімкнення збудника і прикладення повного струму до обмотки збудження; забезпечують проходження від'ємної на півхвилі через обмотку збудження при відключеному збуднику, що є протилежним прямому напрямку; підключають збудник відповідно до частоти ковзання і амплітуди напруги, викликані в обмотці збудження та застосовують повне ввімкнення збудника при швидкості ротора від 0 до 90-95 % синхронної швидкості.

Суттєвими ознаками, що збігаються з пропонованим технічним рішенням, є підключення збудника в моменти зміни параметрів режиму електроспоживання, підключення збудника у відповідь на збурюючі впливи.

Недоліками відомого рішення є: відсутність форсуючої групи, що обмежує швидкість наростання струму збудження.

Найбільш близьким до корисної моделі, що заявляється є технічне рішення [Патент US, № WO 2012/047476 A2, МПК H02H 7/08, 2012. Спосіб та пристрій швидкого гасіння збудження синхронного двигуна, Joy Mazumdar], за яким здійснюється регулювання збудження синхронного двигуна, обмотка збудження якого живиться від джерела постійного струму, під час роботи синхронного двигуна, в якій накопичується значна кількість електромагнітної енергії і в аварійному режимі, наприклад, коротке замикання в колі джерела постійного струму, накопичена енергія розряджається з обмотки збудження; електромагнітна енергія відводиться і накопичується у вигляді електричної енергії в накопичувальних конденсаторах і заряджені конденсатори використовуються в якості резервного або допоміжного джерела живлення.

Суттєвими ознаками, що збігаються з пропонованим технічним рішенням, є передача електромагнітної енергії обмотки збудження на конденсатор, який потім може бути використаний як додаткове джерело живлення, або ж для форсування струму збудження.

Недоліками відомого рішення є: відсутність контролю заряду конденсатора, що за умов наявності конденсатора і індуктивності в контурі обмотки збудження, які являють собою коливальний контур, може призвести до виникнення резонансу електричної та механічної частини синхронного двигуна.

Дане технічне рішення вибрано за прототип.

В основу корисної моделі поставлена задача регулювання збудження синхронного двигуна в динамічних режимах, шляхом керування струмом між обмоткою збудження та накопичувальним конденсатором, з форсуванням та гасінням електромагнітного поля, забезпечити підвищення

ефективності гасіння коливань ротора при зміні навантаження й напруги мережі, та статичної та динамічної стійкості двигуна у можливому діапазоні зміни навантаження.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі керування збудженням синхронного двигуна в динамічних режимах, здійснюють регулювання збудження синхронного двигуна, підключають обмотку збудження до джерела постійного струму, при зміні режиму обмотку збудження підключають до накопичувального конденсатора, відводять надлишкову енергію на накопичувальний конденсатор, забезпечують заряд конденсатора, згідно з корисною моделлю задають струм збудження, контролюють струм обмотки збудження, визначають похибку за струмом збудження, якщо похибка за струмом не перевищує граничне значення блокують роботу накопичувального конденсатора, стабілізують струм обмотки збудження ПІ-регулюванням, якщо похибка за струмом збудження перевищує додатне граничне значення, розблоковують роботу накопичувального конденсатора та блокують роботу джерела постійного струму, шляхом релейного регулювання керують зарядом накопичувального конденсатора, якщо похибка за струмом збудження перевищує від'ємне граничне значення, розблоковують роботу накопичувального конденсатора та блокують роботу джерела постійного струму, шляхом релейного регулювання керують розрядом накопичувального конденсатора.

Технічним результатом є збільшення швидкості зміни струму збудження в разі підвищення похибки за струмом граничного значення.

Суть корисної моделі пояснюється кресленнями, де на фіг. 1 наведено алгоритм реалізації способу регулювання збудження синхронного двигуна в динамічних режимах,

на фіг. 2 зображена функціональна схема пристрою, що реалізує запропонований спосіб регулювання збудження синхронного двигуна в динамічних режимах, на якій: 1 - обмотка збудження, 2 - додаткова індуктивність, 3 - джерело постійного струму, 4 - транзисторний перетворювач, 5 - накопичувальний конденсатор, 6 - система керування джерелом постійного струму, 7 - система імпульсно-фазового керування, 8 - система керування транзисторним перетворювачем, 9 - датчик напруги, 10 - датчик струму.

Спосіб реалізується наступним чином. В статичних режимах роботи СД, живлення обмотки здійснюється від джерела постійного струму. В динамічних, коли потрібно швидко змінити струм збудження, в залежності від прикладеного навантаження на вал ротора, живлення здійснюється від додатково введенного транзисторного перетворювача з підключеним накопичувальним конденсатором. Це дозволяє забезпечити необхідну швидкість струму в динамічних режимах, аварійних ситуаціях за рахунок віддачі на обмотку збудження 1 накопиченої енергії накопичувального конденсатора 5.

До системи керування джерелом постійного струму, входить регулятор струму збудження, блок обмеження вихідного сигналу, перетворювач сигналів. Для розрахунку регулятора, структурну схему системи розділено на дві частини. Це обмотка збудження синхронного двигуна, джерело постійного струму, система імпульсно-фазового керування, регулятор, датчик струму. При цьому обмотка збудження має передавальну функцію:

$$W(s)_f = \frac{1/R_f}{T_f s + 1} \quad (1)$$

Датчик струму представляється аперіодичною ланкою першого порядку:

$$W(s)_{cs} = \frac{k_{cs}}{T_{cs} s + 1}, \quad (2),$$

де:  $k_{cs}$  - коефіцієнт передачі по струму,  $T_{cs}$  - стала часу датчика струму.

Передавальна функція джерела постійного струму разом з системою імпульсно-фазового управління, як правило апроксимується аперіодичною ланкою першого порядку з постійною часу  $T_R$  в межах часу 0,006-0,01 с, що обумовлено дискретністю подачі імпульсів відкривання і особливістю роботи джерела постійного струму:

$$W(s)_r = \frac{k_R}{T_R s + 1}, \quad (3),$$

де:  $k_R$  коефіцієнт передачі джерела постійного струму,  $T_R$  - стала часу джерела постійного струму.

Коефіцієнт передачі джерела постійного струму змінюється залежно від величини керуючої напруги і розраховується з використанням регулювальних характеристик  $E_{d0} = f(\alpha)$ .

Для отримання астатичного регулювання в цьому випадку в контур має входити інтегруюча ланка. Тому використовують ПІ-регулятор, постійну часу інтегрування  $\tau$  якого для отримання

максимальної швидкодії вибирають такою, щоб нейтралізувати вплив великої постійної часу на перехідний процес  $T_f$ . В контурі присутні дві аперіодичні ланки з малими постійними часу: джерело постійного струму ( $T_r$ ) і датчик струму ( $T_{cs}$ ). В цьому випадку вказані ланки наближено можна замінити однією аперіодичною ланкою, приймаючи некомпенсовану постійну

5 часу контуру  $T_\mu = T_R + T_{cs}$ .

Розімкнутий контур керування струмом має передавальну функцію:

$$W(s)_f \cdot W(s)_r \cdot W(s)_p \cdot W(s)_{cs} = W(s)_{mo}; \quad (4),$$

де:  $W_p$  - передавальна функція регулятора,  $W_{mo} = 1/2T_\mu(T_\mu S + 1)$  - передавальна функція розімкненого контуру модульного оптимуму.

Підставивши вираз (1-4) в (5) і провівши скорочення, отримуємо передавальну функцію регулятора:

$$10 \quad W(s)_p = \frac{T_f R_f}{2T_\mu k_r k_{cs}} + \frac{R_f}{2T_\mu s k_r k_{cs}} = k_p + \frac{1}{T_p S} \cdot (5)$$

До виходу ПІ-регулятора підключено блок, що обмежує значення вихідного сигналу напруги відповідно до максимальної випрямленої напруги джерела постійного струму. Вихід з блока обмеження з'єднаний з блоком визначення кута керування тиристорами  $\alpha$ .

15 Для узгодження роботи джерела постійного струму та транзисторного перетворювача в схемі системи керування джерелом постійного струму додатково визначається перевищення вихідного сигналу регулювання, і ця різниця подається в вигляді блокуючого сигналу  $u_{bl}$  до системи керування транзисторним перетворювачем.

Для керування транзисторним перетворювачем використано релейну систему, яка реагує на вихід поточного значення струму з зони гістерезису, яка має визначену ширину.

20 Струм збудження  $i_{ref}$  формований задатчиком струму збудження, надходить на входи суматорів, на другий вхід яких надходить з виходу датчика струму збудження сигнал поточного струму збудження  $i_f$ . На виході першого суматора формується сигнал відхилення струму  $\Delta i_1 = i_{ref} - i_f$ , а на виході другого формується сигнал відхилення струму  $\Delta i_2 = i_f - i_{ref}$ .

25 Сигнали з блоків порівняння надходять на відповідні релейні елементи, на виході яких формується сигнал:

$$u_{re1} = \begin{cases} 1, \text{при } \Delta i_1 > \Delta i, \Delta i_1' > 0; \\ 0, \text{при } \Delta i_1 < \Delta i, \Delta i_1' > 0; \end{cases}$$

$$u_{re2} = \begin{cases} 1, \text{при } \Delta i_2 > \Delta i, \Delta i_1' < 0; \\ 0, \text{при } \Delta i_2 < \Delta i, \Delta i_1' < 0; \end{cases} \quad (6)$$

де  $\Delta i$  наперед задане відхилення струму, яке складає 0,1-5 % від номінального струму збудження синхронної машини.

30 Сигнал з релейних елементів надходить на перші входи логічних елементів, на перший вхід яких надходить сигнал з  $u_{БД}$ , що формується на виході блока диференціювання. На вхід блока диференціювання надходить сигнал поточного струму збудження  $i_f$ , на підставі якого формується сигнал:

$$u_{dif} = \begin{cases} 1, \text{при } di_{ref} / dt \neq 0 \\ 0, \text{при } di_{ref} / dt = 0 \end{cases}, \quad (7)$$

що забезпечує визначення статичного чи динамічного режиму за струмом збудження. На третій вхід логічних елементів надходить блокуючий сигнал  $u_{bl1}$  з виходу системи керування джерелом постійного струму.

35 В результаті на виходах логічних елементів формується сигнал:

$$u_{le} = u_{re} \cup u_{dif} \cup u_{bl1}. \quad (8)$$

Ці сигнали керують роботою інвертора напруги, забезпечуючи передачу енергії від конденсатора. Напруга збудження визначається напругою інвертора напруги та падінням напруги на додатковій індуктивності:

$$u_f = u_{IV} - L \frac{di_f}{dt}; \quad (9)$$

де:  $u_{IV}$  - напруга транзисторного перетворювача:

$$u_{IV} = u_{le}u_C = u_{le} \frac{1}{C} \int i_C dt ; \quad (10)$$

де:  $u_{le}$  сигнал, що надходить з виходу логічних елементів на керуючі електроди транзисторів (1 або 0);  $u_C$  - напруга конденсатора:

$$u_C = \frac{1}{C} \int i_C dt = \frac{1}{C} \int i_L u_{le} dt . \quad (11)$$

Це призводить до розряду конденсатора. Зниження запасу енергії конденсатора може бути компенсовано його зарядом під час гасіння поля синхронного двигуна, або зарядом від джерела постійного струму у статичному режимі.

Оскільки  $i_L = i_f$ , то рівняння балансу напруги в контурі обмотки збудження в динамічному процесі:

$$i_f r_f + \frac{d\Psi_f}{dt} = u_{le} \frac{1}{C} \int i_f u_{le} dt - L \frac{di_f}{dt} . \quad (12)$$

В системі керування присутнє блокування роботи джерела постійного струму. Блокування виконує логічний елемент "&", на входи якого подаються сигнал  $u_{dif}$  з блока визначення диференціалу заданою струму збудження  $i_f$  і сигнал  $u_{bl1}$  з виходу системи керування джерела постійного струму. У результаті на виході логічного елемента сигнал:

$$u_{bl} = u_{bl1} \cup u_{dif} , \quad (13)$$

який дозволяє або блокує подачу імпульсів на тиристори джерела постійного струму.

#### ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб керування збудженням синхронного двигуна в динамічних режимах, в якому включають регулювання збудження синхронного двигуна, підключають обмотку збудження до джерела постійного струму, при зміні режиму обмотку збудження підключають до накопичувального конденсатора, відводять надлишкову енергію на накопичувальний конденсатор, забезпечують заряд конденсатора, який **відрізняється** тим, що задають струм збудження, контролюють струм обмотки збудження, визначають похибку за струмом збудження, якщо похибка за струмом не перевищує граничне значення блокують роботу накопичувального конденсатора, стабілізують струм обмотки збудження шляхом пропорційно-інтегрального регулювання, якщо похибка за струмом збудження перевищує додатне граничне значення, розблоковують роботу накопичувального конденсатора та блокують роботу джерела постійного струму, шляхом релейного регулювання керують зарядом накопичувального конденсатора, якщо похибка за струмом збудження перевищує від'ємне граничне значення, розблоковують роботу накопичувального конденсатора та блокують роботу джерела постійного струму, шляхом релейного регулювання керують розрядом накопичувального конденсатора.

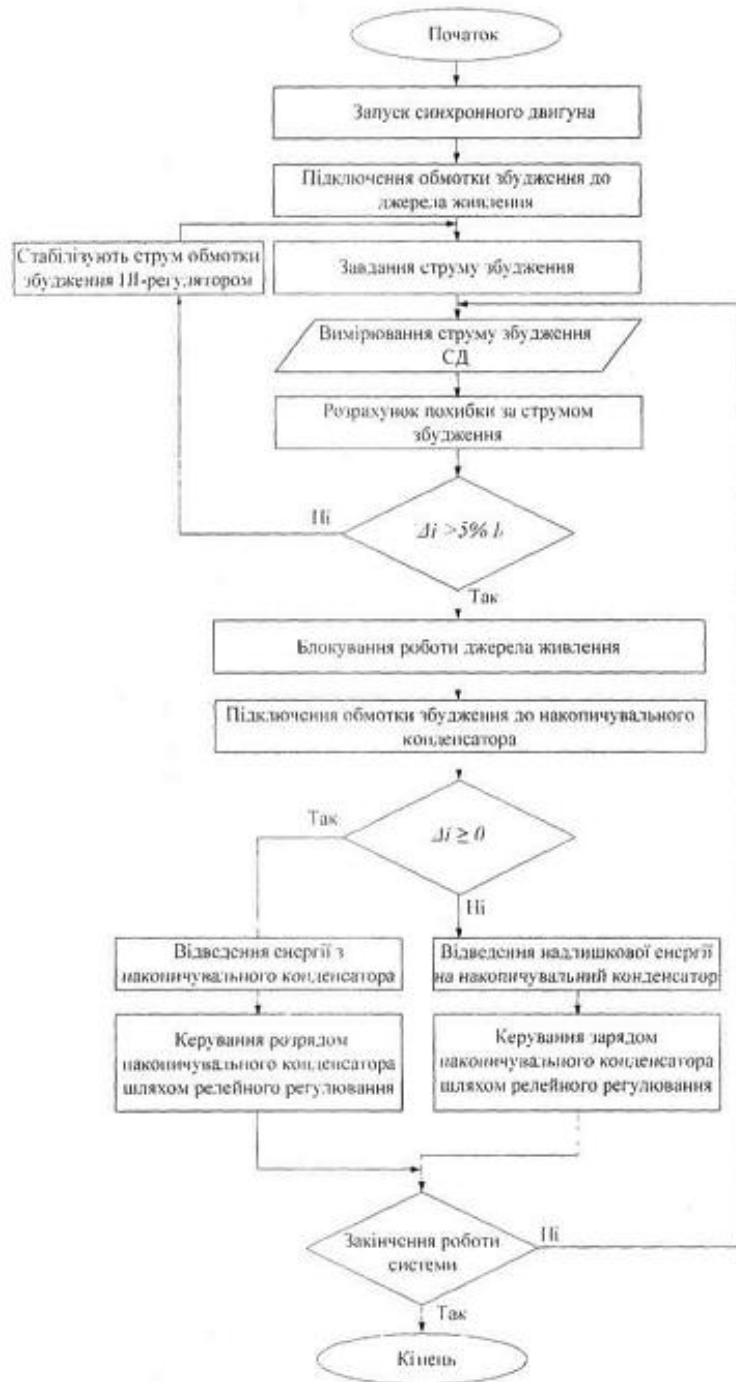
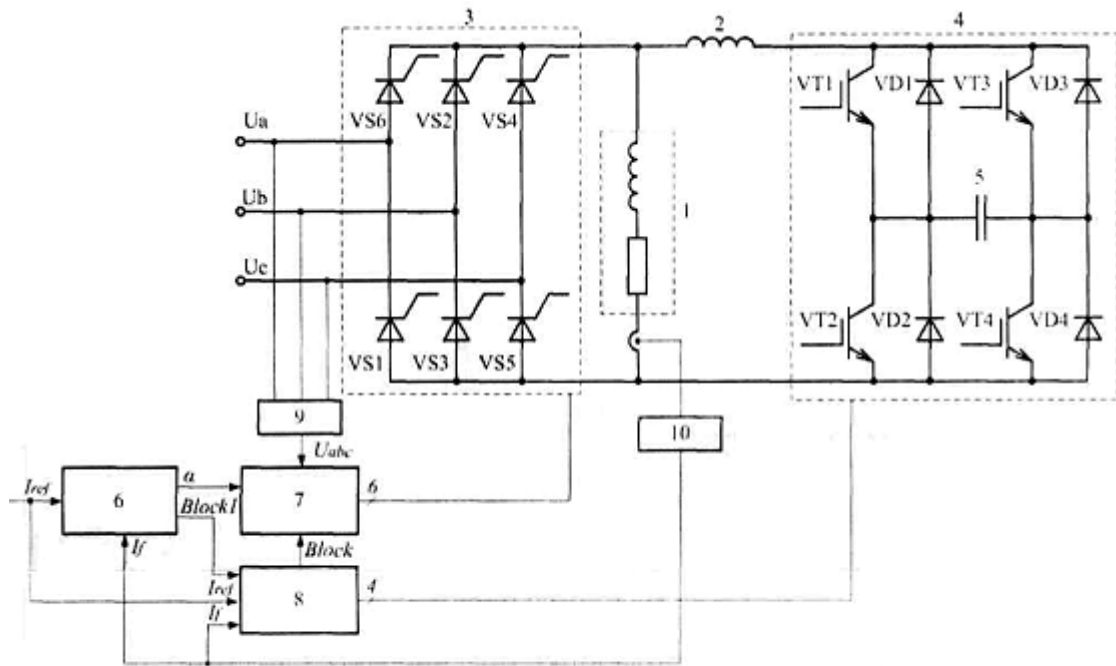


Fig. 1



Фиг. 2