



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 66190

(13) C2

(51) МПК (2006)
H02P 27/04МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) АСИНХРОННИЙ ВЕНТИЛЬНИЙ КАСКАД

1

(21) 2003087621

(22) 12.08.2003

(24) 15.06.2006

(46) 15.06.2006, Бюл. №6, 2006р.

(72) Карпук Ігор Анатолійович, Морозов Дмитро
Іванович, Скурятін Юрій Васильович, Шевченко
Іван Степанович, Самчелєєв Юрій Павлович

(73) Донбаський державний технічний університет

(56) Плєсков В.И., Хватов С.В. и др. Асинхронный
реверсивный привод с частотным управлением со
стороны ротора. Автоматизированный электропривод в народном хозяйстве. Том 1. - М.: Энергия, 1971.

UA 35728, 16.04.2001

(57) 1. Асинхронний вентильний каскад, до складу якого входить асинхронний двигун, перший трифазний мостовий керований перетворювач, катодні виводи тиристорів якого з'єднані через дросель з анодними виводами тиристорів другого трифазного мостового керованого перетворювача з системою керування, при цьому вхід другого трифазного мостового керованого перетворювача та статорні обмотки асинхронного двигуна з'єднані з живильною мережею, який **відрізняється** тим, що перший трифазний мостовий керований перетворювач виконаний на повністю керованих тиристорах, анодні виводи яких з'єднані з катодними виводами тиристорів другого трифазного мостового перетворювача через додатково введений датчик випрямленого струму, а паралельно виходу першого трифазного керованого перетворювача ввімкнено додатково введений датчик випрямленої напруги, при цьому трифазний вхід першого мостового керованого перетворювача з'єднаний з виводами обмоток ротора асинхронного двигуна через додатково введені датчики роторних струмів, додатково введений трифазний мостовий керований перетворювач на IGBT-транзисторах, трифазний вхід якого з'єднаний з трифазним входом першого мостового керованого перетворювача, а вихід - з виводами додатково введених і паралельно з'єднаних між собою конденсатора та датчика його напруги, додатково введено трифазний датчик роторних електрорушійних сил (ЕРС), перші три входи якого з'єднані з трифазним входом першого мостового керованого перетворювача, а другі три - з виводами відповідних датчиків роторних струмів, додатково введено датчик ампліту-

2

ди роторних ЕРС, три входи якого з'єднані з виходами трифазного датчика роторних ЕРС.

2. Асинхронний вентильний каскад за п.1, який **відрізняється** тим, що додатково введені трифазний синхронізатор, входи якого з'єднані з виходами трифазного датчика роторних ЕРС, трифазний генератор синусоїдальних сигналів, входи якого з'єднані з виходами трифазного синхронізатора, перший, другий та третій блоки множення, перші входи яких з'єднані з виходами трифазного генератора синусоїдальних сигналів, задатчик амплітуди роторних струмів, вихід якого з'єднаний з другими входами першого, другого та третього блоків множення, перший, другий та третій суматори, перші входи яких з'єднані з виходами відповідно першого, другого та третього блоків множення, а другі входи - з виходами відповідно першого, другого та третього датчиків роторних струмів, перший, другий та третій релейні елементи, входи яких з'єднані з виходами відповідно першого, другого та третього блоків множення, четвертий, п'ятий та шостий блоки множення, перші входи яких з'єднані з виходами першого, другого та третього суматорів, а другі - з виходами відповідно першого, другого та третього релейних елементів, четвертий, п'ятий та шостий релейні елементи, входи яких з'єднані з виходами відповідно четвертого, п'ятого та шостого блоків множення, сьомий, восьмий та дев'ятий релейні елементи, входи яких з'єднані з першими входами відповідно першого, другого та третього блоків множення, десятий релейний елемент, вхід якого з'єднаний з виходом задатчика амплітуди роторних струмів, а вихід - з входом системи керування другого трифазного мостового керованого перетворювача, сьомий блок множення, перший вхід якого з'єднаний з виходом задатчика амплітуди роторних струмів, а другий - датчика амплітуди роторних ЕРС, блок ділення, перший вхід якого з'єднаний з виходом сьомого блока множення, а другий - з виходом датчика випрямленої напруги першого трифазного мостового керованого перетворювача, четвертий суматор, на перший вхід якого подається сигнал задання на величину напруги на конденсаторі, а другий, віднімаючий, вхід з'єднаний з виходом датчика напруги на конденсаторі, п'ятий суматор, перший вхід якого з'єднаний з виходом блока ділення, другий, віднімаючий, вхід - з виходом дат-

(13) C2

(11) 66190

(19) UA

чика випрямленого струму, а третій - з виходом четвертого суматора, одинадцятий та дванадцятий релейні елементи, входи яких з'єднані з виходом п'ятого суматора, логічний пристрій, перший, другий, третій, четвертий, п'ятий, шостий, сьомий, восьмий та дев'ятий входи якого з'єднані з виходами відповідно сьомого, восьмого, дев'ятого, четвертого, п'ятого, шостого, одинадцятого, дванадцятого та десятого релейних елементів, перші шість підсилювачів-формуваців, входи яких з'єд-

нані відповідно з першим, другим, третім, четвертим, п'ятим та шостим виходами логічного пристрою, а входи - з затворами IGBT-транзисторів додатково введеного трифазного мостового перетворювача, другі шість підсилювачів-формуваців, входи яких з'єднані відповідно з сьомим, восьмим, дев'ятим, десятим, одинадцятим і дванадцятим виходами логічного пристрою, а входи - з керуючими електродами тиристорів першого трифазного мостового керованого перетворювача.

Винахід відноситься до електротехніки і може бути використаний в електроприводі на базі асинхронного двигуна з фазним ротором.

Відомий асинхронний вентильний каскад з обома керованими вентильними перетворювачами в роторному колі машини. [Плесков В.И., Хватов С.В. и др. Асинхронный реверсивный привод с частотным управлением со стороны ротора./ Автоматизированный электропривод в народном хозяйстве. Том 1 - М.: Энергия, 1971.]

Недоліком відомого асинхронного вентильного каскаду є недостатня швидкодія при реверсі та мале значення коефіцієнта потужності при регулюванні мережного перетворювача.

Найбільш близьким за технічним рішенням є асинхронно-вентильний каскад, до складу якого входить асинхронний двигун, перший трифазний мостовий керований перетворювач, катодні виводи тиристорів якого з'єднані через дросель з анодними виводами тиристорів другого трифазного мостового керованого перетворювача, при цьому вхід другого трифазного мостового керованого перетворювача та статорні обмотки асинхронного двигуна з'єднані з живильною мережею [Шевченко І.С., Самчелеев Ю.П., Потапов В. Д. Асинхронно-вентильний каскад. Деклараційний патент на винахід №35728А бюл. №3 16.04.2001].

Недоліком відомого асинхронно-вентильного каскаду є несинусоїдальність роторних струмів двигуна, що призводить до підвищеного нагрівання та нерівномірного обертання ротора останнього, а також низька перевантажувальна здатність.

В основу винаходу поставлена задача вдосконалення асинхронного вентильного каскаду, в якому шляхом заміни тиристорів першого трифазного мостового керованого перетворювача повністю керованими тиристорами, а також введення додаткових конденсатора, датчиків роторних струмів та випрямленого струму, датчиків випрямленої напруги та напруги на конденсаторі, датчиків роторних електрорушійних сил (е.р.с.) та їх амплітуди, релейних елементів, суматорів, блоків множення та ділення, логічного пристрою, формуваців-підсилювачів і трифазного мостового перетворювача на IGBT-транзисторах досягається формування роторних струмів двигуна, близьких до синусоїдальної форми та співпадаючих за фазою з роторними електрорушійними силами (е.р.с.), що призводить до зменшення нагрівання обмоток, рівномірного обертання ротора та значного підвищення перевантажувальної здатності двигуна.

Поставлена задача вирішується за допомогою того, що в асинхронний вентильний каскад, до складу якого входить асинхронний двигун, перший трифазний мостовий керований перетворювач, катодні виводи тиристорів якого з'єднані через дросель з анодними виводами тиристорів другого трифазного мостового керованого перетворювача, при цьому вхід останнього з'єднаний з живильною мережею, згідно з винаходом перший трифазний мостовий керований перетворювач виконаний на повністю керованих тиристорах, анодні виводи яких з'єднані з катодними виводами тиристорів другого трифазного мостового перетворювача через додатково введений датчик випрямленого струму, а паралельно виходу першого трифазного керованого перетворювача ввімкнено додатково введений датчик випрямленої напруги, при цьому трифазний вхід першого мостового керованого перетворювача з'єднаний з виводами обмоток ротора асинхронного двигуна через додатково введені датчики роторних струмів, додатково введений трифазний мостовий керований перетворювач на IGBT-транзисторах, трифазний вхід якого з'єднаний з трифазним входом першого мостового керованого перетворювача, а вихід - з виводами додатково введених і паралельно з'єднаних між собою конденсатора та датчика його напруги, додатково введено трифазний датчик роторних е.р.с., перші три входи якого з'єднані з трифазним входом першого мостового керованого перетворювача, а другі - з виходами відповідних датчиків роторних струмів, додатково введено датчик амплітуди роторних е.р.с., три входи якого з'єднані з виходами трифазного датчика роторних е.р.с., додатково введені трифазний синхронізатор, входи якого з'єднані з виходами трифазного датчика роторних е.р.с., трифазний генератор синусоїдальних сигналів, входи якого з'єднані з виходами трифазного синхронізатора, перший, другий та третій блоки множення, перші входи яких з'єднані з виходами трифазного генератора синусоїдальних сигналів, задатчик амплітуди роторних струмів, вихід якого з'єднаний з другими входами першого, другого та третього блоків множення, перший, другий та третій суматори, перші входи яких з'єднані з виходами відповідно першого, другого та третього блоків множення, а другі входи - з виходами відповідно першого, другого та третього датчиків роторних струмів, перший, другий та третій релейні елементи, входи яких з'єднані з виходами відповідно першого, другого та третього блоків множення, четвертий, п'ятий та шостий блоки множення, перші входи яких з'єднані з виходами

першого, другого та третього суматорів, а другі - з виходами відповідно першого, другого та третього релейних елементів, четвертий, п'ятий та шостий релейні елементи, входи яких з'єднані з виходами відповідно четвертого, п'ятого та шостого блоків множення, сьомий, восьмий та дев'ятий релейні елементи, входи яких з'єднані з першими входами відповідного першого, другого та третього блоків множення, десятий релейний елемент, вхід якого з'єднаний з виходом задатчика амплітуди роторних струмів, а вихід - з входом системи керування другого трифазного мостового керованого перетворювача, сьомий блок множення, перший вхід якого з'єднаний з виходом задатчика амплітуди роторних струмів, а другий - датчика амплітуди роторних е.р.с., блок ділення, перший вхід якого з'єднаний з виходом сьомого блока множення, а другий - з виходом датчика випрямленої напруги першого трифазного мостового керованого перетворювача, четвертий суматор, на перший вхід якого подається сигнал завдання на величину напруги на конденсаторі, а другий, віднімаючий, вхід з'єднаний з виходом датчика напруги на конденсаторі, п'ятий суматор, перший вхід якого з'єднаний з виходом блока ділення, другий віднімаючий вхід - з виходом датчика випрямленого струму, а третій - з виходом четвертого суматора, одинадцятий та дванадцятий релейні елементи, входи яких з'єднані з виходом п'ятого суматора, логічний пристрій, перший, другий, третій, четвертий, п'ятий, шостий, сьомий, восьмий та дев'ятий входи якого з'єднані з виходами відповідно сьомого, восьмого, дев'ятого, четвертого, п'ятого, шостого, одинадцятото, дванадцятото та десятого релейних елементів, перші шість підсилювачів-формувавців, входи яких з'єднані відповідно з першим, другим, третім, четвертим, п'ятим та шостим виходами логічного пристрою, а виходи - з затворами IGBT-транзисторів додатково введенного трифазного мостового перетворювача, другі шість підсилювачів-формувавців, входи яких з'єднані відповідно з сьомим, восьмим, дев'ятим, десятим, одинадцятим і дванадцятим виходами логічного пристрою, а виходи - з керуючими електродами тиристорів першого трифазного мостового керованого перетворювача, що дозволяє сформувати в роторному колі асинхронного двигуна струми практично синусоїдальної форми, які співпадають за фазою з роторними е.р.с. і цим забезпечити рівномірне обертання ротора, високу переважувальну здатність двигуна та менше нагрівання обмоток.

На Фіг.1 представлена схема запропонованого асинхронного вентильного каскаду, на Фіг.2 - система керування асинхронним вентильним каскадом, на Фіг.3, 4, 5 часові діаграми роторних е.р.с. і струмів асинхронного двигуна в системі каскаду для різних режимів роботи.

До складу асинхронного вентильного каскаду входить асинхронний двигун 1, перший трифазний мостовий керований перетворювач 2, катодні виводи повністю керованих тиристорів якого через дросель 3 з'єднані з анодними виводами тиристорів другого трифазного мостового керованого перетворювача 4 з системою керування 5, а анодні виводи тиристорів першого та катодні виводи тиристорів другого трифазних мостових керованих

перетворювачів з'єднані між собою через додаткового введенний датчик 6 випрямленого струму, при цьому вхід другого перетворювача 4 та статорні обмотки асинхронного двигуна 1 з'єднані з живильною мережею, а трифазний вхід першого мостового перетворювача 2 через додатково введені датчики 7, 8, 9 роторних струмів з'єднаний з виводами роторних обмоток асинхронного двигуна 1, додатково введенний датчик 10 випрямленої напруги, що ввімкнений паралельно виходу першого мостового перетворювача 2, додатково введенний трифазний мостовий перетворювач 11 на IGBT-транзисторах, трифазний вхід якого з'єднаний з трифазним входом першого мостового перетворювача 2, а вихід - з виводами додатково введених і паралельно ввімкнених між собою конденсатора 12, та датчика 13 його напруги, додатково введенний трифазний датчик 14 роторних е.р.с, перші три входи якого з'єднані з трифазним входом першого мостового перетворювача 2, а другі три з виходами відповідних датчиків 7, 8, 9 роторних струмів, додатково введенний датчик 15 амплітуди роторних е.р.с., три входи якого з'єднані з виходами трифазного датчика 14 роторних е.р.с., додатково введені трифазний синхронізатор 16, входи якого з'єднані з виходами трифазного датчика 14 роторних е.р.с., трифазний генератор 17 синусоїдальних сигналів, входи якого з'єднані з виходами трифазного синхронізатора 16, перший 18, другий 19 та третій 20 блоки множення, перші входи яких з'єднані з виходами трифазного генератора 17 синусоїдальних сигналів, задатчик 21 амплітуди роторних струмів, вихід якого з'єднаний з другими входами першого 18, другого 19, та третього 20 блоків множення, перший 22, другий 23 та третій 24 суматори, перші входи яких з'єднані з виходами відповідно першого 18, другого 19 та третього 20 блоків множення, а другі входи - з виходами відповідно першого 7, другого 8 та третього 9 датчиків роторних струмів, перший 25, другий 26 та третій 27 релейні елементи, входи яких з'єднані з виходами відповідно першого 18, другого 19 та третього 20 блоків множення, четвертий 28, п'ятий 29 та шостий 30 блоки множення, перші входи яких з'єднані з виходами відповідно першого 22, другого 23 та третього 24 суматорів, а другі - з виходами відповідно першого 25, другого 26 та третього 27 релейних елементів, четвертий 31, п'ятий 32 та третій 33 релейні елементи, входи яких з'єднані з виходами відповідно четвертого 28, п'ятого 29 та шостого 30 блоків множення, сьомий 34, восьмий 35 та дев'ятий 36 релейні елементи, входи яких з'єднані з першими входами відповідно першого 18, другого 19 та третього 20 блоків множення, десятий релейний елемент 37, вхід якого з'єднаний з виходом задатчика 21 амплітуди роторних струмів, а вихід - з входом системи 5 керування другого трифазного мостового керованого перетворювача 4, сьомий блок множення 38, перший вхід якого з'єднаний з виходом задатчика 21 амплітуди роторних струмів, а другий - датчика 15 амплітуди роторних е.р.с., блок ділення 39, перший вхід якого з'єднаний з виходом сьомого блока множення 38, а другий - з виходом датчика 10 випрямленої напруги першого мостового перетворювача 2, четвертий суматор 40, на перший вхід яко-

го подається сигнал завдання на величину напруги на конденсаторі 12, а другий, віднімаючий, вхід з'єднаний з виходом датчика 13 напруги на конденсаторі 12, п'ятий суматор 41, перший вхід якого з'єднаний з виходом блока ділення 39, другий, віднімаючий, вхід - з виходом датчика 6 випрямленого струму, а третій - з виходом четвертого суматора 40, одинадцятий 42 та дванадцятий 43 релейні елементи, входи яких з'єднані з виходом п'ятого суматора 41, логічний пристрій 44, перший, другий, третій, четвертий, п'ятий, шостий, сьомий, восьмий та дев'ятий входи якого з'єднані з виходами відповідно сьомого 34, восьмого 35, дев'ятого 36, четвертого 31, п'ятого 32, шостого 33, одинадцятого 42, дванадцятого 43 та десятого 37 релейних елементів, перші шість підсилювачів-формуваців 45÷50, входи яких з'єднані відповідно з першим, другим, третім, четвертим, п'ятим та шостим виходами логічного пристрою 44, а входи - з затворами IGBT-транзисторів додатково введеного трифазного мостового керованого перетворювача 11, другі шість підсилювачів-формуваців 51÷56, входи яких з'єднані відповідно з сьомим, восьмим, дев'ятим, десятим, одинадцятим та дванадцятим виходами логічного пристрою 44, а виходи - з керуючими електродами тиристорів першого трифазного мостового керованого перетворювача 2.

Асинхронний вентильний каскад працює таким чином. Перед початком роботи каскаду бажано конденсатор 12 на виході мостового перетворювача 11 зарядити від стороннього джерела струму до напруги $U_{сп}$, що забезпечує нормальне функціонування каскаду ("+" на затискачі конденсатора, що з'єднаний з катодами зворотних діодів мостового перетворювача 11).

Умовою нормальної роботи каскаду є перевищення напругою на конденсаторі 12 найбільшої, що виникає між роторними виводами асинхронного двигуна 1 в процесі взаємодії останнього з мостовими перетворювачами 2, 4, 11, тобто:

$$U_{сп} > \{E_{mab}, E_{mbc}, E_{mca}\},$$

$$U_{сп} > U_{dm},$$

де E_{mab} , E_{mbc} , E_{mca} - максимально можливі значення амплітуди лінійних е.р.с. ротора асинхронного двигуна 1;

U_{dm} - максимальне значення випрямленої напруги на виході мостового перетворювача 4

$$U_{dm} = \sqrt{2} U_L;$$

$$E_{mab} = E_{mbc} = E_{mca} = \sqrt{2} E_{рн} s_m \approx 2,83 E_{рн}$$

при максимальному робочому ковзанні ротора $s_m \approx 2$;

$$E_{рн} - \text{номінальне значення роторної е.р.с.};$$

U_L - значення лінійної напруги живильної мережі.

Якщо можливості зарядити конденсатор 12 від стороннього джерела немає, то при подачі напруги від живильної мережі (А, В, С) на статорні обмотки асинхронного двигуна 1 він спочатку роторними е.р.с. через зворотні діоди мостового перетворювача 11 заряджається до амплітуди номінальної е.р.с. ротора $U_{C1} = \sqrt{2} E_{рн}$, а потім, за допомогою мостових перетворювачів 4 і 2 та їх систем керу-

вання, до напруги $U_{сп}$ (після подачі напруги на трифазний вхід перетворювача 4).

Для цього подається сигнал завдання $U_{3с}$ напруги конденсатора 12 на вхід суматора 40 ($U_{3с} = U_{сп}/K_c$, K_c - величина коефіцієнта передачі датчика 13 напруги конденсатора) та малий сигнал (наприклад, 1/50 частина максимального) завдання амплітуди роторних струмів I_{m3} на виході датчика 21. Перший з них разом з сигналом - $U_{фс}$ датчика 13 напруги конденсатора 12 є в даний момент завданням на випрямлений струм I_d в колі перетворювачів 2 і 4, тобто в дроселі 3, формуючи через релейні елементи 42 і 43 логічні сигнали на сьомому і восьмому входах логічного пристрою 44. Другий з них з однієї сторони через релейний елемент 37, попадаючи на вхід системи керування 5 другим перетворювачем 4, визначає його інверторний режим з кутом $\beta \approx 10-15^\circ$. З іншої - після перемноження його з каліброваними синусоїдальними сигналами одиночної амплітуди, що синфазні завдяки синхронізатору 16 з роторними е.р.с. та видані генератором 17 він стає завданням на виході блоків множення 18, 19, 20 (I_{a3} , I_{b3} , I_{c3}) на формування синусоїдальних струмів ротора.

Релейні регулятори роторних струмів, що зібрані для фази "а" на суматорі 22, блоку множення 28 та релейних елементах 25 і 31, для фази "b" відповідно 23, 29, 26, 32, для фази "с" відповідно 24, 30, 27, 33, з врахуванням сигналів датчиків 7, 8, 9 роторних струмів формують логічні сигнали на четвертому, п'ятому та шостому входах логічного пристрою 44.

Разом з логічними сигналами на першому, другому, третьому, сьомому, восьмому та дев'ятому входах логічного пристрою 44, що видаються релейними елементами відповідно 34, 35, 36, 37, 42, 43, вони відпрацьовують вказані завдання через стан вентилів мостових перетворювачів 2 та 11 у відповідності з алгоритмом, що поданий таблицею 1. Ці стани вентилів забезпечуються, природно, за допомогою підсилювачів-формуваців, які подають на затвори IGBT-транзисторів перетворювача 11 сигнали $K1 \div K6$, а на керуючі електроди повністю керованих тиристорів перетворювача 2 сигнали $Y1 \div Y6$ з відповідними параметрами.

Як тільки сигнал $U_{фс}$ з виходу датчика 13 напруги конденсатора 12 зрівняється з $U_{3с}$ заряд конденсатора до рівня напруги $U_{сп}$ закінчився, і вентильний каскад готовий до роботи.

В цьому випадку сигнал з виходу суматора 40 не надходить, і завдання I_{d3} на випрямлений струм формується блоками ділення 39 та множення 38 з забезпеченням балансу потужності в системі: роторні обмотки асинхронного двигуна 1, перший 2, другий 4 та додатково введений 11 перетворювачі

$$\left(\frac{3}{2} E_{m1} I_m = U_d I_d, \text{ звідки } I_d = I_{d3} = \frac{3}{2} \frac{E_{m1} I_{m3}}{U_d} \right). \text{ Сигнали}$$

U_m і U_d формуються датчиками відповідно 15 амплітуди роторних е.р.с. та 10 випрямленої напруги першого мостового перетворювача 2. Релейний регулятор випрямленого струму I_d (суматор 41, релейні елементи 42, 43) через входи 7, 8 логічного пристрою 44, підсилювачі-формуваці 51÷56, тиристори першого мостового перетворювача 2 з

допомогою датчика 6 відпрацьовує це завдання, стабілізуючи випрямлений струм на рівні I_{d3} .

При завданні блоком 21 максимального позитивного сигналу I_{m3} релейні регулятори роторних струмів відпрацьовують ці завдання (на виходах блоків 18, 19, 20), забезпечуючи формування практично синусоїдальних роторних струмів, що співпадають з фазою зі своїми роторними е.р.с. Такі струми є чисто активними і однозначно визначають величину умовно позитивного моменту на валу асинхронного двигуна 1, що спричиняє обертання ротора по полю (умовний напрямок "вперед").

Якщо рівень I_{m3} не змінювати, то асинхронний двигун виробляє момент на валу, що не залежить від рівня швидкості, тобто є джерелом моменту (механічна характеристика $\omega \propto M$) є практично вертикальною лінією до синхронної швидкості).

Якщо полярність сигналу завдання I_{m3} змінити на негативну, релейні регулятори роторних струмів сформуєть (через логічний пристрій 44, підсилювачі-формувачі 45÷56 та вентиля мостових перетворювачів 2 і 11) синусоїдальні роторні струми, що будуть у протифазі зі своїми роторними е.р.с. - на валу двигуна 1 генерується момент протилежного (ніж у першому випадку) знака, що призведе до гальмування двигуна, а після зупинки - до обертання в протилежному напрямку (проти поля, умовно "назад"). Релейний елемент 37 через систему керування 5 перевів другий мостовий перетворювач 4 у випрямний режим з кутом $\alpha = 0$. В результаті цього енергія мережі через перетворювачі 4 і 2 надходить в роторне коло двигуна, частина якої перетворюється на механічну (на вал), а інша через статорні обмотки рекуперується назад в мережу.

І при позитивному, і при негативному завданні на I_{m3} блоки 38 і 39 коригують завдання I_{d3} на випрямлений струм у зв'язку зі зміненням ковзання ротора $s \propto \sqrt{E_{pH} s}$ або коливаннями випрямленої напруги U_d на виході першого перетворювача 2. Цим забезпечується баланс потужностей в каскаді. Це дає змогу стабілізувати напругу на конденсаторі, чим з одного боку забезпечити працездатність каскаду, а з іншої - захистити конденсатор від пробою.

В основі роботи запропонованого каскаду лежить принцип примусового формування синусоїдальних роторних струмів, що співпадають за фазою з роторними е.р.с. В процесі такого формування у відповідності з алгоритмом керування (таблиця 1) структура каскаду визначається комбінацією станів релейних елементів, а змінення структури проходить в момент зміни цих станів. Принцип формування струмів в кожній фазі ротора полягає в тому, що в залежності від комбінації відкритих вентилів мостових перетворювачів 2 і 11 до обмоток ротора прикладаються напруги: лінійні мережі, або конденсатора, або ж роторні обмотки закорочуються.

Під дією цих напруг роторні струми в обмотках можуть збільшуватись, або зменшуватись аж до досягнення бажаного миттєвого значення завдань I_{a3} , I_{b3} , I_{c3} на ці струми. При цьому система керування через логічний пристрій 44 визначає стан

завдань (входи 1, 2, 3) на роторні струми, тенденції змінень величин цих струмів (входи 4, 5, 6) та випрямленого I_d (входи 7, 8), а також напрямком передачі енергії: з роторних обмоток в мережу чи навпаки (вхід 9).

З діаграм, що представлені на Фіг.3, видно, що роторні струми i_a , i_b , i_c мають форму, близьку до синусоїдальної з сталою амплітудою та співпадають за фазою з роторними е.р.с. e_a , e_b , e_c при різних значеннях ковзання ротора і роботі двигуна як по полю ($s=0,2$, $s=1$), так і проти поля ($s=2$). При цьому величина випрямленого струму I_d автоматично коригується для збереження балансу потужностей в каскаді. Другий мостовий перетворювач працює в інверторному режимі (позитивна напруга U_d - це "+" на анодних виводах тиристорів перетворювача 4), віддаючи енергію з ротора асинхронного двигуна в живильну мережу.

Криві Фіг.4 демонструють реакцію каскаду на зменшення завдання I_{m3} на величину амплітуди роторних струмів. Як видно з них, роторні струми i_a , i_b , i_c миттєво змінили свою амплітуду, зберігаючи синфазність зі своїми е.р.с. Оскільки енергія, що передається з роторних обмоток зменшилась, то блоки 38 і 39 автоматично скоригували і величину випрямленого струму I_d , зберігаючи баланс потужностей в каскаді.

На Фіг.5 подані вказані вище криві струмів та е.р.с. у випадку переведення каскаду на зворотній напрямок передачі енергії - з живильної мережі через другий мостовий перетворювач, що працює у випрямному режимі, в роторне коло асинхронного двигуна. Це досягається зміною полярності сигналу завдання на амплітуду I_{m3} роторних струмів. З Фіг.5 видно, що роторні струми i_a , i_b , i_c практично безінерційно змінили свою полярність на протилежну, але при сталій амплітуді. Це свідчить про якісну роботу релейних регуляторів струмів в каскаді незалежно від енергетичних режимів роботи перетворювачів, що входять до його складу.

Запропонований асинхронний вентильний каскад формує практично синусоїдальні роторні струми, що синфазні (або протифазні) з відповідними роторними е.р.с. Це означає, що цей каскад передає в обох напрямках тільки активну енергію, тобто мінімально можливими величинами роторних струмів, що забезпечує мінімально можливе нагрівання обмоток асинхронного двигуна. У відомому асинхронному вентильному каскаді це не досягається, оскільки роторні струми з одного боку носять несинусоїдальний (навіть розривний) характер, а з другого зсуваються за фазою по відношенню до своїх е.р.с. при збільшенні ковзання ротора. Це призводить до того, що передача активної енергії через відомий каскад супроводжується передачею і реактивної енергії значно більшими струмами, тобто більшим нагріванням двигуна.

При використанні асинхронного вентильного каскаду в електроприводах момент асинхронного двигуна формується магнітним потоком та активною складовою роторних струмів

$$M = K\Phi I_{pa} = K\Phi I_p \cos \varphi_p$$

Оскільки у відомому асинхронному вентильному каскаді фазовий зсув роторних струмів відносно своїх е.р.с. збільшується при збільшенні

ковзання ротора, то $\cos \varphi_p$ зменшується, що призводить до обмеження максимальних моментів двигуна при збільшенні I_p - явище перекидання двигуна (рос. опрокидывание). В запропонованому асинхронному вентильному каскаді це явище відсутнє, оскільки завжди $\cos \varphi_p = 1$, і максимальний момент, що може бути одержаний, залежить лише від кратності максимального струму ротора, яка визначається вибраними в мостових перетворювачах каскаду вентилями.

Крім того, тільки струми синусоїдальної форми в обмотках асинхронного двигуна створюють на

валу сталий момент (без пульсацій) за рахунок плавного обертання магнітного поля. Це дозволяє одержати і плавне (рівномірне) обертання ротора та забезпечити точне регулювання швидкості.

Таким чином, запропонований асинхронний вентильний каскад формує практично синусоїдальні роторні струми, що співпадають за фазою з відповідними роторними електрорушійними силами, що дозволяє зменшити нагрівання обмоток асинхронного двигуна, значно збільшити його переважувальну здатність та плавність обертання ротора.

Таблиця 1

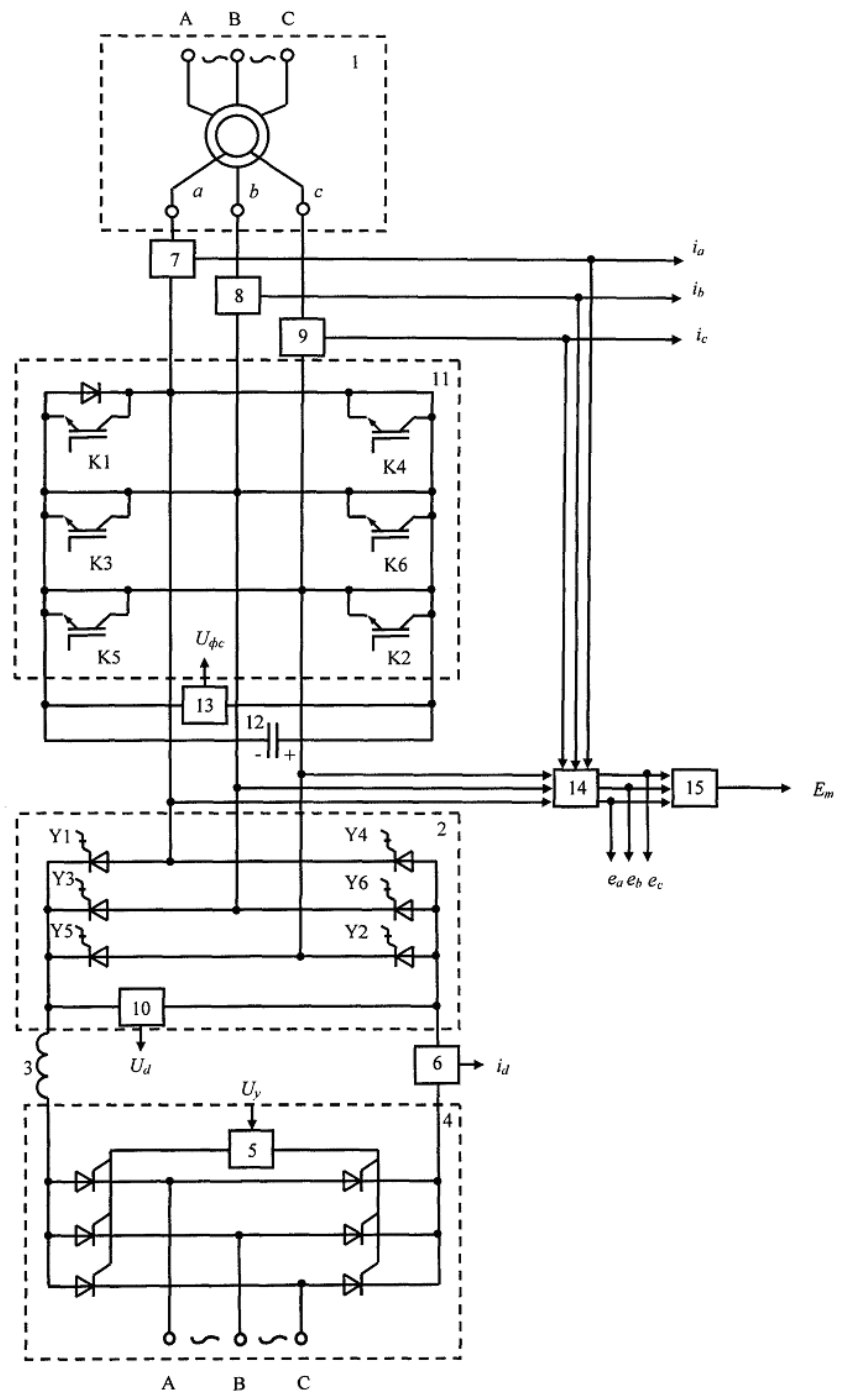
Входи										Виходи											
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	0	1	1	X	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0
2	1	0	1	0	X	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1
3	1	0	1	1	X	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
4	1	0	1	0	X	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1
5	1	0	1	1	X	1	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1
6	1	0	1	0	X	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1
7	1	0	1	1	X	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
8	1	0	1	0	X	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1
9	1	0	1	1	X	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1
10	1	0	1	0	X	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0
11	1	0	1	1	X	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
12	1	0	1	0	X	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
13	1	0	0	X	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0
14	1	0	0	X	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0
15	1	0	0	X	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1
16	1	0	0	X	0	0	1	0	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1
17	1	0	0	X	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
18	1	0	0	X	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
19	1	0	0	X	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
20	1	0	0	X	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
21	1	0	0	X	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1
22	1	0	0	X	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
23	1	0	0	X	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0
24	1	0	0	X	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
25	1	1	0	1	1	X	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
26	1	1	0	1	0	X	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
27	1	1	0	0	1	X	1	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0
28	1	1	0	0	0	X	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0
29	1	1	0	1	1	X	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
30	1	1	0	1	0	X	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
31	1	1	0	0	1	X	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1	0
32	1	1	0	0	0	X	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
33	1	1	0	1	1	X	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
34	1	1	0	1	0	X	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
35	1	1	0	0	1	X	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
36	1	1	0	0	0	X	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1

Продовження табл.1

Входи									Виходи													
№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
73	1	0	1	1	X	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1
74	1	0	1	0	X	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1
75	1	0	1	1	X	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	1
76	1	0	1	0	X	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0
77	1	0	1	1	X	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1
78	1	0	1	0	X	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1
79	1	0	1	1	X	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1
80	1	0	1	0	X	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
81	1	0	1	1	X	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0
82	1	0	1	0	X	1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
83	1	0	1	1	X	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0
84	1	0	1	0	X	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
85	1	0	0	X	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1
86	1	0	0	X	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1
87	1	0	0	X	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0
88	1	0	0	X	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0
89	1	0	0	X	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0
90	1	0	0	X	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
91	1	0	0	X	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0
92	1	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
93	1	0	0	X	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0
94	1	0	0	X	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0
95	1	0	0	X	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1
96	1	0	0	X	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1
97	1	1	0	1	1	X	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
98	1	1	0	1	0	X	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0
99	1	1	0	0	1	X	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0
100	1	1	0	0	0	X	1	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
101	1	1	0	1	1	X	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0
102	1	1	0	1	0	X	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0
103	1	1	0	0	1	X	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	1	0	0
104	1	1	0	0	0	X	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
105	1	1	0	1	1	X	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
106	1	1	0	1	0	X	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0
107	1	1	0	0	1	X	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1
108	1	1	0	0	0	X	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0

Продовження табл.1

№	Входи									Виходи											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
37	0	1	0	1	X	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1
38	0	1	0	0	X	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0
39	0	1	0	1	X	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0
40	0	1	0	0	X	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0
41	0	1	0	1	X	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	1
42	0	1	0	0	X	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
43	0	1	0	1	X	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0
44	0	1	0	0	X	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
45	0	1	0	1	X	1	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	0	0
46	0	1	0	0	X	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1
47	0	1	0	1	X	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
48	0	1	0	0	X	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1
49	0	1	1	X	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1
50	0	1	1	X	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1
51	0	1	1	X	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0
52	0	1	1	X	0	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	1	0
53	0	1	1	X	1	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0
54	0	1	1	X	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0
55	0	1	1	X	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0
56	0	1	1	X	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0
57	0	1	1	X	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1	0
58	0	1	1	X	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0
59	0	1	1	X	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1
60	0	1	1	X	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1
61	0	0	1	1	1	X	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0
62	0	0	1	1	0	X	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1
63	0	0	1	0	1	X	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1	0
64	0	0	1	0	0	X	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
65	0	0	0	1	1	1	X	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0
66	0	0	0	1	1	0	X	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
67	0	0	0	1	0	1	X	0	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0
68	0	0	0	1	0	0	X	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
69	0	0	0	1	1	1	X	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	1
70	0	0	0	1	1	0	X	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0
71	0	0	0	1	0	1	X	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0
72	0	0	0	1	0	0	X	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0



Фиг. 1

