



(19) RU⁽¹¹⁾ 2 112 307⁽¹³⁾ C1

(51) МПК⁶ H 02 K 17/28

РОССИЙСКОЕ АГЕНТСТВО
ПО ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

(21), (22) Заявка: 96109621/09, 13.05.1996

(46) Дата публикации: 27.05.1998

(56) Ссылки: 1. Шенфер К.И. Асинхронные машины. - М.: ГОНТИ, 1938, гл. XXVШ, с.284. 2. SU, авторское свидетельство, 7530, кл. H 02 K 17/28, 1929.

(71) Заявитель:

Савицкий Александр Леонидович,
Мугалимов Риф Гарифович,
Савицкая Любовь Давыдовна

(72) Изобретатель: Савицкий Александр Леонидович,

Мугалимов Риф Гарифович, Савицкая Любовь Давыдовна

(73) Патентообладатель:

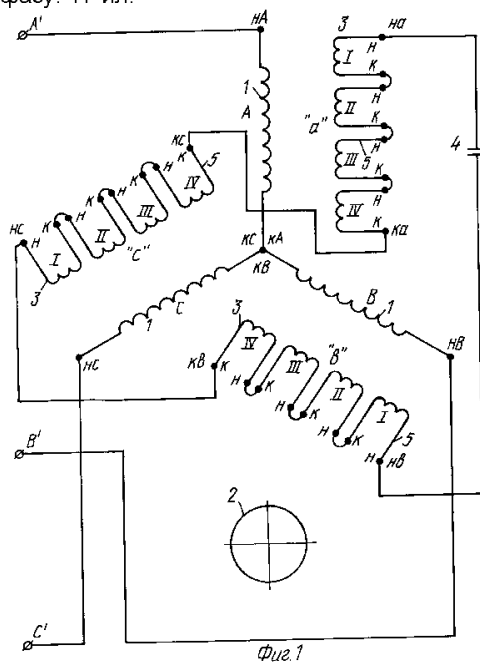
Савицкий Александр Леонидович,
Мугалимов Риф Гарифович,
Савицкая Любовь Давыдовна

(54) АСИНХРОННАЯ КОМПЕНСИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ МАШИНА

(57) Реферат:

Изобретение относится к электротехнике, а именно к производству, распределению и преобразованию энергии, в частности к преобразованию электрической энергии в механическую посредством асинхронных двигателей с компенсированной обмоткой для улучшения коэффициента мощности последних. Технической задачей, на решение которой направлено изобретение, является повышение надежности работы машины за счет уменьшения емкости конденсаторов, снижение величины и расширение диапазона регулирования намагничивающего и пускового токов, снижение динамических нагрузок на механическую часть обмотки. Асинхронная компенсированная электрическая машина содержит ротор, статор с основной и заложенной в ее пазы дополнительной обмотками, а также конденсатор, при этом фазы дополнительной обмотки выполнены посекционно и соединены друг с другом последовательно, конденсатор по отношению к ним включен параллельно, дополнительная обмотка выполнена с возможностью соединения фаз "согласно" и

"встречно" и переключения секций из фазы в фазу. 17 ил.



RU 2 112 307 C1

RU 2 112 307 C1



(19) **RU** ⁽¹¹⁾ **2 112 307** ⁽¹³⁾ **C1**

(51) Int. Cl.⁶ **H 02 K 17/28**

RUSSIAN AGENCY
FOR PATENTS AND TRADEMARKS

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21), (22) Application: 96109621/09, 13.05.1996

(46) Date of publication: 27.05.1998

(71) Applicant:
**Savitskij Aleksandr Leonidovich,
Mugalimov Rif Garifovich,
Savitskaja Ljubov' Davydovna**

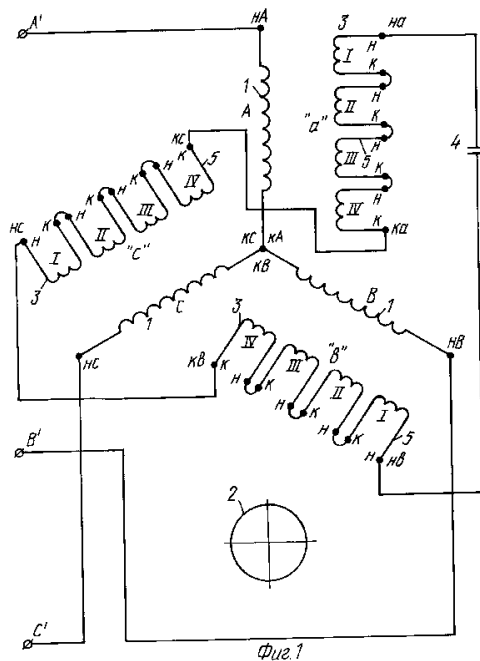
(72) Inventor: **Savitskij Aleksandr Leonidovich,
Mugalimov Rif Garifovich, Savitskaja Ljubov'
Davydovna**

(73) Proprietor:
**Savitskij Aleksandr Leonidovich,
Mugalimov Rif Garifovich,
Savitskaja Ljubov' Davydovna**

(54) **COMPENSATED-WINDING INDUCTION MACHINE**

(57) Abstract:

FIELD: electrical engineering; energy generation, distribution, and conversion including electrical-to-mechanical energy conversion by means of compensated-winding induction motors to improve power factor of motors. SUBSTANCE: machine has rotor, stator with running and auxiliary windings placed in its slots, as well as capacitor; phase leads of auxiliary winding are built up of coils and interconnected in series; capacitor is connected in parallel to them; auxiliary winding is designed for cumulative and differential connection and change-over of its coils from one phase to other. EFFECT: improved operating reliability due to reduced value of capacitors; reduced amount and enlarged range of nonmagnetic and starting torque regulation, reduced dynamic loads on mechanical parts of machine. 17 dwg



RU 2 112 307 C1

RU 2 112 307 C1

Изобретение относится к производству, распределению и преобразованию энергии, в частности преобразованию электрической энергии в механическую посредством асинхронных двигателей с компенсированной обмоткой для улучшения коэффициента мощности последних.

Известно, что для снижения потерь электрической энергии в сетях низкого напряжения осуществляют компенсацию намагничивающего тока индуктивностей потребителей. Для этого применяются конденсаторы, конденсаторные батареи, синхронные машины, а также асинхронные машины с компенсационными обмотками и конденсаторами.

Известна компенсированная электрическая машина, состоящая из статора с основной обмоткой, подключенной к сети, и ротора с основной короткозамкнутой обмоткой (беличье колесо). Дополнительная компенсационная обмотка статора заложена в те же пазы, что и основная, индуктивно связана с нею и подключена к дополнительной обмотке ротора (обмотка возбуждения) через коллектор и щетки. Сдвигая щетки на коллекторе на определенный угол, можно смещать по фазе на этот же угол напряжение на коллекторе, добиваясь того, что в каждой фазе компенсационной обмотки будет течь ток опережающей фазы по отношению к напряжению сети, а геометрическая сумма токов основной и компенсационной обмоток статора будет совпадать по фазе с напряжением. Этот электродвигатель питается от ротора [1].

Недостатком таких машин является ограниченное их применение (для мощностей до 5 кВт), высокое значение реактивной ЭДС коммутации, высокий пусковой ток и сложность изготовления.

Наиболее близким аналогом к заявляемому техническому решению является асинхронный двигатель [2], который содержит основную и дополнительную обмотки, причем катушки дополнительной обмотки включены на конденсаторы для компенсации намагничивающего тока. К основной обмотке статора подведено питающее напряжение сети. Дополнительная обмотка расположена в тех же пазах на статоре, что и основная и имеет отводы от каждой катушки.

Недостатком известного асинхронного двигателя является низкая надежность из-за потребления большого числа конденсаторов (например, для трехфазного двигателя необходимо три конденсатора, для шестифазного - шесть и т.д.). При этом, при увеличении емкости для компенсации большего намагничивающего тока количество конденсаторов нужно увеличивать, так как изменение обмоточных параметров (например, количества витков дополнительной обмотки) невозможно при уже изготовленном двигателе. Отсюда - увеличение стоимости и снижение надежности двигателя. Кроме того, известный асинхронный двигатель характеризуется большим пусковым током, имеющим низкий диапазон регулирования (максимально в одну ступень), и большими динамическими нагрузками на механическую часть и обмотки.

Технической задачей, на решение которой

направлено изобретение, является повышение надежности работы за счет уменьшения емкости конденсаторов, снижение величины и расширение диапазона регулирования намагничивающего и пускового токов, снижение динамических нагрузок на механическую часть и обмотки.

Для этого в асинхронной компенсированной электрической машине, содержащей ротор, статор с основной и заложеной в ее пазы дополнительной обмотками, а также конденсатор, подключенный к дополнительной обмотке для компенсации намагничивающего тока, фазы дополнительной обмотки выполнены посекционно с отводами от каждой секции, соединены друг с другом последовательно, а конденсатор по отношению к ним включен параллельно, при этом дополнительная обмотка выполнена с возможностью соединения фаз посредством отводов "согласно" и "встречно" и с возможностью переключения секций из фазы в фазу.

Сущность технического решения заключается в том, что последовательное соединение фаз дополнительной обмотки позволяет увеличить действующее значение напряжения на дополнительной обмотке не менее чем в два раза. Это ведет к увеличению энергии электрического поля конденсатора, подключенного параллельно к дополнительной обмотке, пропорционально квадрату напряжения. Кроме того, имея дополнительную обмотку с возможностью соединения фаз посредством отводов "согласно" и "встречно" и с возможностью переключения секций из фазы в фазу, можно значительно расширить диапазон компенсации намагничивающего тока машины.

Для ограничения и регулирования величины пускового тока машины последовательно соединенные фазы дополнительной обмотки поочередно путем отводов подключают к каждой фазе основной обмотки, причем это может осуществляться с переменной частотой и сопровождаться переключением секций из фазы в фазу.

На фиг. 1, 3, 5 представлены схемы соединения фаз основной и дополнительной обмоток соответственно в первую, вторую и третью треть периодов питающего напряжения при прямом пуске машины в работу и при ее работе; на фиг. 2, 4, 6 - векторные диаграммы основных электрических параметров машины, соответствующие схемам соединения фаз на фиг. 1, 3, 5; на фиг. 7 - схема переключения секций из фазы в фазу дополнительной обмотки, обеспечивающая поворот результирующей ЭДС дополнительной обмотки против часовой стрелки на угол ψ , равный 30°C ; на фиг. 8 - векторные диаграммы напряжений, токов и электродвижущих сил фаз при переключении секций из фазы в фазу, обеспечивающую поворот на угол $\psi = 30^\circ$ против часовой стрелки для первой трети периода питающего напряжения при прямом пуске машины в работу; на фиг. 9, 10, 11 - схемы соединения фаз основной и дополнительной обмоток соответственно в первую, вторую и третью трети периодов питающего напряжения при пуске на первой ступени; на фиг. 12, 13, 14 - схемы соединения фаз основной и

дополнительной обмоток соответственно для первой, второй, третьей третей периодов питающего напряжения при пуске на второй ступени; на фиг.15, 16, 17 - схемы соединения фаз основной и дополнительной обмоток соответственно для первой, второй, третьей третей периодов питающего напряжения при пуске на третьей ступени.

Асинхронная компенсированная машина состоит из статора с основной обмоткой 1 (фиг.1), ротора 2 с роторной обмоткой, дополнительной обмотки 3 статора, уложенной в одни пазы с основной обмоткой, конденсатора 4, подключенного параллельно к последовательно соединенным фазам дополнительной обмотки. Каждая фаза дополнительной обмотки выполнена посекционно и имеет по четыре секции. Фазы дополнительной обмотки имеют посекционные отводы 5, выполненные от каждой секции каждой фазы. В общем случае количество секций может быть меньше или больше четырех. В предлагаемой конструкции машины наличие четырех секций в каждой фазе дополнительной обмотки статора позволяет осуществлять поворот результирующей ЭДС на угол $\psi = 4\Delta\psi$ с шагом $\Delta\psi = \pm 30^\circ$.

Позициями А, В, С на всех фигурах обозначены фазы основной обмотки, а позициями "а", "b", "с" - фазы дополнительной обмотки;

позициями нА, нВ, нС, на, nb, нс обозначены начала фаз основной и дополнительной обмоток соответственно; позициями кА, кВ, кС, ка, kb, кс - концы фаз основной и дополнительной обмоток соответственно;

позициями А', В', С' обозначены фазы питающего напряжения;

позициями I, II, III, IV обозначены номера секций каждой фазы дополнительной обмотки;

позициями на', nb', нс', ка', kb', кс' обозначены начала и концы фаз дополнительной обмотки при пересоединении секций из фазы в фазу;

позициями $\dot{E}_{1A}, \dot{E}_{1B}, \dot{E}_{1C}, \dot{E}_{3a}, \dot{E}_{3b}, \dot{E}_{3c}$ обозначены электродвижущие силы фаз основной и дополнительной обмоток соответственно;

позициями $\dot{\Phi}_A, \dot{\Phi}_B, \dot{\Phi}_C$ обозначены магнитные потоки фаз основной обмотки;

$\dot{I}_{AXX}, \dot{I}_{BXX}, \dot{I}_{CXX}, \dot{I}_{A\mu}, \dot{I}_{B\mu}, \dot{I}_{C\mu}$ - токи холостого хода и токи намагничивания соответствующих фаз основной обмотки;

$\dot{I}_{1A}, \dot{I}_{1B}, \dot{I}_{1C}$ - полные токи фаз основной обмотки;

\dot{I}_K - компенсирующий ток дополнительной обмотки;

$\dot{I}_{2AS}, \dot{I}_{2BS}, \dot{I}_{2CS}$ -

приведенные к основной обмотке статора токи соответствующих фаз ротора.

Асинхронная компенсированная машина как и любая электрическая машина является обратимой, т.е. она может работать как в режиме двигательном, так и в генераторном

режиме. Однако на практике асинхронные машины используются преимущественно в двигательном режиме. Поэтому далее описан двигательный режим асинхронной компенсированной машины. Пуск данной машины возможен всеми известными в данном случае способами. В предлагаемой заявке описаны прямой и ступенчатые пуски.

Перед прямым пуском машины (прямое включение в сеть) основную 1 и дополнительную 3 обмотки подключают по схеме, изображенной на фиг.1, где концы фаз А, В, С соединены в "звезду". Основную обмотку подключают непосредственно к зажимам фаз А', В', С' питающего напряжения. При этом на фазы А, В, С основной обмотки соответственно поступают напряжения:

$$\dot{U}_A = U_A e^{j0^\circ}, \dot{U}_B = U_B e^{-j120^\circ}, \dot{U}_C = U_C e^{j120^\circ}.$$

В фазах А, В, основной обмотки статора протекут токи

$$\dot{I}_A = I_A e^{j\varphi_A}, \dot{I}_B = I_B e^{j(\varphi_A - 120^\circ)}, \dot{I}_C = I_C e^{j(\varphi_A + 120^\circ)}$$

Намагничивающие составляющие этих токов

$$\dot{I}_{A\mu} = I_A e^{-j90^\circ}; \dot{I}_{B\mu} = I_B e^{-j210^\circ};$$

$\dot{I}_{C\mu} = I_C e^{j30^\circ}$ возбуждают магнитные

потоки фаз основной обмотки $\dot{\Phi}_A = \Phi_A e^{-j90^\circ}$

$\dot{\Phi}_B = \Phi_B e^{-j210^\circ}; \dot{\Phi}_C = \Phi_C e^{j30^\circ}$. Из этих

магнитных потоков формируется результирующий магнитный поток машины, который вращается с

частотой $\omega_o = \frac{2\pi f_1}{p}$, где f_1 - частота

питающего напряжения; p - число пар полюсов машины.

Результирующий вращающийся магнитный поток машины пересекает основную и дополнительную обмотки статора, а также обмотку ротора и наводит в них ЭДС, которые равны

$$\dot{E}_{1A} = E_{1A} e^{-j180^\circ}; \dot{E}_{1B} = E_{1B} e^{j60^\circ}; \dot{E}_{1C} = E_{1C} e^{-j60^\circ}$$

- в фазах основной обмотки;

$$\dot{E}_{2AS} = E_{2AS} e^{j\varphi_{2S}}; \dot{E}_{2BS} = E_{2BS} e^{j(\varphi_{2S} - 120^\circ)};$$

$$\dot{E}_{2CS} = E_{2CS} e^{j(\varphi_{2S} + 120^\circ)}$$

- в фазах ротора;

$$\dot{E}_{3a} = E_{3a} e^{j180^\circ}; \dot{E}_{3b} = E_{3b} e^{j60^\circ}; \dot{E}_{3c} = E_{3c} e^{-j60^\circ}$$

- в фазах дополнительной обмотки.

Электродвижущие силы фаз ротора вызывают в них соответствующие токи фаз ротора

$$\dot{I}'_{2AS} = I'_{2AS} e^{-j180^\circ}; \dot{I}'_{2BS} = I'_{2BS} e^{j60^\circ};$$

$$\dot{I}'_{2CS} = I'_{2CS} e^{-j60^\circ}$$

Взаимодействие токов ротора

результатирующим вращающимся магнитным потоком машины вызывает вращающий момент, который разгоняет неподвижный в начале пуска ротор до скорости $W_2 = (0,95-0,97)W_0$. При этом, в отличие от известных компенсированных асинхронных машин в предлагаемой машине, начиная с момента подключения основной обмотки статора к зажимам (фазам) A', B', C' трехфазной электрической сети и до момента отключения, через определенные промежутки времени осуществляют переключение фаз дополнительной обмотки статора "согласно" и "встречно" посредством поперечных отводов на фазах. Более подробно это излагается следующим образом.

В первую треть периода питающего напряжения фазы дополнительной обмотки статора соединяют друг с другом последовательно, причем обмотки фазы "b" и "c" между собой - "согласно" и вместе взятые - "встречно" к фазе "a", как это показано на фиг.1, где конец фазы "a" дополнительной обмотки соединен с концом фазы "c", начало фазы "c" - с концом фазы "b", конденсатор 4 присоединен к началу фазы "a" и к началу фазы "b". Для этого промежутка времени и согласно схеме на фиг. 1 в дополнительной обмотке 3 наводится результирующая ЭДС

При
$$\dot{E}_d = \dot{E}_a - \dot{E}_b - \dot{E}_c = \dot{E}_d e^{-j180^\circ}$$
 одинаковом числе витков в фазах "a", "b", "c" действующее значение этой результирующей ЭДС, как это следует из вышеприведенного уравнения и из векторной диаграммы на фиг.2, в два раза больше, чем действующее значение ЭДС отдельно взятой фазы дополнительной обмотки, т.е.

$$\dot{E}_d = 2E_a e^{-j180^\circ}$$

Эта результирующая ЭДС приложена к конденсатору 4. Она вызывает в конденсаторе и в последовательно соединенных фазах дополнительной обмотки ток

$$\dot{I}_k = I_k e^{-j90^\circ}$$

намагничивающий ток фазы А основной обмотки.

Таким образом, в первую треть периода питающего напряжения осуществляется компенсация намагничивающего тока в фазе А основной обмотки статора. Величина этого тока равна $\dot{I}_A = \dot{I}_{A\mu} - \dot{I}'_{2AS} - \dot{I}_k$. Величины

ЭДС, токов и магнитных потоков фаз В и С основной обмотки статора, а также ЭДС и токов аналогичных фаз обмотки ротора в первую треть периода питающего напряжения будут такими же, как в обычном асинхронном двигателе, поэтому их векторные диаграммы не представлены.

Во вторую треть периода питающего напряжения фазы дополнительной обмотки 3 соединяют друг с другом последовательно, причем фазы "c" и "a" - "согласно" и вместе взятые "встречно" к фазе "b" (фиг.3). Конец фазы "b" дополнительной обмотки соединен с концом фазы "a", начало фазы "a" - с концом фазы "c", конденсатор 4 присоединен к началу фазы "b" и к началу фазы "c". На фиг. 4 изображены векторные диаграммы напряжений, токов, ЭДС, магнитных потоков,

действующих в асинхронной компенсированной машине во вторую треть периода питающего напряжения. Для этого промежутка времени и согласно схеме на фиг. 3 в дополнительной обмотке наводится результирующая ЭДС;

Эта
$$\dot{E}_d = -\dot{E}_a + \dot{E}_b - \dot{E}_c = 2E_a e^{j160^\circ}$$

результатирующая ЭДС вызывает в конденсаторе 4 и в последовательно соединенных фазах дополнительной обмотки 3 ток:

$$\dot{I}_k = I_k e^{-j210^\circ}$$

компенсирует намагничивающий ток фазы В основной обмотки статора. Таким образом, во вторую треть периода питающего напряжения осуществляется компенсация намагничивающего тока в фазе В основной обмотки статора. Величина тока в фазе В основной обмотки на этом интервале времени равна $\dot{I}_B = \dot{I}_{B\mu} - \dot{I}'_{2BS} - \dot{I}_k$. Величины ЭДС,

токов и магнитных потоков в фазах А и С основной обмотки статора во вторую треть периода питающего напряжения будут такими же, как в обычном асинхронном двигателе.

В третью треть периода питающего напряжения фазы дополнительной обмотки 3 соединяют друг с другом последовательно, причем фазы "a" и "b" - "согласно" и вместе взятые "встречно" к фазе "c", как это показано на фиг. 5, где конец фазы "c" дополнительной обмотки соединен с концом фазы "b", начало фазы "b" - с концом фазы "a", конденсатор 4 подключен к началу фазы "c" и к началу фазы "a". На фиг.6 изображены векторные диаграммы напряжений, токов, ЭДС, магнитных потоков, действующих в предлагаемой машине в третью треть периода питающего напряжения. Для этого периода времени и согласно схеме на фиг. 5 в дополнительной обмотке наводится результирующая ЭДС, равная:

$$\dot{E}_d = -\dot{E}_a - \dot{E}_b + \dot{E}_c = 2E_a e^{-j60^\circ}$$

Эта ЭДС вызывает в конденсаторе 4 и последовательно соединенных фазах дополнительно соединенной обмотки ток

$$\dot{I}_k = I_k e^{j30^\circ}$$

намагничивающий ток фазы С основной обмотки статора.

Таким образом, в третью треть периода питающего напряжения осуществляется компенсация намагничивающего тока в фазе С основной обмотки статора. Величина тока в фазе С основной обмотки на этом интервале времени равна $\dot{I}_C = \dot{I}_{C\mu} - \dot{I}'_{2cS} - \dot{I}_k$.

Величины ЭДС, токов и магнитных потоков в фазах А и В основной обмотки статора в третью треть периода питающего напряжения будут такими же, как в обычном асинхронном двигателе, поэтому их векторные диаграммы на фиг.6 не изображены.

Во второй и последующие периоды питающего напряжения асинхронная компенсированная машина до момента отключения ее от питающего напряжения работает аналогично вышеописанному режиму.

Анализ действующих значений результирующей ЭДС, наводимой в дополнительной обмотке статора в первую, вторую и третью трети периода питающего напряжения, показывает, что она в два раза больше, чем действительное значение ЭДС отдельно взятой фазы дополнительной обмотки. Результирующая ЭДС E_d дополнительной обмотки 3 приложена к конденсатору 4. Энергия электрического поля одного конденсатора 4, емкостью C компенсирующая намагничивающий ток фаз основной обмотки статора, в предлагаемой машине равна

$$W_3 = \frac{(2E_a)^2 \cdot C}{2} = \frac{4E_a^2 \cdot C}{2}$$

Энергия электрического поля трех конденсаторов, компенсирующая намагничивающий ток в известной машине, равна

$$W_3' = \frac{3E_a^2 \cdot C}{2}$$

Отношение этих энергий соответственно равно $W_3 / W_3' = 4/3 \approx 1,33$. То есть,

компенсирующая способность предлагаемой машины при последовательном соединении фаз дополнительной обмотки и возможности переключения их через определенные промежутки времени "согласно" и "встречно" больше, чем у известной в 1,33 раза.

В предлагаемой машине, кроме того, имеется возможность регулировать степень компенсации намагничивающего тока при неизменной емкости конденсатора 4. Это достигается переключением секций из фазы в фазу дополнительной обмотки статора, что позволяет осуществлять поворот результирующей ЭДС этой обмотки по или против часовой стрелки максимально на угол $\psi = n \cdot \Delta\psi$, где n - число секций фазы дополнительной обмотки, $\Delta\psi = 120^\circ/n$ - шаг поворота результирующей ЭДС дополнительной обмотки.

Переключение секций дополнительной обмотки статора из фазы в фазу может быть осуществлено заблаговременно или непосредственно в процессе работы машины путем переключения отводов 5 секций фазы "а" в фазу "b", секций фазы "b" - в фазу "с", секций фазы "с" - в фазу "а". Причем, если секции фазы "а" в последовательности I, II и т.д. переключать в фазу "с", секции фазы "b" в том же порядке в фазу "а", то поворот результирующей ЭДС дополнительной обмотки осуществляется против часовой стрелки. Если же переключать в обратной последовательности, то есть секции IV-III-II-I фазы "с" в фазу "а" секций IV-III-II-I, фазы "а" в фазу "b" и т.д., то поворот результирующей ЭДС дополнительной обмотки происходит по часовой стрелке. Выбор направления поворота результирующей ЭДС дополнительной обмотки по и против часовой стрелки зависит от направления вращения ротора 2. При вращении ротора по часовой стрелке результирующую ЭДС дополнительной обмотки поворачивают против часовой стрелки, а при вращении ротора против часовой стрелки результирующую ЭДС дополнительной обмотки поворачивают по часовой стрелке.

На фиг.1, 3, 5 приведены схемы соединения секций фаз дополнительной обмотки при угле поворота результирующей ЭДС, равном нулю.

На фиг. 7 - при угле поворота результирующей ЭДС против часовой стрелки равно 30° с учетом пуска машины в работу для первой трети периода питающего напряжения в соответствии со схемой на фиг.1. На фиг.7 I-я секция фазы "а" переключена в фазу "с", первая секция фазы "с" - в фазу "b", I-я секция фазы "b" в фазу "а", т.е. начало первой секции фазы "а" соединено с концом IV-ой секции фазы "с", начало I-ой секции фазы "с" - с концом IV-ой секции фазы "b", начало I-ой секции фазы "b" - с концом IV-ой секции фазы "а". При таком переключении секций дополнительной обмотки конец первой фазы "b" становится новым концом фазы "а", начало II - второй секции фазы "а" - новым началом фазы "а". На фиг.7 они обозначены "ка" и "на" соответственно. Далее, конец первой секции фазы "с" становится новым концом фазы "b", начало второй секции фазы "b" становится новым началом фазы "b". На фиг.7 они обозначены "kb" и "nb" соответственно. Конец первой секции фазы "а" становится новым концом фазы "с", а начало второй секции фазы "с" - новым началом фазы "с". На фиг.7 они обозначены как "kc" и "nc" соответственно.

На фиг.8 представлены векторные диаграммы напряжений, токов, ЭДС обмоток работающей асинхронной компенсированной машины при повороте результирующей ЭДС дополнительной обмотки 3 на угол $\psi = 30^\circ$ против часовой стрелки для первой трети периода питающего напряжения при прямом пуске. Для второй и третьей части периода питающего напряжения, токов, ЭДС обмоток машины отличаются от векторных диаграмм на фиг.8 сдвигом против часовой стрелки соответственно на 120 и 240 электрических градусов.

Из сравнительного анализа векторных диаграмм напряжений, токов, ЭДС, изображенных на фиг.2 и фиг.8, видно, что поворот результирующей ЭДС дополнительной обмотки 3 против часовой стрелки на угол $\psi = 30^\circ$ позволяет в первую треть периода питающего напряжения компенсировать часть намагничивающего тока фазы А основной обмотки статора при неизменной мощности на валу машины. В результате этого действующее значение тока I_A уменьшается. Аналогичное явление

наблюдается и с токами I_B и I_C во второй

и третьей третях периода питающего напряжения в фазах В и С основной обмотки соответственно.

Таким образом, выполнение фаз дополнительной обмотки статора посекционно с отводами от каждой секции с возможностью переключения секций из фазы в фазу позволяет путем поворота результирующей ЭДС дополнительной обмотки на угол ψ по или против часовой стрелки регулировать в определенном диапазоне величину рабочего тока в основной обмотке статора, не изменяя емкости конденсатора.

Известный асинхронный компенсированный двигатель такой возможностью не обладает.

Кроме описанного прямого пуска в работу асинхронной компенсированной машины для уменьшения его пусковых токов, а следовательно, и динамических нагрузок может быть применен пуск машины в работу методом увеличения напряжения на фазах А, В, С основной обмотки от некоторого минимального до номинального значения при неизменном напряжении в питающей сети. Такой пуск можно осуществлять в функции от времени или скорости вращения ротора, причем как не переключая секции из фазы в фазу дополнительной обмотки, так и переключая секции из фазы в фазу. При пуске машины в работу происходит также компенсация намагничивающего тока основной обмотки.

Для предлагаемой машины применимо поочередное ступенчатое увеличение напряжения до номинального значения в фазах А, В, С основной обмотки в функции времени. Допустим, что пуск состоит из четырех ступеней и происходит за четыре секунды, то есть в функции времени. Пересоединение секций из фазы в фазу дополнительной обмотки не осуществляется. В общем случае число ступеней и время пуска определяется требованиями плавности пуска рабочего механизма.

Пуск происходит следующим образом.

На первой ступени в первую треть периода питающего напряжения схема соединения фаз А, В и С основной и "а", "b" и "с" дополнительной представлены на фиг.9, где концы фаз А, В, С основной обмотки соединены в "звезду", начало фазы А основной обмотки соединено с концом фазы "а" дополнительной обмотки, начало фазы "а" - с началом фазы "b", конец фазы "b" - с началом фазы "с", конец фазы "с" - с фазой А' питающего напряжения, конденсатор 4 подключен к концу фазы "а" и концу фазы "с". Начала фаз В и С основной обмотки соответственно с фазой В' и фазой С' питающего напряжения. При такой схеме соединения фаз обмоток статора в первую треть периода ограничивается ток в фазе А основной обмотки, т.к. три фазы дополнительной обмотки, соединенные между собой последовательно и последовательно с основной фазой А, работают как токоограничивающие сопротивления - реакторы. Одновременно осуществляется компенсация намагничивающего тока в этой фазе. Токи в фазах В и С основной обмотки в первую треть периода питающего напряжения такие же, как при прямом пуске.

Во вторую треть периода питающего напряжения схема соединения фаз А, В, С основной и фаз "а", "b", "с" дополнительной обмоток представлена на фиг. 10, где концы фаз А, В, С основной обмотки соединены в "звезду", начало фазы А основной обмотки соединено с фазой А питающего напряжения, начало фазы В основной обмотки соединено с концом фазы "b" дополнительной обмотки, начало фазы "b" - с началом фазы "с", конец фазы "с" - с началом фазы "а", конец фазы "а" - с фазой В питающего напряжения. Конденсатор 4 подключен к концу фазы "b" и к концу фазы "а", начало фазы С основной обмотки соединено с фазой С' питающего

напряжения. При такой схеме соединения фаз обмоток статора во вторую треть периода питающего напряжения ограничивается ток в фазе В основной обмотки. Одновременно осуществляется компенсация намагничивающего тока в этой фазе. Токи в фазах А и С основной обмотки во вторую треть периода питающего напряжения такие же, как и при прямом пуске.

В третью треть периода питающего напряжения схема соединения фаз А, В, С основной обмотки и фаз "а", "b", "с" дополнительной обмотки представлена на фиг. 11, где концы фаз А, В, С основной обмотки соединены в "звезду", начала фаз А, В основной обмотки соединены соответственно с фазами А', В' питающего напряжения, начало фазы С основной обмотки соединено с концом "с" дополнительной обмотки, начало фазы "с" - с началом фазы "а", конец фазы "а" с началом фазы "b", конец фазы "b" с фазой С' питающего напряжения, конденсатор 4 подключен к концу фазы "с" и к концу фазы "b". При такой схеме соединения фаз обмоток статора в третью треть периода питающего напряжения ограничивается ток в фазе С основной обмотки. Одновременно осуществляется компенсация намагничивающего тока в этой фазе. Токи в фазах А и В основной обмотки в этом интервале времени такие же, как при прямом пуске.

Вышеописанный процесс пуска повторяется во втором, третьем и т.д. периодах питающего напряжения, т.е. в течение первой секунды пуска. В результате этого эквивалентные пусковые токи в фазах основной обмотки уменьшаются не менее чем в три - четыре раза по сравнению с прямым пуском машины в работу. За первую секунду пуска ротор электрической машины из неподвижного состояния плавно без динамических перегрузок разгоняется до скорости $W_1 = (0,15-0,2)W_0$. Одновременно осуществляется компенсация намагничивающего тока машины.

Пуск на второй ступени. В первую треть периода питающего напряжения схема соединения фаз А, В, С основной и фаз "а", "b", "с" дополнительной обмоток представлена на фиг.12, где концы фаз А, В, С основной обмотки соединены в "звезду", начала фазы А основной обмотки соединено с концом фазы "а" дополнительной обмотки, начало фазы "а" - с началом фазы "с", конец фазы "с" - с фазой А' питающего напряжения, конденсатор 4 подключен к концу фазы "а" и к концу фазы "с", начало В - к концу "b", начало "b" - с фазой В' питающего напряжения, начало С - с фазой С' питающего напряжения. При такой схеме соединения фаз основной и дополнительной обмоток в первую треть периода питающего напряжения в большей мере ограничивается ток в фазе А основной обмотки, так как последовательно с фазой А включены две фазы "а" и "с", соединенные между собой последовательно. В этой же фазе осуществляется компенсация намагничивающего тока. Ограничение тока в фазе В основной обмотки происходит в меньшей мере, чем в фазе А, так как последовательно с фазой В включена одна фаза "b" дополнительной обмотки.

Ток в фазе С основной обмотки

определяется параметрами фазы С и скоростью ротора в конце первой секунды пуска.

Во вторую треть периода питающего напряжения схема соединения фаз А, В, С основной и фаз "а", "b", "с" дополнительной обмоток представлена на фиг. 13, где концы фаз А, В, С основной обмотки соединены в "звезду", начало фазы А основной обмотки соединено с фазой А питающего напряжения, начало фазы В основной обмотки соединено с концом фазы "b" дополнительной обмотки, начало фазы "b" - с началом фазы "а", конец фазы "а" - с фазой В' питающего напряжения, конденсатор 4 подключен к концу фазы "b" и к концу фазы "а", начало фазы С основной обмотки соединено с началом фазы "с" дополнительной обмотки, конец фазы "с" - с фазой С' питающего напряжения. При такой схеме соединения фаз основной и дополнительной обмоток во вторую треть периода питающего напряжения в большей мере ограничивается ток в фазе В основной обмотки. В этой фазе осуществляется компенсация намагничивающего тока. Ограничение тока в фазе основной обмотки происходит в меньшей мере, чем в фазе В. Ток в фазе А основной обмотки определяется параметрами фазы А и скоростью ротора в конце первой трети периода.

В третью треть периода питающего напряжения схема соединения фаз А, В, С основной обмотки и фаз "а", "b", "с" дополнительной представлена на фиг.14, где концы фаз А, В, С основной обмотки соединены в "звезду", начало фазы А основной обмотки соединено с концом фазы "а", начало фазы "а" - с фазой А' питающего напряжения, начало В основной обмотки соединено с фазой В' питающего напряжения, начало фазы С основной обмотки соединено с концом фазы "с" дополнительной обмотки, начало фазы "с" - началом фазы "b", конец фазы "b" - с фазой С' питающего напряжения, конденсатор 4 подключен к концу фазы "с" и к концу фазы "b" дополнительной обмотки. При такой схеме соединения фаз основной и дополнительной обмоток в третью треть периода питающего напряжения в большей мере ограничивается ток в фазе С основной обмотки. В этой же фазе осуществляется компенсация намагничивающего тока. Ограничение тока в фазе А основной обмотки происходит в меньшей мере, чем в фазе С. Ток в фазе В основной обмотки определяется параметрами фазы В и скоростью ротора в конце второй трети периода питающего напряжения.

Описанный процесс пуска повторяется во втором, третьем и т.д. периодах питающего напряжения, т. е. в течение второй секунды пуска. В результате этого эквивалентные пусковые токи в фазах основной обмотки уменьшаются. За вторую секунду пуска ротор электрической машины от скорости W_1 плавно без динамических перегрузок разгоняется до скорости $W_2 = (0,4-0,45)W_0$. Одновременно осуществляется компенсация намагничивающего тока машины.

Пуск на третьей ступени. В треть период питающего напряжения схема соединения фаз А, В, С основной и фаз "а", "b", "с" дополнительной обмоток представлена на фиг.15, где концы фаз А, В, С основной обмотки соединены в "звезду", начало фазы А

основной обмоткой соединено с концом фазы "а" дополнительной обмотки, начало фазы "а" соединено с фазой А' питающего напряжения, конденсатор 4 подключен к началу и концу фазы "а" дополнительной обмотки, начало фазы В основной обмотки соединено с концом фазы "b" дополнительной обмотки, начало фазы "b" - с фазой В' питающего напряжения, начало фазы С основной обмотки - с концом фазы "с" дополнительной обмотки, начало "с" - с фазой С' питающего напряжения.

В первую треть периода питающего напряжения и при указанной схеме соединения обмоток статора пусковые токи ограничиваются во всех фазах основной обмотки. В это время осуществляется компенсация намагничивающего тока фазы А основной обмотки.

Во вторую треть питающего напряжения схема соединения фаз А, В, С основной и "а", "b", "с" дополнительной обмоток представлена на фиг.16, где концы фаз А, В, С основной обмотки соединены в "звезду", начало фазы основной обмотки соединено с концом фазы "а" дополнительной обмотки, начало фазы "а" - с фазой А' питающего напряжения, начало фазы В основной обмотки соединено с концом фазы "b" дополнительной обмотки, начало фазы "b" - с фазой В' питающего напряжения, конденсатор 4 подключен к началу и концу фазы "b" дополнительной обмотки, начало фазы С основной обмотки соединено с концом фазы "с" дополнительной обмотки, начало фазы "с" - с фазой С' питающего напряжения.

Во вторую треть периода питающего напряжения и согласно схеме соединения обмоток статора пусковые токи ограничиваются во всех фазах основной обмотки. В это время осуществляется компенсация намагничивающего тока фазы В основной обмотки.

В третью треть периода питающего напряжения схема соединения фаз А, В, С основной и фаз "а", "b", "с" дополнительной обмоток представлена на фиг.17, где концы фаз А, В, С основной обмотки соединены в "звезду", начало фазы А основной обмотки соединено с концом фазы "а" дополнительной обмотки, начало фазы "а" соединено с фазой А' питающего напряжения, начало фазы В основной обмотки соединено с концом фазы "b" дополнительной обмотки, начало фазы "b" - с фазой В' питающего напряжения, начало фазы С - с концом "с", начало "с" - с фазой С' питающего напряжения. Конденсатор 4 подключен к началу и к концу фазы "с" дополнительной обмотки.

В третью треть периода питающего напряжения и согласно схеме соединения обмоток статора пусковые токи ограничиваются во всех фазах основной обмотки. В это время осуществляется компенсация намагничивающего тока фазы С основной обмотки.

Описанный процесс пуска повторяется во втором, третьем и т.д. периодах питающего напряжения, т.е. в течение третьей секунды пуска. В результате этого эквивалентные пусковые токи в фазах основной обмотки уменьшаются. За третью секунду пуска ротор электрической машины разгоняется от скорости W_2 до скорости $W_3 = (0,65-0,70)W_0$. Одновременно осуществляется компенсация намагничивающего тока машины.

Пуск четвертой ступени. В первую, вторую, третью треть периода питающего напряжения и т.д., т.е. до конца четвертой секунды и до отключения машины от сети, схемы соединения фаз А, В, С основной и "а", "б", "с" дополнительной обмоток, а также конденсатора 4 аналогичны схемам, представленным соответственно на фиг. 1 - 3. На этой ступени пуска электрическая машина разгоняется до номинальной скорости $W_4 = W_n$ и выходит на нормальный режим работы с максимально возможной компенсацией намагничивающего тока основной обмотки.

Таким образом, применяя вышеизложенные схемы соединения фаз обмоток статора, предлагаемую асинхронную компенсированную машину можно плавно, без больших эквивалентных пусковых токов и динамических нагрузок запускать в работу.

Следует отметить, что пуск машины можно осуществлять и в меньшее число ступеней, например в три, две ступени.

При этом пуск начинают по схемам, изображенным на фиг. 12, 15 соответственно. Кроме того, поочередное ступенчатое увеличение напряжения на фазах основной обмотки до номинального значения может быть осуществлено один раз за один период питающего напряжения, как это было изложено выше, а также один раз за два, три и т.д. периодов питающего напряжения.

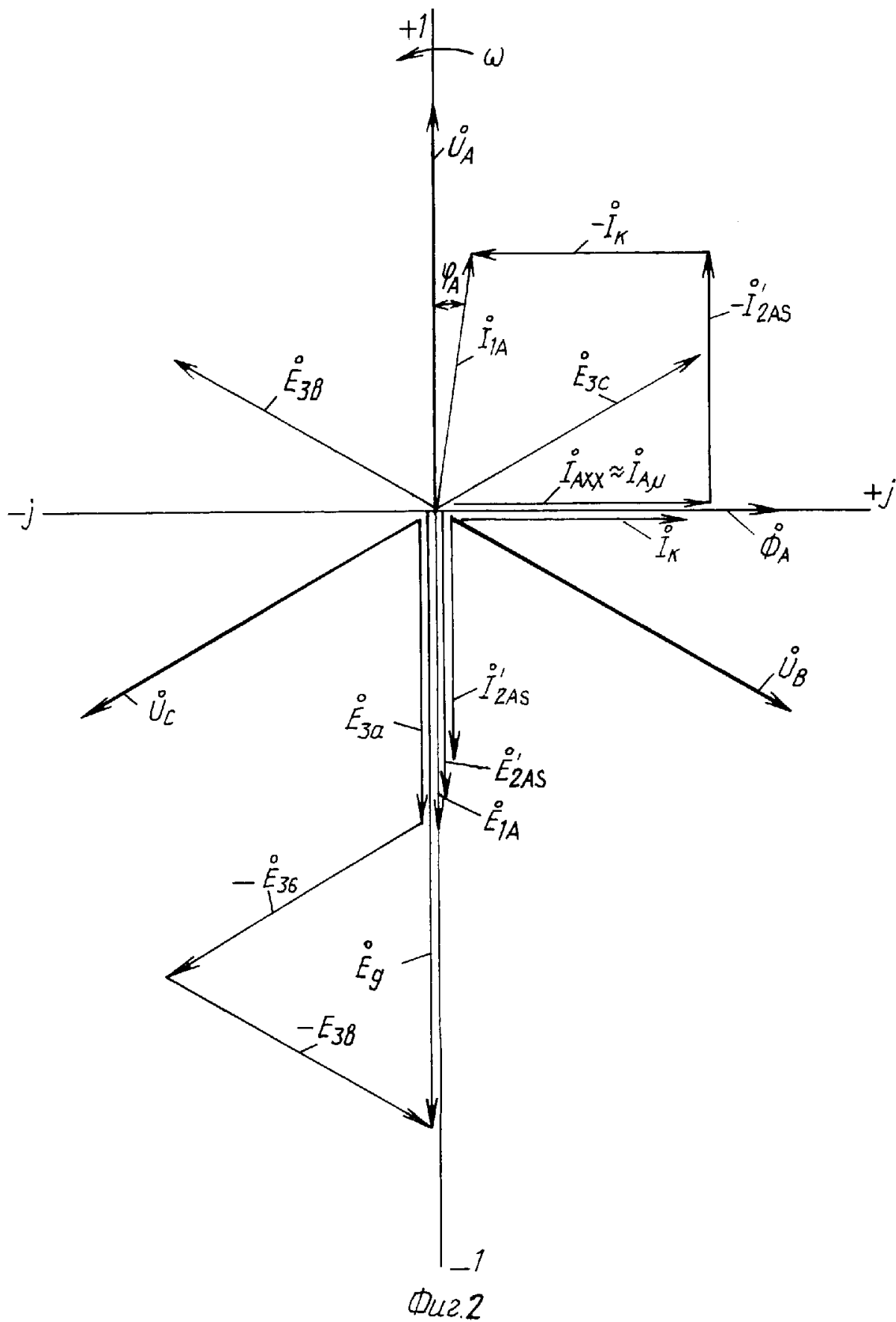
Предлагаемая в качестве изобретения асинхронная компенсированная электрическая машина изготовлена и прошла опытную проверку в листопрокатных цехах Магнитогорского металлургического комбината. Она доказала свою приемлемость для решения поставленной задачи.

По сравнению с известной предлагаемая конструкция асинхронной компенсированной электрической машины обладает высокой надежностью, широким диапазоном регулирования намагничивающего и пускового токов, низкими динамическими нагрузками на механические части и фазы обмоток.

Формула изобретения:

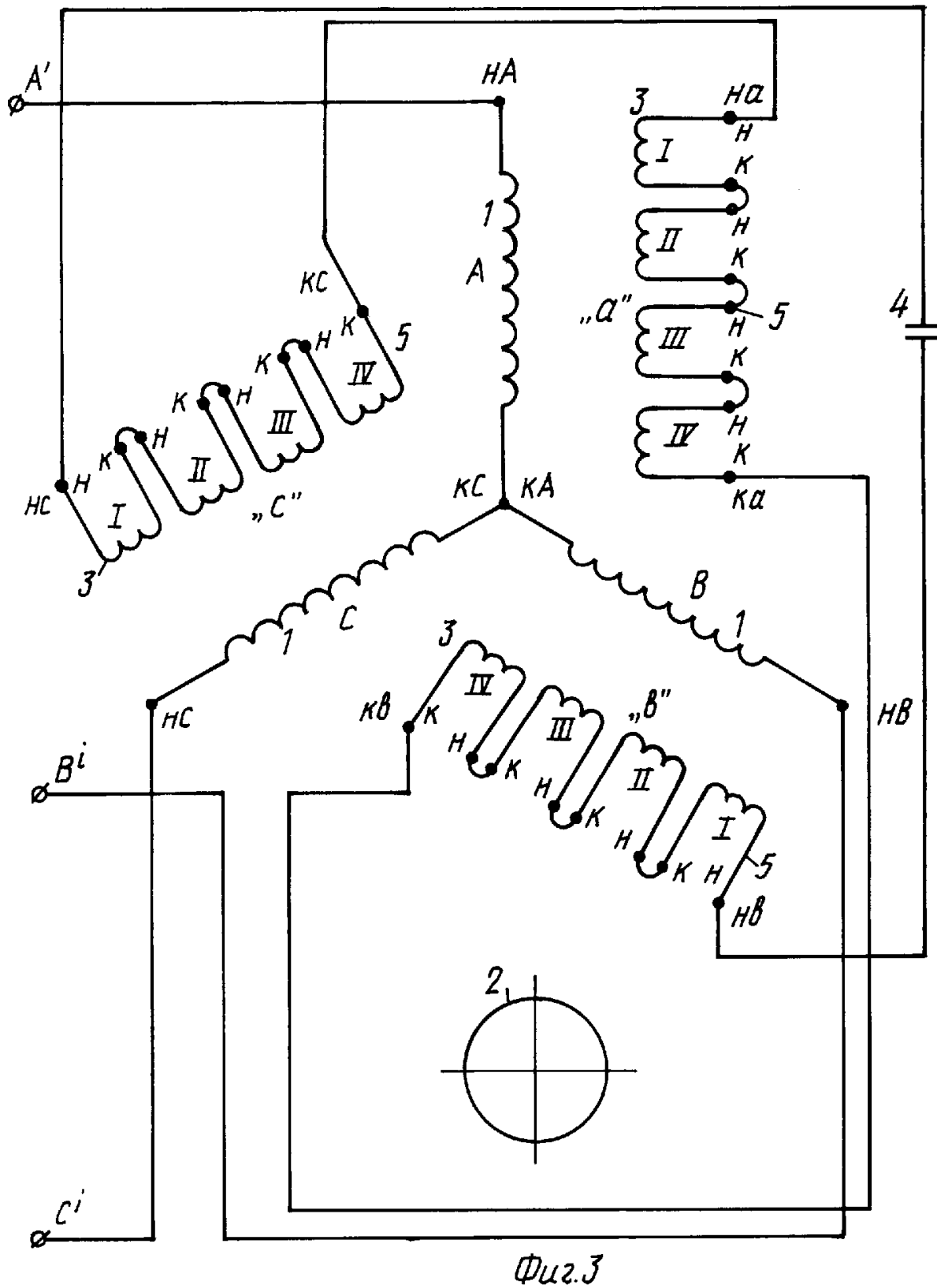
Асинхронная компенсированная электрическая машина, содержащая ротор, статор с основной и заложеной в ее фазы дополнительной с отводами от каждой фазы обмотками и конденсатор, подключенный к дополнительной обмотке для компенсации намагничивающего тока, отличающаяся тем, что фазы дополнительной обмотки выполнены посекционно с отводами от каждой секции, соединены друг с другом последовательно, а конденсатор по отношению к ним включен параллельно, при этом дополнительная обмотка статора выполнена с возможностью соединения фаз посредством отводов "Согласно" и "Встречно" и переключения секций из фазы в фазу.

RU 2112307 C1

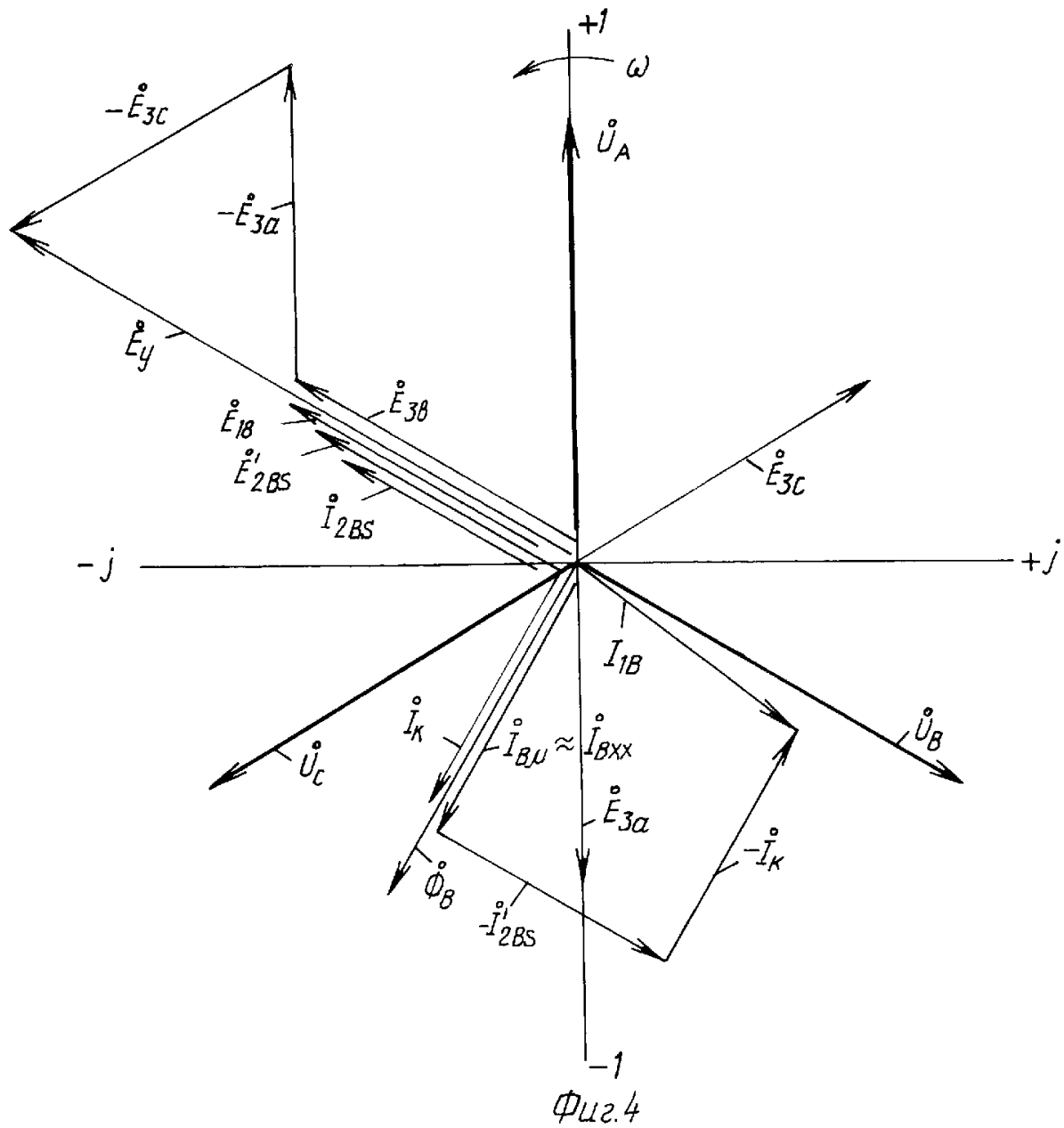


RU 2112307 C1

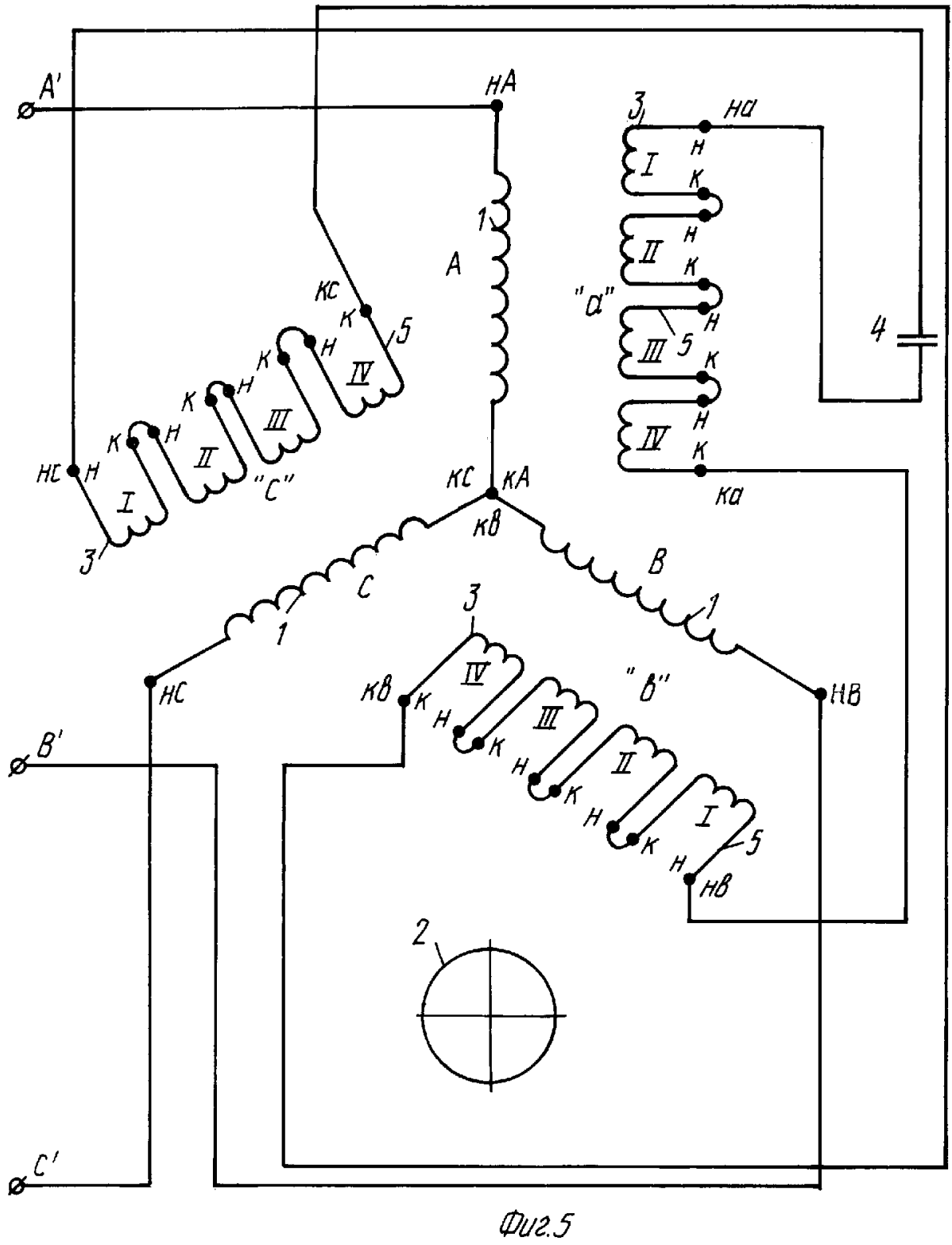
RU 2112307 C1



RU 2112307 C1

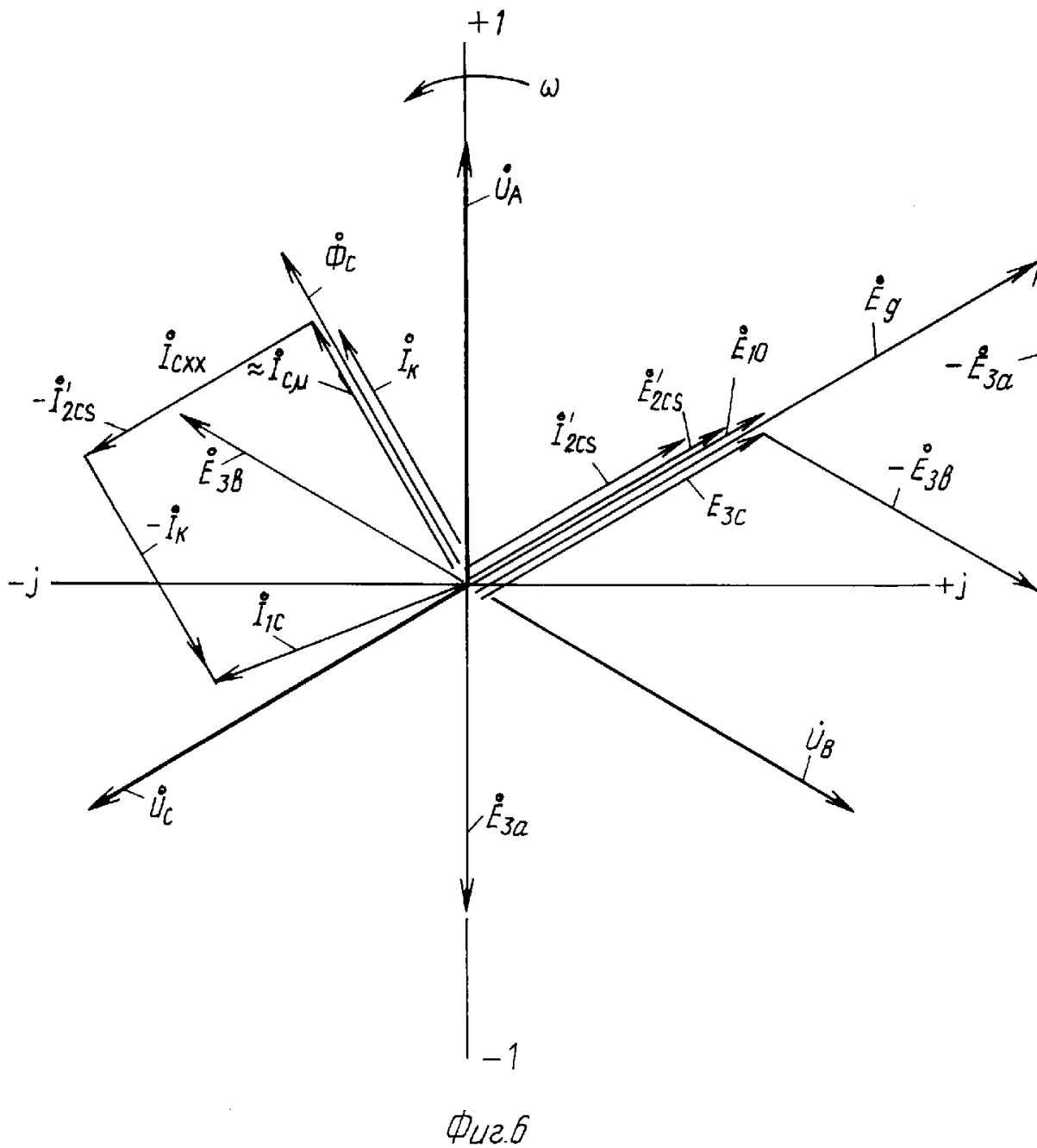


RU 2112307 C1



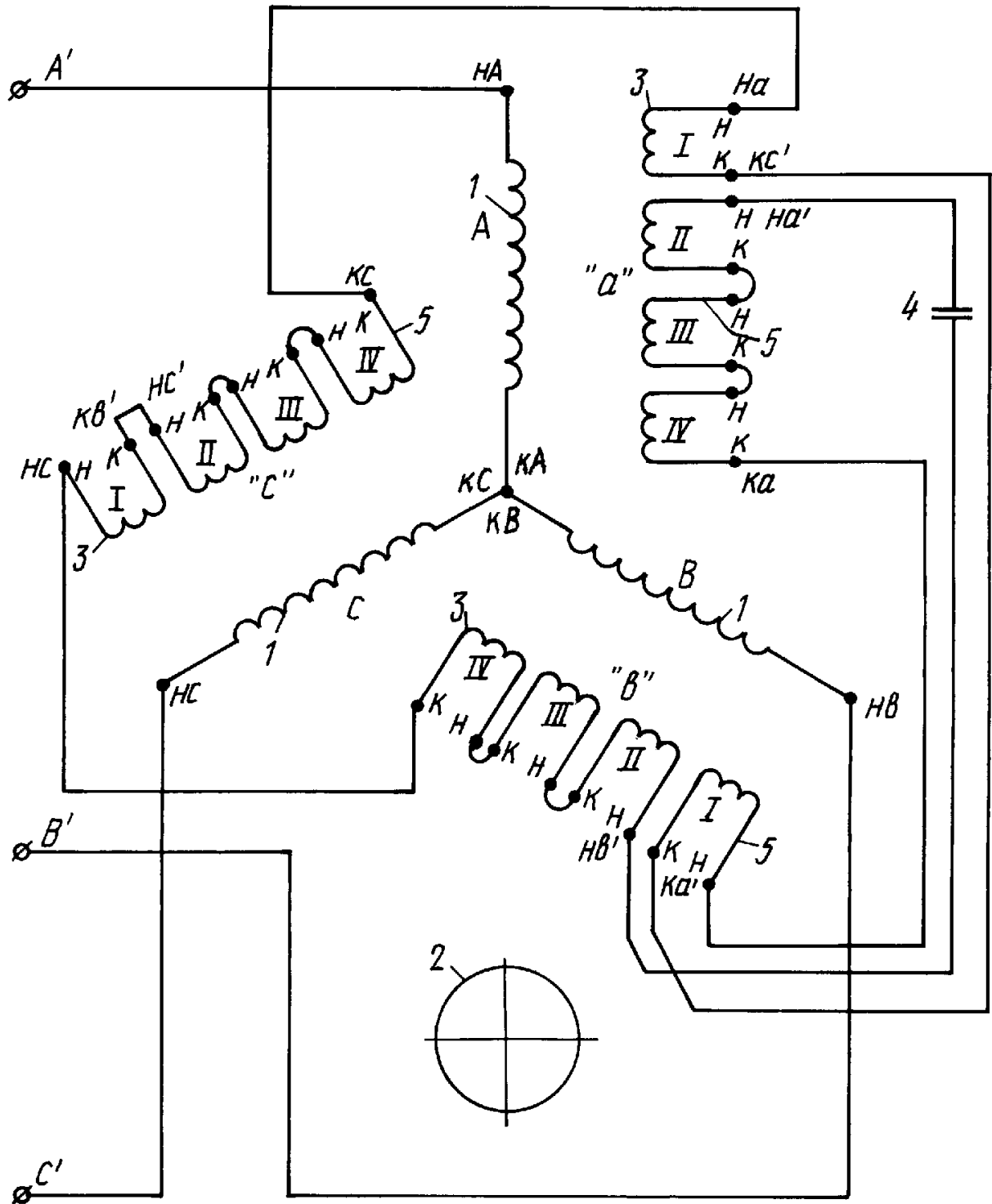
RU 2112307 C1

RU 2112307 C1



RU 2112307 C1

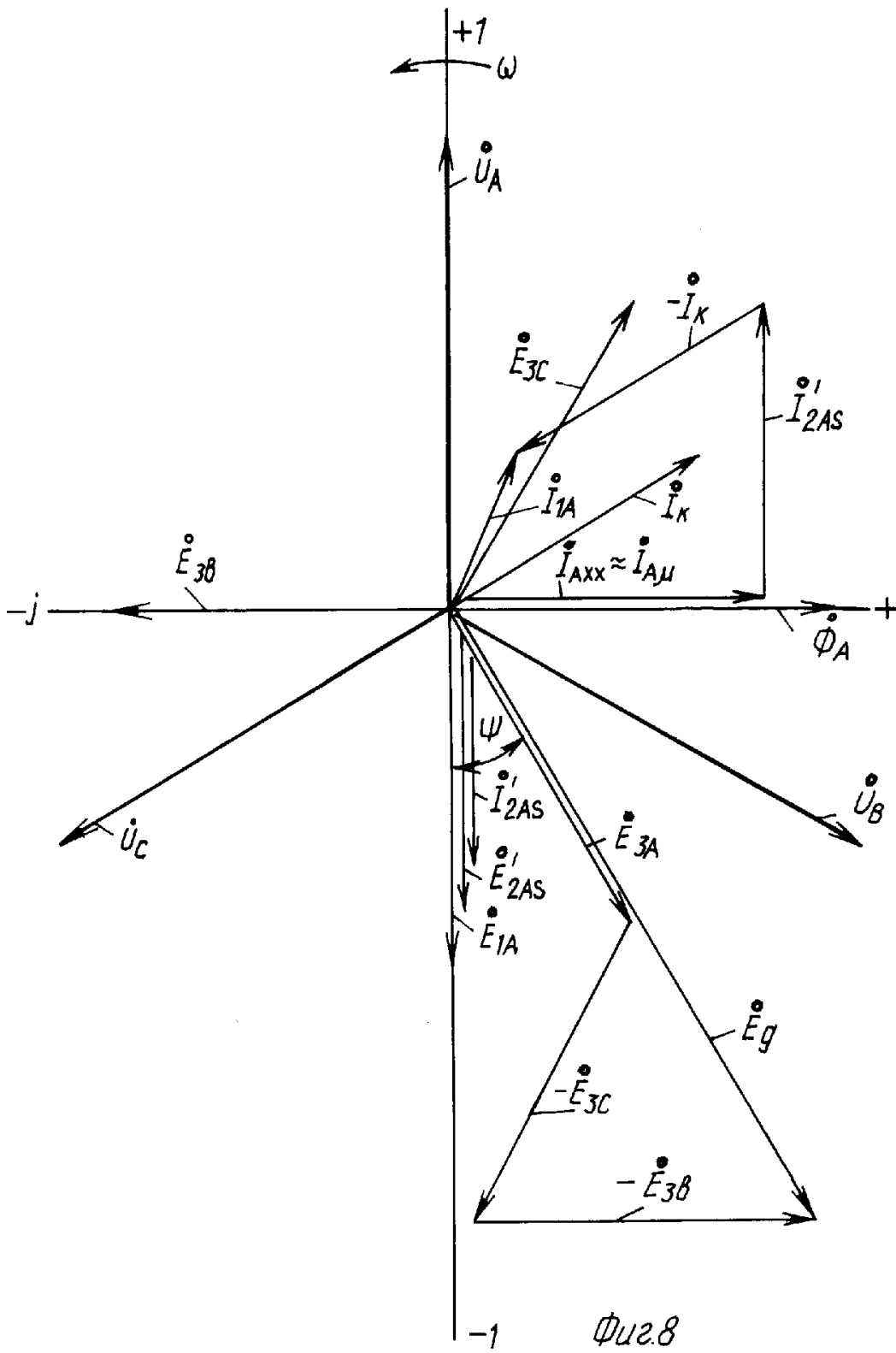
RU 2112307 C1



Фиг. 7

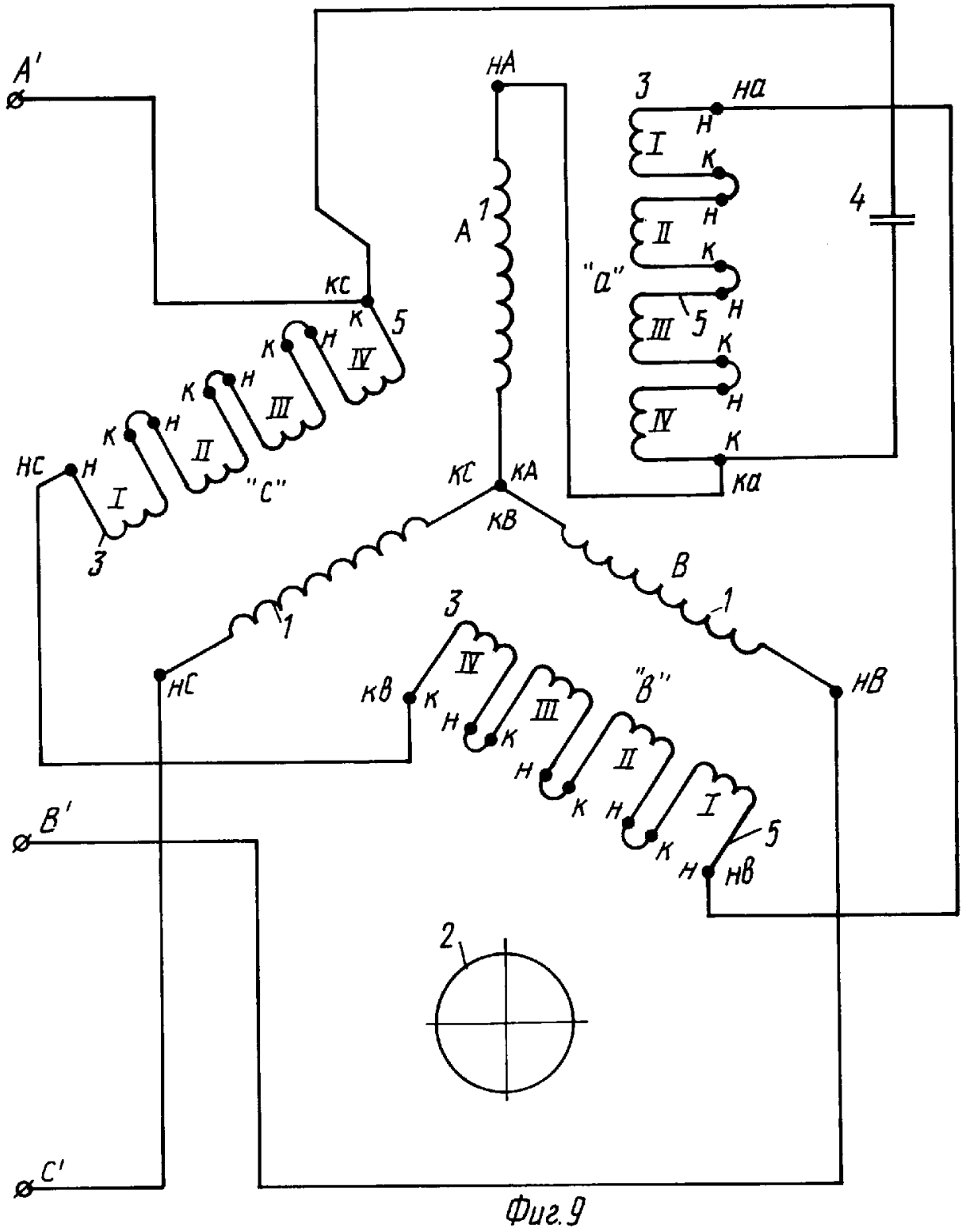
RU 2112307 C1

RU 2112307 C1



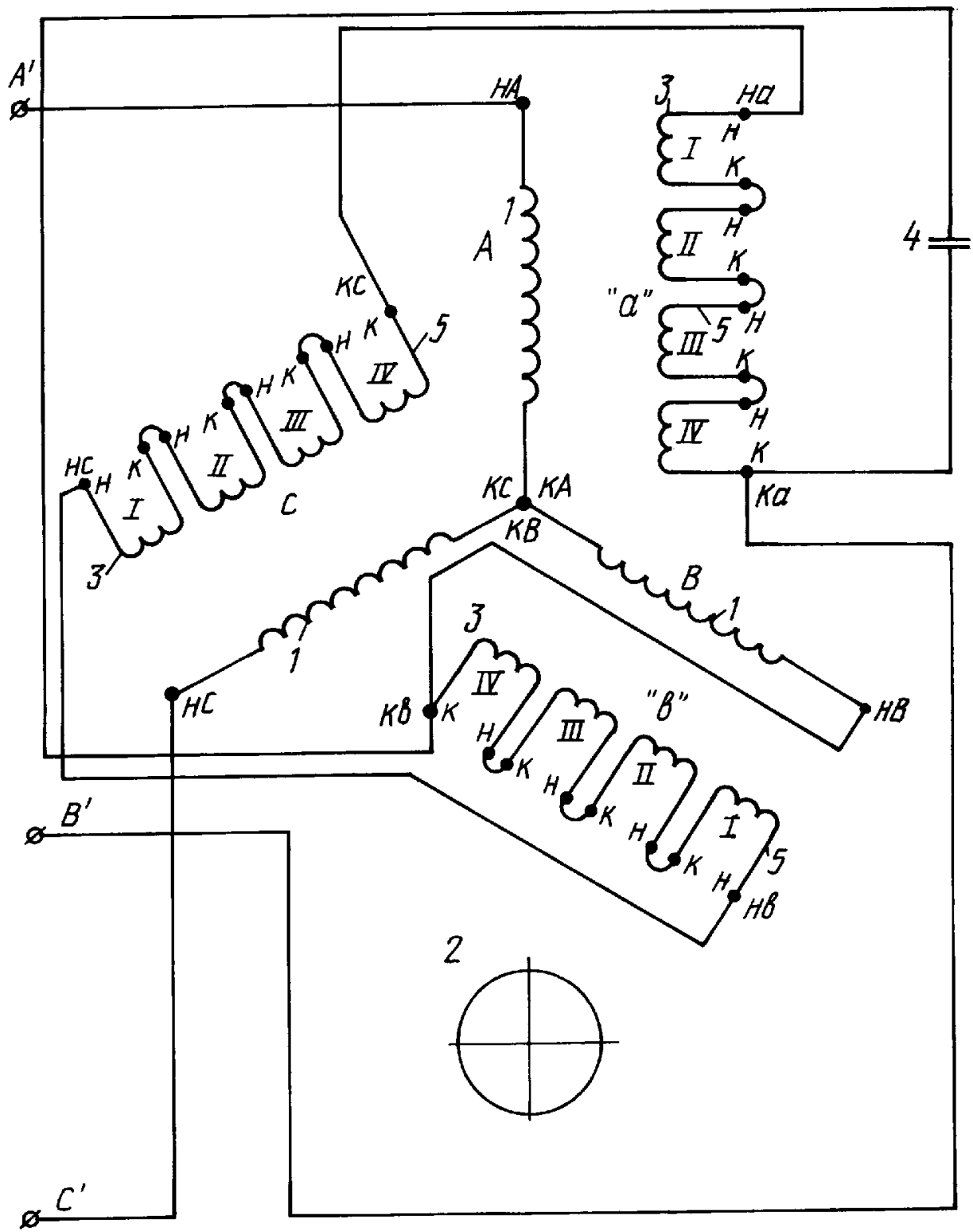
RU 2112307 C1

RU 2112307 C1



RU 2112307 C1

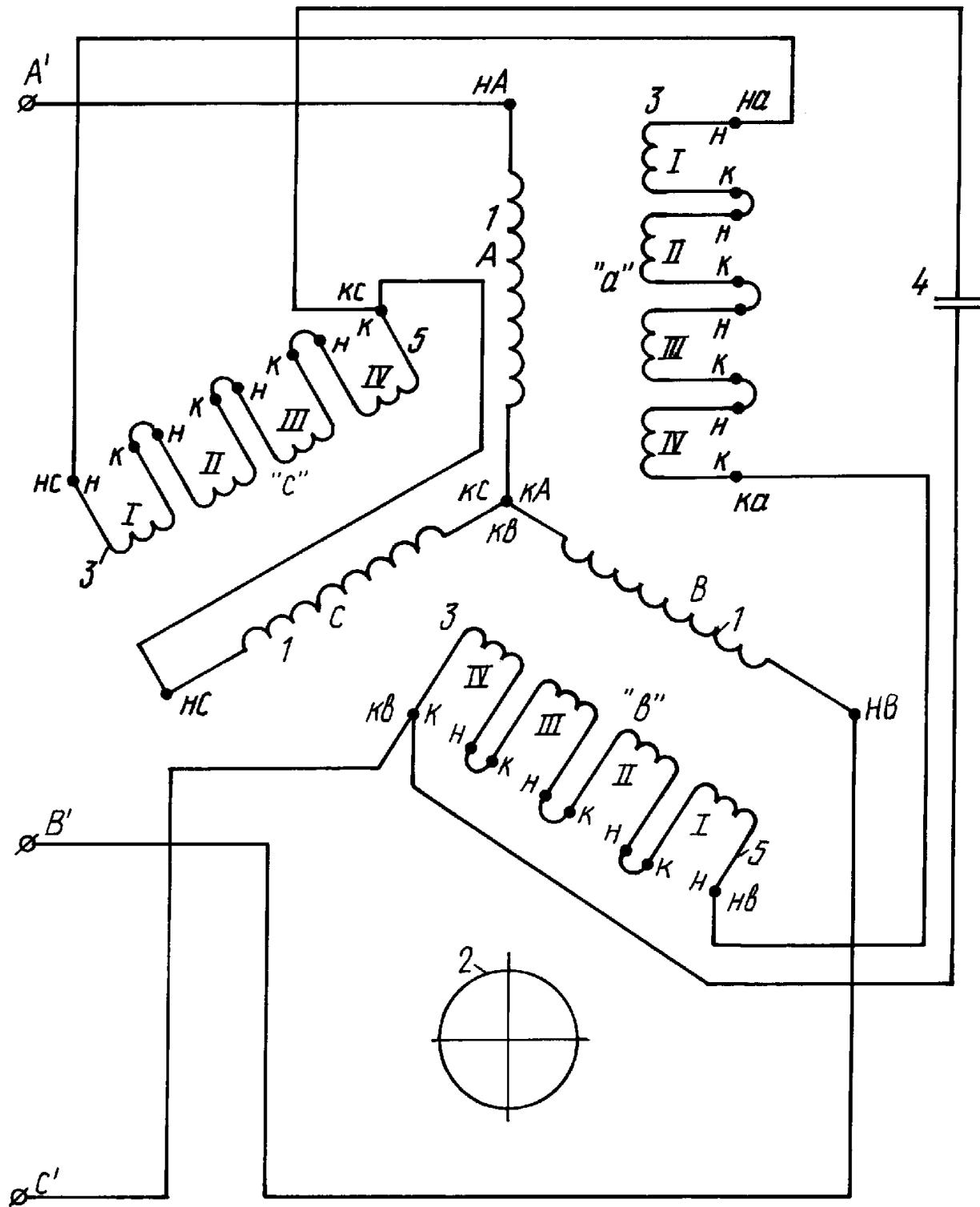
RU 2112307 C1



Фиг.10

RU 2112307 C1

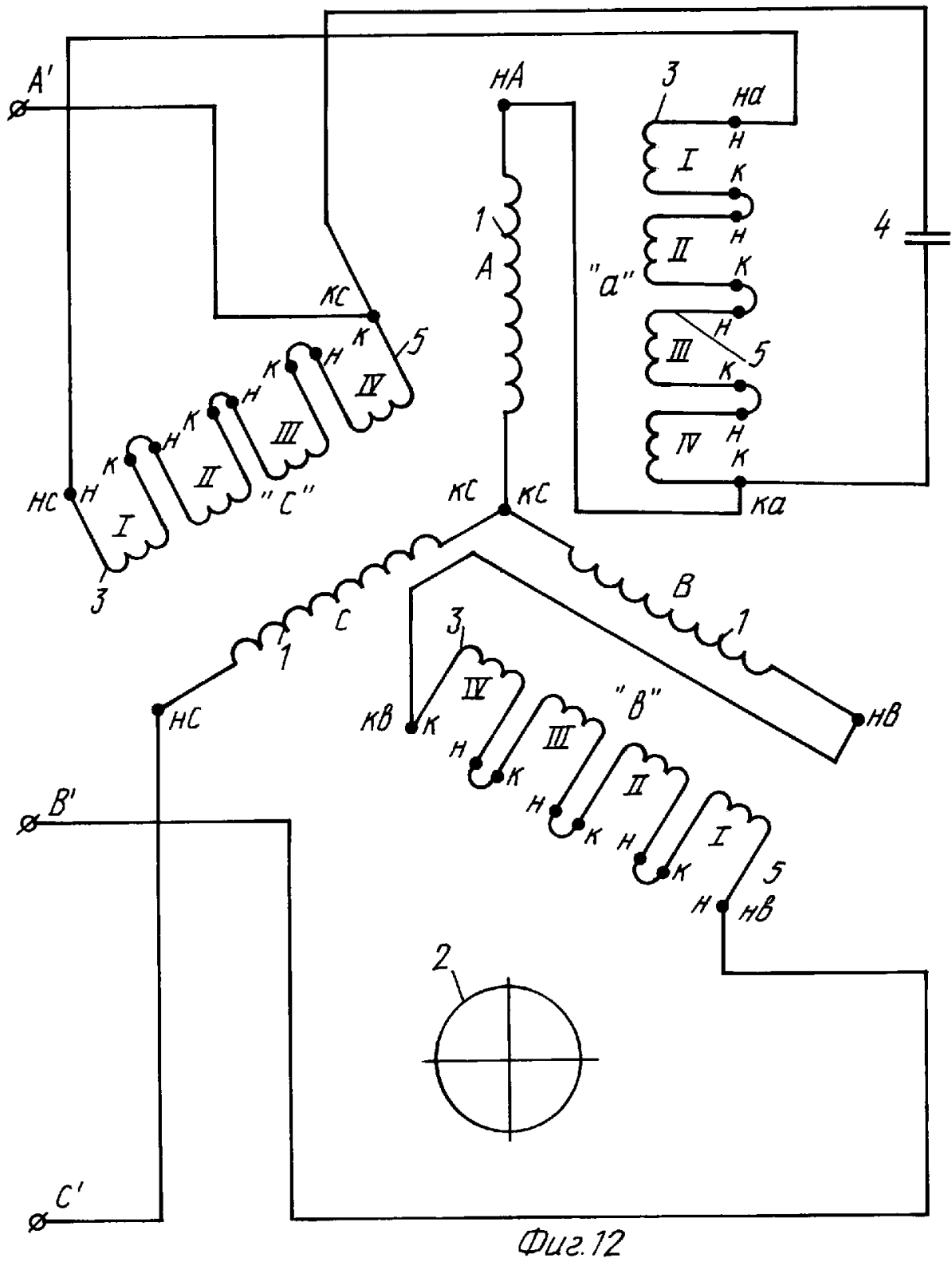
RU 2112307 C1



Фиг.11

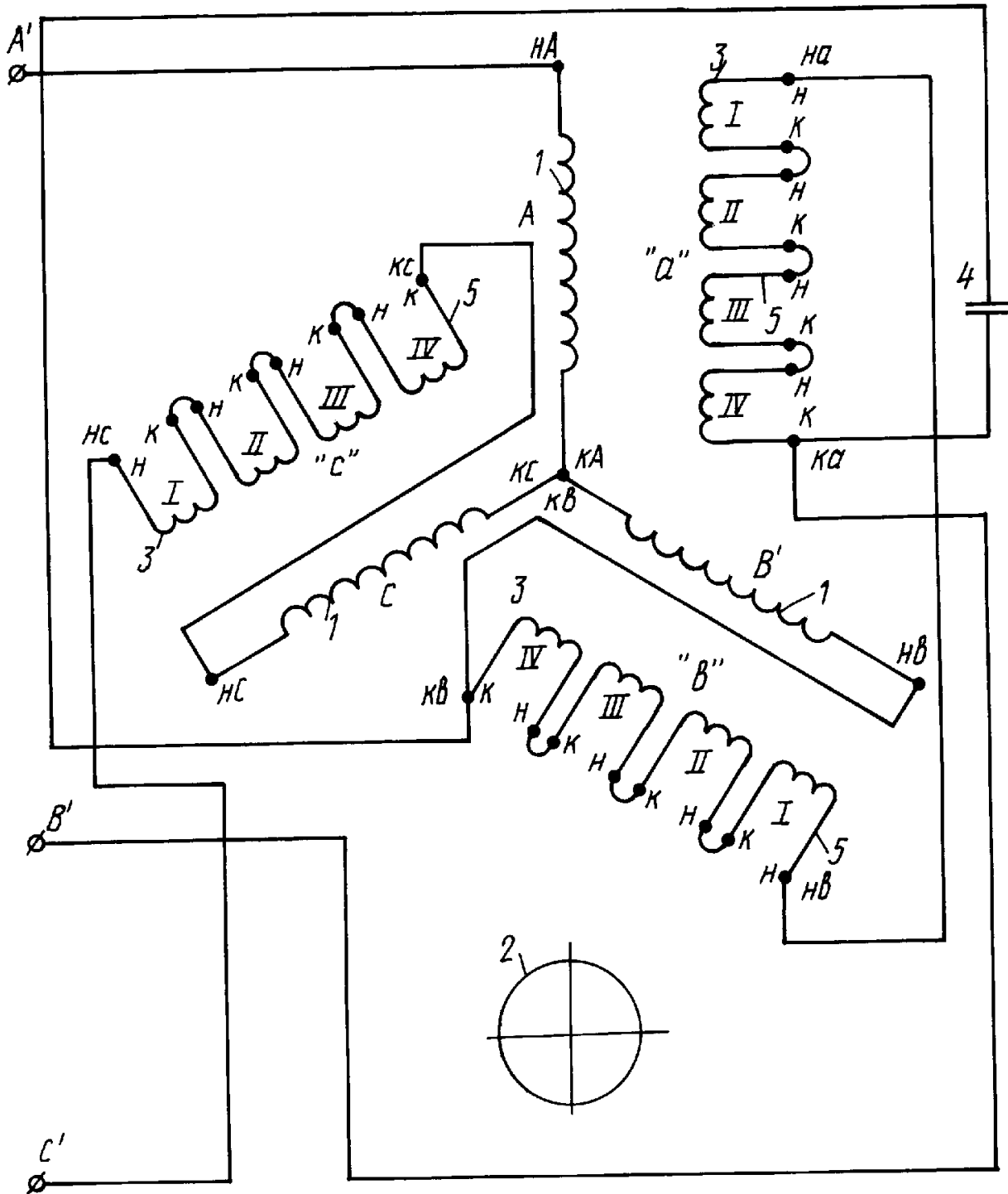
RU 2112307 C1

RU 2112307 C1



RU 2112307 C1

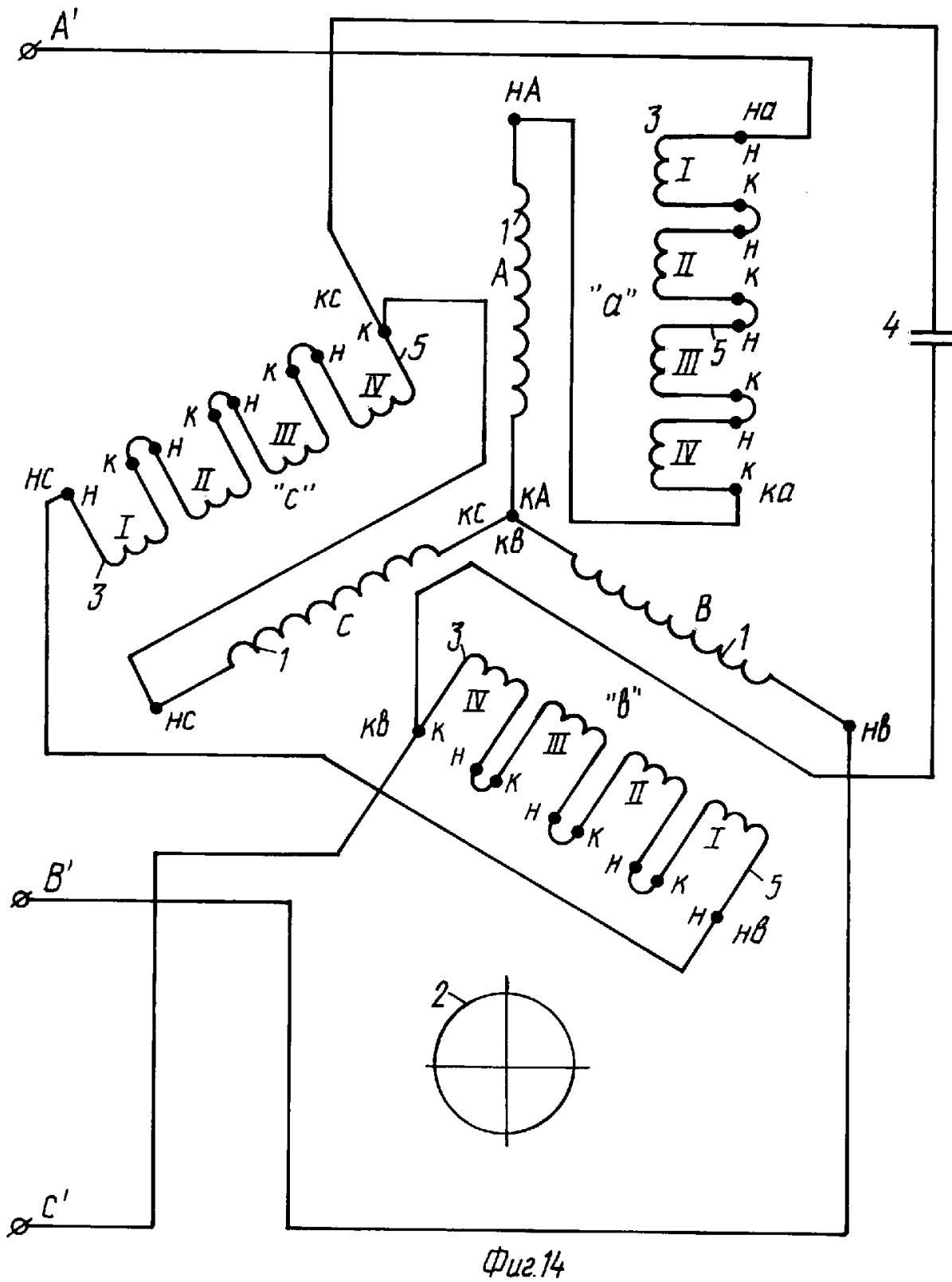
RU 2112307 C1



Фиг.13

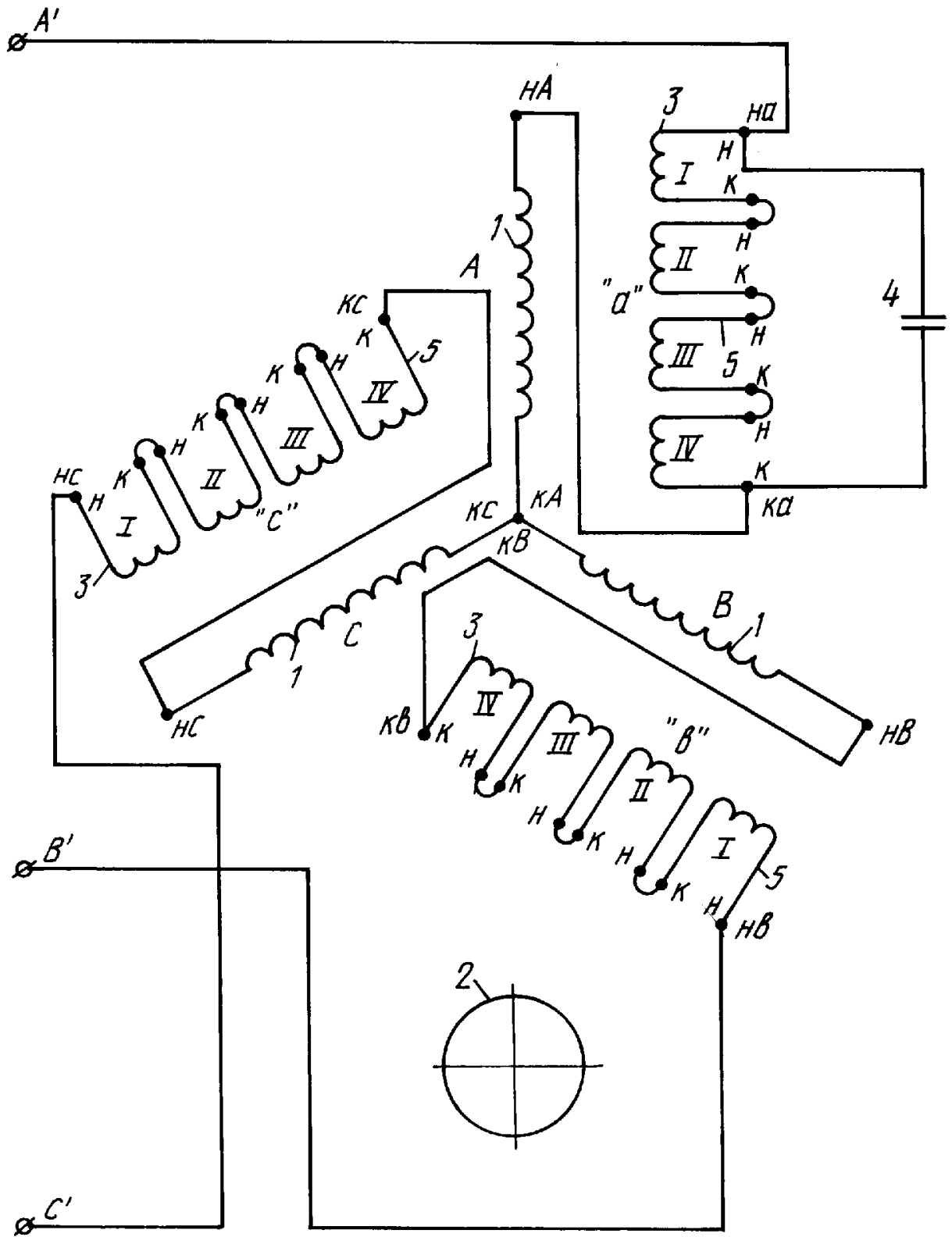
RU 2112307 C1

RU 2112307 C1



RU 2112307 C1

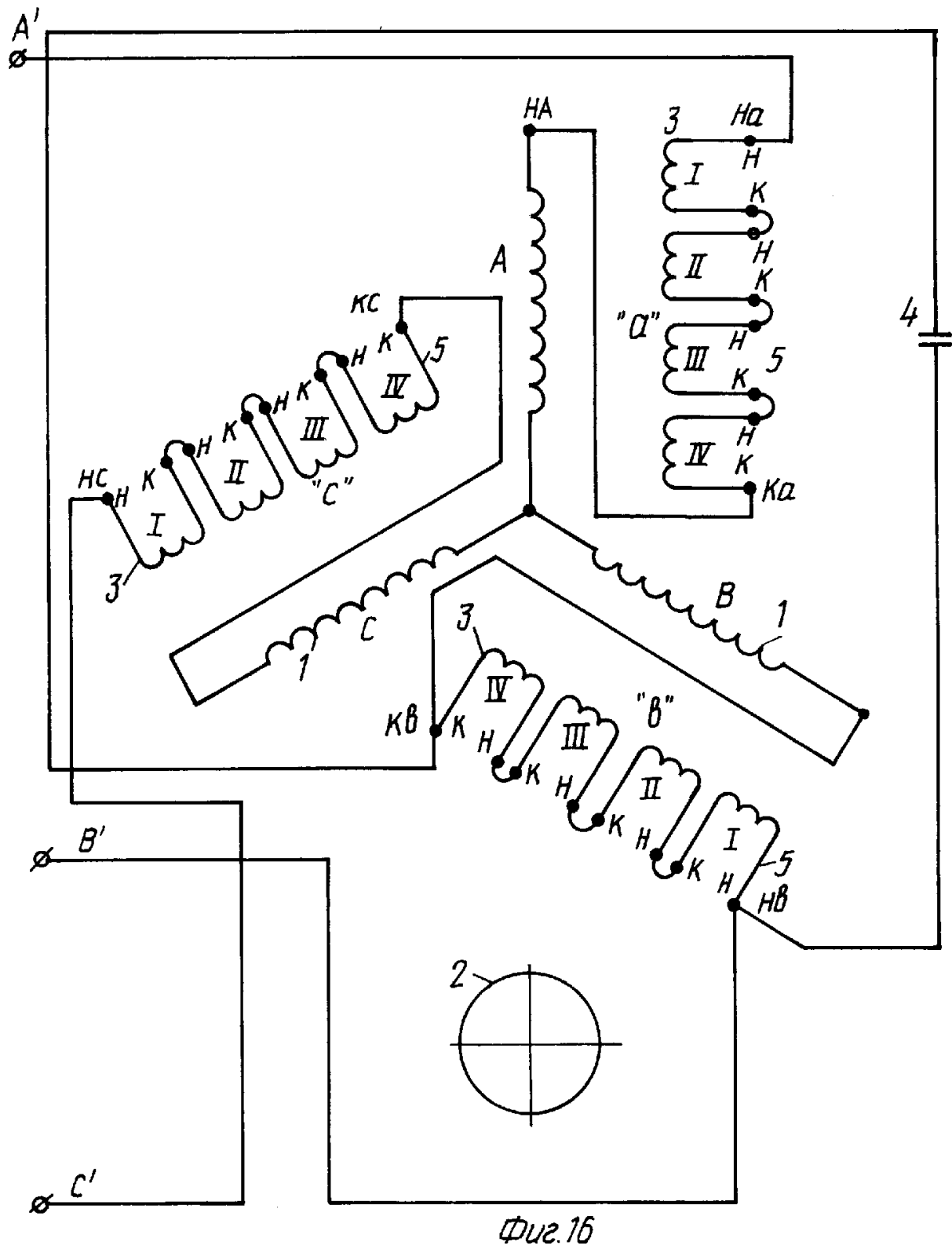
RU 2112307 C1



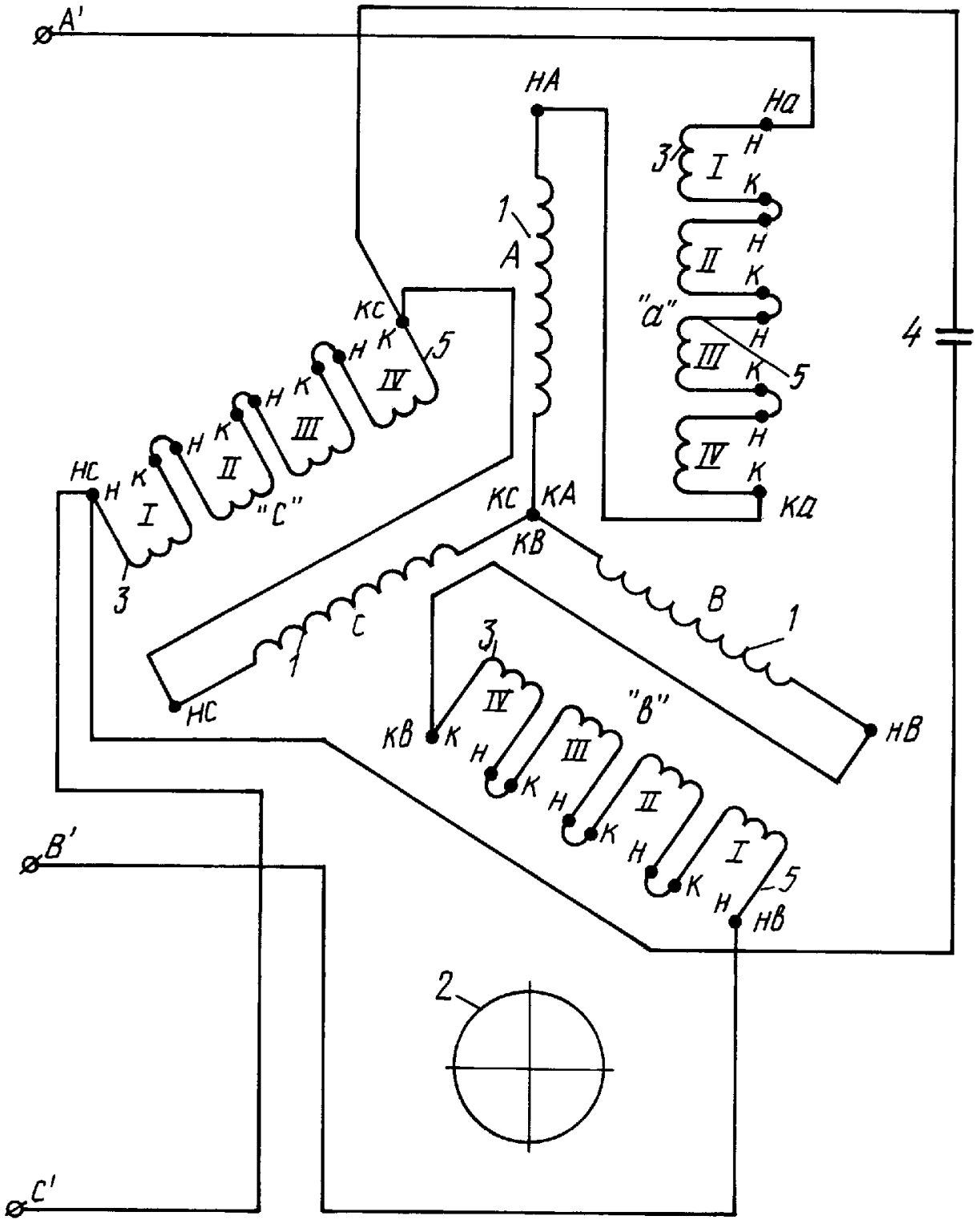
Фиг. 15

RU 2112307 C1

RU 2112307 C1



RU 2112307 C1



Фиг. 17

RU 2112307 C1

RU 2112307 C1