



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 88859

(13) C2

(51) МПК (2009)
H02K 21/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СИНХРОННИЙ МАГНІТОЕЛЕКТРИЧНИЙ ГЕНЕРАТОР

1

(21) а200907445

(22) 16.07.2009

(24) 25.11.2009

(46) 25.11.2009, Бюл.№ 22, 2009 р.

(72) ПАЛИВОДА КОСТЯНТИН ВІТАЛІЙОВИЧ

(73) ПАЛИВОДА КОСТЯНТИН ВІТАЛІЙОВИЧ

(56) SU 1136265 A, 23.01.1985

SU 1206905 A, 23.01.1986

RU 2331150 C2, 10.08.2008

WO 9824167 A1, 04.06.1998

DE 19905748 A1, 19.08.1999

EP 0449538 A1, 02.10.1991

RU 2356155 C1, 20.05.2009

DE 3246596 C1, 19.04.1984

Вольдек А. И. Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. заведений. Изд. 2-е, перераб. и доп. - Л.: Энергия, 1974. - С.367-383, 403-431, 622-790, 794.

Лотоцкий К. В. Электрические машины и основы электропривода. - М.: Колос, 1964. - С. 476-477.

(57) 1. Синхронный магнитоэлектрический генератор, який включає в себе корпус, один статор або два статори, m-фазну якірну обмотку, яка включає в себе m-фазну групу основних фазних обмоток, змонтований на робочому валу машини ротор із вмонтованими у нього магнітними полюсними елементами системи збудження машини, виконаними на основі постійних магнітів, та систему регулювання електрорушійної сили, який **відрізняється** тим, що якірна обмотка додатково включає в себе n m-фазних груп додаткових фазних обмоток, де n - ціле число у межах від одного до трьох, а система регулювання електрорушійної сили виконана у вигляді принаймні одного комутаційного пристрою, пристосованого для автоматичного варіювання електричного з'єднання виводів основних та додаткових фазних обмоток між собою та із першою групою вихідних затискачів генератора залежно від величини напруги на цих вихідних затискачах генератора.

2. Синхронний магнитоэлектрический генератор за попереднім пунктом, який **відрізняється** тим, що m дорівнює трьом.

3. Синхронний магнитоэлектрический генератор за будь-яким попереднім пунктом, який **відрізняється** тим, що n дорівнює одному.

4. Синхронний магнитоэлектрический генератор за будь-яким попереднім пунктом, який **відрізняється**

2

ся тим, що основні фазні обмотки виконані так, що вектори електрорушійної сили, яка індукується у основних фазних обмотках (E_{A1} , E_{B1} , E_{C1}), однакові за модулем і зміщені один відносно іншого суміжного на фазний крок $\gamma_{\phi 1} = (360/m)$ електричних градусів.

5. Синхронний магнитоэлектрический генератор за будь-яким попереднім пунктом, який **відрізняється** тим, що додаткові фазні обмотки виконані так, що вектори електрорушійної сили, яка індукується у додаткових фазних обмотках (E_{A2} , E_{B2} , E_{C2}), однакові за модулем і зміщені один відносно іншого суміжного на фазний крок $\gamma_{\phi 2} = (360/m)$ або $\gamma_{\phi 2} = (360/(m \cdot n))$ електричних градусів.

6. Синхронний магнитоэлектрический генератор за будь-яким попереднім пунктом, який **відрізняється** тим, що виводи закінчень основних фазних обмоток з'єднані із нульовим затискачем генератора в обхід комутаційного пристрою.

7. Синхронний магнитоэлектрический генератор за будь-яким попереднім пунктом, який **відрізняється** тим, що додаткова фазна обмотка пристосована для генерування електрорушійної сили, яка становить до 30% від електрорушійної сили, яка генерується основною фазною обмоткою.

8. Синхронний магнитоэлектрический генератор за будь-яким попереднім пунктом, який **відрізняється** тим, що додаткова фазна обмотка пристосована для генерування електрорушійної сили, яка становить 30÷45% від електрорушійної сили, яка генерується основною фазною обмоткою.

9. Синхронний магнитоэлектрический генератор за будь-яким попереднім пунктом, який **відрізняється** тим, що додаткова фазна обмотка пристосована для генерування електрорушійної сили, яка становить 45÷70% від електрорушійної сили, яка генерується основною фазною обмоткою.

10. Синхронний магнитоэлектрический генератор за будь-яким попереднім пунктом, який **відрізняється** тим, що система двох статорів включає в себе зовнішній та внутрішній статори, при цьому зовнішній статор жорстко встановлений у корпусі машини і охоплює ротор, виконаний у вигляді порожнистого стакана, який має основу із ступицею, жорстко посадженою на робочий вал машини, який пропущений назовні корпусу через його передню кришку, та порожнисту циліндричну частину із магнітними полюсними елементами, яка з боку,

(13) C2

(11) 88859

(19) UA

що протилежний основі, закрита знімною кришкою, що встановлена за допомогою підшипникового вузла на осі, а внутрішній статор розміщений всередині порожнистого стакана ротора та жорстко встановлений на зазначеній осі, задній кінець якої встановлений у задній кришці корпусу, при цьому задній кінець робочого вала машини за допомогою підшипникового вузла зв'язаний із переднім кінцем зазначеної осі.

11. Синхронний магнітоелектричний генератор за попереднім пунктом, який **відрізняється** тим, що основні фазні обмотки розміщені на зовнішньому статорі, а додаткові фазні обмотки - на внутрішньому статорі.

12. Синхронний магнітоелектричний генератор за будь-яким попереднім пунктом, який **відрізняється** тим, що генератор пристосований для підтримання на першій групі вихідних затисків першої стандартної номінальної напруги, при цьому гене-

ратор додатково оснащений другою системою вихідних затисків для другої стандартної номінальної напруги, величина якої є меншою за величину першої стандартної номінальної напруги, основні фазні обмотки пристосовані для генерування електрорушійної сили, яка відповідає величині другої стандартної номінальної напруги, і їх виводи з'єднані із другою системою вихідних затисків генератора.

13. Синхронний магнітоелектричний генератор за будь-яким попереднім пунктом, який **відрізняється** тим, що система регулювання електрорушійної сили включає в себе одну або декілька батарей конденсаторів, а комутаційний пристрій пристосований для автоматичного варіювання електричного підключення батарей конденсаторів залежно від величини напруги на першій або другій групі вихідних затисків генератора.

Винахід відноситься до синхронних магнітоелектричних генераторів, насамперед до трифазних.

Широковідомі синхронні електричні генератори, які складаються із статора, в пазах якого розміщена, як правило, трьохфазна, якірна обмотка змінного струму, яка включає в себе $m=3$ основних фазних обмоток. Кожна фазна обмотка складається із окремих частин (котушок та котушкових груп), які з'єднані між собою послідовно так, щоб загальна кількість витків фазної обмотки забезпечувала індуктування у ній певної електрорушійної сили (ЕРС), яка достатня для підтримання заданої номінальної стандартної напруги генератора. Тільки два виводи (вивід початку фази (у технічній літературі прийнято позначати А, В, С або С1, С2, С3) і вивід кінця фази (у технічній літературі прийнято позначати Х, Y, Z або С4, С5, С6) виведені із обмотки на клемну дошку генератора, що дозволяє з'єднувати трифазні обмотки у зірку чи трикутник. Генератор має також ротор, який виконаний у вигляді електромагніту із обмотками збудження. Обмотки збудження ротора живляться через щітки і кільця постійним струмом від збуджувача, тобто машини постійного струму чи якогось випрямляча. При проходженні по обмотках статора (його ще називають якорем) струму навантаження створюється магнітне поле. Основна частина магнітного потоку якоря проходить у ротор і діє на нього. Цю дію називають реакцією якоря. Синхронні генератори, як правило, розраховані на роботу із активно-індуктивним навантаженням на мережу із коефіцієнтом навантаження $\cos\varphi=0,8$. Індуктивна складова струму навантаження призводить до розмагнічуючої дії реакції якоря і зниження напруги на електричних зажимах (полюсах) генератора. Оскільки, ні кількість витків ні конфігурацію з'єднання частин фазної обмотки неможливо змінювати, то для підтримання напруги на зажимах генератора постійною при змінному навантаженні відповідним чином регулюють струм в обмотках

збудження ротора [1, с.367÷383, 403÷431, 622÷790]. Система збудження цих генераторів є відносно складною та вимагає істотних енергетичних затрат на підтримання струму в обмотках збудження, що загалом знижує коефіцієнт корисної дії генераторів. Відносно складна конструкція відомих генераторів знижує їх надійність. Відомо, що більшість неполадок у роботі синхронних машин викликано несправностями системи збудження [2, с.476÷477]. Крім того, ці генератори мають недостатньо високі масо-габаритні показники віднесені до певної потужності.

Відомі синхронні електричні генератори, у яких замість обмоток збудження використані постійні магніти, а тому їх можна називати синхронними магнітоелектричними машинами [1, с.794]. Генератори будують потужністю 5÷10кВ·а, а у окремих випадках до 100кВ·А.

Незважаючи на спрощення конструкції магнітоелектричних машин та виключення енергетичних втрат на збудження, як зазначено у [1; с.230, 794], внаслідок високої ціни вказаних магнітних матеріалів такі машини не отримали широкого розповсюдження. Однак, висока ціна магнітних матеріалів не є єдиною причиною такого стану. Важливо також те, що незважаючи на чисельні спроби до цих пір не створено конструкцій магнітоелектричних машин, які забезпечують високий рівень використання матеріалу постійних магнітів та ефективне просте регулювання ЕРС для підтримання постійної напруги на електричних зажимах (полюсах) синхронного магнітоелектричного генератора при коливаннях навантаження на генератор.

На підтвердження сказаного, можна розглянути відомий синхронний магнітоелектричний генератор, який складається із зовнішнього статора із обмоткою звичайної конструкції та ротора (індуктора), виконаного у вигляді порожнистого стакана, укріпленого консольно на валу генератора. У кільце стінки стакана вмонтовані намагнічені у раді-

альному напрямку призматичні постійні магніти, внутрішні полюси яких замкнуті кільцеподібним ярмом, що підмагнічується системою регулювання ЕРС генератора. Ця система включає у себе розміщений у розточці ярма і встановлений консольно на щиті корпусу генератора нерухомий сердечник (другий чи внутрішній статор) із двома різномісними оберненими до кільцеподібного підмагнічуваного ярма полюсами, на яких змонтована обмотка постійного струму. За рахунок підмагнічування ярма до насичення знижують його магнітну провідність і магнітний потік ротора, а відповідно ЕРС генератора [3].

Також відомий синхронний магнітоелектричний генератор, який включає в себе корпус, систему двох статорів (зовнішнього та внутрішнього), m -фазну якірну обмотку, яка розміщена на обох статорах і включає в себе m основних фазних обмоток, змонтованих на робочому валу машини порожнистий ротор із вмонтованими у нього магнітними полюсними елементами системи збудження машини, виконаними на основі постійних магнітів, та систему регулювання електрорушійної сили. Система регулювання ЕРС побудована традиційно на принципі регулювання магнітного потоку збудження і містить обмотку збудження, яка розміщена у магнітопровідному корпусі співісно робочому валу. При цьому, магнітна система генератора, яка забезпечує замикання магнітних потоків постійних магнітів та обмотки збудження, додатково до магнітопровідного корпуса, та двох статорів містить також магнітопровідну ступицю ротора досить, а тому складна, матеріаломістка та малоефективна [4].

Недоліком таких магнітоелектричних генераторів є те, що, по-перше, їх магнітні системи складні, матеріаломісткі та малоефективні. Системи регулювання ЕРС складні, малонадійні і за рахунок власних масогабаритних показників погіршують відповідні показники генератора. По-друге, ці системи потребують джерела постійного струму, що ускладнює використання генератора. В-четвертих, у роторі створюється нерухоме магнітне поле, яке при обертанні ротора може генерувати у ньому індуктивні токи, що ускладнює його конструкцію, підвищує втрати потужності та виділення тепла у роторі і відповідно ускладнює систему охолодження генератора.

Технічна задача винаходу полягає у тому, щоб створити синхронний магнітоелектричний генератор, якому не властиві зазначені недоліки відомих магнітоелектричних генераторів і який поєднає у собі переваги магнітоелектричних машин із перевагами традиційних синхронних машин із обмотками збудження постійного струму за рахунок пристосування генератора для відносно простого, ефективного і надійного регулювання ЕРС і таким чином напруги на зажимах генератора.

Технічна задача вирішена тим, що у синхронному магнітоелектричному генераторі, який включає в себе корпус, один статор або два статори, m -фазну якірну обмотку, яка включає в себе m -фазну групу основних фазних обмоток, змонтованих на робочому валу машини ротор із вмонтованими у нього магнітними полюсними елемента-

ми системи збудження машини, виконаними на основі постійних магнітів, та систему регулювання електрорушійної сили, згідно із винаходом якірна обмотка додатково включає в себе n m -фазних груп додаткових фазних обмоток, де n - ціле число у межах від одного до трьох, а система регулювання електрорушійної сили виконана у вигляді, принаймні, одного комутаційного пристрою, пристосованого для автоматичного варіювання електричного з'єднання виводів основних та додаткових фазних обмоток між собою та із першою групою вихідних зажимів генератора залежно від величини напруги на цих вихідних зажимах генератора.

Причинно-наслідковий зв'язок між зазначеною вище сукупністю суттєвих ознак винаходу та зазначеним технічним результатом ясно демонструється описом винаходу та кресленнями.

У окремих випадках використання винаходу зазначений технічний результат посилюється та доповнюється іншими позитивними властивостями запропонованої машини тим, що m дорівнює трьом.

Також тим, що n дорівнює одному.

Також тим, що основні фазні обмотки виконані так, що вектори електрорушійної сили, яка індукується у основних фазних обмотках (E_{A1} , E_{B1} , E_{C1}), однакові за модулем і зміщені один відносно іншого суміжного на фазний крок $u_{\phi 1} = (360/m)$ електричних градусів.

Також тим, що додаткові фазні обмотки виконані так, що вектори електрорушійної сили, яка індукується у додаткових фазних обмотках (E_{A2} , E_{B2} , E_{C2}) однакові за модулем і зміщені один відносно іншого суміжного на фазний крок $u_{\phi 2} = (360/m)$ або $u_{\phi 2} = (360/(m-n))$ електричних градусів).

Також тим, що виводи закінчень основних фазних обмоток з'єднані із нульовим зажимом генератора в обхід комутаційного пристрою.

Також тим, що додаткова фазна обмотка пристосована для генерування електрорушійної сили, яка становить до 30% від електрорушійної сили, яка генерується основною фазною обмоткою.

Також тим, що додаткова фазна обмотка пристосована для генерування електрорушійної сили, яка становить 30÷45% від електрорушійної сили, яка генерується основною фазною обмоткою.

Також тим, що додаткова фазна обмотка пристосована для генерування електрорушійної сили, яка становить 45÷70% від електрорушійної сили, яка генерується основною фазною обмоткою.

Також тим, що система двох статорів включає в себе зовнішній та внутрішній статори, при цьому зовнішній статор жорстко встановлений у корпусі машини і охоплює ротор, виконаний у вигляді порожнистого стакану, який має основу із ступицею, жорстко посадженою на робочий вал машини, який пропущений назовні корпуса через його передню кришку, та порожнисту циліндричну частину із магнітними полюсними елементами, яка з боку, що протилежний основі закрита знімною кришкою, що встановлена за допомогою підшипникового вузла на осі, а внутрішній статор розміщений всередині порожнистого стакану ротора та жорстко встановлений на зазначеній осі, задній кінець якої

встановлений у задній кришці корпусу, при цьому задній кінець робочого валу машини за допомогою підшипникового вузла зв'язаний із переднім кінцем зазначеної осі.

Також тим, що основні фазні обмотки розміщені на зовнішньому статорі, а додаткові фазні обмотки - на внутрішньому статорі.

Також тим, що генератор пристосований для підтримання на першій групі вихідних зажимів першої стандартної номінальної напруги, при цьому генератор додатково оснащений другою системою вихідних зажимів для другої стандартної номінальної напруги, величина якої є меншою за величину першої стандартної номінальної напруги, основні фазні обмотки пристосовані для генерування електрорушійної сили, яка відповідає величині другої стандартної номінальної напруги, і їх виводи з'єднані із другою системою вихідних зажимів генератора.

Також тим, що система регулювання електрорушійної сили включає в себе одну або декілька батарей конденсаторів, а комутаційний пристрій, пристосований для автоматичного варіювання електричного підключення батарей конденсаторів залежно від величини напруги на першій або другій групі вихідних зажимів генератора.

Винахід пояснюється кресленнями, на яких на:

Фіг.1 зображена схема варіанта виконання синхронного магнітоелектричного генератора із двома статорами і порожнистим ротором;

Фіг.2 - електрична схема варіанта виконання трифазної якірної обмотки;

Фіг.3÷8 - електричні схеми з'єднань основних та додаткових фазних обмоток трифазної якірної обмотки у різних позиціях виконавчого блока комутаційного пристрою;

Фіг.9÷16 - діаграми ЕРС фази у долях ЕРС основної фазної обмотки;

Фіг.17 - електрична схема варіанта виконання трифазної якірної обмотки при з'єднанні якірної обмотки зіркою;

Фіг.18 - електрична схема варіанта виконання комутаційного пристрою системи регулювання ЕРС;

Фіг.19, 20 - електричні схеми виконання першого та другого виконавчих (комутаційних) блоків комутаційного пристрою.

Оскільки, новизна запропонованого синхронного магнітоелектричного генератора полягає у конструкції якірної обмотки та конструкції системи регулювання електрорушійної сили, яка конструктивно може бути розміщена у окремому корпусі поза межами основного корпусу генератора, то запропонований генератор може мати різну загальну будову, наприклад, будову звичайного магнітоелектричного генератора із одним статором.

Однак, краще коли генератор має виконання за Фіг.1 і містить: корпус (станину) 1 із знімними передньою 2 та задньою 3 кришками (щитами); змонтований у корпусі зовнішній статор (якір) 4 із першою частиною 5 якірної обмотки; жорстко закріплений на осі 6 другий внутрішній статор (якір) 7 із другою частиною 8 якірної обмотки; встановлений на робочому валу 9 машини порожнистий ротор 10, який виконаний у вигляді порожнистого

стакана 11 закритого знімною кришкою 12. Ступиця 13 стакана 11 жорстко закріплена на робочому валу 9; кришка 12 встановлена через підшипник 14 (наприклад шарикопідшипник) на осі 6, передній кінець робочого валу 9 через підшипниковий вузол 15, встановлений у передній кришці 2 корпусу 1, пропущений всередину корпусу 1; задній кінець робочого валу 9 за допомогою підшипникового вузла 16 (наприклад роликового підшипника) зв'язаний із переднім кінцем зазначеної осі 6, задній кінець 17 якої в одному із декількох можливих кутових положень нерухомо зафіксований у отворі ступиці 18 задньої кришки 3 будь-яким придатним для цього відомим способом. Наприклад, так як прийнято кріпити конічні хвостовики інструментів у конічних отворах чи за допомогою шліців, чи цангового затискача, чи фланця із продовгуватими дугоподібними отворами для кріпильних болтів тощо. У іншому виконанні задній кінець 17 осі 6 нерухомо зафіксований у отворі ступиці 18 задньої кришки 3 тільки в одному кутовому положенні, при цьому задня кришка 3 може бути одним із відомих способів нерухомо прикріплена до корпусу 1 в одному із декількох можливих кутових положень. Наприклад, так як це вище зазначено для фланця із продовгуватими дугоподібними отворами для кріпильних болтів.

По колу циліндричної частини стакана 11 ротора 10 розташовані гнізда, в яких закріплені магнітні полюсні елементи 19 системи збудження машини, які переважно виконані із декількох окремих елементарних призматичних постійних магнітів, намагнічених у радіальному напрямку.

Генератор може бути виконаний із кількістю пар магнітних полюсів (р) від одної до шести. Оптимальним є виконання генератора із двома парами магнітних полюсів, виходячи із того, що, по-перше, частота обертання робочого вала 9 генератора буде складати 1500 чи 750 обертів за хвилину (при частоті змінного струму 50Гц), що прийнятно з погляду достатності міцності застосованих магнітів та їх кріплення у роторі. По-друге, при цьому довжина магнітопроводу кожної окремої замкнутої магнітної системи генератора достатньо мала, особливо, коли перший (зовнішній) статор 4 та/або другий (внутрішній) статор 7 мають неявнополюсну конструкцію.

Відомо, що магнітні властивості постійних магнітів мають певну нестабільність і можуть змінюватись від одної партії до іншої, змінюватись із часом, під впливом коливань температури, зовнішніх магнітних полів, інших елементів магнітного ланцюга. Тому наявність у генераторі простої і надійної системи регулювання ЕРС є надзвичайно важливою умовою його успішного промислового використання.

Однією із найважливіших корисних властивостей запропонованої конструкції синхронної магнітоелектричного генератора є його пристосованість для реалізації відносно простого і ефективного метода регулювання ЕРС.

Для цього у загальному випадку m-фазна якірна обмотка, яка складається із першої 5 та другої 8 частин і включає в себе m-фазну групу основних фазних обмоток 21, додатково має n m-фазних

груп додаткових фазних обмоток 22, де n - ціле число у межах від одного до трьох.

На Фіг.2 показана схема виконання трьохфазної якірної обмотки, яка має три основних фазних обмотки 21 і три додаткових фазних обмотки 22 (тобто $m=1$ і $n=1$). Основні 21 та додаткові 22 фазні обмотки мають виводи початків, які позначені на кресленнях відповідно A_1, B_1, C_1 , та A_2, B_2, C_2 , та виводи закінчень, які позначені на кресленнях відповідно X_1, Y_1, Z_1 , та X_2, Y_2, Z_2 . Першу групу із трьох основних фазних обмоток 21 і другу групу із трьох додаткових фазних обмоток 22 виконано відповідно до того, як прийнято виконувати трифазні обмотки. У конструктивному плані ці перша та друга групи фазних обмоток 21, 22 за умови незалежного з'єднання їх виводів у зірку чи трикутник можуть утворити дві трифазні (у загальному випадку m -фазні) обмотки. Умовно вважаємо, що обмотки намотані таким чином, що вектори ЕРС, які індукуються у основних фазних обмотках 21 ($\vec{E}_{A1}, \vec{E}_{B1}, \vec{E}_{C1}$) спрямовані у напрямку від виводів закінчень (X_1, Y_1, Z_1) до виводів початків (A_1, B_1, C_1), однакові за модулем (величиною) і зміщені один відносно іншого суміжного на фазний крок u_ϕ , який дорівнює 120 електричних градусів (у загальному випадку для будь-якого m $u_\phi = 360/m$ електричних градусів). Умовно вважаємо, що обмотки намотані таким чином, що вектори ЕРС, які індукуються у додаткових фазних обмотках 22 ($\vec{E}_{A2}, \vec{E}_{B2}, \vec{E}_{C2}$) спрямовані у напрямку від виводів закінчень (X_2, Y_2, Z_2) до виводів початків (A_2, B_2, C_2), однакові за модулем (величиною) і зміщені один відносно іншого суміжного на фазний крок u_ϕ , який дорівнює 120 електричних градусів. На Фіг.2 показано, що зазначені перша група із трьох основних фазних обмоток 21 і друга група із трьох додаткових фазних обмоток 22 орієнтовані одна відносно іншій так, що пари відповідних векторів ЕРС, що віднесені до однойменних фаз А, В, С (\vec{E}_{A1} та \vec{E}_{A2} , \vec{E}_{B1} та \vec{E}_{B2} , \vec{E}_{C1} та \vec{E}_{C2}) мають однаковий напрямок (тобто кут зсуву α_{el} між векторами кожної цієї пари дорівнює нуль електричних градусів (при холостому ході або симетричному навантаженні фаз), а тому на кресленні не показаний).

Однак, у деяких випадках зазначений кут зсуву α_{el} може бути встановленим відмінним від нуля (у межах до $\pm 0,5 u_\phi$, зокрема $\alpha_{el} = \pm u_\phi / 2n$, (умовно прийнято, за позитивний напрямок кутів напрямком проти годинникової стрілки)) при виготовленні якірної обмотки (фіксовано) та/або пізніше у процесі передпускової наладки чи регулювання під час експлуатації певними засобами регулювання (дискретно варійовано чи безперервно варійовано). У інших виконаннях генератора, для яких $n=2$, або $n=3$, усі групи додаткових фазних обмоток 22 можуть мати однаковий кут зсуву α_{el} (наприклад, $\alpha_{el}=0$) або кути зсуву певної групи 22 може відрізнятися від кута зсуву α_{el} іншої групи 22 (наприклад, при $n=2$ $\alpha_{el2}=30$, $\alpha_{el3}=-30$ електричних градусів; при $n=3$ $\alpha_{el2}=0$, $\alpha_{el3}=20$, $\alpha_{el4}=-20$ електричних градусів (умовно прийнято, за позитивний напрямок кутів напрямком проти годинникової стрілки), де α_{el2} , α_{el3} , α_{el4} - кути зсуву відповідно другої, третьої та четвертої груп із m додаткових фазних обмоток 22).

У разі виконання генератора за Фіг.1, при $n=1$ краще, коли перша група із трьох основних фазних обмоток 21 розташована на зовнішньому роторі 4 і представляє собою першу частину 5 якірної обмотки, а друга група із трьох додаткових фазних обмоток 22 розташована на внутрішньому роторі 7 і представляє собою другу частину 8 якірної обмотки. При $n>1$ може бути кращим, коли перша група із трьох основних фазних обмоток 21 розташована на внутрішньому роторі 7 і представляє собою другу частину 8 якірної обмотки, а друга, третя і наступні групи кожна із трьох додаткових фазних обмоток 22 розташовані на зовнішньому роторі 4 і представляють собою першу частину 5 якірної обмотки.

При цьому, зазначеним вище механічним засобом регулювання кута зсуву α_{el} шляхом регулювання геометричного кута зсуву (α_g) між групами фазних обмоток 21, 22 може бути згаданий вище вузол кріплення заднього кінця 17 осі 6 у отворі ступиці 18 задньої кришки 3, який виконаний з можливістю фіксації осі 6 в одному із декількох можливих кутових положень. У іншому варіанті механічним засобом регулювання кута зсуву α_{el} може бути згаданий вище вузол кріплення задньої кришки 3 до корпусу 1, який виконаний з можливістю фіксації задньої кришки 3 в одному із декількох можливих кутових положень. У іншому варіанті електричним засобом регулювання безпосередньо електричного кута зсуву α_{el} (при незмінному геометричному куті зсуву α_g) може бути комутуючий пристрій, який пристосований для того щоб варіативно підключати/відключати батареї конденсаторів чи дроселі паралельно основним 21 та/або додатковим фазним обмоткам. Генератор може мати більше одного, зокрема два засоби регулювання кута зсуву α , наприклад механічний та електричний.

Система регулювання електрорушійної сили включає в себе (наприклад автоматичний програмований) комутаційний пристрій 27 (див. Фіг.18), який включає в себе принаймні, один виконавчий (комутаційний) блок 23 (див. Фіг.2, 17, 18, 19), пристосований для варіювання електричного з'єднання виводів основних 21 ($A_1, B_1, C_1, X_1, Y_1, Z_1$) та додаткових 22 ($A_2, B_2, C_2, X_2, Y_2, Z_2$) фазних обмоток між собою та із першою групою 24 вихідних зажимів генератора (на кресленнях позначені А, В, С, 0) залежно від величини напруги на цих вихідних зажимах генератора. Виконавчий блок комутаційного пристрою 23 конструктивно може бути реалізований на базі електромагнітний реле чи тиристорів будь-яким відомим способом, або так, як показано на Фіг.19 та описано далі. При цьому, цей пристрій 23 повинен мати декілька позицій і забезпечувати відповідну кількість варіантів електричного з'єднання, які показані на Фіг.3-8 для найбільш поширеного варіанту з'єднання якірної обмотки зіркою (при $m=1$ та $n=1$). Варіант з'єднання якірної обмотки трикутником на кресленнях не представлений, однак це варіант очевидним чином випливає із представленого на кресленнях варіанту з'єднання зіркою.

У першій позиції (Фіг.3) виконавчого блока 23 комутаційного пристрою 27 при будь-якому типі

з'єднання якірної обмотки основні фазні обмотки 21 з'єднані попарно із додатковими фазними обмотками 22 однойменної фази (А, В, С) послідовно у односпрямованій послідовності. Використаний вище термін «у односпрямованій послідовності» означає те, що виводи початків (A_1, B_1, C_1) основних фазних обмоток 21 з'єднані із виводами закінчень (X_2, Y_2, Z_2) додаткових фазних обмоток 22. При цьому, обмотки 21, 22 однієї пари орієнтовані одна відносно іншої так, що кут β між векторами ЕРС, яка індукується у них (\vec{E}_{A1} та \vec{E}_{A2} , \vec{E}_{B1} та \vec{E}_{B2} , \vec{E}_{C1} та \vec{E}_{C2}), визначається кутом зсуву α_{el} (на кресленнях $\alpha_{el}=0$, $\beta=\alpha_{el}=0$). У разі з'єднання якірної обмотки зіркою виводи закінчень основних фазних обмоток 21 (X_1, Y_1, Z_1) з'єднані із одним спільним нульовим зажимом (на кресленнях позначений 0) першої групи 24 вихідних зажимів генератора, а вивід початку (A_2, B_2, C_2) додаткових фазних обмоток 22 з'єднаний із зажимом відповідної однойменної фази (на кресленнях позначені А, В, С) першої групи 24 вихідних зажимів генератора. Модуль (величину) ЕРС будь-якої фази якірної обмотки (E_A, E_B, E_C) при куті $\beta=0$ можна визначити за арифметичною сумою модулів ЕРС у відповідній парі основних 21 та додаткових 22 фазних обмотках:

$$E_A = E_{A1} + E_{A2}, E_B = E_{B1} + E_{B2}, E_C = E_{C1} + E_{C2},$$

або за модулем геометричної суми відповідних векторів:

$$\vec{E}_A = \vec{E}_{A1} + \vec{E}_{A2}, \vec{E}_B = \vec{E}_{B1} + \vec{E}_{B2}, \vec{E}_C = \vec{E}_{C1} + \vec{E}_{C2}.$$

На векторній діаграмі фази А за Фіг.3 вектор \vec{E}_A зображений відрізком ас, вектор \vec{E}_{A1} зображений відрізком ab, вектор \vec{E}_{A2} зображений відрізком bc.

У другій позиції (Фіг.4) виконавчого блока комутаційного пристрою 23 при будь-якому типі з'єднання якірної обмотки основні фазні обмотки 21 з'єднані попарно із додатковими фазними обмотками 22 різнойменної фази (А, В, С) послідовно у різноспрямованій послідовності. Використаний вище термін «у різноспрямованій послідовності» означає те, що виводи початків (A_1, B_1, C_1) основних фазних обмоток 21 з'єднані із виводами початків (відповідно C_2, A_2, B_2) додаткових фазних обмоток 22. На кресленнях для спрощення зображення з'єднань додаткові фазні обмотки 22 показані умовно повернутими на 180 кутів градусів, хоча насправді при такому з'єднанні фактично повертаються тільки відповідні вектори ЕРС на 180 електричних градусів. При цьому, виходить, що обмотки 21, 22 однієї пари орієнтовані одна відносно іншої так, що кут β між векторами ЕРС, яка індукується у них (\vec{E}_{A1} та \vec{E}_{C2} , \vec{E}_{B1} та \vec{E}_{A2} , \vec{E}_{C1} та \vec{E}_{B2}), із врахуванням повороту векторів ЕРС додаткових фазних обмоток 22 (\vec{E}_{C2} , \vec{E}_{A2} , \vec{E}_{B2}) на 180 електричних градусів у позитивному напрямку внаслідок з'єднання у різноспрямованій послідовності) визначається за формулою: $\beta = 2 \cdot \varphi_{\phi} + 180 + \alpha_{el}$, де φ_{ϕ} - кут фазного кроку; α_{el} - кут зсуву. Для зображеного на Фіг.4 виконання $\varphi_{\phi}=240$, а $\alpha_{el}=0$ електричних градусів тоді:

$$\beta = 240 + 180 + 0 = 420 \text{ або } 420 - 360 = 60 \text{ електричних градусів.}$$

У разі з'єднання якірної обмотки зіркою виводи закінчень основних фазних обмоток 21 (X_1, Y_1, Z_1) з'єднані із одним спільним нульовим зажимом (на

кресленнях позначений 0) першої групи 24 вихідних зажимів генератора, а вивід закінчення (Z_2, X_2, Y_2) кожної із додаткових фазних обмоток 22 з'єднаний із окремим зажимом відповідної різнойменної фази (на кресленнях позначені А, В, С) першої групи 24 вихідних зажимів генератора. Модуль (величину) ЕРС будь-якої фази якірної обмотки (E_A, E_B, E_C) при куті $\beta \neq 0$ можна визначити за модулем геометричної суми відповідних векторів:

$$\vec{E}_A = \vec{E}_{A1} + \vec{E}_{C2}, \vec{E}_B = \vec{E}_{A1} + \vec{E}_{B2}, \vec{E}_C = \vec{E}_{C1} + \vec{E}_{B2}.$$

На векторній діаграмі фази А за Фіг.4 вектор \vec{E}_A зображений відрізком ас, вектор \vec{E}_{A1} зображений відрізком ab, вектор \vec{E}_{C2} зображений відрізком bc.

Третя позиція (Фіг.5) від першої позиції (Фіг.3) виконавчого блока комутаційного пристрою 23 відрізняється тим, що додаткові фазні обмотки 22 відключені і вивід початку (A_1, B_1, C_1) кожної з основних фазних обмоток 22 з'єднаний із зажимом відповідної однойменної фази (на кресленнях позначені А, В, С) першої групи 24 вихідних зажимів генератора. При цьому,

$$E_A = E_{A1}, E_B = E_{B1}, E_C = E_{C1} \text{ або } \vec{E}_A = \vec{E}_{A1}, \vec{E}_B = \vec{E}_{B1}, \vec{E}_C = \vec{E}_{C1}.$$

Четверта позиція (Фіг.6) відрізняється від другої позиції (Фіг.4) виконавчого блока комутаційного пристрою 23 тим, що основні фазні обмотки 21 з'єднані попарно із додатковими фазними обмотками 22 різнойменної фази (А, В, С) послідовно у односпрямованій послідовності. При цьому, обмотки 21, 22 однієї пари орієнтовані одна відносно іншої так, що кут β між векторами ЕРС, яка індукується у них (\vec{E}_{A1} та \vec{E}_{C2} , \vec{E}_{B1} та \vec{E}_{A2} , \vec{E}_{C1} та \vec{E}_{B2}), визначається за формулою: $\beta = 2 \cdot \varphi_{\phi} + \alpha_{el}$, де φ_{ϕ} - кут фазного кроку; α_{el} - кут зсуву. Для зображеного на Фіг.4 виконання $\varphi_{\phi}=240$, а $\alpha_{el}=0$ електричних градусів тоді: $\beta = 240 + 0 = 240$ електричних градусів або в іншому напрямку $240 - 360 = -120$ електричних градусів.

Вивід початку (C_2, A_2, B_2) кожної із додаткових фазних обмоток 22 з'єднаний із окремим зажимом відповідної різнойменної фази (на кресленнях позначені А, В, С) першої групи 24 вихідних зажимів генератора.

П'ята позиція (Фіг.7) від першої позиції (Фіг.3) виконавчого блока комутаційного пристрою 23 відрізняється тим, що основні фазні обмотки 21 з'єднані попарно із додатковими фазними обмотками 22 однойменної фази (А, В, С) послідовно у різноспрямованій послідовності. На кресленнях для спрощення зображення з'єднань додаткові фазні обмотки 22 показані умовно повернутими на 180 кутів градусів, хоча насправді при такому з'єднанні фактично повертаються тільки відповідні вектори ЕРС на 180 електричних градусів. При цьому, виходить, що обмотки 21, 22 однієї пари орієнтовані одна відносно іншої так, що кут β між векторами ЕРС, яка індукується у них (\vec{E}_{A1} та \vec{E}_{A2} , \vec{E}_{B1} та \vec{E}_{B2} , \vec{E}_{C1} та \vec{E}_{C2}), із врахуванням повороту векторів ЕРС додаткових фазних обмоток 22 (\vec{E}_{C2} , \vec{E}_{A2} , \vec{E}_{B2}) на 180 електричних градусів у позитивному напрямку внаслідок з'єднання у різноспрямованій послідовності) визначається за формулою: $\beta = 180 + \alpha_{el}$, де φ_{ϕ} - кут фазного кроку; α_{el} - кут зсуву.

Для зображеного на Фіг.4 виконання $u_{\phi}=240$, а $\alpha_{\phi}=0$ електричних градусів тоді:

$$\beta=180+0=180 \text{ електричних градусів.}$$

Вивід закінчення (X_2 , Y_2 , Z_2) кожної із додаткових фазних обмоток 22 з'єднаний із окремим зажимом відповідної однойменної фази (на кресленнях позначені А, В, С) першої групи 24 вихідних зажимів генератора.

Шоста позиція (Фіг.8) від першої позиції (Фіг.3) виконавчого блока комутаційного пристрою 23 відрізняється тим, що основні фазні обмотки 22 відключені і вивід початку (A_2 , B_2 , C_2) кожної із додаткових фазних обмоток 22 з'єднаний із зажимом відповідної однойменної фази (на кресленнях позначені А, В, С) першої групи 24 вихідних зажимів генератора. При цьому,

$$E_A=E_{A2}, E_B=E_{B2}, E_C=E_{C2} \text{ або } \bar{E}_A=\bar{E}_{\phi 2}, \bar{E}_B=\bar{E}_{B2}, \bar{E}_C=\bar{E}_{C2}.$$

Згідно із теоремою Косинусів - квадрат сторони трикутника дорівнює сумі квадратів двох інших сторін мінус подвоєний добуток цих сторін та косинуса кута між ними.

Виходячи з цього для трикутника «abc» на Фіг.4 можна записати формулу

$$b = \sqrt{c^2 + a^2 - 2 \cdot c \cdot a \cdot \cos \delta},$$

де $b=E_A$, $c \in A_1$, $a \in C_2=0,05$, $\delta=180^\circ-\beta=180^\circ-60=120^\circ$. Приймавши $c \in A_1=1$ та $\cos 120^\circ=-0,5$, одержимо

$$b = \sqrt{1 + a^2 + a}$$

Подібно для трикутника «abc» на Фіг.6, враховуючи, що $\cos 120^\circ=0,5$, можна одержати

$$b = \sqrt{1 + a^2 - a}$$

Результати розрахунку ЕРС фази якірної обмотки (E_A), яка виражена у долях від ЕРС основної фазної обмотки 21 (тобто E_{A1} прийнято за одиницю) при значеннях ЕРС додаткової фазної обмотки 22 (E_{A2} , E_{C2}), які виражені рядом: $0,05E_{A1}$; $0,10E_{A1}$; $0,15E_{A1}$; $0,20E_{A1}$; $0,25E_{A1}$; $0,30E_{A1}$; $0,35E_{A1}$; $0,40E_{A1}$; $0,45E_{A1}$; $0,50E_{A1}$; $0,55E_{A1}$; $0,60E_{A1}$; $0,65E_{A1}$; $0,70E_{A1}$; $0,75E_{A1}$; $0,80E_{A1}$; $0,85E_{A1}$; $0,90E_{A1}$; $0,95E_{A1}$; $1,00E_{A1}$, наведені у таблиці 1 та на діаграмах, які представлені на Фіг.9-12.

Таблиця 1.

Номер позиції (Номер Фіг.)	ЕРС фази якірної обмотки (E_A) у долях $E_{A1}=1$ при значеннях ЕРС додаткової фазної обмотки 22 (E_{A2} , E_{C2}), які виражені рядом:									
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
1(3)	1,05	1,10	1,15	1,20	1,25	1,30	1,35	1,40	1,45	1,50
2(4)	1,03	1,05	1,08	1,11	1,15	1,18	1,21	1,25	1,29	1,32
3(5)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
4(6)	0,98	0,95	0,93	0,92	0,90	0,89	0,88	0,87	0,87	0,87
5(7)	0,95	0,90	0,85	0,80	0,75	0,70	0,65	0,60	0,55	0,50
6(8)	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50
1(3)	1,55	1,60	1,65	1,70	1,75	1,80	1,85	1,90	1,95	2,00
2(4)	1,36	1,40	1,44	1,48	1,52	1,56	1,60	1,65	1,69	1,73
3(5)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
4(6)	0,87	0,87	0,88	0,89	0,90	0,92	0,93	0,95	0,98	1,00
6(8)	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00
5(7)	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,15	0,10	0,05	0,00

Результати розрахунку ЕРС фази якірної обмотки (E_A), яка виражена у долях від ЕРС основної фазної обмотки 21 (тобто E_{A1} прийнято за одиницю) при значеннях ЕРС додаткової фазної обмотки 22 (E_{A2} , E_{C2}), які виражені рядом: $20,00E_{A1}$; $10,00E_{A1}$; $6,67E_{A1}$; $5,00E_{A1}$; $4,00E_{A1}$; $3,33E_{A1}$;

$2,86E_{A1}$; $2,50E_{A1}$; $2,22E_{A1}$; $2,00E_{A1}$; $1,82E_{A1}$; $1,67E_{A1}$; $1,54E_{A1}$; $1,43E_{A1}$; $1,33E_{A1}$; $1,25E_{A1}$; $1,18E_{A1}$; $1,11E_{A1}$; $1,05E_{A1}$; $1,00E_{A1}$, наведені у таблиці 2 та на діаграмах, які представлені на Фіг.13-16. Причому при побудові діаграм за Фіг.13-16 виключений рядок даних стосовно шостої позиції (Фіг.8).

Таблиця 2.

Номер позиції (Номер Фіг.)	ЕРС фази якірної обмотки (E_A) у долях $E_{A1}=1$ при значеннях ЕРС додаткової фазної обмотки 22 (E_{A2} , E_{C2}), які виражені рядом:									
	20,00	10,00	6,67	5,00	4,00	3,33	2,86	2,50	2,22	2,00
1(3)	21,00	11,00	7,67	6,00	5,00	4,33	3,86	3,50	3,22	3,00
2(4)	20,52	10,54	7,22	5,57	4,58	3,93	3,47	3,12	2,86	2,65
6(8)	20,00	10,00	6,67	5,00	4,00	3,33	2,86	2,50	2,22	2,00
4(6)	19,52	9,54	6,23	4,58	3,61	2,96	2,51	2,18	1,93	1,73
5(7)	19,00	9,00	5,67	4,00	3,00	2,33	1,86	1,50	1,22	1,00
3(5)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
1(3)	2,82	2,67	2,54	2,43	2,33	2,25	2,18	2,11	2,05	2,00
2(4)	2,47	2,33	2,21	2,11	2,03	1,95	1,89	1,83	1,78	1,73
6(8)	1,82	1,67	1,54	1,43	1,33	1,25	1,18	1,11	1,05	1,00
4(6)	1,58	1,45	1,35	1,27	1,20	1,15	1,10	1,06	1,03	1,00
3(5)	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
5(7)	0,82	0,67	0,54	0,43	0,33	0,25	0,18	0,11	0,05	0,00

Із цих даних видно, що у діапазоні ЕРС додаткової фазної обмотки 22 (E_{A2} , E_{C2}) від $0,05E_{A1}$ до $0,25E_{A1}$ забезпечується по суті лінійна регульовальна характеристика при використанні перших п'яти позицій (Фіг.3-7) виконавчого блока комутаційного пристрою 23 та досить полого регульовальна характеристика (Фіг.9). У діапазоні ЕРС додаткової фазної обмотки 22 (E_{A2} , E_{C2}) від $20,00E_{A1}$ до $5,00E_{A1}$ також забезпечується по суті лінійна регульовальна характеристика при використанні першої (Фіг.3), другої (Фіг.4), четвертої (Фіг.6) та п'ятої (Фіг.7) позицій виконавчого блока комутаційного пристрою 23 та досить полого регульовальна характеристика (Фіг.13).

У діапазоні ЕРС додаткової фазної обмотки 22 (E_{A2} , E_{C2}) від $0,30E_{A1}$ до $0,45E_{A1}$ можливе використання усіх шести позицій виконавчого блока комутаційного пристрою 23, при цьому виражені відхилення від лінійності регульовальної характеристики, скачки ЕРС між позиціями збільшені, тобто нахил регульовальних характеристик збільшений (Фіг.10). У діапазоні ЕРС додаткової фазної обмотки 22 (E_{A2} , E_{C2}) від $20,00E_{A1}$ до $5,00E_{A1}$ також забезпечуються подібні регульовальні характеристики (Фіг.14) при використанні першої (Фіг.3), другої (Фіг.4), четвертої (Фіг.6), п'ятої (Фіг.7) та третьої (Фіг.5) позицій виконавчого блока комутаційного пристрою 23.

Для значення ЕРС додаткової фазної обмотки 22 (E_{A2} , E_{C2}) $0,50E_{A1}$ можливе використання 23 перших п'яти позицій виконавчого блока комутаційного пристрою 23 (Фіг.10). Для значення ЕРС додаткової фазної обмотки 22 (E_{A2} , E_{C2}) $2,00E_{A1}$ можливе використання 23 першої (Фіг.3), другої (Фіг.4), четвертої (Фіг.6) та п'ятої (Фіг.7) позицій виконавчого блока комутаційного пристрою 23 (Фіг.14).

У діапазоні ЕРС додаткової фазної обмотки 22 (E_{A2} , E_{C2}) від $0,55E_{A1}$ до $0,75E_{A1}$ також можливе використання усіх шести позицій виконавчого блока комутаційного пристрою 23, при цьому більше виражені відхилення від лінійності регульовальної характеристики, скачки ЕРС між позиціями стають ще більшими ніж на Фіг.10, тобто нахил регульовальних характеристик за Фіг.11 збільшується порівняно із Фіг.10. У діапазоні ЕРС додаткової фазної обмотки 22 (E_{A2} , E_{C2}) від $20,00E_{A1}$ до $5,00E_{A1}$ також забезпечуються подібні регульовальні характеристики (Фіг.15) при використанні першої (Фіг.3), другої (Фіг.4), п'ятої (Фіг.7), четвертої (Фіг.6), та третьої (Фіг.5) позицій виконавчого блока комутаційного пристрою 23.

Діапазон ЕРС додаткової фазної обмотки 22 (E_{A2} , E_{C2}) від $0,80E_{A1}$ до $1,00E_{A1}$ (Фіг.12) та діапазон від $1,25E_{A1}$ до $1,00E_{A1}$ (Фіг.12) мало придатні для регулювання ЕРС якірної обмотки.

Використання шостої позиції виконавчого блока комутаційного пристрою 23 потребує суттєвого ускладнення виконавчого блока комутаційного пристрою 23, тому доцільно використовувати тільки перші п'ять позицій. З огляду на це при побудові діаграм за Фіг.13-16 виключений рядок даних таблиці 2 стосовно шостої позиції (Фіг.8). Найпростіше реалізувати з'єднання трьохфазної якірної обмотки

(5, 8) зіркою, при цьому, найкраще виводи закінчень основних фазних обмоток з'єднати із нульовим зажимом генератора в обхід виконавчого блока комутаційного пристрою 23 так, як показано на Фіг.17.

У деяких випадках може бути корисним пристосувати генератор для забезпечення живлення двох мереж із різними номінальними електричними напругами, відносно високої напруги U та відносно низької $U_n < U$. Для цього вивід початку (A_1 , B_1 , C_1) кожної із основних фазних обмоток 21 з'єднаний (електричними лініями за Фіг.17) із зажимом відповідної однойменної фази (на кресленнях позначені A_n , B_n , C_n) другої групи 25 вихідних зажимів генератора. При чому, величина високої напруги U на першій групі 24 вихідних зажимів генератора (на кресленнях позначені A , B , C) та величина низької напруги U_n на другій групі 25 вихідних зажимів генератора (на кресленнях позначені A_n , B_n , C_n) можуть бути вибрані стандартними із ряду значень, наприклад, за ГОСТ 21128-83. У деяких випадках величини високої напруги U та низької напруги U_n можуть бути нестандартними. Основні фазні обмотки 21 можуть бути пристосовані для підтримання на другій групі 25 вихідних зажимів генератора A_n , B_n , C_n низької напруги, яка зазвичай необхідна, наприклад, для електричного зварювання чи інших апаратів, які потребують великих струмів при відносно низькій напрузі. При цьому, основні фазні обмотки 21 намотують із відносно товстого мідного дроту, діаметр поперечного перерізу якого суттєво більший за діаметр поперечного перерізу дроту додаткових фазних обмоток 22.

Система регулювання електрорушійної сили генератора може бути пристосована для підтримання на вихідних зажимах 24 та/або стабільної величини напруги або навпаки для зміни напруги у широкому діапазоні для живлення спеціальних електричних машин, апаратів чи приладів.

При $n=2$, або $n=3$ у багато разів збільшити кількість позицій виконавчого блока комутаційного пристрою 23. Наприклад, при використанні двох груп ($n=2$) додаткових фазних обмоток 22 можна додатково до описаних вище п'яти позицій за Фіг.3-7 забезпечити $4 \times 4 = 16$ додаткових позицій і загалом кількість позицій становитиме двадцять одна. Це може дозволити зменшити скачки ЕРС між позиціями (ступенями регулювання) і підвищити плавність (лінійність) регульовальної характеристики.

Автоматичний програмований комутаційний пристрій 27 (див. Фіг.18) включає в себе, щонайменше, один виконавчий блок 23 (див. Фіг.19), пристосований для використання при з'єднанні трьохфазної якірної обмотки (5, 8) зіркою за Фіг.17 та реалізації описаних вище перших п'яти позицій з'єднань (Фіг.3-7). Комутаційний пристрій 27 містить, щонайменше, один вимірювальний блок 28, пристосований, наприклад для вимірювання величини напруги на першій групі вихідних зажимів генератора 24 та формування на своєму виході 29 відповідного цифрового сигналу. Комутаційний пристрій 27 містить також програмований керую-

чий блок 30 та підсилювач 31. Вхід 32 керуючого блоку 30 підключений до виходу 29 вимірювального блоку 28, а вихід 33 підключений до виходу 34 підсилювача 31, до виходів 35 якого підключені паралельно з'єднані обмотки бістабільних (із двома стабільними позиціями реле при відсутності сигналу на обмотці реле) електромагнітних реле 36, 37, 38 виконавчого (комутаційного) блоку 23. Контактна група реле 36 пристосована для зміщення виводів початків A_1 , B_1 , C_1 основних фазних обмоток 21 і має по одному перемикаючому контакту 39 для кожної фази. Вивід початку кожної основної фазної обмотки 21 з'єднаний із входами двох перемикаючих контактів 39. Контактна група реле 37 пристосована для розривання/замикання лінії 40 кожної додаткової фазної обмотки 22 і замикання/розривання лінії 41 для підключення виводу початку кожної основної фазної обмотки 21 до відповідних вихідних зажимів генератора 24. Контактна група реле 37 має по два паралельних один одному нормально замкнутому замикаючому контакту 42 та нормально розімкнутому замикаючому контакту 43 для кожної фази. Входи замикаючих контактів 42, 43 з'єднані із виходом перемикаючого контакту 39 відповідної фази реле 36, а виходи - відповідно із лініями 40, 41. Лінія 41 підключена до відповідного вихідного зажиму генератора 24. Контактна група реле 38 пристосована для реверсу (зміни спрямування послідовного підключення) виводів початків A_2 , B_2 , C_2 , та виводів закінчень X_2 , Y_2 , Z_2 додаткових фазних обмоток 22 і має по два перемикаючих контактів 44, 45 для кожної фази. Кожний вивід основної фазної обмотки 21 з'єднаний із входами обох перемикаючих контактів 44, 45, вихід одного перемикаючого контакту 44 лінією 46 з'єднаний із лінією 41 чи безпосередньо із відповідним вихідним зажимом генератора 24 (на Фіг.19 зображена перша альтернатива), а вихід іншого перемикаючого контакту 45 підключений до лінії 40 і відповідно до виходу замикаючого контакту 42.

Автоматичний програмований комутаційний пристрій 27 за Фіг.20 включає в себе додатковий виконавчий (комутаційний) блок 47, пристосований для підключення/відключення, наприклад, трьох m -фазних блоків батарей конденсаторів 48, 49, 50 паралельно якійсь обмотці генератора. Виконавчий блок 47 відповідно до кількості блоків батарей конденсаторів 48, 49, 50 має три бістабільних електромагнітних реле 51, 52, 53 обмотки яких з'єднані паралельно і підключені до додаткових виходів 54 підсилювача 31. Контактна група кожного реле 51, 52, 53 має по одому замикаючому контакту 55 для кожної фази, який включений послідовно відповідній фазній батареї конденсаторів 48, 49, 50. Різне комбінування раніше описаних п'яти позицій виконавчого блоку 23 із трьома додатковими позиціями додаткового виконавчого (комутаційного) блоку 47 забезпечує $5 \times 3 = 15$ (п'ятнадцять) позицій комутаційного пристрою 27 і відповідно п'ятнадцять ступенів регулювання ЕРС якійсь обмотки генератора, що достатньо для підтримання стабі-

льної напруги на вихідних зажимах генератора 24 чи забезпечення будь-якої необхідної регульованої характеристики генератора, необхідної, наприклад, для досить плавного багатоступеневого змінювання напруги генератора у широкому діапазоні.

Спосіб використання запропонованого синхронного генератора очевидний із наведеного вище опису. Додатково необхідно зазначити таке.

У разі відхилення фактичних магнітних властивостей постійних магнітів магнітних полюсних елементів 19 від розрахункових магнітних властивостей, у процесі випробувань генератора внутрішній статор 7 встановлюють під таким геометричним кутом зсуву (α_g) до зовнішнього статора 4, щоб завдяки відповідному електричному куту зсуву α_{el} у режимі холостого ходу досягти заданого номінального значення електричної напруги на вихідних зажимах генератора 24 у заданій позиції виконавчого блоку 23 комутаційного пристрою 27. Такою позицією за Фіг.9, 10, 13, 14 може бути, наприклад, п'ята позиція за Фіг.7.

У процесі роботи генератора керуючий блок 30 постійно отримує від вимірювального блоку 28 цифровий сигнал, щодо поточної напруги на вихідних зажимах генератора. Керуючий блок 30 опрацьовує ці дані і визначає напрямок та швидкість зміни напруги та величину поточного відхилення напруги від номінального значення. Використовуючи занесені у пам'ять дані стосовно ступенів зміни ЕРС у різних позиціях виконавчих блоків 23, та 47, та дані стосовно поточної ситуації керуючий блок 30 визначає найбільш оптимальний момент часу та оптимальні позиції виконавчих блоків 23, та 47 і формує та посиляє відповідний цифровий керуючий сигнал на підсилювач 31. Підсилювач 31 відповідно до сигналу керуючого блоку 30 генерує на відповідних своїх виходах 35, 54 керуючі електричні імпульси достатньої потужності, які надходять на обмотки відповідних електромагнітних реле 36, 37, 38, 51, 52, 53. При подачі імпульсу відповідні електромагнітні реле 36, 37, 38, 51, 52, 53 переходять із поточної стабільної позиції у іншу позицію, яка зберігається до надходження наступного імпульсу. На кресленнях показаний найпростіший працездатний варіант виконання комутаційного пристрою 27. Однак, відповідним фахівцям не складе труднощів доповнити його засобами для контролю поточної позиції електромагнітні реле 36, 37, 38, 51, 52, 53, що дозволить керуючому блоку контролювати успішне виконання його команд і у разі збою негайно формувати новий керуючий й сигнал та надсилати його на підсилювач 31.

Цей опис дає фахівцю достатньо повні та зрозумілі відомості для реалізації винаходу у всьому обсязі правової охорони, який визначений формулою винаходу. Опис дає повне уявлення про переваги того, чи іншого розкритого у ньому варіанта виконання генератора, а також уявлення про можливі інші варіанти втілення винаходу.

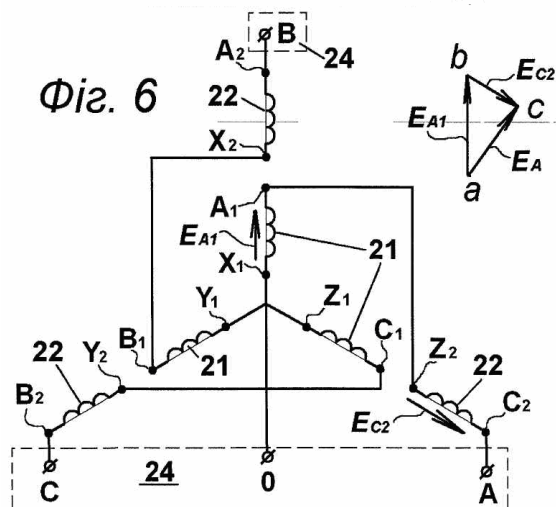
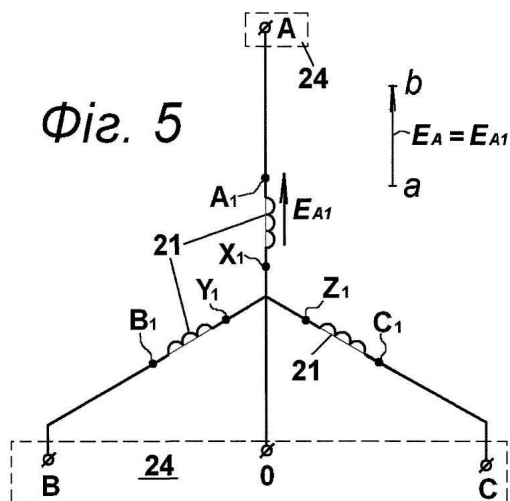
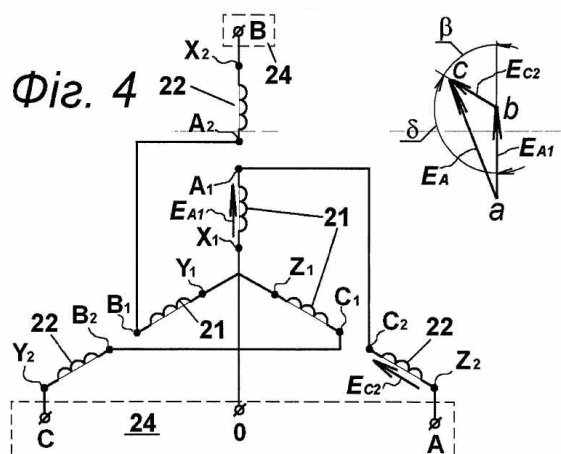
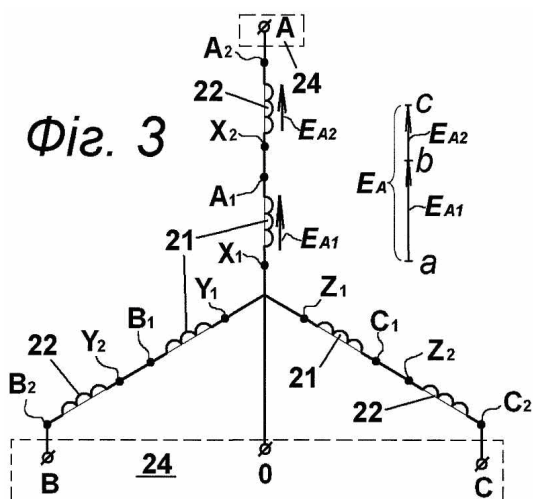
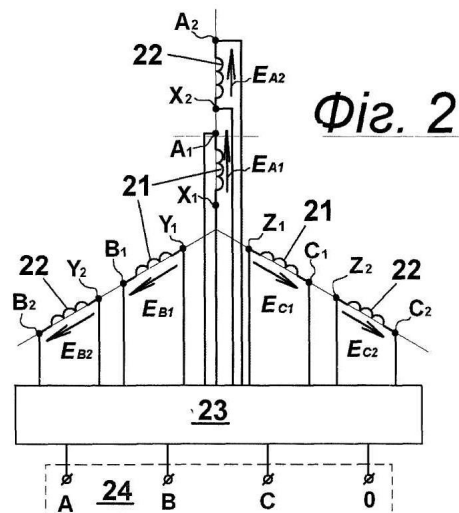
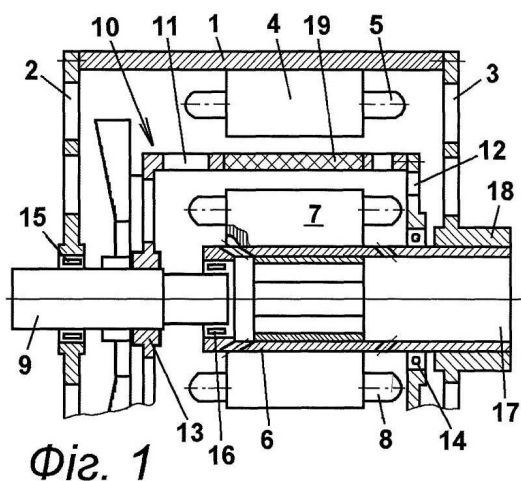
Джерела інформації:

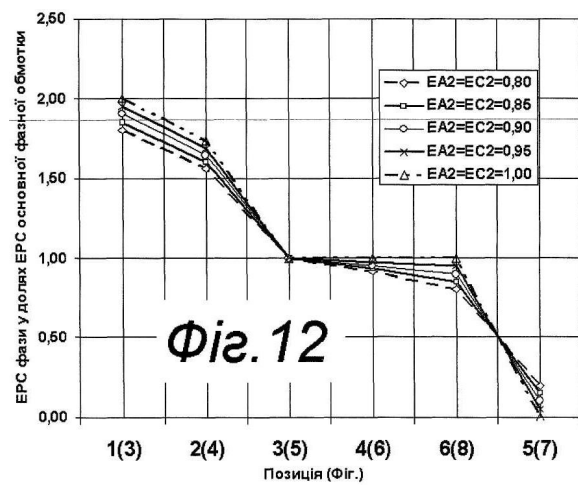
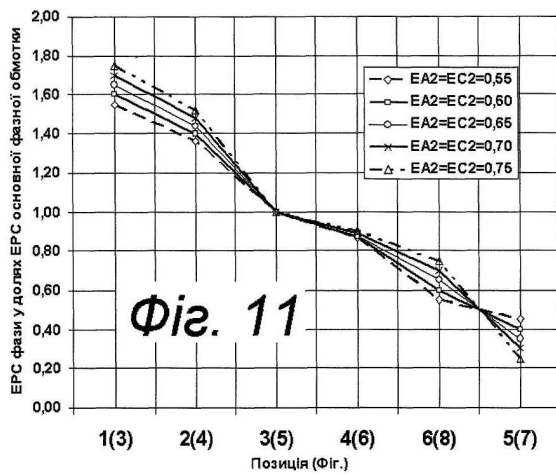
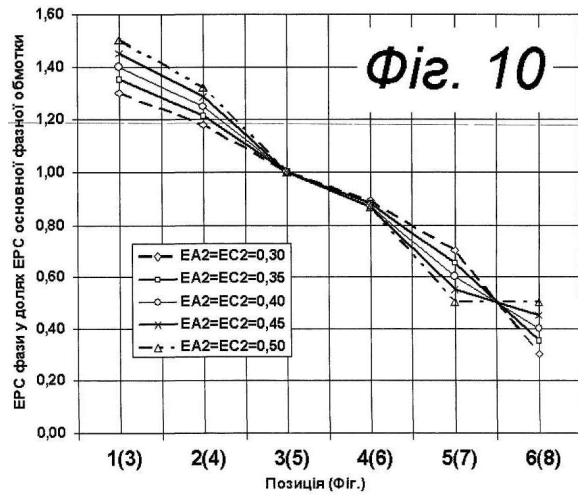
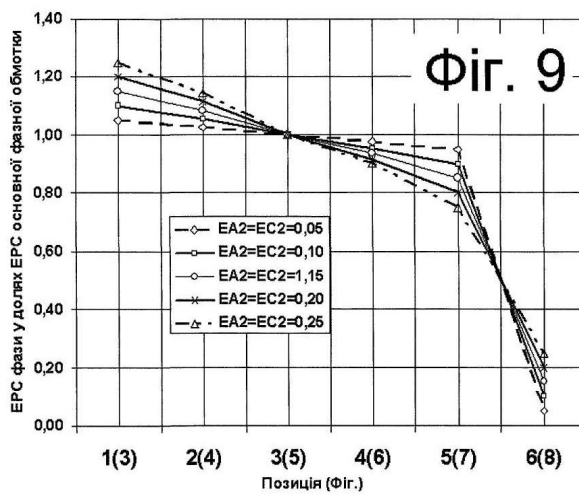
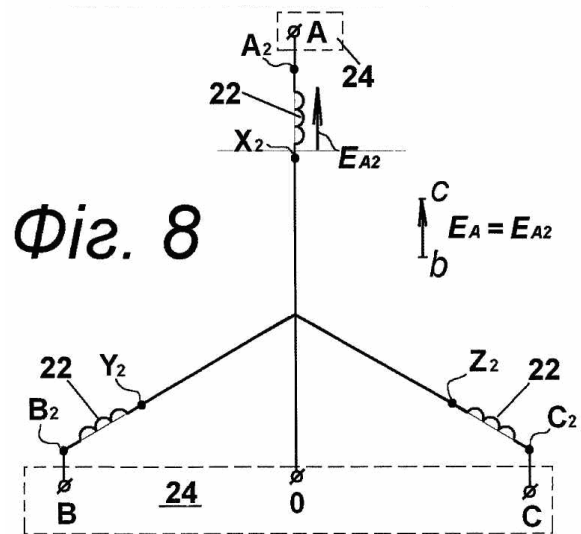
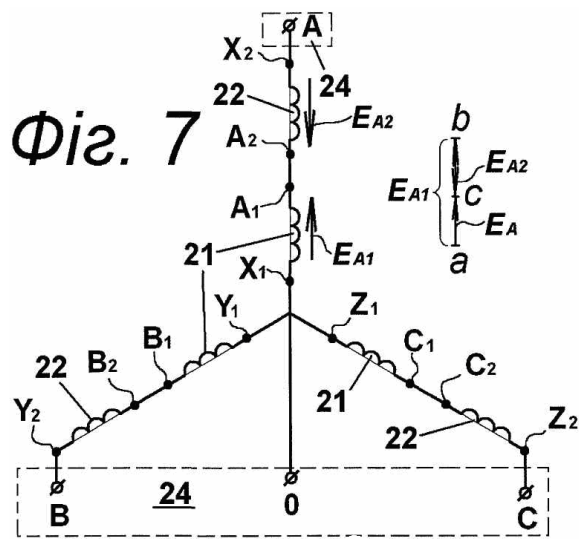
1. Вольдек А.И. Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. учебн. заведений. Изд 2-е, перераб. и доп. Л., «Энергия», 1974.

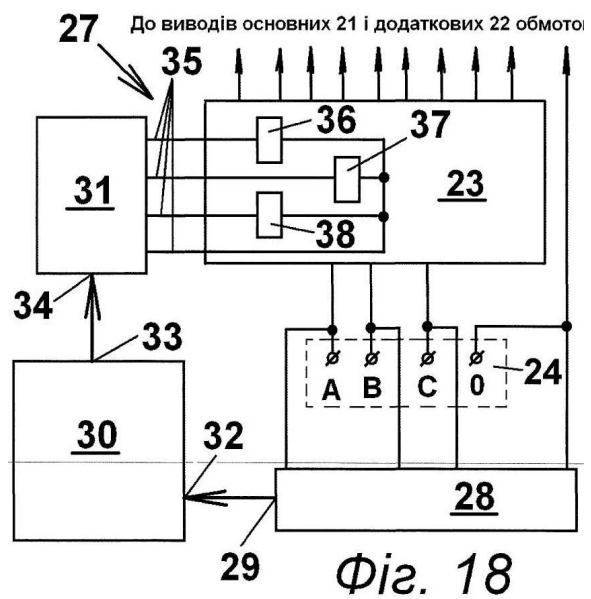
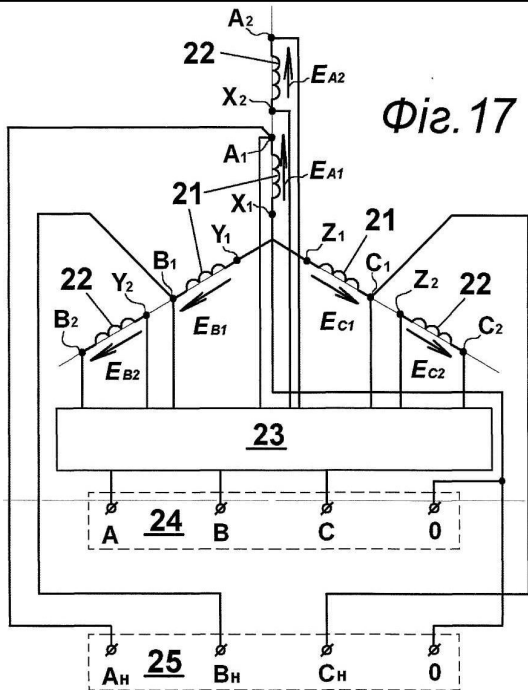
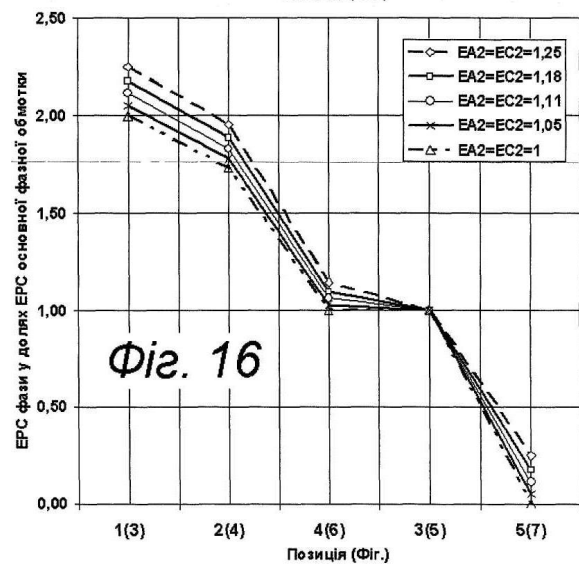
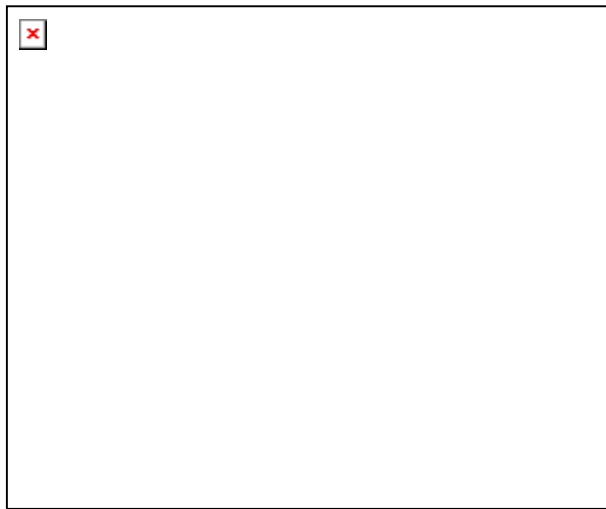
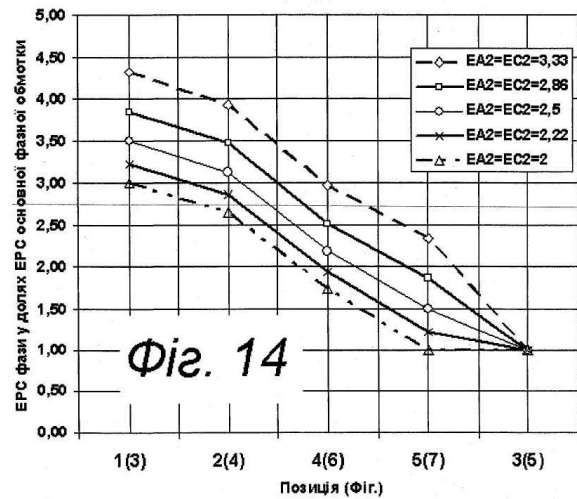
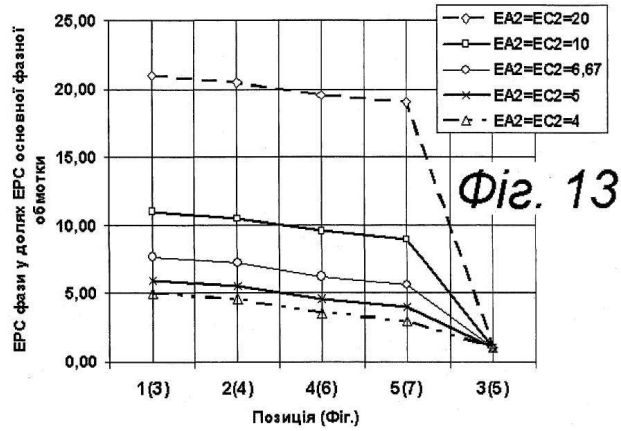
2. Лотоцкий К.В. Электрические машины и основы электропривода. М.: Изд-во «Колос», 1964.

3. SU 1136265 A, МПК: H02K21/16, 23.01.1985.

4. SU 1206905 A, МПК: H02K21/14, 23.01.1986.







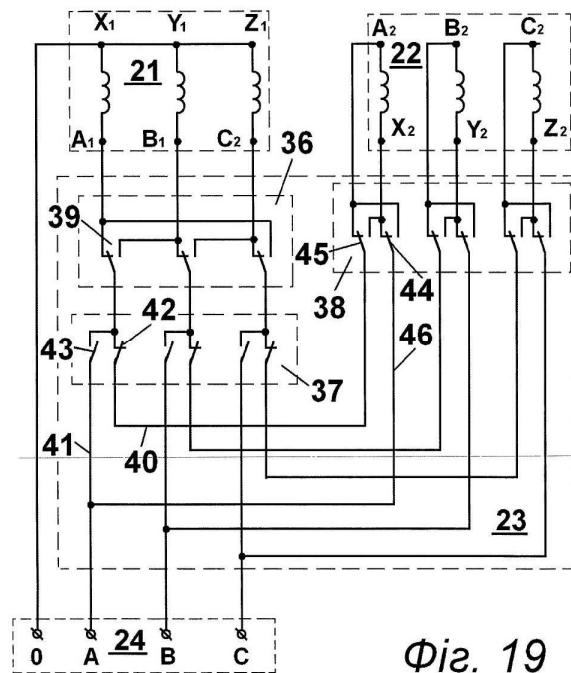


Fig. 19

