

1. Краткое введение.

Промышленная электротехника неизбежно связана с необходимостью обеспечения работы несимметричных нагрузок электрических сетей, значительно снижающих эффективность и качество эксплуатационных параметров установок.

Так как промышленная электротехника основана на классической электродинамике, объективно исторически содержащей противоречий

действительности принцип [1], что $\operatorname{div} \vec{B} = 0$ (1), то на практике применяют многочисленные трудоёмкие мероприятия и сложные приспособления для симметрирования нагрузок электрических сетей (соединения типа «зигзаг» и т.п.) и предотвращения аварийных ситуаций вследствие несимметричности режимов их работы [2].

Вместе с тем, самоочевидный вывод магнитодинамики [1] об электромагнитной индукции при изменении магнитного натяжения вблизи проводника во времени :

$$T = \frac{I}{2pr} \quad (2) \quad \frac{dT}{dt} = \frac{1}{2pr} \frac{dI}{dt} + \frac{I}{2pr^2} \frac{dr}{dt} \quad (3)$$

обращает внимание на принципиальную возможность решения задач симметрирования нагрузок с помощью конструктивного регулирования расстояний между взаимодействующими обмотками.

В традиционном электродинамическом анализе подобный вывод можно получить лишь путем длительных преобразований по избавлению из выражений самой величины силовой характеристики - магнитной напряженности H через многоэтапные замены переменных параметров, заранее зная на основании эмпирического закона Фарадея о существовании такой величины - электродвижущей силы электромагнитной индукции.

Для иллюстрации объективности наших выводов (2) и (3) рассмотрим несколько подобных примеров.

1-1. Зигзагообразная обмотка.

Как известно, взаимная индуктивность обмоток любых форм определяется их геометрическими размерами, взаимным расположением и ориентацией в пространстве, так что ЭДС индукции :

$$E = - \frac{d\Psi}{dt} \quad (4), \text{ где потокосцепление } \Psi = M_{21}i_1 \quad (5) \quad \text{Так}$$

как взаимная индуктивность $M_{21} = \mu\mu_0 \frac{l}{2p} \left(\ln \frac{2l}{x} - 1 \right)$ (6),

то при известном $i_1 = i_0 \sin(\omega t)$ (7) получаем зависимость ЭДС индукции в прямом проводе при изменении тока во втором (первичном) проводе на заданном расстоянии от первого :

$$E = \mu\mu_0 \frac{l}{2p} \left(\ln \frac{2l}{x} - 1 \right) \omega i_0 \sin \left(\omega t + \frac{p}{2} \right) \quad (8)$$

Если теперь разместить провод с индуцируемым током между двумя сторонами колена изогнутого первичного провода с током по (7), то и направления соответствующих ЭДС индукции во вторичном проводе противоположны друг

другу, что можно выразить уравнением: $E_{об} = E_1 - E_2$ (9).

Представим теперь системы таких колен двух изогнутых проводов в виде двух зигзагообразных обмоток, как это показано на рис. I-1-1, сечение которого плоскостью перпендикулярно чертежу представится на рис. I-1-2.

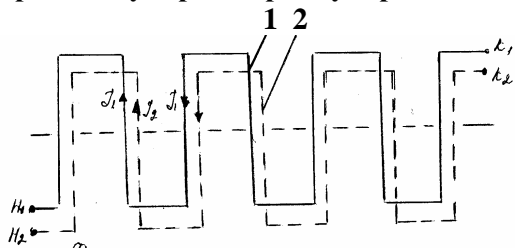


Рис. I-1-1

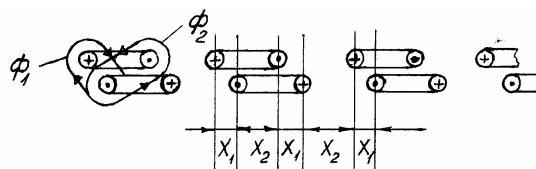


Рис. I-1-2

На этих рис. I-1-1 и рис. I-1-2 обозначены: H_1 и H_2 , K_1 и K_2 - начала и концы этих обмоток, X_1 и X_2 - относительные расстояния между сторонами их колен, а Φ_1 и Φ_2 соответствующие величины и направления общих магнитных потоков этих колен. Из этих соображений становится наглядно понятным принцип управления величиной и направлением ЭДС индукции с помощью изменения относительного расстояния между проводами, который является самоочевидным с позиций магнитодинамики [3].

Если теперь представить трёхфазную систему таких зигзагообразных обмоток, как на рис. I-1-3, то можно обнаружить ещё одну примечательную способность этого конструктивного исполнения - возможность создавать бегущее магнитное поле.

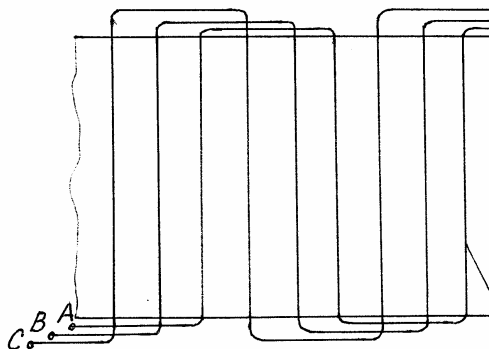


Рис. I-1-3

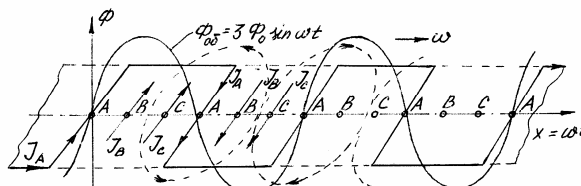


Рис. I-1-4

Действительно, если представить развертку поверхности с такой обмоткой в виде плоскости, изображенной на рис. I-1-4, то при сдвиге шага зигзага фазных обмоток А, В и С между собой на величину 1/3 шага зигзага величины фазных магнитных потоков можно выразить:

$$\Phi_A = \Phi_o \sin(wt) \quad (10-a)$$

$$\Phi_B = \Phi_o \sin(wt + 120^\circ - 120^\circ) \quad (10-b)$$

$$\Phi_C = \Phi_o \sin(wt + 240^\circ + 120^\circ) \quad (10-c)$$

Суммируя все эти три фазных магнитных потока в заданной точке, получим выражение общего трёхфазного магнитного потока такой зигзагообразной обмотки: $\Phi_{об} = 3\Phi_o \sin(wt)$ (10)

Так как координата амплитуды общего магнитного потока $x = wt$ (11), то такая трёхфазная зигзагообразная обмотка со сдвигом фаз на 1/3 шага зигзага образует общую бегущую в направлении порядка следования фаз волну

магнитного потока, амплитуда которого в три раза превышает амплитуду фазного потока данной обмотки. Таким образом, в отличие от известных и широко распространенных в промышленной электротехнике волновых и петлевых обмоток, которые образуют вращающиеся магнитные потоки, зигзагообразная обмотка образует бегущую по поверхности самой обмотки волну магнитного поля [3]. Рассмотрим ряд конкретных технических решений, практически подтверждающих изложенные выше по п. I-1 выводы.

II. Магнитодинамические аппараты.

II-1. Трёхфазно – трёхфазный симметрирующий трансформатор по заявке № 93034018 / 07 Роспатента [4].

Изобретение предназначено для распределения всех фаз нагрузки по первичным фазам сети в соотношении 1 : 1 : 1 и позволяет осуществлять электропитание разнородных нагрузок трёхфазных сетей.

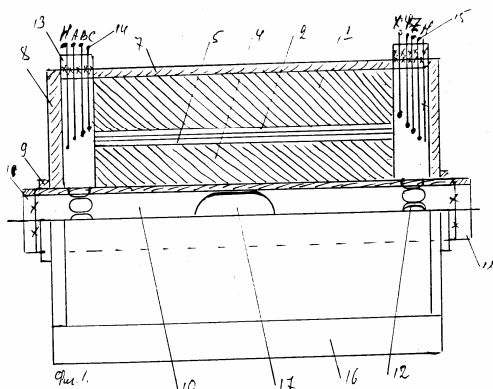


Рис. II-1-1.

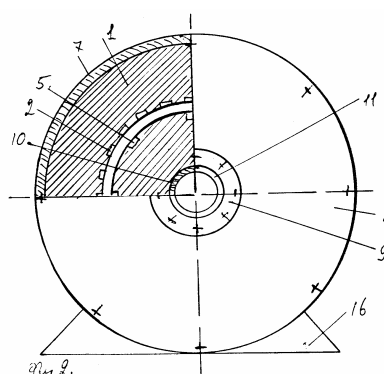


Рис. II-1-2.

На приведенных выше рис. II-1-1 и рис. II-1-2 показаны виды трансформатора сбоку и с торца с $\frac{1}{4}$ выреза радиальными плоскостями, позволяющие увидеть все конструктивные особенности изобретения. Трансформатор состоит из статора 1 с пазами 2, в которые вложена первичная трёхфазная зигзагообразная обмотка 3 со сдвигом фаз относительно друг друга на $\frac{1}{3}$ шага зигзага по описанному выше на рис. I-3 и рис. I-4, и неподвижного ротора 4 с пазами 5, в которые вложена вторичная трёхфазная зигзагообразная обмотка 6 со сдвигом фаз относительно друг друга на $\frac{1}{3}$ шага зигзага аналогично обмотке 3 статора 1.

Магнитопровод 7 трансформатора снабжен торцевыми крышками 8, которые упорами 9 закреплены на осевой трубе 10 со штуцерами 11 и отверстиями 12, выходящими в каналы между магнитопроводом 7 и крышками 8 с электроизолирующими пробками 13 с выводами 14 и 15 от начал и концов фаз обмотки 3 статора 1 и обмотки 6 неподвижного ротора 4. Трансформатор в сборе укреплен на станине 16, и в трубе 10 размещен масляный насос – задвижка 17 магнитодинамического типа [5] системы охлаждения трансформатора.

При включении электропитания первичной обмотки 3 она в соответствии с выводом (10) образует по внутренней поверхности статора 1 и внешней поверхности неподвижного ротора 4 бегущую волну магнитного поля, которая индуцирует во вторичной обмотке 6 вторичный ток, распределенный по первичным фазам сети в соотношении 1 : 1 : 1 независимо от режима работы и характера нагрузки. Ясно также, что при необходимости обмотку 6 неподвижного ротора 4 такого симметрирующего трансформатора можно исполнить однофазной, что приведёт к упрощению конструкции для трёхфазно – однофазного симметрирования.

II-2. Измерительный многопредельный трансформатор по заявке № 5034586 / 07 Роспатента [3].

Изобретение предназначено для расширения пределов измерения измерительных механизмов в измерительных цепях переменного тока и основано на нашем выводе (9).

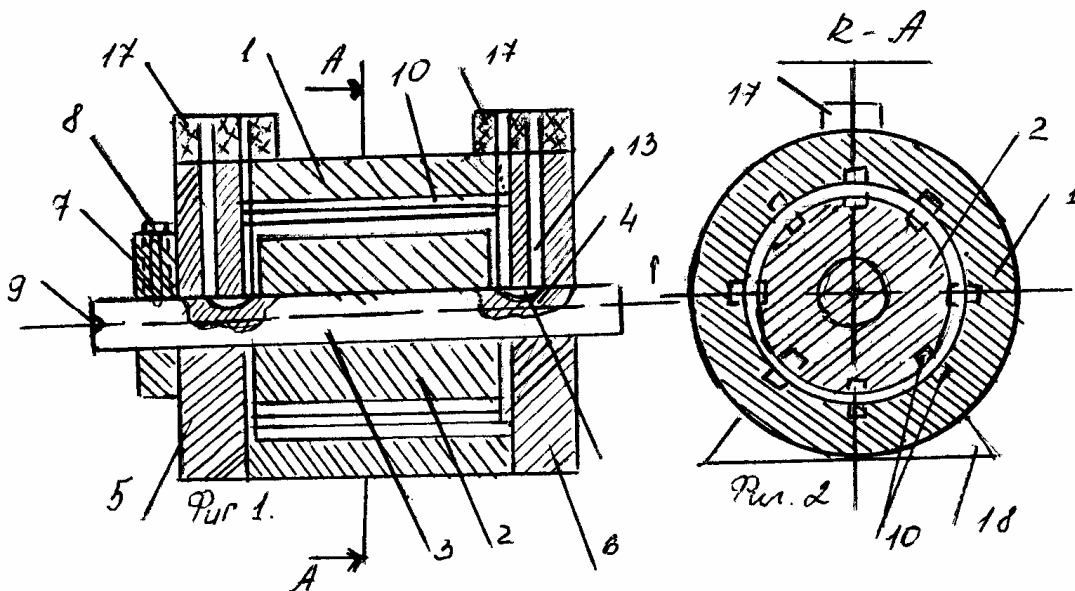


Рис. II-2-1. (Фиг. 1 по [3] на стр. 163)

Рис. II-2-2. (Фиг. 2 по [3] на стр. 163)

На рис. II-2-1 показан разрез трансформатора осевой плоскостью, а на рис. II-2-2 - разрез рис. II-2-1 по А - А. Трансформатор содержит неподвижный статор 1 и подвижный ротор 2 на валу 3 в подшипниках 4, размещенных в торцовых крышках 5 и 6 с фиксирующим устройством из кронштейна 7, винта 8 и шлица 9 на валу 3. В пазах 10 статора 1 и ротора 2 уложены первичная 11 и вторичная 12 зигзагообразные обмотки с равными шагами зигзагов и выводами по сверлениям 13 и 14 к клеммам 15 и 16 на электроизолирующих колодках 17. Трансформатор в сборе размещен на станине 18.

При включении переменного однофазного напряжения на первичную обмотку 11 во вторичной обмотке 12 индуцируется ЭДС в соответствии с уравнением (9), величина которой определяется относительными расстояниями между коленами зигзагов обмоток 11 и 12, регулируемые с помощью фиксирующего устройства по заданным условиям эксплуатации.

II-3. Автoreгулятор магнитодинамический по заявке № 5012562 / 07 Роспатента [3].

Изобретение также основано на нашем выводе (9) и предназначено для автоматической подстройки источника электропитания к его нагрузке при независимом изменении режима её работы. На рис. II-3-1, рис. II-3-2 и рис. II-3-3 показаны соответственно вид с торца автoreгулятора со стороны фиксирующего устройства, продольный и поперечный разрезы диаметральными плоскостями. Автoreгулятор состоит из неподвижного статора 1 и подвижного ротора 2 на валу 3 в подшипниках 4 торцовых крышек 5 и 6. На крышке 5 укреплено фиксирующее устройство из спиральной пружины 7 и винта 8 в канавке 9 крышки 5. Статор 1 и ротор 2 имеют продольные пазы 10, в которые уложены первичная 11 и вторичная 12 однофазные или трёхфазные зигзагообразные обмотки с равными шагами зигзагов. Выводы обмоток 11 и 12 по сверлениям 13 и каналам 14 в торцовых

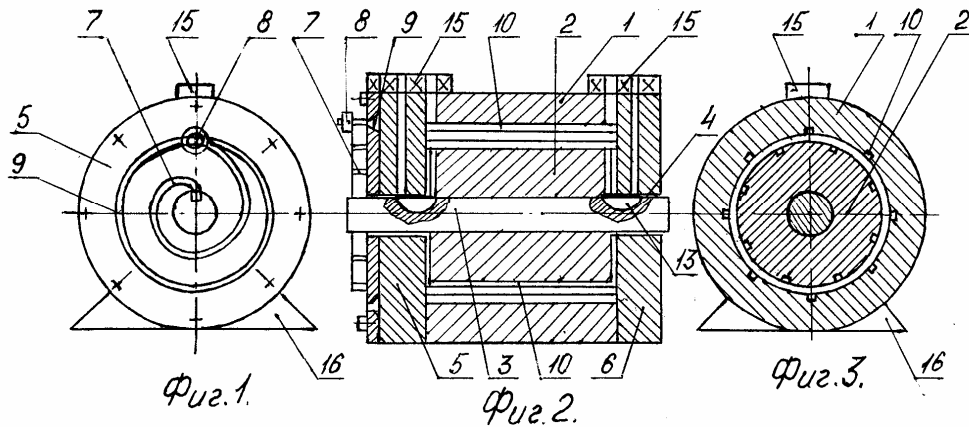


Рис. II-3-1. (Фиг. 1 по [3], с. 152) Рис. II-3-2. (Фиг. 2 по [3], с. 152) Рис. II-3-3. (Фиг. 3 по [3], с. 152)

крышках 5 и 6 подведены к клеммам на электризирующих колодках 15. Автoreгулятор в сборе размещен на станине 16.

При включении электропитания первичной обмотки 11 во вторичной обмотке 12 индуцируется ЭДС, величина которой в соответствии с уравнением (9) определяется относительными расстояниями колен зигзагов обмоток 11 и 12, устанавливаемым фиксирующим устройством с пружиной 7 заданной положением винта 8 в канавке 9 упругости. При изменении нагрузки вторичной обмотки соответственно изменяется электромеханическое взаимодействие обмоток 11 и 12, компенсируясь реакцией пружины 7 в установленных пределах её упругости.

III. Магнитодинамические машины.

III-1. Магнитодинамический асинхронный двигатель по заявке № 5003579 / 07 Роспатента [3].

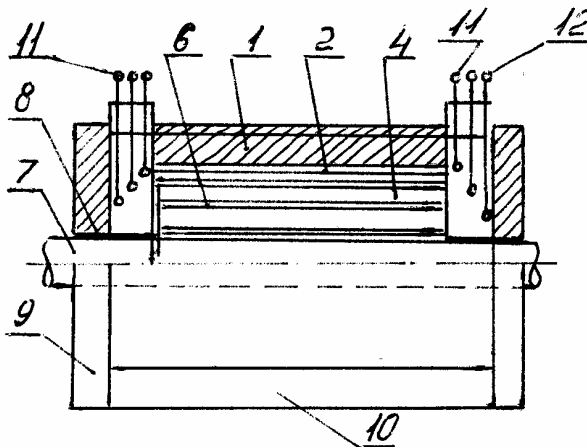


Рис. III-1-1. (Фиг. 1 по [3], с. 183)

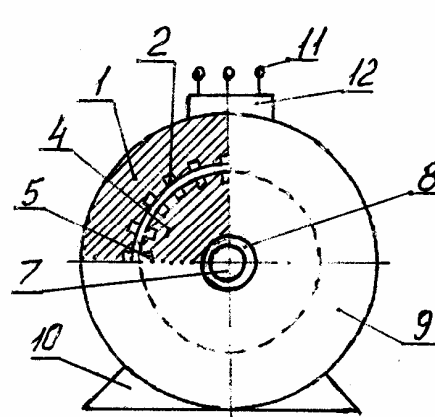


Рис. III-1-2. (Фиг. 2 по [3], с. 183)

На рис. III-1-1 и рис. III-1-2 показаны вид сбоку и вид с торца с $\frac{1}{4}$ выреза радиальными плоскостями двигателя. Двигатель состоит из статора 1, в пазах 2 которого уложена зигзагообразная трёхфазная обмотка 3, и ротора 4, в пазах 5 которого уложена короткозамкнутая обмотка 6. Ротор 4 размещен на валу 7 в подшипниках 8 торцовых крышек 9. Двигатель в сборе укреплен на станине 10. Выводы 11 обмотки 3 укреплены к клеммам на электризирующих колодках 12. Работа двигателя основана на нашем выводе (10), поэтому он обладает повышенной устойчивостью работы при перегрузках в различных режимах.

Действительно, так как при включении электропитания обмотки 3 статора 1 по его внутренней поверхности образуется бегущая волна магнитного поля, то она индуцирует и увлекает за собой вторичные короткозамкнутые токи в обмотке 6 ротора 4, предотвращая образование тормозного момента при перегрузке вследствие отсутствия вращающегося магнитного потока в магнитопроводе двигателя.

III-2. Экранная электромашина по заявке № 5044431 / 07 Роспатента [3].

Экранная электромашина основана на наших выводах (9) и (10) и позволяет улучшить массово-габаритные показатели электромашин.

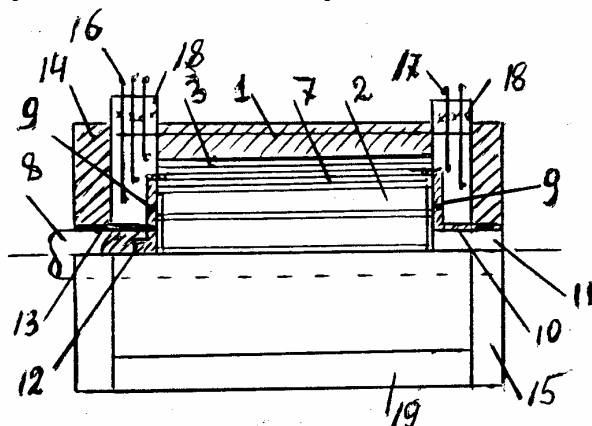


Рис. III-2-1

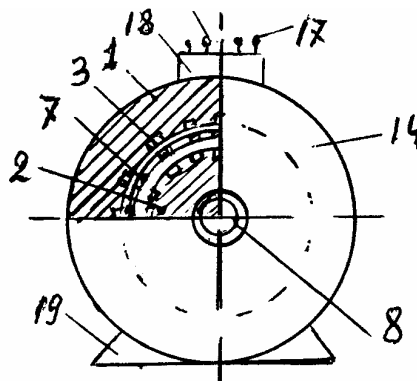


Рис. III-2-2

На рис. III-2-1 и рис. III-2-2 показаны вид электромашин сбоку и вид с торца с $\frac{1}{4}$ выреза радиальными плоскостями. На рис. III-2-3 и рис. III-2-4 показаны соответственно вид с торца подвижного экрана и принципиальная электросхема электромашин.

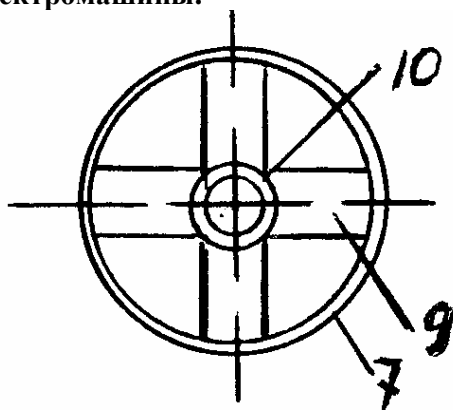


Рис. III-2-3

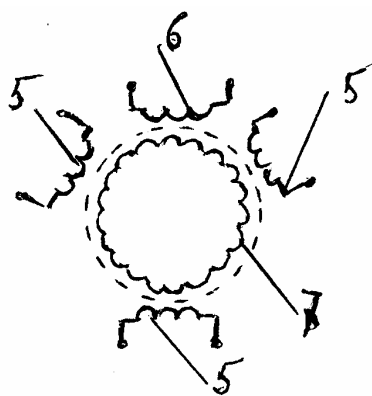


Рис. III-2-4

Электромашина состоит из неподвижных статора 1 и ротора 2, на которых в пазах 3 проводниками 4 выполнены зигзагообразными с равными шагами зигзагов трёхфазная обмотка 5 статора 1 и однофазная обмотка возбуждения 6 ротора 2. Между поверхностями статора 1 и ротора 2 с обмотками 5 и 6 размещена короткозамкнутая в виде «белчьего колеса» экранная обмотка 7 на валу 8 с помощью спиц 9 и втулки 10 на валу 11 в подшипниках 12 и 13 торцовых крышек 14 и 15. Выводы 16 и 17 обмоток 5 и 6 на электроизолирующих клеммных колодках 18 присоединены к электросети по заданной схеме. Электромашина в сборе установлена на станине 19.

При вращении вала 11 от первичного двигателя в поле обмотки возбуждения 6 экранная обмотка 7 своим короткозамкнутым током создаёт переменное магнитное поле, которое индуцирует в обмотке 5 ЭДС, образуя на выходе статора трёхфазное напряжение генератора. При подаче на клеммы статорной обмотки 5 трёхфазного напряжения её фазные токи, взаимодействуя с токами обмотки 6 возбуждения, индуцируют в экранной обмотке 7 короткозамкнутый ток, увлекают его за своим движением в соответствии с порядком следования фаз напряжения на статорной обмотке 5 и создают на валу вращательный момент двигателя. В итоге использование экранной обмотки 7 позволяет предотвратить применение скользящих контактов в цепи возбуждения электромашины.

III-3. Электромагнитный редуктор по заявке № 4785783 / 07 Роспатента [3].

Редуктор является генератором – двигателем, в основу работы которых положены наши выводы (9) и (10), уже использованные в выше описанных примерах. Редуктор предназначен для передачи вращательного движения с регулировкой скорости и вращающего момента в широких диапазонах при неизменных скоростях и моменте ведущего вала.

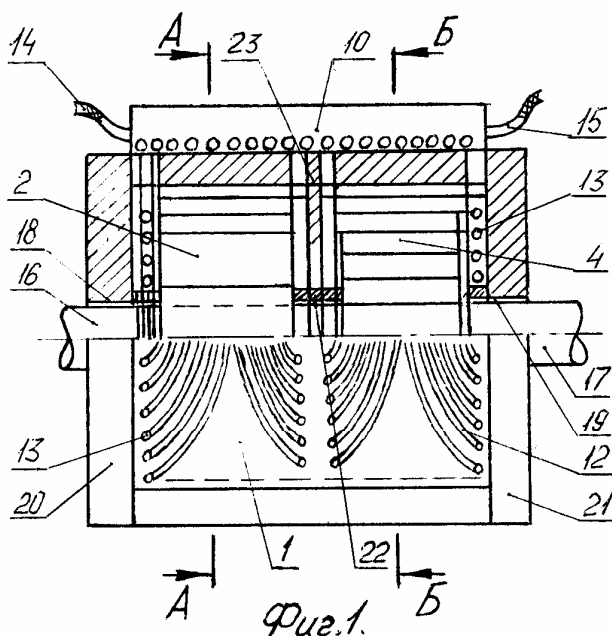


Рис. III-3-1 (Фиг.1 по[3], с.181)

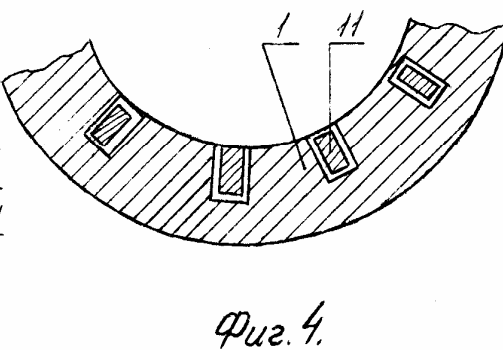


Рис. III-3-2 (Фиг.4 по[3], с.181)

На рис. III-3-1 показан вид редуктора сбоку с $\frac{1}{4}$ выреза радиальными плоскостями, на рис. III-3-2 показана схема размещения стержней-полюсов в пазах статора, на рис. III-3-3 и на рис. III-3-4 показаны поперечные разрезы редуктора по А – А (генератора) и по Б – Б (двигателя) соответственно.

Редуктор состоит из синхронного генератора со статором 1 и индуктором 2 и асинхронного двигателя со статором 3 и ротором 4, размещенных соосно в общем корпусе. Обмотка 5 через выпрямитель 6 и резистор 7 индуктора 2 соединена с помощью контактных колец 8 и щеток 9 с генераторным выходом на переключателе 10 галетной конструкции. Обмотки статора 1 генератора и статора 3 двигателя выполнены многофазными зигзагообразными из стержней 11 с выводами 12 через отверстия 13 в статорах 1 и 3 с возможностью переключения числа фаз с помощью переключателей 10 с рукоятками

переключения 14 и 15 независимо друг от друга. (Схемы подключения выпрямителя 6 с резистором 7, контактных колец 8 и щеток 9, переключателей 10 пакетного типа, являясь типовыми, на приведенных чертежах не показаны).

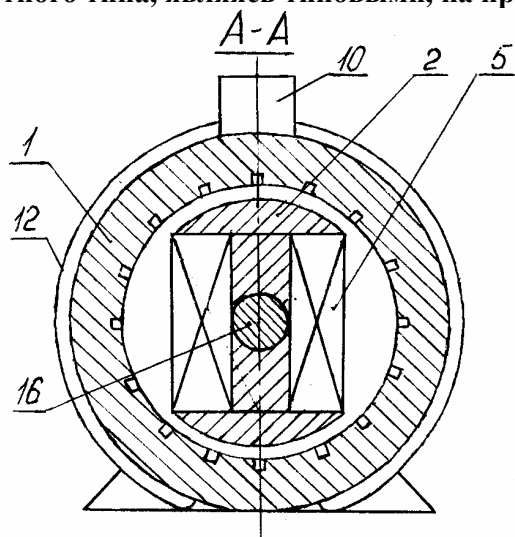


Рис.Ш-3-3 (Фиг.2 по[3], с.181)

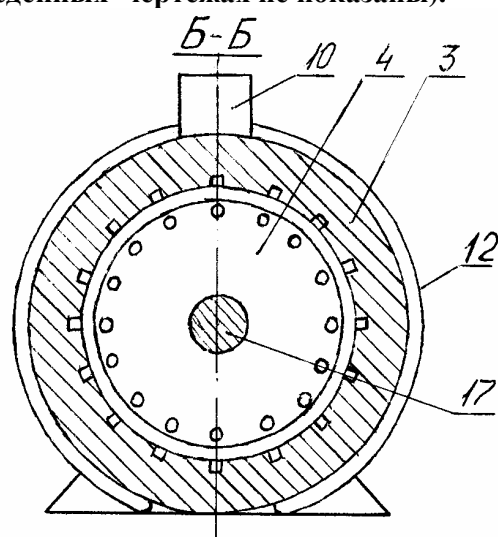


Рис.Ш-3-4 (Фиг.3 по [3], с.181)

Ведущий вал 16 индуктора 2 генератора и ведомый вал 17 ротора 4 двигателя установлены соосно в подшипниках 18 и 19 в торцовых крышках 20 и 21 и в подшипнике 22 перегородки 23 между статорами 1 и 3.

При вращении первичного двигателя вращается ведущий вал 16 с индуктором 5, создавая на выходе генератора многофазное напряжение, число фаз которого определяется положением рукоятки 14 переключателя 10. Напряжение генератора подводится к обмотке статора 3 двигателя, образуя по его поверхности бегущую волну магнитного поля, индуцирующего в короткозамкнутой обмотке ротора 4 вторичные токи, увлекая его за своим движением. Так как число фаз обмотки статора 3 определяется положением рукоятки 15 переключателя 10, то этим обстоятельством обеспечивается независимая регулировка скорости вращения и момента на ведомом валу 17.

Таким образом, описанные выше примеры, число которых можно увеличивать по конкретным техническим заданиям, изобретений с использованием зигзагообразных обмоток достаточно убедительно показывают высокую эффективность этого нового конструктивного решения на основе магнитодинамики.

Литература:

- 1.Вертинский П.А. К вопросу о полноте аксиоматики физических теорий // Вестник ИРО АН ВШ РФ № 1(4) , БГУЭП, Иркутск , 2004,стр.126 – 149.
- 2.Шидловский А. К., Борисов Б. Д. Симметрирование однофазных и двухфазных электротехнологических нагрузок (установок). Киев, «Наукова думка». 1977,стр. 34 и далее и др.
- 3.Вертинский П.А. I. Магнитодинамика, г. Усолье-Сибирское,1993 ,222 с.
- 4.Вертинский П.А. Трёхфазно-трёхфазный симметрирующий трансформатор // ИЛ № 3 – 93 ЦНТИ, Иркутск, 1993.
5. Вертинский П.А. Перистальтический насос// Патент № 1657737 РФ, БИ № 23/1991.