POCCINICKASI DELLEPALLINS



路路路路路

母

安路路

安安农农

母

母

路路

母

母

母

母

母

母

路路

母

路路

斑

斑

母

路路

母

母

松

母

松

松

安

斑

斑

斑

斑

斑

斑

母

松

HATEHT

на изобретение

№ 2440652

СПОСОБ СОЕДИНЕНИЯ ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Патентообладатель(ли): Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики" (RU)

Автор(ы): Губанов Николай Николаевич (RU)

Заявка № 2010132018

Приоритет изобретения 29 июля 2010 г.

Зарегистрировано в Государственном реестре изобретений Российской Федерации **20** января **2012** г.

Срок действия патента истекает 29 июля 2030 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам

Deceny

Б.П. Симонов



路路路路路

路路

母

母

松

斑

斑

路路

母

路

母

斑

松

母

母

母

母

盎

母

斑

松

斑

母

斑

母

母

斑

母

斑

母

盘

盘

斑

盘



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2010132018/07, 29.07.2010

(24) Дата начала отсчета срока действия патента: **29.07.2010**

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.07.2010

(45) Опубликовано: 20.01.2012 Бюл. № 2

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. - М.: Высшая школа. 1978, с.241. SU 1629942 A1, 23.02.1991. SU 514390 A1, 15.05.1976. SU 862312 A1, 07.09.1981.

Адрес для переписки:

197101, Санкт-Петербург, Кронверский пр., 49, ГОУВПО, "СПбГУ ИТМО", ОИС и НТИ

(72) Автор(ы):

Губанов Николай Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики" (RU)

(54) СПОСОБ СОЕДИНЕНИЯ ТРЕХФАЗНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

(57) Реферат:

S

ဖ

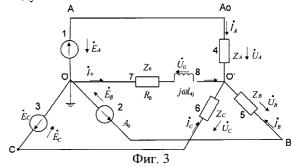
0

4

4

2

Изобретение относится к электротехнике и может быть использовано при подключении «энергосберегающих ламп», соединяемых в соединение звезда с нулевым проводом. Технический результат заключается расширении функциональных возможностей уменьшении тока в нулевом проводе до нуля, обеспечении синусоидальной формы тока в нулевом проводе; переходе расходуемой в нулевом проводе мощности нагрузку «энергосберегающих ламп». Способ соединения трехфазных электрических цепей включает соединение, по крайней мере, одного трехфазного источника энергии и, по крайней мере, одной нагрузки, соединенных звездой с нулевым проводом, при этом общую точку звезды нагрузки соединяют с общей точкой звезды источника энергии последовательно соединенными активным сопротивлением Ro и индуктивностью Lo. 3 ил.



RU 2440652

റ

Стр.: 1

4

FEDERAL SERVICE FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl. **H02J 1/08** (2006.01)

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21)(22) Application: **2010132018/07**, **29.07.2010**

(24) Effective date for property rights: 29.07.2010

Priority:

(22) Date of filing: 29.07.2010

(45) Date of publication: 20.01.2012 Bull. 2

Mail address:

197101, Sankt-Peterburg, Kronverskij pr., 49, GOUVPO, "SPbGU ITMO", OIS i NTI

(72) Inventor(s):

Gubanov Nikolaj Nikolaevich (RU)

(73) Proprietor(s):

Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovanija "Sankt-Peterburgskij gosudarstvennyj universitet informatsionnykh tekhnologij, mekhaniki i optiki" (RU)

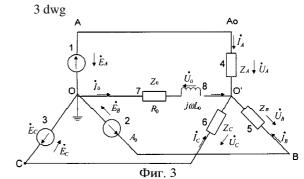
(54) METHOD TO CONNECT THREE-PHASE ELECTRIC CIRCUITS

(57) Abstract:

FIELD: electricity.

SUBSTANCE: method to connect three-phase electric circuits includes connection of at least one three-phase source of energy and at least one load connected as star with a zero wire, at the same time the common point of the load star is connected to the common point of the energy source star by serially connected active resistance Ro and inductance Lo.

EFFECT: expansion of functional capabilities, reduction of current in a zero wire down to zero, provision of sinusoidal shape of current in the zero wire, transition of capacity spent in the zero wire into load of energy-saving lamps.



2

Изобретение относится к электротехнике и может быть использовано при подключении «энергосберегающих ламп», соединяемых в соединение звезда с нулевым проводом.

Принятое решение о переходе от использования вместо ламп накаливания «энергосберегающих ламп» ставит целый ряд вопросов, требующих дополнительных исследований, с получением на них точных теоретических ответов. Требуется получить ответы о влиянии на трехфазные источники энергии следующих возможных соединений: равномерная и неравномерная нагрузка трехфазной цепи «энергосберегающими лампами; смешенная нагрузка трехфазной цепи «энергосберегающими лампами» и лампами накаливания. Второй режим особенно важен на этапе перехода от одних устройств светоотдачи к другим. Третья важнейшая задача состоит в совместимости предлагаемого устройства с применяемыми в настоящее время в энергетике аналогами.

Известен способ соединения трехфазных электрических цепей (заявка РФ на изобретение №2001131933/09, Н02Ј 3/00, опубл. 20.07.2003), включающий (2+п) трехфазных обмоток, соединенных каждая в звезду. В общей точке объединяют выводы разноименных фаз разноименных цепей. К недостатку подобного соединения следует отнести то, что ток в общей точке может иметь значительную величину, несинусоидальную форму, которая оказывает влияние на напряжение и токи всех (2+п) обмоток, что приводит к потерям мощности.

15

Наиболее близким и выбранным в качестве прототипа является способ соединения трехфазных электрических цепей, рассмотренный в работе (Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. Высшая школа. М, 1978, стр.241, рис.10), в котором трехфазный источник энергии соединен сопротивлением с нулевой точкой звезды нагрузки.

К недостаткам прототипа следует отнести форму и величину тока в нулевом проводе и соответственно расход активной мощности в нулевом проводе.

Заявляемый способ соединения в трехфазных электрических цепях решает следующие задачи: обеспечивает возможность уменьшения тока в нулевом проводе до нуля, формирует синусоидальную форму тока в нулевом проводе, увеличивает полное энергосбережение.

Указанная задача решается, когда реализуется способ соединения трехфазных цепей, включающий соединение по крайней мере одного трехфазного источника энергии и по крайней мере одной нагрузки, соединенных звездой с нулевым проводом, при этом общую точку звезды нагрузки соединяют с общей точкой звезды источника энергии последовательно соединенными активным сопротивлением Ro и индуктивностью Lo.

Сущность заявляемого способа поясняется чертежами, где на Фиг.1 представлена схема трехфазной цепи, являющаяся прототипом; на Фиг.2 представлена векторная диаграмма; Фиг.3 представляет предлагаемую схему соединения трехфазных цепей.

Рассмотрим соединение звезда-звезда с нулевым проводом (Фиг.1). Анализ трехфазной электрической цепи выполним методом комплексных амплитуд. Сопротивления Z_A , Z_B , Z_C фаз A, B, C нагрузки равны, т.е. нагрузка равномерная; эдс фаз генератора $\dot{\mathbf{E}}_{\mathtt{A}_0} = \mathbf{E}_{\mathtt{m}} \mathrm{e}^{\mathrm{j} \mathrm{i} \mathrm{o}}$, $\dot{\mathbf{E}}_{\mathtt{B}_0} = \mathbf{E}_{\mathtt{m}} \mathrm{e}^{\mathrm{j} \mathrm{i} \mathrm{20}}$, $\dot{\mathbf{E}}_{\mathtt{C}_0} = \mathbf{E}_{\mathtt{m}} \mathrm{e}^{-\mathrm{j} \mathrm{i} \mathrm{20}^{\circ}}$, где $\mathbf{E}_{\mathtt{m}}$ - амплитуда; 0,

120, -120 - показатели экспоненциальной функции - конструктивные углы расположения фаз генератора, определяющие начальные фазы источников энергии 1, 2, 3..., \underline{a} - оператор трехфазных цепей $\underline{a} = 1 + a + a^2$, где $a=e^{j120^\circ}$. Сопротивление

 Z_0 =г нулевого провода, представляющие собой активную нагрузку, которая определена конструкцией реализации заземляющего контура. Без выбора определенных соотношений между сопротивлениями эта схема является аналогом предлагаемого устройства.

Получим основные теоретические соотношения, раскрывающие конструктивные возможности энергосберегающего эффекта.

Согласно [2, Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. Высшая школа, М., 1978 г.стр.527, стр.148] напряжения на сопротивлениях нагрузки имеют значения:

$$\begin{split} \dot{U}_{A} &= \dot{E}_{A} - \dot{U}_{0}, \\ \dot{U}_{B} &= \dot{E}_{B} - \dot{U}_{0}, \\ \dot{U}_{C} &= \dot{E}_{C} - \dot{U}_{0}, \dot{U}_{0} = \frac{Y_{A}\dot{E}_{A} + Y_{B}\dot{E}_{B} + Y_{C}\dot{E}_{C}}{Y_{A} + Y_{B} + Y_{C} + Y_{0}}, \end{split} \tag{1}$$

которые справедливы для любых видов нагрузок. При $Z_0 \rightarrow 0$ для равномерной $(U_0 \approx 0)$ и неравномерной нагрузок $(U_0 > 0)$ [3, Пиотровский Л.М.

Трансформаторы. Ленинград, 1934, с.436, стр.138 и т.д.].

Токи в фазах нагрузки

$$\dot{I}_{A} = \frac{\dot{U}_{A}}{Z_{A}},$$

$$\dot{I}_{B} = \frac{\dot{U}_{B}}{Z_{B}},$$

$$\dot{I}_{C} = \frac{\dot{U}_{C}}{Z_{C}}.$$
(2)

Напряжение на нулевом проводе с сопротивлением $Z_0=Y_0^{-1}$ и ток в нем определим по уравнениям:

$$\dot{\mathbf{U}}_{0} = \frac{\dot{\mathbf{I}}_{A} \underline{a}}{3 \dot{\mathbf{Y}}_{A}}, \dot{\mathbf{I}}_{0} = \dot{\mathbf{U}}_{0} \dot{\mathbf{Y}}_{0},$$
 (3)

где $\dot{\mathbf{I}}_{A} = \dot{\mathbf{E}}_{A} \dot{\mathbf{Y}}_{A}, \quad \dot{\mathbf{Y}}_{A} = \frac{1}{Z_{A}}, \dot{\mathbf{U}}_{0}^{-1} \rightarrow 0$

Активная, реактивная и полная мощность трехфазной цепи имеют соответственно значения:

$$P = P_{A} + P_{B} + P_{C} + P_{0},$$

$$Q = Q_{A} + Q_{B} + Q_{C} + Q_{0},$$

$$S = \sqrt{P^{2} + Q^{2}},$$
(4)

где P_i = U_iI_i соs ϕ_i , Q= U_iI_i sin ϕ_i , U_i , I_i , ϕ_i - напряжение, ток и угол сдвига между напряжением и током в фазах A, B, C и в нулевом проводе, S - полная мощность.

Из полученных уравнений следует: мощность P_0 расходуется на тепловые потери в нулевом проводе. При использовании ламп накаливания и равномерной (симметричной P_A = P_B = P_C) нагрузке P_0 \approx 0, а для «энергосберегающих ламп» в том же режиме P_0 \neq 0.

Эта мощность растет с увеличением численности ламп.

Мощность тепловых потерь в нулевом проводе равномерной нагрузки «энергосберегающих ламп» существенно зависит от отклонения нагрузки от

симметрии. Изменение нагрузки или в случае смешенного соединения «энергосберегающих ламп» и ламп накаливания существенно изменяет форму фазного тока и тока в нулевом проводе, который становится несинусоидальным, форма которого зависит от вида нагрузок. Так, например, включение индуктивности (измерительного прибора) в одной из фаз соединения звездой трех «энергосберегающих ламп» приводит к увеличению тока в нулевом проводе в два раза, т.е. I_0 =0,2 \approx 3 I_{Φ} =3 I_{H} . Форма тока при этом сохраняется несинусоидальной, а частота ω =3 ω C, где ω C - частота сети, которая, по мнению автора, не может быть представлена рядами из третьих гармоник нулевой последовательности эдс.

Величина тока в нулевом проводе должна контролироваться с целью ее уменьшения. В этом случае мощность P_0 = $N{I_0}^2R_0$ будет уменьшаться при условии I_0 $\rightarrow 0$. Отсюда U_0 $\rightarrow 0$ (см. уравнение (3)) и наблюдаемые мощности (4) в нагрузках будут возрастать (изменяться). Изменение мощностей P_0 и Q_0 и улучшение формы тока I_0 кратко рассмотрим ниже.

Для осуществления улучшения характеристик сети выполняют регулирование активной и реактивной мощностей. Для этой цели применяют, например, синхронные машины [4, Бруские Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины и микромашины. М.: Высшая школа, 1990 г., стр.528, стр.336-380; 5, Гончарюк Н.В. О трех китах в электросетевых задачах. Кишинев: «Штиница», 1990 г.стр.137, стр.477-479]. В двигательном или генераторном режимах синхронная машина потребляет или возвращает активную мощность сети. Регулирование активной мощности выполняют при изменении тока возбуждения работающей на холостом ходу и подключенной к сети синхронной машины. При изменении тока возмущения синхронной машины изменяется лишь реактивная мощность машины, приводящая ее в состояние недовозбуждения или перевозбуждения. Эти режимы работы называют синхронными компенсаторами. Зависимость тока якоря у этих машин от тока возбуждения носит название U-образной характеристики. Минимальное значение тока якоря от тока возбуждения наблюдается при коэффициенте мощности сояф=1.

Синхронный компенсатор, работающий без нагрузки на валу, создает реактивный ток в обмотках якоря, который является реактивным током.

Будем считать, что электрическая сеть имеет ток $\mathring{\mathbb{T}}_{\mathtt{H}}$, отстающий на некоторый угол $\phi_{\mathtt{H}}$ от напряжения сети $\mathring{\mathbb{U}}_{\mathtt{C}}$ (см. фиг.2). Ток возбуждения синхронной машины регулируется так, что ток якоря $\mathring{\mathbb{T}}_{\mathtt{a}}$ синхронного компенсатора опередил на $\frac{\pi}{2}$

напряжение сети U_c и был равен $I_{HP} = I_a$. В результате сеть загружается только активным током нагрузки $I_c = I_{H,a}$ и т.п.[4, Бруские Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины и микромашины. М.: Высшая школа, 1990 г., стр.528]. Например, возможна стабилизация напряжения сети. Подобные устройства имеют широкое распространение в трехфазных цепях страны.

Сопротивление $Z_0=R_0+j\omega L_0$ может быть включено либо на стороне трехфазного источника энергии или на стороне нагрузки, например, энергосберегающие лампы, к которым подключается сопротивление. Рассмотренная далее теория будет справедлива для нагрузки в виде ламп накаливания и асинхронных двигателей.

Рассмотрим возможности, когда будет наблюдаться энергосберегающий эффект. Согласно выражениям (4) и выводам из этих уравнений следует, что мощность в нагрузке будет возрастать тогда, когда $U_0 \to 0$ или $I_0 \to 0$. Определим условия, когда наблюдается этот режим. Будем рассматривать равномерную симметричную

нагрузку. Ток нулевого провода $I_0 \neq 0$, а следовательно, в этом режиме $\underline{a} \neq 0$, так как при включении ламп могут изменяться начальные фазы. В случае «энергосберегающих ламп» и смешанного соединения ток достигает больших значений и становится несинусоидальным, что значительно усложняет работу трехфазной цепи.

Закон Кирхгофа для узла О' в соответствии с уравнениями (1, 3)

$$I_A + I_B + I_C - \frac{3U_0}{Z_A} + I_0 = 0$$

$$\dot{I}_{A} \underline{a} - \dot{I}_{0} \left(\frac{3Z_{0}}{Z_{A}} - 1 \right) = 0.$$
 (5)

Выражение (5) принимает значение, равное нулю, а это значит, ток в нулевом проводе имеет значение

$$\dot{\mathbf{I}}_{A} \, \underline{\mathbf{a}} = \left(\frac{3Z_{0}}{Z_{A}} - 1 \right) \dot{\mathbf{I}}_{0} = 0. \quad (6)$$

Когда оператор трехфазных цепей имеет значение

$$\underline{a} \left(\frac{3Z_0}{Z_A} - 1 \right) \frac{\dot{I}_0}{\dot{I}_A} ,$$

то ток в нулевом проводе стремится к минимуму $I_0 = I_{A} \underline{a}$. Оператор \underline{a}

осуществляет вращение.

Выполнение равенства (6) приводит к нулевому току в нулевом проводе, а так как $U_0 = Z_0 I_0 \rightarrow 0$, то мощность в нагрузке возрастает.

Выполнение соотношения (6) наблюдается для соединений нагрузок звездой, а именно: «энергосберегающих ламп» смешанного соединения, асинхронных двигателей и для соединений нагрузок в треугольник, когда организована соединением звезда дополнительная нулевая точка.

В рассмотренных случаях повышается коэффициент мощности нагрузок.

Перепишем выражение (6) снова в виде

$$\underline{\underline{a}} = \frac{3Z_0\dot{I}_0}{Z_a\dot{I}_a} - \frac{\dot{I}_0}{\dot{I}_a} = \underline{\underline{a'}}(j-1) \tag{7}$$

$$\underline{\mathbf{a}} = \underline{\mathbf{a}'}(\mathbf{j} - 1) = \underline{\mathbf{a}'}\sqrt{2}\mathbf{e}^{\mathbf{j}\boldsymbol{\varphi}\mathbf{3}\mathbf{\Gamma}},$$

в котором а' - значение оператора после осуществленных вращений, ј - мнимая единица, взятая от комплексного индуктивного сопротивления, осуществляющего единица, взятал от комменение $\frac{1}{\hat{I}_A}$ входит в $\underline{\underline{a'}} = \frac{3Z_0}{Z_A} \cdot \frac{\hat{I}_A}{\hat{I}_A} \underline{\underline{a}} = \frac{3Z_0}{Z_A} \cdot \underline{\underline{a}} = \frac{3Z_0}{Z_$

$$\underline{\dot{\mathbf{I}}_{A}}^{\mathbf{I}_{0}} \underline{\dot{\mathbf{I}}_{A}} = \frac{3Z_{0}}{Z_{A}} \cdot \underline{\dot{\mathbf{I}}_{A}} \underline{\dot{\mathbf{I}}_{A}} = \frac{3Z_{0}}{Z_{A}} \underline{\mathbf{a}}$$

45 Вращение векторов, осуществляемое в трехфазных цепях (см. фиг.2 и фиг.3), выполняется за счет работы синхронного генератора или автоматически. Запишем выражение (5) в виде

$$\int_{\mathbf{A}} \dot{\mathbf{I}}_{\mathbf{A}} \underline{\mathbf{a}} \left[1 - \left(\frac{3\dot{\mathbf{U}}_{0}}{\mathbf{Z}_{\mathbf{A}}\dot{\mathbf{I}}_{\mathbf{A}} \underline{\mathbf{a}}} - \frac{\dot{\mathbf{I}}_{0}}{\dot{\mathbf{I}}_{\mathbf{A}} \underline{\mathbf{a}}} \right) \right] = 0$$
(8)

Отсюда при $Z_0 << Y_A$ найдем

$$\dot{\mathbf{I}}_{\mathbf{A}} \underline{\mathbf{a}} \left[1 - \left(\frac{3 \dot{\mathbf{z}}_{0} - \mathbf{Z}_{\mathbf{A}}}{\dot{\mathbf{E}}_{\mathbf{A}} \underline{\mathbf{a}}} \right) \dot{\mathbf{I}}_{0} \right] = 0, \quad (9)$$

$$\operatorname{Tak} \operatorname{Kak} \dot{\mathbf{I}}_{\mathbf{A}} = \mathbf{Y}_{\mathbf{A}} \dot{\mathbf{E}}_{\mathbf{A}}, \quad \mathbf{a} \quad \mathbf{Y}_{\mathbf{A}} = \frac{1}{\mathbf{Z}_{\mathbf{A}}}.$$

В выражении (9) второе слагаемое осуществляет вращение и при этом стремится к единице, т.к. поворот вектора на 180° равен его умножению на $j^z = \left(\sqrt{-1}\right)^z = -1$.

Из выражений (7) и (9) в том случае, когда
$$\phi_{\text{эг}} = \text{arctg} \; \frac{\text{ЗX}_0 \; - \; \text{X}_{\text{A}}}{\text{ЗR}_0 \; - \; \text{R}}$$
 , первый

сомножитель а ј за счет осуществляемого в системе вращения стремится к значению = i=1, поэтому = 0.

Ток в нулевом проводе компенсируется до нуля. Мощность потерь

$$_{5}$$
 $P_{0} = U_{0}I_{0} \cos \varphi_{0}$ возвращается в нагрузку.

С целью упрощения анализа трехфазных цепей воспользуемся уравнением [5, Гончарюк Н.В. О трех китах в электросетевых задачах. Кишинев: «Штиница», 1990 г., стр.137; стр.23] формы баланса мощности в узлах О и О', тогда

$$U_0 \cdot Y_0 U_0 = S_r$$

10

$$(\phi_0 - \phi_{0'})Y_0 = \frac{S}{U_0}$$
,

где $\dot{\mathbf{U}}_{0}=\dot{\boldsymbol{\varphi}}_{0}-\dot{\boldsymbol{\varphi}}_{0'}$ - напряжение, равное разности потенциалов в узлах O и O', S=P+

²⁵ iQ - полная мощность.

$$\prod_{VCTb} \dot{\phi}_0 = 0$$
 , $\dot{\phi}_{0'} = V_K + j\omega_K$

$$\dot{\phi}_{0'}^2 = V^2 + 2j V_K \omega_K - \omega_K^2$$

$$\begin{split} \dot{\phi}_0^2 &= V^2 + 2j V_R \omega_R - \omega_R^2, \\ \mathrm{SZ}_0 &= (\mathrm{P} + \mathrm{j} \, \mathrm{Q})(\mathrm{R} + \mathrm{j} \, \mathrm{X}) = \mathrm{PR} - \mathrm{QX} + \mathrm{j}(\mathrm{QR} + \mathrm{PX}), \qquad \dot{\mathbf{I}}_0 &= \dot{\mathbf{I}}_{\mathbb{A}} \, \underline{\mathbf{a}}'(\mathrm{j} - 1), \end{split}$$

тогда имеем $\dot{\phi}_{0}$ $Y_0 = \dot{I}_0$ и

$$\begin{split} &\tilde{\phi}_{0^{+}}^{2}\left(\left.j-1\right)\!=\!\left(V_{K}^{2}+2jV_{K}\omega_{K}-\omega_{K}^{2}\right)j-\left(V_{K}^{2}+2jV_{K}\omega_{K}-\omega_{K}^{2}\right)\!=\!\left(V_{K}^{2}-\omega_{K}^{2}+2\omega_{K}V_{K}\right)+\\ &+j\left(V_{K}^{2}-\omega_{K}^{2}+2V_{K}\omega_{K}\right). \end{split}$$

Окончательно баланс мощности в узле O', т.е. φ_0 , ²=SZ₀ имеет вид

$$\left(\mathbf{V}_{\mathbf{K}}^{2}-\boldsymbol{\omega}_{\mathbf{K}}^{2}-2\mathbf{V}_{\mathbf{K}}\boldsymbol{\omega}_{\mathbf{K}}\right)+\,\mathrm{j}\!\left(\mathbf{V}_{\mathbf{K}}^{2}-\boldsymbol{\omega}_{\mathbf{K}}^{2}+2\mathbf{V}_{\mathbf{K}}\boldsymbol{\omega}_{\mathbf{K}}\right)=\,\mathrm{PR}\,-\,\mathrm{QX}\,+\,\mathrm{j}\!\left(\mathrm{QR}\,+\,\mathrm{PX}\right)\,.$$

В этом случае полная мощность

$$S = U_0 I_0 \cos \varphi_0 + j U_0 I_0 \sin \varphi_0 = Se^{j\varphi_0}$$
 (10)

где
$$_{\rm S} = \sqrt{p_{_0}^2 + Q_{_0}^2}$$
, $\phi_0 = 45^{\circ}$, S - мощность потерь в нулевом проводе.

Учитывая (10), выражение (9) представим в виде

$$I_{\Phi}\underline{a} = 0, \qquad (11)$$

где $\mathbb{1}_{\tt a} = \mathbb{1}_{\tt a}$ - фазный ток, $\underline{a} = \underline{a}' \big(1 - j B \, \big)$ - оператор вращений, реализуемый в трехфазных цепях (см. Фиг.2 и Фиг.3).

При периодическом перемагничивании сердечников возникают дополнительные магнитные поля. В этом случае индукция магнитного поля представляется в виде $B = H\mu(1 - j),$

где $_{\dot{\mathbb{H}}} = \frac{\dot{\mathbb{I}}}{}$ - напряженность магнитного поля, $\dot{\mathbb{I}}$ - комплекс действующего тока, μ -

магнитная проницаемость материала, где принято, что упругая и вязкая проницаемости равны.

Будем полагать, ток имеет значение $\dot{I}=\dot{I}(1-j)$. В этом виде ток соответствует форме, описанной в работе [9, Говорков В.А. Электрические и магнитные поля. М.: Связьиздат, 1951, стр.337, стр.98-103].

В качестве конкретного примера выполнения предлагаемого способа соединения трехфазных цепей рассмотрим способ соединения на примере схемы трехфазной цепи, изображенной на Фиг.3 и реализующей заявляемый способ.

Устройство содержит сопротивление Z_0 , согласованное с сопротивлением нагрузки.

Устройство, содержит источник энергии 1, 2, 3 и нагрузку 4, 5, 6, соединенные звезда-звезда с нулевым проводом, общая точка звезды нагрузки соединяется с общей точкой звезды источника энергии последовательно соединенными активным сопротивлением 7 (R_0) и индуктивностью $8(L_0)$.

Нагрузка фаз состоит из энергосберегающих ламп типа «EKOLA» и т.п.

Экспериментальная проверка предлагаемого устройства выполнялась в лаборатории кафедры «Электротехника», где проводят лабораторные занятия по этому курсу. Выполнялась проверка выражения (9) на лабораторных установках, позволяющих выполнять измерения в трехфазных цепях, которые содержали соединение звездой «энергосберегающих ламп», ламп накаливания, смешанное включение ламп, реактивно-индуктивную нагрузку, асинхронные двигатели.

Схема установки соответствовала Фиг.3. Для измерения тока I_0 в нулевой провод последовательно с сопротивлением включен амперметр. Форма тока исследовалась осциллографом.

Рассмотрим выражение (9) вновь

$$\dot{\mathbf{I}}_{\mathbf{A}} \underline{\mathbf{a}} = \left(\frac{3\mathbf{Z}_{\mathbf{0}}}{\mathbf{Z}_{\mathbf{A}}} - 1\right) \dot{\mathbf{I}}_{\mathbf{0}}.$$

15

40

Отсюда для равномерной нагрузки при наличии тока 1 0 >> 0 имеем

$$\underline{\underline{a}}' = \left(\frac{3Z_0}{Z_A} - 1\right) \frac{\dot{\underline{1}}_0}{\dot{\underline{1}}_A} = \underline{\underline{a}}' (1 - jB),$$

$$\underline{\Gamma} \underline{H} e \quad \underline{\underline{a}}' = \frac{\dot{\underline{1}}_0}{\dot{\underline{1}}_A}, \quad \underline{B} = \left(\frac{3Z_0}{Z_A} - 1\right).$$

Окончательно,

$$I_A \underline{a}' (1 - jB) = 0.$$
 (12)

Для упрощения анализа выполним два измерения:

- а) сопротивление Z_0 замкнуто, т.е. в цепи включен нулевой провод;
- б) сопротивление Z_0 разомкнуто.

В первом случае при равномерной нагрузке наблюдается нулевой ток $I_0 > 0$.

Описание возникновения тока из-за своей сложности здесь не рассматривается (см., например, работы [6, 7, 8, 9, 10]).

Во всех наблюдаемых опытах с указанными нагрузками при выборе сопротивления $Z_0=R_0+j\omega L$, $Z_0=30$ Ом, индуктивности $L_0=0,1$ Гн на частоте 300 рад/с наблюдалось значение нулевого тока I_0 . Подбор сопротивления Z_0 и индуктивности L_0 позволяет довести ток I_0 до нуля.

Ток нулевого провода имел несинусоидальную форму, наблюдался в соединениях «энергосберегающих ламп», смешанных. Выражение (а) в настоящее время не может быть исследовано подробнее. Оно уже сейчас показало, что электронные схемы, находящиеся в каждой лампе, должны изготавливаться по новым не микро-, а

нанотехнологиям. Оно лишь показывает путь изготовления «энергосберегающих ламп» и правильного их использования в электрических трехфазных цепях.

Возвращаемая в нагрузку мощность $P_0=I_0^2Z_0$ увеличивает светоотдачу «энергосберегающих ламп».

Полная мощность, отдаваемая генератором (см. фиг.3), для случая равномерной нагрузки имеет значение $\mathbf{S} = \mathbf{3}\dot{\mathbf{U}}_{\mathtt{A}} \overset{\mathtt{T}}{\mathbf{I}}_{\mathtt{H}} \cdot \left(\mathbf{3}\dot{\mathbf{U}} \overset{\mathtt{T}}{\mathbf{I}} \right) \cdot$

Потерями в нулевом проводе пренебрегаем. Воспользуемся вторым законом Кирхгофа, тогда напряжение и ток в нагрузке $U_H = U_A - U_0$,

$$\dot{\mathbf{I}}_{\mathrm{H}} = \dot{\mathbf{I}}_{\mathrm{A}} = \dot{\mathbf{I}}_{\mathrm{B}} = \dot{\mathbf{I}}_{\mathrm{C}} = \frac{\dot{\mathbf{U}}_{\mathrm{H}}}{Z} = \frac{\dot{\mathbf{U}}_{\mathrm{A}} - \dot{\mathbf{U}}_{\mathrm{0}}}{Z}.$$

Вычисляя полную мощность, потребляемую в нагрузке, получим

$$S = 3 \dot{U}_{\text{A}} \stackrel{*}{I}_{\text{H}} + \frac{3 Z_{0}}{Z_{\text{A}}} \stackrel{*}{U}_{0} \dot{I}_{0}.$$

Второе слагаемое в этом выражении зависит от отношения сопротивлений. Если $Z_A \to 0$, то при $\dot{\mathbb{T}}_0$ и $\dot{\mathbb{T}}_0$ постоянных значениях мощность возрастает. Изменение этой мощности связано с трудностями в энергосистемах и может приводить к катастрофам (например, Саяно-Шушенская). Чтобы выполнить проверку этой формулы в лабораторных условиях, будем изменять сопротивление $Z_0=R_0+j\omega L_0$, где $\omega=2\pi f=2\pi\cdot 50$.

В качестве нагрузки возьмем «энергосберегающие лампы» *ECOLA, 9W, 220-240, 50 Hz, I_H =71 mA, и соединим их звездой. Сопротивление ламп Z_A =3061e j54 = Z_B = Z_C , так как ϕ = arctg $\frac{P}{III}$ = 54°, Z = $\frac{U}{I_Y}$ 3061, где I_H - действующее значение тока.

В нулевом проводе протекает ток нулевой гармоники ω_3 =3 ω . При сопротивлении Z_0 = r_0 и $Z_{0_1}=53e^{352}=36+j47$, $\omega_3L=\omega_3\cdot0.05=470$ Ом он имеет несинусоидальную форму, а при $Z_{0_1}=304^{j9}=300+j47$ форма тока практически синусоидальна с частотой ω_3 , индуктивность которых намотана на материале с μ = μ_0 .

Выполним расчет для действующих значений, измеряемых приборами. Это приближение позволит качественно оценить эффект.

Согласно полученным выражениям нулевой ток

$$I_0 = \frac{\dot{I}_0 \underline{a'}}{j \left(\frac{3Z_{0i}}{Z_A} - 1\right)}, i=0, 1, 2$$

принимает значение для сопротивлений Z_0, Z_{01}, Z_{02} :

$$\dot{I}_{0} = 0.186e^{+j36} = 0.15 + j0.109,$$
 $\dot{I}_{01} = 0.156e^{+j36} = 0.123 + j0.092,$
 $\dot{I}_{02} = 0.114e^{+j21} = 0.105 + j0.041.$

Здесь величина \underline{a}' принимает значения \underline{a}'_0 =2,617, \underline{a}'_1 =2,062, \underline{a}'_2 =1,216, а знаменатель, соответственно, имеет величины: -1j; -0,95j, -j0,79 e^{j15} .

Чтобы получить приведенные токи, числитель и знаменатель $\dot{1}_0$ требуется умножить на j, а ток $\dot{1}_{*} = \frac{220}{3061 \, \mathrm{e}^{\mathrm{j}54}} = 0,071 \, \mathrm{e}^{-\mathrm{j}54}$.

Показания прибора чередуются от мнимой к вещественной и к мнимой частям. Наблюдается вращение.

Напряжение находим по выражению

$$\dot{\mathbf{U}}_{0_{\mathbf{i}}} = \mathbf{Z}_{0}\dot{\mathbf{I}}_{0},$$

т.е. находим:

$$\dot{U}_0 = 2 \cdot 0.18 \, \text{Ge}^{136} = 0.27 \, 2\text{e}^{136},$$

$$\dot{U}_{0_1} = 53e^{j52} \cdot 0,156e^{j36} = 8,27 \cdot e^{j88} = 0,3+j8,$$

$$\dot{U}_{0}$$
 \dot{U}_{0} = 304e^{j9} · 0,114e^{j21} = 34,65 · e^{j30} = 30 + j217,4.

Показание приборов связано с мнимой частью комплексных напряжений. Второе слагаемое мощности

$$\Delta S_1 = \frac{3Z_{01}}{Z_A} \overset{\star}{U_{0_1}} \overset{\star}{I_{0_1}} = 0.052e^{j2} \cdot 8e^{-j88} \cdot 0.156e^{j36} = 0.065e^{-j50} = 0.041 - j0.05,$$

$$\Delta S_2 = \frac{3Z_{02}}{Z_A} \overset{\star}{U_{0_1}} \overset{\star}{I_{0_1}} = 0.03e^{-j45} \cdot 34.65e^{-j30} \cdot 0.114e^{j21} = 1.185e^{-j54} = 0.697 - j0.658$$

При включении в нулевой провод комплексного сопротивления Z_0 =j47, индуктивность которого намотана на сердечнике с магнитной проницаемостью μ =1,256×10⁻⁴ Гн/м, нулевой ток возрастает и принимает значение, равное I_0 =0,109+j0,15, т.е. амперметр измеряет значение тока I=0,15 A.

Показание ваттметров - вещественная часть полученных выражений.

Т.о., заявляемое изобретение позволяет решить следующие задачи: изменять величину и форму тока. Увеличение тока наблюдается при включении в цепь одной лампы. Мощность, отдаваемая в нагрузку, изменяет светоотдачу «энергосберегающих ламп».

Предлагаемый способ может применяться в электротехнике и имеет следующие преимущества: обеспечивает нулевой ток в нулевом проводе, его форму, равную синусоидальной; расходуемая в нулевом проводе мощность переходит в нагрузку «энергосберегающих ламп».

Литература

50

- 1. Атабеков Г.И. Линейные электрические цепи. М.: Энергия, 1978, стр. 592.
- 2. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи.

35 Высшая школа, M., 1978 г.стр.527.

- 3. Пиотровский Л.М. Трансформаторы. Ленинград, 1934, с.436.
- 4. Бруские Д.Э., Зорохович А.Е., Хвостов В.С. Электрические машины и микромашины. М.: Высшая школа, 1990 г., стр.528.
- 5. Гончарюк Н.В. О трех китах в электросетевых задачах. Кишинев. «Штиница», $1990 \, \Gamma$., стр. 137.
 - 6. Касаткин А.С., Немцов И.В. Электротехника. М.: Издательский центр «Академия», 2008 г., стр.538.
 - 7. Говорков В.А. Электрические и магнитные поля. М.: Связьиздат, 1951, стр.337.
- 8. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. М.: Радио и связь, 1986, стр.505.
 - 9. Губанов Н.Н., Коверкин Ю.Б. Контроль деформаций кручения валов индуктивными преобразователями. Измерительная техника, 2008 г., №1, стр.38-42.

Формула изобретения

Способ соединения трехфазных электрических цепей, включающий соединение, по крайней мере, одного трехфазного источника энергии, и по крайней мере, одной

RU 2 440 652 C1

нагрузки, соединенных звездой с нулевым проводом, отличающийся тем, что общую точку звезды нагрузки соединяют с общей точкой звезды источника энергии последовательно соединенными активным сопротивлением R_0 и индуктивностью L_0 .

