



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2008123160/09, 10.06.2008

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
10.06.2008

(45) Опубликовано: 10.10.2009 Бюл. № 28

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: RU 2004105819 А, 10.08.2005. RU 2101819
С1, 10.01.1998. GB 209712 А, 02.10.1924.Адрес для переписки:
115612, Москва, ул. Борисовские пруды, 22,
корп.1, кв.120, Б.И. Блескину

(72) Автор(ы):

Трушкин Николай Сергеевич (RU),
Журомский Всеволод Михайлович (RU),
Маторин Александр Геннадиевич (RU),
Блескин Борис Иванович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

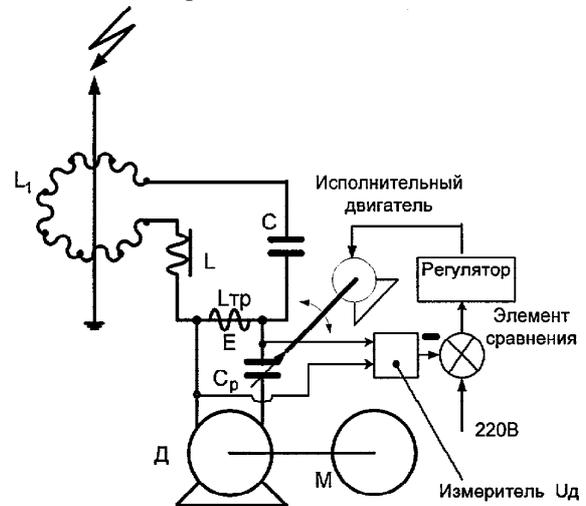
Трушкин Николай Сергеевич (RU),
Журомский Всеволод Михайлович (RU),
Маторин Александр Геннадиевич RU (RU),
Блескин Борис Иванович (RU)

(54) СПОСОБ УТИЛИЗАЦИИ ЭНЕРГИИ МОЛНИИ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области экологически чистой возобновляемой электроэнергетики. Вокруг соединенного с землей металлического молниеотвода располагают стартовый тороид-приемник ударного возбуждения, являющийся частью высокочастотного контура, состоящего из последовательно соединенных стартового тороида-приемника, рабочей индуктивности и конденсатора, настроенного на частоту, в частности, промышленной сети, а энергию от указанного контура для питания стандартного электродвигателя переменного тока отбирают трансформатором тока, протекающего в резонансной цепи ударного возбуждения, причем электродвигатель подключен к вторичной обмотке трансформатора тока по схеме последовательного резонанса, в которой стандартное напряжение питания промышленного электродвигателя при изменении напряжения в основном контуре поддерживается автоматическим регулятором путем изменения электрической емкости конденсатора, а промышленный электродвигатель соединен с устройствами выполнения непосредственной механической работы или накопления энергии. Контур,

получивший ударное возбуждение, переводят в нерабочее состояние для исключения негативных последствий повторного удара молнии, одновременно аналогичный другой контур переводят из нерабочего в рабочее состояние. Резонансную частоту выбирают в 50 Гц или 400 Гц или в соответствии с конкретной необходимостью. По высоте снижения молниеотвода устанавливают несколько одинаковых устройств утилизации энергии молнии. 6 з.п. ф-лы, 4 ил.



Фиг.1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **2008123160/09, 10.06.2008**

(24) Effective date for property rights:
10.06.2008

(45) Date of publication: **10.10.2009 Bull. 28**

Mail address:
**115612, Moskva, ul. Borisovskie prudy, 22,
korp.1, kv.120, B.I. Bleskinu**

(72) Inventor(s):
**Trushkin Nikolaj Sergeevich (RU),
Zhuromskij Vsevolod Mikhajlovich (RU),
Matorin Aleksandr Gennadievich (RU),
Bleskin Boris Ivanovich (RU)**

(73) Proprietor(s):
**Trushkin Nikolaj Sergeevich (RU),
Zhuromskij Vsevolod Mikhajlovich (RU),
Matorin Aleksandr Gennadievich RU (RU),
Bleskin Boris Ivanovich (RU)**

(54) LIGHTNING ENERGY UTILISATION METHOD

(57) Abstract:

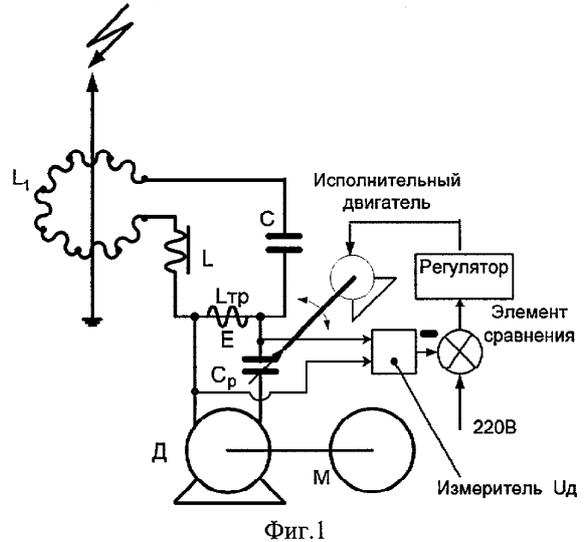
FIELD: power engineering.

SUBSTANCE: invention refers to environmentally safe renewable electric power engineering. Around metal lightning protector connected to the earth there arranged is a stator toroid-receiver of impact excitation, which is the part of high-Q circuit consisting of stator toroid-receiver, working inductivity and capacitor tuned to frequency, namely of industrial network, which are in-series connected, and energy is taken from the above circuit for standard AC electric motor power with transformer of the current passing in resonance circuit of impact excitation; at that, electric motor is connected to the secondary winding of the current transformer as per the series resonance scheme in which standard power supply voltage of industrial electric motor is maintained automatically, when the voltage in the main circuit is changed, with the control by changing electric capacity of the capacitor, and industrial electric motor is connected to devices of direct mechanical work or energy storage. The circuit that received impact excitation is changed over to the non-operating state in order to eliminate negative aftereffects of the repeated lightning stroke, and the other similar circuit is

changed over from the non-operating state to the operating one. Resonance frequency is 50 Hz or 400 Hz or in accordance with specific need. Throughout the height of the lightning protector there installed in lowering direction are several similar lightning energy utilisation devices.

EFFECT: lightning energy utilisation method is described.

7 cl, 4 dwg



RU 2 369 991 C1

RU 2 369 991 C1

Изобретение относится к области экологически чистой возобновляемой электроэнергетики.

Известна экологически чистая система утилизации электроэнергии атмосферной молнии, в которой импульсный ток молнии воспринимается тороидом, расположенным вокруг снижения заземленного молниеотвода, в котором возникает импульсная ЭДС, соединенным с выпрямителем и накопительным конденсатором.

Недостатком такой системы утилизации энергии молнии является то, что при напряжениях до 10^6 В и токах в до 10^6 А, действующих в пределах до 10^{-3} с, имеют место существенные, хотя принципиально преодолимые, сложности реализации высоковольтных выпрямителей и конденсаторов большой емкости (многие единицы фарад) и технические проблемы превращения заряда конденсатора в доступную для утилизации на современном уровне развития техники энергию в электрическом или механическом виде.

Задачей изобретения является обеспечение утилизации энергии молнии в удобно используемой стандартной электрической или механической форме с помощью простых реализуемых и/или серийно выпускаемых промышленностью технических средств.

Техническим результатом изобретения является превращение энергии удара молнии в стандартную форму электрической энергии промышленной частоты, в том числе в виде длительно работающих одно или 3-фазных электродвигателей либо непосредственно производящих работу (например, как электроприводы насосов, закачивающих воду (газ) в напорную емкость (накопитель потенциальной энергии) для последующей утилизации, например, в водяной (газовой) турбине, для полива сельскохозяйственных угодий), или, например, раскручивающих до максимальных оборотов маховик, который используется для сохранения механической энергии.

Указанная цель достигается тем, что вокруг соединенного с землей металлического снижения молнии располагают тороид-приемник (с намоткой электрическим проводом) ударного возбуждения высокочастотного контура, состоящего из последовательно соединенных указанного тороида-приемника, рабочей индуктивности и емкости, настроенного на частоту резонанса промышленной сети, а так же тем, что энергия от указанного высокочастотного контура для питания стандартного электродвигателя переменного тока отбирается от трансформатора тока, протекающего в упомянутом высокочастотном контуре, причем электродвигатель подключен к вторичной обмотке трансформатора тока по схеме последовательного резонанса, в которой стандартное напряжение питания промышленного электродвигателя при изменении напряжения в основном контуре вследствие затухания колебательного процесса поддерживается автоматическим регулятором за счет изменения емкости в цепи двигателя.

Принцип работы системы представлен на фиг.1, где L_1 - стартовый тороид, L - рабочая индуктивность, $L_{тр}$ - трансформатор тока, C , C_p - конденсаторы электрические, M - маховик или иная механическая нагрузка.

При ударе молнии через снижение при напряжении 10^6 В протекает импульсный ток величиной порядка $(0.5-1) 10^6$ А за время $\Delta t \approx 10^{-3}$ с.

Этот ток создает импульсное магнитное поле, силовые линии которого есть окружности, плоскости которых ортогональны снижению, а центры совпадают со снижением. По силовым линиям располагается стартовый тороид L_1 радиуса r , в котором возникает импульсная ЭДС E_0 , производя ударное возбуждение контура

(L_1+L, C, R) .

Возникающий в контуре ток i создает свое магнитное поле и в трансформаторе тока $L_{тр}$ энергия поля трансформируется в ЭДС E , которая питает асинхронный двигатель переменного тока, включенный по схеме последовательного резонанса через конденсатор C_p . Двигатель либо совершает механическую работу по повышению потенциальной энергии жидкости или газа посредством насоса, или раскручивает маховик M , в котором происходит утилизация энергии в механической форме.

Двигатель должен работать длительное время, что предполагает высокую добротность контура и в свою очередь требует величины индуктивности порядка сотен Гн, а электрического сопротивления - доли или единицы Ом. Так как при импульсном воздействии при столь больших индуктивностях величина импульсной ЭДС может оказаться чрезвычайно большой и вызвать пробой обмоток и конденсатора, а также создать вторичные молнии, общая индуктивность разбивается на две части.

Стартовая индуктивность L_1 выбирается значительно меньшей величины, чем рабочая L , величина которой составляет несколько сотен Гн, но располагается так, что магнитосцепление ее с основным магнитным полем снижения отсутствует.

Таким образом, ударная ЭДС E_0 оказывается в приемлемых пределах, а декремент затухания контура будет определяться рабочей индуктивностью L и величиной отбора мощности, выраженной, например, в обобщенном сопротивлении контура R .

Частота колебаний контура соответствует промышленной, т.е. 314 рад/с (50 Гц) или 2512 рад/с (400 Гц) или иной при необходимости.

Амплитуда тока i значительно меньше, чем амплитуда напряжения на емкости C или индуктивности L , так как ток контура пропорционален второй производной импульса и величине емкости, которая на много порядков меньше величины индуктивности.

Снятие энергии с контура (L_1+L, C, R) осуществляется с помощью трансформатора тока.

По мере затухания амплитуды колебаний контура автоматическая система управления, состоящая из датчика напряжения U_0 на двигателе, элемента сравнения, исполнительного двигателя и автоматического регулятора, который, работая по принципу отрицательной обратной связи дискретно (или непрерывно, дискретно-непрерывно), изменяет емкость C_p с целью поддержания неизменным напряжением U_0 (например, 220 В) на клеммах двигателя, что обеспечивает его штатную работу в диапазоне относительно медленного изменения амплитуды колебаний в контуре (L_1+L, C, R) . Такая ситуация может иметь место при высокой добротности контура последовательного резонанса в цепи двигателя, вследствие чего, по крайней мере, индуктивность трансформатора $L_{тр}$ должна значительно превосходить индуктивность L_0 статора двигателя.

Исходная энергия импульса тока снижения является случайной величиной. Следовательно, ток i и ЭДС E - тоже случайные величины в пределах, определяемых диапазоном тока в проводе снижения - молниеотводе - при ударе молнии.

Стабильная работа двигателя в этом случае также обеспечивается соответствующим автоматическим изменением емкости C_p .

Для повышения энергетической эффективности установки конструкцию устройства

утилизации энергии молнии выполняют многоярусной по высоте снижения молниеотвода, т.е. при одном ударе молнии энергия закачивается через отдельные стартовые тороиды в несколько резонансных контуров (L_1+L , C, R), следовательно, в

5

несколько двигателей одновременно.
В случае утилизации энергии молнии в виде механической энергии раскрученного маховика, как, в частности, показано на фиг.1, при полной раскрутке конкретного маховика, подсоединенного к одному трансформатору тока и соответствующему двигателю, через, например, фрикционные муфты, двигатель переключают на

10

раскрутку следующего маховика и так далее.
При повторном ударе молнии в период утилизации энергии, закачанной в контур (L_1+L , C, R) предыдущим ударом молнии, возможен пробой конденсатора C или повреждение обмоток контура L.

15

Для исключения последствий этой ситуации в конструкции многоярусного устройства утилизации энергии молнии стартовые тороиды L_1 изготавливают в виде частичных, незамкнутых дуг. Тогда после удара молнии часть тороидов поворачивают на 90° , вследствие чего прерывается их сцепление с электромагнитным полем провода-молниеотвода и далее контура (L_1+L , C, R) и они не реагируют на

20

последующие удары молнии.
Другая часть стартовых тороидов находится в рабочем состоянии, но после удара молнии их поворачивают на 90° (нерабочее положение). Поскольку ударное возбуждение контуров тороидов уже произошло, энергия поступает на

25

соответствующие двигатели.
Первую же часть стартовых тороидов резонансных контуров (L_1+L , C, R), в которых энергия уже успела утилизироваться, поворачивают на 90° в рабочее положение и при ударе молнии получившие ударное возбуждение стартовые тороиды

30

вновь выводят из рабочего положения и т.д.
Описанную последовательность работы стартовых тороидов электростанции обеспечивают специальной системой релейной автоматики.

35

Предлагаемая электростанция может обеспечить потребителя электроэнергией достаточно длительное время, особенно в районах, где происходят частые грозы в течение года при абсолютной экологической чистоте.

40

Оценка реализуемости способа утилизации энергии молнии
Импульс тока снижения вследствие индуктивности самого снижения, его сопротивления, имеет неопределенную форму. Максимум функции I_m имеет порядок величины и длительность импульса Δt , указанные выше.

45

Пусть

$$\Delta I = \begin{cases} I_m \cdot f\left(\frac{\alpha t}{\Delta t}\right), & 0 \leq t \leq \Delta t \\ 0, & t > \Delta t \end{cases} \quad (1)$$

50

Тогда f нормирована и предполагается, что дифференцируема, и, кроме того, удовлетворяет требованиям $f(0)=0, f(\alpha)=0, f_{\max}=1$.

По закону Био-Савара-Лапласа при этом в тороиде L_1 возникает магнитное поле $\Delta H = \Delta I / 2\pi r$ и поток магнитной индукции $\Delta \Phi = \mu_1 \mu_0 \Delta I S n_1 / 2\pi r$, где μ_1 - магнитная проницаемость сердечника тороида, S - поперечное сечение сердечника тороида, n_1 - число витков тороида, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ [Гн/м] - магнитная проницаемость пустоты.

55

Таким образом, ЭДС $E_0 = \frac{d(\Delta\Phi)}{dt}$ с учетом (1) окажется равной

$$E_0 = \frac{\mu_0 \mu_1 \text{Im} \cdot S \cdot n_1}{2\pi r} \cdot f'_t \left(\frac{\alpha t}{\Delta t} \right) \cdot [1 - h(t - \Delta t)] \quad (2)$$

Где $h(x)$ - единичная функция.

Обозначим $\Phi_{0m} = \mu_1 \mu_0 \text{Im} \cdot S \cdot n_1 / 2\pi r$ примем $0.1 \text{ м}^2 [(30 \times 30) \text{ см}]$, тогда

$$\Phi_{0m} = \frac{\mu_1 n_1}{r} 2 \cdot 10^{-7} (0.5 \dots 1) \cdot 0.1 = \frac{\mu_1 n_1}{r} (1 \dots 2) 10^{-2} [\text{Гн} \cdot \text{А}]$$

$$L_1 = \frac{\mu_1 n_1^2}{r} 2 \cdot 10^{-7} \cdot 0.1 = 2 \cdot 10^{-8} \frac{\mu_1 n_1^2}{r} [\text{Гн}]$$

Окончательная оценка L_1 будет дана ниже после выбора параметра $\frac{\mu_1 n_1}{r} [1/\text{М}]$.

Для расчета L и R контура необходимо учесть потребляемую энергию от контура и связь тока контура с суммарной индуктивностью.

При снятии мощности двигателями $P_{\text{дв.}\Sigma}$ от контура отбирается мощность, равная $i_{\text{д}}^2 R_{\text{экв}}$, где $i_{\text{д}}$ - действующее значение тока контура, $R_{\text{экв}}$ - эквивалентное сопротивление, вносимое в контур нагрузкой.

Тогда $P_{\text{дв.}\Sigma} = i_{\text{д}}^2 R_{\text{экв}}$, откуда и определяется $R_{\text{экв}}$, которое влияет на декремент затухания.

С учетом $R_{\text{экв}}$ эквивалентная схема контура представляется в виде, показанном на фиг.2, где $L_{\Sigma} = L_1 + L$; $R_{\text{экв}}$ - суммарное сопротивление контура, включающее сопротивление обмоток стартовой и рабочей индуктивностей $R_{\text{обм}}$ и $R_{\text{экв}}$, т.е. $R_{\Sigma} = R_{\text{обм}} + R_{\text{экв}}$.

Оценку $R_{\text{обм}}$ можно произвести следующим образом.

Полагаем, что обмотки стартовой и рабочей индуктивности выполнены из одинакового медного провода сечением 50 мм^2 . Тогда $R = \rho l / S_{\text{пр}}$, где l - суммарная длина провода, которая при одинаковом сечении магнитопроводов L_1 и L , $S = 0.1 \text{ м}^2 [(30 \times 30) \text{ см}^2]$, одинаковом количестве витков $n = 10^3$ равна $2.5 \cdot 10^3 \text{ м}$; при $S_{\text{пр}}$ - сечении провода, равного $50 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$ и $\rho \approx 1,7 \cdot 10^{-8} [\Omega \cdot \text{м}]$.

При этих параметрах $R_{\text{обм}}$ составляет величину порядка $R_{\text{обм}} \approx 1 [\Omega]$.

Эквивалентная схема контура показана на фиг.2.

Операторное выражение для напряжения на емкости $U_c(p)$ в схеме фиг.2 представляется в виде

$$U_c(p) = \Phi_{0m} \cdot F(p) \frac{1}{L_{\Sigma} C \cdot p^2 + \tau_c p + 1} (1 - e^{-p\Delta t}), \quad (3)$$

где p - оператор Лапласа, $F(p)$ - операторное выражение функции $f = \left(\frac{\alpha t}{\Delta t} \right)$,

$$\tau_c = R_{\Sigma} C$$

Оригинал (3), с учетом (2), удобнее представить в виде свертки (интеграла Дюамеля):

$$U_c = \Phi_{0m} \omega \int_0^t e^{-\frac{R_{\Sigma}(t-\tau)}{2L_{\Sigma}}} \sin \omega(t-\tau) \cdot f'_t \left(\frac{\alpha \tau}{\Delta t} \right) [1 - h(\tau - \Delta t)] d\tau. \quad (4)$$

При выводе (4) учитывалось, что добротность контура $Q = \frac{\sqrt{L_{\Sigma} / C}}{R_{\Sigma}} \gg 1$ и

$$\omega = 1 / \sqrt{L_{\Sigma} / C} .$$

5 Выражение (4) разделяется на 2 части: при $t \leq \Delta t$ и $t > \Delta t$.

Интерес представляет исследование при $t > \Delta t$, тем более, что при $t = \Delta t$ обе части «сшиваются» и максимальное напряжение на электрической емкости возможно оценить, не рассматривая диапазон $t \leq \Delta t$.

10 При $t > \Delta t$ выражение (4) переписывается следующим образом:

$$U_c(t) = \Phi_{om} \cdot \omega e^{-\frac{R_{\Sigma} t}{2L_{\Sigma}}} \int_0^{\frac{R_{\Sigma} t}{2L_{\Sigma}}} e^{\frac{R_{\Sigma} \tau}{2L_{\Sigma}}} \sin \omega(t - \tau) f'_{\tau} \left(\frac{\alpha \tau}{\Delta t} \right) d\tau,$$

или окончательно

$$15 U_c(t) = \Phi_{om} \cdot \omega^2 e^{-\frac{R_{\Sigma} t}{2L_{\Sigma}}} \int_0^{\frac{R_{\Sigma} t}{2L_{\Sigma}}} e^{\frac{R_{\Sigma} \tau}{2L_{\Sigma}}} f \left(\frac{\alpha \tau}{\Delta t} \right) \cdot \cos \omega(t - \tau) d\tau \quad (5)$$

20 Равенство (5) можно упростить, если учесть, что величина $R_{\Sigma}/2L_{\Sigma}$ должна быть мала (условие малого декремента затухания), тогда экспоненту под интегралом можно с достаточной точностью принять равной 1 и выражение (5) переписывается в следующем виде:

$$25 U_c(t) = \Phi_{om} \cdot \omega^2 e^{-\frac{R_{\Sigma} t}{2L_{\Sigma}}} \int_0^{\frac{R_{\Sigma} t}{2L_{\Sigma}}} \Delta t \cdot \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} \cos \omega(t - \tau) f_{\tau} \left(\frac{\alpha \tau}{\Delta t} \right) d\tau \quad (6)$$

Последний множитель в (6) есть средний интеграл. В силу свойств функции f величина этого интеграла ≤ 1

30 Учитывая, что $\omega \Delta t \ll 1$, можно приближенно (6) представить в виде

$$U_c(t) = \Phi_{om} \cdot \omega^2 \Delta t \cdot e^{-\frac{R_{\Sigma} t}{2L_{\Sigma}}} \cos \omega t \cdot \lambda, \quad (7)$$

$$\text{где } \lambda = \frac{1}{\Delta t} \int_0^{\Delta t} f \left(\frac{\alpha \tau}{\Delta t} \right) d\tau \quad \lambda \leq 1$$

35 Проведем оценку амплитуды U_c

$$U_{cm} = \Phi_{om} \cdot \omega^2 \Delta t \lambda \cong \frac{\mu_1 n_1}{r} \cdot (1 \div 2) \cdot 10^{-2} \cdot 10^5 \cdot 10^{-3} \cdot \lambda \approx \frac{\mu_1 n_1}{r} \cdot (1 \div 2) \lambda$$

40 Величину λ можно включить в диапазон неопределенности $(1 \div 2)$, тогда окончательно оценка U_{cm} определяется параметром, введенным выше, $\frac{\mu_1 n_1}{r}$. Для

выбора этого параметра необходимо еще провести оценку величины тока контура i .

45 Из соотношения $i = C \frac{dU_c}{dt}$ получаем

$$i(t) \cong \frac{\mu_1 n_1}{r} (1 \div 2) \cdot C \cdot \omega \cdot e^{-\frac{R_{\Sigma} t}{2L_{\Sigma}}} \sin \omega t \approx \frac{\mu_1 n_1}{r} (1 \div 2) \cdot \frac{1}{L_{\Sigma} \omega} e^{-\frac{R_{\Sigma} t}{2L_{\Sigma}}} \sin \omega t \approx i_m e^{-\frac{R_{\Sigma} t}{2L_{\Sigma}}} \sin \omega t, \quad (8)$$

$$50 \text{ где } i_m = (1 \div 2) \frac{\mu_1 n_1}{r} \cdot \frac{1}{L_{\Sigma} \omega} .$$

Из (8) следует

$$i_m \cdot L_{\Sigma} \approx (1 \div 2) \frac{1}{\omega} \frac{\mu_1 n_1}{r} \approx (3 \div 7) \cdot 10^{-3} \cdot \frac{\mu_1 n_1}{r}$$

или

$$i_{\partial} \cdot L_{\Sigma} \approx (2 \div 5) \cdot 10^{-3} \frac{\mu_1 n_1}{r} \quad (9)$$

С другой стороны, если потребовать $\frac{2L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} \geq 300 \text{ с}$, что обеспечит работу

двигателей в течение не менее $t_e = 5$ мин (амплитуда тока за это время уменьшится в e раз), то

$$L_{\Sigma} \geq 150(R_{\text{обм}} + R_{\text{экв}}) = 150(1 + R_{\text{экв}}) \quad (10)$$

Энергию контура можно оценить двояко:

$$W_k = \frac{L_{\Sigma} \cdot i_m^2}{2} = C \frac{U_m^2}{2} \quad (11)$$

Где i_m и U_m выбираются минимальными.

Если рассчитывать на 5 двигателей, то $P_{\partial \text{в} \Sigma} = 5 [\text{кВт}]$ и $W_k \geq 5 \cdot P_{\partial \text{в} \Sigma} \cdot t_e = 1,5 \cdot 10^6 [\text{Дж}]$, откуда $L_{\Sigma} \cdot i_m^2 \geq 3 \div 10^6 [\text{Дж}]$ (12)

Подставив в (10) вместо $R_{\text{экв}} = P_{\partial \text{в} \Sigma} \setminus i_{\partial}^2$, получаем еще одно соотношение

$$L_{\Sigma} \geq 150 \left(1 + 5 \cdot 10^3 / i_{\partial}^2 \right) = 150 \left(1 + 10^4 / i_m^2 \right)$$

или

$$L_{\Sigma} \cdot i_m^2 \geq 150 \left(i_m^2 + 10^4 \right) = 1,5 \cdot 10^6 + 150 \cdot i_m^2 \quad (13)$$

Полагая, что потери мощности на сопротивлении обмоток не должны превышать потерь на $R_{\text{экв}}$, т.е. $i_m \leq 100 \text{ А}$, и сопоставляя (12) и (13), получаем одно соотношение

$$L_{\Sigma} \cdot i_m^2 \geq 3 \cdot 10^6 [\text{Дж}] \quad (14)$$

Далее, исходя из равенства (11), получаем

$$U_m^2 = \frac{L_{\Sigma}}{C} i_m^2 = L_{\Sigma}^2 \cdot \omega^2 \cdot i_m^2$$

или

$$U_m = L_{\Sigma} \cdot \omega \cdot i_m \quad (15)$$

В равенстве (15) можно считать $U_m = U_{\text{м.доп.}}$ - допустимое напряжение.

С другой стороны $C \cdot U_m^2 \geq 3 \cdot 10^6$, а $C \approx 10^{-5} / L_{\Sigma}$ и, учитывая, что $L_{\Sigma} = k \cdot 10^2 [\text{Гн}]$, где $k < 10$, получаем оценку $U_m^2 \geq 3 \cdot 10^6 \cdot k \cdot 10^7 \approx 10^{14}$ или $U_m \geq 10^7 [\text{В}]$.

Таким образом, можно положить $U_{\text{м.доп.}} \geq 2 \cdot 10^7 [\text{В}]$, что при современных высоковольтных конденсаторах вполне допустимо. Тогда из (15) получаем

$$L_{\Sigma} \cdot i_m \approx 7 \cdot 10^4,$$

а из (14)

$$i_m \geq 0,4 \cdot 10^2 [\text{А}].$$

Можно положить $i_m \approx 50 [\text{А}]$, тогда $L_{\Sigma} \approx 1400 [\text{Гн}]$.

Из равенства (9) находим $\frac{\mu_1 n_1}{r} = \frac{7 \cdot 10^4}{3 \cdot 10^{-3}} \approx 2 \cdot 10^7$.

Возвращаясь к оценке L_1 , получаем

$$L_1 \approx 2 \cdot 10^{-8} \cdot 2 \cdot 10^7 \cdot n_1 = 4 \cdot 10^{-1} \cdot n_1.$$

Если, как ранее было указано, положить $n_1 = 10^3$, то

$$L_1 \approx 400 [\text{Гн}],$$

откуда

$L \approx 1000$ [Гн].

Для окончательного определения параметров тороида и дросселя L полагаем $n=n_1=10^3$, $\mu_1=10^5$, $r=5$ м, $S_1=S=0.1$ м², $\mu=10^5$.

5 Тогда из равенства $L = \frac{\mu \cdot \mu_0 \cdot S \cdot n^2}{l}$, где l - длина дросселя (соленоида),

получаем

$$l=4\pi \approx 12.5 \text{ м.}$$

Сопротивление, вносимое нагрузкой в контур, теперь можно оценить, т.к.

10 $i_{\partial} = 50 / \sqrt{2}$ и, следовательно,

$$R_{\text{экв}} = \frac{P_{\partial \text{ЭЭ}}}{i_{\partial}^2} = 4 [\Omega]$$

15 Таким образом $R_{\Sigma}=5[\Omega]$ и постоянная затухания контура $\frac{2L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} = 560 \text{ с} \approx 9 \text{ мин}$.

Т.е. за время $t_e \approx 9$ мин ток в контуре уменьшится в e раз. Двигатели в резонансном включении смогут за это время надежно работать, так как номинальное для их работы напряжение питания поддерживается автоматическим регулятором.

20 Проблема высокого напряжения на емкости решается с помощью современных высоковольтных конденсаторов на напряжения до сотни киловольт.

Рассмотрим контур двигателя, представленный на фиг.3.

25 На фиг.3 влияние ротора учтено в L_{∂} и R_{∂} . Для двигателя мощностью 1 кВт ориентировочно $L_{\partial} \approx 0.5$ Гн, а R_{∂} можно оценить также, как и $R_{\text{ЭКВ}}$ в силовом контуре,

т.е. $R_{\text{ЭКВ}} = \frac{P_{\partial \text{ЭЭ}}}{i_{\partial}^2}$.

30 Ток i_{∂} в номинальном режиме составляет 5А, поэтому $R_{\partial, \text{ЭКВ}} \approx 40 [\Omega]$. Точная формула для оценки $R_{\partial, \text{ЭКВ}}$ сложна и включает множество параметров, в том числе характеризующие скольжение. Примем $R_{\partial} \approx 40 [\Omega]$.

ЭДС контура E определяется током i основного контура

35
$$E = k \cdot \omega \cdot i_m \cdot e^{-\frac{R_{\Sigma} t}{2L_{\Sigma}}} \cos \omega t \quad (16)$$

где $k = \frac{\mu_T \mu_0 S_T n_T}{2\pi r_T}$ [Гн],

μ_T - магнитная проницаемость сердечника трансформатора тока,

40 S_T - сечение сердечника,

n_T - число витков трансформатора тока,

r_T - средний радиус тороида трансформатора тока.

45 Исследование процессов в контуре фиг.3, в общем виде сложно, однако, учитывая весьма малый декремент затухания, можно упростить анализ, проведя его на частотном языке и предполагая, что амплитуда генератора E медленно изменяется во времени, т.е.

$$E_m = E_{m0} \cdot e^{-R_{\Sigma} t / 2L_{\Sigma}} \text{ из (16) следует } E_{m0} = k \cdot \omega \cdot i_m.$$

50 Тогда модуль напряжения на двигателе $/U_{\partial}/$ можно записать в виде

$$/ U_{\partial} / = \sqrt{\frac{\omega^2 L_{\partial}^2 + R_{\partial}^2}{R_{\partial}^2 + [\omega(L_{\partial} + L_{\text{мп}}) - 1 / \omega C_p]^2}} \cdot E_m \quad (17)$$

Поскольку L_{∂} зависит от режима работы двигателя, то, как было сказано выше, $L_{mp} \gg L_{\partial}$ и поэтому диапазон перекрытия определяется только индуктивностью L_{mp} . С учетом этого (17) можно переписать в более удобной форме:

$$/ U_{\partial} / = \sqrt{\frac{(\omega \tau_{\partial})^2 + 1}{1 + m^2}} \cdot E_m, \quad (18)$$

где $m^2 = (\omega \cdot \tau_{mp} - 1/\tau_p)^2$; $\tau_{\partial} = L_{\partial}/R_{\partial}$; $\tau_{mp} = L_{mp}/R_{\partial}$; $\tau_p = C_p \cdot R_{\partial}$.

Коэффициент m в (18) определяет диапазон перекрытия. Формально $m^2 \in [0, \infty)$.

10 При $m=0$ имеет место резонанс и $/U_{\partial}/_{max} \approx E_m \cdot \omega \tau_{\partial}$ (учитывая, что при реальных параметрах двигателя $\omega \tau_{\partial} \gg 1$). При $m \Rightarrow \infty$ очевидно $/U_{\partial}/ \Rightarrow 0$.

Рассмотрим пределы изменения E_m за время уменьшения i в e раз:

$$15 \quad E_m = E_{m0} \Big|_{t=0}, \quad E_m = E_{m0} \cdot e^{-1} \Big|_{t=t_e}, \quad \text{где } t_e = \frac{2L_{\Sigma}}{R_{\Sigma}} \approx 9 \text{ мин.}$$

Иными словами, за время, отсчитываемое от момента удара молнии в течение 9 мин, двигатель должен стабильно работать, т.е. m^2 должен изменяться таким образом,

$$20 \quad \text{что } \frac{\omega \tau_{\partial}}{1 + m^2} \cdot E_m \approx 300 \text{ В} \quad (\text{амплитудное напряжение на двигателе),}$$

$$\text{откуда } m^2 = \left(\frac{\omega \tau_{\partial} \cdot E_m}{300} \right)^2 - 1.$$

$$25 \quad \text{При } t=0 \text{ имеем } m_0^2 = \left(\frac{\omega \tau_{\partial} \cdot E_{m0}}{300} \right)^2 - 1$$

$$\text{при } t=t_1 \text{ имеем } m_1^2 = \left(\frac{\omega \tau_{\partial} \cdot E_{m0}}{e \cdot 300} \right)^2 - 1.$$

30 Между этими двумя границами $/m/$ изменяется по закону

$$/m/ = \sqrt{\left(\frac{\omega \tau_{\partial} E_{m0} \cdot e^{-R_{\Sigma} t / 2L_{\Sigma}}}{300} \right)^2 - 1} \quad (19)$$

35 Проведем оценку границ при $S_T \approx 10^{-2} \text{ м}^2$, $\tau_{\partial} \frac{L_{\partial}}{R_{\partial}} \approx 0.01 \text{ с}$.

$$\text{Тогда } \omega \tau_{\partial} E_{m0} = \frac{\mu_T \cdot \mu_0 \cdot S_T \cdot n_T}{2\pi r_T} \cdot \omega^2 \cdot \tau_{\partial} \cdot i_m = 2 \cdot 10^{-6} \cdot i_m \cdot \frac{\mu_T n_T}{r_T}$$

40 Из равенства (8) получается оценка диапазона неопределенности тока, т.е.

$$i_m \approx (1 \div 2) \cdot 2 \cdot 10^7 \cdot \frac{1}{300 \cdot \div 1400} \approx (0.5 \div 1) \cdot 10^2 \text{ [A]}$$

$$\text{Следовательно } \omega \cdot \tau_{\partial} \cdot E_{m0} \approx (1 \div 2) 10^{-4} \cdot \frac{\mu_T n_T}{r_T}$$

45 Из (19) следует, что $\frac{\mu_T n_T}{r_T} \approx v 10^7$, где $v < 10$

$$\text{Тогда } /m_1/ = \sqrt{\left(\frac{v}{3} \right)^3 \cdot \left(\frac{10 \div 20}{e} \right)^2 - 1}$$

$$50 \quad /m_0/ = \sqrt{\left(\frac{v}{3} \right)^3 \cdot (10 \div 20)^2 - 1}$$

При этом

$$/m_1/\approx(4\div 8), /m_0/\approx(10\div 20).$$

Таким образом, диапазон перекрытия оказывается равным $/m/\approx(4\div 20)$.

Заметим, что диапазон регулировки не должен содержать $m=0$ (условие резонанса), так как границы диапазона неопределенности случайные величины.

Тогда

$$/ \omega L_{TP} - \frac{1}{\omega C_p} / = (160 \div 800)[\Omega]$$

Из этого равенства следуют два решения

$$C_p = \begin{cases} \frac{1}{\omega^2 L_{mp} - 160 \cdot \omega} \div \frac{1}{\omega^2 L_{mp} - 800 \cdot \omega} \\ \frac{1}{\omega^2 L_{mp} + 800 \cdot \omega} \div \frac{1}{\omega^2 L_{mp} + 160 \cdot \omega} \end{cases} \quad (20)$$

Для выбора решения необходимо провести оценку L_{mp} . Для тороида трансформатора тока

$$L_{mp} = \frac{\mu_T \cdot \mu_0 \cdot S_T \cdot n_T^2}{2\pi r_T} = \frac{\mu_T \cdot n_T}{r_T} \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-2} n_T = 3 \cdot 10^7 \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-2} n_T = 6 \cdot 10^{-2} n_T$$

Так как L_{mp} должна быть много больше L_∂ , а с другой стороны, при слишком большой L_{mp} , помимо конструктивных усложнений, как видно из формулы (20), резко сужается диапазон регулировки C_p , исходя из этих соображений, примем $n_T=10^2$.

Тогда $L_{mp}=6$ [Гн].

Не сложно заметить, что больший диапазон регулировки дает верхнее решение(20), т.е.

$$C_p \approx (2\div 3) \cdot 10^6 [\Phi] = (2-3) [\text{мк}\Phi]$$

Максимально возможное напряжение на конденсаторе C возникает при резонансе и равно

$$/ U_c /_{\max} = \frac{E_{m0}}{\omega R_\partial C_p} \approx 105 [\text{В}]$$

Относительно выбора типа конденсатора C_p соображения те же, что и приведенные выше, а схема регулировки представлена на фиг.4. На фиг.4 показана схема дискретной регулировки, но возможна и плавная, а также комбинированная.

Реализация устройства утилизации энергии молнии не требует разработки специальных технологий и материалов для изготовления электромагнитных устройств, стартового тороида L_1 , рабочей индуктивности L и трансформатора L_{mp} .

Электродвигатели - асинхронные переменного тока мощностью ориентировочно 1 кВт.

При необходимости применения 3-фазного двигателя используют общепромышленные преобразователи частоты /ПЧ/, имеющие штатную функцию формирования стандартного 3-фазного напряжения силовой сети при однофазном питании собственно ПЧ и выходную мощность, достаточную для питания применяемого 3-фазного электродвигателя, например ПЧ серии VFD фирмы «DELTA ELECTRONICS, INC» корпорации DELTA (DELTA GROUP COMPANIES) Тайвань.

Регулятор автоматический общепромышленный, стандартный, например, типа «МИНИТЕРМ-400» производства Московского Завода Тепловой Автоматики или

серии UDC фирмы «HONEYWELL»

Переключатель конденсаторов (фиг.4) изготавливается по стандартным технологиям высоковольтных цепей.

В качестве привода переключателя может быть применен общепромышленный исполнительный механизм, например, серии МЭО производства МЗТА (Москва) или ООО «МЕТРАН» (РФ) или ему аналогичный.

Датчик напряжения переменного промышленной частоты - общепромышленный, информационно сопрягающийся (по крайней мере, по категории унифицированного сигнала токового (4...20) мА) с общепромышленными средствами КИП и А, например типа У855.3ЭС (Республика Беларусь, г.Витебск).

Конденсаторы - высоковольтные типа К75-90 на 40 кВ производства фирмы «Элкод» или производства фирмы «AVX High Voltage Capacitors NP/NW/NK Type - Strontium-based Dielectric» типа NP60E90751M (на 100 кВ).

Формула изобретения

1. Способ экологически чистой утилизации энергии молнии, отличающийся тем, что вокруг соединенного с землей металлического снижения молнии располагают тороид-приемник с намоткой электрическим проводом ударного возбуждения высокочастотного контура, состоящего из последовательно соединенных стартового тороида-приемника, рабочей индуктивности и конденсатора, настроенного на частоту промышленной сети, а энергию от указанного контура для питания стандартного электродвигателя переменного тока отбирают трансформатором тока, протекающего в резонансной цепи ударного возбуждения, причем электродвигатель подключен ко вторичной обмотке трансформатора тока по схеме последовательного резонанса, в которой стандартное напряжение питания промышленного электродвигателя при изменении напряжения в основном контуре вследствие затухания колебательного процесса поддерживается автоматическим регулятором путем изменения электрической емкости конденсатора, а промышленный электродвигатель соединен с устройствами накопления энергии, устройствами выполнения непосредственной работы, при этом контур, получив ударное возбуждение переводят в нерабочее состояние для исключения негативных последствий от близкого по времени повторного удара молнии.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что рабочая индуктивность много больше индуктивности тороида-приемника.

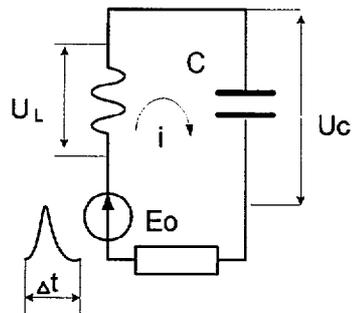
3. Способ по п.1, отличающийся тем, что индуктивность трансформатора тока много больше индуктивности статора электродвигателя.

4. Способ по п.1, отличающийся тем, что на заземленном снижении молнии по высоте снижения молниеотвода устанавливают несколько одинаковых устройств утилизации энергии молнии.

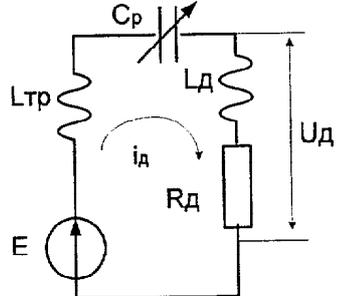
5. Способ по п.1, отличающийся тем, что в многоярусной конструкции стартовый тороид изготавливают не замкнутыми, а частичными дугами.

6. Способ по п.1, отличающийся тем, что частоту настройки контуров выбирают с конкретной необходимостью, в частности 50 Гц или 400 Гц.

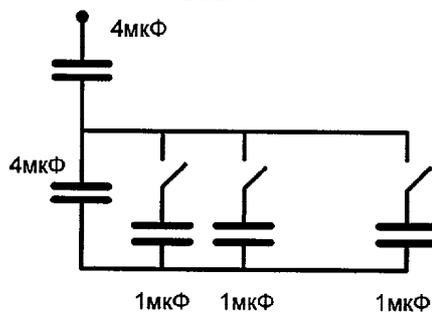
7. Способ по п.1, отличающийся тем, что 3-фазный двигатель подсоединяется к трансформатору тока и настраиваемой емкости через тиристорный преобразователь частоты, который при однофазном напряжении питания (например, 220 В) формирует трехфазное напряжение питания (380 В, 3 фазы).



ФИГ.2



ФИГ.3



ФИГ.4