

граммными средствами расчета цепей постоянного тока (в связи с чем отпадает необходимость применения дорогостоящих специализированных программ анализа электрических систем).

### Перечень ссылок

1. Буслова Н. В. Электрические системы и сети / Н. В. Буслова, В. Н. Винославский, Г. Н. Денисенко, В. С. Перхач. – К. : Вища шк., 1986. – 584 с.
2. Зевеке Г. В. Основы теории цепей. Ученик для вузов / Г. В. Зевеке, П. А. Ионкин, А. В. Нетушил, С. В. Страхов. – М. : Энергия, 1975. – 752 с.
3. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования / Б. Н. Неклепаев, И. П. Крючков, В. В. Жуков, Ю. П. Кузнецов ; под ред. Б. Н. Неклепаева. – М. : Изд-во НЦ ЭНАС, 2004. – 152 с.
4. Гусев А. С. Основные аспекты проблемы моделирования электроэнергетических систем, перспективы и средства их решения / А. С. Гусев // Известия ВУЗов. Электромеханика. – 2006. – № 3. – С. 92–95.
5. Тиховод С. М. Совершенствование методики расчета установившихся процессов в электрических цепях переменного тока / С. М. Тиховод // Электротехника та електроенергетика. – 2007. – № 2. – С. 29–33.
6. Кардашев Г. А. Виртуальная электроника. Компьютерное моделирование аналоговых устройств / Г. А. Кардашев. – М. : Горячая линия. – Телеком, 2002. – 260 с.
7. Астахов В. И. Моделирование цепями Кирхгофа электротехнических устройств / В. И. Астахов // Известия ВУЗов. Электромеханика. – 1998. – №5. – С. 95–108.
8. Антипенский Р. В. Схемотехническое проектирование и моделирование радиоэлектронных устройств / Р. В. Антипенский, А. Г. Фадин. – М. : Техносфера, 2007. – 128 с.
9. Канов Л. Н. Схемное моделирование электроэнергетических систем переменного тока / Л. Н. Канов // Электротехника та електроенергетика. – 2004. – № 1. – С. 5–9.
10. Карлащук В. И. Электронная лаборатория на IBM PC / В. И. Карлащук. – М. : Изд-во «Солон-Р», 2001. – 726 с.
11. Чернин А. Б. Основы вычислений электрических величин для релейной защиты при сложных повреждениях в электрических системах / А. Б. Чернин, С. Б. Лосев. – М.: Энергия, 1971. – 440 с.

Поступила в редакцию 10.06.08 г.

После доработки 30.12.08 г.

*Запропоновано методику застосування схемного моделювання для розрахунку стаціонарних режимів електричних систем змінного струму, для чого побудовані схемні моделі основних електротехнічних елементів, джерел та трансформаторів. Достойнство методики складається в спрощенні розрахунків за рахунок скорочення обчислень і застосування простих програмних засобів.*

*The method of scheme design application is offered for the calculation of the stationary modes of the electric systems of alternating current, for this purpose the scheme models of basic electrical engineering elements, sources and transformers are built. It is shown the possibility of the purposed use of programmatic facilities of the direct-current chain calculation.*

УДК 621314

В. А. Волков

## Источник электропитания, снижающий ток в нейтрале трехфазной сети переменного напряжения

*Предложена и исследована схема источника электропитания, снижающего ток в нейтрале трехфазной сети переменного напряжения.*

В связи с происшедшим в последние годы заметным удорожанием энергоносителей (в том числе электроэнергии) в Украине и во всем мире стала чрезвычайно острой проблема энергосбережения. При этом одним из возможных известных путей уменьшения потерь электроэнергии в трехфазных электрических сетях переменного тока является симметрирование фазных сетевых токов [1, 2]. Поэтому разработка и исследование новых симметрирующих устройств (СУ), решающих данную задачу, актуально и востребовано практикой.

Большинство из известных СУ создаются на основе конденсаторов, реакторов или трансформаторов,

условно разделяясь (в зависимости от вида своих схем) на две группы: с электрическими и электромагнитными связями [1]. Основная часть таких устройств, рассмотренных в [1], обеспечивает симметрирование токов только в трехфазных трехпроводных (без нулевого провода) сетях переменного напряжения. Опираясь на свои собственные исследования (и подтверждая их исследованиями других авторов [3]), также заметим, что, к сожалению, такой же ограниченной областью применения на практике пока характеризуются наиболее современные и эффективные СУ, создаваемые на основе активного фильтра [2].

В известной научно-технической и патентной ли-

© В. А. Волков 2009 г.

температуре освещены очень недостаточно симметрирующие устройства, которые предназначены для трехфазных четырехпроводных (с нулевым проводом) сетей переменного напряжения, питающих трехфазные нагрузки, снабженные нейтральным выводом. При этом создание таких (пока очень немногочисленных) СУ основано на следующих способах: подключения к недогруженным фазам нагрузки дополнительных сопротивлений [1] (что очень неэффективно, так как приводит к дополнительным потерям электроэнергии); на использовании системы добавочных ЭДС (что технически относительно сложно и дорого в реализации); на подключении параллельно нагрузке поперечных фильтров (состоящих из последовательно соединенных конденсатора и реактора) [4]; на тех же поперечных фильтрах с регулируемой индуктивностью [5]; на использовании поперечного фильтра и схемы автоматического управления, работающей в функции тока нулевого провода [6]; на использовании компенсирующего устройства, снабженного тиристорным регулятором мощности [7]. Причем, в двух последних устройствах симметрирование сетевых фазных токов осуществляется путем уменьшения тока в нулевом проводе (достигающемся подключением поперечного фильтра или изменением угла управления тиристорного компенсатора).

Всем известным СУ, функционирующим в трехфазных четырехпроводных сетях переменного напряжения, присущи общие недостатки: невысокая точность симметрирования токов; низкое быстродействие; удовлетворительная работа только при практически синусоидальной форме токов (т. е. – при несиммет-

ричных линейных нагрузках). Эти недостатки на практике приводят к неэффективности данных устройств, особенно в условиях реально наблюдающейся несинусоидальной формы сетевых токов (вызванной широким применением в последнее время разнообразных преобразовательных устройств). Одновременно с этим в известной научно-технической и патентной литературе отмечается явная недостаточность исследований электромагнитных процессов в СУ для трехфазных четырехпроводных сетей, а на практике остро испытывается потребность в создании новых и более эффективных симметрирующих устройств.

Целью статьи является разработка источника электропитания, служащего для уменьшения тока в нейтральном проводе трехфазной сети переменного напряжения, а также исследование происходящих в этом источнике электромагнитных процессов и оказываемого им влияния на потери мощности в трехфазной сети и на симметрию сетевых фазных токов.

Электрическая схема разработанного источника электропитания представлена на рис. 1 и содержит в своем составе: трехфазную четырехпроводную питающую сеть переменного напряжения (показанную фазными напряжениями  $U_A, U_B, U_C$  и нейтральным проводом N); трехфазный  $L_1$  и однофазный  $L_2$  реакторы; трехфазную мостовую схему выпрямления, выполненную на диодах  $V_4 - V_9$ ; конденсатор C; переключатель  $S_5$ ; нагрузочный резистор  $R_6$ ; силовые полупроводниковые ключи (например, типа IGBT)  $V_{10}$  и  $V_{11}$ , шунтированные обратными диодами  $V_{12}$  и  $V_{13}$ ; датчики тока ДТ1 и ДТ2; компараторы К1 и К2.

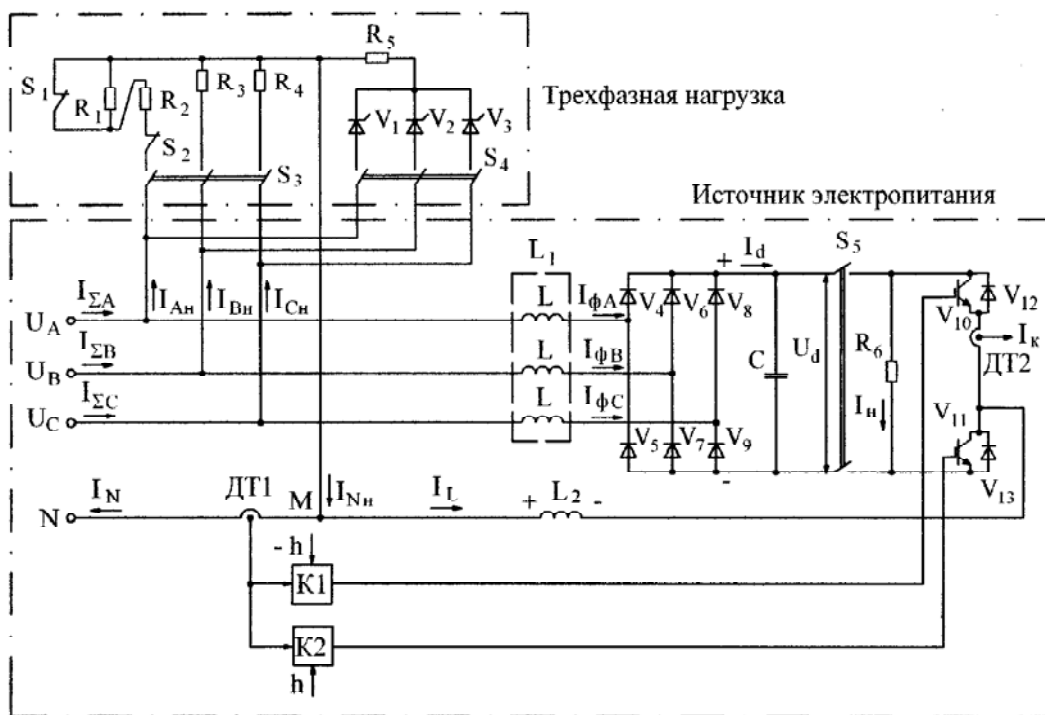


Рис. 1. Электрическая схема источника электропитания

Фазные сетевые напряжения  $U_A, U_B, U_C$  подаются на различные трехфазные нагрузки, снабженные нейтральным выводом (подсоединенным к нейтрале N трехфазной питающей сети) и выполненные в виде:

– резисторов  $R_1-R_4$  (подключаемых к сети с помощью выключателей  $S_1-S_3$ );

– или тиристорного преобразователя (с трехфазной нулевой схемой на тиристорах  $V_1-V_3$ , подключаемой к сети посредством выключателя  $S_4$ ) постоянного тока (ТППТ), нагруженного на резистор  $R_5$ .

Предложенный источник электропитания функционирует (при замкнутом переключателе  $S_5$ ) следующим образом. При питании симметричной трехфазной нагрузки (не содержащей нулевой составляющей токов) от симметричных сетевых фазных напряжений  $U_A, U_B, U_C$  ток  $I_{Nh}$  в нейтральном выводе такой нагрузки равен нулю:  $I_{Nh} = 0$ . Также, очевидно, что при этом равен нулю ток  $I_N$ , протекающий в нейтрале питающей сети:  $I_N = 0$ , который контролируется датчиком тока ДТ1. При сравнении указанного нулевого выходного сигнала датчика тока ДТ1 (поступающего на входы компараторов К1 и К2) со значениями уставок:  $+h$  и  $-h$ , – этих компараторов выполняется следующее соотношение:

$$-h < I_N < +h, \quad (1)$$

где значения упомянутых уставок разнополярны и близки по амплитуде к нулю (в частности, например, составляют менее 5 % от номинального значения сетевых фазных токов). При данном соотношении (1) оба компаратора К1 и К2 формируют на своих выходах сигналы, равные лог. «0», которые обеспечивают закрытые состояния силовых ключей  $V_{10}$  и  $V_{11}$ , а, следовательно, – отсутствие тока ( $I_L = 0$ ) через реактор  $L_2$ .

Одновременно с этим на выходе трехфазного выпрямителя формируется постоянное (выпрямленное) напряжение с полярностью, показанной на рис. 1. До указанного значения постоянного напряжения заряжается конденсатор С. Поскольку ток  $I_L$  в реакторе  $L_2$  равен нулю, то при рассматриваемой симметричной трехфазной нагрузке токи, протекающие в нейтрале N питающей сети и в нейтрале нагрузки, остаются равными нулю:  $I_N = I_{Nh} = 0$ .

При возникновении асимметрии или при наличии постоянных составляющих тока в фазных токах нагрузки (например, вызванных соответственно асимметрией сопротивлений разных фаз указанной нагрузки или работой трехфазной нулевой схемы ТППТ) в нейтральном выводе трехфазной нагрузки протекает ненулевое значение тока:  $I_{Nh} \neq 0$ . При этом за положительные направления токов  $I_N, I_{Nh}$  и  $I_L$ , протекающих соответственно в нейтрале сети, нейтрале нагрузки и реакторе  $L_2$ , примем их направления, показанные стрелками в схеме на рис. 1. В свою очередь, ненулевое значение  $I_{Nh}$  тока в нейтрале нагрузки вызывает (при закрытых силовых ключах  $V_{10}$  и  $V_{11}$ ) появление ненулевого значения тока  $I_N$  в нейтрале сети:  $I_N \neq 0$ , которое контролируется датчиком тока ДТ1.

В результате сравнения на входе компараторов К1 и К2 указанного значения тока  $I_N$ , протекающего

в нейтрале сети, с заданными уставками:  $+h$  и  $-h$ , – возможно выполнение одного из следующих условий:

$$I_N \geq +h, \text{ при } I_N > 0, \quad (2)$$

или

$$I_N \leq -h, \text{ при } I_N < 0. \quad (3)$$

Пусть, например, выполняется условие (2), соответствующее направлениям протекания токов  $I_N$  и  $I_L$ , показанным в схеме на рис. 1. При наличии условия (2) на выходе компаратора К2 формируется сигнал лог. «1», а на выходе компаратора К1 – сигнал лог. «0», что обеспечивает открытое состояние силового ключа  $V_{11}$  и закрытое состояние силового ключа  $V_{10}$ . При данных состояниях силовых ключей  $V_{10}$  и  $V_{11}$  к реактору  $L_2$  прикладывается (через открытый силовой ключ  $V_{11}$ ) напряжение от отрицательного выходного полюса выпрямителя. Вследствие этого через реактор  $L_2$  происходит нарастание тока  $I_L$  (протекающего от общей точки М соединения датчика ДТ1 с нейтралью нагрузки через реактор  $L_2$ , силовой ключ  $V_{11}$  к отрицательному выходному полюсу выпрямителя). При этом в данном узле М схемы на рис. 1 ток  $I_L$  протекает в направлении, встречном току  $I_N$ , протекающему в нейтрале N питающей сети.

Как только указанный ток  $I_L$  в реакторе  $L_2$  достигает значения тока  $I_{Nh}$ , протекающего в нейтрале нагрузки, ток  $I_N$  в нейтрале N питающей сети станет равным нулю, вследствие чего опять выполнится условие (1). После этого выходные сигналы обоих компараторов К1 и К2 становятся равными лог. «0», что вызывает закрытые состояния силовых ключей  $V_{10}$  и  $V_{11}$ . Электродвижущая сила (ЭДС) самоиндукции реактора  $L_2$  изменит свой знак на противоположный (показанному в схеме на рис. 1), вследствие чего откроется диод  $V_{12}$  и будет происходить спадание тока  $I_L$  через реактор  $L_2$  по цепи: узел М – реактор  $L_2$  – открытый диод  $V_{12}$  – положительный выходной полюс выпрямителя. При этом конденсатор С служит для исключения перенапряжений на закрываемом силовом ключе  $V_{11}$  (или  $V_{10}$ ), поскольку в указанном конденсаторе происходит накопление части электромагнитной энергии, отдаваемой реактором  $L_2$  при спадании через него тока при закрытии упомянутых силовых ключей  $V_{11}$  (или  $V_{10}$ ).

По истечении некоторого времени (зависящего от значений напряжения на выходных полюсах выпрямителя и индуктивности реактора  $L_2$ ) произойдет спадание тока  $I_L$  через реактор  $L_2$  до значения, равного:  $I_{Nh} - h$ . После этого нарушается условие (1) и вновь начинает выполняться соотношение (2), приводящее (как показано ранее) к открытию силового ключа  $V_{11}$ . После этого работа рассматриваемого устройства повторяется.

Если же в результате появления асимметрии токов в трехфазной нагрузке (или возникновения в этих токах нулевых составляющих) ток  $I_{Nh}$  в нейтрале N нагрузки не равен нулю и отрицателен, то на входе компаратора К1 выполняется другое соотношение (3). В этом случае функционирование предложенного ус-

тройства происходит аналогично ранее рассмотренному со следующими отличиями: во-первых, все упомянутые токи  $I_N$ ,  $I_{Nh}$  и  $I_L$  характеризуются направлениями, противоположными показанным в схеме на рис. 1. Во-вторых, для соотношения (3) присутствуют: сигнал лог. «1» и сигнал лог. «0» соответственно на выходах первого и второго компараторов К1 и К2, – в результате чего закрыт силовой ключ  $V_{11}$  и открывается силовой ключ  $V_{10}$ . В-третьих, при открытом данном силовом ключе  $V_{10}$  к реактору  $L_2$  прикладывается напряжение от положительного выходного полюса выпрямителя. В-четвертых, по истечении некоторого времени (когда спадет отрицательной полярности ток  $I_L$  в реакторе  $L_2$  до значения тока  $I_{Nh}$ , протекающего в нейтрале нагрузки) вновь выполнится условие (3), после чего силовой ключ  $V_{10}$  закроется и к реактору  $L_2$  прикладывается через открытый диод  $V_{13}$  напряжение от отрицательного полюса выпрямителя.

В результате такого функционирования источника электропитания на рис. 1 в нем автоматически поддерживается соотношение (1), а, следовательно, – примерно равным нулю значение тока  $I_N$ , протекающего в нейтрале питающей сети:

$$I_N \approx 0 \quad (4)$$

(поскольку, как отмечено ранее, близки к нулю используемые уставки:  $+h$  и  $-h$  – для компараторов К1 и К2). По-существу, условие (4) поддерживается за счет осуществляемой в узле М автоматической компенсации текущего значения тока  $I_{Nh}$ , протекающего в нейтрале несимметричной (или содержащей нулевые составляющие токов) трехфазной нагрузки:

$$I_L \approx I_{Nh} \quad (5)$$

Причем, эта компенсация осуществляется путем принудительной подачи в узел М (через реактор  $L_2$ ) тока  $I_L$ , равного по амплитуде и того же направления, что и указанный ток  $I_{Nh}$ .

За счет влияния данной компенсации (и, в частности, вследствие протекания при этом дополнительной составляющей тока, равной  $I_L$ , по цепи: один из выходных полюсов (положительный или отрицательный) выпрямителя – реактор  $L_2$  – датчик тока ДТ1 – нейтраль N сети – фазные провода (передающие напряжения  $U_A, U_B, U_C$ ) питающей сети – реактор  $L_1$  – открытые диоды выпрямителя), в свою очередь, симметрируются действующие значения  $I_{A0}, I_{B0}, I_{C0}$  сетевых фазных токов  $I_A, I_B, I_C$ :

$$I_{A0} \approx I_{B0} \approx I_{C0} \quad (6)$$

Для исследования электромагнитных процессов разработана в пакете программ Matlab имитационная модель предложенного источника электропитания (с показанными на рис. 1 трехфазными нагрузками). На указанной модели проведены исследования электромагнитных процессов в предложенном источнике электропитания для рассмотренных трехфазных нагрузок при следующих режимах:

1) увеличение в 2, 3, 4 или 5 раз сопротивления одной из фаз трехфазной активной нагрузки (первоначально замкнуты выключатели  $S_1 - S_3$ ; в момент времени  $t = 0,06$  с размыкается выключатель  $S_1$ );

2) обрыв одной из фаз трехфазной активной нагрузки (замкнуты выключатели  $S_2$  и  $S_3$ ; в момент времени  $t = 0,06$  с размыкается выключатель  $S_2$ );

3) изменение угла управления (от 0 до 45 эл. град. в момент времени  $t = 0,06$  с при замкнутом выключателе  $S_4$ ) ТППТ.

На временных диаграммах на рис. 2 – рис. 4 приведены рассчитанные электромагнитные процессы для источника электропитания и нагрузок, соответствующие указанным режимам и параметрам, показанным в табл. 1. На рис. 2 – рис. 4 используются следующие обозначения:  $U_{An}, U_{Bn}, U_{Cn}$  – фазные напряжения нагрузки;  $I_{\Sigma A}, I_{\Sigma B}, I_{\Sigma C}$  – сетевые фазные токи;  $I_{An}, I_{Bn}, I_{Cn}$  – фазные токи трехфазной нагрузки;  $I_{\Phi A}, I_{\Phi B}, I_{\Phi C}$  – фазные токи выпрямителя;  $I_N$  и  $I_{Nh}$  – токи в нейтрале сети и нейтрале трехфазной нагрузки соответственно;  $I_L$  и  $I_k$  – токи реактора  $L_2$  и датчика тока ДТ2;  $U_d$  и  $I_d$  – напряжение и ток на выходе выпрямителя соответственно;  $I_n$  – ток нагрузочного резистора  $R_6$ .

По результатам расчета электромагнитных процессов произведено вычисление действующих значений  $I_{A0}, I_{B0}, I_{C0}$  сетевых фазных токов  $I_{\Sigma A}, I_{\Sigma B}, I_{\Sigma C}$ , действующего значения  $I_{N0}$  тока  $I_N$  в нейтрале, а через них – коэффициента несимметрии сетевых токов в виде [2]:

$$K_n = \frac{3(I_{d\max} - I_{d\min})}{2(I_{dA} + I_{dB} + I_{dC})} \quad (7)$$

где  $I_{d\max}$  и  $I_{d\min}$  – соответственно максимальное и минимальное действующие значения сетевых фазных токов.

Исключив функционирование предложенного источника питания (размыканием переключателя  $S_5$ ), были вычислены для сравнения в тех же режимах действующие значения сетевых фазных токов  $I'_{A0}, I'_{B0}, I'_{C0}$  и тока нейтрали  $I'_{N0}$ , а также коэффициента  $K'_n$  несимметрии сетевых токов.

Принимая во внимание упрощенную (не учитывающую влияние несинусоидальной формы сетевых токов) зависимость для нахождения активных потерь мощность в четырехпроводной сети:

$$\Delta P_{\Sigma} = R_{\Phi}(I_{A0}^2 + I_{B0}^2 + I_{C0}^2) + R_N I_{N0}^2 \quad (8)$$

рассчитаем значение коэффициента снижения потерь мощности  $K_c$  в трехфазной питающей сети в виде:

$$K_c = \frac{I_{A0}^2 + I_{B0}^2 + I_{C0}^2 + \xi I_{N0}^2}{(I'_{A0})^2 + (I'_{B0})^2 + (I'_{C0})^2 + \xi (I'_{N0})^2} \quad (9)$$

достигаемое за счет применения предложенного ис-

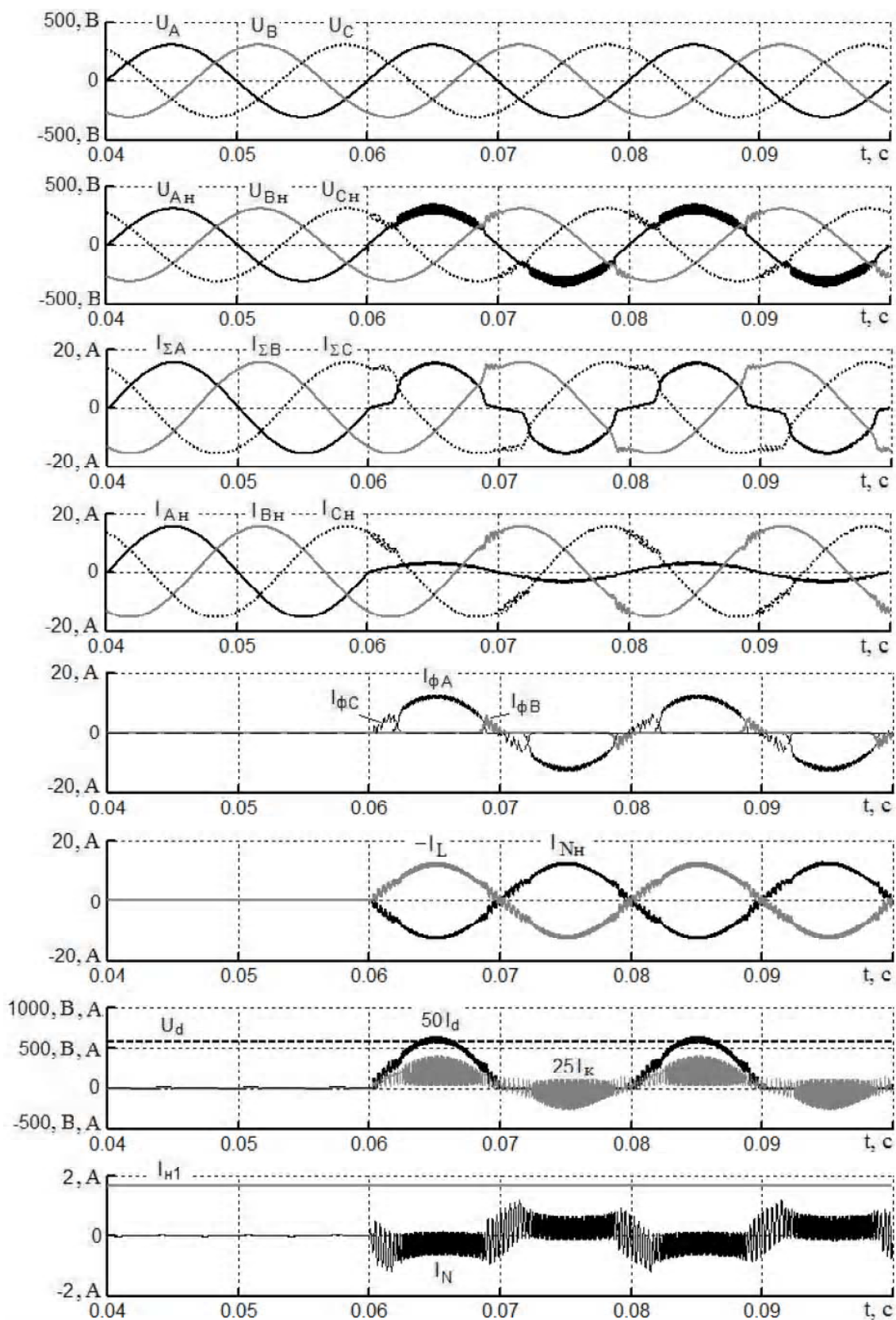


Рис. 2. Временные диаграммы, соответствующие изменению (увеличению) в 5 раз сопротивления одной из фаз трехфазной нагрузки

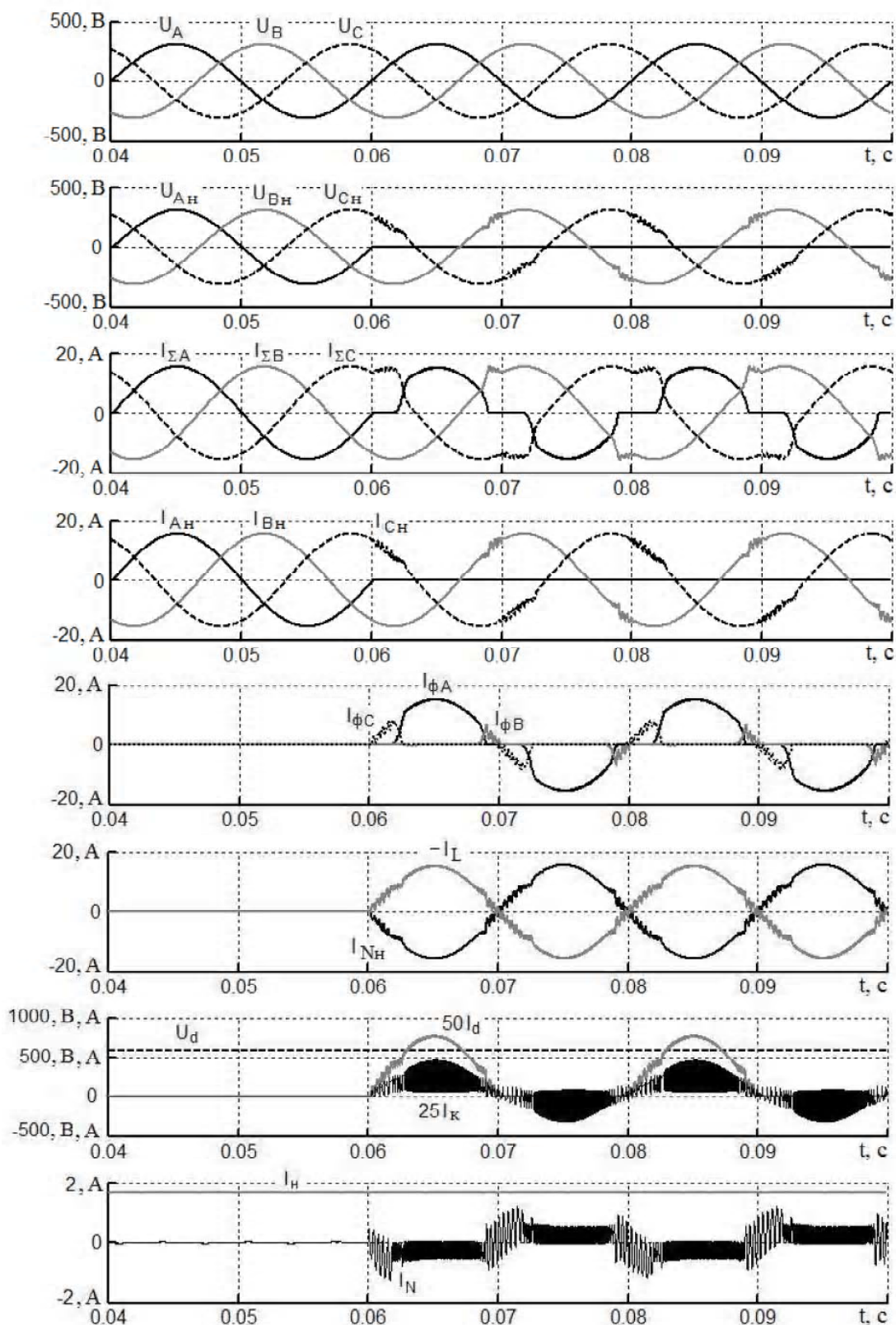


Рис.3. Временные диаграммы, соответствующие обрыву одной из фаз трехфазной нагрузки



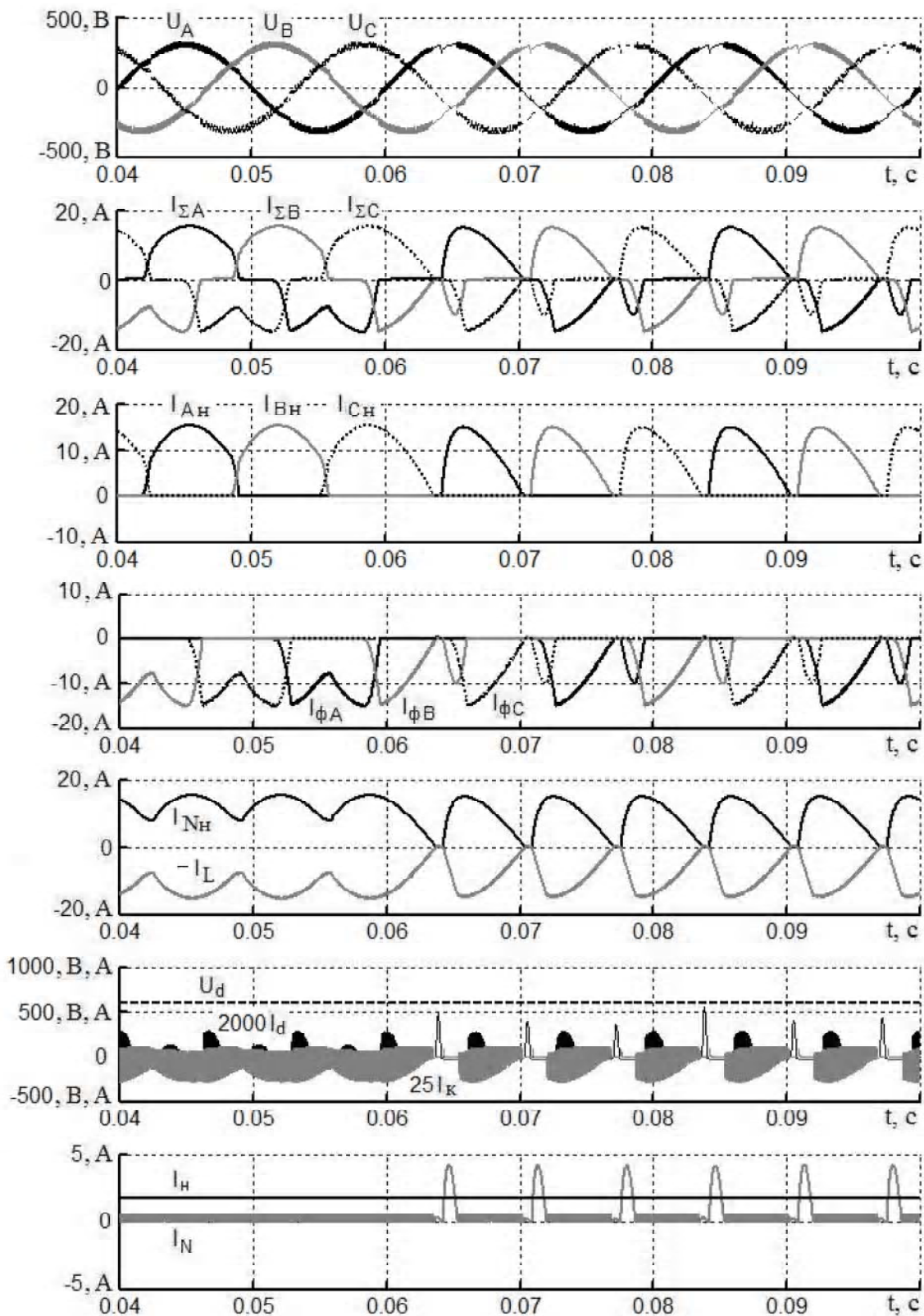


Рис. 4. Временные диаграммы, соответствующие трехфазной нулевой схеме ТППТ

точника электропитания, где:  $R_\phi$  и  $R_N$  – активные сопротивления фазы и нейтрали сети соответственно;  $\xi = R_N / R_\phi$  – отношение между активными сопротивлениями фазного и нейтрального проводов сети.

Для параметров нагрузок из табл. 1 рассчитаны при варьировании отношения  $\xi$  значения коэффициента снижения потерь мощности  $K_c$ , которые показаны на графике на рис. 5 (1 – при увеличении в 5 раз сопротивления одной из фаз трехфазной нагрузки; 2 – при обрыве одной из фаз трехфазной нагрузки; 3 – для трехфазной нулевой схемы ТППТ). В табл. 2 приведены рассчитанные численные значения: действующих сетевых токов и токов в нейтрали, коэффициентов несимметрии  $K_n$  и  $K'_n$ , коэффициента снижения потерь мощности, – для рассмотренных нагрузок без использования и с использованием предложенного источника электропитания.

**Выводы**

1. За счет применения предложенного источника электропитания для несимметричной (или содержащей нулевую составляющую тока) трехфазной нагруз-

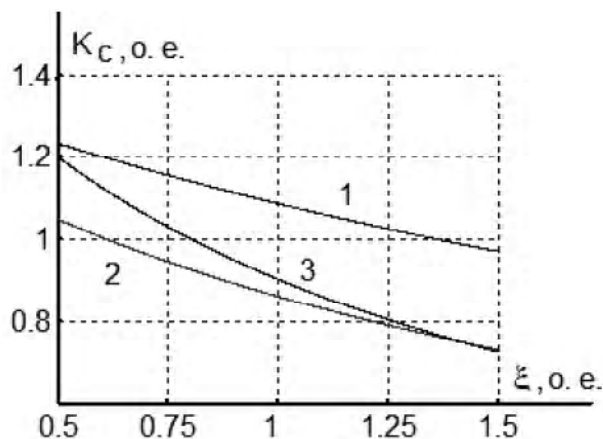


Рис. 5. Зависимость коэффициента снижения потерь  $K_c$  от соотношения  $\xi$

ки, снабженной нейтральным выводом, во-первых, практически исключается протекание ненулевого тока в нейтрали трехфазной четырехпроводной сети переменного напряжения, и, во-вторых, симметрируются действующие значения сетевых токов указанной сети.

Таблица 1. Параметры исследуемых схем

Наименование	$U_A, U_B, U_C$	$R_1$	$R_2 - R_5$	$R_6$	$L_1$	$L_2$	$C$	$h$
Размерность	В (эфф.)	Ом	Ом	Ом	мГн	мГн	мкФ	А
Значение	220	20; 40; 60; 80	20	350	1	10	5500	0,5

Таблица 2. Результаты расчетов

Вид несимметрии нагрузки	Без источника электропитания				Коэффициент несимметрии, $K'_n$	С источником электропитания				Коэффициент несимметрии, $K_n$	Коэффициент снижения потерь (для $\xi = 1,5$ ), $K_c$
	$I'_{\Sigma A \phi}$	$I'_{\Sigma B \phi}$	$I'_{\Sigma C \phi}$	$I'_{\Sigma N \phi}$		$I_{\Sigma A \phi}$	$I_{\Sigma B \phi}$	$I_{\Sigma C \phi}$	$I_{\Sigma N \phi}$		
Увеличение сопротивления одной фазы нагрузки:											
– в 2 раза;	5,49	10,96	10,96	5,47	0,299	10,49	11,24	11,34	0,5	0,039	1,159
– в 3 раза;	3,66	10,96	10,96	7,3	0,43	10,4	10,3	11,5	0,5	0,056	1,04
– в 4 раза;	2,75	10,96	10,96	8,2	0,499	10,36	11,32	11,58	0,5	0,055	1,06
– в 5 раз.	2,2	10,96	10,96	8,76	0,545	10,34	10,34	11,64	0,48	0,06	0,971
Обрыв одной фазы нагрузки	1,602	12,66	10,95	12,53	0,658	10,22	11,41	11,99	0,45	0,079	0,7307
Нулевая схема ТППТ	6,02	6,02	6,01	10,41	0,001	8,06	8,05	8,04	1,27	0,001	0,7254



2. Это, в свою очередь, уменьшает (от нуля до 27 % согласно табл. 2) электрические потери в трехфазной четырехпроводной питающей сети (за счет симметрирования ее фазных токов и исключения протекания тока в нейтрали сети) и позволяет снизить (при питании от данной сети трехфазного ТППТ, выполненного по нулевой схеме) габариты и стоимость применяемого силового трансформатора (за счет исключения протекания постоянных составляющих токов в его вторичных обмотках, уменьшив этим требуемые габариты магнитопровода указанного трансформатора).

3. Наряду с отмеченными преимуществами, недостатком предложенного источника электропитания является необходимость установки в нем нагрузочного резистора  $R_6$  (служащего для рассеивания энергии, поступающей с реактора  $L_2$  при закрывании силовых ключей  $V_{10}$  и  $V_{11}$ ). Другой недостаток предложенного источника электропитания связан с искажением от синусоидальной формы потребляемых сетевых токов, а также (согласно табл. 2 и рис. 5) – привносимыми потерями мощности в питающую сеть ( $K_c > 1$ ) при незначительной асимметрии (менее, чем 1:4) сопротивлений фаз трехфазной нагрузки.

4. Представляет практический и научный интерес дальнейшее совершенствование предложенного источника электропитания, и, в частности, – целесообразно провести исследование его функционирования при замене в нем неуправляемого выпрямителя на активный выпрямитель.

### Перечень ссылок

1. Милых А. Н. Схемы симметрирования однофазных нагрузок в трехфазных цепях / А. Н. Милых, А. К. Шидловский, В. Г. Кузнецов. – К. : Наук. думка, 1973. – 220 с. – Библиогр. : с. 209–217. – 1300 экз.
2. Волков В. А. Симметрирование сетевых токов трехфазной несимметричной нагрузки посредством активного фильтра / В. А. Волков // Разра-

ботка рудных месторождений. – 2008. – № 92. – С. 172–176.

3. Колб А. А. Силовые активные компенсаторы в системе группового питания электроприводов / А. А. Колб // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Вип. 3 (44). – Ч. 2. – Кременчук : КДПУ, 2007. – С. 44–48.
4. А. с. № 283390 СССР, МПК Н 02 J 3/26. Способ симметрирования при неполнофазных режимах в электрических системах с заземленной нейтралью / Д. В. Тимофеев, Р. П. Бирюкова (СССР). – Оpubл. 15.07.70, Бюл. № 31. – 1 с.
5. Пат. 26699 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> Н 02 J 3/26. Устройство для симметрирования токов и напряжений в трехфазной сети с нулевым проводом и саморегулируемой индуктивностью / Г. В. Лукина, И. В. Наумов, А. А. Лукин и др.; заявитель и патентообладатель Иркутская государственная сельскохозяйственная академия. – № 2001130410/09; заявл. 09.11.01; опубл. 27.07.03. – 3 с.: ил.
6. Пат. 61063 Российская Федерация, МПК<sup>6</sup> Н 02 J 3/26. Симметрирующее устройство для трехфазной четырехпроводной сети с регулируемыми параметрами / Д. А. Иванов, Н. В. Наумов, Д. А. Шпак и др.; заявитель и патентообладатель Иркутская государственная сельскохозяйственная академия. – № 2006110751/22; заявл. 03.04.06; опубл. 10.02.07. – 3 с.: ил.
7. Заявка 2001130410 Российская Федерация, МПК<sup>7</sup> Н 02 J 3/26. Устройство для симметрирования токов и напряжений в трехфазной сети с нулевым проводом / Наумов Н. В., Лукина Г. В., Лукин А. А. и др. (Российская Федерация); заявитель Иркутская государственная сельскохозяйственная академия. № 2001130410/09; заявл. 09.11.01; опубл. 27.07.03. – 3 с.: ил.

Поступила в редакцию 28. 12.08 г.

*Запропонована й досліджена схема джерела електроживлення, що знижує струм у нейтралі трифазної мережі змінної напруги.*

*The scheme of power supply source reducing current in neutral terminal of a three-phase alternating voltage grid is offered and investigated.*