

**ПОЛЕЗНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
РЕАКТИВНОЙ ЭНЕРГИИ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ**

ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ПОЛЕЗНОЙ МОЩНОСТИ В ШАХТАХ

В. П. Колосюк, В. Н. Чебенко

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: bgd@kdu.edu.ua

А. В. Колосюк

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры
ул. Героев Небесной Сотни, 14, г. Краматорск, 84333, Украина.

E-mail: andrii_vladimirovich@ukr.net

На примере импульсной схемы с однофазным выпрямлением переменного тока, обоснована возможность полезного использования реактивной энергии потребителя, обладающего индуктивным сопротивлением переменному току. Изложены теоретические основы определения параметров системы импульсного питания. Показано, что если нагрузку (потребителя) питать импульсами тока, а на время паузы питающую линию или источник запереть с помощью вентиля под действием обратного напряжения и одновременно нагрузку шунтировать параллельно подключенным другим вентилем, открываемым этим же обратным напряжением, можно уменьшить потребление тока от источника за счет разряда реактивной энергии, накопленной в индуктивности самой нагрузки во время протекания импульса тока от источника. Этим доказано, что используя реактивную энергию системы импульсного питания, можно увеличить полезную мощность потребителя и уменьшить потребляемую мощность от источника.

Ключевые слова: импульсное питание, линия, потребитель, нагрузка, активное сопротивление, индуктивность, ток, напряжение, мощность.

**КОРИСНЕ ВИКОРИСТАННЯ РЕАКТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ СПОЖИВАЧІВ
ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЇХ КОРИСНОЇ ПОТУЖНОСТІ В ШАХТАХ**

В. П. Колосюк, В. М. Чебенко

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: bgd@kdu.edu.ua

А. В. Колосюк

Донбаська національна академія будівництва та архітектури
вул. Героїв Небесної Сотні, 29, м. Краматорськ, 84333, Україна.

E-mail: andrii_vladimirovich@ukr.net

На прикладі імпульсної схеми з однофазним випрямленням змінного струму, обґрунтована можливість корисного застосування реактивної енергії споживача, маючого індуктивний опір змінному струму. Викладені теоретичні основи визначення параметрів системи імпульсного живлення споживача. Показано, якщо навантаження (споживача) живити імпульсами струму, а на термін паузи живильну лінію або джерело заперити за допомогою вентиля під дією зворотної напруги, та одночасно навантаження шунтувати паралельно підключеним другим вентилем, відкриваємим тою же зворотною напругою, то можна зменшити споживання струму від джерела за рахунок розряду реактивної енергії, накопиченої

в індуктивності самого навантаження за термін протікання імпульсу струму від джерела. Приведена структурна схема запропонованої системи імпульсного живлення, обґрунтовані формули для визначення струму, споживаємого навантаженням від джерела, струму від реактивної електрорушійної сили (ЕРС) самоіндукції, та струму навантаження як суми струмів від джерела живлення та вказаної ЕРС. Отримані графіки залежності струмів від відношення індуктивного опору навантаження до його активного опору та результуючої потужності навантаження, якими доведено, що використовуючи реактивну енергію системи імпульсного живлення, можна збільшити корисну потужність споживача та зменшити споживання потужності від джерела. Цей ефект забезпечиться за умови, що індуктивний опір споживача більше його активного опору. За рахунок отриманого ефекту не тільки зменшуються втрати енергії у живильній лінії, а також зменшується інтенсивність дугоутворення та іскріння при комутаціях у проводах живильної лінії, що має суттєве значення для зниження пожежної та вибухової небезпеки в експлуатації систем живлення споживачів у вугільних шахтах, небезпечних за газом. Отримані результати використані для забезпечення іскробезпечності шахтних систем сигналізації, зв'язку та управління, а також енергозбереження при експлуатації шахтних контактних електровозів з двигунами послідовного збудження і живленні від імпульсної системи з двофазним випрямленням струму.

Ключові слова: імпульсне живлення, лінія, споживач, навантаження, активний опір, індуктивність, струм, напруга, потужність.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. В системах электроснабжения обычно различают активную и реактивную мощность потребителя. Активная мощность создает полезный эффект, т.е. преобразуется в тепло в различных нагревателях, в механическую работу привода разных машин и механизмов и др. Реактивная мощность не создает работу, и обычно считается не полезной, но она необходима для создания магнитного поля в трансформаторах, электродвигателях и других устройствах.

Из-за потребления вместе с активной реактивной мощности требуется увеличение мощности источников питания и тока в питающих линиях, вследствие чего увеличиваются потери напряжения, требуется увеличенное сечение проводов в линиях, снижается коэффициент мощности и коэффициент полезного действия энергосистемы.

В настоящее время импульсное питание используется для регулирования различных электроприводов, а также для питания двигателей пульсирующего тока [1, 2]. Регулирование предусматривает изменение длительности паузы между импульсами тока, вследствие чего изменяется среднее значение напряжения, подаваемого на электродвигатель, а следовательно, и его электромеханические характеристики: скорость вращения и момент на валу.

Импульсное питание может применяться в системах защиты контактных сетей рудничной электровозной откатки, работающих в повторно-кратковременном режиме, а также в системах электро- и искробезопасности [3]. Индуктивность может быть накопителем энергии [4].

Обычно в системах электроснабжения стремятся принимать меры по компенсации реактивной (индуктивной) энергии емкостной энергией, а вопросы применения способов и мер полезного использования реактивной (индуктивной) энергии проработаны недостаточно. Заметим, что применение емкостных компенсаторов, создающих ток противофазный индуктивному току, усложняет систему электроснабжения и, главное, не может обеспечить полную компенсацию индуктивного тока, т.к. ток в индуктивности начинается с нуля, а в емкости-- с максимального значения тока ее заряда. Поэтому полезное использование реактивной энергии можно рассматривать как актуальную в современных условиях проблему энергосбережения, чем предопределена и актуальность настоящей работы.

Цель работы – установление условий полезного использования реактивной энергии в импульсных системах питания потребителей, имеющих значительное индуктивное сопротивление, и обоснование перспектив применения таких систем в промышленности для повышения взрыво- пожаробезопасности при эксплуатации в газовых шахтах и других взрывоопасных производствах.

МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ. Исходили из алгоритма: нагрузка системы электроснабжения, имеющая активное сопротивление и индуктивность, питается импульсами выпрямленного тока с определенной паузой, на время паузы питающую линию и источник тока запирают или выключают, а саму нагрузку шунтируют вентилем, включенным встречно току источника, обеспечивая возврат запасенной в индуктивности энергии в собственную цепь нагрузки и предотвращая ее разряд в цепи источника и питающей линии.

Как пример, для исследований рассматривалась система импульсного питания с однофазным выпрямлением переменного тока частотой 50 Гц, которая является самой простой и наглядной (рис. 1). Определение электрических параметров в цепях выполнялось с использованием компьютерной программы.

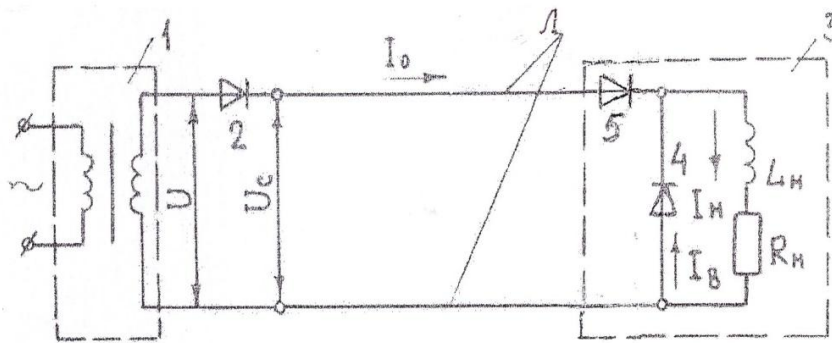


Рисунок 1 – Принципиальная схема системы импульсного питания с однофазным выпрямлением переменного тока

Выпрямление тока источника 1 осуществляется вентилем (диодом) 2, а нагрузка 3, имеющая индуктивность L_n и сопротивление R_n , шунтируется вентилем (диодом) 4. Диод 5 использован как ключевой элемент для надежного заперения линии (Л) при действии обратного напряжения. Вентили (диоды) рассматриваются как идеальные с сопротивлением, равным нулю в проводящем направлении и бесконечно большим в непроводящем, вследствие чего не происходит искажение напряжения диодами. Такую характеристику вентиля можно пред-

ставлять, как кусочно-линейную аппроксимацию реального вентиля: отдельно линейную для проводящего режима и непроводящего режима, что позволяет применить приближенный метод определения зависимости тока от времени [5, б] с возможностью определения погрешностей расчета по экспериментальным данным, как это выполнено в работе [4].

Поскольку вентиль 2, как и вентиль 5, проводит ток только в одном направлении, когда более положительным является его анод, и не проводит ток, когда более положительным является его катод, выходное напряжение является пульсирующим и представлено синусоидальными периодическими импульсами с амплитудой U_m . После каждого импульса напряжения образуется пауза такой же длительности, как и импульса напряжения. Благодаря такому построению системы импульсного питания в течение первого импульса синусоидальной формы к нагрузке по питающей линии подходит импульс тока. При этом в нагрузке наводится электродвижущая сила (ЭДС) самоиндукции. В течение обратного синусоидального импульса вентиль 2 как и вентиль 5 заперт, что эквивалентно отключению источника. В это время ток в линии отсутствует, но в цепи нагрузки ток продолжает протекать и в течении паузы за счет действия ЭДС самоиндукции. Разряд запасенной реактивной энергии осуществляется благодаря вентилю 4, который во время паузы напряжения является открытым. В прямой полупериод вентиль 4 заперт прямым напряжением, поэтому шунтирование нагрузки осуществляется только в обратный полупериод, т.е. в паузу питающего напряжения.

В такой схеме импульсного питания $t_{и} = t_{п} = \frac{T}{2}$, а мгновенное напряжение в течение импульса определяется выражением $u = U_m \sin(\omega t)$. Угловая частота $\omega = 2\pi f = 2\frac{\pi}{T}$, где $f = 50$ Гц – частота следования импульсов.

Среднее за период T выпрямленное напряжение системы импульсного питания с однополупериодным выпрямителем будет:

$$U_c = \frac{U_m}{\pi} = \frac{\sqrt{2}}{\pi} U, \quad (1)$$

где U_m и U – соответственно амплитудное и действующее синусоидальное напряжение вторичной обмотки питающего трансформатора.

Мгновенное значение тока в линии от источника в течение первого импульса выпрямленного напряжения определяется дифференциальным уравнением:

$$U_m \sin(\omega t) = R_H i + L_H \cdot \frac{di}{dt}.$$

Произведя дифференцирование при начальных нулевых условиях, получим [3]:

$$i = I_m \cdot \left[\sin(\omega t - \varphi) + \sin(\varphi) e^{-\delta t} \right], \quad (2)$$

где $I_m = \frac{U_m}{Z}$ – амплитуда выпрямленного тока; $Z = \sqrt{R_H^2 + X_H^2}$ – кажущееся сопротивление цепи нагрузки; $X_H = \omega \cdot L_H = 2\pi f L_H$ – индуктивное сопротивление нагрузки на частоте $f = 50$ Гц; $\varphi = \arctg\left(\frac{\omega \cdot L_H}{R_H}\right)$ – угол сдвига вектора тока относительно вектора напряжения; $\delta = \frac{R_H}{L_H}$ – коэффициент затухания цепи; t – координата времени действия импульса напряжения в промежутке $0 \dots 0,01$ с; $t_2 = \frac{T}{2} = 0,01$ с – координата времени конца паузы; $t_1 = \frac{T}{2} = 0,01$ с – координата времени конца импульса.

Мгновенное значение тока в цепи нагрузки в течение первой паузы (ток вентиля 4), обусловленное ЭДС самоиндукции, определяется уравнением:

$$i = I_m \cdot \left[\sin(\omega t_1 - \varphi) + \sin(\varphi) e^{-\delta t_1} \right] \cdot e^{-\delta t} . \quad (3)$$

Поскольку $\omega t_1 = \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{2} = \pi$, $t_1 = \frac{T}{2}$ получим

$$i = I_m \cdot \sin \varphi \cdot \left(1 + e^{-\delta \cdot \frac{T}{2}} \right) \cdot e^{-\delta t} . \quad (4)$$

В течение паузы в нагрузку отдается реактивная энергия магнитного поля, запасенная в индуктивностях в течение времени нарастания тока, обусловленного напряжением источника. Ток нагрузки в этот период времени протекает через вентиль 4, который в проводящем направлении имеет весьма малое сопротивление и сопротивление цепи определяется фактически только сопротивлением нагрузки. Если пауза соизмерима с постоянной времени нагрузки $t = \frac{L_H}{R_H}$, энергия от ЭДС самоиндукции к концу паузы не успевает «разрядиться» и ток в нагрузке $i > 0$. Благодаря этому ток в нагрузке в начале второго импульса начинается не с нуля, а с тока, который имел место в конце первой паузы.

В конце импульса напряжения практически мгновенно запирается вентиль 5, как и вентиль 2, и ток в линии, поступающий от источника, становится равным нулю. Поэтому ток линии и является прерывистым (импульсным).

По окончании паузы опять в линии начинает протекать ток от источника. Но теперь нарастающее изменение тока нагрузки снова вызовет возникновение противодействующей ЭДС самоиндукции, стремясь уменьшить нарастание тока.

Мгновенные значения токов в течение других импульсов и пауз определим по способу индукции («шаг за шагом»). В установившемся режиме (при $N \rightarrow \infty$) ток в течение импульса равен [5, 6]:

$$i_{Nu} = I_m \cdot \sin \varphi \cdot \frac{1}{1 - e^{-\frac{\delta \cdot T}{2}}} \cdot e^{-\delta \cdot t} + I_m \cdot \sin (\omega t - \varphi). \quad (5)$$

Ток в течение паузы:

$$i_{Nn} = I_m \cdot \sin \varphi \cdot \frac{1}{1 - e^{-\frac{\delta \cdot T}{2}}} \cdot e^{-\delta \cdot t}. \quad (6)$$

По полученным формулам построены зависимости мгновенных значений токов в линии $i_{Nл}$, в цепи шунтирующего вентиля i_{NB} и в цепи нагрузки при следующих данных: $U = 24$ В, $L_H = 0,1$ Гн, $X_H = 31,4$ Ом, $R_H = 10$ Ом, $Z = 33$ Ом (рис. 2). Эти зависимости иллюстрируют непрерывность тока в цепи нагрузки, а также главную особенность схемы о том, что ток в линии представлен импульсами, чередующимися с паузами, в течение которых в линии ток отсутствует, т.е. линия заперта.

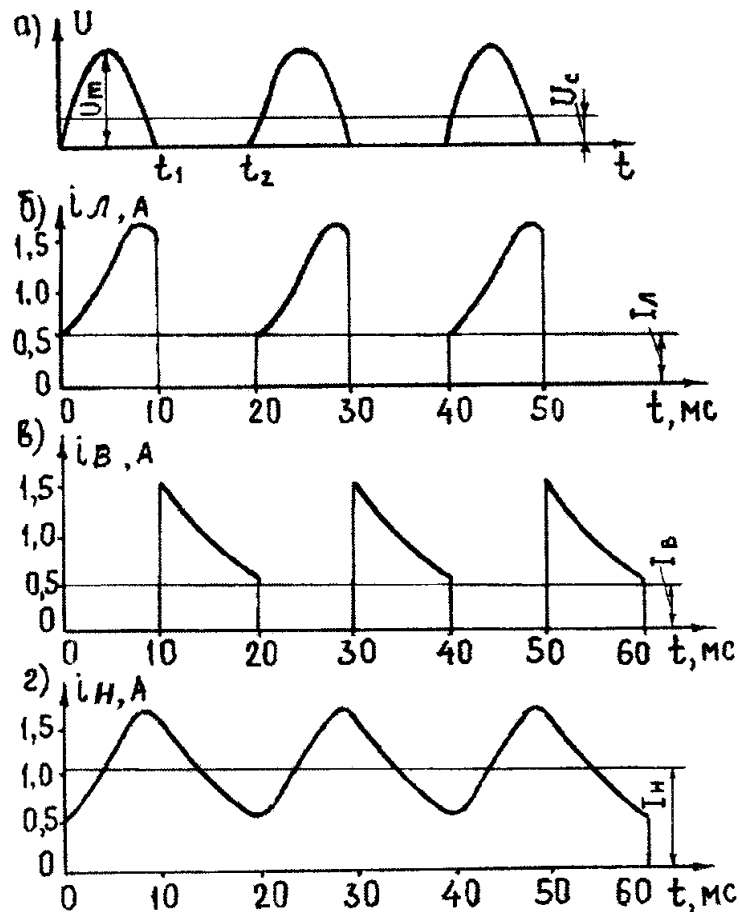


Рисунок 2 – Мгновенное значение электрических параметров схемы в установившемся режиме по истечению большого числа импульсов:
а) выпрямленное напряжение; б) ток в линии (ток N-го импульса);
в) ток в цепи шунтирующего вентиля(ток N-й паузы); г) ток в цепи нагрузки

В нарузке ток предоставлен последовательными импульсами тока линии (i_{NI}) – искаженной синусоидальной формы и тока паузы (i_{NI}) – экспоненциальной формы. Это подтверждается и осциллограммами тока нарузки (рис. 3), иллюстрирующими процесс установления тока нарузки с течением времени. В первый момент при включении схемы ток первого импульса (i_{I1}) начинается с нуля, но уже ток второго импульса (i_{I2}) начинается не с нуля, а с тока конца паузы (i_{II}). Через несколько импульсов наступает установившийся режим.

В установившемся режиме средний ток нарузки можно представить как сумму среднего выпрямленного (постоянного) тока и переменного тока частотой 50 Гц (первой гармоники).

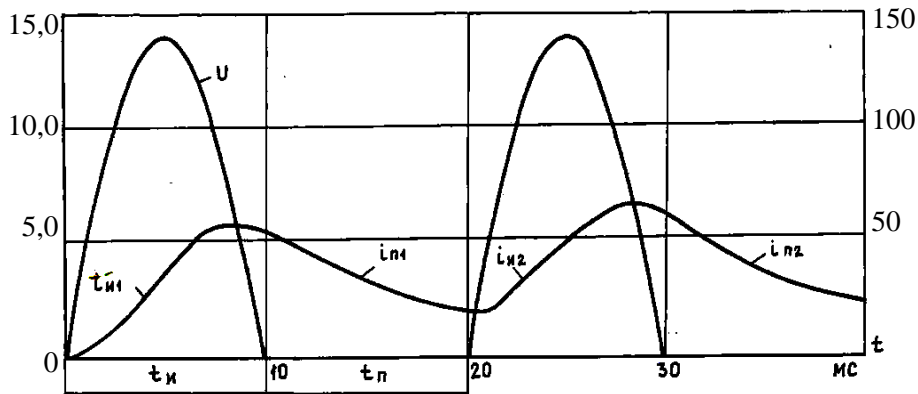


Рисунок 3 – Осциллограммы мгновенного тока нарузки (i) в переходном режиме в течение 2-х импульсов напряжения (40 мс) при $U = 100$ В, $R_H = 10$ Ом; $L_H = 0,1$ Гн

Средние за период значения токов в линии, в цепи шунтирующего вентиля и в нарузке определяются выражениями:

$$I_{ЛС} = \frac{U}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot Z^2} \left(2R + \frac{X_H}{R_H} \right), \quad (7)$$

$$I_{ВС} = \frac{U}{\sqrt{2} \cdot \pi \cdot Z^2} \cdot \frac{X_H^2}{R_H}, \quad (8)$$

$$I_{НС} = \frac{\sqrt{2} \cdot U}{\pi \cdot R_H}. \quad (9)$$

Баланс средних токов в системе импульсного питания (рис. 4) показывает, что с увеличением индуктивности нарузки ток в линии уменьшается и в пределе равен половине тока нарузки, что следует из приведенных на этом рисунке зависимостей в относительных величинах.

Этот рисунок также показывает, какая доля тока поступает в нарузку от источника по линии, а какая от ЭДС самоиндукции по шунтирующему вентилю.

Расчеты показывают, что при $X_H \rightarrow \infty$ ($L_H \rightarrow \infty$) ток в нагрузке в два раза превышает ток линии. С уменьшением индуктивного сопротивления ток нагрузки уменьшается и при $X_H = 0$ ток нагрузки равен току линии. Причем до половины тока нагрузки обеспечивается за счет ЭДС самоиндукции, т.е. за счет использования реактивной энергии самой нагрузки.

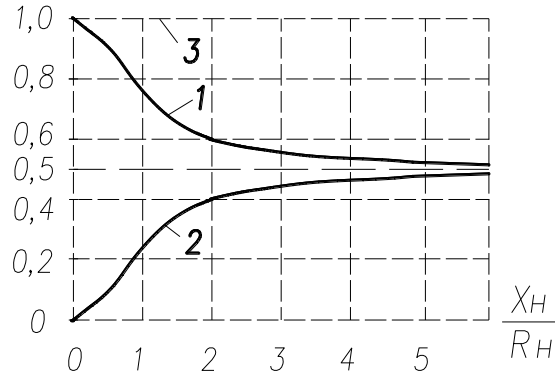


Рисунок 4 – Зависимости $I_{ЛС}$ и $I_{ВС}$ от $\frac{X_H}{R_H}$:

1 – зависимость отношения $\frac{I_{ЛС}}{I_{НС}}$; 2 – зависимость отношения $\frac{I_{ВС}}{I_{НС}}$;

3 – средний ток нагрузки в относительных величинах, принят за единицу

Мгновенная мощность, поступающая от источника, определяется как произведение мгновенных напряжения источника и тока линии: $p_L = u \cdot i_L$ [7, 8].

Средняя (активная) мощность за период будет:

$$P_{ЛС} = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} p_L dt.$$

Выполнив интегрирование и преобразования, получим [3]:

$$P_{ЛС} = \frac{U^2}{R_H} \cdot \frac{1}{1+m^2} \cdot \left[\frac{m^3}{(1+m^2) \cdot \pi} \cdot \frac{1+e^{-\frac{\pi}{m}}}{1-e^{-\frac{\pi}{m}}} + \frac{1}{2} \right]. \quad (10)$$

Мгновенная мощность, поступающая в нагрузку за счет ЭДС самоиндукции, определяется как произведение тока, протекающего в цепи шунтирующего вентилля во время паузы, и ЭДС самоиндукции, равной $e = i_{Nn} \cdot R_H$:

$$P_B = i_{Nn}^2 \cdot R_H. \quad (11)$$

Среднее значение этой мощности за период

$$P_{ВС} = \frac{1}{T} \int_0^{\frac{T}{2}} p_B dt.$$

После интегрирования и преобразования получим:

$$P_{BC} = \frac{U^2}{2 \cdot \pi \cdot R_H} \cdot \left[\frac{m^3}{(1+m^2)^2} \cdot \frac{1+e^{-\frac{\pi}{m}}}{1-e^{-\frac{\pi}{m}}} \right]. \quad (12)$$

В нарузке мгновенная мощность в течение импульса соответствует мгновенной мощности в линии p_L , а в течении паузы – мгновенной мощности в цепи шунтирующего вентиля p_B . Средняя мощность в нарузке равна сумме средних мощностей $p_{ЛС}$ и p_{BC} :

$$P_{HC} = P_{ЛС} + P_{BC} = \frac{U^2}{R_H} \cdot \frac{1}{1+m^2} \cdot \left[1,5 \cdot \frac{m^3}{(1+m^2)^2} \cdot \frac{1+e^{-\frac{\pi}{m}}}{1-e^{-\frac{\pi}{m}}} + \frac{1}{2} \right]. \quad (13)$$

Таким образом, средняя мощность в нарузке, также как и средняя мощность в линии и в цепи шунтирующего вентиля, зависит от отношения индуктивного сопротивления к активному (рис. 5).

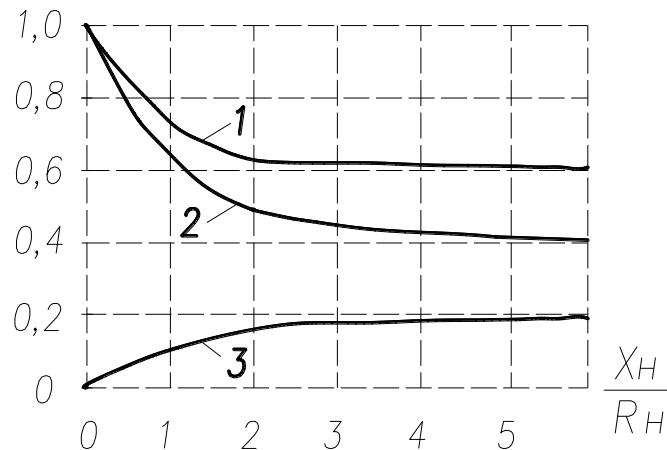


Рисунок 5 – Зависимости средней мощности в относительных величинах

от отношения $\frac{X_H}{R_H}$: 1 – в нарузке $\frac{P_{HC}}{P_{AC}}$; 2 – поступающей от источника $\frac{P_{ЛС}}{P_{AC}}$;

3 – в цепи шунтирующего диода $\frac{P_{BC}}{P_{AC}}$; $P_{AC} = \frac{U^2}{R_H}$ – мощность в цепи с активным сопротивлением (при индуктивности, равной нулю)

С увеличением индуктивности средняя мощность, поступающая к нарузке от источника, уменьшается, а средняя мощность, поступающая от ЭДС самоиндукции – увеличивается.

Для определения средних мощностей в абсолютных величинах по графикам рис. 5, необходимо значения из графиков умножить на величину P_{AC} .

Средняя мощность в нарузке складывается из суммы средних мощностей, поступающих от источника и от ЭДС самоиндукции, как это следует из результатов компьютерного моделирования рассматриваемой системы импульсного питания (табл. 1).

**ІННОВАЦІЇ, ТРАНСФЕР ТЕХНОЛОГІЙ
ТА КОМЕРЦІАЛІЗАЦІЯ НАУКОВИХ РОЗРОБОК**

Таблица 1 – Энергетические параметры системы импульсного питания
при $R_n = 10 \text{ Ом}$; $L_n = 0,1 \text{ Гн}$; $m = 3,14$

Параметры системы		Источник (питающая линия)	Нагрузка	Шунти- рующий диод и нагрузка
Выпрямленное (среднее) напряжение, В		44,14	44,14	44,14
Средний выпрямленный (постоянный) ток	А	2,414	4,415	2,001
	%	54,7	100	45,3
Средняя (активная) мощность нагрузки	ВА	106,55	194,87	88,32
	%	54,7	100	45,3

Из табл. 1 видно, что ток в системе импульсного питания складывается из суммы токов линии и цепи шунтирующего диода, а мощность - как сумма мощностей: поступающей в нагрузку от источника по питающей линии, и от ЭДС самоиндукции, обеспечиваемой запасаемой в индуктивности реактивной энергией.

При параметрах нагрузки $R_n = 10 \text{ Ом}$ и $L_n = 0,1 \text{ Гн}$ до 43,3 % активной мощности потребителя обеспечивается за счет использования реактивной энергии. Это позволяет при импульсном питании обеспечивать необходимые параметры потребителя при меньшем потреблении тока и энергии от источника и, следовательно, меньшие потери напряжения и мощности в питающей линии по сравнению с питанием постоянным током. В системе импульсного питания реактивная энергия, запасаемая в индуктивности, превращается в полезную, т.е. обеспечивает увеличение активной мощности потребителя.

Изложенные результаты подтверждены экспериментальными исследованиями при использовании в качестве потребителей тяговых электродвигателей шахтных контактных электровозов (при напряжении 250 В и двухфазном выпрямлении тока) и электромагнитных клапанов систем шахтной автоматики (при напряжении 24 В и однофазном выпрямлении тока), что изложено в работе [4], и позволяет распространить изложенные принципиальные положения на другие системы электроснабжения с импульсным питанием потребителей.

Тот факт, что в системе импульсного питания ток от источника меньше тока в нагрузке, позволяет снизить дугообразование и искрение при коммутации в проводах питающей линии, обеспечивает перспективность применения такого питания для искробезопасных систем связи, сигнализации и управления, как это изложено в работах [9, 10]. Это позволяет повысить взрыво- и пожаробезопасность при эксплуатации систем в газовых шахтах и других взрывоопасных производствах.

ВЫВОДЫ. На основании результатов исследований на примере импульсной системы питания с однофазным выпрямлением тока можно сделать следующие выводы.

1. При импульсном питании потребителей постоянного тока представляется возможным полезное использование реактивной энергии для увеличения актив-

ной мощности потребителей, если на время паузы между импульсами тока производить запаривание питающей линии или источника, а саму нагрузку шунтировать вентилем, включенным встречно току импульса.

2. Эффективность импульсного питания проявляется в обеспечении необходимой активной мощности потребителя при меньшем токе питания или в увеличении активной мощности потребителя при одинаковом токе с питанием постоянным током.

3. Применение систем импульсного питания для потребителей постоянного тока позволяет уменьшить потери электроэнергии в питающих линиях или при одинаковых потерях повысить активную мощность потребителя, что создает предпосылки энергосбережения по сравнению с традиционными системами питания постоянным током.

4. Преимущественно представляется эффективным использование импульсного питания для шахтных потребителей, имеющих индуктивное сопротивление больше активного, в частности для рудничных контактных электровозов и искробезопасных систем рудничного взрывозащищенного электрооборудования, а также перспективно для городских трамваев и троллейбусов с тяговыми двигателями.

5. Полученные результаты предназначены для организаций и лиц, занимающихся вопросами энергосбережения и безопасности применения электроустановок, особенно в шахтах, опасных по газу, или во взрывоопасных производствах различного назначения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колосюк В. П., Колосюк А. В. Баланс мощностей и эффективность использования реактивной энергии в системах электроснабжения. К.: Ж. «Новини Енергетики», № 7, 2018. С. 12–21.
2. Скобелев В. Г. Двигатели пульсирующего тока. М.: «Энергия», 1970. 231 с.
3. Бут Д. А. Индуктивные накопители энергии. *Журнал «Электричество»*, № 10, 1987. С. 14–24.
4. Колосюк В. П., Колосюк А. В., Дорофиев В. В. Импульсное питание электроустановок: *Энергосбережение и безопасность*. Донецк: «ВИК», 2002. 259 с.
5. Бойко В. С., Шеховцов В. И. та ін. Теоретичні основи електротехніки. Том 1. К.: ШВ «Видавництво «Політехніка», 2004, 277 с.
6. Гинсбург С. Г. Методы решения задач по переходным процессам в электрических цепях. Издание 3-е, дополненное. М.: «Высшая школа», 1967. 487 с.
7. Загирняк М. В., Родькин Д. И., Черный А. П., Коренькова Т. В. Направления развития теории мгновенной мощности и ее применение в задачах электромеханики. *Электротехнические и компьютерные системы*. Киев : Техника, 2011. Вып. 3/2011(79). С. 71–75.
8. Родькин Д. И., Калинов А. П. Энергопроцессы в цепях с несинусоидальными напряжениями и токами без парадоксов (комментарий к дискуссионной статье профессора Долбни В. Т. «Об одном парадоксе, возникающем при анализе цепей с выпрямителями»). *Вестник Нац. техн. ун-та «ХПИ» : сб. науч. тр. Темат. вып. : Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика*. Харьков : НТУ «ХПИ», 2010. № 28. С. 590–599.

9. Колосюк В. П., Чебенко В. М., Колосюк А. В. Засоби вибухобезпечності систем сигналізації, зв'язку, та управління для шахт, небезпечних за газом. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва. Науково-виробничий журнал*: Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. Кременчук: КрНУ, 2017. Вип. 2(20). С. 101–108.

10. Колосюк В. П., Колосюк А. В., Синчук О. Н., Синчук И. О. Теория и практика импульсного питания электроустановок. Коллективная монография. Кременчуг: Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского, 2018. 329 с.

USE OF REACTIVE ENERGY OF CONSUMERS FOR INCREASING THEIR USEFUL POWER IN MINE

V. Kolosyuk, V. Chebenko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: bgd@kdu.edu.ua

A. Kolosyuk

Donbass National Academy of Civil Engineering and Architecture

vul. Heroyiv Nebesnyi Sotni, 14, Kramatorsk, 84333, Ukraine.

E-mail: andrii_vladimirovich@ukr.net

Purpose. Establishment of the conditions for the beneficial use of reactive energy in pulsed power systems of consumers with significant inductive resistance, and the rationale for the prospects for the use of such systems in industry to improve explosion and fire safety in operation in gas mines and other explosive industries. **Methodology.** On the example of a pulse circuit with single-phase rectification of an alternating current, the possibility of useful use of reactive energy of the consumer, having inductive resistance to alternating current, is substantiated. The theoretical bases of determination of parameters of the system of pulse power supply of the consumer are outlined. **Results.** With a pulsed power supply of direct current consumers, it is possible to use reactive energy to increase the active power of consumers if the supply line or source is locked during the pause between current pulses, and the load itself is shunted with a valve turned on opposite to the pulse current. The efficiency of pulsed power is manifested in providing the necessary active power of the consumer at a lower supply current or in an increase in the active power of the consumer at the same current with a constant current supply. The use of pulsed power supply systems for DC consumers allows reducing the power losses in the supply lines or, with equal losses, increases the active power of the consumer, which creates prerequisites for energy saving compared to traditional DC power systems. The use of pulsed power for mine consumers with inductive resistance more active, in particular for mine contact locomotives and intrinsically safe mine explosion-proof electrical equipment, as well as promising for city trams and trolley buses with traction engines, seems to be mostly effective. The results are intended for organizations and individuals involved in energy saving and safety of electrical installations, especially in gas-hazardous mines, or in explosive industries for various purposes. **Originality.** For the first time, it was established that due to the resulting effect not only the energy losses in the feed line are reduced, but also the intensity of arcing and sparking during commutations in the wires of the feed line de-

creases. It is essential for reducing the fire and explosion hazard in the operation of consumer power systems in coal mines dangerous for gas. **Practical value.** The obtained results are used to ensure the intrinsically safe operation of mine systems of signaling, communication and control, as well as energy saving in the operation of mine contact electric locomotives with successive excitation engines and power from a pulsed system with two-phase current rectification. References 10, table 1, figures 5.

Key words: switching power, line, consumer, load, active resistance, inductance, current, voltage, power.

REFERENCES

1. Kolosyuk, V., Kolosyuk, A. (2018) “Balance of power and efficiency of use of reactive energy in power supply systems”, *Novini Energetiki*, no. 7, pp. 12–21.
2. Skobelev, V. (1970), *Dvigateli pulsiruyuschego toka*, [Pulsating current motors], Energiya, Moscow, Russia.
3. But, D. (1987) “Inductive energy storage”, *Zhurnal «Elektrichestvo»*, no. 10, pp. 14–24.
4. Kolosyuk, V., Kolosyuk, A., Dorofienko, V. (2002), *Impulsnoe pitanie elektro-ustanovok: Energoberezhenie i bezopasnost*, [Pulsed power electrical installations: Energy saving and safety.] VIK, Donetsk, Ukraine.
5. Boyko, V., Shekhovtsov, V. (2004), *Teoretichni osnovi elektrotehniki. Tom 1.*, [Theoretical foundations of electrical engineering. Volume 1] Vydavnistvo “Polytechnika”, Kyiv, Ukraine.
6. Gingsburg, S., (1967), *Metodyi resheniya zadach po perehodnyim protsessam v elektricheskikh tsepyah. Iz-danie 3-e, dopolnennoe*, [Methods for solving problems of transients in electrical circuits. 3rd edition, supplemented], Vysshaya Shkola, Moscow, Russia.
7. Zagirnyak, M., Rodkin, D., Chernyi, A. Korenkova, T. (2011), “Directions of development of the theory of instantaneous power and its application in the tasks of electromechanics”, *Elektrotehnicheskie i kompyuternyye sistemy*, vol. 3, no. 79, pp. 71–75.
8. Rodkin, D., Kalinov, A. (2010), “Energy processes in circuits with non-sinusoidal voltages and currents without paradoxes (comment on the discussion paper of Professor Dolbnya V. T. “On a paradox arising from the analysis of circuits with rectifiers”)”, *Problemy avtomatizirovannogo elektroprivoda. Teoriya i praktika*, no. 28, pp. 590–599.
9. Kolosyuk, V., Chebenko, V., Kolosyuk, A. (2017), “Means of explosion safety of systems of signaling, communication, and management for mines, dangerous on gas”, *Suchasni resursoenergozberigauchi tehnologiyi girnychogo vyrobnytstva*, vol. 2, no. 20, pp. 101–108.
10. Kolosyuk, V., Kolosyuk, A., Sinchuk, O., Sinchuk, I. (2018), *Teoriya i praktika impulsnogo pitaniya elektroustanovok. Kollektivnaya monografiya.*, [Theory and practice of pulsed power electrical installations. Collective monograph], KrNU, Kremenchuk, Ukraine.