

УДК 621.314.6

А. В. КОЛОСЮК, *ст. науч. сотрудник,*
В. В. ДИДЕНКО, *канд. техн. наук, ведущий науч. сотрудник,*
В. П. КОЛОСЮК, *д-р техн. наук проф., гл. науч. сотрудник, МакНИИ,*
г. Макеевка

РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ИСКРОБЕЗОПАСНОГО ИМПУЛЬСНОГО ПИТАНИЯ ИНДУКТИВНЫХ НАГРУЗОК РУДНИЧНОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Обоснованы основные параметры искробезопасной системы импульсного питания с двухфазным выпрямителем для более мощной индуктивной нагрузки.

Ключевые слова: искробезопасность, индуктивная нагрузка, питающая линия, быстродействующее отключение, шунтирование, минимальная воспламеняющая энергия, коэффициент искробезопасности.

В работе [1] обоснованы параметры искробезопасной системы импульсного питания с однофазным выпрямителем переменного тока. При большей мощности индуктивной нагрузки требуется применение двухфазного переменного тока. Поэтому как дальнейшее развитие систем импульсного питания и возникла необходимость обоснования параметров искробезопасной системы импульсного питания с двухфазным выпрямителем переменного тока и применением трехфазного понижающего трансформатора. Принцип действия такой системы описан в [2].

Целью настоящей работы является обоснование схемных решений, пригодных для практического применения в системах электроснабжения угольных шахт с реализацией принципов защитного отключения и одновременного шунтирования цепи питания нагрузки при к.з. в питающей линии.

Схемное решение такой системы импульсного питания приведено на рис. 1.

Как и в схеме с однофазным выпрямителем тока, нагрузка системы импульсного питания N представлена последовательно соединёнными активным сопротивлением R_N , индуктивным L .

Для обеспечения искробезопасности в разработанной схеме использовано свойство системы импульсного питания, состоящее в том, что в нагрузку H ток I подаётся импульсами, а в момент паузы в питающей линии ток I отсутствует, т. к. сама линия и источник тока заперты запирающим диодом $V2$ под действием обратного напряжения схемы, а энергия, запасённая в индуктивности L , разряжается только в контуре самой нагрузки H через шунтирующий диод $V3$ и не принимает участие в искрении размыкания при коммутации в проводах линии [3] (рис. 2). Кроме того, предложено в схеме осуществлять быстроедействие отключение питания при случайном возникновении короткого замыкания между проводами линии, а также одновременное шунтирование выходных зажимов схемы для снижения энергии искр короткого замыкания.

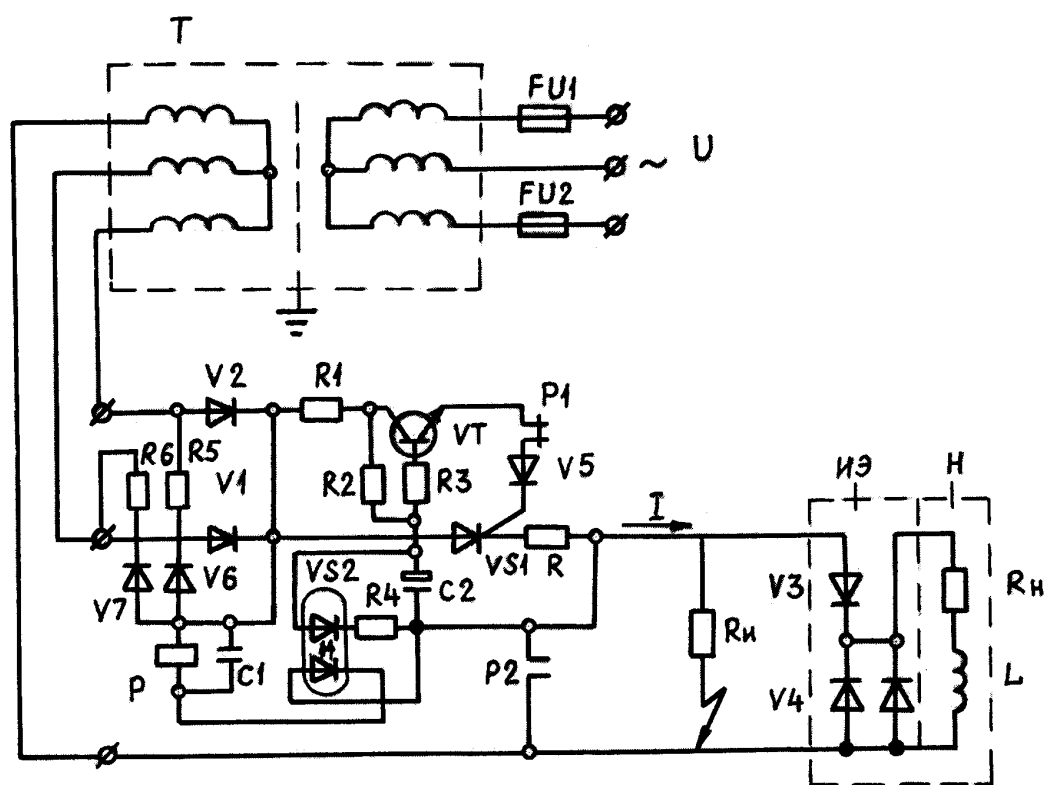


Рис. 1. Схема искробезопасной системы импульсного питания при двухфазном выпрямлении тока

В схеме применён трехфазный разделительный трансформатор T , выполненный согласно требованиям пп 1.8, 1.9 ГОСТ 22782.5 «Электрооборудование взрывозащищённое с видом взрывозащиты «Искробезопасная электрическая цепь». Сетевая (первичная) обмотка трансформатора снабжена токовой защитой посредством плавкого предохранителя FU_1 и FU_2 .

Вторичная обмотка отделена от первичной заземлённым экраном. Выпрямление переменного тока осуществляется полупроводниковыми диодами V1, V2, выбранными с запасом по напряжению и току нагрузки согласно п. 1.5.9 ГОСТ 22782.5. В питающую линию к нагрузке Н включён полупроводниковый ключ – тиристор VS1, также выбранный в соответствии с требованиями п. 1.5.9 ГОСТ 22782.5. Выход линии к нагрузке Н подключён к выходу тиристора VS1 через токоограничительный резистор R, соответствующий требованиям к искрозащитным элементам п. 1.5 ГОСТ 22782.5 и п. 8.4 ГОСТ Р 51330.10-99 «Электрооборудование взрывозащищённое. Часть 11. Искробезопасная электрическая цепь «i». Нагрузка системы с индуктивностью L и сопротивлением R снабжена искрозащитным элементом ИЭ, выполненным из полупроводниковых диодов V3 и сдвоенного V4.

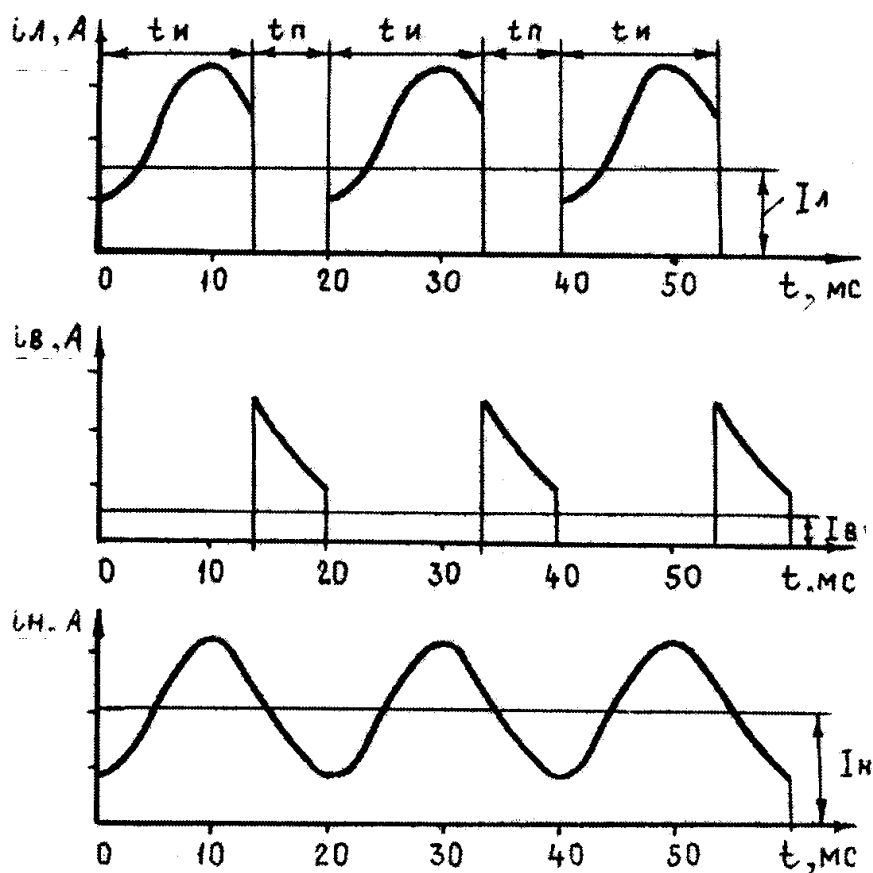


Рис. 2. Диаграммы мгновенных токов в системе импульсного питания с двухфазным выпрямлением:
 $i_{\text{Л}}$ - ток в линии (ток в течении импульса);
 $i_{\text{В}}$ - ток в цепи шунтирующего диода (ток в течение паузы);
 $i_{\text{Н}}$ - ток в цепи нагрузки;
тонкими сплошными линиями показан средний ток в линии ($I_{\text{Л}}$), в шунтирующем диоде ($I_{\text{В}}$) и в нагрузке ($I_{\text{Н}}$)

Диод V2 является заграждающим диодом, он открыт и проводит ток только в течение первой (прямой) полусинусоиды напряжения трансформатора T и закрыт при действии второй (обратной) полусинусоиды напряжения этого трансформатора, когда напряжение на его аноде выше напряжения на катоде. В этот период времени осуществляется контроль изоляции между проводами питающей линии напряжением второй полусинусоиды с использованием цепи из тиристорного оптрона VS2 и реле P. Нормально тиристор открыт током смещения, поступающим с анода диода V1 через резистор R1 и транзистор VT, открытым вследствие тока заряда конденсатора C2 через резистор R2.

В нормальном режиме нагрузка питается импульсами выпрямленного тока под действием первой полусинусоиды напряжения, т. е. током I, поступающим от источника по питающей линии.

Во второй полупериод ток в линии отсутствует, диод V3 заперт, а через нагрузку протекает ток через сдвоенный шунтирующий диод V4 от разряда магнитной энергии, запасённой при протекании импульсов прямого тока в индуктивности L, вследствие чего ток в нагрузке является непрерывным в течение обеих полусинусоид, чем обеспечивается нормальная работа нагрузки.

В случае снижения сопротивления изоляции (на схеме $R_{и}$) или при к. з. проводов питающей линии, когда может возникнуть искрение, светодиодная часть оптрона VS2 открывается обратным напряжением, действующим через место повреждения изоляции по цепи: нижний провод линии, сопротивление изоляции $R_{и}$, оптрон VS2, конденсатор C1, диоды V6, V7, резисторы R5, R6, зажимы трансформатора T.

При этом одновременно разряжается конденсатор C2 через отпертую транзисторную часть оптрона VS2 и резистор R4, что приводит к запиранию транзистора VT и тиристора VS1. При этом также срабатывает реле P, осуществляющее шунтирование выхода источника контактами P2 и блокирование цепи управления тиристора контактами P1.

Для определения основных элементов схемы импульсного питания воспользуемся методикой, изложенной в работе [1] с учетом отличия схемы с двухфазным выпрямлением переменного тока от схемы с однофазным выпрямлением.

Величина ёмкости конденсатора C2 и сопротивление резистора R4 выбираются такими, чтобы обеспечить быстрое запираение транзистора VT и, следовательно, тиристора VS1, т. е. минимальное время отключения цепи нагрузки. Сопротивление резисторов R1 и R2 выбирается исходя из необходимости обеспечения достаточной выдержки времени на повторное отпирание транзистора VT и включение тиристора VS1. Конденсатор C1 вы-

бирается исходя из необходимости обеспечения импульса тока, достаточного для срабатывания светодиода оптрона VS2. Реле Р выбирается исходя из его тока срабатывания, равного искробезопасному току в цепи поврежденной изоляции. Таким образом, ток срабатывания реле Р должен быть:

$$I_P \leq \frac{I_B}{k}, \quad (1)$$

где I_B – минимальный воспламеняющий ток, выбираемый согласно Приложению 3 ГОСТ 22782.5 по величине действующего выпрямленного напряжения схемы питания в зависимости от величины индуктивности L ;

$k = 1,5$ – коэффициент искробезопасности.

Например, при действующем напряжении 24 В и индуктивности $L = 0,1$ Гн $I_B = 0,12$ А, тогда ток срабатывания реле составит

$$I_P = \frac{0,12}{1,5} = 0,08 \text{ А.}$$

Поэтому в схеме могут быть применены различные реле постоянного тока с током срабатывания $I_P \leq 0,08$ А.

Параметры схемы питания уточняются по результатам испытаний её на искробезопасность, как цепи с защитой, шунтирующей выходную цепь на к.з. в соответствии с требованиями п. 10.4.3.3 ГОСТ Р 51330.10-99, или по результатам оценки искробезопасности электрической цепи, проводимой на основе определения выделившейся в электрическом разряде энергии в соответствии с п. 10.4.3.3.3 указанного стандарта, таким образом, чтобы выделившаяся в разряд энергия при к. з. не превышала минимальной воспламеняющей энергии (рис. 3), уменьшенной на коэффициент искробезопасности. Определение выделившейся в разряде энергии может производиться измерительным (например, осциллографическим) или расчётными методами.

Пример методологии определения энергии разряда в системе питания постоянным током приведен в приложении А к ГОСТ Р 51330-10-99. Эта методология пригодна для оценки энергии разрядов при коммутации проводов питающей линии системы импульсного питания.

Для оценки энергии в цепи возможного к.з. необходимо исходить из величины тока к.з. между проводами линии. В этом случае ток к. з. зависит от выпрямленного напряжения системы питания, суммарного сопротивления обмотки питающего трансформатора и сопротивления последовательно включенного резистора R.

Максимум энергии, выделяющейся в искре при к.з. будет в случае, когда сопротивление обмотки трансформатора Z_T будет равно сопротивле-

нию R , т. е. $Z_T = R$. Поэтому можно принять, что сопротивление цепи к.з. будет равно $R_{к.з.} = Z_T + R = 2R$.

Сопротивление резистора R выбирается из соображения, чтобы величина выделившейся в разряд энергии к.з. между проводами линии не превышала энергии разряда с учётом коэффициента искробезопасности, который для метановоздушной смеси должен быть принят равным 1,5.

Величина энергии, выделяющейся в цепи к.з., может быть оценена по выражению:

$$W_{к.з.} = I_{к.з.}^2 \cdot R_{к.з.} \cdot t \quad (2)$$

или с учётом, что $R_{к.з.} = 2R$:

$$W_{к.з.} = \frac{U^2}{2R} \cdot t, \quad (3)$$

где $I_{к.з.}$ – ток короткого замыкания, А;

R – сопротивление резистора, Ом;

t – время записания тиристора, с;

U – действующее напряжение вторичной обмотки трансформатора Т, В.

Условие для выбора величины сопротивления резистора R выражается следующим равенством:

$$W_{к.з.} = \frac{W}{k_H}, \quad (4)$$

где W – минимальная воспламеняющая энергия, определяемая по графикам рис. 2.;

k_H – коэффициент искробезопасности.

Из условия (4) следует:

$$\frac{U^2}{2R} \cdot t = \frac{W}{k_H},$$

откуда сопротивление резистора R будет:

$$R = \frac{U^2 \cdot k_H \cdot t}{2W}, \quad (5)$$

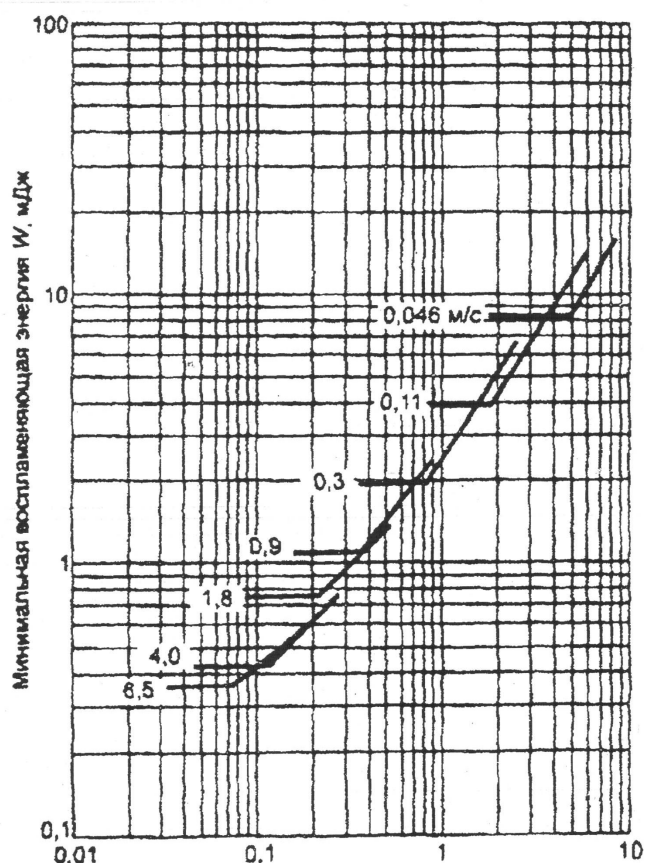


Рис. 3. Зависимость минимальной воспламеняющей энергии W от длительности разряда и скорости размыкания контактов (указаны цифрами на графике)

Из выражения (5) следует, что при принятом коэффициенте искробезопасности k_{II} величина сопротивления резистора R зависит от напряжения питания цепи U , времени к. з. (т. е. времени отключения цепи) и минимальной воспламеняющей энергии W .

Минимальная воспламеняющая энергия W согласно данным, приведённым в ГОСТ Р 51330.10-99 (рис. 3), также зависит от длительности разряда и скорости размыкания контактов при коммутации цепи.

Длительность разряда определяется временем отключения цепи тиристора $VS1$, которое можно принять не более 5 мс. Для такого времени, согласно рис. 2, можно исходить из скорости размыкания контактов 0,11 и 0,046 м/с.

При напряжении $U = 24$ В расчётные значения сопротивления R приведены в таблице.

Для выполнения условий искробезопасности следует применять резистор сопротивлением $R = 270$ Ом.

Необходимая мощность резистора определяется по выражению:

$$P = \frac{U^2}{R \cdot k}, \text{ Вт}, \quad (6)$$

где $k \leq \frac{2}{3}$ – коэффициент запаса по току, принимаемый согласно п. 1.5.7 ГОСТ 22782.5 равным $\frac{2}{3}$. При напряжении $U = 24$ В мощность резистора R должна составлять:

$$P = \frac{24^2}{270 \cdot \frac{2}{3}} = 3,2 \text{ Вт.}$$

Таблица

Расчётные значения сопротивления токоограничивающего резистора

Скорость размыкания цепи, м/с	0,11					0,046				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Время отключения цепи, мс										
Минимальная воспламеняющая энергия W , мДж	3	3,2	8,5	9,5	12	8	8	8	8	8
Сопротивление резистора R , Ом	144	270	150	182	180	54	108	162	216	270

Окончательно параметры системы импульсного питания должны быть уточнены путём её испытаний на искробезопасность в соответствии с требованиями ГОСТ 22782.5 или ГОСТ Р 51330-10-99.

В МакНИИ была опробирована схема импульсного питания при напряжении питания 24 В, в качестве нагрузки которой использовался электромагнит типа ЭУ 6201 И У5, клапана управления КПТВ комплектной гидравлической крепи с параметрами $R_H = 80$ Ом и $L = 0,267$ Гн. В качестве тиристорного ключа использовался тиристор КУ 202И, а реле – типа finder 30.22.7.012 с током срабатывания $I_p = 15$ мА.

ВЫВОДЫ

1. Обоснованы схемотехнические параметры искробезопасной системы питания индуктивной нагрузки с двухфазным выпрямлением тока

шахтного электрооборудования для обеспечения искробезопасности при коммутации в проводах линии как при нормальном режиме работы нагрузки, так и при к. з. между проводами.

2. Даны рекомендации по выбору искрозащитных элементов системы импульсного питания, в том числе по быстродействующему отключению нагрузки и одновременному шунтированию цепи на к.з. и доказана приемлемость для этого общей методики расчета для системы с однофазным и двухфазным выпрямлением переменного тока.

3. Результаты работы могут быть использованы организациями и лицами, занимающимися разработкой и изготовлением искробезопасных систем и источников питания, а также обеспечением взрывобезопасности в шахтах, опасных по газу или пыли, и на других объектах и производствах, где возникает опасность возникновения взрывоопасной газовой смеси.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Колосюк А. В. Искробезопасная система импульсного питания индуктивных нагрузок рудничного электрооборудования / А. В. Колосюк, В. В. Диденко, В. П. Колосюк // Способы и средства создания безопасных и здоровых условий труда в угольных шахтах: сб. науч. тр. / МакНИИ. – Макеевка-Донбасс, 2010. – №1(25) – С. 63–71.
2. Колосюк В. П. Импульсное питание электроустановок: энергосбережение и безопасность: монография / В. П. Колосюк, А. В. Колосюк, В. В. Дорофиев. – Донецк: ВИК, 2002. – 259 с.
3. Колосюк А. В. Искробезопасность линии при импульсном питании индуктивных нагрузок рудничного электрооборудования. / А. В. Колосюк // Вісті Донецького гірничого інституту: Всеукраїнський наук.-техн. журн. гірничого профілю. – Донецьк: ДВНЗ «ДонНТУ», 2008. – С. 133-137.
4. Деклараційний пат. 40715 А Україна, МПК⁶ E21F9/00. Спосіб забезпечення іскробезпечності ліній, які живлять індуктивні навантаження і пристрій для його здійснення / Колосюк В. П., Колосюк А. В.; заявник і патентовласник Держ. Макіївс. НДІ з безпеки робіт у гірн. пром.-ті. – №97073855; заявлено 21.07.01; опубл. 15.08.01, Бюл. № 7.

Получено: 14.04. 2011 г.

Обґрунтовано основні параметри іскробезпечної системи імпульсного живлення з двофазним випрямлячем для потужнішого індуктивного навантаження.

Ключові слова: іскробезпека, індуктивне навантаження, живильна лінія, швидкодійне вимикання, шунтування, мінімальна запалювальна енергія, коефіцієнт іскробезпеки.

Main characteristics of the intrinsically safe pulse supply of inductive loadings of the miner electric equipment systems with the diphasic rectifier for more powerful inductive loading are proved.

Key-words: intrinsic safety, inductance load, supply circuit, quick-operating, by-passing, minimal inflammable energy, intrinsic safety factor.