

АВТОНОМНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ ДЛЯ НУЖД РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

В настоящее время все чаще в электроэнергетике используются устройства телеметрии и релейной защиты, которые располагаются непосредственно на защищаемом элементе электроэнергетической системы или внутри его. Для их питания требуется автономный источник малой мощности, который имеет стабилизированное постоянное напряжение. Существующие устройства ненадежны, дороги в изготовлении и эксплуатации. В отличие от известных устройств питания, предложено для обеспечения постоянным оперативным током устройств релейной защиты и диагностики использовать автономные источники питания, которые получают энергию непосредственно из сети с помощью трансформаторов тока или напряжения, а также с помощью индукционного преобразователя, размещаемого в торцевой зоне электрической машины. Для реализации этого разработаны схемы электроснабжения и расчет параметров автономных источников питания.

Ключевые слова: релейная защита, устройства диагностики, автономный источник питания, стабилизированное напряжение.

Введение. В настоящее время в электроэнергетике стали использоваться устройства телеметрии и релейной защиты, которые располагаются непосредственно на защищаемом элементе электроэнергетической системы или внутри его. Примером таких устройств у высоковольтных воздушных линий электропередач могут служить периферийные посты телеметрии мониторинга гололедно-ветровых нагрузок [1] и защиты от однофазных замыканий на землю [2] и управляемые сетевые устройства типа D-FASTS [3–5]. У электрических машин к таким устройствам можно отнести тепловые защиты [6] и защиты от электрических повреждений обмоток статора и ротора [7], сигнал о повреждении которых передается по силовому кабелю. Применение в энергетических системах распределенных сетевых устройств нового поколения подразумевает использование автономных источников постоянного тока (АИП) с напряжением 6–12 В и мощностью 0,2–5 Вт.

Иногда в качестве автономных источников питания (АИП) используют солнечные батареи с аккумуляторами [8]. Но такие источники питания обладают низкой надежностью из-за воздействий на них окружающей среды и высокой стоимостью эксплуатационных расходов из-за необходимости постоянного контроля состояния солнечной батареи и аккумулятора.

При реализации устройств телеметрии и релейной защиты, располагающихся непосредственно

на защищаемом высоковольтном элементе, энергию для АИП можно получать непосредственно из сети с помощью трансформаторов тока [9] или напряжения.

Однако часто это осуществить не удастся, так как практически всегда измерительные трансформаторы располагают в ячейках КРУ, то есть на значительном расстоянии от защищаемого объекта. В связи с этим в зависимости от реальной ситуации эту проблему предлагается решать следующим образом.

Наиболее просто эта проблема решается в низковольтных электрических машинах. В этом случае энергию для АИП можно получать и сети с помощью малогабаритного и дешевого трансформатора напряжения TV, первичная обмотка которого присоединяется непосредственно к выводам обмоток электрической машины в клеммной коробке [6]. При этом трансформатор TV вместе с АИП размещается в защитном кожухе непосредственно на защищаемой электрической машине. Схема подключения АИП с помощью трансформатора напряжения TV приведена на рис. 1а, где 1 — электрическая машина; 2 — силовой кабель; 3 — выключатель. Схема АИП приведена на рис. 1б.

Упрощенно параметры трансформатора TV с Ш-образным магнитопроводом для АИП при заданном выходном напряжении U_0 и токе I_0 с использованием методики, изложенной в [10], можно определить следующим образом.

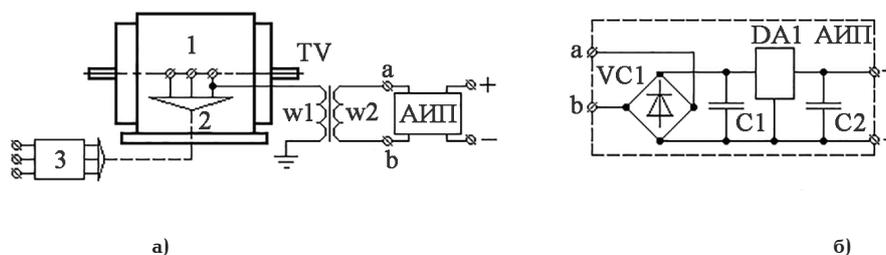


Рис. 1. Схема АИП, отбор энергии из сети для которого осуществляется с помощью трансформатора напряжения TV

Таблица 1

Геометрические размеры магнитопровода трансформатора для АИП

$Q_c Q_o, \text{ см}^4$	Тип магнитопровода	$a, \text{ см}$	$b, \text{ см}$	$c, \text{ см}$	$h, \text{ см}$	$Q_c, \text{ мм}^2$	$Q_o, \text{ мм}^2$
2,5	Ш10×10	1,0	1,0	1,0	2,5	1,0	2,5
3,12	Ш10×12,5	1,0	1,0	1,25	2,5	1,25	2,5
4,0	Ш10×16	1,0	1,0	1,6	2,5	1,6	2,5
5,0	Ш10×20	1,0	1,0	2,0	2,5	2,0	2,5
5,4	Ш12×12,5	1,2	1,2	1,25	3,0	1,5	3,6
6,9	Ш12×16	1,2	1,2	1,6	3,0	1,92	3,6
8,6	Ш12×20	1,2	1,2	2,0	3,0	2,4	3,6
10,8	Ш12×25	1,2	1,2	2,5	3,0	3,0	3,6

Обычно при известном напряжении U_1 первичной обмотки ЭДС этой обмотки приблизительно можно определить как

$$E_1 \approx 0,95 \cdot U_1. \quad (1)$$

В то же время при известном выходном напряжении U_0 и схеме выпрямителя на рис. 1 напряжение и ЭДС вторичной обмотки определяется как

$$U_2 \approx 1,1 \cdot U_0 \text{ и } E_2 \approx 1,05 \cdot U_2. \quad (2)$$

Из [10] следует, что при такой схеме выпрямителя АИП ток I_2 во вторичной обмотке следует принимать равным току I_0 . В связи с этим ток в первичной обмотке трансформатора TV

$$I_1 = I_0 \cdot E_2 / E_1. \quad (3)$$

В результате габаритная мощность трансформатора TV определяется как

$$P_{\text{габ}} = (U_1 \cdot I_1 + U_2 \cdot I_2) / 2, \quad (4)$$

а выбор магнитопровода осуществляется по величине $Q_c Q_o$, которая определяется с помощью математического выражения

$$Q_c Q_o = 10^2 P_{\text{габ}} / 2,22 f \cdot B \cdot J \cdot \mu \cdot k_c \cdot k_m, \quad (5)$$

где Q_c и Q_o — площадь стержня и окна магнитопровода Ш-образного типа в см^2 ; $f = 50$ Гц — ча-

стота тока в сети; $\mu = 0,8$ — коэффициент полезного действия; $k_c = 0,85$ и $k_m = 0,21$ — коэффициент заполнения магнитопровода сталью, а окна медью; J — плотность тока, которую для трансформаторов АИП следует принимать равной $4,5 \text{ А/мм}^2$; B — магнитная индукция в магнитопроводе, принимая для такого типа трансформаторов $\approx 1,1 \text{ Тл}$.

При известной величине $Q_c Q_o$ геометрические размеры магнитопровода трансформатора для АИП определяются по данным табл. 1, где a — ширина стержня магнитопровода; b и h — ширина и высота окна магнитопровода; c — толщина магнитопровода.

Число витков первичной и вторичной обмотки определяется как

$$w_1 = 10^4 E_1 / 4,44 f \cdot B \cdot Q_c \cdot k_2 \text{ и } w_2 = w_1 E_2 / E_1. \quad (6)$$

При этом диаметр провода первичной и вторичной обмотки без изоляции

$$d_1 = 1,13 \sqrt{I_1 / J} \text{ и } d_2 = 1,13 \sqrt{I_2 / J}, \quad (7)$$

а их активное сопротивление

$$R_1 = 2,2 \cdot 10^{-4} w_1 \cdot (2(a+c) + \pi b) / d_1^2 \quad (8)$$

и

$$R_2 = 2,2 \cdot 10^{-4} w_2 \cdot (2(a+c) + \pi b) / d_2^2. \quad (9)$$

Параметры элементов АИП определяются исходя из величины, требуемой для питания устройств

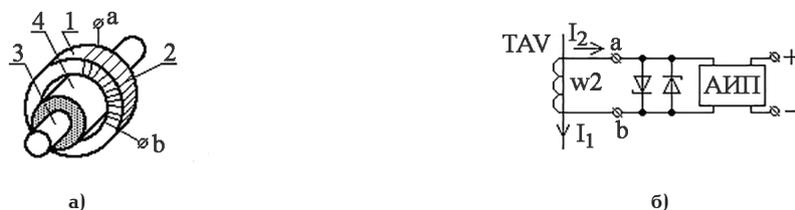


Рис. 2. Схемы отбора энергии для АИП из сети осуществляется с помощью трансформатора тока

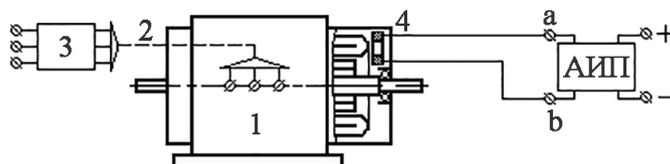


Рис. 3. Блок-схема автономных источников питания от ЭМ

телеметрии и релейной защиты мощности P_{aun} и выходного напряжения U_{aun} . Таким образом, диодный мост VC1, емкости C1 и C2, а также стабилизатор напряжения DA1 должны иметь рабочее напряжение не ниже U_{aun} , при этом величина емкостей C1, C2 должна быть такой, чтобы обеспечить приемлемый уровень колебания напряжения на выходе АИП при допустимых колебаниях параметров сети [7]. В свою очередь, рабочий ток диодного моста VC1 и стабилизатора напряжения DA1 должны быть не менее чем

$$I_{aun} = P_{aun} / U_{aun}. \quad (10)$$

Как известно, колебания напряжения в питающей сети регламентируется ГОСТом по качеству напряжения [11]. Обычно оно невелико, но даже в сетях сельскохозяйственного назначения обычно отличается от номинального напряжения не более чем на 10 %. Что позволяет при такой схеме АИП построить простой и дешевый источник автономного питания с высокой степенью стабилизации напряжения.

Следует добавить, что при таком способе отбора мощности мощность АИП будет в основном ограничена только мощностью используемого трансформатора напряжения.

Для питания защит высоковольтных электрических машин, особенно небольшой мощности, такой способ отбора энергии из сети для АИП неприемлем, что вызвано значительными размерами и высокой стоимостью высоковольтного трансформатора. Для таких случаев предпочтительней получать энергию из сети с помощью специализированного проходного трансформатора тока ТА [9, 12] так, как это показано на рис. 2. В этом случае ТА монтируется на проводе фазы непосредственно у защищаемого объекта.

Конструкция проходного трансформатора тока приведена на рис. 2а, где 1 — кольцеобразный ферромагнитный сердечник; 2 — вторичная обмотка; 3 и 4 — жила и высоковольтная изоляция кабеля. Следует добавить, что первичной обмоткой у проходного трансформатора тока является жила кабеля, по которой протекает ток I_1 , величина которого зависит от режима работы защищаемого объекта. Например, ток фазы асинхронного двигателя в процессе эксплуатации меняется в пределах

от I_{xx} до I_n , где I_{xx} и I_n — токи холостого хода и пуска асинхронного двигателя. Что вызывает колебания в 10–15 раз напряжения на входе АИП. Избежать этого можно путем включения на входе АИП включенных встречно параллельно стабилитронов. В связи с этим параметры трансформатора ТА для АИП следует рассчитывать по минимальному значению тока. Для расчета параметров можно воспользоваться методикой, изложенной в [9].

В высоковольтных электрических машинах для питания АИП можно использовать встраиваемую в зону лобовых частей катушку индуктивности. В релейной защите такие катушки [13] используют в качестве измерительных преобразователей защиты электрической машины от замыканий в обмотках статора. Пример такого электроснабжения АИП приведен на рис. 3, где 1 — электрическая машина; 2 — силовой кабель; 3 — выключатель; 4 — катушка индуктивности. Крепление такой катушки осуществляется к элементам машины в торцевой зоне. Расчет параметров катушки можно осуществить по методике, изложенной в [14].

Данный способ электроснабжения АИП является простым и дешевым. Однако установка катушки индуктивности возможна только при частичной разборке машины, например, для ремонта или профилактики. Основным недостатком такого электроснабжения АИП является малая отдаваемая мощность, что не всегда может удовлетворить устройства телеметрии и релейной защиты.

Библиографический список

1. Лебедева Ю. А. Выбор концепций развития воздушных линий электропередачи 110–220 кВ, подверженных экстремальным метеорологическим воздействиям: дис. ... канд. техн. наук. Саратов, 2011. 147с.
2. Никитин К. И. Принципы построения и модели токовых защит электроэнергетических систем: дис. ... д-ра техн. наук: 05.14.02. Омск, 2012. 166 с.
3. Кочкин В. И., Шакарян Ю. Г. Применение гибких (управляемых) систем электропередачи переменного тока в энергосистемах. М.: Торус Пресс, 2011, 312 с. ISBN 978-5-94588-103-7.
4. Divan D. Improving Power Line Utilization and Performance with D-FACTS Devices // IEEE Power Engineering Society General Meeting, 16–16 June 2005. 2005. Vol. 3. P. 2419–2424. DOI: 10.1109/PES.2005.1489343.

5. Баринов В. А., Маневич А. С., Мурачев А. С. Применение в энергосистемах нового класса распределенных сетевых управляемых устройств // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность. 2017. № 3. С. 2–7.
6. Тубис Я. Б., Белов Г. К. Температурная защита асинхронных двигателей в сельскохозяйственном производстве. М.: Энергия, 1977. с. 104.
7. Новожилов А. Н., Асаинов Г. Ж., Новожилов Т. А., Антонцев А. В. Методы передачи информации о повреждении электрической машины переменного тока со встроенными измерительными преобразователями // Вестник ПГУ. Энергетическая серия. 2017. № 1. С. 245–253.
8. Шевченко Н. Ю., Сошинов А. Г., Лебедева Ю. В. [и др.]. Внедрение автоматизированной системы наблюдения за гололедом в Камышинских электрических сетях // Современные проблемы науки и образования. 2009. № 5. С. 127–132.
9. Глазырина А. Е., Левин Д. С., Петренко С. А. Математическая модель трансформатора тока источника отбора мощности // Вестник науки Сибири. Сер. Инженерные науки. 2015. Спецвыпуск (15). С. 21–25.
10. Мануковский А. В. Расчет маломощного трансформатора на программируемом микрокалькуляторе // Энергетика. 1991. № 2. С. 53–56.
11. ГОСТ Р 54149-2010. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системе электроснабжения общего назначения. Введ. 2013–01–01. М.: Стандартинформ, 2012. 20 с.
12. Афанасьев В. В., Адоньев Н. М., Кибель В. М. [и др.]. Трансформаторы тока. Изд. 2-е, перераб. и доп. Л.: Энергоатомиздат, 1989. 416 с.
13. Новожилов А. Н., Воликова М. П., Андреева О. А., Новожилов Т. А. Особенности конструкции индуктивных преобразователей для релейной защиты и диагностики электрических машин переменного тока устройств / Электричество. 2009. № 4. С. 19–24.
14. Новожилов А. Н. Расчет точечных измерительных преобразователей для защиты синхронного двигателя // Электротехника. 1995. № 10. С. 45–48.

НОВОЖИЛОВ Тимофей Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение промышленных предприятий» Омского государственного технического университета.

SPIN-код: 1328-6928

AuthorID (HBYW): 554534

Адрес для переписки: timokvey@mail.ru

НОВОЖИЛОВ Александр Николаевич, доктор технических наук, профессор (Республика Казахстан), профессор кафедры «Электроэнергетика» Павлодарского государственного университета им. С. Торайгырова (ПГУ).

SPIN-код: 2733-2943

AuthorID (РИНЦ): 189494

ЮСУПОВА Асель Оразовна, магистр электроэнергетики, докторант кафедры «Электроэнергетика» ПГУ.

АСАИНОВ Гибрат Жоламанович, магистр электроэнергетики, докторант кафедры «Электроэнергетика» ПГУ.

Адрес для переписки: timokvey@mail.ru

Для цитирования

Новожилов Т. А., Новожилов А. Н., Юсупова А. О., Асаинов Г. Ж. Автономные источники питания для нужд релейной защиты // Омский научный вестник. 2018. № 2 (158). С. 84–87. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-158-84-87.

Статья поступила в редакцию 07.02.2018 г.

© Т. А. Новожилов, А. Н. Новожилов, А. О. Юсупова, Г. Ж. Асаинов