

УДК 621.314

ИМПУЛЬСНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ МОЩНОСТИ



К.В. МЕНАКЕР,
доцент Забайкальского
института железно-
дорожного транспорта,
канд. техн. наук



А.С. ЦВЕТАЕВА,
аспирант

Ключевые слова: электрическая централизация, промежуточная станция, резервирование, аккумуляторная батарея, редуцирующий преобразователь мощности, выпрямитель, катушка

В статье описан принцип действия импульсного преобразователя мощности электрической энергии (ИПМ), применение которого позволит сократить число аккумуляторных батарей в вводно-выпрямительной панели ПВВ-ЭЦ до двух с одновременным снижением потребляемой мощности до 10 раз.

■ Электропитание устройств ЭЦ промежуточных станций проектируется, как правило, по безбатарейной системе. Аккумуляторные батареи на постах ЭЦ устанавливаются только для резервирования питания релейной аппаратуры, аппаратуры телеуправления и телесигнализации (ТУ–ТС), диспетчерской централизации (ДЦ), устройств связи, аварийного освещения поста ЭЦ и гарантированного питания силовых нагрузок. Предусматривается также резервирование питания красных и лунно-белых ламп входных светофоров от аккумуляторных батарей, расположенных в батарейных шкафах.

Высокая стоимость и большое количество аккумуляторов (до 12 и более), невозможность получения больших разрядных токов, низкая надежность выпрямителей и снижение КПД устройства питания за счет наличия инверторов, преобразующих постоянный ток в переменный, предопределяют необходимость поиска новых технических решений.

В [1, 2, 3] описан принцип действия импульсного преобразователя мощности электрической энергии (ИПМ), применение которого позволит сократить число аккумуляторных батарей до двух с одновременным снижением потребляемой мощности до 10 раз.

Как показывает практика в аварийном режиме время работы аккумуляторных батарей общей емкостью 140 А·ч не превышает 4 ч при токопотреблении нагрузки в 30 А.

В послеаварийном режиме значение тока форсированного заряда батарей составляет 10 А. С учетом питания нагрузки расход по току не превышает 22 А. Напряжение питания нагрузки и зарядки аккумуляторных батарей составляет не более 26,8 В, а значение полной мощности системы резервирования с учетом реактивной составляющей – 1600 Вт [4].

С целью снижения эксплуатационных расходов и потребляемой мощности предлагается оснастить ПВВ-ЭЦ импульсным преобразователем мощности (рис. 1).

В штатном исполнении резервная подсистема панели ПВВ-ЭЦ оснащена выпрямителями В6 и В7, предназначенными для автоматической подзарядки

аккумуляторных батарей в нормальном режиме и для форсированного заряда в послеаварийном. От аккумуляторных батарей через инвертор ИТ1 по цепи ПХП–ОХП резервируется питание автоматизированного рабочего места дежурного по станции (АРМ ДСП), а через инвертор ИТ2 по цепи ПХИ–ОХИ – питание устройств СЦБ.

Внепостовые цепи и индикация на табло дежурных по станции питаются от дополнительных выпрямителей В16 и В14, не показанных на рисунке.

Установка импульсного преобразователя мощности в цепи ПБП1 и МБП помимо уменьшения числа аккумуляторных батарей и значительного снижения потребляемой мощности позволит отказаться еще от инверторов ИТ1, ИТ2 и выпрямителей В14, В16, не указанных на рис. 1. На его выходе одновременно можно получать напряжение постоянного (6 и 26,8 В) и переменного тока (220 В).

К тому же уменьшение потребляемой мощности приведет к повышению надежности работы выпрямителей В6 и В7, каждый из которых рассчитан на предельный ток в 10 А. Но, как показывает практика, при ускоренном заряде значение потребляемого тока может увеличиваться до 30 А.

Упрощенная схема импульсного преобразователя мощности (рис. 2) состоит из двух коммутирующих элементов VT1 и VT2, выполненных на транзисторах, двух колебательных контуров, включенных по схеме резонанса токов, генератора управляющих импульсов GN1, преобразователей напряжения TV1 и TV2, а также выпрямителей и стабилизаторов, не представленных на схеме.

Принцип его работы основан на периодическом насыщении и разряде катушки индуктивности L1, находящейся в режиме резонанса токов, который обеспечивается за счет подключенной параллельно катушке емкости C1. За синхронность и периодичность процесса отвечают электронные ключи VT1 и VT2, работающие в противофазе под управлением генератора импульсов. При разряде индуктивности L1 энергия накапливается в емкости C2.

Индуктивность L2, работающая в режиме резонан-

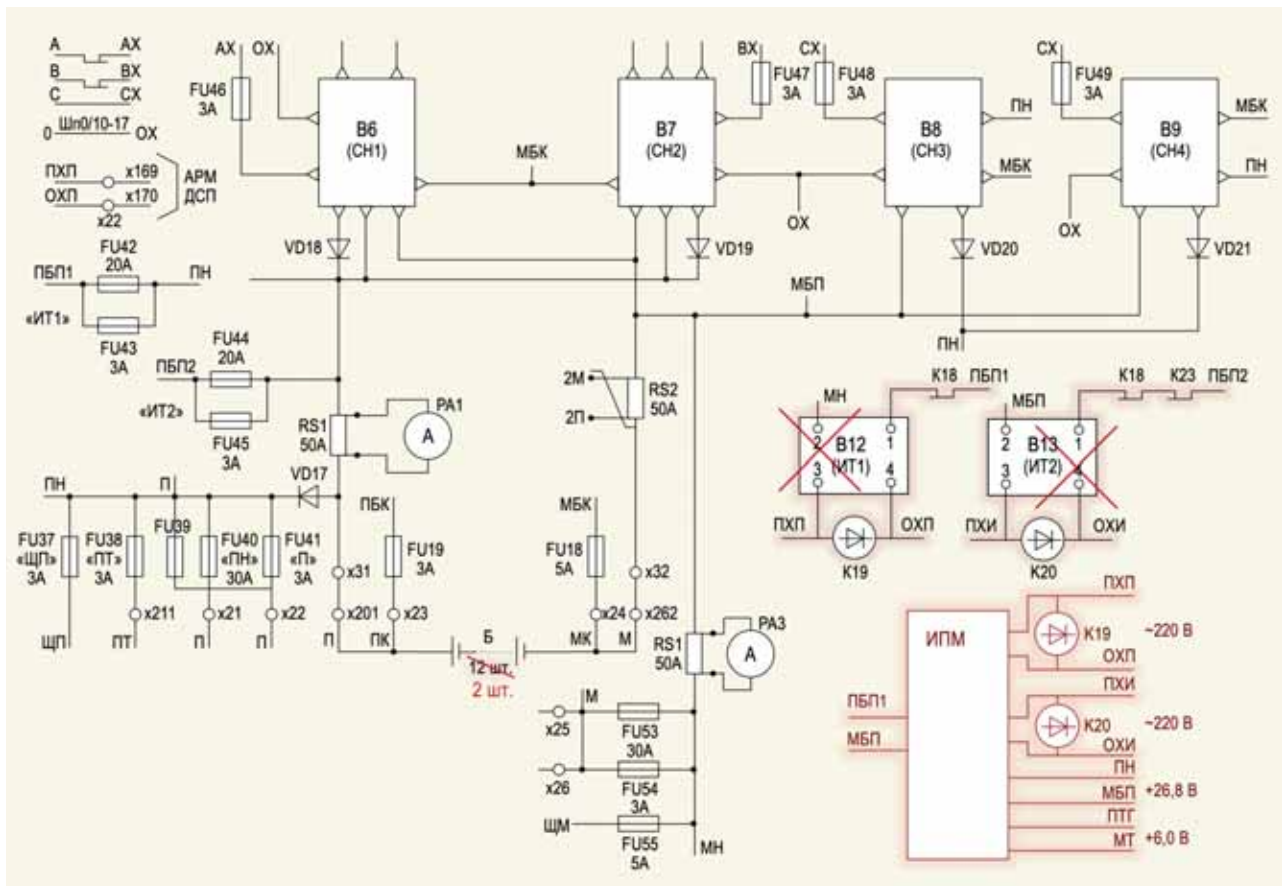


РИС. 1

са токов, совместно с емкостью C2 образуют колебательный контур, обеспечивающий питание нагрузки переменным током. Два первичных колебательных контура обеспечивают большую эффективность накопления энергии.

Полупроводниковый диод VD исключает разряд C2 на индуктивность L1. TV1 и TV2 служат для получения требуемых значений напряжения (6 и 26,8 В соответственно). В реальной схеме ИПМ, построенного по двухтактной схеме, в качестве этих трансформаторов используются импульсные преобразователи.

Потребляемая мощность преобразователя не превышает 250 Вт при входном значении напряжения 24 В и токе 10,8 А. Предельная суммарная мощность на выходе составляет 2,5 кВт. Таким образом, в аварийном режиме две последовательно включенные аккумуляторные батареи на 12 В емкостью 120–130 А·ч обеспечат питание потребителей с полуторным запасом в течение 12 ч. Что касается нормального режима, то потребляемая мощность выпрямителя не превышает 160 Вт, что в десять раз меньше существующих значений.

В [1, 2, 3] была раскрыта причина превышения выходной мощности преобразователя относительно её входного значения. В основу его работы положен редукционный принцип – проигрываем в частоте, выигрываем в мощности. Соотношение выходной и входной мощности преобразователя ИПМ ориентировочно составляет:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{I_2 U_2}{I_1 U_1} = \frac{f_1}{f_2} = n, \quad (1)$$

где f_1, f_2 – значения частоты на индуктивности L1 и накопительной емкости C2;

U_1, U_2 – величины входного и выходного напряжения преобразователя соответственно.

Энергия заряженной индуктивности L1 определяется классическим выражением:

$$W_{L1} = \frac{L_1 I_1^2}{2} \quad (2)$$

Закон изменения тока насыщения катушки I_1 при замыкании коммутирующего элемента VT1 носит экспоненциальный характер. При условии односторонней передачи энергии через диод в накопитель-

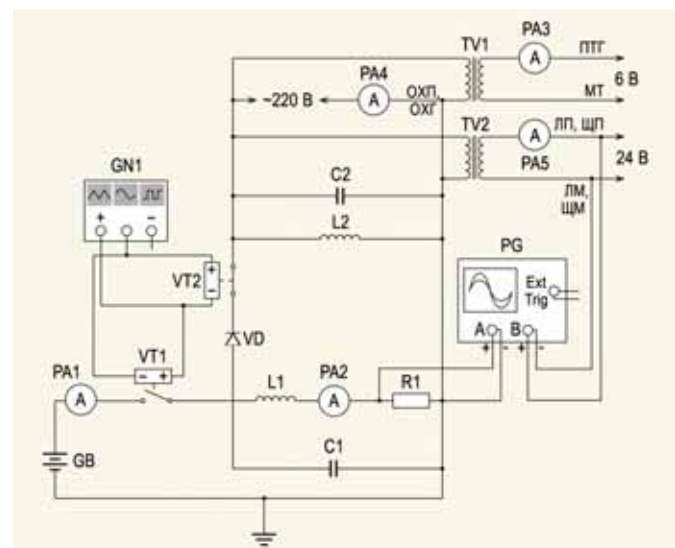


РИС. 2

ную емкость C2 возможна многократная коммутация катушки L1 в течение 1 с и соответствующее увеличение выходной мощности преобразователя до значения, равного

$$P_2 \approx \frac{L_1 i_1(t)^2}{2} f_2 = \frac{C_2 U_{C2}^2}{2} f_2, \quad (3)$$

где U_{C2}^2 – значение напряжения на емкости C2, В.

Таким образом, с возрастанием частоты коммутации увеличивается выходная мощность преобразователя. Однако следует учитывать, что эта частота зависит от постоянной времени катушки, которая определяет время нарастания тока на ней до величины 0,6 от максимального значения. В случае применения катушки большей индуктивности постоянная времени увеличится. При этом придется уменьшить частоту коммутации, в результате чего снизится выходная мощность.

На первый взгляд может показаться, что постоянную времени можно уменьшить за счет увеличения омического сопротивления катушки. Однако это приведет к уменьшению тока насыщения катушки и к еще более резкому снижению величины выходной мощности преобразователя P_2 в силу ее квадратичной зависимости от значения I_1 . Следовательно, коммутация катушки электронным ключом сама по себе не позволяет обеспечить превышения выходной мощности преобразователя относительно потребляемой.

Авторам удалось разрешить эту проблему, применив одно из изобретений, реализованных в модели

импульсного преобразователя мощности, на которое получен патент.

На рис. 3, а представлена осциллограмма изменения тока катушки индуктивности при подаче на нее последовательности прямоугольных импульсов. Благодаря использованию в схеме колебательного контура, образованного линейной индуктивностью и емкостью, форма выходного напряжения преобразователя (рис. 3, б) носит уже синусоидальный характер. Таким образом, на его выходе получаем переменное напряжение, пригодное для питания различных видов нагрузок.

Предварительные испытания импульсного преобразователя мощности в составе вводно-выпрямительной панели ПВВ-ЭЦ были проведены на базе системы питания учебного полигона института, представляющего собой нечетную горловину промежуточной станции с четырьмя приемо-отправочными путями и тремя действующими стрелками.

При этом схемным способом были исключены из работы инверторы ИТ1, ИТ2 (см. рис. 2) и выпрямители В14, В16. Вместо штатных аккумуляторных батарей использовались две батареи марки А612/150 (30РzV 150) с номинальным напряжением 12 В каждая. Малая нагрузка системы резервирования была искусственно увеличена путем подключения электроприборов суммарной мощностью 1500 Вт.

После отключения фидеров питания путем изъятия предохранителей на вводной панели ПВ2-ЭЦ время резервирования аккумуляторных батарей составило 12,5 часов. В ходе испытаний была выявлена неудовлетворительная работа параметрических стабилизаторов, установленных на выходе преобразователя. В дальнейшем схема была усовершенствована путем замены стабилизаторов параметрического типа на компенсационные.

В целом применение импульсного преобразователя мощности в составе резервной системы питания цепей автоматики и телемеханики промежуточных станций позволит сократить число дорогостоящих аккумуляторов в шесть раз (с 12 до 2 шт.) и снизить значение потребляемой мощности практически в 10 раз без значительных капиталовложений. При этом появляется возможность отказаться от двух инверторов и выпрямителей в системе электропитания, повышается ее надежность и увеличивается время резервирования до 12 ч.

ИПМ себестоимостью порядка 10 тыс. руб. может быть также использован в качестве основного и резервного источника питания устройств различного назначения, включая мобильные системы. Авторы готовы предоставить опытный образец для проведения независимых испытаний с целью рассмотрения вопроса о применении его в действующих устройствах железнодорожной автоматики и телемеханики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Менакер К.В. Разработка преобразователя мощности электрической энергии // Проблемы трансфера современных технологий в экономику Забайкалья и железнодорожный транспорт. 2011, Т.2., с. 225–233.
2. Менакер К.В., Цветаева А.С., Литвинцев А.Г., Семенов Н.Н. К вопросу создания преобразователя мощности как резервного источника питания / Менакер К.В. // Журнал «Электробезопасность», ЧГУ, 2012 г.
3. Менакер К.В., Цветаева А.С. К вопросу определения предельной выходной мощности импульсного преобразователя мощности электрической энергии // Энергобезопасность и энергосбережение. 2012 г.
4. Коган Д.А., Молдавский М.М. Аппаратура электропитания железнодорожной автоматики. – М.ИИЦ. «Академкнига». 2003, 438 с.

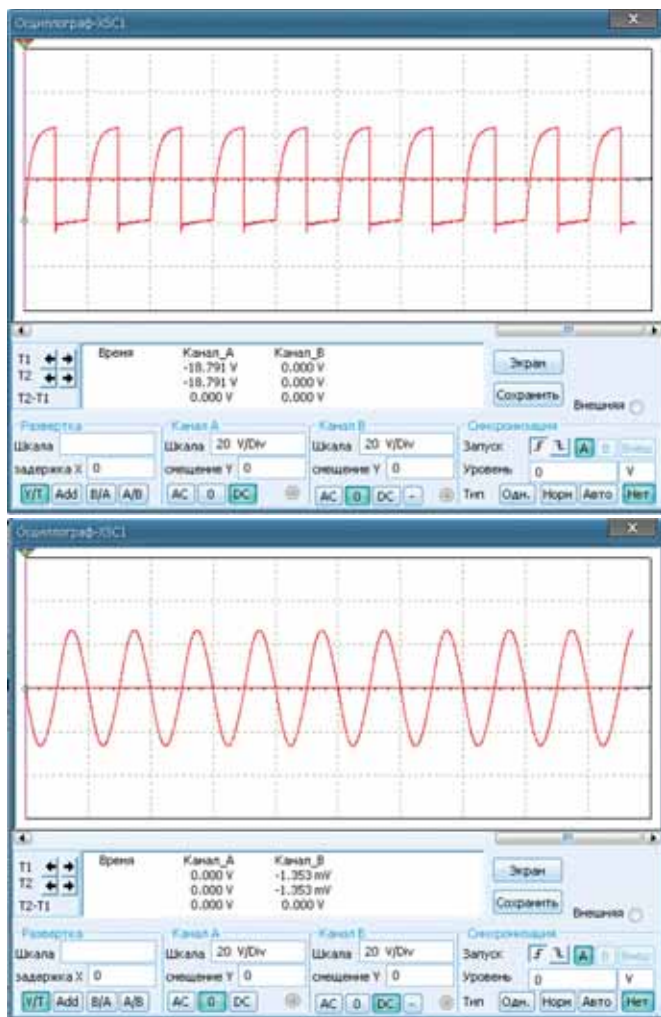


РИС. 3