

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЫТНОГО ОБРАЗЦА НАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА РЕКУПЕРАЦИОННОГО ТИПА*

Приведены результаты экспериментального исследования опытного образца нагрузочного устройства рекуперационного типа.

Ключевые слова: нагрузочное устройство, энергосбережение, рекуперация.

Нагрузочное устройство рекуперационного типа (НУРТ) входит в состав энергосберегающего испытательного комплекса, предназначенного для наземных испытаний мощных вторичных источников энергосистем космических аппаратов (КА) [1]. Отличительной особенностью рассматриваемого НУРТ является рекуперация электроэнергии в сеть постоянного тока, питающую комплекс.

Целью экспериментальных исследований является проверка соответствия статических и динамических характеристик опытного образца НУРТ расчетным значениям.

Структурная схема энергосберегающего испытательного комплекса (рис. 1) содержит источник бесперебойного питания (ИБП), первичный источник электроэнергии (ПИЭ) с выходом на постоянном токе, имитатор солнечной батареи (ИСБ), воспроизводящий вольтамперную характеристику (ВАХ) и выходной импеданс солнечной батареи, испытываемый вторичный источник электропитания (ВИП) и НУРТ, являющееся потребителем по отношению к ВИП. ПИЭ может входить в состав ИСБ.

Опытный образец НУРТ содержит два импульсных стабилизатора входного тока (ИСТ), включенных параллельно. Каждый ИСТ состоит из импульсного преобразователя напряжения (ИПН) с фазовым управлением и блока управления (БУ). ИПН представляет собой мостовую схему с гальванической развязкой на повышающем трансформаторе. В качестве ШИМ-контроллера использован контроллер UC3875 с

фазовым управлением, обеспечивающим «мягкий» режим переключения силовых ключей [2].

Величина тока стабилизации задается соответствующей уставкой источника опорного напряжения (ИОН) командой управляющего устройства (УУ). УУ также контролирует выходной ток и напряжение ВИП. При превышении выходного тока ВИП максимально возможного потребляемого тока НУРТ управляющее устройство выдает команду на размыкание твердотельного реле (ТТР). Во избежание скачка тока при включении или подключении ВИП, УУ уменьшает напряжение ИОН до нуля при отсутствии напряжения на входе НУРТ.

Выходная ВАХ ИСТ при постоянной входной мощности представляет собой обратно пропорциональную зависимость (рис. 2), выходная ВАХ ПИЭ (стабилизатора напряжения) – практически горизонтальная линия. В случае если выходное напряжение ИПН1 или ИПН2 ниже выходного напряжения ПИЭ, то соответствующий диод VD2 или VD3 будет закрыт, ИПН попадет в режим холостого хода, что приводит к росту выходного напряжения и отпираанию соответствующего диода VD2 или VD3. Повышение выходного напряжения ИПН1 или ИПН2 выше выходного напряжения ПИЭ приведет к запирающему диода VD1 и уменьшению уровня энергии, накопленной в контуре рекуперации (ИБС, ВИП, НУРТ), что в конечном счете приведет к уменьшению выходного напряжения ИПН и отпирающему диода VD1. Таким образом, в статическом режиме выходные напряжения ИПН1 и ИПН2 равны выходному напряжению ПИЭ.

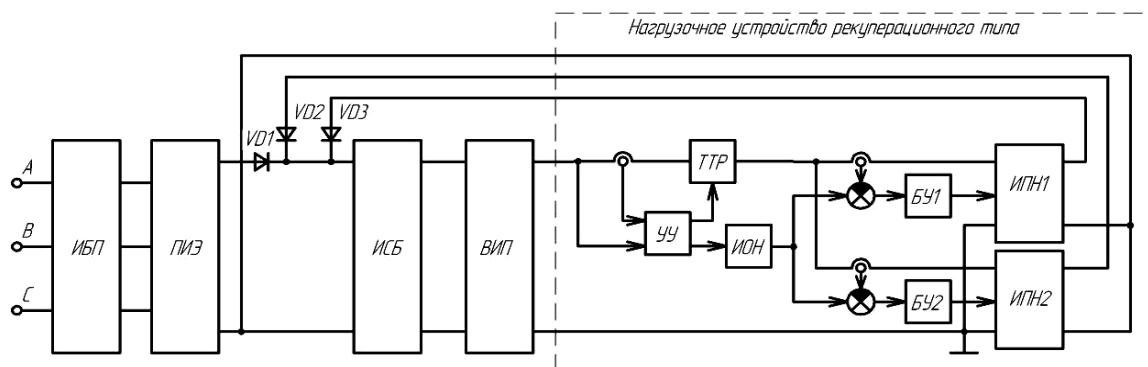


Рис. 1. Структурная схема испытательного комплекса с опытным образцом НУРТ:

ИБП – источник бесперебойного питания; ПИЭ – первичный источник электроэнергии; ИСБ – имитатор солнечной батареи; ВИП – испытываемый вторичный источник электропитания; УУ – устройство управления; ТТР – твердотельное реле; ИОН – источник опорного напряжения; ИПН – импульсный преобразователь напряжения; БУ – блок управления ИПН

*Работа выполнена при финансовой поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 гг.

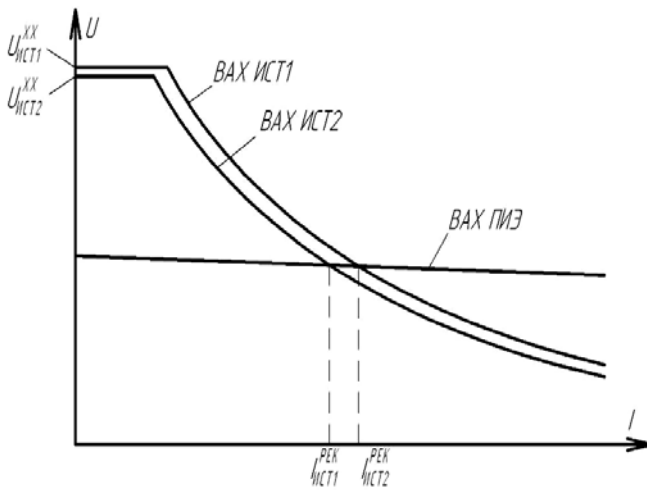


Рис. 2. Выходные вольтамперные характеристики ИСТ и ПИЭ

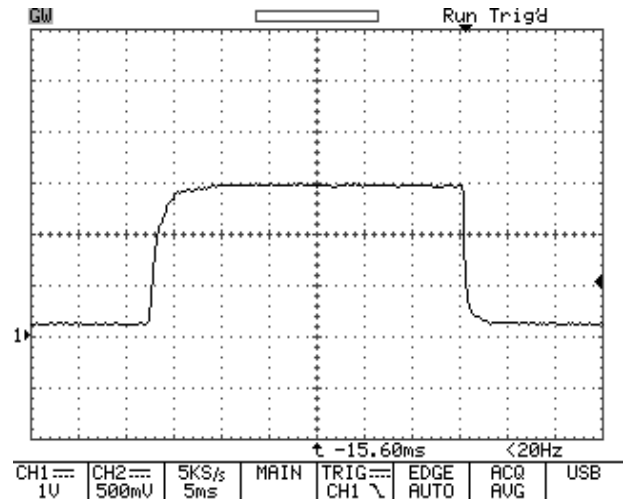


Рис. 3. Переходной процесс при набросе и сбросе тока нагрузки. Масштаб 5 А/В

Для практики повышения мощности НУРТ путем параллельного включения ИСТ представляет интерес токовыравнивание параллельно включенных ИСТ как по входному току, так и по выходному.

При крутопадающих ВАХ ИСТ разброс по току рекуперации ИСТ незначителен, поэтому не требуется технических средств для токовыравнивания ИСТ. Эксперимент показал, что разброс по выходному току составляет порядка 3,2 %, по входному – 1,4 % (см. рис. 2).

Динамические характеристики НУРТ оцениваются по виду переходного процесса при ступенчатом набросе и сбросе тока нагрузки ВИП. Максимальная скорость нарастания входного тока НУРТ составляет 6,6 А/мс, максимальная скорость спада – 160 А/мс. Время регулирования составляет порядка 5 мс (рис. 3).

Соответствие экспериментального переходного процесса при ступенчатом набросе и сбросе тока нагрузки ВИП расчетному подтверждается графиком приведенной ошибки (рис. 4) (1):

$$\varepsilon(t) = \frac{I_{\Sigma}(t) - I_T(t)}{I_{\max}} \cdot 100 \%,$$

где $\varepsilon(t)$ – приведенная ошибка; $I_{\Sigma}(t)$ – значения тока нагрузки ВИП, полученные экспериментально; $I_T(t)$ – значения тока нагрузки ВИП, полученные теоретически; $I_{\max}$ – максимальное значение тока нагрузки ВИП. Максимальное значение ошибки не превышает 7 %.

Для оценки эффективности НУРТ измерены энергетические характеристики НУРТ и ПИЭ (рис. 5). От ПИЭ потребляется энергия, необходимая только для компенсации потерь в ИСБ, ВИП и НУРТ. При входной мощности НУРТ 3,0 кВт от ПИЭ потребляется мощность не более 0,9 кВт.

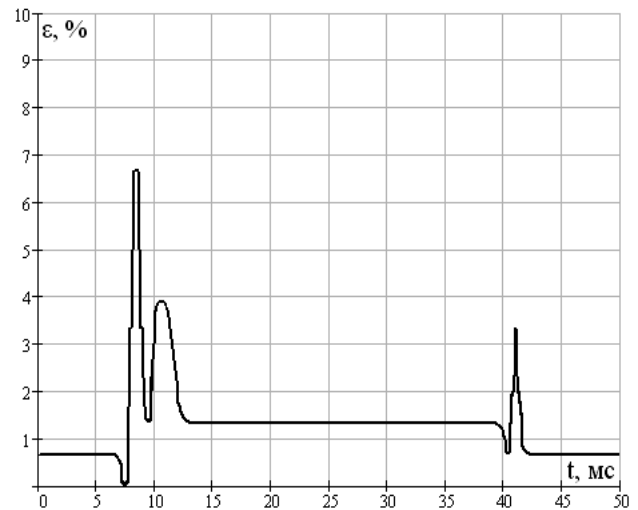


Рис. 4. Приведенная ошибка по току нагрузки ВИП

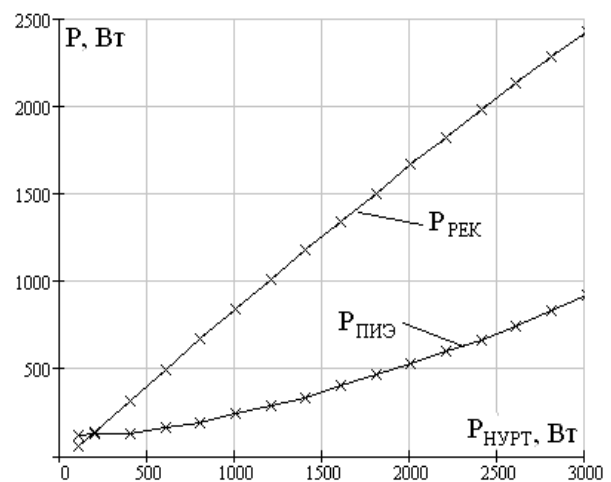


Рис. 5. Зависимости рекуперированной мощности НУРТ и выходной мощности ПИЭ от входной мощности НУРТ

Коэффициент рекуперации ($K_{\text{РЕК}} = P_{\text{РЕК}}/P_{\text{НУРТ}}$) сначала увеличивается с ростом входной мощности НУРТ, затем уменьшается (рис. 6). Рост обусловлен увеличением доли рекуperiруемой мощности по отношению к потерям. Спад коэффициента рекуперации вызван увеличением потерь с ростом входного тока НУРТ. Максимальное значение коэффициента рекуперации – 84 %.

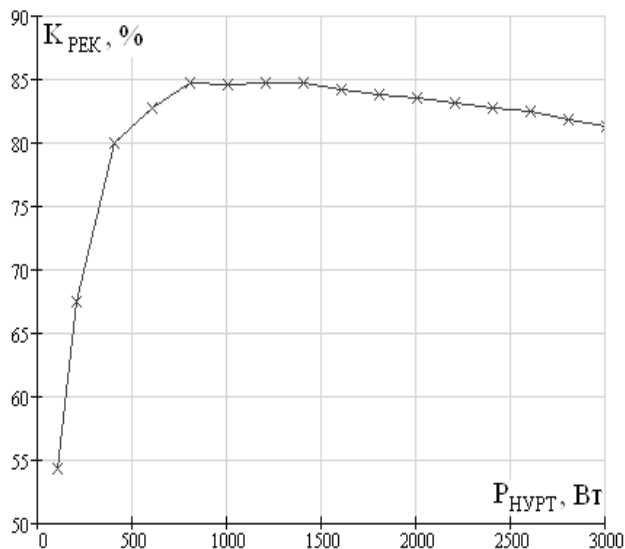


Рис. 6. Зависимость коэффициента рекуперации от входной мощности НУРТ

Испытания ВИП могут занимать длительное время, и во избежание срыва графиков испытаний при пропадании сети переменного тока, в состав испытательного комплекса входит ИБП. При пропадании питающей сети переменного тока использование рекуперации электроэнергии в сеть постоянного тока увеличивает время работы испытательного комплекса от аккумуляторов ИБП. При использовании ИБП марки Eaton 9130 5000 при нагрузке в 3 кВт применение рекуперации электроэнергии в сеть постоянного тока позволяет увеличить время работы испытательного комплекса от батарей ИБП приблизительно в 3 раза.

Опытный образец НУРТ 100/3,0 (рис. 7) обладает следующими характеристиками:

- максимальная потребляемая мощность – 3 кВт;
- диапазон входных напряжений – 65...120 В;
- максимальный потребляемый ток – 46 А;
- максимальная скорость нарастания входного тока – 6,6 А/мс;
- максимальная скорость спада входного тока – 160 А/мс;
- максимальный коэффициент рекуперации – 84 %.

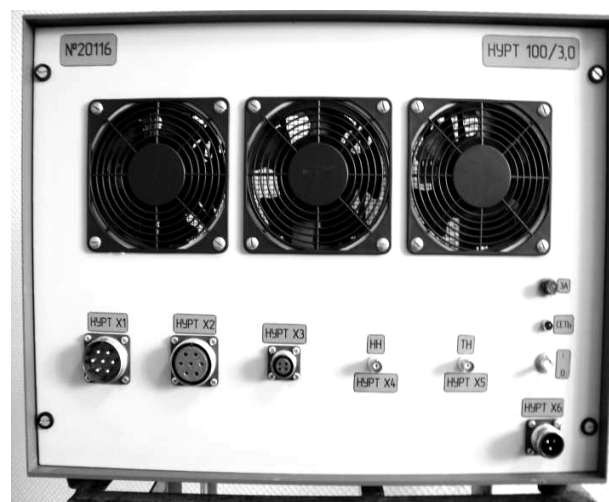


Рис. 7. Внешний вид НУРТ 100/3,0.

Комплекс имеет возможность управления по интерфейсу RS-232 и Ethernet.

НУРТ позволяет задавать выходной ток испытуемого ВИП в диапазоне от 0 до 46 А с шагом 0,1 А.

Библиографические ссылки

1. Мизрах Е. А., Лобанов Д. К. Энергосберегающее нагрузочное устройство для испытаний систем электропитания постоянного тока // Вестник СибГАУ. 2010. Вып. 6 (32). С. 56.
2. Мелешин В. И. Транзисторная преобразовательная техника. М. : Техносфера, 2005.

D. K. Lobanov, E. A. Mizrakh

EXPERIMENTAL RESEARCH OF LOADING DEVICE OF RECUPERATION TYPE

The results of experimental research of loading device of recuperation type are presented in this article.

Keywords: loading device, energy-efficiency, recuperation.

© Лобанов Д. К., Мизрах Е. А., 2012