

УДК 629.7.064.5

В.С. РЕВА, К.Н. ЗЕМЛЯНОЙ, Е.Ю. ШЕВЧЕНКО*Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. Янгеля»*

ФОРМИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К СИСТЕМЕ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НАЗЕМНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ РАКЕТ КОСМИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Приведена и проанализирована проблема современных систем электроснабжения наземных комплексов ракет космического назначения, которой является качество электроэнергии (КЭ). Предлагается функциональное (условное) разделение системы электроснабжения на силовую часть и систему контроля качества электроэнергии (СККЭ). К системе контроля качества электроэнергии сформированы требования по назначению. К основным требованиям, предъявляемым к СККЭ, относят: непрерывный контроль параметров электроэнергии (напряжения, тока, частоты), архивирование и документирование параметров, непрерывный контроль текущего состояния и времени работы аппаратуры, а также сравнение значений измеряемых параметров с допустимыми. Приведенные структурные схемы системы контроля качества электроэнергии позволяют ознакомиться с основными принципами работы данной системы в обычном режиме и режиме выхода за пределы норм показателей качества электроэнергии (ПКЭ).

Ключевые слова: контроль, качество, система электроснабжения, параметры электроэнергии, потребитель, сформированные требования.

Введение

Система электроснабжения (СЭС) является неотъемлемой составной частью современного наземного комплекса, без которой невозможно проведение работ по подготовке и запуску полезного груза. Будучи составной частью сложного технического комплекса, каким является современный наземный комплекс (НК), СЭС, в свою очередь, также обладает рядом признаков, позволяющих квалифицировать ее как сложную техническую систему. По мере развития космических технологий, а также увеличения количества потребителей разных номиналов напряжения, в том числе и низковольтного оборудования, при больших суммарных мощностях возникает проблема качества электроэнергии (КЭ).

В связи с этим на этапах проектирования возникает потребность в функциональном (условном) разделении системы электроснабжения на силовую часть и систему контроля качества электроэнергии (СККЭ).

1. Определение параметров контролируемых СККЭ

Под качеством электроэнергии понимается степень соответствия параметров электроэнергии их установленным значениям [1]. К качеству поставляемой электроэнергии для эксплуатации КРК, как и к качеству промышленной продукции, предъявляются спе-

циальные требования. Количественная характеристика качества электроэнергии выражается отклонениями напряжениями и частоты, размахом колебаний напряжений и частоты, коэффициентом несинусоидальности, формы кривой напряжения, коэффициентом несимметрии напряжения, провалом напряжения, импульсом напряжения и временным перенапряжением.

Технологический процесс подготовки КА и проведение пуска РН космического ракетного комплекса (КРК) характеризуется рядом особенностей:

- возможностью большого ущерба, связанного с нарушением технологического процесса КА при провалах напряжения в системе электроснабжения стартового комплекса (СЭС СК) в том числе с потерей работоспособности;

- возникновением, при полном или длительном перерыве электроснабжения, угрозы выхода из строя ТО, взрыва, пожара, опасности при эксплуатации в связи с наличием взрывоопасных и токсичных веществ, используемых при заправке РН;

- высокой требуемой степенью надежности технологического оборудования и систем РН и КА, работающих без присутствия обслуживающего персонала во время максимума нагрузки при проведении пуска РН с КА.

Ввиду вышеприведенной специфики работы потребителей системы электроснабжения КРК, проведен анализ возможных нештатных ситуаций, (табл. 1), а также их влияния на работу системы электроснабжения.

Таблица 1
Анализ возможных нештатных ситуаций

Причины нештатной ситуации	Возможные следствия нештатной ситуации
Повышенное напряжение.	Выход из строя оборудования. Аварийное отключение оборудования с потерей данных в компьютерах.
Высоковольтные импульсы.	Выход из строя чувствительного оборудования.
Гармонические искажения напряжения	Помехи при работе чувствительного оборудования (радио и телевизионные системы, измерительные комплексы и т.д.) Перегрев трансформаторов.
Нестабильная частота	Нестабильная частота является лучшим индикатором неправильной работы энергосистемы или ее существенной части.
Пониженное напряжение, провалы напряжения	Перегрузки блоков питания электронных приборов и уменьшение их ресурса. Отключение оборудования при недостаточном для его работы напряжении. Выход из строя электродвигателей. Потери данных в компьютерах.

Анализ возможных нештатных ситуаций при проведении подготовки и пуска РН, связанных с системой электроснабжения, показал, что особо важными параметрами электроэнергии, которые необходимо контролировать, являются следующие:

- **Отклонение напряжения:**

$$\delta U(t) = \frac{U(t) - U_H}{U_H} \cdot 100\%,$$

где $U(t)$ – действующее значение напряжения;

U_H – номинальное напряжение.

- **Действующее напряжение определяется по формуле:**

$$U(t) = \frac{1}{3} \left(U_{AB(1)} + U_{BC(1)} + U_{AC(1)} \right),$$

где $U_{AB(1)}$, $U_{BC(1)}$, $U_{AC(1)}$ – действующие значения межфазных напряжений основной частоты.

Для сетей до 1 кВ:

$$\delta U_H = \pm 5\% \text{ и } \delta U_{\max} = \pm 10\%.$$

- **Коэффициент несинусоидальности кривой напряжения:**

$$k_{нсU} = \frac{1}{U_H} \sqrt{\sum_{n=2}^N U_n^2} \cdot 100\%,$$

где U_H – действующее значение n-й гармонической составляющей напряжения;

N – порядок последней из учитываемых гармоник.

Нормальные и максимальные допустимые значения коэффициента не должны превышать соответственно: в сети при напряжениях до 1 кВ – 5 и 10 % [3].

- **Отклонение частоты:**

$$\Delta f = f - f_H,$$

где f – текущее значение частоты;

f_H – номинальное значение частоты.

2. Формирование требований

Проведенный анализ требований технических заданий и структурных схем СЭС, а также требований заказчиков пусковых услуг показал, что разрабатываемая СККЭ должна обеспечивать:

– непрерывный контроль следующих параметров электропитания с привязкой к реальному времени:

а) напряжения, частоты, потребляемого тока, коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения на входе;

$$\{I_{1,ВХ} \dots I_{n,ВХ}\} \{U_{1,ВХ} \dots U_{n,ВХ}\} \{f_{1,ВХ} \dots f_{n,ВХ}\} \\ \{k_{нсU} \dots k_{нсU}\}$$

б) напряжения, частоты, потребляемого тока, коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения на выходе (шинах питания потребителей);

в) на входных разъемах потребителей постоянного тока – напряжение;

г) фактов переключения с основного ввода электропитания на резервный и наоборот;

д) состояния автоматических выключателей системы;

– сбор, накопление (архивирование) и документирование указанных параметров с обеспечением сохранения информации не менее чем за 30 минут до возникновения нештатной ситуации с отображением информации на ПК, входящем в состав СККЭ и формированием отчетных документов;

– непрерывный контроль текущего состояния и времени работы аппаратуры СЭС с отображением на ПК, входящем в состав СККЭ, информации о состоянии функционирования составных частей СЭС.

3. Алгоритм работы СККЭ

Алгоритм внешней работы СККЭ представлен на рис. 1. Ввод системы электроснабжения осуществляется от двух независимых источников, переключение между которыми осуществляется при помощи автоматического включения резервного ввода

(АВР). Измерение таких основных параметров как напряжение, частота, ток и коэффициент несинусоидальности системой контроля качества выполняется на двух уровнях, показанных на рисунке, в точке А – на вводе в систему и в точке В – непосредственно на шинах ввода потребителя, при этом сигнализируя оператора о полученных результатах. СККЭ производит сравнение номинальных параметров электроэнергии с допустимыми, в случае сбоя происходит автоматическое включение резервного ввода при этом, подается сигнал оператору. Возврат на рабочий ввод системы при помощи АВР после прошедшей нештатной ситуации возможен только после устранения неисправности на линии.

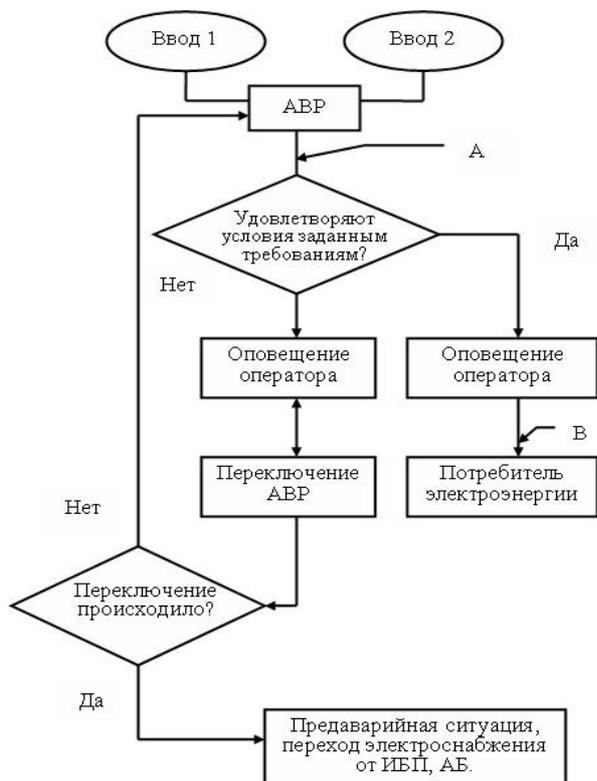


Рис. 1. Алгоритм внешней работы СККЭ
А – точка контроля параметров качества на вводе системы; В – точка контроля параметров качества на вводе потребителя

4. Возможная структура СККЭ

Учитывая особенности контроля вышеприведенных параметров электроэнергии и параметров работы составных частей СЭС, а также принимая во внимание развитие серийно выпускаемых приборов и устройств для автоматизированных систем управления и контроля технологическими процессами, предлагается следующая структура СККЭ.

К центральному компьютеру (рис. 2) подключен лазерный принтер для вывода на печать прото-

колов измерения параметров электросети. Взаимодействие компьютера и контроллеров осуществляется посредством промышленной, внутренней сети. В состав этой сети входит также сетевой концентратор, выполняющий функции неуправляемого коммутатора между портами контроллеров и центрального компьютера. При наличии в памяти монитора электросети файла осциллограммы контроллер производит математическое преобразование полученной первичной информации в удобный для восприятия человеком вид, а в аварийной ситуации контроллер автоматически считывает этот файл и передает его компьютеру для дальнейших операций. Отличительной особенностью монитора электросети должна являться возможность записи в его памяти реального снимка – сигнала в электрической сети.

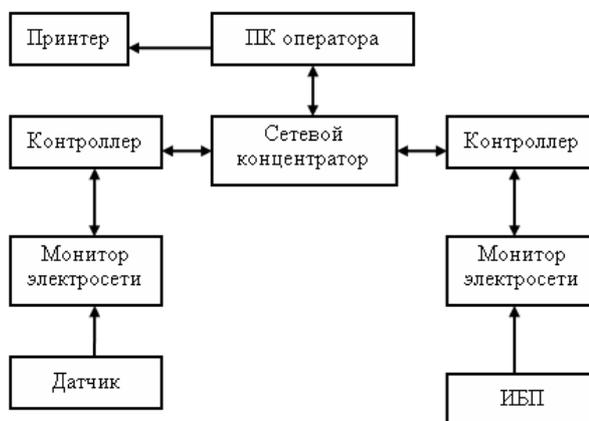


Рис. 2. Предварительная структурная схема СККЭ

Выбор комплектующих изделий для СККЭУ на СЭС должен быть основан на следующих принципах:

- максимального использования изделий, серий выпускаемых промышленностью;
- максимального удовлетворения требований информационного обеспечения;
- максимального применения комплектующих одного производителя с целью снижения затрат на эксплуатацию и комплектацию запасных комплектов;
- минимальной стоимости;
- возможности работы в условиях широких спектрах климата;
- наличие сертификатов в системе УкрСЕПРО.

Таким образом, использование СККЭ в составе систем электроснабжения космических ракетных комплексов позволяет обеспечить непрерывный контроль важных параметров электроэнергии, в случае выхода за допустимые пределы показателей качества электроэнергии предпринять оперативные меры, необходимые для парирования нештатных

ситуаций, а также позволит подтвердить выполнение требований Заказчиков пусковых услуг к электроснабжению при подготовке к запуску на НК перспективных КА.

Литература

1. ГОСТ В23653-79 *Нормы качества электроэнергии. Источники и преобразователи электроэнергии. Автономные системы электроснабжения [Текст]*. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 32 с.
2. ГОСТ 23875-88 *Качество электрической энергии. Термины и определения [Текст]*. – М.: Изд-

во стандартов, 1988. – 54 с.

3. *Правила устройства электроустановок [Текст]*. – X.: Изд-во «Индустрия», П-68 2007 – 416с. ISBN 978-966-2160-00-0.

4. Козлов, В.В. *Основы проектирования ракетно-космических комплексов. Системотехника РКК для инженеров-механиков [Текст]* / В.В. Козлов. – СПб.: ВИКУ им. А.Ф. Можайского. 1999. – 365 с.

5. Бирюков, Г.П. *Основы обеспечения надежности и безопасности стартовых комплексов [Текст]* / Г.П. Бирюков, Ю.Ф. Кукушкин, А.В. Торпачев. – М.: Изд-во МАИ, 2002. – 264 с.

Поступила в редакцию 1.06.2011

Рецензент: д-р техн. наук, проф., проректор К.В. Безручко, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

ФОРМУВАННЯ ВИМОГ ДО СИСТЕМИ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ НАЗЕМНИХ КОМПЛЕКСІВ ДЛЯ РАКЕТ КОСМІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

В.С. Рева, К.М. Земляний, Е.Ю. Шевченко

Наведено і проаналізовано проблему сучасних систем електропостачання наземних комплексів ракет космічного призначення, якою є якість електроенергії (ЯЕ). Пропонується функціональне (умовне) розділення системи електропостачання на силову частину і систему контролю якості електроенергії (СКЯЕ). До системи контролю якості електроенергії сформовано вимоги щодо призначення. До основних вимог, що ставляться до СКЯЕ, належать: безперервний контроль параметрів електроенергії (напруги, струму, частоти), архівування і документування параметрів, безперервний контроль поточного стану і часу роботи апаратури, а також порівняння значень вимірювальних параметрів з допустимими. Наведені структурні схеми системи контролю якості електроенергії дозволяють ознайомитися з основними принципами роботи цієї системи у звичайному режимі і режимі виходу за межі норм показників якості електроенергії.

Ключові слова: контроль, якість, система електропостачання, параметри електроенергії, споживач, сформовані вимоги.

FORMATION OF REQUIREMENTS FOR QUALITY MONITORING SYSTEM FOR POWER OF ILV GROUND COMPLEXES

V.S. Reva, K.N. Zemlyanoi, Y.Y. Shevchenko

A problem of modern power supply systems of Integrated Launch Vehicles (ILV) Ground Complexes has been presented and analysed. That problem is electric power quality (EPQ). We propose functional (conventional) division of the power supply system (PSS) into a power part and Electric Power Quality Monitoring System (EPQMS). Requirements for EPQMS purpose have been formed. Basic EPQMS requirements are: continuous monitoring of electric power parameters (voltage, current, frequency), parameters archiving and documenting, continuous monitoring of current state and operational time of the equipments and also comparison of values of measured and permissible parameters. Given EPQMS structural schemes are helpful for studying the basic principles of operation of this system in the common mode and in the mode of exceeding the limits of norms of electric power quality indices.

Key words: monitoring, quality, power supply system, electric power parameters, consumer, formed requirements.

Рева Вадим Сергеевич – инженер, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. Янгеля», Днепропетровск, Украина, e-mail: info@yuzhnoye.com.

Земляной Константин Николаевич – начальник сектора, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. Янгеля», Днепропетровск, Украина, e-mail: info@yuzhnoye.com.

Шевченко Евгений Юрьевич – начальник группы, Государственное предприятие «Конструкторское бюро «Южное» им. Янгеля», Днепропетровск, Украина, e-mail: info@yuzhnoye.com.