

АВТОНОМНОЕ ФОРМИРОВАНИЕ ПРОГРАММЫ ПЕРЕКЛАДОК ПАНЕЛЕЙ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ ВЫСОКОДИНАМИЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА ОСНОВЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПИТАНИЯ

В практике эксплуатации высокودинамичных космических аппаратов (КА) функционирование бортовых систем обеспечивается электрической энергией, поступающей из системы электрического питания (СЭП). Электрическая энергия в СЭП поступает от панелей солнечных батарей (ПСБ). Электрический заряд аккумулируется в батареях СЭП для обеспечения бортовых систем (потребителей СЭП). Для успешной работы СЭП необходимо поддержание баланса между потребляемой и поступающей в нее энергией на протяжении цикла функционирования КА. При этом должен учитываться остаточный заряд аккумуляторных батарей и его отклонение от максимального. Проблему энергетического баланса при функционировании КА можно решать путем передачи в бортовой комплекс управления (БКУ) программы переключений ПСБ из наземного комплекса управления (НКУ). При этом программа переключений рассчитывается с учетом текущего состояния СЭП и баланса планируемого потребления электрической энергии с ее поступлением от ПСБ. При таком подходе в НКУ используется информация о планируемых режимах работы систем КА и информация о состоянии СЭП, полученная из БКУ в сеансе связи. Такой подход обусловлен низкими вычислительными ресурсами БКУ, необходимостью периодического контроля параметров составных частей СЭП и устоявшимися традициями управления КА. Описанный подход имеет недостатки. Во-первых, понижается автономность функционирования КА. Во-вторых, используется устаревшая информация о состоянии СЭП (за счет цикличности сеансов связи).

Для устранения указанных недостатков представляется естественным организовать вычисление программы переключений ПСБ в БКУ. Предлагаемый подход не предусматривает точного расчета параметров программ переключений для отслеживания уровня энергетического баланса. Это не является существенным недостатком, т.к. при реальном функционировании высокودинамичных КА возникают значительные отклонения от рассчитанного номинала в потреблении и поступлении электрической энергии. Для формирования цикла автоматического регулирования СЭП предлагается схема с регулятором, изображенная на рисунке.

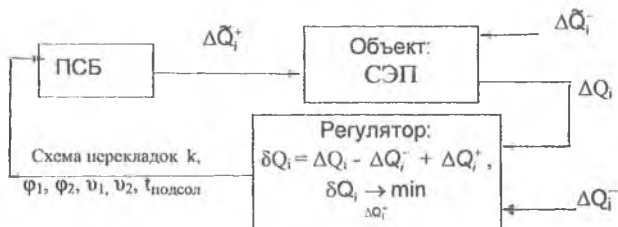


Рисунок 1 – Принципиальная схема регулирования СЭП

На рисунке используются обозначения:

$$\Delta Q_i = Q_{\max} - Q_i ,$$

$$\delta Q_i = \Delta Q_i - \Delta Q_i^- + \Delta Q_i^+ ,$$

i – номер цикла регулирования СЭП (сутки полета КА),

Q_{\max} – максимальный заряд батареи (техническая характеристика АБ),

Q_i – текущий заряд батареи (фиксируется СЭП),

δQ_i – минимизируемая величина энергетического баланса.

ΔQ_i – глубина разряда батареи на i -том цикле,

ΔQ_i^- – расчетный потребляемый заряд (информация поступает из НКУ в составе РП),

ΔQ_i^+ – расчетный заряд с ПСБ (формируется регулятором из условия обеспечения $\min(\delta Q_i)$),

$\tilde{\Delta Q}_i^+$ – фактический заряд с ПСБ (измеряется приборами СЭП),

$\tilde{\Delta Q}_i^-$ – фактический потребляемый заряд (измеряется приборами СЭП),

$\varphi_1, \varphi_2, \nu_1, \nu_2$ – углы установки панелей ПСБ в схемах переключений,

$t_{\text{полсол}}$ – время прохождения КА подсолнечной точки.

Регулятор имеет в своем составе базу данных программ переключений, упорядоченную по значению угла β (угол между плоскостью орбиты и направлением на Солнце) и максимальным значениям заряда $Q_{\text{твх}}^{(k)}$ для варианта схемы k переключений и соответствующие им значения углов $\varphi_1^{\text{твх}}, \varphi_2^{\text{твх}}, \nu_1^{\text{твх}}, \nu_2^{\text{твх}}$. На каждом цикле i регулятор формирует номер варианта k программы переключений из учета требуемого значения ΔQ_i^+ , заряда ΔQ_{i-1}^+ на цикле $i-1$ фактического заряда $\tilde{\Delta Q}_{i-1}^+$. Реализация схемы переключений k на цикле i определяется углами $\varphi_1, \varphi_2, \nu_1, \nu_2$ и временем $t_{\text{полсол}}$, которое вычисляется в регуляторе. Углы $\varphi_1, \varphi_2, \nu_1, \nu_2$ на цикле i вычисляются в регуляторе путем интерполяции с учетом их значений на цикле $i-1$ и зн

чений ΔQ_{i-1}^+ , ΔQ_{i-1}^- и требуемого значения ΔQ_i^+ . В процессе полета КА характеристики СЭП (в особенности ПСБ) меняются. Система регулирования использует измерительную информацию $\tilde{\Delta Q}_i^+$, которая соответствует текущему состоянию СЭП. Таким образом, система регулирования настраивается на изменение характеристик СЭП.

При выборе программы переключений необходимо учитывать ограничения:

- ухудшение аэродинамических характеристик при некоторых схемах переключений для низкоорбитальных КА;

- в ресурсе работы приводных механизмов ПСБ.

При эксплуатации СЭП, в которой нет ограничений на перезарядку АБ, регулирование упрощается. Целевой функционал $\delta Q_i \rightarrow \min_{\Delta Q_i}$ в регуляторе принимает вид: $\delta Q_i > 0$. Схема $Q_{\max}^{(k)}$

переключений при этом выбирается из условия $\Delta Q_i - \Delta Q_i^- + Q_{\max}^{(k)} > 0$ с учетом упомянутых ограничений. Вычисление в регуляторе по конечным формулам не предъявляет высоких требований к ресурсам БЦВМ (при реализации его в виде программы бортового обеспечения). Формирование программы переключений в БКУ повышает оперативность использования информации о текущем состоянии СЭП и снижает нагрузку НКУ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987.