

Модули питания VPT участвуют в исследовании Луны

Использование вторичных источников питания в приборе LEND миссии LRO

Максим Мокроусов, старший научный сотрудник Института космических исследований РАН

В 2005 г., в соответствии с международным соглашением между Роскосмосом и NASA, Институт космических исследований Российской академии наук приступил к разработке прибора LEND (Lunar Exploration Neutron Detector) для миссии LRO (Lunar Recoinnassance Orbiter). С самого начала проектирования в конструкцию прибора заложены вторичные источники производства компании VPT.

Целью исследований прибора LEND (рис. 1) является построение глобальной карты водородосодержащих элементов на поверхности Луны, а также получение достоверных данных о возможном присутствии водяного льда в вечнозатененных зонах на лунных полюсах («холодные ловушки»). Другая цель прибора — изучение нейтронного фона спутника Земли, которое имеет огромное значение для планирования будущих пилотируемых лунных миссий.

Миссия LRO может стать очередным этапом перед построением постоянной базы на поверхности Луны. Для этого необходимо определить местоположение самого значительного ресурса, необходимого для жизнедеятельности, — воды. LEND измеряет поток нейтронов с поверхности Луны, включая постоянно затененные места, с пространственным разрешением, сравнимым по значению с диаметром предполагаемых «холодных ловушек». Нейтроны являются очень чувствительными к присутствию водорода в грунте, поэтому уменьшение нейтронного потока в каких-либо областях можно трактовать как присутствие водорода, а возможно и водяного льда в данных регионах.

Структура прибора LEND показана на рис. 2, а основные технические характеристики приведены в таблице 1.



Рис. 1. Штатный образец прибора LEND

Продукция VPT — выбор NASA

При разработке прибора LEND в качестве вторичных источников питания использована продукция компании VPT.

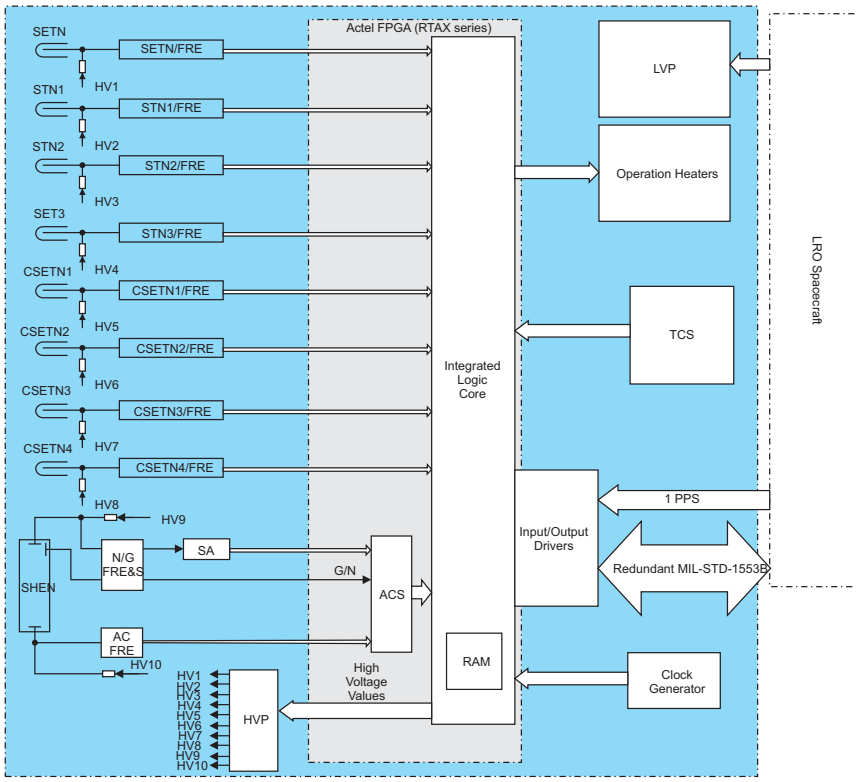


Рис. 2. Структурная схема прибора LEND

Таблица 1. Основные технические характеристики прибора LEND

Полная масса (включая ЭВТИ), кг	26,3
Размеры, мм	461×460×440
Максимальная потребляемая мощность в научном режиме, Вт	9
Мощность нагревателей, Вт	4
Максимальный объем передаваемой телеметрии, Мбайт/сутки	250
Количество цифровых команд	31

Применение этих компонентов было неоднократно одобрено экспертами NASA на различных этапах эскизного проекта. В конструкцию вошли вторичные преобразователи двух моделей: DVTR28512T в паре с фильтром электромагнитных помех DVMH28 (рис. 3) и DVPL0505S (рис. 4).



Рис. 3. Плата вторичного питания

Первое из этих изделий является вторичным преобразователем входного бортового напряжения (+28 В) в три вторичных (+5, +12 и –12 В) и не имеет себе равных в области высоконадежных источников по диапазону входных напряжений (15–50 В) и КПД (до 80%) при вполне приемлемой цене. Вторая модель является точкой распределенного питания (преобразование напряжения +5 В в дополнительные более низкие напряжения) и имеет крайне высокий КПД — до 97%.

На выходе источник DVTR28512T предоставляет достаточно «чистое» выходное напряжение — пульсации составляют около 40 мВ, — что позволило использовать его в приборе для питания как цифровых, так и аналоговых схем практически без вторичной фильтрации.

Здесь необходимо отметить, что прибор LEND соответствует всем требованиям ТЗ по электромагнитной совместимости (ЭМС) даже без использования дополнительных цепей «мягкого» включения прибора, поскольку бортовая система электропитания спутника достаточно плавно коммутирует первичное напряжение питания +28 В — скорость включения порядка 10 В/мс.

В иных случаях (например, релейная коммутация питания) необходимо предусматривать подобные схемы «плавного» включения, иначе пусковые токи в моменты включения могут достигать 6–7 А. Кстати, в настоящее время компания VPT уже предлагает входные ЭМС-фильтры со встроенным ограничителем пускового тока, например модель DV-704A.

Преобразователи DVPL0505S используются в приборе для формирования вторичных напряжений +3,3 и +1,5 В для питания цифрового ядра на основе ПЛИС Actel RTAX250S и цифровой периферии. Эти преобразователи прекрасно выполняют свою роль точек распределенного питания: за все время отработок, наладки, испытаний и полета ни одного случая самопроизвольного «сброса» прибора по причинам просадки питания зафиксировано не было.

Тепловые режимы источников питания

В процессе работы LEND на орбите в служебных данных сохраняется информация о температурах прибора в нескольких его точках, в том числе и на источнике DVTR28512T. На рис. 5 и 6 приведены графики температур с течением времени в максимально холод-



Рис. 4. Основная цифровая плата

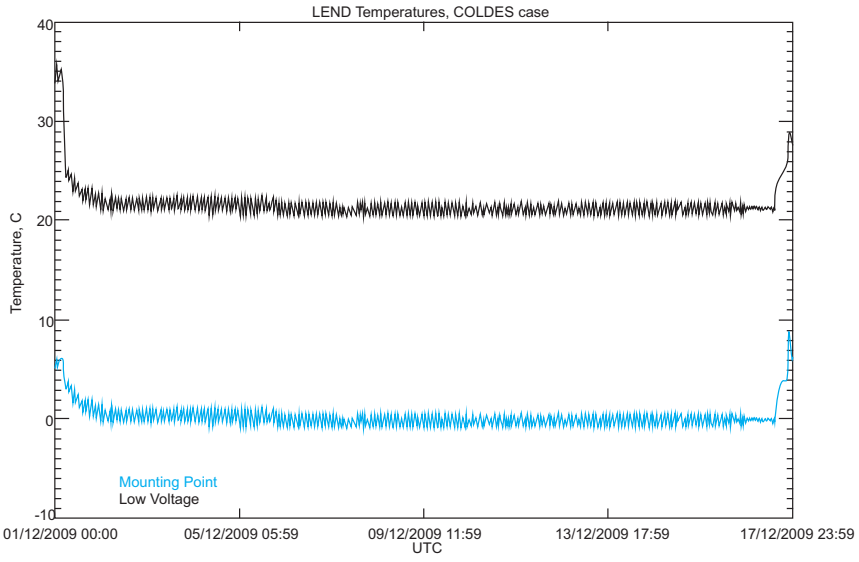


Рис. 5. График температуры в максимально холодном случае

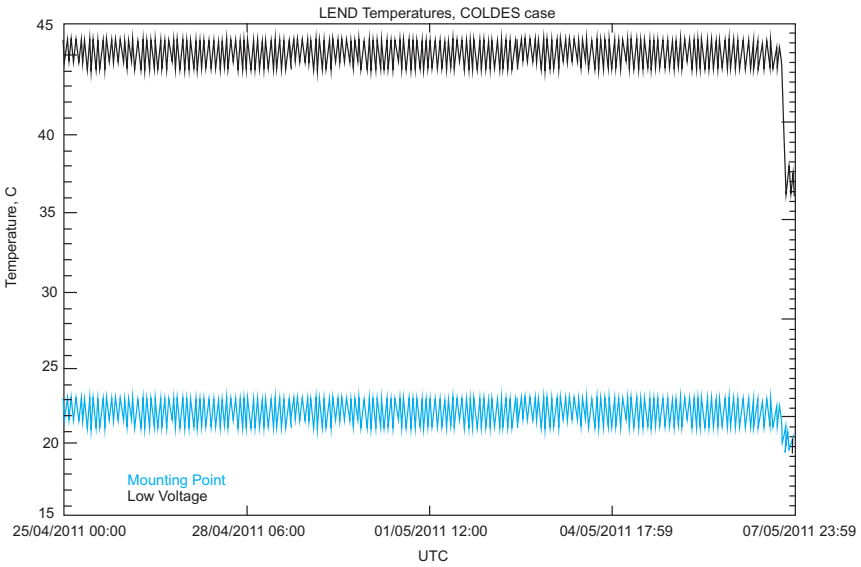


Рис. 6. График температуры в максимально горячем случае

ном и максимально горячем случае соответственно. Синей кривой показана температура посадочного места прибора, а черной — температура вторичного источника. В конструкцию платы вторичного питания не было заложено никаких специальных механизмов охлаждения источника (таких как теплоотвод и т. д.), и вся тепловая энергия рассеивается двумя путями: кондукция через печатную площадку под корпусом источника питания (и впоследствии через печатный проводник на винт крепления платы к корпусу) и излучением с верхней и боковых сторон корпуса. Графики демонстрируют, что при номинальном потреблении прибора 13 Вт даже в таком случае максимальный перегрев корпуса вторичного источника питания относительно корпуса всего прибора составляет не более 25 °C.

Устойчивость к радиации

Другой важнейшей проблемой является вопрос радиационной стойкости всех компонентов, применяемых в космической электронной аппаратуре. Одним из свойств космических приборов является способность работать продолжительное время в условиях жесткой космической радиации. Последнюю, в основном, определяют следующие факторы:

1. Галактические космические лучи, которые состоят из: 85% протонов, 14% альфа-частиц и 1% тяжелых ионов, а также жесткого рентгеновского и гамма-излучения. Доля заряженных частиц не проходит через земную магнитосферу, поэтому связанный с этими лучами тип радиационного воздействия существует только на высокоорбитальных, геостационарных и межпланетных аппаратах.

2. Солнечные события. Во время некоторых вспышек Солнце является источником высокоэнергичных протонов и тяжелых ионов.

3. Радиационные пояса. В сильном магнитном поле некоторых планет (Земля, Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун) существуют «зоны захвата», в которых удерживаются значительные потоки заряженных частиц (прежде всего это протоны и электроны). Поэтому если орбита аппарата пересекает или находится близко к радиационным поясам исследуемого небесного тела, этот тип радиационного воздействия может стать доминирующим.

4. Вторичное излучение, которое возникает в приповерхностном грунте или атмосфере исследуемого небесного тела, а также при взаимодействии первичного излучения с элементами космического аппарата и самого прибора.

Как правило, на самом начальном этапе проектирования разработчику прибора известны исходные требования космического аппарата (КА) по радиационной стойкости. К ним относится общая предположительная доза поглощенного ионизирующего излучения за общее время полета и активной работы КА (приводится либо для конкретной толщины алюминиевой защиты, либо задается в табличном виде для различных толщин алюминиевого корпуса прибора). Эти требования рассчитывают исходя из планируемой рабочей орбиты КА и траектории перелета, планируемого времени работы на орбите или на поверхности небесного тела, радиационной обстановки в окрестности небесного тела или на его поверхности (плотность атмосферы, наличие магнитного поля и т. д.), а также времени запуска (предсказание солнечной активности в течение всего периода времени работы аппарата имеет важное значение в этом вопросе).

Для прибора LEND анализ исходных технических требований показал необходимый уровень радиационной стойкости в 5,7 крад за время основной миссии (1 год работы), что по данным специалистов VPT вполне допустимо для примененных вторичных источников. Также согласно их исследованиям, все источники питания VPT имеют кратковременные просадки напряжения при попадании в некоторые из их элементов тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ). Но длительности таких просадок составляют порядка единиц микросекунд, амплитуды — не более 10% от номинального напряжения, что не является критичным для любой правильно спроектированной электронной схемы.

Заключение

С момента запуска миссии LRO (19 июня 2009 г.) и по данный момент прибор LEND успешно функционирует в составе аппарата LRO, что доказывает правильность всех примененных инженерных решений и компонентов. На данный момент прибор LEND, так же, как и весь КА, является рекордсменом по времени безотказной работы в окрестности Луны за всю «космическую» историю Земли. С помощью прибора LEND получены уникальные научные данные о местах повышенного содержания водорода на спутнике Земли, и уже сейчас эти данные широко используются мировым научным сообществом для планирования будущих пилотируемых миссий на Луну.