

тельно абсолютных угловых скоростей ОВ. Если рассматриваемой переменной СС является относительный угол пеленга ОВ Φ_Y , то выражения (5) – (8) принимают следующий вид:

$$M_{\text{Л}}^{\text{ин}} = -J_Y \ddot{\Phi}_Y$$

– инерционный момент, вызванный угловым ускорением пеленга ОВ;

$$M_{\text{О}}^{\text{ин}} = -J_{Y2} \dot{\omega}_{0Y} - (J_{X1} - J_{Y1} - J_{Z1})[\omega_{OZ} \omega_{OX} \cos 2\varphi_A + 0.5(\omega_{OZ}^2 - \omega_{OX}^2) \sin 2\varphi_A]$$

– инерционный момент, вызванный качкой ЛА.

В высокоточных СС динамические уравнения часто записывают в отклонениях ОВ от ЗЛВ. Для этих уравнений с учетом того, что $\alpha = \omega_{Y2} - \omega_{\text{Л}}$, инерционный момент в оси вращения наружной рамки, вызванный угловым ускорением наведения, имеет вид

$$M_{\text{Л}}^{\text{ин}} = -(J_{Y2} \ddot{\alpha} + \omega_{\text{Л}}) / \cos \varphi_B$$

Из последних выражений видно, что угловые скорости и ускорения наведения и качки создают инерционные моменты на оси наружной рамки как непосредственно и совместным действием. Одновременно они также влияют на проекции пеленга ЗЛВ Φ_A, Φ_B , вызывая изменения инерционных моментов по величине.

Выводы по работе. В работе получены аналитические выражения для расчета инерционного момента наружной рамки двухосного карда-

нова подвеса следящей системы, работающей в режиме стабилизированного наведения на подвижном ЛА. Показано, что при угловых скоростях наведения ОВ, соизмеримых с угловыми скоростями движения ЛА в выражениях для инерционного момента наружной рамки подвеса необходимо учитывать составляющие, вызванные ускорениями Кориолиса и переменными углами пеленга ОВ.

Литература

1. Родионов В.И. Гирскопические системы стабилизации линии визирования оптических приборов // Изв. вузов. Приборостроение. – 2001. – Т. 44. – № 9. – С. 36–41.
2. Родионов В.И. Анализ и синтез управляемого гиросtabilизатора при переменных углах пеленга летательного аппарата // Авиакосмическое приборостроение. Вып 3. – 2005. – С. 2–6.
3. Родионов В.И. Декомпозиция и метод исследования гирскопических систем, использующих принцип «наведение-стабилизация». // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 10. Тула: Изд-во ТулГУ, 2016. – С. 301–310.
4. Родионов В.И. Метод расчета инерционных моментов управляемых гиросtabilизаторов линии визирования, использующий принцип «наведение-стабилизация» // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 8. – Тула: Из-во ТулГУ, 2019. – С. 210–216.
5. Лихошерст В.В., Родионов В.И. Двухосный следящий электропривод электрооборудования летательных аппаратов // Материалы докладов 12-ой Международной научно-технической конференции, Минск, Республика Беларусь, 2019. – С. 47–49.

УДК 621.396

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНОЙ СОЛНЕЧНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЕЙ

Савёлов П.И., Лившиц Ю.Е.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Применение возобновляемых источников энергии инициировало разработку устройств генерации электричества при помощи солнечной энергии различных конструктивных исполнений.

Нами ранее была разработана конструкция мобильной солнечной электростанции (МСЭ) с функцией автоматического позиционирования солнечных батарей [1]. Система управления МСЭ разработана на базе программируемого логического контроллера (ПЛК) [2].

Целью данной работы является разработка печатного узла системы управления МСЭ для минимизации энергозатрат при функционировании в автономном режиме.

Основными функциями проектируемого печатного узла являются:

– определение географического местоположение МСЭ при помощи GPS-ГЛОНАСС модуля;

– автоматическое ориентирование мобильной электростанции относительно сторон света при помощи электронного компаса;

– управление шаговыми приводами системы позиционирования солнечных батарей;

– мониторинг в реальном времени параметров окружающей среды (скорости ветра, температуры);

– осуществление коммуникации блоков МСЭ по протоколу ModbusRTU;

– обеспечение удалённого контроля состояния МСЭ.

Разработана структурная схема печатного узла системы управления (рисунок 1).

Для обеспечения функционального назначения мобильной солнечной электростанции печатный узел системы управления состоит из следующих основных элементов: микроконтроллера, модуля GPS, модуля WiFi, модуля RS485.

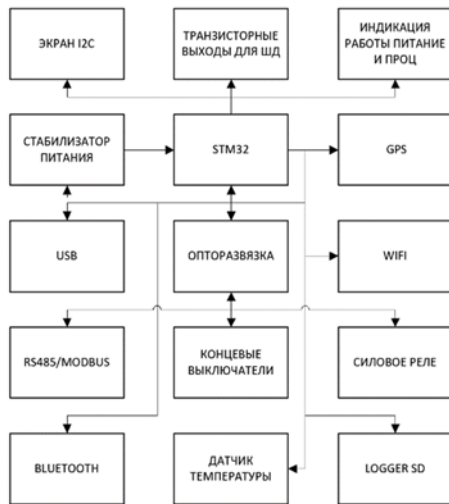


Рисунок 1 – Структурная схема печатного узла системы управления

При разработке принципиальной электрической схемы критерием выбора элементной базы являлись поверхностный монтаж компонентов, минимальные значения потребляемой электрической мощности, надёжность и электрическая совместимость компонентов. Управляющим элементом системы управления МСЭ выбран микроконтроллер STM 32. В качестве модуля GPS используется NEO-6М, для коммуникации параллельно работающим МСЭ используется WiFi модуль ESP 32.

В соответствии со структурной схемой и элементной базой разработана принципиальная электрическая схема (рисунок 2).

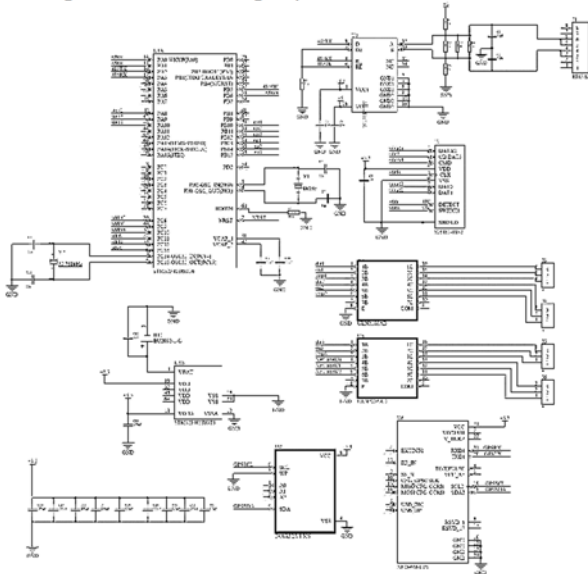


Рисунок 2 – Принципиальная электрическая схема печатного узла системы управления

Основной задачей работы являлась разработка конструкции печатного узла, имеющего минимальные массогабаритные параметры.

Для решения данной задачи конструкция разрабатывалась с учётом особенностей печатного монтажа (поверхностный монтаж) и субтрактивного метода изготовления двухслойной печатной платы.

Топологическая трассировка проводилась при помощи САПР Altium Designer и выполнялась в два этапа: размещение конструктивных элементов и трассировка электрических связей между ними [3].

Критериями оптимизации задачи размещения компонентов электрической схемы по поверхности печатной платы являлось обеспечение минимума суммарной длины всех соединений, длины самой длинной связи, числа пересечений электрических линий, максимально близкое расположение модулей, имеющих наибольшее количество связей между собой. Кроме того, элемент с максимальным числом электрических связей должен быть установлен в центральную позицию на плате, а наиболее связанные элементы расположены максимально близко друг к другу.

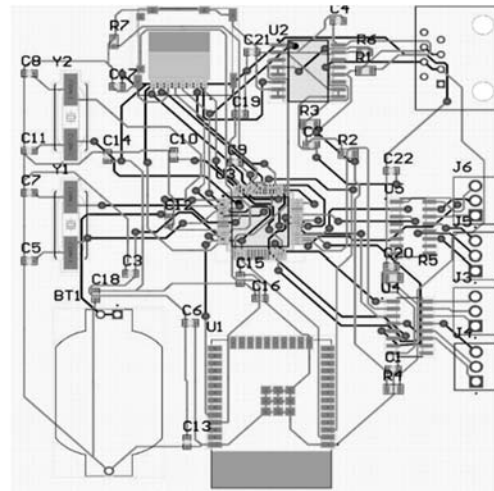


Рисунок 3 – Топология печатной платы

Это позволило сократить площадь, занимаемую проводниками, понизить уровень перекрёстных электромагнитных помех за счёт уменьшения длины проводников, их параллельности; уменьшить риск рассогласования задержек сигналов или в дифференциальном сигнале, возникающий из-за неоднородности материала печатной платы, а также снизить вероятность коробления платы при воздействии тепловых нагрузок.

Реализация задачи размещения обеспечило наилучшие условия для дальнейшей трассировки печатной платы: эффективно использовать монтажно-коммутационное пространство платы для реализации минимальных её габаритов.

Исходные данные для проведения трассировки выбраны в соответствии с общим стандартом проектирования печатных плат IPC-2221

Association Connecting Electronics Industries [4]: расстояние между проводниками – 0,1 мм, ширина токопроводящих дорожек – 0,3 мм.

Основным критерием оптимизации при выполнении трассировки печатной платы являлось соблюдение равенства линий связи в дифференциальных парах передачи данных. Трассировка производилась автоматически на основе ортогональных алгоритмов. В результате выполненной автотрассировки были выявлены два дефекта линий связи – острые углы и «клинчи» (тупиковые ситуации). Поэтому производилась корректировка результатов автоматической трассировки. Острые углы в проводниках применять недопустимо, так как они являются «кислотными ловушками», в результате чего образуются дефекты проводников. «Клинчи» устранялись перекладкой проводников вручную. Поэтому при проведении конструировании сложных печатных плат целесообразно применять «интерактивную трассировку».

В соответствии с разработанной конструкцией печатного узла (рисунок 3) сформирован gerber-файл для автоматизированного изготовления печатного узла, а также его сборочный чертёж и рабочий чертёж печатной платы, которые необходимы для выполнения контроля качества изготовления изделия.

При помощи САПР Altium Designer разработана 3-D модель печатного узла, на основе которой будет спроектирована его твердотельная мо-

дель для оценки расположения конструкции в эксплуатационном окружении и соблюдения необходимых тепловых режимов эксплуатации.

Таким образом, в результате выполненной работы разработана конструкция печатного узла и конструкторская документация для его производства.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Министерства образования Республики Беларусь по поддержке студенческой науки (ГБ 20-23).

Литература

1. Лившиц Ю.Е. Универсальная автоматическая система управления устройством позиционирования солнечной батареи / Ю.Е. Лившиц, П.И. Савёлов // Инновационные технологии, автоматизация и мехатроника в машино- и приборостроении: материалы VII международной научно-практической конференции. Минск, 2019. – С. 64–65.
2. Савёлов П.И. Мобильная автономная солнечная электростанция / П.И. Савёлов, Ю.Е. Лившиц // Современные технологии и автоматизация в технике, управлении и образовании: материалы II международной научно-практической конференции – Балаково, 2020. – С. 123–128.
3. Лузин С.Ю. Модели и алгоритмы автоматизированного проектирования радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры / С.Ю. Лузин, Ю.Т. Лячек и др. – СПб: БХВ-Петербург, 2010. – 224 с.
4. IPC – 2221A Generic Standard on Printed Board Design. – 2003. – P. 140.

УДК 621.317.4; 621.317

ПРЕДСКАЗАНИЕ СОСТОЯНИЯ ЛИТИЕВОЙ ЯЧЕЙКИ ДЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОЯЧЕЕЧНОЙ БАТАРЕЕЙ

Скурту И.Т., Ерошенко А.С., Брановицкий И.И.

*Институт прикладной физики НАН Беларуси
Минск, Республика Беларусь*

Эксплуатация литиевых батарей подразумевает обязательный контроль за уровнем заряда при зарядке и разрядке, а также соблюдение зарядового баланса между отдельными ячейками батареи, из которых она компонуется для достижения требуемых уровней напряжения и тока. Поддержание такого баланса в простейших случаях реализуется с помощью аналоговых следящих систем, однако в случае сложных многоячеечных батарей цена ошибки высока, поэтому необходим микропроцессорный контроль, базирующийся на модели поведения батареи.

Следует выделить основные величины и характеристики: напряжение открытой цепи или OCV (open circuit voltage), уровень заряда или состояние заряда SoC (state of charge), емкость.

OCV нелинейно зависит от SoC на границах безопасных концентраций носителей заряда.

В большей (средней) части зарядно-разрядного диапазона эта зависимость близка к линейной.

Наличие диффузионных процессов (химической инерции) приводит к зарядно-вольтовому гистерезису (OCV-SoC), отсутствие учета которого приводит к значимым ошибкам предсказания состояния батареи.

На рисунке 1 представлена эквивалентная электрическая схема литиевой ячейки, входящей в состав батарей, используемых в составе персонального электротранспорта.

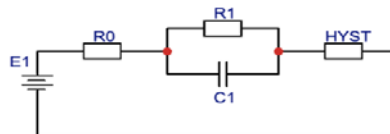


Рисунок 1 – Эквивалентная электрическая схема литий-ионной ячейки