

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)

XIV Международная научно-практическая конференция

ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

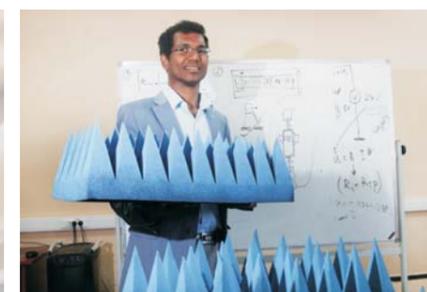
Материалы докладов

г. Томск

28–30 ноября 2018 г.

В двух частях

ЧАСТЬ 1



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР)

ЭЛЕКТРОННЫЕ СРЕДСТВА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

XIV Международная научно-практическая конференция

28–30 ноября 2018 г.

Материалы докладов

В двух частях

Часть 1

В-Спектр
Томск – 2018

УДК 621.37/39 + 681.3
ББК (Ж/О) 32.84.85.965
Э 45

Э 45 **Электронные средства и системы управления:** материалы докладов XIV Международной научно-практической конференции (28–30 ноября 2018 г.): в 2 ч. – Ч. 1. – Томск: В-Спектр, 2018. – 348 с.
ISBN 978-5-91191-401-1
ISBN 978-5-91191-402-8 (Ч. 1)
ISBN 978-5-91191-403-5 (Ч. 2)

Сборник содержит материалы докладов, представленных на XIV Международной научно-практической конференции «Электронные средства и системы управления» (Томск, 28–30 ноября 2018 г.), по следующим направлениям: радиотехнические и телекоммуникационные системы; наноэлектроника СВЧ; нанотехнологии в электронике; антенны и микроволновые устройства СВЧ; нелинейная оптика; интеллектуальная силовая электроника и преобразовательная техника; плазменная электроника; биомедицинская электроника; автоматизация и оптимизация систем управления и обработка информации; интеллектуальные системы проектирования, автоматизация проектирования электронных устройств и систем; информационная безопасность; информационные технологии в управлении и принятии решений; информационные технологии в обучении; инновации в сфере электроники и управления; оптоэлектроника и фотоника; видеоинформационные технологии и цифровое телевидение.

Для студентов, преподавателей и специалистов, интересующихся проблемами систем управления.

УДК 621.37/39 + 681.3
ББК (Ж/О) 32.84.85.965

*Конференция проводится при финансовой поддержке
Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ).
Проект № 18-07-20094*

*Часть статей секций 2–22 направлена для публикации
в журнале «Доклады ТУСУРа»*

ISBN 978-5-91191-401-1
ISBN 978-5-91191-402-8 (Ч. 1)

© ТУСУР, 2018
© Коллектив авторов, 2018

СПОНСОР КОНФЕРЕНЦИИ – ООО «КЕЙСАЙТ ТЕКНОЛОДЖИЗ»



ООО «Кейсайт Текнолоджиз»
Россия, 115054, г. Москва,
Космодамианская наб., 52, стр. 3.

Тел.: 495 797 39 00
Факс: 495 797 39 02
www.keysight.ru

Keysight Technologies – мировой технологический лидер на рынке контрольно-измерительных решений для электронной, оборонной, аэрокосмической и телекоммуникационной промышленности.

Как самостоятельная компания Keysight Technologies была образована в 2014 г. в результате стратегического разделения компании Agilent Technologies, которая, в свою очередь, до 1999 г. входила в корпорацию Hewlett-Packard. Первый измерительный прибор под маркой Hewlett-Packard был выпущен более 75 лет назад.

В настоящий момент компания Keysight Technologies предоставляет самый широкий на рынке спектр лабораторных, модульных и портативных контрольно-измерительных приборов, в том числе оборудование для радиоизмерений (генераторы сигналов, анализаторы сигналов, анализаторы цепей), осциллографы и приборы общего назначения (мультиметры, источники питания, генераторы импульсов, системы сбора данных, логические анализаторы, ручные приборы), решения для тестирования телекоммуникаций, а также системы автоматизированного проектирования и моделирования электронных устройств.

В России приборы Keysight Technologies, ранее производимые под маркой Hewlett-Packard / Agilent, используются уже более 45 лет и по праву считаются наиболее точным и надежным контрольно-измерительным оборудованием на рынке.

Российский офис компании Keysight Technologies предлагает своим клиентам локальную техническую и сервисную поддержку, техническую документацию на русском языке. Для серий малогабаритных осциллографов, генераторов сигналов и анализаторов спектра разработаны русскоязычные интерфейсы пользователя. На большинство приборов есть сертификаты об утверждении типа средств измерений. На постоянной основе ведется работа по включению в Госреестр новых приборов Keysight Technologies.

Среди крупнейших заказчиков Keysight Technologies в России ведущие научно-исследовательские институты, конструкторские бюро, вузы, крупнейшие операторы связи.

В 2012 г. компания Keysight Technologies открыла два дополнительных региональных офиса в России – в Приволжском и Сибирском федеральных округах. В 2013 г. дополнительный офис открыт в Ростове-на-Дону, в 2014 г. – в Санкт-Петербурге.

Информация о компании Keysight Technologies доступна в сети Интернет по адресу: www.keysight.ru

*Генеральный директор ООО «Кейсайт Текнолоджиз»
Смирнова Галина Владимировна*

СПОНСОР КОНФЕРЕНЦИИ – ООО «ЛЕКРОЙ РУС»



ООО «ЛеКрой РУС»
119071, г. Москва, 2-й Донской
проезд, д. 10, стр. 4, 2-й этаж

Тел.: 495 777-5591
Факс: 495 640-3023
<https://prist.ru/>

Компания «ПриСТ» основана в 1994 г. Сегодня АО «ПриСТ» один из крупнейших российских поставщиков приборов для электроизмерений, радиоизмерений и измерений параметров окружающей среды (<https://prist.ru/>).

В компании работает более 80 высококвалифицированных сотрудников, открыты представительства в Санкт-Петербурге и Екатеринбурге, имеется дилерская сеть по всей территории России, дилеры в Белоруссии и Казахстане.

Основные виды деятельности:

- Поставки измерительного оборудования.
- Технические консультации по подбору средств измерения и вариантам замен приборов, снятых с производства или морально устаревших.
- Услуги по поверке и калибровке СИ.
- Услуги по техническому обслуживанию СИ, включая закрытую калибровку.
- Услуги автоматизации процессов поверки и калибровки.
- Испытания для целей утверждения типа СИ.
- Сервисная поддержка, гарантийное и послегарантийное обслуживание.
- Предоставление СИ в арендное пользование.

Компания «ПриСТ» является эксклюзивным поставщиком на территории России и СНГ продукции таких компаний, как APPA, Center, Good Will Instrument, SEW, Tabor Electronics, Teledyne LeCroy и Wayne Kerr Electronics. Дистрибьюторские и партнерские соглашения связывают компанию со всемирно известными производителями: Anritsu, Fluke, Keysight, National Instruments, Rohde&Schwarz, Pendulum, Spectracom, TDK-Lambda, Pico Technology.

С 2004 г. АО «ПриСТ» представляет на российском рынке компанию LeCroy (с 2012 г. Teledyne LeCroy) – одного из мировых лидеров в разработке и производстве цифровых осциллографов. Осциллографы высочайшего класса помогают инженерам-конструкторам и учёным осуществлять наблюдение, измерение и анализ сигналов в электронных цепях и трактах различных устройств. Компания «Teledyne LeCroy» является одним из технологических лидеров на рынке цифровых осциллографов. Это подтверждают ее достижения, например, в 2013 г. компания представила многоканальную систему с полосой пропускания 100 ГГц в режиме реального времени. В том же 2013 г. были представлены осциллографы высокого разрешения (HDO) с 12-битным АЦП и полосой пропускания 1 ГГц. Семейство осциллографов HDO существенно изменило представление о точности измерений, доступной цифровым осциллографам. 2018 год ознаменовался выходом новой серии осциллографов высокого разрешения WavePro HDR, которая обеспечивает теперь высокоточные измерения в полосе до 8 ГГц. Кроме цифровых осциллографов, компания «Teledyne LeCroy» выпускает анализаторы протоколов. Это широкий класс приборов для тестирования устройств передачи данных как на физическом, так и на логическом уровне. В этой области «Teledyne LeCroy» также занимает лидирующие позиции и предоставляет решения для всех современных протоколов передачи последовательных данных (<http://lecroy-rus.ru/>).



Передатчик интерфейса на выходе имеет сопротивление 54 Ом, и максимальное напряжение составляет ± 5 В, в связи с этим ток от импульсного воздействия не должен превышать 93 мА.

Приемник интерфейса на входе обладает сопротивлением 12 кОм, а максимальное напряжение 12 В, поэтому ток от импульсного воздействия на входе не должен превышать 1 мА.

Поэтому фильтры Ф1 и Ф2 должны быть различны по параметрам, чтобы эффективно снижать амплитуду воздействия как для приемника, так и для передатчика (рис. 1).

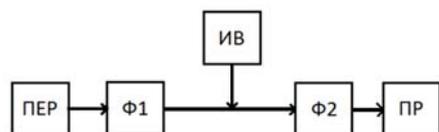


Рис. 1. Структурная схема кабельной линии

Представленный в работе подход к определению параметров защитных фильтров на базе параметров интерфейсных узлов позволяет обеспечить высокую надежность работы систем АСУ в промышленных условиях.

УДК 621.3.049.75

В.Р. Шарафутдинов

Разработка перспективных устройств с учетом электромагнитной совместимости

Разработаны жгутовой монтаж имитатора блока коррекции, печатная плата и лицевая панель устройства контроля напряжения и тока, печатные платы цифрового модуля управления. Проведена разработка устройства контроля напряжения и тока и цифрового модуля управления. Составлены комплекты конструкторской документации.

Ключевые слова: цифровой модуль управления, устройство контроля напряжения и тока, жгутовой монтаж, печатная плата, электромагнитная совместимость, перспективные устройства.

Анализ причин ложных срабатываний и отказов в процессе настройки и эксплуатации современных радиоэлектронных устройств показывает, как правило, недостаточность обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС). Определенные мероприятия, направленные на борьбу с электромагнитными помехами в радиоэлектронных приборах, всегда актуальны и ведут к увеличению вероятности их безотказной работы. Полезно рассмотреть подобные мероприятия на разных примерах разработки перспективных устройств современной радиоэлектронной аппаратуры с учетом ЭМС.

Цель работы – представить разработку жгутового монтажа имитатора блока коррекции, устройства контроля напряжения и тока, цифрового модуля управления с учетом ЭМС.

Литература

1. Антенный словарь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://pandia.ru/text/77/137/168.php> (дата обращения: 25.02.2018).
2. ГОСТ 51317.4.5–99. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к микросекундным импульсным помехам большой энергии.
3. Технические характеристики интерфейса RS-485 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.wikiplanet.click/encyclopedia/ru/RS-485> (дата обращения: 02.03.2018).

Башкиров Вячеслав Николаевич

Вед. электроник каф. ПрЭ ТУСУРа

Эл. почта: bvn@ie.tusur.ru

Волкова Екатерина Сергеевна

Магистрант каф. ПрЭ ТУСУРа

Эл. почта: esv_12@bk.ru

Скворцов Виталий Александрович

Канд. техн. наук, доцент каф. ПрЭ ТУСУРа

Эл. почта: sva@ie.tusur.ru

Шабалов Вячеслав Сергеевич

Магистрант каф. ПрЭ ТУСУРа

Эл. почта: svsj@bk.ru

Имитатор блока коррекции

Имитатор блока коррекции входит в состав контрольно-проверочного комплекса, предназначенного для функциональных и параметрических проверок радиоэлектронных изделий и технологического оборудования. Он содержит около десяти мелких модулей, различающихся по функциональному и структурному составу, но объединенных электрически посредством разъемных соединений и жгутов.

Конструктивно имитатор блока коррекции представляет собой ящик (рис. 1), который условно разбит на лицевую панель, внутреннюю панель контактной группы интегрируемых модулей и заднюю панель. Лицевая панель образуется лицевыми панелями модулей, входящих в имитатор блока коррекции. Они устанавливаются в него на салазки и пере-

ходными соединителями пристыковываются к внутренней панели. В соответствии с принципиальной электрической схемой, все модули, объединенные внутренней панелью, должны быть электрически соединены и подключены к выходным соединителям, расположенным на задней панели. Для электрического монтажа используются провода, прокладываемые в одном направлении, сплетенные в общий жгут, бандажируемый нитками, предварительно покрытыми воском (так называемый жгутовой монтаж по ГОСТ 23586–96) (рис. 1).

Согласно принципиальной электрической схеме среди цепей имеются как низковольтные сигналь-

ные, так и высоковольтные, предназначенные для питания напряжениями около 1000 В. Кроме этого, длина проводов в жгуте может достигать 1 м. Все это требует особых мер защиты от электромагнитных наводок и излучений.

Во время проектирования имитатора блока коррекции для обеспечения ЭМС [1] применялись следующие меры:

- проводилась выборка проводов с разделением на отдельные жгуты цепей с большими токами и напряжениями относительно корпуса и низковольтных, слаботочных сигнальных цепей;

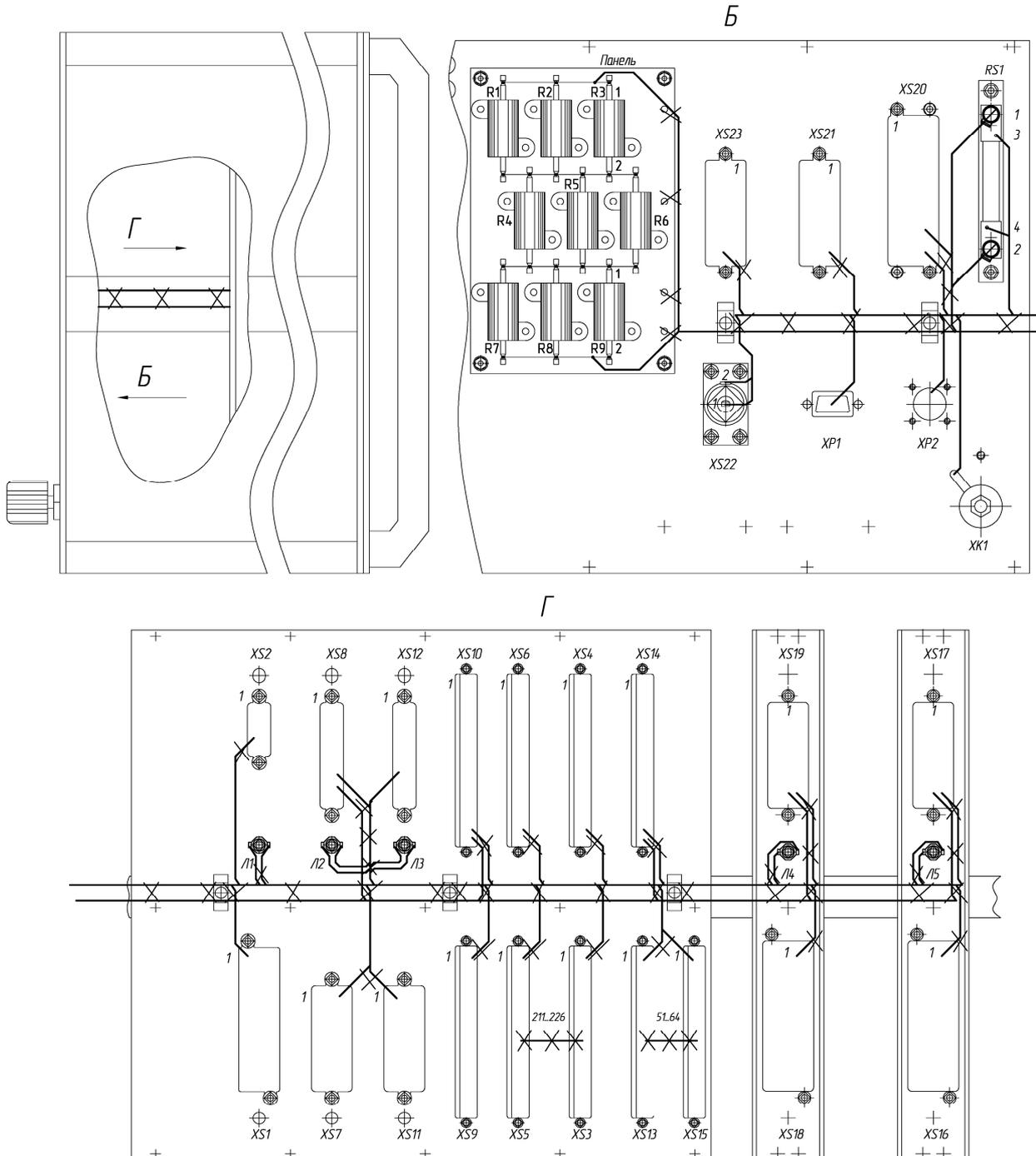


Рис. 1. Жгутовой монтаж имитатора блока коррекции

– для уменьшения длины линий связи, состоящих из проводов, образующих шины данных, были сформированы два жгута, соединяющих ближайшие соединители напрямую;

– для сигнальных цепей парных сигналов использовались парные провода, свитые с определенным шагом, зависящим от их толщины. Помимо этого, для некоторых парных сигнальных цепей применен двойной монтажный провод в экране;

– для пар проводов двуполярного питания в качестве дополнительной изоляции использовалась трубка из поливинилхлоридного пластика;

– для дополнительной защиты от электромагнитных наводок и излучений между жгутами применялась экранирующая медная луженая плетенка;

– экраны проводов, плетенка, лепестки заземления объединялись в одной общей точке корпуса на задней панели имитатора блока коррекции.

Подобными мероприятиями удалось достичь приемлемого качества передаваемых сигналов, обеспечивающих нормальное функционирование имитатора блока коррекции.

Устройство контроля напряжения и тока

Устройство контроля напряжения и тока является одним из многих малых модулей контрольно-проверочной аппаратуры, предназначенной для контроля работоспособности систем управления изделий промышленной техники.

Проектирование контрольно-проверочного оборудования, состоящего из большого количества модулей и блоков – очень трудоемкий процесс. Как правило, разработка подобных устройств в целях рационализации или упрощения делится на большое количество менее ресурсоемких задач, которые распределяются между разработчиками. Одним из этапов проектирования контрольно-проверочного оборудования является создание модуля устройства контроля напряжения и тока.

Устройство контроля напряжения и тока входит в организованную структуру блока высшего порядка сложности, в котором все блоки низшего порядка унифицированы. Вследствие этого на его конструкцию наложены определенные ограничения по габаритным размерам (рис. 2). Устройство представляет собой печатную плату заданных размеров, закрепленную определенным образом на металлической лицевой панели. В целом (в собранном виде) это законченный модуль, который устанавливается в виде ячейки в следующий по сложности блок.

Рассмотрим эту плату подробнее. Электрическую схему можно условно разделить на аналоговую и цифровую части с напряжениями питания 3,3; 5; 15; 30 и 1000 В. На печатной плате установлены два системных соединителя электрической схемы с внешним устройством и два технологических соединителя для программирования и контроля. Положение системных соединителей жестко фиксировано техническим заданием на конструкцию печатной платы устройства контроля напряжения и тока. Положение технологических соединителей не регламентирувалось и ограничивалось только функ-

циональной привязкой к элементам схемы и максимальной высотой элементов печатной платы. Вследствие этого найдено элегантное решение расположить один из технологических соединителей ровно посередине между системными. Это обеспечило доступ к нему во время установки устройства контроля напряжения и тока в общий блок, что существенно облегчило настройку электронного узла.

Во время проектирования печатной платы устройства одной из приоритетных задач стало обеспечение ЭМС. Несмотря на введенные запретные зоны размещения компонентов рядом с лицевой панелью и вдоль нижней и верхней границ скольжения печатной платы в блоке и большой запас по площади свободного пространства, элементы следовало располагать, группируя их вблизи системных соединителей, минимизируя длину связей между ними. Кроме этого, техническим заданием были определены цепи фиксированной длины, что усложнило реализацию проекта, увеличивая вариативность размещения компонентов на печатной плате относительно друг друга. Для облегчения поставленной задачи, оптимизации количества ветвлений проводников и минимизации их связей применялось модульное размещение элементов по функциональному признаку. В группе элементов выделялся главный, а вокруг него формировалась его «обвязка», состоящая из зависимых элементов, имеющих кратчайшие соединения с ним. Благодаря этому удалось четко разделить цифровые и аналоговые функциональные блоки.

Для уменьшения индуктивных и емкостных взаимных влияний на участки схемы введены полигоны заземления как на верхней стороне печатной платы, где устанавливались элементы, так и на обратной [2]. Причем полигоны были разделены на аналоговые и цифровые с общей точкой объединения электрической связи у фильтрующих конденсаторов функционального блока источников питающих напряжений.

Особое внимание уделено цепям повышенного напряжения (около 1000 В). Они минимизировались по длине и дистанцировались от низковольтных элементов схемы.

Цифровой модуль управления

Силовые гироскопы – электромеханические устройства, применяемые для преодоления воздействия на стабилизируемый объект внешних возмущающих моментов. Они служат основными исполнительными органами систем ориентации современных высокоманевренных космических аппаратов с длительным сроком активного существования. Одним из электронных модулей, входящих в состав силового гироскопа, является цифровой модуль управления.

В соответствии с техническим заданием требовалось разработать цифровой модуль управления, размещенный на печатной плате с габаритами 110×90 мм.

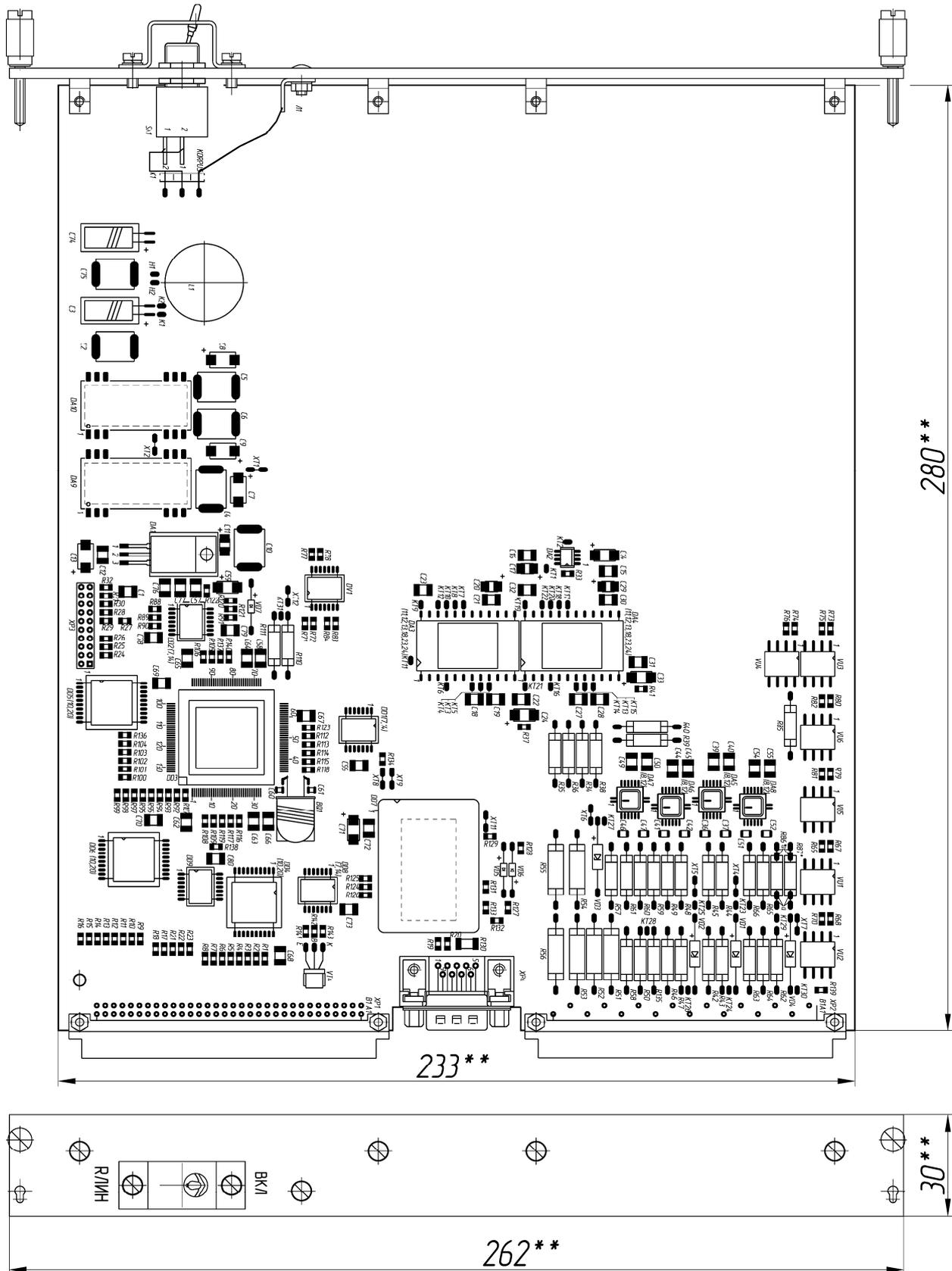


Рис. 2. Устройство контроля напряжения и тока

Предварительный анализ компоновки компонентов показал сложность их размещения в заданных габаритах печатной платы. Было принято решение компоновать их по принципу минимизации ли-

ний связи между компонентами, что позволит уменьшить их длину и количество ветвлений, значительно облегчит трассировку печатной платы цифрового модуля управления и даст возможность не-

значительных перемещений (смещений) компонентов в процессе прокладывания цепей для разрешения конфликтов трассировки.

В результате такой компоновки (рис. 3) проведена трассировка печатной платы в двух слоях с получением двухсторонней, а не многослойной печатной платы (рис. 4).

Для распределения тепла в цифровом модуле управления планировалось установить печатную плату на металлическое основание. В таком случае целесообразно введение печатной платы-экрана (рис. 5), которая прессуется к печатной плате цифрового модуля управления с нижней стороны и через отверстие в ней электрически соединяется с «землей» схемы устройства.

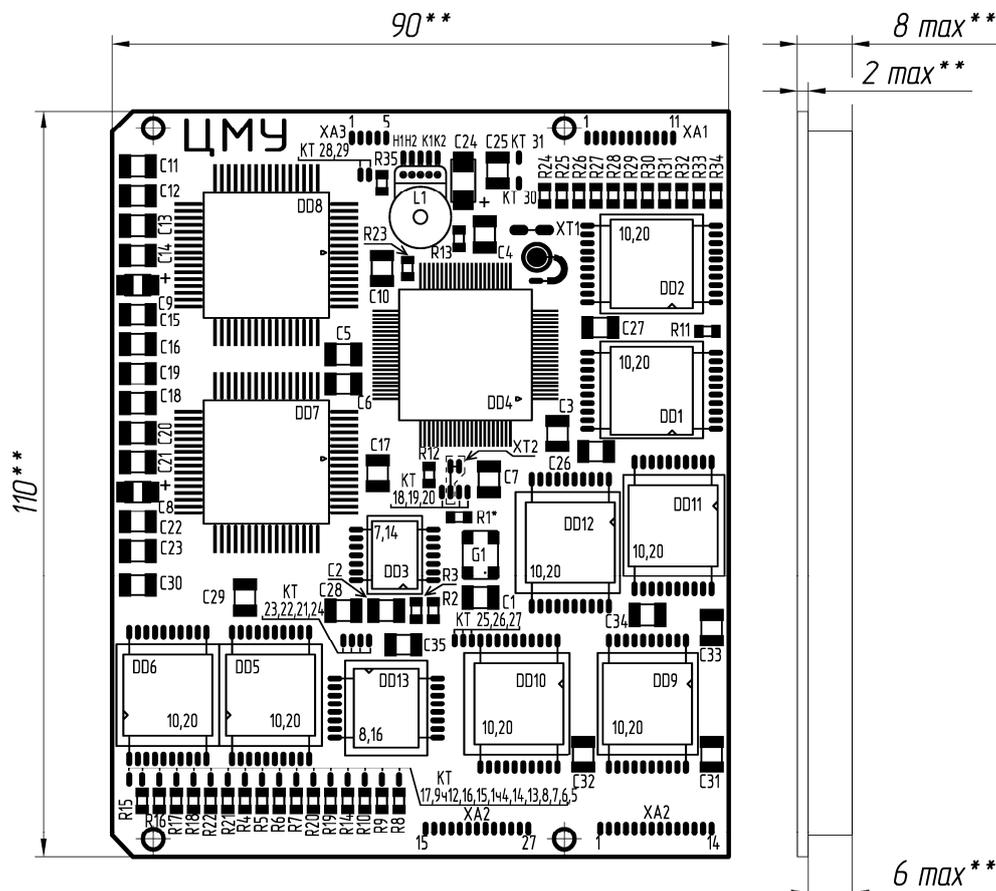


Рис. 3. Цифровой модуль управления

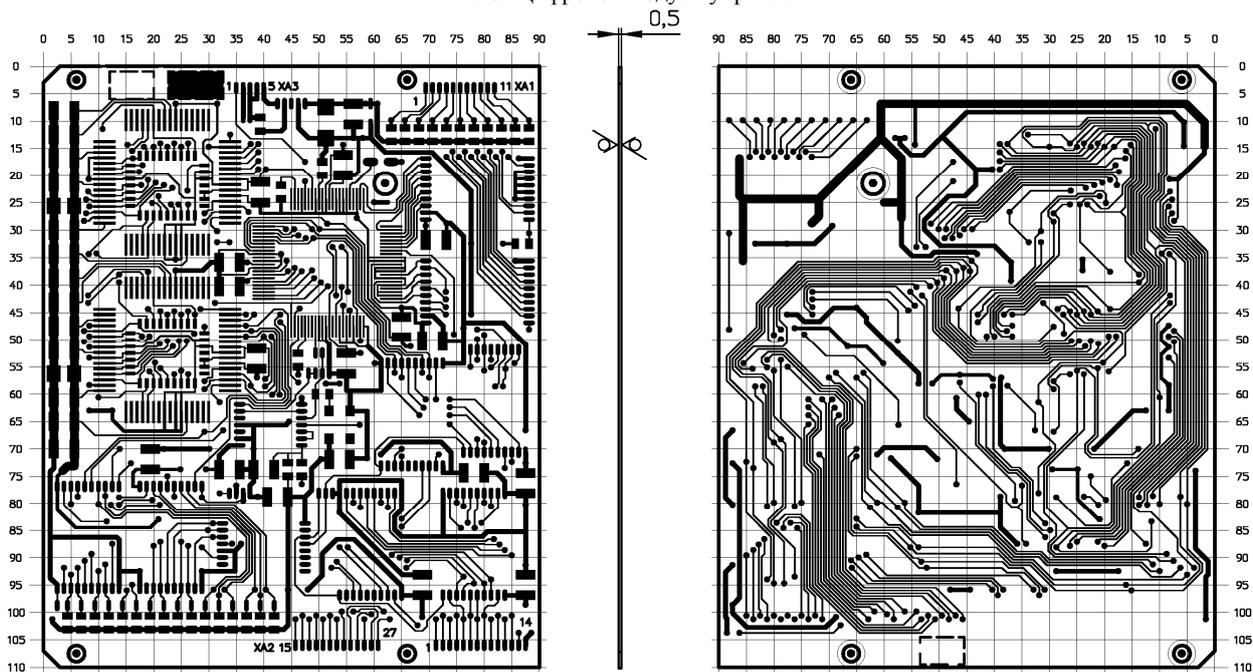


Рис. 4. Печатная плата цифрового модуля управления

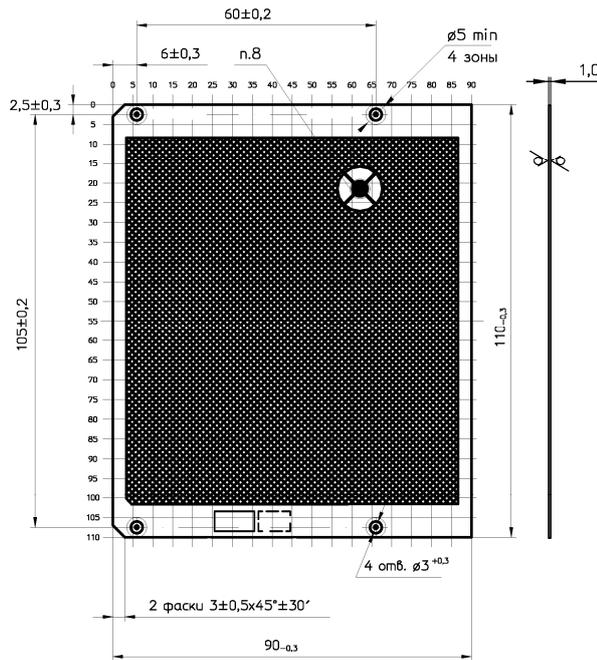


Рис. 5. Печатная плата-экран

Таким образом, при проектировании печатной платы цифрового модуля управления для обеспечения ЭМС применялись следующие меры:

- модульное размещение элементов на печатной плате с привязкой компонентов по функциональному признаку;
- уменьшение длины проводников и количества их ветвлений;
- введение печатной платы-экрана, соединенной с «землей» электрической схемы цифрового модуля управления у фильтрующих конденсаторов источника питания.

Заключение

Рассмотрены три разработки перспективных радиоэлектронных устройств и получены следующие результаты:

- разработан жгутовой монтаж имитатора блока коррекции с учетом ЭМС элементов конструкции (изготовлена опытная партия устройств);
- схема модуля контроля напряжения и тока успешно размещена на печатной плате с учетом ЭМС всех элементов конструкции (изготовлена опытная партия устройств);
- разработаны печатная плата устройства, печатная плата-экран, устройство цифрового модуля управления, конструкторская документация, схема устройства цифрового модуля успешно размещена на печатной плате с учетом ЭМС всех элементов конструкции;
- составлены комплекты конструкторской документации.

Литература

1. Князев А.Д. Конструирование радиоэлектронной и электронно-вычислительной аппаратуры с учетом электромагнитной совместимости / А.Д. Князев, Л.Н. Кечиев, Б.В. Петров. – М.: Радио и связь, 1989.
2. Кечиев Л.Н. Проектирование печатных плат для цифровой быстродействующей аппаратуры. – М.: Группа ИДТ, 2007.

Шарафутдинов Виталий Расимович
Инж.-конструктор АО «НПЦ "Полус»,
аспирант каф. ТУ ТУСУРа
Эл. почта: dovod@bk.ru

УДК 621.396.677.83

А.А. Иванов

Анализ и сравнение аналитических методов оценки эффективности экранирования корпусов с перфорированной стенкой

Реализованы аналитические модели для вычисления эффективности экранирования прямоугольных корпусов со стенкой, перфорированной апертурами квадратных и круглых форм. Выполнено сравнение методов для электрически больших корпусов $300 \times 300 \times 300$ и $300 \times 120 \times 300$ мм³. Приведены результаты вычисления эффективности экранирования корпусов с перфорацией с разной формой и размерами. Приведены погрешности методов, полученные при их сравнении.

Ключевые слова: электромагнитная совместимость, эффективность экранирования, корпус с апертурами.

Для обеспечения электромагнитной совместимости (ЭМС) радиоэлектронных средств (РЭС) в настоящее время широко применяется электромагнитное экранирование, в частности, экранирование

металлическим корпусом. На ранних этапах проектирования РЭС необходимо приближенно оценить эффективность экранирования (ЭЭ) предполагаемым корпусом. На основе этого могут быть опреде-