

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

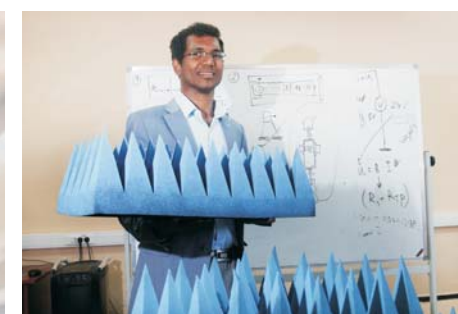
Материалы докладов

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/>).



Заключение

Таким образом, в ходе работы реализован универсальный алгоритм, позволяющий выполнить расчет матрицы погонных сопротивлений R для разных частотных диапазонов. Алгоритм успешно апробирован и протестирован в системе TALGAT.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417X0172.

Литература

1. Заболоцкий А.М. Новые решения для обеспечения электромагнитной совместимости бортовой радиоэлектронной аппаратуры космического аппарата / А.М. Заболоцкий, Т.Р. Газизов, И.Ф. Калимулин. – Томск: Изд-во ТУСУРа, 2016. – 288 с.

2. Мусабаев Р.Р. Программная реализация алгоритма вычисления матрицы погонных сопротивлений многопроводной линии передачи в системе TALGAT / Р.Р. Мусабаев, Е.В. Лежнин, С.П. Куксенко // Матер. Всерос. науч.-техн. конф. «Современные проблемы радиоэлектроники». – Красноярск, Россия, 4–5 мая, 2017. – С. 16–18.

3. Matthaei G.L. Approximate calculation of the high-frequency resistance matrix for multiple coupled lines /

G.L. Matthaei, G.C. Chinn // IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. – 1992. – P. 1353–1354.

4. Djordjevic A.R. Closed-form formulas for frequency-dependent resistance and inductance per unit length of microstrip and strip transmission lines / A.R. Djordjevic, T.K. Sarkar // IEEE Transactions on microwave theory and techniques. – 1994. – Vol. 42, No. 2. – P. 241–248.

5. Djordjevic A.R. Closed-form formulas for frequency-dependent per-unit-length inductance and resistance of microstrip transmission lines that provide causal response / A.R. Djordjevic, M. Stojilovic, T.K. Sarkar // IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility. – 2014. – P. 1604–1612.

Квасников Алексей Андреевич

Магистрант каф. ТУ ТУСУРа

Эл. почта: aleksejkvasnikov@gmail.com

Куксенко Сергей Петрович

Канд. техн. наук, доцент каф. ТУ ТУСУРа

Эл. почта: ksergp@tu.tusur.ru

УДК 51–74

Б.С. Мухамбетжанова, Р.Р. Газизов

Локализация максимумов N -норм в шине печатной платы

С помощью N -норм исследована шина печатной платы. Показаны местоположения максимальных значений норм на печатной плате. Выявлены узлы шины, в которых локализованы максимумы сразу двух N -норм.

Ключевые слова: имитационное моделирование, квазистатический анализ, печатная плата, N -нормы.

Современная радиоэлектронная аппаратура (РЭА) имеет тенденции к уменьшению ее внутренних конструкций, повышению плотности их монтажа, а также росту быстродействия протекающих в ней сигналов [1]. По этой причине важно ее имитационное моделирование, так как оно позволяет выявить и устранить ее недостатки еще на стадии проектирования [2].

Это особенно актуально для печатных плат (ПП), поскольку их проводники в общем случае расположены произвольно. В этой связи важны выявление и локализация экстремумов сигналов, так как их результаты могут быть полезны для определения мест возможных паразитных взаимовлияний и излучений, чтобы принять необходимые меры по их устранению [3].

Существует несколько подходов к моделированию РЭА [4]. Наиболее точным является электродинамический анализ. Однако он требует значительных вычислительных затрат. Есть схемотехнический анализ, но точность его вычисления не всегда приемлема с ростом частоты сигналов. Поэтому часто используют квазистатический анализ.

Разработаны методика и алгоритмы выявления и локализации экстремумов сигнала [5], реализованные в системе компьютерного моделирования TALGAT [6], и выполнен ряд исследований с использованием реализованной функциональности. Недавно в этой системе появилась новая возможность вычисления из временного отклика, специальных N -норм, используемых для определения возможности выхода из строя электронных компонентов [7] (N_2 – дуговой пробой, N_3 – пробой диэлектрика, N_4 – повреждение оборудования, N_5 – выгорание компонента). Разработанные методика и алгоритм [5] основаны на вычислении N_1 (максимума сигнала), такое моделирование выполнено в большом объеме, но исследования с использованием остальных норм не выполнялись.

Цель работы – локализовать максимумы N -норм для активного проводника шины ПП.

Для исследования взята шина ПП из работы [8]. Принципиальная схема шины показана на рис. 1. Рассмотрено три случая разных длительностей воздействия в форме трапеции (3 нс; 300 и 159,3 пс) (рис. 2). Выбор именно таких параметров воздейст-

вия основан на необходимости рассмотрения как полезных, так и помеховых сигналов. Самой малой взята специфическая длительность, полученная при использовании оптимизации генетическим алгоритмом по критерию максимизации пикового напряжения в этой же шине [9].

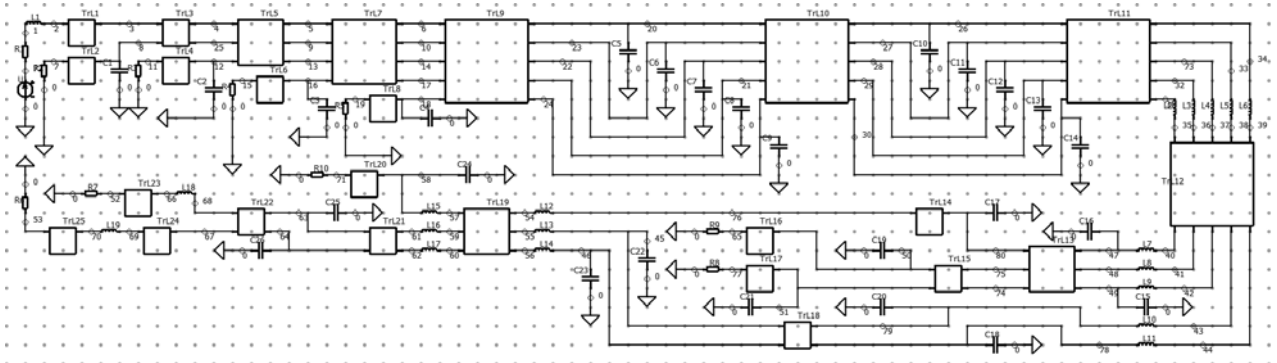


Рис. 1. Принципиальная схема шины ПП

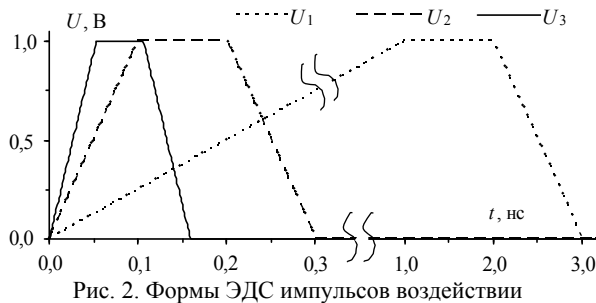


Рис. 2. Формы ЭДС импульсов воздействия

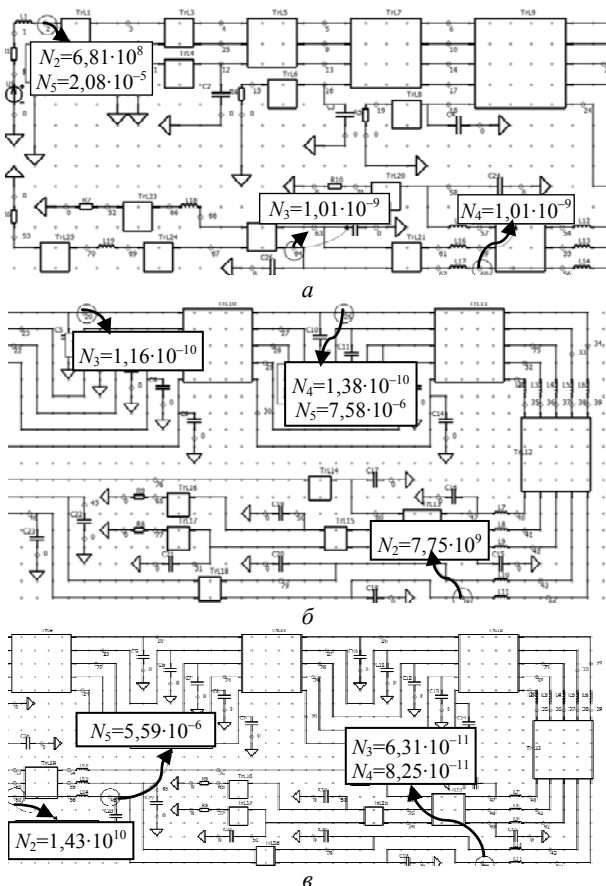


Рис. 3. Локализация максимумов N -норм при общей длительности воздействия 3 нс (а), 300 нс (б) и 159,3 пс (в)

Для каждого случая вычислены значения N -норм в каждом узле (соединении отрезков линий передачи) в активном проводнике. В данной шине у первого (активного) проводника имеется 19 узлов.

На рис. 3 показаны фрагмент шины ПП, а также максимальные значения норм и их местоположения.

В первом (активном) проводнике при общей длительности 3 нс, $\max(N_2) = 6,81 \cdot 10^8$, с локализацией в узле 2, $\max(N_3) = 1,01 \cdot 10^{-9}$, с локализацией в узле 64, $\max(N_4) = 1,01 \cdot 10^{-9}$, с локализацией в узле 60, $\max(N_5) = 2,08 \cdot 10^{-5}$, с локализацией в узле 2 (рис. 3, а).

В первом (активном) проводнике при общей длительности 300 пс, $\max(N_2) = 7,75 \cdot 10^9$, с локализацией в узле 78, $\max(N_3) = 1,16 \cdot 10^{-10}$, с локализацией в узле 20, $\max(N_4) = 1,38 \cdot 10^{-10}$, $\max(N_5) = 7,58 \cdot 10^{-6}$. Нормы 4 и 5 локализованы в узле 26.

В активном проводнике при общей длительности 159,3 пс, $\max(N_2) = 1,43 \cdot 10^{10}$, с локализацией в узле 60, $\max(N_3) = 6,31 \cdot 10^{-11}$, $\max(N_4) = 8,25 \cdot 10^{-11}$, $\max(N_5) = 5,59 \cdot 10^{-6}$, с локализацией в узле 46. Нормы 3 и 4 локализованы в узле 78.

Таким образом, на основании выполненного моделирования можно выделить узлы 2, 26 и 78 в активном проводнике с самыми слабыми пределами восприимчивости в шине ПП при заданных воздействиях.

Заключение

Из результатов работы видно, что при использовании разных длительностей воздействия (3 и 300 нс; 159,3 пс), максимальные значения норм изменяются. В частности, наибольшие значения норм получены при использовании общей длительности воздействия, равной 159,3 пс. Следовательно, при такой длительности воздействия возникновение проблемы в этой шине наиболее вероятно.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации по проекту RFMEFI57417X0172.

Литература

1. Khan Z.A. A novel transmission line structure for high-speed high-density copper interconnects // IEEE Trans. on Components, Packaging and Manufacturing Tech. – June 09, 2016. – Vol. 6. – P. 1077–1086.
2. Roy S. Efficient modeling of power/ground planes using delay-extraction-based transmission lines / S. Roy,

A. Dounavis // IEEE Trans. on Components, Packaging and Manufacturing Technology. – April 21, 2011. – Vol. 1. – P. 761–771.

3. Tan X. Time-domain analysis of noise coupling between package and PCB power/ground planes based on WLP-FDTD / X. Tan, X.C. Li, J. Mao // IEEE Trans. on Components, Packaging and Manufacturing Technology. – January 10, 2017. – Vol. 7. – P. 269–275.

4. Газизов Т.Р. Уменьшение искажений электрических сигналов в межсоединениях и влияний преднамеренных силовых электромагнитных воздействий: дис. ... д-ра техн. наук. – Томск, 2010. – 357 с.

5. Газизов Р.Р. Методика и алгоритмы для выявления и локализации экстремумов сигнала в многопроводных линиях передачи // Системы управления, связи и безопасности. – 2017. – № 4. – С. 1–14. – Режим доступа: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-04/01-Gazizov.pdf>

6. Kuksenko S.P. New developments for improved simulation of interconnects based on method of moments / S.P. Kuksenko, T.R. Gazizov, A.M. Zabolotsky et al. // Proc. of the 2015 Int. Conf. on Modelling, Simulation and Applied Mathematics (MSAM2015). – August 23–24, 2015, Phuket, Thailand. – P. 293–301.

7. Baum C. Norms and Eigenvector norms // Mathematics Notes. – 1979. – Vol. 63.

8. Gazizov R.R. Use of evolution strategy in identifying the worst case effects of ultrashort pulse propagation in PCB bus of spacecraft autonomous navigation system / R.R. Gazizov, R.R. Gazizov, T.R. Gazizov // 2018 Moscow Workshop on Electronic and Networking Technologies (MWENT). – Moscow, Russia, 2018. – P. 1–4.

9. Gazizov R.R., Zabolotsky A.M., Gazizov T.T., Belousov A.O. Influence of ultrashort pulse duration on its peak values localization in PCB of spacecraft autonomous navigation system // 18th International Conference of Young Specialists on Micro/Nanotechnologies and Electron Devices. (Erlagol, Altai. 30 June–4 July). – Erlagol, 2017. – P. 69–74.

Мухамбетжанова Бекзат Сейлхановна

Магистрант каф. ТУ ТУСУРА

Эл. почта: mukhambetjanova.95@gmail.com

Газизов Руслан Рифатович

Аспирант каф. ТУ ТУСУРА

Эл. почта: ruslangazizov@gmail.com

УДК 621.396.41

И.И. Николаев, М.Е. Комнатнов

Сравнительный анализ влияния поперечного сечения силовой шины электропитания на её погонные параметры

Выполнено вычисление волнового сопротивления, погонных индуктивности и ёмкости для различных форм поперечного сечения силовой шины электропитания по аналитическим и алгоритмическим моделям. Представлено сравнение значений, полученных аналитическим и численным моделированием.

Ключевые слова: силовая шина электропитания, аналитическое и численное моделирование, погонные параметры.

Силовые шины электропитания (СШЭП) используются для передачи высоких мощностей на расстоянии. Одним из важных параметров при проектировании подобных СШЭП (рис. 1) является её погонная индуктивность, имеющая две составляющие. Внутренняя индуктивность зависит от частоты (эффект близости, скин-эффект). Внешняя индуктивность определяется геометрией поперечного сечения двух проводников и не зависит от частоты.

На высоких частотах ток концентрируется вблизи поверхности проводника (проявляется скин-эффект), при этом внутренняя индуктивность уменьшается. По этой причине во многих СШЭП учитывают только внешнюю индуктивность. Однако на низких частотах внутренняя индуктивность может оказаться существенной частью общей индуктивности [1].

В работе [2] созданы модели и выполнен квазистатический анализ различных форм поперечного сечения СШЭП. Вычислены погонные индуктивность L и ёмкость C при изменении ширины w и высоты t проводников с сохранением площади поперечного сечения $S = 50 \text{ мм}^2$. Показано, что увеличе-

ние значения w/t приводит к уменьшению L и увеличению C , а следовательно, и уменьшению волнового сопротивления. Минимизация L достигалась за счёт увеличения значения w/t , что приводит к положительному эффекту, но и к отрицательным эффектам: увеличению массы, габаритов и цены СШЭП. Таким образом, особое влияние на погонные параметры СШЭП оказывает форма её поперечного сечения.

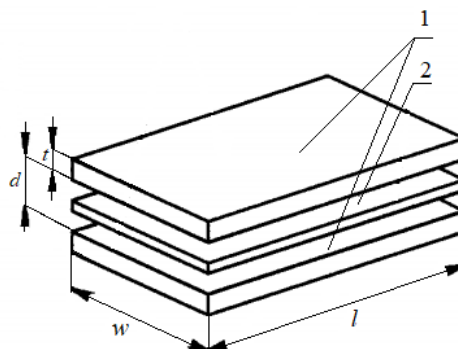


Рис. 1. Внешний вид СШЭП: 1 – проводящие пластины, 2 – изолятор; l – длина; w – ширина; t – толщина; d – расстояние между пластинами