



eISSN 2311-2468
Том 3, № 20. 2015
Vol. 3, no. 20. 2015

электронное периодическое издание
для студентов и аспирантов

Огарёв-онлайн Ogarev-online

<https://journal.mrsu.ru>



АББАКУМОВ А. А., ПЫРЯКИНА К. А., БАЙНЕВ В. В. АЛГОРИТМ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ ЗАНЯТИЙ ДЛЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Аннотация. Рассматривается алгоритм составления расписания занятий, который на выходе выдает близкое к оптимальному решение. Данное решение может быть использовано для дальнейшего корректирования расписания вручную.

Ключевые слова: расписание, Visual Prolog, база фактов, предикаты.

ABBAKUMOV A. A., PYRYAKINA K. A., BAYNEV V. V. ALGORITHM FOR SCHEDULING CLASSES FOR HIGHER EDUCATION

Abstract. The article presents an algorithm for scheduling classes considering near-optimal solution outlet. The algorithm can be used for schedule manual adjustment.

Keywords: schedule, Visual Prolog, facts, predicates.

Как известно, процесс составления расписания является наиболее важным в деятельности вуза в целом и каждого факультета в частности. Хорошо разработанное расписание может стать основой для реализации научно-педагогического потенциала учебных курсов и для лучшей усвояемости материала студентами. Следует заметить, что данная тема не является новой, но оптимального решения для автоматизации процесса составления расписания до сих пор не найдено. Основной целью исследования является создание принципиально нового алгоритма составления расписания занятий на объектно-ориентированном расширении языка логического программирования PDC Prolog Visual Prolog.

В процессе реализации проекта были поставлены следующие основные задачи:

- анализ входных данных и формирование базы фактов;
- разработка алгоритма составления расписания в разрезе групп и преподавателей;
- создание приятного и простого пользовательского интерфейса.

Задача по составлению расписания занятий не так проста, какой кажется на первый взгляд. Как известно, было сделано огромное количество попыток ее решения. Некоторые программные продукты вышли в свет, например, Ректор-ВУЗ, БИТ.ВУЗ.Расписание, 1С: Автоматизированное составление расписаний. Университет, Расписание Про v2.3 и т.д. К сожалению, ни одна из этих программ не обладает необходимой универсальностью и не удовлетворяет потребностей всех вузов, либо имеет слишком высокую стоимость.

Большинство уже существующих решений для составления расписания используют большое количество входной информации и хранят ее в виде базы данных. Затем с помощью сложных алгоритмов, разработка которых потребовала не малых сил, входная информация анализируется и составляется расписание, которое не всегда является идеальным. Затрачиваемые ресурсы, время и деньги могут быть весьма внушительными.

Из всего вышесказанного, можно сделать вывод о том, что для решения данной задачи необходим принципиально новый подход, который поможет составить основу для расписания занятий и в дальнейшем доработать ее с учетом человеческого фактора. Исходя из требований к проекту и специфики предметной области, было принято решение разработать систему на Visual Prolog. Выбор именно этого языка для разработки обусловлен тем, что он отлично подходит для реализации данной проблемы [1].

Для каждого языка существует свой класс задач, для которых он подходит лучше других языков программирования. Соответственно, для решения любой задачи есть оптимальный язык (языки). Многие из них, хорошо решаемые императивными языками, например, Pascal и C, плохо решаются на Prolog, и наоборот. Одной из основных областей применения языка Prolog является полуавтоматическое составление расписаний, что весьма подходит для нашей проблемы [2].

Процесс создания расписания с помощью разрабатываемого алгоритма должен начинаться с формирования из входной информации базы фактов. В языке Prolog ключевое слово «facts» (это синоним устаревшего слова «database») определяет начало объявления раздела facts. Раздел facts состоит из последовательности объявлений предикатов, описывающих соответствующую внутреннюю базу фактов. В данном проекте существуют три базы фактов, описывающих входную информацию, результирующее расписание и отчет о процессе генерации расписания [3].

Перейдем к принципу работы алгоритма составления расписания. В системе существует база фактов cells, которая хранит информацию о составленном расписании. Для каждого элемента этой базы заполняются такие поля, как время в формате (Неделя, День, Урок), аудитория, группа, преподаватель, предмет, час и подгруппа. Процесс заполнения базы представлен несколькими циклами. Ниже обозначены основные шаги алгоритма.

Для каждого элемента времени (Неделя, День, Урок) выполняем следующие действия:

1. Перебираем все имеющиеся группы и проверяем наличие ограничений, т.е. невозможность проведения занятий для группы по данному элементу времени. Если ограничений нет, следуем дальше;
2. Перебираем все имеющиеся предметы, проверяем, есть ли конкретный предмет у этой группы, проверяем ограничения по предмету, если предмет у группы есть, а

ограничений нет, то следуем дальше;

3. Для каждого преподавателя проверяем, ведет ли он этот предмет, и нет ли у него ограничений, если предмет ведет он, а ограничений на проведение занятий нет, то следуем дальше;

4. Для каждой аудитории считываем ее идентификатор, проверяем, есть ли ограничения, если ограничений нет, а предмет проводится в этой аудитории или ID=0, т.е. можно проводить занятие в любом свободном кабинете, следуем дальше;

5. Проверяем соответствие вместимости аудитории и количества занимающихся, если все студенты и преподаватель умещаются, следуем дальше;

6. Считываем количество подгрупп и часов занятий для каждой из них и выполняем следующие действия:

6.1 Для каждого из часов смотрим, не проставлено ли уже расписание по времени в факте cells для данного преподавателя, аудитории, предмета и часа, если не по одному из показателей не проставлено, следуем дальше;

6.2. Добавляем новый факт в cells;

6.3. Считываем информацию о проведении нескольких занятий подряд, если true, то следуем дальше;

6.4. Проверяем, является ли урок последним в дне, если нет, то устанавливаем значение времени (Неделя, День, Урок+1), проверяем, нет ли по этому времени ограничений для данных аудитории, предмета, группы и преподавателя, если нет, то следуем дальше;

6.5. Возвращаемся к пункту 6, но вместо первоначального времени передаем только что установленное.

После выполнения всех итераций цикла, все факты cells заполнены и можно будет сформировать по ним расписание в виде приемлемом для пользователя.

В заключение стоит отметить, что разработанный алгоритм учитывает основные ограничения и в результате выдает близкое к оптимальному решение, которое может быть использовано в дальнейшем для ручной доработки. Конечно, все нюансы работы вуза алгоритм использовать не в состоянии, но иногда лучше затратить меньшие ресурсы и получить приближенный результат, чем задавать колоссальный объем входной информации и потратить большое количество времени и денег.

ЛИТЕРАТУРА

1. Коста Э. Visual Prolog 7.1 для начинающих. – М., ФЛИНТА, 2008. – 210 с.
2. Гаврилова И. В., Масленникова О. Е. Основы искусственного интеллекта. — М.: ФЛИНТА, 2013. – 282 с.
3. Внутренняя база фактов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://asu.bru.mogilev.by/кафедра/Учебнометодические%20материалы/Дисциплины%20кафедры/Экспертные%20системы/Prolog_5/lr07%20%20Внутренняя%20база%20фактов.pdf.

ГОРЯЧКИН Ю. В., БЕСПАЛОВ Н. Н., КОКУЛОВ С. Г.
ЗАВИСИМОСТИ СКОРОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВКЛЮЧЕННОГО
СОСТОЯНИЯ ОТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ТИРИСТОРА

Аннотация. В статье рассматриваются результаты исследования зависимостей линейной скорости распространения включенного состояния от плотности тока в открытом состоянии тиристоров при вариации величин их геометрических параметров. Исследования проведены на основе моделирования процесса включения тиристоров в программной среде Synopsys TCAD. Приводятся аппроксимационные зависимости скорости распространения включенного состояния от геометрических параметров тиристора.

Ключевые слова: тиристор, управляющий электрод, скорость распространения включенного состояния, плотность тока, моделирование, диаметр шунтов, расстояние между шунтами.

GORYACHKIN YU. V., BESPALOV N. N., KOKULOV S. G.
DEPENDENCES OF ON-STATE PROPAGATION VELOCITY
ON THYRISTOR GEOMETRIC PARAMETERS

Abstract. The article considers the study results of on-state linear propagation velocity dependences on current density in open thyristors by varying the values of their geometric parameters. The study was carried out on the basis of modelling of thyristor turn-on in Synopsys TCAD software environment. The approximation dependences of on-state propagation velocity on thyristor geometric parameters are presented.

Keywords: thyristor, control electrode, on-state propagation velocity, current density, modelling, shunt diameter, distance between shunts.

Введение. Линейная скорость распространения включенного состояния (РВС) v в тиристорной структуре (ТС) зависит от величин ее электрофизических параметров, геометрических параметров (параметров встроенных шунтов) и плотности тока в открытом состоянии j_T и является переменной величиной во времени и пространстве. Зависимость скорости РВС от плотности тока $v(j_T)$ обычно описывают степенной или, соответственно, логарифмической эмпирическими зависимостями [1–4]:

$$v(j_T) = A j_T^{1/n}, \quad (1)$$

$$v(j_T) = C_1 \ln j_T + C_2, \quad (2)$$

где A , n , C_1 и C_2 – константы. Эти зависимости получены экспериментальным путем на конкретных опытных образцах ТС. Причем из всех этих констант приводятся значения только константы n и в очень широком диапазоне: от 2 до 6 [1; 3].

Что касается влияния геометрических параметров – диаметра шунтов и плотности шунтировки на скорость РВС, то в литературе подобных эмпирических зависимостей не приводится. Поэтому целью работы было определение данных зависимостей.

Разработка модели тиристора и моделирование. В работе для решения данной задачи использовалось компьютерное моделирование процессов в ТС на основе пакета программ приборно-технологического моделирования Synopsys TCAD.

Современные тиристоры имеют разветвленный управляющий электрод (УЭ) достаточно сложной конструкции. Промоделировать процессы, протекающие в таком тиристоре, не представляется возможным. Однако из топологии ТС можно выделить трехмерную элементарную ячейку, с помощью которой можно исследовать процесс РВС. Принцип выделения такой ячейки из топологии ТС для моделирования описан в [5; 6].

В качестве объекта моделирования была использована ТС типичного быстродействующего импульсного силового тиристора, рассчитанного на величину повторяющегося напряжения в закрытом состоянии $U_{DM} = 2\,000$ В. При этом задавались следующие электрофизические и геометрические параметры ТС: удельное сопротивление n -базы $\rho_n = 80$ Ом·см; толщина n -базы $W_n = 280$ мкм; время жизни дырок в n -базе $\tau_p = 4$ мкс; диаметр шунтов $D_{ш} = 200$ мкм; расстояние между шунтами $L_{ш-ш} = 800$ мкм.

Разработанная модель учитывает эффекты высокого уровня инжекции (электронно-дырочное рассеяние и Оже-рекомбинацию), влияние концентрации легирующей примеси на электрофизические параметры полупроводниковой структуры (подвижность, время жизни неравновесных носителей заряда, собственную концентрацию свободных носителей заряда) и эффекты, связанные с неоднородным по объему тепловым разогревом структуры под действием протекающих токов. Подробное описание этих эффектов приведено в [7].

Моделировались процессы в ТС при включении по цепи управления в резистивно-индуктивной силовой цепи, питаемой от источника постоянного напряжения $U_0 = 2000$ В. Индуктивность силовой цепи выбиралась такой, чтобы время нарастания тока в открытом состоянии было порядка 10 мкс. Амплитуда тока в открытом состоянии регулировалась величиной активного резистора силовой цепи.

В результате моделирования были получены распределения плотности тока по моделируемой элементарной ячейке ТС в заданные моменты времени относительно подачи импульса управления на УЭ, на основании которых были определены зависимости $v(j_T)$ при различных значениях геометрических параметров ТС.

На рисунке 1 показаны графики зависимости $v(j_T)$ при изменении диаметра шунтов $D_{ш}$, на рисунке 2 показаны графики зависимости $v(j_T)$ при изменении расстояния между шунтами $L_{ш-ш}$.

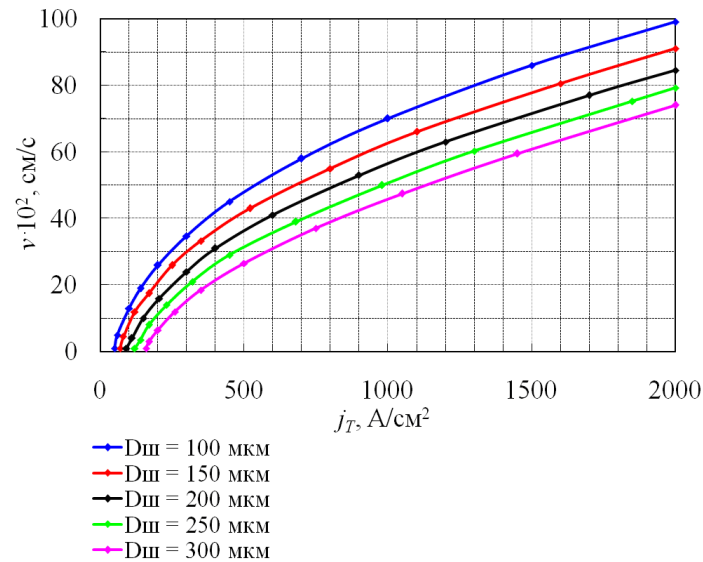


Рис. 1. Графики зависимостей $v(j_T)$ для различных значений $D_{ш}$.

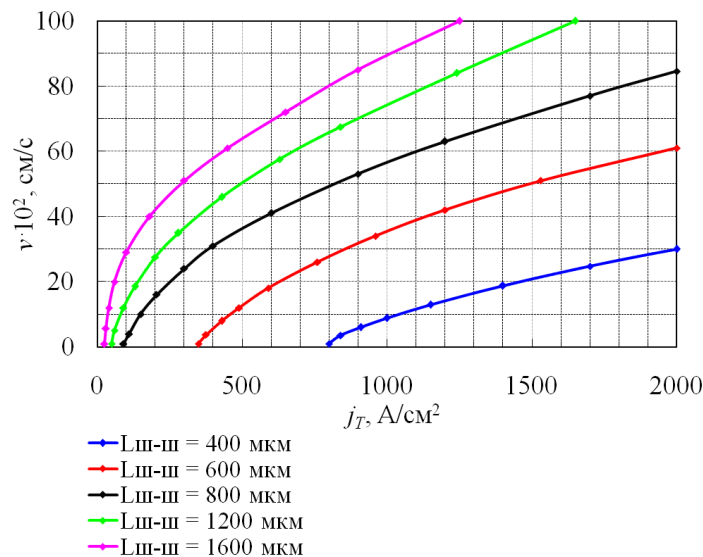


Рис. 2. Графики зависимостей $v(j_T)$ для различных значений $L_{ш-ш}$.

Далее были построены графики зависимости скорости РВС от диаметра шунтов $v(D_{ш})$ и расстояния между шунтами $v(L_{ш-ш})$ при значениях плотности тока 200 А/см² и 1 000 А/см². На рисунке 3 показаны графики зависимости скорости РВС от диаметра шунтов.

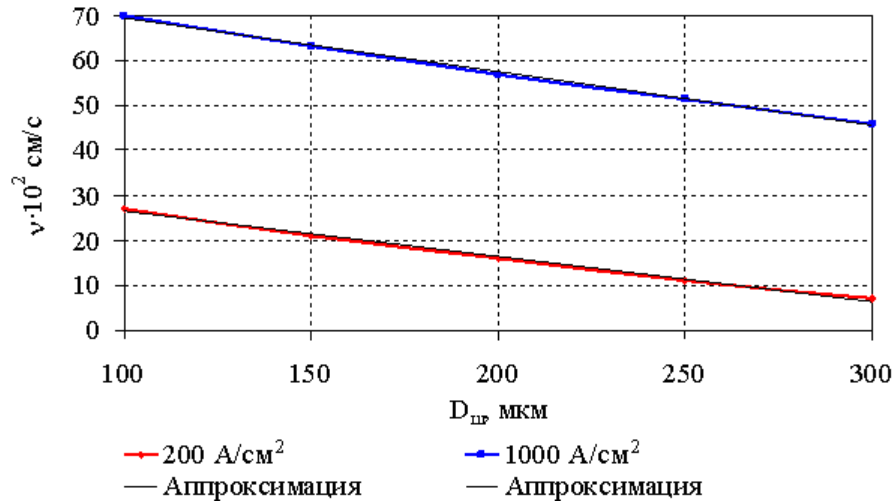


Рис. 3. Графики зависимости скорости РВС от диаметра шунтов при значениях плотности тока 200 А/см² и 1 000 А/см².

Как видно из рисунка, эти графики достаточно хорошо аппроксимируются линейной зависимостью $v(D_{шп}) = C_1 D_{шп} + C_2$ со следующими значениями коэффициентов:

$$C_1 = -10 \text{ с}^{-1}, C_2 = 3\,640 \text{ см/с} \quad \text{при } j_T = 200 \text{ А/см}^2;$$

$$C_1 = -12 \text{ с}^{-1}, C_2 = 8\,152 \text{ см/с} \quad \text{при } j_T = 1\,000 \text{ А/см}^2.$$

На рисунке 4 показаны графики зависимости скорости РВС от расстояния между шунтами.

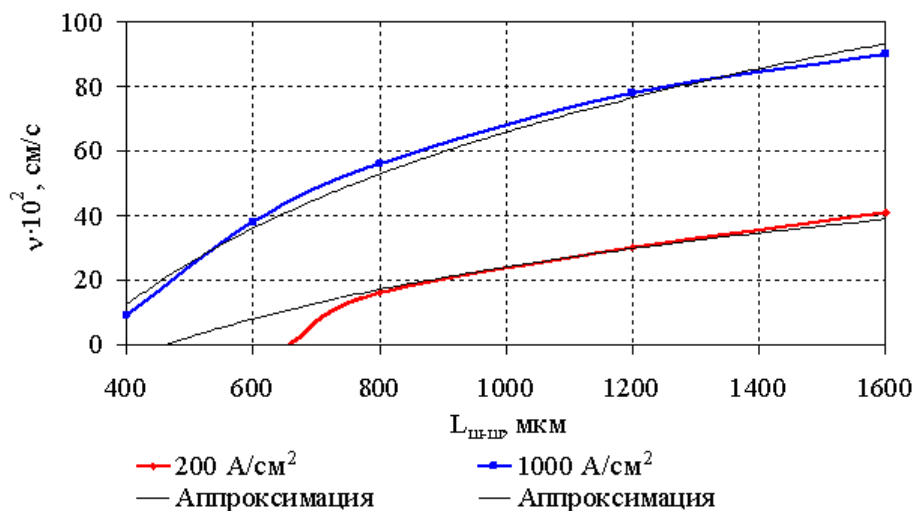


Рис. 4. Графики зависимости скорости РВС от расстояния между шунтами при значениях плотности тока 200 А/см² и 1 000 А/см².

Эти графики лучше всего аппроксимируются логарифмической зависимостью $v(L_{u-u}) = C_1 \ln L_{u-u} + C_2$ со следующими значениями коэффициентов:

$$C_1 = 3\,141 \text{ см}/(\text{с} \cdot \ln(\text{см})), C_2 = -19\,294 \text{ см}/\text{с} \quad \text{при } j_T = 200 \text{ А}/\text{см}^2;$$

$$C_1 = 5\,845 \text{ см}/(\text{с} \cdot \ln(\text{см})), C_2 = -33\,793 \text{ см}/\text{с} \quad \text{при } j_T = 1\,000 \text{ А}/\text{см}^2.$$

Однако, как видно из сравнения рисунков 3 и 4, погрешность аппроксимации для графиков зависимости скорости РВС от расстояния между шунтами гораздо больше, чем погрешность аппроксимации для графиков зависимости скорости РВС от диаметра шунтов, особенно для значения $j_T = 200 \text{ А}/\text{см}^2$ в диапазоне значений диаметра шунтов от 400 до 800 мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамович М. И. Бабайлов В. М., Либер В. Е. и др. Диоды и тиристоры в преобразовательных установках. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – 432 с.
2. Блихер А. Физика тиристоров. – Л.: Энергоиздат, 1991. – 264 с.
3. Герлах В. Тиристоры. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 328 с.
4. Тейлор П. Расчет и проектирование тиристоров. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.
5. Беспалов Н. Н., Горячкин Ю. В., Ильин М. В. Определение линейной скорости распространения включенного состояния в тиристоре // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 6. – С. 80–83.
6. Горячкин Ю. В., Хайбулин Р. Р. Моделирование заряда обратного восстановления тиристора [Электронный ресурс] // Огарев-online. Раздел "Технические науки". – 2014. – № 22. – Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/arts/modelirovanie-zaryada-obratnogo-vosstanovleniya-tiristora>.
7. Горячкин Ю. В. Нестеров С. А., Сурин Б. П. Физико-топологическое моделирование в САПР TCAD. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2006. – 124 с.

АДУШКИНА Е. С.

КОЭФФИЦИЕНТЫ ВЗАИМОСВЯЗИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОМПЛЕКТНОЙ ПОВЕРКИ ТИПОВОЙ УСТАНОВКИ НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Аннотация. В статье рассматриваются коэффициенты взаимосвязи, с помощью которых достаточно провести исследования только по одной из величин нейтронного излучения. Далее, используя соответствующие коэффициенты в опорных полях нейтронов по результатам косвенных измерений, можно определить значения мощности поглощенной дозы нейтронов и мощности эквивалентной дозы нейтронов и тем самым обеспечить поверку установки по дозиметрическим величинам. При этом отпадает необходимость применения дозиметрических мобильных эталонных средств измерений для проведения прямых измерений мощности поглощенной дозы нейтронов и мощности их эквивалентной дозы.

Ключевые слова: поверка, нейтронное излучение, средство измерения, мощность поглощенной и эквивалентной дозы нейтронов, плотность потока нейтронов.

ADUSHKINA E. S.

RELATIONSHIP COEFFICIENTS FOR COMPLETE CALIBRATION OF TYPICAL NEUTRON RADIATION UNIT

Abstract. This article considers the relationship coefficients sufficient for testing only one of the values of neutron radiation. Using the appropriate coefficients in reference neutron fields by the results of indirect measurements, one can determine the values of the absorbed neutron dose and the equivalent neutron dose and thereby provide calibration based on dosimetric quantities. This eliminates the need to use standard mobile dosimetry measuring instruments for direct measurements of the absorbed and equivalent neutron dose rates.

Keywords: calibration, neutron radiation, measuring tool, power-Glodei and dose equivalent of neutrons, neutron flux density.

Для поверки средств измерений (СИ) величин нейтронного излучения (НИ) широко используются эталонные установки типов КИС–НРД–МБ, УКПН–1М и им подобные [1]. Основой всех типовых поверочных установок НИ являются радионуклидные источники с изотопами Cf–252 или PuBe. Поля НИ, создаваемые такими источниками в условиях 4П (открытой) и типового коллиматора (закрытой) геометриях характеризуются радиометрическими и дозиметрическими величинами: плотностью потока нейтронов (ППН), мощностью полевой поглощенной или эквивалентной дозы нейтронов (МПДН, МЭДН).

Проанализируем процесс формирования опорных полей нейтронов. Под опорным полем НИ понимают совокупность свободных нейтронов N в пространстве с определенным распределением их по энергии E_n , направлению движения W и времени t .

Для более полного описания поля НИ используется энергетическо-угловая ППН, определяемая как отношение ППН φ_n с энергией от E_n до $E_n + dE_n$, распространяющихся в пределах элементарного угла dW , ориентированного в направлении W , к энергетическому интервалу dE_n и этому телесному углу:

$$\varphi_n(E_n, W) = d^4 N \cdot [dS \cdot dt \cdot dE_n \cdot dW]^{-1}, \quad (1)$$

Другие характеристики поля НИ (энергетическая ППН, ППН, энергетический флюенс, флюенс нейтронов) получают интегрированием этой характеристики по тем или иным параметрам (по направлению движения W , энергии E_n , по поверхности S , по времени t).

Для перевода значения флюенса в значение кермы (керма при энергетическом равновесии равна поглощенной дозе) используют коэффициент, называемый керма-фактор, который для моноэнергетических нейтронов с энергией E_n определяется следующей формулой:

$$k(E_n) = \sum N_i [G_{ij}(E_n) \cdot E_{ср\ ij}(E_n)], \quad (2)$$

где N_i – число ядер типа i в единице массы вещества;

j – характеризует вид ядерного взаимодействия нейтронов;

$G_{ij}(E_n)$ – поперечное сечение j -го вида взаимодействия с ядрами типа i ;

$E_{ср\ ij}(E_n)$ – средняя кинетическая энергия заряженных частиц, которые возникают при j –м виде взаимодействия с ядрами типа i .

Среднее значение керма-фактора k для НИ с энергетическим спектром $\Phi_n(E_n)$ рассчитывают по формуле:

$$k_{ср} = \frac{\int_0^\infty \Phi_n(E_n) \cdot k(E_n) \cdot dE_n}{\int_0^\infty \Phi_n(E_n) \cdot dE_n}, \quad (3)$$

где $\Phi(E_n)dE_n$ – флюенс нейтронов в энергетическом интервале от E_n до $E_n + dE_n$.

В поле НИ керма в тканеэквивалентном материале формируется в основном короткобежными тяжелыми заряженными частицами, что практически обеспечивает условия энергетического равновесия. В этих условиях керма-фактор служит

переводным коэффициентом от флюенса к поглощенной дозе нейтронов (или от ППН к МПДН), т. е. ПДН равна:

$$D_n(E_n) = \Phi(E_n) \cdot k_{\text{ср}}, \quad (4)$$

а МПДН равна:

$$P(E_n) = \varphi_n(E_n) \cdot k_{\text{ср}}, \quad (5)$$

где $\varphi_n(E_n)$ – ППН со спектром $\Phi(E_n)$.

Эквивалентная доза нейтронов $H(E_n)$ определяется как произведение ПДН мягкой биологической ткани стандартного состава на коэффициент качества излучения K_k в данном элементе объема биологической ткани:

$$H(E_n) = D_n(E_n) \cdot K_k,$$

$$K_k = \frac{1}{D} \int_0^\infty D(L) \cdot K_k(L), \quad (6)$$

где $D(L)$ – распределение ПДН по линейной передаче энергии (ЛПЭ);

$K_k(L)$ – регламентированная зависимость коэффициента качества от ЛПЭ.

Очевидно, что и дифференциальная величина эквивалентной дозы нейтронов – МЭДН связана с МПДН через коэффициент качества K_k .

Анализируя формулы (2, 3, 4, 5, 6) можно сделать вывод о том, что для одинакового спектрального состава НИ и одного вещества (например, для мягкой биологической ткани стандартного состава) коэффициенты перехода (взаимосвязи) физических величин НИ (МПДН, МЭДН, ППН) будут постоянны.

Известно, что поверка дозиметров или радиометров нейтронов согласно требованиям [5; 6; 7] сопряжена с необходимостью определения и учета поправки на смещение эффективного центра источника в коллиматоре ΔR либо в системе «источник – детектор – ΔR_Σ ». При этом показания СИ сравниваются со значением соответствующей физической величины, полученным (рассчитанным) для эффективного расстояния от источника $R_i - \Delta R(R_i - \Delta R_\Sigma)$, где R_i – геометрическое расстояние между центрами источника и детектора.

Величина ΔR определяется графическим способом по методике [2]. По результатам измерений N_i на расстоянии R_i от источника строится график зависимости

$$\frac{1}{\sqrt{N_i}} = f(R_i)$$

и через линейную часть графика проводят прямую до пересечения с осью абсцисс. По пересечению этой прямой с осью абсцисс находится ΔR .

Учитывая, что величина ΔR , определенная по результатам поверки установки по ППН, МПДН или МЭДН, может быть различная, использование в диапазоне расстояний единого значения удельной поглощенной (эквивалентной) дозы $K_{y\partial.n(\partial)}$, рассчитанной по формуле (7), связано с внесением в результат измерений дополнительной неучтенной систематической погрешности $\Theta_{y\partial.n(\partial)}$.

$$K_{y\partial.n.} = \frac{P_i}{\varphi_i}, \quad (7)$$

где P_i – мощность поглощенной (эквивалентной) дозы НИ;

φ_i – ППН.

Использование единой величины $K_{y\partial.n}$ возможно в случае, когда эффективный центр блока детектирования (БД) дозиметрического прибора совпадает с геометрическим, и измерения проводятся только на геометрическом расстоянии $R = 1$ м от источника.

Количественная оценка величины $K_{y\partial.n}$ и ее значения в диапазоне рабочих расстояний определяются по результатам метрологической аттестации соответствующих вторичных эталонов (ВЭ).

Аттестация ВЭ проводится с помощью СИ и установок, из состава более точного, вышестоящего по государственной поверочной схеме [4] или [5] вторичного эталона.

Значения удельных поглощенных и эквивалентных доз ($K_{y\partial.n}$, $K_{y\partial.э}$), рассчитываются по результатам измерений, выполненных на расстоянии 1 м от ^{252}Cf и $^{238}\text{PuBe}$ источников в широких (открытая геометрия) и коллимированных полях НИ ВЭ. Полученные при этом значения $K_{y\partial.n}$ и $K_{y\partial.э}$ приведены в таблице 1.

В таблице 2 приведены значения $K_{y\partial.ni}$ и $K_{y\partial.эi}$, рассчитанные для коллимированных полей нейтронов в диапазоне расстояний от 50 до 300 см по формулам:

$$K_{y\partial.ni} = \frac{A_\varphi^2 (R_i - \Delta R_\varphi)^2}{A_{Pn}^2 (R_i - \Delta R_{Pn})^2}, \quad (8)$$

$$K_{y\partial.эi} = \frac{A_\varphi^2 (R_i - \Delta R_\varphi)^2}{A_{P3}^2 (R_i - \Delta R_{P3})^2}, \quad (9)$$

где A_φ – коэффициент линейной парной регрессии, определенный методом наименьших квадратов из функциональной зависимости $Y_i = A \cdot X_i + B$ (здесь $X_i = R_i$; $Y_i = (\varphi_{ami} e^{-\mu R})^{-1/2}$);

φ_{ami} – значения ППН, полученные при аттестации;

$A_{Pn}, A_{Pэ}$ – коэффициенты линейной парной регрессии, определенные аналогично величине A_ϕ по аттестованным значениям мощностей поглощенных и эквивалентных доз нейтронов соответственно;

μ – линейный коэффициент ослабления нейтронов в воздухе;

$\Delta R_\phi, \Delta R_{Pn}, \Delta R_{Pэ}$ – поправки на смещение эффективного центра источника в коллиматоре установки, аттестованной по ППН, МПДН и МЭДН соответственно.

Таблица 1

Значения $K_{уд.п}$ и $K_{уд.э}$

Тип источника	Коллиматор			Открытая геометрия	
	(Гр · см ²)		(Зв · см ²)	(Гр · см ²)	
²³⁸ PuBe	3,34 · 10 ⁻¹¹	0,80 · 10 ⁻¹¹	29,9 · 10 ⁻¹¹	–	–
²⁵² Cf	2,47 · 10 ⁻¹¹	1,43 · 10 ⁻¹¹	25,2 · 10 ⁻¹¹	2,86 · 10 ⁻¹¹	1,55 · 10 ⁻¹¹

Анализ данных таблицы 1 показал, что значения $K_{уд.п}$ и $K_{уд.э}$, в зависимости от типа радионуклидного источника, различаются между собой на 20 и 35% соответственно. В зависимости от геометрии облучения (коллиматор или открытая геометрия) коэффициенты $K_{уд.п}$ различаются на 16% по нейтронному и на 8% по сопутствующему гамма-излучению.

По данным таблицы 2 рассчитаны средние значения величин $\bar{K}$ и $\bar{K}_i$, которые составили: 21,8 · 10⁻¹¹ Зв · см² и 22,6 · 10⁻¹⁰ Гр · см² для ²⁵²Cf источника; 27,8 · 10⁻¹¹ Зв · см² – для ²³⁸PuBe источника. Использование в диапазоне R_i единого коэффициента $K_{уд.пi}$ или $K_{уд.эi}$ может привести к неучтенной дополнительной погрешности Θ_{Kn} расчет которой следует произвести по формуле:

$$\theta_{Kn} = \frac{|K_{уд.эi} - \bar{K}_{уд.эi}|}{\bar{K}_{уд.эi}} \cdot 100\% \quad (10)$$

Таблица 2

Значения $K_{уд.п}$ и $K_{уд.э}$ в диапазоне рабочих расстояний

Обозначения удельной эквивалентной и поглощенной дозы	Тип источника	Расстояние от источника R_i (см)						Поправка на эффективный центр (см)		
		50	100	150	200	250	300	ΔR_ϕ	$\Delta R_{Pэ}$	ΔR_{Pn}
(Зв · см ²)	²³⁸ PuBe	25,4	27,4	28,1	28,4	28,6	28,8	-5,2	1,8	
	²⁵² Cf	22,2	21,9	21,8	21,7	21,7	21,7	-2,0	2,7	0
(Гр · см ²)		-	22,2	22,7	22,9	-	-			

Таким образом, значения величин $K_{уд.п}$ и $K_{уд.э}$ правильнее определять на эффективном, а не геометрическом расстояниях, что позволит избавиться от неучтенных погрешностей.

По аналогии с таблицей 1, по формулам (11) и (12), произведен расчет значений и для эффективного расстояния ($R_{эф} = 1$ м) по ППН, МПД и МЭД от ^{252}Cf и $^{238}\text{PuBe}$. Полученные данные представлены в таблице 3.

$$K_{уд.п.} = \frac{1}{A_{Pn}^2 \cdot \varphi_{ам_1} (100 - \Delta R_{\varphi})^2}, \quad (11)$$

$$K_{уд.э.} = \frac{1}{A_{Pз}^2 \cdot \varphi_{ам_1} (100 - \Delta R_{\varphi})^2}, \quad (12)$$

где φ_m – значение ППН на геометрическом расстоянии 1 м от источника, полученное при аттестации.

Таблица 3

Значения для эффективного расстояния $R_{эф} = 1$ м

Тип источника	Коллиматор			Открытая геометрия	
	(Гр · см ²)		(Зв · см ²)	(Гр · см ²)	
$^{238}\text{PuBe}$	$2,99 \cdot 10^{-11}$	$0,74 \cdot 10^{-11}$	$23,9 \cdot 10^{-11}$	—	—
^{252}Cf	$3,34 \cdot 10^{-11}$	$1,31 \cdot 10^{-11}$	$19,9 \cdot 10^{-11}$	$2,86 \cdot 10^{-11}$	$1,55 \cdot 10^{-11}$

Доверительная граница погрешности значений, приведенных в таблицах 1–3, определяется погрешностью метрологической аттестации ВЭ ($t_{\Sigma} S_{\Sigma} \leq 3 \cdot 10^{-2}$ при $p = 0,99$ для ППН; $S_{\Sigma} \leq 3 \cdot 10^{-2}$ – погрешность сличения ВЭ с ГЭТ 117–78 для МПДН и МЭДН).

Сравнительный анализ этих данных показал, что значения $K_{уд.п(э)}$, рассчитанные с учетом различий в величинах ΔR_{φ} , ΔR_{P_n} , ΔR_{P_3} и приведенные для эффективного центра источника, на 8–26 % меньше значений аналогичных $K_{уд.п(э)}$, рассчитанных для геометрического центра источника.

Следует отметить, что корректное использование значений $K_{уд.п(э)}$ на практике, сопряжено с необходимостью определения ΔR_{Σ} и расчета ППН для эффективного расстояния $R_1 = 100 - \Delta R_{\Sigma}$.

Таким образом, для обеспечения комплектной поверки типовой установки НИ по ППН, МПДН и МЭДН одновременно, достаточно провести исследования только по ППН. Затем используя соответствующие коэффициенты $K_{уд.п(э)}$ в опорных полях нейтронов по результатам косвенных измерений можно определить значения МПДН и МЭДН и тем самым обеспечить поверку установки по дозиметрическим величинам. При этом отпадает

необходимость применения дозиметрических мобильных эталонных СИ для проведения прямых измерений МПДН и МЭДН.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 8.521–84. ГСИ. Установки поверочные нейтронного излучения. Методика поверки. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 15 с.
2. ГОСТ 8.355-79. ГСИ. Радиометры нейтронов. Методы и средства поверки. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 30 с.
3. ГОСТ 8.207–76 Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения. – М.: Изд-во стандартов, 1986. – 10 с.
4. ГОСТ 8.031–82. ГСИ. Государственный первичный эталон и государственная поверочная схема для средств измерений потока и плотности потока нейтронов. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 6 с.
5. ГОСТ 8.347–79. ГСИ. Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений мощности поглощенной и эквивалентной доз нейтронного излучения. – М.: Изд-во стандартов, 1979. – 8 с.
6. Зажигаев А. Е., Кишьян А. А., Романиков Ю. И. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента. – М.: Атомиздат, 1978. – 232 с.
7. Агупов В. А., Баляева Р. Р., Копейкина Е. С., Меняйло Н. П. Унифицированная методика аттестации типовых эталонных установок нейтронного излучения // Аппаратура и новости радиационных измерений. – 2013. – №1. – С. 21–27.

СИМАКОВ С. А.

СПОСОБЫ ОГРАНИЧЕНИЯ КОММУТАЦИОННЫХ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ НА СИЛОВЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРАХ

Аннотация. В статье рассмотрены существующие подходы к решению задачи ограничения коммутационных перенапряжений на силовых полупроводниковых приборах. Представлены математические зависимости, описывающие переходные процессы, протекающие в силовых полупроводниковых приборах при их выключении с учетом заданных значений параметров снабберных цепей. Сделаны выводы о достоинствах и недостатках рассмотренных методик и показаны возможные пути их усовершенствования.

Ключевые слова: силовые полупроводниковые приборы, переходный процесс, коммутационное перенапряжение, снабберная цепь.

SIMAKOV S. A.

LIMITING SWITCHING OVERVOLTAGE ON POWER SEMICONDUCTOR DEVICES

Abstract. This article discusses the current approaches to the problem of limiting switching overvoltage on power semiconductor devices. The author studies the mathematical relations that describe transient processes when turning off power semiconductor devices considering the set of parameter values of snubber circuits. Conclusions are made on the advantages and disadvantages of the methods. Some ways of their improvement are suggested.

Keywords: power semiconductor devices, the transient switching, overvoltage, snubber circuit.

При переключении силовых полупроводниковых приборов (СПП) вентильного плеча из состояния высокой проводимости (СВП) в состояние низкой проводимости (СНП) на них возникают коммутационные перенапряжения в момент изменения полярности напряжения на приборе. Для защиты СПП от подобного рода перенапряжений используются снабберные цепи. В [1] описаны переходные процессы, протекающие в СПП при его выключении, и представлена методика расчета значений параметров снабберных цепей, обеспечивающих защиту приборов от коммутационных перенапряжений. Рассмотрим данную методику. Все зависимости, приведенные в данном разделе, получены в [1].

На рисунке 1 представлены переходные процессы тока и напряжения, которые возникают при выключении СПП. Из-за наличия в цепи коммутации индуктивности L изменение направления тока i_A происходит не мгновенно, а в течение определенного интервала времени t_K . Поскольку t_K имеет порядок 10^{-3} с, а процесс выключения СПП равен 10^{-5} – 10^{-4} с, то принято, что

на интервале выключения прибора напряжение на нем не изменяется $u_K = U_K = const$.

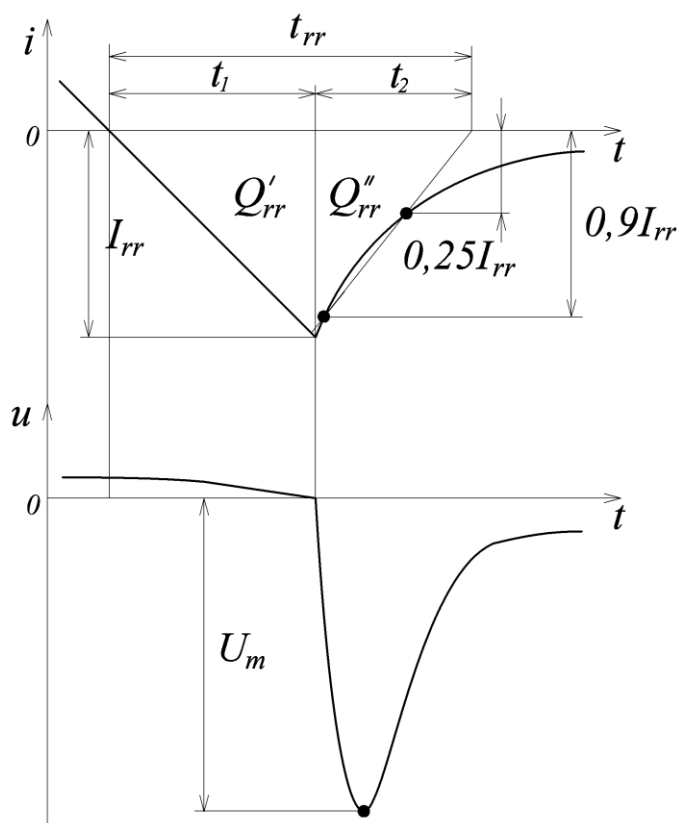


Рис.1 Переходные процессы, протекающие в СПП при его выключении.

Скорость спада тока i_A описывается выражением:

$$di_A / dt = \frac{U_K}{L}. \quad (1)$$

Рисунок 1 показывает, что при переходе тока i_A через нуль напряжение на СПП начинает спадать и достигает нулевого значения к моменту времени, соответствующему амплитуде обратного тока I_{rr} . При переходе напряжения на приборе через нуль на нем возникает коммутационное перенапряжение с амплитудой U_m .

На интервале времени t_1 (рис. 1) наблюдается возрастание обратного тока i_{rr} по практически линейному закону до значения, равного амплитуде тока обратного восстановления I_{rr} . На интервале спада обратный ток аппроксимируется прямой линией, проводимой через точки $0,25I_{rr}$ и $0,9I_{rr}$. Промежуток времени между точкой пересечения данной прямой и осью абсцисс и точкой, в которой обратный ток достигает амплитуды, образует интервал t_2 (рис. 1). Времени обратного восстановления t_{rr} соответствует отрезок, заключенный между пересечениями оси абсцисс прямым спадающим током и прямой линией, аппроксимирующей обратный ток i_{rr} .

Величина заряда обратного восстановления Q_{rr} равна площади треугольника,

образованного линией обратного тока, нарастающего от 0 до I_{rr} , линией аппроксимации и отрезком оси абсцисс:

$$Q_{rr} = Q'_{rr} + Q''_{rr}, \quad (2)$$

где Q'_{rr} – заряд на интервале t_1 ; Q''_{rr} – заряд на интервале t_2 .

Амплитуда тока обратного восстановления I_{rr} определяется по формуле:

$$I_{rr} = \frac{2Q_{rr}}{di_A / dt}, \quad (3)$$

где di_A / dt – скорость спада прямого тока i_A .

Продолжительность интервала времени t_1 равна:

$$t_1 = \frac{I_{rr}}{di_A / dt}. \quad (4)$$

Продолжительность интервала времени t_2 , в соответствии с рисунком 1, рассчитывается следующим образом:

$$t_2 = t_{rr} - t_1. \quad (5)$$

В справочных материалах приводятся значения Q_{rr} и t_{rr} , полученные при определенной величине скорости спада тока di_A / dt в СВП. Для того чтобы определить значения данных параметров для конкретного режима работы устройства силовой электроники, когда di_A / dt отличается от справочной, принимают аппроксимацию, что величины заряда обратного восстановления Q_{rr} и времени обратного восстановления t_{rr} равны:

$$Q_{rr\Phi} = Q_{rr} \left(\frac{I_A}{I_M} \right)^{0,4} \left(\frac{di_A / dt}{di_M / dt} \right)^{0,6}; \quad (6)$$

$$t_{rr\Phi} = t_{rr} \left(\frac{di_A / dt}{di_M / dt} \right)^{0,4} \left(\frac{I_A}{I_M} \right)^{0,1}, \quad (7)$$

где I_A – фактическое значение тока за время $2t_{rr}$, перед переходом через нуль; I_M – значение классифицированного тока, при котором проведены измерения справочных данных.

При проведении расчетов значений параметров защитных снабберных цепей и определении мощности потерь в СПП используют следующую зависимость заряда обратного восстановления Q_{rr} на интервале от момента достижения обратным током максимального значения $(t-t_1)$ до конца приложения обратного напряжения:

$$Q_{rr} = Q_0 \exp(-t / t_{rr}), \quad (8)$$

где Q_0 – накопленный заряд при $t = 0$.

Зависимость обратного тока i_{rr} при этом описывается выражением:

$$i_{rr} = I_{rr} \exp\left(-\frac{t-t_1}{\tau_i}\right), \quad (9)$$

где τ_i – постоянная времени, характеризующая скорость спада i_{rr} .

Значение τ_i определяется следующим образом. Координаты точек пересечения кривой обратного тока i_{rr} , выраженного в соответствии с (9) экспоненциальной зависимостью, с прямой, аппроксимирующей обратный ток i_{rr} , равны:

$$x = \frac{t}{\tau_i}; \quad (10)$$

$$y = \frac{i_{rr}}{I_{rr}}. \quad (11)$$

Из рис. 1 и зависимостей (9–11) получены координаты данных точек: $x_1 = 0,1$; $y_1 = -0,9$; $x_2 = 1,39$; $y_2 = 0,25$.

Уравнение прямой, проходящей через эти точки, имеет вид:

$$\frac{x - x_1}{x_2 - x_1} = \frac{y - y_1}{y_2 - y_1}. \quad (12)$$

Подставляя рассчитанные координаты в выражение (12), получаем:

$$\frac{x - 0,1}{1,39 - 0,1} = \frac{y + 0,9}{-0,25 + 0,9}. \quad (13)$$

Подставляя в выражение (13) значение $y = 0$, находим $x = 1,89$. Тогда из (10) получаем выражение для нахождения τ_i :

$$\tau_i = \frac{t_2}{x} = \frac{t_2}{1,89} = 0,53t_2. \quad (14)$$

На рисунке 2 представлена эквивалентная схема, предназначенная для расчета переходных процессов, протекающих в СПП при его выключении, и определения значений параметров защитных снабберных цепей, ограничивающих коммутационные перенапряжения.

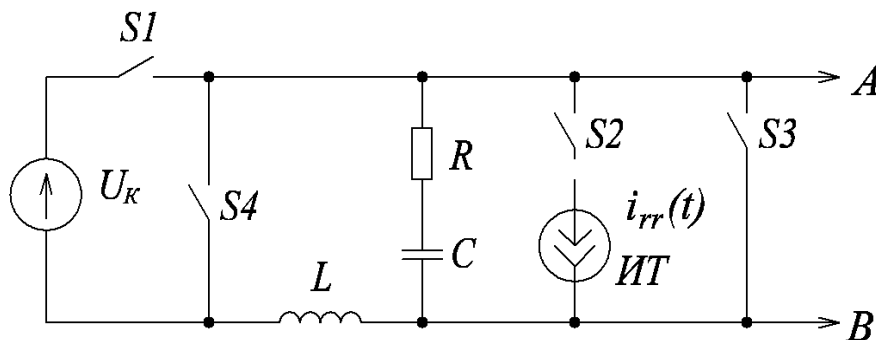


Рис. 2 Эквивалентная схема замещения СПП при его выключении.

На рисунке 2 введены следующие обозначения: U_K – напряжение на СПП в момент коммутации; L – суммарная индуктивность контура коммутации; $ИТ$ – источник тока, реализующий функцию тока обратного восстановления СПП; R и C – резистор и конденсатор снабберной цепи; $S1$ – $S4$ – идеальные ключи, действием которых воспроизводятся режимы работы СПП при его выключении, A и B – точки, с которых снимается напряжение на СПП.

Режим коммутации осуществляется следующим образом.

1. Протекание неограниченного обратного тока ($S1$ и $S3$ замкнуты).
2. Протекание спадающего обратного тока ($S3$ и $S4$ разомкнуты).

В момент t_1 (рис. 1), когда обратный ток i_{rr} достигает амплитудного значения I_{rr} , замыкается $S2$ и размыкается $S3$. Напряжение u_{AK} , прикладываемое к СПП, возникает между точками A и B (рис. 2).

Напряжение u_{AK} на СПП при его выключении может иметь колебательный и апериодический характер. На рис. 3 представлены зависимости напряжения на приборе при различном характере переходных процессов.

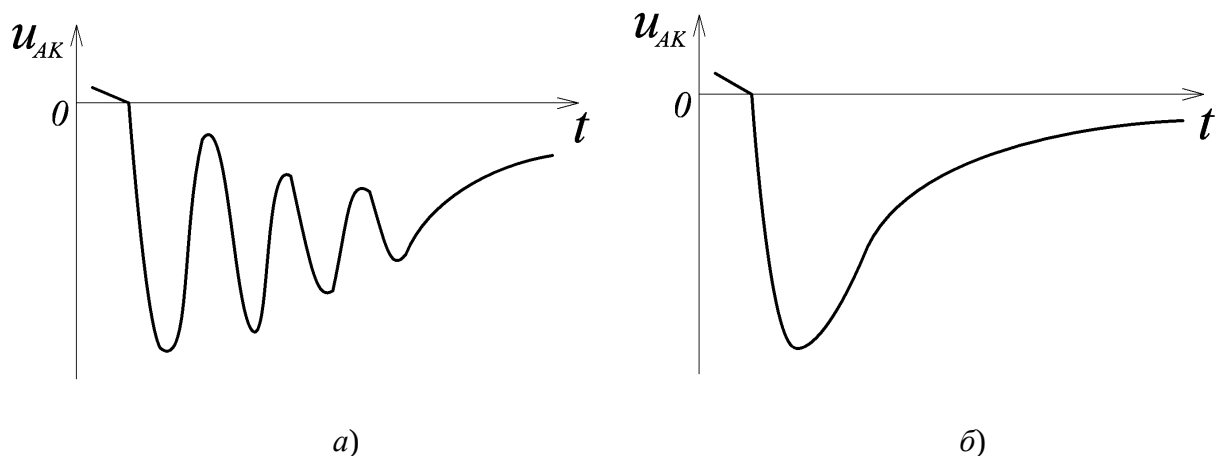


Рис. 3 Колебательный (а) и апериодический (б) характер переходного процесса выключения СПП.

Закон изменения напряжения на СПП для колебательного процесса описывается следующим выражением:

$$u_{AK}(t) = U_K + (A_1 \sin \omega t + B_1 \cos \omega t) \exp(-bt) + D_1 \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right), \quad (15)$$

где A_1 , B_1 , D_1 – постоянные интегрирования, зависящие от амплитудного значения обратного тока I_{rr} , L , R , C ; b – корень характеристического уравнения, зависящий от L и R ; ω – круговая частота.

Закон изменения напряжения на СПП при апериодическом процессе описывается следующим выражением:

$$u_{AK}(t) = U_K + (A_2 \exp(\lambda t) + B_2 \exp(-\lambda t)) \exp(-bt) + D_2 \exp\left(-\frac{t}{\tau_i}\right), \quad (16)$$

где A_2 , B_2 , D_2 – постоянные интегрирования, зависящие от I_{rr} , L , R , C ; λ – корень характеристического уравнения, зависящий от L , C и R .

Уравнения (15) и (16) решены с помощью ЭВМ при подстановке различных значений C , R и τ_i . На основании результатов расчета построены графики для колебательного и апериодического режима. На рис. 4 изображены полученные кривые для колебательного процесса демпфирования.

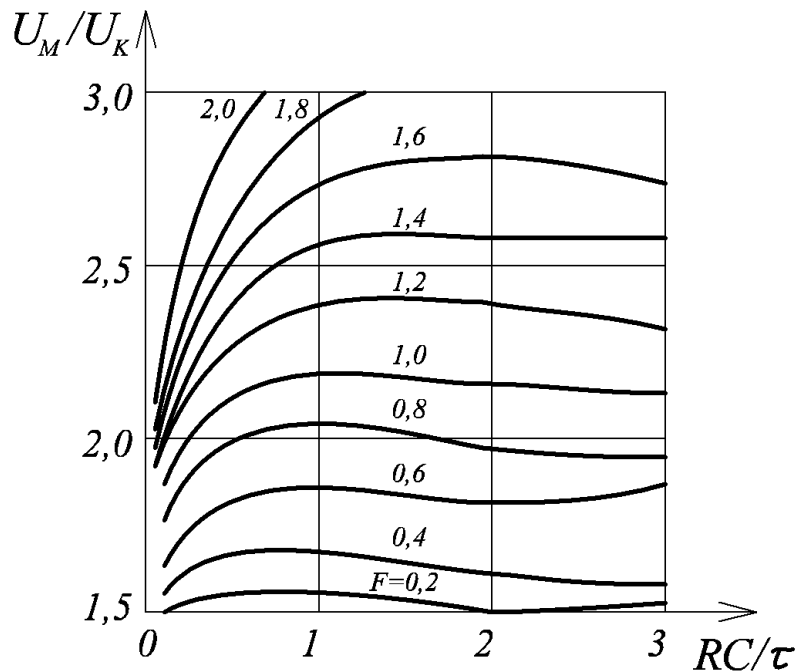


Рис. 4 Кривые для выбора значений параметров защитных снабберных цепей при колебательном процессе демпфирования.

Зная значение U_M/U_K , можно ориентировочно найти значение F (рис. 4) для выбранного СПП, а по нему выбрать приблизительно величины R и C , соответствующие I_{rr} и t_{rr} данного прибора (значение RC/τ_i выбирается в пределах 1–5).

По определенным значениям R и C из выражений (15) и (16) рассчитывается максимальное значение обратного напряжения.

Поскольку расчет рабочего режима прибора осуществляется по значениям шести величин (L , U_K , R , C , I_{rr} , τ_i), которые нелинейно влияют друг на друга, в то время как график (рис. 4) содержит только три связи, изначально выбранные значения могут не совпадать с требуемыми или являться неоптимальными. По этой причине требуется проводить расчет

фактического значения U_M с последовательным приближением к оптимальному результату.

Существуют следующие недостатки описанного метода определения значений параметров снабберных цепей, обеспечивающих защиту СПП от коммутационных перенапряжений при их выключении.

1. Значения заряда обратного восстановления $Q_{rr\Phi}$ и времени обратного восстановления $t_{rr\Phi}$ для конкретного режима работы СПП, на основе которых рассчитываются величины параметров снабберных цепей, определяются путем их пересчета из справочных значений Q_{rr} и t_{rr} . Это приводит к возникновению погрешности определения $Q_{rr\Phi}$ и $t_{rr\Phi}$.

2. Значения $Q_{rr\Phi}$ и $t_{rr\Phi}$, рассчитанные на основе справочных данных, являются обобщенными для приборов определенного типа. В реальных СПП наблюдается значительная вариация величин данных параметров [2; 3], поэтому значения параметров защитных снабберных цепей требуется рассчитывать исходя из измеренных величин Q_{rr} и t_{rr} для каждого конкретного прибора.

3. В данном методе не учитываются температурные зависимости значений параметров СПП. Поскольку справочные значения параметров приборов определяются при максимально допустимой величине температуры их ПС T_{jm} [4; 5], а в реальных режимах работы СПП эксплуатируются при значительно меньших значениях температуры ПС T_j , то величины параметров защитных снабберных цепей окажутся неоптимальными.

4. Поскольку значения параметров снабберных цепей определяются приблизительно по графику (рис. 4) и существует определенная погрешность определения, то для обеспечения защиты СПП от коммутационных перенапряжений при расчете вводится запас, позволяющий скомпенсировать данную погрешность. Это приводит к необоснованному завышению значений параметров снабберных цепей.

Для оптимизации значений параметров снабберных цепей необходимо:

- использовать усовершенствованные методики расчета значений параметров снабберных цепей, позволяющие учитывать вариацию величин параметров полупроводниковой структуры (ПС) СПП и их температурную зависимость [6; 7; 8];
- применять математические модели реальных СПП [9; 10], в которых существует возможность задавать значения параметров их ПС [11];
- учитывать реальные значения параметров контура коммутации [12; 13].

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамович М. И., Бабайлов В. М., Либер В. Е. Диоды и тиристоры в преобразовательных установках. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – С. 215–235.

2. Беспалов Н. Н., Капитонов С. С. Исследование температурной зависимости тока обратного восстановления силовых полупроводниковых приборов // XL Огаревские чтения: материалы науч. конф.: в 3 ч. – Саранск: изд-во Мордов. ун-та, 2012. – С. 234–238.
3. Беспалов Н. Н., Капитонов С. С. Исследование вариации величины заряда обратного восстановления силовых полупроводниковых приборов [Электронный ресурс] // Электроника и информационные технологии. – 2011. – Вып. 2 (11). – Режим доступа: http://fetmag.mrsu.ru/2011-2/pdf/reverse_recovery_charge.pdf. – 0421100067/0026.
4. Беспалов Н. Н., Ильин М. В., Капитонов С. С. Испытательная аппаратура для определения электрических и тепловых параметров и характеристик силовых полупроводниковых приборов [Электронный ресурс] // Электроника и информационные технологии. – 2012. – Вып. 1 (12). – Режим доступа: <http://fetmag.mrsu.ru/2012-1/pdf/Bespalov%20Ilin%20Kapitonov.pdf> – 04201200067/0004.
5. Bepalov N. N., Ilyin M. V., Kapitonov S. S. Current generator for testing power semiconductor devices in high conduction state // 11th International conference on actual problems of electronic instrument engineering, APEIE 2012. – Novosibirsk: IEEE, 2012. – № 1. – pp. 143–147.
6. Беспалов Н. Н., Капитонов С. С. Выравнивание напряжений на последовательно распределенных силовых полупроводниковых приборах в состоянии низкой проводимости // Нелинейный мир. – 2011. – Вып. 8. – С. 500–506.
7. Беспалов Н. Н., Ильин М. В., Капитонов С. С., Лебедев С. В. Определение минимальных величин емкостей снабберных цепей для ограничения коммутационных перенапряжений на силовых полупроводниковых приборах при их выключении // Естественные и технические науки. – 2011. – Вып. № 6. – С. 396–404.
8. Беспалов Н. Н., Ильин М. В., Капитонов С. С., Капитонова А. В. Методика подбора силовых полупроводниковых приборов для групповых последовательных цепей устройств силовой электроники // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – Вып. № 1. – С. 65–68.
9. Беспалов Н. Н., Ильин М. В., Капитонов С. С., Лебедев С. В. Разработка и исследование электротепловых моделей силовых полупроводниковых приборов основных типовых конструкций // Естественные и технические науки. – 2011. – Вып. №6. – С. 405–412.
10. Беспалов Н. Н., Ильин М. В., Капитонов С. С., Лебедев С. В. Моделирование процессов в силовых полупроводниковых приборах при их групповом последовательном включении в среде Multisim // Электроника и электрооборудование транспорта. – Томилино: Научно-производственное предприятие «Томилинский электронный завод», 2012. – Вып. № 4. – С. 30–35.

11. Беспалов Н. Н., Капитонов С. С., Пьянзин И. И. Моделирование характеристик силовых полупроводниковых приборов в состоянии низкой проводимости // Электроника и информационные технологии [Электронный ресурс]. – 2010. – Вып. 2 (9). – Режим доступа: <http://fetmag.mrsu.ru/2010-2/pdf/LowConductivity.pdf> – 04201000067/0036.

12. Беспалов Н. Н., Ильин М. В., Капитонов С. С. Аппаратно-программный комплекс для испытания и диагностики силовых полупроводниковых приборов // Труды VIII международной (XIX всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014 в 2-х томах: Т. 1. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. – С. 362–364.

13. Беспалов Н. Н., Капитонов С. С. Моделирование распределения напряжения по силовым полупроводниковым приборам в состоянии низкой проводимости при их последовательном групповом соединении // Техническая электродинамика. Тем. вып. – Киев: Институт электродинамики Национальной академии наук Украины, 2011. – С. 270–275.

БОБКОВ А. В.

ПРИМЕНЕНИЕ СТАНДАРТА HOMEPLUG AV

ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ И РАСШИРЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ЛОКАЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Аннотация. В статье рассматриваются преимущества и недостатки технологии передачи данных по электрическим сетям. Приводятся экспериментальные данные по применению стандарта HomePlug AV в электрических сетях 220 В 50 Гц.

Ключевые слова: PLC, передача данных, связь, канал связи, HomePlug AV, информация, Wi-Fi.

BOBKOV A. V.

USING HOMEPLUG AV FOR ORGANIZATION

AND EXTENSION OF MODERN LOCAL NETWORKS

Abstract. The article considers the advantages and disadvantages of power line communication technology (PLC). The author presents experimental data on using HomePlug AV standard on the power line of 220 V 50 Hz.

Keywords: PLC, data transfer, connection, link, HomePlug AV, information, Wi-Fi.

Первые системы передачи данных по линиям электросети, так называемые PLC-системы (Power Line Communication), появились почти 80 лет назад и использовались они в основном для сигнализации в энергосистемах и на железных дорогах, но только в начале XXI века технология передачи данных по электросети стала получать широкое развитие и распространение [1–3].

В новом тысячелетии технология передачи цифрового трафика по линиям электросети становится одним из наиболее перспективных направлений развития в сфере предоставления услуг связи. Однако возможность подключения к высокоскоростным магистральным информационным сетям конечных потребителей в ряде случаев все еще является проблемой. Большинство подключений осуществляется путем прокладки кабеля от высокоскоростной линии до офиса или квартиры пользователя. Но в ряде случаев прокладка кабеля может оказаться крайне нежелательной или даже невозможной (например, в случае небольших фирм, часто меняющих арендуемые помещения). Технология Wi-Fi позволяет исключить случаи, связанные с кабельными линиями, но радиосигнал не всегда способен преодолевать препятствия. Помимо этого, большинство стационарных компьютеров не оснащены модулями семейства 802.11.

HomePlug – это технология передачи данных по электрической сети 220 В 50 Гц, не требующая прокладки специальной линии, является отличным решением для организации доступа в локальную или внешнюю сеть, при этом стены помещения не являются преградой.

Достаточно подключить модемы к компьютеру с помощью патч-корда или через Wi-Fi соединение, если PLC-адаптер оснащен модулем из семейства стандарта 802.11, а сами адаптеры включить в сеть электрического питания 220 В 50 Гц. Устройства автоматически обнаружат друг друга.

Сочетание стандарта HomePlug AV с технологией Wi-Fi позволяет получить достаточное удобное решение для обеспечения устройств выходом в локальную сеть дома, офиса, предприятия или во внешнюю сеть.

Современные стандарты HomePlug AV и HomePlug AV2 обладают скоростью передачи до 200 и 500 Мбит/с. Поэтому интерес к данной технологии, как к решению задачи прокладки канала связи или расширения существующий локальной сети, с каждым годом возрастает [4].

Стандарт HomePlug AV применяется в следующих областях: компьютерные сети, система «умный дом», видеонаблюдение, охранные и пожарные системы, мобильные устройства различного назначения, бытовая техника (Smart TV) [4; 5].

Экспериментальная часть.

Для проведения экспериментов были необходимы: Wi-Fi роутер, два PLC-адаптера, Интернет-сервис «www.speedtest.ru». Основными критериями для выбора оборудования были: низкая стоимость и поддержка требуемых стандартов. Для PLC-адаптера им является стандарт HomePlug AV, а для Wi-Fi роутера – 802.11n. С PLC-адаптером использовалось программное обеспечение PowerPacket 5.0 для измерения скорости передачи данных между устройствами. Интернет-сервис «www.speedtest.ru» позволяет измерять скорость приема и передачи данных, а также их задержку.

Эксперимент первый. На рисунке 1 изображен план помещения и условные обозначения. В таблице 1 приведены результаты измерений технологии Wi-Fi и стандарта HomePlug AV соответственно. Заявленная провайдером скорость передачи данных равна 40 Мбит/с.

Заключение на основании первого эксперимента: основным препятствием для распространения сигнала Wi-Fi являются стены, а для стандарта HomePlug AV – качество среды передачи данных. По результатам проведенного эксперимента стандарт HomePlug AV обладает преимуществом в скорости и качестве передачи информации.

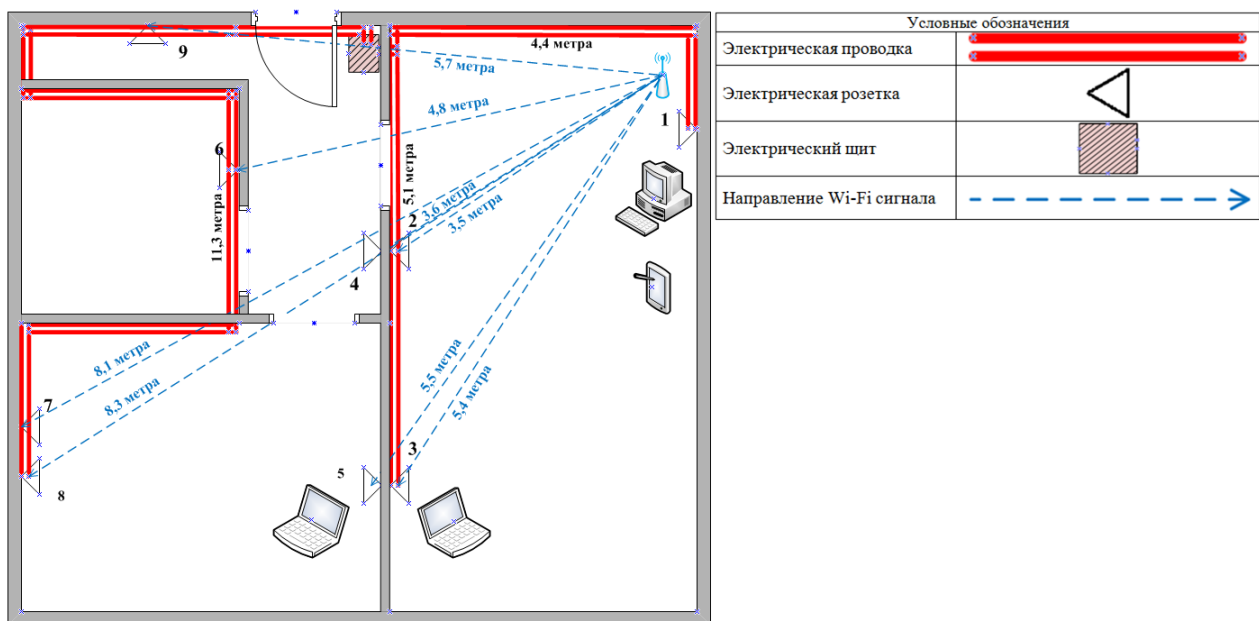


Рис. 1. План помещения.

Таблица 1

Результаты измерения для Wi-Fi и HomePlug AV

Номер рабочего места	Wi-Fi				
	Прием, Мбит/с	Передачи, Мбит/с	Задержка, мс	Скорость соединения, Мбит/с	Расстояние, м
1-2	34,13	35,09	7	150	3,5
1-3	33,83	36,87	6	150	5,4
1-4	20,39	9,46	5	150	3,6
1-5	26,95	19,62	5	150	5,5
1-6	24,21	15,32	6	150	4,8
1-7	3,82	7,84	5	150	8,1
1-8	3,82	7,84	5	150	8,3
1-9	26,28	24,18	5	150	5,7
HomePlug AV					
1-2	42,42	41,11	4	165	6,8
1-3	47,73	40,43	1	196	9,5
1-4	43,09	39,56	6	147	6,9
1-5	43,96	40,91	8	147	9,6
1-6	42,54	38,18	6	125	7,5
1-7	40,68	40,49	6	162	15,7
1-8	41,93	40,32	5	153	15,8
1-9	40,65	39,61	7	178	6,7

Эксперимент второй. Эксперимент проводился в жилом помещении частного дома. На рисунке 2 изображен план помещения и условные обозначения. В таблице 2 приведены результаты измерений стандарта HomePlug AV.

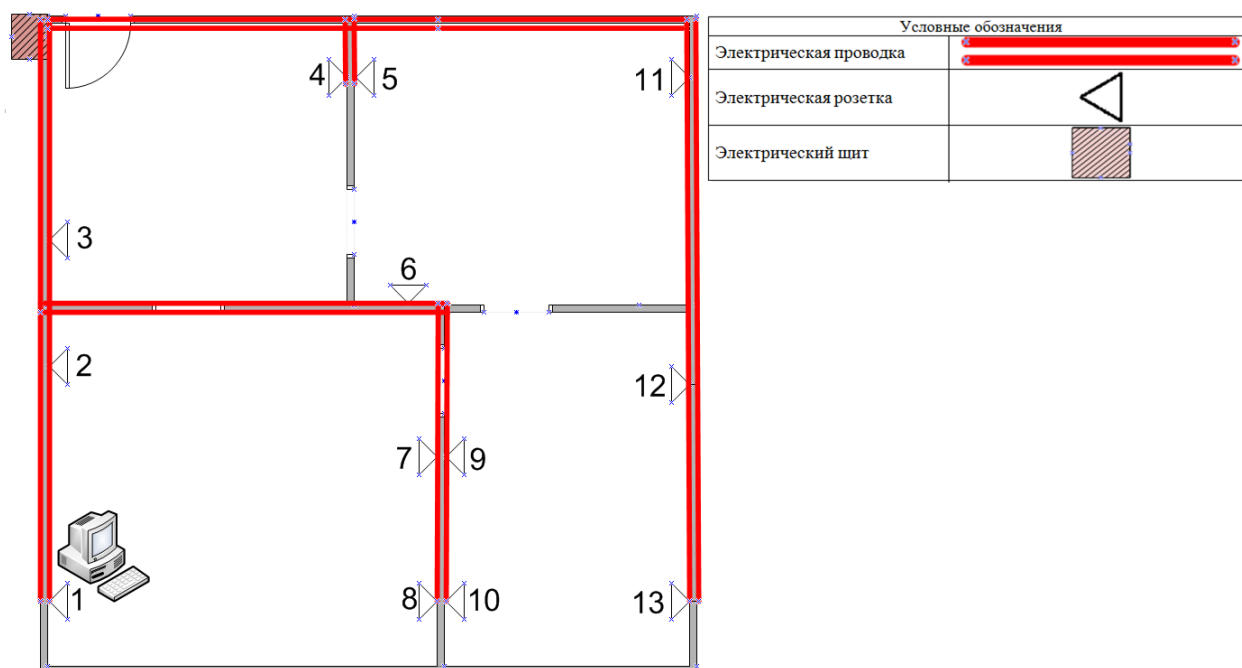


Рис. 2. План помещения частного дома.

Таблица 2

Результаты измерений для HomePlug AV

Номер рабочего места	HomePlug AV				
	Прием, Мбит/с	Передачи, Мбит/с	Задержка, мс	Скорость соединения, Мбит/с	Расстояние, м
1-2	7,69	0,84	4	178,9	3,25
1-3	7,47	0,87	5	174,6	5,00
1-4	7,64	0,85	5	177,1	1,3
1-5	7,82	0,84	6	178,4	1,3
1-6	7,12	0,9	7	173,8	9,0
1-7	7,914	0,86	5	179,3	11,5
1-8	7,73	0,81	6	176,8	13,5
1-9	7,45	0,84	4	179,5	11,5
1-10	7,71	0,92	5	177,9	13,5

1-11	7,48	8,12	4	184,1	17,8
1-12	7,58	0,77	6	178,6	22,0
1-13	6,96	0,83	6	178,8	25,0

На основании проведенных экспериментов, можно сделать вывод о том, что использование стандарта HomePlug AV для передачи данных по электрической сети 220 В 50 Гц, имеет ряд достоинств:

- отсутствие прокладки кабелей и кабельной канализации;
- экономятся средства, пространство, а также усилия и время;
- налаживание канала связи осуществляется достаточно просто и быстро;
- способность передачи Multicast-трафика.

Но, как и любая другая технология передачи данных, стандарт HomePlug AV имеет ряд недостатков:

- зависимость качества передачи данных от качества линии электрической сети;
- многие пользователи до сих пор не знают о такой технологии;
- не работает в случае отключения электрической сети [5; 6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Шкарин Ю. П. Высокочастотные тракты каналов связи по линиям электропередачи – М.: НТО Энергопресс; Энергетик, 2001. – 70 с.
2. Охрименко В. PLC-технологии. Часть 1 // Электронные компоненты. – 2009. – № 10. – С. 58–62.
3. Дубровин В. С., Мариниченко А. А. Модернизация системы передачи данных по ЛЭП на участке «Рузаевка–Арзамас» // Электроника и информационные технологии. – 2009. – № 2. – С. 7.
4. Официальный сайт HomePlug Alliance [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.homeplug.org.
5. Официальный сайт ZyXEL [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.zyxel.ru.
6. Время электроники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.russianelectronics.ru

АВЕРИН А. И., СИДОРОВ Д. П.

АУТЕНТИФИКАЦИЯ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ ПО КЛАВИАТУРНОМУ ПОЧЕРКУ

Аннотация. В связи с бурным развитием сетевых технологий и повсеместным внедрением многопользовательских компьютерных систем особую актуальность приобрела задача аутентификации пользователя в такой системе. В статье рассмотрены возможные способы аутентификации. Подробно рассмотрена возможность аутентификации пользователя путем анализа его клавиатурного почерка.

Ключевые слова: защита информации, пароль, биометрическая аутентификация, клавиатурный почерк.

AVERIN A. I, SIDOROV D. P.

USER AUTHENTICATION BASED ON KEYSTROKE DYNAMICS

Abstract. Due to the rapid development of network technology and universal introduction of multi-user computer systems, the problem of user authentication has become particularly relevant. This article considers the user authentication methods with a focus on analyzing the keystroke dynamics.

Keywords: data security, password, biometric authentication, keystroke dynamics.

Одной из наиболее важных проблем современного общества, является защита личной информации от несанкционированного доступа. Миллиарды терабайт данных хранятся на компьютерах пользователей по всему миру. И эти данные могут иметь разную степень значимости: начиная от фотографий из личного цифрового альбома и заканчивая информацией, представляющей значительную коммерческую ценность.

Защита информации в компьютерных системах и сетях – это комплексная задача, решение которой происходит с помощью внедрения различных систем безопасности. Одну из главных ролей в решении данной задачи играет элемент обеспечивающий контроль доступа к ресурсам компьютерной системы. Такой элемент выполняет свои функции при помощи процедур идентификации и аутентификации пользователей. Эти процедуры являются основополагающими в любой системе защиты от несанкционированного доступа, потому что каждый пользователь должен быть однозначно определен и должно быть гарантировано соответствие пользователей с их идентификаторами, так как дальнейшая работа в системе ведется только с идентифицированными субъектами.

Для аутентификации система должна хранить информацию, которая характеризует неповторимые качества конкретного пользователя. Эта информация называется аутентификационной и в зависимости от ее типа различают парольный, имущественный и

биометрический методы аутентификации.

Классическим методом аутентификации пользователей является использование уникальной информации – пароля, который известен пользователю и который он предъявляет во время аутентификации [6]. Этот метод самый распространенный, так как он простой и дешевый с точки зрения реализации. Но наряду со всеми его достоинствами он обладает огромным недостатком. При нарушении конфиденциальности пароля полностью нарушается защита информации владельца.

Имущественный метод аутентификации основан на владении пользователем некоторым уникальным предметом (ключ, смарт-карта, токен), который он предъявляет системе. Данный метод имеет тот же недостаток, что и предыдущий: в случае утери или кражи аутентификационного предмета полностью нарушается защита информации. Кроме того, имущественный метод дороже в реализации, т.к. требуется специальное оборудование для распознавания предмета, используемого при аутентификации. Уникальные предметы также необходимо изготовить, что связано с некоторыми расходами.

Для устранения указанных недостатков при аутентификации можно использовать биометрические характеристики пользователя. Биометрия позволяет идентифицировать пользователей, опираясь на их поведенческие и физиологические характеристики. К физиологическим характеристикам можно отнести отпечатки пальцев, черты лица, геометрия ладоней, ушных раковин, сетчатка глаза и т. д. [4]. Поведенческие характеристики включают почерк человека, походку, тембр голоса, скорость набора текста на клавиатуре и т.п.

Если определение пользователя с помощью сканирования сетчатки глаза весьма дорогостоящий способ, в связи со стоимостью оборудования, то идентификация пользователя по клавиатурному почерку – дешевый и достаточно простой для реализации вариант, так как для такой системы не нужно дополнительного оборудования. Требуется стандартный набор периферийных устройств, которые имеет в своем распоряжении любой персональный компьютер – клавиатура и монитор. А в качестве системы безопасности будет выступать программный продукт, разработка которого и представляет основную сложность.

Так что же такое клавиатурный почерк? Одной из повседневных задач, решаемых людьми, является набор текстов на клавиатуре компьютера. В процессе того как человек вводит информацию используя клавиши у него вырабатывается свой личный стиль набора тех или иных слов. И этот стиль фактически не повторим и зависит от таких параметров как: количество пальцев, задействованных во время набора текста; длительность нажатия клавиш; время между нажатиями клавиш; использование основной или дополнительной части клавиатуры; характер сдвоенных или строенных нажатий; излюбленные сочетания горячих клавиш и т. д. Таким образом, клавиатурный почерк – это набор динамических характеристик

работы на клавиатуре.

Важной особенностью задачи аутентификации пользователя по клавиатурному почерку является необходимость «обучения» программы, которая будет производить аутентификацию. Под обучением понимается накопление информации, характеризующей особенности работы каждого пользователя с клавиатурой. Далее эта информация подвергается обработке [3].

Начальным этапом обработки данных является фильтрация. Входной поток данных преобразуется таким образом, чтобы он не содержал информацию о «служебных» клавишах – клавишах управления курсором, функциональных клавишах и т. п.

На следующем этапе выделяется информация, относящаяся к характеристикам пользователя, описанным в работе [1]:

- количество опечаток;
- время удержания клавиш;
- интервалы между нажатиями клавиш;
- число перекрытий между клавишами;
- скорость набора;
- степень ритмичности при наборе.

После статистической обработки этих данных рассчитанные эталонные характеристики пользователя сохраняются в базе данных.

При аутентификации, опознавание пользователя состоит в сравнении биометрической информации, которая будет получена при вводе текста с соответствующей этому пользователю эталонной информацией хранимой в памяти компьютера.

Аутентификация по клавиатурному почерку также не лишена недостатков – она не определяет пользователя с абсолютной точностью. Если с паролем все просто (совпадение или несовпадение с эталоном), то системы биометрической аутентификации распознают пользователя с определенной вероятностью. Так как биометрические характеристики прямо зависят от эмоционального состояния человека и условий, в которых он вводит кодовую фразу, система может не распознать легального пользователя, а в худшем случае предоставить доступ к закрытой информации человеку, которому она не предназначена.

Поэтому в системах биометрической аутентификации присутствуют две оценочные характеристики, приведенные в работе [2]:

1. отказ в доступе (false rejection rate, FRR – ошибка первого рода) – с какой вероятностью система не узнает зарегистрированного пользователя;
2. ложный доступ (false access rate, FAR – ошибка второго рода) – вероятность ошибочного допуска нелегального пользователя.

Отметим ряд некоторых интересных особенностей, выявленных на основе статистических данных.

Вероятность аутентификации пользователя по времени удержания клавиш в зависимости от длины ключевой фразы является более стабильной характеристикой клавиатурного почерка пользователя, чем время между нажатиями клавиш (пауз), которое и растет с ростом длины ключевой фразы. Это объясняется тем, что процесс нажатия клавиши на клавиатуре является истинно подсознательным процессом мышления.

Время между нажатиями клавиш является менее стабильной характеристикой клавиатурного почерка пользователя, чем время удержания клавиш. Функция вероятности идентификации от пауз между нажатиями клавиш имеет максимум своего значения при длине ключевой фразы порядка 810 символов. Это объясняется тем, что ключевые фразы небольшой длины, состоящие из одного, максимум двух слов, пользователь набирает подсознательно. Подсознательные движения стабильны до тех пор, пока в них не вмешивается более высокий сознательный уровень мышления, что приводит к появлению эффекта «сороконожки», сбивающейся при попытке понять, как же она ходит.

Проявление данного эффекта объясняет уменьшение вероятности аутентификации пользователя при превышении длины ключевой фразы некоторого критического уровня. Следует отметить, что значение данного порога достаточно сильно варьируется для пользователей с различным опытом работы с клавиатурой и может колебаться от 6 до 30 символов. После этого предела даже у квалифицированных машинисток наблюдается эффект включения сознательного мышления и остановок в наборе текста для принятия решения. В соответствии с изложенными выводами можно говорить о том, что в системах аутентификации пользователя по особенностям клавиатурного почерка не рекомендуется использовать слишком длинные выражения в качестве ключевой фразы, так как это приводит к тому, что пользователь начинает «осмысленно» выполнять набор текста, что может привести к снижению качества его аутентификации.

Подводя итог всему вышесказанному, систематизируем основные преимущества и недостатки аутентификации пользователей по клавиатурному почерку.

Преимущества.

- Простота реализации и внедрения. Реализация исключительно программная, ввод осуществляется со стандартного устройства ввода (клавиатуры), а значит – использование не требует приобретения никакого дополнительного оборудования. Это самый дешевый способ аутентификации по биометрическим характеристикам субъекта доступа.
- Не требует от пользователя никаких дополнительных действий и навыков. Пользователь, так или иначе, наверняка использует пароль, который можно назначить парольной фразой,

по которой будет проводиться аутентификация. Возможно, мошеннику удастся получить логин и пароль для входа в систему, но вот скопировать клавиатурный почерк не представляется возможным.

- Возможность скрытой аутентификации – пользователь может не знать, что включена дополнительная проверка, а значит не сможет сообщить об этом злоумышленнику.

Недостатки.

- Требуется обучение приложения.
- Сильная зависимость от эргономичности клавиатуры (в случае замены клавиатуры придется обучать программу заново).
- Сильная зависимость от психофизического состояния оператора. Если человек заболел, то он вполне вероятно не сможет аутентифицироваться (с другой стороны, может и не стоит этого делать в больном состоянии).

В заключение добавим, что аутентификация лишь с использованием анализа клавиатурного почерка неприемлема в системах, требующих высокого уровня защиты. Но в сочетании с другими системами аутентификации может оказаться весьма эффективной.

Анализ существующей литературы по данному вопросу позволяет сделать вывод о том, что многие вопросы аутентификации пользователей на основе их клавиатурного почерка пока не изучены. Существующие программные реализации подобных систем характеризуются недостаточной достоверностью аутентификации. Актуальна разработка новых методов, алгоритмов и их программно-аппаратных реализаций, повышающих эффективность систем идентификации и аутентификации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ilonen J. Keystroke Dynamics [Электронный ресурс] // Lappeenranta University of Technology. – 2008. – Режим доступа: <http://researchweb.iiit.ac.in/~vandana/PAPERS/KS/Ilonen.pdf>.
2. Checco J. C. Keystroke Dynamics and Corporate Security [Электронный ресурс] // WSTA Ticker Magazine. – 2003. – Режим доступа: http://www.checco.com/about/john.checco/publications/2003_Keystroke_Biometrics_Intro.pdf.
3. Горелик А. Л., Скрипкин В. А. Методы распознавания. – М.: Высшая школа, 1984. – 80 с.
4. Задорожный В. Обзор биометрических технологий // Защита информации. Конфидент. – 2003. – № 5. – С. 26–29.
5. Сарбуков А. Е., Грушо А. А. Аутентификация в компьютерных системах // Системы безопасности. – 2003. – № 5(53). – С. 118–122.

ТОКАРЕВ В. А., ХЛУДЕНЕВ А. В.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛГОРИТМОВ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ПРИ КОНВЕЙЕРНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы эффективности алгоритмов, ориентированных на построение конвейеров цифровой обработки сигналов. Представлены результаты сравнительного анализа для задачи определения модуля вектора.

Ключевые слова: цифровая обработка сигнала, модуль вектора, конвейер данных, программируемые вентильные матрицы (FPGA), CORDIC-алгоритм.

TOKAREV V. A., HLUDENEV A. V.

EFFICIENCY EVALUATION OF PIPELINE-ORIENTED DIGITAL SIGNAL PROCESSING ALGORITHMS

Abstract. This paper deals with the efficiency of pipeline-oriented digital signal processing algorithm. A comparative analysis of the results of a vector magnitude calculation is presented.

Keywords: digital signal processing, vector magnitude, data pipeline, field programmable gate array (FPGA), CORDIC algorithm.

При выборе алгоритмов цифровой обработки сигналов (ЦОС) для аппаратной реализации обязательно принимаются во внимание критерии эффективности конкурирующих альтернативных вариантов. К числу основных критериев относятся показатели точности, быстродействия и аппаратных затрат. Учитывая тот факт, что тракты ЦОС обычно реализуются как конвейеры данных, в качестве показателей быстродействия можно использовать пропускную способность конвейера, которая однозначно определяется форматом входных данных и тактовой частотой, а также задержку латентности. Стоимость аппаратных затрат определяется количеством задействованных базовых элементов.

В работе представлены результаты сравнительного анализа эффективности алгоритмов для достаточно распространенной задачи ЦОС, связанной с определением модуля вектора $\langle X, Y \rangle = X + jY$

$$Z = \sqrt{X^2 + Y^2}, \quad (1)$$

где X и Y – дискретные отсчеты сигналов в квадратурных каналах;

Z – дискретный отсчет модуля.

Известны различные алгоритмы, ориентированные на аппаратную реализацию операции. Например, в специализированной БИС PDSP16330 (Pythagoras Processor) использован конвейер, построенный на двух квадраторах, сумматоре и вычислителе

квадратного корня. Операнды и результат имеют 16 разрядов, при этом обеспечивается работа на тактовой частоте 10-5 МГц при задержке латентности 24 такта [1].

В качестве альтернативы была выбрана конвейерная реализация CORDIC-алгоритма. Итерационные алгоритмы CORDIC известны еще с пятидесятих годов прошлого века [2]. За их долгую историю неоднократно появлялся всплеск интереса к ним [3]. Один из последних связан с массовым производством и применением программируемых вентильных матриц (FPGA) [4; 5]. Регулярная структура FPGA привлекательна для аппаратной реализации итерационных алгоритмов ЦОС именно в конвейеризованной форме.

CORDIC-алгоритмы используют только две базовые операции машинной арифметики – сложение и сдвиг. С этой точки зрения их можно считать первым практическим примером применения распределенной арифметики. Хотя сам этот термин появился намного позднее применительно к цифровым фильтрам и другим устройствам ЦОС, построенным без использования умножителей и других узлов, которые сами реализуются на основе сумматоров и сдвигателей.

Для получения сравнительных оценок эффективности прямого алгоритма для вычисления модуля вектора и CORDIC-алгоритма были построены два восьмиразрядных конвейера на платформе FPGA EP1C3T144-8 семейства Cyclone. Синтез выполнялся средствами системы Quartus II Web Edition v8.10 без использования опций оптимизации и задания ограничений.

Для реализации прямого алгоритма были использованы параметризируемые библиотечные мегафункции от Altera Corp.:

- умножителя LPM_MULT (для возведения в квадрат);
- сумматора-вычитателя LPM_ADD_SUB (для сложения);
- вычислителя квадратного корня ALTSQRT.

Все модули имели регистровые выходы и тактировались от одной глобальной шины синхронизации. Функциональная схема конвейера приведена на рисунке 1.

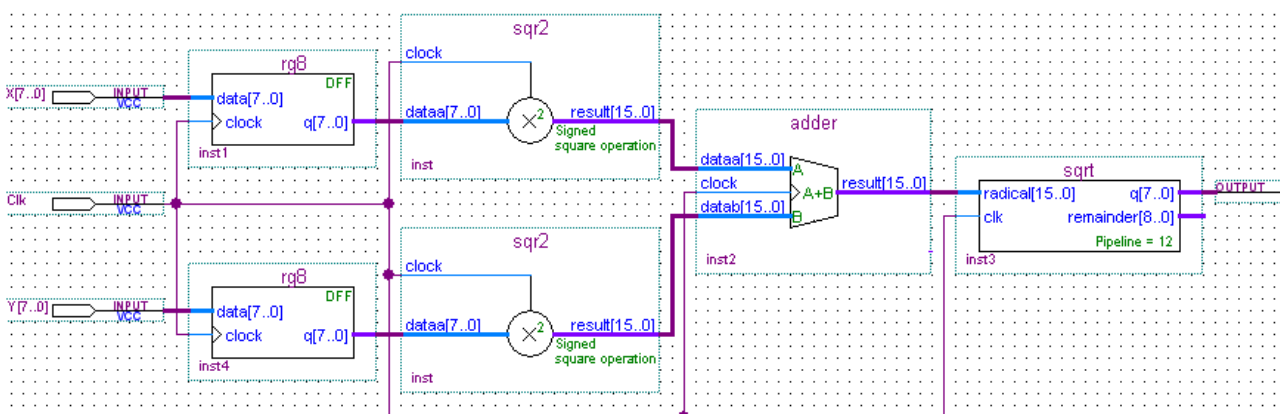


Рис. 1. Конвейерная реализация прямого алгоритма.

Использование параметризуемых модулей позволило оптимизировать эту структуру по быстродействию. Оптимизация выполнялась путем варьирования числа ступеней конвейера для модулей возведения в квадрат и вычислителя квадратного корня. Проведенные эксперименты показали, что уже при двух ступенях модуль возведения в квадрат имел пропускную способность, близкую к пропускной способности сумматора. Предельная частота тракта «регистр – сумматор» (с регистровым выходом) для FPGA EP1C3T144-8 составила 275 МГц. Увеличение числа ступеней конвейера для вычислителя квадратного корня с 1 до 12 привело к повышению предельной частоты с 71 МГц только лишь до 160 МГц. Дальнейшее увеличение числа ступеней к повышению предельной частоты уже не приводило.

Затраты на реализацию с одноступенчатыми модулями составили 277 LE (логических элементов FPGA). Для варианта с двухступенчатым модулем возведения в квадрат и 12 ступенчатым модулем вычислителя квадратного корня потребовалось 402 LE.

Функциональная схема 8-разрядного конвейера на рисунке 2 реализует алгоритм CORDIC:

$$\begin{aligned} X_{i+1} &= X_i - d_i \cdot Y_i \cdot 2^{-i}, \\ Y_{i+1} &= Y_i + d_i \cdot X_i \cdot 2^{-i}, \end{aligned} \quad (2)$$

где $i = 0, \dots, n$ – индекс итерации;

$d_i = \pm 1$ в зависимости от знака Y_i ($d_i = +1$, если $Y_i < 0$, иначе $d_i = -1$).

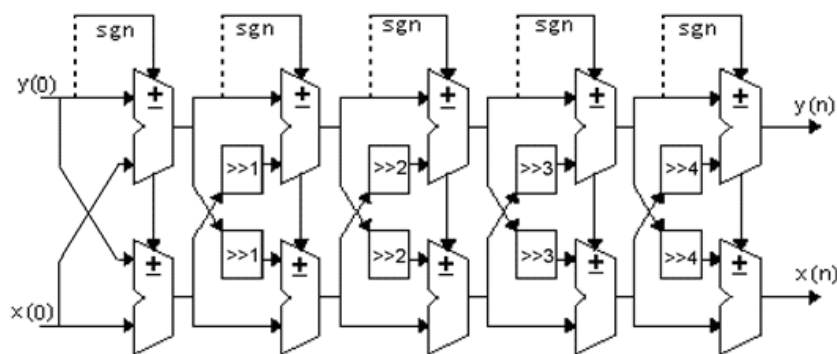


Рис. 2. Конвейерная реализация CORDIC-алгоритма.

Алгоритм обладает квадратичной сходимостью, и за одну итерацию становятся достоверными два разряда. После завершения итераций формируется результат с точностью до постоянного множителя

$$\begin{aligned} X_n &= A_n \cdot \sqrt{X_0^2 + Y_0^2}, \\ Y_n &= 0, \end{aligned} \quad (3)$$

$$A_n = \prod_n \sqrt{1 + 2^{-2i}}.$$

В схеме использован «монтажный» сдвиг (wired shift), а сумматоры-вычитатели имеют регистровый выход и тактируются от одной глобальной шины синхронизации. С учетом входных регистров (на рисунке 2 не показаны) задержка латентности составляет 6 тактов.

Данная структура и ее функциональные узлы были описаны на языке AHDL. По результатам компиляции, размещения и трассировки проекта затраты аппаратных ресурсов составили 114 LE. Предельное значение тактовой частоты составило 221 МГц.

Полученные результаты приведены в таблице 1. Их сравнительный анализ позволяет сделать вывод об очевидных преимуществах варианта реализации CORDIC-алгоритма.

Таблица 1

Показатели эффективности реализации алгоритмов

Вариант реализации	Аппаратные затраты, LE	Предельная тактовая частота, МГц	Задержка латентности
Прямой с одноступенчатыми модулями	277	71	4
Прямой с многоступенчатыми модулями	402	152	16
CORDIC	114	221	6

ЛИТЕРАТУРА

1. Digital Video & DSP IC Handbook: HB3923-1: DS3884. – 1-3 September, 1996. – 12 p.
2. Volder J. E. The CORDIC trigonometric computing technique // IRE Trans. Electr. comput. – 1959. – C8, No. 3. – pp. 330–334.
3. Байков В. Д., Смоллов В. Б. Специализированные процессоры: итерационные алгоритмы и структуры. – М.: Радио и связь, 1985. – 288 с.
4. Andraka R. A survey of CORDIC algorithms for FPGA based computers FPGA '98 // Proceedings of the 1998 ACM/SIGDA sixth international symposium on Field programmable gate arrays, Feb. 22-24, 1998, Monterey, CA. – pp. 191–200.
5. Lakshmi B., Dhar A. S. CORDIC Architectures: A Survey // Journal: VLSI Design, January 2010 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.hindawi.com/journals/vlsi/2010/>.

СУСЛОВА Е. В., АББАКУМОВ А. А.

**ПРИМЕНЕНИЕ MATLAB ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ АНАЛИЗА
ФИНАНСОВОГО СОСТОЯНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ**

Аннотация. В статье описывается влияние финансового анализа на перспективы развития предприятия в будущем. Рассматривается задача разработки действующей модели нейронной сети для прогнозирования финансовых показателей предприятия с применением программного пакета MATLAB.

Ключевые слова: нейронная сеть, нейрон, MATLAB, финансовый анализ, кластеризация, прогнозирование, предприятие.

SUSLOVA E. V., ABBAKUMOV A. A.

**APPLICATION OF MATLAB FOR ANALYZING
OF ENTERPRISE FINANCIAL CONDITION**

Abstract. The article considers the role of financial analysis in the company prospects. The authors focus on the problem of neural network modelling to predict the company financial performance by using of MATLAB software package.

Keywords: neural network, neuron, MATLAB, financial analysis, clustering, forecasting, enterprise.

Финансовое состояние – это важнейшая характеристика экономической деятельности предприятия, которая определяет его конкурентоспособность на рынке, а также потенциал в деловом сотрудничестве. Финансовый анализ позволяет определить способность компании к дальнейшему финансовому росту, установить каким образом финансовая политика компании будет влиять на будущее и проанализировать сильные и слабые стороны ее конкурентных стратегий.

Нефинансовые факторы, в частности, стиль руководства предприятием и его история помогают определить направление и глубину анализа. Систематическое рассмотрение и оценка информации для получения достоверных выводов относительно прошлого состояния предприятия с целью предвидения его жизнеспособности в будущем являются важными моментами для успешного анализа финансовых отчетов.

В условиях рыночной экономики практическое применение результатов финансового анализа приобретает наибольшую актуальность, что связано, прежде всего, с тем, что современное предприятие самостоятельно определяет направление своей деятельности и осуществляет ее финансирование с целью получения прибыли. В постоянно изменяющихся рыночных условиях руководители предприятия должны постоянно следить

за изменяющейся конъюнктурой, за эффективностью использования своих ресурсов, за состоянием своих активов, конкурентоспособностью своей продукции, т.к. данные показатели определяют не только текущую конкурентоспособность предприятия, но и перспективы развития предприятия в будущем.

Финансовый анализ может использоваться как инструмент обоснования краткосрочных и долгосрочных экономических решений, целесообразности инвестиций; как средство оценки мастерства и качества управления; как способ прогнозирования будущих финансовых результатов [1]. Финансовое прогнозирование позволяет в значительной степени улучшить управление предприятием за счет обеспечения координации всех факторов производства и реализации, взаимосвязи деятельности всех подразделений и распределения ответственности.

В настоящее время для анализа данных широко применяются различные интеллектуальные методы, в частности, нейронные сети. Это достаточно гибкий продукт, предоставляющий разработчикам большое количество возможностей для достижения конкретных целей [2].

Анализируя финансовые показатели, всегда стоит иметь в виду то, что оценка результатов деятельности производится на основании данных прошедших периодов, и на этой основе может оказаться некорректной экстраполяция будущего развития компании. Финансовый анализ должен быть направлен на будущее. Такую возможность может дать какая-либо система, обладающая возможностью прогнозирования показателей с определенной точностью. Поэтому была поставлена задача разработки действующей модели нейронной сети для прогнозирования финансовых показателей предприятия.

Обучить нейронную сеть – значит, сообщить ей, чего мы от нее добиваемся. Нейронная сеть может обучаться с учителем или без него. После многократного предъявления примеров веса нейронной сети стабилизируются, причем нейронная сеть дает правильные ответы на все (или почти все) примеры из базы данных. В таком случае говорят, что «нейронная сеть выучила все примеры», «нейронная сеть обучена», или «нейронная сеть натренирована». В программных реализациях можно видеть, что в процессе обучения величина ошибки (сумма квадратов ошибок по всем выходам) постепенно уменьшается. Когда величина ошибки достигает нуля или приемлемого малого уровня, тренировку останавливают, а полученную нейронную сеть считают натренированной и готовой к применению новых данных.

Для решения поставленной задачи необходимо из всего многообразия программных продуктов выбрать оптимальный инструмент. В настоящее время MATLAB является мощным и универсальным средством решения задач, возникающих в различных областях

человеческой деятельности. Данный продукт подходит для решения широкого спектра научных и прикладных задач, в таких областях как: моделирование объектов и разработка систем управления, проектирование коммуникационных систем, обработка сигналов и изображений, а также финансовое моделирование.

Пакет прикладных программ Neural Networks Tool содержит средства для построения нейронных сетей, базирующихся на поведении математического аналога нейрона. Пакет обеспечивает эффективную поддержку проектирования, обучения, анализа и моделирования множества известных типов сетей – от базовых моделей персептрона до самых современных ассоциативных и самоорганизующихся сетей. Данная среда предоставляет возможность создания нейронных сетей как уже по заранее существующим шаблонам. При этом пользователям будет необходимо определить количество входов и выходов сети, весовые коэффициенты, связывающие нейроны, функции активации и еще много различных параметров [3].

Преимущество пакета MATLAB состоит в том, что при его использовании пользователь не ограничен моделями нейронных сетей и их параметрами, жестко заложенными в нейросимуляторе, а имеет возможность самостоятельно сконструировать ту сеть, которую считает оптимальной для решения поставленной задачи. В пакете возможно конструирование сети любой сложности и нет необходимости привязываться к ограничениям, накладываемым нейросимулятором. Однако для работы с нейронными сетями в пакете Matlab необходимо изучить как саму среду, так и большинство функций Neural Network Toolbox.

Для каждого типа архитектуры и обучающих правил имеются М-функции инициализации, обучения, адаптации, создания, моделирования, отображения, оценки и демонстрации, а также примеры применения. Обеспечена возможность генерации переносимого кода с помощью пакета Real Time Workshop. Также система MATLAB Neural Network Toolbox предоставляет максимальные возможности настройки и контроля сети в процессе обучения, именно она оптимально подходит в качестве системы прогнозирования данных.

Таким образом, MATLAB – достаточно гибкий и наиболее подходящий инструмент, позволяющий заменить различные статистические программные продукты, и по-новому взглянуть на проблему кластеризации и прогнозирования финансового состояния предприятия.

Изучение возможности применения нейронных сетей в задачах прогнозирования данных дает возможность сказать, что искусственные нейронные сети могут применяться для осуществления прогнозов. Разработанные модели позволяют предприятиям иметь

возможность планировать значения финансовых показателей при анализе финансовой устойчивости на определенный период вперед.

В заключение следует сказать, что данная система, к сожалению, пока не сможет полностью заменить человека, так как при прогнозировании в отрыве от конкретной области не учитываются некоторые факторы, способные повлиять на качество прогноза, поэтому роль эксперта неопределима. Однако данная система позволит значительно снизить как временные и финансовые затраты, так и ускорить процесс анализа человеком финансового состояния предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бэстенс Д.-Э. Нейронные сети и финансовые рынки: принятие решения в торговых операциях: пер. с англ. С. В. Курочкина. – М.: ТВП, 1997. – 236 с.
2. Ежов А. А., Шумский С. А. Нейрокомпьютинг и его применение в экономике и бизнесе. – М.:МИФИ, 1998. – 222 с.
3. Дьяконов В. П. Matlab 6: учебный курс. – СПб.: Питер, 2001. – 592 с.

СЛУГИН А. Г., ЖУКОВ С. А., ШИШОВ О. В.

ПРОБЛЕМА КИБЕРУГРОЗ В ПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗАЦИИ

Аннотация. Рассматриваются причины возникновения возможности кибератак на промышленные объекты. Анализируются основные пути повышения промышленной сетевой безопасности.

Ключевые слова: промышленная автоматизация, контроллер, кибератака, политика безопасности, цифровая промышленная сеть.

SLUGIN A. G., ZHUKOV S. A., SHISHOV O. V.

THE PROBLEM OF CYBER THREATS IN INDUSTRIAL AUTOMATION SYSTEMS

Abstract. The article considers the reasons of cyberattacks on industrial facilities. In this connection, the main ways of industrial network security improvement are analyzed.

Keywords: industrial automation, controller, cyberattack, security policy, digital industrial network.

В IT-мире необходимость постоянной защиты от киберугроз ни у кого не вызывает споров. В настоящее время ее необходимость становится очевидной и в промышленных системах управления технологическим оборудованием. Так, успешная кибератака на промышленную систему может повлечь за собой производственные потери, урон системе безопасности и окружающей среде, кражу интеллектуальной собственности. Работая в безостановочном режиме, в жестко регламентированных условиях, промышленные сети, как правило обходят, большую часть политик безопасности и регламентов, действующих для информационных сетей.

В прошлом основной причиной защиты промышленного сегмента сети был человеческий фактор или сбой в сети. Соответственно, промышленное оборудование для автоматизации проектировалось без учета возможностей появления паразитного или неспециализированного сетевого трафика. Риск кибератак извне, особенно нацеленных на промышленные системы связи, практически не брался в расчет.

Еще не так давно системы управления использовали закрытые протоколы передачи данных и полевые шины, не связанные напрямую с информационной сетью предприятия и сетью Интернет. Таким образом, безопасность промышленной сети (сети технологической системы) обеспечивалась методом ее изоляции. За последние 10–20 лет наметилась тенденция миграции промышленных сетей с собственных технологий и стандартов на готовые коммерческие решения и технологии. Возрастает потребность в on-line доступе к

технологическим данным извне, что означает прямое соединение технологической сети с информационной сетью предприятия и сетью Интернет. Работа современной технологической сети требует постоянного удаленного доступа, обновления данных. В результате технологическая сеть предприятия не может быть больше изолирована от общей сети. Например, де-факто стандартом в технологических сетях связи становится Industrial Ethernet. Технологическое оборудование использует протоколы на базе IP, в том числе стандартные TCP/IP, UDP, наследуя все их слабые места. С возникновением необходимости взаимодействия систем производственно-технологического управления (SCADA/DMS) с ERP/MES-системами верхнего уровня изоляция промышленного контура сети стала невозможной. Кроме связи с корпоративной сетью, необходимо учитывать интерфейсы удаленного управления и USB-порты рабочих станций как возможные дополнительные пути проникновения вредоносного промышленного обеспечения.

Конечные устройства в технологической сети (контроллеры) проектировались с фокусом на максимальную надежность. Сегодня встроенные в них средства защиты от несанкционированного доступа по сети находятся на начальном уровне, недостаточном для защиты от современных киберугроз и требуют развития. При этом простое копирование методов обеспечения кибербезопасности из IT-сетей невозможно: архитектура, характер оборудования, типы трафика, внешняя среда и установленные регламенты существенно отличаются. Различаются и типы угроз. Появление специфического класса промышленного вредоносного программного обеспечения подразумевает специализированные методы и средства защиты. В этой связи важно использовать технологии и решения, предназначенные именно для промышленного сектора.

В настоящее время можно с уверенностью сказать, что возникло новое научное направление – промышленная сетевая безопасность. В этой связи было исследовано множество уязвимостей промышленных систем управления, исходных кодов вредоносного программного обеспечения.

Хорошим базисом для выработки политики безопасности специально для промышленных систем управления является серия стандартов для обеспечения кибербезопасности промышленных систем автоматизации и управления ANSI/ISA99. Стандарты описывают общую концепцию по обеспечению кибербезопасности, модели, отдельные элементы системы безопасности применительно к промышленным системам управления, они в свою очередь являются базовыми документами для стандарта IEC 62443 «Безопасность систем управления».

Стандарт IEC 62443 описывает способы повышения промышленной сетевой безопасности. Он относится к промышленной безопасности в общем, без привязки к какой-либо отрасли. Сегодня на рынке доступны разработанные в соответствии с этим стандартом промышленные межсетевые экраны, позволяющие организовывать безопасные зоны с ПЛК или OPC-серверами.

Отдельные отрасли тоже имеют свои собственные стандарты сетевой безопасности, например, стандарт NERC CIP предназначен для североамериканской энергетики. В отличие от стандарта IEC 62443, сертификация по которому является добровольной процедурой, NERC CIP обязателен в США.

Ряд корпораций не только разрабатывают стандарты безопасности, но и регламенты по ее обеспечению, систему сертификации персонала. Хотя политики безопасности в каждой организации свои, некоторые факторы в них должны быть упомянуты обязательно:

- удаленный доступ;
- портативные носители данных;
- установка обновлений и патчей;
- управление антивирусной защитой;
- замена оборудования и ПО;
- создание и восстановление резервных копий;
- действия в случае инцидентов.

Формирование защищенной технологической сети заключается в использовании принципа защиты в глубину. Согласно этому принципу защита сети передачи данных промышленного предприятия не ограничивается охраной периметра сети с помощью межсетевого экрана. Промышленная сеть должна быть сегментирована, а критически важные участки вынесены в безопасные зоны. Каждая зона должна быть защищена индивидуальным промышленным межсетевым экраном, что обеспечит максимальный уровень безопасности при сохранении необходимых коммуникаций между зонами. Особенность промышленных межсетевых экранов состоит в том, что они оптимизированы для промышленных протоколов MODBUS или OPC. Наличие тонких настроек для фильтрации специализированных протоколов связи позволяет ограничить доступ к критически важным сегментам сети.

Кроме технических решений по обеспечению кибербезопасности большое внимание должно уделяться организационным проблемам, в частности работе с персоналом. Персонал предприятия должен владеть средствами и регламентами информационной безопасности. Он должен быть ознакомлен с выработанными политиками, процедурами и

стандартами. Учитывая тот факт, что специалисты АСУ ТП имеют ограниченное понятие об обеспечении IT-безопасности промышленного сектора, важно донести значение этого вопроса, сформировав обязательную программу, которая реализуется на предприятии. Различные категории персонала должны быть ознакомлены с теми ролями, которые относятся к их зоне ответственности. К примеру, персонал можно разделить по категориям: посетители, подрядчики, операторы, инженеры, обслуживающий персонал, управленцы. Персонала первой категории (посетители) должен быть проинструктирован о том, какие действия разрешены и запрещены. На производственном участке, инженерный состав должен уметь обращаться со средствами обеспечения безопасности, управленцы обязаны знать алгоритмы действий при возникновении угроз безопасности систем АСУ ТП.

Сегодня главной проблемой в обеспечении кибербезопасности промышленных объектов в России даже при наличии соответствующих методик и средств является слабое понимание специалистами АСУ ТП критической важности внедрения этих средств. Владельцы критических объектов по разным причинам недооценивают информационные угрозы. Существует явный недостаток таких необходимых процедур, как информационный аудит, тестирование на проникновение, сканирование уязвимостей, тренинг персонала и т. д. В России пока нет обязательных стандартов промышленной кибербезопасности. Сейчас не существует единой, простой и понятной методики, в которой специалисту по информационной безопасности были бы предложены шаги, необходимые для обеспечения достаточного уровня защищенности своей АСУ ТП.

Кроме всего прочего свое негативное влияние оказывает существующая на сегодняшний момент сложная бюрократическая процедура внесения изменений в работу ответственных технологических узлов. Строгие регламенты и нормативные акты предприятия не позволяют вносить в уже сертифицированную систему какие-либо изменения даже в виде обновления операционной системы. А при приемке систем в программной методике испытаний для них часто отсутствует проверка встроенных свойств информационной безопасности. Да и сама безопасность, к сожалению, в основном сводится к ограничению доступа пользователя по паролю, который нередко хранится в открытом виде в базе данных самого приложения или на бумажке, приклеенной к монитору.

Если говорить об используемом в АСУ ТП вычислительном оборудовании, то, как правило, оно даже вводится в эксплуатацию с уже устаревшим внутренним исполняемым кодом. В то время как на сайте производителя находится свежая прошивка, в которой уже может быть закрыт ряд известных проблем с информационной безопасностью, их наличие

никто не проверяет даже на этапе развертывания системы просто потому, что этого никто не требует.

Нужно учитывать и то, что, автоматизацией технологических процессов, как правило, занимаются не сами предприятия, а сторонние фирмы-подрядчики, которые, в первую очередь, заинтересованы в реализации лишь функциональной составляющей проекта, поскольку это те самые свойства системы, за которые они получают деньги. В этой связи грамотная реализация функций информационной безопасности для них подразумевает лишние затраты. Таким образом, заказчик должен понимать необходимость обеспечения кибербезопасности, ставить перед подрядчиками соответствующие задачи и контролировать их выполнение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шишов О. В. Технические средства автоматизации и управления: учеб. пособие. – М.: ИНФРА-М, 2011. – 397 с.
2. Шишов О. В. Современные технологии промышленной автоматизации: учеб. пособие. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2009. – 276 с.
3. Шишов О. В. Современные технологии автоматизации: электрон. учеб. – Саранск: Мордов. ун-т., 2008. – ФГУП НТЦ «Информрегистр». Депозитарий электрон. изд. № 0320802194.
4. Шишов О. В. Конфигурирование, программирование и работа в сети базовых компонентов систем промышленной автоматизации: лаб. практикум. – Саранск: Изд. ИП Афанасьев В. С., 2014. – 160 с.
5. Шишов О. В., Бобров М. А. Общие проблемы оптимизации структур и ресурсов распределенных систем управления // Технические науки: тенденции, перспективы и технологии развития: Сб. науч. тр. междунар науч.-практич. конф. – Волгоград, 2014. – С. 14–15.

ЕВИШЕВ А. В.

**СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАВНОМЕРНОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ЗАПИРАЕМОГО НАПРЯЖЕНИЯ ПО ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО СОЕДИНЕННЫМ
СИЛОВЫМ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫМ ПРИБОРАМ**

Аннотация. В статье приведены математические зависимости, описывающие процессы, которые протекают в приборах вентильного плеча при их выключении. Рассмотрены подходы к определению значений параметров снабберных цепей. Сделаны выводы о недостатках существующих методик и показаны возможные пути их усовершенствования.

Ключевые слова: силовой полупроводниковый прибор, последовательное групповое соединение, переходный процесс, коммутационное перенапряжение, снабберная цепь.

EVISHEV A. V.

**ENSURING EQUAL DISTRIBUTION OF REVERSE VOLTAGE
ON SERIES-CONNECTED POWER SEMICONDUCTOR DEVICES**

Abstract. The article presents the mathematical relationships describing the processes that occur in valve shoulder devices when turned off. The approaches to defining snubber circuit parameters are considered. Conclusions are made on the shortcomings of the existing techniques. Some ways of their improvement are suggested.

Keywords: power semiconductor device, series connection, transient switching, overvoltage, snubber circuit.

Введение. Групповое последовательное соединение силовых полупроводниковых приборов (СПП) используется в том случае, когда напряжение, которое прикладывается к вентильному плечу, превышает напряжение класса отдельных приборов.

Основной задачей при последовательном соединении СПП является обеспечение равномерного распределения напряжения вентильного плеча по приборам группы. Поскольку значения основных параметров СПП, таких как ток утечки в состоянии низкой проводимости (СНП), барьерная емкость, время задержки и время включения тириستоров, время обратного восстановления и заряд обратного восстановления, имеют технологический разброс, то при последовательном групповом соединении требуется компенсировать различия в величинах данных параметров приборов.

Обзор существующих способов. Схема группового последовательного соединения трех тиристоров представлена на рисунке 1.

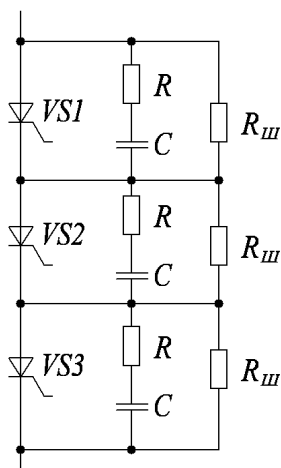


Рис. 1 Схема последовательного соединения тиристоров.

Метод, рассмотренный в [1], позволяет рассчитывать значения параметров устройств, обеспечивающих защиту СПП вентильного плеча при их выключении от различных перенапряжений.

В [1] рассматривается динамическое распределение напряжения по приборам последовательной группы при их выключении. На рисунке 2 представлены зависимости токов и напряжений на СПП вентильного плеча, состоящего из двух приборов с различными значениями Q_{rr} .

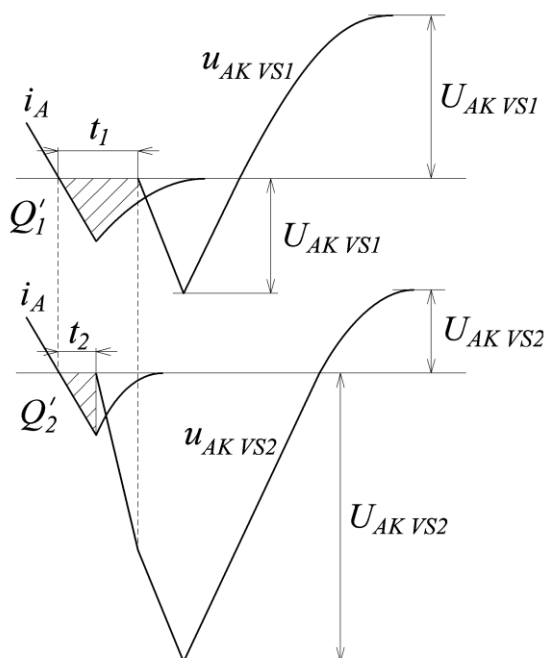


Рис. 2 Зависимости токов и напряжений на СПП вентильного плеча, состоящего из двух приборов с различными значениями Q_{rr} .

Вследствие наблюдаемого технологического разброса значений заряда обратного восстановления Q_{rr} отдельных приборов вентильного плеча, различаются величины их времени обратного восстановления t_{rr} , что приводит к неодновременному выключению СПП. При выключении СПП последовательной группы перенапряжение возникает на приборе с меньшим значением Q_{rr} , поскольку он выключается первым и к нему прикладывается напряжение вентильного плеча.

Из рисунка 2 видно, что накопленный заряд первого прибора Q_1' больше, чем заряд второго прибора Q_2' . На рисунке t_1 и t_2 – временной интервал между точками прохождения через нуль тока, протекающего через СПП, и напряжения на нем для первого и второго приборов, соответственно; i_A – ток, протекающий через вентильное плечо в состоянии высокой проводимости (СВП); $u_{AK\ VS1}$ и $u_{AK\ VS2}$ — напряжения на первом и втором приборах вентильного плеча, соответственно.

Рисунок 2 показывает, что при выключении второго прибора с меньшим значением Q_{rr} , начиная с момента перехода напряжения $u_{AK\ VS2}$ через нуль, к нему прикладывается общее напряжение вентильного плеча. В момент времени, соответствующий переходу напряжения $u_{AK\ VS1}$ через нуль, закрывается первый прибор с большим значением Q_{rr} , и общее напряжение начинает распределяться между двумя приборами группы.

Для расчета процессов, протекающих в вентильном плече, состоящего из двух приборов с различными значениями Q_{rr} , рассмотрена схема, представленная на рисунке 3.

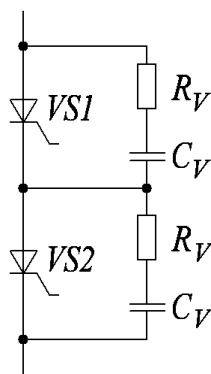


Рис. 3 Схема для расчета процессов, протекающих в вентильном плече, при выключении приборов с различными значениями Q_{rr} .

Рассмотрение процессов, протекающих в схеме (рисунок 3), позволяет определить разброс величин напряжений на отдельных приборах вентильного плеча в состоянии низкой проводимости при заданных значениях параметров снабберных цепей. Значения емкости снабберных конденсаторов C_V и сопротивления снабберного резистора R_V рассчитываются для всего вентильного плеча в соответствии с методом, описанным в [1]. Для расчета

необходимо знать амплитудное значение напряжения на контуре $U_K = U_M$, величины индуктивности контура коммутации L , и максимальные значения Q_{rr} , I_{rr} и t_{rr} полупроводникового прибора, определенные из справочных данных. Полученные в результате расчета значения C и R распределяются по n контурам последовательно соединенных СПП. Значения сопротивления снабберных резисторов R_V и емкости снабберных конденсаторов C_V для отдельных СПП вентильного плеча определяются следующим образом [1]:

$$R_V = \frac{1}{n} R; \quad C_V = nC, \quad (1)$$

где R_V и C_V — сопротивление и емкость делительного контура V -ого СПП.

Из рисунков 2 и 3 видно, что прибор VS1 имеет больший остаточный заряд Q_1' , вследствие чего смещается момент спада прямого напряжения на нем до нуля. Разность зарядов ΔQ_{rr} приборов заряжает конденсатор C_V , и на нем появляется напряжение ΔU_V , которое равно [1]:

$$\Delta U_V = \Delta Q_{rr} / C_V. \quad (2)$$

С учетом (2) получены выражения для полного напряжения на приборах VS1 и VS2 [1]:

$$U_{VS1} = \frac{1}{2} U_{AK}(t) + \frac{\Delta Q_{rr}}{C_V}; \quad (3)$$

$$U_{VS2} = \frac{1}{2} U_{AK}(t) - \frac{\Delta Q_{rr}}{C_V}. \quad (4)$$

По полученным выражениям (3) и (4) определяют значение максимально возможного отклонения напряжения ΔU_V на приборах вентильного плеча от среднего значения и величины напряжения на СПП. В том случае, если значение напряжения на СПП превышает требуемое значение, то увеличивают количество приборов в вентильном плече. С помощью осуществления данных операций метод, описанный в [1], предусматривает обеспечение равномерного распределения напряжения по СПП при их последовательном групповом соединении.

В [2] представлена формула для расчета значений емкости снабберных конденсаторов, обеспечивающих равномерное распределение напряжения по приборам последовательной группы в переходных режимах:

$$C \geq \frac{(n-1)\Delta Q_{rr}}{nU - E_K} 10^{-6}, \quad (5)$$

где n — число последовательно включенных приборов; ΔQ_{rr} — наибольшая возможная разность зарядов обратного восстановления приборов вентильного плеча; U — наибольшее допустимое напряжение на приборе; E_K — наибольшее напряжение, прикладываемое к вентильному плечу.

Формула (5) может быть использована для расчета значений емкости снабберных конденсаторов только в том случае, если возможно оценить с высокой точностью величину ΔQ_{rr} . В [2] отсутствует информация о том, каким образом следует проводить оценку значения ΔQ_{rr} , поэтому для точного расчета значений емкости снабберного конденсатора нельзя использовать данный метод [2].

Существуют методы определения значений емкости снабберного конденсатора, которые основаны на использовании при расчете справочных данных СПП. В [3] данная емкость рассчитывается по формуле:

$$C = (0,3 \div 0,6) \frac{Q_{rr}}{0,8U_{RRM}}, \quad (6)$$

где Q_{rr} – справочное значение заряда обратного восстановления приборов; U_{RRM} – справочное значение повторяющегося импульсного обратного напряжения приборов. Коэффициент, расположенный перед формулой (6), выбирается, исходя из значения скорости спада тока в СВП.

Выводы. Существующие методы [1–3] расчета значений параметров защитных снабберных цепей, обеспечивающих равномерное распределение напряжения по СПП при их последовательном групповом соединении, обладают рядом существенных недостатков.

1. При расчете значений параметров снабберных цепей используются справочные данные приборов, которые являются максимально возможными для данных СПП, поэтому значения емкости оказывается существенно завышенным [4].

2. Метод, рассмотренный в [1], предусматривает увеличение количества СПП в последовательной группе в том случае, если при использовании снабберных цепей с рассчитанными значениями параметров величины напряжения на отдельных приборах не удовлетворяют требуемым значениям. Это приводит к увеличению массогабаритных показателей УСЭ и неполному использованию приборов по мощности, что экономически невыгодно.

3. В методах, приведенных в [1–3], значения напряжений на СПП и величины емкости снабберных конденсаторов рассчитываются на основе информации о наибольшей возможной разности зарядов обратного восстановления приборов вентильного плеча ΔQ_{rr} . Однако данные методы, опираясь на справочные данные приборов, не описывают способов определения значения ΔQ_{rr} , что приводит к необъективности оценки величин емкости снабберных конденсаторов. Это приводит к неоправданному завышению этих величин, что увеличивает массу и габариты преобразователей [5; 6].

Для оптимизации значений параметров снабберных цепей необходимо:

- применять усовершенствованные методики отбраковки и подбора силовых

полупроводниковых приборов для группового последовательного соединения и определения значений параметров снабберных цепей [7–9];

– использовать для исследования процессов, протекающих вентильном плече, математические модели реальных СПП [10, 11], в которых существует возможность задавать значения параметров их полупроводниковой структуры ПС [11; 12];

– с помощью специальной испытательно-измерительной аппаратуры [13–21] определять реальные значения параметров каждого прибора и на основе полученных данных формировать их группы для последовательного соединения в преобразователях электрической энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамович М. И., Бабайлов В. М., Либер В. Е. Диоды и тиристоры в преобразовательных установках. – М.: Энергоатомиздат, 1992. – С. 215–235.

2. Чебовский О. Г., Моисеев Л. Г., Недошивин Р. П. Силовые полупроводниковые приборы: Справочник. – 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 400 с.

3. ЗАО «Протон-Электротекс» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://proton-electrotex.com/ru/articles/>.

4. Беспалов Н. Н., Капитонов С. С. Моделирование зависимости величины суммарной мощности потерь силовых полупроводниковых приборов в состоянии высокой проводимости от величин электрофизических параметров их полупроводниковой структуры // Технологии инновационных залуу судлаачдын нийгэмлэг. Эрдэм шинжилгээний бага хурлын эмхэтгэл «Khurel Togoot-2011. – Улан-Батор, 2011. – С. 178–180.

5. Беспалов Н. Н., Капитонов С. С. Исследование вариации величины заряда обратного восстановления силовых полупроводниковых приборов [Электронный ресурс] // Электроника и информационные технологии. – 2011. – Вып. 2 (11). – Режим доступа: http://fetmag.mrsu.ru/2011-2/pdf/reverse_recovery_charge.pdf. – 0421100067/0026.

6. Беспалов Н. Н., Капитонов С. С. Исследование температурной зависимости тока обратного восстановления силовых полупроводниковых приборов // XL Огаревские чтения: материалы науч. конф. в 3 ч: Ч. 2. – Саранск, 2012. – С. 234–238.

7. Беспалов Н. Н., Капитонов С. С. Выравнивание напряжений на последовательно распределенных силовых полупроводниковых приборах в состоянии низкой проводимости // Нелинейный мир. – 2011. – Вып. 8. – С. 500–506.

8. Беспалов Н. Н., Ильин М. В., Капитонов С. С., Лебедев С. В. Определение минимальных величин емкостей снабберных цепей для ограничения коммутационных перенапряжений на силовых полупроводниковых приборах при их выключении //

Естественные и технические науки. – 2011. – Вып. № 6. – С. 396–404.

9. Беспалов Н. Н., Ильин М. В., Капитонов С. С., Капитонова А. В. Методика подбора силовых полупроводниковых приборов для групповых последовательных цепей устройств силовой электроники // Научно-технический вестник Поволжья. 2014. – Вып. № 1. – С. 65–68.

10. Беспалов Н. Н., Ильин М. В., Капитонов С. С., Лебедев С. В. Разработка и исследование электротепловых моделей силовых полупроводниковых приборов основных типовых конструкций // Естественные и технические науки. – 2011. – № 6 – С. 405–412.

11. Беспалов Н. Н., Ильин М. В., Капитонов С. С., Лебедев С. В. Моделирование процессов в силовых полупроводниковых приборах при их групповом последовательном включении в среде Multisim // Электроника и электрооборудование транспорта. – 2012. – Вып. № 4. – С. 30–35.

12. Беспалов Н. Н., Капитонов С. С., Пьянзин И. И. Моделирование характеристик силовых полупроводниковых приборов в состоянии низкой проводимости [Электронный ресурс] // Электроника и информационные технологии. – 2010. – Вып. 2 (9). – Режим доступа: <http://fetmag.mrsu.ru/2010-2/pdf/LowConductivity.pdf> – 04201000067/0036.

13. Беспалов Н. Н., Ильин М. В., Капитонов С. С. Испытательная аппаратура для определения электрических и тепловых параметров и характеристик силовых полупроводниковых приборов [Электронный ресурс] // Электроника и информационные технологии. – 2012. – Вып. 1 (12). – Режим доступа: <http://fetmag.mrsu.ru/2012-1/pdf/Bespalov%20Ilin%20Kapitonov.pdf> – 04201200067/0004.

14. Беспалов Н. Н., Ильин М. В., Капитонов С. С. Аппаратно-программный комплекс для испытания и диагностики силовых полупроводниковых приборов // Труды VIII международной (XIX всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014 в 2-х томах: Т. 1. – С. 362–364.

15. Беспалов Н. Н., Лысенков А. Е., Ильин М. В., Капитонов С. С. Аппаратно-программный комплекс для испытания силовых МДП-транзисторов // Компьютерные измерительные технологии. Материалы I Международного симпозиума. – М: Общество с ограниченной ответственностью «ДМК пресс. Электронные книги». 2015. – Том 1. – С. 168–171.

16. Беспалов Н. Н., Ильин М. В., Капитонов С. С., Лысенков А. Е. Испытательное оборудование на базе технологий компании NATIONAL INSTRUMENTS для определения вольт-амперной характеристики силовых полупроводниковых приборов в состоянии высокой проводимости // Компьютерные измерительные технологии. Материалы I Международного симпозиума. – М: Общество с ограниченной ответственностью «ДМК пресс. Электронные

книги», 2015. – Том 1. – С. 97–100.

17. Беспалов Н. Н., Ильин М. В., Капитонов С. С., Матюшкин В. В. Генератор испытательных импульсов для диагностики силовых полупроводниковых приборов в состоянии низкой проводимости [Электронный ресурс] // Огарев-online. Раздел «Технические науки». – 2014. – № 3. – Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/arts/generator-ispytatelnykh-impulsov-dlya-diagnostiki-silovykh-poluprovodnikovyykh-priborov-v-sostoyanii-nizkojj-provodimosti>.

18. Беспалов Н. Н., Ильин М. В., Капитонов С. С., Смолин А. Н. Обзор устройств для измерения значений параметров и характеристик силовых полупроводниковых приборов в состоянии низкой проводимости [Электронный ресурс] // Огарев-online. Раздел «Технические науки». – 2014. – № 22. – Режим доступа: <http://journal.mrsu.ru/arts/obzor-ustrojstv-dlya-izmereniya-znachenijj-parametrov-i-kharakteristik-silovykh-poluprovodnikovyykh-priborov-v-sostoyanii-nizkojj-provodimosti>.

19. Беспалов Н. Н., Мускатынцев А. В. «АДИП»: Диагностика силовых полупроводниковых приборов // Силовая электроника. – 2004. – № 1. – С. 38–39.

20. Беспалов Н. Н., Попов А. А. Устройство для термостатирования полупроводниковых приборов при определении электрических и тепловых характеристик // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – № 2. – С. 112–115.

21. Беспалов Н. Н., Ильин М. В., Капитонов С. С., Попов А. А. Устройство термостатирования транзисторов при определении их характеристик // Компьютерные измерительные технологии. Материалы I Международного симпозиума. – М: Общество с ограниченной ответственностью «ДМК пресс. Электронные книги», 2015. – Том 1. – С. 100–103.