

ЛИТЕРАТУРА

1. Зиборов В.С., Ефремов В.П., Фортвов В.Е. Эффект ионизации во фронте слабой ударной волны, распространяющейся в инертном газе, разбавленном малой концентрацией $\text{Mo}(\text{CO})_6$ // Письма в ЖЭТФ, 20076 Т. 86, №3, с. 211-215.
2. Ziborov V.S., Efremov V.P., Shumova V.V., Fortov V.E. The structure of shock wave front in helium containing the small concentration of the heavy molecules $\text{Mo}(\text{CO})_6$ // ISIS -18, Proc., Rouen 2008 pp. 165-169
3. Зиборов В.С. Методы и техника исследования ударных волн и плазмы за ударными волнами // Энциклопедия низкотемпературной плазмы под ред. Колесникова В.Н., Москва, ЯНУС-К, 2006, стр.88-135
4. Kiefer J., in Shock Waves in Chemistry, Ed. by A. Lifshitz (Marcel Dekker, New York, 1981), p. 219

УДК 681.883.7

Д.А. Евсевичев, О.В. Максимова, С.М. Максимов
Ульяновский государственный технический университет

МЕТОДОЛОГИЯ СИНТЕЗА ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ИНДИКАТОРОВ

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы выбора и применения метода синтеза тонкопленочного электролюминесцентного индикатора. Авторским коллективом изучены методы параметрического синтеза и структурно-параметрического синтеза тонкопленочных электролюминесцентных индикаторов. Проведенное сравнение методов синтеза тонкопленочных электролюминесцентных индикаторов позволило выделить структурно-параметрический синтез как наиболее эффективный, благодаря простоте формализации и возможности поиска оптимального проектного решения с непосредственным оперированием в процессе поиска структурой и параметрами устройства.

Ключевые слова: тонкие пленки, электролюминесценция, индикатор, проектирование, синтез.

D. Evsevichev, O. Maksimova, S. Maksimov
Ulyanovsk State Technical University

THIN-FILM ELECTROLUMINESCENT INDICATORS SYNTHESIS METHODOLOGY

Abstract. This article discusses the selection and application of the thin-film electroluminescent indicator synthesis method. thin-film electroluminescent indicators parametric synthesis and structural-parametric synthesis methods were studied by the group of authors. A comparison of thin-film electroluminescent indicators synthesis methods allowed to identify structural and parametric synthesis as the most effective, due to the simplicity and the search formalizing possibility for the optimal design solution with direct device structure and parameters handling during the search.

Key words: thin films, electroluminescence, display, design, synthesis.

Важным элементом функционирования современных электронных устройств являются средства отображения информации, обеспечивающие ее представление в пригодном для зрительного восприятия виде. Рассмотрение разновидностей таких устройств позволяет выделить ряд классов средств отображения информации. Наиболее распространенным из этих классов является индикаторная техника благодаря удобству и скорости визуализации информации.

Сравнительный анализ перечисленных индикаторов [1] позволяет сделать вывод о том, что ТПЭЛ дисплеи превосходят по светотехническим характеристикам жидкокристаллические дисплеи, однако уступают OLED дисплеям, что, впрочем, компенсируется высокими конструкторско-технологическими параметрами (среднее время безотказной работы, диапазон рабочих температур, радиационная стойкость). Благодаря перечисленным достоинствам и высокому качеству изображения ТПЭЛ дисплеи находят широкое применение в средствах отображения информации и идеально подходят для применения в сложных условиях, когда приборы на основе других технологий не дают необходимых результатов. Электролюминесцентные дисплеи чаще всего применяются в оборудовании и системах, от которых требуются высокие качество изображения и надежность, а также длительный срок службы устройств. Такие особенности ТПЭЛ дисплеев обуславливают их применение прежде всего в военной, медицинской, морской и космической отраслях, где предъявляются жесткие требования к аппаратуре.

Процесс проектирования индикаторов заключается в принятии проектных решений, обеспечивающих выполнений разрабатываемым индикатором предъявляемых к нему требований.

Существующие методики разработки конструкций индикаторов

представляют собой приёмы и способы действий, используемые с целью достижения желаемого результата в процессе проектирования. Сложность процессов проектирования и нестандартность решаемых проектных ситуаций вызывают необходимость выбора метода, который обеспечивает требуемый уровень эффективности принятых решений. Наиболее полно отвечают предъявленным требованиям методы параметрического и структурно-параметрического синтеза, благодаря простоте их формализации и возможности поиска оптимального проектного решения с непосредственным оперированием в процессе поиска структурой и параметрами устройства.

Модели, используемые в параметрическом и структурно-параметрическом синтезе различаются по нескольким признакам, с учетом [3] (таблице 1).

Проанализировав представленную сравнительную таблицу, можно сделать вывод о том, что при параметрическом синтезе индикатора поиск проектного решения конструкции осуществляется в области допустимых значений параметров при сохранении структуры, в то время как при структурно-параметрическом синтезе индикатора поиск решения производится в пространстве структур и значений конструктивных параметров. Следовательно, при структурно-параметрическом синтезе можно смоделировать универсальную модель, описывающую класс ТПЭЛ индикаторов с различными структурными особенностями, то есть с заданием монохромности или полноцветности устройства и количеством и составом слоев. Универсальная модель обеспечивает ограничения на множество структур индикатора, на котором организуется поиск технического решения.

Таблица 1

Сравнение моделей для структурного и структурно-параметрического синтеза

Синтез	
Параметрический	Структурно-параметрический
Структура модели фиксирована и не изменяется в процессе синтеза	Структура модели заранее неизвестна и модель формируется автоматически
Изменяются только параметры (номиналы элементов). Поиск осуществляется в пространстве параметров	Изменяются как структура, так и параметры. Поиск осуществляется в пространстве структур и параметров
Размерность вектора параметров фиксирована	Размерность вектора параметров заранее неизвестна и может быть определена только после того, как будет определена структура

Методика проектирования ТПЭЛ индикатора может быть разработана при помощи анализа математического аппарата расчета его основных электрических и светотехнических характеристик и их взаимосвязи с типом и параметрами выбранной конструкции [1]. В общем случае, процесс проектирования ТПЭЛ индикатора выглядит следующим образом – используя заданные в техническом задании электрические характеристики можно разработать нелинейные математические модели, обеспечивающие расчет допустимых и оптимальных конструктивных параметров. Использование заданных светотехнических характеристик позволяет ограничить диапазон допустимых значений параметров и выбрать соответствующую конструкцию.

Процесс проектирования ТПЭЛ индикатора состоит из этапов разработки и анализа технического задания на проектируемый индикатор, структурного и параметрического синтеза, в результате выполнения которых определяются структура и конструктивные параметры индикатора, и анализа, при котором определяются основные функциональные характеристики индикатора, сравниваются с требованиями технического задания и в случае необходимости корректируется задача синтеза.

Такой подход к проектированию позволил разработать и сформулировать методы решения задач структурного синтеза, параметрического синтеза и анализа ТПЭЛ индикатора.

Первым этапом проектирования является селективный структурный синтез, заключающийся в поиске допустимых проектных решений и отсеиве структурных элементов по параметрам длины волны, пороговой напряженности и диэлектрической проницаемости люминофоров, электрической прочности и диэлектрической проницаемости диэлектриков. Для описания множества структурных решений были использованы морфологические И–ИЛИ деревья:

На рис. 2 в прямоугольниках (в вершинах) отображены способы включения и элементы ТПЭЛ индикаторов. Связь типа «И», обозначаемая сплошной линией, характеризует компоненты, которые обязательно войдут в проектируемый индикатор, связь типа «ИЛИ» (пунктирная линия), характеризует компоненты, в которых только один из набора вариантов войдет в проектируемый индикатор.

В процессе выполнения структурного синтеза ТПЭЛ индикатора формируется множество альтернатив конструкций индикаторного элемента. Итоговые конструкции ТПЭЛ индикаторов выбираются в параметрическом виде, т. е. без указания числовых значений параметров элементов.

Следующий этап – редуцированный параметрический синтез, позволяющий рассчитывать оптимальные конструкции ТПЭЛ структур с учетом требований, предъявляемых к проектируемому индикатору и на основе методов математического программирования.

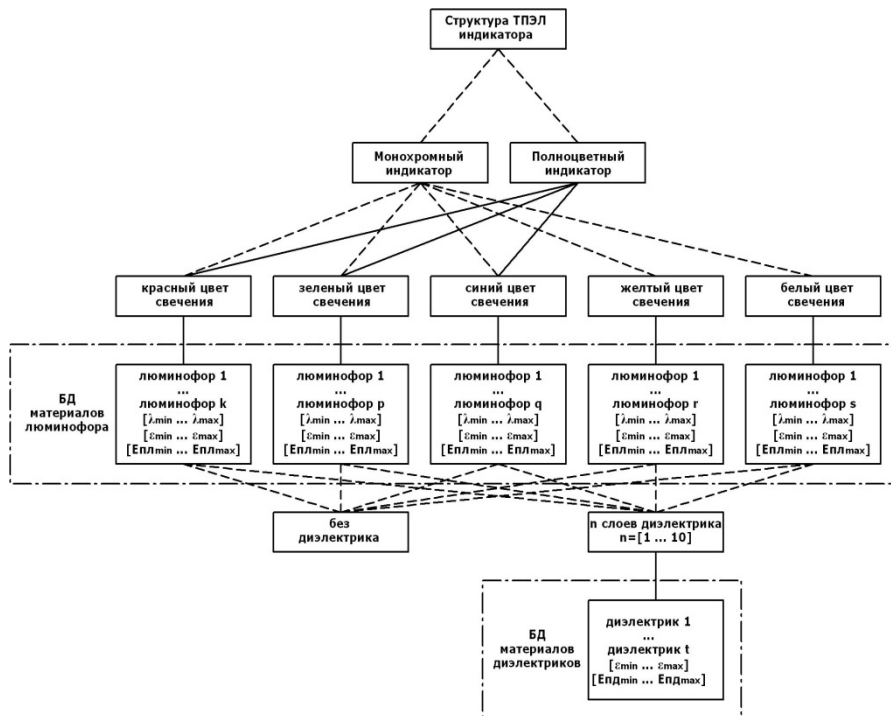


Рис. 2. Морфологическое И-ИЛИ дерево структуры ТПЭЛ индикатора

Основными требованиями, предъявляемыми к ТПЭЛ индикаторам, являются высокие электрические и светотехнические характеристики и параметры, а также их стабильность во времени [2].

Принятие лучшего решение означает выбор такой альтернативы из числа возможных, в которой с учетом всех разнообразных факторов будет оптимизирована общая эффективность структуры индикатора. Для ТПЭЛ индикаторов важнейшими характеристиками являются светотехнические и электрические. Такими функциями выступают зависимость максимальной яркости индикатора от толщины люминесцентного слоя и зависимость порогового напряжения от толщин люминесцентного и диэлектрических слоев [3]. Эти функции характеризуют такие параметры, как средняя мощность, средняя яркость, продолжительность свечения источника излучения.

Процесс решения задачи параметрического синтеза для полноцветных ТПЭЛ индикаторов, в структуру которых входит три слоя люминофора, аналогичен синтезу монохромного индикатора. Это объясняется особенностью структуры такого типа индикаторов (подробно рассмот-

ренных в первом разделе), каждый субпиксель которого является по сути самостоятельным монохромным ТПЭЛ индикатором. Ограничением, накладываемым на структуру такого типа индикаторов является необходимость реализации соответствующих люминесцентных и диэлектрических слоев одинаковой толщины. Причина такого ограничения является чисто технологической и связана с особенностями производства современных ТПЭЛ дисплеев.

Еще одним дополнительным этапом при проектировании ТПЭЛ индикаторов является этап анализа конструкций ТПЭЛ индикаторов.

Процедура квалиметрического анализа ТПЭЛ индикатора заключается в исследовании самого проектируемого индикатора и его описания, направленном на получение информации о его свойствах. Цель анализа – проверка работоспособности индикатора. Проектная процедура анализа ТПЭЛ индикатора позволяет проводить исследование свойств синтезированного варианта индикатора с использованием разработанных математических моделей [5]. На данном этапе происходит принятие проектного решения, то есть выбор варианта конструкции индикатора из сформированных на этапе синтеза альтернативных вариантов.

Решение задачи анализа ТПЭЛ индикатор включает расчет электрических характеристик и параметров (пороговое напряжение, максимальное рабочее напряжение, ток проводимости, средняя рассеиваемая мощность и др.) и светотехнических характеристик и параметров (максимальная и средняя яркость свечения, максимальная и средняя светоотдача и др.) при рассчитанных оптимальных конструктивных параметрах [6].

Процесс принятия проектного решения варианта конструкции ТПЭЛ индикатора носит итерационный характер. Коррекция спроектированной ТПЭЛ структуры выполняется при условии неудовлетворения синтезированного варианта проекта индикатора поставленным требованиям [7].

Решение представленных задач позволяет спроектировать оптимальную конструкцию ТПЭЛ индикатора и определить выполнимость технических условий на проектирование [8].

Представленные методы были использованы при разработке в среде Delphi 7 с использованием императивного, структурированного, объектно-ориентированного язык программирования Delphi системы автоматизированного проектирования ТПЭЛ индикаторов IDECSOft. Разработанная автоматизированная система представляет собой прикладное программное обеспечение, запускаемое из операционной системы Windows. Программа работает непосредственно с пользователем, устанавливая необходимые связи для проведения расчета.

Представленный программный продукт был зарегистрирован (свидетельство о регистрации программы для ЭВМ №2012617588 от 22.08.2012) и внедрен в учебный процесс на кафедре «Проектирование и технология электронных средств» Ульяновского государственного тех-

нического университета и на производстве в ОАО «Ульяновское конструкторское бюро приборостроения». Исследования показали высокую точность программы при расчете светотехнических и электрических характеристик при проектировании ТПЭЛ индикатора и её эффективность при расчете оптимальной конструкции индикатора.

Представленные методы и разработанный на их основе программный продукт обеспечивают автоматизацию конструкторского проектирования ТПЭЛ индикаторов. Полученные в результате выполнения данной работы выводы и результаты могут быть использованы в лабораториях и конструкторских бюро, занимающихся проектированием и исследованием электролюминесцентных источников излучения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евсевичев, Д.А. Методы и средства структурно-параметрического синтеза тонкопленочных электролюминесцентных индикаторов в автоматизированном проектировании / Д.А. Евсевичев, О.В. Максимова; под редакцией профессора М.К. Самохвалова. – Ульяновск : УлГТУ, 2014. – 92 с.
2. Максимова, О.В. Анализ процессов проектирования и технологии наноструктурированных тонкопленочных электролюминесцентных индикаторных устройств / О.В. Максимова, М.К. Самохвалов, С.М. Максимов // Вестник Московского государственного областного университета, серия «Физика и математика», – М.: МГОУ, 2013 г. – №3. – С.74-78.
3. Максимова, О.В. САПР тонкопленочных электролюминесцентных индикаторов / О.В. Максимова, Д.А. Евсевичев // Вестник Московского государственного областного университета, серия «Физика и математика», – М.: МГОУ, 2012 г. – №2. – С.131-135.
4. Акимов, С.В. Компьютерные модели для автоматизированного структурно-параметрического синтеза / С.В. Акимов // Компьютерное моделирование 2004: Труды 5-й международной конференции. Часть 1 – СПб.: Нестор, 2004, – С. 191-197.
5. Максимова, О.В. Математическое обеспечение САПР тонкопленочных электролюминесцентных индикаторов при решении задач синтеза конструкций / О.В. Максимова, М.К. Самохвалов // Вестник Московского государственного областного университета, серия «Физика и математика», – М.: МГОУ, 2012 г. – №1. – С.77-85.
6. Evsevichev, D. The CAD System of the Thin Film Electroluminescent Display : collection of scientific papers / D. Evsevichev, O. Maksimova, M. Samokhvalov // The 11th International Meeting on Information Display (IMID 2011). – KINTEX, Seoul, Korea, 2011. – P. 768-769.
7. Максимова, О.В. Задачи автоматизации моделирования яркости и светоотдачи тонкопленочных электролюминесцентных конденсато-

- ров / М.К. Самохвалов, С.М. Максимов // Автоматизация процессов управления. – Ульяновск.: НПО "Марс". – 2(36). – 2014. – С. 98-105.
8. Максимова, О.В. Разработка средств автоматизации конструирования тонкопленочных электролюминесцентных индикаторов / О.В. Максимова, Д.А. Евсевичев, М.К. Самохвалов, С.М. Максимов // Актуальные проблемы электронного приборостроения АПЭП-2014: Материалы 11 международной научно-технической конференции, г. Саратов, 25-26 сентября, 2014 г. – Саратов: ООО «Буква», – С. 66-71.

УДК 533.9 (075.8)

Б.М. Маркеев

Московский государственный областной университет

КВАЗИЛИНЕЙНАЯ ТЕОРИЯ СТОЛКНОВИТЕЛЬНОЙ ПЛАЗМЫ В СЛАБОМ СВЧ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Аннотация. В работе, используя усреднение по хаотическим фазам, обосновано квазилинейное кинетическое уравнение для неустойчивой, слабоионизованной, неизотермической плазмы, помещенной в СВЧ электрическое поле. Столкновения учитываются посредством интеграла столкновений Больцмана.

Ключевые слова: квазилинейное кинетическое уравнение, интеграл столкновений Больцмана, СВЧ электрическое поле.

B. Markeev

Moscow State Regional University

QUASILINEAR THEORY OF COLLISIONAL PLASMA IN A WEAK MICROWAVE ELECTRIC FIELD

Abstract. In this paper, using the average over the random phases justified quasi-linear kinetic equation for unstable and weakly ionized, non-isothermal plasma placed in a microwave electric field. Collisions accounted for by the Boltzmann collision integral.

Keywords: quasi-linear kinetic equation of the Boltzmann collision integral, microwave electric field.

Рассмотрим пространственно изотропную плазму, помещенную в однородное электрическое поле $\vec{E}(t) = E_0 \sin \omega_0 t$. Поле считается слабым, так скорость осцилляции электронов мала по сравнению с их тепловой