

# НАУЧНАЯ ЖИЗНЬ

---

УДК 681.883.7

*Максимова О.В., Максимов С.М.*

Ульяновский государственный технический университет

## РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТОНКОПЛЕНОЧНЫХ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ КОНДЕНСАТОРОВ

**Аннотация:** Исследование тонкопленочных электролюминесцентных индикаторов является актуальной задачей, особенно при проектировании средств отображения информации для техники специального назначения. Особый интерес представляет исследование светотехнических характеристик. В данной работе рассмотрен один из способов определения яркости, на основе применения вычислительных средств. В настоящий момент тонкопленочные электролюминесцентные индикаторы являются наиболее перспективными в рамках специализированной техники, в виду высокой яркости, надёжности, широкого угла обзора и быстродействия. Для определения параметров тонкопленочных структур, а так же их характеристик, используют различные системы уравнений. Оценивать получаемую яркость, а так же конструкторские параметры оказывающие влияние на результат, является важной задачей при проектировании новых изделий.

**Ключевые слова:** Индикатор, яркость, светоотдача, электролюминесценция, численные методы, моделирование.

*O. Maksimova, S. Maksimov*

*Ulyanovsk State Technical University (Ulyanovsk, Russia)*

## DEVELOPMENT OF METHODS FOR MODELING LIGHT CHARACTERISTICS OF THIN-FILM ELECTROLUMINESCENT CAPACITORS

**Abstract.** For the design of display products for technique of special purpose thin-film electroluminescent investigation of indicators is an important task. Of particular interest is

---

© Максимова О.В., Максимов С.М., 2015 г.

*investigation of lighting characteristics. In this paper we consider one of the ways to determine the brightness based on the use of computational tools. Currently thin-film electroluminescent indicators are the most promising, since high brightness, reliability, wide viewing angle and speed. For determining the parameters of thin-film structures that have used different systems of equations. Evaluate the resulting brightness, as well as design parameters influencing the result is an important task in the design of new products.*

**Key words:** Indicator, brightness, luminous efficiency, electroluminescence, numerical methods, modeling.

Одной из важнейших задач при проектировании современной специальной техники является разработка средств отображения информации с оптимальными техническими и эргономическими характеристиками. В настоящее время к эксплуатационным параметрам индикаторной техники предъявляют все более жесткие требования.

Тонкопленочные электролюминесцентные индикаторы обладают рядом преимуществ по сравнению с другими типами плоских излучателей: высокой яркостью и светоотдачей, большим углом обзора, высокой разрешающей способностью и пространственной однородностью изображения, малой потребляемой мощностью, быстродействием, относительной простотой изготовления и др. В связи с этим они рассматриваются в качестве перспективных активных светоизлучающих устройств.

За последние годы были получены значительные результаты в исследовании индикаторных устройств на основе тонкопленочных электролюминесцентных конденсаторов.

В ранних работах авторов были исследованы процессы, протекающие в тонкопленочных электролюминесцентных конденсаторах. Исследования проведены для треугольной, трапецидальной, синусоидальной и прямоугольной форм напряжения в случае периодического знакопеременного симметричного возбуждения. Были получены аналитические уравнения, описывающие электрические характеристики. Но вместе с тем анализ зависимости светотехнических характеристик, таких как яркость и светоотдача, при различных условиях возбуждения и формах напряжения не проводился.

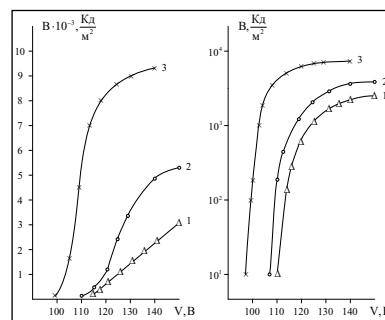
Для проектирования тонкопленочных электролюминесцентных индикаторов и устройств на их основе с заданными характеристиками особый интерес представляет математическое моделирование зависимости

светотехнических характеристик от условий возбуждения и форм напряжения. Задача эта является актуальной в связи с тем, что яркость и светоотдача являются основными характеристиками для пользователей тонкопленочных электролюминесцентных средств отображения информации.

На предыдущих этапах исследования была проанализирована основная характеристика электролюминесцентных источников света - зависимость яркости излучения от приложенного напряжения (вольт - яркостная характеристика) [2]. На рисунке 1 представлена типичная вольт - яркостная характеристика тонкопленочной электролюминесцентной структуры на основе сульфида цинка, легированного марганцем [3].

Вольт - яркостная характеристика тонкопленочных излучателей имеет пороговый характер. При превышении некоторого значения напряжения происходит рост яркости.

Были исследованы свойства материалов люминофоров, а именно, пороговая напряженность электрического поля, которая определяет значение величины порогового напряжения, а также величина и соотношение емкостей люминесцентного и диэлектрического слоев. Значение пороговой напряженности электрического поля в слоях люминофора, изолированных от слоев металлизации, осуществляется механизмом генерации свободных носителей заряда  $10^5 \sim 10^6 \text{ В/см}$  [3].



*Рис. 1. Вольт-яркостная характеристика тонкопленочного электролюминесцентного конденсатора в линейных и полулогарифмических координатах  
(f=1 кГц (1); 5 кГц (2) и 20 кГц (3)).*

В ранних работах по данной тематике была установлена и проанализирована зависимость величины максимальной яркости тонкопленочных электролюминесцентных структур от свойств люминофора и конструктивных параметров светоизлучающего конденсатора. Было установлено [2] что с увеличением приложенного напряжения для вольт – яркостных характеристик происходит насыщение яркости. При увеличении частоты знакопеременного возбуждающего напряжения, насыщение можно наблюдать при меньших его значениях и величина максимальной яркости увеличивается. Все вышеуказанные наблюдения проводились для тонкопленочных электролюминесцентных структур на основе сульфида цинка, легированного марганцем. Полученное экспериментальным путем значение максимальной яркости для таких структур составляет  $3,4 \cdot 10^4$  кд/м<sup>2</sup>.

Спектр излучения тонкопленочных электролюминесцентных структур, так же как у порошковых конструкций зависит от материала люминесцентного слоя, характера и количества активаторных центров свечения, порядка возбуждения электролюминесценции. При выборе активаторной примеси желательно, чтобы она образовывала центры свечения, излучающие в видимом диапазоне, обладающие высокой эффективностью свечения, хорошо растворяющиеся в материале основы и изовалентные или нейтральные по отношению к основному веществу. Перспективными светотехническими и спектральными характеристиками обладают структуры, в которых в качестве люминесцентного слоя использован сульфид цинка, легированный марганцем или фторидами редкоземельных элементов, где люминесценция носит внутрицентровой характер.

Из таблицы 1 и исследований [1] видно, что параметры люминофоров тонкопленочных электролюминесцентных излучателей зависят от различных факторов, таких как условие возбуждения (амплитуда и форма напряжения, подаваемого на структуру, его частота), характеристик материала образцов и т. д.

Был сделан положительный вывод о показателях надежности тонкопленочных электролюминесцентных конденсаторов. Так яркость деградирует менее чем на 25 % спустя десять лет непрерывной эксплуатации.

Средства отображения информации на базе таких индикаторов обладают минимальной зрительной нагрузкой.

Таблица 1.

## Параметры ТПЭЛ конденсаторов

Цвет свечения	Состав люминофора	Максимум спектра, лм/нм	Максимальная яркость, кд/м <sup>2</sup>	Условия возбуждения	Максимальная светоотдача, лм/Вт
Красный	ZnS:SmF3	650	1000 14	5 кГц 60 Гц	0,08 0,1
	ZnS:SmP	-	14	60 кГц	-
	CaS:Eu	650	450	5 кГц	-
Желтый	ZnS:Mn	- 585 590 585	9000 10000 34000 10000	- 5 кГц 5 кГц 10 кГц	8-10 3-6 8 3,5
	ZnS:Dy2F <sub>3</sub>	570	445	5 кГц	0,05
	ZnS:TbF3	542	10000 100	- 60 Гц	0,4 -
	ZnS:Eu	525 550-0,4 665-0,1	495	5 кГц	0,04
	CaS:Ce	-	650	5 кГц	-
Синий	SrS:Ce	475 520-550	1300	5 кГц	-
	SrS:CeF3	470	1600 144	5 кГц 1 кГц	- 0,15
	ZnS:TmF3	800-0,5 476	- 10	- 5 кГц	- 0,003
Белый	SrS:Pr,Ce	490 660	950 950	1 кГц 1 кГц	-
	SrS:Ce/Ca S:Eu	-	1400	5 кГц	-
	SrS:Ce/Zn S:Mn	-	110	-	-
	ZnS,PrF3	-	342	5 кГц	0,03

Эффективность процессов преобразования электрической энергии в световое излучение характеризуется коэффициентом светоотдачи тонкопленочного электролюминесцентного излучателя, определяемого как отношение излучаемого светового потока к потребляемой активной мощности [2]:

$$\eta = L / P \quad (1)$$

Значение светоотдачи зависит от конструктивных параметров материалов люминесцентных и диэлектрических слоев, амплитуды, частоты и формы возбуждающего напряжения. В результате проведенных исследований был произведен автоматизированный подбор комбинаций пятислойных структур тонкопленочных электролюминесцентных конденсаторов с оптимальными значениями светоотдачи, для этого на этапах разработки автоматизированной системы научных исследований характеристики тонкопленочных электролюминесцентных конденсаторов были детально изучены физические процессы, лежащие в основе преобразования энергии в тонкопленочных структурах [2, 6, 7].

Прикладной характер результатов математического моделирования яркости и светоотдачи заключается в разработке математического обеспечения систем автоматизации проектирования (САПР) тонкопленочных электролюминесцентных конденсаторов и комплексов программ автоматизации расчетов их основных светотехнических параметров.

Для прямого ударного возбуждения было получено уравнение изменения плотности возбуждённых центров свечения в плёнке люминофора [2]. Для решения этого уравнения используют различные приближения. Так решение разбивается на несколько частных случаев: когда ток люминофора равен нулю, а яркость имеет отличное от нуля значение, в начальный момент времени, и в случае максимальной яркости. Методы приближения позволяют значительно упростить решение уравнения, однако несколько частных случаев приводят к неточностям в построении зависимостей. Так же нельзя забывать, что все уравнения являются аппроксимацией реальных процессов, и вносить дополнительную погрешность нецелесообразно [4]. Все эти ограничения влекут

к значительной погрешности результатов моделирования. Поэтому для решения данного уравнения предлагается использовать другие методы, например, решение с помощью математического моделирования с использованием САПР и найти зависимость яркости от времени излучения.

В случае применения математических САПР достоинством является их универсальность и гибкость расчёта, так как позволяет вносить корректизы в системы уравнений участвующих в расчёте, в то время как готовый программный модуль, может быть изменён только программистом, с большими затратами времени. Так же к достоинству можно отнести наглядность, так как все зависимости видны пользователю, у программного модуля должна быть соответствующая программа. С другой стороны математические САПР имеют ряд ограничений: они ограничены заложенными алгоритмами решения, имеют ограничения по сложности решаемых уравнений. Однако ввиду их гибкости и быстроты решения уравнения, они являются наиболее оптимальным вариантом для решения уравнения. В случае, когда решение не может быть найдено САПР или не является объективным, применяют специальный программный модуль [5].

Комбинированный подход, позволяет в некоторых случаях, решить сложные уравнения в автоматизированных системах математического моделирования, путём математических упрощений, понятных человеку, но не понятных машине, ввиду того что она ограничена алгоритмом заложенным в неё, и не обладает аналитическим походом. В комбинированном подходе существует проблема формализации задачи анализа характеристик яркости и светоотдачи.

На основе проведенных исследований было предложено создать собственный программный модуль для решения вышеуказанной задачи. Предлагается следующая аналитическая последовательность этапов алгоритмизации. Используя метод численного интегрирования, в случае сходимости задачи до второго знака, найти решение. В качестве изменяемого параметра берется время с шагом в 0,25 с. на время заданное пользователем. В случае если задача не сошлась, вывести пользователю сообщение о не сходимости. В качестве начального значения взять рассчитанное значение

яркости в начальный момент времени или случай максимальной яркости. Решить данное уравнение методом Эйлера, сравнить результаты, если они были получены. Вывести пользователю данные о результатах расчётов. Построить графики зависимости яркости от времени, полученные двумя способами, в течение заданного пользователем времени.

В результате работы были рассмотрены варианты решений задачи нахождения зависимости яркости свечения тонкопленочного электролюминесцентного конденсатора от времени. Была предложена последовательность этапов алгоритмизации для нахождения зависимости яркости от времени. Что позволит в будущем создать программный модуль, моделирующий в автоматизированном режиме вольт-яркостную зависимость с учетом времени излучения.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Электролюминесцентные источники света. / И.К. Верещагин и др. М.: Энергоатомиздат, 1990. 168 с.
2. Максимова О.В., Самохвалов М.К. Разработка методов анализа и синтеза тонкопленочных электролюминесцентных элементов в индикаторных устройствах. Ульяновск: УлГТУ, 2010. 101 с.
3. Максимова О.В., Максимов С.М., Самохвалов М.К. Задачи автоматизации моделирования яркости и светоотдачи тонкопленочных электролюминесцентных конденсаторов. // Автоматизация процессов управления. 2014. 2(36). С. 98–105.
4. Максимова О.В., Евсевич Д.А. САПР тонкопленочных электролюминесцентных индикаторов // Вестник Московского государственного областного университета. Серия «Физика и математика». 2012. № 2. С. 131–135.
5. Максимова О.В., Евсевич Д.А., Самохвалов М.К. Автоматизированная система технологической подготовки производства тонкопленочных электролюминесцентных индикаторных устройств TFEL DDS // Автоматизация в промышленности. 2013. № 9. С. 39–42.
6. Самохвалов, М.К. тонкопленочные электролюминесцентные источники излучения. Ульяновск: УлГТУ, 1999. 117 с.
7. Самохвалов, М.К. Конструкции и технология тонкопленочных электролюминесцентных индикаторов. Ульяновск: УлГТУ, 1997. 56 с.