

НОВЫЕ РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ И ЭЛЕМЕНТЫ

УДК 621.383.8

ДАТЧИК ОПТИЧЕСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНОЙ ПАНЕЛИ

© 2021 г. А. М. Кабышев^а, М. П. Маслаков^а, В. В. Урумов^{а, б}, И. Н. Гончаров^{а, б, *}

^аСеверо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет),
ул. Николаева, 44, Владикавказ, 362021 Российская Федерация

^бСеверо-Осетинский государственный университет им. К.Л. Хетагурова,
ул. Ватутина, 44-46, Владикавказ, 362025 Российская Федерация

*E-mail: goncharov-scgtn@mail.ru

Поступила в редакцию 06.03.2020 г.

После доработки 06.03.2020 г.

Принята к публикации 21.10.2020 г.

Рассмотрена возможность применения электролюминесцентных панелей в качестве датчиков оптического излучения. Отмечено наличие у них фотоэлектрического эффекта. Показаны осциллограммы тока и напряжения электролюминесцентной панели. Получены зависимости величины электрической емкости электролюминесцентных панелей от уровня внешней освещенности. Разработана структурная схема системы, предназначенной для управления электролюминесцентной панелью, как датчиком излучения.

DOI: 10.31857/S0033849421030086

Электролюминесцентная панель (ЭЛП) представляет собой источник равномерного оптического излучения большой площади, способный генерировать световую энергию, длина волны которой зависит от вида люминофора, а также от величины, частоты и формы тока, подаваемого на структуру. Такие генераторы излучения находят применение в устройствах отображения информации, используются для подсветки панелей приборов транспортных средств, а также для сигнального и аварийного освещения [1].

Электролюминесцентные панели характеризуются составом применяемых материалов и пространственным расположением рабочих слоев (см. рис. 1) [2]. Основным материалом для синтеза электролюминофоров, применяемых в ЭЛП, является ZnS, легированный активатором медью (люминофоры голубого и зеленого цветов свечения), марганцем (оранжево-желтое свечение). Люминесценция в красной области спектра получается при использовании в качестве основы люминофора полупроводниковых твердых растворов $Zn_{1-x}Cd_xS$ и $ZnS_{1-x}Se_x$. Очевидно, что возможно комплексное использование активаторов. Цвет свечения ЭЛП в целом также зависит от частоты питающего напряжения, что объясняется перераспределением энергии возбуждения между центрами люминесценции различного типа, например, между центрами голубого и зеленого свечения, образуемых разными активаторами, характе-

ризуемыми различной энергетикой возбуждения и рекомбинации.

В состав люминесцирующего и диэлектрического слоев входит материал с высокой относительной диэлектрической проницаемостью (более 1000) – титанат бария, обладающий фотоэлектрическими свойствами. Вследствие этого, ЭЛП в целом способна изменять свои диэлектрические характеристики, например, емкость под действием внешнего оптического излучения. Электролюминофор, входящий в состав люминесцирующего слоя, излучает фотоны под влиянием переменного электрического поля высо-

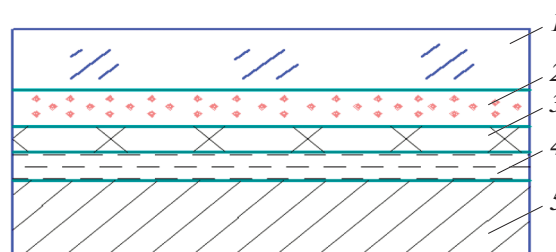


Рис. 1. Конструкция ЭЛП; 1 – лавсановая пленка; 2 – прозрачный проводящий слой ITO (10% SnO + 90% In_2O_3); 3 – люминесцентный слой (суспензия люминофор + диэлектрическое связующее в весовой пропорции 2 : 1); 4 – диэлектрический слой (порошок $BaTiO_3$ + диэлектрическое связующее в весовой пропорции 2.5 : 1); 5 – непрозрачный электрод.

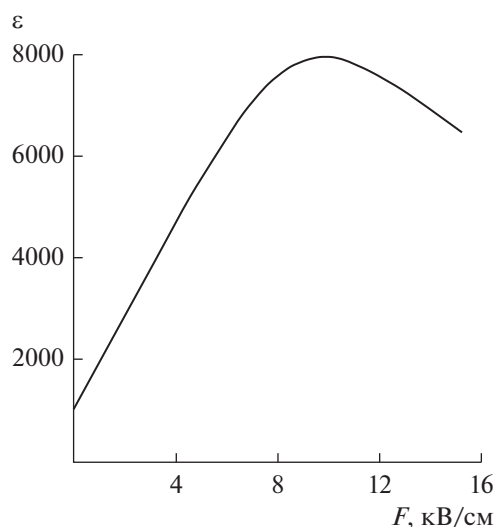


Рис. 2. Влияние напряженности поля на диэлектрическую проницаемость BaTiO₃.

кой напряженности, поэтому для возбуждения свечения ЭПЛ требуется соответствующий источник питания переменного напряжения с амплитудой порядка 140 В и частотой около 1 кГц [3].

Яркость свечения ЭЛП, оптимальный температурный режим работы и долговечность в значительной степени обусловлены формой и величиной, протекающего через панель тока. При возбуждении переменным напряжением, люминофор ЭЛП излучает кванты света в течение обоих его полупериодов.

В состав люминесцентного слоя входят люминофор и полимерный диэлектрик, выполняющий функции связующего материала. Диэлектрик люминесцентного слоя создает барьерные области, и тем самым, концентрирует электрическое поле на границах зерен люминофора. Данный материал должен быть прозрачным для видимого света, а также обладать хорошей адгезией к соседним слоям и достаточным уровнем пробивного напряжения, химической инертностью по отношению к люминофору, стабильностью электрофизических и оптических характеристик. Связующее, образующее слой 4, (рис. 1), должно обладать высокой диэлектрической проницаемостью ϵ и малыми диэлектрическими потерями $\text{tg}\delta$. Для этого, как отмечалось ранее, в его состав вводится до 40% сегнетоэлектрика — титаната бария.

Удельное сопротивление люминесцирующего слоя 3 в невозбужденном состоянии высокое и достигает 10^{10} Ом см. В сильном электрическом поле ($E = 10^6$ В/см), необходимом для возбуждения люминофора, активное сопротивление люминесцентного слоя существенно снижается и тогда емкостью этого слоя можно пренебречь. Таким образом, эквивалентная схема ЭЛП при работе в сильных электрических полях может быть представлена в виде

последовательной электрической цепи, состоящей из активного сопротивления (электродов и люминесцентного слоя) и электрического конденсатора образованного диэлектрическим слоем пластины ($C_{\text{диэл 1}}$), параллельно которому включено активное сопротивление, учитывающее проводимость BaTiO₃ [1, 4].

На рис. 2 представлена характеристика BaTiO₃, с учетом которой следует выбирать толщину панели и величину питающего напряжения. Например, при температуре окружающей среды 22°C, максимум ϵ достигается при напряженности поля F около 10 кВ/см. Расчеты показывают, что при суммарной толщине люминесцентного и диэлектрического слоев панели в 100 мкм, напряжение питания ЭЛП, обеспечивающее максимальное значение ϵ , должно быть равно порядка 100 В.

С ростом частоты f напряжения питания ЭЛП, значение $\text{tg}\delta$ диэлектрического слоя, в состав которого входит BaTiO₃, уменьшается. Диэлектрические потери достигают минимума при $10^3 \dots 10^4$ Гц. При дальнейшем повышении частоты происходит увеличение значений $\text{tg}\delta$. Таким образом, для улучшения эксплуатационных параметров ЭЛП, источник питания панели должен формировать переменное напряжение величиной около 100 В с частотой 1000 Гц. Установлено, что на яркость свечения и температурный режим работы панели значительное влияние также оказывает форма тока, протекающего через ЭЛП [3].

Для источника питания, ЭЛП представляет собой нагрузку, в которой преобладает емкостная составляющая. Осциллограммы напряжения на ЭЛП и протекающего через панель тока, показаны на рис. 3. Видно, что протекающий через ЭЛП ток I опережает по фазе напряжение U , это говорит о емкостном характере сопротивления ЭЛП. Зная значения действующих значений напряжения U и тока I , их частоту f и пренебрегая величинами активных сопротивлений эквивалентной схемы ЭЛП, можно определить электрическую емкость панели, воспользовавшись следующим выражением:

$$C = \frac{I}{2\pi f U}. \quad (1)$$

На величину электроемкости ЭЛП, также оказывает влияние величина освещенности внешним источником света.

На рис. 4 показаны зависимости емкости C ЭЛП формата А3 (297 × 420 мм) и А4 (210 × 297 мм) от величины освещенности панелей внешним источником рассеянного света. Видно, что на величину электрической емкости структуры ЭЛП оказывает влияние площадь поверхности панели и величина освещенности. При увеличении уровня освещенности растет относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрического слоя ЭЛП, со-

держашего титанат бария, что приводит к увеличению емкости панели в соответствии с уравнением:

$$c = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}, \quad (2)$$

где $\epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12}$ Ф/м — диэлектрическая проницаемость вакуума; ϵ — относительная диэлектрическая проницаемость диэлектрического слоя ЭЛП; S — площадь поверхности ЭЛП; d — суммарная толщина слоев 3 и 4 структуры (см. рис. 1).

Наиболее значительное изменение электрической емкости происходит в диапазоне изменения освещенности от 0 до 150 лк. Таким образом, наличие у электролюминесцентной панели фотодиэлектрического эффекта позволяет использовать ЭЛП как датчик оптического излучения, работа которого основана на изменении величины емкости структуры при варьировании внешней освещенности.

На рис. 5 в качестве примера использования ЭЛП в данном качестве, показана схема генератора прямоугольных импульсов, у которого в состав времязадающей цепи входит электролюминесцентная панель. Генератор выполнен на основе логических элементов “НЕ” (DD1 — DD3). Диод VD1 и резисторы $R1$, $R2$ задают величину скважности прямоугольных импульсов:

$$Q = T/t_{\text{и}}, \quad (3)$$

где T — период; $t_{\text{и}}$ — длительность импульсов на выходе генератора.

Длительности импульсов и периода зависят от величины электрической емкости $C1$ ЭЛП и могут быть определены из выражений:

$$t_{\text{и}} = 0.7C1R1R2/(R1 + R2), \quad (4)$$

$$T = t_{\text{и}} + 0.7C1R2. \quad (5)$$

На рис. 6 показаны осциллограммы импульсов на выходе генератора, полученные при следующих уровнях освещенности ЭЛП: $E = 0$ лк и $E = 100$ лк. Из осциллограмм видно, что при увеличении освещенности уменьшается частота и увеличивается длительность импульсов на выходе генератора, это связано с увеличением электрической емкости электролюминесцентной панели.

Представленный генератор можно использовать как составную часть более сложной системы предназначенной для контроля уровня внешней освещенности. Регистрируя количество импульсов, генерируемых генератором в течение определенного интервала времени, система получает возможность оценивать уровень внешней освещенности и выполнять действия, предусмотренные алгоритмом ее работы.

На рис. 7 показана структурная схема системы, разработанной для управления работой ЭЛП. Си-

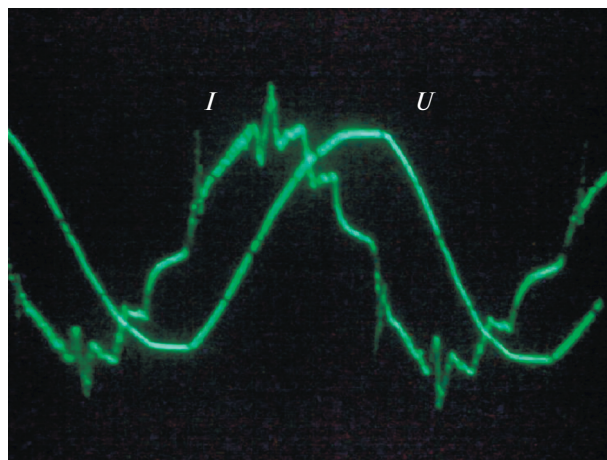


Рис. 3. Осциллограммы тока и напряжения ЭЛП.

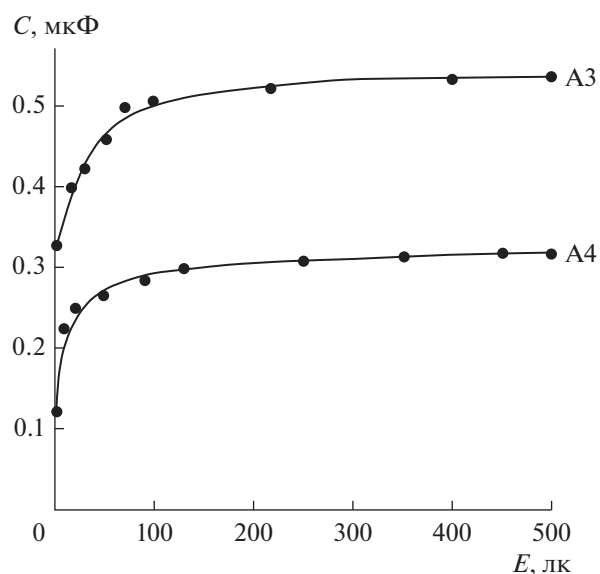


Рис. 4. Зависимости величины электрической емкости ЭЛП двух форматов от величины внешней освещенности.

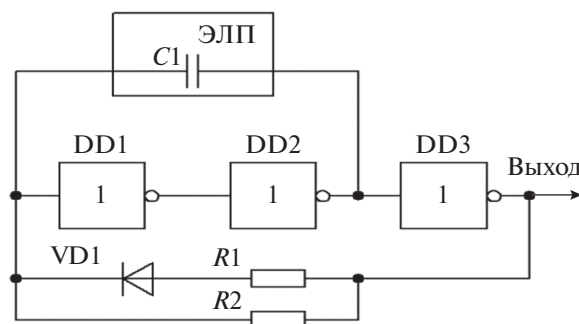


Рис. 5. Схема генератора прямоугольных импульсов.

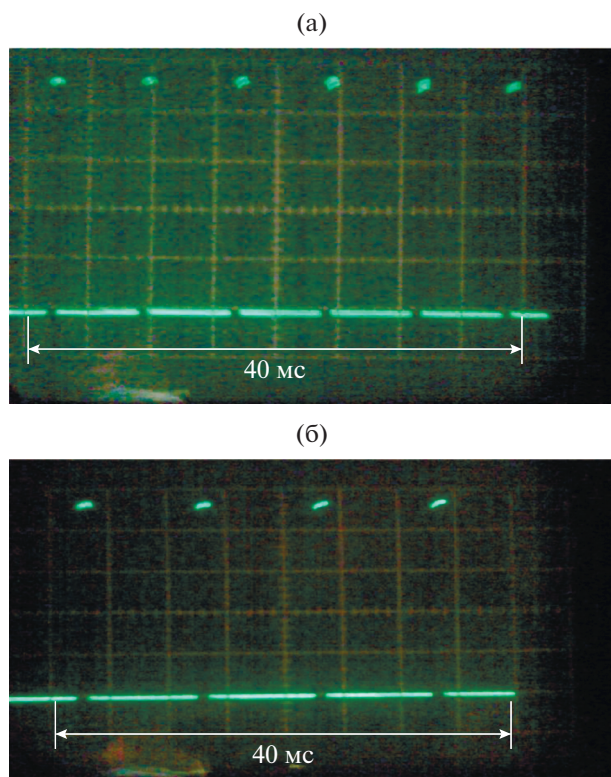


Рис. 6. Осциллограммы импульсов на выходе генератора: а – $E = 0$ лк, б – $E = 100$ лк.

система обеспечивает включение и выключение электролюминесцентной панели в зависимости от уровня внешней освещенности, при этом ЭЛП способна работать как в режиме источника оптического излучения, так и в режиме датчика уровня внешней освещенности. На рисунке приняты следующие обозначения: БП – блок питания; ЭК – электронный переключатель; ЭЛП – электролюминесцентная панель; ГИ – генератор импульсов; ПЧН – преобразователь частота – напряжение; К – компаратор; Т – таймер; $U_{упр}$ – управляющее напряжение; $t_{и}$ – длительность импульса на выходе таймера.

Электронный переключатель ЭК подключает ЭЛП или к блоку питания БП, при этом панель переводится в режим источника оптического излучения, или к генератору ГИ, если панель необходимо перевести в режим датчика внешнего оптического излучения. Работой ЭК управляет таймер Т, на выходе таймера формируется импульс длительностью $t_{и}$, при этом ЭЛП подключается к БП. По заднему фронту импульса $t_{и}$ происходит переключение ЭК и ЭЛП подключается к времязадающей цепи ГИ. Преобразователь частота – напряжение ПЧН служит для преобразования частоты импульсов, поступающих с выхода генератора в уровень на-

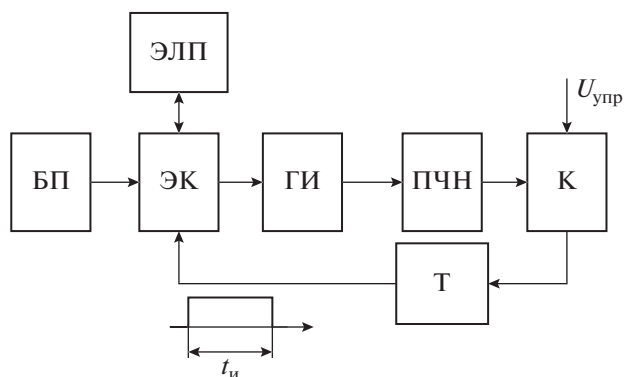


Рис. 7. Схема управления работой ЭЛП.

пряжения, чем меньше частота импульсов на входе преобразователя, тем выше уровень напряжения на его выходе. Компаратор К сравнивает уровень напряжения на выходе ПЧН с уровнем управляющего напряжения $U_{упр}$. Напряжение $U_{упр}$ задает порог переключения компаратора. Если напряжение на выходе ПЧН становится ниже уровня $U_{упр}$, что имеет место при снижении внешней освещенности, происходит переключение компаратора, включается таймер и ЭЛП переводится в режим источника оптического излучения. В режиме источника оптического излучения ЭЛП работает в течение времени $t_{и}$. При высоком уровне внешней освещенности не происходит включение таймера, при этом ЭЛП будет работать в режиме датчика.

Таким образом, фотоэлектрический эффект, свойственный для электролюминесцентных панелей, позволяет использовать их не только как источник оптического излучения, но и в качестве датчика уровня освещенности, а также объединять эти функциональные возможности в одной общей системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев А.И., Самохвалов М.К. Электрические характеристики тонкопленочных электролюминесцентных индикаторов. Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2006.
2. Шубин Н.Е., Козырев Е.Н., Платова А.А. и др. // Вестн. Воронежского государственного технологического ун-та. 2013. Т. 9. № 6-2. С. 74–77.
3. Гончаров И.Н., Козырев Е.Н., Аскеров Р.О., Малдзигати А.И. // РЭ. 2016. Т. 61. № 1. С. 89–92.
4. Zhou Jia, Tong Ge, Linfei Guo, et al. // Procedia Engineering. 2016. V. 141. P. 91.
5. Дедык А.И., Павлова Ю.В., Семенов А.А. и др. // ЖТФ. 2015. Т. 85. № 4. С. 148.
6. Гончаров И.Н., Кабышев А.М., Козырев Е.Н., Малдзигати А.И. // Светотехника. 2016. № 6. С. 39.