

ИМПУЛЬСНЫЕ ЭОП С ЦИФРОВЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Одним из перспективных направлений оптоэлектроники является разработка устройств с использованием электронно-оптических преобразователей (ЭОП). Их развитие и внедрение в различные сферы человеческой деятельности обусловлено рядом ценных свойств и особенностей, присущих данному виду приборов. Для реализации всех требований к ЭОП возникла необходимость создания ВПП с цифровым управлением. Характерной особенностью этого прибора является полное цифровое управление логикой работы от компьютера.

I.B. Juzhik

Federal State Unitary Enterprise «The central design office of precision instruments»,
Novosibirsk

PULSE ELECTRO-OPTICAL DIGITAL CONTROL CONVERTER

One of perspective directions of an optoelectronics is development of devices with usage of image-converter tubes (electron-image amplifier). Their development and implantation in various spheres of human activity is caused by a series of valuable properties and the features proper in the given view of instruments. For embodying all requirements to an electron-image amplifier there was a necessity of making Secondary power supply with a digital control. Unique feature of this instrument is the complete digital control logic of operation from a computer.

С помощью электронно-оптических преобразователей можно обеспечить многократное усиление света, увеличение яркости изображения, создание непосредственной возможности наблюдения и исследования объектов в условиях низкой освещенности и в практической темноте. Такие приборы позволяют добиваться спектрального преобразования энергии излучения одного участка оптического спектра в другой. Создание такого класса приборов стало возможным с развитием новых ЭОП.

ЭОП предназначен для преобразования светового изображения в ближнем ИК диапазоне в видимый и является усилителем света. ЭОП характеризуют электронно-оптическим увеличением, коэффициентом усиления яркости, коэффициентом преобразования, пороговой чувствительностью, разрешающей способностью, постоянной времени и контрастно-частотной характеристикой.

Электронно-оптическое увеличение ЭОП определяется отношением линейных размеров изображений на экране ЭОП $l_э$ и на фотокатоде $l_к$:

$$\Gamma_{эоп} = \frac{l_э}{l_к} = \frac{d_э}{d_к} = \sqrt{\frac{A_э}{A_к}},$$

где $d_э$ и $d_к$ - рабочие диаметры экрана и фотокатода;

$A_э$ и $A_к$ - рабочие площадки экрана и фотокатода.

Коэффициент преобразования светового потока h - это отношение светового потока, испускаемого ЭОП, к световому потоку, попадающему на фотокатод. Если преобразователь используется как усилитель яркости изображения в видимой области спектра, то коэффициент усиления выражается в относительных единицах, т.е. $h = F_{\text{э}}/F_{\text{к}}$.

Коэффициент яркости. Это отношение величины яркости экрана ЭОП к соответствующей величине освещенности фотокатода:

$$\eta_{\text{в}} = \frac{E_{\text{э}}}{E_{\text{к}}} = \frac{F_{\text{э}} A_{\text{к}}}{\pi A_{\text{э}} \Phi_{\text{к}}} = \frac{\eta}{\pi \Gamma_{\text{ЭОП}}^2} \left[\frac{\text{кД}}{\text{м}^2 \text{лк}} \right].$$

Яркость темного фона. Это яркость свечения экрана ЭОП при отсутствии освещения на фотокатоде. Излучение экрана проявляется вследствие тепловой эмиссии фотокатода, световой обратной засветки фотокатода, за счет сцинтилляций, вследствие радиационных шумов. Преобладающим шумом является тепловой шум.

Пороговая чувствительность ЭОП. Под пороговой чувствительностью понимают то наименьшее количество световой энергии на фотокатоде, которое вызывает свечение экрана, заметное глазом.

Разрешающая способность N - зависит от размеров зерен люминофора, кружка рассеяния остаточных аберраций электронных пучков. Вследствие аберраций размер кружка рассеяния больше размера зерен люминофора.

Одним из путей повышения и выравнивания разрешающей способности по полю экрана является придание фотокатоду, а иногда и экрану, сферической формы, при этом кривизна фотокатода должна соответствовать кривизне поверхности электронного изображения. Такой способ практикуется все чаще, благодаря возможности использования волоконных оптических шайб требуемой кривизны.

В настоящее время в приборах ночного видения (ПНВ) в основном применяются преобразователи изображения с канальными электронными умножителями.

Усиление осуществляется при помощи микроканальной пластины (МКП), представляющей собой набор нескольких миллионов стеклянных трубочек, сложенных в единый пакет в виде диска. Внутренняя поверхность трубочки покрыта тонким слоем полупроводника, который является эмиттером вторичных электронов. К торцам блока трубочек подается напряжение, для чего на торцы диска при помощи напыления наносится слой металла.

Устройство ЭОП канального типа поясняется рис. 1.

Электроны с фотокатода фокусируются электронной линзой или равномерным полем на микроканальную пластину. Многократно усилившись в ней, вторичные электроны создают один элемент светящегося изображения. Чтобы электроны не пролетали МКП без соударения со стенками каналов, каналы стараются располагать под небольшим углом к оси ЭОП. Это, однако, снижает качество изображения, так как замечен

разброс электронов по скоростям и поэтому ощущается различие в фокусировке на экране быстрых и медленных электронов.

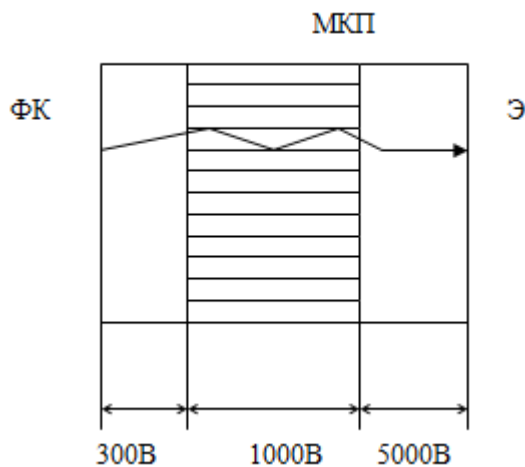


Рис. 1. Схема ЭОП с микроканальным услителем тока

Усиленное МКП электронное изображение переносится на экран электронной линзой или равномерным полем.

Дальнейшее развитие конструкции ЭОП предполагает сопряжение его с фото-матрицей для преобразования изображения в видеосигнал. Это открывает дополнительные возможности по обработке изображения.

Для питания ЭОП требуются высокие напряжения порядка 1-6 кВ. Возможные способы формирования высоких напряжений:

1. С помощью трансформаторов;
2. Путем трансформирования и умножения напряжения;
3. Путем преобразования постоянного напряжения в переменное напряжение с последующим усилением;
4. С помощью генераторов высокого напряжения;
5. Применение атомных источников напряжения.

Конструкция вторичного источника питания (ВИП) должна обеспечивать электрическую прочность. Для исключения энергетических потерь высоковольтную часть ВИП изолируют от низковольтной и размещают в непосредственной близости от вакуумной части ЭОП.

В качестве первичных источников питания ЭОП используются низковольтные источники постоянного тока: аккумуляторы или сухие батареи напряжением 1-26В. Параметры источников питания для ЭОП зависят от условий эксплуатации приборов. Например, в полевых условиях высоковольтный блок должен обеспечить необходимый срок работы прибора без замены источников питания, обладать нужной механической прочностью конструкции и стабильностью работы при изменении температуры, иметь минимальные массу и габариты.

Основные требования к вторичным источникам питания (ВИП) для ЭОП - это надежность, компактность, высокая эффективность и низкая себестоимость. Технология изготовления ВИП определяет реальный ресурс работы ЭОП.

Современное устройство, питающее ЭОП, должно обеспечить высокие требования на вакуумную часть с учетом погрешности большого числа элементов ВИП.

Для учета допусков погрешностей всех элементов ВИП необходимо:

- Определить номинальные значения параметров всех радиодеталей, входящих в ВИП, выбрать электрический режим полупроводниковых приборов и интегральных микросхем, учесть условия эксплуатации и требуемую точность выходных параметров;

- По заданным допускам на параметры ВИП можно определить параметры элементов.

Следовательно, задача сводится к тому, чтобы при выбранных допусках на элементы ВИП погрешности его выходных параметров не превышали заданных значений.

Каждый параметр ВИП представляет собой функцию параметров элементов, входящих в ВИП.

$$Q = \varphi(q_1, q_2, \dots, q_n),$$

где Q – заданный параметр ВИП; $q_1, q_2, \dots, q_n$ – параметры элементов, входящих в ВИП.

Уравнение относительной погрешности для заданного параметра ВИП имеет вид

$$\frac{\Delta Q}{Q} = \sum_{i=1}^n A_i \frac{\Delta q_i}{q_i},$$

а относительная погрешность элемента

$$A_i = \frac{\Delta \varphi(q_1, q_2, \dots, q_n)}{\Delta q_i} \frac{q_i}{\varphi(q_1, q_2, \dots, q_n)}$$

Так как в нашем случае точность работы ВИП определяется несколькими параметрами, то составляется система уравнений погрешностей, число уравнений в которой равно числу определяющих параметров ВИП. После вывода уравнений погрешностей в общем виде, необходимо найти численные значения коэффициентов влияния. Коэффициенты могут быть функциями частоты или времени.

Существует также целый ряд экспериментальных методов определения коэффициентов влияния. В случае, когда коэффициенты влияния определяются из аналитических выражений, необходима экспериментальная проверка на сходимость для оценки величины методической погрешности. Погрешность должна быть допустимой при расчете из – за неточного аналитического описания физического процесса работы ВИП с учетом всех условий эксплуатации приборов.

Современная схема питания ЭОП должна учитывать:

- Температурные допуски элементов ВИП, потому что сочетание ряда случайных факторов при изготовлении элементов приводит к рассеянию величины их температурных коэффициентов;

- Допуски на старение элементов ВИП, причем функция старения различных элементов может иметь различный вид;

- Допуск на влажность, уход параметров ВИП под воздействием влаги обусловлен, в основном, изменением сопротивлений непроволочных резисторов от влажности.

Поэтому, для компенсации дестабилизирующих факторов нужно знать законы распределения параметров всех элементов ВИП или хотя бы количественные значения коэффициентов, по которым уже можно рассчитать допуски с высокой точностью.

Для реализации всех требований к ЭОП возникла необходимость создания ВИП с цифровым управлением. Разработанный ВИП имеет малые габариты и вес, и рассчитан на работу в условиях механико-климатических воздействий. Технические характеристики ВИП соответствуют современным требованиям к ЭОП и приборам ночного видения (ПНВ):

- Обеспечение режима "электронной диафрагмы";
- Обеспечение режима "электронного затвора";
- Обеспечение большого динамического диапазона ЭОП или работы ПНВ в условиях изменяющейся освещенности;
- Обеспечение возможности работы ПНВ в условиях дымки, тумана, дождя;
- Обеспечение работы ПНВ с лазерной подсветкой.

Функциональная схема ЭОП с цифровым управлением представлена на рис. 2.

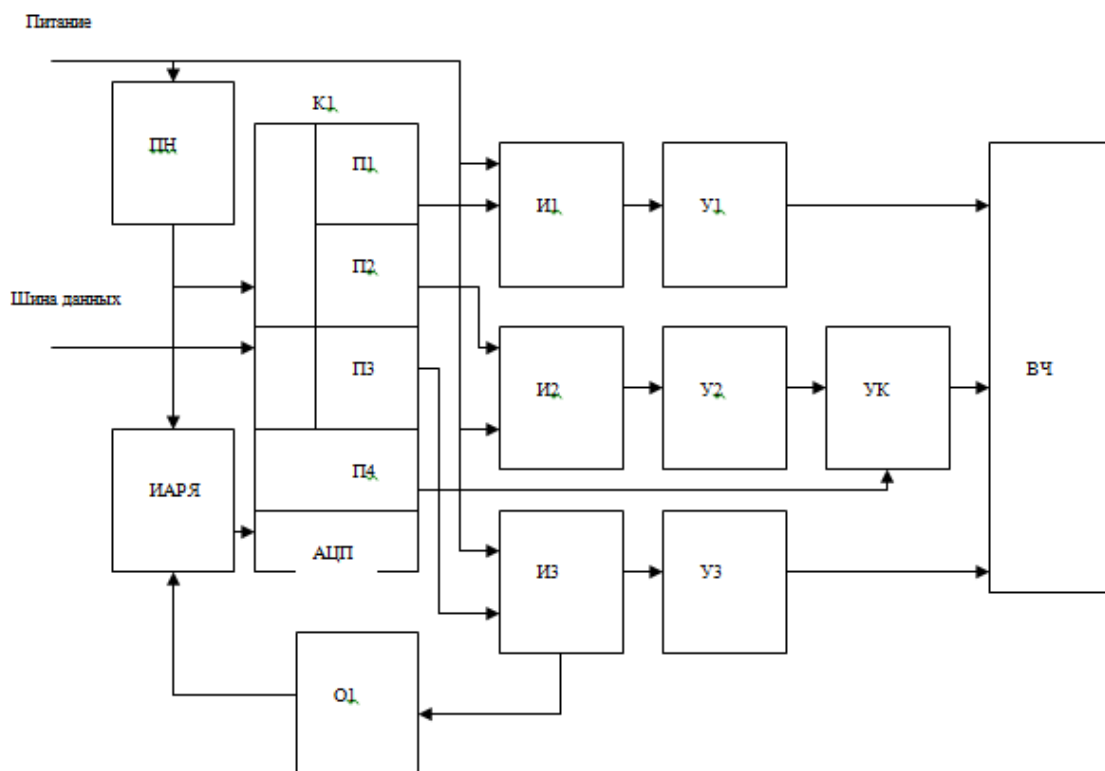


Рис. 2

ПН – преобразователь, предназначен для формирования функциональных напряжений;

ИАРЯ – интегратор, формирует аналоговый сигнал пропорциональный яркости экрана ЭОП;

К1 – микроконтроллер, производит арифметические, логические операции цифрового источника питания и хранит исходные данные, необходимые для формирования выходных напряжений источника питания и корректировки их при воздействии внешних факторов;

И1,И2,И3 – интеграторы 1,2,3, формируют синусоидальные напряжения;

У1,У2,У3 – умножители 1,2,3, формируют высокие напряжения, соответствующие требованиям на вакуумную часть ЭОП;

УК – устройство ключевое, формирует импульсное напряжение между фотокатодом и входом МКП;

ВЧ – вакуумная часть усиливает энергию светового потока.

Были проведены сравнительные исследования ЭОП с цифровым управлением и ЭОП предыдущего поколения. Исследования подтвердили значительное увеличение динамического диапазона работы ЭОП с цифровым управлением. Увеличение динамического диапазона ЭОП обеспечивается использованием цифрового ВИП формирующего импульсы напряжения между фотокатодом и входом МКП с большой скважностью. Сравнительный график зависимости разрешающей способности от уровня освещенности на фотокатод ЭОП представлен на рис. 3.

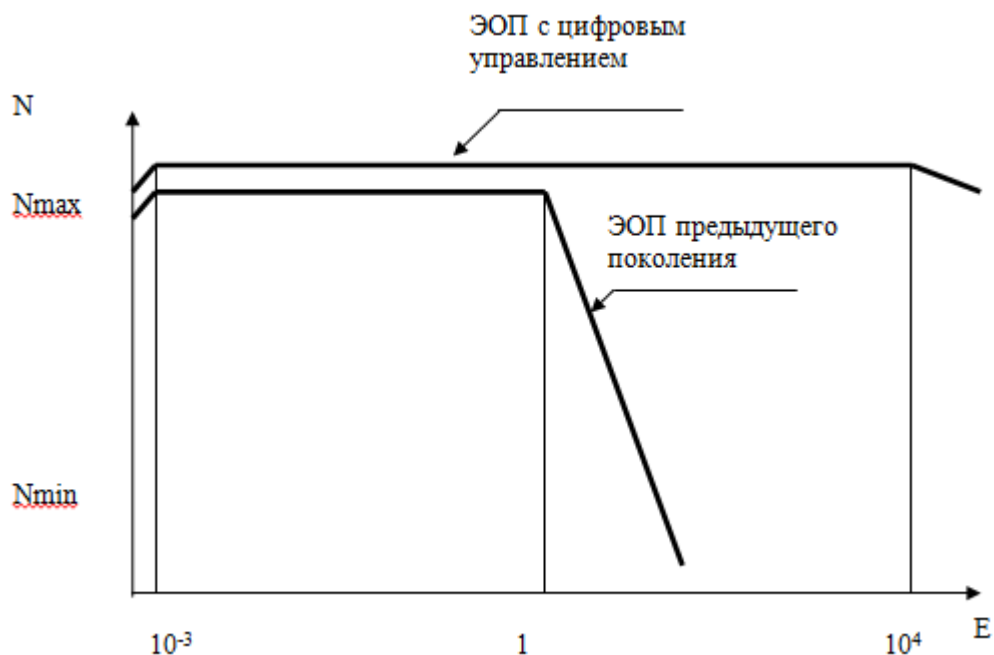


Рис. 3

N – разрешающая способность ЭОП;

E – уровень освещенности на фотокатод ЭОП.

Использование ВИП с цифровым управлением обеспечивает работу ЭОП без потери разрешающей способности при высоких уровнях освещенности.

Важным параметром цифрового источника питания для практического применения является возможность регулировки выходных напряжений с использованием шины данных, что ведет к повышению эксплуатационной надежности данного класса приборов.

При повышенных и пониженных температурах окружающей среды в цифровом источнике питания реализуется возможность компенсации дестабилизирующих факторов.

Ресурс работы ЭОП определяется возможностями современной технологии и может составлять более 10000 часов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Карлов, Н.В. Лекции по квантовой электронике [Текст] / Н.В. Карлов // М.: Наука – 2001.
2. Громыко Н.В., Сарафанов А.В. Современные проблемы радиоэлектроники [Текст] / ред. А.И. Громыко, А.В. Сарафанов.// сборник научных трудов, Сиб. федерал. ун-т, Политехн. ин-т ; - Красноярск : ФГОУ ВПО СФУ. – 2007. – 678 с.
3. Николаев, А. В. Использование информационных технологий поддержки жизненного цикла изделий при производстве комплектующих в авиа-, приборо- и машиностроении [Текст] / А.В. Николаев, Л.В. Кузнецова, А.С. Кондратьева // учебно-метод. комплекс / Ульянов. гос. ун-т. – Ульяновск : УлГУ. – 2006. – 71 с.

© И.Б. Южик, 2010