

УДК 535.232.65:621.383 (575.2) (04)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ СИГНАЛОВ ОПТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

П.И. Пахомов – докт. техн. наук,
С.С. Исаков – соискатель

Mathematical modeling of pulses for the analysis of work of the electric circuit, and also for debugging and adjustment of the device.

В настоящее время оптические датчики получили широкое распространение в различных областях техники: автостопы, датчики, индикаторы, сигнализаторы, измерители технологических параметров, счетчики импульсов и т.п.

При разработке различных измерительных и диагностических приборов, использующих оптический датчик дискретных сигналов, возникает вопрос об их характеристиках: периоде; длительности высокого и низкого уровней. Это связано с тем, что необходимо выбрать элементную базу прибора, которая позволит с достаточной точностью выполнять обработку получаемых сигналов.

Оптические преобразователи дискретного типа состоят из светоизлучающего устройства: лампа накаливания; светодиод (СД) и фотоприемника: фоторезистор; фотодиод (ФД); фототранзистор, между которыми расположен прерыватель света – перфорированный диск (рис. 1). Диск состоит из чередующихся участков, пропускающих и преграждающих свет. Существуют различные технологии изготовления дисков: перфорированные (серийное производство); с фрезерованными прорезями; с покраской прозрачного диска.

Количество прорезей определяется по формуле:

$$n = 360^\circ / \alpha, \quad (1)$$

где n – количество прорезей на диске, α – заданная точность измерения в градусах.

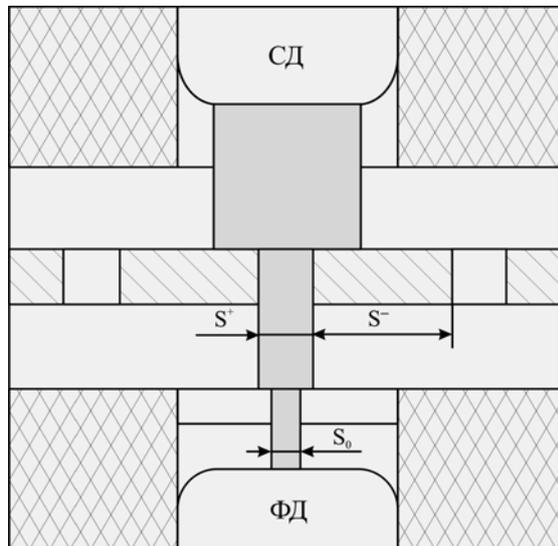


Рис. 1. Устройство оптического преобразователя.

Длина дуги, заключенная внутри угла α на диске, определяется по формуле:

$$S = \pi d / n, \quad (2)$$

Ширина прозрачного и непрозрачного участков выбирается из технологических возможностей обработки и должна удовлетворять условию:

$$S = S^+ + S^-, \quad (3)$$

где S^+ – светлый участок на диске; S^- – темный участок.

Однако если S^- будет уже окна фотодиода, то оно не сможет перекрыть его, тогда перед

фотодиодом необходимо установить узкую щель шириной S_0 , ограничивающую световой поток (рис. 1), из условия:

$$S_0 \leq S^- \quad (4)$$

Таким образом, при вращении вала световой поток от светодиода к фотодиоду будет полностью перекрываться участком S^- , а затем открываться участком S^+ , но это будет происходить плавно (рис. 2).

Временная диаграмма освещения фотодиода будет:

- в момент времени t_1 участок S^+ подойдет к щели S_0 и начинается процесс увеличения светового потока к фотодиоду;
- в момент времени t_2 участок S^+ полностью откроет щель S_0 и световой поток достигнет своего максимума Фпр;
- в момент времени t_3 участок S^- подойдет к началу щели S_0 и начнется процесс плавного перекрытия светового потока;
- в момент времени t_4 участок S^- подойдет к концу щели S_0 и полностью его перекроет,
- до момента времени t_5 участок S^- будет перекрывать щель S_0 , а далее процесс повторяется.

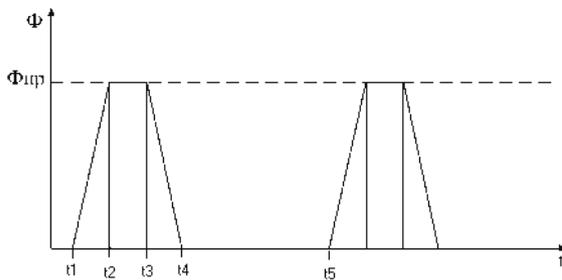


Рис. 2. Временная диаграмма изменения светового потока.

Временные интервалы определяются следующими соотношениями:

- ↪ интервал времени увеличения светового потока

$$t_2 - t_1 = \frac{S_0}{V}; \quad (5)$$

- ↪ интервал времени максимального светового потока

$$t_3 - t_2 = S^+ - S_0 / V; \quad (6)$$

- ↪ интервал времени прохождения светового потока

$$t_4 - t_3 = S_0 / V. \quad (7)$$

Тогда общее время освещения светодиода

$$T^+ = t_4 - t_1 = \frac{S_0}{V} + \frac{S^+ - S_0}{V} + \frac{S_0}{V} = \frac{S^+ + S_0}{V}. \quad (8)$$

Интервал времени отсутствия светового потока

$$T^- = t_5 - t_4 = \frac{S^- - S_0}{V}. \quad (9)$$

Для предварительной оценки общего периода светового потока и скважности импульсов проведем следующие рассуждения. Предположив, что если на выходе фотоэлектрического преобразователя будет формироваться логическая единица при любом освещении светодиода и логический ноль при отсутствии освещения, то временной интервал T^+ будет соответствовать логической единице, а T^- – логическому нулю, тогда общий период

$$T = T^+ + T^- = \frac{S^+ + S_0}{V} + \frac{S^- - S_0}{V} = \frac{S^+ + S^-}{V}. \quad (10)$$

Скважность импульсов (отношение периода импульса к его длительности) определяется по формуле:

$$Q = \frac{T}{T^+} = \frac{S^+ + S^-}{S^+ + S_0}. \quad (11)$$

В настоящее время в качестве светоизлучающего элемента наибольшее распространение получили светодиоды инфракрасного (ИК) диапазона [4].

При исследованиях нами был использован светодиод типа АЛ1107Б, имеющий следующие справочные данные [2]: мощность излучения $P_0=10$ мВт; максимум спектрального распределения излучения длиной волны $\lambda_m=0,94-0,96$ мкм; предельный прямой ток $I_{пр}=100$ мА. Данный светодиод имеет линейную характеристику мощности светового потока от величины тока через светодиод [5]. Таким образом, изменяя ток от 0 до максимума $I_{пр}$, (рис. 3), мы изменяем мощность светового потока от 0 до максимума P_0 , иначе говоря, график по оси X строится в относительных единицах P/P_0 (рис. 4).

Далее рассмотрим основные принципы работы фотонных детекторов. Фотопроводящий чувствительный элемент выполняется из полупроводникового материала, у которого сопротивление изменяется пропорционально

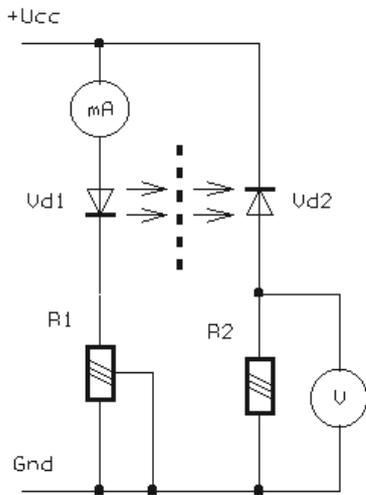


Рис. 3. Схема фотоэлектронного преобразователя.

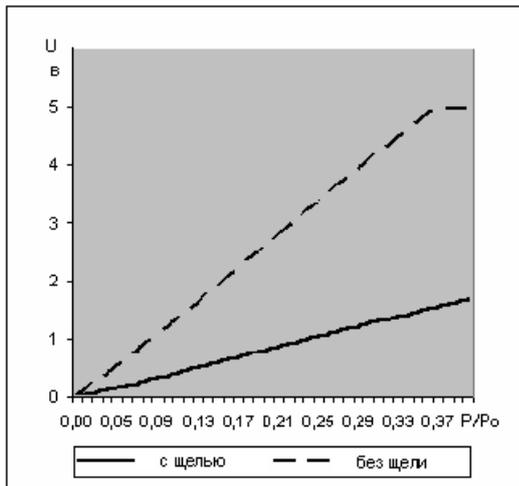


Рис. 4. Выходная характеристика фотоэлектронного преобразователя.

освещенности. Падающая на него световая энергия (энергия фотонов) поглощается полупроводником, производя в нем изменение числа носителей заряда и соответственно изменяя его сопротивление [1]. В качестве фотоприемника чаще всего применяют фотодиоды. Они включаются в обратном направлении, положительный полюс источника питания соединен с катодом (рис. 3), при затемнении фотодиод проводит незначительный ток – около 1нА, который возрастает при увеличении светового

потока. При обратном включении фотоэлектрический ток строго пропорционален освещенности. Если перед фотодиодом будет установлена узкая щель S_0 (рис. 1), то выходной сигнал будет ослаблен (рис. 4), сигнал будет также ослабевать при увеличении расстояния между фото с светодиодами. В данной работе использовался фотодиод ФД–256А.

Для усиления сигнала подключим однокаскадный линейный усилитель на одном транзисторе с общим эмиттером (рис. 5) и выходной характеристикой (рис. 6).

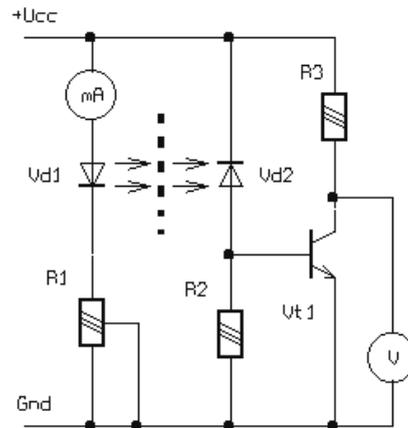


Рис. 5. Схема преобразователя с однокаскадным усилителем.

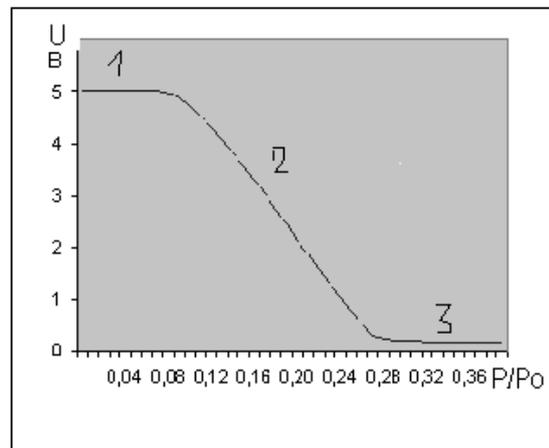


Рис. 6. Выходная характеристика преобразователя с однокаскадным усилителем.

На рис. 6 видно, что сигнал инвертирован и имеется три характерных участка: 1 – сигнал слабый и транзистор закрыт; 2 – линейный участок усиления (при увеличении входного сигнала транзистор приоткрывается); 3 – входной сигнал достаточно велик: транзистор полностью открыт. Линейный участок используется для передачи аналоговой информации, а для дискретных систем возникает неопределенность.

Добавим еще один каскад линейного усиления (рис. 7), полученная выходная характеристика приведена на рис. 8. Установлено, что линейный участок усиления сократился, введение положительной обратной связи (ПОС) приводит к ликвидации линейных участков и появлению петли гистерезиса [6].

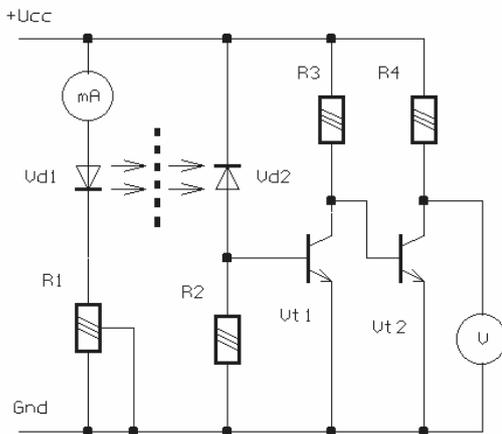


Рис. 7. Схема преобразователя с двухкаскадным усилителем.

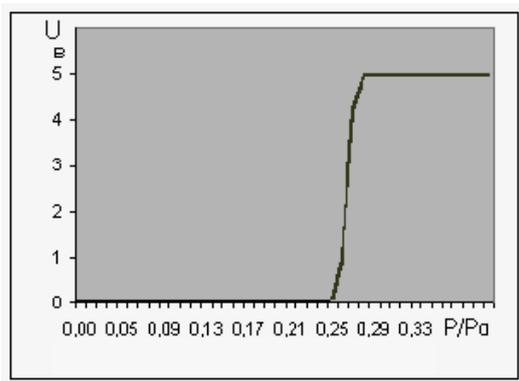


Рис. 8. Выходная характеристика с двухкаскадным усилителем.

Петля гистерезиса характеризуется не повторяемостью участков повышения и понижения входного сигнала (рис. 9, 10).

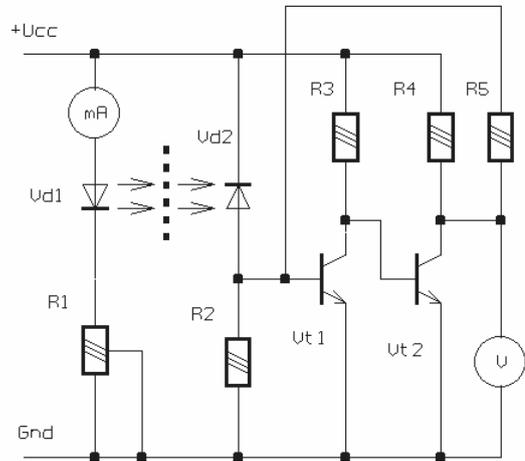


Рис. 9. Схема преобразователя с двухкаскадным усилителем и ПОС.

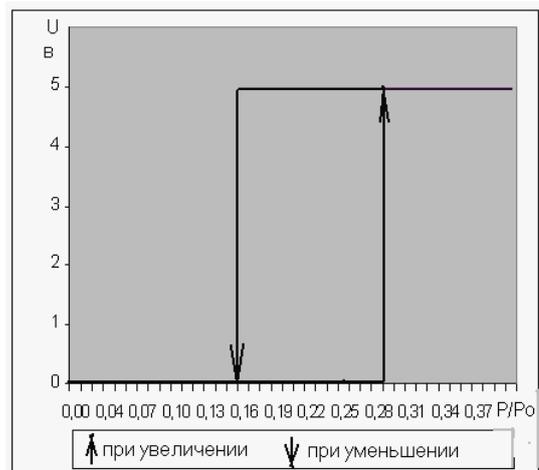


Рис. 10. Выходная характеристика с двухкаскадным усилителем и ПОС.

Из 10 видно, что переключение происходит скачкообразно при увеличении светового потока, соответствующего $0,28P/P_0$, и также скачкообразно при уменьшении светового потока, соответствующего $0,15P/P_0$, что обеспечивает релейный режим. Таким образом, данный преобразователь является дискретным, а такие устройства – триггером Шмитта.

Зная порог включения и отключения фотоэлектрического преобразователя, можем определить более точно (рис. 2) длительности высокого и низкого уровня:

$$T^{*+} = \frac{(1-0,28)S_0}{V} + \frac{S^+ - S_0}{V} + \frac{(1-0,15)S_0}{V} = \frac{S^+ + 0,57S_0}{V}; \quad (12)$$

$$T^{*-} = \frac{0,28S_0}{V} + \frac{S^- - S_0}{V} + \frac{0,15S_0}{V} = \frac{S^- - 0,57S_0}{V}; \quad (13)$$

$$T^* = T^{*+} + T^{*-} = \frac{S^+ + S^-}{V}. \quad (14)$$

Тогда скважность импульсов для уточненного варианта будет:

$$Q^* = \frac{T^*}{T^{*+}} = \frac{S^+ + S^-}{S^+ + 0,57S_0}. \quad (15)$$

При заданной частоте вращения перфорированного диска и известном количестве прорезей можно определить период одного импульса

$$T_i = 1 / Nm, \quad (16)$$

где N – частота вращения диска, n – количество прорезей на диске.

Зная период и скважность, определим длительность импульса

$$T_i^+ = \frac{T_i}{Q} = \frac{S^- + 0,57S_0}{Nn(S^+ + S^-)}; \quad (17)$$

$$T_i^- = T_i - T_i^+ = \frac{S^- - 0,57S_0}{Nn(S^+ + S^-)}. \quad (18)$$

Теперь, на основании уточненных длительностей высокого и низкого уровней, можно произвести моделирование этих сигналов для пакета программ MicroCAP [3] и, задавая различные значения частоты вращения диска, наблюдать за прохождением и обработкой этих сигналов, и формированием выходных сигналов.

Таким образом, получив исходные данные оптического преобразователя и выходные данные устройства обработки, полученные в MicroCAP, можно записать эти сигналы в программируемый генератор и подавать на вход устройства сигналы оптического преобразователя, а выходные сигналы сравнивать с полученными на MicroCAP, таким образом, анализируя входные и выходные сигналы, – выполнять отладку и регулировку устройства.

Литература

1. Бриндли К. Измерительные преобразователи. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 144 с.
2. Иванов В.И., Аксенов А.И., Юшин А.М. Полупроводниковые оптоэлектронные приборы: Справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 448 с.
3. Резевиг В.Д. Схемотехническое моделирование с помощью Micro-Cap 7. – М.: ДМК, 2003. – 368 с.
4. Справочная книга радиолюбителя-конструктора. – М.: Радио и связь, 1990. – 624 с.
5. Хоровиц П., Хил У. Искусство схемотехники. – Т. 2. – М: Мир, 1984.
6. Шрайбер Г. Инфракрасные лучи в электронике. – М.: ДМК, 2003. – 240 с.