

В. В. ЯНКО

Украина, Одесский национальный университет
им. И. И. Мечникова
E-mail: yankovova@hotmail.com

Дата поступления в редакцию
18.04 2006 г.

Оппонент *д. т. н. В. В. ДАНИЛОВ*
(ДонНУ, г. Донецк)

PSpice-МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ЛОКАТОРОВ

Эквивалентная электрическая схема замещения оптических каналов основана на подобии физических процессов распространения электромагнитных волн оптического и радиодиапазонов.

Активная оптическая локация — одна из высоких технологий, которая обеспечила множество успешных инноваций и продолжает служить основой построения эффективных электронных преобразователей физических величин: дальномеров, датчиков перемещений и скоростей, вибродатчиков, сканаторов профилей, оптических носителей информации и т. д.

Для современного приборостроения все большее значение приобретают экономические аспекты процесса проектирования. В последнее время профессиональное проектирование электронных схем уже не обходится без компьютерного моделирования их рабочих характеристик.

Компьютерное моделирование оптических локаторов позволяет получать рабочие характеристики без дорогостоящего физического моделирования быстрого перемещения объекта локации относительно локатора. Однако средства схемотехнического моделирования радиоэлектронных устройств не имеют элементов описания оптических каналов передачи сигнала. Для оптико-электронных локаторов требуется специальная адаптация оптической схемы к ее электротехническому эквиваленту, что позволит моделировать работу всего устройства в целом. И целью настоящей работы является предоставление разработчику приборов оптической локации эффективного средства быстрой проверки технических идей и решений, что, в частности, обеспечит сокращение этапа физического моделирования и схемотехнического макетирования.

Предлагается методика построения схем замещения оптических каналов посредством языка описания электронных схем PSpice.

Разработанная в начале 70-х годов прошлого столетия в Калифорнийском университете (г. Беркли) программа схемотехнического моделирования Spice (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis — Программа имитации с акцентом на интегральные схемы) дала начало линии программных продуктов PSpice [1]. PSpice определяет промышленный стандарт программ-имитаторов и является самым популярным

пакетом моделирования для OS Windows во всем мире [2]. Известна практика применения средств теории основ электротехники для описания неэлектронных структур, например, путем замещения эквивалентной электрической схемой механических систем, тепловых цепей. Различные физические процессы роднит сходство математического описания передачи энергии между объектами.

Предпринята попытка распространения этой практики на оптические процессы, которая базируется на единстве природы распространения радиоволн и света. Распространение света в оптическом канале замещено распространением радиосигнала в линии передачи — элементе языка PSpice (задается волновое сопротивление и задержка сигнала в линии). Величина светового потока замещается величиной соответствующего электрического напряжения. Волновая природа света при этом не учитывается. Модуляции светового сигнала по интенсивности на входе оптического канала соответствует пропорциональное изменение напряжения на входе линии передачи. Оптический канал замещается линией передачи без потерь и управляемыми источниками тока и напряжения, отражающими энергетические соотношения на входе и выходе оптического канала.

Для локационных оптических каналов существует подробное аналитическое описание энергетических соотношений [3, 4]. Таким образом, светодиод, который преобразует электрический ток в свет, замещается источником напряжения, управляемым током, а фотодиод — соответственно источником тока, управляемым напряжением. Управляемые источники широко представлены в языке PSpice. При этом нелинейный коэффициент передачи может задаваться как аналитическим выражением, так и таблично, что идеально подходит для введения характеристик и параметров реальных оптоэлектронных приборов.

Если рассматривать структурную схему оптического локатора вдоль прохождения информационного сигнала (**рис. 1**), то можно выделить оптический канал как часть устройства от прибора преобразования электрического тока в лучистую энергию до прибора обратного преобразования.

Оптический канал обычно содержит оптические элементы (линзы, рефлекторы, призмы и т. д.), канал прохождения лучистой энергии, отражающую поверхность объекта локации, источники оптических по-

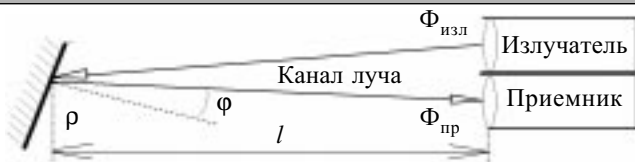


Рис. 1. Схема распространения сигнала в оптическом канале

мех, паразитные каналы прохождения сигнала. Можно формализовать устройство оптико-электронного локатора радиотехнической цепью, содержащей четырехполосник, который описывает прохождение сигнала через оптический канал посредством эквивалентной электрической схемы.

На рис. 2 представлена условная схема такой цепи. Она содержит только элементы описания электронных схем.

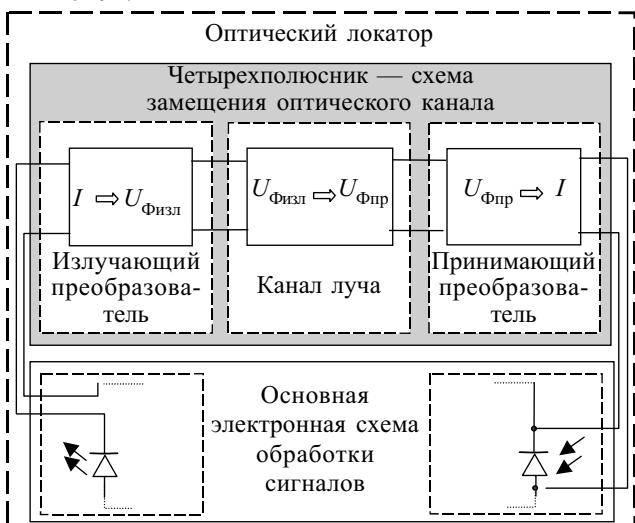


Рис. 2. Включение четырехполосника, замещающего оптический канал, в схему оптико-электронного локатора

Синтез схемы замещения оптического канала базируется на следующих тезисах (в терминах теории электрических цепей и геометрической оптики):

— в силу различия физических процессов схема замещения состоит из трех блоков — излучающего и принимающего преобразователей и канала луча;

— светоизлучающий и фотоприемный приборы описываются двойкой: как обычные радиоэлектронные компоненты (диоды, транзисторы...), включенные в основную схему без учета их оптических свойств, и как излучающий и принимающий преобразователи, включенные в схему замещения оптического канала;

— фотометрические величины светового потока через входное $\Phi_{пр}$ и выходное $\Phi_{изл}$ отверстия оптических систем моделируются напряжениями $U_{Фпр}$ и $U_{Физл}$ на соответствующих выводах излучающего и принимающего преобразователей и численно приравниваются им;

— излучающий преобразователь определяется как преобразователь тока в моделирующее напряжение, а принимающий — как преобразователь моделирующего напряжения в ток (эквивалент фототока);

— четырехполосник замещения оптического канала подключается к основной схеме следующим об-

разом: входные выводы (вход излучающего преобразователя) — в разрыв цепи светоизлучающего радиоэлектронного компонента; выходные выводы — параллельно фотоприемному компоненту, добавляя эквивалент фототока его цепи;

— преобразователь напряжения связывает напряжение на выводах излучающего и принимающего преобразователей, моделируя процессы, которые претерпевает оптический сигнал в канале луча.

Модель оптического канала состоит из трех блоков: излучателя, канала луча и приемника. В излучателе происходит преобразование электрических сигналов в световой поток $\Phi_{изл}$, который в модели численно равен напряжению на выходе излучателя. В блоке канала луча это напряжение подвергается обработке, эквивалентной воздействию на реальный оптический сигнал среды распространения. Амплитудные соотношения описываются уравнением оптической локации [3]:

$$\Phi_{фп} = (\Phi_{изл} \tau_c^{2l} \tau_o \rho S_{вх} \cos(\varphi)) / (2\pi \cdot l^2),$$

где $\Phi_{фп}$, $\Phi_{изл}$ — световой поток на входе и выходе оптических систем фотоприемника и излучателя, соответственно;

τ_c — коэффициент ослабления среды;

l — дистанция;

τ_o — коэффициент поглощения оптических систем излучателя и приемника;

ρ — коэффициент отражения поверхности объекта;

$S_{вх}$ — площадь входного зрачка оптической системы приемника;

φ — угол падения лоцирующего луча.

Временные соотношения моделируются электрической линией передачи без потерь.

В приемнике происходит обратное преобразование $\Phi_{фп}$ (его моделирующего напряжения) в фототок реального фоточувствительного прибора (например фотодиода).

Результат синтеза на основе принятых допущений позиционируется как макромоделль оптических каналов оптико-электронных локаторов в среде языка PSpice. Эта гибкая программная оболочка позволяет быстро и эффективно проверять качественные и количественные предположения исследователя-разработчика, заменить лабораторный эксперимент численным моделированием процессов посредством ЭВМ.

Практический пример моделирования

Рассмотрим пример моделирования локационно-оптико-электронного датчика фиксированной дистанции. Датчик должен обеспечивать положительную полярность выходного сигнала, если дистанция до цели меньше заданной фиксированной величины D , и отрицательную, если больше. Используется фазовый метод с модуляцией светового потока по интенсивности гармоническим сигналом с частотой 10 МГц.

На рис. 3 приведена практическая схема устройства со встроенной моделью оптического канала в среде PSpice, ориентированная на решение поставленной задачи. Необходимо исследовать влияние коэффициента отражения поверхности объекта на работоспособность датчика.

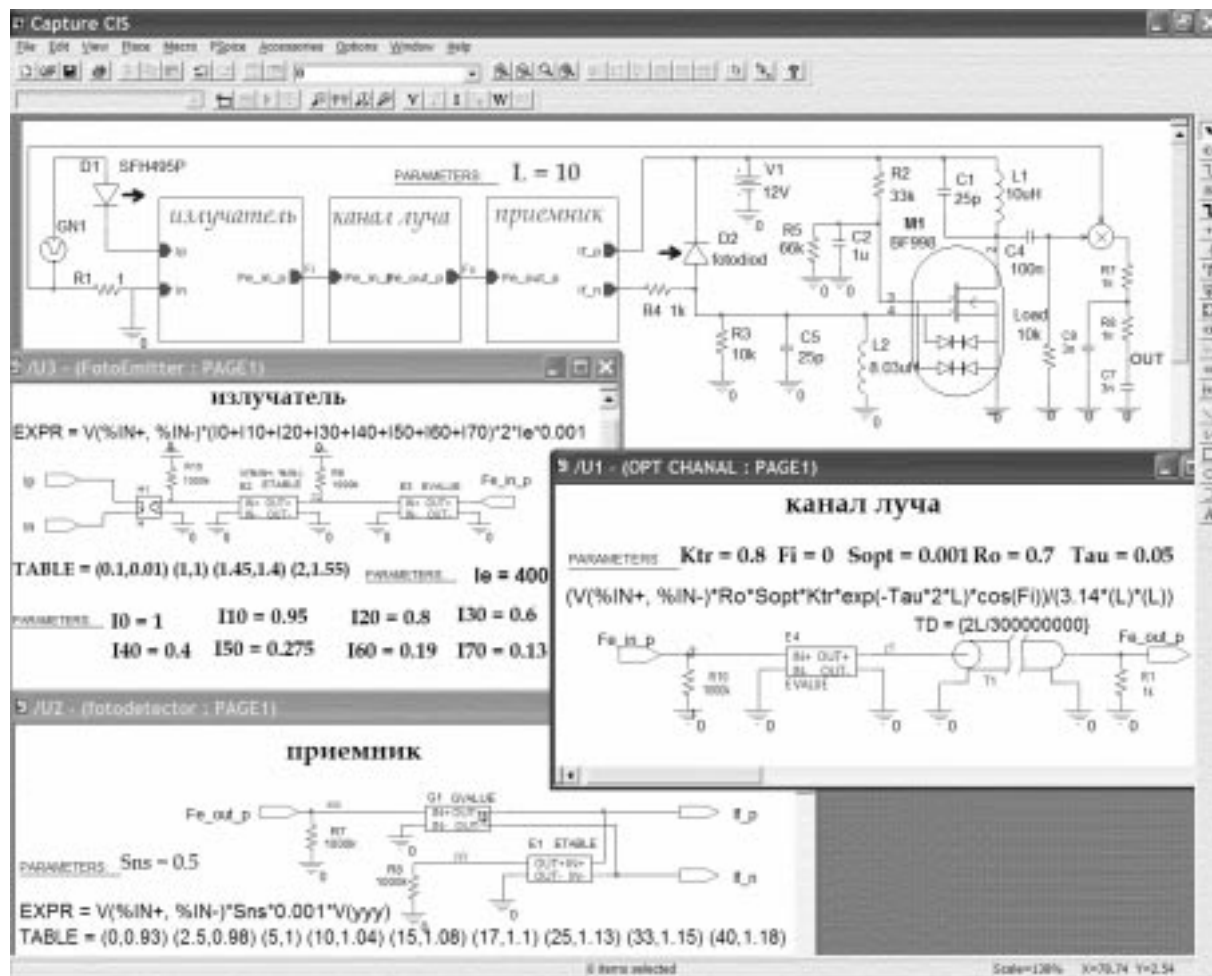


Рис. 3. Оптико-электронный датчик фиксированной дистанции. Возможная реализация в среде PSpice

Таблица соответствия вводимых числовых данных параметрам оптического канала

Имя параметра (Источник данных)	Обозначение		Блок	Вид, размерность
	текст	модель		
Коэффициент поглощения оптических систем излучателя и приемника	ϕ	Ktr	Канал луча	Десятичное число
Дистанция	l	L	"	Десятичное число, m
Коэффициент отражения поверхности объекта	c	Ro	"	Десятичное число
Коэффициент ослабления среды	ϕ	Tau	"	Десятичное число
Угол падения лоцирующего луча	ψ	Fi	"	Десятичное число, °C
Площадь входного зрачка оптической системы приемника	$S_{вх}$	Sopt	"	Десятичное число, m ²
Сила света в осевом направлении (Справочные данные излучателя)	I_e	Ie	Излучатель	Десятичное число, mW/sR
Нормированная (1A) излучательная характеристика (Справочные данные излучателя)	—	—	"	Таблично, парами чисел (любое количество пар): (ток (A), относительная сила света)
Нормированная (1A), симметричная относительно нуля абсциссы диаграмма направленности (Справочные данные излучателя)	—	I0...I20	"	Восемь десятичных чисел (индекс переменной — угловая абсцисса диаграммы направленности), относительная сила света
Абсолютная спектральная чувствительность (Справочные данные излучателя)	$S_{дс}$	—	Приемник	Десятичное число, A/W
Нормированная (5 V) зависимость фототока от обратного напряжения (Справочные данные излучателя)	—	—	"	Таблично, парами чисел (любое количество пар): (обратное напряжение (V), относительный ток)

Для формального описания конкретного оптического канала в макромодель вводятся числовые данные. Описание формата вводимых данных и связь идентификаторов с обозначениями в тексте статьи сведены в **таблицу**. Данные вводятся посредством графического интерфейса пользователя в схему устройства (см. рис. 3). (Процесс оперативного изменения данных нагляден и занимает минимум времени.)

Проводится многовариантное моделирование с варьированием величины дистанции L (от 0,25 м до 10 м с шагом 0,25 м) последовательно для трех значений коэффициента отражения ρ (0,9; 0,7; 0,4).

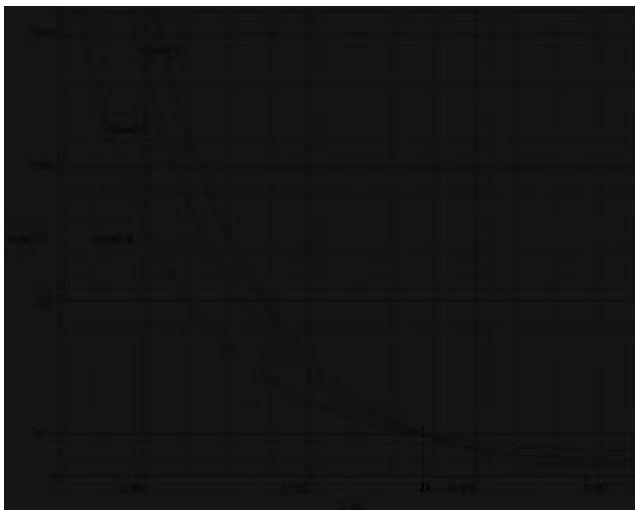


Рис. 4. Дистанционные характеристики оптического сенсора фиксированной дистанции ($D=3,7$ м) для трех значений коэффициента отражения ρ — 0,9; 0,7; 0,4

Средствами программы обработки результатов моделирования строятся статические дистанционные характеристики сенсора, представленные на **рис. 4**. Можно сделать вывод, что предложенная схема сенсора работоспособна; никакие учтенные в модели

параметры и связи не вызывают зависимость рабочей функции от коэффициента отражения ρ . Также можно оценить динамический диапазон и отношение сигнал/шум выходного сигнала, что важно для оптимизации мощности излучателя при разработке реального прибора.

Достоверность предложенной модели оптического канала подтверждается практикой проектирования. Проектировались три серии оптико-электронных приборов: оптические сенсоры для незрячих, оптические рулетки и датчики фиксированной дистанции различных классов по точности и габаритам. Практически в каждом случае достигались заданные технические характеристики при проектировании без схемотехнического макетирования.

В заключение можно констатировать следующие преимущества применения предложенной модели в практике проектирования:

- значительно снижается стоимость разработки;
- благодаря быстрой оценке потерь функциональных свойств за счет конструктивных упрощений оптимизируется себестоимость приборов.

Предполагается разработка методик для моделирования быстроменяющихся процессов в оптико-электронных устройствах (динамическая модель оптического канала). Эта задача осложняется тем, что в среде PSpice не предусматривается зависимость параметров радиоэлементов от времени.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Разевиг В. Д. Система схемотехнического моделирования и проектирования печатных плат Design Center (PSpice).— М.: СК Пресс, 1996.
2. Хайнеман Р. PSPICE. Моделирование работы электронных схем.— М.: ДМК Пресс, 2005.
3. Якушенков Ю. Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов.— М.: Машиностроение, 1989.
4. Мусьяков М. П., Миценко И. Д. Оптико-электронные системы ближней дальнометрии.— М.: Радио и связь, 1991.

НОВЫЕ КНИГИ

НОВЫЕ КНИГИ

Головин О. В., Простов С. П. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи.— М.: Горячая линия — Телеком, 2006.— 598 с.

В работе приводятся основные требования к системам и устройствам коротковолновой (КВ) радиосвязи, обосновывается необходимость создания и структура общегосударственной автоматизированной сети КВ радиосвязи, выбирается критерий оценки эффективности ее функционирования, на основании которого проводится сравнительный анализ различных вариантов построения систем КВ радиосвязи. Подробно анализируется зонавая система КВ радиосвязи с вынесенным ретрансляционным пунктом. Рассматриваются модели систем КВ радиосвязи, структуры адаптивных управлений, методы и устройства контроля качества каналов связи, приведены методы и результаты экспериментальных исследований как каналов, так и систем КВ радиосвязи. Проанализировано оборудование систем КВ радиосвязи; особое внимание уделено принципам и примерам реализации радиоприемных устройств; приводятся сведения о конкретных образцах аппаратуры КВ радиосвязи, выпускаемых отечественными и зарубежными фирмами. Отдельная глава посвящена построению вынесенного ретрансляционного пункта. Проанализирована роль систем КВ радиосвязи в комплексной системе связи России: в гражданской авиации, для чрезвычайных ситуаций, для системы КВ персонального радиовызова.

Для научных и инженерно-технических работников, будет полезна студентам и аспирантам, специализирующимся в области разработки и конструирования электронной аппаратуры.

