

А. А. ВОРОНЬКО, П. А. МЕРЖВИНСКИЙ, д. т. н. В. И. ОСИНСКИЙ,  
К. Б. КАРПИНСКИЙ, д. т. н. В. Г. ВЕРБИЦКИЙ

Украина, г. Киев, Центр оптоэлектронных технологий НИИ МП,  
Институт кибернетики им. В. М. Глушкова  
E-mail: merg@carrier.kiev.ua

Дата поступления в редакцию  
09.07—17.11 2003 г.  
Оппонент к. т. н. В. И. КОРНЕЙЧУК  
(ОНАС им. А. С. Попова, г. Одесса)

## КОМПАКТНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ АКТИВНЫХ И ПАССИВНЫХ КОМПОНЕНТ ВОЛС

Приведены характеристики разработанных приборов, блок-схема измерителя ИТ1701, описаны работа и особенности применения функциональных подсистем.

В настоящее время высокими темпами идет развитие оптоволоконных цифровых систем передачи информации (телефонная связь, локальные и глобальные компьютерные сети, телевизионные сети). Соответственно становится актуальной задача измерения параметров и настройки активных и пассивных компонент оптоволоконного тракта. Для решения одного из сегментов данной задачи разработаны приборы, функциональные особенности которых рассмотрены ниже.

Измеритель средней мощности оптического излучения ИТ1701 (базовая модель с InGaAs/InP-фотодиодом). Опишем основные элементы его функциональной схемы (см. рис. 1).



Рис. 1. Функциональная блок-схема прибора ( $I_\phi$  — ток фотодиода)

1. *Фотодиод.* В зависимости от нужного спектрального диапазона используется Ge-, Si- или InGaAs/InP-фотодиод. Результаты измерений для InGaAs/InP-фотодиодов с разными размерами фоточувствительной области приведены на рис. 2 [1].

Одним из основных критериев выбора фотодиода для измерителя оптической мощности является минимальное значение темнового тока  $I_t$  и линейность ватт-амперной характеристики фотодиода во всем требуемом динамическом и температурном диапазоне. При этом нужно отметить, что фотодиод практически работает в фотовольтаическом режиме при сопротивлении нагрузки, близкой к нулевому значению, что затрудняет выполнение условия линейности ватт-амперной характеристики при большой мощности оптического сигнала ( $P > 1...2$  мВт). Для компенсации температурной зависимости применяют различные

Авторы благодарны сотрудникам ЦСП КГД ВАТ «Укртелеком», особенно В. А. Ходкову, за активное сотрудничество во время разработки и испытаний приборов.

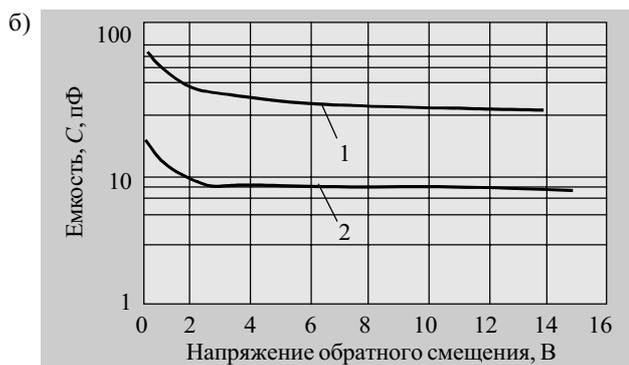
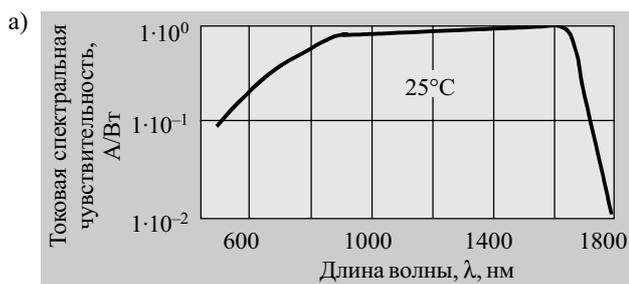


Рис. 2. Спектральная (а) и вольт-фарадная (б) характеристики InGaAs/InP-фотодиода:

1 — фоточувствительная область  $\varnothing 1,12$  мм; 2 —  $\varnothing 0,8$  мм

программные и схемотехнические методы, особенно это актуально при использовании Ge-фотодиода.

2. *Логарифмический усилитель.* Основные требования: обеспечение прецизионности преобразования  $u = k \lg(I_\phi)$  в большом динамическом (7 декад) и температурном ( $-10...+45^\circ\text{C}$ ) диапазоне.

Не проводя детального анализа работы схемы усилителя, остановимся на некоторых трудностях, связанных с реализацией процесса прецизионного логарифмирования.

В данной схеме процесс логарифмирования входного сигнала происходит благодаря нелинейности  $p-n$ -перехода, включенного в цепь обратной связи операционного усилителя (ОУ) — рис. 3. Для данной схемы (при напряжении база-эмиттер  $U_{\text{бэ}} > 100$  мВ) справедливо соотношение

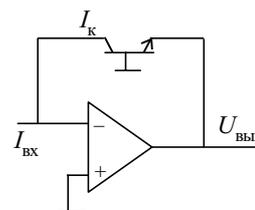


Рис. 3 ( $I_k$  — коллекторный ток транзистора;  $I_{\text{вх}}$  — входной ток;  $U_{\text{ввых}}$  — выходное напряжение)

$$U_{\text{вых}} = \varphi_T \ln \left( \frac{I_{\text{к}}}{I_{\text{кт}}} \right) \quad (1)$$

где  $\varphi_T = kT/q$  — температурный потенциал;  
 $k$  — постоянная Больцмана;  
 $T$  — температура;  
 $q$  — заряд электрона;  
 $I_{\text{кт}}$  — темновой ток  $p-n$ -перехода (обратный ток).

Таким образом, в (1) входят две составляющие, зависящие от температуры  $t$ , —  $\varphi_T = f(t)$  и  $I_{\text{кт}} = f(t)$ . Применяв два идентичных транзистора (т. е. на одном кристалле), как показано на рис. 4, с учетом выражения (1) и закона Кирхгофа получим следующее выражение для  $U_{\text{вых}}$ :

$$U_{\text{вых}} = -2,303 \left( \frac{R_2 + R_3}{R_3} \right) \left( \frac{kT}{q} \right) \lg \left( \frac{I_{\text{вх}}}{I_1} \right) \quad (2)$$

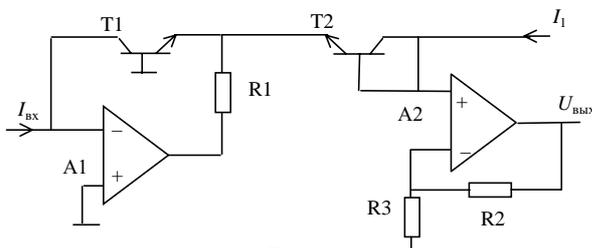


Рис. 4

Анализ уравнения (2) показывает, что транзистор T2 компенсирует изменение падения напряжения  $U_{\text{бэ}}$  в транзисторе T1, связанное с изменением температуры, но наклон данной зависимости (множитель  $kT/q$ ,  $I_{\text{к}} = f(U_{\text{бэ}})$ ) не компенсируется. Это довольно существенно, т. к. изменение температуры на  $10^\circ\text{C}$  приводит к изменению наклона графика на  $I_{\text{к}} = f(U_{\text{бэ}})$  примерно на 10%. Для компенсации данной температурной зависимости необходимо обеспечить выполнение условия

$$\left( \frac{R_1 + R_2}{R_2} \right) \approx \frac{1}{T}, \quad (3)$$

которое реализуется путем подбора терморезистора с соответствующим температурным коэффициентом сопротивления [2].

Основные требования для выбора ОУ А1 (рис. 4) — это низкие значения входного тока ( $I_{\text{вх}} < 1 \text{ нА}$ ) и напряжения смещения  $U_{\text{см}}$ , с одной стороны, и их минимальный температурный дрейф ( $U_{\text{см}}(t), I_{\text{вх}}(t)$ ), с другой стороны. Поэтому не следует сразу отдавать предпочтение ОУ с полевыми транзисторами на входе, учитывая, что у них входные токи гораздо ниже, чем у биполярных ОУ.

Диапазон точного логарифмирования при низких значениях входного тока ( $< 10^{-9} \text{ А}$ ), особенно при изменении температуры, ограничен параметрами применяемого ОУ А1, а при больших уровнях  $I_{\text{вх}}$  ( $10^{-3} \text{ А}$ ) — соответственно действием напряжения  $I_{\text{к}} r_{\text{б}}$  ( $r_{\text{б}}$  — сопротивление области базы транзистора, зависит от типа транзистора и лежит в пределах  $0,25\text{—}10 \text{ Ом}$ ) [3].

3. Аналого-цифровой преобразователь. Основные параметры — разрядность и частота дискретизации. Предпочтительным является использование 12-разрядного преобразователя с частотой дискретизации до сотен кГц, однако могут применяться более высокочастотные либо с большей разрядностью, например дельта-сигма-преобразователи. Поскольку частота входно-

го сигнала не критична, удобнее использовать АЦП с последовательным интерфейсом передачи данных.

4. Блок индикации — 4-разрядный семисегментный жидкокристаллический индикатор (ЖКИ) или матрица ЖКИ. Основное требование: достаточно большие цифры (для удобства работы), наличие подсветки, надежность работы в условиях заданного температурного диапазона, малое энергопотребление.

5. Микропроцессорный контроллер. Выполняет формирование сигналов управления на АЦП, обработку данных с АЦП, включает в себя также драйвер клавиатуры и ЖКИ, формирует опорные сигналы на внешние устройства. На его основе реализованы все сервисные функции прибора (автоматическое отключение, звуковая индикация, обработка нажатий кнопок клавиатуры).



Рис. 5  
 Конструктивно измеритель средней мощности оптического излучения IT1701 (рис. 5) выполнен в противоударном пластиковом корпусе и помещен в защитный кожаный чехол. Основные технические параметры приведены в табл. 1.

Таблица 1

Основные технические параметры прибора IT1701

Длина волны калибровки, нм	850, 1310, 1550
Диапазон измерения, дБм	-70,0...+ 3,0
Полная погрешность измерения абсолютного уровня мощности (в диапазоне -60,0 дБм ...+ 3,0 дБм), дБ, не более	± 0,5
Разрешение цифровой индикации прибора, дБ	0,1
Оптический интерфейс	Сменные адаптеры типа FC, ST, SC, Лист-Х
Габаритные размеры, мм	150×80×40

В сравнении с выпускаемыми в настоящее время приборами данного класса прибор IT1701 обладает более низким током потребления ( $< 4 \text{ мА}$ ), лучшими массогабаритными характеристиками, малой инерционностью измерений, имеет более расширенный диапазон рабочих температур и меньшую стоимость. Хорошо рекомендовал себя за 7 лет работы.

Приборы IT1702, IT1703 имеют аналогичные характеристики, кроме спектральных, т. к. в них используются Ge- и Si-фотодиоды, соответственно.

Прибор IT1704 специально разработан для измерения параметров оптического тракта кабельного телевидения, т. е. с диапазоном измеряемой мощности оптического излучения +25...-40 дБм.

На базе IT1701 разработан оптический тестер IT1705 с одним или двумя источниками излучения, стабилизированными по оптической выходной мощности (по выбору потребителя). Основные параметры источников излучения приведены в табл. 2.

IT1707 — измеритель средней мощности оптического излучения с более расширенными, по сравнению с базовой моделью, сервисными функциями (пять значений длины волны калибровки, наличие встроен-

Таблица 2

Параметры источников излучения

Тип излучателя	СД	ЛД	ЛД	ЛД
СД — светодиод				
ЛД — лазерный диод				
Длина волны излучения, нм	850	850	1310	1550
Выходная оптическая мощность, дБм (мВт)	-20 (-0,01)	0 (1)	0 (1)	0 (1)

ной энергонезависимой памяти для сохранения результатов измерений, встроенный порт RS-232, отображение в дБ или Вт, а также измерение среднего значения по выбранному количеству измерений относительно выбранного уровня мощности). Это позволяет использовать прибор для тестирования параметров передающих модулей во времени, а при необходимости — и при воздействии внешних факторов (температуры и др.). В данной модели, в отличие от предыдущих, существенно расширено функциональное применение микроконтроллера при анализе оптического сигнала, что позволило повысить точность измерений.

Для данного прибора разработано программное обеспечение, позволяющее выполнять запись и обработку результатов измерений на персональном компьютере. Программное обеспечение позволяет также моделировать проведение виртуальных измерений, задавая программно виртуальные генераторы, аттенюаторы, измерительные преобразователи. Пользователь имеет возможность наблюдать все этапы промежуточных преобразований (прямое и логарифмическое усиление, аналого-цифровое преобразование, расчет коэффициентов компенсации, преобразование форматов числовых данных), осуществлять ввод сигналов посредством стандартных интерфейсов RS-232, Centronix и выполнять передачу команд управления приборами и макетными образцами по последовательному интерфейсу, что позволяет более наглядно демонстрировать работу прибора в учебных целях. Общий вид ПО для работы с измерителем средней мощности оптического излучения представлен на рис. 6 [4].

Особое место среди рассматриваемых приборов занимает ИТ1709 — измеритель оптической мощности с дополнительным фотодетектором (характеристики некоторые из них приведены ниже), совместно

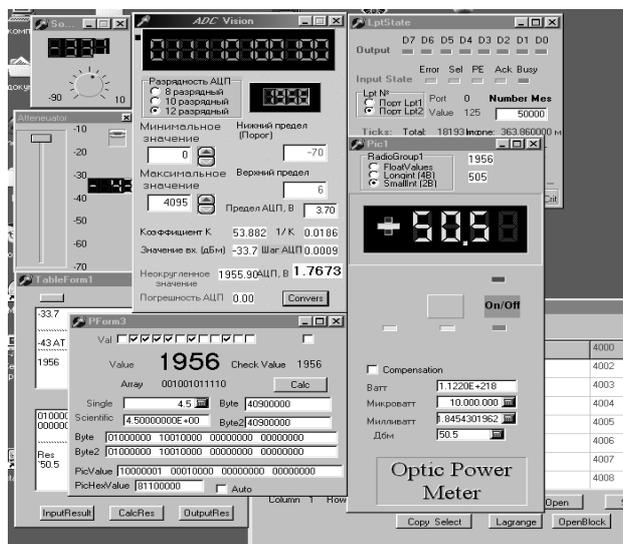


Рис. 6

с осциллографом позволяющий определять импульсные характеристики оптического сигнала. Это необходимо, когда информации о средней мощности оптического излучения недостаточно для оценки интересующих параметров (глубина модуляции оптического излучения, форма импульса, длительность фронта).

Основное назначение данного прибора — это применение для настройки оптимальных электрооптических режимов передающих лазерных модулей при их производстве, настройке и эксплуатации. Как показывает практика, неправильный (неоптимальный) выбор глубины токовой (оптической) модуляции лазерного диода по отношению к ее постоянной составляющей ведет к быстрой деградации лазерного диода.

Для определения импульсных характеристик оптического сигнала, исследования глаз-диаграммы разработан ряд фотодетекторов (оптоэлектрических конвертеров). Они отличаются типами применяемого фотодиода (спектральные характеристики), шириной полосы пропускания (усиления), наличием усилителя и конструктивным исполнением.

Таблица 3

Основные технические параметры фотодетекторов

Тип прибора	Спектральный диапазон, нм	Ширина полосы пропускания, МГц	Коэффициент оптоэлектрического преобразования, В/Вт, при $R_{in}=50$ Ом	$\lambda$ , нм	Тип оптического адаптера
ИТ201	400—1100	10	35	850	FC, ST, ЛИСТ-X
ИТ202	400—1100	50	35	850	FC, ST
ИТ102	650—1750	50	40	1300	FC, ST
ИТ304	900—1700	350	40	1300	FC, ST
ИТ305	900—1700	800	35	1300	FC, ST

Учитывая, что для выполнения некоторых измерений достаточно применение фотодетекторов без усилителя (unamplified detector), приведем характеристики только для данного класса приборов (табл. 3). Один из возможных вариантов конструктивного исполнения показан на рис. 7.



Рис. 7

В настоящее время ведется разработка фотодетекторов (как с усилителем, так и без него) с шириной полосы пропускания 2 ГГц (InGaAs/InP-детектор) и 5 ГГц (GaAs МПМ-структура, интегрированная с GaAs-усилителем) [1, 5].

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

- Осинский В. И., Привалов В. И., Тихоненко О. Я. Оптоэлектронные структуры на многокомпонентных полупроводниках.— Минск: Наука и техника, 1981.
- Титце У., Шанк К. Полупроводниковая схемотехника.— М.: Мир, 1982.
- Алексеев А. Г., Коломбат Е. А., Стародуб Г. И. Применение прецизионных аналоговых ИС.— М.: Радио и связь, 1981.
- Воронько А. А., Мерзвинский П. А. Разработка измерительного комплекса для активных оптоэлектронных компонент ВОЛС /Мат-лы 11-й междунар. конф. "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии".— Севастополь.— 2001.— С. 409—412.
- Сундучков К. С., Осинский В. И., Воронько А. А. и др. Функциональная и технологическая интеграция в микроволновой оптоэлектронике /Мат-лы 6-й междунар. конф. "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии".— Севастополь.— 1996.— С. 25—33.