

*И. Ш. НЕВЛЮДОВ*, д-р техн. наук, *М. А. ОМАРОВ*, *С. И. ПЕТРОВ*,  
канд. техн. наук, *Н. А. КОНДРА*

### **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОГОМОДОВЫХ СВЕТОВОДОВ**

В настоящее время известны два основных метода измерения распределения мощности светового сигнала по модам: первый основан на измерении интенсивности излучения в ближней зоне выходного торца световода [1], второй — на измерении интенсивности в фокальной плоскости линзы, осуществляющей Фурье-преобразования ближнего поля на выходном торце световода, т. е. в дальней зоне выходного торца [2].

Измерение в области ближнего поля состоит в сканировании поперечного сечения выходного торца световода с целью получения распределения мощности в виде функции от местоположения. Поскольку каждая мода световода имеет некоторое распределение интенсивности по поперечному сечению световода, то указанное измерение позволяет определить типы возбуждаемых мод и их относительный вклад.

Измерение в дальней зоне обычно проводят, начиная с расстояния  $z_0 = (2a)^2/\lambda$  от конца волокна, где  $a$  — радиус сердцевинны. Селекция мод в дальней зоне для градиентных световодов довольно сложна, поскольку нет однозначного соответствия между дифракционной картиной Фраунгофера, получаемой Фурье-преобразованием ближнего поля на выходном торце и главным модовым числом. В ступенчатом световоде такое соответствие имеет место, и поэтому измерение распределения модовой мощности затруднений не вызывает [3]. На практике измерение в дальней зоне производится на расстояниях больших  $10 z_0$ . Для сбора обработки результатов измерений целесообразно использовать микроЭВМ.

Измерения дифференциальной модовой задержки (ДМЗД) и дифференциального импульсного отклика (ДИО) так же, как и измерения распределения мощности по модам проводятся для группы вырожденных мод. Измерения ДМЗД и ДИО проводятся как частотно-модуляционными, так и импульсными методами [4]. Оба метода имеют свои преимущества и недостатки при практически одинаковой точности. Однако с точки зрения аппаратурной реализации первый гораздо сложнее.

В соответствии с предъявляемыми требованиями была разработана установка, структурная схема которой представлена на рис. 1. Основными функциональными узлами установки являются узел возбуждения световода, анализатор распределения мощности в дальней зоне и блок автоматизированной обработки результатов измерений. В качестве источника оптических импульсов использовался полупроводниковый лазер с длиной волны излучения

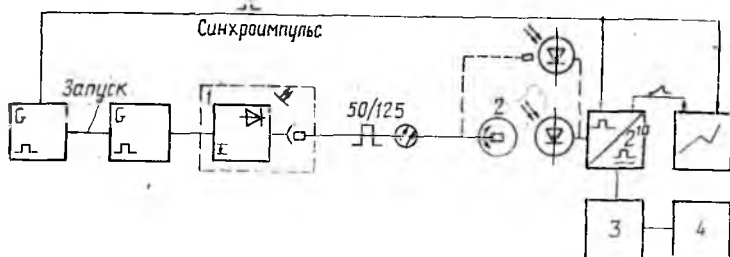


Рис. 1

$\lambda = 0,85$  мкм и шириной спектра порядка 4 нм. Короткий, длительностью порядка 1 нс по уровню 0,5 от максимальной амплитуды импульс генерировался при накачке коротким импульсом тока релаксационного генератора. Принципиальная схема автоколебательного релаксационного генератора приведена на рис. 2. В основе работы генератора лежит использование режима лавинного пробоя транзисторов, который позволяет формировать импульсы тока с длительностью фронтов  $\tau_{\phi} \leq 1$  нс. Генератор собран на

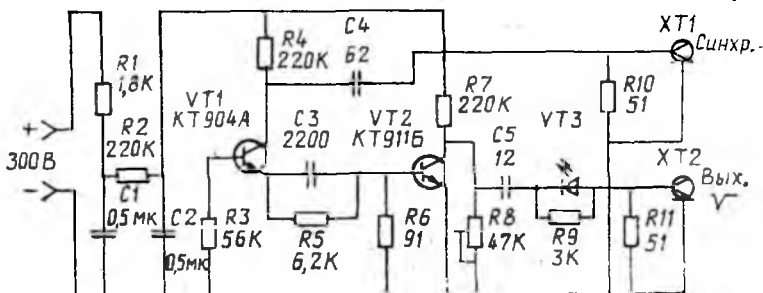


Рис. 2

транзисторе  $VT1$ , на коллектор которого подается напряжение, в несколько раз превышающее напряжение пробоя. Большое сопротивление в цепи коллектора предохраняет транзистор от выхода из строя. При достижении на коллекторе напряжения пробоя происходит быстрый разряд конденсатора  $C4$  и на резисторе  $R10$  появляется короткий импульс, который при необходимости может быть использован для синхронизации осциллографа. Резистор  $R10$  служит для согласования выхода синхронизации с кабелем, волновое сопротивление которого  $\rho = 50$  Ом. Разрядный ток конден-

сатора  $C4$  через прямосмещенный базо-эмиттерный переход транзистора  $VT2$  заряжает конденсатор  $C3$  в цепи эмиттера  $VT1$ . В результате этого транзистор  $VT1$  закрывается. Конденсатор  $C3$  медленно разряжается через резистор  $R5$ , что снова приведет к пробое транзистора  $VT1$ . Частота колебаний подбирается с помощью элементов  $R5$  и  $C3$ . При указанных на схеме номиналах элементов частота колебаний составляет 3—5 кГц. Длительность импульсов синхронизации 10 нс.

На коллекторе транзистора  $VT2$  появляется импульс отрицательной полярности с высокой крутизной переднего фронта и большой амплитудой. После дифференцирования элементами  $C5$  и  $R11$  получается импульс с длительностью по уровню 0,5 от максимальной амплитуды равный 1 нс. Следует отметить, что поскольку фотоприемник реагирует на интенсивность сигнала, то отсчет по уровню 0,5 от электрической амплитуды соответствует отсчету по уровню 0,5 от оптической мощности. Падение напряжения на прямосмещенном лазерном диоде невелико. Амплитуду импульса плавно можно изменять резистором  $R8$ , а грубо — конденсатором  $C5$ . Лазерный диод включен последовательно с конденсатором  $C5$ , что и позволяет получить короткий световой импульс. Заряд конденсатора  $C5$  в паузах между импульсами происходит через резистор  $R9$ .

Предусмотрена возможность контроля работоспособности генератора. Для этого напряжение, снимаемое с резистора  $R11$ , служащего для согласования с кабелем, подается на вход осциллографа, на выход  $XI2$  устанавливается заглушка с резистором величиной 20—50 Ом, что позволяет обеспечить рабочий режим лазера. Для питания генератора может быть использовано как постоянное напряжение, так и выпрямленное пульсирующее с амплитудой  $U_m = 300 \text{ В} \pm 10 \%$ .

Использование генератора Г5-60 в качестве устройства регулируемой задержки импульсов запуска осциллографа и преобразователя В9-5 позволяет компенсировать задержку оптического сигнала в световоде и совместить исследуемый импульс с началом развертки в осциллографе и началом момента преобразования в приборе В9-5.

При измерении распределения мощности по модовым группам в дальнем поле можно считать, что между углом, под которым производится детектирование сигнала, и номером группы мод ступенчатого световода существует однозначная зависимость. С учетом закона Снеллиуса эта зависимость определяется выражением  $\Theta = \arcsin(n_1 \sqrt{2\Delta} m/m_c)$ , где  $\Theta$  — угол между оптической осью и направлением распространения оптического излучения, а  $m$  и  $m_c$  — номер модовой группы и составное модовое число вблизи отсечки. Используемый анализатор распределения мощности работает по методу фиксированного фотоприемника и вращающегося конца световода.

Перед тем, как произвести измерение, необходимо тщательно подготовить торец световода и проверить его плоскость и перпен-

дикулярность оси. Крепление световода осуществлялось в держателе световода с V-образной канавкой таким образом, чтобы участок максимальной интенсивности дальнего поля проходил через плоскость, в которой расположен фотодиод. Используемый анализатор обеспечивает сканирование дальнего поля в диапазоне  $0-25^\circ$  с шагом  $1^\circ$ . Погрешность измерения угла составляет  $\pm 4,3\%$ .

Импульсы излучения детектировались лавинным фотодиодом ЛФД-2А, имеющим чувствительность  $0,5$  А/Вт и полосу пропускания порядка  $1$  ГГц. Электрический импульс поступал на вход стробоскопического преобразователя напряжения В9-5 и осциллограф С7-12, который используется для визуального наблюдения сигнала. Прибор В9-5 обеспечивает преобразование стробируемой в данный момент точки информационного сигнала в напряжение постоянного тока, а также в двоичный и десятичные цифровые коды. Выбор диапазона сканирования и задержки момента преобразования входного сигнала осуществляется по директивам оператора путем подачи на шину «Дистанционное управление» преобразователя 4-декадного двоично-десятичного кода в потенциальной форме.

Блок интерфейса сопряжения предназначен для аппаратного сопряжения микроЭВМ «Электроника ДЗ-28» с преобразователем напряжения стробоскопическим В9-5. Для этой цели выбрано устройство, предложенное в [5]. Оно позволяет осуществлять управление преобразователем в режиме «Дистанционное управление» и «Внешняя цифровая», а также ввод информации из преобразователя в микроЭВМ. С целью оценки погрешностей результатов измерений проводились исследования точностных характеристик экспериментальной установки. В качестве входного сигнала в данных исследованиях рассматривался электрический импульс, а выходной величиной служила его среднеквадратичная ширина. Суммарная погрешность результата включает в себя аппаратные погрешности измерительного тракта стробоскопического преобразователя, шум квантования, обусловленный алгоритмом аналого-цифрового преобразования, ошибки, возникающие на этапе среднеквадратичной ширины.

Как указывалось выше, в экспериментальной установке используется стробоскопический преобразователь напряжения В9-5. Предел допускаемой основной погрешности преобразования напряжения составляет  $\pm 0,5\%$  для номинальных значений. Для реализации процесса аналого-цифрового преобразования прибор В9-5 содержит встроенный АЦП. Предел допускаемой основной погрешности аналого-цифрового преобразования, обусловленного квантованием по уровню преобразуемого сигнала, не превышает  $\pm 20mB$ , что составляет  $\pm 0,5\%$  для номинальных значений.

Погрешности на этапе вычисления появляются, во-первых, вследствие перехода от аналитических формул к численным методам, т. е. вследствие замены интервала с бесконечными пределами суммой последовательности конечной длины, во-вторых, вследствие ошибок в выборе времени дискретизации исходного сигнала,

Время дискретизации определяло точность представления исходного сигнала и выбиралось из условия  $\Delta t \leq \tau/20$ , где  $\tau$  — длительность импульсного сигнала у основания.

Для оценки погрешности вычисления среднеквадратичной ширины использовался тестовый сигнал, заданный аналитически. Анализ и сопоставление результатов показали, что относительная ошибка вычислений составляет 8 %.

Список литературы. 1. *Daido Y., Miyauchi E., Iwama S.* Determination of modal power distribution in graded-index optical waveguides from near-field pattern and its application to differential mode attenuation measurements // *Appl. Opt.* 1979. Vol. 18, № 3. P. 2207—2214. 2. *Кугушев А. И., Керимов А. К., Яковлев М. Я.* Дифференциальные характеристики многомодовых градиентных световодов и методы их измерения // *Зарубеж. радиоэлектроника.* 1983. № 7. С. 54—57. 3. *Miyagi M., Kawarata S., Ohashi M.* Measurement of mode conversion coefficient and mode dependent losses in a multimode fiber // *Appl. Opt.* 1978. Vol. 17, N 20. P. 3238—3244. 4. *Виноградова Н. Н., Крупина В. Л.* Анализ состояния и тенденций развития волоконно-оптических систем передачи информации // *Зарубеж. радиоэлектроника.* 1982. № 8. С. 3—18. 5. *Снегирев Е. П.* Устройство сопряжения стробоскопического преобразователя В9-5 с микро-ЭВМ «Электроника ДЗ-2» // *Приборы и техника эксперимента.* 1984. № 3. С. 72—74.

*Поступила в редколлегию 04.02.90*