

БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ЭНЕРГИИ ИМПУЛЬСОВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

В. Г. Гужва, Н. И. Зинченко, Н. Г. Кокодий, В. М. Кузьмичев

Х а р ь к о в

Назначение прибора. Разработка быстродействующего измерителя вызвана необходимостью оперативного контроля энергии импульсов лазеров, работающих с частотой. Калориметрические измерители, получившие широкое распространение для измерения энергии одиночных импульсов [1], не пригодны для этой цели ввиду значительной инерционности: время между измерениями составляет несколько минут. Кроме того, калориметр измеряет энергию лишь одного импульса, за время измерения последующие импульсы излучения не должны попадать в калориметр. Необходимость выполнения последнего требования представляет определенные неудобства.

Главным достоинством разработанного авторами пироэлектрического измерителя ПИ-2 является быстродействие: время измерения порядка 2 *сек.*, время между измерениями не более 15 *сек.* Указанное время измерения определяется инерционностью измерительного прибора. Длительность электрического импульса равна нескольким миллисекундам, что позволяет измерить энергию одного импульса из серии импульсов, следующих с частотой до 100 *гц.*

Принцип действия. Высокое быстродействие достигнуто применением в измерителе пироэлектрического датчика, преобразующего импульс излучения в электрический сигнал. Пироэлектрическим эффектом называют изменение спонтанной поляризации некоторых веществ при изменении температуры. В измерителе ПИ-2 датчик представляет собой диск из пироактивной керамики цирконат-титаната свинца ЦТС-19, снабженный серебряными электродами. При нагревании датчика импульсом излучения между его электродами возникает напряжение, пропорциональное энергии импульса [2, 3, 4]. Это напряжение не зависит от распределения температуры в датчике и является мерой полной энергии импульса излучения. Если же датчик подключен, например, к усилителю с входным сопротивлением $R_{вх}$ и входной емкостью $C_{вх}$, то на нем при поглощении импульса излучения с длительностью t_u возникает импульс напряжения с амплитудой, пропорциональной энергии импульса излучения, и с длительностью,

определяемой постоянной времени $\tau = R_{вх} (C_d + C_{вх})$, где C_d — емкость датчика. При $\tau \gg t_u$ длительность электрического импульса не зависит от длительности импульса излучения, что позволяет измерять энергию импульсов излучения как в режиме свободной генерации, так и в режиме модуляции добротности. В измерителе ПИ-2 амплитуда импульса напряжения измеряется пиковым вольтметром. Отсчет энергии импульса излучения производится по максимальному отклонению указателя индикаторного прибора. При измерении средней мощности импульсно-модулированного излучения ОКГ индикатор показывает среднее значение импульсного тока, отсчет производится по установившимся показаниям.

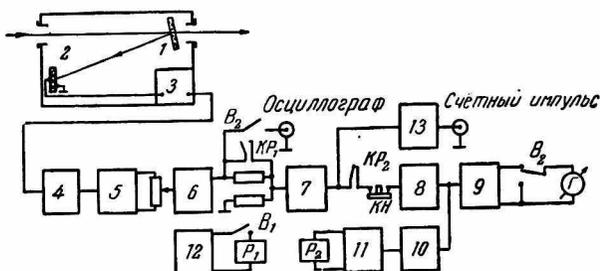


Рис. 1.

Блок-схема измерителя приведена на рис. 1. Прибор конструктивно состоит из двух частей — измерительной головки и блока индикации. В измерительной головке установлена стеклянная ответвляющая пластинка 1, отражающая часть проходящего излучения (около 9%) на пьезоэлектрический датчик 2. Плотность энергии в измеряемом луче достигает 100 Дж/см^2 . Серебряный электрод с высоким коэффициентом отражения предохраняет датчик от разрушения излучением. С этой же целью перед датчиком помещено рассеивающее матовое стекло, которое также улучшает зональную характеристику, поэтому показания измерителя почти не зависят от места попадания луча. Чтобы исключить пьезоэлектрические помехи, возникающие при механических вибрациях, датчик укреплен на поролоне.

С датчика импульс напряжения через катодный повторитель 3 и переключатель пределов измерений 4 поступает на трехкаскадный усилитель 5, 6, 7 и далее на пиковый вольтметр 9, выполненный по схеме параллельного детектирования на полупроводниковом диоде. Нагрузкой пикового вольтметра служит индикатор Г — микроамперметр М136 со световым указателем. Между первым и вторым каскадами усилителя имеется делитель, с помощью которого производится фиксированное изменение усиления при изменении режима работы измерителя. С выхода катодного повторителя 8, согласующего выходное сопротивление усилителя с входом пикового вольтметра, сигнал поступает также на схему блокировки, отключающую схему индикации после прохождения одного измеряемого импульса. Измеряемый импульс передним фронтом запускает ждущий мультивибратор 10. Импульс с выхода мультивибратора задним фронтом открывает тиратрон 11, в анодную цепь которого включено реле P_2 , его контакты KP_2 отключают схему индикации от усилителя. Схема приводится в исходное состояние нажатием и отпусканием кнопки KH «готов». При нажатии ее $H3$ контакты отключают схему индикации от усилителя, а ее $H0$ контакты (на блок-схеме не показаны) подключают большую емкость к аноду тиратрона, и он гаснет. Напряжение на его аноде повы-

шается, и на передней панели прибора загорается неоновая лампочка, указывая на готовность схемы к измерению. Контакты КР₂ реле Р₂ подготавливают цепь подключения схемы индикации к усилителю, а при отпускании кнопки ее НЗ контакты выполняют подключение. С выхода усилителя сигнал поступает на формирователь импульсов счета 13, собранный по схеме ждущего мультивибратора. Возможность счета импульсов позволяет измерить энергию любого по порядку следования импульса ОКГ из серии идущих через прибор.

Переход к режиму измерения средней мощности осуществляется включением тумблера В₁ «одиначный — средняя». При этом НО контакты КР₁

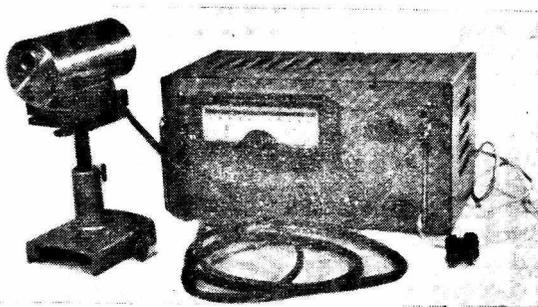


Рис. 2.

реле Р₁, на которые подается напряжение от выпрямителя 12, замыкают выводы одного из сопротивлений делителя, чтобы увеличить усиление, а НЗ контакты реле Р₁ (на схеме не показаны) снимают анодное напряжение с тиратрона 11, отключая тем самым схему блокировки.

С помощью тумблера В₂ «индикатор — осциллограф» внутренний индикатор можно отключить, при этом сигнал после второго каскада уси-

лителя подается на выходной разъем «осциллограф». Это позволяет контролировать на экране осциллографа постоянство энергии импульсов излучения, следующих с частотой до 100 гц.

Технические характеристики измерителя ПИ-2. Пределы измерения энергии импульсов свободной генерации и гигантских импульсов 1—3—10—30—100 дж, средней мощности 1—3—10—30—100 вт. Прибор калибруется по калориметрическому измерителю. Частота повторения импульсов излучения при измерении средней мощности 5—20 гц. Время измерения около 2 сек, время между измерениями не более 15 сек. Потери излучения в приборе 9%. Диаметр входного окна 20 мм. Диапазон длин волн излучения 0,4—1,5 мкм. Внешний вид прибора показан на рис. 2.

Анализ полной погрешности измерителя ПИ-2. Полная погрешность прибора определяется следующими составляющими.

1. Коэффициент отражения ответвляющей пластинки зависит от угла падения φ и угла поляризации оптического излучения α . Из формул Френеля может быть получено следующее выражение для коэффициента отражения стеклянной пластинки с учетом многократных отражений:

$$R(\alpha, \varphi) = \cos^2 \alpha \frac{\operatorname{tg}^2(\chi - \varphi)}{\operatorname{tg}^2(\chi + \varphi)} \left[1 + \frac{16 \sin^4 \chi \cos^4 \varphi}{\sin^4(\varphi + \chi) \cos^4(\varphi - \chi)} \cdot \frac{1}{1 - \frac{\operatorname{tg}^4(\chi - \varphi)}{\operatorname{tg}^4(\chi + \varphi)}} \right] + \\ + \sin^2 \alpha \frac{\sin^2(\chi - \varphi)}{\sin^2(\chi + \varphi)} \left[1 + \frac{16 \sin^4 \chi \cos^4 \varphi}{\sin^4(\varphi + \chi)} \cdot \frac{1}{1 - \frac{\sin^4(\chi - \varphi)}{\sin^4(\chi + \varphi)}} \right],$$

где $\sin \varphi / \sin \chi = n$ — показатель преломления материала пластинки; α — угол, отсчитываемый от плоскости падения луча. Ответвитель в измерителе изготовлен из стекла К-8, $n = 1,5163$ и установлен под углом падения $\varphi = 10^\circ$. Для этого случая зависимость коэффициента отражения от угла поляризации оптического излучения показана на рис. 3. Макси-

мальный коэффициент отражения отличается от минимального на 8%. Если градуировку измерителя проводить для угла поляризации $\alpha = 45^\circ$, максимальная погрешность составит $\pm 4\%$, а среднеквадратичная $\sigma_1 = \pm 1,4\%$.

2. Относительное изменение коэффициента отражения пластинки при изменении длины волны излучения с учетом многократных отражений можно рассчитать по формуле

$$\delta_1(\lambda) = \frac{\Delta R}{R} = \frac{2(n+1)}{(n^2+1)(n-1)} \cdot \Delta n.$$

В соответствии с этой формулой при увеличении длины волны излучения коэффициент отражения растет; если измеритель калиброван на длине волны рубинового лазера, а измеряет излучение неодимового лазера, необходимо его показания уменьшать на 5%.

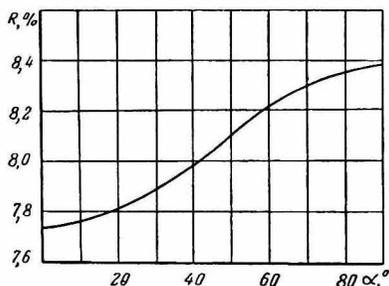


Рис. 3.

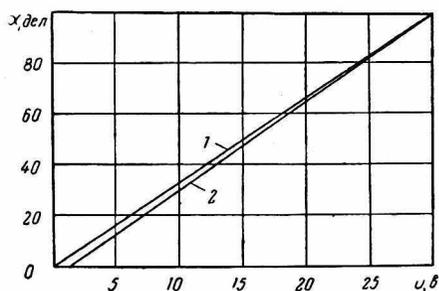


Рис. 4.

3. Исключение влияния интерференции на ответляющей пластинке достигается выбором клиновидности пластинки не менее 5—8 градусных минут.

4. Измеренная зональная характеристика измерителя (зависимость показаний от места попадания луча) близка к равномерной. Обработка ряда измерений дает среднеквадратичную ошибку одного измерения за счет неравномерности зональной характеристики $\sigma_2 = \pm 1\%$.

5. Градуировка пирозлектрического измерителя производилась по ледяному калориметру, среднеквадратичная погрешность которого равна $\sigma_3 = \pm 2\%$.

6. Измерительный тракт прибора питается от электронного стабилизатора с коэффициентом стабилизации 140. При изменении напряжения сети на $\pm 20\%$ выходное напряжение стабилизатора изменяется на $\pm 0,07\%$; среднеквадратичная погрешность, обусловленная изменением при этом усиления измерительного тракта, не превышает $\sigma_4 = \pm 0,1\%$.

7. Вольт-амперная характеристика полупроводникового диода, примененного в пиковом вольтметре, линейна начиная примерно с 0,5 в и может быть представлена кривой 2 на рис. 4, где по оси ординат отложены деления, пропорциональные зарядному току, протекающему через диод. Прямая 1 соответствует пиковому вольтметру с линейной характеристикой. Таким образом, показания пикового вольтметра занижены, причем ошибка уменьшается линейно до нуля при отклонении указателя индикаторного прибора на всю шкалу. В данном приборе на пиковый вольтметр подается напряжение не менее 30 в, следовательно, максимальная относительная систематическая погрешность не превышает $\delta_2 = -2\%$.

8. Сопротивления делителя подобраны с точностью $\pm 1\%$, связанная с этим среднеквадратичная погрешность составляет $\sigma_5 = \pm 0,4\%$.

5. В качестве индикаторного прибора используется микроамперметр М136 класса 1,0; его среднеквадратичная относительная погрешность не более $\sigma_6 = \pm 0,4\%$.

10. При изменении температуры в пределах (10—150) С° выходной сигнал пироэлектрического датчика остается постоянным. Среднеквадратичная погрешность индикации изменения выходного сигнала $\sigma_7 = \pm 0,5\%$.

Таким образом, максимальная относительная погрешность пироэлектрического измерителя выходных энергетических характеристик ОКГ без учета зависимости от длины волны излучения равна

$$\Delta = \vartheta_2 \pm 3 \sqrt{\sum_{i=1}^7 \sigma_i} = (-2 \pm 8)\%.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. А. Валитов, Н. Г. Кокодий, А. В. Кубарев, В. М. Кузьмичев, А. Я. Лейкин, Б. Н. Морозов, А. С. Обухов. Измерение характеристик оптических квантовых генераторов. Изд-во Комитета Стандартов, 1969.
2. J. Cooper, J. Sci. Instr. 39, 9, 1962.
3. W. W. Duley, J. Sci. Instr. 44, 8, 1967.
4. R. W. Astheimer, R. E. Buckley. «Приборы для научных исследований», 1967, 12.