

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕЗОНАНСНОЙ ЛЮМИНЕСЦЕНЦИИ И МЕТОДЫ ЕЕ РЕГИСТРАЦИИ С ЦЕЛЬЮ ИЗМЕРЕНИЯ ЭНЕРГИИ ИМПУЛЬСНЫХ ОКГ

*А. Я. Лейкин, К. И. Мунтян, Б. И. Рубинштейн,
В. С. Соловьев*

Харьков

Современный этап развития техники импульсных оптических квантовых генераторов характеризуется значительным расширением диапазона выходных мощностей как в области долей джоуля, так и в области больших энергий — до сотен джоулей. При этом мощность в импульсе ОКГ с управляемой добротностью может достигать тысяч мегаватт. Кроме того, наметились определенные тенденции к уменьшению длительности импульсов излучения до пикосекунд и к увеличению выходных апертур излучателей.

В связи с этим возникла необходимость в изыскании новых метрологических методов для измерения энергетических параметров ОКГ.

Определенный интерес представляют проходные измерители, поглощающие малую долю энергии излучения и позволяющие большую часть ее использовать по своему назначению.

В настоящее время известно достаточное количество методов, с успехом применяющихся в технике импульсных ОКГ [1, 2], однако не все из них по разным причинам могут быть использованы в качестве проходных измерителей энергии [2]. Нами исследовалась возможность создания измерителя энергии излучения ОКГ проходного типа для больших и малых мощностей наносекундного диапазона на эффекте резонансной люминесценции. В качестве преобразователя излучения использовался синтетический рубин, обладающий большой оптической прочностью. Идея преобразования излучения состоит в следующем. Короткий оптический импульс квантового генератора, поглощаясь в образце, возбуждает в нем резонансную люминесценцию, энергия которой практически равна энергии возбуждения, а длительность значительно превосходит длительность импульса возбуждения. Экспоненциальный характер и небольшие мощности люминесценции позволяют применять довольно простые методы регистрации ее энергии.

Известно, что энергию люминесценции можно связать с прошедшей через образец энергией следующим образом:

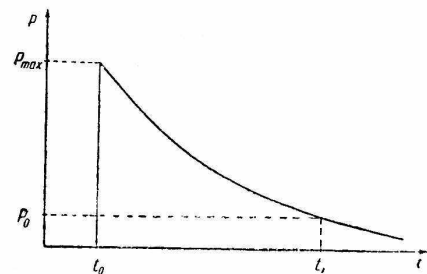
$$W_{л} = \beta W_{изл}, \quad (1)$$

где β — коэффициент преобразования энергии, учитывающий степень поглощения для данной частоты и оптической длины образца, поляризацию волны, прошедшую через образец, и квантовый выход люминесценции.

При соответствующем техническом решении нетрудно добиться достаточной стабильности β в зависимости от других параметров. Так, коэффициент поглощения в интервале частот спектра генерации ОКГ, реализуемых для линии R_1 , практически считаем постоянным. Зависимость от поляризации можно исключить, выбрав образец рубина с углом между оптической и геометрической осью, равным нулю. Квантовый выход, по значению

близкий к единице, является достаточно стабильным параметром.

Кинетика люминесценции рубина характеризуется экспонентой с большой постоянной времени затухания процесса излучения. Постоянная времени люминесценции является характеристикой материала и определяется



квантовым состоянием 2E с временем жизни порядка 3 мсек для комнатных температур [3, 4].

На рисунке представлена характеристика релаксации люминесценции при импульсном возбуждении образца. Для длительности импульса генерации $\sim 10^{-7}$ сек и длительности процесса люминесценции $10^{-2} - 10^{-3}$ сек процесс возбуждения можно считать мгновенным, а энергия люминесценции выразится как площадь под кривой на рис. 1:

$$W_{л} = P_{\max} \int_0^{\infty} e^{-\frac{t-t_0}{\tau}} dt = \tau P_{\max}, \quad (2)$$

где P_{\max} — пиковое значение мощности люминесценции; $t - t_0$ — время наблюдения люминесценции; τ — постоянная времени затухания люминесценции.

Падающий на фотоприемник световой поток люминесценции будет преобразован в соответствующий ему фототок, значение которого в любой момент времени определяется выражением

$$J_{\phi} = \alpha P_{\max} e^{-\frac{t-t_0}{\tau}}, \quad (3)$$

где α — чувствительность фотоприемника; $J_{\phi \max} = \alpha P_{\max}$ — пиковое значение фототока.

Тогда из (1), (2) (3) получим

$$W_{\text{изл}} = \frac{\tau}{\beta} J_{\phi \max}.$$

Таким образом, измерив $J_{\phi \max}$, можно определить прошедшую через образец энергию. В том случае, когда τ для образца неиз-

вестно, измерить энергию импульса можно и другим способом. Пусть нагрузкой фотоприемника будет емкость C . Тогда количество электричества, прошедшего через фотоприемник за время релаксации люминесценции, выразится как

$$Q = \alpha P_{\max} \int_0^{\infty} e^{-\frac{t-t_0}{\tau}} dt = \alpha \tau P_{\max},$$

а напряжение на емкости, возникшее за счет ее заряда:

$$U_c = \frac{\alpha \tau}{C} P_{\max}$$

и

$$W_{\text{изл}} = \frac{C}{\alpha^2} U_c.$$

Последние два метода используются в фотоэлектрических фотометрах, достаточно широко применяемых как в оптике вообще, так и в технике измерения оптических параметров ОКГ, в частности [5].

Для такого типа измерителей основным требованием, предъявляемым к фотоприемнику, является линейность преобразования излучения в фототок. Обеспечение линейного участка преобразования сопряжено с определенными трудностями, а сам линейный участок не всегда удовлетворяет динамическому диапазону измерителя.

Рассмотрим один из способов регистрации энергии люминесценции, исключающий изложенный выше недостаток. Пусть имеется пороговое электронное устройство, например, триггер Шмитта, обрабатывающее интервал $t_1 - t_0$ на фиксированном уровне мощности излучения P_0 так что в момент времени t_0 оно открывается, а в t_1 — закрывается (рисунок). Выразим энергию люминесценции образца через

$$W_{\text{л}} = P_{\max} \tau = \tau P_0 e^{\frac{t_1 - t_0}{\tau}}.$$

Обозначим $\tau P_0 = W_0$ как минимальное значение энергии, при котором отпирается пороговое устройство.

Тогда

$$W_{\text{л}} = W_0 e^{\frac{t_1 - t_0}{\tau}},$$

а

$$W_{\text{изл}} = \frac{W_0}{\beta} e^{\frac{t_1 - t_0}{\tau}}.$$

Таким образом,

$$W_{\text{изл}} = W_n e^{\frac{t_1 - t_0}{\tau}}, \quad (4)$$

где W_n — калибруемая постоянная прибора.

Как следует из выражения (4), W_n имеет смысл порогового значения энергии излучения, для которой $t_1 - t_0 = 0$; для всех остальных значений $W_{изл} > W_n$; $t_1 - t_0 > 0$.

Измерение длительности люминесценции на определенном уровне и выражение через нее энергии излучения позволяет применять фотоприемники с нелинейной характеристикой преобразования и производить измерения на фоне сильной электрической помехи, например, системы поджига лампы накачки.

Для экспериментальных исследований была изготовлена измерительная головка проходного типа, содержащая рубин с концентрацией хрома порядка 0,03%, диаметром 12 мм, длиной 20 мм, триггер Шмитта, фотоприемник типа ФТ-1к и интегрирующую полость. Головка в сборе имела вид цилиндра диаметром 20 и длиной 30 мм. В процессе эксперимента измерялись энергия ОКГ модулированной добротности с длительностью импульса порядка 30 нсек и длительность люминесценции. В качестве контрольного измерителя энергии использовался измеритель калориметрического типа, установленный на выходе измерительной головки. Длительность люминесценции измерялась частотомером типа Ф552А. Плотность измеряемой энергии менялась в пределах 0,01—0,5 Дж/мм². По результатам эксперимента строился график зависимости $\ln W_{изл} = f(t_1 - t_0)$, представляющий собой прямую линию с наклоном $\frac{1}{\tau}$, а по экстраполяции графика в область малых энергий, недоступных для измерения калориметром, определялась пороговая чувствительность W_n .

Для описанной выше головки W_n оказалась равной 10^{-5} .

Рассмотрим, как влияет выбор основных параметров прибора на погрешность измерения. Проанализируем формулу (4)

$$\frac{dW_{изл}}{W_{изл}} = \frac{dW_n}{W_n} + \frac{d(t_1 - t_0)}{\tau} + \frac{(t_1 - t_0)}{\tau^2} d\tau,$$

где dW_n — стабильность порога; $d(t_1 - t_0)$ — погрешность измерителя длительности люминесценции; $d\tau$ — погрешность определения τ .

Выбранный измеритель (Ф552А) позволяет измерять интервал $t_1 - t_0$ с достаточной точностью, поэтому членом $\frac{d(t_1 - t_0)}{\tau}$ можно пренебречь. Путем выбора $W_n \gg dW_n$ сводим к минимуму $\frac{dW_n}{W_n}$ и $\frac{t_1 - t_0}{\tau}$.

Последнее легко понять, учитывая, что увеличение порога срабатывания W_n позволяет перейти от более крутых участков экспоненты к более пологим. К сожалению, выбор W_n не произволен, необходимость обеспечения определенного динамического диапазона прибора и абсолютного значения измеряемой энергии ограничивает увеличение W_n .

ВЫВОДЫ

1. Применение оптического преобразователя импульса излучения малой длительности в импульс люминесценции, по длительности значительно превосходящий импульс излучения, значительно снижает требования к фотоприемнику. Так, вместо дорогостоящих коаксиальных, типа ФЭК, оказалось возможным применение фотодиодов и фототриодов типа ФД-7к ФТ-1к, менее габаритных и более стабильных, чем вакуумные.

2. Для расширения пределов измерения энергии известными фотоэлектрическими измерителями необходим набор нейтральных фильтров, откалиброванных по пропусканию на больших мощностях с высокой точностью, что представляет собой довольно сложную задачу. Люминесцентные измерители не нуждаются в светофильтрах, так как обладают очень широким диапазоном (экспериментально полученное значение 10^5 не является предельным).

3. Описанный способ регистрации энергии люминесценции по длительности импульса люминесценции оперативен и обладает помехоустойчивостью, что выгодно для телеметрии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Р. А. Валитов, Н. Г. Кокодий, А. В. Кубарев, В. М. Кузмичев, А. Я. Лейкин, Б. Н. Морозов, А. С. Обухов. Измерение характеристик оптических квантовых генераторов. Изд-во Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР, М., 1969.

2. Б. Н. Морозов. «Измерительная техника», № 10, 7, 1967.

3. Н. А. Толстой и др. Оптика и спектроскопия, т. VI, вып. 5, 659, 1959.

4. А. Л. Микаэлян, М. Л. Тер-Микаэлян, Ю. Г. Гурков. Оптические генераторы на твердом теле. Изд-во «Советское радио», 1967.

5. Импульсная фотометрия (сборник статей). Изд-во «Машиностроение», Л., 1969.