

отклонения пучка. А глубина провала в центре кривой  $I$  говорит о величине разрешения: чем он больше, тем больше разрешение.

На рис. 3, б приведена типичная экспериментальная кривая. Эта осциллограмма получена при механическом перемещении приемника, синхронном с разверткой осциллографа. Сравнение осциллограмм, полученных при различных апертурах светового пучка, показало, что на частоте сканирования  $f=3,23$  мГц максимальное разрешение получается при  $a=0,4$  мм, что хорошо совпадает с результатом теоретического расчета.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Girola A. J., Billeter T. R. Proc. IEEE, 51, 1150, 1963.
2. Kolb J., Loeber A. P. J. Acoust. Soc. Amer., 26, 249, 1954.
3. Lipnik R., Reich A., Schoen G. A. Proc. IEEE, 52, 853, 1964.
4. Lipnik R., Reich A., Schoen G. A. Proc. IEEE, 53, 321, 1965.
5. Ш у т и л о в В. А. «Акуст. журн.», 12, 2, 239, 1966.

Поступила в редакцию  
7.3 1968 г.

Кафедра  
физики колебаний

УДК 621.317.328.029.6

М. Н. ДЕВЯТКОВ

### О СПОСОБЕ ВИЗУАЛИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ СВЧ ПОЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ФОТОМАТЕРИАЛОВ

При исследованиях полей излучающих СВЧ систем, при решении задач радиодефектоскопии в миллиметровом и субмиллиметровом диапазоне и в ряде других случаев возникает необходимость регистрации распределения интенсивности излучения. Наиболее распространенные методы получения изображений электромагнитных полей СВЧ основаны на сканировании некоторой области пространства одним приемным элементом с последующей регистрацией протектированного сигнала. Однако при таких способах, требующих специальной приемно-сканирующей аппаратуры, на получение картины распределения затрачивается сравнительно большое время и, к тому же, они не могут обеспечить высокой точности передачи пространственной структуры распределения из-за конечной ширины диаграммы направленности приемной антенны. Метод, описанный в работе [1] и основанный на тепловом действии СВЧ излучения, приводящем к изменению толщины тонкой масляной пленки в вакууме за счет испарения, позволяет получать непрерывную картину распределения поля сразу в некоторой плоскости, но реализация его довольно сложна. Хорошие результаты и гораздо более простым путем могут быть получены при использовании для регистрации СВЧ полей фотоматериалов. Так, в работе [2] изображение пространственного распределения СВЧ поля получалось за счет разрушения под действием падающего излучения предварительно созданного в фотоэмульсионном слое скрытого изображения; при этом автор отмечает, что лучшие результаты могут быть получены при увлажнении фоточувствительной пластинки проявителем. Эксперименты, проводившиеся нами, приводят к такому же выводу.

Метод, применявшийся при наших исследованиях, заключается в следующем. Фотоматериал в течение нескольких минут пропитывается раствором проявителя, затем равномерно засвечивается и помещается в ту область пространства, где необходимо получить изображение распределения СВЧ поля. Перед экспозицией в СВЧ поле фотоэмульсионный слой целесообразно плотно покрыть тонким листком слюды для выравнивания слоя проявителя и предохранения его от испарения и окисления. Все операции (кроме засветки) производятся при неактивном для данного фотоматериала освещении.

Процесс проявления скрытого изображения запасенным в эмульсионном слое проявляющим веществом, вообще говоря, начинается сразу же после засветки, но можно подобрать условия, когда между моментом засветки и началом появления почернения проходит некоторое время (так называемый период индукции). Поглощение СВЧ излучения в фотоматериале приводит к его нагреву, причем температур-

чий рельеф, получающийся при этом, соответствует распределению интенсивности в сечении падающего потока излучения. Проявление скрытого изображения идет с большей скоростью на участках с большей температурой. Если через некоторое время прервать этот процесс, поместив фотоматериал в фиксирующий раствор, то степень почернения различных участков фотоэмульсионного слоя будет отражать степень их нагрева при экспонировании в СВЧ поле. Поэтому полученное фотографическое изображение характеризует распределение интенсивности СВЧ поля, причем областям

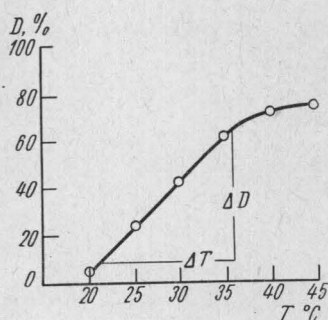


Рис. 1. Зависимость относительной плотности почернения от температуры фотоэмульсионного слоя, проявленного проявителем

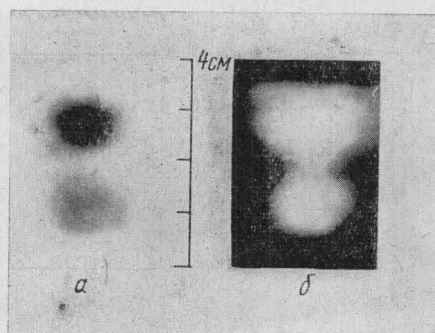


Рис. 2. Радиотермограммы СВЧ поля вблизи рупорной антенны, полученные на фотобумаге (а) и на фотопленке (б)

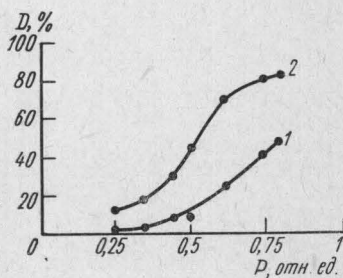


Рис. 3. Зависимость плотности почернения от мощности СВЧ (в относительных единицах) при экспозиции 1 — 50 сек и 2 — 100 сек

большей интенсивности излучения соответствуют участки большего почернения фотоматериала.

Этот метод, основанный на термохимическом действии СВЧ излучения на специально обработанные фотоматериалы, имеет много общего с фотографией, и нам представляется целесообразным назвать его «методом радиотермографии».

В процессе экспериментов были опробованы различные стандартные фотоматериалы — несколько типов фотобумаг и фотопленки. Для сравнения их характеристик были определены зависимости скорости проявления скрытого изображения от температуры фотоэмульсионного слоя, проявленного проявителем (в случае фотобумаг запас проявителя содержится также и в подложке). Типичный ход зависимости плотности почернения  $D$  от температуры показан на рис. 1. Для линейного участка такой кривой можно ввести температурный коэффициент  $\alpha_T = \frac{\Delta D}{\Delta T}$  в %

на °C, характеризующий термочувствительность обработанного указанным выше способом фотоматериала. Из обследованных нами фотоматериалов наибольший температурный коэффициент был у фотобумаги «фотобром № 4» (тонкая):  $\alpha_T = 3,8$  (время засветки 4 сек; проявитель «стандартный № 1»; время нагрева, равное времени проявления, — 2 мин). Этот материал в основном и использовался для получения радиотермограмм СВЧ полей. На рис. 2, а приведена картина распределения поля вблизи рупорного излучателя в диапазоне  $\lambda = 8$  мм, полученная на фотобумаге. Для сравнения на рис. 2, б показана подобная же картина, но полученная на фотопленке «Панхром» 32 ед. ГОСТ (отпечаток).

Регистрируемый данным методом минимальный уровень потока энергии в диапазоне волн  $\lambda = 8$  мм составлял, по оценкам, от нескольких милливатт до 10 мвт на  $см^2$  при временах экспозиции не более 100 сек (увеличение экспозиции в СВЧ поле при этом методе приводит к появлению фона, т. е. к значительному почернению участков фотоматериалов, не подвергающихся действию СВЧ излучения). Эти оценки показывают, что в способе, основанном на зависимости скорости проявления скрытого изображения от температуры, может быть достигнута существенно более высокая чувствительность, чем это получается в методе, использующем регрессию скрытого изображения (по данным [2] минимальный регистрируемый уровень составлял 150 мвт/см<sup>2</sup> при экспозиции в поле СВЧ 10 мин).

С точки зрения количественной расшифровки радиотермограмм представляет интерес зависимость плотности почернения от мощности падающего излучения. На рис. 3 представлены такие зависимости, полученные для фотобумаги «Фотобром № 4» при времени засветки 4 сек, и экспозициях в поле СВЧ — 50 и 100 сек (в относительных единицах мощности). Пользуясь подобными кривыми, полученными для фиксированных условий обработки и экспозиции конкретных фотоматериалов, можно путем фотометрирования радиотермограмм строить относительные распределения интенсивности излучения в заданной плоскости.

Автор выражает благодарность Н. А. Попову за участие в проведении экспериментов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. Koch P. H., Oertel. Proc. IEEE, 55, № 3, 1967.
2. Зиновьев О. А. ЖЭТФ, 52, № 5, 1967.

Поступила в редакцию  
27.3 1968 г.

Кафедра  
радиотехники

---