

Рамановский спектр пленок, полученных на переменном токе содержит линию (1330), соответствующую кристаллическому алмазу  $1330 \text{ см}^{-1}$ ).

УДК 620.130

### Прохождение импульсов магнитного поля через металлические образцы

Павлюченко В.В.

Белорусский национальный технический университет

Результаты данной работы могут быть использованы при расчете распространения электромагнитных полей и индукционных нагревательных установок, в дефектоскопии и медицине.

Известны теоретические работы по расчету переменных электромагнитных полей в электропроводящих средах [1-3]. Взаимодействие одиночных электромагнитных импульсов с металлическими образцами рассмотрено в ряде экспериментальных работ автора. Так в работе [4] на основании проведенных исследований плотности энергии электромагнитного поля над металлическими образцами предложено контролировать их электромагнитные свойства, толщину и наличие дефектов сплошности путем воздействия на образцы импульсами заданной амплитуды, формы и длительности с разрешением свойств образцов по глубине и выводом информации этих свойств в сечении образца на телевизионный экран. Исследования проведены на металлических образцах из Al на тиристорной установке с формирующими L-C-R цепочками для одиночных импульсов тока линейного токопровода разной конфигурации. На рис.1 представлены зависимости величины тока I токопровода и амплитуды сигнала U прошедшей сквозь образец толщиной  $2 \cdot 10^{-3}$  м из Al электромагнитной волны.

- 1- зависимость величины тока I токопровода от времени t .
- 2- зависимость амплитуды сигнала  $U_1$  от t .
- 3- зависимость амплитуды сигнала  $U_1$  от t с наложенной на токопровод медной пластиной толщиной  $3 \cdot 10^{-3}$  м .
- 4- зависимость амплитуды сигнала  $U_2$  от t .

Измерения проводили с помощью датчика Холла. Измеряли тангенциальную составляющую магнитного поля  $H_t$  электро-

магнитного импульса. Исследование сигнала напряжения, снимаемого с датчика, показало, что этот сигнал имеет три составляющие, которые обозначим через  $U_{\Pi}(t)$ ,  $U_{\Lambda}(t)$  и  $U_{\Gamma P}(t)$ .

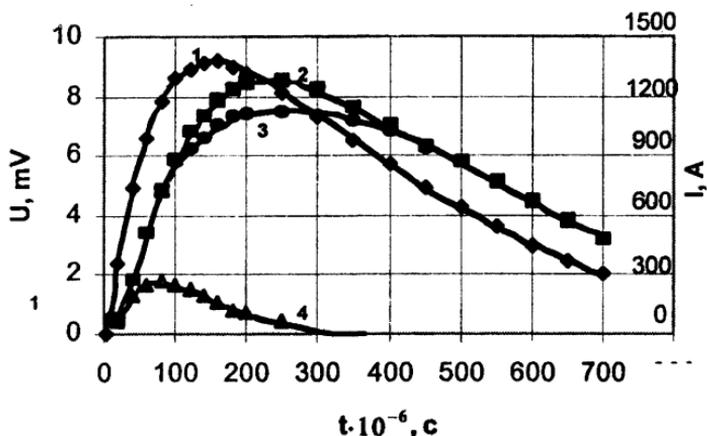


Рис. 1

Сигнал  $U_{\Pi}(t)$  – это величина напряжения, пропорциональная  $H_t$ . Сигнал  $U_{\Lambda}(t)$  – это величина напряжения, возникающего на входе измерительного прибора от датчика с его проводами, выступающими как единое целое в качестве приемной радиоантенны. Назовем этот сигнал сигналом антенны. Он зависит от геометрических размеров датчика и подводящих проводов, их длины и ориентации, суммарных с датчиком индуктивных, емкостных и омических характеристик. Через сигнал  $U_{\Gamma P}(t)$  обозначим напряжение, снимаемое с указанного датчика и пропорциональное величине производной по времени  $dH_t/dt$  от искомой величины тангенциальной составляющей  $H_t$ .

С учетом введенных обозначений амплитуды сигналов  $U_1$  и  $U_2$ , представленных на рис. 1 зависимостями 2, 3 и 4, будут соответствовать следующим выражениям:

$$U_1(t) = U_{\Pi}(t) + U_{\Lambda}(t) + U_{\Gamma P}(t); \quad U_2 = U_{\Lambda}(t) + U_{\Gamma P}(t).$$

Из рис. 1 следует, что зависимость 2 -  $U_1(t)$  прошедшей через образец волны в целом близка к форме зависимости 1 тока  $I$  токопровода, соответствующей изменению во времени поля  $H_t$  источника. При этом начальный участок зависимостей 2 и 4

сдвинут по времени от начального участка зависимости 1 на величину порядка  $15 \cdot 10^{-6}$  с, а максимум 2 по отношению к максимуму 1 – на  $80 \cdot 10^{-6}$  с. Это позволяет сделать вывод о том, что прошедшее через образец поле  $H_z$  достигает конечной величины и максимальной величины соответственно через  $15 \cdot 10^{-6}$  с и  $80 \cdot 10^{-6}$  с после старта поля падающей волны. Введем определения:  $v_{\text{сн}}$  – скорость старта прошедшей волны и  $v_{\text{макс}}$  – скорость максимума прошедшей волны, характеризующие изменение величины напряженности магнитного поля. Тогда с учетом толщины образца  $2 \cdot 10^{-3}$  м получаем:  $v_{\text{сн}} \approx 130$  м/с,  $v_{\text{макс}} \approx 25$  м/с. Отметим также, что восходящая и нисходящая ветви зависимости 2 являются более пологими, чем аналогичные ветви зависимости 1, т.е. поле прошедшей волны и возрастает и убывает медленнее поля падающей волны. Наличие над токопроводом медной пластины (зависимость 3) уменьшает величину максимального поля прошедшей волны примерно на 15%. Прохождение импульса электромагнитного поля через металлический образец и его распределение вблизи поверхностей образца исследовано также с помощью датчиков на основе магнитного носителя. При этом измеряли максимальную величину тангенциальной составляющей  $H_{\text{тmax}}$  магнитного поля. Толщина таких датчиков составляла порядка  $5 \cdot 10^{-5}$  м, а рабочего слоя –  $1 \cdot 10^{-5}$  м, что позволяло измерять величину  $H_{\text{тmax}}$  между пластинами образцов. Измерения проведены в средних магнитных полях порядка  $(1 \div 5) \cdot 10^4$  А/м на тиристорной установке с формирующими линиями и визуализацией импульса тока на экране осциллографа с послесвечением.

На рис.2 показаны зависимости максимальной тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля  $H_{\text{тmax}}$  от расстояния  $x$  до оси токопровода источника импульса тока: 1- для образца из Al толщиной  $d_1=4 \cdot 10^{-4}$  м, 2- для образца из Al толщиной  $d_2=2 \cdot 10^{-4}$  м, 3- в отсутствие образцов. Положение образцов относительно оси токопровода обозначено сплошными вертикальными линиями. Форма импульса тока – полусинусоида со временем нарастания  $150 \cdot 10^{-6}$  с, что соответствует частоте  $f=1,67 \cdot 10^3$  Гц.

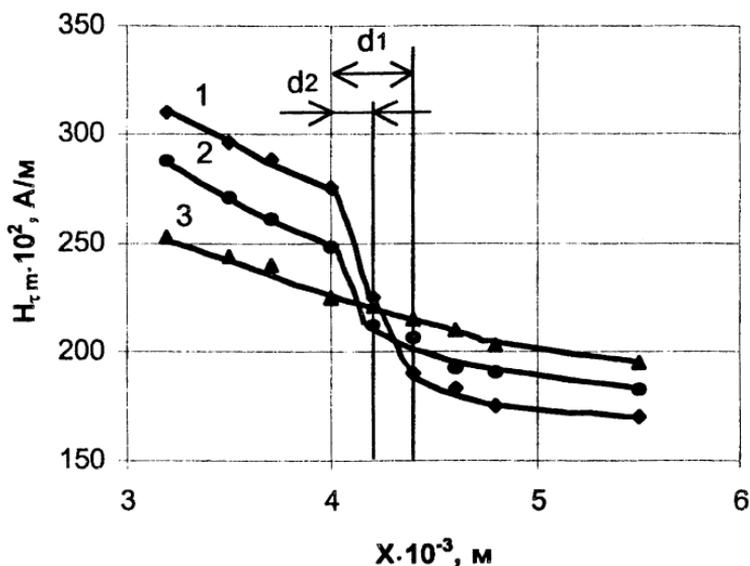


Рис.2

Из рис.2 видно, что сверху образца  $H_{\tau \max}(x)$  увеличивается по сравнению с  $H_{\tau 0}(x)$  (образец отсутствует), снизу уменьшается и внутри испытывает резкий излом, в среднем сечении образца достаточно точно совпадая с  $H_{\tau 0}$ . Коэффициенты усиления  $H_{\tau \max}$  для падающей волны на поверхности образцов –  $k_1=1,22$  ( $d=4 \cdot 10^{-4}m$ ),  $k_1=1,10$  ( $d=2 \cdot 10^{-4}m$ ) и коэффициенты ослабления для прошедшей волны соответственно  $k_2=0,88$  и  $k_2=0,95$ .

#### Литература

1. Тамм И.Е. Основы теории электричества. М., «Наука», 1976.
2. Установки индукционного нагрева / Под ред. А.Е. Слухоцкого. – Л. «Энергоиздат», 1981.
3. Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля. – М., «Мир», 1972.
4. Павлюченко В.В. Авторское свидетельство № 223300.