

**Пространственно-временное распределение напряженности магнитного поля электромагнитных импульсов вблизи поверхности металлических образцов**

Павлюченко В.В.

Белорусский национальный технический университет

При падении электромагнитной волны на поверхность металлического образца на этой поверхности, а также над ней и в поверхностных слоях образца создается повышенная плотность энергии электромагнитного поля, вызванная его взаимодействием с электронами в образце. В результате поверхностные, а затем и глубинные слои образца становятся источниками вторичных электромагнитных волн. Магнитное поле, созданное свободными электронами в металле противодействует проникновению в металл приложенного поля, а на поверхности образца и в окружающем пространстве увеличивает напряженность магнитного поля с временной задержкой полей глубинных слоев по мере распространения электромагнитной волны вглубь металла. Это явление исследовано автором в ряде работ и использовано для разработки способов и устройств контроля материалов применительно к близкодействующим источникам электромагнитного поля в области средних магнитных полей ( $1 \cdot 10^3$ – $1 \cdot 10^5$ ) А/м и частот до  $1 \cdot 10^6$  Гц с разными формами импульсов поля источника и различными датчиками магнитного поля.

На рис.1 показаны зависимости 1–6 сигнала, снимаемого с датчика Холла от времени  $t$  для образцов из Al, а также зависимость 7 тока  $I$  линейного токопровода от времени  $t$ . Зависимости 1, 2, 3 характеризуют сигнал  $U_1$  соответственно для образцов толщиной  $2 \cdot 10^{-3}$  м,  $2 \cdot 10^{-4}$  м и в отсутствие образца. Здесь же изображены зависимости 4, 5, 6 сигнала  $U_2$ , соответствующие зависимостям 1, 2 и 3. Сигнал  $U_1$  является суммой трех сигналов: сигнала, определяемого величиной тангенциальной составляющей напряженности магнитного поля  $H_\tau$ , сигнала ее производной по времени  $dH_\tau/dt$  и сигнала антенны, в роли которой выступает полный контур датчика. Сигнал  $U_2$  является суммой двух сигналов – сигнала производной  $dH_\tau/dt$  и сигнала

ла антенны. Измерения проведены на расстоянии оси датчика до поверхности образца  $8 \cdot 10^{-4}$  и до оси токопровода на  $5,45 \cdot 10^{-3}$  м.

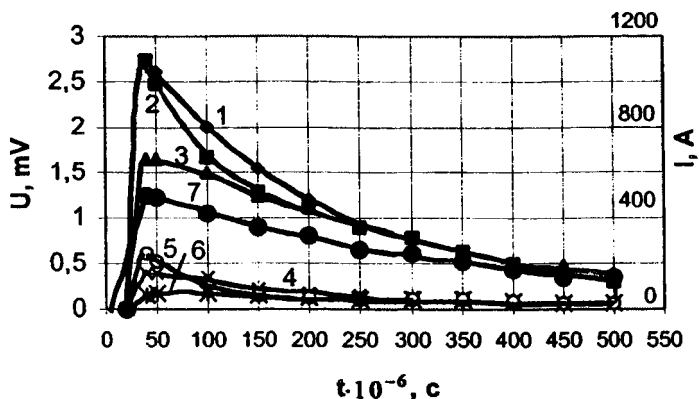
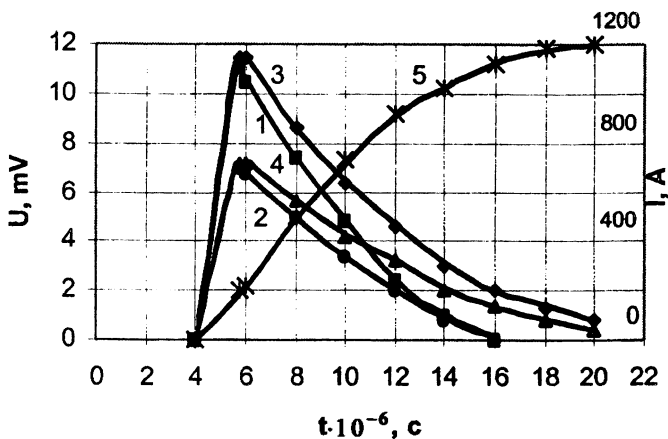


Рис. 1

Из рис.1 видно, что максимумы сигналов  $U_{1\max}$  для образцов толщиной  $2 \cdot 10^{-3}$  м и  $2 \cdot 10^{-4}$  м (кривые 1 и 2 при  $t=40 \cdot 10^{-6}$  с) превышают  $U_{1\max}$  в отсутствие образцов (кривая 3) соответственно в 1,67 и 1,61 раза. Обработка результатов измерений сигналов  $U_{1\max}$  (кривые 1÷3) с учетом сигналов  $U_{2\max}$  (кривые 4÷6) с переводом  $U$  в абсолютные значения  $H_t$  приводит к следующему: величина  $H_{t\max}$  увеличивается вблизи поверхности образца толщиной  $2 \cdot 10^{-3}$  м в  $k_1=1,57$  раз, а вблизи поверхности образца толщиной  $2 \cdot 10^{-4}$  м в  $k_1=1,37$  раз. Форма зависимости  $U(t)$  в отсутствие образца (кривая 3) близка к форме импульса тока  $I(t)$  (кривая 7), что свидетельствует о сравнительно небольшом влиянии сигналов антенны и производной  $dH_t/dt$  на результаты измерений. Сигналы  $U_1$  (кривые 1,2) со временем уменьшаются и сливаются с  $U_1$  в отсутствие образцов (кривая 3) соответственно через  $21 \cdot 10^{-6}$  с и  $11 \cdot 10^{-6}$  с с момента старта поля источника (на рис.1 это точки, соответствующие временам  $25 \cdot 10^{-6}$  с и  $15 \cdot 10^{-6}$  с. Это означает, что созданная электронами металлического образца повышенная плотность энергии электромагнитного поля уменьшается не мгновенно, а за указанные промежутки времени, которые зависят от толщины образцов.



р

Рис.2

На рис.2 показаны следующие зависимости: 1 и 2 – зависимости сигнала  $U_1(t)$  соответственно для образца толщиной  $2 \cdot 10^{-3}$  м и в отсутствие образца, 3 и 4 – соответствующие 1 и 2 зависимости сигнала  $U_2(t)$ , 5- зависимость тока  $I$  линейного токопровода от времени  $t$ . Сигналы для образца толщиной  $2 \cdot 10^{-4}$  м на рис.2 не показаны, т.к. накладываются на зависимости 1+4 и не позволяют их анализировать. Зависимости  $U(t)$  и  $I(t)$ , изображенные на рис.2, являются начальными участками аналогичных зависимостей рис.1, на котором они должны были быть показаны в области отрицательной полярности сигнала  $U(t)$ . В результате изменения полярности сигнала, что в данном случае на результаты измерений никак не влияет, зависимости  $U_2(t)$  идут выше зависимостей  $U_1(t)$ .

Результаты измерений  $U(t)$  на рис.2 носят ярко выраженный эффект антенны: сигналы, обусловленные антенной, примерно в 10 раз превышают сигналы датчика, соответствующие измеряемому  $H_z$  (например, при  $t=6 \cdot 10^{-6}$  с). Из рис.2 также видно, что величина  $H_z$  для данной формы  $I(t)$  может быть измерена только через  $2 \cdot 10^{-6}$  с после начала действия импульса тока и именно с этого момента времени в течение  $19 \cdot 10^{-6}$  с  $H_z$  над образцом превышает  $H_z$ , измеренное в его отсутствие.