

А. А. ГРАЧЕВ

О ПРОСТРАНСТВЕННОЙ КОРРЕЛЯЦИИ ШУМОВ ЦИКЛИЧЕСКОГО ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ

(Представлено академиком М. А. Леонтовичем 7 VI 1952)

1. Нами уже сообщалось ⁽¹⁾ о результатах экспериментов, показывающих, что при циклическом перемагничивании ферромагнетика эдс индукции в обмотке, охватывающей образец, имеет дискретно-сплошной спектр, т. е. представляет собой суперпозицию ряда дискретных линий (частоты перемагничивания и кратных ей) и сплошного спектра. Обсуждение физического смысла этого результата содержится также в работе Г. С. Горелика ⁽²⁾. Впоследствии Уилльямс и Нобль ⁽³⁾ также сообщили об экспериментах, указывающих на наличие дискретно-сплошного спектра при циклическом перемагничивании.

В работе ⁽¹⁾ исследовался частотный спектр шума циклического перемагничивания, позволяющий судить о статистике процесса во времени (в частности о том, насколько сильно процесс отклоняется от идеальной периодичности). Наряду с временной статистикой шумов циклического перемагничивания представляет интерес их пространственная статистика — то, насколько коррелированы между собой шумы перемагничивания в различных пространственных областях ферромагнетика, находящегося в однородном внешнем поле, периодически меняющемся со временем.

Настоящая заметка содержит некоторые результаты экспериментального исследования пространственной статистики шумов циклического перемагничивания.

2. Все наши опыты проводились на звуковых частотах. Исследуемые эдс индукции подавались на вход гетеродинного фильтра, пропускающего и усиливающего шум в узкой полосе частот Δf и практически не пропускающего дискретных линий.

Пусть эдс индукции, возникающие в двух индикаторных катушках, создают на выходе фильтра, соответственно, напряжения $u_1(t)$, $u_2(t)$. Эти напряжения — случайные функции времени t . Пусть $v_1(t)$, $v_2(t)$ — соответственно, сумма и разность напряжений $u_1(t)$ и $u_2(t)$, т. е. напряжения, снимаемые с двух катушек при последовательном соединении (периодические слагаемые эдс индукции складываются) и соединении „навстречу“ (периодические слагаемые эдс индукции компенсируются). Тогда

$$\overline{v_1^2} = \overline{(u_1 + u_2)^2} = \overline{u_1^2} + \overline{u_2^2} + 2\overline{u_1 u_2}, \quad (1)$$

$$\overline{v_2^2} = \overline{(u_1 - u_2)^2} = \overline{u_1^2} + \overline{u_2^2} - 2\overline{u_1 u_2}, \quad (2)$$

где черта означает усреднение за промежуток времени больший, чем $1/\Delta f$ (именно за такой промежуток времени усредняет измерительный прибор на выходе нашего фильтра).

Измерив $\overline{u_1^2}, \overline{u_2^2}, \overline{v_1^2}, \overline{v_2^2}$, можно вычислить коэффициент корреляции

$$k = \frac{\overline{u_1 u_2}}{\sqrt{\overline{u_1^2} \overline{u_2^2}}}$$

шумов $u_1(t)$ и $u_2(t)$.

В частности, если $\overline{u_1^2} = \overline{u_2^2} = \overline{u^2}$, имеем

$$k = 1 - \frac{1}{2} \frac{\overline{v_2^2}}{\overline{u^2}}. \quad (3)$$

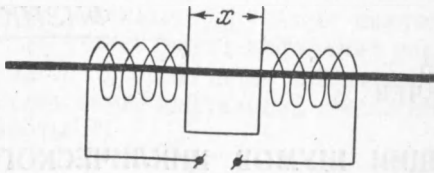


Рис. 1

В случае, когда $u_1(t) = \alpha u_2(t)$, где α — постоянная (шумы когерентны), имеем $k = 1$; при статистической независимости (полной некогерентности) шумов u_1, u_2 имеем

$$\overline{u_1 u_2} = 0, \quad k = 0.$$

3. «Продольная корреляция», т. е. корреляция между шумами, возникающими в различных участках циклически перематываемой длиной

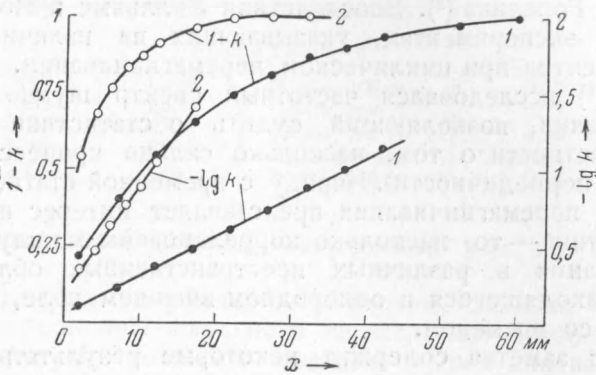


Рис. 2. 1 — для отожженного пермаллоя, 2 — для неотожженного пермаллоя

ферромагнитной проволоки, исследовалась при помощи расположения индикаторных катушек, схематически показанного на рис. 1.

На рис. 2 показаны результаты измерений продольной корреляции, проведенные на образцах из двух различных материалов. По оси абсцисс отложено расстояние x между катушками, по оси ординат — величины $1 - k = \frac{\overline{v_2^2}}{2\overline{u^2}}$ (здесь $\overline{u_1^2} = \overline{u_2^2}$) и $(-\lg k)$.

Мы видим, что при точности наших измерений эксперимент дает (для положительных x)

$$\lg k = -\frac{x+a}{\lambda}, \quad k = e^{-\frac{x+a}{\lambda}}, \quad (4)$$

где λ — некоторая постоянная, зависящая от магнитных свойств материала проволоки. Для неотожженного пермаллоя $\lambda = 6$ мм, для отож-

женного пермаллоя $\lambda = 19$ мм; зависимость вида (4) была получена и для других исследованных нами материалов. Величина λ тем больше, чем больше проницаемость материала. В интервале звуковых частот она практически не зависит от частоты перемагничивания и уменьшается с ростом частоты, на которой ведется измерение интенсивности шума.

Нами исследовалась также зависимость интенсивности шума \bar{u}^2 отдельной катушки от ее длины l . Оказалось, что пока l сравнимо с λ \bar{u}^2 растет с ростом l быстрее, чем по линейному закону, а при $l \gg \lambda$ практически линейно. Этого и следовало ожидать на основании того, что корреляция шумов в двух катушках стремится к нулю с ростом расстояния между ними.

4. «Поперечная корреляция», т. е. корреляция между шумами, возникающими в расположенных друг против друга участках параллельных ферромагнитных проволок, была исследована посредством ряда качественных экспериментов.

а) Эксперимент по схеме рис. 3 а: индикаторные катушки включены «навстречу», т. е. исследуется величина $v_2(t)$. Измеряется расстояние D между проволоками. Опыт показал, что в этом случае $v_2^2 = (u_1 - u_2)^2 >$

$> \bar{u}_1^2 + \bar{u}_2^2$, т. е. $u_1 u_2 < 0$, и что k уменьшается (что вполне естественно) с ростом D . Так, в одном из опытов было $k = 0,1$ при D , немного превышающем 1 см, и $k = 0,9$ при D несколько меньшем, чем 0,5 см (установка не позволила плавно изменять и точно измерять расстояния D). То, что $\bar{u}_1 \bar{u}_2 < 0$, обусловлено, очевидно, тем, что шумовой магнитный поток каждой из проволок замыкается так, как показано на рис. 3б. На этом рисунке пунктирная линия изображает примерный ход силовой линии магнитного поля, созданного

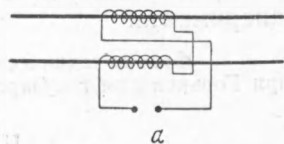


Рис. 3

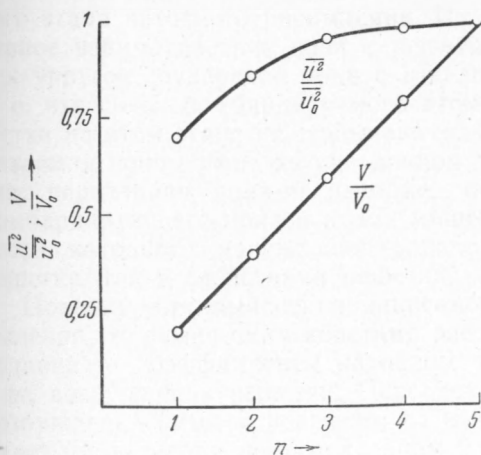


Рис. 4

проволокой 1, а сплошная — проволокой 2.

б) В общую намагничивающую и общую индикаторную катушки помещалось различное число n параллельных одинаковых ферромагнитных проволок и измерялись в зависимости от n амплитуда V

дискретной линии и интенсивность \bar{u}^2 шума, причем здесь $u = \sum_{i=1}^n u_i$,

где u_i — слагаемые, обусловленные отдельными проволоками. В наших опытах измерялись амплитуда основной дискретной линии (8,7 кгц) и интенсивность шума в полосе шириной 20 гц на частоте 10 кгц. Опыт показывает, что V растет пропорционально n (как и следовало ожидать), а \bar{u}^2 — медленнее, чем n (рис. 4).

То, что шум растет не пропорционально n , показывает, что его слагаемые, порожденные отдельными проволоками, не являются статистически независимыми. То, что шум растет медленнее, чем n , ука-

зывает, что величина $\overline{u_i u_j} < 0$ ($i \neq j$). Оба эти вывода согласуются с теми, которые были сделаны на основании опыта.

Выражаю глубокую благодарность проф. Г. С. Горелику за ценные советы, а также З. И. Великосельской за помощь в проведении эксперимента.

Физико-технический институт
при Горьковском государственном университете

Поступило
28 IV 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

¹ А. А. Грачев, ДАН, 71, 269 (1950). ² Г. С. Горелик, Изв. АН СССР, сер. физ., 14, 174 (1950). ³ F. C. Williams and S. W. Noble, Proc. J. E. E., 97, 445 (1950).