

## О ВЛИЯНИИ ВЫСШИХ ГАРМОНИК НАМАГНИЧИВАЮЩЕГО ТОКА НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЫ

И. Г. ЛЕЩЕНКО, В. П. ДОЛГОПОЛОВ

(Представлена научным семинаром кафедры информационно-измерительной  
техники)

При измерении динамической коэрцитивной силы по временному интервалу между моментами прохождения через нулевые значения напряженности магнитного поля и потока [1, 2] принималось, что намагничивание производится синусоидальным током. В этом случае значение динамической коэрцитивной силы

$$H_{cd} = H_m \cdot \sin \omega t_\phi.$$

Для малых значений отношения  $H_{cd}/H_m$  (обычно малых  $H_{cd}$ )

$$H_{cd} = H_m \cdot \omega t_\phi,$$

где  $\omega t_\phi$  — сдвиг по фазе между  $H$  и  $\Phi$  в моменты прохождения их через нуль.

Величина задающего тока, а следовательно, и максимальной напряженности магнитного поля, устанавливается или контролируется прибором, реагирующим на действующее значение тока. В случае наличия высших гармоник в намагничивающем токе, как правило, нечетных, появляется погрешность измерения динамической коэрцитивной силы, зависящая от амплитуды и фазы высших гармоник.

Оценку возможных погрешностей произведем на амплитуду третьей гармоники, составляющей 1,0% от основной гармоники намагничивающего тока, пренебрегая более высшими гармониками. Как видно из рис. 1, а — для синусоидального тока и рис. 1, б — для несинусоидального тока, временные интервалы  $t_\phi$  и  $\tau_\phi$ , соответствующие заданному значению  $H_{cd}$ , не равны и, следовательно, появится погрешность измерения  $H_{cd}$  и погрешность разбраковки изделий. Эта погрешность в общем случае не может быть скомпенсирована, так как не известны амплитуда и фаза не только третьей гармоники, но и высших гармоник.

Анализ влияния высших гармоник проведем с целью оценки погрешности сначала для третьей гармоники, при этом будем считать, что от высших гармоник, ввиду их малости, не изменяется значение  $H_{cd}$  и  $H_m$ . В этом случае мгновенные значения токов, соответствующие заданным  $H_{cd}$  и  $H_m$  для синусоидальной и несинусоидальной формам тока, должны быть равны между собой, т. е.

$$I_m \cdot \sin \omega t_\phi = I_{m1} \cdot \sin (\omega t_\phi + \varphi_1) + I_{m3} \sin (3\omega t_\phi + \varphi_3), \quad (1)$$

где

$\varphi_1$  — сдвиг по фазе между током основной гармоники и несинусоидальной кривой тока в момент прохождения их через нулевые значения.

$\varphi_3$  — сдвиг по фазе между первой и третьей гармониками намагничивающего тока,

$\omega t_\phi$  — угол, соответствующий  $H_{сд}$  (сдвиг по фазе между  $H$  и  $\Phi$  для синусоидального тока).

Так как действующее значение тока для несинусоидальной формы равно для синусоидальной формы тока ( $I_{дс} = I_{дн}$ ), то для принятого значения  $I_{м3} = 0,01 I_{м1}$

$$I_{дс} = I_{д1} \cdot \sqrt{1 + \left(\frac{I_{д3}}{I_{д1}}\right)^2} = 1,00005 I_{д1}.$$

и уравнение (1) принимает вид

$$1,00005 \cdot \sin \omega t = \sin (\omega \tau_\phi + \varphi_1) + 0,01 \sin (3\omega \tau_\phi + \varphi_3). \quad (2)$$

Данное уравнение относительно  $\tau_\phi - t_\phi$  не решается. Для нахождения этой разности, а следовательно, и относительной погрешности предварительно определяем  $\varphi_1$ , которое зависит от соотношения ампли-

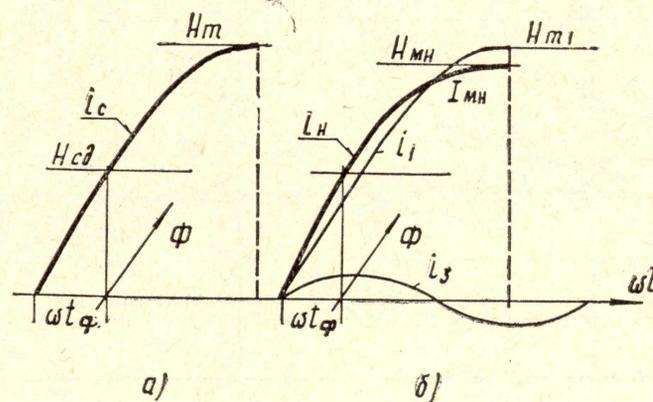


Рис. 1

туд третьей и первой гармоник и  $\varphi_3$ . Действительно, при начальных условиях ( $t_\phi = 0$  и  $\tau_\phi = 0$ ) из выражения (2)

$$\sin \varphi_1 = -0,01 \sin \varphi_3.$$

Задаваясь различными значениями  $\varphi_3$ , находим  $\varphi_1$ , значения которых приведены в таблице.

Таблица

$\varphi_3$ град.	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360
$\varphi_1$ минут	0	-17,2	-29,8	-34,4	-29,8	-17,2	0	17,2	29,8	34,4	29,8	17,2	0

Далее, для принятого  $K_3 = 0,01$ , задаваемого  $\varphi_3$  от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  и расчетного  $\varphi_1$ , вычисляем зависимость  $\omega t_\phi$  от  $\omega \tau_\phi$ , разность  $\Delta = \omega \tau_\phi - \omega t_\phi$  и относительную погрешность  $\gamma = \Delta / \omega t_\phi$ .

Результаты расчетов для значений  $\varphi_3$  через каждые  $30^\circ$  представлены на рис. 2. Как видно из кривых погрешностей, построенных для всех возможных соотношений  $H_{сд} / H_m$ , они изменяются от нуля до примерно 10%. Огибающая погрешностей, представляющая собой макси-

мальные относительные погрешности, составляет 3% для значений  $H_{сд}/H_m$  больше нуля, но меньше 0,9, затем заметно увеличивается. Область увеличенных погрешностей соответствует материалам с прямоугольной петлей гистерезиса и появилась в результате того, что максимальные значения напряженности магнитного поля при синусоидальном и несинусоидальном токах намагничивания не равны между собой.

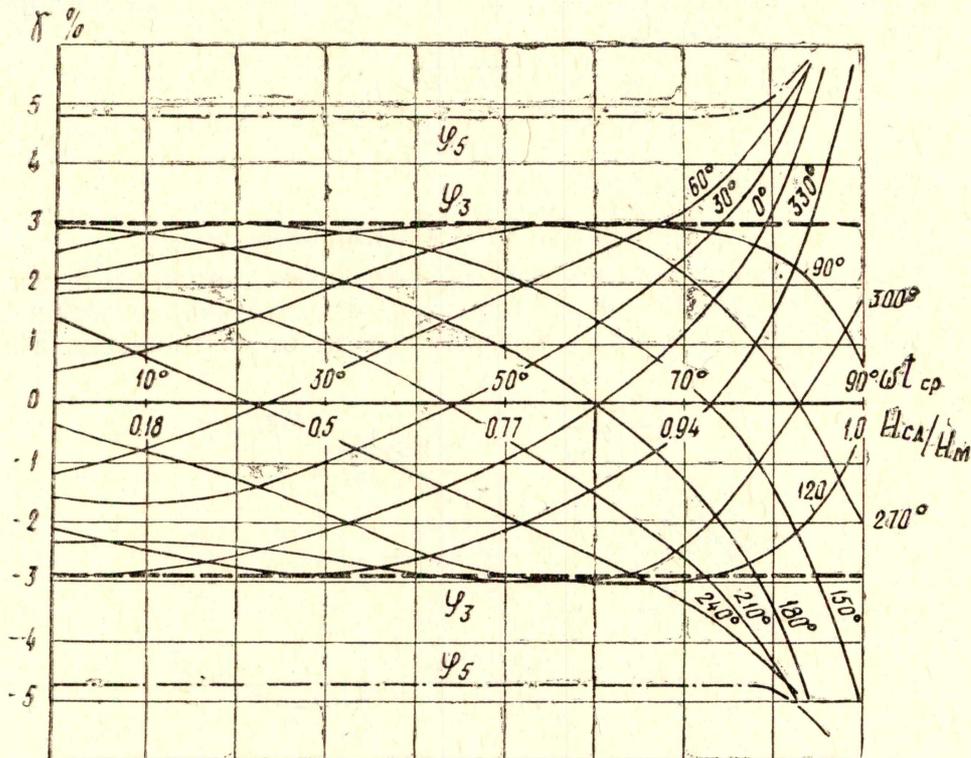


Рис. 2

В случае, если контроль намагничивающего тока будет производиться по амплитуде тока, т. е. для синусоидальных и несинусоидальных токов, выполняется условие  $I_{мс} = I_{мн}$ , расчетная формула имеет вид

$$I_{мс} \cdot \sin \omega t_{\phi} = I_{м1} \cdot \sin (\omega \tau_{\phi 1} + \varphi_1) + I_{м3} \cdot \sin (3\omega \tau_{\phi} + \varphi_3).$$

Для определения погрешностей из данного выражения предварительно находятся условия для разных  $\varphi_3$ , при которых выполняется равенство  $I_{мс} = I_{мн}$ . Не трудно убедиться, что для  $K = 0,01$  будет весьма незначительно изменяться относительная погрешность для малых отношений  $H_{сд}/H_m$  и до «нормальных» значений (3%) для отношений  $H_{сд}/H_m$ , близких к единице. На рис. 2 эта максимальная относительная погрешность обозначена пунктиром. Проводя аналогичные рассуждения и расчеты для пятой и других гармоник намагничивающего тока, можно оценить максимальные относительные погрешности, задаваясь коэффициентами  $K_5$  и т. д. Так, от пятой гармоники для  $K_5 = 0,01$  от основной гармоники максимальные относительные погрешности для разных  $\varphi_5$  имеют значения, обозначенные на рис. 2 штрих-пунктирной линией. Если учесть, что с увеличением номера гармоники их амплитуда уменьшается, то и доля вносимой погрешности будет меньше, чем от третьей гармоники. Суммарное значение погрешностей от высших гармоник может быть оценено по рис. 2.

## Выводы и рекомендации

1. Несинусоидальность намагничивающего тока приводит к дополнительным погрешностям, зависящим от амплитуд и фаз высших гармоник и от соотношения измеряемой динамической коэрцитивной силы и максимальной напряженности магнитного поля. Для снижения погрешностей до допустимых значений необходимо производить шунтирование высших гармоник намагничивающего тока.

2. Целесообразно применять методы измерения динамической коэрцитивной силы, не зависящие или мало зависящие от формы тока, например, осциллографические, дифференциальные (допусковый контроль), метод измерения мгновенного значения тока ( $H_{сд}$ ) и др.

3. Вести контроль тока по максимальному значению.

## ЛИТЕРАТУРА

1. И. Г. Лещенко, В. А. Малин. Установка для разбраковки деталей по коэрцитивной силе. Передовой научно-технический и производственный опыт, М., ГОСИНТИ, 1964, № 2-64-282/8.

2. А. М. Грузнов, В. П. Долгополов, И. Г. Лещенко, В. Д. Сартаков. Измерение твердости стальных изделий с помощью коэрцитиметров переменного тока. «Дефектоскопия», № 4, 1967.

---