

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

С. Д. МАРГОЛИН

**РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ ПО ТОЛЩИНЕ
ФЕРРОМАГНИТНОГО КОЛЬЦА, ПОМЕЩЕННОГО В ПЕРЕМЕННОМ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНОМ ПОЛЕ**

(Представлено академиком И. П. Бардиным 20 III 1950)

Настоящая экспериментальная работа предпринята для проверки изложенного в статье ⁽¹⁾ положения о том, что распределение магнитной индукции по толщине ферромагнитного листа, помещенного в переменном синусоидальном электромагнитном поле, можно для практических целей находить по формулам:

$$\frac{B_{cp}}{B_a} = \frac{\operatorname{th} \bar{\alpha} a}{\bar{\alpha} a}, \quad (1)$$

$$\frac{B_x}{B_a} = \frac{\operatorname{ch} \bar{\alpha} x}{\operatorname{ch} \bar{\alpha} a};$$

$$\frac{B_{cp}}{B_a} = \frac{1}{\sqrt{2k_1 a}} \sqrt{\frac{\operatorname{ch} 2k_1 a - \cos 2k_1 a}{\operatorname{ch} 2k_1 a + \cos 2k_1 a}},$$

$$\frac{B_x}{B_a} = \sqrt{\frac{\operatorname{ch} 2k_1 x + \cos 2k_1 x}{\operatorname{ch} 2k_1 a + \cos 2k_1 a}} \quad (2)$$

при условии, что входящая в эти формулы магнитная проницаемость принимается $\mu = \operatorname{const} = \mu_{cp}$

Здесь: a — половина толщины кольца в см; x — координата по нормали к поверхности, характеризующая толщину листа; $\bar{\alpha} = (1 + i) k_1$; $k_1 = 2\pi \sqrt{\mu \gamma f 10^{-9}}$; μ — магнитная проницаемость; γ — удельная электропроводность ферромагнетика; f — частота в герцах; $B_{cp} = \frac{1}{a} \int_0^a B_x dx$ — среднее значение амплитуд магнитной индукции по сечению листа; B_a — амплитуда магнитной индукции на поверхности листа ($x = a$); B_0 — амплитуда магнитной индукции в средней плоскости кольца ($x = 0$); B_x — амплитуда магнитной индукции на расстоянии x от линии симметрии по толщине листа; μ_{cp} — магнитная проницаемость, соответствующая по кривой магнитной характеристике средней магнитной индукции.

Объектом испытания служило изготовленное из динамной стали кольцо толщиной $d = 2a = 0,5$ см, со внешним диаметром $D_1 = 20$ см и внутренним $D_2 = 14$ см.

f	кат. 1			кат. 2			кат. 3			кат. 4			кат. 5			кат. 6			кат.			кат. 8		
	B_a	B_{cp}	$\Delta\%$	m_a	B_{cp}	$\Delta\%$	B_a	B_{cp}	$\Delta\%$	B_a	B_{cp}	$\Delta\%$	B_a	B_{cp}	$\Delta\%$	B_a	B_{cp}	$\Delta\%$	B_a	B_{cp}	$\Delta\%$	B_a	B_{cp}	$\Delta\%$
150	760	792	875	—	10,48	—	846	900	6	1310	12,10	7,63	1635	17,64	7,9	1692	1935	1255	2520	2466	2,14	30,53	2940	—3,84
300	285	298	331	—	11,07	6,32	326	348	5,95	487	458	4,93	625	677	8,32	615	765	19,6	995	951	4,42	1103	1108	0,45
500	360	376	360	—	4,44	16,35	363	434	8,44	588	559	8,44	767	738	3,78	769	980	21,53	1345	1205	10,4	1475	1560	5,45
500	270	281	312	—	11	8,9	297	326	7,83	450	412	8,44	608	578	4,93	585	736	20,51	1038	866,8	16,49	1069	1146	6,71
500	468	476	487,5	—	6,13	7,35	489	504	2,62	284	262	7,83	364	369	—1,37	354	440	19,55	605	528,5	12,64	611	700	12,71
1000	180	188	203	—	8	11,92	192	218	10,3	295,5	270	8,64	375	369	1,6	369	470	21,48	650	550	15,4	662	810	18,27
3000	26,7	27,8	28,1	—	1,08	6,21	30,2	32,2	10,3	43,7	39,2	10,3	63,2	51,3	18,83	56	68,8	21,6	99	92	7,61	106	118,9	10,9
5000	12	12,5	12,5	—	0,0	4,82	13,8	14,5	9,23	19,5	17,7	9,23	27	22	18,52	24,6	30,5	19,34	42	41,22	1,86	45,8	53	13,6

$$\text{Примечание, } \Delta\% = \frac{B_{cp}^m - B_{cp}^a}{B_{cp}^m} 100.$$

По толщине кольца на всю ширину его были просверлены с одной стороны от линии симметрии (середины) на разном расстоянии то нее 7 отверстий диаметром 0,7 мм каждое, через которые были намотаны катушечки. Каждая катушечка состояла из 10 витков медной проволоки диаметром 0,03/0,05 мм. Таким образом, чем ближе отверстия располагались к краю кольца, тем катушечки своими витками охватывали меньшие сечения. Кольцо было помещено в изготовленный из гетинакса каркас, состоящий из двух колец и фиксирующих пластинок.

Поверх каркаса была расположена намагничивающая обмотка, концы которой приключены были к источнику электроэнергии — ламповому генератору с синусоидальной формой волны.

На рис. 1 схематически представлен объект испытания.

Замеряя электродвижущую силу E при частоте f в катушечках, мы по формуле

$$B_{cp}^a = \frac{E \cdot 10^8}{4,44 f w F} \quad (3)$$

определяем среднее амплитудное значение магнитной индукции B_{cp}^a по сечению F части кольца, охватываемой катушечкой с числом витков w , эдс E которой входит в формулу (3).

Катушечки 9, 10 и 11 служили для установления формы кривых эдс в пространстве между самим кольцом и намагничивающей обмоткой.

Синусоидальность индуцируемых в катушечках эдс проверялась катодным осциллографом.

Чтобы можно было сравнивать экспериментально полученные данные с теоретически найденными, мы формулы (1) соответственно преобразовали в формулу (4), где: a — x — толщина части кольца, охватываемой катушечками (см. рис. 1); B_{cp}^a — среднее значение амплитуд магнитной индукции по сечению части кольца, охватываемой катушечками, найденное экспериментально; B_{cp}^m — среднее значение амплитуд магнитной индукции по се-

чению части кольца, охватываемой катушечками, найденное теоретически по формуле (4):

$$B_{cp}^m = \frac{B_a}{V 2k_1(a-x)} \times \sqrt{\frac{\operatorname{ch} 2k_1 a - \cos 2k_1 a + \operatorname{ch} 2k_1 x - \cos 2k_1 x + 2\operatorname{ch} k_1(a-x)\cos k_1(a+x) - 2\operatorname{ch} k_1(a+x)\cos k_1(a-x)}{\operatorname{ch} 2k_1 a + \cos 2k_1 a}}. \quad (4)$$

Входящую в формулу (4) B_a находим по формулам (2). В данном случае $a-x$ достаточно велико, и поэтому подсчет по этой формуле дает правильные результаты; при малом же значении $a-x$ ($(a-x) \rightarrow 0$) следует пользоваться формулой

$$B_{cp}^m = B_a \sqrt{\frac{\operatorname{ch} k_1(a+x) + \cos k_1(a+x)}{\operatorname{ch} 2k_1 a + \cos 2k_1 a}}^* \quad (4')$$

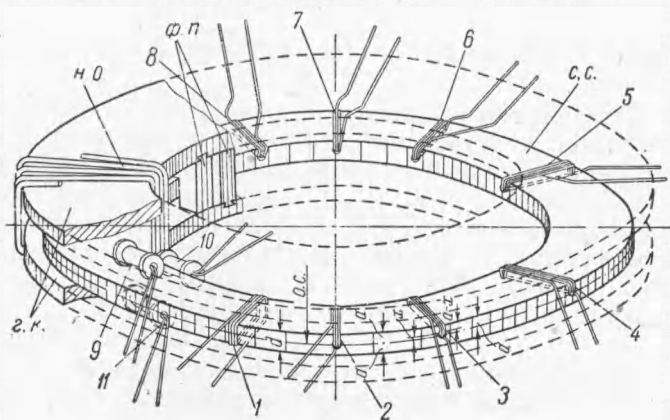


Рис. 1. Объект испытания. с. с. — стальное кольцо, ф. п. — фиксирующие пластинки, н. о. — намагничивающая обмотка, з. к. — гетинаксовые кольца, о. с. — ось симметрии

Данные эксперимента незначительно отклоняются от результатов теоретического подсчета (см. табл. 1). Это дает основание утверждать, что выдвинутое в статье (1) и приведенное выше положение правильно.

Институт физики металлов
Уральского филиала Академии наук СССР

Поступило
18 III 1950

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. Д. Марголин, ЖТФ, 18, 10, 1306 (1948).

* Формула (4) выведена Н. М. Родигиным.