

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:

$$\frac{B_{cp}}{B_a} = \frac{\operatorname{th} \frac{\alpha a}{2}}{\frac{\alpha a}{2}},$$
$$\frac{B_x}{B_a} = \frac{\operatorname{ch} \frac{\alpha x}{2}}{\operatorname{ch} \frac{\alpha a}{2}};$$

(1)

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

(2)

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

Здесь: a — половина толщины кольца в см; x — координата по нормали к поверхности, характеризующая толщину листа; $\alpha = (1 + i) k_1$; $k_1 = 2\pi \sqrt{\mu \gamma f} 10^{-9}$; 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. 7			кат. 8		
	B_{cp}^{β}	B_{cp}^m	B_{cp}^{β}																					
150	760	792	875	-10,48	900	846	12,40	7,63	1635	17,64	-7,9	1935	1692	12,55	2520	2466	2,14	2940	30,53	-3,84				
300	285	298	334	-11,07	348	326	6,32	487	458	625	677	-8,32	765	615	19,6	995	951	4,42	1108	1103	0,45			
500	360	376	360	4,44	434	363	16,35	588	559	767	738	3,78	980	769	21,53	1345	1205	10,4	1560	1475	5,45			
500	270	281	312	-11	326	297	8,9	450	442	8,44	608	578	4,93	736	605	20,51	1038	8866	8,16	1069	1146	6,71		
500	168	176	1875	6,13	204	189	7,35	284	262	7,83	364	369	-1,37	440	354	19,55	605	528,5	12,64	700	614	12,74		
1000	180	188	203	-8	218	192	11,92	295,5	270	8,64	375	369	1,6	470	369	21,48	650	550	15,4	810	662	18,27		
3000	26,7	27,8	28,1	-1,08	32,2	30,2	6,21	43,7	39,2	10,3	63,2	51,3	18,83	68,8	56	18,6	99	92	7,61	118,9	106	10,9		
5000	12	12,5	12,5	0,0	14,5	13,8	4,82	19,5	17,7	9,23	27	22	18,52	30,5	24,6	19,34	42	41,22	1,86	53	45,8	13,6		

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

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

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

определяем среднее амплитудное значение магнитной индукции B_{cp}^{β} 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 индуктируемых 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}^{β} — 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):

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

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

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

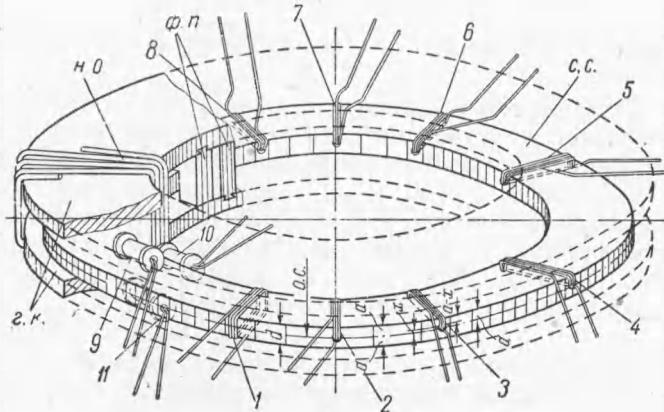


Рис. 1. Объект испытания. с. с. — стальное кольцо, ф. п. — фиксирующие пластинки, н. о. — намагничивающая обмотка, г. к. — гетинаковые кольца, о. с. — ось симметрии

Данные эксперимента незначительно отличаются 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.