

В.Л. ДЯТЛОВ, С.К. ДЕМЕНТЬЕВ, Ю.А. ПЯНКОВ

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ И ВРАЩЕНИЕ В ФЕРРОМАГНИТНЫХ ПЛЕНКАХ

В однодоменных ферромагнитных пленках могут возникнуть параметрические колебания и вращение вектора намагниченности без каких-либо добавочных емкостей, образующих в совокупности с пленкой параметрический колебательный контур.

Принципиально, в этих случаях возможно создание конструктивно простых элементов вычислительных машин, так как колебания и вращение в пленках могут в одних и тех же условиях иметь две разные фазы в первом случае или два разных направления во втором случае.

Для исследования указанных явлений был получен ряд решений уравнения, описывающего движение вектора намагниченности в однодоменных пленках. При этом решения были получены на электронной вычислительной машине.

1. Параметрические колебания вектора намагниченности в пленке

При рассмотрении параметрических колебаний в пленке был получен ряд решений уравнения движения вектора намагниченности для случая, когда переменное синусоидальное поле и некоторое постоянное поле направлены вдоль оси легкого намагничивания пленки. Для этого случая, согласно статье I этого сборника (см. уравнение (20)), уравнение имеет вид:

$$n^2 \frac{d^2 \varphi}{d\theta^2} + \beta n \frac{d\varphi}{d\theta} + \frac{1}{2} \sin 2\varphi + h_{ye} \sin \varphi = 0, \quad (I)$$

где φ - угол отклонения вектора намагниченности относительно оси легкого намагничивания;

$h_{ye} = h_0 + h \sin \theta$ - нормированная величина внешнего поля;

h_0 - нормированная величина постоянного поля;

h - нормированная амплитуда синусоидального поля;

θ - нормированное время. Все остальные обозначения и вид нормировки приведены в статье I сборника.

В табл. I указаны значения параметров h , β и n и значения начальных условий, при которых были получены решения уравнения (I) для изменений θ в пределах от 0 до 20π . Все решения получены при $h_0 = 1$.

Значение β в уравнении (I) было взято близким к вычисленному из реальных параметров ферромагнитных пленок. Следует иметь в виду, что значения $n = 1$ соответствуют частоте синусоидального поля порядка 500 мГц. В этой таблице также указан характер решений $\varphi(\theta)$ при значениях θ , близких к 20π .

Как можно судить из рис. I, основная частота параметрических колебаний в два раза меньше частоты внешнего поля. Изменения угла φ как функции θ имеет сугубо несинусоидальный характер. Максимальные отклонения угла φ очень велики, порядка $\pm \pi$.

Указанные особенности параметрических колебаний в пленке, по-видимому, не могут позволить создать приемлемые элементы для вычислительных машин.

При некоторых условиях возникает непрерывное вращение вектора намагниченности (рис. 2, решение I6, табл. I). Однако вращение можно создать более просто при другой схеме возбуждения вектора намагниченности пленки.

2. Вращение вектора намагниченности в пленке

При рассмотрении вращения вектора намагниченности в пленке был получен ряд решений уравнения, описывающего движение вектора намагниченности для случая, когда внешнее синусоидальное поле направлено перпендикулярно к оси легкого намагничивания. В этом случае уравнение (20) статьи I имеет вид:

Таблица 1

Характер колебаний в ферромагнитной пленке

Номер решения	h	β	n	φ при $\theta=0$	$\frac{d\varphi}{d\theta}$ при $\theta=0$	Характер решения
1	5	20	0,1	0,175	0	Затухающие параметрические колебания
2	5,7	20	0,1	0,175	0	
3	6	20	0,1	0,175	0	
4	7	20	0,1	0,175	0	
5	8	20	0,1	0,175	0	
6	8	10	0,1	0,175	0	
7	2	1	0,1	0,175 и 0,0175	0	
8	3	1	0,1	0,175 и 0,0175	0	
9	4	1	0,1	0,175 и 0,0175	0	
10	5	1	0,1	0,175 и 0,0175	0	Устанавливающиеся параметрические колебания (рис. 1)
11	6	1	0,1	0,175 и 0,0175	0	
12	8	1	0,1	0,175 и 0,0175	0	
13	2	1	1	0,175 и 0,0175	0	Затухающие параметрические колебания
14	3,5	1	1	0,175 и 0,0175	0	
15	6	1	1	0,175 и 0,0175	0	
16	8	1	1	0,175 и 0,0175	0	Вращение вектора намагниченности (рис. 2)

Таблица 2

Характер колебаний в ферромагнитной пленке

Номер решения	h	β	n	Характер решения
17	0,8	1	0,316	Вынужденные колебания
18	1,0	1		
19	1,2	1	0,316	Вращение
20	1,4	1	0,316	
21	1,6	1	0,316	
22	1,8	1	0,316	
23	2,6	1	0,316	Вынужденные колебания
24	3,4	1	0,316	
25	4,2	1	0,316	Сложное вращение
26	4,8	1	0,316	Неустановившийся процесс
27	1	1	1	Вынужденные колебания
28	2	1	1	
29	3	1	1	Вращение (рис. 3)
30	4	1	1	
31	5	1	1	Неустановившийся процесс

$$n^2 \frac{d^2 \varphi}{d\theta^2} + \beta n \frac{d\varphi}{d\theta} + \frac{1}{2} \sin 2\varphi - h_{xe} \cos \varphi = 0, \quad (2)$$

где $h_{xe} = -h \sin \theta$.

Результаты решений сведены в табл.2. Во всех случаях уравнение (2) решалось при нулевых начальных условиях и изменении θ в пределах от 0 до 20π .

Как можно судить из анализа результатов, приведенных в табл. 2, поля, при которых возникают вращения вектора намагниченности значительно меньше полей, при которых возникают параметрические колебания в пленке. Вращение вектора намагниченности имеет равномерный характер (рис.3, решение 29, табл.2). Область вращения вектора намагниченности намного шире области параметрических колебаний.

Элемент, в котором используется вращение вектора намагниченности, назовем рототроном.

3. Изменение направления вращения вектора намагниченности

Была решена следующая задача. Рассматривается вращение вектора намагниченности пленки в одном из двух возможных направлений. Одновременно задается очень медленно изменяющееся по амплитуде поле, направленное перпендикулярно возбуждающему полю и имеющему ту же частоту, что и возбуждающее поле, но сдвинутое по фазе относительно возбуждающего поля на 90° . Тем самым на вектор намагниченности постепенно действует эллипсоидальное вращающее поле, причем направление вращения этого поля подбирается противоположным направлению вращения вектора намагниченности. Требуется определить величину дополнительного поля, при которой происходит изменение направления вращения вектора намагниченности.

При решении указанной задачи использовалось уравнение (20) статьи I:

$$n^2 \frac{d^2 \varphi}{d\theta^2} + \beta n \frac{d\varphi}{d\theta} + \frac{1}{2} \sin 2\varphi + h_{ye} \sin \varphi - h_{xe} \cos \varphi = 0. \quad (3)$$

Согласно данным задачи, положено:

$$\begin{aligned} h_{xe} &= -h \sin \theta, \\ h_{ye} &= -s\theta^2 \cos \theta, \end{aligned}$$

где величина s была выбрана так, чтобы при $\theta = 100\pi$, $s\theta^2 = h$.

Решение было проведено при $h = 3$, $n = 1$, $\beta = 1$ (такие же, как и в решении 29, табл.2).

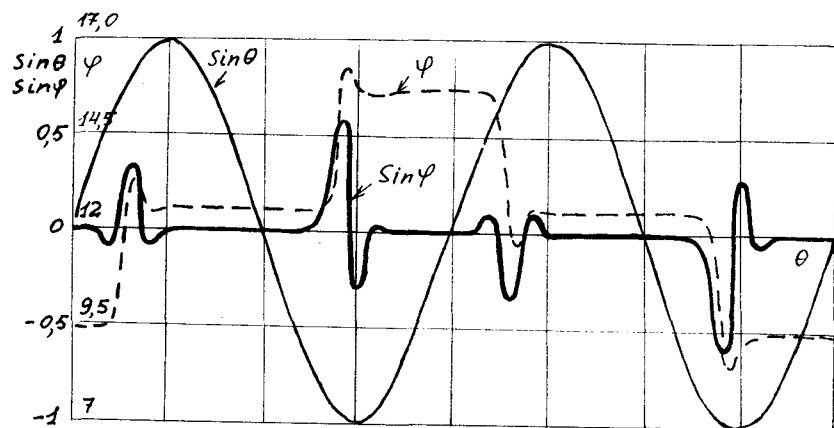
Значит,

$$s = \frac{3}{(100\pi)^2}.$$

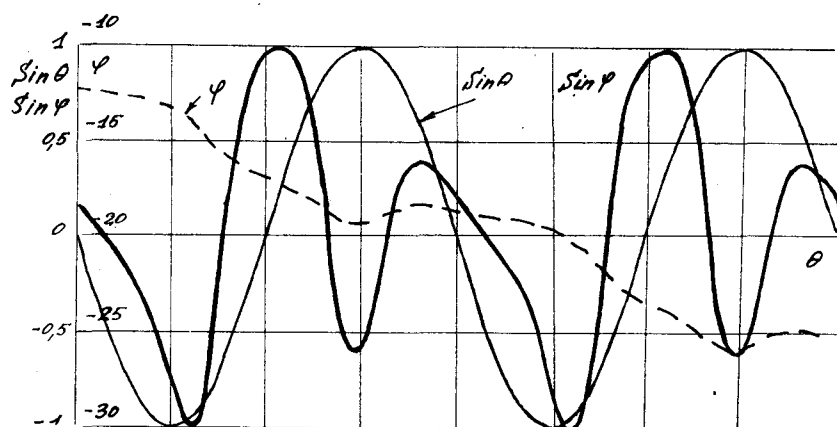
Оказалось, что реверс произошел при амплитуде добавочного поля $s\theta^2 = 0,87$ за время, соответствующее одному периоду возбуждающего поля.

ЛИТЕРАТУРА

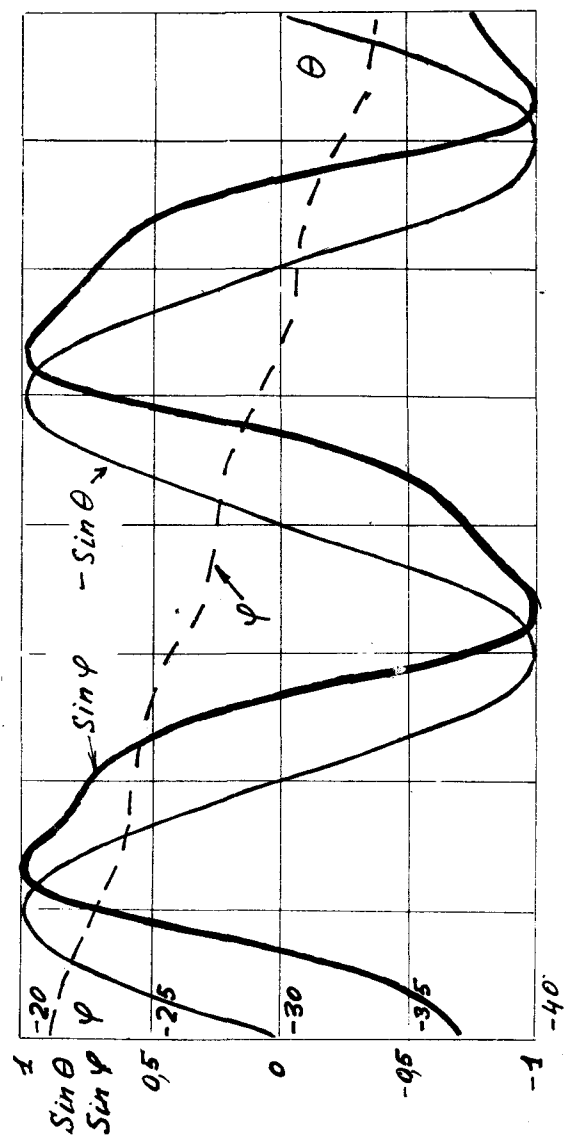
1. Stockman H.E., Proc.IRE, 1960, 48, 6, 1157-1158.
2. Stockman H.E., Proc.IRE, 1961, 49, 5, 1133.
3. Methfessel S., Middelchock S., Thomas H., J.Appl.Phys., 1961, 32, 10.
4. Wolf P., J.Appl.Phys.Suppl., 1961, 32, 3.



Р и с.1. Параметрические колебания
в ферромагнитной пленке



Р и с.2. Вращение вектора намагниченности
в ферромагнитной пленке



Р и с.3. Вращение вектора намагниченности
в ферромагнитной пленке