

К. А. НАРИНЯН, К. А. ЕГИЯН

ПРОДОЛЬНАЯ ПРОНИЦАЕМОСТЬ
МАГНИТНЫХ ПЛЕНОК НА РАДИОЧАСТОТАХ

Приводятся экспериментальные результаты измерения дисперсии магнитной проницаемости пленок на радиочастотах. Анализ экспериментальных результатов не обнаруживает низкочастотный ферромагнитный резонанс. Обсуждается зависимость дисперсных кривых от других магнитных параметров и, в частности, от дисперсии анизотропии.

В работе [1] показано, что комплексная дифференциальная проницаемость идеальной магнитной пленки, если не учитывается волнообразная структура намагниченности [2], на основании теории магнитных спектров может быть выражена соотношением

$$\mu(j\omega) = \frac{4\pi M}{H_k} \frac{\sin^2(\varphi - \alpha)}{-\gamma^2 + j\gamma B\alpha_0 + \cos 2\varphi + h \cos(\psi - \varphi)}, \quad (1)$$

где $\gamma = \frac{\omega}{\omega_0}$ — обобщенная частота,

$$B = \frac{4\pi M\gamma}{\omega_0},$$

ω — измеряемая частота,

ω_0 — частота ферромагнитного резонанса в поле анизотропии магнитной пленки,

H_k — поле анизотропии,

M — намагниченность насыщения,

α_0 — высокочастотный параметр затухания магнитных пленок по Джильтберту,

γ — гиромагнитный коэффициент,

φ — угол отклонения вектора $\vec{M}$ относительно легкой оси,

ψ — угол приложения постоянного смещающего поля H_0 ,

α — угол приложения радиочастотного поля,

$$h = \frac{N_0}{N_k}.$$

Положив в уравнение (1) для продольной проницаемости $\alpha = 0$, $\psi = \frac{\pi}{2}$ [3], для действительной части приведенной проницаемости получим 2 уравнения:

$$\mu'_{11} = \frac{h^2 [1 - \gamma^2 - h^2]}{[1 - \gamma^2 - h^2]^2 + \gamma^2 B^2 \alpha_0^2} \quad 0 < h < 1,$$

$$\mu'_{11} = \frac{h - \gamma^2 - 1}{[h - \gamma^2 - 1]^2 + \gamma^2 B^2 \alpha_0^2} \quad h > 1.$$

Из выражений (2) очевиден резонансный характер дисперсионной компоненты μ_{11} проницаемости.

Методика эксперимента

Для исследования дисперсионных кривых на радиочастотах использовался куметр Tesla BM-409. К измерительным клеммам куметра присоединились катушки с количеством витков 1, 2, 5, 10 соответственно для частот 200, 100, 50, 30 и 16 МГц. В катушках помещалась магнитная пленка, при этом ось катушки точно юстировалась для совпадения с осью легкого намагничивания пленки. Смещающее поле в трудном направлении создавалось парой катушек Гельмгольца, расположенных непосредственно у измерительных клемм куметра. Продольная составляющая поля земли компенсировалась при измерении. Из измерений вычислялась индуктивность магнитной пленки, пропорциональная μ' . Для измерения μ' на частоте 1000 Гц использовался феррограф [4].

Синусоидальное поле частотой 1000 Гц и амплитудой 0,05 э прикладывалось в легком направлении, в трудном — поле смещения. Интегратор феррографа выключался, при этом считанный сигнал на экране осциллоскопа пропорционален μ_{11} :

$$e_{\text{тах}} = \mu_{11} A \omega B_m,$$

где A — коэффициент пропорциональности.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

На рис. 1, 2, 3 приведены кривые нормализованной проницаемости $\frac{\mu_{11}}{\mu_H} = \varphi\left(\frac{\omega}{2\pi}\right)$ для трех образцов, где μ_H — начальная проницаемость (по трудной оси без смещения).

Из серии измерений выбраны характерные пленки. Результаты измерений μ_H с ростом частоты для указанных трех образцов уже обсуждались в [1]. Пленка 43Л обнаруживала рост μ_H с ростом частоты, у 47Л μ_H было постоянно, у 3614 проницаемость уменьшалась. Для продольной проницаемости, как видно, наблюдается обратное соотношение.

В табл. 1 приведены статические характеристики пленок и данные измерений угловой и амплитудной дисперсий.

Так, для пленки 43Л $\frac{\mu_{11}}{\mu_H} = 7$ на частоте 1000 Гц и монотонно уменьшается до 1 на частоте 200 МГц. Для пленки 47Л эти отношения равны 3,5 и 1,2 соответственно. У пленки 3614 наблюдается рост нормализованной проницаемости от 1,6 до 2,8. Такое положение типично для пленок с повышенной дисперсией, как у 3614. Отсюда вывод: затухание у пленок группы „В“ растет с ростом частоты быстрее в направлении оси трудного намагничивания. Как видно, кривые имеют гауссовскую форму распределения и скорее всего связаны с диспер-

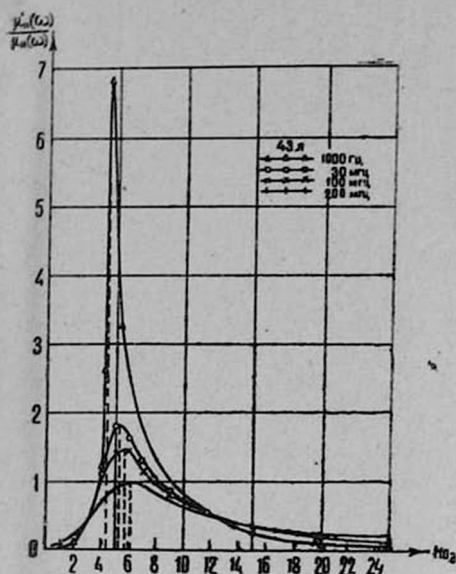


Рис. 1. Кривые нормализованной продольной проницаемости пленки 43Л на частотах 200, 100, 30, МГц и 1000 ц.

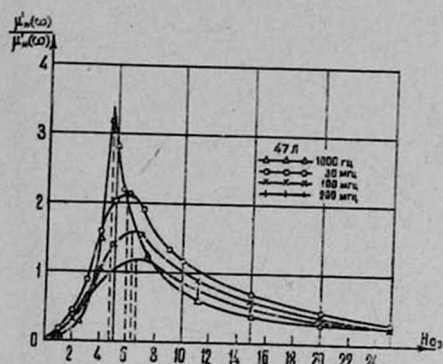


Рис. 2. Кривые нормализованной продольной проницаемости пленки 47Л на частотах 200, 100, 30 МГц и 1000 ц.

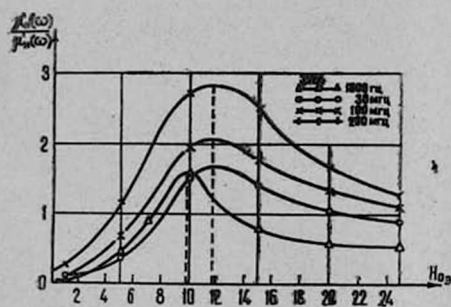


Рис. 3. Кривые нормализованной продольной проницаемости пленки 3614 на частотах 200, 100, 30 МГц и 1000 ц.

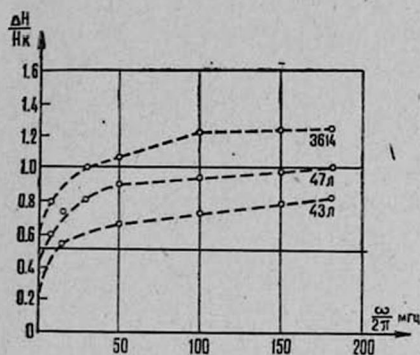


Рис. 4. Зависимость ширины дисперсных кривых от частоты.

Таблица 1

NN	H_c	$\bar{H}_k$	Δ_{90}	β_{90}	Группы
43Л	1,8	4,2	0,200	1,1°	А
47Л	3,1	3,7	0,315	1,5°	Б
3614	—	7,4	0,470	4°	В

Δ_{90} —амплитудная дисперсия,
 β_{90} —угловая дисперсия.

сией анизотропии. Судить о дисперсии магнитной проницаемости здесь можно только по изменению ширины этих кривых. Поглощение, характерное для низкочастотного ферромагнитного резонанса, не выявляется.

На рис. 4 приведена зависимость ширины дисперсных кривых от частоты. Эта зависимость имеет ту отличительную особенность, что ширина линии ΔH в области от 50 до 200 $M\mu$ растет линейно с частотой, а для более низких частот линейность нарушается. При экстраполяции прямых от точек, соответствующих частоте 50 $M\mu$, до нулевой частоты (пунктирные линии) точки их пересечения с осью ординат не совпадают со значениями Δ_{90} , приведенными в табл. 1 и измеренными методом Кроутера [5].

Более близки к значениям Δ_{90} значения ΔH_0 , измеренные на феррографе.

Как известно, Россинг и Нельсон [6, 7] зависимость между ΔH_0 и Δ_{90} выражали по формуле

$$\Delta H_0 \approx 1,012 \Delta_{90} \bar{H}_k.$$

Между ординатами нулевой частоты и 50 $M\mu$ на графиках рис. 4 нанесены точки, соответствующие 10, 16 и 30 $M\mu$; однако точность этих измерений гарантируется в пределах $\pm 20\%$, в то время как точки левее 50 $M\mu$ найдены с ошибкой, не превышающей 2—4%.

Указанная аномалия в поведении магнитных пленок на сравнительно низких частотах, очевидно, является следствием дисперсий Δ_{90} и β_{90} . Можно утверждать, основываясь на серии экспериментов, что для пленок с очень малой суммарной дисперсией, как, например, 43Л, аномалия незначительна и что с увеличением дисперсии частотные свойства пленок резко ухудшаются уже на сравнительно низких частотах.

В ы в о д ы

1. На кривых действительной части продольной проницаемости до частот 200 $M\mu$ не обнаруживаются области, связанные с резонансным поглощением.
2. Ширина линий ΔH растет с увеличением частоты.
3. У пленок с большой дисперсией анизотропии затухание по трудной оси более выражено, чем по легкой.

Поступила 31.VI.1968

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. К. А. Наринян, Изв. АН АрмССР, Физика, 3, 48—59 (1968).
2. Н. Hofman, Phys. Status Solid, 5, 1, 187—201 (1964).
3. Е. У. Torok, Р. А. White, Appl. Phys., 34, 4 (2), 1064—66 (1963).
4. К. А. Наринян, Сборник „Магнитные аналоговые элементы“, ч. 1. „Наука“, 1965, стр. 212—214.
5. Т. Crowter, Appl. Phys., 34, 3, 580 (1963).
6. Н. Nelson, Appl. Phys., 35, 3, 808—829 (1964).
7. R. Rossing, Appl. Phys., 34, 2, 995 (1963).

ՄԱԳՆԵՍԿԱԿԱՆ ԹԱՂԱՆԹՆԵՐԻ ԵՐԿԱՅՆԱԿԱՆ ԹԱՓԱՆՑՆԵԼԻՆԻՑՈՒԹՅՈՒՆԸ
ՌԱԴԻՈՉԱՆՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ԴԵՊՔՈՒՄ

Կ. Յ. ԵՂՅԱՆ, Կ. Ա. ՆԱՐԻՆՅԱՆ

Իերված են թաղանթի մագնիսական թափանցելիության դիսպերսիայի շափման արդյունքները ռադիոհաճախությունների համար: Փորձնական արդյունքների անալիզը չի հայտնարկում ցածր հաճախականային ֆերոմագնիսական աեզոնանս:

Քննարկված է դիսպերսիոն կորերի կախվածությունը այլ մագնիսական պարամետրերից, մասնավոր դեպքում անիզոտրոպային դիսպերսիայից:

LONGITUDINAL PERMEABILITY OF MAGNETIC FILMS
AT RADIO FREQUENCIES

K. A. NARINIAN, K. A. JEGIAN

The experimental results of measuring a magnetic film dispersion at radio frequencies are given. The analysis of experimental results do not reveal any low ferromagnetic resonance. The dependence of the dispersion curves on other magnetic parameters, on anisotropic dispersion, in particular, is discussed.