

Р. 6.7

180

TALLINNA POLÜTEHNILISE INSTITUUDI TOIMETISED
ТРУДЫ ТАЛЛИНСКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА
Серия А № 180 1960

Г. Х. Вяльмяэ

**О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭФФЕКТА
ХОЛЛА ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ
В ПЕРМЕАМЕТРЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ
МАГНИТОМЯГКИХ МАТЕРИАЛОВ**

ТАЛЛИН, 1960

Ep. 6.7

Г. Х. Вяльмяэ

**О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭФФЕКТА
ХОЛЛА ДЛЯ НЕПРЕРЫВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ
В ПЕРМЕАМЕТРЕ МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ
МАГНИТОМЯГКИХ МАТЕРИАЛОВ**

ТАЛЛИН, 1960

Г. Х. Вяльмяэ

О ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭФФЕКТА ХОЛЛА ДЛЯ
НЕПРЕРЫВНОГО ИЗМЕРЕНИЯ В ПЕРМЕАМЕТРЕ
МАГНИТНЫХ СВОЙСТВ МАГНИТОМЯГКИХ МАТЕРИАЛОВ

Таллинский Политехнический Институт

*

Редактор Х. Тийсмус
Технический редактор А. Тамм
Корректор Х. Росс

Сдано в набор 16. XI 1960. Подписано к печати 07. XII 1960. Печатных листов 1,25. По формату 60×92 печатных листов 1,03. Учетно-издательских листов 0,95. Тираж 600. МВ-08373. Заказ № 8057.

Типография «Коммунист», ул. Пикк 2, Таллин.

Цена 70 коп.
1961 г. — 7 коп.



1. ОБЩИЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Применение эффекта Холла [1] для решения многих задач в науке и технике привлекает в последнее время все большее внимание исследователей.

В связи с бурным развитием полупроводниковой техники появились новые полупроводниковые материалы, из которых изготовлены датчики Холла, имеющие параметры, достаточные для их технического применения.

Эффект Холла должен занимать определенное и прочное место при испытании магнитных материалов, так как он позволяет в этой области рекомендовать новые решения некоторых проблем, до сих пор еще не нашедших удовлетворительного решения.

Важной задачей измерительной техники является быстрое и точное измерение магнитных свойств ферромагнитных материалов, получивших в современной электротехнике самое широкое применение.

При измерении магнитных свойств ферромагнитных материалов важной задачей является непрерывное измерение цикла намагничивания при медленно изменяющейся напряженности магнитного поля.

До настоящего времени при испытании магнитных материалов в постоянных магнитных полях доминирует, несмотря на присущие ему значительные недостатки, баллистический метод измерения напряженности магнитного поля и магнитной индукции. Баллистический метод не позволяет проводить непрерывных измерений. Кроме этого он весьма трудоемок, что особенно чувствуется при снятии петли гистерезиса.

Применяемые в настоящее время пермеаметры для испытания прямолинейных образцов во многих случаях не удовлетворяют современным требованиям. Так как в них используемым основным методом является баллистический метод измерения индукции и напряженности, то измерения на них неминуемо трудоемки. Весьма трудно также автоматизировать процесс измерения и автоматически провести запись результатов измерений.

2. ДВЕ ПРИНЦИПАЛЬНЫЕ СХЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ ПЕРМЕАМЕТРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭФФЕКТА ХОЛЛА

Использование эффекта Холла позволяет создать конструкцию пермеаметра, обладающего свойствами непрерывности измерения как при постоянных, так и при переменных магнитных полях.

Подобный пермеаметр возможно выполнить в виде четырехполюсника, входное напряжение которого пропорционально напряженности магнитного поля, выходное напряжение же пропорционально магнитной индукции в образце.

Задача создания пермеаметра такой конструкции может быть решена по двум принципиально различным схемам.

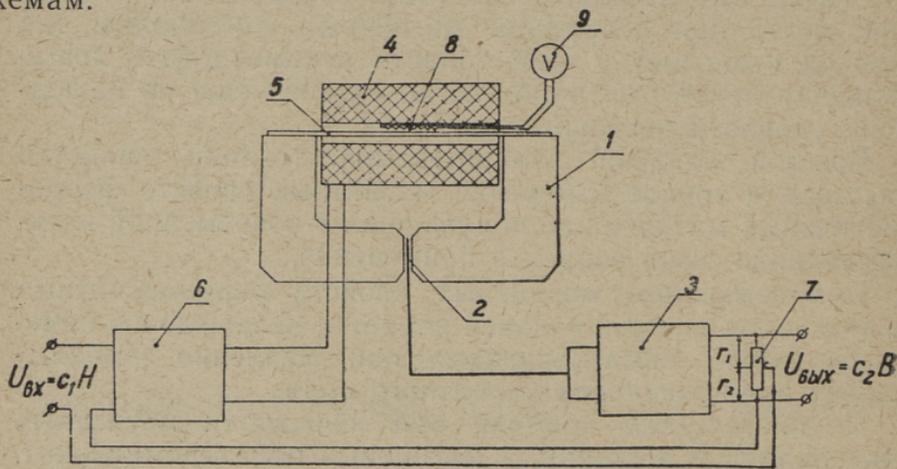


Рис. 1.

Первая схема [2] изображена на рис. 1. Пермеаметр состоит из яра 1 с малым воздушным зазором, где помещается датчик Холла 2 измерительного устройства 3, выходное напряжение которого пропорционально магнитной индукции в образце. Катушка намагничивания 4, находящаяся на образце 5, питается от усилителя 6, входное напряжение которого пропорционально выходному току.

Часть выходного напряжения подается через потенциометр 7 обратно на вход в качестве положительной обратной связи, компенсирующей погрешность от магни-

топровода и стыков, возникающую при определении напряженности в образце по мдс намагничивающей обмотки.

После установки образца в пермеаметр отрегулируется степень обратной связи, обеспечивающей компенсацию погрешностей. Для этого на вход пермеаметра подается переменное напряжение известной величины и частоты. Одновременно измеряется напряженность магнитного поля индукционным методом при помощи вольтметра 9, соединенного с измерительной катушкой 8. Перемещением подвижного контакта потенциометра 7 достигается степень обратной связи, при которой

$$U_{\text{вх}} = c_1 H, \quad (1)$$

где $U_{\text{вх}}$ — входное напряжение пермеаметра,

H — напряженность в образце,

c_1 — постоянная пермеаметра.

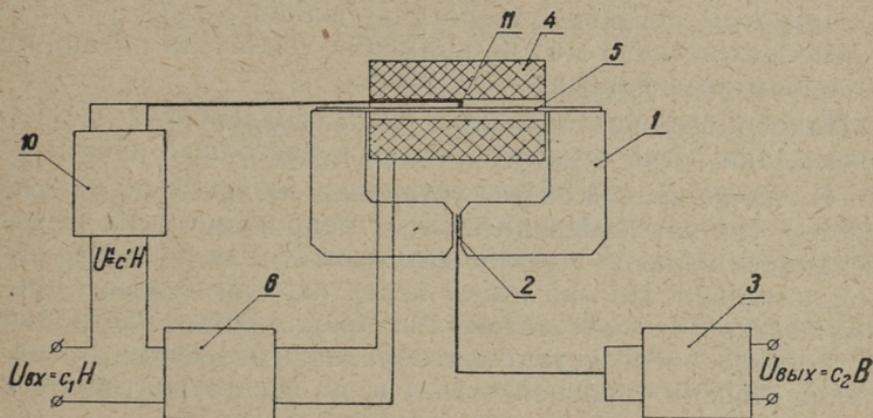


Рис. 2.

Вторая схема изображена на рис. 2. Отличие этой схемы от первой состоит в том, что пропорциональность входного напряжения пермеаметра с напряженностью магнитного поля в образце обеспечивается не применением положительной обратной связи по магнитной индукции, а при помощи непрерывного измерения напряженности магнитного поля в образце и применением автоматической следящей системы регулирования.

Напряженность магнитного поля в образце измеряется устройством 10, выходное напряжение которого

$$U' = c'H, \quad (2)$$

где c' — коэффициент пропорциональности.

Датчиком 11 измерительного устройства может быть применен датчик Холла или при измерении малых напряженностей — феррозонд.

Так как комплекс — усилитель питания обмотки намагничивания 6 — катушка намагничивания 4 — образец 5 — измеритель напряженности 10 — представляет собою следящую систему автоматического регулирования, то в обмотке намагничивания устанавливается такой ток, при котором выполнено условие

$$|U_{\text{вх}}| = |U'| = |c_1 H|. \quad (3)$$

При этом погрешность регулирования можно сделать пренебрежительно малой, применяя усилитель питания с большим коэффициентом усиления.

Подробному исследованию была подвергнута первая схема, как легче осуществляемая в настоящее время.

В случае второй схемы установка значительно усложняется, так как измерение малых напряженностей на поверхности образца с узким датчиком Холла пока еще затруднительно. Но она имеет перед первой схемой и преимущества — отсутствие необходимости настройки устройства после установки образца в пермеаметр (наладка степени обратной связи) и, по всей вероятности, и более высокую точность измерений.

Пермеаметр, выполненный по приведенным схемам в виде четырехполюсника, для быстрого измерения свойств магнитных материалов в лабораторных и заводских условиях весьма удобен и оперативен.

Пермеаметр описанной конструкции может найти применение в различных моделирующих устройствах в качестве функционального преобразователя, имитирующего цикл намагничивания через передаточную характеристику

$$U_{\text{вых}} = f(U_{\text{вх}}), \quad (4)$$

где $U_{\text{вх}}$ — входное напряжение функционального преобразователя,
 $U_{\text{вых}}$ — выходное напряжение функционального преобразователя,
 f — передаточная функция.

Электронные моделирующие устройства в последние годы получают все большее распространение. Они позволяют сравнительно просто и с большой экономией времени решать многие задачи по исследованию и проектированию сложных схем автоматического регулирования и отдельных элементов автоматики.

Использование электронных моделей особенно эффективно при исследовании нелинейных элементов и систем, когда необходимо решать нелинейные дифференциальные уравнения. Типичными примерами таких нелинейных элементов являются дроссели насыщения, магнитные и электромашинные усилители, электромагнитные реле и т. д., работа которых основана на использовании характерных свойств ферромагнитных материалов.

В настоящее время в моделирующих устройствах в качестве функциональных преобразователей, имитирующих кривую намагничивания, применяются универсальные нелинейные блоки (например БН-3), в которых кривую намагничивания аппроксимируют отрезками прямой. Наладка такого блока трудоемкая и аппроксимация кривой неточная.

Аппроксимация всего гистерезисного цикла может быть произведена при помощи т. н. схемы для моделирования люфта [3], но с еще меньшей точностью. Были предложены некоторые устройства для улучшения точности аппроксимации гистерезисной петли при помощи электронных схем, например [4], но из-за их сложности и малой точности аппроксимации они не могут представлять удовлетворительного решения проблемы.

Значительное увеличение точности изображения гистерезисного цикла при помощи передаточной характеристики может быть достигнуто применением предлагаемого пермеаметра в качестве функционального преобразователя. Передаточная характеристика такого функционального преобразователя получается непрерывным изменением цикла намагничивания испытуемого образца.

Ввиду чрезвычайной сложности цикла намагничивания (всевозможные несимметричные циклы включительно) предложенный метод получения гистерезисных характеристик ферромагнитных материалов является единственным возможным способом для достижения высокой точности.

3. МАГНИТНАЯ ЦЕПЬ ПЕРМЕАМЕТРА

Основной частью пермеаметра является ярмо, которое в совокупности с испытуемым образцом образует замкнутый магнитопровод, благодаря чему обеспечивается приблизительная однородность намагничивания образца.

При отсутствии магнитного сопротивления ярма и стыков между ярмом и образцом, т. е. в идеальном пермеаметре условия испытания образца приблизились бы к условиям испытания материала в виде тора, позволяющим провести испытания с наивысшей точностью.

В реальном пермеаметре мдс, создаваемая намагничивающей обмоткой, расходуется не только на проведение магнитного потока через испытуемый образец, но и на преодоление сопротивления неизбежных воздушных зазоров, возникающих у стыков и сопротивления самого ярма.

Весьма удобным является способ определения напряженности магнитного поля в испытуемом образце H , по току I , числу витков намагничивающей обмотки ω и длине намагничивающей катушки l при помощи формулы

$$H = \frac{I\omega}{l}. \quad (5)$$

Эту формулу применяют при испытаниях кольцевых образцов; однако по вышеизложенным причинам она при испытаниях прямолинейных образцов в пермеаметре дает весьма неточные результаты.

Исходя из классической теории магнитной цепи пермеаметра [5], получим для напряженности магнитного поля в образце следующее выражение:

$$H = \frac{I\omega}{l} - \frac{B}{l\mu_0} \left(\frac{\lambda}{\mu_{\text{робр}}} + \frac{\delta q_{\text{обр}}}{q_{\delta}} + \frac{Lq_{\text{обр}}}{q_{\text{я}}\mu_{\text{ря}}} \right) \quad (6)$$

В этой формуле

B — магнитная индукция в образце,

$\frac{\lambda}{2}$ — длина части образца между торцами катушки и ярма,

μ_0 — проницаемость вакуума (воздуха),

$q_{\text{обр}}, \mu_{r\text{обр}}$ — поперечное сечение и относительная проницаемость образца,

q_{δ}, δ — эквивалентное сечение и длина воздушных зазоров,

$L, q_{\text{я}}, \mu_{r\text{я}}$ — средняя длина, среднее поперечное сечение и средняя относительная проницаемость ярма.

При обозначениях

$$I\omega = H',$$

$$\frac{1}{l\mu_0} \left(\frac{\lambda}{\mu_{r\text{обр}}} + \frac{\delta q_{\text{обр}}}{q_{\delta}} + \frac{Lq_{\text{обр}}}{q_{\text{я}}\mu_{r\text{я}}} \right) = A$$

выражение (6) примет вид:

$$H = H' - BA = H' + \Delta H, \quad (7)$$

где ΔH — поправка, пропорциональная магнитной индукции в образце, если A постоянная величина.

Предположим, что пермеаметр представляет собою систему, показанную на рис. 1.

Обмотка намагничивания пермеаметра питается от усилителя, выходной ток которого

$$I = SU_{\text{ус}}, \quad (8)$$

где S — крутизна амплитудной характеристики усилителя,

$U_{\text{ус}}$ — входное напряжение усилителя.

Магнитная индукция в образце, измеряемая датчиком Холла, выражается через выходное напряжение измерительного устройства следующим образом:

$$B = U_{\text{ВЫХ}} \frac{k_{\Phi} k_u}{q_{\text{обр}}} \quad (9)$$

где $U_{\text{ВЫХ}}$ — выходное напряжение измерительного устройства (пермеаметра),

$k_{\Phi} = \frac{\Phi_{\text{о.р.}}}{\Phi_{\delta}}$ — отношение магнитного потока в образце к магнитному потоку в датчике,

k_u — коэффициент, связывающий выходное напряжение измерительного устройства с магнитным потоком в датчике.

Часть выходного напряжения, которая подается в качестве обратной связи на вход, равняется

$$U_{\text{ОСВ}} = \beta U_{\text{ВЫХ}} = \frac{r_2}{r_1 + r_2} U_{\text{ВЫХ}} \quad (10)$$

где $U_{\text{ОСВ}}$ — напряжение обратной связи,

β — коэффициент обратной связи,

r_1, r_2 — сопротивления плеч потенциометра (см. рис. 1).

Выражая напряженность магнитного поля в образце по формуле (7) и имея в виду выражения (8), (9) и (10), получим

$$\begin{aligned} H &= \frac{\omega S}{l} (U_{\text{ВХ}} + U_{\text{ОСВ}}) - AB = \\ &= \frac{\omega S}{l} U_{\text{ВХ}} + \frac{q_{\text{обр}} S \omega}{k_{\Phi} k_u l} \beta B - AB. \end{aligned} \quad (11)$$

Обозначая в выражении (11)

$$\frac{\omega S}{l} = c_1 \quad \text{и}$$

$$\frac{q_{\text{обр}} S \omega}{k_{\Phi} k_u l} \beta = D,$$

получим окончательно:

$$H = c_1 U_{\text{вх}} + DB - AB. \quad (12)$$

Если соблюдено условие

$$D = A,$$

то

$$H = c_1 U_{\text{вх}}. \quad (13)$$

Таким образом напряженность магнитного поля в образце пропорциональна входному напряжению пермеаметра.

Соблюдение условия (13) при всех значениях напряженности магнитного поля возможно лишь в случае, если коэффициент A является постоянной величиной, т. е. кривая сдвига (разница между измеренной и действительной кривой намагничивания, см. рис. 4) прямолинейна. В этом случае при одном значении напряженности магнитного поля налаженная обратная связь обеспечивает компенсацию погрешности от магнитопровода и при всех других значениях напряженности магнитного поля.

Но в действительности коэффициент A из-за нелинейности магнитной цепи и наличия рассеяния не является постоянной величиной.

По этой причине может также оказаться затруднительным обеспечивать пропорциональность между магнитной индукцией в образце и магнитным потоком в датчике (постоянство коэффициента k_{Φ}).

С целью выяснения, насколько вышеприведенные предложения осуществимы в реальной магнитной цепи пермеаметра; было проведено обширное экспериментальное исследование.

Баллистическим методом были измерены напряженность магнитного поля в образце и магнитный поток в различных сечениях магнитной цепи. По этим данным были исследованы форма кривой сдвига, постоянство коэффициента k_{Φ} и т. д. для некоторых конфигураций магнитной цепи пермеаметра и при ее различных параметрах (величины воздушного зазора, сечения и материала образца, размеров катушки намагничивания).

Испытания были проведены с полосовыми образцами из двух материалов — Ст-2 и Э330.

В результате этих исследований выяснилось, что удовлетворительные результаты могут быть получены с маг-

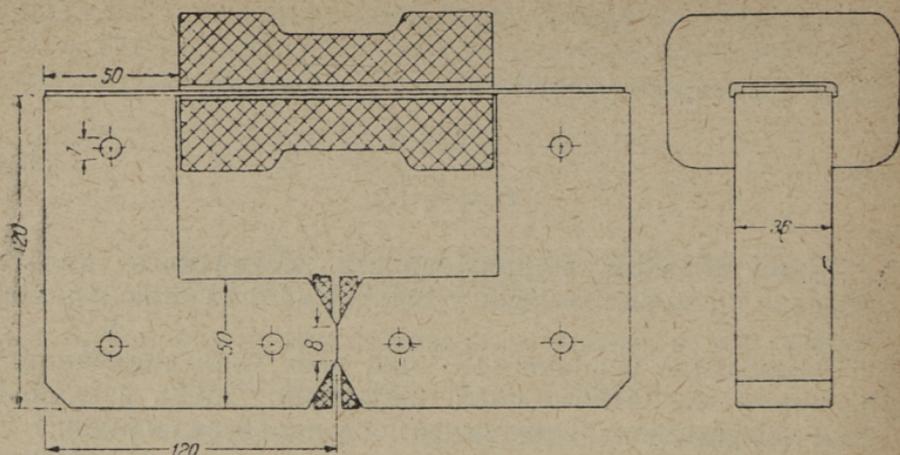


Рис. 3.

нитной системой, изображенной на рис. 3. Образец, замыкающийся ярмом пермеаметра, находится внутри катушки намагничивания, имеющей утолщения на торцах, которые обеспечивают более равномерное намагничивание образца. Максимальная разница между магнитными индукциями в середине образца и у торца катушки не превышала 2,5%.

В середине ярма находится перешеек для концентрирования магнитного потока через датчик Холла, который помещается в воздушном зазоре.

С обеих сторон датчика на перешейке ярма находится компенсационная обмотка, включенная последовательно и навстречу основной обмотке намагничивания. При помощи этой обмотки достигается в широких пределах постоянство коэффициента k_{Φ} и прямолинейность кривой сдвига.

На рис. 4 изображены истинная кривая намагничивания $B = f_{\text{ист}}(H)$ образца из Ст-2, а также измеренные кривые намагничивания того же самого образца, вычисленные по магнитному потоку в перешейке и мдс катушки по формуле (5) при разном числе витков компенсационной обмотки.

Результаты измерений показали, что при определенном числе витков кривая сдвига близка прямой, отклоняясь от прямой линии только при весьма больших напряженностях магнитного поля.

В случае материала Э330 прямолинейность была достигнута до индукции $1,9 \text{ вб/м}^2$.

Постоянство коэффициента k_Φ было достигнуто с погрешностью, не превышающей $0,4\%$ до напряженностей магнитного поля в образце $10^4 - 1,5 \cdot 10^4 \text{ а/м}$.

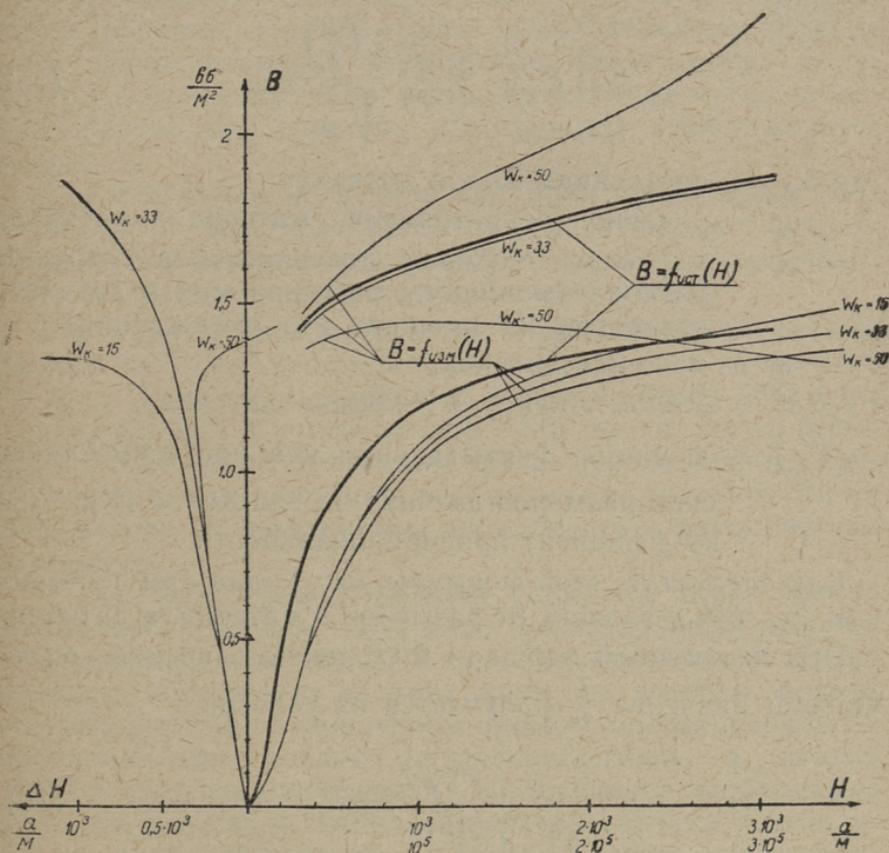


Рис. 4.

4. ИЗМЕРЕНИЕ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИИ В ПЕРМЕАМЕТРЕ ПРИ ПОМОЩИ ДАТЧИКА ХОЛЛА

Для измерения магнитной индукции в испытываемом образце датчик Холла помещается в зазоре магнитной цепи пермеаметра.

Пренебрегая рассеянием в магнитной цепи пермеаметра и предполагая, что

$$\Phi = c_B B, \quad (14)$$

где Φ — магнитный поток, пронизывающий равномерно всю площадь датчика,

B — магнитная индукция в образце,

c_B — коэффициент пропорциональности, получим для эдс Холла выражение

$$E = C \frac{R_h}{\sqrt{\rho}} \sqrt{\frac{g}{qd}} \frac{\varphi\left(\frac{l}{b}\right)}{\sqrt{\frac{l}{b}}} B, \quad (15)$$

где R_h — постоянная Холла датчика.

ρ — удельное сопротивление материала датчика,

g — удельная тепловая поверхностная нагрузка датчика (мощность, рассеиваемая в датчике, разделена на площадь его охлаждения),

q — площадь датчика,

l, b, d — длина, ширина и толщина датчика,

$\varphi\left(\frac{l}{b}\right)$ — функция, учитывающая влияние геометрических размеров датчика на эдс Холла [1.],

C — коэффициент пропорциональности.

Как следует из этой формулы, эдс Холла при постоянном c_B , B и g зависит от размеров и материала датчика.

При неизменной площади и толщины датчика оптимальное значение $\frac{l}{b}$ получается из условия

$$\frac{\partial}{\partial\left(\frac{l}{b}\right)} \frac{\varphi\left(\frac{l}{b}\right)}{\sqrt{\frac{l}{b}}} = 0, \quad (16)$$

откуда следует, что $\left(\frac{l}{b}\right)_{opt} = 1,4$.

Из формулы (15) также следует, что датчик желательно иметь возможно малой толщины и площади. Необходимо только иметь в виду, что в случае концентрирования магнитного потока через датчик при помощи перешейка (см. рис. 3), в реальном пермеамetre чрезмерное уменьшение площади датчика нежелательно, так как при этом все большая часть магнитного потока (поток рассеяния) проходит мимо датчика.

Для получения минимальной площади датчика принципиально возможно и размещение датчика Холла непосредственно у торца испытуемого образца.

Как показали исследования, этот вариант имеет целый ряд серьезных недостатков — как, например, необходимость тщательной обработки и точной установки торца образца, неравномерное намагничивание образца из-за несимметричной конструкции пермеаметра и др. Поэтому при испытании магнитомягких материалов целесообразно предпочитать конструкцию, изображенную на рис. 3.

Для измерения магнитной индукции при помощи датчика Холла было разработано измерительное устройство, схема которого изображена на рис. 5 и предварительный вариант которого опубликован в [6].

В измерительном устройстве использован пленочный датчик из HgSe [7], толщину которого можно довести до 10 мкн. Пленочные датчики из HgSe особенно пригодны для измерений в узком зазоре. Они имеют перед монокристаллическими датчиками также другие важные преимущества, как например, весьма малая зависимость их параметров от температуры, их гибкость и механическая прочность.

В описанной измерительной установке через датчик Холла пропускается ток в виде прямоугольных импульсов, имеющих частоту 2000 гц. Ток подается от блока питания, состоящего из двух ламп, из которых первая (6Н1П) работает генератором прямоугольных импульсов по схеме симметричного мультивибратора, а вторая (6П9 в триодном включении) обеспечивает необходимое усиление по току и стабилизирует ток датчика. Стабилизация тока происходит с ограничением амплитуды импульсов, для чего использовано комбинированное диодно-сеточное ограничение.

Выходной сигнал датчика усиливается в двухкаскадном усилителе и детектируется дифференциальным катодным детектором.

При помощи описанной схемы была достигнута чувствительность $0,5 \frac{в}{а.см}$ при максимальной погрешности порядка 0,9%.

5. УСИЛИТЕЛЬ ПИТАНИЯ НАМАГНИЧИВАЮЩЕЙ ОБМОТКИ ПЕРМЕАМЕТРА

В предлагаемом пермеамetre для осуществления обратной связи по магнитной индукции в образце мдс обмотки намагничивания необходимо управлять с весьма малой мощностью (при помощи напряжения). Кроме того, при использовании пермеаметра в качестве функционального преобразователя он в большинстве случаев должен иметь высокое входное сопротивление.

Из этого следует, что питание обмотки намагничивания пермеаметра должно осуществляться через усилитель, выходной ток которого (ток в намагничивающей обмотке) пропорционален входному напряжению.

Так как усилитель должен охватывать частотный диапазон начиная от нуля герц, необходимо применение непосредственной связи между ступенями усилителя.

От усилителя требуется строгая пропорциональность и синфазность входного напряжения с выходным током и высокая стабильность параметров усилителя. Это достигается применением глубокой отрицательной обратной связи по выходному току и наличием большого входного напряжения (усилитель имел крутизну 10 ма/в).

Схема усилителя изображена на рис. 6. Усилитель выполнен по двухтактной схеме и состоит из каскадов предварительного усиления входного сигнала и выходной ступени.

Так как при помощи катушки намагничивания пермеаметра необходимо создать в испытуемом образце мдс обоих направлений, катушка намагничивания разделена на две равные и противоположно включенные секции, каждая из которых создает мдс разного направления и питается от одной половины двухтактного усилителя.

С целью уменьшения погрешности все лампы в усилителе работают в режиме класса А.

На вход усилителя подается сумма следующих напряжений:

- 1) входной сигнал $U_{вх}$ (зажимы АА'),
- 2) напряжение обратной связи по магнитной индукции $U_{осв}$ (зажимы ВВ'),

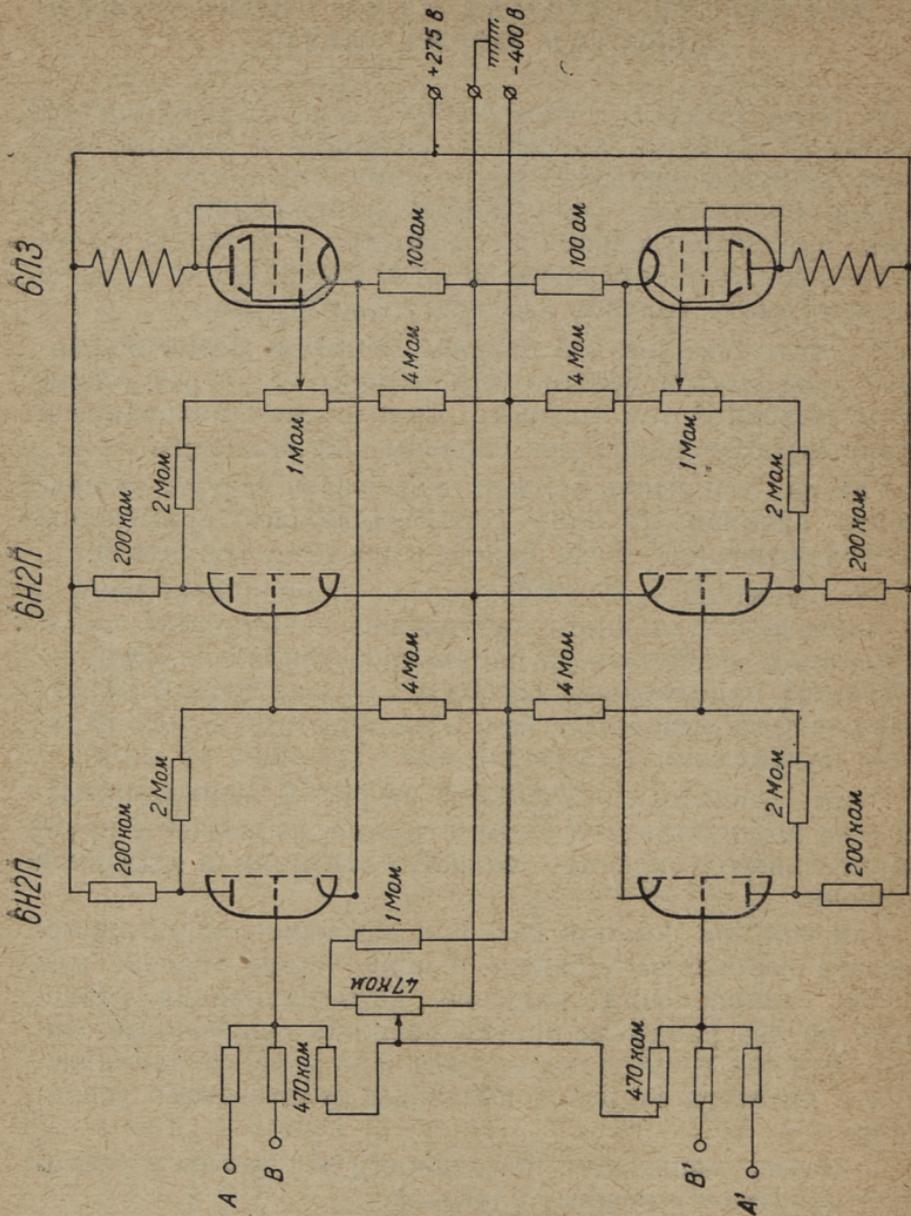


Рис. 6.

- 3) напряжение смещения для обеспечения необходимого режима ламп,
- 4) напряжение внутренней отрицательной обратной связи по выходному току.

Последнее напряжение подается на вход усилителя с применением общего катодного сопротивления для первого и выходного каскада. Для этого необходимо четное число ступеней предварительного усиления.

Для выходного тока усилителя, выполненного по описанной схеме, получим выражение

$$I = \frac{k\mu U_{yc}}{(1 + k\mu)r_k + z_n + r_i} \quad (17)$$

В этой формуле:

- U_{yc} — входное напряжение усилителя,
- k — коэффициент усиления каскадов предварительного усиления,
- μ — статический коэффициент усиления выходной лампы,
- z_n — сопротивление нагрузки.
- r_i — внутреннее сопротивление выходной лампы,
- r_k — катодное сопротивление выходной лампы.

Если

$$k\mu r_k \gg z_n + r_i + r_k,$$

то

$$I = \frac{U_{yc}}{r_k}$$

и обеспечена независимость выходного тока от параметров схемы (кроме катодного сопротивления).

При параметрах исследованной схемы эквивалентное выходное сопротивление усилителя составляло 1,4 Мом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в настоящей работе предложения использования эффекта Холта для измерения магнитных свойств магнитомягких материалов можно отнести к числу первых шагов в этой области. Достигнутая точность измерений — основная погрешность измерения напря-

женности и индукции порядка полутора процента — не является пределом.

Ввиду бурного развития полупроводниковой техники в последние годы можно уже в ближайшем будущем ожидать появления новых, более совершенных полупроводниковых материалов, позволяющих увеличить чувствительность датчиков Холла и уменьшить погрешность измерений.

Эффект Холла должен также приобрести широкое применение при испытании магнитотвердых материалов.

Очевидно, что использование эффекта Холла позволит найти еще много новых оригинальных решений различных проблем в области измерительной техники. Поэтому несомненно, что эффект Холла займет свое прочное место в области испытания магнитных материалов уже в ближайшем будущем.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. П. Жузе, А. Р. Регель — Технические применения эффекта Холла. Ленинград 1957.
2. Г. Х. Вяльямяэ — Устройство для определения магнитных свойств ферромагнитных материалов. Авторское свидетельство № 123607, класс 21e, 12.
3. Т. Корн, Г. Корн — Электронные моделирующие устройства, 1955.
4. В. Г. Васильев, В. А. Зверев — Электронное моделирование гистерезисных характеристик ферромагнитных материалов. Электромеханика 1959, № 9.
5. Е. Г. Шрамков — Электрические и магнитные измерения 1937.
6. Г. Х. Вяльямяэ — Чувствительный измеритель постоянных магнитных полей с применением пленочного датчика эдс Холла из HgSe. Труды Таллинского политехнического института № 156, 1959.
7. О. О. Елпатьевская, А. Р. Регель — О некоторых возможностях измерения напряженности магнитного поля пленочными датчиками эдс Холла изготовленными из HgSe, HgTe и их твердых растворов. ЖТФ 26 (1956) 2432-38.





50

64