

Лекция 22

Магнитные преобразователи

Магнитные преобразователи предназначены для измерения и индикации магнитного поля при магнитном неразрушающем контроле.

Известны одиннадцать наиболее общих типов магнитных датчиков. Предельно достижимая чувствительность их характеризуется следующей таблицей.

Тип магнитного датчика	Обнаруживаемое поле, Гс
Индукционный магнитометр	10^{-8}
С насыщенным сердечником	10^{-6}
С оптической накачкой	10^{-8}
Ядерно-прецессионный	10^{-7}
СКВИД	10^{-10}
Холла	10^{-6}
Магниторезистивный	10^{-6}
Магнитодиодный	10^{-4}
Магнитотранзисторный	10^{-4}
Волоконно-оптический	10^{-10}
Магнитооптический	10^{-7}

Наиболее распространенными являются следующие типы преобразователей:

1. Индукционные;
2. Феррозондовые;
3. Пондеромоторные (магнитное взаимодействие проводников с током);
4. Магниторезистивные;
5. Магнитопроводниковые;
6. Преобразователи Холла;
7. Магнитный порошок;
8. Магнитные ленты.

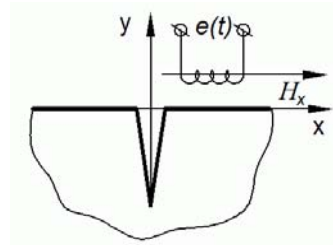
Индукционные преобразователи — их действие основано на законе электромагнитной индукции: $\mathcal{E} = -w d\Phi/dt$ (w — число витков, Φ — поток).

Различают

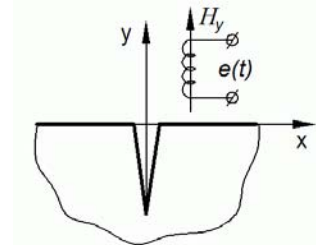
– неподвижные индукционные преобразователи — *пассивные*;

– подвижные индукционные преобразователи — *активные*.

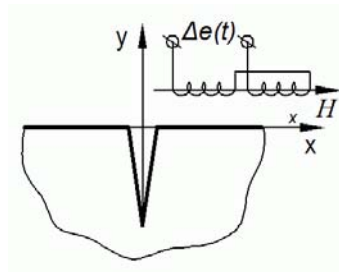
Пассивные индукционные преобразователи используются только для регистрации переменных магнитных полей.



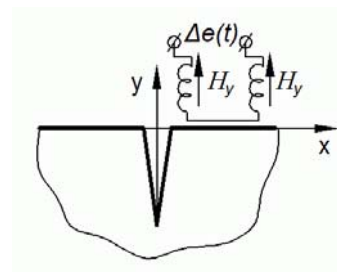
а)



б)



в)



г)

а) и б) — полемеры, регистрируется величина H_{\max} ;

в) и г) — градиентометры, регистрируется величина $\partial H_i / \partial x$, ($i = x, y$)

Для случая а) составляющая поля в направлении оси x

$$H_x = H_{\max} \sin \omega t ,$$

$$E_x(t) = \mu_0 \omega w S H_{\max} \cos \omega t = E_m \cos \omega t ,$$

где w — число витков; S — проекция площади витка на плоскость нормальную к оси x ; ω — частота.

Чувствительность полемера можно определить по формуле:

$$K = \partial E_m / \partial H_m = \mu_0 \omega w S ,$$

следовательно, wS — постоянная преобразователя.

В градиентометрах амплитуда разности ЭДС в катушках составляет величину

$$\Delta E_m = K \{ H_{m1} - H_{m2} \} ,$$

где H_{mi} , ($i = 1, 2$) — напряженность поля в соседних катушках.

Активные сканирующие преобразователи применяют для регистрации величины и градиента магнитных полей.

При сканировании преобразователь перемещается относительно изделия со скоростью v , причем используются варианты *а)* и *б)*, а *в)* и *г)* не применяются. При этом

$$E(t) = \mu_0 w S v (dH_x/dx),$$

чтобы получить сигнал пропорциональный амплитуде необходимо устройство, интегрирующее напряжение $E(t)$.

В качестве такого устройства используют баллистический гальванометр, показания которого пропорциональны количеству электричества, протекающего через его рамку.

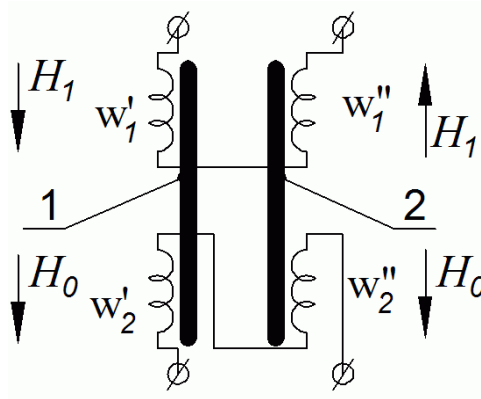
$$\begin{aligned} \alpha &= K_r \int_0^t i(t) dt = (K_r/R_r) \int_0^t E(t') dt' = (K_r/R_r) \mu_0 w S \int_0^t (dH_x/dx) v dt' = \\ &= (K_r/R_r) \mu_0 w S \int_0^x (dH_x/dx) dx = (K_r/R_r) \mu_0 w S H_x(x), \end{aligned}$$

где K_r и R_r — параметры устройства. Таким образом, сканирующий преобразователь является градиентометром, а в сочетании с интегратором — полемером. Порог чувствительности сканирующего преобразователя составляет $0,1 \dots 0,5$ А/см.

Феррозондовый преобразователь

Принцип работы преобразователя основан на том, что при одновременном воздействии на ферромагнитный сердечник постоянного и переменного магнитных полей, направленных по оси сердечника, его переманчивание будет происходить по несимметричной частотной петле гистерезиса. При этом в индукции магнитного поля сердечника изменится соотношение между нечетными гармониками, и появятся четные гармоники. По сути, действие его основано на нелинейности кривых намагничивания сердечников из магнитных материалов.

Преобразователь состоит из двух параллельных пермалоевых сердечников, уложенных в пазы каркасов. Поверх каркасов нанесены первичные обмотки w_1' и w_1'' , включенные последовательно и так, чтобы создаваемые ими магнитные поля H_1 были направлены в разные стороны.



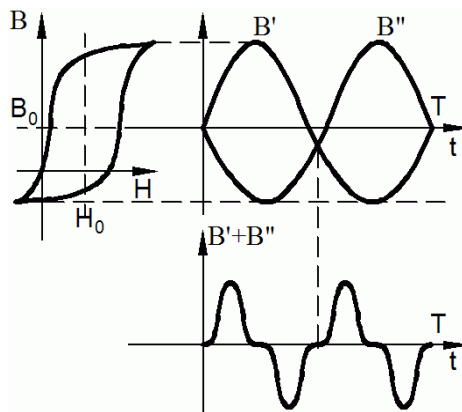
Первичные обмотки подключаются к генератору переменного напряжения. На каркасах имеется общая вторичная цепь w'_2 и w''_2 , к которой подключен индикатор.

При отсутствии постоянного подмагничивающего поля H_0 перемагничивание идет по симметричной петле гистерезиса и на входе вторичной цепи ЭДС равна нулю. Если одновременно с переменным полем к сердечникам прикладывается постоянное поле, перемагничивание будет происходить по несимметричной петле гистерезиса.

Результирующий сигнал во второй обмотки

$$E \sim d(B' + B'')/dt.$$

Результирующий сигнал содержит гармоники, так что, поставив фильтр, выделяющий вторую гармонику, по ее амплитуде можно судить о величине поля H_0 .



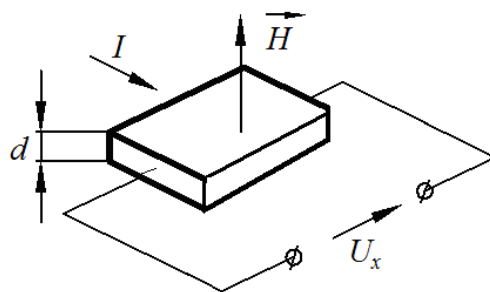
Частоту возбуждающего поля в первичных обмотках, задают в зависимости от скорости изменения измеряемого поля. Она может меняться в диапазоне от 50 Гц до 100 кГц. В дефектоскопах частота поля может меняться в пределах 100...300 кГц, при этом порог чувствительности составляет 10^{-6} А/см.

Феррозонды могут быть использованы и для измерения переменного магнитного поля. Для этого нужно обеспечить частоту возбуждающего поля на порядок выше измеряемого. Феррозонды применяют также и в качестве градиентометров.

Преобразователи Холла

Принцип действия преобразователя основан на эффекте Холла.

Эффект Холла. Если пластину из металла или полупроводника поместить в магнитное поле H и по ней пропустить электрический ток I , то на противоположных гранях пластины появится ЭДС.



Появление ЭДС связано с действием лоренцевой силы на электрический заряд, движущийся в магнитном поле. Величина ЭДС равна

$$U_x = R_x IH/d,$$

где R_x — постоянная Холла, определяемая экспериментально.

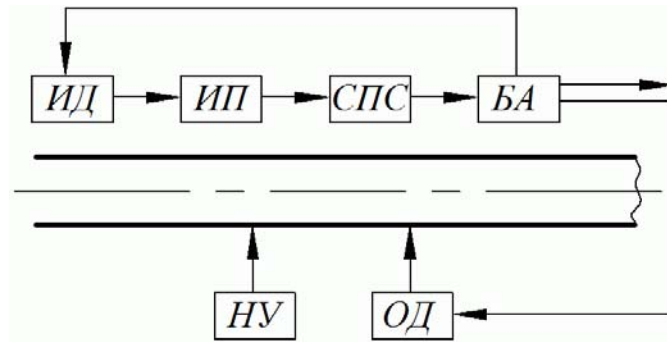
Эффект существует как в металлах, так и полупроводниках, причем в полупроводниках он проявляется сильнее. Поэтому в качестве материалов для преобразователей Холла используют полупроводники — кремний, германий, арсенид галлия.

По чувствительности преобразователи Холла уступают феррозондовым. Их применяют для измерения полей от 0,1 до 10^5 А/см. Однако, их несомненным достоинством является широкополосность — $0 \dots 10^{12}$ Гц.

ИНДУКЦИОННЫЕ И ФЕРРОЗОНДОВЫЕ ДЕФЕКТОСКОПЫ

Индукционные дефектоскопы

Обобщенная схема индукционного дефектоскопа показана на рисунке.



ИП — индукционный преобразователь;

НУ — намагничивающее устройство;

ИД — имитатор дефектов;

СПС — схема преобразования сигналов;

БА — блок автоматики;

ОД — отметчик дефектов.

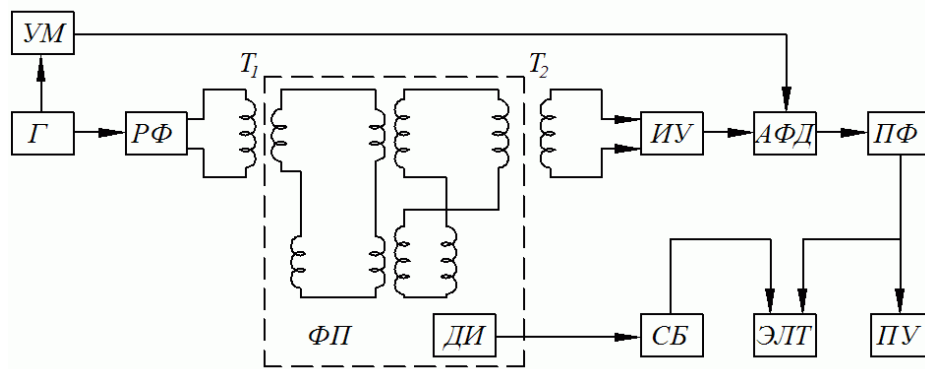
Дефектоскоп работает следующим образом. Электрический сигнал с индукционного преобразователя (*ИП*) поступает на схему преобразования сигнала (*СПС*), где он усиливается, очищается от помех, нормализуется и передается на блок автоматики (*БА*). Блок автоматики при появлении сигнала от дефекта подает команду на дефектоотметчик (*ОД*), который краской оставляет метку на дефектном участке изделия. Исполнительное устройство распределяет годные и дефектные изделия по разным технологическим потокам.

Имитатор дефекта (*ИД*) в межконтрольные паузы, когда в зоне контроля нет изделия, оказывает на индукционный преобразователь заданное воздействие, от которого на выходе исправного *ИП* появляется сигнал, подобный сигналу от дефекта. Этот сигнал анализируется в блоке автоматики и в случае его отклонения от нормы вырабатывает сигнал, указывающий на неисправность дефектоскопа. Таким образом, осуществляется самоконтроль исправной работы прибора.

Первые индукционные дефектоскопы были разработаны в 30-х годах прошлого столетия и предназначались для контроля рельс, уложенных в пути. Отечественные дефектоскопы, выпускаемые промышленностью, позволяют проводить контроль со скоростью $1,5 \div 3,5$ м/с.

Феррозондовые дефектоскопы

Структурная схема типичного феррозондового дефектоскопа представлена на этом рисунке.



Г — генератор;

РФ — режекторный фильтр на вторую гармонику;

ФП — феррозондовый преобразователь;

T_1, T_2 — трансформаторы бесконтактного токосъема;

ИУ — избирательный усилитель на вторую гармонику;

АФД — амплитудно-фазовый детектор;

УМ — умножитель частоты;

ПФ — полосовой фильтр;

ПУ — пороговое устройство;

ДК — датчик наличия изделия;

СБ — схема блокировки;

ЭЛТ — электронно-лучевая трубка.

Напряжение с генератора (G) высокой частоты (100...300 кГц) через режекторный фильтр ($РФ$), настроенный на вторую гармонику генератора, отсекает вторую гармонику генератора, и трансформатор T_1 бесконтактного токосъема подводится к возбуждающей обмотке градиентометрического феррозонда ($ФП$). С сигнальной обмотки феррозонда через трансформатор T_2 и избирательный усилитель ($ИУ$) напряжение второй гармоники поступает на сигнальный вход амплитудно-фазового детектора ($АФД$), управляющий вход которого соединен с выходом умножителя ($УМ$) на два. Напряжение с $АФД$ через полосовой фильтр ($ПФ$) поступает на вход порогового устройства ($ПУ$) и вертикальному входу электронно-лучевой трубки ($ЭЛТ$).

При контроле длинномерных изделий конечной длины датчик наличия изделия выдает сигнал на схему блокировки ($СБ$), которая отпирает пороговое устройство ($ПУ$) только на время нахождения изделия в зоне контроля. Схема блокировки управляет также устройством

отведения из зоны контроля феррозондового преобразователя на время межконтрольных пауз.

С целью повышения помехозащищенности в схему дефектоскопа введен полосовой фильтр, полоса пропускания которого выбирается из расчета пропускания полезного сигнала. Действие этого фильтра эффективно, если частотные спектры полезного сигнала и помехи не перекрываются.