

Изобретение относится к измерительной технике и предназначено для измерения малых квазистатических матричных полей.

Известен датчик детектирования квазипостоянных магнитных сигналов, включающий лазер, линзу, ответвитель, два генератора сигналов, соленоид, пьезокерамику, смеситель, два фотоприемника, схему обработки, синхронный детектор и усилитель [1].

Недостатком такого устройства является недостаточная точность и чувствительность измерений квазистатических магнитных полей.

Наиболее близким является устройство для измерения квазистатических магнитных полей, содержащее соленоид с сердечником из магнитострикционного материала, соединенный с генератором подмагничивания и источником постоянного напряжения, пьезоэлектрический перемещатель, узкополосный и интегрирующий усилители.

Недостатком такого устройства является недостаточная точность измерений и большие габариты [2].

В основу изобретения поставлена задача усовершенствования устройства для измерения квазистатических магнитных полей, в котором новая совокупность признаков обеспечивает повышение точности и стабильности измерений, а также существенное уменьшение габаритов устройства и за счет этого возможность использования устройства в разных условиях.

Поставленная задача решается тем, что устройство для измерения квазистатических магнитных полей, включающее соленоид с сердечником, выполненным в виде стержня из магнитострикционного материала, соединенный с генератором подмагничивания и источником постоянного напряжения, интегрирующий усилитель и узкополосный усилитель, согласно изобретению, содержит туннельный зонд, соединенный с входом интегрирующего усилителя, выход которого соединен с пьезоэлектрическим перемещателем, измеритель тока, соединенный с обмоткой соленоида и источником постоянного напряжения, соединенного с выходом синхронного детектора, входы которого соединены с генератором подмагничивания и выходом узкополосного усилителя, вход которого соединен с туннельным зондом, а магнитострикционный стержень содержит проводящую дорожку, нанесенную на боковую поверхность стержня, электрически соединенную с центральной части стержня со вторым источником постоянного напряжения и электрически соединенную также с проводящей площадкой на торце стержня, обращенном к туннельному зонду, который укреплен на пьезоэлектрическом перемещателе, причем туннельный зонд с пьезоэлектрическим перемещателем и сердечник соленоида помещены в акустический и электростатический экран.

Устройство обеспечивает повышение точности и стабильности измерений, существенное уменьшение габаритов устройства и возможность использования в разных условиях.

На фиг.1 изображена блок-схема устройства для измерения квазистатических магнитных полей; на фиг.2 - зависимость деформации магнитострикционного стержня от приложенного магнитного поля; на фиг.3 - устройство в разрезе с указанием конкретных конструктивных элементов, используемых при его реализации в металле.

Устройство (фиг.1) содержит магнитострикционный стержень 1, соленоид 2, генератор подмагничивания 3, источник постоянного напряжения 4, второй источник постоянного напряжения 5, туннельный зонд 6, пьезоэлектрический перемещатель 7, интегрирующий усилитель 8, узкополосный усилитель 9, синхронный детектор 10, измеритель тока 11, перемещатель для подвода туннельного зонда 12, акустический и электростатический экран 13. На торец магнитострикционного стержня 1 нанесена проводящая площадка 14, с которой соединена проводящая дорожка 15, нанесенная на его боковую поверхность. Туннельный зонд 6 подводится с помощью "грубого" перемещателя 12 к торцу магнитострикционного стержня 1 и удерживается на постоянном среднем расстоянии от него с помощью пьезокерамического "точного" перемещателя 7. Магнитострикционный стержень 1 помещен в катушку соленоида 2, соединенного с генератором 3 подмагничивания и источником 4 постоянного напряжения. На торец магнитострикционного стержня 1 со стороны туннельного зонда 6 нанесена проводящая площадка 14, с которой соединена проводящая дорожка 15, проходящая по боковой поверхности стержня 1. В центральной части стержня 1 проводящая дорожка 15 электрически соединена с источником напряжения 5. Туннельный зонд 6 электрически соединен с интегрирующим 8 и селективным 9 усилителями. Выход интегрирующего усилителя 8 электрически соединен с пьезоэлектрическим перемещателем 7, который связан с туннельным зондом 6. Выход селективного усилителя 9 соединен с синхронным детектором 10, выходы которого соединены с генератором 3 подмагничивания и источником 4 постоянного напряжения. Магнитострикционный стержень 1 вместе с туннельным зондом 6 и пьезоэлектрическим перемещателем 7 помещены в акустический и электростатический экран 13. В цепь, соединяющую источник 4 постоянного напряжения и соленоид 2, включен измеритель тока 11.

Устройство работает следующим образом.

Туннельный зонд 6 и связанный с ним пьезоэлектрический перемещатель 7 приближают с помощью перемещателя для подвода туннельного зонда 12 к торцу магнитострикционного стержня 1, на который нанесена проводящая площадка 14, до возникновения тока туннелирующих электронов. Туннельный ток возникает при сближении острия туннельного зонда 6 и проводящей площадки 14 на расстояние 5...20Å, при этом на площадку 14 через проводящую дорожку 15 на боковой грани магнитострикционного стержня 1 от второго источника постоянного напряжения 5 подается напряжение смещения 10...500мВ. Проводящая площадка 14 на торце магнитострикционного стержня 1 для предотвращения окисления поверхности выполнена из некорродирующего материала: золота, серебра, платины или их функциональных заменителей. Постоянная составляющая туннельного тока усиливается интегрирующим усилителем 8, на второй дифференциальный вход которого поступает эталонный ток  $I_{\text{эт}}$ . Усилитель усиливает разность туннельного тока  $I_T$  и эталонного тока  $I_{\text{эт}}$ . Усиленный и проинтегрированный разностный сигнал поступает на пьезоэлектрический перемещатель 7 так, что случайное увеличение постоянной составляющей туннельного тока приводит к увеличению расстояния проводящая площадка - туннельный зонд, и

соответствующему уменьшению постоянной составляющей туннельного тока, тем самым поддерживается постоянное значение среднего туннельного тока и, следовательно, постоянного значения расстояния туннельный зонд - проводящая площадка, которое связано с туннельным током следующим выражением

$$I_T = AV_{\exp}\left(-\frac{2}{\hbar}\sqrt{2m\Phi} \cdot x\right) \quad (1)$$

где  $I_T$  - ток туннелирующих электронов,

$V$  - напряжение смещения туннельный зонд - проводящая площадка,

$x$  - расстояние туннельный зонд-прово-дящая площадка,

$\Phi$  - средняя работа выхода материала туннельного зонда и проводящей площадки,

$m$  - масса электрона,

$\hbar$  - постоянная Планка,

$A$  - константа.

При изменении расстояния  $X$  на  $1\text{ \AA}$  значение туннельного тока  $I_T$  изменится приблизительно на порядок, в результате чего обеспечивается высокая чувствительность туннельного зонда

$$\frac{\partial I_T}{\partial x} = I_{T0}\left(-\frac{2}{\hbar}\sqrt{2m\Phi}\right) \sim 10^2 \text{ A/m},$$

где  $I_0$  - типичное значение туннельного тока, равное  $5\text{ нА}$ .

Магнитострикционный стержень 1 помещен в тестовое переменное магнитное поле соленоида 2 частоты  $F_1$  равной частоте  $F_p$  механического резонанса продольных колебаний стержня 1

$$F_p = (0,4+0,8)c/2L,$$

где  $c$  - скорость звука в материале стержня,

$L$  - длина стержня.

Для установки рабочей точки на нуль зависимости  $x(H)$  (фиг.2) к обмотке соленоида дополнительно подключен источник 4 постоянного напряжения. При этом, из-за того, что зависимость  $x(H)$  - четная функция в спектре колебаний длины стержня 1, присутствуют составляющие с частотами, кратными двойной частоте  $F_1$   $2F_1$   $4F_1$   $6F_1$ . При изменении внешнего магнитного поля происходит смещение рабочей точки на характеристике фиг.2 и в спектре колебаний стержня, появляются нечетные гармоники  $F_1$ :  $F_1$ ,  $3F_1$ ,  $5F_1$ . Так как изменение длины магнитострикционного стержня одновременно является изменением расстояние туннельный зонд - проводящая площадка, то в спектре переменной составляющей туннельного тока  $I_T$ , связанного с расстоянием  $x$  посредством (1), также появятся нечетные гармоники с частотами  $F_1$ ,  $3F_1$ ,  $5F_1$ . Переменная составляющая туннельного тока на частоте  $F_1$  селективно усиливается узкополосным усилителем 9, а затем детектируется синхронно с колебаниями генератора 3 подмагничивания. Полученный сигнал с синхронного детектора 10 поступает на управляющий вход источника 4 постоянного напряжения, который изменит ток в катушке соленоида 2 так, чтобы рабочая точка характеристики  $x(H)$  фиг.2 была установлена на нуль, и тем самым в спектре колебаний длины стержня 1 и туннельного тока  $I_T$  присутствовали только четные гармоники  $F_1$ . В цепь обмотки соленоида 2 и источника 4 постоянного напряжения включен измеритель 11 тока, который регистрирует все изменения тока соленоида 2. При внесении магнитострикционного стержня в измеряемое магнитное поле  $H$  или при любом его изменении обратная связь обеспечивает возвращение рабочей точки в нуль характеристики  $x(H)$  за счет создания постоянного компенсирующего поля соленоида 2, формируемого благодаря изменению величины протекающего по его обмотке тока, создаваемого управляемым источником 4 постоянного напряжения. Величина этого тока определяется амперметром, включенным в электрическую цепь источника тока и соленоида. Она связана с компенсирующим магнитным полем соотношением

$$\Delta H = 4\pi \cdot \frac{n\Delta I}{R},$$

где  $\Delta H$  - приращение компенсирующего магнитного поля, равное изменению измеряемого,

$\Delta I$  - измеряемое приращение тока в обмотках соленоида,

$n$  - число витков на единицу длины соленоида,

$R$  - радиус соленоида.

Граничная частота цепи обратной связи по постоянной составляющей туннельного тока значительно ниже частоты генератора подмагничивания  $F_1$ , вследствие чего колебания этой частоты попадают на вход узкополосного усилителя 9 без ослабления и не компенсируется изменением длины туннельного промежутка. Механические колебания стержня на частоте  $F_1$  резонансно усиливаются в  $Q$  раз ( $Q$  - механическая добротность стержня для продольных колебаний на частоте  $F_1$ ), это обеспечивает повышение чувствительности измеряемого магнитного поля.

Для предотвращения влияния акустических помех, приводящих к паразитным колебаниям магнитострикционного стержня и электрических наводок, искажающих туннельный ток, стержень вместе с туннельным датчиком и пьезоэлектрическим перемещателем помещен в акустический экран, одновременно выполняющий роль электростатического экрана 13.

Устройство реализовано следующим образом (фиг.3).

Магнитострикционный стержень 1 изготовлен из феррита М 400 НН, имеет длину 160мм и диаметр 8мм. Торцы стержня отполированы. На один из торцов нанесена, например, напылением, проводящая площадка из серебра диаметром около 4мм. По боковой поверхности проходит проводящая дорожка шириной 1мм, изготовленная напылением серебра, соединяющая проводящую площадку на торце стержня с центральной частью стержня. Стержень помещен в соленоид 2, содержащий две обмотки. Одна обмотка намотана медным проводом диаметром 0,8мм в два ряда и служит для создания тестового переменного магнитного поля. Другая обмотка содержит 8000 витков провода диаметром 0,3мм и служит для создания постоянного компенсирующего поля. В качестве генератора подмагничивания 3 используется генератор ГЗ - 112. В качестве источника постоянного напряжения использован источник

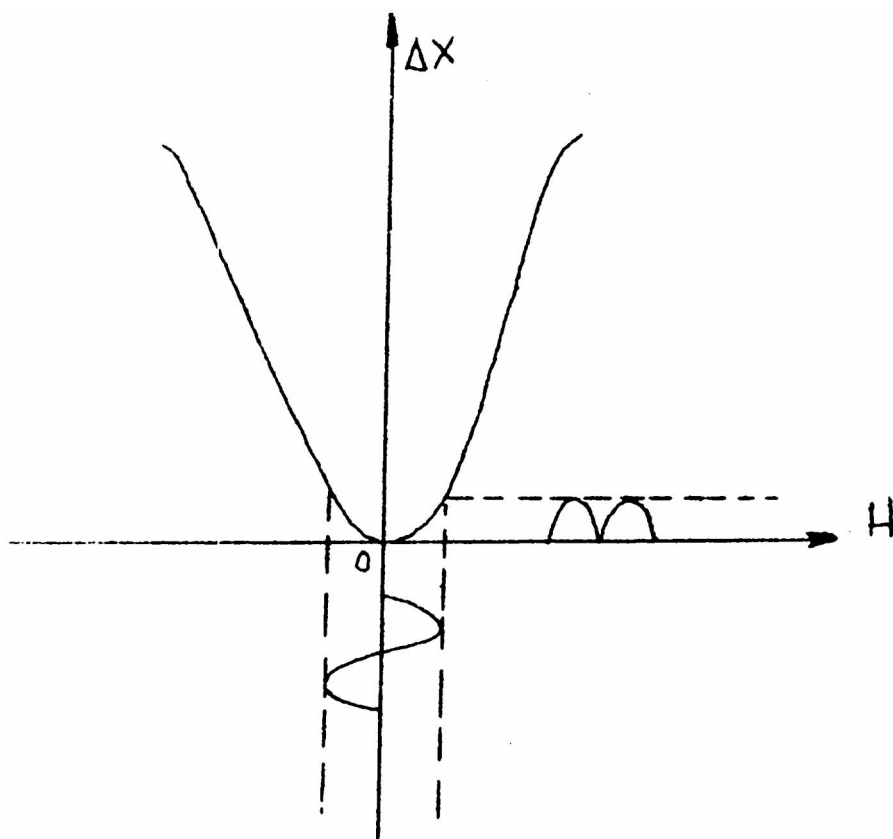
Острые туннельного зонда 6 выполнено из вольфрамовой проволоки, заостренной методом электрохимического травления. Пьезоэлектрический перемещатель 7 представляет собой трубку из пьезокерамики ЦТС-19 диаметром 8мм, длиной 35мм, толщиной стенки 1мм. На внешнюю и внутреннюю стороны трубки нанесены электроды из серебра. Пьезоэлектрический перемещатель 7 закреплен на основании, которое может передвигаться с помощью дифференциального винта, необходимого для начальной установки туннельного зонда 6 вблизи пленки на торце магнитострикционного стержня 1. Дифференциальный винт одновременно является частью акустического и электромагнитного экрана 13. Интегрирующий 8 и селективный 9 усилители собраны на операционных усилителях К 140 УД 6. Фазовый детектор собран на микросхеме 590 КНЗ. Источник опорного напряжения 5 изготовлен на основе операционного усилителя К 140 УД 6 и стабилизатора КС 168А.

Использование устройства обеспечивает измерение магнитного поля с точностью  $10^{-11}$ Тл, ограничение на величину поля связано с параметрами соленоида.

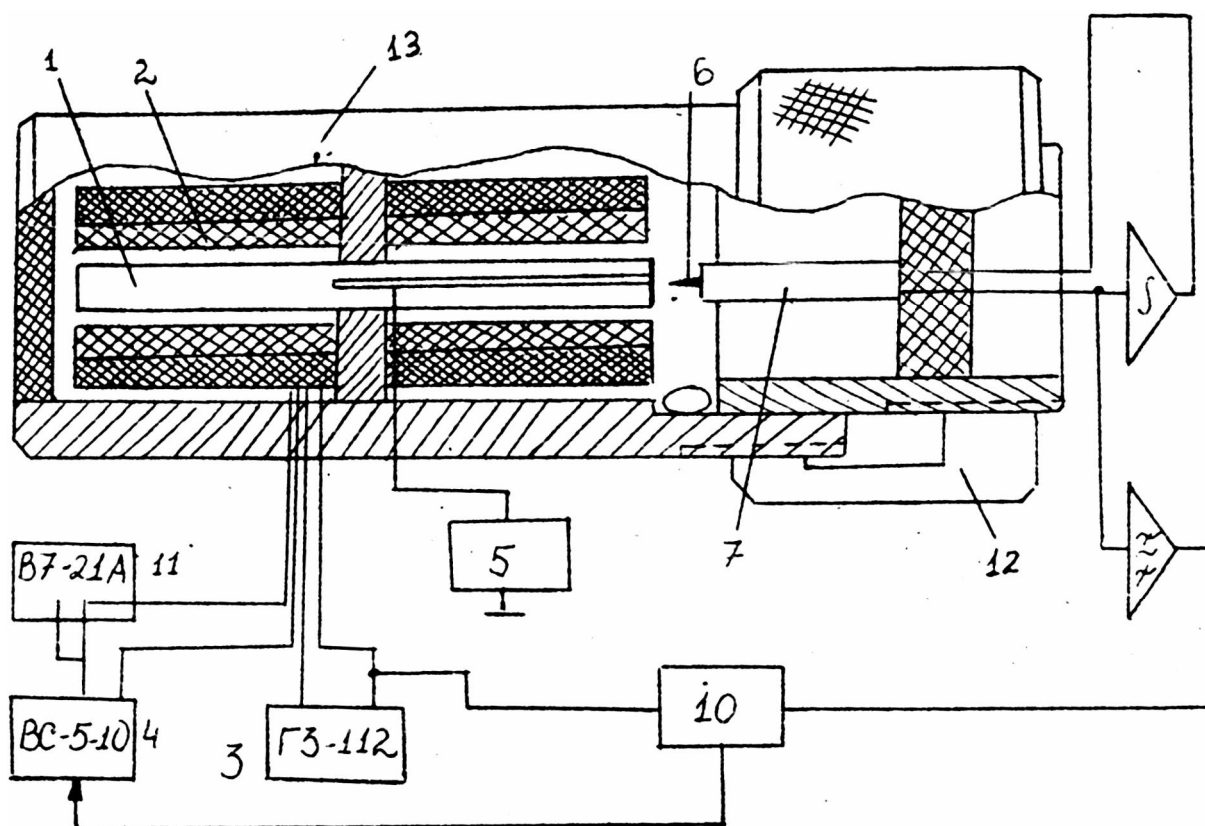
1. Волоконная оптика и приборостроение / Под ред. М.М. Бутусова. - Л.: Машиностроение, 1987. - С.168.



**Фиг. 1**



Фиг. 2



Фиг. 3