

КОНСТРУКЦИЯ ФЕРРОЗОНДА ДЛЯ БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Д. П. Михалевич

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь

Научные руководители: Ю. А. Козусев, Э. М. Виноградов

Современные датчики для бесконтактного измерения тока представляют собой магнитоэлектронные устройства, принцип действия которых основан на измерении магнитной индукции, создаваемой проходящим током и регистрируемый преобразователем магнитного поля (ПМП). Наибольшее распространение для указанных целей получили три типа ПМП: феррозонды и магниторезисторы – для регистрации малых токов (до 0,5 А) и элементы Холла – для измерения больших токов (до 1000 А и более) [1].

Использование современных высокочувствительных ПМП позволяет реализовать их главное преимущество: датчики на их основе способны измерять без разрыва цепи как постоянный, так и переменный ток, гарантируя гальваническую развязку источника сигнала и измерительного прибора. Наиболее перспективные типы датчиков ПМП и их характеристики представлены в таблице [1].

Феррозонд – устройство, чувствительное к внешним постоянным и медленно меняющимся магнитным полям, содержащее ферромагнитные сердечники и обмотки, распределенные по их длине. Происходящие в феррозонде процессы связаны с существованием внешнего измеряемого поля и некоторого вспомогательного поля, образуемого за счет тока в одной из обмоток. Взаимодействие этих полей в объеме сердечников, изготавливаемых из легко насыщающихся магнитных материалов, приводит к появлению в измерительной обмотке ЭДС, по величине которой и судят о напряженности внешнего поля и создающего это поле измеряемого тока.

Феррозонды отличаются друг от друга по режиму работы, по способу наложения вспомогательного поля, а также по конструктивному исполнению [2].

В первом режиме работы по цепи возбуждения феррозонда протекает слабый переменный и достаточно сильный постоянный ток. Переменный ток образует поле H_1 , которое настолько мало, что почти не оказывает влияния на величину дифференциальной проницаемости сердечников μ_d^* . Напротив, постоянный ток создает поле H_2 , которое изменяет величину μ_d^* . Обычно поле H_2 выбирается таким, чтобы рабочие точки сердечников оказались на участках наибольшей крутизны функции $\mu_d^*(H)$ (рис. 1).

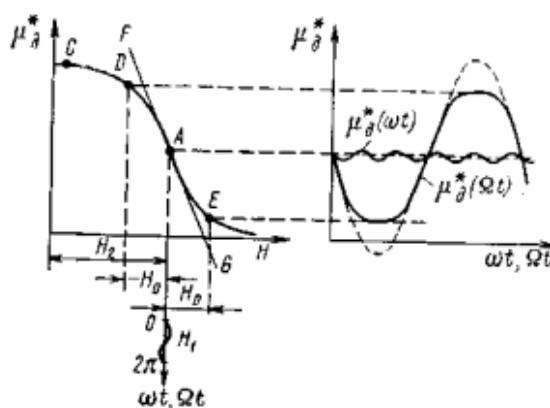


Рис. 1. Зависимости $\mu_d^*(H)$ и $\mu_d^*(\omega t)$ в первом режиме работы феррозонда

На рис. 1 рабочей точкой является точка А. Измеряемое поле H_0 , алгебраически суммируясь с H_2 , перемещает рабочую точку на участке DE и уменьшает дифференциальную проницаемость в одном из сердечников и увеличивает ее в другом. Из-за различия проницаемостей сердечников баланс индукций нарушается, что приводит к появлению во вторичной обмотке феррозонда ЭДС, пропорциональной величине разбаланса, а следовательно, и величине измеряемого поля.

Сравнительные характеристики преобразователей магнитного поля

Тип датчика	Магнитная чувствительность, В/Тл	Удельная магнитная чувствительность, В/Тл · А	Диапазон рабочих частот, Гц	Макс. рассеиваемая мощность при температуре 20 °С, мВт	Диапазон рабочих температур, °С	Комментарий
Полевой элемент Холла	от 0,01 до 1,1	от 50 до 10^4 порог чувствительности менее 0,001 мТл	от 0 до 10^6	20	от -269 до +185	Преобразователь типа «магнитный поток – ЭДС» Высокая удельная магнитная чувствительность и разрешающая способность. Широкий диапазон рабочих температур. Значительная величина остаточного напряжения и его нестабильность
Тонкопленочный магниторезистор	от 3,0 до 500	от $9 \cdot 10^2$ до $1 \cdot 10^4$ порог чувствительности и менее 0,001 мТл	от 0 до 10^7	от 5 до 10	от -45 до +150	Преобразователь типа «магнитный поток – сопротивление». Высокая магнитная чувствительность в слабых магнитных полях. Высокая разрешающая способность. Широкий диапазон рабочих температур. Малый ток потребления

Окончание

Тип датчика	Магнитная чувствительность, В/Тл	Удельная магнитная чувствительность, В/Тл · А	Диапазон рабочих частот, Гц	Макс. рассеиваемая мощность при температуре 20 °С, мВт	Диапазон рабочих температур, °С	Комментарий
Многоколлекторный магнитотранзистор	до 100	от 10^3 до 10^5 порог чувствительности менее 1 мТл	от $3 \cdot 10^3$ до $10 \cdot 10^3$	Н/Д	от -60 до +125	Преобразователь типа «магнитный поток – ток» Высокая магнитная чувствительность. Значительное напряжение разбаланса и его нестабильность
Магнитоиндуктивный преобразователь	от 1 до 10	порог чувствительности от 0,001 до 0,1 мТл	от 0 до 10^6	до 1,0	от -20 до +70	Преобразователь типа «магнитный поток – индуктивность» или «магнитный поток – частота». Очень высокая магнитная чувствительность. Малый ток потребления. Ограниченный диапазон рабочих температур
Феррозонд	~10	порог чувствительности от 0,00005 до 1 мТл	от 0 до 10^4	до 100	от -40 до +85	Преобразователь типа «магнитный поток – индуктивность». Очень высокая удельная магнитная чувствительность. Сравнительно малый ток потребления. Ограниченный диапазон рабочих температур

Во втором режиме по цепи возбуждения феррозонда протекает только переменный ток. Амплитуда этого тока такова, что создаваемое им поле $H_1 = H_m \cdot \sin(\omega t)$ периодически доводит сердечники до состояния магнитного насыщения. Измеряемое поле H_0 настолько мало, что его наличие существенно не меняет общей картины перемагничивания сердечников. Сущность работы феррозонда в этом режиме ясна из рис. 2. Если $H_m > H_s$, где H_s – поле насыщения сердечников, то величина μ_d^* периодически изменяется от максимального (при $H_1 = 0$) до минимального (при $H_1 = H_m$) значений.

Эти изменения происходят с удвоенной частотой, так как $\mu_d^*(H) = \mu_d^*(-H)$, и вызывают появление во вторичной обмотке феррозонда ЭДС $e(H_0)$ удвоенной частоты.

Второй режим имеет ряд преимуществ по сравнению с первым. Основное преимущество – четногармонический спектр сигнала, который позволяет улучшить соотношение сигнал/помеха, так как помеха, обусловленная разбалансировкой феррозонда, характеризуется во втором режиме нечетногармоническим спектром ЭДС. Другим преимуществом данного режима является обеспечение устойчивости нуля феррозондов.

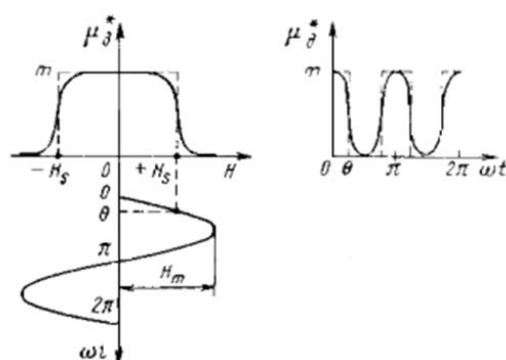


Рис. 2. Зависимости $\mu_d^*(H)$ и $\mu_d^*(\omega t)$ во втором режиме работы феррозонда

Независимо от выбранного режима работы феррозонды могут быть разделены по способу наложения вспомогательного переменного поля на феррозонды с продольным и поперечным возбуждением [2].

Феррозонд с продольным возбуждением (рис. 3, а) чаще всего выполняется в виде двух ферромагнитных сердечников с распределенными по их длине первичными и общей вторичной обмотками.

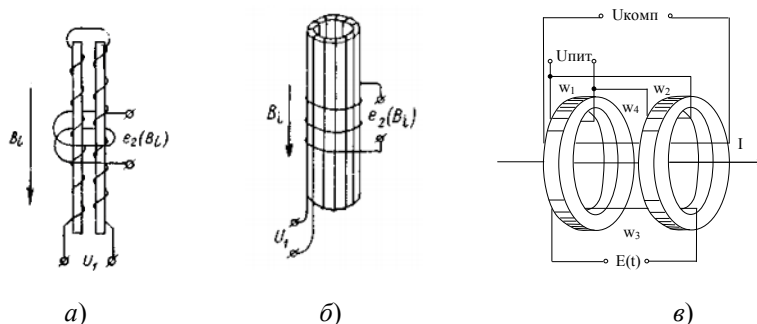


Рис. 3. Феррозонд:

а – с продольным возбуждением; б – с поперечным; в – разработанный

В феррозонде с поперечным возбуждением в качестве сердечника использована пермаллоевая трубка, по которой протекает переменный ток, создающий циркулярное магнитное поле, периодически намагничивающее трубку.

В результате исследования была выбрана схема феррозонда с продольным возбуждением (рис. 3, в) [3]. Феррозонд выполнен на двух кольцевых сердечниках из феррита. Питающее напряжение подключено к первичным обмоткам ($w_1 = w_2$) и создает магнитные потоки. Компенсационная обмотка (w_4) предназначена для компенсации магнитного поля измеряемого тока. Четные гармоники наведенной в измерительной обмотке ЭДС суммируются, формируя сигнал $E(t)$, пропорциональный измеряемому току.

Литература

1. Бараночников, М. Л. Микромагнитоэлектроника / М. Л. Бараночников. – М. : ДМК Пресс, 2001. – 544 с. – Т. 1.
2. Афанасьев, Ю. В. Феррозонды / Ю. В. Афанасьев. – Л. : Энергия, 1969. – 167 с.
3. Разин, Г. И. Бесконтактное измерение электрических токов / Г. И. Разин. – М. : Атомиздат, 1974. – 156 с.