

## МАГНИТНЫЕ ПОЛЯ, ПРИМЕНЯЕМЫЕ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЯХ РАСХОДА

**Смешная А.В., магистрант; Корнев В.Д., доц. к.н.т.**

(ГОУ ВПО ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ,  
г. Донецк, ДНР)

Применению постоянного магнитного поля в электромагнитных измерителях расхода (скорости), предназначенных для работы в потоках жидкостей с ионной проводимостью, препятствуют электрохимические процессы, протекающие на границе раздела двух сред - «металл чувствительных электродов преобразователя – рабочая жидкость», и поляризация электродов преобразователя, обусловленная протеканием электрического тока в цепи электродов. Поэтому в расходомерах (измерителях расхода), предназначенных для работы в потоках жидкости с ионной проводимостью, постоянное магнитное поле не применяют. Постоянное магнитное поле можно применять для измерения расхода расплавленных металлов, имеющих электронную, а не ионную проводимость [1]. Использование переменного магнитного поля в электромагнитных расходомерах для жидкостей с ионной проводимостью, позволяет свести к минимуму влияние электродных процессов на работоспособность преобразователя расхода. Поэтому в таких приборах применяют не постоянное, а переменное магнитное поле: гармоническое, периодически линейно нарастающее и убывающее, импульсное [1, 2, 4].

Однако применение переменного магнитного поля в электромагнитном преобразователе расхода сопровождается появлением специфической индукционной помехи, которая отсутствует при использовании постоянного магнитного поля. Переменное магнитное поле в рабочей области преобразователя создается обмоткой возбуждения (электромагнитом, индуктором), питаемой переменным током. Создаваемый обмоткой переменный магнитный поток  $\Phi$  пронизывает плоскость, в которой лежат чувствительные электроды преобразователя. В результате возникает магнитная связь между магнитным потоком и контуром с эквивалентной площадью  $S$ . Контур образуют внутреннее сопротивление жидкости между электродами преобразователя, входная цепь измерительного канала (усилителя) расходомера и провода, соединяющие электроды преобразователя со входной цепью усилителя. В этом контуре образуется индукционная помеха, которая в литературе получила название «трансформаторная э.д.с.».

*Гармоническое магнитное поле.* Для измерения расхода жидкостей с ионной проводимостью в промышленных установках традиционно применяются электромагнитные расходомеры с гармоническим магнитным полем. Полезный сигнал, индуцируемый в электромагнитном преобразователе измеряемым расходом, оказывается знакопеременным и, как показывает практика, точность его измерения на фоне электродных процессов и помех значительно повышается [1, 4].

В выходном сигнале электромагнитного преобразователя скорости, который формируется в переменном магнитном поле индукцией  $B = B_m \times \sin \omega t$ , вместе с полезным сигналом  $U = K B_m l V \times \sin \omega t$ , соответствующим измеряемой скорости потока  $V$ , содержится и трансформаторная э.д.с.  $E_{TP} = -S \cdot (dB / dt) = S \cdot \omega \cdot B_m \cos \omega t$ . Эта э.д.с. не зависит от измеряемой скорости (расхода), сдвинута по фазе относительно полезного сигнала  $U$  на  $90^\circ$  (квадратурная помеха), пропорциональна частоте  $\omega$  переменного магнитного поля и площади  $S$  витка, пронизываемого магнитным потоком. Выделение полезного сигнала скорости из выходного сигнала преобразователя обычно выполняют путем предварительной компенсации трансформаторной э.д.с. на входе измерительного канала расходомера и дальнейшим окончательным подавлением ее с помощью фазового детектора [2, 4].

Следует отметить, что в преобразователе с переменным магнитным полем наряду с трансформаторной э.д.с. часто оказываются значительными помехи, обусловленные токами утечки с обмотки возбуждения преобразователя. Эти токи имеют емкостную и активную составляющие и вносимые ими помехи, как правило, имеют неопределенную фазу, что затрудняет выделение полезного сигнала скорости на фоне помех. Хорошая изоляция обмотки возбуждения преобразователя и применение дифференциального каскада на входе измерительного канала расходомера позволяют значительно уменьшить уровень помех [2 - 4].

*Линейно нарастающее и убывающее магнитное поле.* Создание в рабочей области электромагнитного преобразователя периодически линейно нарастающего и убывающего магнитного поля низкой частоты ( $\sim 1$  Гц) позволяет сравнительно просто устранить негативные влияния трансформаторной э.д.с., обеспечив высокую точность измерения полезного сигнала. Создание такого поля осуществляется подачей в обмотку возбуждения преобразователя периодического линейно нарастающего и линейно убывающего тока [4].

Индукция магнитного поля  $B(t)$  в рабочей области преобразователя пропорциональна току  $I(t)$  в его обмотке возбуждения. Поскольку полезный сигнал скорости  $U(t)$ , равный разности потенциалов чувствительных электродов преобразователя, пропорционален значению индукции  $B(t)$ , то он тоже будет периодически линейно нарастать и линейно убывать при периодическом линейно изменяющемся магнитном поле. В свою очередь, трансформаторная э.д.с. (индукционная помеха) пропорциональна производной  $dB/dt$ . Поэтому при линейности тока  $I(t)$  на полупериодах его изменения индукционная помеха будет представлять собой напряжение постоянного уровня положительной полярности при одном знаке производной  $dB/dt$  и отрицательной полярности - при противоположном знаке. Равенство уровней напряжения помехи на полупериодах нарастания и убывания индукции  $B(t)$  позволяет избавиться в выходном сигнале преобразователя от трансформаторной э.д.с., например, путем осреднения сигнала на периоде  $T$  изменения тока. Временные диаграммы, поясняющие реализацию описанного выше способа подавления трансформаторной э.д.с. в выходном сигнале электромагнитного преобразователя с линейно нарастающим и убывающим магнитным полем, приведены на рис. 1.

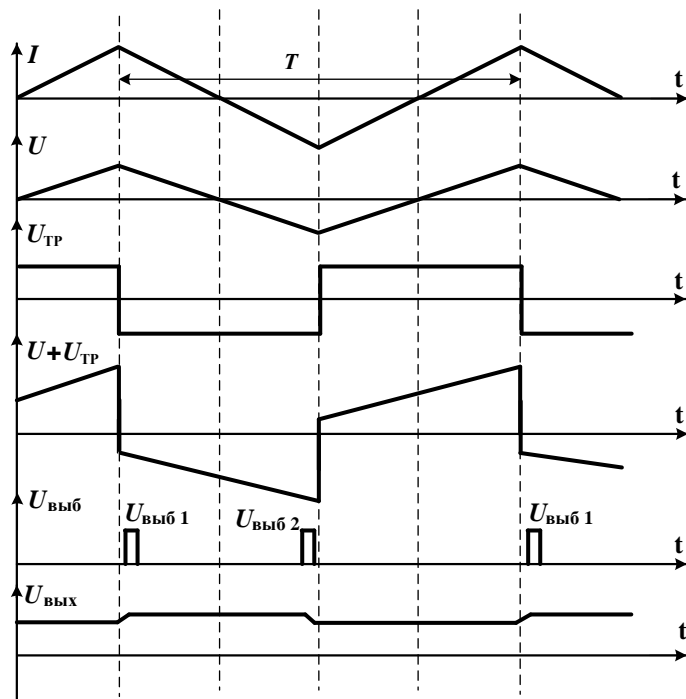


Рисунок 1 – К устранению трансформаторной э.д.с. в преобразователе с магнитным полем, изменяющимся по линейному закону

Дифференциальный выходной сигнал электромагнитного преобразователя расхода (скорости), представляющий собой сумму полезного сигнала скорости  $U(t)$  и трансформаторной э.д.с.  $U_{TP}(t)$ , поступает на входы дифференциального усилителя измерительного канала расходомера. В интервалы времени, когда трансформаторная э.д.с. принимает установившиеся (постоянные) значения, в устройстве управления расходомера формируются импульсы выборки  $U_{ВЫБ}$ , которыми управляются два аналоговых запоминающих устройства УВХ 1 и УВХ 2, подключенные входами к выходу дифференциального усилителя.

При поступлении импульса  $U_{ВЫБ1}$  на управляющий вход УВХ 1 в его память записывается значение выходного напряжения усилителя, равное  $U_1 = U_{C1} + (-U_{TP1})$ , где  $U_{C1}$  - значение сигнала измеряемой скорости в момент поступления импульса  $U_{ВЫБ1}$ ;  $U_{TP1}$  - значение сигнала трансформаторной э.д.с. в момент поступления импульса  $U_{ВЫБ1}$ . Это значение выходного напряжения усилителя хранится в памяти УВХ 1 вплоть до поступления импульса  $U_{ВЫБ2}$  на управляющий вход УВХ 2.

При поступлении импульса  $U_{ВЫБ2}$  на управляющий вход УВХ 2 в его память записывается значение выходного напряжения измерительного усилителя, равное  $U_2 = -U_{C2} + (-U_{TP2})$ , где  $U_{C2}$  - значение сигнала измеряемой скорости в момент поступления импульса  $U_{ВЫБ2}$ ;  $U_{TP2}$  - значение сигнала трансформаторной э.д.с. в момент поступления импульса  $U_{ВЫБ2}$ .

По окончании импульса  $U_{ВЫБ2}$  напряжения  $U_1$  и  $U_2$  поступают на входы разностного усилителя, на выходе которого формируется разность напряжений  $U_1$  и  $U_2$  - выходное напряжение прибора, пропорциональное только значению измеряемой скорости, а напряжение трансформаторной э.д.с. оказывается подавленным.

*Импульсное магнитное поле.* Помехи в электромагнитных измерителях расхода (скорости), обусловленные применением переменного магнитного поля, оказываются тем сильнее, чем выше частота поля. Поэтому, когда не нужно измерять быстро изменяющиеся расходы, целесообразно снижать рабочую частоту (обычно 50 Гц) магнитного поля. При этом, как правило, частоту поля принимают в целое число раз ниже частоты 50 Гц:  $50:8 = 6,25$  Гц;  $50:16 = 3,125$  Гц и даже  $50:32 = 1,5625$  Гц. Как будет показано ниже, это позволяет подавить внешние помехи, по частоте кратные промышленным частотам (50 Гц и 400 Гц). Кроме того, при уменьшении частоты существенно снижается негативное влияние собственных индукционных помех и емкостных токов утечки; уменьшается дрейф полезного сигнала и уровень собственных шумов; снижается потребление электроэнергии; упрощается изготовление преобразователя за счет исключения экранирования электродов и измерительных цепей [2, 3].

Одновременно со снижением частоты рационально переходить на применение в преобразователе расхода (скорости) импульсного магнитного поля, используя, например, для питания индуктора (обмотки возбуждения) источник импульсного тока. Это позволяет упростить как конструкцию измерительного преобразователя, так и схему измерительного канала расходомера [3, 4].

Применяют расходомеры с импульсным магнитным полем, у которых для питания обмотки преобразователя используют импульсы тока разной полярности без паузы, импульсы тока разной полярности с паузой между ними, однополярные импульсы тока. Последний вариант ввиду простоты технических решений является предпочтительным [4]. Он реализуется, например, путем последовательного поочередного отключения и подключения обмотки возбуждения преобразователя к источнику постоянного тока. При этом ток, питающий обмотку, можно представить в виде последовательности импульсов почти прямоугольной формы и создаваемое им магнитное поле можно рассматривать как суперпозицию постоянной и переменной составляющих. Как результат, применение в измерителе импульсного магнитного поля почти прямоугольной формы позволяет

избавиться от недостатков, присущих электромагнитному преобразователю расхода, как с постоянным магнитным полем (электрохимические процессы и э.д.с. поляризации электродов), так и с гармоническим магнитным полем (трансформаторная э.д.с. и помехи, обусловленные токами утечки) [4]. Ниже на рис. 2 представлены диаграммы, поясняющие процесс формирования сигнала скорости (расхода) в реальном электромагнитном измерителе с импульсным магнитным полем.

На рис. 2 показаны зависимости от времени индукции  $B(t)$  магнитного поля в рабочей области преобразователя и выходного сигнала электромагнитного преобразователя  $U(t)$  при питании обмотки возбуждения однополярными импульсами напряжения  $E$ .

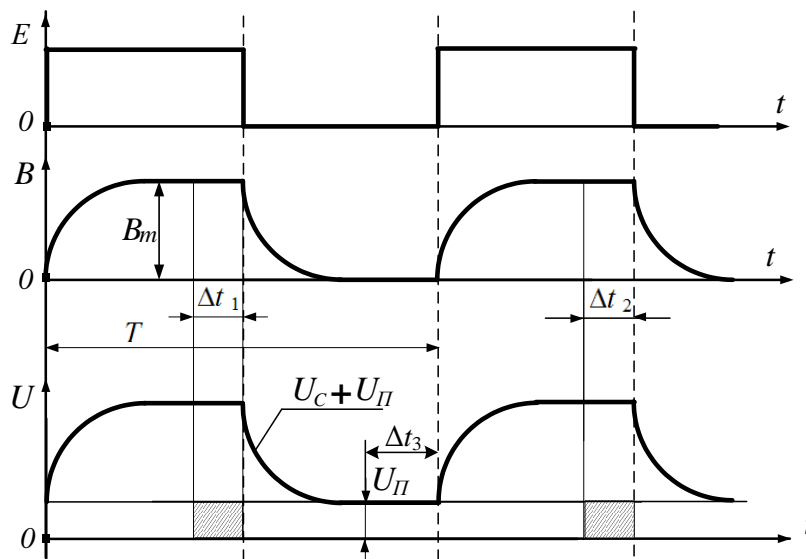


Рисунок 2 – К описанию принципа работы электромагнитного измерителя с импульсным магнитным полем

Вследствие того, что обмотка возбуждения преобразователя имеет некоторую собственную индуктивность, форма тока в ней и, соответственно, индукции  $B$  магнитного поля в рабочей области преобразователя отличаются от прямоугольной. Соотношение между активным и индуктивным сопротивлениями обмотки возбуждения преобразователя выбирается таким, чтобы в каждом полупериоде тока возбуждения индукция магнитного поля  $B(t)$  достигала установившегося значения  $B_m$  (см. рис. 2) и сохраняла его в течение промежутка времени  $\Delta t_1$  (и  $\Delta t_2$ , тоже). В течение промежутка времени  $\Delta t_1$  (и  $\Delta t_2$ , тоже) происходит измерение разности потенциалов чувствительных электродов преобразователя. Причем, измеряемая разность потенциалов на указанном выше промежутке времени  $\Delta t_1$  (и  $\Delta t_2$ , тоже) не искажается трансформаторной э.д.с., которая не индуцируется вследствие неизменности во времени магнитного потока в рабочей области преобразователя [4].

При отключении тока возбуждения индукция магнитного поля убывает и с течением времени становится равной нулю. Поскольку процесс «рассасывания» заряда на границе раздела «электрод - жидкость» является инерционным, то разность потенциалов чувствительных электродов преобразователя спустя промежуток времени, достаточный для окончания процессов, вызванных исчезновением магнитного поля, становится равной постоянному значению э.д.с. поляризации - помехи  $U_{\text{П}}$  на рис. 2. Это значение измеряется на промежутке времени  $\Delta t_3$  и передается в память измерительного устройства. Отметим, что на промежутке времени  $\Delta t_3$  магнитное поле в рабочей области преобразователя неизменно - отсутствует. Поэтому на промежутке времени  $\Delta t_3$  трансформаторная э.д.с. не индуцируется (как и на промежутках времени  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_2$ ) и, соответственно, отсутствует в составе измеряемой разности потенциалов электродов преобразователя.

В начале следующего периода тока возбуждения в обмотку преобразователя вновь подается ток. Спустя некоторое время индукция магнитного поля снова принимает установившееся значения  $B_m$ . Изменяемая на промежутке времени  $\Delta t_2$  разность потенциалов

электродов преобразователя становится равной сумме помехи  $U_{II}$  (э.д.с. поляризации) и информативного сигнала  $U_C$ , пропорционального расходу (скорости) потока. Напряжение, полученное при измерении на промежутке времени  $\Delta t_2$ , также передается в память измерительного устройства. Разность двух значений напряжений, измеренных на промежутках времени  $\Delta t_1$  и  $\Delta t_3$  (или  $\Delta t_2$  и  $\Delta t_3$ ), представляет собой полезный сигнал  $U_C$ , содержащий информацию о расходе (скорости) потока [3, 4].

Если на входе преобразователя действует помеха промышленной частоты  $U_f$ , то она подавляется в измерительном канале прибора и не вносит вклад в его выходной сигнал. С этой целью частоту тока питания обмотки возбуждения преобразователя принимают меньше частоты 50 Гц в целое число раз, а длительности промежутков времени  $\Delta t_1$ ,  $\Delta t_2$  и  $\Delta t_3$  выбирают равными целому числу периодов помехи промышленной частоты (см. рис. 3). При таком выборе среднее значение сигнала помехи на указанных промежутках времени будет равно нулю и помеха будет отсутствовать в выходном сигнале прибора [4].

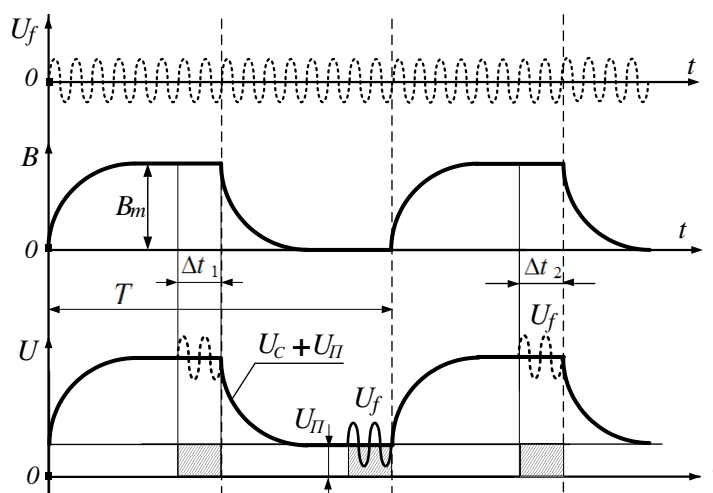


Рисунок 3 – К описанию способа подавлению помехи промышленной частоты

Расходомеры с импульсным магнитным полем обеспечивают, как показывают исследования, более высокую точность измерения, чем расходомеры с иным переменным полем [3, 4].

*Вывод.* Результаты приведенного выше исследования показывают, что:

- постоянное магнитное поле не может применяться в электромагнитных преобразователях расхода (скорости), предназначенных для работы в потоках жидкостей с ионной проводимостью;
- использование гармонического магнитного поля позволяет избавиться от негативных явлений, препятствующих использованию постоянного поля; но при этом усложняется конструкция преобразователя и значительно снижается его чувствительность;
- в электромагнитных преобразователях расхода (скорости) предпочтительно применение импульсного магнитного поля низкой частоты.

#### Перечень ссылок

1. Шерклиф Дж. Теория электромагнитного измерения расхода: Пер. с англ. – М.: Мир, 1965. – 268 с.
2. Зори А.А. Методы, средства, системы измерения и контроля параметров водных сред: монография / А.А. Зори, В.Д. Корнев, М.Г. Хламов – Донецк: РИА ДонГТУ, 2000. – 388 с.
3. Кремлевский П.П. Расходомеры и счетчики количества вещества: Справочник. - Кн. 2 – СПб.: Политехника, 2004. – 412 с.
4. [Электронный ресурс] – Режим доступа:  
<https://elib.gstu.by/bitstream/handle/220612/11221/СИВПЭ%20Теория.pdf?isAllowed=n&sequence=11>.