

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПЕРВИЧНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ (ДАТЧИКИ)

МДК 532.57

Ю. Б. ВОЛЫНСКИЙ

(Томск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕГУЩЕГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДОВ ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИХ ЖИДКОСТЕЙ*

Дается описание электромагнитного устройства для измерения скорости течения электропроводящей жидкости. Рассматриваются вопросы, связанные с устранением влияния индукции на режим течения жидкости в канале.

В последние годы были предложены различные способы бесконтактного измерения расходов электропроводящих жидкостей с использованием бегущего электромагнитного поля.

Один из этих способов основан на явлении затухания индукции бегущего электромагнитного поля в движущемся электропроводящем слое. Устройство для измерения расхода, использующее этот принцип, состоит из двух односторонних индукторов трехфазного тока, создающих бегущие в противоположных направлениях электромагнитные поля и расположенных по одну сторону плоского канала с электропроводящей жидкостью, и измерительных катушек, расположенных по другую сторону канала [1]. Разница э. д. с., наводимых в измерительных катушках, служит мерой расхода.

Наличие двух встречно включенных индукторов обусловлено тем, что при взаимодействии бегущего электромагнитного поля с проводящей жидкостью в канале возникает дополнительный электромагнитный напор, который необходимо компенсировать. Однако при такой компенсации более чем в два раза увеличивается длина тонкостенного канала расходомера, что связано с определенными технологическими и эксплуатационными трудностями. К недостаткам таких расходомеров следует отнести то, что их чувствительность зависит от величины индукции в канале.

При осуществлении другого способа, основанного на использовании явления зависимости сопротивлений, вносимых в первичную цепь создающего бегущее электромагнитное поле индуктора, от скорости течения электропроводящей жидкости, измерения расхода могут быть сведены либо к измерению потребляемого датчиком расходомера тока, либо к измерению потребляемой датчиком энергии [2, 3]. Однако и в этом случае

* Материал доложен на VII Всесоюзной конференции по автоматическому контролю и методам электрических измерений в сентябре 1965 г. в Новосибирске.

имеют место недостатки, присущие расходомерам, основанным на явлении затухания индукции бегущего поля.

Если пренебречь потерями в стали индуктора, то комплексное сопротивление первичной электрической цепи индуктора складывается из сопротивления индуктора при холостом ходе и вносимых в первичную цепь активных и реактивных сопротивлений.

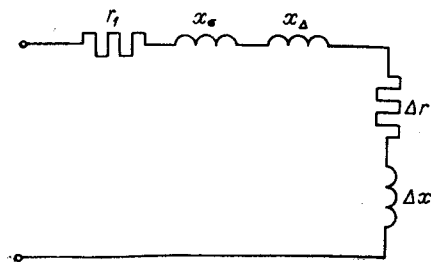


Рис. 1.

$x_σ$ — индуктивное сопротивление, обусловленное потоками рассеяния и высшими гармониками.

Выражения для определения вносимых сопротивлений Δr и Δx имеют следующий вид:

$$\Delta r = \varepsilon k_a x_\Delta; \quad \Delta x = \varepsilon k_p x_\Delta, \quad (1)$$

где ε — электромагнитное скольжение;

k_a — коэффициент ослабления;

k_p — реактивный коэффициент.

Таким образом, комплексное сопротивление первичной цепи индуктора равно

$$Z = r_1 + \varepsilon k_a x_\Delta + j(x_\Delta + x_\sigma + \varepsilon k_p x_\Delta) = ze^{j\varphi}. \quad (2)$$

Вносимые сопротивления Δr и Δx изменяют не только модуль комплексного сопротивления z первичной цепи индуктора, но и его аргумент φ . Используя выражения (2) и $x_1 = x_\Delta + x_\sigma$, имеем

$$\varphi = \arccos \left[\frac{r_1 + \varepsilon k_a x_\Delta}{\sqrt{r_1^2 + x_1^2 + (2r_1 x_\Delta k_a + 2x_1 x_\Delta k_p) \varepsilon + x_\Delta^2 (k_a^2 + k_p^2) \varepsilon^2}} \right]. \quad (3)$$

Полученное соотношение позволяет сделать вывод о возможности измерения расхода путем регистрации фазового сдвига φ между напряжением и током в первичной цепи индуктора. Преимуществом такого устройства следует считать то, что изменения φ не зависят от величины индукции в слое электропроводящей жидкости.

Известно, что бегущее электромагнитное поле увеличивает гидравлическое сопротивление течению электропроводящей жидкости. В реальных условиях желательно, чтобы это сопротивление было минимальным. В каналах, представляющих в поперечном сечении узкую щель, почти всегда имеет место турбулентный режим течения жидкости. Если же при турбулентном режиме выполняется условие

$$\frac{M^2}{\text{Re}} \leq 10^{-3}, \quad (4)$$

то коэффициенты трения при наличии и отсутствии магнитного поля приблизительно равны [6]. Здесь M — число Гартмана, а Re — число Рейнольдса. Подставив в выражение (4)

$$M = \frac{4B_m b}{\sqrt{2}} \sqrt{\frac{\sigma}{\eta}} \quad \text{и} \quad Re = \frac{4V_{cp} b}{\nu},$$

где B_m — максимальное значение индукции бегущего электромагнитного поля;

b — полуввысота канала;

σ — электропроводность жидкости;

η — динамический коэффициент вязкости;

V_{cp} — средняя по сечению скорость жидкости в канале;

ν — кинематический коэффициент вязкости жидкости;

получим выражение для определения индукции бегущего поля, при которой магнитогиродинамическими потерями можно пренебречь:

$$B_m < 2,25 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{\eta V_{cp}}{\nu b}}. \quad (5)$$

Таким образом, необходимо, чтобы при выбранном напряжении питания индуктора величина индукции в канале удовлетворяла (5).

Для экспериментальной проверки возможности измерения расходов электропроводящих жидкостей путем регистрации фазового сдвига φ между током I и напряжением U в обмотке трехфазного индуктора был изготовлен контур (рис. 2), состоящий из замкнутого трубопровода 1, трехфазного индукционного насоса 2, кондукционного магнитного расходомера 3 и исследуемого расходомера 4, основанного на использовании бегущего электромагнитного поля, создаваемого двухсторонним

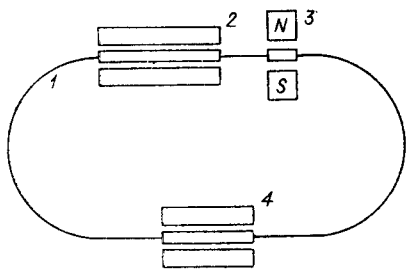


Рис. 2.

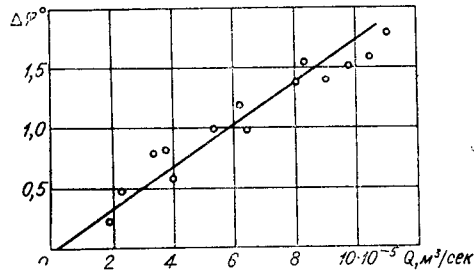


Рис. 3.

плоским линейным индуктором. В качестве электропроводящей жидкости использовалась ртуть. Боковые стенки канала выполнены из меди. В этом случае выражения для k_a и k_p приобретают следующий вид [4]:

$$k_a = \frac{1}{1 + \epsilon^2}; \quad k_p = - \frac{\epsilon}{1 + \epsilon^2}, \quad (6)$$

где

$$\epsilon = \frac{\mu_0 \sigma \omega s \tau^2}{\pi^2};$$

$s = 1 - \frac{V_{cp}}{2\tau f}$ — скольжение; τ — полюсное деление.

Для регистрации зависимости φ от расхода был использован электронный фазометр с прямым отсчетом [7], позволяющий измерять фазовые углы при частоте 50 *гц* с точностью до 0,1°.

При отсутствии расхода фазовый сдвиг φ_0 составляет 32°. Экспериментальная зависимость $\Delta\varphi = \varphi - \varphi_0$ от расхода Q представлена на рис. 3. При $s < 1$ фазовый сдвиг увеличивается с увеличением расхода, причем чувствительность расходомера составляет $1,75 \cdot 10^4$ град на $м^3/сек.$ Экспериментальные данные удовлетворительно совпали с расчетными. Расчетная чувствительность оказалась равной $2,3 \cdot 10^4$ град на $м^3/сек.$ Расхождения между расчетными и экспериментальными данными объясняются как недостатками расчетной методики, так и погрешностями, вносимыми измерительной аппаратурой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. П. Беспалов и др. Дифференциальный электромагнитный измеритель скорости электропроводящих сред.— Изв. АН ЛатвССР, серия физ. и техн. наук, 1965, № 1.
2. Соэдзима Сидзуо. Простой расходомер с индукционным магнитным насосом. Японский патент, кл. 108, Д230, № 9725.
3. Г. П. Катыс. Способ измерения массового расхода проводящих жидкостей. Авторское свидетельство № 121259. Бюллетень изобретений, 1959, № 14.
4. Х. И. Янес. Учет влияния вторичной системы в линейной плоской магнитогидродинамической машине.— Труды Таллинского политехн. ин-та, серия А, № 197. Таллин, Изд-во Таллинского политехн. ин-та, 1962.
5. Н. В. Виноградов, Ф. А. Горяинов, П. С. Сергеев. Проектирование электрических машин. М., Госэнергоиздат, 1956.
6. Я. Я. Лиелпетер. Гидродинамические процессы в канале электромагнитного индукционного насоса.— Вопросы магнитной гидродинамики и динамики плазмы, сб. II. Рига, Изд-во АН ЛатвССР, 1961.
7. P. Neudeman n. On the Precise Measurement of Phase Angles.— Acustica, 1963, v. 13, № 6.

Поступила в редакцию
16 сентября 1965 г.,
окончательный вариант —
11 января 1966 г.