

ТЕХНИЧЕСКАЯ ФИЗИКА

Действительный член Академии педагогических наук РСФСР  
А. Г. КАЛАШНИКОВ

**АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЯ МАГНИТНОГО ПОТОКА С ПОМОЩЬЮ  
ПАРАЛЛЕЛЬНО ВКЛЮЧЕННЫХ ФЛЮКСМЕТРОВ**

Как было установлено автором (1), рамка флюксметра оказывает очень большое реактивное сопротивление в процессе действия на нее внешней эдс. Поэтому, если к контуру, в котором изменяется магнитный поток, подключить параллельно два или несколько флюксметров, то напряжение на клеммах каждого из подключенных флюксметров будет весьма мало отличаться от напряжения, которое существовало бы на клеммах, если бы только один данный флюксметр был включен в цепь контура. Следовательно, индивидуальная чувствительность флюксметров будет весьма мало меняться, если мы их приключим к контуру параллельно. Такой качественный разбор схемы с параллельно включенными флюксметрами подтверждается как теоретическим решением задачи о параллельном соединении флюксметров, так и соответствующими экспериментами.

Рассмотрим схему, изображенную на рис. 1. Здесь к контуру  $O$  с параметрами  $R$  и  $L$ , в котором изменяется магнитный поток  $\Phi$ , присоединены два флюксметра —  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ . Через рамки этих флюксметров, имеющие соответственно сопротивления  $r_1$  и  $r_2$ , протекают токи с мгновенными значениями  $i_1$  и  $i_2$ . Моменты инерции подвижных частей флюксметров будут  $K_1$  и  $K_2$ , а возвращающие моменты подвесов  $C_1$  и  $C_2$ . Составляя для этой схемы уравнения моментов, уравнения эдс и токов (всего пять независимых уравнений), мы можем привести их к двум дифференциальным уравнениям третьего порядка по отношению к угловому отклонению  $\theta$  ((1), стр. 36, 99). Обозначая последовательные производные  $\theta$  по времени  $\omega$ ,  $\omega'$ ,  $\omega''$  и исключая из этих уравнений  $E = d\Phi/dt$ , мы получим одно уравнение, связывающее скорости и ускорения рамок обоих флюксметров:

$$\frac{K_1 R}{\varphi_1} \omega_1' - \varphi_1 \omega_1 = \frac{K_2 R}{\varphi_2} \omega_2' - \varphi_2 \omega_2. \quad (1)$$

Так как это уравнение должно соблюдаться всегда, то оно будет справедливо, если члены с ускорениями и скоростями, относящиеся к разным рамкам, будут тождественно равными друг другу, т. е.:

$$\frac{K_1 R}{\varphi_1} \omega_1' = \frac{K_2 R}{\varphi_2} \omega_2', \quad (2)$$

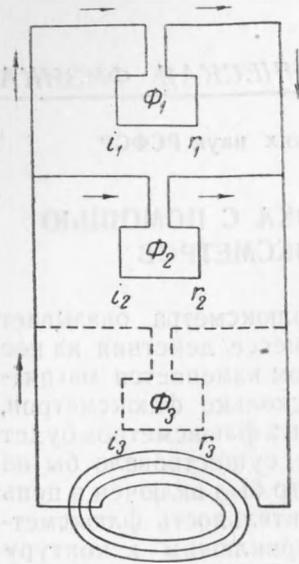
$$\varphi_1 \omega_1 = \varphi_2 \omega_2. \quad (3)$$

Из равенств (2) и (3) мы можем выразить  $\omega_1$  и  $\omega_1'$  через  $\omega_2$  и  $\omega_2'$ . Подставив их значения в основные уравнения, мы получим в резуль-

тате два уравнения, определяющие движение рамок параллельно включенных флюксметров:

$$\omega_1'' + \frac{\rho}{2L} \omega_1' + \frac{\varphi_1^2}{2LK_1} \omega_1 = \frac{\varphi_1}{2LK_1} \frac{d\Phi}{dt},$$

$$\omega_2'' + \frac{\rho}{2L} \omega_2' + \frac{\varphi_2^2}{2LK_2} \omega_2 = \frac{\varphi_2}{2LK_2} \frac{d\Phi}{dt},$$



*J, R, E, L*

Рис. 1

где  $\rho = r_1 + r_2 + R$ .

Мы полагаем при этом, что  $C_1$  и  $C_2$  равны 0, поскольку рассматриваем сравнительно быстрые изменения магнитного потока — порядка нескольких секунд. Решение этих уравнений позволяет найти  $\omega_1$  и  $\omega_2$ . Эти решения отличаются от решений, относящихся к тому случаю, когда только одна рамка включена в цепь конгуров, переходной частью, стоящей в скобках:

$$\omega_1 = \frac{1}{\varphi_{01}} \frac{d\Phi}{dt} \left( 1 - \frac{\alpha + \beta}{2\beta} e^{-(\alpha - \beta)t} + \frac{\alpha - \beta}{2\beta} e^{-(\alpha + \beta)t} \right).$$

Так как  $\alpha$  и  $\beta$  в том и другом случае мало отличаются друг от друга, то и переходной процесс будет почти одинаковым как при параллельном включении  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$ , так и при последовательном включении  $\Phi_1$  и  $\Phi_2$  в отдельности. Установившиеся скорости рамок будут практически одинаковы как при параллельном, так и при последовательном включениях; следовательно, флюксметры будут иметь такие же чувствительности, какие они имеют при одинарном последовательном включении.

Для проверки этого вывода были взяты три флюксметра ( $\Phi_1$ ,  $\Phi_2$ ,  $\Phi_3$ ), отличающиеся своими параметрами.  $\Phi_1$  имел следующие постоянные:  $K_1 = 3$ ,  $\varphi_1 = 1,2 \cdot 10^6$ ,  $r_1 = 22$  ома; параметры  $\Phi_2$  были:  $K_2 = 11$ ,  $\varphi_2 = 2 \cdot 10^6$ ,  $r_2 = 13,8$  ома; соответственно у  $\Phi_3$ :  $K_3 = 1$ ,  $\varphi_3 = 1 \cdot 10^6$ ,  $r_3 = 33$  ома. В табл. 1 показаны результаты исследования их чувствительности при пропускании через их рамки магнитного потока одной и той же величины (11 800 максвелл). Во второй графе таблицы условно обозначена схема включения флюксметра: знак плюс означает параллельное присоединение к данному флюксметру остальных; в последней графе дано число делений, на которое отклоняется рамка данного флюксметра при соответствующем включении; точность измерения  $2^0/0$ .

Таблица 1

Исследуемый флюксметр	Схема включений	Отклонения в делениях шкалы
$\Phi_1$	$\Phi_1$	54
	$\Phi_1 + \Phi_2$	53
	$\Phi_1 + \Phi_3$	54
	$\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_3$	52
$\Phi_2$	$\Phi_2$	34
	$\Phi_2 + \Phi_1$	33
	$\Phi_2 + \Phi_3$	33
	$\Phi_2 + \Phi_1 + \Phi_3$	32
$\Phi_3$	$\Phi_3$	48
	$\Phi_3 + \Phi_1$	48
	$\Phi_3 + \Phi_2$	47
	$\Phi_3 + \Phi_1 + \Phi_2$	46

Данные табл. 1 показывают, что можно включить параллельно ряд флюксометров, сильно различающихся своими параметрами, и при этом чувствительность их, установленная при одинарном последовательном включении, сохраняется почти полностью.

Обнаруженное свойство флюксметра имеет большое значение при частотном анализе изменяющегося магнитного потока, если в нем желают обнаружить частоты различных периодов. Присоединяя к контуру, в котором происходит сложное изменение магнитного потока, флюксометры с различными частотными характеристиками, можно обнаружить некоторые части всего спектра колебаний магнитного потока. Особенное значение такой метод спектрального анализа магнитного потока может иметь тогда, когда наряду с весьма быстрыми колебаниями (порядка нескольких десятков герц) в контуре происходят

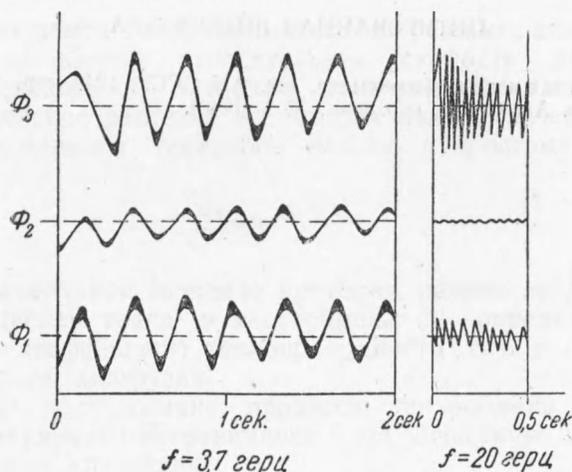


Рис. 2

колебания с периодом в несколько десятков секунд. В этом случае, присоединяя одновременно к контуру один флюксметр с очень малым моментом инерции рамки и с большим сползанием и другой с большим моментом инерции рамки и с весьма малым сползанием, мы можем обнаружить в контуре как очень быстрые, так и медленные колебания магнитного потока.

В поставленных экспериментах\* три параллельно соединенные флюксметра были приключены к контуру (по схеме рис. 1), в котором возбуждались колебания магнитного потока с частотой от 1 до 20 герц. Колебания рамок флюксметра при этом регистрировались фотосамописцем. На рис. 2 приведены две записи таких колебаний, относящиеся к частотам 3,7 герц и 20 герц. Графики колебаний показывают, что при изменении частот в указанных пределах амплитуды колебаний изменяются в зависимости от частотных характеристик флюксометров: в то время как амплитуда рамки флюксметра  $\Phi_3$  почти не изменяется при изменении частоты от 3,7 до 20 герц (среднее отношение амплитуд равно 56:53), амплитуда рамки флюксметра  $\Phi_2$  убывает почти в 10 раз, а амплитуда рамки флюксметра  $\Phi_1$  убывает в 2,5 раза. Подбирая соответствующие параметры флюксометров и устраивая специальные фильтры из последовательно включенных с данным флюксметром индуктивностей, можно заставить каждый из параллельно включенных флюксометров выделять определенные полосы частот колебаний магнитного потока. При этом амплитудные погреш-

\* Эксперименты проводил Ю. А. Ломтев.

ности остаются почти такими же, какими они являются для каждого флюксметра при одинарном его включении в данный контур; эти погрешности могут быть рассчитаны и учтены при окончательном выводе о действительных частотах, амплитудах и фазовых смещениях в реально изменяющемся магнитном потоке.

Такая схема теперь используется в геомагнитных индукционных станциях, разработанных автором (<sup>2</sup>); она позволяет фиксировать как медленные, так и весьма быстрые изменения земного магнитного поля с помощью двух различных флюксметров, присоединенных параллельно к одному и тому же индукционному кольцу.

Геофизический институт  
Академии наук СССР

Поступило  
21 VIII 1951

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

<sup>1</sup> А. Г. Калашников, Флюксметр, изд. АН СССР, 1949, стр. 56.   <sup>2</sup> А. Г. Калашников, Изв. АН СССР, сер. физ., № 2 (1948).