

Э. А. АРТЕМЬЕВ, Е. М. КАРПОВ, Л. Ф. КУЛИКОВСКИЙ

(Куйбышев)

### МАГНИТОИНДУКЦИОННЫЕ ВЕКТОРМЕРНЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ И ИХ ПРИМЕНЕНИЕ

Известные в настоящее время ферродинамические вектормерные измерительные преобразователи [1—2] имеют ряд недостатков, из которых самыми существенными являются зависимость выходной величины от питающего напряжения и необходимость применения в них высококачественных фазосдвигающих устройств. Эти и другие недостатки ограничивают класс точности приборов, в которых такие преобразователи используются.

В данном сообщении описываются магнитоиндукционные вектормерные измерительные преобразователи, свободные от названных недостатков [3]. В этих преобразователях для создания вращающегося магнитного поля используются цилиндрические постоянные магниты, намагниченные по диаметру и приводимые во вращение двигателем синхронно с угловой частотой измеряемого напряжения. Постоянный магнит располагается внутри неподвижного цилиндрического магнитопровода таким образом, что между ними образуется воздушный зазор, в котором находится подвижная часть прибора. Вращающийся постоянный магнит создает в зазоре магнитное поле, вектор индукции которого изменяется по закону

$$B_t = B_m \sin(\omega t + \gamma), \quad (1)$$

где  $B_t$  и  $B_m$  — мгновенное и амплитудное значения индукции вращающегося поля;  $\omega$  — угловая частота вращающегося поля;  $\gamma$  — угол, определяющий значение индукции в любой точке вертикального сечения зазора в фиксированный момент времени. Предполагается, что вдоль вертикального сечения индукция постоянна.

В зависимости от конструкции подвижной части и способа ее подвеса в зазоре различают два вида измерительных вектормерных преобразователей: полярно-координатные и прямоугольно-координатные.

В полярно-координатных преобразователях (рис. 1) подвижная часть представляет собой круглую рамку, подвешенную с помощью карданного подвеса или иным способом и имеющую две степени свободы движения. В прямоугольно-координатных преобразователях (рис. 2) подвижная часть прибора — это две идентичные рамки, размещенные в зазоре одна над другой и подвешенные на осях (растяжках)

так, что могут поворачиваться во взаимно перпендикулярных направлениях. (На рис. 1 и 2 приняты обозначения: 1 — постоянный магнит; 2 — неподвижный магнитопровод; 3 — оси подвеса; 4 — рамка.)

У полярно-координатного магнитоиндукционного преобразователя взаимодействие измеряемого тока, обтекающего витки рамки, с враща-

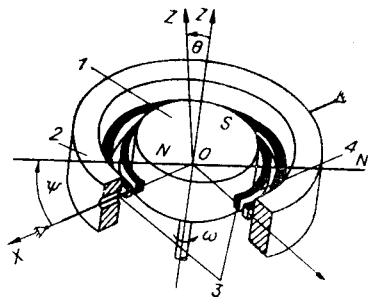


Рис. 1.

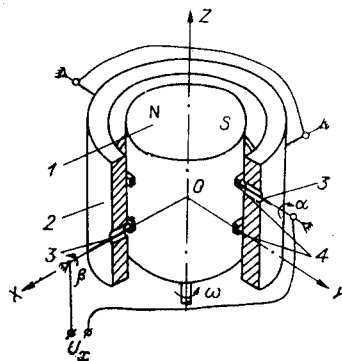


Рис. 2.

ющимся магнитным полем создает вращающий момент, под действием которого ось рамки преобразователя отклоняется от горизонтального положения на некоторый угол  $\theta$  в направлении  $\psi$  (см. рис. 1). Угол  $\theta$  является мерой модуля, а угол  $\psi$  — мерой аргумента измеряемого вектора напряжения  $U_x$  [1]:

$$\dot{\theta} = K \dot{U}_x, \quad (2)$$

где

$$\dot{\theta} = \theta e^{j\psi}; \quad \dot{U}_x = U_{mx} e^{j\varphi_x}.$$

Взаимодействие измеряемого тока, обтекающего последовательно соединительные рамки прямоугольно-координатного магнитоиндукционного преобразователя, с вращающимся магнитным полем вызывает отклонение рамок на углы  $\alpha$  и  $\beta$  (см. рис. 2), соответственно равные:

$$\alpha = K U_{mx} \cos \varphi_x; \quad (3)$$

$$\beta = K U_{mx} \sin \varphi_x. \quad (4)$$

Здесь  $K$  — конструктивная константа прибора;  $U_{mx}$  и  $\varphi_x$  — модуль и аргумент измеряемого напряжения.

Углы  $\gamma$  и  $\psi$  в выражениях (1) и (2) отсчитываются от положительного направления оси  $OX$  системы координат, связанной с преобразователем следующим образом:  $OZ$  совпадает с осью вращения магнита,  $OX$  перпендикулярна  $OZ$  и проведена через ось поворота одной из рамок в прямоугольно-координатном преобразователе (см. рис. 2) и через неподвижную ось карданного подвеса в полярно-координатном преобразователе (см. рис. 1), а  $OY$  перпендикулярна плоскости  $XOZ$ . Выражения (2) — (4) получены для случая, когда фазовые углы рамок и аргумент результирующего противодействующего момента скомпенсированы [1], а  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\theta$  малы.

Таким образом, каждый из магнитоиндукционных измерительных преобразователей может быть использован в приборах непосредствен-

ной оценки (вектормерах) для измерения как самого вектора электрического тока, так и его составляющих. Отклонения рамок в каждом из описываемых устройств преобразуются в перемещения световых лучей по соответствующим шкалам.

Если рамки магнитоиндукционных измерительных преобразователей отклонить принудительно от положения начального равновесия на угол  $\theta$  в направлении  $\psi$  для полярно-координатного преобразователя и соответственно на углы  $\alpha$  и  $\beta$  для прямоугольно-координатного, то вращающееся магнитное поле будет создавать в рамках э. д. с., описываемые выражениями [4]:

для полярно-координатного преобразователя

$$e_0 = K\omega\theta \sin(\omega t + \psi); \quad (5)$$

для прямоугольно-координатного преобразователя

$$e_1 = K\omega\alpha \cos \omega t$$

и

$$e_2 = K\omega\beta \sin \omega t.$$

Выражения (5)—(7) получены при соблюдении тех же условий, что и для (2)—(4).

Так как коэффициент  $K = \text{const}$  и определяется в основном свойствами постоянного магнита и параметрами измерительного преобразователя, то амплитуды и фазы э. д. с., наводимых в рамках, зависят лишь от направления и величины отклонения рамок от начального положения и не зависят от других факторов. Следовательно, вектормерные магнитоиндукционные измерительные преобразователи могут быть применены также в качестве источников компенсирующего напряжения полярно- или прямоугольно-координатных компенсаторов переменного тока.

На базе описанных магнитоиндукционных измерительных преобразователей можно создавать высокоточные вектормеры и компенсаторы переменного тока. Класс точности таких приборов может быть порядка 0,5—1,0, в то время как существующие вектормеры имеют класс точности не выше 2,5.

Перспективным представляется использование вектормерных магнитоиндукционных преобразователей в качестве нуль-индикаторов в компенсационных и мостовых цепях переменного тока.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Ф. Куликовский, П. П. Кемешис. Вектормер с двумя степенями свободы.— Измерительная техника, 1959, № 10.
2. В. М. Белоусов, А. П. Слюняев, К. Л. Куликовский. Двухфазный вектормер.— Автоматические измерительные и регулирующие устройства. Научные труды вузов Поволжья, вып. 1. Куйбышев, 1963.
3. Л. Ф. Куликовский, Ю. М. Барковский, Е. М. Карпов, Э. А. Артемьев. Вектормерное устройство. Авторское свидетельство № 183283.— ИПОТЗ, 1966, № 13.
4. Е. М. Карпов, Ю. М. Барковский. Некоторые вопросы теории синхронно-следящей системы с двумя степенями свободы.— ИВУЗ, Приборостроение, 1965, т. VIII, № 3.

*Поступила в редакцию  
4 июля 1966 г.,  
окончательный вариант —  
20 сентября 1966 г.*