

будут величинами второго порядка малости. Поэтому погрешности из-за влияния шунтирующих паразитных емкостей могут быть определены по упрощенной формуле равновесия, общей для всех рассматриваемых цепей:

$$Z_1 \cong \frac{Z_2}{\rho_{н.д} \rho_{т.к}} (1 - \gamma_{\rho_{н.д}} - \gamma_{\rho_{т.к}}),$$

где $\rho_{н.д}$ — коэффициент трансформации индуктивного делителя напряжения;

$\rho_{т.к}$ — коэффициент трансформации компаратора токов;

$\gamma_{\rho_{н.д}}$ и $\gamma_{\rho_{т.к}}$ — соответственно погрешности, вносимые шунтированием паразитными емкостями активных сопротивлений обмоток, определяемых коэффициентами трансформации соответствующих цепей, согласно равенствам (7), (8), (8а).

Приведенные в работе условия равновесия для ряда наиболее распространенных двойных трансформаторных измерительных мостов могут быть использованы при расчете погрешностей, обусловленных влиянием активных сопротивлений и собственных емкостей обмоток.

ЛИТЕРАТУРА

1. К. М. Соболевский, Ю. А. Шакола. Защита мостов переменного тока Киев. Изд-во АН УССР, 1957.
2. А. Л. Грохольский. К вопросу о погрешности моста с индуктивно связанными плечами при шунтировании их сопротивлениями.— Электрические методы автоматического контроля (Труды ИАЭ СО АН СССР), вып. 5. Новосибирск, Изд-во СО АН СССР, 1962.
3. H. P. Leslie. Choosing Transformer Ratio-Arm Bridges.— The Proc. IEE, 1961, pt. B, v. 108, № 41.
4. A. M. Thompson. The Precise Measurement of Small Capacitance.— IRE Transactions on Instrumentation, 1958, v. 1—7, № 3.
5. H. A. Clark, P. B. Vanderlin. Double-Ratio Bridges with Inductively-Coupled Ratio-Arms.— Proc. IEE, 1949, pt III, v. 96.
6. C. W. Oatley, J. G. Yates. Bridges with Coupled Inductive Ratio-Arms as Precision Instruments for Laboratory Standards of Resistance or Capacitance.— The Proc. of IEE, 1954, pt III, v. 101, № 70.
7. A. C. Lynch. A Bridge Networks for the Precise Measurement of Direct Capacitance.— The Proc. of IEE, 1957, pt B, v. 104, № 16.
8. M. C. McGregor, J. F. Hersch и др. Новый прибор для измерения емкостей.— Экспресс-информация, серия «Контрольно-измерительная техника», 1960, № 3.
9. K. Fletcher. Мостовые трансформаторные схемы для измерения параметров электрических цепей.— Экспресс-информация, серия «Контрольно-измерительная техника», 1962, № 22.
10. K. Buttler. Мосты переменного тока с индуктивно связанными плечами.— Electronic Technology, 1960, v. 37, № 8.
11. Е. А. Будницкая, В. П. Карпенко. Некоторые вопросы точности четырехплечих мостовых схем.— Автоматический контроль и методы электрических измерений (Труды IV конференции, 1962 г.), т. 1. Новосибирск, РИО СО АН СССР, 1964.

Поступило в редакцию
12 ноября 1964 г.,
окончательный вариант —
15 ноября 1965 г.

УДК 62—503.53

Е. М. КАРПОВ, Л. Ф. КУЛИКОВСКИЙ
(Куйбышев)

О ТОЧНОСТИ ОТСЧЕТА ПРОСТРАНСТВЕННОГО УГЛА ПРИЕМНЫМ УСТРОЙСТВОМ СИНХРОННО-СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ С ДВУМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

Во многих случаях измерительной практики требуется измерить и передать на расстояние пространственный угол. Очень важно, например, измерять углы наклона нефтяных и газовых скважин в процессе бурения и результаты измерений передавать на поверхность, чтобы корректировать направление скважин.

Рассматриваемая синхронно-следящая система с двумя степенями свободы, предназначенная для передачи на расстояние пространственных углов [1—3], конструктивно представляет собой датчик и приемник (рис. 1), каждый из которых состоит из статора 1, центрального магнитопровода 4 и рамки 2, расположенной в сферическом зазоре между статором и центральным магнитопроводом. Рамка подвешивается на центральном магнитопроводе с помощью карданова подвеса (рис. 2) и имеет, таким образом, две степени свободы, т. е. вращается вокруг осей 5 и 6 карданова подвеса.

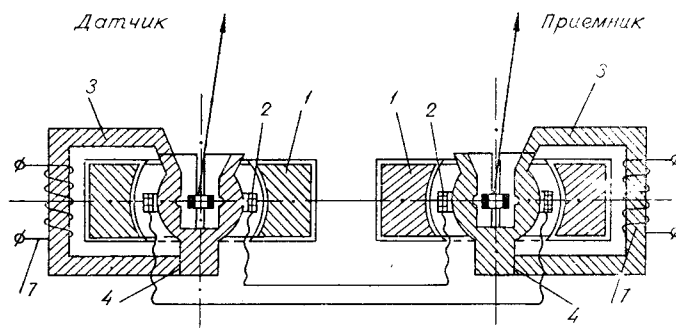


Рис. 1.

Специальные обмотки статоров датчика и приемника 1 питаются от общего источника питания так, чтобы в зазоре образовывались идентичные синхронные и синфазные вращающиеся магнитные поля. Центральные магнитопроводы 4 совместно с магнитопроводами 3 образуют замкнутые магнитные цепи, на которых могут быть размещены дополнительные обмотки связи 7, представляющие собой вторичные обмотки трансформаторов; первичными обмотками являются обмотки рамок.

По способу соединения датчика и приемника система может быть выполнена в контактном и бесконтактном вариантах. При контактном соединении подвижные рамки датчика и приемника 2 через специальные токоподводы соединяются в последовательный контур. При бесконтактном соединении рамки датчика и приемника делаются короткозамкнутыми, а подвижные обмотки связи 7, соединенные между собой последовательно, образуют вторичный контур. Во втором случае отпадает необходимость в

специальных токоподводах, которые трудно выполнять при двух степенях свободы рамок.

Принцип действия синхронно-следящей системы с двумя степенями свободы заключается в следующем. В положении первоначального равновесия, т. е. когда ось рамки датчика совпадает с осью центрального магнитопровода, вращающееся магнитное поле э. д. с. в ней не наводит, по цепи рамок ток не протекает, и рамка приемника тоже занимает положение первоначального равновесия, соответствующее нулевому пространственному углу.

При повороте рамки датчика 2 вокруг осей карданова подвеса 5 и 6 на некоторые углы α_d и β_d вращающееся поле наводит в ней э. д. с., амплитуда которой пропорциональна углу отклонения рамки от положения первоначального равновесия θ_d , а фаза равна углу направления отклонения рамки ψ_d . Так как рамки датчика и приемника соединены в последовательный контур, то вследствие действия э. д. с. по виткам рамки приемника потечет ток, который будет взаимодействовать с вращающимся полем, создавая вращающий момент.

Рамка приемника начнет отклоняться, и вращающееся поле наведет в ней собственную э. д. с., под действием которой по виткам рамки потечет ток, создающий противодействующий момент. При равенстве вращающего и противодействующего моментов рамка приемника прекратит движение и займет такое же пространственное положение, что и рамка датчика.

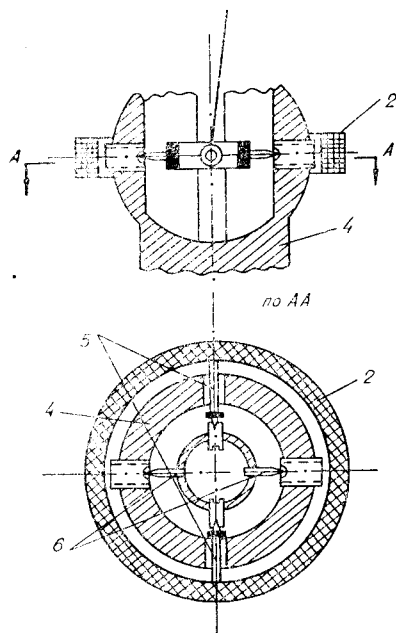


Рис. 2.

При бесконтактном соединении датчика и приемника система работает так же, с той лишь разницей, что электродвижущие силы, наведенные вращающимися полями в короткозамкнутых рамках, в свою очередь, наводят соответствующие напряжения в катушках связи, и последние обтекают соответствующие токи. Рамка приемника занимает то же пространственное положение, что и рамка датчика, когда суммарный ток во вторичном контуре катушек связи станет равным нулю.

В статическом режиме, т. е. когда рамка датчика неподвижна, пространственное положение рамки приемника в зависимости от пространственного положения рамки датчика определяется из выражения

$$\dot{W}_\vartheta \dot{\theta}_n + \dot{M}_{ст} = \dot{D} \dot{\theta}_d, \quad (1)$$

где

$$\dot{W}_\vartheta = \omega \frac{\pi^2 r_{p.n}^4 W_{p.n}^2 B_{m.n}^2}{2Z_\Sigma} e^{-j\varphi_\Sigma};$$

$$\dot{\theta} = \theta e^{j\psi} = \alpha + j\beta;$$

$\dot{M}_{ст} = M_{ст} (1 + j)$ ($M_{ст}$ — момент статического трения в опорах);

$$\dot{D} = \omega \frac{\pi^2 r_{p.n}^2 r_{p.d}^2 W_{p.n} W_{p.d} B_{m.n} B_{m.d}}{2Z_\Sigma} e^{-j(\varphi_\Sigma + \frac{\pi}{2})};$$

$$\begin{aligned} Z_\Sigma &= \sqrt{\omega^2 (L_{p.d} + L_{p.n} + L_{л.св})^2 + (R_{p.d} + R_{p.n} + R_{л.св})^2} = \\ &= \sqrt{\omega^2 L_\Sigma^2 + R_\Sigma^2}; \quad \varphi_\Sigma = \text{arctg} \frac{\omega L_\Sigma}{R_\Sigma}. \end{aligned}$$

Приравнивая в (1) отдельно мнимые и действительные части и решая полученную систему уравнений относительно α_n и β_n , найдем:

$$\alpha_n = \frac{r_{p.d}^2 W_{p.d} B_{m.d}}{r_{p.n}^2 W_{p.n} B_{m.n}} \alpha_d - \frac{M_{ст}}{\omega \frac{\pi^2 r_{p.n}^4 W_{p.n}^2 B_{m.n}^2}{2Z_\Sigma}} \frac{1}{\sin \varphi_\Sigma - \cos \varphi_\Sigma}; \quad (2)$$

$$\beta_n = \frac{r_{p.d}^2 W_{p.d} B_{m.d}}{r_{p.n}^2 W_{p.n} B_{m.n}} \beta_d - \frac{M_{ст}}{\omega \frac{\pi^2 r_{p.n}^4 W_{p.n}^2 B_{m.n}^2}{2Z_\Sigma}} \frac{1}{\sin \varphi_\Sigma - \cos \varphi_\Sigma}. \quad (3)$$

$\omega \frac{\pi^2 r_{p.n}^4 W_{p.n}^2 B_{m.n}^2}{2Z_\Sigma} = P_\vartheta$ — не что иное, как электрический вращающий момент.

Следовательно, если величина электрического вращающего момента значительно больше противодействующего момента, созданного силами статического трения, то вторыми членами в (2) и (3) можно пренебречь.

В этом случае

$$\begin{aligned} \alpha_n &= \frac{r_{p.d}^2}{r_{p.n}^2} \frac{W_{p.d}}{W_{p.n}} \frac{B_{m.d}}{B_{m.n}} \alpha_d; \\ \beta_n &= \frac{r_{p.d}^2}{r_{p.n}^2} \frac{W_{p.d}}{W_{p.n}} \frac{B_{m.d}}{B_{m.n}} \beta_d. \end{aligned}$$

Обозначая чувствительность по каждой из осей

$$S_\alpha = \frac{d\alpha_n}{d\alpha_d} \quad \text{и} \quad S_\beta = \frac{d\beta_n}{d\beta_d},$$

обнаруживаем, что $S_\alpha = S_\beta$, т. е. чувствительности по каждой из осей карданова подвеса равны между собой и зависят от отношения квадратов радиусов рамок датчика и приемника, числа витков в их обмотках, а также от отношения максимальных значений индукции вращающихся магнитных полей в зазорах.

Таким образом, изменяя все эти отношения или любое из них, можно добиться изменения (в частности, увеличения) масштаба шкалы приемного устройства, что очень важно при передаче на расстояние малых углов, когда требуется обеспечить высокую чувствительность и разрешающую способность.

Описанная синхронно-следающая система с двумя степенями свободы может быть применена для определения углов наклона нефтяных и газовых скважин, а также во многих других случаях, когда необходимо определять пространственное положение тела или управлять им. Датчик и приемник (в отдельности каждый) могут служить датчиками пространственного угла, т. е. преобразователями последнего в электрический сигнал. В качестве приемника в описанной системе может быть применено любое векторное устройство.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Ф. Куликовский. Устройство для синхронной передачи углов поворота. Авторское свидетельство № 104141. Бюллетень изобретений, 1965, № 9.
2. Л. Ф. Куликовский. Индуктивные измерители перемещений. М., Госэнергоиздат, 1961.
3. Е. М. Карпов, Ю. М. Барковский. Синхронно-следающая система. Авторское свидетельство № 171038. Бюллетень изобретений, 1965, № 10.

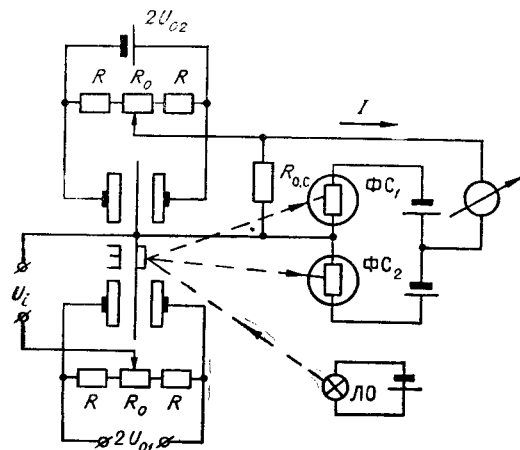
Поступило в редакцию
21 января 1965 г.

УДК 621.317.727.2

Б. К. ГРИГОРОВСКИЙ, К. Л. КУЛИКОВСКИЙ
(Куйбышев)

ИЗМЕРЕНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ КОМПЛЕКСНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ФОТОЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИМ КОМПАРАТОРОМ

Рассматривается метод измерения составляющих комплексного напряжения, основанный на использовании фотокомпенсационной схемы, чувствительный элемент которой (электрометр) включен по схеме компаратора.



Измерение составляющих комплексного напряжения может быть осуществлено фотоэлектрометрическим компаратором, принципиальная схема которого приведена на рисунке [1]. Чувствительным элементом схемы является электрометр Э. Если подвижная часть электрометра находится в нулевом положении, то световой поток осветительной лампочки ЛО одинаково освещает фотосопротивления ΦC_1 и ΦC_2 . С подачей на вход прибора измеряемого напряжения U_i подвижная часть электрометра под действием пндеродвигательных сил начнет поворачиваться, распределение света между фотосопротивлениями нарушится и через сопротивление $R_{0.c}$ будет протекать ток I . Отклонение подвижной части электрометра прекратится, если

$$M_1 = M_2,$$