

АНАЛОГОВЫЕ ЭЛЕКТРОИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ, КОНТРОЛЬНЫЕ И ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И УСТРОЙСТВА

УДК 621.317.321

Ф. Ф. БУКАНОВ, М. А. ЕВДОКИМОВ,
Е. М. КАРПОВ, Л. Ф. КУЛИКОВСКИЙ

(Куйбышев)

О НЕЗАВИСИМОСТИ ПОКАЗАНИЙ ДВУХСТЕПЕННОГО ВЕКТОРМЕРА ОТ ХАРАКТЕРА ВНУТРЕННЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА ИЗМЕРЯЕМОГО СИГНАЛА

В [1—3] описаны измерительные преобразователи, предназначенные для измерения векторов электрического напряжения. Если такой преобразователь подключается непосредственно к источнику измеряемого сигнала (рис. 1), пространственный угол ориентации рамки в установившемся режиме, как функция измеряемой комплексной амплитуды напряжения, описывается формулой

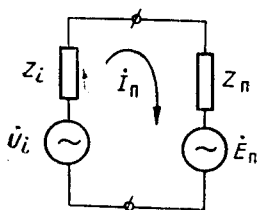


Рис. 1.

$$\Theta = \dot{S}_u \dot{U}_i,$$

где $\Theta = \alpha_1 + j\alpha_2$ — угол пространственной ориентации рамки; α_1 и α_2 — углы поворота рамки вокруг двух взаимно перпендикулярных осей; $\dot{S}_u = \frac{\Psi e^{-j\varphi}}{z W_M + \omega \Psi^2 e^{j(\varphi - 90^\circ)}}$ — комплексный коэффициент

передачи; Ψ — потокосцепление рамки вектормера; $\varphi = \arctg \frac{X_i + X_n}{R_i + R_n}$ — аргумент полного сопротивления измерительной цепи;

R_i и X_i — внутренние активное и реактивное сопротивления источника сигнала; R_n и X_n — активное и реактивное сопротивления рамки вектормера; $z = \sqrt{R_i + R_n)^2 + (X_i + X_n)^2}$ — модуль полного сопротивления измерительной цепи; источник сигнала — вектормер; W_M — удельный механический противодействующий момент; \dot{U}_i — комплексная амплитуда измеряемого напряжения.

Таким образом, при непосредственном подключении вектормера к источнику измеряемого сигнала коэффициент передачи измерительной цепи \dot{S}_u является величиной комплексной и зависящей от характера внутреннего сопротивления источника измеряемого сигнала. Естественно, что при изменении внутреннего сопротивления источника сигнала показания вектормера также изменятся и не могут служить достоверной мерой вектора измеряемого напряжения. Для того чтобы угол простран-

ственной ориентации рамки вектормера однозначно соответствовал комплексной амплитуде напряжения, необходимо исключить зависимость показаний вектормера от внутреннего сопротивления источника измеряемого сигнала. Добиться этого, изменяя конструкцию и параметры вектормера, невозможно. В связи с этим возникает вопрос, нельзя ли для этой цели воспользоваться некоторым разделительным преобразователем.

Рассмотрим схему, изображенную на рис. 2, где Z_i — комплексное сопротивление источника измеряемого сигнала; I — первый усилитель разделительного преобразователя с коэффициентом усиления k_{y1} ; II — второй усилитель с коэффициентом усиления k_{y2} ; Z_n — комплексное сопротивление рамки вектормера; \dot{E}_n — э. д. с., наводимая в рамке вращающимся полем прибора при отклонении ее от нулевого положения.

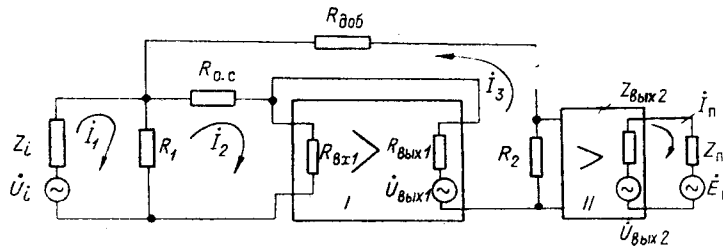


Рис. 2.

Для независимости показаний вектормера от Z_i необходимо, чтобы ток \dot{I}_n , протекающий через измерительную рамку вектормера, не зависел от этого сопротивления.

Составляя уравнения по методу контурных токов, учитывая, что

$$\dot{U}_{\text{вых1}} = k_{y1} R_{\text{вх1}} \dot{I}_2,$$

и обозначив $R_1 + R_{0.c} + R_{\text{вх1}} = R_{\Sigma 1}$; $R_{\text{вых1}} + R_2 + R_{\text{доб}} + R_{0.c} = R_{\Sigma 2}$, получим следующую систему уравнений:

$$\begin{cases} \dot{I}_1 (Z_i + R_1) - \dot{I}_2 R_1 = \dot{U}_i; \\ -\dot{I}_1 R_1 + \dot{I}_2 R_{\Sigma 1} + \dot{I}_3 R_{0.c} = 0; \\ \dot{I}_2 (R_{0.c} - k_{y1} R_{\text{вх1}}) + \dot{I}_3 R_{\Sigma 2} = 0. \end{cases}$$

Решая эту систему, получим:

$$\dot{I}_1 = \dot{U}_i \frac{R_{\Sigma 1} R_{\Sigma 2} - R_{0.c}^2 + k_{y1} R_{0.c} R_{\text{вх1}}}{(Z_i + R_1) (R_{\Sigma 1} R_{\Sigma 2} - R_{0.c}^2 + k_{y1} R_{0.c} R_{\text{вх1}}) - R_1^2 R_{\Sigma 2}}; \quad (1)$$

$$\dot{I}_2 = \dot{U}_i \frac{R_1 R_{\Sigma 2}}{(Z_i + R_1) (R_{\Sigma 1} R_{\Sigma 2} - R_{0.c}^2 + k_{y1} R_{0.c} R_{\text{вх1}}) - R_1^2 R_{\Sigma 2}}; \quad (2)$$

$$\dot{I}_3 = \dot{U}_i \frac{R_1 (R_{0.c} - k_{y1} R_{\text{вх1}})}{(Z_i + R_1) (R_{\Sigma 1} R_{\Sigma 2} - R_{0.c}^2 + k_{y1} R_{0.c} R_{\text{вх1}}) - R_1^2 R_{\Sigma 2}}. \quad (3)$$

Чтобы исключить зависимость \dot{I}_3 от Z_i , необходимо

$$R_{\Sigma 1} R_{\Sigma 2} - R_{0.c}^2 + k_{y1} R_{0.c} R_{\text{вх1}} = 0,$$

откуда

$$k_{y1} = \frac{R_{0.c}^2 - R_{\Sigma 1} R_{\Sigma 2}}{R_{0.c} R_{\text{ВХ1}}} \quad (4)$$

Подставляя (4) в (1), (2) и (3), найдем:

$$\begin{aligned} \dot{I}_1 &= 0; \\ \dot{I}_2 &= -\dot{U}_i \frac{1}{R_1}; \\ \dot{I}_3 &= \dot{U}_i \frac{R_{\Sigma 1}}{R_{0.c} R_1}. \end{aligned} \quad (5)$$

Таким образом, если коэффициент усиления первого усилителя имеет величину, определяемую формулой (4), ток \dot{I}_3 не зависит от Z_i . Кроме того, равенство нулю тока \dot{I}_1 указывает на то, что схема является компенсационной, а весь прибор может быть отнесен к числу компенсаторов статического типа. Из (4) следует, что величина k_{y1} должна быть отрицательной. Только в этом случае обеспечивается условие независимости \dot{I}_3 от Z_i .

Рассматривая выходную цепь разделительного преобразователя, можно записать

$$\dot{I}_n = \frac{\dot{U}_{\text{ВЫХ2}} + \dot{E}_n}{Z_{\text{ВЫХ2}} + Z_n} \quad (6)$$

Очевидно, что

$$\dot{U}_{\text{ВЫХ2}} = k_{y2} R_2 \dot{I}_3.$$

Тогда с учетом (5) выражение (6) запишем в виде

$$\dot{I}_n = \dot{U}_i \frac{R_{\Sigma 1} k_{y2} R_2}{R_{0.c} R_1 (Z_{\text{ВЫХ2}} + Z_n)} + \frac{\dot{E}_n}{Z_{\text{ВЫХ2}} + Z_n}$$

или во временной форме

$$i_n = \frac{\dot{U}_i}{z_{\vartheta 1}} \sin(\omega t + \varphi_i - \varphi_{\vartheta 1}) + \frac{e_n}{z_{\vartheta 2} e^{j\varphi_{\vartheta 2}}},$$

где

$$z_{\vartheta 1} e^{j\varphi_{\vartheta 1}} = \frac{R_{0.c} R_1 (Z_{\text{ВЫХ2}} + Z_n)}{R_{\Sigma 1} k_{y2} R_2}; \quad (7)$$

$$z_{\vartheta 2} e^{j\varphi_{\vartheta 2}} = Z_{\text{ВЫХ2}} + Z_n; \quad (8)$$

$e_n = \Psi(\omega \alpha_2 \cos \omega t + \omega \alpha_1 \sin \omega t)$ — э. д. с., наводимая в рамке вращающимся полем в установившемся режиме [4].

Этот ток, протекая по рамке прибора, взаимодействует с вращающимся полем и создает моменты, описываемые в установившемся режиме следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{\Psi^2}{z_{\theta 2}} \omega \sin \varphi_{\theta 2} \alpha_1 - \frac{\Psi^2}{z_{\theta 2}} \omega \cos \varphi_{\theta 2} \alpha_2 = \frac{\Psi U_i}{z_{\theta 1}} \sin (\varphi_i - \varphi_{\theta 1}); \\ \frac{\Psi^2}{z_{\theta 2}} \omega \cos \varphi_{\theta 2} \alpha_1 + \frac{\Psi^2}{z_{\theta 2}} \omega \sin \varphi_{\theta 2} \alpha_2 = \frac{\Psi U_i}{z_{\theta 1}} \cos (\varphi_i - \varphi_{\theta 1}). \end{cases}$$

Умножая второе из последних уравнений на j и складывая с первым, получаем

$$\begin{aligned} W_{\theta} (\alpha_1 + j \alpha_2) (\cos \varphi_{\theta 2} - j \sin \varphi_{\theta 2}) = \\ = - \frac{\Psi U_i}{z_{\theta 2}} [\cos (\varphi_i - \varphi_{\theta 1}) - j \sin (\varphi_i - \varphi_{\theta 1})], \end{aligned}$$

где $W_{\theta} = \frac{\Psi^2}{z_{\theta 2}} \omega$ — удельный электрический противодействующий момент.

Преобразовывая последнее равенство, с учетом (7) и (8) найдем

$$\dot{\Theta} = \frac{R_{\Sigma 1} R_2}{R_{o.c} R_1 \omega \Psi} k_{y2} \dot{U}_i = K \dot{U}_i, \quad (9)$$

где $K = \frac{R_{\Sigma 1} R_2 k_{y2}}{R_{o.c} R_1 \omega \Psi}$ — коэффициент передачи разделительного преобразователя.

Из формулы (9) видно, что в случае обеспечения условия (4) пространственный угол ориентации подвижной части вектормера пропорционален комплексной амплитуде измеряемого напряжения и не зависит от Z_i . В случае включения вектормера по схеме рис. 3 пространственный угол ориентации рамки вектормера в установившемся режиме описывается следующей зависимостью:

$$\dot{\Theta} = \frac{R_1 (R_{o.c} - k_{y1} R_{\text{вх}1})}{[(Z_i + R_1) R_{\Sigma 1} - R_1^2] \Psi \omega} \dot{U}_i = \dot{K}_1 \dot{U}_i,$$

где $\dot{K}_1 = \frac{R_1 (R_{o.c} - k_{y1} R_{\text{вх}1})}{[(Z_i + R_1) R_{\Sigma 1} - R_1^2] \Psi \omega}$ — комплексный коэффициент передачи, зависящий от Z_i . Эта зависимость неустранима, так как всегда $R_{\Sigma 1} \neq 0$. Поэтому в качестве разделительного преобразователя следует использовать схему рис. 2.

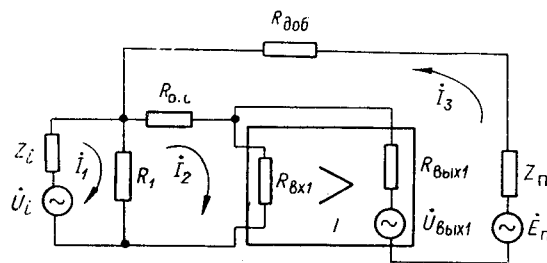


Рис. 3.

Очевидно, что возможно использование этой схемы с реализацией условия (4) в обычных одностепенных ламповых вольтметрах, что позволит создавать приборы компенсационного типа, обладающие весьма большим входным сопротивлением.

Экспериментальная проверка подтвердила приведенные выше теоретические положения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Л. Ф. Куликовский. Автоматические информационно-измерительные приборы. М.—Л., «Энергия», 1966.
2. Л. Ф. Куликовский. Индуктивные измерители перемещения. М.—Л., Госэнергоиздат, 1961.
3. Э. А. Артемьев, Е. М. Карпов, Л. Ф. Куликовский. Магнитоиндукционные вектормерные измерительные преобразователи и их применение.—Автометрия, 1968, № 3.
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
16 августа 1969 г.,
окончательный вариант —
18 декабря 1969 г.*
