

**В.Н. ЧИНКОВ**, д-р техн. наук, проф. НТУ «ХПИ»  
**В.С. РАСТЯПИНА**, студентка НТУ «ХПИ»

## **ЦИФРОАНАЛОГОВЫЙ МЕТОД ТРЕХФАЗНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ МОЩНОСТИ В ПОСТОЯННОЕ НАПРЯЖЕНИЕ**

У статті розглянутий та проаналізований цифроаналоговий метод трифазного перетворення активної потужності промислової частоти в постійну напругу, а також наведена структурна схема його апаратної реалізації.

In article is considered and analyzed digital-analog method of the three-phase transformation to active power in constant voltage, as well as is citing block diagram its device to realization.

**Постановка задачи.** Одной из основных физических величин является электрическая мощность, поэтому измерение мощности занимает важное место в электроэнергетике, энергомашиностроении, электрометаллургии, магнитометрии и в ряде других областей современной науки и техники. Известны различные методы измерения мощности [1,2].

Большинство этих методов предназначено для измерения мощности в цепях синусоидального тока. Однако в основном необходимо измерение активной мощности в цепях несинусоидального тока. Возрастают требования и к повышению точности измерения мощности.

**Цель статьи** заключается в разработке и исследовании цифроаналогового метода трехфазного преобразования активной мощности в постоянное напряжение в области промышленных частот, более совершенного по сравнению с известными методами.

**Цифроаналоговый метод преобразования мощности.** Функциональная схема трехфазного преобразователя активной мощности в постоянное напряжение приведена на рис.1. Трехфазный преобразователь содержит два однофазных преобразователя мощность-напряжение [3], включенных по известной схеме измерения активной мощности трехфазного приемника двумя ваттметрами [4]. Входы сумматоров  $\Sigma_1$  и  $\Sigma_2$ , зашунтированные прецизионными резисторами  $R_{01}$  и  $R_{02}$ , соединяются с зажимами вторичных обмоток трансформаторов тока ТТ<sub>А</sub> и ТТ<sub>С</sub>. Выходные напряжения сумматоров, ЦАП<sub>1</sub> и ЦАП<sub>2</sub> подаются на входы компараторов Комп<sub>1</sub> и Комп<sub>2</sub>. В зависимости от знака выходного напряжения компаратора запускается один из блокинг-генераторов БГ. Выходные импульсы БГ поступают на реверсивные счетчики РСИ<sub>1</sub> и РСИ<sub>2</sub>, которые управляют разрядными ключами ЦАП<sub>1</sub>, ЦАП<sub>2</sub> и цифровых делителей напряжения ЦДН<sub>1</sub>, ЦДН<sub>2</sub>. На входы ЦДН<sub>1</sub> и ЦДН<sub>2</sub> через понижающие трансформаторы  $T_1$  и  $T_2$  подаются соответствующие линейные напряжения ( $U_{AB}$  и  $U_{CB}$ ) трансформатора напряжения ТН. Выходные напряжения ЦДН<sub>1</sub> и ЦДН<sub>2</sub> суммируются с помощью сумматора  $\Sigma_3$ . Сумма этих

напряжений подается на вход фильтра низких частот ФНЧ, который выделяет постоянную составляющую напряжения, пропорциональную активной мощности трехфазного приемника.

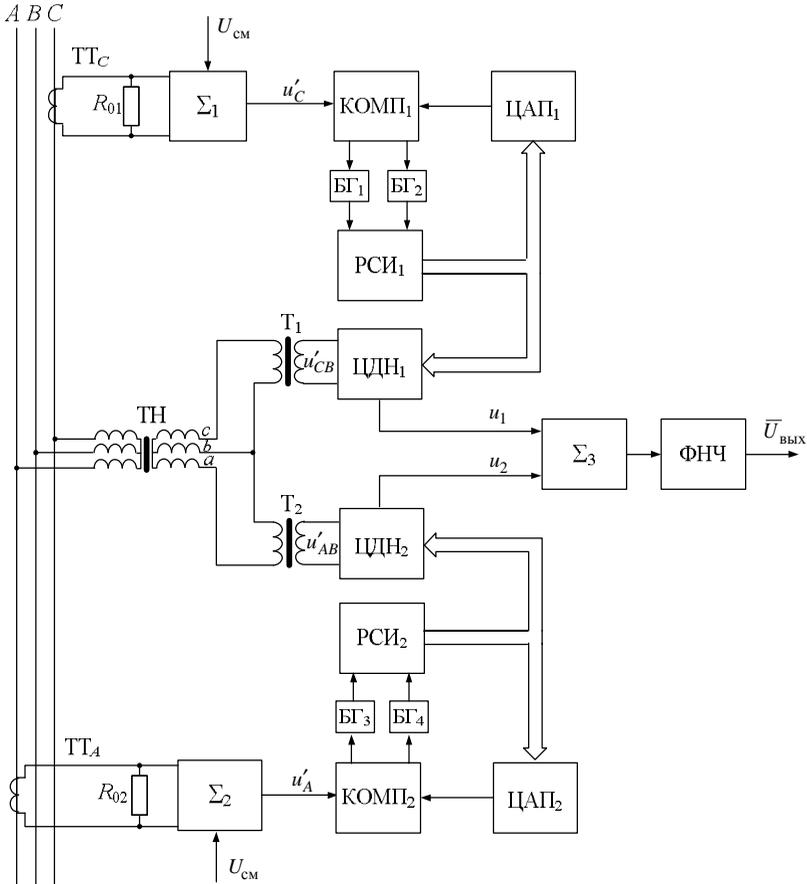


Рис. . Структурная схема цифроаналогового трехфазного преобразователя активной мощности в постоянное напряжение

Уравнения входных напряжений запишем для трехфазной симметричной системы. Входные напряжения comparators:

$$u'_A = K_{y2} \left[ \frac{R_{02} I_{mA}}{n_{TA}} \sin(\omega t - \varphi) + U_{cm} \right]; \quad (1)$$

$$u'_C = K_{o1} \left[ \frac{R_{01} I_{mC}}{n_{TC}} \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3} - \varphi\right) + U_{ni} \right], \quad (2)$$

где  $I_{mA}$ ,  $I_{m\tilde{N}}$  – амплитудные значения линейных токов;  $U_{cm}$  – напряжение смещения;  $\varphi$  – фазовый сдвиг между фазным напряжением и фазным током;  $R_{01}$ ,  $R_{02}$  – прецизионные сопротивления, причем  $R_{01} = R_{02} = R_0$ ;  $n_{TA}$ ,  $n_{TC}$  – коэффициенты трансформации трансформаторов тока, включенных в фазы А и С соответственно;  $K_{y1}$ ,  $K_{y2}$  – коэффициенты усиления сумматоров  $\Sigma_1$  и  $\Sigma_2$ .

Входными напряжениями цифровых делителей напряжения ЦДН<sub>1</sub> и ЦДН<sub>2</sub> являются:

$$u'_{AB} = \frac{U_{mAB}}{n_{HAB}n_{T2}} \sin\left(\omega t + \frac{p}{6}\right); \quad (3)$$

$$u'_{CB} = \frac{U_{mCB}}{n_{HCB}n_{T1}} \sin\left(\omega t + \frac{p}{2}\right), \quad (4)$$

где  $U_{mAB}$ ,  $U_{mCB}$  – амплитудные значения линейных напряжений сети;  $n_{HAB}$ ,  $n_{HCB}$  – коэффициенты трансформации трансформаторов напряжения ТН;  $n_{T1}$ ,  $n_{T2}$  – коэффициенты трансформации понижающих трансформатора  $T_1$  и  $T_2$ .

Выходные напряжения цифровых делителей напряжения ЦДН<sub>1</sub> и ЦДН<sub>2</sub>, если пренебречь ступенчатым характером кривых, можно представить на основании выражений (1) – (4) в следующем виде:

$$\begin{aligned} u_1 &= \left[ \frac{R_0 I_{mC}}{n_{TC}} \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3} - \varphi\right) + U_{cm} \right] K_{y1} K_{ц1} K_{п1} \frac{U_{mCB}}{n_{HCB}n_{T1}} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) = \\ &= a_1 I_C U_{CB} \cos\left(\frac{\pi}{6} - \varphi\right) - a_1 I_C U_{CB} \cos\left(2\omega t + \frac{7\pi}{6} - \varphi\right) + b_1 U_{mCB} U_{cm} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right); \quad (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} u_2 &= \left[ \frac{R_0 I_{mA}}{n_{TA}} \sin(\omega t - \varphi) + U_{cm} \right] K_{y2} K_{ц2} K_{п2} \frac{U_{mAB}}{n_{HAB}n_{T2}} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) = \\ &= a_2 I_A U_{AB} \cos\left(\frac{\pi}{6} + \varphi\right) - a_2 I_A U_{AB} \cos\left(2\omega t + \frac{\pi}{6} - \varphi\right) + b_2 U_{mAB} U_{cm} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) \quad (6) \end{aligned}$$

где

$$\begin{aligned} a_1 &= \frac{R_0 K_{y1} K_{ц1} K_{п1}}{n_{TC} n_{HCB} n_{T1}}; & a_2 &= \frac{R_0 K_{y2} K_{ц2} K_{п2}}{n_{TA} n_{HAB} n_{T2}}; \\ b_1 &= \frac{K_{y1} K_{ц1} K_{п1}}{n_{HCB} n_{T1}}; & b_2 &= \frac{K_{y2} K_{ц2} K_{п2}}{n_{HAB} n_{T2}}. \end{aligned}$$

$K_{ц1}$ ,  $K_{ц2}$  – коэффициенты передачи цифровых делителей напряжения ЦДН<sub>1</sub> и ЦДН<sub>2</sub> соответственно;  $K_{п1}$ ,  $K_{п2}$  – коэффициенты передачи ЦАП<sub>1</sub> и ЦАП<sub>2</sub>.

С учетом (5) и (6) выходное напряжение ФНЧ

$$\begin{aligned}\bar{U}_{\text{вых}} &= \frac{1}{T} \int_0^T (u_1 + u_2) dt = \left[ a_1 I_C U_{CB} \cos\left(\frac{\pi}{6} - \varphi\right) + a_2 I_A U_{AB} \cos\left(\frac{\pi}{6} + \varphi\right) \right] K_{y3} K_{\phi} = \\ &= A_1 I_C U_{CB} \cos\left(\frac{\pi}{6} - \varphi\right) + A_2 I_A U_{AB} \cos\left(\frac{\pi}{6} + \varphi\right)\end{aligned}$$

где  $K_{y3}$  – коэффициент усиления сумматора  $\Sigma_3$ ;  $K_{\phi}$  – коэффициент передачи ФНЧ;

$$A_1 = a_1 K_{y3} K_{\phi}; \quad A_2 = a_2 K_{y3} K_{\phi}.$$

При идентичном выполнении однофазных преобразователей можно принять, что  $A_1 = A_2 = A$ , тогда

$$\bar{U}_{\text{вых}} = A \left[ I_C U_{CB} \cos\left(\frac{\pi}{6} - \varphi\right) + I_A U_{AB} \cos\left(\frac{\pi}{6} + \varphi\right) \right]. \quad (7)$$

При несимметричной нагрузке фаз:

$$\bar{U}_{\text{вых}} = A \left[ I_C U_{CB} \cos(U_{CB}, I_C) + I_A U_{AB} \cos(U_{AB}, I_A) \right]. \quad (8)$$

Выражения в квадратных скобках формул (7) и (8) представляет активную мощность трехфазного приемника  $\bar{U}_{\text{вых}} = AP$ .

При несинусоидальных сигналах:

$$\bar{U}_{\text{вых}} = A \sum_{i=1}^{\infty} P_i.$$

где – мощность  $i$ -й гармоники.

**Выводы.** Таким образом, в статье предложен и исследован цифроаналоговый метод трехфазного преобразования активной мощности в постоянное напряжение. Этот метод позволяет преобразовывать мощность не только при синусоидальной, но и несинусоидальной формах сигнала с достаточно высокой точностью, обусловленной высокой точностью цифроаналоговых преобразователей.

**Список литературы:** 1. Измерения в электронике: Справочник: / Кузнецов. В.А. Долгов В.А. Ко-невских В.М и др. Под ред. В.А. Кузнецова – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 512 с. 2. Безикович А.Я., Шапиро Е.З. Измерение электрической мощности в звуковом диапазоне частот. – Л.: Энергия. Ленингр. отделение, 1980. – 168 с. 3. Чинков В.Н. Растяпина В.С. Цифроаналоговый метод однофазного преобразования мощности в постоянное напряжение // Вестник НТУ"ХПИ". Автоматика и приборостроение. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2008. – № 57 с. 155-158. 4. Методы и средства измерений: Учебник для вузов / Г.Г. Раннев, А. П. Тарасенко. – 2-е изд., стереотип. – М.: Изд. центр «Академия», 2004. – 336 с.

Поступила в редколлегию 05.04.2010