

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 Σ_1 и Σ_2 , зашунтированные прецизионными резисторами R_{01} и R_{02} , соединяются с зажимами вторичных обмоток трансформаторов тока $ТТ_A$ и $ТТ_C$. Выходные напряжения сумматоров, ЦАП₁ и ЦАП₂ подаются на входы компараторов Комп₁ и Комп₂. В зависимости от знака выходного напряжения компаратора запускается один из блокинг-генераторов БГ. Выходные импульсы БГ поступают на реверсивные счетчики РСИ₁ и РСИ₂, которые управляют разрядными ключами ЦАП₁, ЦАП₂ и цифровых делителей напряжения ЦДН₁, ЦДН₂. На входы ЦДН₁ и ЦДН₂ через понижающие трансформаторы T_1 и T_2 подаются соответствующие линейные напряжения (U_{AB} и U_{CB}) трансформатора напряжения ТН. Выходные напряжения ЦДН₁ и ЦДН₂ суммируются с помощью сумматора Σ_3 . Сумма этих

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

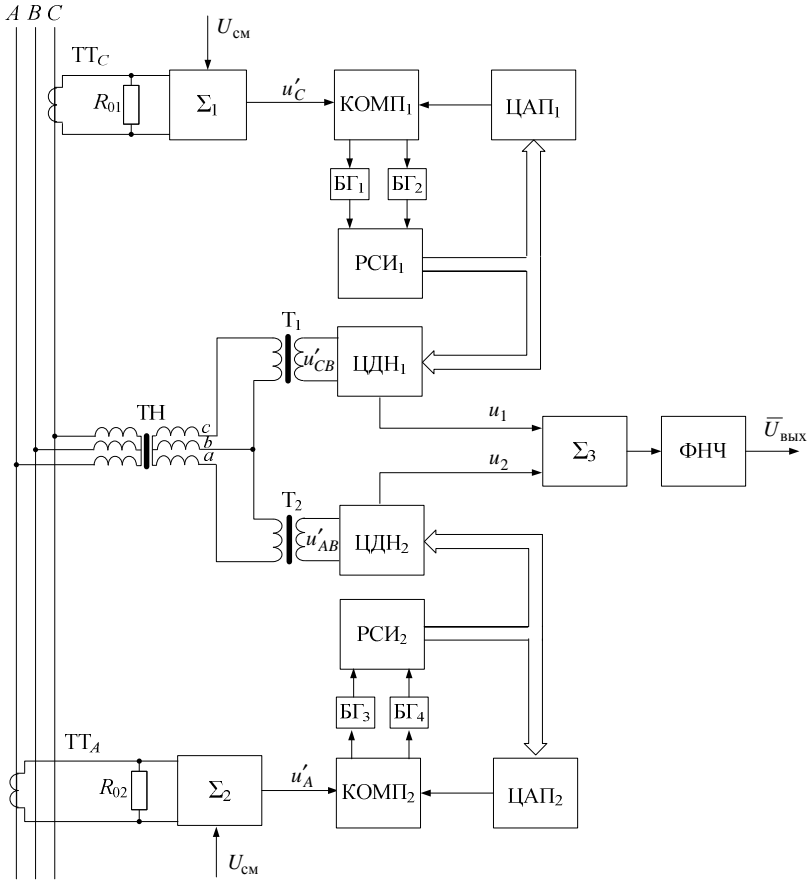


Рис. . Структурная схема цифроаналогового трехфазного преобразователя активной мощности в постоянное напряжение

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

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

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

где I_{mA} , $I_{m\bar{N}}$ – амплитудные значения линейных токов; U_{cm} – напряжение смещения; φ – 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 A и C соответственно; K_{y1} , K_{y2} – коэффициенты усиления сумматоров Σ_1 и Σ_2 .

Входными напряжениями цифровых делителей напряжения ЦДН₁ и ЦДН₂ являются:

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

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

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 ЦДН₁ и ЦДН₂, если пренебречь ступенчатым характером кривых, можно представить на основании выражений (1) – (4) в следующем виде:

$$u_1 = \left[\frac{R_0 I_{mC}}{n_{TC}} \sin\left(\omega t + \frac{2\pi}{3} - \varphi\right) + U_{cm} \right] K_{y1} K_{ц1} K_{п1} \frac{U_{mCB}}{n_{HCB}n_{T1}} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right) =$$

$$= a_1 I_C U_{CB} \cos\left(\frac{\pi}{6} - \varphi\right) - a_1 I_C U_{CB} \cos\left(2\omega t + \frac{7\pi}{6} - \varphi\right) + b_1 U_{mCB} U_{cm} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{2}\right); \quad (5)$$

$$u_2 = \left[\frac{R_0 I_{mA}}{n_{TA}} \sin(\omega t - \varphi) + U_{cm} \right] K_{y2} K_{ц2} K_{п2} \frac{U_{mAB}}{n_{HAB}n_{T2}} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right) =$$

$$= a_2 I_A U_{AB} \cos\left(\frac{\pi}{6} + \varphi\right) - a_2 I_A U_{AB} \cos\left(2\omega t + \frac{\pi}{6} - \varphi\right) + b_2 U_{mAB} U_{cm} \sin\left(\omega t + \frac{\pi}{6}\right), \quad (6)$$

где

$$a_1 = \frac{R_0 K_{y1} K_{ц1} K_{п1}}{n_{TC} n_{HCB} n_{T1}}; \quad a_2 = \frac{R_0 K_{y2} K_{ц2} K_{п2}}{n_{TA} n_{HAB} n_{T2}};$$

$$b_1 = \frac{K_{y1} K_{ц1} K_{п1}}{n_{HCB} n_{T1}}; \quad b_2 = \frac{K_{y2} K_{ц2} K_{п2}}{n_{HAB} n_{T2}},$$

$K_{ц1}$, $K_{ц2}$ – коэффициенты передачи цифровых делителей напряжения ЦДН₁ и ЦДН₂ соответственно; $K_{п1}$, $K_{п2}$ – коэффициенты передачи ЦАП₁ и ЦАП₂.

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 Σ_3 ; K_{ϕ} – 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:

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

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., Шаниро 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