

**В.Н. ЧИНКОВ**, д-р техн. наук, (г. Харьков),  
**В.С. РАСТЯПИНА**, НТУ «ХПИ» (г. Харьков)

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

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

In article is considered and analyzed digital-analog method of the single-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 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 большинстве практических случаев 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 однофазного преобразования активной мощности в постоянное напряжение в области промышленных частот, более совершенного по сравнению с известными методами.

Рассмотрим суть данного метода.

Цифроаналоговый метод измерения мощности предусматривает применение двух основных блоков: управляемого делителя напряжения (УДН) и цифроаналогового преобразователя следящего типа (ЦАП). На вход ЦАП подается напряжение, равное сумме напряжения  $u_1(t)$ , пропорционального току приемника  $i(t)$ , и постоянного напряжения смещения  $U_{см}$ , а на вход УДН – напряжение  $u_2(t)$ , пропорциональное напряжению приемника энергии  $u(t)$ . Значение напряжения смещения  $U_{см}$  должно быть больше максимального значения напряжения  $u_1$  с тем, чтобы сумма напряжений  $(u_1 + U_{см})$  оставалась переменной во времени и в то же время сохраняла бы знак неизменным. Выходной код ЦАП, пропорциональный сумме напряжений  $(u_1 + U_{см})$ , используется для изменения коэффициента деления УДН. При этом, если обеспечить быстродействие ЦАП и УДН достаточно высоко-

ким, то коэффициент деления УДН будет непрерывно изменяться пропорционально мгновенному значению суммы напряжений  $(u_1 + U_{\text{см}})$ , и, следовательно, выходное напряжение УДН  $u_{\text{вых}}(t)$  будет равно

$$u_{\text{вых}} = k_2 u_2 ,$$

где  $k_2$  – коэффициент деления делителя напряжения УДН.

Поскольку значение коэффициента деления  $k_2$  пропорционально мгновенному значению суммы напряжений  $(u_1 + U_{\text{см}})$ :

$$k_2 = k_1 (u_1 + U_{\text{см}}) ,$$

то выходное напряжение УДН:

$$u_{\text{вых}} = k_1 (u_1 + U_{\text{см}}) u_2 .$$

При синусоидальных сигналах  $u_1 = U_{1m} \sin(\omega t - j)$  и  $u_2 = U_{2m} \sin \omega t$  имеем

$$\begin{aligned} u_{\text{вых}} &= k_1 [U_{1m} \sin(\omega t - j) + U_{\text{см}}] U_{2m} \sin \omega t = \\ &= k_1 U_1 U_2 [\cos j - \cos(2\omega t - j)] + k_1 U_{\text{см}} U_{2m} \sin \omega t . \end{aligned}$$

Находим среднее значение выходного напряжения  $u_{\text{вых}}$  УДН за период сигнала  $T$ :

$$\bar{U}_{\text{вых}} = \frac{1}{T} \int_0^T u_{\text{вых}} dt = k_1 U_1 U_2 \cos j . \quad (1)$$

Поскольку напряжение пропорционально  $u_1(t)$  току  $i(t)$  в приемнике энергии, т.е.  $u_1 = R_0 i$ , где  $R_0$  – образцовое активное сопротивление, а другое напряжение  $u_2(t)$  пропорционально напряжению  $u(t)$ , т.е.  $u_2(t) = m u(t)$ , то

$$\bar{U}_{\text{вых}} = k_1 m R_0 U I \cos j = k P ,$$

где  $P = U I \cos j$  – активная мощность приемника,  $k = k_1 m R_0$  – коэффициент передачи преобразователя мощности.

Таким образом, среднее значение выходного напряжения УДН пропорционально активной мощности приемника энергии. При этом, как следует из выражения (1), среднее значение выходного напряжения УДН  $\bar{U}_{\text{вых}}$  не зависит от значения напряжения смещения  $U_{\text{см}}$ . Следовательно, уровень напряжения  $U_{\text{см}}$  может быть любым, но стабильным во времени.

Нетрудно убедиться, что при несинусоидальной форме кривых напряжений  $u_1$  и  $u_2$  среднее значение выходного напряжения УДН пропорционально сумме мощностей всех гармоник. В самом деле, если представить напряжения  $u_1$  и  $u_2$  в виде рядов Фурье:

$$u_1 = \sum_{s=0}^{\infty} U_{1ms} \sin(swt + y_{si});$$

$$u_2 = \sum_{l=0}^{\infty} U_{2ml} \sin(lwt + y_{lu}),$$

то

$$u_{\text{ВЫХ}} = k_1 \left[ \sum_{s=0}^{\infty} U_{1ms} \sin(swt + y_{si}) + U_{\text{см}} \right] \sum_{l=0}^{\infty} U_{2ml} \sin(lwt + y_{lu}).$$

После преобразования этого выражения получим

$$u_{\text{ВЫХ}} = k_1 \sum_{s=0}^{\infty} U_{1s} U_{2s} \cos(y_{si} - y_{su}) - k_1 \sum_{s=0}^{\infty} U_{1s} U_{2s} \cos(2swt + y_{si} + y_{su}) +$$

$$+ k_1 \sum_{\substack{s=0 \\ l=0 \\ s \neq l}}^{\infty} U_{1s} U_{2l} \cos[(s-l)wt + y_{si} + y_{lu}] - k_1 \sum_{\substack{s=0 \\ l=0}}^{\infty} U_{1s} U_{2l} \cos[(s+l)wt + y_{si} + y_{lu}] +$$

$$+ k_1 \sum_{l=0}^{\infty} U_{\text{см}} U_{2ml} \cos[lwt + y_{lu}].$$

Находим среднее значение выходного напряжения УДН:

$$\bar{U}_{\text{ВЫХ}} = \frac{1}{T} \int_0^T u_{\text{ВЫХ}} dt = k_1 \sum_{s=0}^{\infty} U_{1s} U_{2s} \cos(y_{si} - y_{su}).$$

Тогда, учитывая, что  $U_{1s} = R_0 I_s$ ,  $U_{2s} = m U_s$  и  $y_{si} - y_{su} = j_s$ , имеем

$$\bar{U}_{\text{ВЫХ}} = k_1 \sum_{s=0}^{\infty} R_0 U_{2s} I_s \cos j_s = k \sum_{s=0}^{\infty} P_s,$$

где  $P_s = U_s I_s \cos j_s$  – активная мощность  $s$ -й гармоники.

Таким образом, действительно, среднее значение выходного напряжения УДН при несинусоидальной форме преобразуемых сигналов  $u_1$  и  $u_2$  пропорционально сумме активных мощностей всех гармоник  $P_s$ ,  $s = 0, \infty$ .

На рис. 1 представлена структурная схема аппаратной реализации рассматриваемого метода преобразования активной мощности в постоянное напряжение. Переменное напряжение  $u_1$ , пропорциональное току приемника  $i(t)$ , и постоянное напряжение смещения  $U_{\text{см}}$  подаются на входы сумматора напряжения См. С его выхода суммарное напряжение  $(u_1 + U_{\text{см}})$  подается на вход ЦАП, который подключен к источнику опорного напряжения (ИОН), а на вход УДН – напряжение  $u_2(t)$ , пропорциональное напряжению приемника энергии  $u(t)$ . Мгновенное значение выходного напряжения УДН пропорционально произведению напряжений  $u_2(u_1 + U_{\text{см}})$ , а его постоянная составляющая пропорциональна активной мощности приемника. Постоянная со-

ставляющая выходного напряжения  $\bar{U}_{\text{ВЫХ}}$  выделяется с помощью фильтра низких частот (ФНЧ).

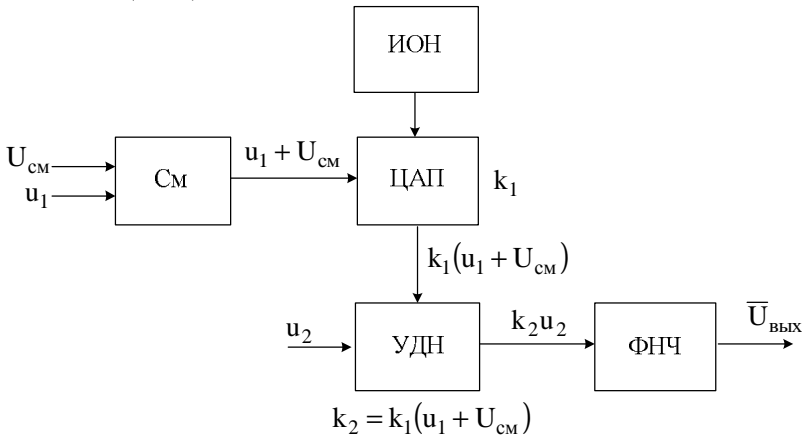


Рис. 1. Структурная схема цифроаналогового преобразователя активной мощности в постоянное напряжение

Таким образом, в статье предложен и исследован цифроаналоговый метод однофазного преобразования активной мощности в постоянное напряжение. Этот метод позволяет преобразовывать мощность не только при синусоидальной, но и несинусоидальной форме сигнала.

Ориентировочный анализ погрешностей преобразователя показывает, что его основная относительная погрешность может быть обеспечена порядка сотых долей процента и меньше за счет высокой точности входящих в него функциональных блоков.

Дальнейшая работа будет направлена на исследование цифроаналогового метода преобразования активной мощности в постоянное напряжение в трехфазных цепях переменного тока.

**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.

*Поступила в редколлегию 13.11.08*