

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 быстроедействие 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).

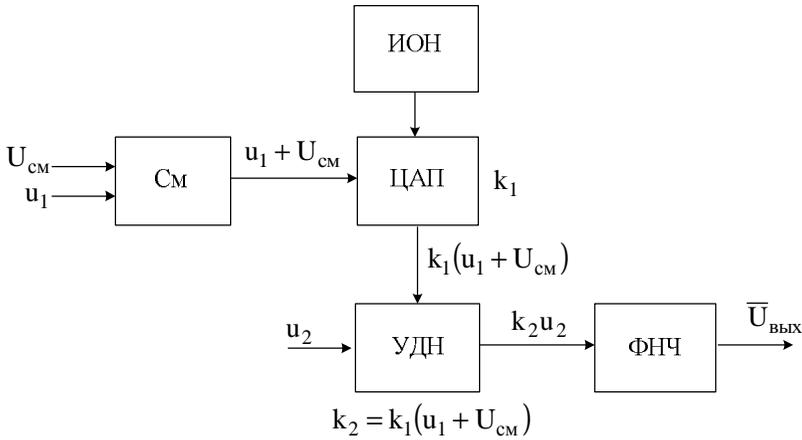


Рис. 1. Структурная схема цифроаналогового преобразователя активной мощности в постоянное напряжение

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