

УДК 681.586

А.В. Преображенский, Е.Н. Поселенов

**КОМПЬЮТЕРНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ «УГОЛ-КОД» НА СЕЛЬСИНЕ**

ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

Рассмотрен алгоритм работы преобразователя «угол-код», состоящего из сельсина, аналого-цифрового преобразователя и компьютера. Приведены результаты испытаний преобразователя.

*Ключевые слова:* сельсин, компьютер, преобразователь «угол-код».

Сельсины широко применяются на водном транспорте как аналоговые датчики угла поворота вала различных механизмов. Компьютеризация автоматических систем, позволяющая внедрять эффективные интеллектуальные алгоритмы управления, предполагает замену сельсинов на цифровые датчики угла поворота вала или использование преобразователей «угол-код» на сельсине. В работе рассматривается преобразователь «угол-код», в котором обмотки сельсина, возбуждаемого пониженным напряжением, подключаются непосредственно к аналоговому порту управляющего компьютера. Многоканальный аналого-цифровой преобразователь (АЦП) обычно входит в состав системы управления, так что дополнительного оборудования для построения преобразователя «угол-код» не требуется.

**Алгоритм определения угла поворота**

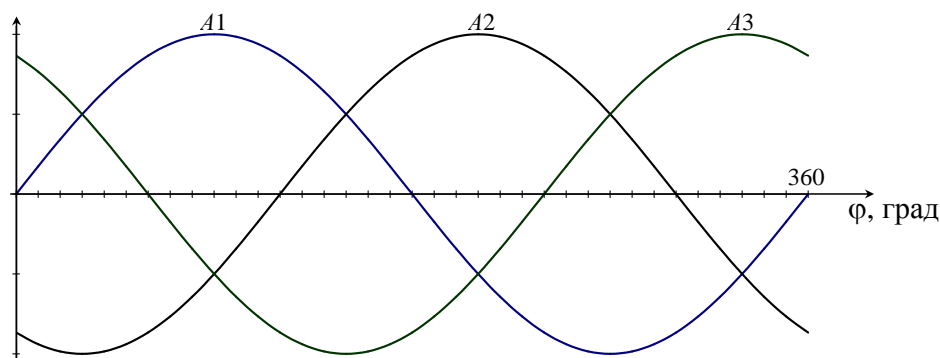
В идеальном случае напряжения на обмотке возбуждения и обмотках синхронизации сельсина

$$U_0(t) = A_0 \sin \omega t, \quad U_i(t) = A_i \sin \omega t \quad (i = 1, 2, 3),$$

$$U_1(t) + U_2(t) + U_3(t) = 0, \quad (1)$$

$$A_1 = A \sin \varphi, \quad A_2 = A \sin(\varphi - 120^\circ), \quad A_3 = A \sin(\varphi - 240^\circ), \quad (2)$$

где  $\omega$  - частота напряжения питания,  $\varphi$  - угол поворота ротора сельсина относительно нулевого положения,  $A$  - максимально возможное значение напряжения, предполагаемое одинаковым для всех обмоток синхронизации сельсина. Изменение амплитуд напряжений  $U_i(t)$  в обмотках синхронизации в зависимости от угла поворота сельсина  $\varphi$  показано на рис. 1.



**Рис. 1. Зависимость амплитуд напряжений в обмотках синхронизации от угла поворота**

Из (2) следует

$$\frac{A_1 + A_2}{A_1 - A_2} = \frac{\operatorname{tg}\varphi - \sqrt{3}}{3\operatorname{tg}\varphi + \sqrt{3}} = P, \quad \frac{A_2 + A_3}{A_2 - A_3} = \frac{\operatorname{tg}\varphi}{\sqrt{3}} = Q, \quad \frac{A_3 + A_2}{A_3 - A_2} = \frac{\operatorname{tg}\varphi + \sqrt{3}}{\sqrt{3} - 3\operatorname{tg}\varphi} = R,$$

$$\operatorname{tg}\varphi_P = \frac{\sqrt{3}(P+1)}{1-3P}, \quad \operatorname{tg}\varphi_Q = Q\sqrt{3}, \quad \operatorname{tg}\varphi_R = \frac{\sqrt{3}(R-1)}{3R+1}. \quad (3)$$

Значения  $\varphi_P, \varphi_Q, \varphi_R$ , полученные из соотношений (3) с использованием функции «арктангенс», обозначим  $\varphi^*$ . Функция «арктангенс» определена в диапазоне  $\pm\pi/2$ . Для определения значения  $\varphi$  в диапазоне  $0 \div 2\pi$  используем алгоритм

$$\begin{aligned} \varphi &= \varphi^*, & \text{если } \varphi^* > 0 \text{ и } A_2 < 0, \\ \varphi &= \varphi^* + \pi, & \text{если } (\varphi^* > 0 \text{ и } A_2 > 0) \text{ или } (\varphi^* < 0 \text{ и } A_3 < 0), \\ \varphi &= \varphi^* + 2\pi, & \text{если } \varphi^* < 0 \text{ и } A_3 > 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Алгоритм (4) поясняет рис. 2, где штриховкой показаны области значений угла  $\varphi$  при различных знаках величин  $A_2$  и  $A_3$ .

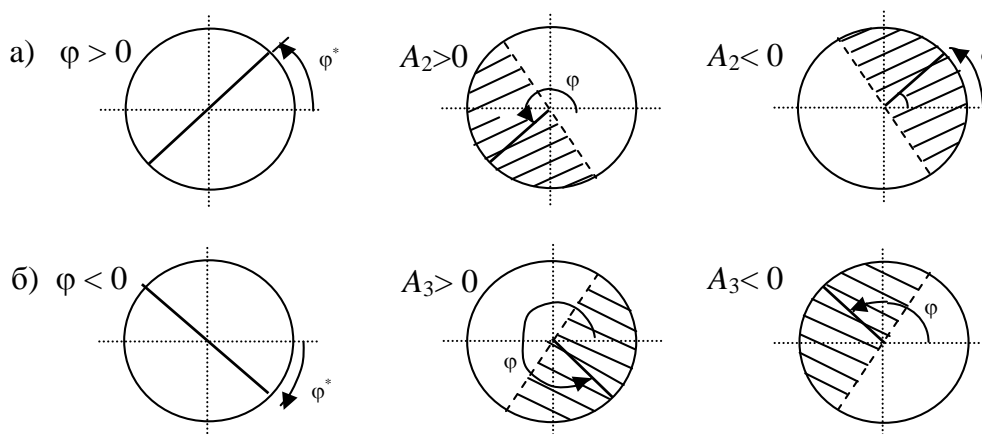


Рис. 2. Значения угла  $\varphi$  при различных знаках величин  $A_2$  и  $A_3$

Условие (1) на практике не выполняется, значения  $\operatorname{tg}\varphi_P, \operatorname{tg}\varphi_Q, \operatorname{tg}\varphi_R$  будут не одинаковы, и результаты измерений, выполненных по разным парам величин  $A_i$ , желательно усреднить. В области углов, близких к  $\pm\pi/2$ , где величина  $\operatorname{tg}\varphi$  меняет знак, а ее абсолютное значение велико, будем усреднять значения  $\varphi_P, \varphi_Q, \varphi_R$ , а в окрестности нулевого угла, чтобы исключить случаи суммирования углов, близких к  $0$  и  $360^\circ$ , – значения  $\operatorname{tg}\varphi_P, \operatorname{tg}\varphi_Q, \operatorname{tg}\varphi_R$ .

В рассматриваемом алгоритме важны не абсолютные значения  $A_i$ , а их соотношения, которые не изменяются при замене величин  $A_i$  на мгновенные значения напряжений в обмотках синхронизации  $U_i(t)$ . Для уменьшения влияния различных случайных факторов на результат измерения угла вместо величин  $A_i$  будем использовать величины

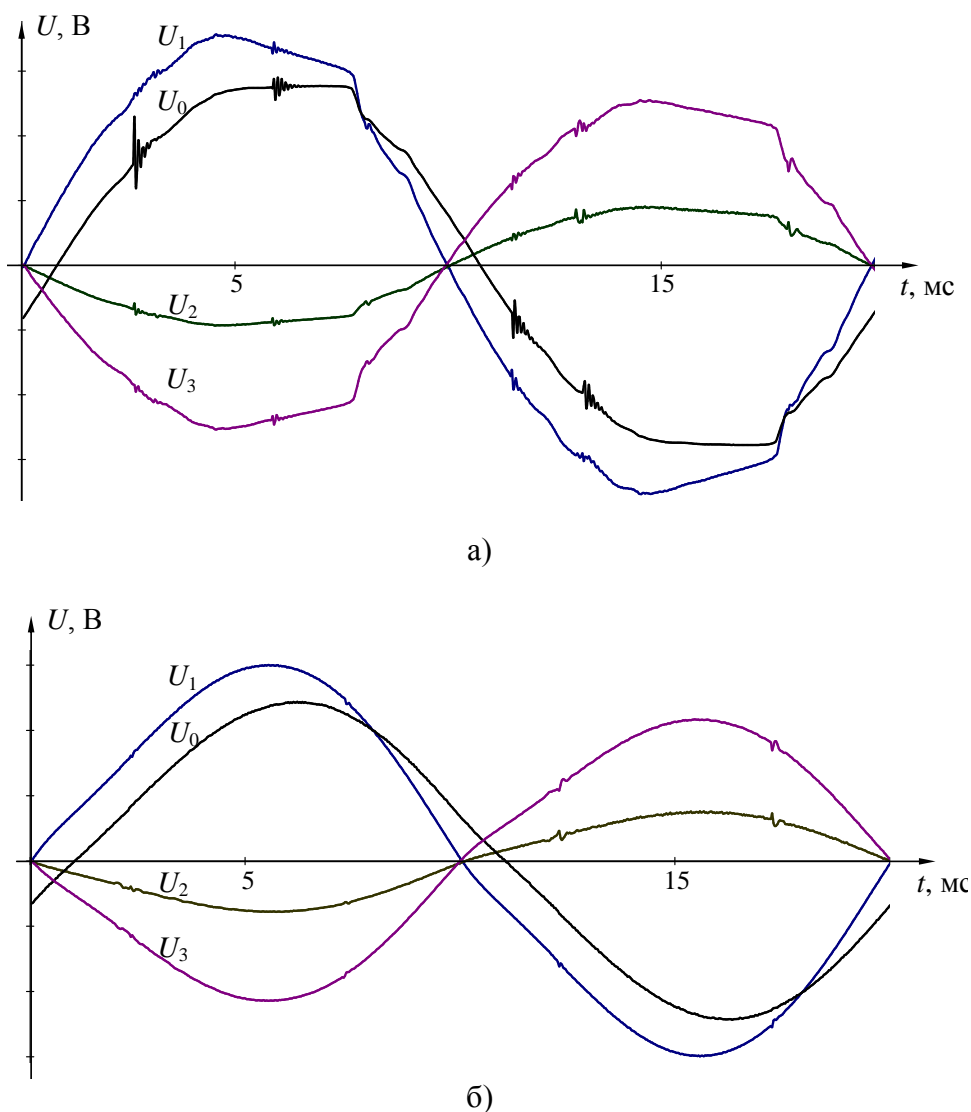
$$a_i = [\operatorname{sgn} \sum_{k=1}^N U_i(k)U_0(k)] * [\sum_{k=1}^N |U_i(k)|],$$

где  $U(k)$  – ряд дискретных «отсчетов» напряжений с обмоток сельсина, полученных с АЦП,  $N$  – число отсчетов. Первый множитель представляет знак напряжения в обмотке синхронизации: положительный – при синфазном и отрицательный – при противофазном напряжении  $U_i(t)$  по отношению к напряжению возбуждения  $U_0(t)$ .

Параметрами рассматриваемого алгоритма являются число отсчетов  $N$  и фаза напряжения возбуждения, при которой начаты отсчеты. Влияние этих параметров на результат измерения угла исследовано на лабораторном образце преобразователя «угол-код».

### Результаты эксперимента

Лабораторный образец преобразователя «угол-код» выполнен на сельсине типа СС - 404 и плате АЦП L-154, подключенной к персональному компьютеру. Подключение всех четырех обмоток сельсина к АЦП дифференциальное. Напряжение на обмотку возбуждения сельсина (5В, 50 Гц) подается с генератора синусоидальных сигналов или от сети через понижающий трансформатор. Минимальный временной интервал ввода данных с одного канала АЦП, при поочередном опросе четырех каналов, составляет 30 мкс. Пример осциллограмм напряжений в обмотках сельсина при питании от сети и генератора приведен на рис. 3. При испытании преобразователя получены следующие результаты.



**Рис. 3. Осциллограммы напряжений в обмотках сельсина:**  
а – при питании от сети; б – от генератора

Разброс результатов определения угла поворота по  $N = 10$  отсчетам, начатым при одной и той же фазе напряжения питания и занимающим по времени 0,3 мс, составляет около  $0,1^\circ$  и практически не снижается при увеличении  $N$  в десятки раз. Разброс одинаков при питании сельсина как от генератора, так и от сети, напряжение которой сильнее отличается от синусоидального и характеризуется повышенным уровнем помех. Можно утверждать, что случайные помехи и несинусоидальность напряжения питания практически не влияют на точность измерения угла поворота рассматриваемым методом.

Результат измерения угла при  $N = 10$  зависит от фазы напряжения возбуждения в момент начала отсчетов. Измерение по отсчетам, выполненным в области перехода напряжения возбуждения через нулевое значение, оказывается неверным, так как неправильно определяются знаки величин  $a_i$  вследствие фазового сдвига между напряжением возбуждения и напряжениями в обмотках синхронизации. Если исключить эти случаи, наибольшая разница значений угла (до двух градусов) наблюдается при определении угла по отсчетам, выполненным на положительной и отрицательной полуволне напряжения возбуждения.

Момент начала отсчетов не играет роли при определении угла по отсчетам, сделанным в течение целого периода напряжения возбуждения. В этом случае разброс результатов измерения зависит от угла поворота сельсина. Эта зависимость, полученная по 20 измерениям, представлена на рис. 4. Она сохраняется при измерении по отсчетам, снятым на нескольких целых периодах напряжения питания.

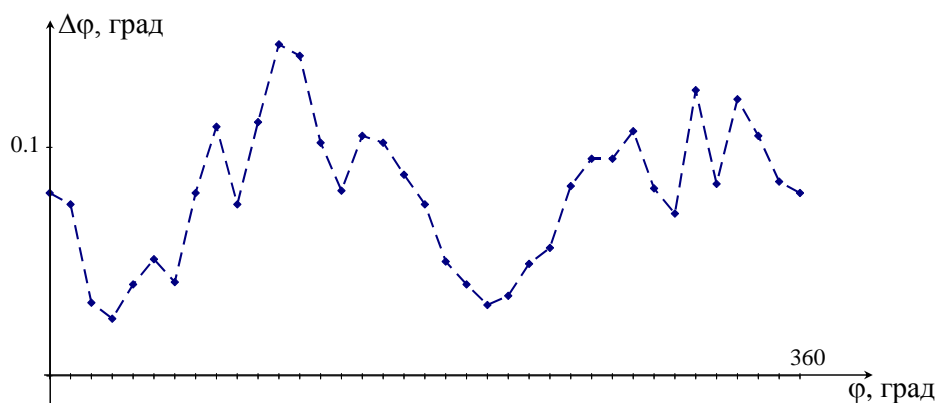


Рис. 4. Разброс результатов измерений

Для оценки погрешности преобразователя «угол-код» было проведено измерение угла поворота шагового двигателя типа ДШИ-200 с ценой шага  $1,8^\circ$  в пределах полного оборота. Величина шага, по показаниям преобразователя, изменялась в диапазоне от  $1,5$  до  $1,9^\circ$ . Погрешность преобразования в  $0,3^\circ$  соответствует классу точности сельсина.

Количество дифференциальных входов АЦП, используемых в преобразователе «угол-код», можно уменьшить, если считать соотношение  $U_1(t) + U_2(t) + U_3(t) = 0$  точным и измерять напряжения с двух обмоток синхронизации, а не с трех. В этом случае значения угла получаются завышенными. Разница значений углов  $\varphi_2$  и  $\varphi_3$ , полученных по опросам напряжений с двух и трех обмоток, зависит от угла поворота и доходит до  $1^\circ$  (рис. 5). Эта зависимость систематическая, при повторении измерений сохраняется.

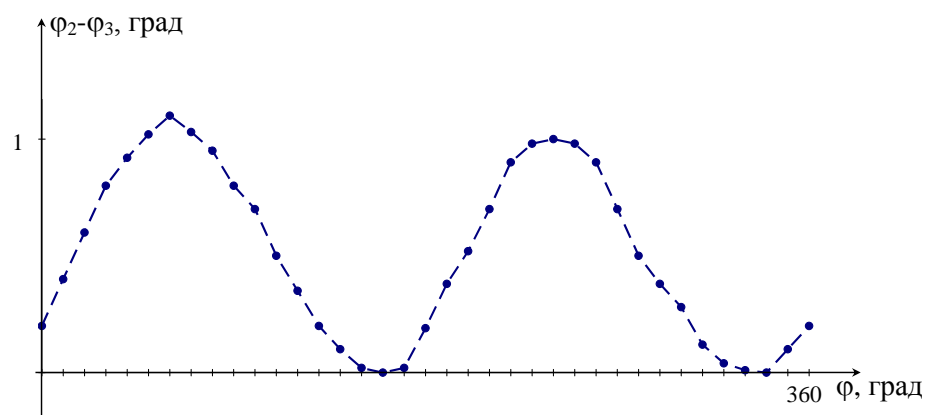


Рис. 5. Расхождение результатов измерений по сигналам с двух и трех обмоток

Судя по результатам эксперимента, рассмотренный способ преобразования «углокод» не вносит методической погрешности, погрешность определения угла зависит от точности сельсина и составляет около  $0.3^\circ$ .

*Дата поступления  
в редакцию 15.10.2010*

**A.V. Preobrazhensky, E.N. Poselenov**

### **ANGLE-CODE CONVERTER WITH SELSYN AND COMPUTER**

The algorithm of angle-code converting by using of selsyn and computer is considered. The results of converter testing are present.

*Key words:* selsyn, computer, angle-code converter.