

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ С ИМПУЛЬСНЫМ ДАТЧИКОМ

Канд. техн. наук, доц. ОПЕЙКО О. Ф.

Белорусский национальный технический университет

Измерение углового или линейного положения импульсным датчиком имеет значительные преимущества перед аналоговыми методами измерения. Основным преимуществом импульсного датчика (инкрементального датчика, энкодера) является высокая помехоустойчивость, обусловленная импульсным характером сигнала. На выходе импульсного датчика получается сигнал в виде унитарного кода, который должен быть преобразован в двоичный код, для чего могут быть применены либо аппаратные средства [1], либо программное обеспечение микроконтроллера.

Дискретность измерения порождает погрешность. Поэтому при выборе импульсного датчика, а также при преобразовании его сигнала в двоичный код следует учитывать требования к точности системы управления.

Целью данной работы является определение условий, которым должны удовлетворять параметры точности и быстродействия микроконтроллера (количество разрядов в слове данных, тактовая частота таймера) и число импульсов на оборот датчика, чтобы обеспечить необходимую точность системы управления положением и системы управления скоростью.

Система электропривода с микроконтроллером в качестве устройства прямого цифрового управления содержит непрерывную и дискретную части (рис. 1). К непрерывной части относится объект управления, дискретная часть содержит микроконтроллер МК, силовой полупроводниковый преобразователь ПП и датчики Д. Выходная величина и переменные состояния объекта управления, измеренные датчиками, преобразуются в двоичный код. Для физической величины α , измеренной датчиком, в микроконтроллере существует ее двоичное представление x_α , используемое в расчете сигнала управления. Между этими величинами соблюдается пропорциональность

$$x_\alpha = m_\alpha \alpha.$$

Здесь масштабный коэффициент m_α одновременно является коэффициентом обратной связи по величине α .

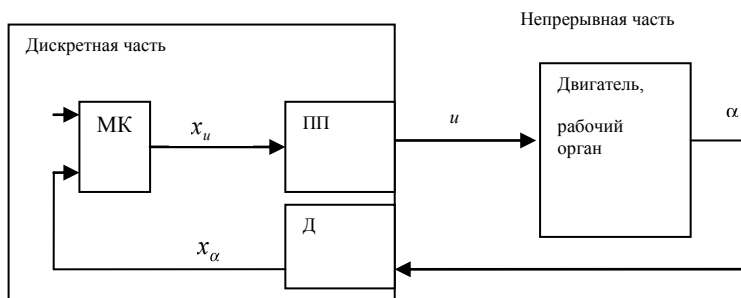


Рис. 1. Система управления электроприводом с микроконтроллером

Требуется определить масштабные коэффициенты, необходимые для обеспечения заданной точности обработки величин в системе управления, а также параметры датчика и микроконтроллера, формирующего управление электроприводом.

Точность позиционирования измеряется допустимой абсолютной погрешностью $\Delta\varphi_D$ и относительной погрешностью $\delta_D = \frac{\Delta\varphi_D}{\varphi_{\max}}$, где φ_{\max} – наибольшая величина перемещения. В случае линейных перемещений все расчетные выражения аналогичны, поэтому в дальнейшем рассматриваются только угловые перемещения.

При выборе импульсного датчика по числу N импульсов на оборот следует обеспечить выполнение условия

$$\Delta\varphi = \frac{2\pi}{N} \leq k\Delta\varphi_D. \quad (1)$$

Здесь множитель $k = 0,1-0,5$ необходим в качестве коэффициента запаса для учета других возможных в системе источников погрешности. Относительная погрешность определяется выражением $\delta = \frac{\Delta\varphi}{\varphi_{\max}}$, а ее допустимое значение $\delta_D = \frac{\Delta\varphi_D}{\varphi_{\max}}$. При определении количества разрядов k регистра, в котором предполагается сохранять двоичный код положения, следует учитывать допустимую относительную погрешность

$$2^{k-1} - 1 > \frac{1}{\delta_D}. \quad (2)$$

Импульсный датчик вырабатывает две последовательности импульсов, сдвинутые друг относительно друга на четверть периода. Появлению импульса соответствует поворот на угол $\Delta\varphi$.

Для считывания сигналов с выхода датчика требуются два бита во входном порту микроконтроллера. Наличие двух сигналов позволяет определить как величину, так и знак углового перемещения. Двоичный код x_φ угла поворота формируется в специально отведенном для этого регистре, который должен инкрементироваться при поступлении каждого импульса, если вращение направлено вперед, и декрементироваться при вращении назад. Величина положения, измеренная импульсным датчиком, представлена в микроконтроллере в масштабе

$$x_\varphi = m_\varphi\varphi. \quad (3)$$

Здесь применен масштабный коэффициент $m_\varphi = \frac{1}{\Delta\varphi} = \frac{N}{2\pi}$. В частности:

$$x_{\varphi_{\max}} = m_\varphi\varphi_{\max}.$$

Учитывая (1), получим выражение для относительной погрешности $\delta = \frac{2\pi}{N\varphi_{\max}}$. По этой величине определяется количество разрядов k в слове данных, необходимое для хранения величины перемещения, из выражения

$$2^{k-1} - 1 \geq \frac{N\varphi_{\max}}{2\pi}. \quad (4)$$

Пример. Обеспечить позиционирование с допустимой абсолютной погрешностью $\Delta\varphi_D = 0,05$ рад при максимальном угле поворота $\varphi_{\max} = \pi$.

Расчет числа импульсов датчика на один оборот выполняется по формуле $N \geq \frac{2\pi}{0,5\Delta\varphi} = \frac{4\pi}{\Delta\varphi} = \frac{4\pi}{0,05} = 80\pi$. Примем $N = 250$. Тогда $2^{k-1} - 1 \geq \frac{250}{2}$

$2^{k-1} - 1 \geq \frac{250\pi}{2\pi} = 125$. Принимаем ближайшее большее значение $2^{k-1} - 1 = 127$; $k = 8$. Таким образом, в данном случае можно применить восьмиразрядный контроллер.

Импульсный датчик позволяет измерить не только положение, но и скорость, так как значение скорости можно получить путем дифференцирования значения положения по времени. Расчет выполняется микроконтроллером на основании замены операции дифференцирования делением

$$x_\omega \approx m_\omega \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}.$$

Здесь x_ω – двоичная переменная, пропорциональная угловой скорости ω ; m_ω – масштабный коэффициент,

$$m_\omega = \frac{m_\varphi}{m_t} = m_0 \frac{N}{2\pi f_0},$$

где $m_t = f_0$ – масштаб представления времени, определяемый частотой f_0 таймера.

Контроллер должен рассчитать величину скорости в масштабе в соответствии с выражением

$$x_\omega = m_0 \frac{\Delta x_\varphi}{\Delta x_t} = m_\omega \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = m_\omega \omega, \quad (5)$$

где Δx_φ – изменение углового положения за интервал времени Δt между измерениями.

От масштаба представления скорости в двоичном коде зависит погрешность квантования, а значит, и достижимая точность стабилизации скорости. Выражение для допустимой относительной погрешности δ_D величины скорости, выраженной через статизм S_x и диапазон $D = \frac{\omega_{\max}}{\omega_{\min}}$ регулирования скорости, имеет вид

$$\delta_D = \frac{\Delta\omega_D}{\omega_{\max}} \approx \frac{S_x}{D}. \quad (6)$$

Количество разрядов k регистра, в который записывается двоичный код x_ω скорости для реверсивной системы электропривода, должно удовлетворять выражению

$$x_{\omega_{\max}} = 2^{\kappa-1} - 1 = \frac{1}{\delta} \geq \frac{1}{k\delta_D} = \frac{D}{kS_x}. \quad (7)$$

Здесь $k = 0,1-0,5$ – коэффициент запаса; $\delta = \frac{1}{2^{\kappa-1} - 1}$ – относительная погрешность квантования, создаваемая фактически при числе разрядов κ .

В случае нереверсивной системы имеем

$$2^{\kappa-1} - 1 = \frac{1}{\delta} \geq \frac{1}{k\delta} = \frac{D}{kS_x}.$$

Кроме того, следует учитывать, что относительная погрешность двоичного представления скорости складывается в соответствии с (5) из погрешностей $\delta_\varphi = \frac{\Delta\varphi}{\varphi_{\max}}$; $\delta_t = \frac{\Delta t}{t_{\max}}$ измерения положения $\Delta\varphi$ и времени Δt

$$\delta = \delta_\varphi + \delta_t.$$

Интервал времени $\Delta t = \frac{N_0}{f_0}$ вызывает запаздывание в контуре управления скоростью, что снижает запас устойчивости и может отрицательно повлиять на динамические свойства системы. Если требуемая частота среза ω_C задана, то допустимое по быстродействию время считывания информации определяется условием достаточной малости величины $\Delta\gamma_{\text{доп}}$ снижения запаса устойчивости по фазе. Учитывая выражение $\Delta t\omega_C \leq \Delta\gamma_D$, получим

$$\Delta t = \frac{\Delta\gamma_D}{\omega_C}. \quad (8)$$

Можно определить масштаб m_ω по условиям обеспечения заданной точности стабилизации скорости

$$m_\omega = k_{OC} = \frac{x_{\omega_{\max}}}{\omega_{\max}} = m_0 \frac{N}{2\pi f_0}. \quad (9)$$

Для вычисления угловой скорости применяют один из двух способов. В первом случае используется постоянный интервал времени $\Delta t = \text{const}$, задаваемый таймером, тогда $\delta_t = 0$. Количество импульсов от датчика за это время измеряется таймером-счетчиком. Второй способ основан на измерении переменного интервала времени, за который происходит перемещение на постоянный угол $\Delta\varphi = \text{const}$, и тогда $\delta_\varphi = 0$.

Рассмотрим первый способ, при котором применяют два таймера-счетчика. Первый таймер, обозначим его T_0 , формирует постоянный интервал времени

$$\Delta t = \frac{\Delta x_t}{f_0}.$$

Здесь Δx_t – целое число, записываемое в таймер T_0 , это выраженная двоичным кодом длительность интервала; f_0 – тактовая частота таймера,

$$\Delta x_t = m_t \Delta t.$$

Здесь $m_t = f_0$ – масштабный коэффициент. Величина $\Delta x_\phi = m_\phi \Delta \phi$ численно равна количеству импульсов за время Δt , подсчитанное таймером-счетчиком T_1 , на вход которого поступает сигнал датчика. Контроллер должен рассчитать величину скорости в масштабе в соответствии с выражением (5), но если принять $\frac{m_0}{\Delta x_t} = \text{const}$, то операция деления не требуется, и в этом случае угол поворота является мерой скорости. Здесь m_0 – постоянный коэффициент, согласующий масштабы представления переменных.

Для проектирования системы необходимо знание параметров m_0 , f_0 , N . Их расчет можно выполнить по приведенным формулам на основании заданных частоты среза ω_c , допустимого снижения запаса устойчивости $\Delta \gamma_{\text{доп}}$, диапазона регулирования скорости и статизма D , S_x в следующем порядке.

Вначале рассчитывается необходимое для двоичного представления x_ω скорости количество разрядов k по выражению (7). Затем определяется m_ω по формуле (9) и в соответствии с (8) рассчитывается допустимое значение Δt . Отсюда определяются значения $\frac{\Delta x_t}{f_0}$ и N по формулам:

$$\frac{\Delta x_t}{f_0} = \Delta t_{\text{доп}}; \quad N \geq \frac{2\pi m_\omega f_0}{\Delta x_t}. \quad (10)$$

Пример. Требуется обеспечить диапазон регулирования скорости $D = 100$; $\omega_{\min} = 3,14 \text{ с}^{-1}$; $\omega_{\max} = 314 \text{ с}^{-1}$ при статизме $S_x = 0,05$ и частоте среза $\omega_c = 100 \text{ с}^{-1}$ контура скорости.

Определим допустимую относительную погрешность $\delta_D \approx \frac{S_x}{D} = 0,5 \cdot 10^{-3}$. Значению максимальной скорости будет соответствовать двоичный код $x_{\omega_{\max}} = \frac{1}{\delta} \geq \frac{D}{k S_x} = 4000$, если коэффициент запаса $k = 0,5$, то масштабный коэффициент $m_\omega = \frac{1}{k \delta \omega_{\max}} = 1 : (0,5 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \cdot 314) \approx 127$. Таким образом, для представления величины $x_{\omega_{\max}}$ требуется $k = 12$ нереверсивного привода, а в случае реверсивного управления $k \geq 13$. По условию быстродействия $\frac{\Delta x_t}{f_0} = \Delta t_{\text{доп}} = \frac{\Delta \gamma_{\text{доп}}}{\omega_c} = 0,05 : 100 = 0,0005 \text{ с}^{-1}$.

Из (10) получим $N \geq \frac{2\pi m_\omega f_0}{\Delta x_t} = 6,28 \cdot 12,7 : 0,0005 \approx 160000$ При $f_0 = 10^6$

в соответствии с требуемым быстродействием должно быть $\Delta x_t = 0,0005 f_0 \cdot 500$
 $x_t = 0,0005 f_0 = 500$.

Если не представляется возможным применить датчик с $N = 16 \cdot 10^4$, то следует выбрать второй способ измерения скорости.

Второй способ измерения скорости предполагает постоянное значение $\Delta\varphi = \frac{2\pi}{N} = \text{const}$. Интервал времени Δt между импульсами датчика измеряется таймером с тактовой частотой f_0 . Значение скорости рассчитывается в программе управления на основании выражения (5), которое при $\Delta x_\varphi = 1$ принимает вид

$$x_\omega = \frac{m_0}{\Delta x_t}. \quad (11)$$

Здесь $\Delta x_t = f_0 \Delta t$ – содержимое счетчика таймера, пропорциональное интервалу времени; Δt – переменный интервал времени, по значению которого можно судить о скорости; f_0 – тактовая частота таймера.

Из (9) получим

$$m_0 = \frac{m_\omega 2\pi f_0}{N}. \quad (12)$$

Наибольшее значение двоичного кода скорости определим по приближенному выражению (7). Из (9) можно рассчитать масштаб $m_\omega = k_{OC}$, равный коэффициенту обратной связи, затем из (8) – N и тактовую частоту. При скорости ω_{\min} получается наибольший интервал времени между сигналами импульсного датчика

$$\Delta t = \frac{\Delta\varphi}{\omega_{\min}} = \frac{2\pi}{N\omega_{\min}} = \frac{2\pi D}{N\omega_{\max}}.$$

Он должен удовлетворять условию (8), из которого получим

$$\frac{2\pi D}{N\omega_{\max}} \leq \frac{\Delta\gamma_{\text{доп}}}{\omega_C}.$$

Это накладывает ограничение на выбор числа N импульсов на оборот датчика

$$N \geq \frac{2\pi D \omega_C}{\Delta\gamma_{\text{доп}} \omega_{\max}}. \quad (13)$$

Последовательность расчета параметров рассмотрим на примере.

Пример. Обеспечить регулирование скорости в диапазоне: $\omega_{\min} = 3,14 \text{ с}^{-1}$, $\omega_{\max} = 314 \text{ с}^{-1}$
 ($\omega_{\min} = 3,14 \text{ с}^{-1}$, $\omega_{\max} = 314 \text{ с}^{-1}$), $D = 100$ при статизме характеристики $S_x = 0,05$ и значении частоты среза в контуре регулирования скорости $\omega_C = 100 \text{ с}^{-1}$.

Определим допустимую относительную погрешность измерения скорости по приближенному выражению $\delta \leq \frac{k S_x}{D} = 0,05 \cdot 0,05 : 100 = 0,25 \cdot 10^{-3}$.

Если $k = 0,5$, то $x_{\omega_{\max}} = \frac{1}{8} = 4 \cdot 10^3$. Таким образом, для хранения величины $x_{\omega_{\max}}$ требуется количество двоичных разрядов $\kappa = 12$. Отсюда рассчитываем $m_{\omega} = k_{OC} = \frac{x_{\omega_{\max}}}{\omega_{\max}} \approx 12,7$. Из выражения (13) находим $N \geq \frac{2\pi}{\omega_{\min} \Delta t_D} = 6,28 : (3,14 \cdot 0,0005) = 4000$

$$N_{\min} \frac{2}{t_D} = 6,28 : (3,14 \cdot 0,0005) = 4000, \text{ при } N = 4000 \text{ получим } f_0 \geq \frac{N\omega_{\max}}{2\pi} = 2 \cdot 10^5 \text{ Гц.}$$

ВЫВОДЫ

Применение импульсного датчика совместно с микроконтроллером требует согласованного выбора числа разрядов выходной величины, тактовой частоты и точности датчика, определяемой числом импульсов на оборот датчика.

Целесообразность применения способа контроля скорости при $\Delta t = \text{const}$ либо при $\Delta \varphi = \text{const}$ зависит от располагаемого диапазона частот тактовых импульсов в сравнении с возможными частотами импульсов от датчика при требуемых скоростях. Поэтому при высоких скоростях возможно применение первого способа, а при снижении скорости – переход ко второму способу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Файнштейн, В. Г. Микропроцессорные системы управления тиристорными электроприводами / В. Г. Файнштейн, Э. Г. Файнштейн; под ред. О. В. Слежановского. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 240 с.

Представлена кафедрой электропривода
и автоматизации промышленных установок
и технологических комплексов

Поступила 5.05.2006

УДК 621.313.333

УЧЕТ МЕХАНИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБОБЩЕННОГО ПРИВОДА В АЛГОРИТМЕ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩЕГО САМОЗАПУСКА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Канд. техн. наук, доц. КУРГАНОВ В. В., канд. техн. наук КРЫШНЕВ Ю. В.,
канд. техн. наук, доц. **ВЕРИГА Б. А.**

Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого

Согласно статистическим данным в среднем каждый потребитель в смешанных воздушно-кабельных электрических сетях напряжением 6–10 кВ, имеющих устройства автоматического включения резервного питания (АВР) на всех распределительных подстанциях, в год испытывает