

Занятие 4

Исследование качества управления микропроцессорной системой силовым электроприводом

1. Цель занятия

Исследование качественных показателей управления микропроцессорной системой (МПС) тиристорным преобразователем (ТП) с силовым электроприводом (ЭП).

2. Основные сведения о силовом электроприводе и системах управления

Структурная и эквивалентная структурная схемы комплекса МП-системы, тиристорного преобразователя и электропривода приведены на рис. 6, а, б.

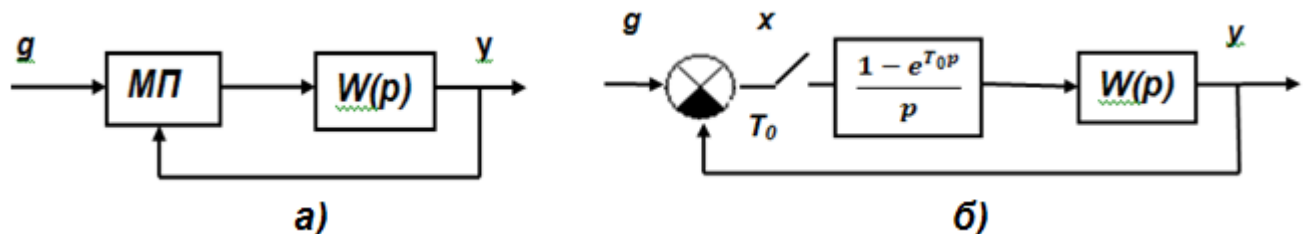


Рис. 6. Исходная структурная (а)
и эквивалентная структурная (б) схемы комплекса

Передаточная функция $W(p)$ непрерывной части системы разомкнутого контура регулирования модели тиристорного преобразователя с ЭП в режиме непрерывного тока, как показано выше, имеет вид

$$W(p) = \frac{k_n k_{\partial m} (T_2 p + 1)}{R_{\Sigma} T_u p (T_2 p + 1) (T_{\partial m} p + 1)}. \quad (1)$$

Показано, что в практических схемах контура регулирования можно принять $T_2 \cong T_3$. Следовательно, выражение для передаточной функции $W(p)$ непрерывной части системы разомкнутого контура принимает вид

$$W(p) \cong \frac{K}{p(T_1 p + 1)}, \quad (2)$$

где $K = \frac{k_n k_{\partial m}}{R_{\Sigma} T_u}$; $T_1 = T_{\partial m}$.

Для математического описания преобразования непрерывного сигнала $x(t)$ в дискретный $x^*(t)$ принимают модель в виде

$$x^*(t) = x(t) \sum_{n=0}^{\infty} \delta(t - nT_0) \quad (3)$$

Сигнал $x^*(t)$ называют мгновенными импульсами, которые представляют собой последовательность δ — функций.



В случае преобразования каждого мгновенного импульса $u^*(t)$ в прямоугольный импульс длительностью T_0 применяют формирующий элемент, передаточная функция которого имеет вид

$$W_z(p) = (1 - \exp(-pT_0))/p. \quad (4)$$

Представление цифровой части системы в виде дискретизатора, цифрового фильтра и формирующего элемента позволяет использовать для анализа и синтеза, цифровых систем математический аппарат дискретных систем.

Для определения Z —преобразования последовательности мгновенных импульсов $x^*(t)$ вычислим их преобразование Лапласа

$$X(p) = \int_0^\infty x^*(t) e^{-pt} dt = \sum_{n=0}^\infty x(nT_0) e^{-pnT_0}, \quad (5)$$

где $x(nT_0)$ — дискретная функция.

Введем обозначение $e^{pT} = z$. Тогда выражение (5) принимает вид

$$X(z) = \sum_{n=0}^\infty x(nT_0) z^{-n} = Z[x(t)]. \quad (6)$$

Функцию $X(z)$ называют Z —преобразованием сигнала $x(t)$.

Вначале определим передаточную функцию разомкнутой системы, которая представлена передаточной функцией непрерывной части (2).

Поскольку переходная функция $h(t)$ является преобразованием Лапласа передаточной функцией непрерывной части $W(p)$, деленной на p , т. е.

$$h(t) = L^{-1} \left\{ \frac{W(p)}{p} \right\}, \quad (7)$$

то дискретная передаточная функция последовательно включенных формирующего элемента и передаточной функцией непрерывной части $W(p)$, деленной на p , определяется выражением

$$W(z) = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{W(p)}{p} \right\}. \quad (8)$$

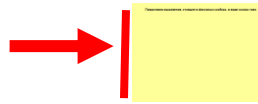
Тогда $W(z)$ определяется следующим выражением

$$W(z) = \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{K}{p^2(1+T_1 p)} \right\} = K \frac{z-1}{z} Z \left\{ \frac{-T_1}{p} + \frac{1}{p^2} + \frac{T_1}{p + \frac{1}{T_1}} \right\}. \quad (9)$$

Задание 4-1

Докажите справедливость выражения (9), используя метод разложения дроби на простые множители.

Подсказка1



Z —преобразование каждого слагаемого в правой части выражения (9) определяем по таблице Z —преобразования (см. Приложение).

В результате получаем

$$W(z) = K \frac{z-1}{z} \left[\frac{-T_1 z}{z-1} + \frac{T_0 z}{(z-1)^2} + \frac{z T_1}{z-d} \right], \quad (10)$$

$$d = e^{-T_0/T_1} = e^{-0,0033/0,002} = 0,19.$$

После преобразований (10) получаем

$$W(z) = K T_0 \frac{\left[z - d - \frac{T_1}{T_0} (1-d)(z-1) \right]}{(z-1)(z-d)}. \quad (11)$$

Задание 4-2

Докажите, что из выражения (10) следует выражение (11).

Из эквивалентной структурной схемы комплекса 6, б следует выражение для замкнутой системы в виде (см. на слайдах встречно-параллельное соединение звеньев).

$$\Phi(z) = \frac{W(z)}{1+W(z)}. \quad (12)$$

Задание 4-3

Определить передаточные функции разомкнутой системы $W(z)$ и замкнутой системы $\Phi(z)$ комплекса: управляющая МПС, тиристорный преобразователь, электропривод.

При вычислениях допускаем, во-первых, отсутствие запаздывания управления в микропроцессорной системе. Во-вторых, пренебрегаем влиянием квантования по уровню.

Данные допущения оправданы тем, что период дискретности в тиристорном преобразователе $T_0 \leq 0,0033$ с, и число уровней квантования при аналого-цифровом преобразовании превышает 2^{12} , что позволяет допускать линейность его характеристики.

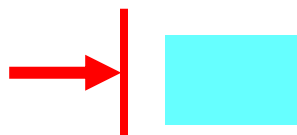
Численные значения коэффициентов для расчётов передаточных функций выбирать по последней цифре шифра a (при $a=0$ принимать, $a=10$).

Общий коэффициент усиления $K=10a$ с⁻¹;

Постоянная времени $T_1=0,002a$ с;

Период дискретности $T_0=0,0033$ с.

Пример расчёта передаточных функций разомкнутой $W(z)$ и замкнутой $\Phi(z)$ систем.



В видеоролике показаны осциллограммы единичного скачка и переходного процесса в системе тиристорного преобразователя и электропривода, управляемого МП-системой.



В переходном процессе на осциллограммах и рис. 7 наблюдается устойчивость работы комплекса: управляющей МП-системы, тиристорного преобразователя и электропривода.

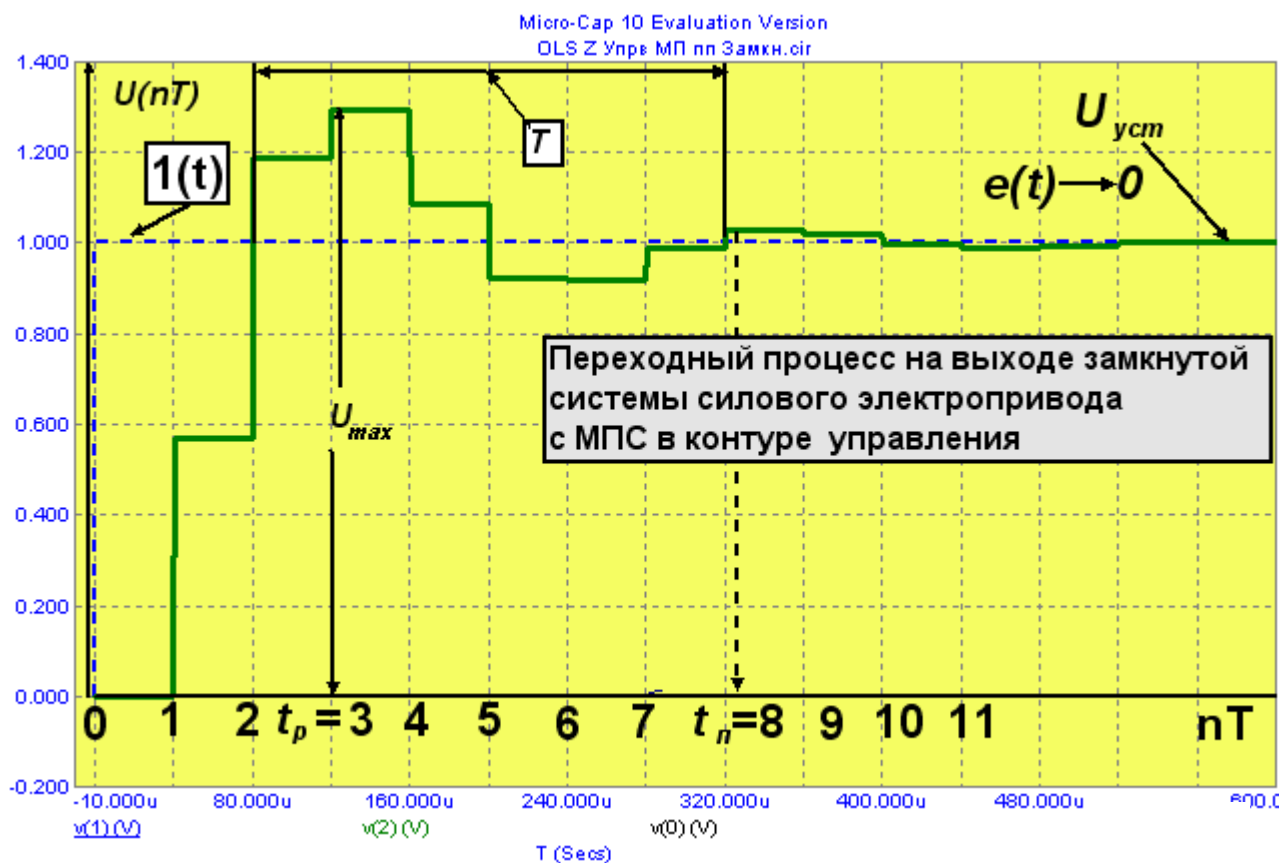


Рис. 7

Кроме устойчивости комплекс в переходном процессе оцениваются по другим качественным показателям. К ним относятся:

1) длительность переходного процесса t_n , равная интервалу времени с момента подачи сигнала до момента времени, когда выходной сигнал не будет отличаться от его установившегося значения не более чем на 5%; в данном случае $t_n = 320 \text{ мкс}$ ($n = 8$);



2) перерегулирование γ , равное отношению максимального значения выходного сигнала в переходном процессе к установившемуся значению:

$$\gamma = \frac{U_{max}}{U_{уст}} \cong 1.3;$$



3) Время установления первого максимума выходного сигнала $t_p = 120 \text{ мкс}$, характеризующее скорость изменения выходного сигнала в переходном процессе;

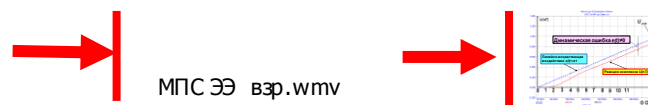


4) частота колебаний в переходном процессе $\omega_m = \frac{2\pi}{T}$, где T -период колебаний; в данном случае $T=240 \text{ мкс}$, $f_m = 4166,7 \text{ Гц}$.



Динамическая ошибка работы комплекса оценивается при управляющем воздействии вида

$$x(t) = \sum_{i=0}^k \alpha_i t^i.$$



Частотные показатели качества работы комплекса определяются при гармоническом входном сигнале.

Качество работы комплекса относительно случайных сигналов и помех характеризуется суммарной средней квадратической ошибкой.

3. Порядок выполнения занятия

1. Войти в директорию «МС10 DEMO», и выполнить команду Open, либо щелкнуть соответствующую пиктограмму.

2. В появившемся окне выбрать файл «ОЛС Уп МП пп Замкн», открыть схему (рис. 8). Редактировать, в соответствии с рассчитанной в задании 4-3 передаточной функцией замкнутой системы $\Phi(z)$, коэффициенты в директиве «.DEFINE ZFILTER (.17*Z+.1)/(Z^2-1.02*Z+.29)» (выделена на схеме).

.DEFINE ZFILTER (.17*Z+.1)/(Z^2-1.02*Z+.29)

AC 1 Pulse 0 1 0 0 0 .6M .6M

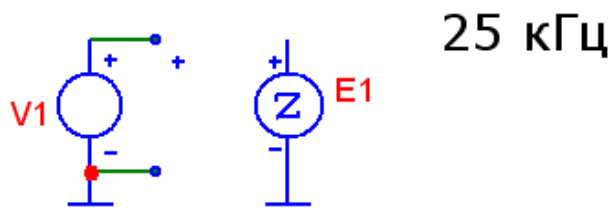


Рис. 8

3. Получить переходную характеристику замкнутой системы: управляющей МП-системы, тиристорного преобразователя и электропривода (см. ниже видеоролик).



Кроме оценки устойчивости полученной замкнутой системы $\Phi(z)$, следует оценить её по другим качественным показателям.

Сделать выводы.

4) Выбрать файл «ОЛС Уп МП взр Замкн», открыть схему. Редактировать, в соответствии с рассчитанной в задании 4-3 передаточной функцией замкнутой системы $\Phi(z)$, коэффициенты в директиве «.DEFINE ZFILTER (.17*Z+.1)/(Z^2-1.02*Z+.29)».

Получить динамическую характеристику замкнутой системы (см. ниже видеоролик).



Оценить динамическую ошибку при линейно-возрастающем воздействии.

Сделать выводы.

5) Выбрать файл «ОЛС Уп МП ипп Замк», открыть схему. Редактировать, в соответствии с рассчитанной в задании 4-3 передаточной функцией замкнутой системы $\Phi(z)$, коэффициенты в директиве «.DEFINE ZFILTER (.17*Z+.1)/(Z^2-1.02*Z+.29)».

Получить импульсную переходную характеристику замкнутой системы: управляющей МП-системы, тиристорного преобразователя и электропривода (см. видеоролик).



Сделать выводы.

4. Отчёт по работе

(Выполняется в электронной форме)

Литература

1. Перельмутер В. М., Сидоренко В. А. Системы управления тиристорными электроприводами постоянного тока.—М.: Энергоатомиздат, 1988.—304 с.
2. Коновалов Г. Ф. Радиоавтоматика/учеб. вузов.—М.: Высшая школа, 1990.—336 с.

Приложение

Изображения часто встречающихся функций времени

$X(t)$	$X(p)$	$X(nT)$	$X(z)$
$\delta(t)$	1	$\delta(nT)$	1
$\delta(t - kT)$	e^{-kTp}	$\delta(nT - kT)$	z^{-k}
$1(t)$	$\frac{1}{p}$	$1(nT)$	$\frac{z}{z-1}$
t	$\frac{1}{p^2}$	nT	$\frac{T^2}{(z-1)^2}$
$\frac{t^2}{2}$	$\frac{1}{p^3}$	$\frac{(nT)^2}{2}$	$\frac{T^2}{2} \times \frac{z(z+1)}{(z-1)^2}$

$e^{-\alpha t}$	$\frac{1}{p+\alpha}$	$e^{-\alpha nT}$	$\frac{z}{z-e^{-\alpha T}}$
$e^{\alpha t}$	$\frac{1}{p-\alpha}$	$e^{\alpha nT}$	$\frac{z}{z-e^{\alpha T}}$
$1-e^{-\alpha t}$	$\frac{\alpha}{p(p+\alpha)}$	$1-e^{-\alpha nT}$	$\frac{(1-e^{-\alpha T})z}{(z-1)(z-e^{-\alpha T})}$