

УДК 621.314.52

Д.В. Осипов (асп. каф. ЭТиПЭМС, СПбГИТМО (ТУ)),
 В.А. Толмачев (к.т.н., доц. каф. ЭТиПЭМС, СПбГИТМО (ТУ))

К АНАЛИЗУ УСТОЙЧИВОСТИ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКА ТОКА С ТРАНЗИСТОРНЫМ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

В данной работе рассматривается цифровая система управления (СУ) источника тока, построенная на основе транзисторного широтно-импульсного преобразователя (ШИП). Структурная схема и временные диаграммы работы СУ представлены на рис. 1.

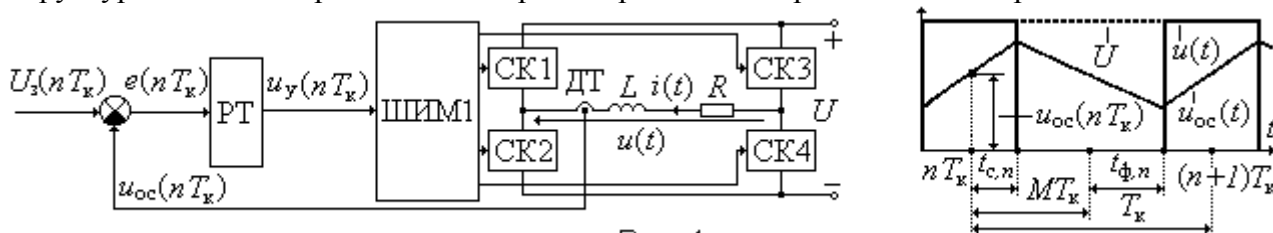


Рис. 1

СУ содержит цифровой пропорционально-интегральный регулятор тока (РТ) с коэффициентами передачи пропорционального K_{II} и интегрального K_{II} каналов и ШИП с широтно-импульсным модулятором первого рода (ШИМ1) и силовым каскадом мостового типа на четырех транзисторных силовых ключах (СК1 – СК4) с напряжением питания U . В выходную диагональ моста включен сглаживающий дроссель с индуктивностью L , резистивный элемент с сопротивлением R , учитывающий сопротивление нагрузки, сопротивление обмотки дросселя и внутреннее сопротивление источника питания силового каскада, и безынерционный датчик тока (ДТ) с коэффициентом передачи $K_{ДТ}$. РТ преобразует сигнал ошибки

$$e(nT_k) = U_3(nT_k) - u_{oc}(nT_k),$$

где $U_3(nT_k)$ – сигнал задания тока нагрузки $i(t)$, $u_{oc}(nT_k) = K_{ДТ} i(nT_k)$ – сигнал обратной связи, поступающий с ДТ, в сигнал управления $u_Y(nT_k)$ на входе ШИМ1. Последний обеспечивает несимметричный закон коммутации силовых ключей и формирует на периоде коммутации T_k паузу с длительностью, пропорциональной значению сигнала управления $u_Y(nT_k)$ в начале периода T_k . Положение паузы на периоде T_k относительно его начала задается параметром M . Далее рассматриваются случаи, когда пауза расположена в начале ($M = 0$), в середине ($M = 0.5$) или в конце ($M = 1$) периода T_k . Таким образом, выходной сигнал ШИП $u(t)$, представляет собой последовательность прямоугольных импульсов с амплитудой U , срез и фронт которых на n -ом периоде T_k формируются в моменты времени $t_{c,n}$ и $t_{\phi,n}$ соответственно.

В работе [1] приведена методика синтеза рассматриваемой СУ из условия обеспечения ее предельного быстродействия при ограниченной частоте коммутации силовых ключей. Нерешенной остается задача анализа устойчивости к автоколебаниям на субгармонических частотах, заключающаяся в определении границ областей в пространстве параметров СУ, в которых такие колебания не возникают. В докладе приводятся расчетные соотношения для определения указанных границ, полученные на основе метода точечных отображений.

$$i((n+1)T_k) = d(T_k) i(nT_k) + (1 - d(T_k) + d(T_k - t_{c,n}) - d((1-M)T_k - t_{\phi,n})) U / R; \quad (1.1)$$

$$u_{II}((n+1)T_k) = u_{II}(nT_k) + K_{II} (U_3 - K_{ДТ} i(nT_k)); u_Y(nT_k) = u_{II}(nT_k) + K_{II} (U_3 - K_{ДТ} i(nT_k)); \quad (1.2)$$

$$t_{c,n} = MT_k u_Y(nT_k) / U_{Y, \max}; t_{\phi,n} = (1-M)T_k (1 - u_Y(nT_k) / U_{Y, \max}); \quad (1.3)$$

$$d(t) = \exp(-tR/L); 0 \leq t_{c,n} \leq MT_k; 0 \leq t_{\phi,n} \leq (1-M)T_k, \quad (1.4)$$

где $U_{Y, \max}$ – максимальное значение сигнала управления $u_Y(nT_k)$ соответствующее паузе с нулевой длительностью, $u_{II}(nT_k)$ – интегральная составляющая сигнала управления $u_Y(nT_k)$.

Условие устойчивости стационарного состояния СУ состоит в выполнении двух неравенств

$$|\lambda_1| = f(\mathbf{X}_N) < 1; |\lambda_2| = g(\mathbf{X}_N) < 1, \quad (2)$$

где $\lambda_{1,2}$ – собственные числа матрицы Якоби отображения (1), представляющей собой матрицу производных

$$\mathbf{J} = \begin{bmatrix} \partial i((n+1)T_k) / \partial i(nT_k) & \partial i((n+1)T_k) / \partial u_n(nT_k) \\ \partial u_n((n+1)T_k) / \partial i(nT_k) & \partial u_n((n+1)T_k) / \partial u_n(nT_k) \end{bmatrix},$$

\mathbf{X}_N – вектор координат однократной неподвижной точки отображения (1), соответствующей стационарному состоянию СУ.

Границы областей устойчивости рассмотрены в пространстве параметров R , K_{II} и $U_3 = U_3(nT_k)$, а в качестве бифуркационного параметра принят коэффициент передачи K_{II} . Показано, что при параметрах СУ, рассчитанных по методике, приведенной в работе [1], и увеличении K_{II} в диапазоне от 0 до 4 происходит нарушение только второго из неравенств (2). Преобразуя это неравенство в равенство, получаем нелинейное уравнение, корень которого относительно K_{II} (функция root) есть граничное значение коэффициента передачи $K_{II,гр}$, при котором происходит нарушение устойчивости СУ,

$$K_{п, гр} = \text{root}(|\lambda_2| = g(\mathbf{X}_N, K_{п}) = 1). \quad (3)$$

Граничные кривые областей устойчивости СУ, рассчитанные по выражению (3), приведены на рис. 2, Области устойчивости расположены ниже соответствующих кривых. Из рис. 2 видно, что при $M = 0.5$ и любом значении R в диапазоне от 0.05 Ом до 0.3 Ом граничное значение $K_{п, гр}$ остается неизменным при изменении сигнала задания тока нагрузки U_3 в диапазоне от 0.1 В до 10 В. При $M \neq 0.5$ изменение L приводит к изменению граничного значения $K_{п, гр}$ с изменением сигнала задания тока нагрузки U_3 .

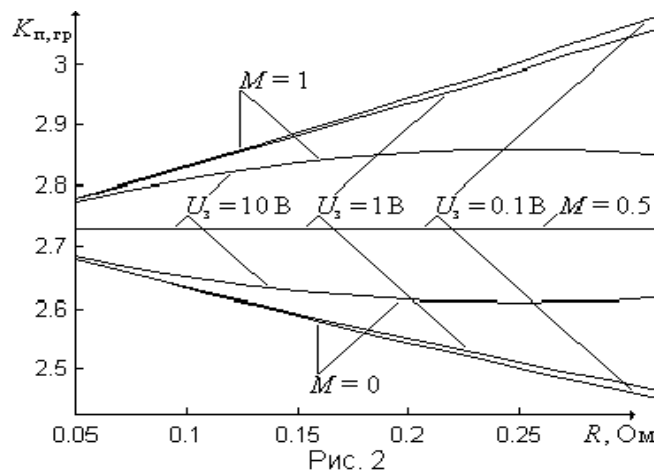


Рис. 2

Таким образом, в цифровой СУ с ШИМ1 и $M = 0.5$ выбор $K_{п} < K_{п, гр}$ гарантирует отсутствие автоколебаний на субгармонических частотах в широком диапазоне возможных изменений сопротивления нагрузки и сигнала задания тока нагрузки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гурьянов В.А., Кротенко В.В. Цифровая система управления источника тока, построенного на основе транзисторного ШИП // Научно-технический вестник СПбГИТМО (ТУ). Выпуск 3 (197). СПб.: Изд-во СПбГИТМО (ТУ), 2001. С. 120–125.