

УДК 621.314.52

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ТОКА С ТРАНЗИСТОРНЫМИ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

Объектом исследования данной работы является одноконтурная система автоматического регулирования (САР) тока нагрузки, структурная схема и временные диаграммы работы которой представлены на рис. 1. САР содержит пропорционально-интегральный регулятора тока (РТ) с коэффициентом усиления K_p и постоянной времени интегрирования $T_{и}$; широтно-импульсный модулятор (ШИМ), реализующий широтно-импульсную модуляцию второго рода (ШИМ-2) и построенный на основе генератора опорного напряжения (ГОН) и компараторов; индуктивный сглаживающий фильтр (Φ) с постоянной времени T_{ϕ} и датчик тока (ДТ) с коэффициентом передачи $K_{дт}$. РТ преобразует сигнал ошибки $e(t) = U_3 - K_{дт}i(t)$, где U_3 – сигнал задания тока нагрузки $i(t)$, в сигнал управления $u_y(t)$. ГОН формирует опорный сигнал $u_o(t)$ пилообразной формы с амплитудой U_o , периодом T_k и глубиной модуляции M ($0 \leq M \leq 1$) [1]. Выходной сигнал ШИМ $u(t)$ представляет собой последовательность прямоугольных импульсов с амплитудой U , срез и фронт которых формируются в моменты времени t_c и t_{ϕ} соответственно.

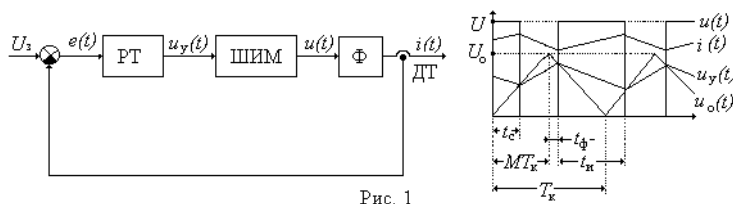


Рис. 1. Структурная схема и временные диаграммы работы система автоматического регулирования.

Предметом исследования являются особые режимы работы САР, которые могут возникнуть при некоторых значениях ее параметров. САР может работать в различных режимах. Нормальным (основным) является режим вынужденных колебаний с периодом T_k , задаваемым ГОН. Особыми являются режимы вынужденных колебаний с периодом, не равным T_k . Характерными особыми режимами для САР тока с ШИМ-2 являются скользящий режим (режим 1) и режим автоколебаний на субгармонических частотах (режим 2).

Анализ особых режимов является одним из этапов проектирования САР, позволяющий выявить диапазоны значений параметров, обеспечивающих нормальный режим ее работы. Обзор работ, посвященных анализу и синтезу САР с ШИМ-2, позволяет сделать вывод о том, что в них эти диапазоны ограничиваются условиями отсутствия либо режима 1, либо режима 2. Так, например, в работе [2] предложена методика параметрического синтеза рассматриваемой системы, заключающаяся в таком выборе значений T_{ϕ} и K_p , чтобы при заданных значениях T_k , U_3 , $M = 0.5$ и условии $T_{и} = T_{\phi}$ обеспечить требуемое быстродействие САР и максимально допустимый уровень пульсаций тока нагрузки. При этом выбор значения K_p , определяющего быстродействие САР, ограничен только условиями отсутствия режима 1, а условия отсутствия режима 2 не рассмотрены. В работе [3] выбор значения K_p ограничен только условиями отсутствия режима 2, поскольку возникновение режима 1 исключено за счет введения дополнительных узлов в ШИМ, в частности RS-триггера. Необходимо отметить, что по-

добное схемотехническое решение может быть реализовано лишь при $M = 1$ или $M = 0$. Необходимо также отметить, что САР с ШИМ-2 при $M = 0.5$ обладает лучшими динамическими характеристиками, чем при $M = 1$ или $M = 0$ [1]. Таким образом, вопрос о выборе параметров системы из условия исключения, как скользящего режима, так и режима автоколебаний на субгармонических частотах при $0 < M < 1$ является актуальным.

Задачей данной работы является определение в пространстве параметров M , K_n и U_3 областей отсутствия скользящего режима и режима автоколебаний на субгармонических частотах.

В докладе приводятся расчетные соотношения, определяющие границы существования указанных областей. Методика решения поставленной задачи для случаев $M = 1$ и $M = 0$ изложена в работе [4]. Решение этой задачи для случая $0 < M < 1$ потребовало разработки более сложной динамической модели САР с ШИМ-2, дополненной уравнением для определения момента времени t_ϕ .

Динамическая модель представляет собой нелинейное двумерное отображение вида

$$\bar{X} = f(t_c(X), t_\phi(t_c(X), X), X); \quad (1.1)$$

$$\varphi(t_c(X), X) = 0; \quad (1.2)$$

$$\psi(t_\phi(t_c(X), X), t_c(X), X) = 0, \quad (1.3)$$

где (1.1) – уравнение состояния линейной непрерывной части САР, связывающее значения координат вектора состояния X и \bar{X} в начале и в конце интервала T_k соответственно; (1.2) и (1.3) – нелинейные алгебраические уравнения для определения t_c и t_ϕ соответственно.

Значения координат простой неподвижной точки $[X_*, t_{c*}, t_{\phi*}]$ отображения, заданного уравнениями (1.1)-(1.3), соответствующей нормальному режиму, находятся в результате решения системы нелинейных алгебраических уравнений

$$f(t_{c*}, t_{\phi*}, X_*) = 0; \quad (2.1)$$

$$\varphi(t_{c*}, X_*) = 0; \quad (2.2)$$

$$\psi(t_{\phi*}, t_{c*}, X_*) = 0, \quad (2.3)$$

полученной подстановкой $\bar{X} = X = X_*$, $t_c(X_*) = t_{c*}$, $t_\phi(t_{c*}, X_*) = t_{\phi*}$ в (1.1)-(1.3).

Для отсутствия режима автоколебаний на субгармонических частотах необходимо и достаточно, чтобы все собственные числа матрицы Якоби отображения, заданного уравнениями (1.1)-(1.3), в простой неподвижной точке, определяемой по уравнениям (2.1)-(2.3), были по модулю меньше единицы.

Границы областей отсутствия скользящего режима рассчитаны исходя из условий

$$\left| \frac{du_y(t_{c*})}{dt} \right| < \left| \frac{du_o(t_{c*})}{dt} \right|, \quad \left| \frac{du_y(t_{\phi*})}{dt} \right| < \left| \frac{du_o(t_{\phi*})}{dt} \right|. \quad (3)$$

Анализ собственных чисел матрицы Якоби для рассматриваемой системы показал, что при параметрах системы, выбранных из условия отсутствия скользящего режима, все эти числа по модулю меньше единицы. Следовательно, при выборе параметров системы из условия отсутствия скользящего режима, обеспечиваются и условия отсутствия режима автоколебаний на субгармонических частотах.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Глазенко Т.А., Синицын В.А., Толмачев В.А. Сравнительный анализ динамических характеристик транзисторных широтно-импульсных преобразователей // Электротехника. 1988. № 3. С.70-75.
2. Толмачев В.А., Кротенко В.В. Параметрический синтез системы управления программируемого источника тока, построенного на основе транзисторного ШИП // Изв. вузов. Приборостроение. 1999. Т. 42, № 9. С. 49-54.
3. Белов Г.А. Полупроводниковые импульсные преобразователи постоянного напряжения: Уч. посо-

бие. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 1994. 96 с.

4. Охоткин Г.П. Динамические модели контура тока ИППН с ПИ-регулятором // Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике / Материалы III Всерос. науч.-техн. конф. Чебоксары: Изд-во Чуваш. ун-та, 2000. С. 148-153.