

# ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ АСТАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ СКОРОСТИ К ПУЛЬСАЦИЯМ НАПРЯЖЕНИЯ ТАХОГЕНЕРАТОРА

**Коцегуб П.Х., Толочко О.И., Мариничев В.Ю.**

**Донецкий национальный технический университет**

[toi@elf.dgtu.donetsk.ua](mailto:toi@elf.dgtu.donetsk.ua)

*The influence of tachogenerator voltage pulsation's to nature of armature current change in astatic slave control systems was investigated. This system provides combined control of load moment, which having been identified by state estimators. The method of pulsation amplitude reduction was offered.*

Известны астатические по возмущающему воздействию системы подчинённого регулирования (СПР) скорости двигателя постоянного тока с наблюдателями состояния (НС). Их сущность состоит в том, что в системе с пропорциональным регулятором скорости (РС) обратная связь по току заменяется связью по оценке динамического тока  $\hat{I}_c$ , или СПР дополняется положительной компаундирующей связью по оценке статического тока  $\bar{I}_c$ , заведенной на вход РС [1]. Динамические свойства таких систем превосходят свойства двукратно интегрирующих СПР, в которых тот же эффект достигается за счёт применения пропорционально-интегрального регулятора скорости (ПИ-РС).

Вариант астатической по нагрузке системы с пропорциональным РС и положительной обратной связью по восстановленному при помощи НС статическому току  $\bar{I}_c$  приведен на рис. 1.

Характеристический полином рассматриваемого наблюдателя первого порядка (назовем его НС1) со входом по току якоря и контролем по скорости имеет вид

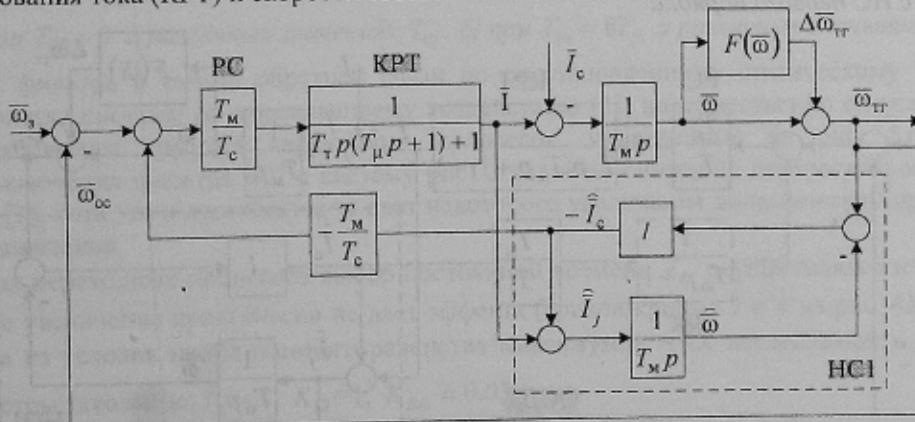
$$G_{\text{HC}1}(p) = p + \frac{l}{T_m} = p + \Omega_n, \quad (1)$$

откуда

$$l = T_m \Omega_n, \quad (2)$$

где  $\Omega_n$  – среднегеометрический корень наблюдателя.

На схеме рис. 1 использованы следующие обозначения:  $T_m$  – электромеханическая постоянная времени привода;  $T_\mu$  – постоянная времени вентильного преобразователя;  $T_t, T_c$  – постоянные времени разомкнутых контуров регулирования тока (КРТ) и скорости соответственно.



*Рисунок 1 – Структурная схема астатической по нагрузке системы регулирования скорости с пропорциональным РС и НС первого порядка*

В качестве базовых величин сигналов приняты скорость идеального холостого хода двигателя  $\omega_0$  и ток короткого замыкания  $I_{kz}$  ( $\bar{\omega} = \omega / \omega_0$ ,  $\bar{I} = I / I_{kz}$ ).

Будем считать, что в качестве датчика скорости применяется тахогенератор, который помимо полезного сигнала содержит помехи. Среди них можно выделить оборотные, полюсные, коллекторные и зубцовые пульсации, имеющие гармонический характер:

$$\Delta\bar{\omega}_{tr}(t) = \bar{\omega}(t) \cdot \sum_{i=1}^4 K_{\Delta\omega_i} \cdot \sin[\bar{\phi}(t)K_{\Omega_i}\omega_0 T_\mu], \quad (3)$$

где  $\bar{\phi}(t) = \phi(t)/\omega_0 T_\mu$  – относительный угол поворота вала двигателя,  $K_{\Omega_i}$  определяет частоту пульсаций, а  $K_{\Delta\omega_i}$  – их амплитуду.

Взаимосвязь (3) отражена на структурной схеме рис.1 звеном  $F(\bar{\omega})$ .

Для оценки чувствительности астатических СПР к влиянию пульсаций выходного напряжения тахогенератора на рис. 2 представлены графики амплитудно-частотных характеристик (АЧХ)

$$\frac{\bar{I}(\Omega)}{\Delta\bar{\omega}_{tr}(\Omega)} = A(\Omega) \quad (4)$$

для типовой астатической системы с ПИ-РС (пунктирная линия) и системы с НС, представленной на рис. 1, при разных значениях отношения среднегеометрического корня наблюдателя  $\Omega_h$  к среднегеометрическому корню системы  $\Omega_c$ , который для системы с обратной связью по собственному динамическому току с типовой настройкой ( $T_t = 2T_\mu$ ,  $T_c = 2T_t = 4T_\mu$ ) определяется из выражения

$$\Omega_{0c} = \frac{1}{\sqrt[3]{T_c T_t T_\mu}} = \frac{1}{\sqrt[3]{8T_\mu^3}} = \frac{1}{2T_\mu}. \quad (5)$$

Графики для двукратно интегрирующей СПР получены также при ее стандартной настройке (из условий симметричного оптимума).

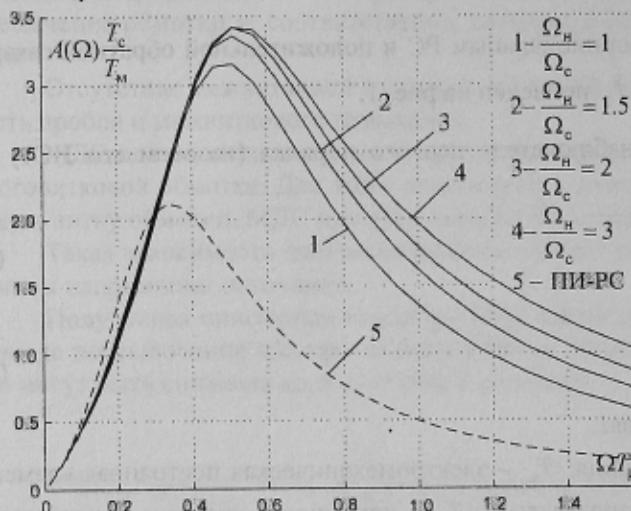


Рисунок 2 – АЧХ астатических СПР с ПИ-РС  
и с НС первого порядка

Из сравнения приведенных графиков видно, что система рис.1 усиливает средне- и высокочастотные пульсации напряжения тахогенератора в большей степени, чем типовая система с ПИ-РС.

Повышенные пульсации тока якоря двигателя могут вызвать дополнительный нагрев двигателя, пульсации электромагнитного момента и другие нежелательные явления.

Одним из способов решений поставленной проблемы является установка в канале обратной связи по скорости фильтра ФС с постоянной времени  $T_\omega$ , как это показано на рис. 3, что приводит либо к повышению перерегулирования по току либо к снижению быстродействия (при уменьшении коэффициента усиления регулятора скорости).

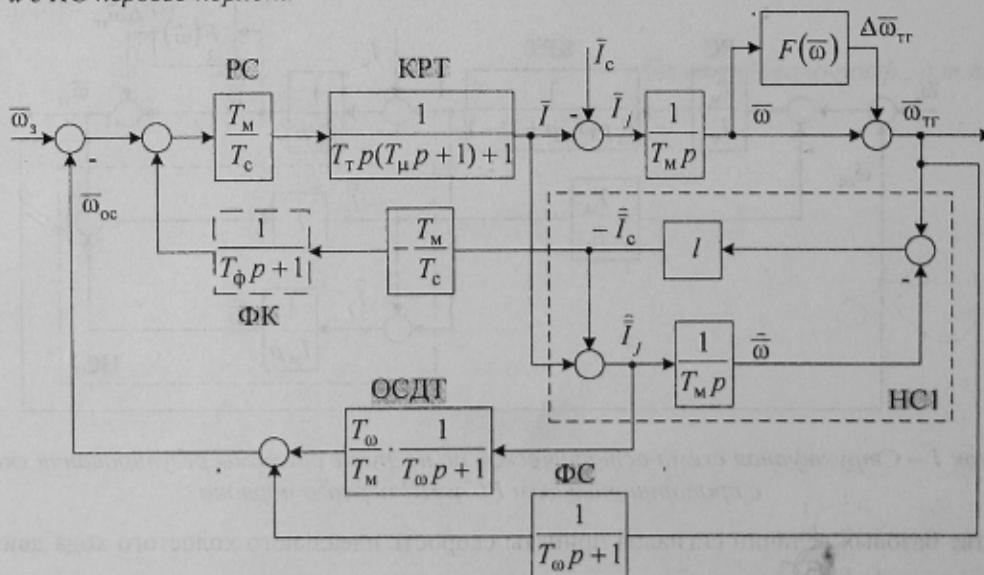


Рисунок 3 – Структурная схема астатической по нагрузке СПР с НС первого порядка с инерционными обратными связями по скорости тахогенератора и по восстановленному динамическому току

Во избежание этого обратную связь по скорости следует дополнить инерционной обратной связью по динамическому току (ОСДТ) с передаточной функцией [2]

$$W(p) = \frac{T_\omega}{T_m} \cdot \frac{1}{T_\omega p + 1} \quad (6)$$

Обратную связь по неизмеряемому динамическому току  $I_j$  можно заменить обратной связью по восстановленному динамическому току  $\tilde{I}_j$  (см. рис. 3). Однако в силу того, что к полезной составляющей идентифицируемого динамического тока  $\tilde{I}_j$  добавляется сигнал  $\Delta\bar{\omega}_{tr}l = \Delta\bar{\omega}_{tr}\Omega_{0H}T_m$ , то даже при большой величине  $T_\omega$  не удается существенно снизить пульсации тока якоря. Это подтверждается АЧХ, приведенными на рис. 4а при отношении  $\Omega_{0H}/\Omega_{0c} = 2$  для  $T_\phi = 0$  и различных значениях  $T_\omega$ .

Как показали исследования, пульсации тахогенератора в системе, приведенной на рис. 3, в наибольшей степени усиливаются каналом положительной обратной связи по восстановленному статическому току  $\tilde{I}_c$ . Для их сглаживания можно установить фильтр ФК с постоянной времени  $T_\phi$  в канал компенсации влияния статического момента.

Эффективность такого решения наглядно подтверждается АЧХ, приведенными на рис. 4б для  $T_\omega = 8T_\mu$  и различных значений  $T_\phi$ , полученные при том же соотношении среднегеометрического корня наблюдателя  $\Omega_{0H}$  к среднегеометрическому корню системы  $\Omega_{0c}$ , что и на рис. 4а.

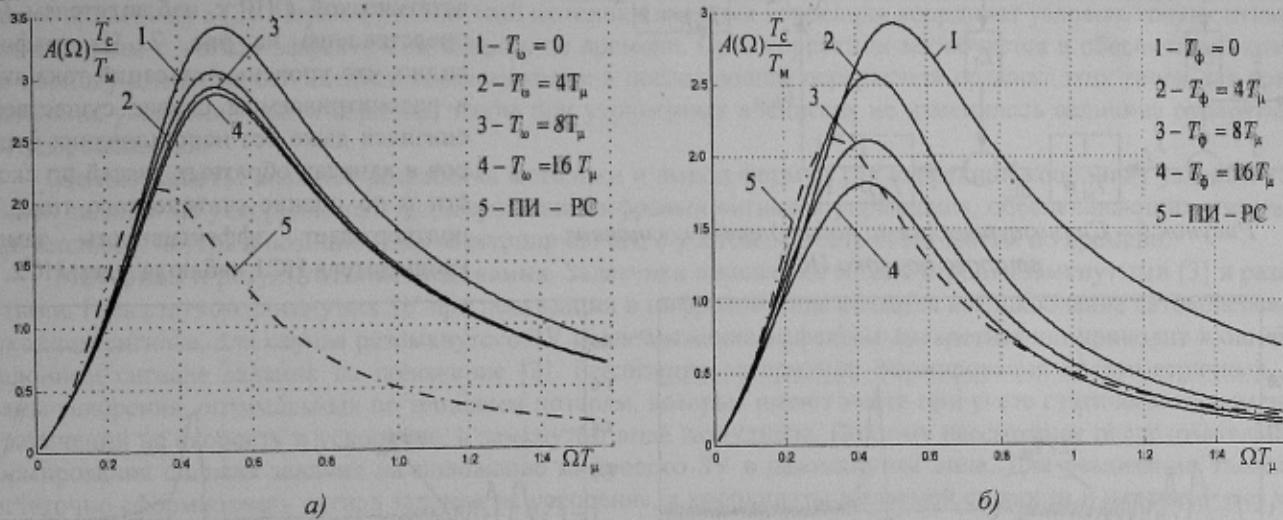


Рисунок 4 – АЧХ в системе рис. 3 при  $\Omega_{0H}/\Omega_{0c} = 2$ :

а) при  $T_\phi = 0$  и различных значениях  $T_\omega$ , б) при  $T_\omega = 8T_\mu$  и различных значениях  $T_\phi$

Включение фильтра в канале обратной связи по восстановленному статическому току не ухудшает динамические свойства системы по управляющему воздействию [1], но существенно снижает пульсации тока якоря, что подтверждают графики переходных процессов, приведенные на рис. 5. Дополнительным преимуществом включения фильтра ФК в систему рис. 3 является снижение перерегулирования по току при наборе нагрузки [3], хотя это и достигается за счет некоторого увеличения динамической просадки скорости и времени ее восстановления.

На графиках переходных процессов выбор постоянной времени  $T_\omega$  осуществлялся из тех соображений, что ее дальнейшее увеличение практически не дает эффекта (сравни кривые 3 и 4 на рис. 4а). Постоянная времени  $T_\phi$  выбрана из условия приближенного равенства максимумов АЧХ исследуемой и эталонной систем.

Остальные параметры таковы:  $\omega_0 T_\mu = 1$ ,  $K_\Omega = 1$ ,  $K_{\Delta\omega} = 0.03$ .

Уменьшить пульсации тока якоря можно заменой рассмотренного ранее наблюдателя состояния первого порядка НС1 представленным на рис. 6 наблюдателем второго порядка (НС2) с коррекцией по отфильтрованному сигналу тахогенератора. Приравнивая характеристический полином этого наблюдателя

$$G_{HC2}(p) = T_m T_\omega p^2 + T_m (L_1 + 1)p + L_2 \quad (8)$$

к желаемому характеристическому полиному второго порядка

$$G_{2ж}(p) = p^2 + \gamma_1 \Omega_n p + \Omega_n^2, \quad (9)$$

получаем выражения для его коэффициентов:

$$L_1 = T_\omega \Omega_n \gamma_1 - 1, \quad L_2 = \Omega_n^2 T_\omega T_m. \quad (10)$$

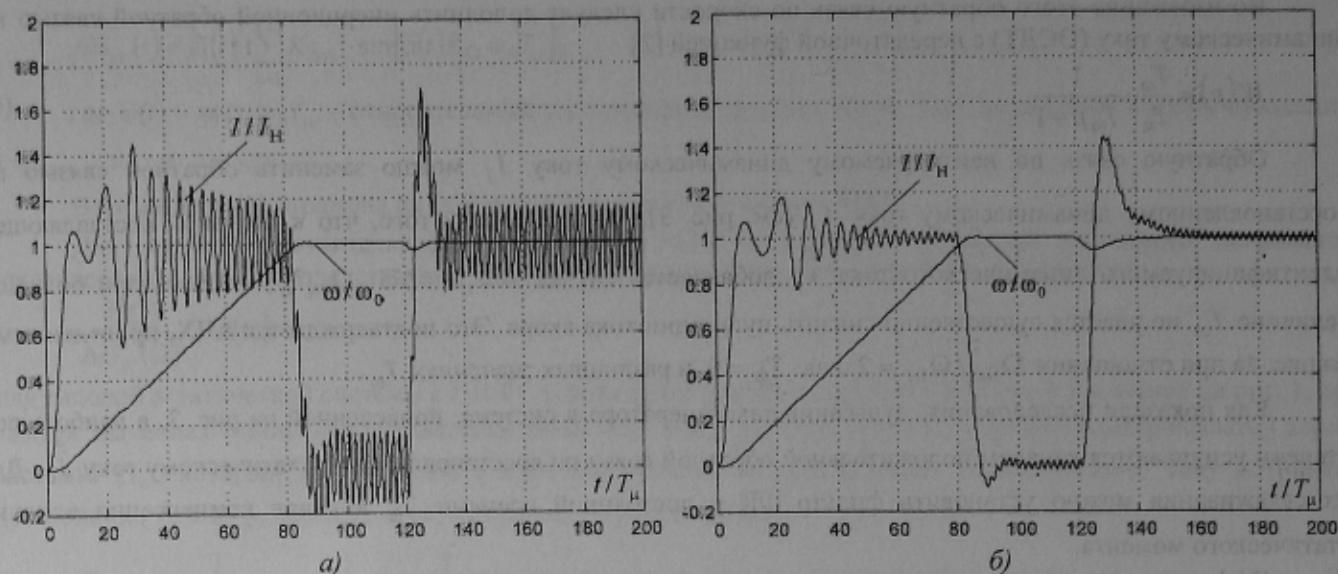


Рисунок 5 – Графики переходных процессов для системы, изображенной на рис. 3:

а)  $T_\omega = T_\phi = 0$ , б)  $T_\omega = T_\phi = 8T_\mu$

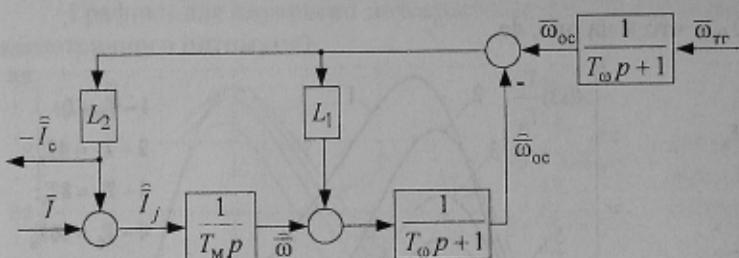


Рисунок 6 – Структурная схема наблюдателя состояния второго порядка НС2

Графики переходных процессов в астатической СПР с наблюдателем НС2 представлены на рис. 7. Из графиков видно, что уровень пульсаций тока якоря в рассматриваемом случае существенно снизился даже без использования фильтров в каналах обратных связей по скорости и по оценке статического тока, что подтверждает эффективность замены наблюдателя НС1 наблюдателем НС2.

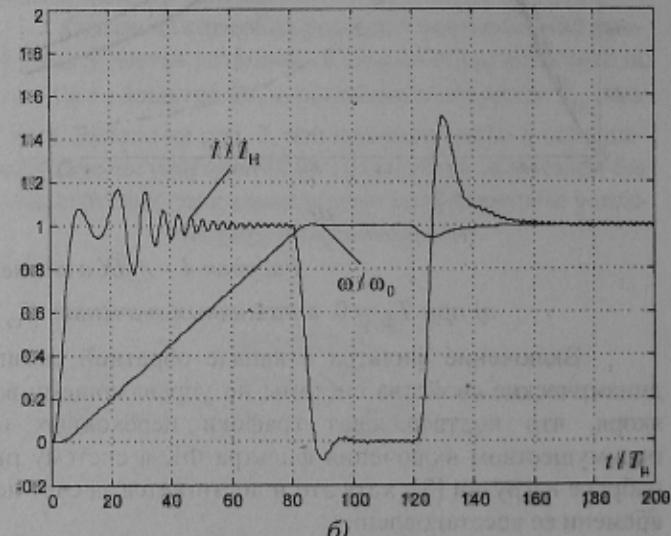
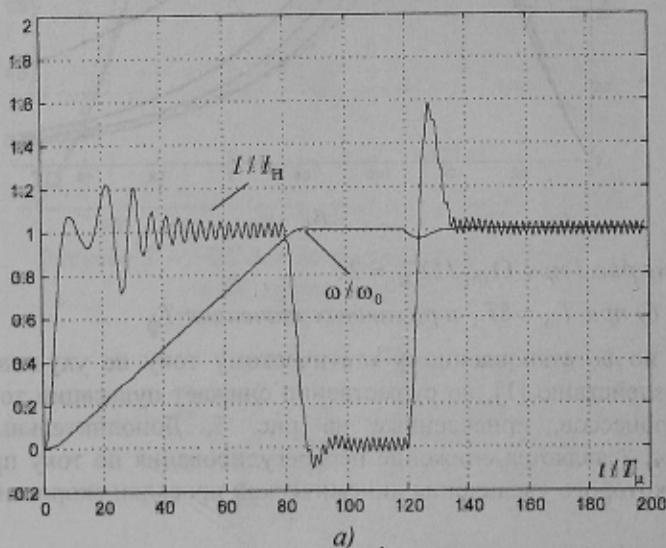


Рисунок 7 – Графики переходных процессов в системе рис. 3 с наблюдателем НС2:

а)  $T_\omega = T_\phi = 0$ , б)  $T_\omega = T_\phi = 8T_\mu$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Толочко О.И., Коцегуб П.Х., Мариничев В.Ю., Розкаряка П.И. Система подчиненного регулирования скорости с наблюдателем динамического и статического токов первого порядка // Проблемы создания новых машин и технологий. Научные труды КГПУ. - Кременчуг: КГПУ. – 2001. – Выпуск 1/2001(10). – С. 103-109.
2. Устройство для управления электроприводом постоянного тока: А.с. 936320. СССР, МКИ Н 02 Р 5/06 / П.Х. Коцегуб, А.В. Светличный, О.И. Толочко. – №2997672/24-07; Заявлено 29.10.80; Опубл. 15.06.82, Бюл. №22. – 3 с.
3. Коцегуб П.Х., Толочко О.И., Мариничев В.Ю., Розкаряка П.И. Система подчиненного регулирования с фильтром в канале компенсации идентифицированного статического момента // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчук: КДПУ. – 2004. – №3 (26). – С. 38-41.

Рекомендовано доц., к.т.н. Старостиним С.С.