



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

где  $\bar{\varphi}(t) = \varphi(t)/\omega_0 T_{\mu}$  – 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)

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

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

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

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

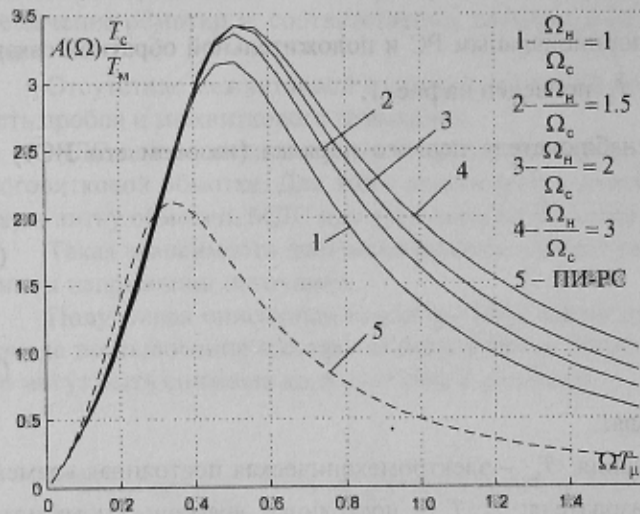


Рисунок 2 – АЧХ астатических СПР с ПИ-РС и с НС первого порядка

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).

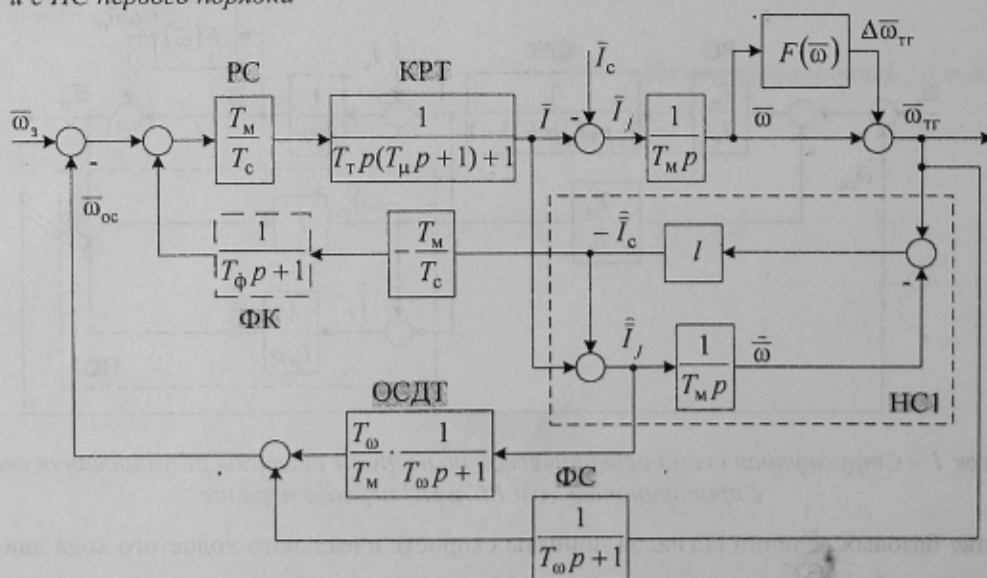


Рисунок 3 – Структурная схема астатической по нагрузке СПР с НС первого порядка с инерционными обратными связями по скорости тахогенератора и по восстановленному динамическому току

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  $\Delta\bar{\omega}_{\text{тр}} l = \Delta\bar{\omega}_{\text{тр}} \Omega_{0н} T_m$ , то даже при большой величине  $T_{\omega}$  не удаётся существенно снизить пульсации тока якоря. Это подтверждается АЧХ, приведенными на рис. 4а при отношении  $\Omega_{0н} / \Omega_{0с} = 2$  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  $T_{\omega} = 8T_m$  и различных значений  $T_{\phi}$ , полученные при том же соотношении среднегеометрического корня наблюдателя  $\Omega_{0н}$  к среднегеометрическому корню системы  $\Omega_{0с}$ , что и на рис. 4а.

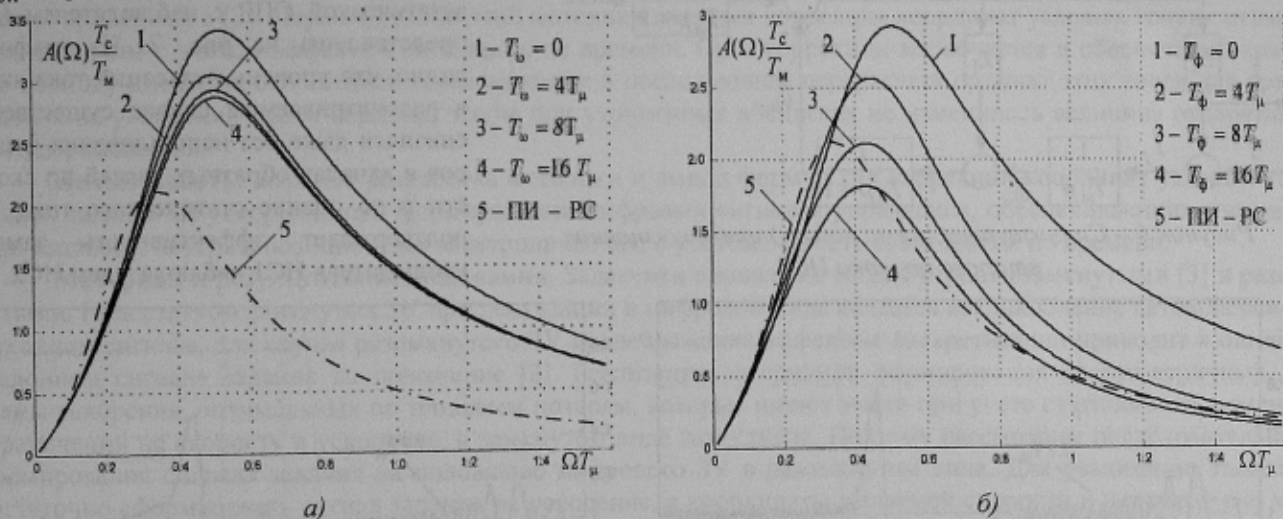


Рисунок 4 – АЧХ в системе рис. 3 при  $\Omega_{0н} / \Omega_{0с} = 2$ :

а) при  $T_{\phi} = 0$  и различных значениях  $T_{\omega}$ , б) при  $T_{\omega} = 8T_m$  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 набросе 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:  $\omega_0 T_m = 1$ ,  $K_{\Omega} = 1$ ,  $K_{\Delta\omega} = 0.03$ .

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. Приравнявая характеристический полином этого наблюдателя

$$G_{НС2}(p) = T_m T_{\omega} p^2 + T_m (L_1 + 1) p + L_2 \quad (8)$$

к желаемому характеристическому полиному второго порядка

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

получаем выражения для его коэффициентов:

$$L_1 = T_{\omega} \Omega_{н} \gamma_1 - 1, \quad L_2 = \Omega_{н}^2 T_{\omega} T_m. \quad (10)$$

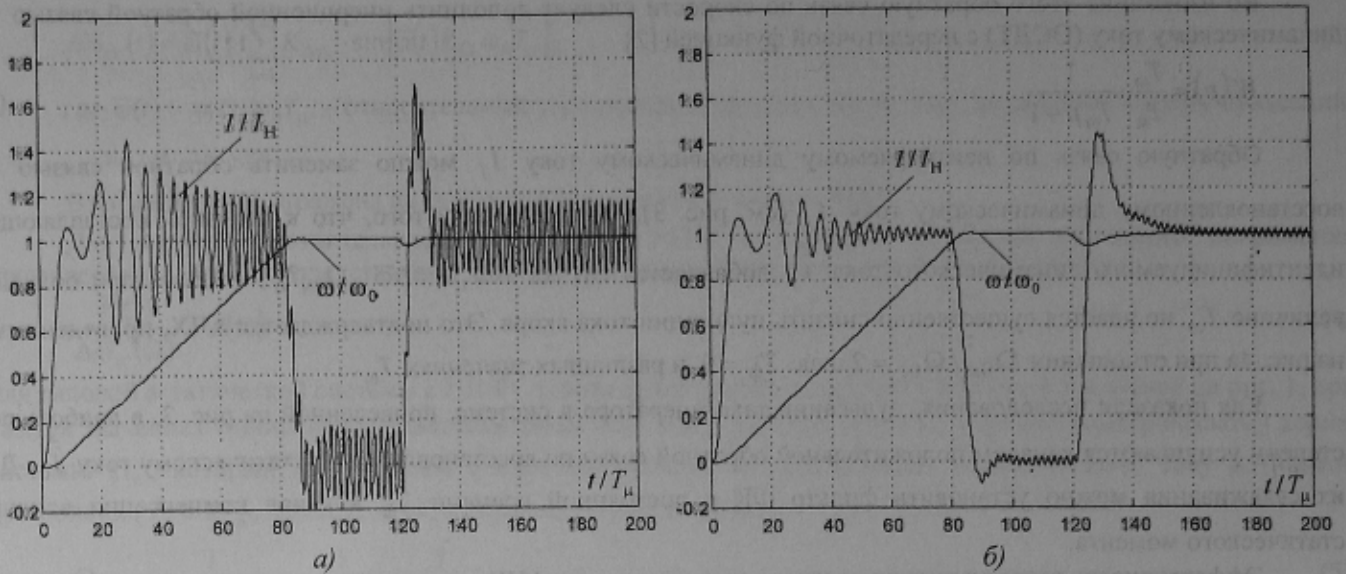


Рисунок 5 – Графики переходных процессов для системы, изображенной на рис. 3:

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

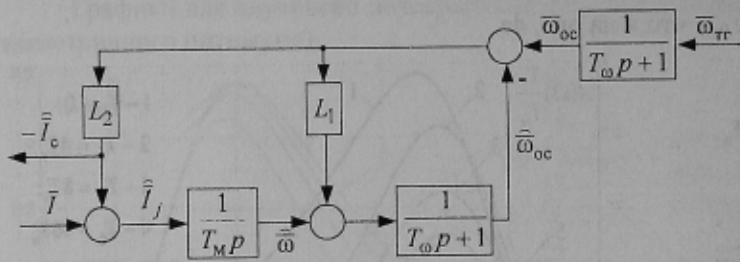


Рисунок 6 – Структурная схема наблюдателя состояния второго порядка НС2

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.

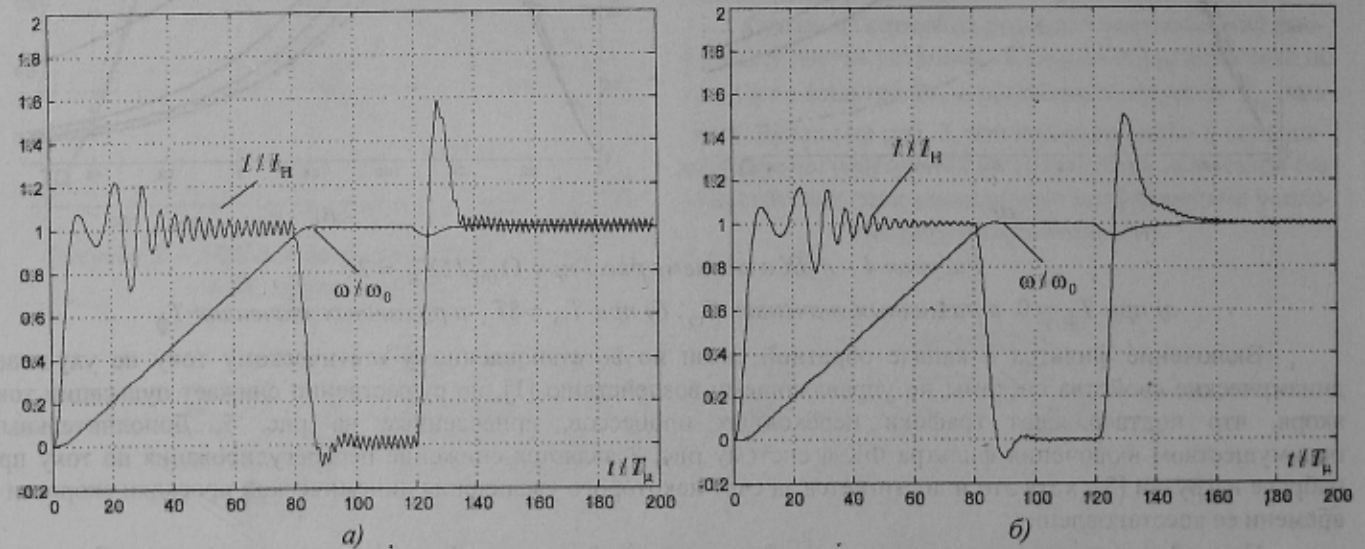


Рисунок 7 – Графики переходных процессов в системе рис. 3 с наблюдателем НС2:

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

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Толчко О.И., Коцегуб П.Х., Мариничев В.Ю., Розкарьяк 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. Толчко. – №2997672/24-07; Заявлено 29.10.80; Опубл. 15.06.82, Бюл. №22. – 3 с.
3. Коцегуб П.Х., Толчко О.И., Мариничев В.Ю., Розкарьяк П.И. Система подчиненного регулирования с фильтром в канале компенсации идентифицированного статического момента // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. – Кременчуг: КДПУ. – 2004. – №3 (26). – С. 38-41.

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