

УДК 62-55:681.515

В.И. Гостев
Н.И. Кунах
О.Н. Ткаленко
И.Н. Срибная
К.П. Сторчак

СЛЕДЯЩАЯ ФАЗЗИ-СИСТЕМА СИНХРОННОГО И СИНФАЗНОГО ВРАЩЕНИЯ ПРИЕМНОГО ВАЛА ОТ ПЕРЕМЕННОГО ОПОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Исследована фаззи-система синхронного и синфазного вращения приемного вала относительно управляющего напряжения, и определены точность и быстродействие системы при конкретных параметрах ее элементов.

Ключевые слова: фаззи-система, точность и быстродействие, нечеткий регулятор, MATLAB.

Досліджено фаззі-систему синхронного та синфазного вала, що обертається, відносно керуючої напруги, і визначені точність та швидкодія за певних параметрів її елементів.

Ключові слова: фаззі-система, точність та швидкодія, нечіткий регулятор, MATLAB.

Fazzi-system of a synchronous and inphase rotation of a reception shaft, relative to the operating pressure, is investigated, as well as an accuracy and speed of system are defined at concrete parametres of its elements are defined.

Keywords: fazzi-system, accuracy and speed, indistinct regulator, MATLAB.

В данной статье проведен анализ работы и представлены результаты исследования системы, задача которой состоит в обеспечении синхронного и синфазного вращения приемного вала относительно управляющего напряжения, т.е. в обеспечении такого вращения, когда угловая скорость приемного вала равна или пропорциональна угловой частоте управляющего воздействия, а мгновенное значение угла поворота с определенной точностью равно или пропорционально фазе управляющего воздействия. Рассмотрены конкретные параметры системы. Для получения высокого качества системы использован нечеткий регулятор.

Рассмотрим следящую систему (см. рис.1), управляющим воздействием которой является фаза $\varphi_{ex} = \omega t$, $\omega = const$ переменного опорного напряжения U_{ex} , и задача которой состоит в обеспечении синхронного и синфазного вращения приемного вала относительно управляющего напряжения, т.е. в обеспечении такого вращения, когда угловая скорость приемного вала равна или пропорциональна угловой частоте управляющего воздействия, а мгновенное значение угла поворота с определенной точностью равно или пропорционально фазе управляющего воздействия.

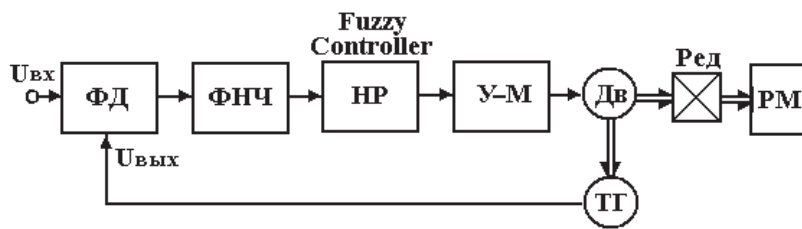


Рис.1. Следящая система

В состав следящей системы входят фазовый дискриминатор **ФД**, фильтр нижних частот **ФНЧ**, усилитель мощности-модулятор **У-М**, исполнительный двигатель **Дв**, который через редуктор **Ред** приводит во вращение рабочий механизм **РМ**, и тахогенератор **ТГ**. В качестве корректирующего устройства используется нечеткий регулятор **НР (Fuzzy Controller)**.

В качестве фильтра нижних частот используем наиболее простую схему, передаточная функция которой записывается в виде

$$G_1(s) = \frac{a}{s+a} = \frac{12,5}{s+12,5}, \quad a=1/\tau, \quad \tau=RC=0,08\text{с.}$$

Передаточная функция усилителя мощности-модулятора

$$G_2(s) = \frac{K}{s+a_1} = \frac{500}{s+100},$$

где $a=1/T_y$, $T_y=0,01\text{с}$.

В системе используется асинхронный двухфазный двигатель с передаточной функцией

$$G_3(s) = \frac{\alpha}{s(s+b)} = \frac{90}{s(s+10)},$$

где $b=1/T_{\text{обс}}$; $T_{\text{обс}}=0,1\text{с}$; $\alpha=K\delta\delta/T_{\text{обс}}$; $K\delta\delta=9\text{рад}/(B\cdot\text{с})$ и тахогенератор переменного тока с передаточной функцией

$$G_4(s) = ks,$$

где $k=0,03B\cdot\text{с}/\text{рад}$.

Отметим, что скорость вала двигателя ω с инерционной нагрузкой связана с углом поворота вала φ простой зависимостью:

$$\omega(t) = \frac{d\varphi(t)}{dt}.$$

Выходное напряжение тахогенератора связано со скоростью вращения вала двигателя простой зависимостью $u_{\text{вых}} = k\omega$.

Выходное напряжение тахогенератора, как и опорное напряжение, поступает на фазовый дискриминатор. При синхронном вращении двигателя частота этого напряжения равна частоте опорного напряжения, а при синфазном вращении двигателя напряжение тахогенератора и опорное сдвинуты по фазе на 90° . Это соотношение фаз является согласованным. В системе используется балансный фазовый дискриминатор ФД. Фазовый дискриминатор служит для выявления отклонения фазы напряжения тахогенератора от согласованного положения и преобразование его в напряжение постоянного тока, величина которого пропорциональна отклонению фазы, а полярность определяется знаком этого отклонения. Выходное постоянное напряжение ФД после предварительного усиления и преобразования в переменное используется для управления двигателем.

Используемый в системе нечеткий регулятор **НР (Fuzzy Controller)** выполнен по принципиальной схеме, приведенной на рис. 2 в работе [1], с идентичными треугольными функциями принадлежности и состоит из формирователя величин **A(t)** и **B(t)** – блока 1, блока сравнения величин **A(t)** и **B(t)** и расчета u_c – блока 2 и блока нормировки выходной переменной – блока 3 (см. рис. 2, где показана блочная схема регулятора).

С целью исключения (или значительного уменьшения) динамической ошибки при слежении за управляющим воздействием, которое представляет собой фазу $\varphi_{\text{ex}} = \omega t$, $\omega = \text{const}$, переменного опорного напряжения U_{ex} , на выходе нечеткого регулятора включены два интегратора для придания замкнутому контуру следящей системы астатизма второго порядка.

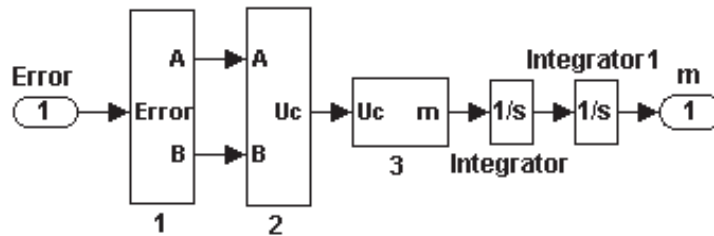


Рис. 2. Блочная схема регулятора

Математическая модель следящей системы, функциональная схема которой описана выше, в интерактивной системе MATLAB представлена на рис. 3.

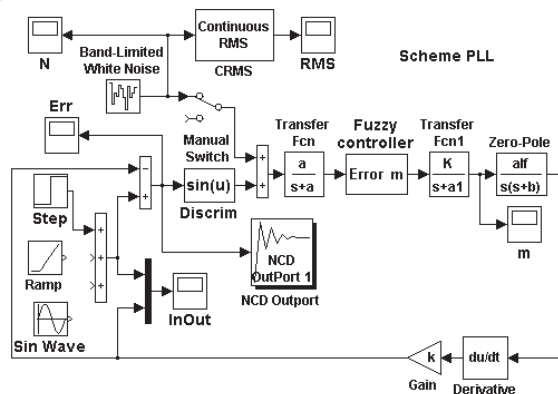


Рис. 3. Математическая модель следящей системы

Математическая модель фазового детектора представлена последовательным соединением устройства сравнения, нелинейности (**Discrim**)

$$K(\varphi) = K_{\delta} \sin \varphi,$$

где K_{δ} – коэффициент преобразования фазового детектора, а $\varphi(t) \equiv e(t)$ – ошибка рассогласования на входе фазового детектора, и фильтра нижних частот **ФНЧ (Transfer Fcn)**.

Параметры фильтра нижних частот **ФНЧ (Transfer Fcn)**, усилителя мощности-модулятора **У-М (Transfer Fcn1)**, исполнительного двигателя **Дв (Zero-Pole)** и коэффициента преобразования (**Gane**) тахогенератора (**Gane+Derivation**) даны выше.

При настройке нечеткого регулятора в интерактивной системе **MATLAB** используем блок **NCD (Nonlinear Control Design)**, который реализует метод динамической оптимизации для проектирования систем управления.

Система исследована при типовых воздействиях на входе: 1) единичного скачка, 2) эквивалентного гармонического сигнала $u(t) = 0,5 \sin 2\pi Ft$, с несущей частотой $F = 0,1 \text{Гц}$ и 3) линейного сигнала **Ramp** $u(t) = t$.

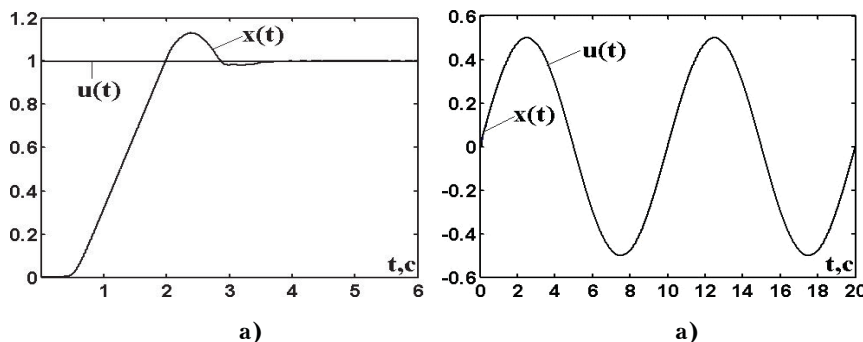
Настройка нечеткого регулятора осуществлена по критерию минимума динамической ошибки при эквивалентном гармоническом сигнале без влияния шумов на выходе фазового детектора (контакты переключателя **Manual Switch** замкнуты в нижнем положении). Получены следующие оптимальные параметры нечеткого регулятора:

$$A_m=0,072; B_m=0,168; C_m=1,579; D_m=61,798.$$

Процессы в следящей системе (см. рис. 3) с нечетким регулятором без влияния шумов на выходе фазового детектора (контакты переключателя **Manual Switch** замкнуты в нижнем положении) показаны на рис. 4 при единичном скачке входного сигнала, на рис. 5 при воздействии эквивалентного гармонического сигнала $u(t) = 0,5 \sin 2\pi Ft$, с несущей частотой $F = 0,1 \text{Гц}$ и на рис. 6 при воздействии линейного сигнала $u(t) = t$. На рисунках $u(t)$ – входное воздействие, $x(t)$ – выход системы, $e(t) \equiv E_{\text{гг}}$ – ошибка рассогласования на входе дискриминатора, $m(t)$ – сигнал на входе двигателя.

При единичном скачке входного сигнала переходный процесс имеет перерегулирование 13 % и заканчивается за время 2,8 с. Установившаяся динамическая ошибка равна нулю.

При воздействии гармонического сигнала максимальная динамическая ошибка (за исключением начального выброса в момент захвата сигнала) не превышает 0,5 % от амплитуды синусоиды.



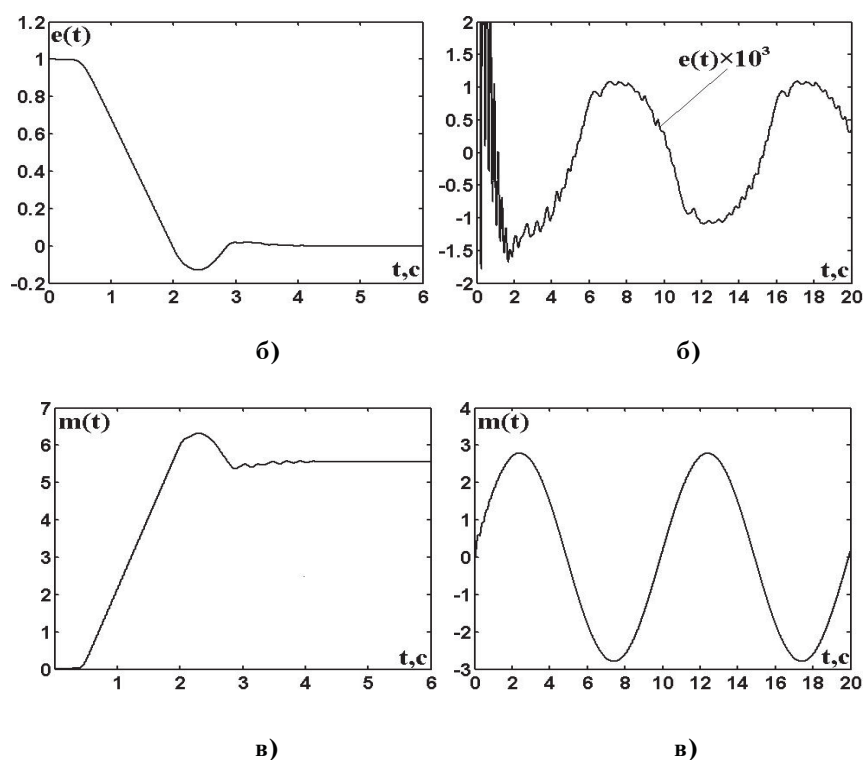


Рис. 4. Процеси в слідячій системі з нечітким регулятором при одиничному скачку входного сигналу

Рис. 5. Процеси в слідячій системі при впливі еквівалентного гармонічного сигналу

При впливі лінійного сигналу $u(t) = t$ перехідний процес закінчується за час, не перевищуючий 2 с, і установився динамічна помилка близька до нуля (приблизно $2 \cdot 10^{-4}$). По тому вихідний сигнал практично повторює входне вплив (см. рис. 6).

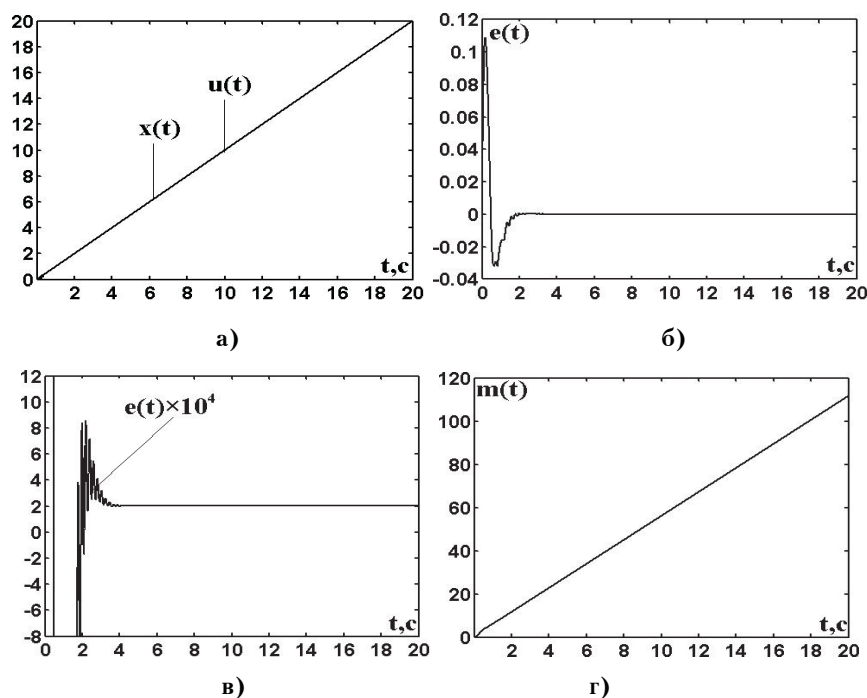


Рис. 6. Процеси в слідячій системі при впливі лінійного сигналу

Настройка нечеткого регулятора по критерию минимума динамической ошибки при влиянии шумов на выходе фазового детектора (контакты переключателя **Manual Switch** замкнуты в верхнем положении) является достаточно сложной. Шумовой сигнал $n(t)$ – стационарный белый шум (**Band-Limited White Noise**) на выходе фазового детектора (**Discrim**) представлен на рис. 7, а. Текущее значение корня из среднеквадратического значения шумового сигнала (**root mean squared value**), вычисляемое в блоке **CRMS**, показано на рис. 7, б.

Вместо нечеткого регулятора **HP (Fuzzy Controller)**, выполненного по принципиальной схеме, приведенной на рис. 2 в работе [1], с идентичными треугольными функциями принадлежности, при наличии шумового сигнала на выходе фазового детектора для получения меньшей динамической ошибки в системе целесообразно использовать нечеткий регулятор **HP (Fuzzy Controller)**, выполненный по принципиальной схеме, приведенной на рис. 3, а в работе [1] с идентичными экспоненциальными функциями принадлежности. Блочная схема регулятора показана на рис. 3. С целью исключения (или значительного уменьшения) динамической ошибки при слежении за управляющим воздействием на выходе нечеткого регулятора включены два интегратора для придания замкнутому контуру следящей системы астатизма второго порядка.

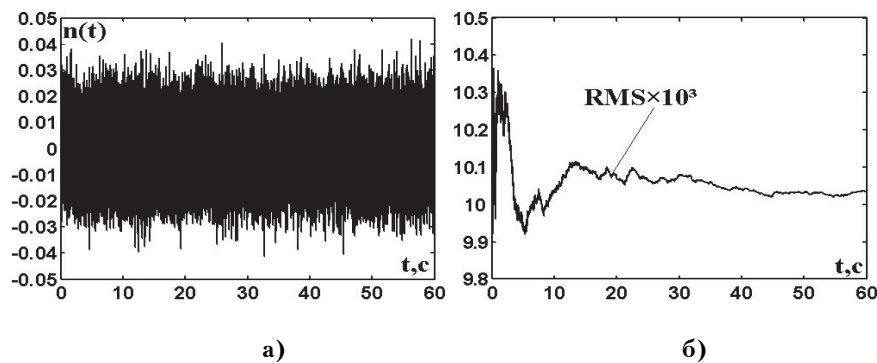


Рис. 7. Шумовой сигнал (а), текущее значение корня из среднеквадратического значения шумового сигнала (б)

При настройке системы, кроме подбора значений диапазонов A_m , B_m , C_m , D_m и параметра c экспоненциальных функций принадлежности в нечетком регуляторе, потребовалось оптимизировать коэффициент k тахогенератора переменного тока.

При настройке нечеткого регулятора в интерактивной системе **MATLAB** использован блок **NCD (Nonlinear Control Design)** и получены следующие оптимальные параметры системы:

$$h=0,01; A_m=3,9822; B_m=8,6779; C_m=86,357; D_m=116,64; c=0,19476; \\ a=12,5; a_1=100; K=500; \alpha_f=90; b=10; k=1,2865.$$

Процессы в следящей системе (см. рис. 3) с нечетким регулятором при влиянии шумов на выходе фазового детектора (контакты переключателя **Manual Switch** замкнуты в верхнем положении) показаны на рис. 8 при единичном скачке входного сигнала, на рис. 9 при воздействии эквивалентного гармонического сигнала $u(t) = 0,5 \sin 2\pi F$, с несущей частотой $F = 0,1 \text{Гц}$, и на рис. 10 при

воздействию линейного сигнала $u(t) = t$. На рисунках $u(t)$ – входное воздействие, $x(t)$ – выход системы, $e(t) \equiv \text{Err}$ – ошибка рассогласования на входе дискриминатора, $m(t)$ – сигнал на входе двигателя.

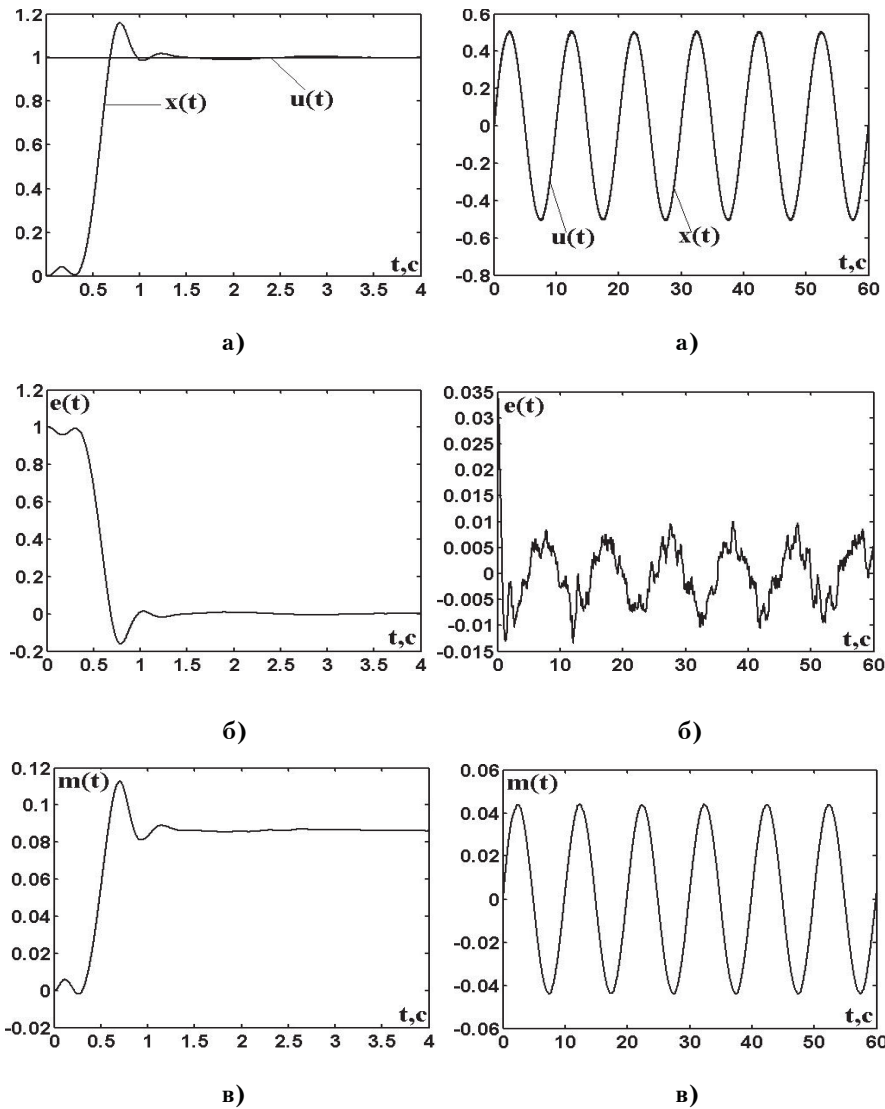


Рис. 8. Процессы в следящей системе при единичном скачке входного сигнала

Рис. 9. Процессы в следящей системе при воздействии эквивалентного гармонического сигнала

При единичном скачке входного сигнала переходный процесс имеет перерегулирование 16 % и заканчивается за время 0,93 с (см. рис. 8). Установившаяся динамическая ошибка равна нулю.

При воздействии гармонического сигнала $u(t) = t$ максимальная динамическая ошибка (за исключением начального выброса в момент захвата сигнала) не превышает 1,5 % от амплитуды синусоиды (см. рис. 9).

При воздействии линейного сигнала $u(t) = t$ переходный процесс заканчивается за время, не превышающее 1,2 с, а установившаяся динамическая ошибка не превышает $8 \cdot 10^{-3}$. Выходной сигнал практически повторяет входное воздействие (см. рис. 10).

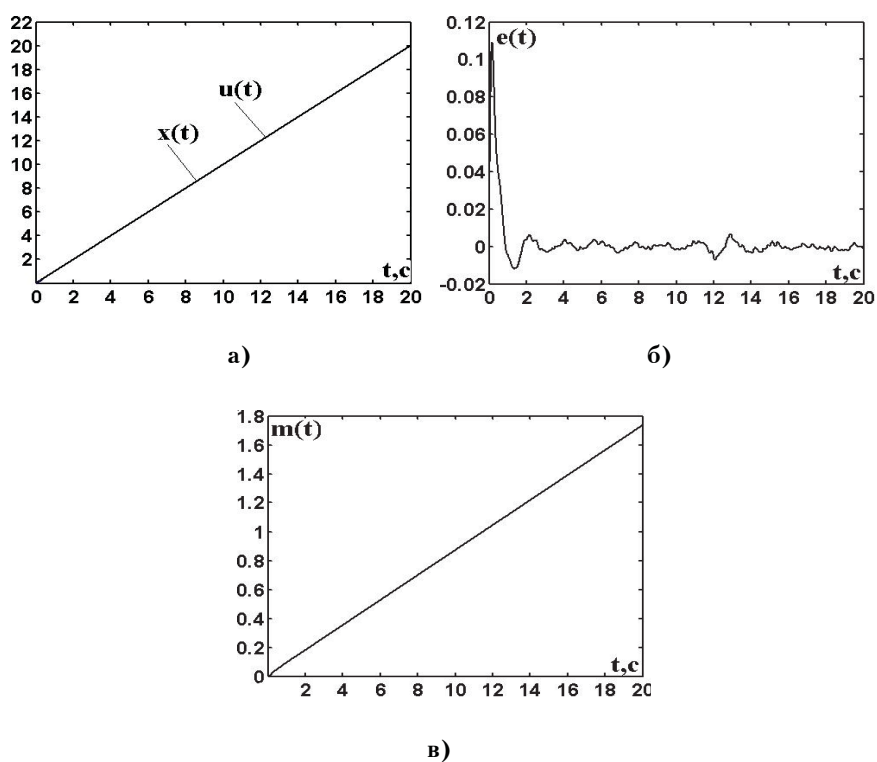


Рис. 10. Процеси в слідячій системі при впливі лінійного сигналу

Применение нечеткого регулятора в исследуемой системе позволило получить достаточно хорошее быстродействие и высокую точность синхронного и синфазного вращения приемного вала относительно управляющего напряжения при различных задающих воздействиях.

Отримано 23.01.2012