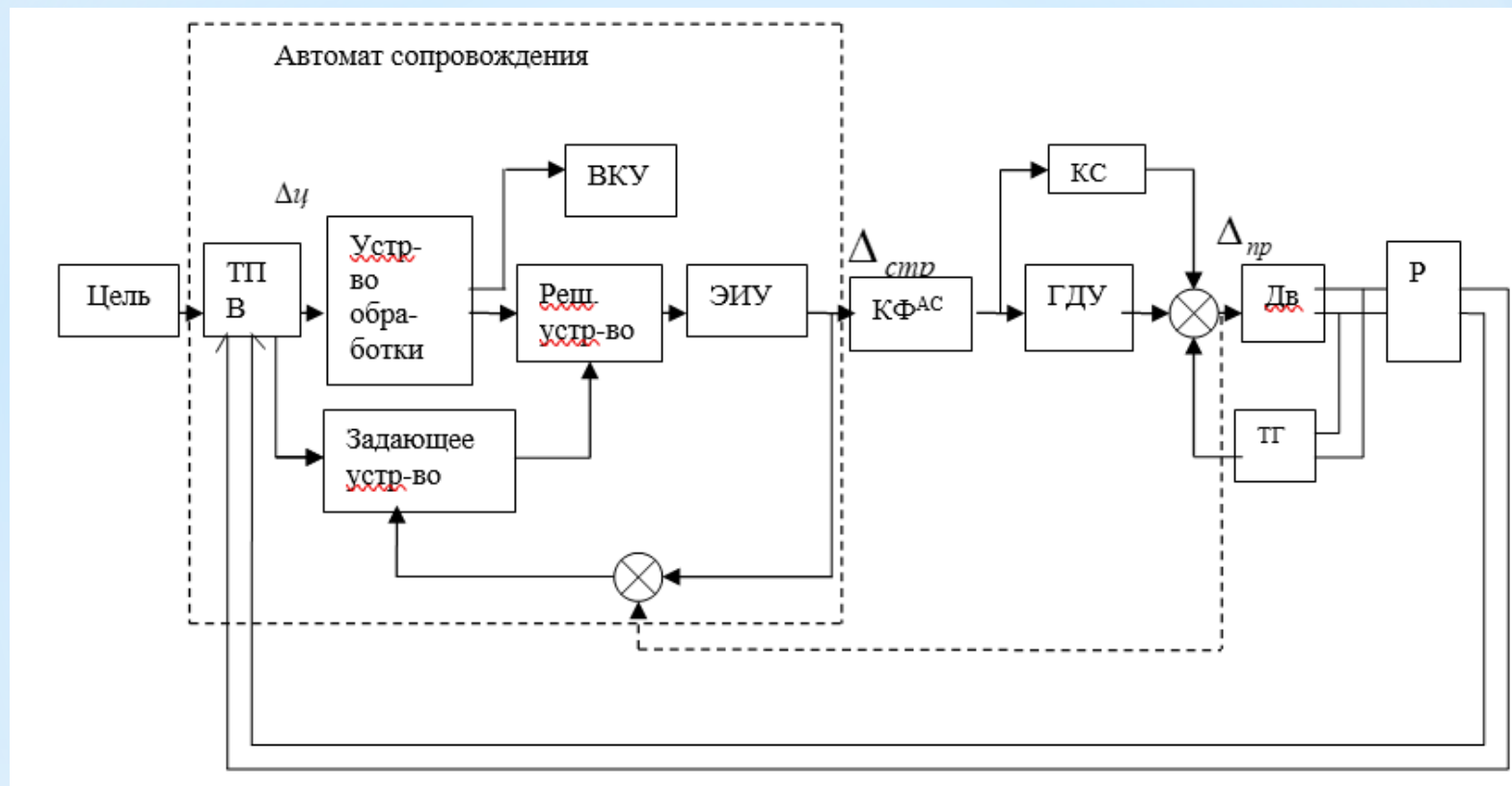


МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА СИСТЕМЫ СОПРОВОЖДЕНИЯ ЦЕЛИ С ТЕПЛОВИЗИОННЫМ АВТОМАТОМ

Гимадеев Р. А., студент, Малёв Н. А., доцент,
Казанский государственный энергетический
университет, г. Казань



Функциональная схема тепловизионной системы автосопровождения

ТПВ - тепловизор

ВКУ - видеоконтрольное устройство

ЭИУ - электронное исполнительное устройство

КФАС - корректирующий фильтр контура автосопровождения

ГДУ - гироскопический датчик угла

КС - компенсирующая связь

Д - исполнительный электродвигатель

ТГ - тахогенератор

Р - редуктор

Чувствительным элементом, выделяющим координаты, является тепловизионный автомат. С помощью ИК-объектива тепловизор принимает тепловое излучение от целей и местных предметов, преобразуемое охлаждаемым матричным фотоприемником в электрический сигнал, который формирует видимое изображение тепловой картины в телевизионном стандарте. Развертка изображения (поэлементная передача изображения) осуществляется по всей рабочей поверхности светочувствительного слоя. В системах электронного слежения со следящим стробом на это изображение накладывается подсвечивающий прямоугольник (окно слежения - строб), определяющий пространственную область чувствительности визира и соответствующий положению начала следящей системы координат. В режиме слежения строб вручную совмещается с выбранным объектом слежения по экрану вспомогательного видеоконтрольного устройства, после чего система переходит в режим автосопровождения. При смещении проекции объекта по поверхности фотокатода относительно следящего строба на выходе решающего устройства образуется напряжение рассогласования, которое поступает на электронное исполнительное устройство (интегратор). Выходной сигнал интегратора по цепи обратной связи воздействует на задающее устройство так, что формируемые им сигналы изменяются, и положение строба совмещается с проекцией объекта.

Сигнал рассогласования обрабатывается контуром автосопровождения, исполнительным элементом которого является замкнутый по скорости электропривод постоянного тока, и используется как управляющий сигнал для поворота тепловизора в направлении совмещения его оси с целью. Таким образом, система сопровождения является двухконтурной, грубый канал которой обеспечивает перемещение тепловизора, а точный осуществляет движение следящего строба, обрамляющего цель, с помощью электронного исполнительного устройства. Корректирующий фильтр обеспечивает точность и устойчивость контура автосопровождения. Гироскопический датчик угла стабилизирует изображение при работе двигательной установки.

Целью настоящей работы является проектирование исполнительного привода тепловизионной системы автосопровождения.

В системах автосопровождения цели перспективным является применение релейных автоколебательных систем управления. При этом не требуется обеспечивать устойчивость “в малом”, т.е. возможна реализация высоких коэффициентов передачи разомкнутого контура, обеспечивающая плавность движения выходного вала исполнительного механизма, которая является одной из важнейших характеристик систем слежения. По сравнению с системами, работающими в режиме широтно-импульсной модуляции, автоколебательные системы имеют больший коэффициент усиления разомкнутого контура, т.к. для обеспечения захвата контура вынуждающими колебаниями при работе в режиме широтно-импульсной модуляции необходима амплитуда их примерно в 2 раза больше амплитуды автоколебаний, что приводит к уменьшению эквивалентного коэффициента усиления релейного усилителя. Положительные свойства автоколебательных систем проявляются, если параметры автоколебаний (амплитуда и частота) не вызывают существенного нагрева двигателя в процессе работы. Входной величиной релейного исполнительного механизма является напряжение обмотки реле, выходной величиной – скорость вращения двигателя (рис. 1, а).

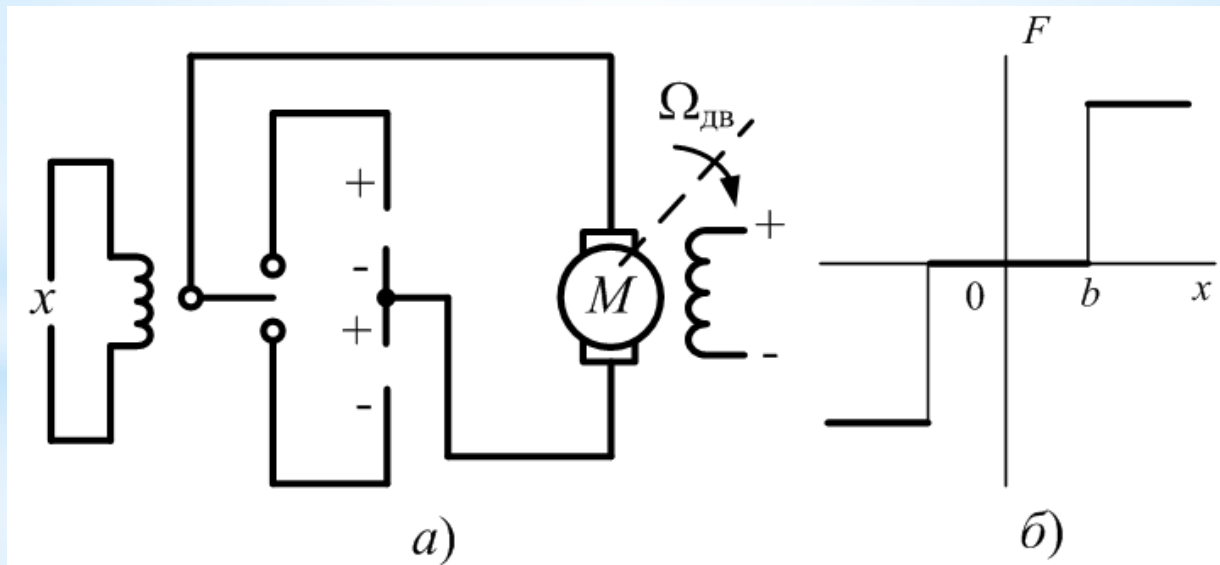


Рисунок 1 - Релейный электропривод: а) функциональная схема; б) статическая характеристика реле

Полагая, что входная величина x изменяется по синусоидальному закону,

$$x = A \sin \omega t, \quad \omega t = \psi$$

найдем закон изменения скорости двигателя в установившемся режиме (рис. 2). Точка 1 соответствует моменту времени t_1 включения реле, когда входная величина примет значение $x = b$ (рис. 2).

$$t_1 = \frac{\psi_1}{\omega}, \quad \psi_1 = \arcsin \frac{1}{\alpha}, \quad \alpha = \frac{A}{b}$$

На участке 1 – 2 реле включено, цепь якоря замкнута и движение якоря двигателя описывается дифференциальным уравнением

$$J_{\Sigma} \frac{d\Omega_{\text{ДВ}}}{dt} + k\Omega_{\text{ДВ}} = M_{\text{П}}$$

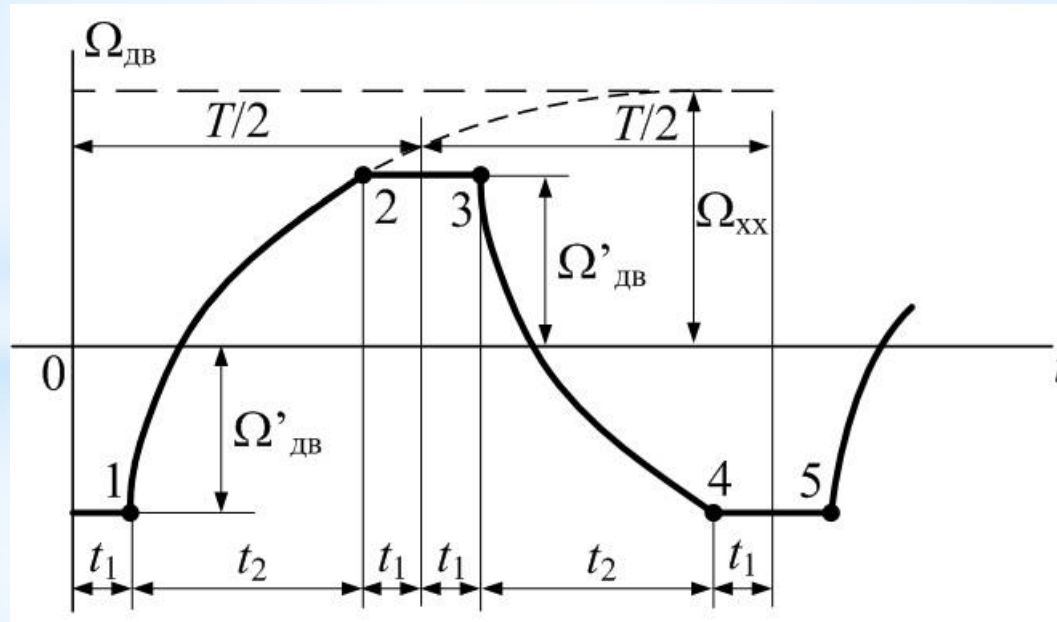


Рис. 2 - Зависимость выходной координаты электропривода от времени

Решение уравнения движения для участка 1 – 2 даёт

$$\Omega_{\text{дв}} = \Omega_{\text{хх}} - (\Omega_{\text{хх}} - \Omega'_{\text{дв}}) e^{-\frac{t}{T_{\text{м}}}}$$

Для момента выключения реле в точке 2 имеем

$$t_2 = \frac{T}{2} - 2t_1 = \frac{\pi - 2\psi_1}{\omega}, \quad T = \frac{2\pi}{\omega}$$

где T – период колебаний входного воздействия. Скорость в точке 2 из условия симметрии должна быть равна с обратным знаком скорости в начале участка, т. е. в точке 1. Подставив $t = t_2$, получим начальное значение скорости двигателя (скорость выбега)

$$\Omega'_{\text{дв}} = \frac{1 - y}{1 + y} \Omega_{\text{хх}}, \quad y = e^{-\frac{t_2}{T_{\text{м}}}}$$

На участке 2 – 3 реле выключено и цепь якоря разомкнута, снимается пусковой момент и исчезает динамическое торможение. Якорь двигателя превращается в маховик с нулевым ускорением и скоростью

$$\Omega_{\text{дв}} = \Omega'_{\text{дв}} = \text{const}$$

В точке 3 происходит включение реле в другую сторону, и процесс повторяется в обратном направлении.

Коэффициенты гармонической линеаризации определяются по формулам

$$\left. \begin{aligned} q(A, \omega) &= \frac{1}{\pi A} \int_0^{2\pi} F(A \sin \psi, A \omega \cos \psi) \sin \psi d\psi, \\ q'(A, \omega) &= \frac{1}{\pi A} \int_0^{2\pi} F(A \sin \psi, A \omega \cos \psi) \cos \psi d\psi, \quad \psi = \omega t. \end{aligned} \right\}$$

Заменив в данных выражениях угол его значением $\psi = \omega t = \frac{2\pi}{T}t$, получим

$$\left. \begin{aligned} q(A, \omega) &= \frac{2}{TA} \int_0^T \Omega_{\text{ДВ}}(t) \sin \omega t dt, \\ q'(A, \omega) &= \frac{2}{TA} \int_0^T \Omega_{\text{ДВ}}(t) \cos \omega t dt. \end{aligned} \right\}$$

Определим коэффициенты гармонической линеаризации в приведённом нормированном виде, выразив их через относительные амплитуду α и частоту ν :

$$\alpha = \frac{A}{b}, \quad \nu = \omega T_M = \frac{2\pi}{T} T_M$$

Выполняя интегрирование по участкам (рис. 2) при учёте последних выражений, получим

$$\left. \begin{aligned} q(\alpha, \nu) &= k_H q_{\Pi}(\alpha, \nu), \quad q'(\alpha, \nu) = k_H q'_{\Pi}(\alpha, \nu), \quad k_H = \frac{\Omega_{\text{ХХ}}}{b} \\ q_{\Pi}(\alpha, \nu) &= \frac{4}{\pi \alpha^2 (1 + \nu^2)} \left[\sqrt{\alpha^2 - 1} - \frac{\nu(1 - y)}{1 + y} \right], \\ q'_{\Pi}(\alpha, \nu) &= -\frac{4}{\pi \alpha^2 (1 + \nu^2)} \left[\frac{1 - y}{1 + y} + \nu \sqrt{\alpha^2 - 1} \right], \quad \alpha \geq 1. \end{aligned} \right\}$$

Полученные коэффициенты гармонической линеаризации позволяют сформировать структуру линеаризованной системы и синтезировать соответствующие корректирующие устройства.

Simulink-модель исполнительного электропривода, охваченного отрицательной обратной связью по скорости вращения, показана на рисунке 3.

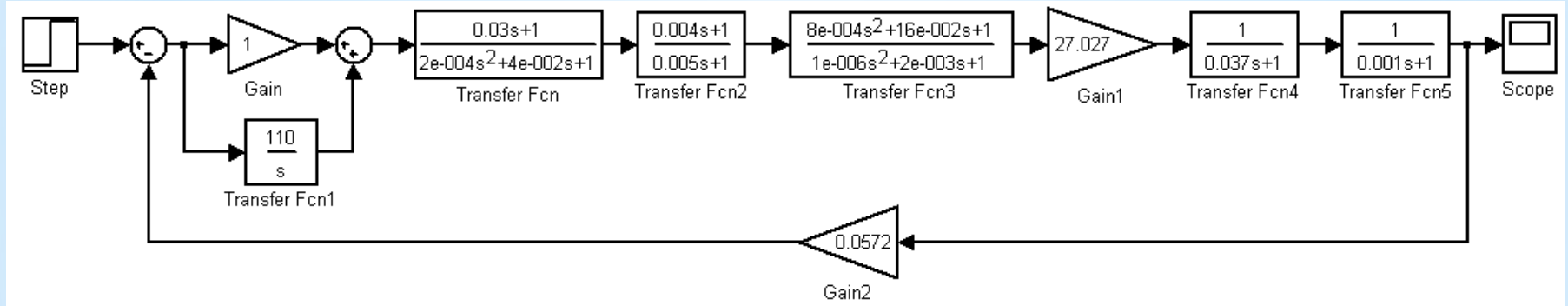


Рис. 3 - Simulink-модель исполнительного электропривода мехатронной тепловизионной системы автосопровождения

В состав структурной схемы системы входят:

- фильтр, стабилизирующий частоту автоколебаний $W_{\text{СТ}}(s) = \frac{T_{\text{П}}s + 1}{T_{\text{СТ}}^2s^2 + 2\xi T_{\text{СТ}}s + 1}$

- фильтр логического устройства (ЛУ), реализующий трехпозиционный режим регулирования и включающий фазоопережающее звено и два двухпозиционных релейных элемента

$$W_{\text{флу}}(s) = \frac{(T_{1\phi}s + 1)(T_{\text{кф}}^2s^2 + 2\xi T_{\text{кф}}s + 1)}{(T_{2\phi}s + 1)(T_{3\phi}s + 1)(T_{4\phi}s + 1)}$$

Исследуемая мехатронная система автосопровождения с тепловизионным датчиком содержит нелинейный элемент и, следовательно, её выходные координаты будут зависеть от амплитуды входного сигнала. В этой связи моделирование осуществлялось оценивалось для различных значений амплитуд задающего воздействия, кратных частоте ω , а также уменьшенных в 2 раза и в 10 раз. Результаты моделирования приведены на рисунках 4, 5.

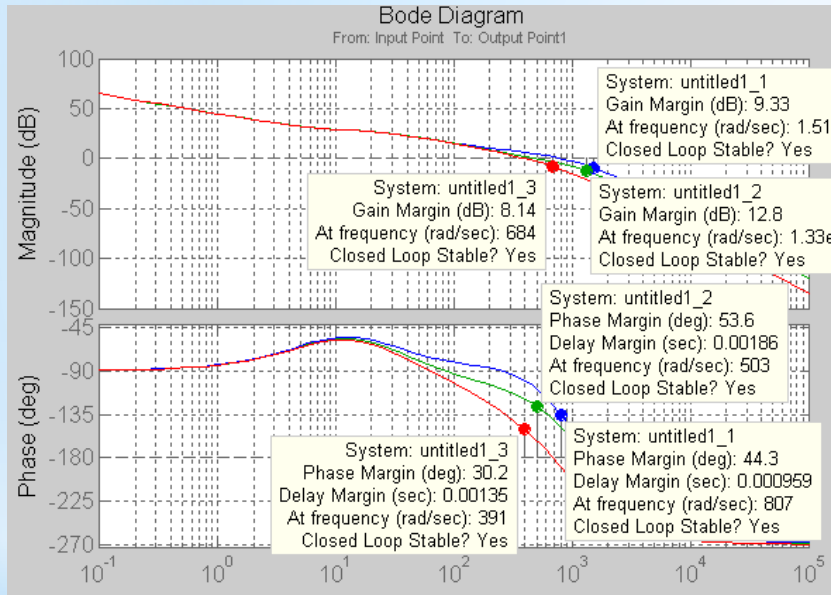


Рис. 4. Логарифмические частотные характеристики тепловизионной системы автосопровождения

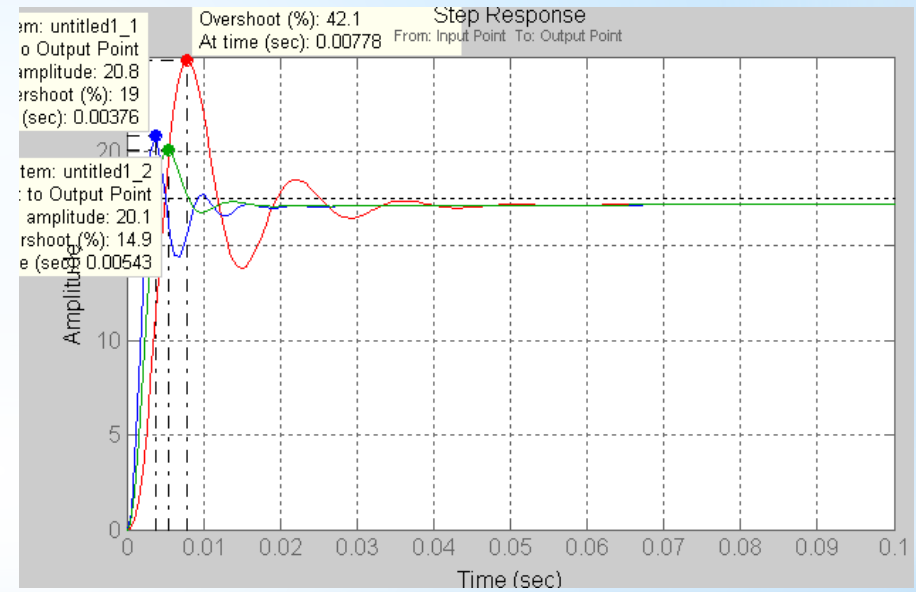


Рис. 5. Переходные характеристики тепловизионной системы автосопровождения

Из анализа графиков следует, что наибольшие запасы устойчивости обеспечиваются при амплитуде входного воздействия $0,5\omega$ (график untitled 1_2) и составляют 12,8 дБ и 53,6 град. Анализ переходных характеристик показывает, что в рассматриваемом случае перерегулирование составляет 14,9% и при несущественной потере быстродействия система становится менее колебательной.

Доклад окончен.

Спасибо за внимание.