

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ФАЗОВОЙ АВТОПОДСТРОЙКИ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ БЕСКОЛЛЕКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Системы стабилизации мгновенной скорости вращения двигателей, работающие от ведущего генератора, в настоящее время широко применяются в сложных бытовых устройствах [1]. Регулирование скорости в этих системах производится по сигналу ошибки, зависящему от сдвига по фазе между задающим сигналом опорного генератора напряжения и сигналом импульсного датчика обратной связи (рис.1). Цель регулирования заключается в минимизации временных интервалов между соседними импульсами задающей эталонной частоты f_0 и импульсами датчика скорости, следующими с частотой f . В результате достигается равенство усредненной частоты f и частоты f_0 . Генератором, управляемым напряжением, служит двигатель.

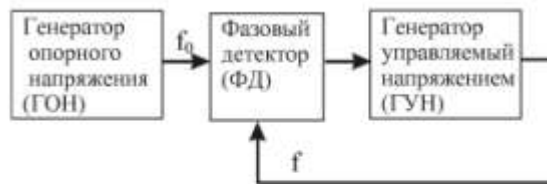


Рисунок 1 – Упрощенная блок-схема системы ФАПЧ

С помощью фазового детектора измеряется текущее отклонение $\Delta\varphi(t)$ фазы $\varphi(t)$ сигнала датчика скорости от фазы $\varphi_0(t)$ сигнала ведущего генератора. Особенностью этих систем является их существенная нелинейность, которая оказывает негативное влияние на работу системы, если разность фаз выходит за пределы $\Delta\varphi = \pm 2\pi$. Режим работы, при котором $\Delta\varphi < 2\pi$, называют режимом захвата частоты. При этом система ФАПЧ может быть линеаризована.

Цель работы заключается в решении следующих задач синтеза системы ФАПЧ:

- 1) обеспечение устойчивости системы «в малом» (в режиме синхронизации);
- 2) обеспечение точности регулирования при установившемся или медленно меняющемся состоянии системы автоматического регулирования (САР) и ограничение динамической ошибки регулирования пределами линейного участка характеристики фазового детектора.

В работе исследовался двигатель ДБМ-70-0,16-1,5-2, имеющий следующие параметры: $U_n = 27$ В, $M_n = 0,16$ Н·м, $n_n = 1435$ об/мин. Решение задачи синтеза линеаризованной САР получают в результате компромисса между сложностью технической реализации корректирующего устройства, запасом устойчивости САР, качеством отработки управляющего воздействия и подавлением возмущающих воздействий. Структурная схема линеаризованной САР приведена на рис. 2.

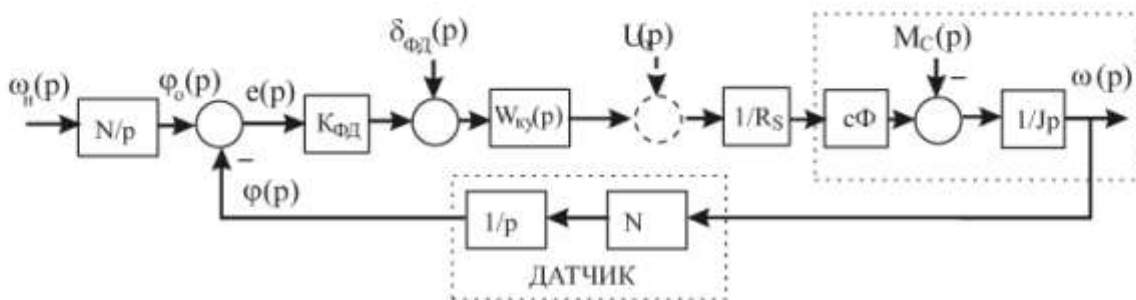


Рисунок 2 – Упрощенная структурная схема линеаризованной системы

При использовании частотного подхода к синтезу, дающего обычно лишь приближенные значения параметров регулятора, необходимо обеспечить заданную частоту среза и наклон ЛАЧХ равный -20 дБ/дек на этой частоте. При этом корректирующее устройство представляет собой реальное форсирующее звено. Частота опорного сигнала САР определяется требуемой скоростью вращения двигателя:

$$f_0 = \omega_n \cdot N / 2\pi, \quad (1)$$

где ω_n – номинальная скорость двигателя, c^{-1} ;

N – число периодов датчика скорости на один оборот ротора.

График переходных процессов в линейной модели системы ФАПЧ приведен на рис. 3.

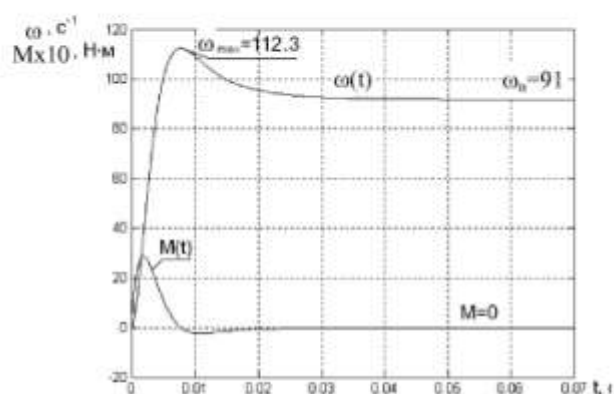


Рисунок 3 – Переходной процесс в линейной системе ФАПЧ на холостом ходу

Линейная модель системы ФАПЧ, приведенная на рис.2, используется главным образом лишь на начальном этапе синтеза системы, то есть в основном для определения устойчивости с рассчитанным регулятором. Более точное представление о системе и о качестве переходных процессов дает нелинейная модель системы ФАПЧ. Ее структурная схема для моделирования с использованием программы Matlab изображена на рис. 4. Фазовый детектор представлен в виде аналогового умножителя гармонических сигналов и имеет высокое быстродействие, поэтому его можно считать безинерционным. Входным задающим сигналом является величина угловой скорости бесколлекторного двигателя $\omega_{н1} = 91 \text{ с}^{-1}$. Так как система имеет ограниченную полосу захвата, то исследования проводились при задании начальных условий для последнего по схеме интегратора (рис. 4), то есть в начале расчета переходного процесса считается, что двигатель уже вращается с некоторой скоростью $\omega_{нач}$.

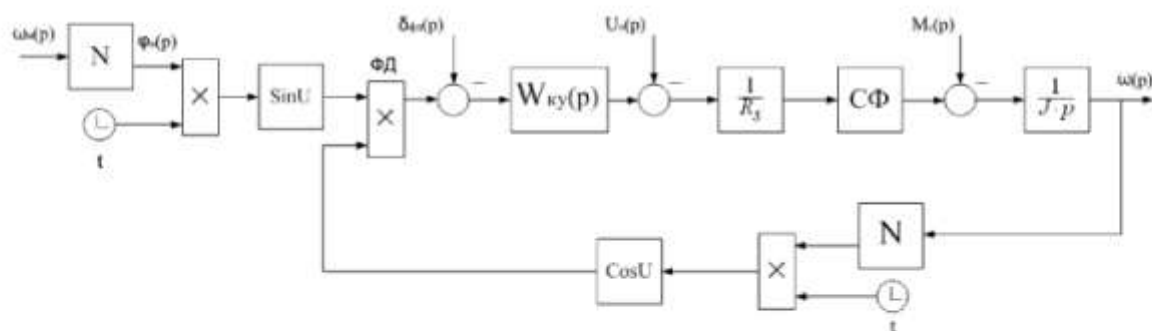


Рисунок 4. – Структурная схема нелинейной модели системы ФАПЧ

Графики переходных процессов в нелинейной модели приведены на рис. 5-7. Данные переходные процессы дают более полное представление о процессах в реальной системе ФАПЧ. Из графиков на рис. 5 видно, что при $\omega_{нач}$ равной 70 с^{-1} в системе происходит захват частоты и двигатель выходит на заданное значение установившейся скорости $\omega_{уст} = 91 \text{ с}^{-1}$. При начальной скорости $\omega_{нач} = 50 \text{ с}^{-1}$ захвата частоты не происходит и двигатель не выходит на заданную номинальную скорость (рис.6). Наброс номинальной нагрузки приводит к срыву захвата частоты и скорость двигателя резко падает (рис. 7).

Анализ графиков переходных процессов показывает, что для обеспечения устойчивости нелинейной системы необходимо учитывать начальные условия и формировать закон изменения управляющего воздействия.

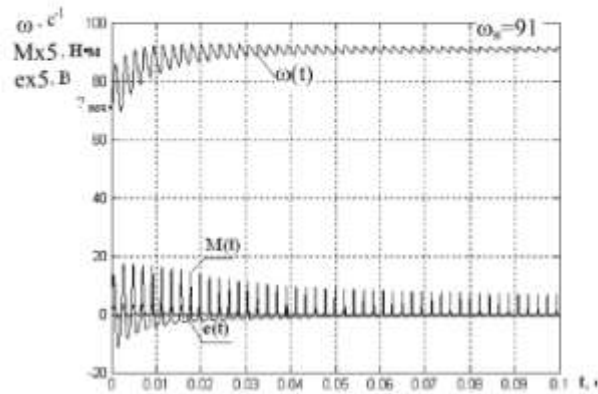


Рисунок 5 – Переходные процессы при начальной скорости ЭП равной 70 c^{-1} .

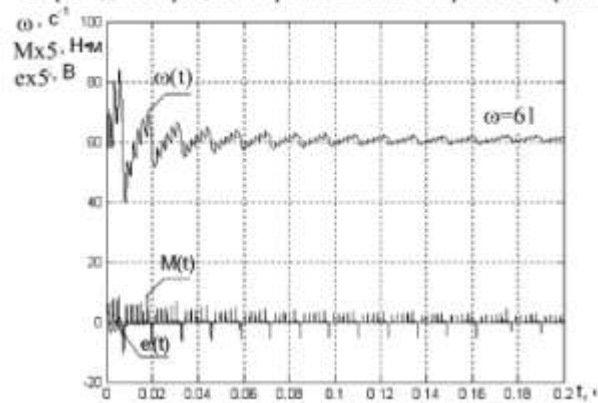


Рисунок 6 – Переходные процессы при начальной скорости равной 50 c^{-1}

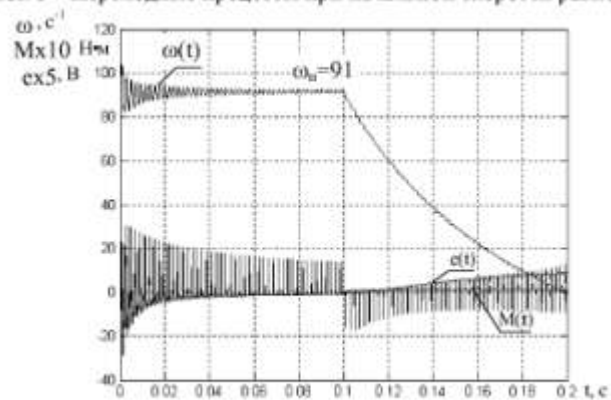


Рисунок 7 – Переходные процессы при набросе нагрузки $M_c=M_n$

Эффективным методом обеспечения условия $|\Delta\varphi| < 2\pi$ оказывается использование частотного детектора параллельно с фазовым. При отсутствии синхронизации выходной сигнал частотного детектора обеспечивает изменение скорости двигателя до тех пор, пока не будет выполнено условие $|\Delta\varphi| < 2\pi$, и сигнал f не синхронизируется с сигналом f_c . Когда синхронизация достигнута, сигнал на выходе частотного детектора становится равным нулю, а работой контура ФАПЧ начинает управлять фазовый детектор.

Список использованных источников:

1. Зайцев Г.Ф., Стеглов В.К. Автоматическое регулирование в магнитной записи. – Киев, Техника, 1979.