

ПОВЫШЕНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ В АДДИТИВНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

При создании печатающих 3D-устройств возникает ряд вопросов, связанных с точным перемещением и быстродействием исполнительных механизмов, а также их устойчивостью в процессе выполнения технологических задач. В качестве объекта управления следует рассмотреть приводные устройства системы трехмерного позиционирования исполнительного регулирующего органа [1].

В процессе создании устройств аддитивной печати наибольшее распространение получили высокомоментные двухфазные гибридные шаговые электродвигатели (ШД) [2]. Для всех типов ШД с помощью электронного коммутатора вырабатываются импульсы напряжения, которые подаются на обмотки управления, расположенные на статоре ШД. В качестве схемы формирования управляющего импульса используют микроконтроллер. По причине низкой мощности выходных портом микропроцессора подключение можно реализовать через транзисторные ключи. Схему управления можно представить в виде (рис. 1):

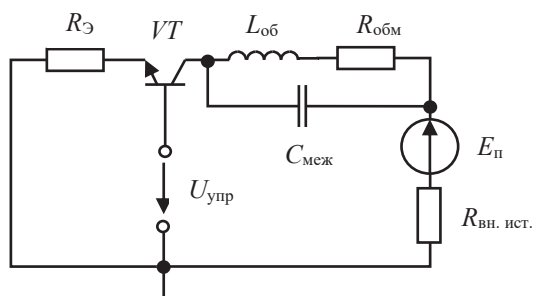


Рисунок 1 - Транзисторная схема управления шаговым двигателем

Управляется транзистор VT с помощью выходного управляющего напряжения микроконтроллера (напряжение $U_{упр}$). При этом питание на обмотку шагового двигателя подается от отдельного внешнего источника питания ($E_п$) с некоторым внутренним сопротивлением ($R_{вн.ист.}$) в виде импульсов.

Рассмотрим переходной процесс в схеме управления шаговым двигателем в двух состояниях электронного ключа: открытое состояние (фронт) и закрытое состояние (спад). В открытом состоянии ключа можно получить следующее характеристическое уравнение:

$$p^2 + \left(\frac{R_{\text{обм}}}{L_{\text{обм}}} + \frac{1}{C_{\text{меж}}(R_{\text{вн.ист.}} + R_{\text{э}})} \right) p + \frac{R_{\text{обм}} + R_{\text{вн.ист.}} + R_{\text{э}}}{L_{\text{обм}} C_{\text{меж}}(R_{\text{вн.ист.}} + R_{\text{э}})} = 0.$$

На основании имеющихся данных о реальных параметрах шаговых двигателей, транзисторов и источников питания можно сделать вывод о маловероятном колебательном процессе.

В случае спада входного напряжения либо отрицательного входного импульса схема и характер переходного процесса должны измениться. Характеристическое уравнение запишется в виде:

$$p^2 + \frac{R_{\text{обм}}}{L_{\text{обм}}} p + \frac{1}{L_{\text{обм}} \cdot C_{\text{меж}}} = 0.$$

Уже для данного переходного процесса возникновение колебаний будет уже при следующих условиях:

$$\frac{4}{L_{\text{обм}} C_{\text{меж}}} > \left(\frac{R_{\text{обм}}}{L_{\text{обм}}} \right)^2.$$

Для реальных двигателей и управляющих систем данное условие практически всегда реализуемо. Следовательно, вовремя спада либо прихода отрицательного управляющего импульса может возникать колебательный переходной процесс, что может сказаться на устойчивости системы управления. При этом частоту собственных колебаний системы можно определить из следующего выражения:

$$f = \frac{\sqrt{\frac{1}{L_{\text{обм}} C_{\text{меж}}} - \left(\frac{R_{\text{обм}}}{2L_{\text{обм}}} \right)^2}}{2\pi}$$

Избежать срыва управления можно путем введения в управляющую схему дополнительных элементов: добавочных сопротивлений, конденсаторов, полупроводниковых диодов.

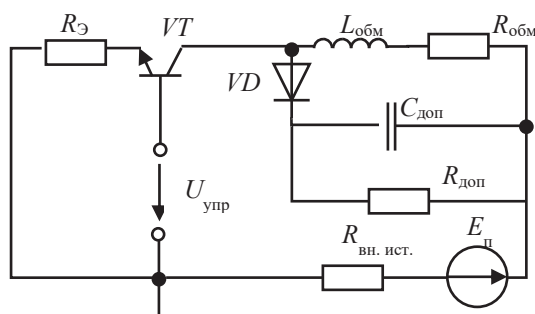


Рисунок 2 - Схема управления шаговым двигателем с дополнительными элементами

Для снижения влияния дополнительного конденсатора при фронте управляющих сигналов допустимо использование обратно

включенного шунтирующего диода, который будет закрыт в момент замыкания транзисторного ключа. При этом дополнительный резистор позволит создать контур разрядки для конденсатора.

Тогда в разомкнутом состоянии ключа собственную частоту можно определить:

$$f = \frac{\sqrt{\frac{1}{L_{\text{обм}} C_{\text{доп}}} - \left(\frac{R_{\text{обм}} + R_{\text{доп}}}{2L_{\text{обм}}}\right)^2}}{2\pi},$$

а при работе транзисторного ключа на замыкание:

$$f = \frac{\sqrt{\left(\frac{R_{\text{обм}}}{L_{\text{обм}}} + \frac{R_{\text{вн.ист.}} + R_{\text{доп}} + R_{\text{э}}}{C_{\text{доп}} R_{\text{доп}} (R_{\text{вн.ист.}} + R_{\text{э}})}\right)^2 - 4\left(\frac{R_{\text{обм}}(R_{\text{доп}} + R_{\text{вн.ист.}} + R_{\text{э}})}{L_{\text{обм}} C_{\text{доп}} R_{\text{доп}} (R_{\text{вн.ист.}} + R_{\text{э}})} + \frac{1}{L_{\text{обм}} C_{\text{доп}}}\right)}}{4\pi}.$$

Для изменения частоты и ухода от резонанса достаточно изменить дополнительные параметры.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анкуда, М. А. Замкнутая система позиционирования приводов рабочих механизмов 3D-принтера / М. А. Анкуда, С. Е. Жарский // Химическая технология и техника : тезисы докладов 82-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 1-14 февраля 2018 г. / Белорусский государственный технологический университет. - Минск : БГТУ, 2018. - С. 95.

2. Математическая модель шагового двигателя для системы управления привода 3D-принтера / М. А. Анкуда [и др.] // Нефтехимия – 2018: материалы I Международного научно-технического форума по химическим технологиям и по нефтепереработке, Минск, 27–30 ноября 2018 г. : в 2 ч. / Белорусский государственный технологический университет. – Минск : БГТУ, 2018. – Ч. 1. – С. 299-303.