

Сравнительный анализ энергетических характеристик позиционных электроприводов

Волянский Р.С., Днепродзержинский государственный технический университет

В настоящее время, благодаря многосторонней проработке теории систем оптимального управления наметилась тенденция широкого применения оптимальных регуляторов при управлении различными технологическими процессами и объектами. Возникновению и развитию этой тенденции способствовала разработка большого количества инженерных методов синтеза оптимальных систем.

Однако, к недостаткам известных работ в области оптимального управления можно отнести то, что в своих работах авторы большое внимание уделяют устойчивости синтезированной системы управления, ее точности и чувствительности к действию различных дестабилизирующих факторов и не рассматривают вопросы энергетики той или иной синтезированной системы управления. В результате, оказывается, что системы управления с уникальными свойствами не находят широкого применения в силу их низкой энергетической эффективности. К таким системам, в первую очередь, следует отнести оптимальные системы разрывного управления, потребление энергии в которых вследствие возникновения скользящего режима значительно. Поэтому, из-за удорожания энергоресурсов, актуальным является исследование энергетических характеристик систем оптимального управления с различными регуляторами.

Целью работы является рассмотрение мгновенных мощностей, потребляемых объектом управления в каждый момент времени и интегральных показателей потребляемой энергии и выработка рекомендаций по выбору и применению той или иной системы управления.

Исследование энергетических характеристик проводили на примере позиционного электропривода постоянного тока по системе ТПД. Уравнения движения такого объекта управления имеют следующий вид

$$\begin{aligned} p\varphi &= \omega, \quad p\omega = \frac{c}{J}I; \quad pI = -\frac{1}{T_a}I - \frac{c}{R_a T_a}\omega + \frac{1}{R_a T_a}E; \\ pE &= -\frac{1}{T_c}E + \frac{K}{T_c}u_y, \end{aligned} \quad (1)$$

где φ, ω, I, E – угол поворота, скорость и ток двигателя, а также ЭДС управляемого преобразователя; c, J, T_a, R_a, T_c, K – конструктивный коэффициент, момент инерции, электромагнитная постоянная времени

и сопротивление якорной обмотки двигателя, а также постоянная времени и коэффициент усиления преобразователя соответственно.

Уравнения (1) представляется в виде уравнений возмущенного движения

$$\begin{aligned} p\eta_1 &= b_{12}\eta_2; p\eta_2 = b_{23}\eta_3; p\eta_3 = b_{32}\eta_2 + b_{33}\eta_3 + b_{34}\eta_4; \\ p\eta_4 &= b_{44}\eta_4 + m_4U. \end{aligned} \quad (2)$$

Будем рассматривать энергетические характеристики систем управления, регуляторы положения которых реализуют следующие алгоритмы.

$$U_1 = -\text{sign}[V_{14}\eta_1 + V_{24}p\eta_1 + V_{34}p^2\eta_1 + V_{44}p^3\eta_1], \quad (3)$$

$$U_2 = -\text{sqrt}[V_{14}\eta_1 + V_{24}p\eta_1 + V_{34}p^2\eta_1 + V_{44}p^3\eta_1], \quad (4)$$

$$U_3 = -\text{sat}[V_{14}\eta_1 + V_{24}p\eta_1 + V_{34}p^2\eta_1 + V_{44}p^3\eta_1]. \quad (5)$$

Эти алгоритмы минимизируют на траекториях возмущенного движения (2) соответственно следующие цели управления

$$I_1 = \int_0^{\infty} [V_{14}\eta_1 + V_{24}p\eta_1 + V_{34}p^2\eta_1 + V_{44}p^3\eta_1] dt, \quad (6)$$

$$I_2 = \int_0^{\infty} \left[\sqrt{|V_{14}\eta_1 + V_{24}p\eta_1 + V_{34}p^2\eta_1 + V_{44}p^3\eta_1|^3} + CU^3 \right] dt, \quad (7)$$

$$I_3 = \int_0^{\infty} \left[(V_{14}\eta_1 + V_{24}p\eta_1 + V_{34}p^2\eta_1 + V_{44}p^3\eta_1)^2 + CU^2 \right] dt. \quad (8)$$

В алгоритмах управления (3-5) и функционалах (6-8) весовые коэффициенты V_{i4} являются коэффициентами функции Ляпунова

$$\begin{aligned} V &= V_{11}\eta_1^2 + 2V_{12}\eta_1\eta_2 + 2V_{13}\eta_1\eta_3 + 2V_{14}\eta_1\eta_4 + V_{22}\eta_2^2 + 2V_{23}\eta_2\eta_3 + \\ &+ 2V_{24}\eta_2\eta_4 + V_{33}\eta_3^2 + 2V_{34}\eta_3\eta_4 + V_{44}\eta_4^2. \end{aligned} \quad (9)$$

Сравнение энергетических характеристик систем управления, реализующих алгоритмы (3-5) будем проводить на основе мгновенных значений полной энергии системы, которые определяются функцией Ляпунова (9) и ее интегрального значения за время управления t_y .

$$E = \int_0^{t_y} V dt. \quad (10)$$

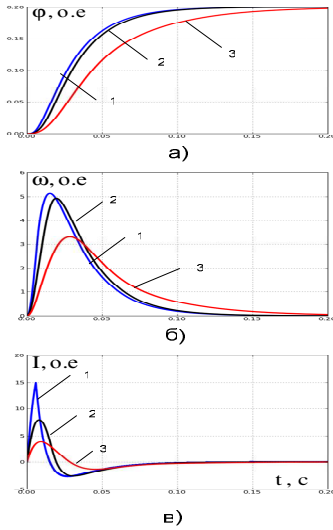


Рис. 1. Переходные процессы в исследуемых системах; а) угол поворота; б) скорость; в) ток якоря

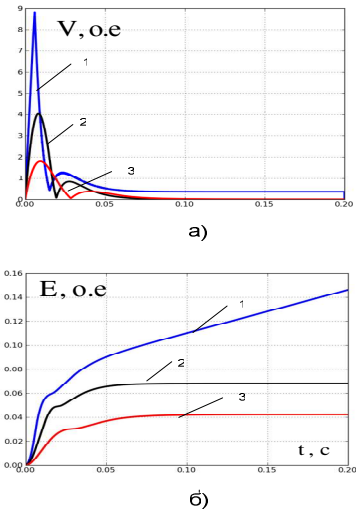


Рис. 2. Мгновенные и интегральные значения полной энергии, запасенной электроприводом: а) мгновенные значения; б) интегральные значения

Результаты математического моделирования позиционного электропривода на базе ДПР-72 с системами управления, которые реализуют алгоритмы (3-5), показаны кривыми 1-3 соответственно на рис. 1. Для удобства анализа все результаты приведены в относительных единицах. На рис. 2 показаны мгновенные и интегральные значения полной энергии, запасенной на траекториях движения (1). Анализ энергетических характеристик, приведенных на рис. 2, показывает наличие в релейной системе управления постоянной составляющей на графике мгновенных значений энергии. Эта составляющая объясняется возникновением в системе скользящего режима, который приводит к потреблению энергии даже при достижении заданного значения. Очевидно, что такая система управления длительно может работать только при наличии источника энергии достаточно большой емкости. При управлении от источника энергии ограниченной емкости предпочтение следует отдать линейной системе управления или, при необходимости получения переходных процессов аналогичных процессам в релейной системе управления, системе управления с нелинейной активационной функцией.

