

ВОПРОСЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛОЖИТЕЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗИ В АДАПТИВНЫХ ФРИКЦИОННЫХ МУФТАХ

Кирпиченко А.Е.

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация. Показано, что для обеспечения теоретического постоянства значения предельного вращающего момента, передаваемого АФМ с положительной обратной связью прямого (непосредственного) действия, значение силы прижатия друг к другу фрикционных пар должно изменяться обратно пропорционально значению текущего коэффициента трения. Установлено, что значение максимального отношения силы прижатия друг к другу фрикционных пар к первоначальной силе натяжения замыкающей пружины должно быть равно значению отношения максимального коэффициента трения к его минимальному значению. Доказано, что значение коэффициента усиления положительной обратной связи прямого (непосредственного) действия зависит обратно пропорционально от значения текущего коэффициента трения.

Ключевые слова: адаптивная фрикционная муфта, положительная обратная связь, прямое регулирование, момент сил трения, стабилизация.

QUESTIONS ABOUT APPLYING POSITIVE FEEDBACK IN ADAPTIVE FRICTION CLUTCHES

Kirpichenko A. E.

Federal State-Funded Educational Institution of Higher Education Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract. It is shown that the significant disadvantages inherent in the adaptive friction clutch with positive feedback and indirect (indirect) control, limit the possibility of their application in practice and require the development of another method of automatic control. A schematic diagram of an adaptive friction clutch with positive feedback and direct (direct) control is synthesized. It is proved that the process of automatic control does not lead to stabilization of the value of the moment of friction forces of the friction group.

Keywords: adaptive friction clutch, positive feedback, direct regulation, moment of friction forces, stabilization.

Состояние вопроса. В работах [1, 2, 3, 4] приведены результаты исследований адаптивных фрикционных муфт (АФМ) со смешанной – положительно-отрицательной и положительной обратной связью.

Показано, в частности, что существенные недостатки, присущие АФМ с положительной обратной связью и косвенным (непрямым) регулированием, ограничивают возможность их применения на практике и требуют разработки иного способа автоматического регулирования.

Синтезирована принципиальная схема АФМ с положительной обратной связью и прямым (непосредственным) регулированием.

Установлено, что процесс автоматического регулирования не приводит к стабилизации значения момента сил трения фрикционной группы.

Постановка задачи исследования. Установление закономерности изменения силы прижатия друг к другу элементов пар трения АФМ с положительной обратной связью прямого (непосредственного) действия в процессе автоматического регулирования.

Решение задачи. В соответствии с поставленной задачей исследования, при автоматическом регулировании АФМ необходимо, чтобы значение силы прижатия друг к другу элементов пар трения уменьшалось при перегрузке по мере увеличения коэффициента трения [5, 6, 7, 8]. Синтезированная принципиальная схема АФМ не позволяет осуществить подобное регулирование.

Поскольку в настоящей работе проводится теоретическое, а не прикладное решение поставленной задачи, предположим, что АФМ содержит механизм, обеспечивающий изменение значения силы натяжения замыкающей пружины по заданному закону.

Распорная сила, возникающая между телами качения и втулкой, должна уравниваться силой пружины и силой трения между втулкой и направляющей шпонкой. С другой стороны, значение силы

прижатия фрикционных дисков друг к другу и, следовательно, значение передаваемого муфтой вращающего момента определяются распорной силой [9, 10]. На основании этого запишем следующие соотношения:

$$F_{p,i} - (F_n + cx_i) - F_{тр,i} = 0, \quad (1)$$

$$F_{p,i} = \frac{T_{n,i}}{r} \operatorname{tg} \alpha, \quad (2)$$

где $F_{p,i}$ – текущая распорная сила УУ обратной связи; F_n – первоначальная сила натяжения пружины; c – осевая жесткость пружины; x_i – текущее осевое перемещение втулки; $F_{тр,i}$ – текущая сила трения между втулкой и направляющей шпонкой; $T_{n,i}$ – текущий вращающий момент муфты; α – угол скоса гнезд под тела качения; r – радиус окружности, на которой расположены тела качения.

Значение текущей силы трения определяется по формуле:

$$F_{тр,i} = \frac{2T_{n,i}}{d} f_1, \quad (3)$$

где f_1 – коэффициент трения в соединении «втулка – направляющая шпонка»; d – диаметр ступицы ведущей полумуфты в месте установки втулки.

Особенностью автоматического регулирования в АФМ с положительной обратной связью является то, что для обеспечения постоянного значения предельного вращающего момента при срабатывании необходимо, чтобы сила прижатия фрикционных дисков друг к другу уменьшалась по мере увеличения коэффициента трения между ними от минимального до максимального значения [11, 12]. В этом случае значение номинального вращающего момента АФМ должно определяться с учетом максимального значения коэффициента трения f_{\max} при значении силы натяжения пружины, соответствующей крайнему левому осевому положению втулки.

Следовательно, при автоматическом регулировании АФМ с положительной обратной связью минимальному значению коэффициента трения между фрикционными дисками должна соответствовать максимальная сила натяжения пружины при крайнем правом осевом положении втулки [13, 14]. В свою очередь, при максимальном значении коэффициента трения сила натяжения пружины должна быть минимальной.

При текущих (промежуточных) значениях коэффициента трения значение силы натяжения пружины должно находиться в интервале от минимального до максимального, а втулка должна занимать промежуточные положения.

Для установления закономерности изменения значения силы прижатия фрикционных дисков друг к другу в процессе автоматического регулирования, т. е. распорной силы УУ положительной обратной связи, запишем следующее соотношение:

$$T_n = T_{n,i}, \quad (4)$$

где T_n – номинальный вращающий момент АФМ, устанавливаемый при ее настройке; $T_{n,i}$ – текущий предельный вращающий момент АФМ, значение которого соответствует текущему значению коэффициента трения.

Значение номинального вращающего момента АФМ определяется по следующей формуле:

$$T_n = zF_n R_{cp} f_{\max}, \quad (5)$$

где z – число пар поверхностей трения фрикционных дисков 3 и 4; F_n – см. выше; R_{cp} – средний радиус поверхностей трения фрикционных дисков; f_{\max} – см. выше.

На основе формулы (5) запишем выражение для определения значения текущего вращающего момента АФМ:

$$T_{n,i} = zF_{n,i} R_{cp} f_i, \quad (6)$$

где $F_{n,i}$ – текущая сила натяжения пружины; f_i – текущее значение коэффициента трения.

Приравнявая друг другу, согласно равенству (4), правые части выражений (5) и (6), находим зависимость значения текущей силы прижатия друг к другу фрикционных дисков от значения текущего коэффициента трения:

$$F_{n,i} = F_n \frac{f_{\max}}{f_i}. \quad (7)$$

Выражение (7) показывает, что значение текущей силы прижатия друг к другу фрикционных дисков изменяется по обратной (гиперболической) зависимости в функции значения текущего коэффициента трения [15, 16].

Из выражения (7) также следует, что значение максимального отношения силы $F_{n,i}$ к силе F_n

равна отношению f_{\max} / f_{\min} (где f_{\min} – значение минимального коэффициента трения), а при $f_i = f_{\max}$ справедливо равенство $F_{n,\min} = F_n$, что подтверждает ранее сформулированный вывод.

Как и в АФМ с положительной обратной связью косвенного регулирования [17], в рассматриваемой муфте необходимо использовать пружину, обладающую большой осевой жесткостью. Выполнить данное требование с помощью одной центральной пружины довольно сложно, поэтому целесообразно использовать конструктивную схему с несколькими концентрично установленными пружинами, обладающими повышенной совокупно осевой жесткостью.

Если пружина или группа замыкающих пружин имеет линейную силовую характеристику, из уравнения (1) можно найти зависимость значения осевого перемещения втулки от значения текущего коэффициента трения.

Заменяя параметр $F_{n,i}$ параметром $F_{p,i}$ и подставляя правую часть выражения (7) в уравнение (1), получаем:

$$x_i = \frac{1}{c} \left(F_n \frac{f_{\max}}{f_i} - F_n - \frac{2T_{n,i}}{d} f_1 \right).$$

Используя в полученном выражении правую часть соотношения (3), находим:

$$x_i = \frac{1}{c} \left[F_n \left(\frac{f_{\max}}{f_i} - 1 \right) - \frac{2f_1}{d} z F_n R_{cp} f_{\max} \right] = \frac{F_n}{c} \left(\frac{f_{\max}}{f_i} - 1 - \frac{2zR_{cp} f_1 f_{\max}}{d} \right). \quad (8)$$

Выражение (8) показывает, что значение осевого перемещения втулки уменьшается по мере увеличения значения текущего коэффициента трения и наоборот. Это вполне согласуется с физико-механической картиной процесса автоматического регулирования: при увеличении коэффициента трения необходимо, чтобы уменьшалась сила прижатия друг к другу фрикционных дисков, что происходит в том случае, если при перемещении влево втулки уменьшается сила натяжения пружины [18].

Результаты исследования могут быть использованы при синтезе АФМ с положительной обратной связью прямого (непосредственного) действия.

Выводы:

1. Для обеспечения теоретического постоянства значения предельного вращающего момента, передаваемого АФМ с положительной обратной связью прямого (непосредственного) действия, значение силы прижатия друг к другу фрикционных пар должно изменяться обратно пропорционально значению текущего коэффициента трения.
2. Значение максимального отношения силы прижатия друг к другу фрикционных пар к первоначальной силе натяжения замыкающей пружины должно быть равно значению отношения максимального коэффициента трения к его минимальному значению.
3. Значение коэффициента усиления положительной обратной связи прямого (непосредственного) действия зависит обратно пропорционально от значения текущего коэффициента трения.

Список использованных источников

1. Влияние точности срабатывания предохранительной муфты на выбор мощности электродвигателя привода / М.П. Шишкарёв // Вестн. машиностроения. – 2006. – № 8. – С. 35–37.
2. Повышение нагрузочной способности и точности срабатывания адаптивных фрикционных муфт / М.П. Шишкарёв // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2010. – № 5. – С. 18–24.
3. Шишкарёв, М.П. Адаптивные фрикционные муфты второго поколения. Исследование, конструкции и расчет. Монография // М.П. Шишкарёв, А.А. Луцкий, А.Ю. Угленко. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2013. – 236 с.
4. Уровень перегрузки при срабатывании адаптивных фрикционных муфт / М.П. Шишкарёв // Вестн. машиностроения. – 2006. – № 2. – С. 13–15.
5. Компонентные решения приводов машин с адаптивными фрикционными муфтами / М.П. Шишкарёв // Вестн. машиностроения. – 2003. – № 7. – С. 7–12.
6. Шишкарёв, М.П. Точность срабатывания адаптивной фрикционной муфты второго поколения (модифицированной) // М.П. Шишкарёв, А.А. Луцкий, А.Ю. Угленко // Материалы 6-й научно-практической конференции «Инновационные технологии в машиностроении и металлургии», Ростов н/Д, 2014. – С. 118–130.
7. Шишкарёв, М.П. Выбор формы нагрузочной характеристики первого конструктивного варианта адаптивной фрикционной муфты с отдельным силовым замыканием / М.П. Шишкарёв, А.А. Луцкий / В сборнике: Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения. Материалы 7-й Междунар. науч.-практ. конф., в рамках 17-й Международной агропромышленной выставки

«Интерагромаш-2014», Ростов н/Д, 2014. – С. 206–209.

8. Оптимизация коэффициента усиления адаптивных фрикционных муфт первого поколения с дифференцированными парами трения / М.П. Шишкарев // Тракторы и сельхозмашины. – 2010. – № 4. – С. 36–39.

9. Анализ переходного периода адаптивных фрикционных контактов в условиях положительного прироста коэффициента трения / М.П. Шишкарев // Изв. вузов. Машиностроение. – 2000. – № 3. – С. 14–17.

10. Оптимальный способ настройки предохранительных фрикционных муфт / М.П. Шишкарев // Вестн. машиностроения. – 2006. – № 3. – С. 16–19.

11. Анализ способов настройки предохранительных фрикционных муфт / М.П. Шишкарев // Вестник машиностроения. – 2009. – № 8. – С. 29–32.

12. Шишкарев, М.П. Исследование режима перегрузки АФМ второго поколения (базовый вариант) // М.П. Шишкарев // В сборнике: Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения. Сборник статей 8-й международной научно-практической конференции в рамках 18-й международной агропромышленной выставки «Интерагромаш-2015». 2015. С. 182–186.

Работа выполнена в рамках инициативной НИР.