

ОСНОВЫ РАЗДЕЛЬНОГО СИЛОВОГО ЗАМЫКАНИЯ В АДАПТИВНЫХ ФРИКЦИОННЫХ МУФТАХ ВТОРОГО ПОКОЛЕНИЯ

Зиновьев В.Е.

Ростовский государственный университет путей сообщения, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация. Синтезированы обобщенные принципиальная схема и математическая модель адаптивной фрикционной муфты второго поколения с отдельным силовым замыканием, предназначенные для использования технико-эксплуатационных характеристик. Установлены три варианта схемы отдельного силового замыкания в муфте и разработаны их математические модели. Установлены ограничения максимальных значений параметров, позволяющие оптимизировать точность срабатывания муфты.

Ключевые слова: адаптивная фрикционная муфта, отдельное замыкание, второе поколение, настройка, нагрузочная характеристика.

BASICS OF SEPARATE POWER CIRCUIT IN ADAPTIVE FRICTION CLUTCHES OF THE SECOND GENERATION

Zinoviev V. E.

Rostov State Transport University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract. The generalized schematic diagram and mathematical model of the adaptive friction clutch of the second generation with a separate power circuit, designed for the use of technical and operational characteristics, are synthesized. Three variants of the circuit of separate power circuit in the coupling are established and their mathematical models are developed. The limits of maximum values of parameters allowing to optimize accuracy of operation of the coupling are established.

Keywords: adaptive friction clutch, separate closure, second generation, adjustment, load characteristic.

Состояние вопроса. Результаты исследований созданных в последнее время различных вариантов адаптивной фрикционной муфты (АФМ) с отдельным силовым замыканием показали их преимущество по точности срабатывания. Техническая новизна этих вариантов заключается в том, что пары трения основной фрикционной группы (ОФГ) и дополнительной фрикционной группы (ДФГ) замыкаются различными усилиями: пары трения ОФГ – более высоким усилием, пары трения ДФГ – меньшим усилием [1, 2, 3, 4, 5].

Благодаря этому появляется возможность увеличить предельное значение коэффициента усиления (КУ) обратной связи, что приводит к повышению точности срабатывания АФМ.

Однако проведенные исследования вариантов АФМ носят характер частных исследований и не охватывают общие вопросы теории подобных объектов. Между тем, последние исследования показали возможность создания других вариантов АФМ, в связи с чем появилась настоятельная необходимость разработки теоретических основ отдельного силового замыкания в конструкциях АФМ второго поколения.

Постановка задачи исследования. Создание теоретических основ отдельного силового замыкания в АФМ второго поколения.

Решение задачи. Для проведения исследования рассмотрим принципиальную схему АФМ второго поколения (базовый вариант) [6, 7]. Сразу же оговоримся, что данная схема не является представителем какого-либо из вариантов отдельного силового замыкания АФМ, которые будут рассмотрены ниже. Принципиальная схема АФМ, показанная на рисунке, лишь иллюстрирует основной принцип компоновочного решения муфт второго поколения.

Соосные одна другой полумуфты 1 и 2 кинематически связаны между собой двумя фрикционными группами:

- ОФГ, состоящей из дисков трения 3 и 4;
- ДФГ, включающей диски трения 5 и 6, а также нажимной диск 7.

Диски 3 и 5 связаны в окружном направлении со ступицей нажимного диска 7 при помощи

способа, позволяющего указанным дискам перемещаться в осевом направлении относительно нажимного диска. В качестве реализации указанного способа, например, может быть применено специальное шлицевое соединение, широко используемое в конструкциях дисковых предохранительных и сцепных управляемых фрикционных муфт [8].

Диски 4 и 6 связаны аналогичным способом с барабаном полумуфты 2.

Управляющее устройство (УУ) автоматического регулирования АФМ состоит из тел качения 8, которые размещены в гнездах со скошенными боковыми стенками, выполненных в нажимном диске 7 и в упорном диске 9, жестко закрепленном на ступице полумуфты 1 (рисунок 1, сечение А-А).

Общее силовое замыкание пар трения ОФГ и ДФГ осуществляется пружиной 10, которая передает усилие через упорный подшипник 11.

Абстрагируясь от конкретной конструктивной схемы АФМ, изображенной на рисунке, положим, что усилия замыкания пар трения ОФГ и ДФГ не равны друг другу. При этом возможны 3 различные варианта силового замыкания.

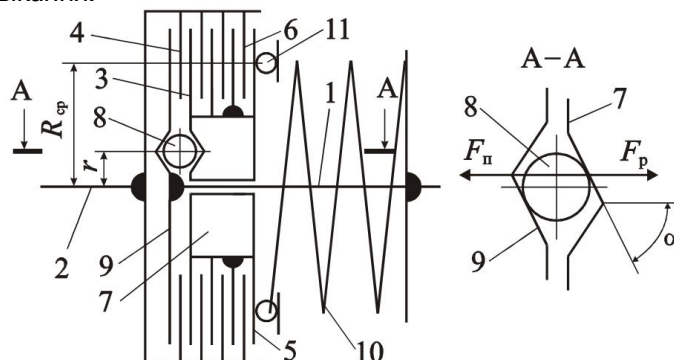


Рисунок 1 - Принципиальная схема АФМ второго поколения (базовый вариант)

Вариант 1. В данном варианте усилие замыкания пар трения ОФГ составляет F_{n1} , а пар трения ДФГ – F_{n2} . В соответствии с этим запишем:

$$T_1 = zR_{cp}f(F_{n1} - F_p), \quad (1)$$

$$T_2 = z_1F_{n2}R_{cp}f, \quad (2)$$

где T_1, T_2 – вращающие моменты, передаваемые соответственно парами трения ОФГ и ДФГ; z – число пар трения ОФГ; R_{cp} – средний радиус поверхностей трения (принят одинаковым для пар трения ОФГ и ДФГ); f – коэффициент трения; F_p – распорная сила, создаваемая УУ; z_1 – число пар трения ДФГ.

Для определения распорной силы примем во внимание, что вращающий момент, за счет которого возникает распорная сила, равен сумме вращающих моментов:

$$T_3 = T_2 + T_4, \quad (3)$$

где T_4 – вращающий момент, который передают пары трения ОФГ, связанные с нажимным диском:

$$T_4 = \frac{z-1}{z}T_1. \quad (4)$$

С учетом соотношений (3) и (4) распорная сила определяется по следующей формуле:

$$F_p = \frac{(z-1)T_1 / z + T_2}{r} \operatorname{tg} \alpha, \quad (5)$$

где α – угол скоса боковой стенки гнезда под тело качения 8; r – радиус окружности, на которой расположены тела качения 8 (см. рисунок).

Подставляя соотношения (1) и (2) в формулу (5), получаем:

$$F_p = Cf \frac{(z-1)F_{n1} + z_1F_{n2}}{1 + (z-1)Cf}, \quad (6)$$

где C – коэффициент усиления (КУ) обратной связи:

$$C = \frac{R_{cp}}{r} \operatorname{tg} \alpha.$$

Положим, что

$$\frac{F_{n1}}{F_{n2}} = n, \quad (7)$$

где n – коэффициент: $n \neq 1$.

Тогда соотношение (6), с учетом выражения (7), принимает следующий вид:

$$F_p = F_{n2} C_f \frac{(z-1)n + z_1}{1 + (z-1)C_f}. \quad (8)$$

Учитывая соотношения (7) и (8), запишем выражение (1) в виде:

$$T_1 = z F_{n2} R_{cp} f \frac{n - z_1 C_f}{1 + (z-1)C_f}. \quad (9)$$

Используя соотношения (2) и (9), получаем формулу полного вращающего момента первого варианта АФМ с отдельным силовым замыканием:

$$T_n = T_1 + T_2 = F_{n2} R_{cp} f \frac{z_1 + f[z(n + z_1 C) - z_1 C(zf + 1)]}{1 + (z-1)C_f}. \quad (10)$$

Соотношение (10) показывает, что рассматриваемый вариант АФМ с отдельным силовым замыканием, возможно, обладает формой нагрузочной характеристики (зависимость $T(f)$) в виде кривой с точкой максимума внутри интервала значений коэффициента трения $f_{min} \dots f_{max}$ (где f_{min}, f_{max} – соответственно минимальный и максимальный коэффициенты трения), в отличие от базового варианта АФМ второго поколения [9, 10, 11], который указанного максимума не имеет.

Наличие максимума функции $T(f)$ зависит, в частности, от знака двучлена в квадратных скобках числителя в соотношении (10). Для определения знака двучлена запишем следующее неравенство:

$$z(n + z_1 C) - z_1 C(zf + 1) < 0. \quad (11)$$

Вид неравенства (11) принят в связи с тем, что отрицательный двучлен позволяет выдвинуть гипотезу о существовании указанной формы нагрузочной характеристики рассматриваемой АФМ.

Решая неравенство (11) относительно неизвестного n , получаем:

$$n < \frac{z_1 C [1 - z(1 - f)]}{z}. \quad (12)$$

Коэффициент n положительный, если выполняется неравенство

$$f > \frac{z-1}{z}. \quad (13)$$

Таким образом, при значениях коэффициента трения f , удовлетворяющих неравенству (13), коэффициент n принимает положительное значение. Наоборот, при меньших значениях f для выполнения неравенства (11) коэффициент n должен быть отрицательным.

Поскольку, учитывая физическую сущность коэффициента n , последнее условие невозможно, упомянутый двучлен может изменять свой знак в следующих случаях:

- при $f = f_{min} \dots (z-1)/z$ – двучлен положительный;
- при $f = (z-1)/z \dots f_{max}$ – двучлен отрицательный.

Особым считается случай, когда $f = (z-1)/z$.

В этом случае значение коэффициента n должно быть равно нулю, что противоречит физическому смыслу данного параметра.

Поскольку значение коэффициента n постоянное и не изменяется в процессе работы АФМ, решая неравенство (11) относительно переменной f , получаем:

$$f > \frac{z(n + z_1 C) - z_1 C}{z z_1 C}. \quad (14)$$

Положительное значение вращающего момента T_{II} будет в том случае, когда $f > f_{min}$, или, с учетом неравенства (14):

$$\frac{z(n + z_1 C) - z_1 C}{z z_1 C} > f_{min}. \quad (15)$$

Из неравенства (15) находим ограничение значения КУ C , которое удовлетворяет условию (14). Для этого запишем неравенство (15) в следующем виде:

$$\frac{n}{z_1 C} + 1 - \frac{1}{z} > f_{min}. \quad (16)$$

Обычно для сочетаний материалов пар трения, применяемых в АФМ, $f_{min} = 0,08 \dots 0,15$ [12]. Очевидно, что, с учетом приведенных значений коэффициента трения f_{min} , неравенство (16) и неравенство (15) выполняются при любом значении КУ C , даже при минимальном числе пар трения ОФГ.

При увеличении коэффициента трения и нарастании перегрузки возрастает распорная сила, что

может привести к уравниванию ее с силой F_{n1} . В результате этого выключаются из работы пары трения ОФГ, и при дальнейшем увеличении коэффициента трения (если до этого момента он не являлся максимальным) вся нагрузка АФМ будет передаваться только парами трения ДФГ.

Это приведет к переходу муфты в режим работы с положительной обратной связью, что отрицательно повлияет на ее точность срабатывания.

На основании изложенного установим ограничение максимального значения КУ C , поскольку оно влияет на значение распорной силы. Для этого приравняем друг другу распорную силу и силу F_{n1} , которая осуществляет замыкание пар трения ОФГ.

Напомним, что сила F_{n1} , по условию задачи, на пары трения ОФГ не действует.

Используя соотношение (8), с учетом поставленного условия находим:

$$C = \frac{n}{z_1 f_{\max}}. \quad (17)$$

При выводе соотношения (17) в выражении (8) сделана замена параметра f на параметр f_{\max} . Это сделано потому, что в данном случае обеспечивается работа АФМ в адаптивном режиме в интервале значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$ и достигается наибольшая точность срабатывания АФМ.

Из соотношения (17) следует, что значение КУ C прямо пропорционально коэффициенту n и обратно пропорционально числу пар трения ДФГ.

Вполне естественно, что при значениях КУ, удовлетворяющих неравенству

$$C < \frac{n}{z_1 f_{\max}},$$

АФМ также будет работать в адаптивном режиме в интервале значений коэффициента трения $f_{\min} \dots f_{\max}$.

Сопоставляя соотношение (17) с ограничением значения КУ базового варианта АФМ второго поколения в виде

$$C_1 \leq \frac{1}{z_1 f_{\max}},$$

видим, что $C > C_1$ в n раз. Следовательно, данный вариант обладает более высокой точностью срабатывания, если учитывать ранее установленное влияние значения КУ на точность срабатывания муфты.

Подставляя соотношение (17) в неравенство (11), получаем следующее неравенство:

$$\frac{1 - z(1 - f_{\max})}{z f_{\max}} > 1, \quad (18)$$

которое может выполняться при условии, что

$$1 - z > 0.$$

Очевидно, что последнее неравенство не выполняется ни при каких значениях параметра z . Следовательно, неравенство (18) также не выполняется. Это свидетельствует о том, что многочлен в квадратных скобках соотношения (10) при максимальном значении КУ положительный.

Таким образом, для того чтобы упомянутый многочлен был отрицательным, необходимо следующее ограничение минимального значения КУ:

$$C' > \frac{zn}{z_1(zf_{\max} + 1 - z)}. \quad (19)$$

Сопоставление параметров C и C' показывает, что условие $C > C'$ выполнимо только в том случае, если выполняется неравенство $1 - z > 0$. Как указано выше, данное неравенство не выполняется при любом целочисленном значении параметра z .

Таким образом, в соотношении (10) многочлен при параметре f в числителе не принимает отрицательных значений ни при каких значениях коэффициента трения. Это означает, что данный вариант АФМ не обладает точностью срабатывания, более высокой, чем точность срабатывания АФМ первого поколения (типа муфты Н.Д. Вернера).

Результаты исследования могут быть использованы при выборе необходимого варианта АФМ с раздельным силовым замыканием, его расчете и проектировании с учетом условий эксплуатации.

Выводы:

1. Синтезированы обобщенная принципиальная схема и математическая модель АФМ второго поколения с раздельным силовым замыканием, предназначенные для использования технико-эксплуатационных характеристик.

2. Установлены три варианта схемы отдельного силового замыкания в АФМ второго поколения и разработаны их математические модели.

3. Установлены ограничения максимального значения коэффициента n , позволяющие оптимизировать точность срабатывания АФМ.

Список использованных источников

1. Шишкарёв, М.П. Математические модели адаптивного фрикционного контакта твердых тел 2-го поколения // М.П. Шишкарёв // Математические методы в технике и технологиях: Сб. тр. XVIII Междунар. науч. конф. В 10 т. Т. 5. Секция 5 «Компьютерная поддержка производственных процессов» // Под общ. ред. В.С. Балакирева – Казань: изд-во Казанского гос. технол. ун-та, 2005. – С. 72–76.

2. Компоновка базового варианта адаптивной фрикционной муфты второго поколения // М.П. Шишкарёв // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2010. – № 7. – С. 16–20.

3. Теоретические основы применения двухконтурной отрицательной обратной связи в адаптивных фрикционных муфтах // М.П. Шишкарёв // Вестн. машиностроения. – 2005. – № 8. – С. 19–21.

4. Шишкарёв, М.П. Адаптивные фрикционные муфты второго поколения. Исследование, конструкции и расчет. Монография // М.П. Шишкарёв, А.А. Лущик, А.Ю. Угленко. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2013. – 236 с.

5. Особенности процесса срабатывания адаптивных фрикционных муфт / М.П. Шишкарёв // Вестн. машиностроения. – 2004. – № 4. – С. 3–7.

6. Условие высокой точности срабатывания адаптивных фрикционных муфт // М.П. Шишкарёв // Тракторы и сельхозмашины. – 2011. – № 7. – С. 46–48.

7. Синтез и анализ адаптивной фрикционной муфты со смешанной структурой обратной связи // М.П. Шишкарёв // Вестн. машиностроения. – 2004. – № 3. – С. 3–8.

8. Шишкарёв, М.П. Исследование базового варианта адаптивной фрикционной муфты второго поколения // М.П. Шишкарёв // 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. 162–167.

9. Эксплуатационные характеристики адаптивной фрикционной муфты второго поколения с отдельным силовым замыканием / М.П. Шишкарёв, А.А. Лущик // Тракторы и сельхозмашины. – 2013. – № 3. – С. 28–31.

10. Шишкарёв, М.П., Лущик А.А., Угленко А.Ю. Точность срабатывания адаптивной фрикционной муфты второго поколения (модифицированной) // М.П. Шишкарёв, А.А. Лущик, А.Ю. Угленко / Материалы 6-й научно-практической конференции «Инновационные технологии в машиностроении и металлургии», Ростов н/Д, 2014. – С. 118–130.

11. Модернизация адаптивной фрикционной муфты второго поколения // М.П. Шишкарёв, А.Ю. Угленко // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2012. – № 10. – С. 3–7.

12. Теоретические основы стабилизации выходного параметра адаптивного фрикционного контакта твердых тел // М.П. Шишкарёв // Изв. вузов. Машиностроение. – 2001. – № 2–3. – С. 17–23.

Работа выполнена в рамках инициативной НИР.