

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЕРЕДАТОЧНОЙ ФУНКЦИИ РЫЧАЖНО-ШАРНИРНОЙ МУФТЫ С УЧЕТОМ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ШАРНИРАХ МЕХАНИЗМА

В работе выведена формула для определения передаточной функции между ведущими и ведомыми валами шарнирно-рычажной муфты, амплитуда ее колебаний с учетом упругих элементов.

Ключевые слова: передаточная функция шарнирно-рычажной муфты, упругие элементы, ведомый вал, полумуфты.

DETERMINING THE TRANSFER FUNCTION PIVOT CLUTCH LEVER-BASED ELASTIC ELEMENTS HINGED MECHANISM

In this paper a formula for determining the transfer function between the driving and driven shafts jointed lever couplings, the amplitude of its oscillations in view of elastic elements.

Keywords: transfer function of the hinged-lever couplings, elastic elements, the driven shaft, the coupling half.

Передаточная функция шарнирно-рычажной муфты определяется отношением угловых скоростей ведущего и ведомого валов [1]. При холостом режиме движения шарнирной муфты на закономерность изменения передаточной функции влияет в основном угол наклона валов относительно горизонтальной линии. Упругие элементы в шарнирах ведомой полумуфты в некоторой степени поглощает колебания угловой скорости ведомого вала и поэтому угловая скорость в ведущем валу будет более сглаженной.

В рассматриваемом механизме ведомый вал установлен на упругой опоре, а также шарнирное соединение серьги с шатуном ведомой полумуфты также имеет упругий элемент. Поэтому точка O_1 является неподвижной, а точка O_2 является подвижной. Учитывая, что перемещения точки O_2 значительно меньше чем другие точки звеньев полумуфты, примем и точку O_2 неподвижной (см.рис.1). Точки O_1 и O_2 являются центрами вилок и серег полумуфт. Координаты точек вилок обозначим $O_1 X_{e_1} Y_{e_1} Z_{e_1}$ и $O_2 X_{e_2} Y_{e_2} Z_{e_2}$ и серег $O_1 X_{c_1} Y_{c_1} Z_{c_1}$ и $O_2 X_{c_2} Y_{c_2} Z_{c_2}$. Считается оси координат для ведущей полумуфты.

Для рассматриваемого случая особенным является Эйлеровские углы. Если рассматривать, что плоскости $O_1 X_{e_1} Y_{e_1} Z_{e_1}$ и $O_1 X_{c_1} Y_{c_1} Z_{c_1}$ пересекаясь, образуют линию, то есть ось $O_1 X$. в положении механизма, когда оси $O_1 X_{e_1}$ и $O_1 X_{c_1}$ сливаются с неподвижной осью $O_1 X$. Предположим, что вал вилки $O_1 X_{e_1} Y_{e_1}$ повернулась на угол φ_1 вокруг оси $O_1 Z_{e_1}$. Тогда серьга вращаясь совместно с вилок вала, тоже поворачивается на угол φ_1 относительно своей оси симметрии. Поэтому φ_1 будет углом собственного вращения, а угол ψ_1 углом нутации образованный между осями $O_1 Z_{e_1}$ и $O_1 Z_{c_2}$. Рассмотрим векторы угловых скоростей для ведущей полумуфты механизма. При этом (см.рис.1 а) вектор угловой скорости $\dot{\varphi}_1$ ведущей вилки направлен по $O_1 Z_{e_1}$, а вектор угловой скорости переносного движение ω_{n1} направлен по оси $O_1 Z_{c_2}$, и вектор относительной угловой скорости ω_0^1

направлен по оси $O_1 X_{e_1}$, который совпадает с осью $O_1 X_{c_1}$ от точки A^1 к точке O_1 в данный момент времени. Потому что вращение точки цапфы А серьги относительно гнезда вилки происходит против часовой стрелки. Переносная угловая скорость серьги ω_{n_1} по значению равна угловой скорости ведущего вала ω_1 рычажно-шарнирной муфты.

Определение мгновенных угловых скоростей серег ведущей и ведомой полумуфт ω_{c_1} и ω_{c_2} производится векторными уравнениями. Векторные уравнения результирующих движений серег ведущего и ведомого валов рычажно-шарнирной муфты согласно схемы на рис.1 б получаются:

$$\bar{\omega}_{c_1} = \bar{\omega}_1 + \bar{\omega}_{n_1} + \bar{\omega}_{o_1}; \quad \bar{\omega}_{c_2} = \bar{\omega}_2 + \bar{\omega}_{n_2} + \bar{\omega}_{o_2} \quad (1)$$

где, $\bar{\omega}_1, \bar{\omega}_2$ - векторы угловых скоростей ведущего и ведомого валов рычажно-шарнирной муфты; n_1, n_2 векторы переносных угловых скоростей серег в полумуфте; $\bar{\omega}_{o_1}, \bar{\omega}_{o_2}$ - векторы относительных угловых скоростей полумуфт.

Для определения $\bar{\omega}_{c_1}, \bar{\omega}_{c_2}$ полученное (1) проецируем на оси неподвижных координатных систем O,XYZ:

$$\begin{aligned} \omega_{c_1}^x &= \omega_1^x + \omega_{n_1}^x + \omega_{o_1}^x; \quad \omega_{c_2}^x = \omega_2^x + \omega_{n_2}^x + \omega_{o_2}^x; \\ \omega_{c_1}^y &= \omega_1^y + \omega_{n_1}^y + \omega_{o_1}^y; \quad \omega_{c_2}^y = \omega_2^y + \omega_{n_2}^y + \omega_{o_2}^y; \\ \omega_{c_1}^z &= \omega_1^z + \omega_{n_1}^z + \omega_{o_1}^z; \quad \omega_{c_2}^z = \omega_2^z + \omega_{n_2}^z + \omega_{o_2}^z; \end{aligned}$$

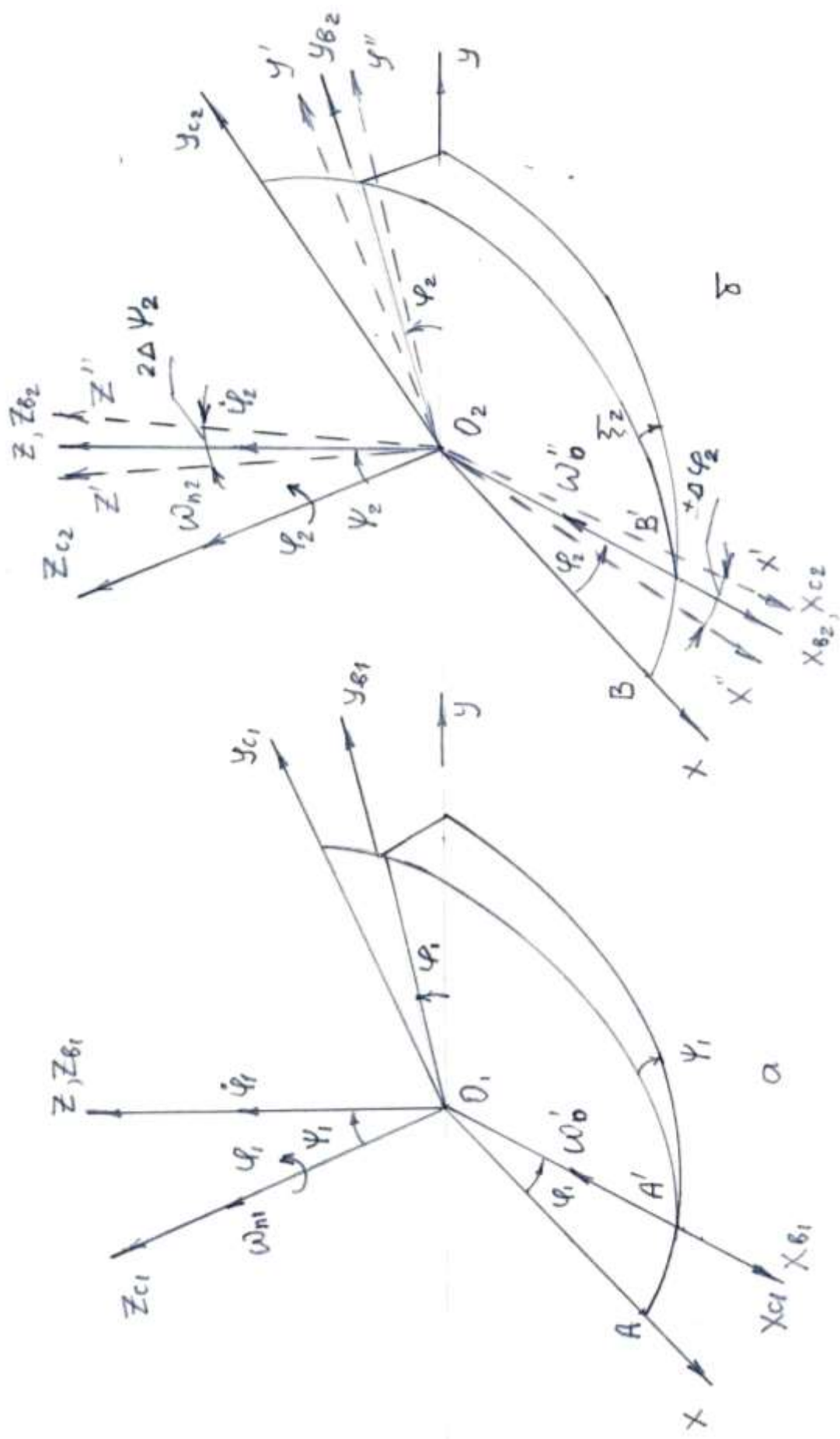


Рис. 1. Расчетная схема положений координатных осей рычажно-шарнирной муфты

Согласно схемы приведенные на рис.1а и б определим соответствующие проекции угловых скоростей ведущего и ведомого полумуфт:

$$\begin{aligned}
 \omega_{c1}^x &= \omega_{n1} \sin \psi_1 \sin \varphi_1 + \omega_{o1} \cos \varphi_1; \\
 \omega_{c2}^x &= \omega_{n2} \sin(\psi_2 \pm \Delta \psi_2) \sin(\varphi_2 \pm \Delta \varphi_2) + \omega_{o2} \cos(\varphi_2 \pm \Delta \varphi_2) \\
 &\quad \omega_2 \sin(\pm \Delta \psi_2) \sin(\pm \Delta \varphi_2); \\
 \omega_{c1}^y &= -\omega_{n1} \sin \psi_1 \cos \varphi_1 + \omega_{o1} \sin \varphi_1 \quad ; \\
 \omega_{c2}^y &= \omega_2 \sin(\pm \Delta \psi_2) \cos(\pm \Delta \varphi_2) - \omega_{n2}; \omega_2 \sin(\psi_2 \pm \Delta \psi_2) \cdot \\
 &\quad \cdot \cos(\varphi_2 \pm \Delta \varphi_2) + \omega_{o2} \sin(\varphi_2 \pm \Delta \varphi_2); \\
 \omega_{c1}^z &= -\omega_{n1} \cos \psi_1 + \omega_1 \\
 \omega_{c1}^z &= \omega_2 + \omega_2 \cos(\pm \Delta \psi_2) + \omega_{n2} \cos(\psi_2 \pm \Delta \psi_2) + \omega_{o2} \sin(\pm \Delta \varphi_2) \sin(\pm \Delta \psi_2)
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

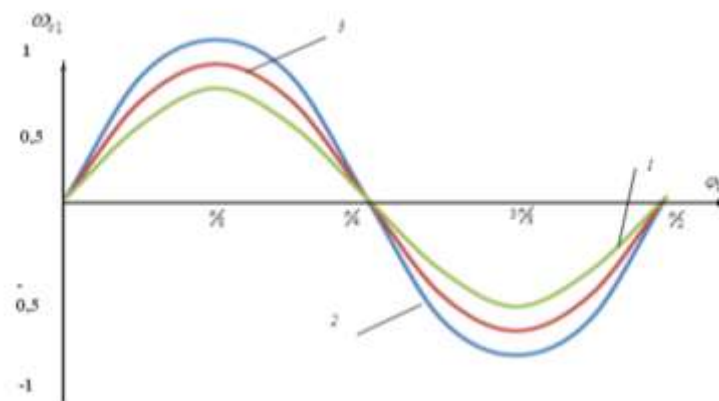
Тогда имеем:

$$\begin{aligned}
 \omega_{c1} &= \omega_1 \sqrt{\frac{\sin^2 \alpha (1 - 2 \cos 2\varphi_1) + \cos^2 \alpha}{\cos^2 \varphi_1 (1 - 2 \sin^2 \alpha) + \sin^2 \varphi_1}}; \\
 \omega_{c2} &= \omega_2 \sqrt{\frac{\sin^2(\alpha + \arcsin \frac{\Delta'_2}{l_2}) [\sin(\arcsin \frac{\Delta'_2}{l_2}) - \cos^2(\varphi_2 + \arcsin \frac{\Delta'_2}{l_{c2}})]}{\cos^2(\varphi_2 + \arcsin \frac{\Delta'_2}{l_{c2}}) \cdot \{\sin(\arcsin \frac{\Delta'_2}{l_2}) - \sin^2(\alpha + \arcsin \frac{\Delta'_2}{l_2})\}} \cdot} \\
 &\quad \frac{\sin^2(\varphi_2 + \arcsin \frac{\Delta'_2}{l_{c2}}) + \cos^2(\arcsin \frac{\Delta'_2}{l_{c2}}) \cos^2(\alpha + \arcsin \frac{\Delta'_2}{l_2})}{\cos(\arcsin \frac{\Delta'_2}{l_2}) + \sin(\varphi_2 + \arcsin \frac{\Delta'_2}{l_{c2}}) \sin(\arcsin \frac{\Delta'_2}{l_2})}
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

где, l_{c2} , l_2 - соответственно длины серьги и вала ведомой полумуфты, Δ_2 - величина линейной деформации упругого элемента в шарнире между серьгой и шатуном ведомой полумуфты, Δ'_2 - величина линейной деформации упругого элемента опоры ведомого вала полумуфты.

Изменение угловой скорости серьги ведущей полумуфты зависит от угла положения ведущего вала и угла оси вала относительно горизонтальной линии. В первоначальном положении $\varphi_1 = 0^0$, $\varphi_1 = 180^0$ и $\varphi_1 = 360^0$, $\omega_{c1} = \omega_1$. С увеличением угла α пиковые значения ω_{c1} приводится при $\varphi_1 = \frac{\pi}{2}$ и $\frac{3\pi}{2}$. При значениях $\varphi_1 = \frac{\pi}{4}$, $\omega_{c1} = (1 - 0,5 \sin^2 \alpha)^{-\frac{1}{2}}$.

На рис.2 представлены графические зависимости изменения угловой скорости серьги ведущей полумуфта в функции углового перемещения ведущего вала. Полученные зависимости имеют гармонический характер и величина амплитуды колебаний зависит от угла α . Так при $\alpha = 10^0$, амплитуда колебаний ω_{c1} , доходит до $0,185\omega_1$, а при $\alpha = 30^0$, амплитуда колебаний угловой скорости серьги ведущей полумуфты доходит до $0,029\omega_1$. Чем больше угол между осью ведущего вала -шарнирной муфты относительно горизонтальной оси, тем больше амплитуда колебаний угловой скорости серьги ведущей полумуфты.



где, 1 - $\alpha = 10^\circ$; 2 - $\alpha = 20^\circ$; 3 - $\alpha = 30^\circ$;

Рис. 2. Зависимости изменения угловой скорости серьги ведущей полумуфты в функции его углового перемещения

При угле $\alpha = 0$, $\omega_{c1} = \omega_1$ остается постоянным.

При отсутствии упругих элементов в опоре ведомого вала и в шарнире между ведомой серьгой и шатуном, $\omega_{L1} = \omega_{C2}$. Деформация упругого элемента в опоре ведомого вала шарнирно-рычажной муфты фактически мало влияет на разницу между угловыми скоростями.

$$\Delta\omega_C = |\omega_{C1} - \omega_{C2}| \quad (4)$$

На значение $\Delta\omega_C$ в основном влияет деформация упругого элемента в шарнире между ведомой серьгой и шатуном. В принципе упругие элементы были включены с целью уменьшения колебаний нагрузки от рабочего органа соединенной с ведомым валом рычажно-шарнирной муфты, которая передается к ведомому валу и амортизируются упругими элементами. При этом угловая скорость и крутящий момент на ведущем валу будет более равномерным, то-есть угловые скорости серег ведущего и ведомого валов будут близкими по величине.

С учетом вышеизложенного и разделив первое уравнение на второе уравнения (3) с учетом получим выражение для определения передаточной функции рычажно-шарнирной муфты в следующем виде:

$$U_{12} = \sqrt{\frac{\left[\cos \varphi_1 \cos^2 \alpha + \sin^2 \varphi_1 \right] \cdot \sin^2 (\alpha + \Delta\alpha) \left[\sin \Delta\alpha - \cos^2 (\varphi_2 + \Delta\varphi_2) \right]}{\left[\sin^2 \alpha (1 - 2 \cos 2\varphi_1) + \cos^2 \alpha \right] \cdot \cos^2 (\varphi_2 + \Delta\varphi_2) \cdot \left[\sin \Delta\alpha_2 - \sin^2 (\alpha + \Delta\alpha) \right]}} \cdot \frac{\sin^2 (\varphi_2 + \Delta\varphi_2) + \cos \Delta\varphi_2 \cdot \cos^2 (\alpha + \Delta\alpha)}{\cos \Delta\alpha + \sin (\varphi_2 + \Delta\varphi_2) \cdot \sin \Delta\alpha}; \quad (5)$$

На рис 3. представлены графические зависимости изменения амплитуды колебаний передаточной функции рассматриваемой рычажно-шарнирной муфты от изменения углов $\Delta\alpha$ и $\Delta\varphi_2$. Из них видно, что с увеличением угла α амплитуда колебаний передаточной функции возрастает по нелинейной закономерности. Но, чем больше угол α , тем меньше интенсивность увеличения ΔU_{12} . Это объясняется тем, что на значение ΔU_{12} влияет и

значение $\Delta\alpha$ и $\Delta\varphi_2$. При этом с увеличением угла α значения $\Delta\alpha$ и $\Delta\varphi_2$ остаются постоянными.

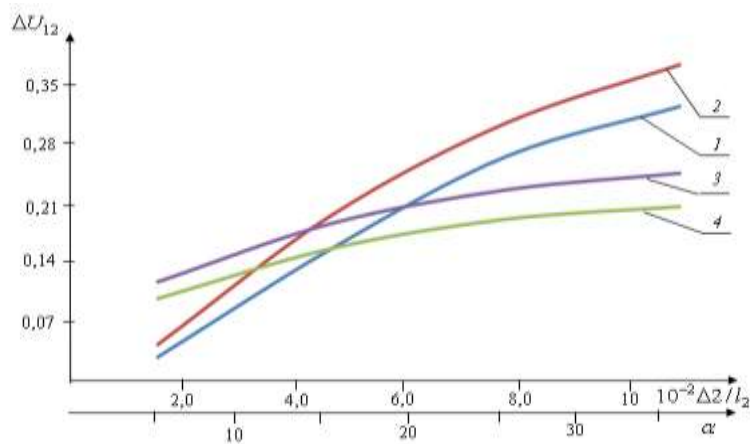


Рис. 3 Зависимости изменения амплитуды колебаний передаточной функции рычажно-шарнирной муфты в функции угла α , $\frac{\Delta_2}{l_2}$ и $\frac{\Delta_2^I}{l_{c2}}$

где, 1 – $\Delta H_{12} = f(\alpha)$ при $\frac{\Delta_2}{l_2} = 0,03$; $\frac{\Delta_2^I}{l_{c2}} = 0,03$; 2 – $\Delta U_{12} = f(\alpha)$ при

$\frac{\Delta_2}{l_2} = 0,05$; $\frac{\Delta_2^I}{l_{c2}} = 0,05$; 3 – $\Delta U_{12} = f(\frac{\Delta_2}{l_2})$ при $\alpha = 20^\circ$; 4 – $\Delta U_{12} = f(\frac{\Delta_2^I}{l_{c2}})$ при $\alpha = 20^\circ$.

Так при $\alpha = 5^\circ$, амплитуда колебаний передаточной функции рычажно-шарнирной муфты 0,065 при $\frac{\Delta_2}{l_2} = 0,03$, а с увеличением угла α до 30° при $\frac{\Delta_2}{l_2} = 0,05$, значение амплитуды колебаний передаточной функции доходит до 0,34. Влияние значений Δ_2 , Δ_2^I также приводит к увеличению значений ΔU_{12} по нелинейной закономерности.

При этом более существенное влияние оказывает Δ_2 нежели Δ_2^I . Так при $\frac{\Delta_2}{l_2} = 0,02$

амплитуда колебаний передаточной функции $\Delta U_{12} = 0,139$ при $\alpha = 20^\circ$, а с увеличением $\frac{\Delta_2}{l_2}$ до 0,09 амплитуда передаточной функции возрастает до 0,264. Соответственно с

увеличением $\frac{\Delta_2^I}{l_{c2}}$ от 0,02 до 0,09 передаточная функция возрастает от 0,136 до 0,231.

Значит, влияние на изменение ΔU_{12} , оказывает значениям $\frac{\Delta_2}{l_2}$ нежели $\frac{\Delta_2^I}{l_{c2}}$. Поэтому для

необходимой корректировки амплитуды колебаний передаточной функции рычажно-шарнирной муфты целесообразно считается увеличение величины деформации упругого элемента в опоре ведомого вала муфты.

Литература:

1. Артоболевский И.И. Теория механизмов. Москва-1967.
2. Джураев А.Д., Давидбаев Б.Н., и др. Шарнирно-рычажная муфта. Патент №116, бюл №11 2010г.