

**О ПОМЕХАХ В СИСТЕМЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ  
СКОРОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ  
ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ НЕСООСНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ И  
ТАХОГЕНЕРАТОРА**

*У статті показано, що при рівнобіжній несоосності валів двигуна та датчика швидкості у сигналі датчика швидкості має місце гармонічна перешкода, зменшуюча якість системи регулювання. Дається методика розрахунку параметрів цієї перешкоди.*

При центровке исполнительного двигателя и тахогенератора практически всегда существует параллельная несоосность двух валов. Это приводит к появлению в сигнале, снимаемом с якоря тахогенератора, гармонической помехи, снижающей точность регулирования скорости электропривода.

В данной статье рассматривается ранее не изучавшийся вопрос расчета допустимой величины параллельной несоосности (эксцентриситета  $\varepsilon$ ) двух валов (двигателя и тахогенератора) при известных величинах скорости ведущего вала ( $\omega_0$ ), радиусе полумуфты ведомого вала ( $R$ ) и допустимой амплитуде гармонической помехи  $\Delta\omega = \omega \mp \omega_0$ .

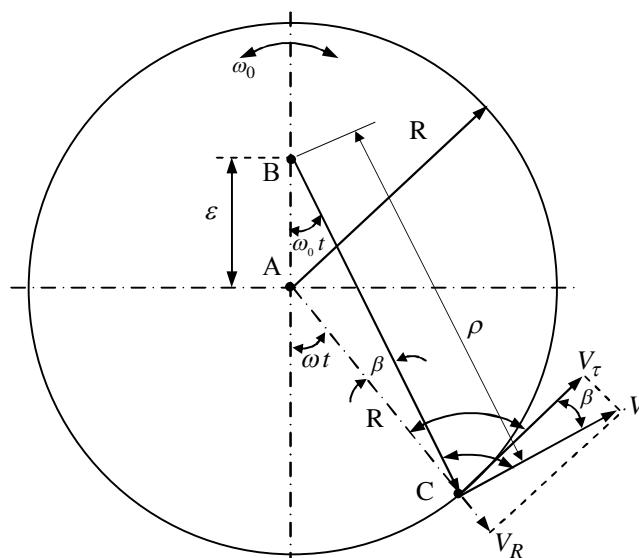


Рисунок 1 – Геометрические параметры полумуфта вращения

На рис. 1 показаны основные параметры ведущей полумуфты, вращающейся вокруг центра в точке А.

Ведомый вал с полумуфтой вращается вокруг точки В и смещен по отношению к ведущему валу на величину параллельной несоосности  $\varepsilon$ .

Ведомая полумуфта совершает периодические радиальные перемещения относительно центра ведущего вала из-за параллельной несоосности валов.

Это приводит к тому, что при  $\omega_0 = const$  ведущего вала скорость  $\omega$  ведомого вала не остается постоянной, а колеблется вокруг среднего значения, равного  $\omega_0$  с частотой  $f = \frac{\omega_0}{2\pi}$  и амплитудой, зависящей от параллельного смещения валов  $\varepsilon$ , радиуса окружности вращения ( $R$ ) и величины скорости  $\omega_0$ .

Окружная скорость полумуфты

$$V = \omega_0 \rho, \quad (1)$$

где  $\rho$  – переменный радиус вращения ведущей полумуфты.

Угловая скорость ведомой полумуфты определяется тангенциальной составляющей скорости  $V$  и радиуса  $R$ , а именно:

$$\omega = \frac{V_\tau}{R}, \quad (2)$$

$$\text{где } V_\tau = V \cdot \cos \beta = \omega_0 \rho \cos \beta. \quad (3)$$

По теореме синусов (см. рис. 1):

$$\frac{\varepsilon}{\sin \beta} = \frac{R}{\sin \omega_0 t} = \frac{\rho}{\sin(\pi - \omega t)}, \text{ откуда}$$

$$\sin \beta = \frac{\varepsilon}{R} \sin \omega_0 t, \quad (4)$$

$$\cos \beta = \sqrt{1 - \sin^2 \beta} = \sqrt{1 - \frac{\varepsilon^2}{R^2} \sin^2 \omega_0 t}. \quad (5)$$

Учтем теперь, что для реальных кинематик  $\varepsilon \ll R$ . Тогда

$$\frac{\varepsilon^2}{R^2} \sin^2 \omega_0 t \ll 1,$$

и для расчетов можно принять  $\cos \beta \cong 1$ .

После подстановки (3) в (2) получим:

$$\omega = \frac{\omega_0 \rho}{R} \cos \beta \approx \omega_0 \frac{\rho}{R}. \quad (6)$$

Переменный радиус  $\rho$  определяется по теореме косинусов:

$$R^2 = \rho^2 + \varepsilon^2 - 2\rho \cdot \varepsilon \cos \omega_0 t. \quad (7)$$

Запишем (7) в виде квадратного уравнения

$$\rho^2 - 2\varepsilon \cos \omega_0 t \cdot \rho - (R^2 - \varepsilon^2) = 0,$$

решение которого представим в следующем виде:

$$\rho_{1,2} = \varepsilon \cos \omega_0 t \pm \sqrt{\varepsilon^2 \cdot \cos^2 \omega_0 t + R^2 - \varepsilon^2} = \varepsilon \cos \omega_0 t \pm \sqrt{R^2 - \varepsilon^2 \cdot \sin^2 \omega_0 t}$$

Учитывая малость  $\varepsilon^2 \cdot \sin^2 \omega_0 t$  по отношению к  $R^2$ , без большой погрешности можно записать, что

$$\rho_{1,2} = \varepsilon \cos \omega_0 t \pm R. \quad (8)$$

После подстановки (8) в (6), получим

$$\omega = \omega_0 \frac{\varepsilon \cos \omega_0 t \pm R}{R} = \omega_0 \left( \frac{\varepsilon}{R} \cos \omega_0 t \pm 1 \right), \text{ или}$$

$$\Delta\omega = \omega \mp \omega_0 = \omega_0 \frac{\varepsilon}{R} \cos \omega t. \quad (9)$$

Например, при скорости ведущего вала  $n_0=1000$  об/мин ( $\omega_0=104,67$  1/с), радиусе ведущей полумуфты  $R=100$  мм и параллельной несоосности валов  $\varepsilon=0,05$  мм максимальная амплитуда гармонической помехи при  $\cos \omega t = 1$  составит

$$\Delta\omega = 104,67 \cdot \frac{0,05}{100} = 0,052 \text{ 1/с.}$$

Соотношение (9) позволяет также определить и допустимую несоосность ( $\varepsilon$ ) по максимально допустимой амплитуде  $\Delta\omega$  гармонической помехи:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\omega}{\omega_0 \cos \omega t} \cdot R \quad (10)$$

Таким образом, параллельное смещение (несоосность) валов при неточной центровке двигателя и тахогенератора обуславливает появление в скорости ведомого вала периодической составляющей с частотой  $f = \frac{\omega_0}{2\pi}$ . Амплитуда этой помехи в соответствии с выражением (9) определяется параметрами  $\omega_0$ ,  $\varepsilon$  и  $R$ .

*В статье показано, что при параллельной несоосности валов двигателя и датчика скорости в сигнале датчика скорости появляется гармоническая помеха, снижающая качество системы регулирования. Дается методика расчета параметров этой помехи.*

*In the article it is shown, that at a parallel misalignment of shafts of the engine and the speed sensor in a signal of a speed sensor appears harmonic a handicap reducing quality of system of regulation. The design procedure of parameters of this handicap is given.*

**Библиографический список.**

1. Зеленов А.Б. Теория электропривода, часть 2.- Алчевск: ДонГТУ, 2005. – 512 с.
2. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования.—М.:Наука, 1966.—992 с.

*Рекомендовано к печати  
д. т. н., проф. Денищиком Ю.С.*