



$$y^1: -F + N_A - T_C - T_B - D = 0, \quad (6)$$

$$\sqrt{B}: N_A e \cos \varphi - T_A (a-u) - N_C b - D x_3^3 = 0. \quad (7)$$

Dalším krokem je specifikace sil. Týká se pasivních odporů a dynamických účinků.

Pasivní účinky působí vždy proti směru rychlosti a v uvolňovacích stavcích jsou zakotveny pro  $\omega_2 > 0$  a  $v_3 > 0$ .

Abychom respektovali i smysly opačné, zavádíme funkci  $\text{signum}()$ .

$$T_A = \text{signum}(\omega_2) f_{23} |N_A|, \quad (8)$$

$$T_B = \text{signum}(v_3) f_{13} |N_B|, \quad (9)$$

$$T_C = \text{signum}(v_3) f_{13} |N_C|, \quad (10)$$

$$M_D = \text{signum}(\omega_2) r_2 f_2 \sqrt{R_x^2 + R_y^2}, \quad (11)$$

$$D = m_2 e \omega_2^2, \quad (12)$$

$$T = m_2 e \alpha_2, \quad (13)$$

$$M_D = (J_{s2} + m_2 e^2) \alpha_2, \quad (14)$$

$$D = m_3 a_3, \quad F = K(u+h-a-b-c+l_0). \quad (15, 16)$$

### Kinematické rovnice

Zdvíhovou závislost  $u(\varphi)$  odvodíme a transformujeme rovnice pro bod A a křeslo

$$2. \text{ Ploš } \mathbf{r}_A^1 = \mathbf{r}_2^1 + \mathbf{T}^{12} \mathbf{r}_A^2,$$

resp. po dosazení za vektory a uvažují

$$\begin{bmatrix} x_A^1 \\ y \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi & 0 \\ \sin \varphi & \cos \varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e + R \cos(\frac{\pi}{2} - \varphi) \\ R \sin(\frac{\pi}{2} - \varphi) \\ 0 \end{bmatrix},$$

takže

$$x_A^1 = (e + R \sin \varphi) \cos \varphi - R \sin \varphi \cos \varphi = e \cos \varphi \quad (17)$$

$$y = (e + R \sin \varphi) \sin \varphi + R \cos \varphi \cos \varphi = e \sin \varphi + R. \quad (18)$$

Rychlosti a zrychlení jsou pak

$$v_3 = \dot{y}, \quad a_3 = \dot{v}_3; \quad (19, 20)$$

$$\omega_2 = \dot{\varphi}, \quad \alpha_2 = \dot{\omega}_2. \quad (21, 22)$$

Inventura.

Proměnné v úloze jsou:  $R_x, R_y, T_A, N_A, \theta, T, \varphi, M_n, x_A^1, u, M_e, M_D, N_B, T_B, N_C, T_C, F, D, \omega_2, \alpha_2, v_3, a_3, t$ . Celkem 23. Rovnic je 22, což je v pořádku, protože 22 neznámých najde jako funkce 23., nežádné proměnné, kterou bude čas  $t$ .

Řešení.

Protože se jedná o I. úlohu dynamiky, vyrazíme nejprve kompletní kinematiku přeběhu. Podle zadání

$$\omega_2 = \frac{d\varphi}{dt} = W \cos kt,$$

takže

$$\int_{\varphi_0}^{\varphi} d\varphi = W \int_0^t \cos kt$$

DYN-13-1.3

a za předpokladu  $\varphi_0 = 0$

$$\varphi = \frac{W}{k} \sin kt. \quad (23)$$

Pohyb excentru je tedy periodický s periodou  $\tau = 2\pi/k$ . Další kinematické veličiny jsou

$$\alpha_2 = \dot{\omega}_2 = -Wk \sin kt,$$

$$v_3 = \dot{u} = e \cos \varphi \dot{\varphi} = e \omega_2 \cos \varphi,$$

$$a_3 = \dot{v}_3 = e(\alpha_2 \cos \varphi - \omega_2^2 \sin \varphi).$$

Pro výpočty v rovnicích (8) až (11) musíme nyní určit funkce  $\text{signum}()$ . Ze zadání (1) vyplývá, že

$$\omega_2 > 0, \quad \text{signum}(\omega_2) = 1 \quad \text{je pro } 0 < kt < \frac{\pi}{2}$$

a pro  $\frac{3\pi}{2} < kt < 2\pi,$

zatímco

$$\omega_2 < 0, \quad \text{signum}(\omega_2) = -1 \quad \text{je pro } \frac{\pi}{2} < kt < \frac{3\pi}{2}.$$

Řešení se proto musí provádět po intervalech.

Interval  $0 < kt < \frac{\pi}{2}$  resp.  $0 < t < \frac{\pi}{2k}$ .

V tomto intervalu je podle (23)

$$0 < \varphi < \frac{\pi}{k};$$

předpokládáme, že  $\frac{W}{k} < \frac{\pi}{2}$ . Potom

v daném intervalu čísel je vždy  $\cos \varphi > 0$  a

$$\text{signum}(\omega_3) = \text{signum}(\omega_2) = 1.$$

Rovnice (8) až (11) se proto v daném intervalu mohou použít ve tvaru

$$T_A = f_{23} |N_A|, \quad T_B = f_{13} |N_B|, \quad T_C = f_{13} |N_C|,$$

$$M_y = r_{\bar{c}} f_{\bar{c}} \sqrt{R_x^2 + R_y^2}. \quad (24) \div (27)$$

Tyto vztahy jsou ovšem nelineární a tudíž obtížné pro řešení. Přijmeme proto další zjednodušující předpoklady

**DYN-13-1.4**

$N_A > 0, N_B > 0, N_C > 0, R_y \gg R_x$ , které však bude nutno na konci výpočtu přezkontrolovat. Za těchto předpokladů přijdou rovnice (24)÷(27) do tvaru

$T_A = f_{23} N_A, T_B = f_{13} N_B, T_C = f_{13} N_C$  a  $M_y = r_{\bar{c}} f_{\bar{c}} R_y$ , které spolu s rovnicemi (12) až (16) dosadíme do rovnic (2) až (7). Dostaneme soustavu

$$R_x + f_{23} N_A + m_2 e \omega_2^2 \cos \varphi + m_2 e \alpha_2 \sin \varphi = 0,$$

$$R_y - N_A + m_2 e \omega_2^2 \sin \varphi - m_2 e \alpha_2 \cos \varphi = 0,$$

$$M_w - N_A [e \cos \varphi + f_{23} (e \sin \varphi + R)] - r_{\bar{c}} f_{\bar{c}} R_y - (J_{s2} + m_2 e^2) \alpha_2 = 0,$$

$$-f_{23} N_A - N_B - N_C = 0,$$

$$-K(e \sin \varphi + R + h - a - b - c + l_0) + N_A - f_{13} N_B - f_{13} N_C - m_3 a_3 = 0,$$

$$N_A [e \cos \varphi - f_{23} (a - e \sin \varphi - R)] - N_C b - m_3 a_3 x_S^3 = 0.$$

Protože  $\varphi, \omega_2, \alpha_2$  i  $a_3$  jsou výše zmíněné funkce času, jedná se o soustavu řešitelnou soustavou 6ti rovnic pro 6 neznámých  $R_x,$

$R_y, M_n, N_A, N_B, N_C$ . (řešte samostatně.)

Výsledek pro  $M_n$ :

$$M_n = \frac{K_d + m_3 a_3}{1 + f_{13} f_{23}} \left[ e \cos \varphi + f_{23} (e \sin \varphi + R) + r_c f_c \right] + \\ + m_2 e r_c f_c \left( \omega_2^2 \sin \varphi - \alpha_2 \cos \varphi \right) + (J_{s2} + m_2 \bar{e}^2) \alpha_2,$$

kde

$$d = e \sin \varphi + R + h - a - b - c + l_0.$$

Při numerickém výpočtu by bylo v každém výpočtovém čase  $t$  nutno měřit hodnoty

$N_A, N_B, N_C, R_x$  a  $R_y$  a kontrolovat splnění použitých předpokladů. Při neshodě by bylo nutno předpoklady změnit a výpočet opakovat.

DYN-13-1.5

Sami sestavte analogickou soustavu rovnic pro časový interval

$$\frac{\pi}{2} < \omega t < \frac{3\pi}{2}.$$