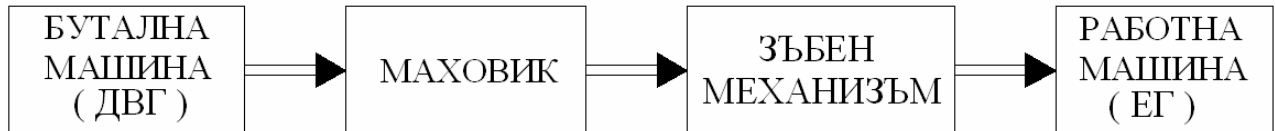


Задача № 3 : СИНТЕЗ НА ОБИКНОВЕННА ЗЪБНА ПРЕДАВКА

Задание: $z_M = z_4 = 15$ [броя]; $P_{\max} = 4,0$ [MPa]; $\gamma = \Delta a_w / m = 0,90$; $\lambda = r / l_{OA} = 0,28$ [-];
 $\mu = D / r = 1,9$ [-]; $\nu_d = d / r = 1,00$ [-]; $n_N = 1800$ [min⁻¹]; $n_{AV} = n_{CP} = 2000$ [min⁻¹];
 $r = l_{OA} = 50$ [mm]; $\delta = 0,03$ [-]; Тип на кинематичната машина: Електрогенератор ;
 ДВГ: Ве – образен (V) тип ; Пореден номер на заданието: 1 ;



$i_{\text{ОБЩО}} = n_d / n_{PM} = n_{AV} / n_N = 2000 / 1800 = 1,111 < 2$ [-]; $1 / i_{\text{ОБЩО}} = 1 / 1,111 = 0,90$; Имаме зъбен механизъм, работещ като мултипликатор; В този случай двигателят се свързва със **зъбно колело 5**, а работната машина – със **зъбно колело 1** ;

Избирам

$$i_{II}^{4,5} = \omega_4 / \omega_5 = -z_5 \cdot m / z_4 \cdot m = d_5 / d_4 = 2,0 < 3,0 \text{ [-]}; z_5 = i_{II}^{4,5} \cdot z_4 = 2,0 \cdot 15 = 30 \text{ [броя]};$$

$$i_{\Sigma}^{1,H} = i_{1,H} = i_{\text{ОБЩО}} / i_{II}^{4,5} = 1,111 / 2,0 = 0,5555 \text{ [-]}; i_{\text{ОБЩО}} = i_{\Sigma}^{1,H} \cdot i_I^{4,5} = 0,5555 \cdot 2,00 = 1,111 > 1 \text{ [-]};$$

$$i_{\text{ОБЩО}} = i_{\Sigma}^{H,1} \cdot i_I^{5,4} = \frac{1}{i_{\Sigma}^{1,H}} \cdot \frac{1}{i_I^{4,5}} = \frac{1}{0,5555} \cdot \frac{1}{2,0} = \frac{1}{1,111} < 1 \text{ [-]}; \text{Понеже } 1 / i_{\Sigma}^{1,H} = 1 / 0,5555 = 1,80$$

избирам зъбен механизъм **Вариант № 5** от **Задание № 1** на **страница 354** от ръководството $i_{1H} = 1,10 \div 2,00$;

Мултипликатор (МП)



От предавателното отношение на преобразувания ПЗМ :

$$|i_{13}^H| = |1 - 1 / i_{\Sigma}^{1,H}| = |1 - 1,80| = |-0,80| = 0,80 ; |i_{13}^H| = \frac{z_2 \cdot z_3}{z_1 \cdot z_2} = \frac{b \cdot d}{a \cdot c} = 0,80 = \frac{8,00}{10} = \frac{10}{20} \cdot \frac{120}{30} ;$$

$$\text{Получихме : } a = 20 ; b = 10 ; c = 30 ; d = 120 ;$$

$$\text{Тогава : } z_1 = d \cdot (a + b) \cdot \nu = 120 \cdot (20 + 10) \cdot \nu = 3600 \cdot \nu ;$$

$$z_2 = b \cdot (d - c) \cdot \nu = 10 \cdot (120 - 30) \cdot \nu = 900 \cdot \nu ;$$

$$z_2^1 = c \cdot (a + b) \cdot \nu = 30 \cdot (20 + 10) \cdot \nu = 900 \cdot \nu ;$$

$$z_3 = a \cdot (d - c) \cdot \nu = 20 \cdot (120 - 30) \cdot \nu = 1800 \cdot \nu ;$$

Избирам : $\nu = 1/30$ Тогава : $z_1 = 120$; $z_2 = 30$; $z_2^1 = 30$; $z_3 = 60$; - изпълняват се ;

Това решение отговаря на условията за отсъствие на подрязване и заклиняване :

Проверка на условието за съседство при приет брой на сателитите $S = 3$;

Условие за монтаж : $S = 3$ - брой на сателитите ;

$h_a = 1,0$ - коефициент на височината на главата на зъба ;

$$(z_1 + z_2) \cdot \sin(\pi / S) > z_2 + 2 \cdot h_a ;$$

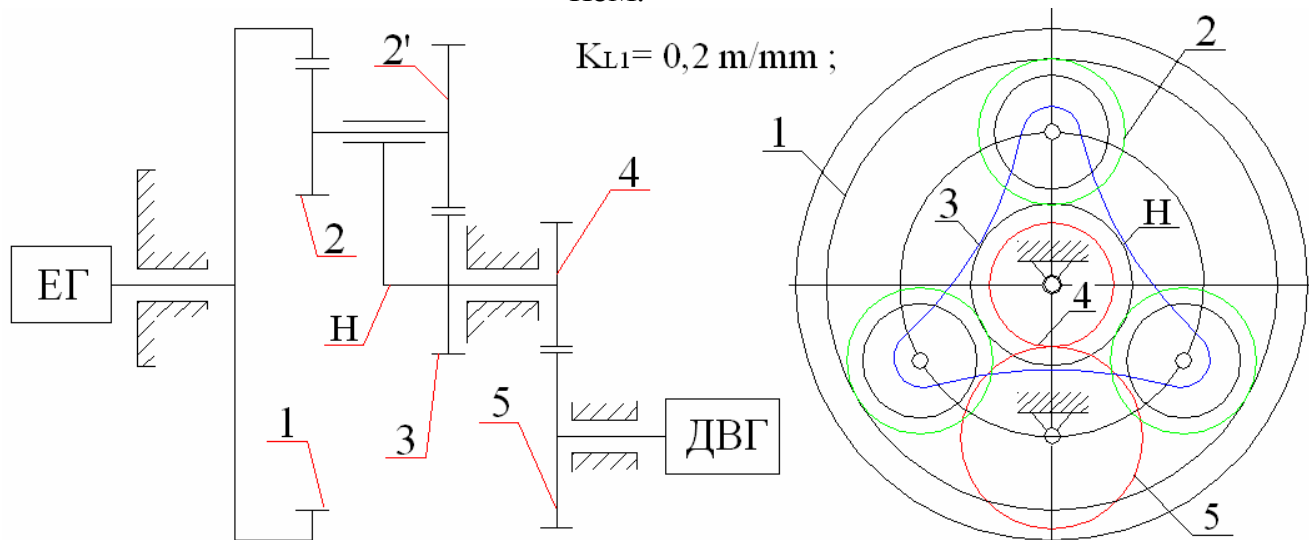
$$(120 + 30) \cdot \sin(180^\circ / 3) = 150 \cdot \sin 60^\circ = 129,90 ; z_2 + 2 \cdot h_a = 32 ;$$

129,90 > 32; - изпълнява се ; Проверка на условието за монтаж : $z_1 \cdot i_{21}^{1,H} \cdot (1 + N \cdot S) / S = K ;$

120 \cdot 1,5 \cdot (1 + N \cdot 3) / 3 = 180 \cdot (1 + N \cdot 3) = K ; - условието K да бъде цяло число се изпълнява

за всяко

N , включително и $N = 0$; Спазени са всички условия за подбиране броя на зъбите на ПЗМ.



1. Да се определят необходимите параметри и да се построи нулево инструментално зацепване на зъбно колело 4.

Ред	модул - "m", в милиметри											
I	1,0	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0
II	1,75	2,25	2,75	3,5	4,5	5,5	7,0	9,0	11,0	14,0		

$$m = P_{\max} = 4,0 [mm] ; z_5 = i_{II}^{4,5} \cdot z_4 = 2,0 \cdot 15 = 30 [броя] ; c = m \cdot c^* = 4,0 \cdot 0,25 = 1,00 ;$$

$$h_f^* = 1,25 ;$$

$$p = \pi \cdot m = 3,14 \cdot 4,5 = 12,56 ; \rho_f^* = 0,38 ; c^* = 0,25 ; s = e = 0,5 \cdot p = 0,5 \cdot 12,56 = 6,28 mm ;$$

$$\rho_h = \rho_f^* \cdot m = 0,38 \cdot 4,0 = 1,52 mm ; h_{a0} = h_f = m \cdot (h_a^* + c^*) = 4,0 \cdot (1 + 0,25) = 5,00 ;$$

$h_0 = h_{a0} + h_f = 2,5,00 = 10,00$; Чертожни размери [mm] : Избира се чертожна височина на зъба $\bar{h}_{a0} = 50 \div 60 mm$; Определя се $K_l = h_0 / \bar{h}_{a0} = 10,0 / 50 = 0,20 [mm / mm]$;

$$1 / K_l = 1 / 0,20 = 5,0 ;$$

$$\bar{c} = c \cdot 1 / K_l = 1,0 \cdot 5,0 = 5,0 ; \bar{p} = p \cdot 1 / K_l = 12,56 \cdot 5,0 = 62,80 ;$$

$$\bar{s} = \bar{e} = 0,5 \cdot \bar{p} = 0,5 \cdot 62,80 = 31,40 mm ; \bar{\rho}_h = \rho_h \cdot 1 / K_l = 1,52 \cdot 5,0 = 7,6 ; \alpha_n = 20^\circ ;$$

Нулево зъбно колело : $h_a = m \cdot h_a^* = 4,0 \cdot 1 = 4,0 ; r_4 = 0,5 \cdot z_4 \cdot m = 0,5 \cdot 15 \cdot 4,0 = 30,00 ;$

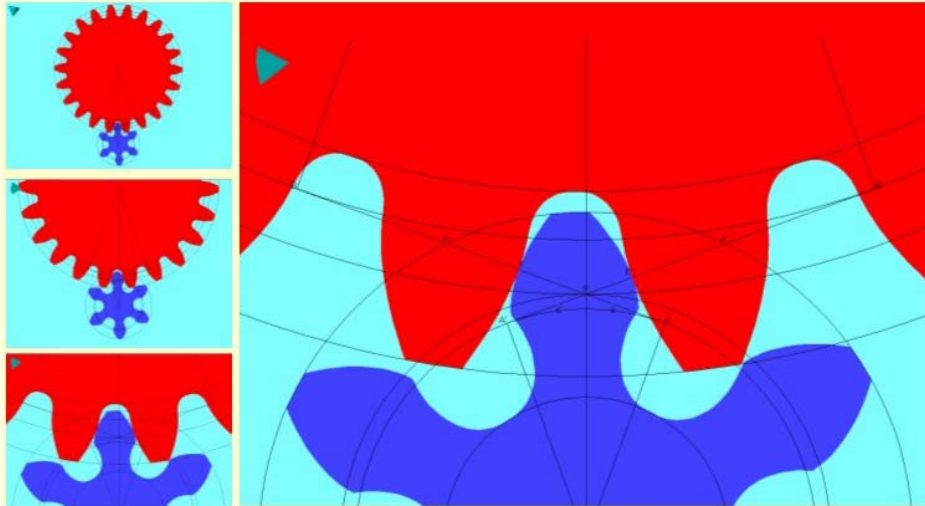
$$h_f = m \cdot (h_a^* + c^*) = 4,0 \cdot (1 + 0,25) = 5,00 ; r_{b4} = r_4 \cdot \cos \alpha_n = r_4 \cdot \cos 20^\circ = 30,0 \cdot 0,93969 = 28,193 ;$$

$$r_{a4} = r_4 + h_a = 30,0 + 4,0 = 34,00 ; r_{f4} = r_4 - h_f = 30,0 - 5,0 = 25,00 ;$$

$$\hat{s} = \hat{e} = 0,5 \cdot \pi \cdot m = 0,5 \cdot 3,14 \cdot 4,5 = 6,28 mm ; p_4 = p = 12,56 ; 0,5 \cdot \hat{s} = 0,5 \cdot 6,28 = 3,14 ;$$

$$\begin{aligned} \tau_i &= 360^\circ / z_4 = 360^\circ / 15 = 24,0^\circ; \text{ Чертожни размери [mm]: } \bar{h}_a = h_a \cdot 1 / K_l = 4,0 \cdot 5,0 = 20,00; \\ \bar{h}_f &= h_f \cdot 1 / K_l = 5,0 \cdot 5,0 = 25,00; \bar{r}_4 = r_4 \cdot 1 / K_l = 30,0 \cdot 5,0 = 150,00; \\ \bar{r}_{b4} &= r_{b4} \cdot 1 / K_l = 28,193 \cdot 5,0 = 140,963; \bar{r}_{a4} = 34,00 \cdot 5,0 = 170,00; 0,5 \cdot \bar{s} = 0,5 \cdot 31,40 = 15,70; \\ \bar{r}_{f4} &= 25,00 \cdot 5,0 = 125,00; \bar{s} = \bar{e} = 6,28 \cdot 5,0 = 31,4; \bar{p}_4 = 12,56 \cdot 5,0 = 62,80; \end{aligned}$$

2. За обикновената зъбна предавка с изместване да се определят необходимите параметри на зъбните колела 4 и 5 на предавката.



Определяне на необходимите размери на еволвентна зъбна предавка със следните параметри : $y = +0,9$; $m = 4,0 \text{ mm}$; $z_4 = 15 \text{ броя}$; $z_5 = 30 \text{ броя}$; $\alpha = 20 \text{ [deg]}$;

$$\Delta a_w = +y \cdot m = +0,9 \cdot 4,0 = +3,6 \text{ [mm]}; \quad u_{12} = z_5 / z_4 = 30 / 15 = 2,0;$$

$$a = m \cdot (z_5 + z_4) / 2 = 4,0 \cdot (30 + 15) / 2 = 90,0; \quad a_w = a + \Delta a_w = 90,0 + 3,60 = 93,60 \text{ [mm]};$$

$$\alpha_w = \arccos \left[\left(\frac{a}{a_w} \right) \cdot \cos 20^\circ \right] = \arccos \left[\left(\frac{90,0}{93,60} \right) \cdot \cos 20^\circ \right] = \arccos [0,90355] = 25,37^\circ;$$

$$\text{inv } \alpha_w = \text{tg } \alpha_w - \left(\frac{\pi}{180^\circ} \right) \cdot \alpha_w = \text{tg } 25,37^\circ - \left(\frac{\pi}{180^\circ} \right) \cdot 25,37^\circ = 0,47422 - 0,44257 = 0,032;$$

$$\text{inv } 20^\circ = \text{tg } 20^\circ - \left(\frac{\pi}{180^\circ} \right) \cdot 20^\circ = 0,36397 - 0,34888 = 0,015;$$

$$x_\Sigma = x_4 + x_5 = \left[\frac{(z_5 + z_4)}{2 \cdot \text{tg } \alpha^\circ} \right] \cdot (\text{inv } \alpha_w - \text{inv } \alpha) =$$

$$= \left[\frac{(30 + 15)}{2 \cdot \text{tg } 20^\circ} \right] \cdot (0,032 - 0,015) = \left[\frac{(45)}{(0,728)} \right] \cdot (0,017) = 1,05;$$

Върху правата x_Σ на съответния блокиращ контур (за z_4 и z_5) от фигурата се определя точка, приблизително еднакво отдалечена от забранените зони, което отговаря на балансирана по качествени параметри предавка. Избраната точка определя за $x_4 = +0,5$.

За x_5 се получава: $x_5 = x_\Sigma - x_4 = 1,05 - 0,5 = 0,55$. Проверка за подрязване на зъбите :

$$x_{4\text{min}} = (17 - z_4) \cdot 1 / 17 = +0,294 < +0,5 \quad \text{и} \quad x_{5\text{min}} = (17 - z_5) \cdot 1 / 17 = -0,412 < +0,5.$$

Изчисление на параметрите на зъбните колела (размерите са в mm) : $y = +0,9$;

$$\Delta y = x_\Sigma - y = 1,05 - (+0,9) = +0,15 \text{ [mm]}; \quad X_4 = x_4 \cdot m = +0,5 \cdot 4,0 = +2,0 \text{ [mm]};$$

$$X_5 = x_5 \cdot m = +0,55 \cdot 4,0 = +2,2 \text{ [mm]}; \quad Y = y \cdot m = +0,9 \cdot 4,0 = +3,6 \text{ [mm]};$$

$$\Delta Y = \Delta y \cdot m = +0,15 \cdot 4,0 = +0,60 \text{ [mm]}; \quad r_4 = m \cdot z_4 / 2 = 4,0 \cdot 15 / 2 = 30,0;$$

$$r_5 = m \cdot z_5 / 2 = 4,0 \cdot 30 / 2 = 60,0; \quad r_{b4} = r_4 \cdot \cos \alpha_n = r_4 \cdot \cos 20^\circ = 30,0 \cdot 0,93969 = 28,193;$$

$$r_{b5} = r_5 \cdot \cos \alpha = 60,0 \cdot 0,9396 = 56,382;$$

$$r_{W4} = O_4 P = r_4 (\cos \alpha / \cos \alpha_W) = 30,0 \cdot (0,9396 / 0,90355) = 31,20 ;$$

$$r_{W5} = O_5 P = r_5 (\cos \alpha / \cos \alpha_W) = 60,0 \cdot (0,9396 / 0,90355) = 62,40 ;$$

(Проверка : $r_{W4} = a_W \cdot (1/u + 1) = 93,60 \cdot (1,0/3,0) = 31,20 ;$
 $r_{W5} = a_W \cdot (u_{12} / u_{12} + 1) = 93,60 \cdot (2,0/3,0) = 62,40 ;$)

$$r_{f4} = r_4 - h_{f4} + X_4 = 30,0 - 1,25 \cdot 4,0 + 2,0 = 27,0 ;$$

$$r_{f5} = r_5 - h_{f5} + X_5 = 60,0 - 1,25 \cdot 4,0 + 2,2 = 57,20 ;$$

$$r_{a4} = r_4 + h_{a4} + X_4 - \Delta Y = 30,0 + 1,0 \cdot 4,0 + 2,0 - 0,6 = 35,40 ;$$

$$r_{a5} = r_5 + h_{a5} + X_5 - \Delta Y = 60,0 + 1,0 \cdot 4,0 + 2,2 - 0,6 = 65,60 ;$$

$$s_4 = 0,5 \cdot m \cdot \pi + 2 \cdot X_4 \cdot \operatorname{tg} \alpha = 0,5 \cdot 4,0 \cdot 3,14 + 2 \cdot 2,0 \cdot 0,364 = 6,28 + 1,456 = 7,736 ;$$

$$s_{W4} = 2 \cdot r_{W4} \cdot \left[(s_4 / 2 \cdot r_4) + \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_W \right] =$$

$$= 2 \cdot 31,20 \cdot \left[(7,736 / 2 \cdot 30,0) + 0,015 - 0,032 \right] = 62,40 \cdot [0,112] = 7,00 ;$$

$$s_{W5} = 2 \cdot r_{W5} \cdot \left[(s_4 / 2 \cdot r_5) + \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_W \right] =$$

$$= 2 \cdot 62,40 \cdot \left[(7,736 / 2 \cdot 60,0) + 0,015 - 0,032 \right] = 124,80 \cdot [0,0475] = 5,92 ;$$

$$0,5 \cdot s_{W4} = 0,5 \cdot 7,00 = 3,50 ; 0,5 \cdot s_{W5} = 0,5 \cdot 5,92 = 2,96 ;$$

$$\tau_4 = 360^\circ / z_4 = 360^\circ / 15 = 24,0^\circ ; \tau_5 = 360^\circ / z_5 = 360^\circ / 30 = 12,0^\circ ;$$

(Проверка :

$$a_W = 93,60 [mm]; a_W = r_{a4} + r_{f5} + 0,25 \cdot m = 35,40 + 57,20 + 0,25 \cdot 4,0 = 93,60 [mm];$$

$$a_W = r_{a5} + r_{f4} + 0,25 \cdot m = 65,60 + 27,0 + 0,25 \cdot 4,0 = 93,60 [mm];$$

$$a_W = r_4 + r_5 + X_4 + X_5 - \Delta Y = 30,0 + 60,0 + 2,0 + 2,2 - 0,6 = 93,60 [mm];$$

$$a_W = r_{W4} + r_{W5} = 31,20 + 62,40 = 93,60 [mm];)$$

$$\alpha_{a4} = \arccos(d_{b4} / d_{a4}) = \arccos(r_{b4} / r_{a4}) = \arccos(28,193 / 35,40) = \arccos(0,796412) = 37,21^\circ ;$$

$$\operatorname{inv} \alpha_{a4} = \operatorname{tg} \alpha_{a4} - (\pi / 180^\circ) \cdot \alpha_{a4} = \operatorname{tg} 37,21^\circ - (\pi / 180^\circ) \cdot 37,21^\circ = 0,759 - 0,649 = 0,11 ;$$

$$s_{a4} = 2 \cdot r_{a4} \cdot \left[(s_4 / 2 \cdot r_4) + \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_{a4} \right] =$$

$$= 2 \cdot 35,40 \cdot \left[(7,736 / 2 \cdot 30,0) + 0,015 - 0,11 \right] = 70,80 \cdot [0,0339] = 2,402 ;$$

$$\alpha_{a5} = \arccos(d_{b5} / d_{a5}) = \arccos(r_{b5} / r_{a5}) = \arccos(56,382 / 65,60) = \arccos(0,859482) = 30,74^\circ ;$$

$$\operatorname{inv} \alpha_{a5} = \operatorname{tg} \alpha_{a5} - (\pi / 180^\circ) \cdot \alpha_{a5} = \operatorname{tg} 30,74^\circ - (\pi / 180^\circ) \cdot 30,74^\circ = 0,595 - 0,536 = 0,058 ;$$

$$s_{a5} = 2 \cdot r_{a5} \cdot \left[(s_4 / 2 \cdot r_4) + \operatorname{inv} \alpha - \operatorname{inv} \alpha_{a5} \right] =$$

$$= 2 \cdot 65,60 \cdot \left[(7,736 / 2 \cdot 30,0) + 0,015 - 0,058 \right] = 131,2 \cdot [0,0859] = 11,223 ;$$

Проверка на инструменталния гребен :

$$h_{a0} = h_f = m \cdot (h_a^* + c^*) = 4,0 \cdot (1 + 0,25) = 5,0 ; \rho_h = \rho_f^* \cdot m = 0,38 \cdot 4,0 = 1,52 [mm];$$

За шаблона : $t_4 = h_{a0} - \rho_h - X_4 = 5,0 - 1,52 - 2,0 = 1,48 ;$

$$t_5 = h_{a0} - \rho_h - X_5 = 5,0 - 1,52 - 2,2 = 1,28 ; c = m \cdot c^* = 4,0 \cdot 0,25 = 1,25 ;$$

Определяне на чертожните размери : Избира се чертожна височина на зъба на гребена $\bar{h}_{a0} = 50 \div 60 [mm]$; Избирам $\bar{h}_{a0} = 50 [mm]$; Определя се $1/K_f = 1/0,20 = 5,0 ;$

$K_l = h_0 / \bar{h}_0 = 10,0 / 50 = 0,20 \text{ [mm / mm]}$; Действителните размери се умножават по 5,0 и се получават чертожните в mm : $\bar{a}_w = 5,0.93,60 = 468,0 \text{ [mm]}$;
 $\bar{r}_4 = 5,0.30,0 = 150,0 \text{ [mm]}$; $\bar{r}_{b4} = 5,0.28,193 = 140,965$;
 $\bar{r}_{a4} = 5,0.35,40 = 177,0$; $\bar{r}_{f4} = 5,0.27,0 = 135,0$; $\bar{r}_5 = 5,0.60,0 = 300,0$;
 $\bar{r}_{b5} = 5,0.56,382 = 281,91 \text{ [mm]}$; $\bar{r}_{f5} = 5,0.57,20 = 286,0$; $\bar{r}_{a5} = 5,0.65,60 = 328,0$;
 $\bar{X}_4 = 5,0.2,0 = 10,0 \text{ [mm]}$; $\bar{X}_5 = 5,0.2,2 = 11,0 \text{ [mm]}$; $\bar{r}_{w4} = 5,0.31,20 = 156,0$;
 $\bar{r}_{w5} = 5,0.62,40 = 312,0$; $\bar{s}_4 = 5,0.7,736 = 38,679$; $0,5.\bar{s}_{w4} = 5,0.3,50 = 17,50$;
 $\bar{t}_5 = 5,0.1,28 = 6,40$; $0,5.\bar{s}_{w5} = 5,0.2,96 = 14,80$; $\bar{h}_{a0} = 5,0.5,0 = 25,00$; $\bar{\rho}_h = 5,0.1,52 = 7,60$;
 $\bar{t}_4 = 5,0.1,48 = 7,40$;

Задача №4 : ДИНАМИЧНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА МАШИНЕН АГРЕГАТ :

1. Определяне на мощността на двигателя и на работната машина.
2. Определяне на масовите параметри на подвижните звена.
3. Характеристика на установения режим. Определяне на положенията на главния вал, при които скоростта му има екстремуми.
4. Изчисляване на инерционния момент на маховика и определяне на мястото му.

Задание : $\eta_{II} = 0,76$; $\eta_{3.M.} = 0,98$; $z_M = z_4 = 15$ [броя] ; $y = \Delta a_w / m = 0,9$;

$\lambda = r / l_{OA} = 0,28$ [-] ; $\mu = D / r = 1,9$ [-] ; $\delta = 0,03$ [-] ; $v_d = d / r = 1,00$ [-] ; $\delta = 0,03$ [-] ;

$n_N = 1800$ [min^{-1}] ; $n_{AV} = n_{CP} = 2000$ [min^{-1}] ; $P_{max} = 4,0$ [MPa] ; $r = l_{OA} = 50$ [mm] ;

Тип на кинематичната машина: Електрогенератор ;

ДВГ: Ве – образен (V) тип ; Пореден номер на заданието: 1 ;

Точка 1 : В буталните машини силите са позиционни, тъй като зависят (както се вижда от диаграмите в заданията) от положението на буталото, респективно на колянвия вал на

коляно-мотовилковия механизъм.

А) Средната индикаторна мощност на позиционните сили в един цилиндр на буталната

машина се определя по формулата:

$$P_{II.п.ср.} = 0,25 \cdot p_{II.ср.} \cdot D^2 \cdot \omega_{ср.} \cdot r = 0,25 \cdot 2,72 \cdot 10^6 \cdot 0,095^2 \cdot 209,33 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 56\,203,80 \text{ [W]},$$

където : D - диаметър на буталото ; $D = \mu \cdot r = 1,9 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 0,095$ [m] ;

$\mu = 1,9$ - коефициент на триене при плъзгане ;

$$\omega_{ср.} = n_{ср.} \cdot \pi / 30 = 2000 \cdot 3,14 / 30 \approx 209,33 \text{ [rad / s]} ;$$

$$\overline{f_{max}} = 0,883 \cdot (2 \cdot \bar{r})^2 = 0,883 \cdot (20,0)^2 = 353,2 \text{ [mm}^2 \text{]} ;$$

($2 \cdot \bar{r} = \bar{H} = 20$ [mm] се измерва от графиката в ръководството) ;

$$K_S = 2 \cdot r / 2 \cdot \bar{r} = 2 \cdot 50 \cdot 10^{-3} / 20 = 0,005 \text{ [m / mm]} ;$$

$$K_P = P_{max} / \bar{P}_{max} = 4,0 \cdot 10^6 / 26 = 153\,846 \text{ [Pa / mm]} ;$$

($\bar{P}_{max} = 26$ [mm] се измерва от графиката в ръководството) ;

$$p_{II.ср.} = \overline{f} \cdot K_S \cdot K_P / 2 \cdot r = 353,2 \cdot 0,005 \cdot 153\,846 / 2 \cdot 50 \cdot 10^{-3} = 2\,716\,920 \text{ [Pa]} \approx 2,72 \text{ [MPa]} ;$$

Средната мощност на буталната машина се определя по формулата :

$$P_{II.ср.}^{Б.М.} = 2 \cdot P_{II.п.ср.} / \eta_{II} = 2 \cdot 56\,203,80 / 0,76 = 147\,904,7 \text{ [W]} ;$$

Средна мощност на роторната машина се определя по формулата :

$$P_{K.N.}^{P.M.} = P_{II.ср.}^{Б.М.} / \eta_{3.M.} = 147\,904,7 / 0,98 = 150\,923,2 \text{ [W]} ;$$

Средният момент на позиционните сили в буталната машина се определя по формулата :

$$M_{II.ср.}^{Б.М.} = P_{II.ср.}^{Б.М.} / \omega_{ср.} = 147\,904,7 / 209,33 = 706,56 \text{ [N.m]} ;$$

Номиналният момент на кинематичните сили в роторната машина (съответстващ на мощността $P_{K.N.}^{P.M.}$ при зададената номинална честота n_N) се определя по формулата :

$$\omega_N = n_N \cdot \pi / 30 = 600 \cdot 3,14 / 30 = 62,80 \text{ [rad / s]} ;$$

$$M_{K.N.}^{P.M.} = \frac{1}{\eta_{3.M.}} \cdot M_{II.ср.}^{Б.М.} \cdot \left(\frac{\omega_{ср.}}{\omega_N} \right) = \frac{706,56}{0,98} \cdot \left(\frac{209,33}{62,80} \right) \approx 2403,23 \text{ [N.m]} ;$$

Механичната характеристика на кенематичните сили е зависимостта $M_K = M_K(\omega)$ или $M_K = M_K(n)$ и се построява съгласно заданието и определените ω_N и $M_{K.N.}^{P.M.}$. В **задание 1** това е характеристиката на работната машина, а в **задания 2 и 3** – на двигателя. Определянето на коефициентите a и b във формулата за механичната характеристика на **ЕГ** се извършва с помощта на формулите : $a = 4.M_{K.N.}^{P.M.} = 4.2403,23 = 9612,92 [N.m]$;

$$b = -3.M_{K.N.}^{P.M.} / \omega_N = -3.2403,23 / 62,80 = -114,8 [N.m.s]$$

Точка 2 : Масовите инерционни моменти на зъбните **колела 4 и 5** се определят по формулата : $I_{S,i}^{3.K.} = 0,5.m_i^{3.K.} . (d_i / 2)^2 [kg.m^2]$; където $m_i^{3.K.} = K_M . V_i^{3.K.} . \rho [kg]$;

$K_M = 0,4 \div 0,8$ - коефициент на олекотяване на зъбното колело ; Приемам за моя проект

$K_M = 0,8$; $V_i^{3.K.} = \pi . (d_i / 2)^2 . b_i [mm^3]$ - условен обем на зъбното колело, определен като обем на цилиндър с диаметър, равен на този на делителната окръжност на колелото ;

$d_4 = m_n . z_4 = 3,5 . 12 = 42 . 10^{-3} m = 42 mm$ - диаметър на делителната окръжност на **колело 4** ;

$d_5 = m_n . z_5 = 3,5 . 30 = 105 . 10^{-3} m = 105 mm$ - диаметър на делителната окръжност на **колело 5** ;

$b_i = (6 \div 8) . m_n [mm]$, където m_n е модула на зъбното колело ; Избирам $m_n = 1,5 mm$;

$1 [mm^3] = 1 . 10^{-9} [m^3]$; $1 [m^3] = 1 . 10^9 [mm^3]$; $m_n = p_{max} = 3,5 MPa = 3,5 mm$;

Получавам $b_1 = b_2 = (6 \div 8) . m_n = 6 . 3,5 = 21 [mm] = 21 . 10^{-3} [m]$; $z_2 = 30$ броя ;

$\rho = 7,85 . 10^{-6} [kg / mm^3] = 7850 [kg / m^3]$ - плътността на стоманата ;

$m_4^{3.K.} = K_M . \pi . (d_4 / 2)^2 . b_4 . \rho = 0,6 . 3,14 . (42,0 . 10^{-3} / 2)^2 . 21 . 10^{-3} . 7850 = 0,1370 [kg]$;

$m_5^{3.K.} = K_M . \pi . (d_5 / 2)^2 . b_5 . \rho = 0,6 . 3,14 . (105 . 10^{-3} / 2)^2 . 21 . 10^{-3} . 7850 = 0,8560 [kg]$;

$I_{S,4}^{3.K.} = 0,5 . m_4^{3.K.} . (d_4 / 2)^2 = 0,5 . 0,1370 . (42,0 . 10^{-3} / 2)^2 = 30,2085 . 10^{-6} [kg.m^2]$;

$I_{S,5}^{3.K.} = 0,5 . m_5^{3.K.} . (d_5 / 2)^2 = 0,5 . 0,8560 . (105 . 10^{-3} / 2)^2 = 1,180 . 10^{-3} [kg.m^2]$;

Масовият инерционен момент на ротора на колянвия вал се определя по формулата (r се замества в $[m]$) :

$$I_S^{K.B.} = 0,30 . \mu . v^2 . (10 . r)^5 = 0,30 . 1,9 . 1,00^2 . (10 . 50 . 10^{-3})^5 = 0,0178 [kg.m^2]$$
 ;

Масовият инерционен момент на ротора на **ЕГ** се определя по формулата :

$$I_S^{EG} = 1,45 . 10^{-6} . M_{K.N.}^{P.M.} . \sqrt[3]{(M_{K.N.}^{P.M.})^2} = 1,45 . 10^{-6} . 2403,23 . \sqrt[3]{2403,23^2} = 0,625 [kg.m^2]$$
 ;

Точка 4 : Приведеният масов инерционен момент се определя по формулата :

$$I_r(\varphi_r) = I_O + \Delta I_r(\varphi_r) = I_M + I_C + \Delta I_r(\varphi_r) , [kg.m^2] , \text{ където :}$$

I_M - масов инерционен момент на маховика, с който се реализира зададената степен на неравномерност ;

I_C - постоянна част на приведения масов инерционен момент на агрегата, който се дължи на масите и масовите инерционни моменти на звената, предавателните отношения между които и главния вал са постоянни. Изчислява се от известната зависимост :

$$I_C = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \left(\frac{V_{S_i}}{\omega_r} \right)^2 + \sum_{i=1}^n I_{S_i} \cdot \left(\frac{\omega_i}{\omega_r} \right)^2, \text{ където се сумира по звената на зъбния механизъм и}$$

към тази сума се прибавят масовите инерционни моменти на колянвия вал, на съсредоточените в шарнира А маси на мотовилката и приведеният към него масов инерционен момент на ротора.

$\Delta I_r(\varphi_r)$ - променлива част на приведения масов инерционен момент на агрегата, която се дължи на масите на буталата и съсредоточените в шарнирите В и С маси на мотовилките. Тъй като зададените агрегати съдържат по два напълно еднакви коляно-мотовилкови механизма I и II, изместени по фаза в зависимост от кинетичната схема, пресмятането се извършва само за един от тях. Приведеният масов инерционен момент се определя по формулата :

$$I_r(\varphi_r) = (I_S^{IK} + I_{S,1}^{3.K.}) \cdot (\omega_1 / \omega_r)^2 + (I_S^{K.B.} + I_{S,2}^{3.K.}) \cdot (\omega_2 / \omega_r)^2 + 2 \cdot m_A^{MOT} \cdot (V_A / \omega_r)^2 + 2 \cdot (m_A^{MOT} + m^{BYT}) \cdot (V_B / \omega_r)^2 + 2 \cdot (m_A^{MOT} + m^{BYT}) \cdot (V_C / \omega_r)^2, [kg \cdot m^2];$$

Предавателните отношения се определят по формулите :

$$\omega_1 / \omega_r = -z_2 / z_1; \quad \omega_2 / \omega_r = 1; \quad V_A / \omega_r = r [m];$$

$$V_B / \omega_r = -r \cdot (\sin \varphi_r - 0,5 \cdot \lambda \cdot \sin(2 \cdot \varphi_r)), [m];$$

$$V_C / \omega_r = -V_B / \omega_r - \text{при боксерна помпа}; \quad \lambda = r / l_{OA} = 0,28 [-];$$

При ъгловата скорост на колянвия вал ω_r , скоростта на точка В се пресмята с

$$\text{достатъчна точност от израза: } V_B = -r \cdot \omega_r \cdot (\sin \varphi_r - 0,5 \cdot \lambda \cdot \sin(2 \cdot \varphi_r)), [m/s];$$

Тогава за променливата част на приведения масов инерционен момент на първия коляно-мотовилков механизъм се получава :

$$\Delta I_r^I = (m_B + m_{MB}) \cdot (V_B / \omega_r)^2 = m_B \cdot r^2 \cdot (\sin \varphi_r - 0,5 \cdot \lambda \cdot \sin(2 \cdot \varphi_r)), [m];$$

Постоянната част на приведения масов инерционен момент (I_C) е :

$$I_S^{EG} = 1,45 \cdot 10^{-6} \cdot M_{K.N.}^{P.M.} \cdot \sqrt[3]{(M_{K.N.}^{P.M.})^2} = 1,45 \cdot 10^{-6} \cdot 2403,23 \cdot \sqrt[3]{2403,23^2} = 0,625 [kg \cdot m^2];$$

$$I_S^{K.B.} = 0,30 \cdot \mu \cdot v^2 \cdot (10 \cdot r)^5 = 0,30 \cdot 1,9 \cdot 1,00^2 \cdot (10 \cdot 50 \cdot 10^{-3})^5 = 0,0178 [kg \cdot m^2];$$

$$I_{S,4}^{3.K.} = 0,5 \cdot m_4^{3.K.} \cdot (d_4 / 2)^2 = 0,5 \cdot 0,1370 \cdot (42,0 \cdot 10^{-3} / 2)^2 = 30,2085 \cdot 10^{-6} [kg \cdot m^2];$$

$$I_{S,5}^{3.K.} = 0,5 \cdot m_5^{3.K.} \cdot (d_5 / 2)^2 = 0,5 \cdot 0,8560 \cdot (105 \cdot 10^{-3} / 2)^2 = 1,180 \cdot 10^{-3} [kg \cdot m^2];$$

$$\begin{aligned} I_C &= A = (I_S^{EG} + I_{S,4}^{3.K.}) \cdot (-z_5 / z_4)^2 + (I_S^{K.B.} + I_{S,5}^{3.K.}) \cdot (1)^2 + 2 \cdot m_A^{MOT} \cdot (r)^2 = \\ &= (0,625 + 30,2085 \cdot 10^{-6}) \cdot (-30 / 12)^2 + (0,0178 + 1,180 \cdot 10^{-3}) \cdot 1 + 2 \cdot 9,62 \cdot (50 \cdot 10^{-3})^2 = \\ &= +3,906 + 0,0188 + 0,0481 = +3,973 [kg \cdot m^2]; \end{aligned}$$

Променливата част на приведения масов инерционен момент [$\Delta I(\varphi_r)$] е :

$$\begin{aligned} \Delta I(\varphi_r) &= 2 \cdot (m_A^{MOT} + m^{BYT}) \cdot (-r \cdot (\sin \varphi_r - 0,5 \cdot \lambda \cdot \sin(2 \cdot \varphi_r)))^2 + \\ &+ 2 \cdot (m_A^{MOT} + m^{BYT}) \cdot (+r \cdot (\sin \varphi_r - 0,5 \cdot \lambda \cdot \sin(2 \cdot \varphi_r)))^2 = \\ &= 2 \cdot (9,62 + 6,87) \cdot (-50 \cdot 10^{-3} \cdot (\sin \varphi_r - 0,5 \cdot 0,28 \cdot \sin(2 \cdot \varphi_r)))^2 + \\ &+ 2 \cdot (9,62 + 6,87) \cdot (50 \cdot 10^{-3} \cdot (\sin \varphi_r - 0,5 \cdot 0,28 \cdot \sin(2 \cdot \varphi_r)))^2 = \\ &= -3,96 \cdot (\sin \varphi_r - 0,5 \cdot 0,28 \cdot \sin(2 \cdot \varphi_r))^2 + 3,96 \cdot (\sin \varphi_r - 0,5 \cdot 0,28 \cdot \sin(2 \cdot \varphi_r))^2, [kg \cdot m^2]; \end{aligned}$$

Точка 5 : Масовия инерционен момент на маховика се определя по формулата :

Определянето на масовия инерционен момент на маховика от условието за осигуряване на зададения коефициент на неравномерност δ . В този случай масовият инерционен момент на маховика се определя от зависимостта :

$$I_M = \frac{\Delta A_{(\max)}}{\delta \cdot \omega_{CP}^2} - I_C [kg \cdot m^2]; \text{ където работата}$$

$\Delta A_{(\max)} = \overline{f_{(\max)}} \cdot K_{\varphi r} \cdot K_{MZ} [J]$; $\overline{f_{(\max)}} = 353,2 [mm^2]$ - лице на площта, ограничена от функцията $M_Z(\varphi)$ и правата, която свързва пресечните точки на успоредните прави $-M_K(\omega_{\max})$ и $-M_K(\omega_{\min})$ с $M_Z(\varphi)$, съответно при $\varphi(\min)$ и $\varphi(\max)$. Определя се чрез пречертване на графиката на паус и налагането ѝ след това върху милиметрова хартия ;

$K_{\varphi r} = 2,5 [rad / mm]$ - мащабен модул на абсцисната ос ;

$K_{MZ} = 3,33 [N \cdot m / mm]$ - мащабен модул на ординатната ос ;

$$\Delta A_{(\max)} = \overline{f_{(\max)}} \cdot K_{\varphi r} \cdot K_{MZ} = 353,2 \cdot 2,5 \cdot 3,33 = 2940,4 [J] ;$$

$$I_M = \frac{\Delta A_{(\max)}}{\delta \cdot \omega_{CP}^2} - I_C = \frac{2940,4}{0,03 \cdot 209,33^2} - 3,973 = 2,237 - 3,973 = -1,736 [kg \cdot m^2] ;$$

