Ball balancer

שובל בן שושן 203883830

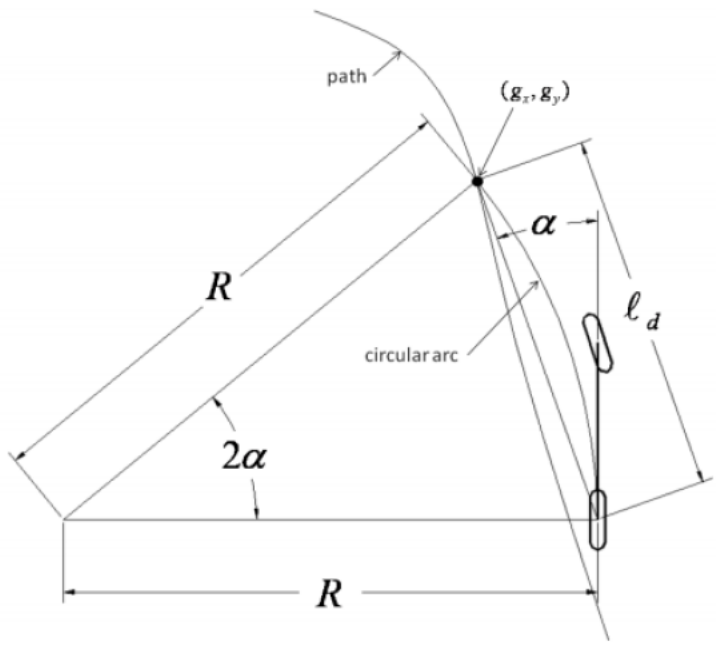
נדב שולב 302280251

א- נבטא את δ – בעזרת-

L, k, v, α

$$\delta = \frac{L}{R}$$
$$kv = l_d$$

נוריד אנך ל-l_d ומאחר שזה משולש שווה שוקיים נקבל 2 משולשים ישרי זווית.



$$sin(\alpha) = \frac{\frac{l_d}{2}}{R} = \frac{l_d}{2R}$$
$$R = \frac{l_d}{2sin(\alpha)}$$

נציב את R שקיבלנו במשוואה הראשונה-

$$\delta = \frac{L}{R} = \frac{L}{\frac{l_d}{2sin(\alpha)}} = \frac{2Lsin(\alpha)}{l_d} = \frac{2Lsin(\alpha)}{kv}$$

כנדרש.

ב- $\kappa = ?$

כמו שראינו בסעיף הקודם-

$$R = \frac{l_d}{2sin(\alpha)}$$

ולכן-

$$\kappa = R^{-1} = \frac{2sin(\alpha)}{l_d}$$

ג- נשים לב-

$$v_{min} = 20[kph] = 5.56[\text{mps}]$$
$$v_{max} = 200[kph] = 55.556[\text{mps}]$$
$$\kappa_{max} = 0.3[m^{-1}]$$
$$v_{ref} = max[v_{max} - \kappa \cdot k, v_{min}] = max[55.56 - \kappa \cdot k, 5.56]$$

נמצא את הגבול (המהירות תהיה נמוכה ביותר כאשר העקמומיות מקסימלית)-

$$5.56 = 55.56 - 0.3k$$
$$k = 166.667$$

כלומר נבחר *k<166.67*

ד- נגדיר את זווית ההגה- θ, ואת זווית הגלגלים ϕ.

תחום התנועה של הזוויות-

$$-45° \leq \phi \leq 45°$$
$$-90° \leq \theta \leq 90°$$

לכן קל לראות שהקשר בין סיבוב ההגה לסיבוב הגלגלים הוא-

$$\phi = \frac{\theta}{2}$$

ה- העובי הכולל של הצמיג הוא-

$$19[inch] = 48.26[cm] = 0.4826[m]$$

לכן היקף הגלגל הוא-

$$v = \omega R = \omega \cdot 0.4826$$

ו- נתון-

$$\frac{\dot{\theta}(s)}{V(s)} = \frac{23.5}{2.83s + 1} = \frac{8.3}{s + 0.3533}$$

כדי לחשב את שגיאת המצב המתמיד עבור מדרגה ב-

$$K = \lim_{s \to 0} \frac{23.5}{2.83s + 1} = 23.5$$

$$e_{ss} = \frac{R_0}{1 + K} = \frac{1}{1 + 23.5} = 0.0408$$

מרקע התיאורטי נקבל-

$$a = 8.3, b = 0.3533$$
$$e_{ss} = \frac{b}{a + b} = \frac{0.3533}{0.3533 + 8.3} = 0.0408$$

ונראה שהתוצאה אכן זהה.

כעת נתכנן את הבקר *PI*-

במרחב התדר נקבל-

$$C(s) = k_p + \frac{k_i}{s}$$

תמסורת החוג הסגור-

$$T(s) = \frac{L(s)}{1 + L(s)}$$

כאשר-

$$L(s) = C(s)P(s) = \left(k_p + \frac{k_i}{s}\right)\left(\frac{23.5}{2.83s + 1}\right) = \frac{23.5sk_p + 23.5k_i}{2.83s^2 + s}$$

ולכן החוג הסגור-

$$T(s) = \frac{\frac{23.5sk_p + 23.5k_i}{2.83s^2 + s}}{\frac{2.83s^2 + s(1 + 23.5k_p) + 23.5k_i}{2.83s^2 + s}} = \frac{23.5sk_p + 23.5k_i}{2.83s^2 + s(1 + 23.5k_p) + 23.5k_i}$$

נסתכל כעת על המכנה של החוג הסגור, בכדי שלא נקבל תגובת יתר נדרוש-

$$\xi > 1$$

כלומר-

$$\omega_n^2 = 23.5k_i$$
$$2\xi\omega_n = 1 + 23.5k_p$$
$$\xi = \frac{1 + 23.5k_p}{2\sqrt{23.5k_i}} > 1$$
$$1 + 23.5k_p > 2\sqrt{23.5k_i}$$
$$k_p > \frac{1 + 2\sqrt{23.5k_i}}{23.5}$$

נקבל שהדרישות של החוג הסגור הן-

$$t_s = \frac{-ln(0.02)}{\xi\omega_n} = \frac{4}{\xi\omega_n} < 0.1[s]$$

ראשית מאחר ואנו ריסון יתר נבחר - $\xi = 5$

לכן נקבל-

$$\omega_n > 8$$

נבחר –

$$\omega_n = 9$$

ונקבל בסה"כ- $9^2 = 23.5k_i$

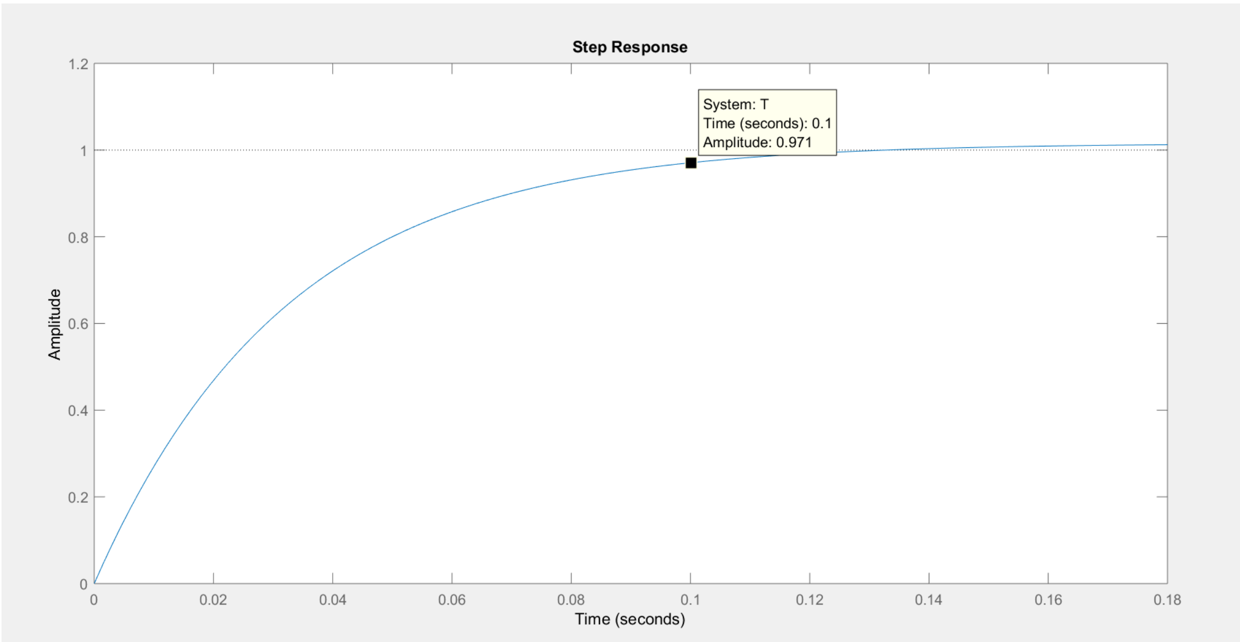
$$k_i = 3.44$$

$$90 = 1 + 23.5k_p$$
$$k_p = 3.78$$

נדבוק האם מקיים את התנאי דרשנו על ξ-

$$k_p = 3.78 > \frac{1 + 2\sqrt{23.5 \cdot 3.44}}{23.5} = 0.8077$$

נבדוק את מה שהתקבל במטלב-



ונראה שעמדנו בדרישה.

ז- נחזור על התהליך-

$$C(s) = k_p + sk_d$$
$$\frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{24}{s(0.23s + 1)}$$

לכן-

$$L(s) = \frac{24k_p + 24sk_d}{s^2 0.23 + s}$$

אנו יודעים שסכום המונה והמכנה של החוג הפתוח שווה למכנה החוג הסגור-

$$0.23s^2 + s(1 + 24k_d) + 24k_p$$

כעת נחשב את הדרישות-

$$\xi => 1$$
$$2\xi\omega_n = 1 + 24k_d$$
$$1 < \xi = \frac{1 + 24k_d}{2\sqrt{24k_p}}$$

$$k_d > \frac{2\sqrt{24k_p} - 1}{24}$$

דרישת המערכת-

$$t_s = \frac{-ln(0.02)}{\xi\omega_n} = \frac{4}{\xi\omega_n} \le 0.25[s]$$

נבחר כעת $\xi = 2$

ונקבל-

$$8 \le \omega_n$$

נבחר-

$$\omega_n = 8$$

ונקבל-

$$\omega_n^2 = 24k_p$$
$$k_p = \frac{8}{3}$$

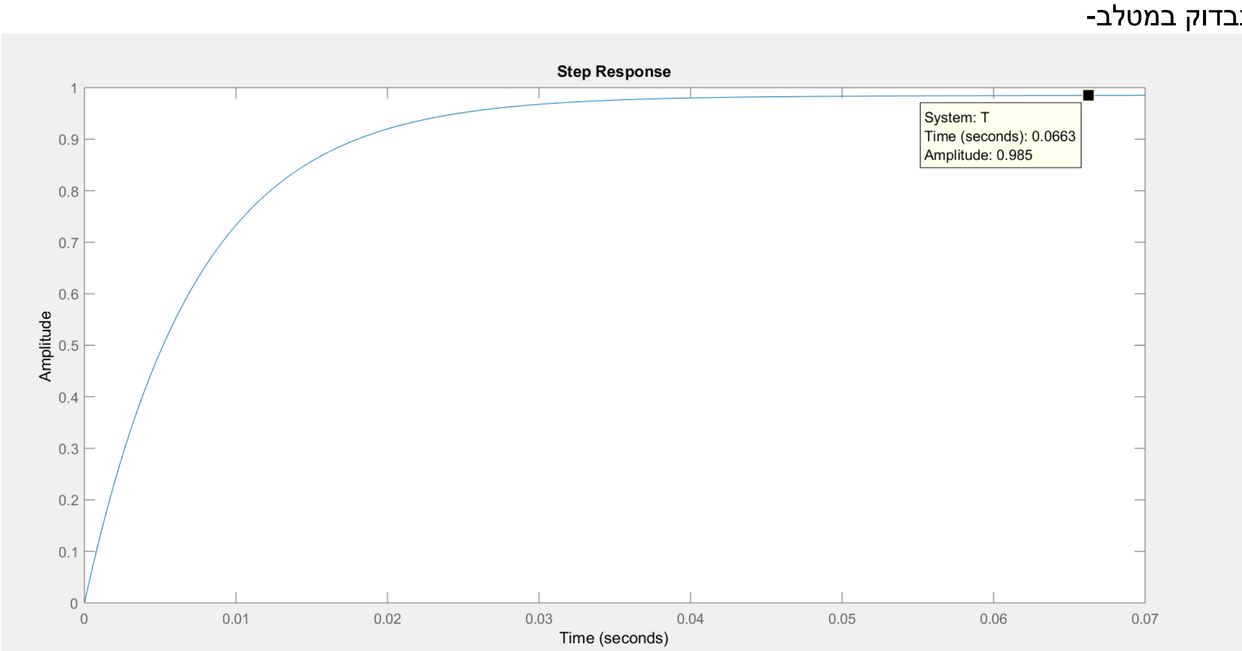
$$2\xi\omega_n = 32 = 1 + 24k_d$$
$$k_d = 1.29$$

נבדוק האם התנאי שלנו מתקיים-

$$k_d = 1.29 > 0.625$$

ואכן מתקיים.

נבדוק במטלב-



ונראה שאכן כל התנאים התקיימו.