NATIONAL TECHNICAL
UNIVERSITY OF ATHENS

School of MechanicalEngineering
Dept. of Mechanical Design & Automatic Control

Assist. Prof. Athanasios Chasalevris, PhD
+30 210 772 3681 | chasalevris@mail.ntua.gr
9 Heroon Polytechniou Str.15780 Athens, Hellas
http://users.ntua.gr/chasalevris

ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ

ΕΡΓΑΣΙΑ 2

Εκτιμώμενος χρόνος ενασχόλησης **< 5 ώρες**

Για τον μηχανισμό έμβολο-διωστήρας (slider-crank) του σχήματος (με φυσικές και γεωμετρικές ιδιότητες όπως στην εργασία 1), και για την περίπτωση της κίνησης εισόδου στο έμβολο (piston-driven problem) με δύναμη P_4 και $r_1, \dot{r}_1, \ddot{r}_1$ (σταθερή γωνιακή ταχύτητα $\omega_2 = 6000\,\mathrm{RPM}$), να υπολογιστούν:

2.1) οι ακόλουθες δυνάμεις ως συνάρτηση του χρόνου t, ανα πεντάδες στο ίδιο figure (5 figures σύνολο) $\underbrace{F_{12}^{\xi}, F_{12}^{\eta}, F_{12}^{x}, F_{12}^{y}, |F_{12}|}_{figure(1)}, \underbrace{F_{23}^{\xi}, F_{23}^{\eta}, F_{23}^{x}, F_{23}^{y}, |F_{23}|}_{figure(2)}, \underbrace{F_{32}^{\xi}, F_{32}^{\eta}, F_{32}^{x}, F_{32}^{y}, |F_{32}|}_{figure(3)}, \underbrace{F_{34}^{\xi}, F_{34}^{\eta}, F_{34}^{x}, F_{34}^{y}, |F_{34}|}_{figure(4)}, \underbrace{F_{43}^{\xi}, F_{43}^{\eta}, F_{43}^{x}, F_{43}^{y}, |F_{43}|}_{figure(5)}$ για τη χρονική διάρκεια 2 περιόδων περιστροφης του στροφάλου ($2\mathrm{T} = 2 \cdot 2\pi / \omega_2$)

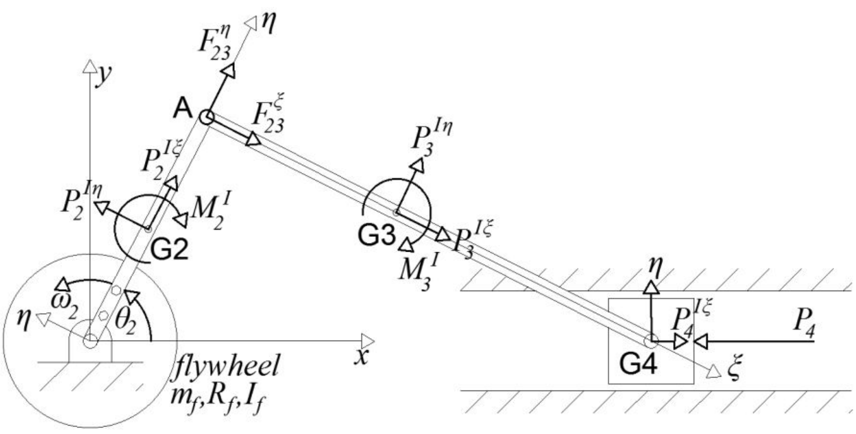
2.2) η ροπή αντίστασης $-\mathrm{M}_2$ και η μέση ροπή M_{mean} σε ένα επιπλέον γράφημα figure(6) όταν η δύναμη P_4 ακολουθεί κατανομή δύναμης στο έμβολο κινητήρα εσωτερικής καύσης (δίδεται).

2.3) Η ακτίνα R_f του σφονδύλου (flywheel) που πρέπει να προσαρμοστεί στον στρόφαλο (βλ. σχήμα) για συντελεστή διακύμανσης ταχύτητας $c_s = 0.17$ στις 6000RPM. Ο σφόνδυλος θα πρέπει να έχει μάζα $m_f = 2kg$.

2.4) Ποια η ισχύς στο στρόφαλο (HP) και ποια η ελάχιστη και μεγιστη γωνιακή ταχύτητα στο στρόφαλο ($\omega_{\min}, \omega_{\max}$) λόγω διακύμανσης?

<u>Υποδείξεις:</u>

- χρησιμοποιείστε το αρχείο piston_driven_HW2.m καθώς και το αρχείο pressure.txt (πρέπει να τα βάλετε στον ίδιο φάκελο!) που βρίσκονται στο mycourses και το οποίο υπολογίζει την κινηματική και δυναμική του μηχανισμού. Στο τμήμα '`%FORCE ANALYSIS`' επιλύεται το σύστημα $[\mathbf{A}]_{8\times8}\{\mathbf{x}\}_{8\times1} = \{\mathbf{B}\}_{8\times1}$ το οποίο ορίστηκε στις παραδόσεις του μαθήματος (piston-driven εκδοχή). <u>Κάποια στοιχεία των πινάκων $[\mathbf{A}]$</u> και <u>$\{\mathbf{B}\}$ πρέπει να τα ορίσετε εσείς με βάση τις σημειώσεις σας και ο κώδικας θα μπορέι να παράξει αποτελέσματα δυνάμεων</u>. Οι αντίστοιχοι πίνακες στον κώδικα είναι οι AA και BB.
- Είσάγετε τον πενταψήφιο Αριθμό Μητρώου σας στη σειρά 292 του κώδικα.
- Για το ερώτημα 2.1 χρησιμοποιείστε τα figures(19) έως (23) του κώδικα.
- Για το ερώτημα 2.2 χρησιμοποιείστε το figure(26) του κώδικα.
- Για το ερώτημα 2.3 χρησιμοποιείστε το τμήμα του κώδικα έπειτα απο το figure(25)
- **Η παραδοτέα αργασία να μην ξεπερνά τις 3 σελίδες και να περιλαμβάνει μόνο 6 διαγράμματα και τις εξισώσεις για τα ερωτήματα 2.3 και 2.4.**



NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS

School of MechanicalEngineering

Dept. of Mechanical Design & Automatic Control

Assist. Prof. Athanasios Chasalevris, PhD

+30 210 772 3681 | chasalevris@mail.ntua.gr

9 Heroon Polytechniou Str.15780 Athens, Hellas

http://users.ntua.gr/chasalevris

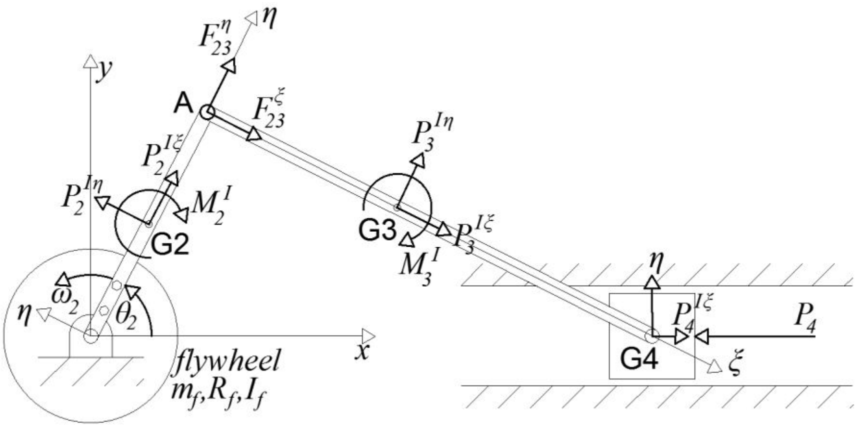
ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗ ΚΑΙ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΜΗΧΑΝΙΣΜΩΝ

ΕΡΓΑΣΙΑ 2

Εκτιμώμενος χρόνος ενασχόλησης **< 5 ώρες**

- **Τα παρακάτω αποτελέσματα προκύπτουν για mc18000**

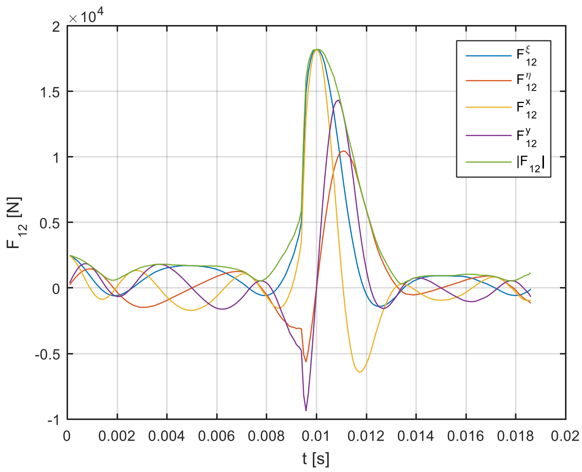
Για τον μηχανισμό έμβολο-διωστήρας (slider-crank) του σχήματος (με φυσικές και γεωμετρικές ιδιότητες όπως στην εργασία 1), και για την περίπτωση της κίνησης εισόδου στο έμβολο (piston-driven problem) με δύναμη P_4 και $r_1, \dot{r}_1, \ddot{r}_1$ για σταθερή γωνιακή ταχύτητα $\omega_2 = 6000\,\mathrm{RPM}$, να υπολογιστούν:

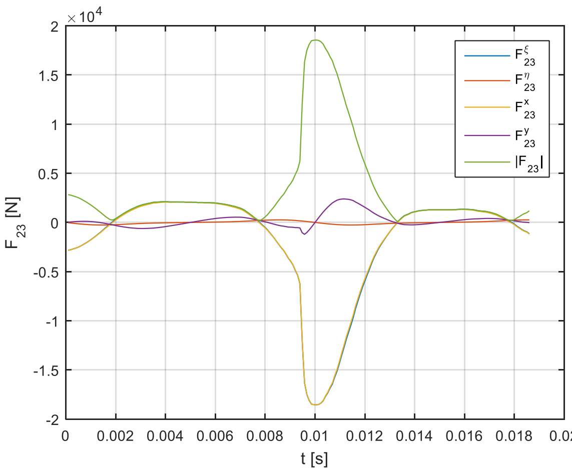


2.1) οι ακόλουθες δυνάμεις ως συνάρτηση του χρόνου t, ανα πεντάδες στο ίδιο figure (5 figures σύνολο)

$$\underbrace{F_{12}^{\xi}, F_{12}^{\eta}, F_{12}^{x}, F_{12}^{y}, |F_{12}|}_{figure(1)}, \underbrace{F_{23}^{\xi}, F_{23}^{\eta}, F_{23}^{x}, F_{23}^{y}, |F_{23}|}_{figure(2)}, \underbrace{F_{32}^{\xi}, F_{32}^{\eta}, F_{32}^{x}, F_{32}^{y}, |F_{32}|}_{figure(3)}, \underbrace{F_{34}^{\xi}, F_{34}^{\eta}, F_{34}^{x}, F_{34}^{y}, |F_{34}|}_{figure(4)}, \underbrace{F_{43}^{\xi}, F_{43}^{\eta}, F_{43}^{x}, F_{43}^{y}, |F_{43}|}_{figure(5)}$$ για τη

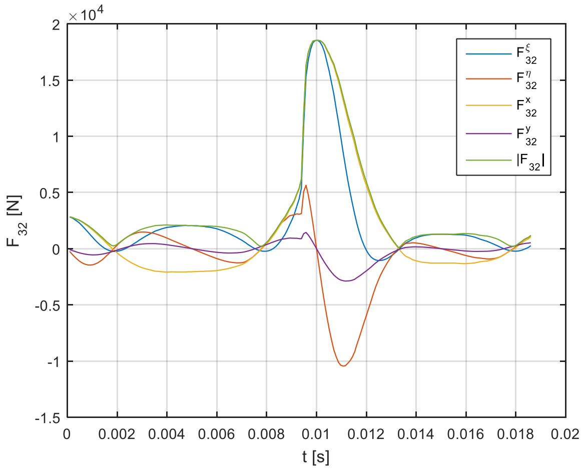
χρονική διάρκεια 2 περιόδων περιστροφης του στροφάλου ($2\mathrm{T} = 2 \cdot 2\pi / \omega_2$)

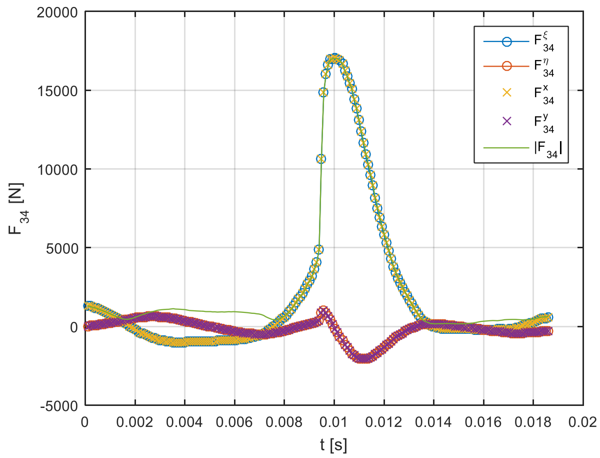


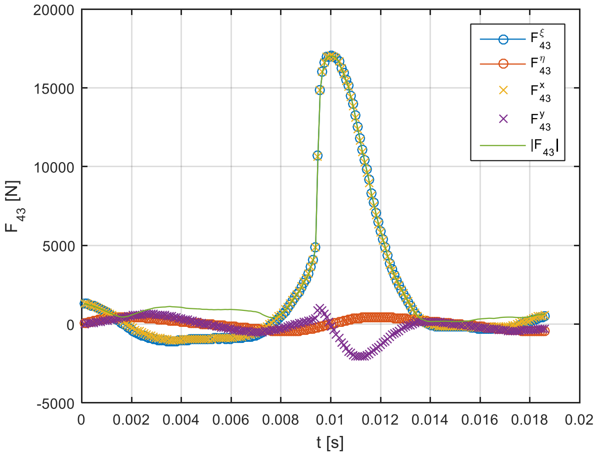


NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF ATHENS
School of MechanicalEngineering
Dept. of Mechanical Design & Automatic Control

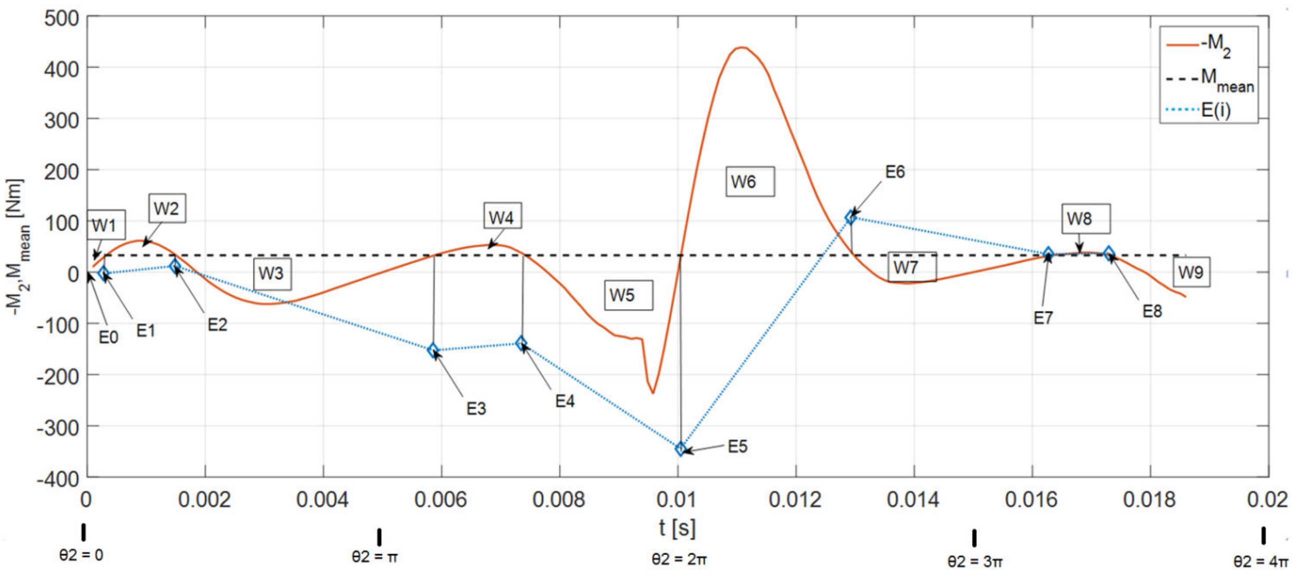
Assist. Prof. Athanasios Chasalevris, PhD
+30 210 772 3681 | chasalevris@mail.ntua.gr
9 Heroon Polytechniou Str.15780 Athens, Hellas
http://users.ntua.gr/chasalevris







2.2) η ροπή αντίστασης $-M_2$ και η μέση ροπή M_{mean} σε ένα επιπλέον γράφημα figure(6) όταν η δύναμη P_4 ακολουθεί κατανομή δύναμης στο έμβολο κινητήρα εσωτερικής καύσης (δίδεται).



Assist. Prof. Athanasios Chasalevris, PhD
+30 210 772 3681 | chasalevris@mail.ntua.gr
9 Heroon Polytechniou Str.15780 Athens, Hellas
http://users.ntua.gr/chasalevris

$$M_{mean}=\frac{W_{cycle}}{\theta_{cycle}}=\frac{\int_0^{4\pi}\left(-M_2\left(\theta\right)\right)d\theta}{4\pi}=\frac{414.97[\text{Joule}]}{4\pi[\text{rad}]}=33.02[\text{Nm}]$$

Προγραμματισμός:

- Το στοιχειώδες έργο δW_i σε κάθε $\delta\theta$ περιστροφής στο διάστημα απο 0 έως 4π είναι $\delta W_i=\left(-M_2\left(\theta_i\right)-M_{mean}\right)\cdot\delta\theta$, όπου θ_i η γωνία σε κάθε διάστημα απο 0 έως 4π, δηλαδή στα διαστήματα $i=1,2,3,...,N$, όπου π.χ. $N=200$.Καποια δW_i είναι θετικά και κάποια αρνητικά.

- για κάθε $i=1,2,3,...,N$ ελέγχω πότε το δW_i αλλάζει πρόσιμο, δηλαδή πότε ισχύει $\delta W_i\cdot\delta W_{i+1}<0$ και τότε βρίσκω το εκάστοτε i στα σημεία τομής της $-M_2\left(\theta\right)$ με την M_{mean}, ως $index\left(j\right)=1,3,16,63,79,108,139,175,186$. Οι αντίστοιχες γωνίες σε μοίρες είναι $\theta_j=10.8,57.6,226.8,284.4,388.8,500.4,630,669.6$ όπου $j=1,2,3,...,8$ (όσα τα σημεία τομής της $-M_2\left(\theta\right)$ με την M_{mean})

- Υπολογίζω τα επι μέρους έργα (W1, W2, W3…W8 στο σχήμα. Το W9 δεν χρειάζεται), θετικά και αρνητικά ως εξής:

$$W_j=\int_{\theta_j}^{\theta_{j+1}}\left(-M_2\left(\theta\right)-M_{mean}\right)d\theta=\sum_{i=index(j)}^{index(j+1)}\delta W_i \text{ για } j=1,2,3,...,8$$

- Υπολογίζω τις ενέργειες (E1, E2, E3…E8 στο σχήμα. Η E9 δεν χρειάζεται) ως εξής: $E_1=E_0+W_1$, $E_2=E_1+W_2$, $E_3=E_2+W_3$,κ.ο.κ, μέχρι $E_8=E_7+W_8$. Ισχύει $E_9=E_0$ (δε φαίνεται στο σχήμα διότι λείπει ενα μικρό κομμάτι της περιόδου στο τέλος), και η E_0 επιλέγεται αυθαίρετα (δεν παιζει ρόλο στο τελικό αποτέλεσμα της ΔE), ως π.χ. $E_0=0$. Μπορέι καποιος να κάνει και επαλήθευση αν $E_9=E_8+W_9=E_0$ αλλα θα πρεπει να έχει βρει και το W_9 στο προηγούμενο βήμα.

- Απο τις E_j βρίσκω την μέγιστη και την ορίζω $E_{\max}=\max\left(E_1,E_2,E_3,...,E_8\right)=E_6=107.36[\text{J}]$. Αντίστοιχα ορίζω $E_{\min}=\min\left(E_1,E_2,E_3,...,E_8\right)=E_5=-344.55[\text{J}]$

- Τότε $\Delta\text{E}=E_{\max}-E_{\min}=107.36-\left(-344.55\right)=451.9[\text{J}]$ και με αυτή τη ΔE προχωράω στον υπολογισμό του σφονδύλου

Παρατηρήσεις:

- Τα θετικά έργα W_j^+ είναι ίσα με τα αρνητικά έργα W_j^-, δηλαδή $W_2+W_4+W_6+W_8=-\left(W_1+W_3+W_5+W_7+W_9\right)$
- Η $\Delta\text{E}=E_6-E_5$ <u>προεκυψε</u> να είναι ίση με το W_6, οπότε θα μπορούσε καποιος να πει οτι η ΔE είναι τελικά ίση με το μεγαλύτερο θετικό ή αρνητικό έργο που παρουσιάζεται στη διακύμανση της ροπής (δηλ. παρουσιάζεται εκεί που μπαίνει ή βγαίνει η μεγαλύτερη ποσότητα), και να αποφύγει την επι μέρους ανάλυση για την ευρεση των $E_1,E_2,E_3,...,E_8$. **<u>Αυτό ΔΕΝ είναι ΠΑΝΤΑ σωστό!</u>** Υπαρχουν περιπτώσεις κατανομής ροπής που δουλεύει και άλλες που δεν δουλεύει. Αλλωστε, πολλες φορές είναι δύσκολο να βρεις με το μάτι είναι αυτό το μεγαλύτερο εμβαδό (έργο). Φανταστείτε μία κατανομή όπου λίγα μικρά αρνητικά εργα στη σειρά ακολουθούνται απο πολλά μικρά θετικά εργα στη σειρα και φτιαχνουν τελικά ένα μεγάλο ΔE !

2.3) Η ακτίνα R_f του σφονδύλου (flywheel) που πρέπει να προσαρμοστεί στον στρόφαλο (βλ. σχήμα) για συντελεστή διακύμανσης ταχύτητας $c_s=0.17$ στις 6000RPM. Ο σφόνδυλος θα πρέπει να έχει μάζα $m_f=2kg$.

Assist. Prof. Athanasios Chasalevris, PhD
+30 210 772 3681 | chasalevris@mail.ntua.gr
9 Heroon Polytechniou Str.15780 Athens, Hellas
http://users.ntua.gr/chasalevris

$\Delta \mathrm{E} = I_f \omega_{avg}^2 c_s \Rightarrow I_f = \dfrac{\Delta \mathrm{E}}{\omega_{avg}^2 c_s} \Rightarrow m_f R_f^2 = \dfrac{\Delta \mathrm{E}}{\omega_{avg}^2 c_s} \Rightarrow R_f = \sqrt{\dfrac{\Delta \mathrm{E}}{\omega_{avg}^2 c_s m_f}} = \sqrt{\dfrac{451.9}{628.3^2 \cdot 0.17 \cdot 2}} = 0.058[\mathrm{m}] = 58[\mathrm{mm}]$ για σφόνδυλο δακτυλίου.

2.4) Ποια η ισχύς στο στρόφαλο (HP) και ποια η ελάχιστη και μεγιστη γωνιακή ταχύτητα στο στρόφαλο ($\omega_{\min}, \omega_{\max}$) λόγω διακύμανσης?

$P = M_{mean} \cdot \omega_{avg} = 33.02[\mathrm{Nm}] \cdot 628.31[\mathrm{rad/s}] = 20747[\mathrm{W}] = 27.8[\mathrm{HP}]$

Επειδή $c_s = \dfrac{\omega_{\max} - \omega_{\min}}{\omega_{avg}}$ και $\omega_{avg} = \dfrac{\omega_{\max} + \omega_{\min}}{2}$, προκύπτει ότι $\omega_{\max} = \left(1 + \dfrac{c_s}{2}\right)\omega_{avg} = 681.7[\mathrm{rad/s}]$ και $\omega_{\min} = \left(1 - \dfrac{c_s}{2}\right)\omega_{avg} = 574.9[\mathrm{rad/s}]$