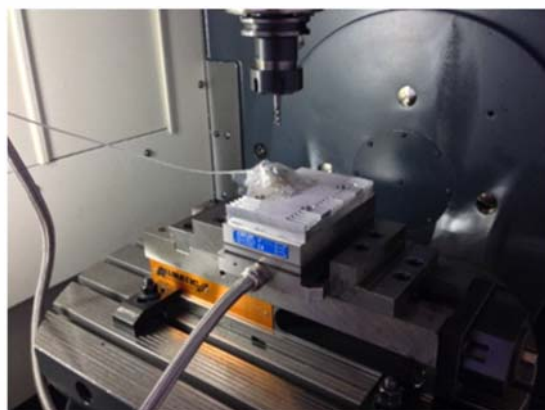


ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΟΣ ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ ΕΥΣΤΑΘΕΙΑΣ ΣΤΟ ΦΡΑΙΖΑΡΙΣΜΑ



Καθ. Αριστομένης Αντωνιάδης
Καθ. Νικόλαος Μπιλάλης
Καθ. Γεώργιος Σταυρουλάκης

Διπλ. Μηχ. Κωνσταντίνος Σοφιάκης

Χανιά 2016



<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σοφιάκης Κωνσταντίνος

1

Εισαγωγή

2

Στάθμη γνώσεων

3

Πρόγραμμα σύνθεσης
διαγραμμάτων ευστάθειας

4

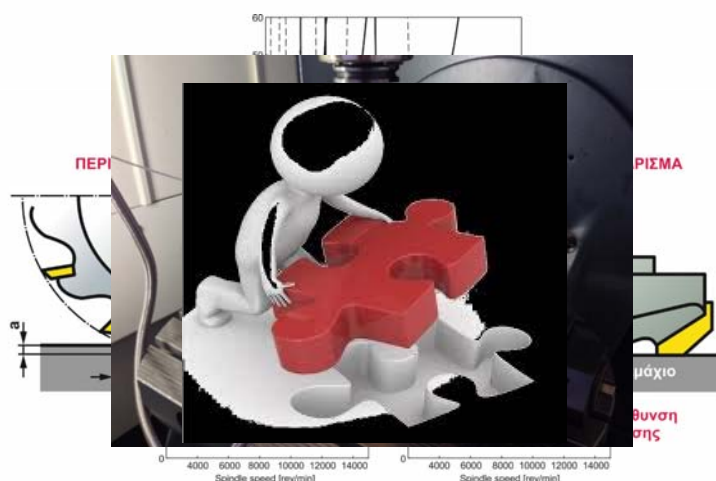
Πειραματικός εξοπλισμός

5

Πειραματική διαδικασία

6

Συμπεράσματα



Περιεχόμενα παρουσίασης

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σοφιάκης Κωνσταντίνος

Αντικείμενο εργασίας

- Η μελέτη του φαινομένου αυτοδιεγερόμενων ταλαντώσεων κατά την κατεργασία του φραιζαρίσματος

Εισαγωγή**Σκοπιμότητα εργασίας**

- Πολύπλοκο και ευαίσθητο φαινόμενο μηχανικής
- Πληθώρα αρνητικών επιπτώσεων
- Σημαντικός ανασταλτικός παράγοντας της βελτίωσης της παραγωγικότητας και της ποιότητας των κατεργασιών με αφαίρεση υλικού

Μέθοδος μελέτης

- Βιβλιογραφική έρευνα
- Ανάπτυξη κώδικα για τον υπολογισμό διαγραμμάτων ευστάθειας
- Εφαρμογή του κώδικα σε πρόβλημα προηγούμενης έρευνας
- Σύγκριση αποτελεσμάτων προγράμματος με τα αντίστοιχα της έρευνας
- Περιγραφή πειραματικού εξοπλισμού μελέτης του φαινομένου
- Περιγραφή εκπόνησης πειραμάτων μελέτης του φαινομένου
- Ανάπτυξη προγράμματος για ανάλυση των μετρήσεων

2016

**Εισαγωγή**<http://www.m3.tuc.gr>

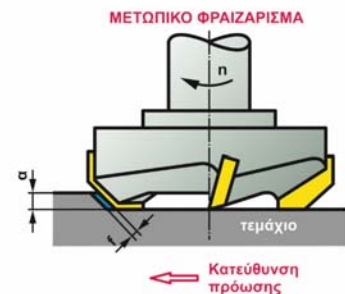
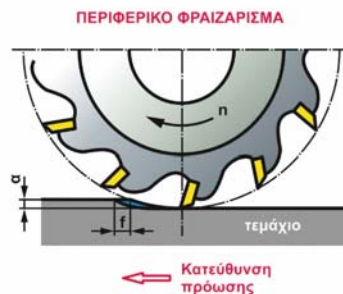
School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σοφιάκης Κωνσταντίνος**Κύριες κινήσεις κοπής****Ταχύτητα κοπής**

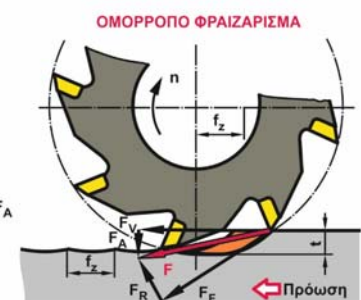
$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

Στάθμη γνώσεων**Ταχύτητα πρόωσης**

$$f = f_z \cdot z \cdot n$$



D: η διάμετρος του κοπτικού εργαλείου σε mm
n: η ταχύτητα περιστροφής σε rpm
 f_z : ταχύτητα πρόωσης ανά δόντι σε mm/δόντι
z: πλήθος κοπτικών ακμών



F : δύναμη κοπής
 F_F : κύρια δύναμη κοπής
 F_R : ακτινική δύναμη κοπής
 F_V : συνιστώσα δύναμη στην κατεύθυνση της πρόωσης
 F_A : συνιστώσα δύναμη κάθετα στην πρόωση

2016

**Η κατεργασία του φραιζαρίσματος**<http://www.m3.tuc.gr>

School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σοφιάκης Κωνσταντίνος

Είδη μηχανικών ταλαντώσεων



!!! Οι εργαλειομηχανές δεν είναι στιβαρά σώματα

"Οι αυτοδιηγειρόμενες ταλαντώσεις είναι τα πιο δυσνόητα και ευαίσθητα από όλα τα προβλήματα που αντιμετωπίζει ένας μηχανικός"

Taylor

"Η ανάπτυξη των εργαλειομηχανών τις τελευταίες δεκαετίες έχει δημιουργήσει ένα συνεχώς αυξανόμενο αριθμό προβλημάτων εμφάνισης ταλαντώσεων. Οι μηχανικοί παραγωγής γνωρίζουν ότι οι ταλαντώσεις μειώνουν τη διάρκεια ζωής των εργαλείων, παράγουν κακή ποιότητα επιφάνειας στα τεμάχια και εν τέλει μειώνουν την παραγωγικότητα"

Tobias

Αποτελούν μία από τις σημαντικότερες προκλήσεις στον τομέα των κατεργασιών



Εισαγωγή στη θεωρία των μηχανικών ταλαντώσεων

<http://www.m3.tuc.gr>

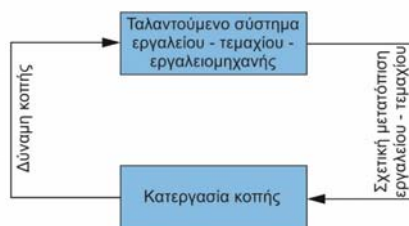


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σοφιάκης Κωνσταντίνος

Μια μορφή ασταθών ταλαντώσεων στη δυναμική κοπή μετάλλου

Συμβαίνει αν το πλάτος αποβλήτου είναι πολύ μεγάλο για τη στιβαρότητα του δεδομένου συστήματος εργαλειομηχανή-τεμάχιο-εργαλείο



Η δύναμη κοπής μεταβάλλεται περιοδικά, φτάνοντας σε σημαντικά πλάτη, η κατεργασμένη επιφάνεια γίνεται κυματοειδής και το πλάτος αποβλήτου μεταβάλλεται τόσο πολύ, που σπάει

Το πλάτος αποβλήτου και ο ρυθμός αποβολής υλικού πρέπει να κρατηθούν κάτω από το όριο που σηματοδοτεί την αυτοδιηγειρόμενη ταλάντωση

Κύριες πηγές αυτοδιέγερσης :

- σύζευξη ιδιομορφών (Mode coupling)
- αναγέννηση κυμάτωσης επιφάνειας



Αυτοδιηγειρόμενες ταλαντώσεις

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σοφιάκης Κωνσταντίνος

Απλοποιήσεις συστήματος κατεργασίας

- Το σύστημα ταλάντωσης της μηχανής είναι γραμμικό.
- Η διεύθυνση της μεταβλητής συνιστώσας της δύναμης κοπής είναι σταθερή.
- Η μεταβλητή συνιστώσα της δύναμης κοπής εξαρτάται μόνο από την ταλάντωση στη διεύθυνση την κάθετη στην επιφάνεια κοπής.
- Η τιμή της μεταβλητής συνιστώσας της δύναμης κοπής μεταβάλλεται ακαριαία και ανάλογα με τη μεταβολή του πάχους αποβλήτου.
- Η συχνότητα της ταλάντωσης και η αμοιβαία μετατόπιση φάσης των κυματώσεων σε διαδοχικές επικαλυπτόμενες κοπές δεν επηρεάζονται από τη σχέση του μήκους κύματος και του μήκους κοπής.
- Αυτή η υπόθεση παραπέμπει σε άπειρο μήκος κοπής και είναι πρακτικά έγκυρη κατά την τόνρευση και την κατεργασία boring.

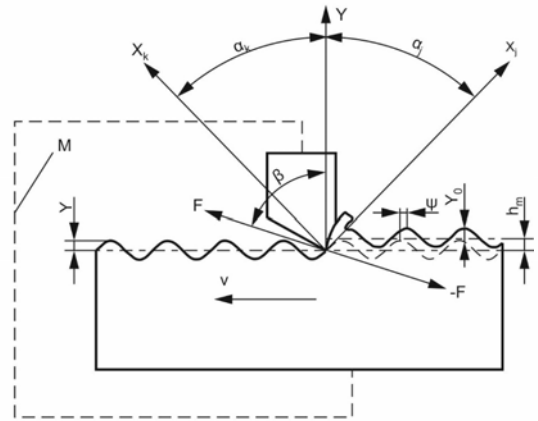
οριακό αξονικό βάθος κοπής : $\alpha_{lim} = \frac{-1}{2 \cdot K_f \cdot G(\omega_c)}$

γωνία φάσης της δομής : $\psi = \tan^{-1} \frac{H}{G}$

γωνία φάσης μεταξύ διαδοχικών κυματομορφών : $\varepsilon = 3 \cdot \pi + 2 \cdot \psi$

ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου : $T = \frac{2 \cdot k \cdot \pi + \varepsilon}{2 \cdot \pi \cdot f_c} \rightarrow n = \frac{60}{T}$

Plusty και Polacek



2016

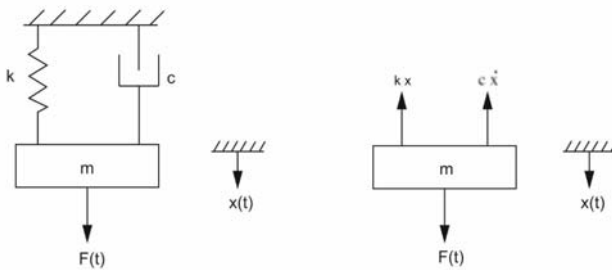


Όριο ευστάθειας συστήματος κατεργασίας

<http://www.m3.tuc.gr>


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σοφιάκης Κωνσταντίνος



Εξίσωση περιγραφής συστήματος :

$$m \ddot{x} + c \dot{x} + kx = F(t)$$

ή

$$\ddot{x} + 2 \cdot \zeta \cdot \omega_n \dot{x} + \omega_n^2 x = \frac{\omega_n^2}{k} F(t)$$

Συνάρτηση μεταφοράς :

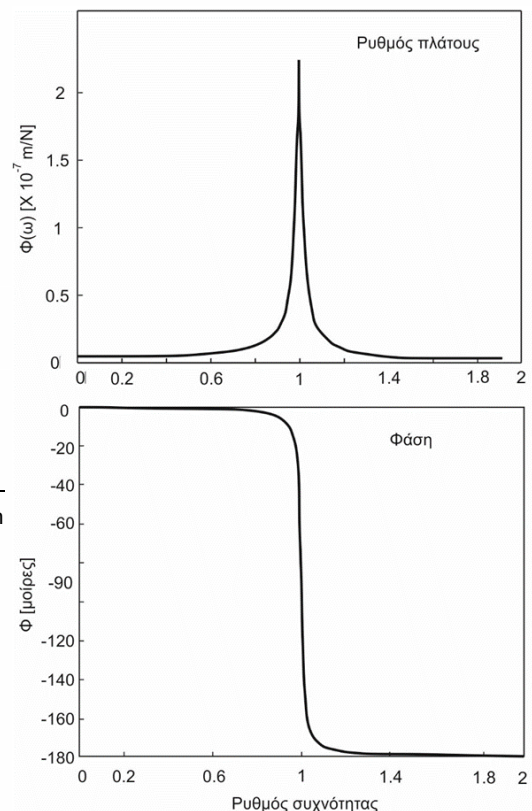
$$\Phi(\omega) = \frac{X(\omega)}{F_0(\omega)} = \frac{\omega_n^2}{k} \cdot \frac{1}{\omega_n^2 - \omega^2 + j \cdot 2 \cdot \zeta \cdot \omega_n}$$

Πλάτος συνάρτησης μεταφοράς :

$$|\Phi(\omega)| = \left| \frac{X}{F_0} \right| = \frac{1}{k} \cdot \frac{1}{\sqrt{(1-r^2)^2 + (2 \cdot \zeta \cdot r)^2}}$$

Φάση ταλάντωσης :

$$\varphi = \tan^{-1} \left(\frac{-2 \cdot \zeta \cdot r}{1-r^2} \right)$$



2016

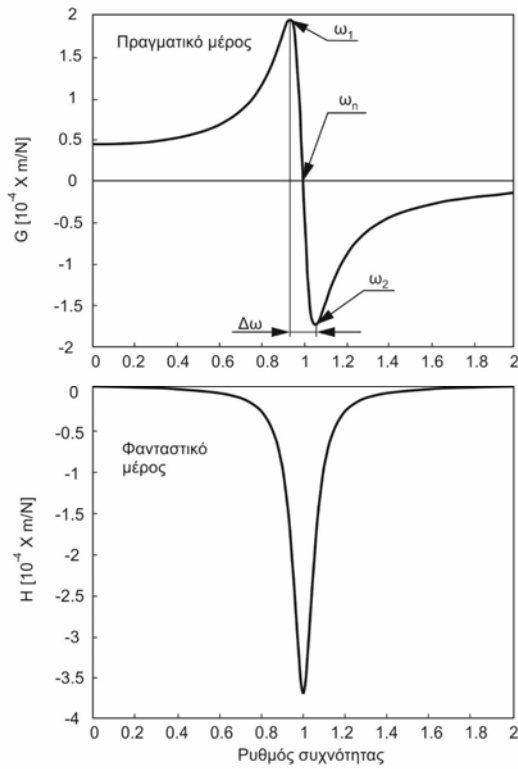


Υπολογισμός συνάρτησης μεταφοράς

<http://www.m3.tuc.gr>


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

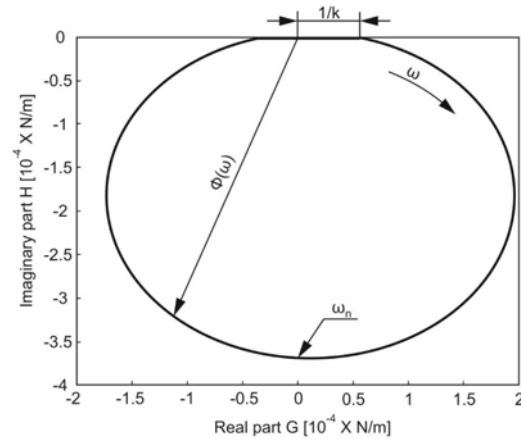
Σοφιάκης Κωνσταντίνος



$$\Phi(\omega) = G(\omega) + j \cdot H(\omega)$$

$$G(\omega) = \frac{1-r^2}{k \cdot [(1-r^2)^2 + (2\zeta \cdot r)^2]}$$

$$H(\omega) = \frac{-2\zeta \cdot r}{k \cdot [(1-r^2)^2 + (2\zeta \cdot r)^2]}$$



2016



Πραγματικό και φανταστικό μέρος συνάρτησης μεταφοράς

<http://www.m3.tuc.gr>


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

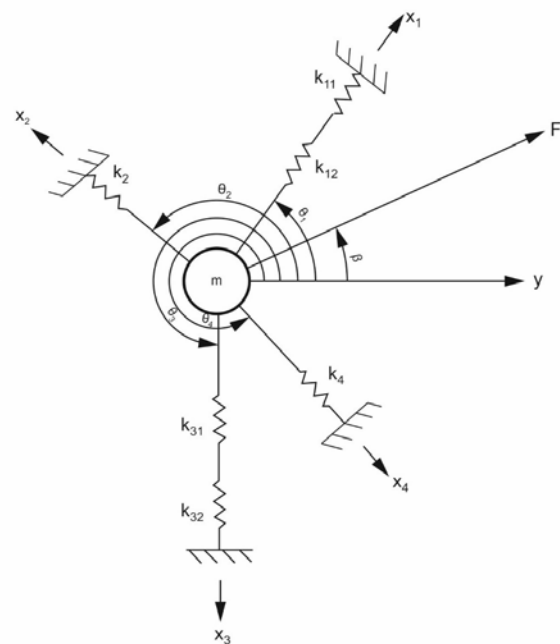
Σοφιάκης Κωνσταντίνος

$$F_i = F \cdot \cos(\theta_i - \beta)$$

$$x_i = F_i \cdot \Phi(\omega) = F \cdot \cos(\theta_i - \beta) \cdot \Phi_i(\omega)$$

$$y_i = x_i \cdot \cos(\theta_i) = F \cdot \cos(\theta_i) \cdot \cos(\theta_i - \beta) \cdot \Phi(\omega)$$

$$\Phi_{yF}(\omega) = \frac{y}{F} = \sum_{i=1}^4 [u_{di} \cdot \Phi_i(\omega)]$$



2016



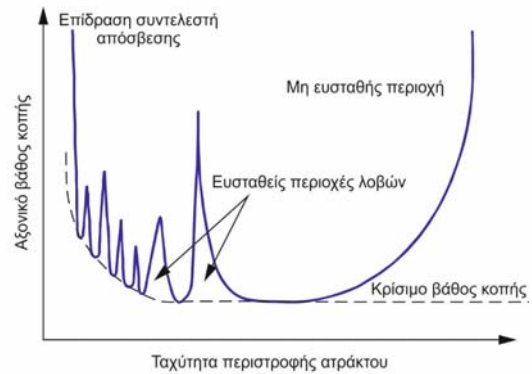
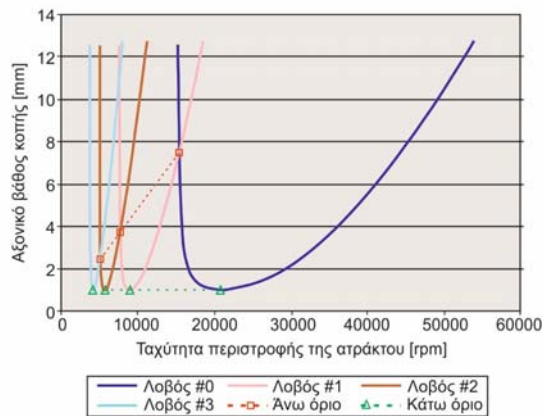
Προσανατολισμένη συνάρτηση μεταφοράς

<http://www.m3.tuc.gr>


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σοφιάκης Κωνσταντίνος

- Να επιλεγθεί μια συχνότητα εμφάνισης αυτοδιεγερόμενης ταλάντωσης (ω_c) στο αρνητικό πραγματικό μέρος της συνάρτησης μεταφοράς.
- Να υπολογισθεί η γωνία φάσης της δομής στη συχνότητα ω_c .
- Να υπολογισθεί το κρίσιμο αξονικό βάθος κοπής.
- Να υπολογισθεί η ταχύτητα περιστροφής της ατράκτου για κάθε λοβό ευστάθειας, $k = 0, 1, 2, \dots$
- Να επαναληφθεί η διαδικασία σαρώνοντας τις συχνότητες εμφάνισης αυτοδιεγερόμενων ταλαντώσεων γύρω από τη φυσική συχνότητα.

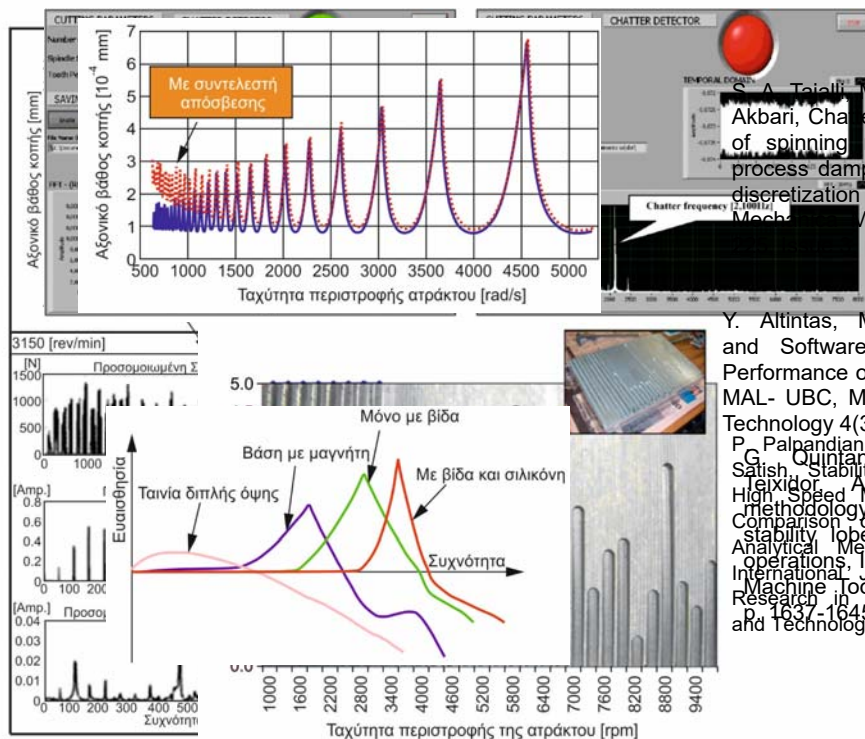


Διαγράμματα ευστάθειας

<http://www.m3.tuc.gr>


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σοφιάκης Κωνσταντίνος



S. A. Tajalli, M. R. Movahhedy, J. Akbari, Chatter instability analysis of spinning micro-end mill with process damping effect via semi-discretization approach, Acta Mech March 2014, Volume p. 715-734, 2013

Y. Altintas, Modeling Approaches and Software for Predicting the Performance of Milling Operations at MAL- UBC, Machining Science and Technology 4(3): p. 445-478, 2000
P. Palpanian, R. Y. Prabh, B. S. G. Quintana, V. Ciurana, D. Sathish, Stability Lobe Diagram for High Speed Machining Processes: Comparison of Experimental and Analytical Methods - A Review, International Journal of Innovative Machine Tools & Manufacture 48, p. 1637-1645, 2009
and Technology Vol. 2, Issue 3, 2013



Προηγούμενες έρευνες

<http://www.m3.tuc.gr>


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σοφιάκης Κωνσταντίνος

Σύστημα με 2 βαθμούς ελευθερίας

Δύναμη κοπής : $F_y = K_f \cdot a \cdot h(t)$

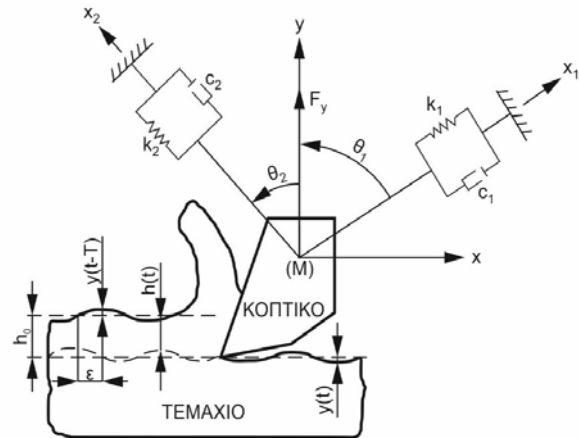
Σταθερά κοπής : $K_f = 1500 \text{ MPa}$

Πρόγραμμα σύνθεσης

Προσανατολισμός αξόνων :

$$\theta_1 = 30^\circ$$

$$\theta_2 = -45^\circ$$



Μέθοδος Tlusty και Polacek

Διεύθυνση	Ιδιοσυχνότητα (Hz)	Συντελεστής απόσβεσης (%)	Ακαμψία (N/m)
x_1	$\omega_{n1} = 250$	1.2	2.26×10^8
x_2	$\omega_{n2} = 150$	1.0	2.13×10^8

2016



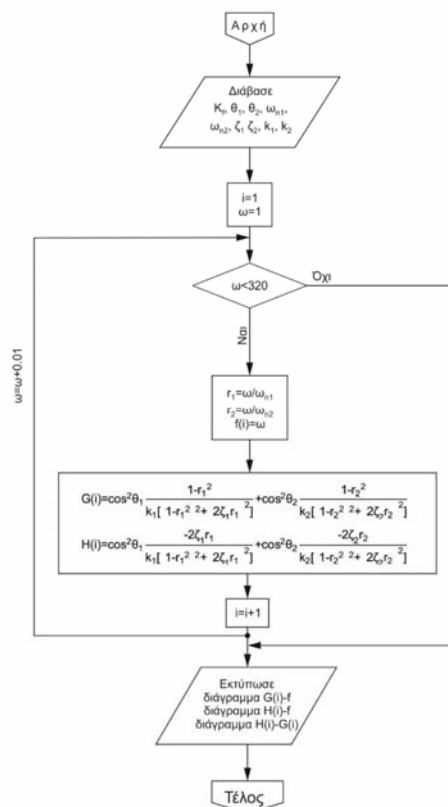
Πρόβλημα ευστάθειας συστήματος

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σοφιάκης Κωνσταντίνος



2016



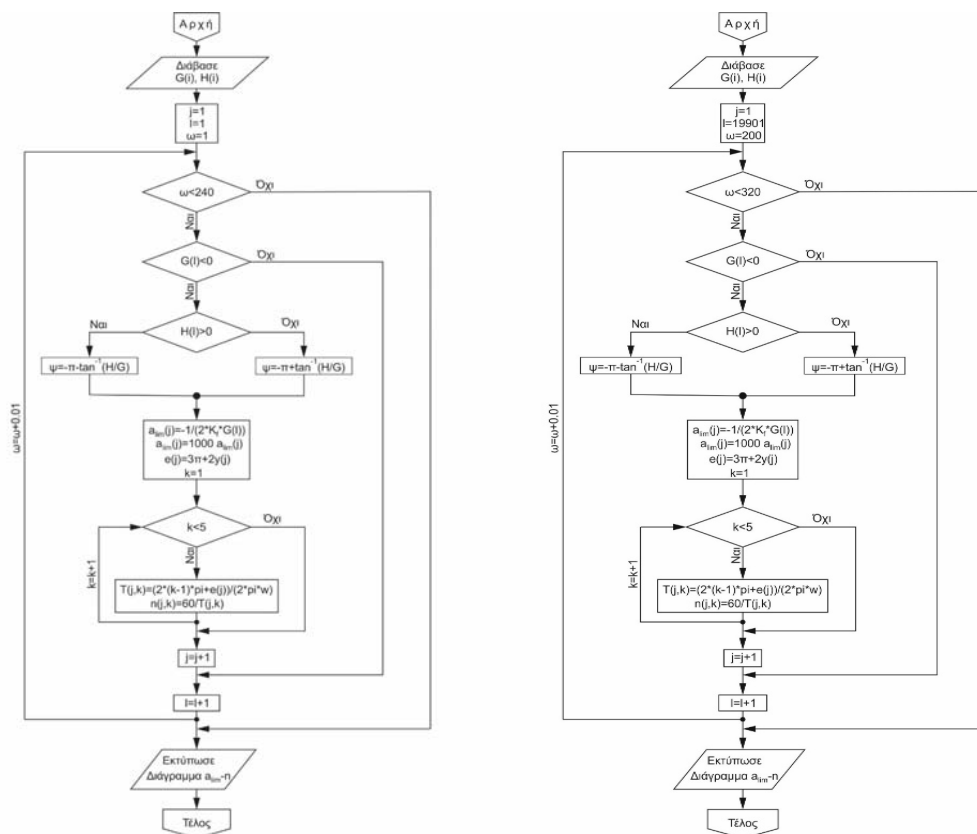
Αλγόριθμος υπολογισμού συνάρτησης μεταφοράς

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σοφιάκης Κωνσταντίνος

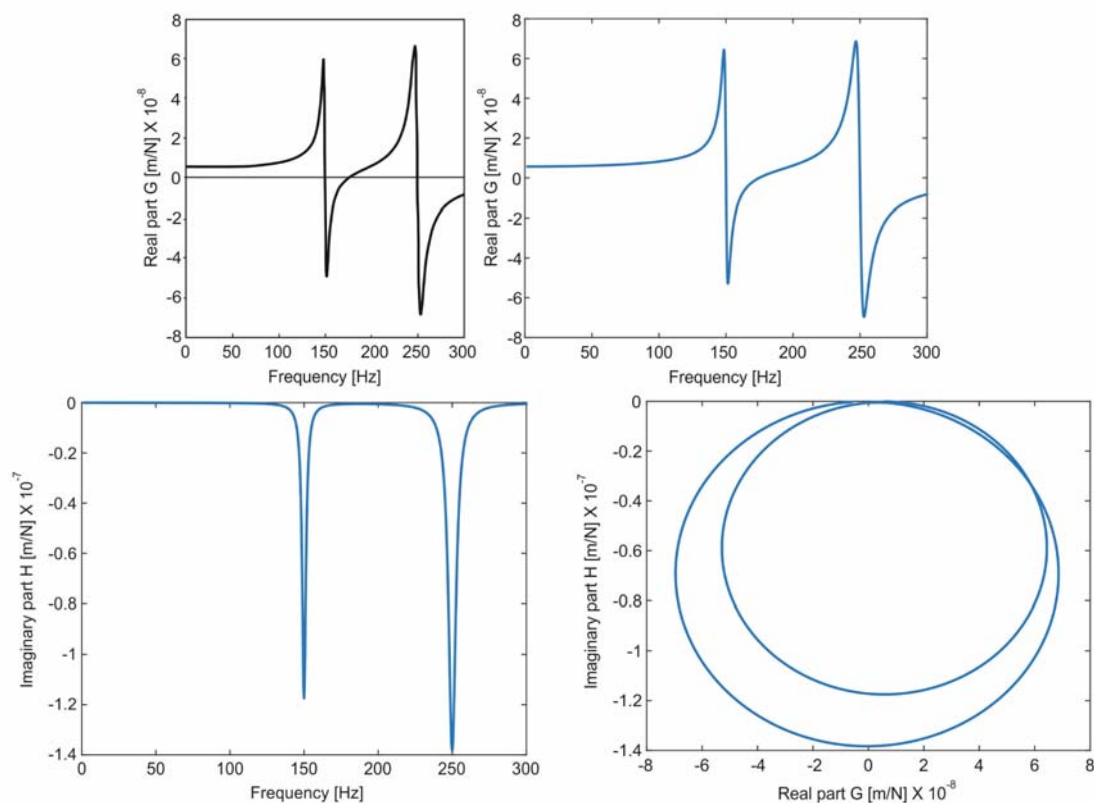


Αλγόριθμοι υπολογισμού διαγραμμάτων ευστάθειας

<http://www.m3.tuc.gr>


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σοφιάκης Κωνσταντίνος

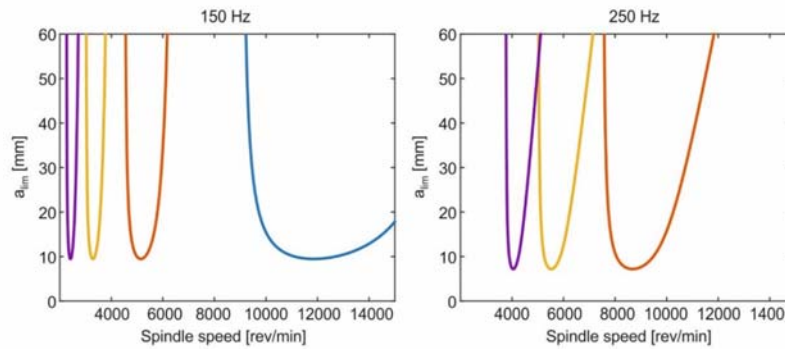
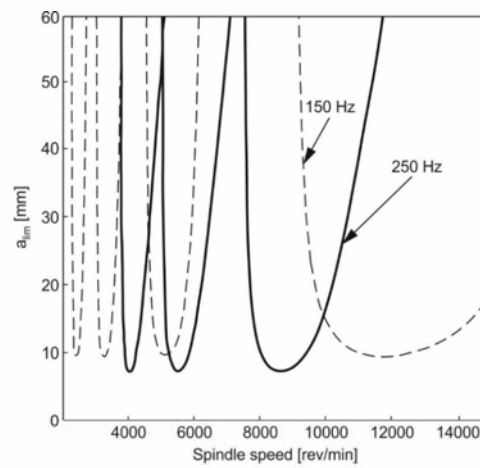


Αποτελέσματα – Συνάρτηση μεταφοράς

<http://www.m3.tuc.gr>


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σοφιάκης Κωνσταντίνος



Αποτελέσματα – Διαγράμματα ευστάθειας

<http://www.m3.tuc.gr>


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σοφιάκης Κωνσταντίνος

- Δακτυλιοειδής κεραμικός αισθητήρας 8762A

- Συσκευή σύζευξης/τροφοδосίας 5134B

- Λογισμικό InstruNet

- Δυναμόμετρο 9257BA

- Δυναμόμετρο 9256C2

Πειραματικός εξοπλισμός ενσωματωμένο ενισχυτή φορτίου 5233A1

- Σύστημα καταγραφής για DynoWare

- Ενισχυτής φορτίου 5080A

- Λογισμικό DynoWare 2825A



Πειραματικός εξοπλισμός

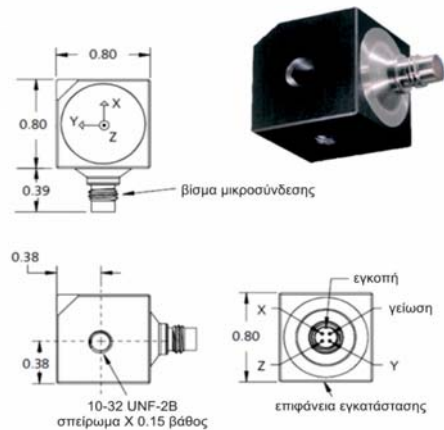
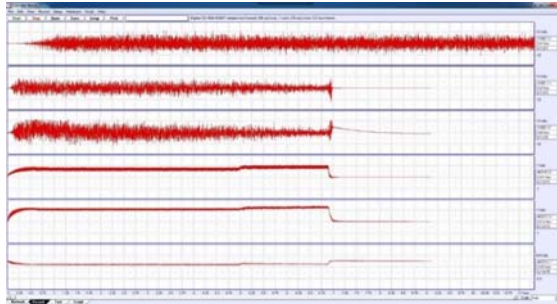
<http://www.m3.tuc.gr>


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

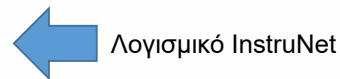
Σοφιάκης Κωνσταντίνος



Συσκευή σύζευξης/τροφοδοσίας
5134B



Δακτυλιοειδής κεραμικός αισθητήρας
8762A



Λογισμικό InstruNet

2016



Πειραματικός εξοπλισμός καταγραφής επιτάχυνσης

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σοφιάκης Κωνσταντίνος

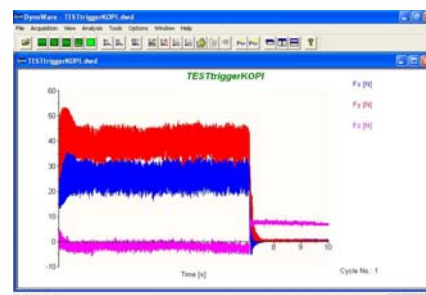


Δυναμόμετρο
9257BA



Μονάδα ελέγχου με ενσωματωμένο ενισχυτή φορτίου
5233A1

Λογισμικό DynoWare
2825A



2016



Πειραματικός εξοπλισμός καταγραφής δύναμης κοπής

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σοφιάκης Κωνσταντίνος

1

2

3

4

5

6

2016



Δυναμόμετρο
9256C2

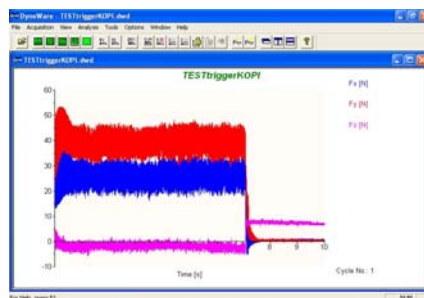


Ενισχυτής φορτίου
5080A



Λογισμικό DynoWare
2825A

Σύστημα καταγραφής για DynoWare



Πειραματικός εξοπλισμός καταγραφής δύναμης κοπής

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σοφιάκης Κωνσταντίνος

1

2

3

4

5

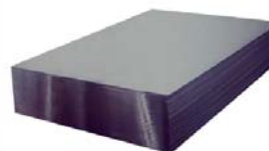
6

2016



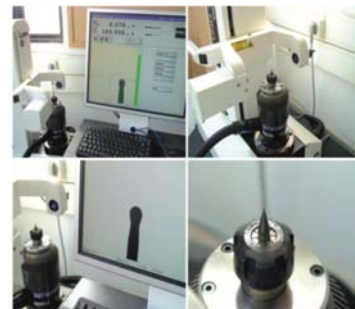
Κέντρο κατεργασίας
DMG DMU 50 eco

Κράμα Αλουμινίου
Al7075



Πειραματική διαδικασία

Συσκευή προ ρύθμισης εργαλείων
MICROSET Uno 115 eco



Χώρος διεξαγωγής πειραμάτων – Υλικό κατεργασίας

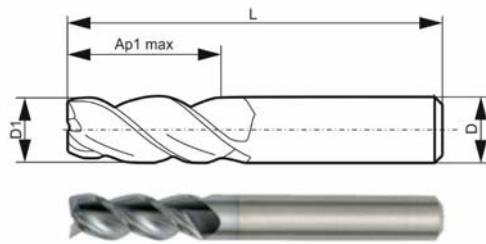
<http://www.m3.tuc.gr>



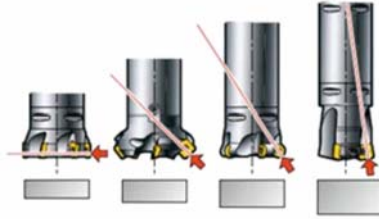
School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σοφιάκης Κωνσταντίνος

Εργαλείο φραιζαρίσματος Kennametal SC DRILL SLOT ENDMILL A



Αύξηση προεξοχής κοπτικού εργαλείου
Μείωση ευστάθειας κοπτικού εργαλείου



Μείωση διαστάσεων τεμαχίου
Μείωση ευστάθειας τεμαχίου



2016



Εργαλείο κατεργασίας – Επίδραση προεξοχής

<http://www.m3.tuc.gr>


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σοφιάκης Κωνσταντίνος

Τοποθέτηση αισθητήρων

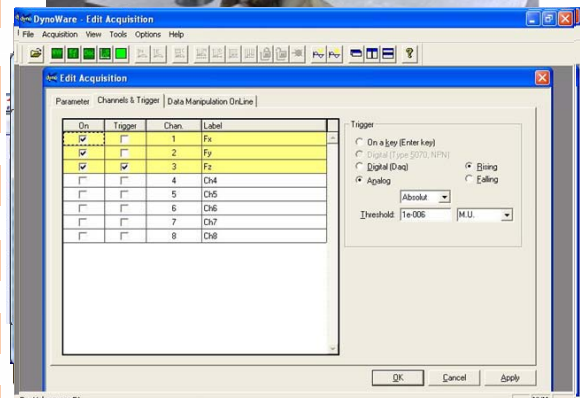
Ενεργοποίηση μονάδας ελέγχου με ενσωματωμένο ενισχυτή φορτίου 5233A1

Ενεργοποίηση συσκευής σύζευξης/τροφοδοσίας 5134B

Κάρτα καταγραφής InstruNet

Εκκίνηση και ρύθμιση παραμέτρων λογισμικού InstruNet

Εκκίνηση και ρύθμιση παραμέτρων λογισμικού Dynoware



2016



Προετοιμασία πειραμάτων

<http://www.m3.tuc.gr>


School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σοφιάκης Κωνσταντίνος



Σοφιάκης Κωνσταντίνος

1

2

3

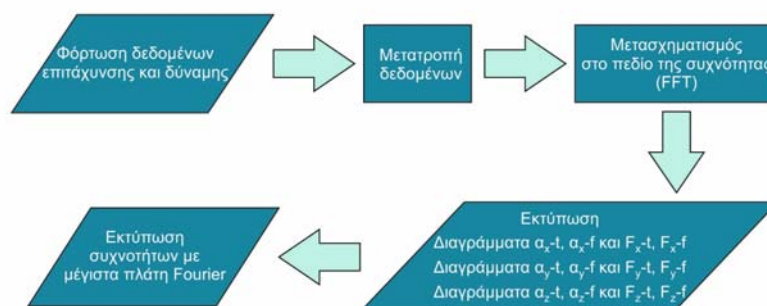
4

5

6

2016

Διάγραμμα ροής προγράμματος επεξεργασίας μετρήσεων



Επεξεργασία και ανάλυση δεδομένων μέτρησης

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σοφιάκης Κωνσταντίνος

1

2

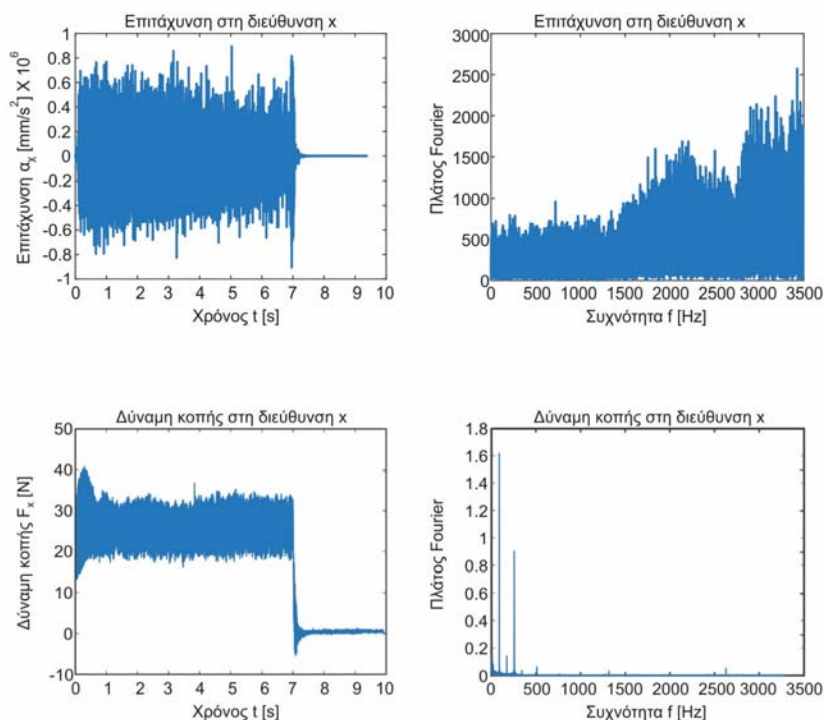
3

4

5

6

2016



Αποτελέσματα προγράμματος επεξεργασίας μετρήσεων

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σοφιάκης Κωνσταντίνος

1

2

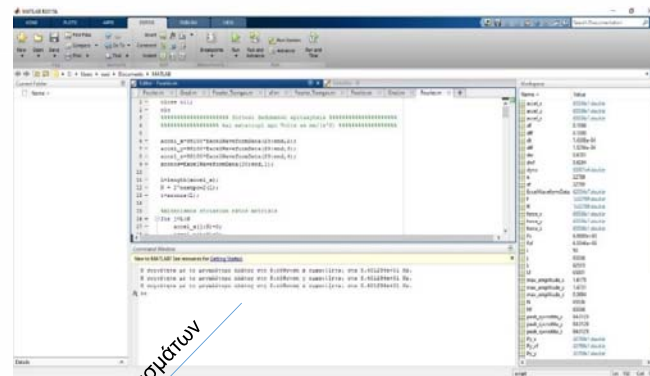
3

4

5

6

2016



Η συχνότητα με το μεγαλύτερο πλάτος στη διεύθυνση x εμφανίζεται στα 84.01 Hz

Συχνότητα περιστροφής κοπτικού εργαλείου = 83.33 Hz



Αποτελέσματα προγράμματος επεξεργασίας μετρήσεων

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σοφιάκης Κωνσταντίνος

1

2

3

4

5

6

2016

Πρόγραμμα υπολογισμού διαγραμμάτων ροής

- Πλήρη ταύτιση αποτελεσμάτων με τα αντίστοιχα αποτελέσματα της βιβλιογραφίας

Πειραματικός εξοπλισμός

- Καταγραφή μετρήσεων επιτάχυνσης και δύναμης κοπής σε κατεργασίες φραιζαρίσματος
- Δοκιμή πειραματικού εξοπλισμού και χρήση του σε πειράματα κατεργασίας φραιζαρίσματος πλήρους ακτινικού βάθους
- Δυνατότητα εντοπισμού της συχνότητας περιστροφής της κοπτικής ακμής, αλλά και της ατράκτου με χρήση του κώδικα που αναπτύχθηκε

Συμπεράσματα



Συμπεράσματα

<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σοφιάκης Κωνσταντίνος

Ευχαριστώ πολύ για την προσοχή σας !!!!



<http://www.m3.tuc.gr>



School of Production Eng. & Management
Micromachining & Manufacturing Modeling Lab
Prof. Aristomenis Antoniadis

Σοφιάκης Κωνσταντίνος