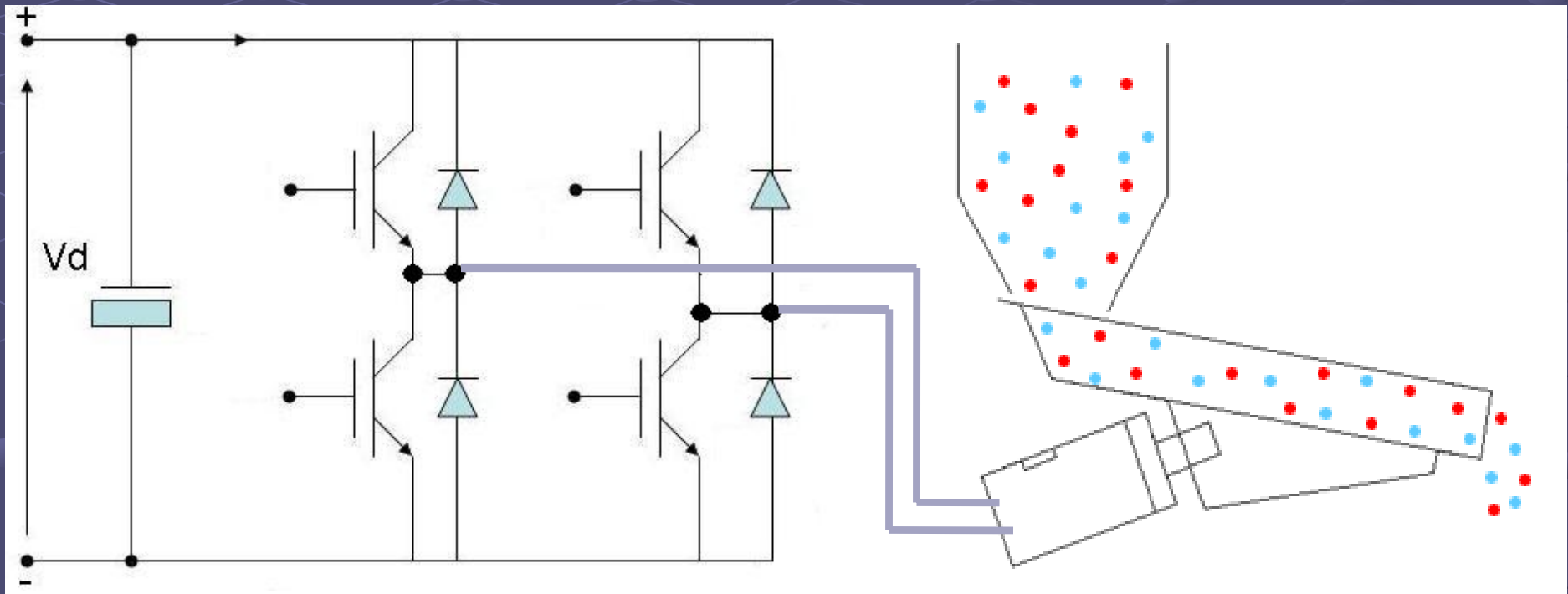




PRIMENA ENERGETSKE ELEKTRONIKE U AMPLITUDSKOJ I FREKVENTNOJ KONTROLI VIBRACIONOG TRANSPORTA I DOZIRANJA RASUTIH MATERIJALA



PREDAVANJE PO POZIVU

Dr Željko Despotović, *Institut Mihajlo Pupin, Beograd*

zeljko.despotovic@pupin.rs

SADRŽAJ

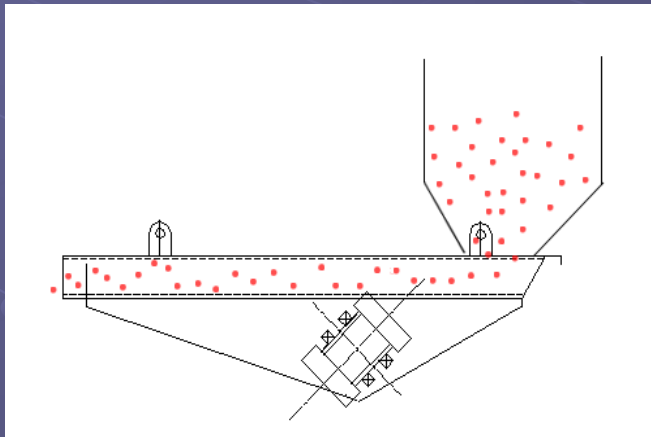
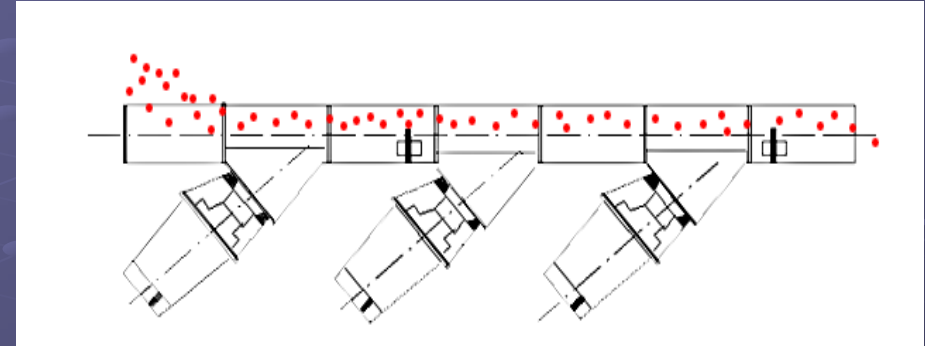
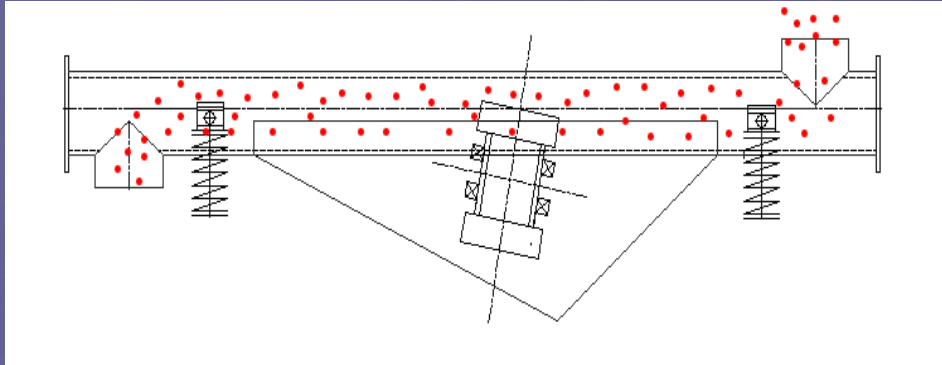
- Opšte napomene o vibracionom transportu
- Kinematika i dinamika vibracionog transporta
- Vibraciono-transportni pogoni
- Potreba korišćenja energetske pretvarača
- Topologije energetske pretvarača
- Amplitudsko - frekventna kontrola
- Eksperimentalni rezultati
- Filmski prikaz rezultata na realizovanom prototipu regulisanog vibraciono-transportnog pogona

VIBRACIONI TRANSPORT

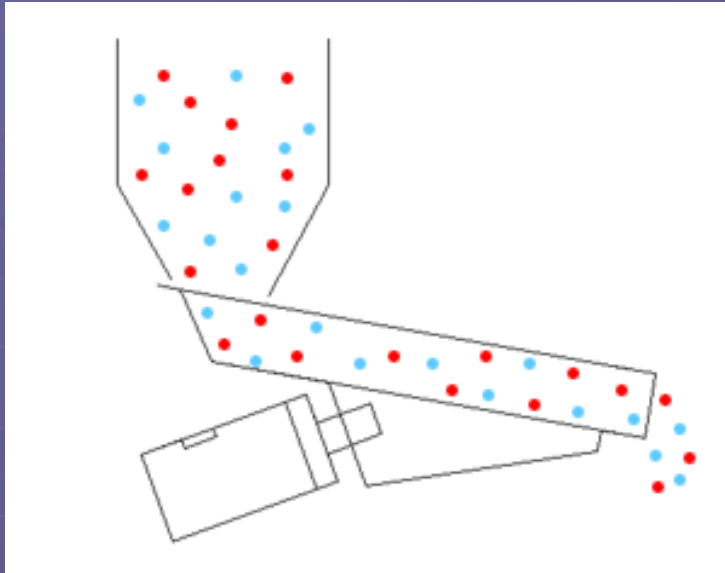
- Najefikasniji način pomeranja i (ili) obrade sitnozrnih i rasutih materijala
- Predstavlja jednu od osnovnih operacija u mnogim tehnološkim procesima kao što su: proizvodnja lekova, hrane, cementa, čelika...



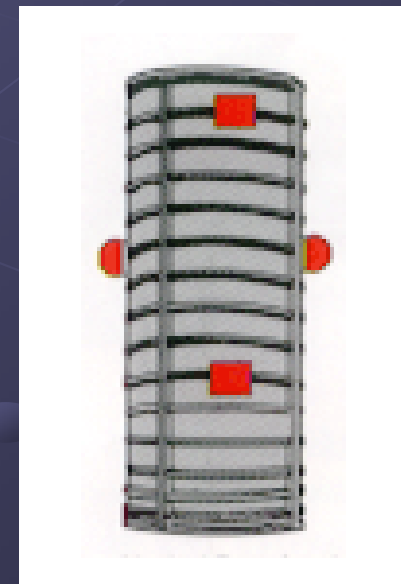
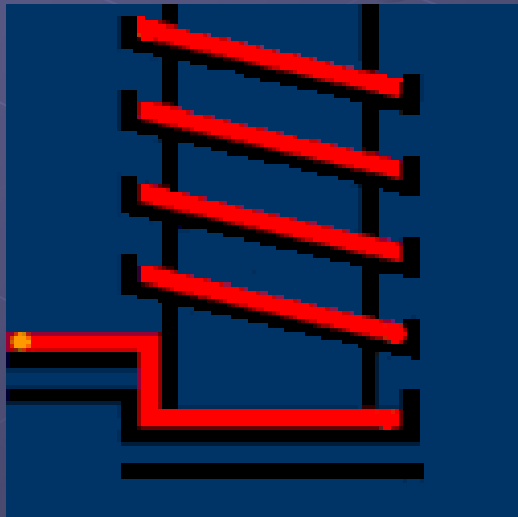
VIBRACIONI TRANSPORT DUŽ HORIZONTALNE POVRŠINE



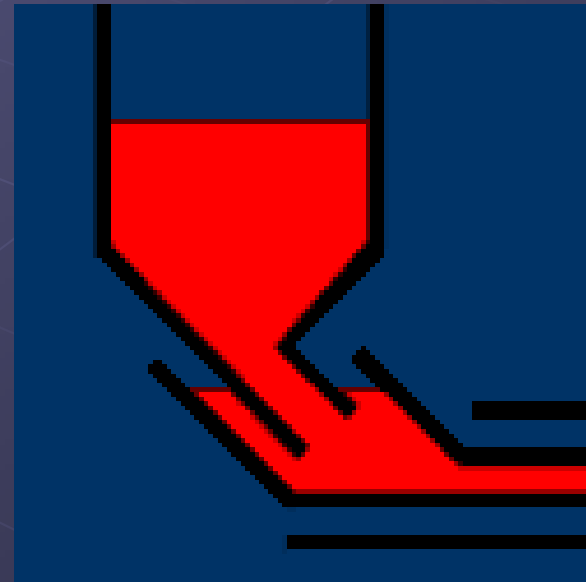
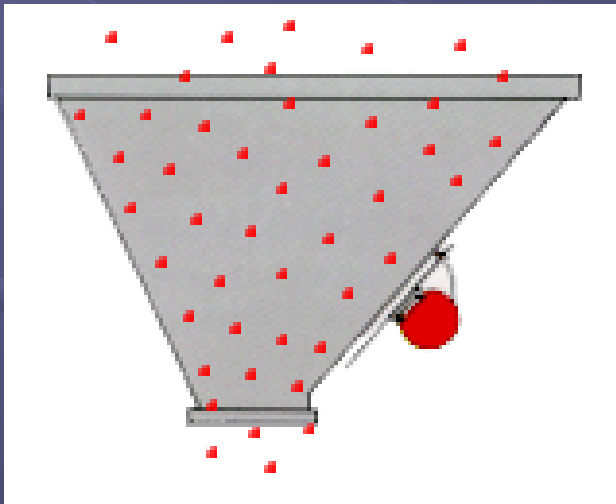
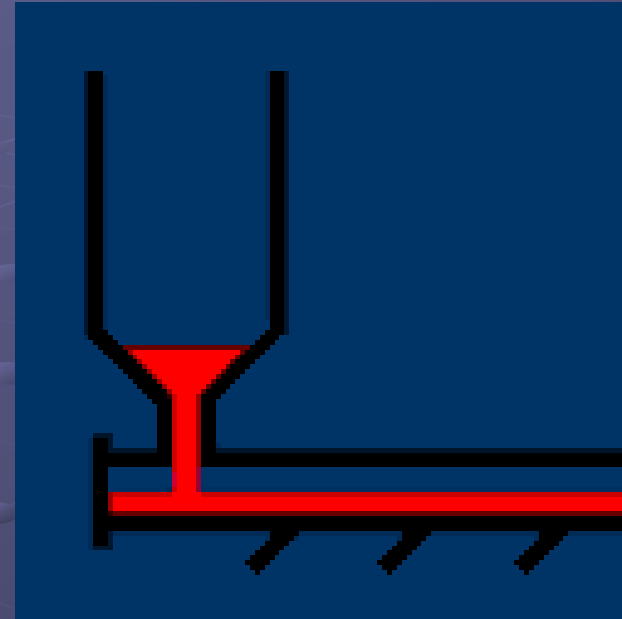
VIBRACIONI TRANSPORT DUŽ BLAGO NAGNUTE POVRŠINE



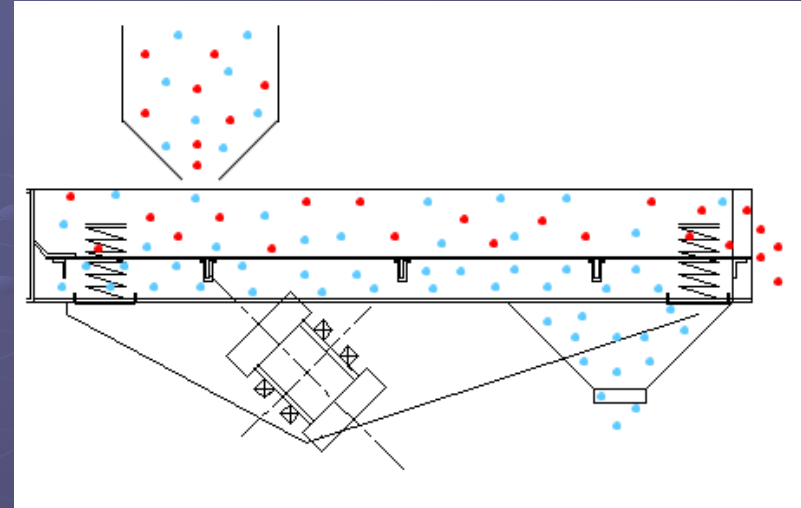
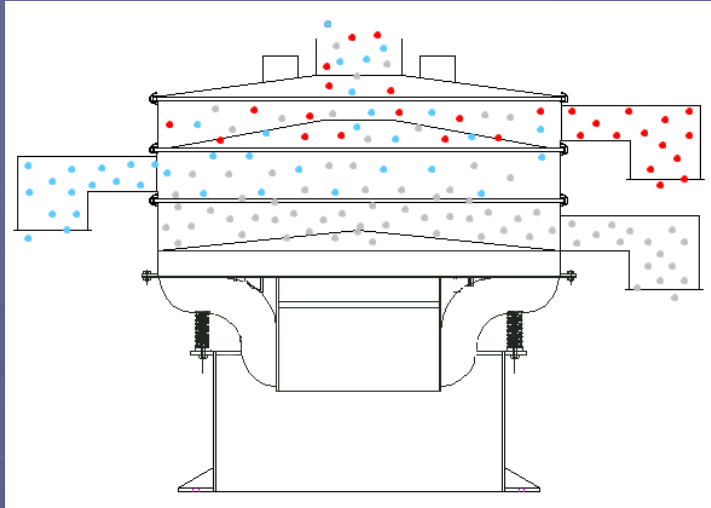
VIBRACIONI TRANSPORT DUŽ ELEVATORA



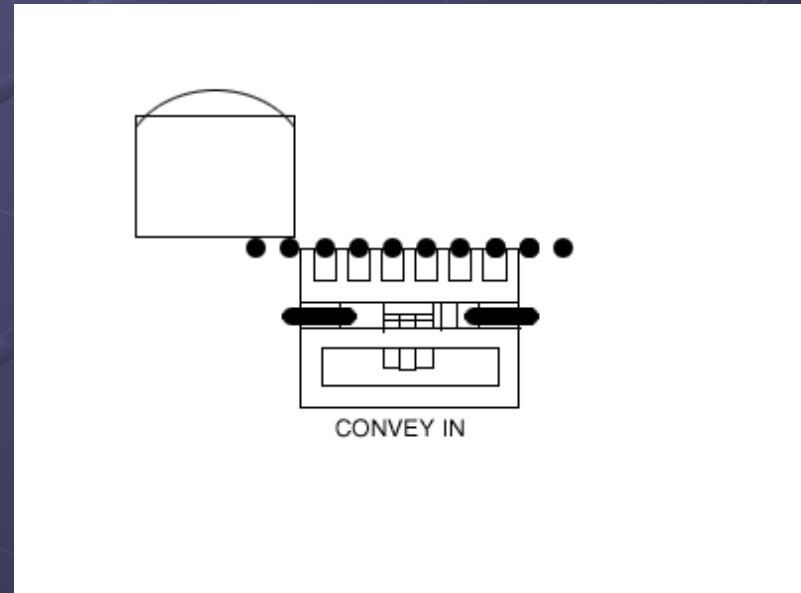
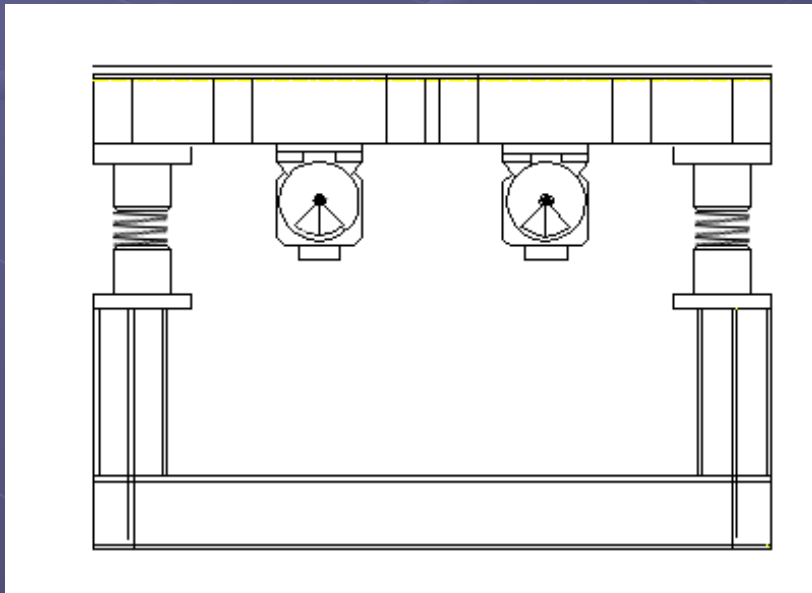
VIBRACIONO DOZIRANJE; punjenje i (ili) pražnjenje



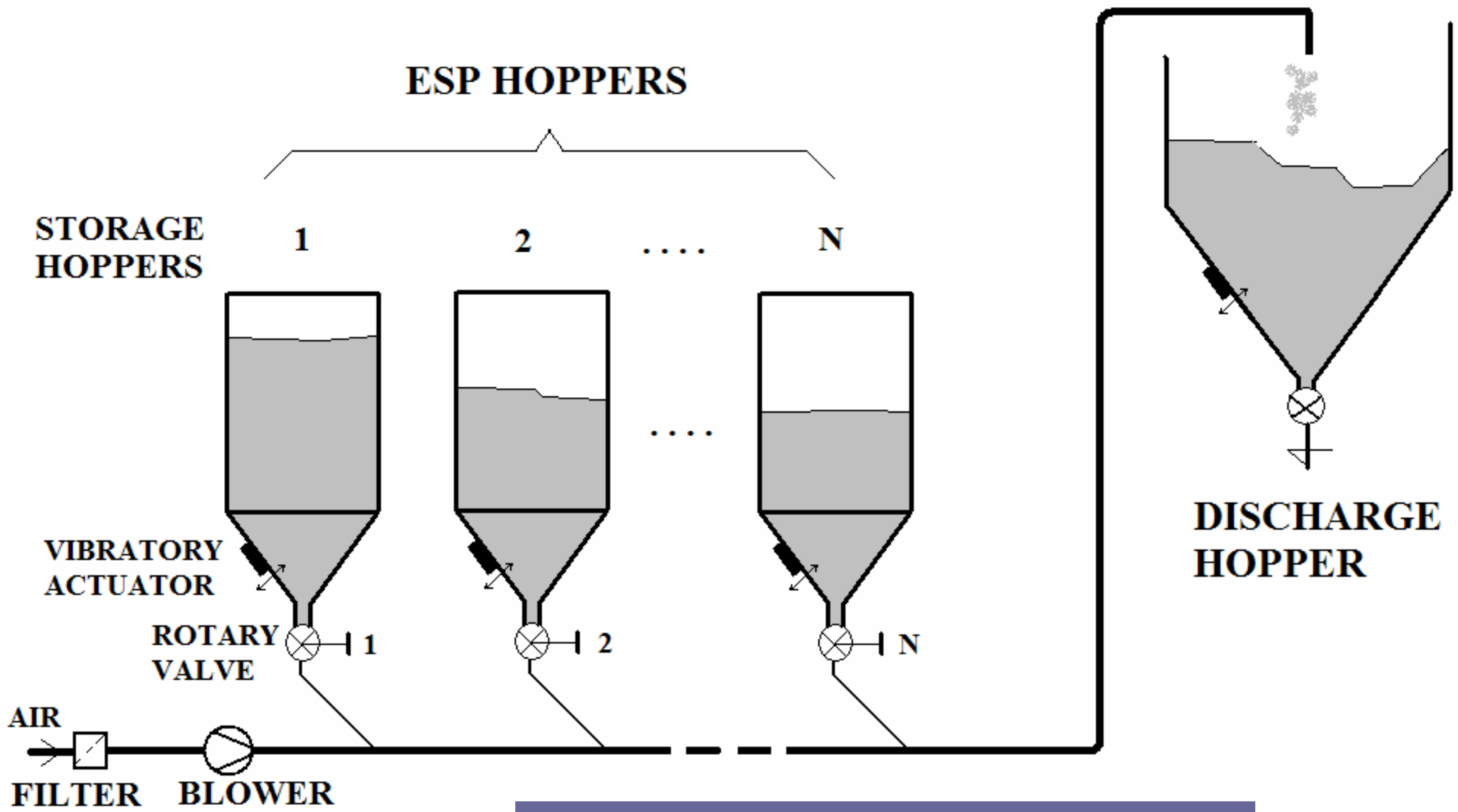
VIBRACIONA OBRADA MATERIJALA: usitnjavanje i odvajanje



VIBRACIONO KOMPAKTIRANJE MATERIJALA (kompakt table)

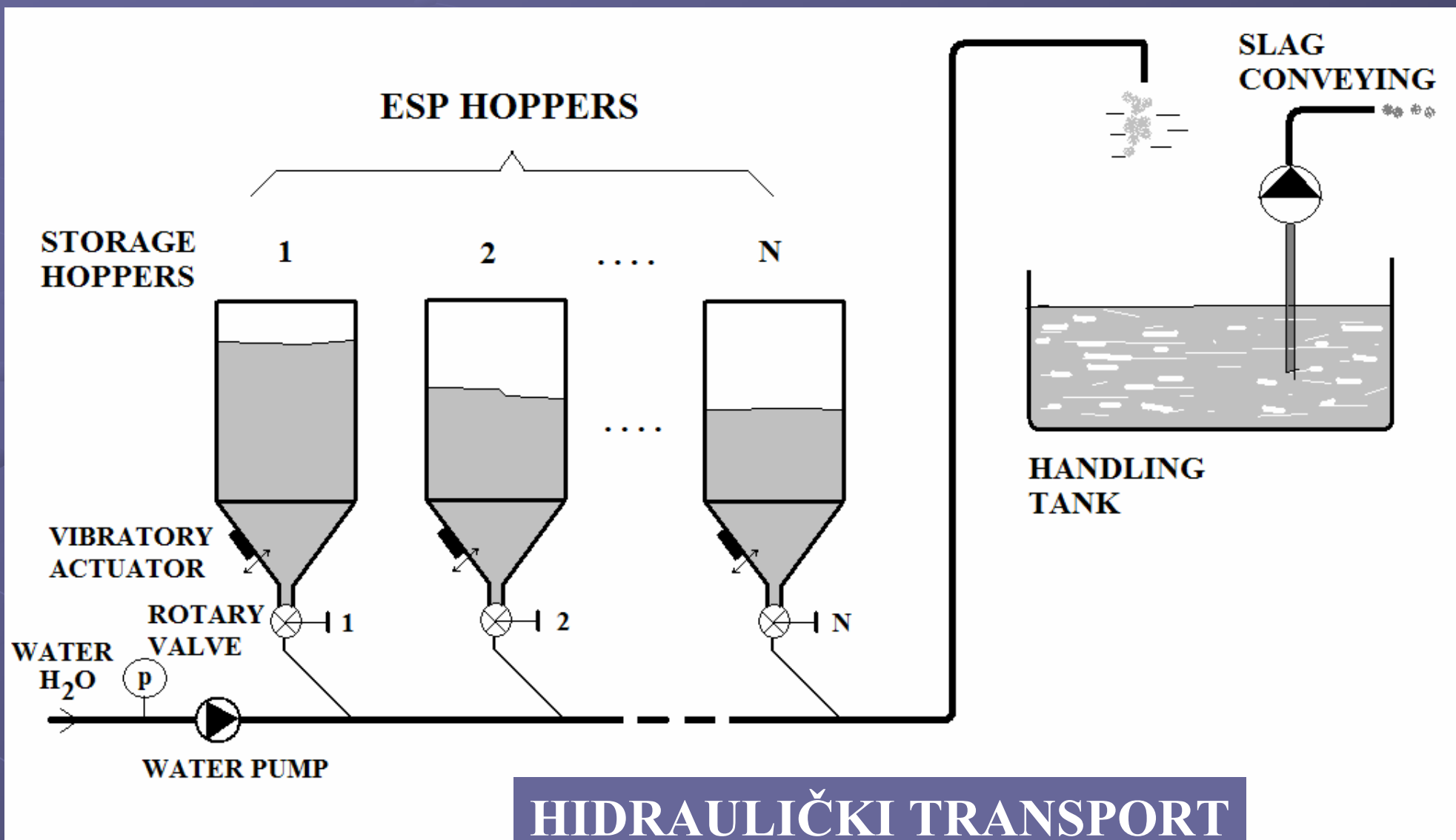


PRIMENA U EKOLOGIJI-transport pepela iz prihvatnih levkova u postrojenjima elektrostatičkih precipitatora (ESP) - PNEUMATSKI TRANSPORT



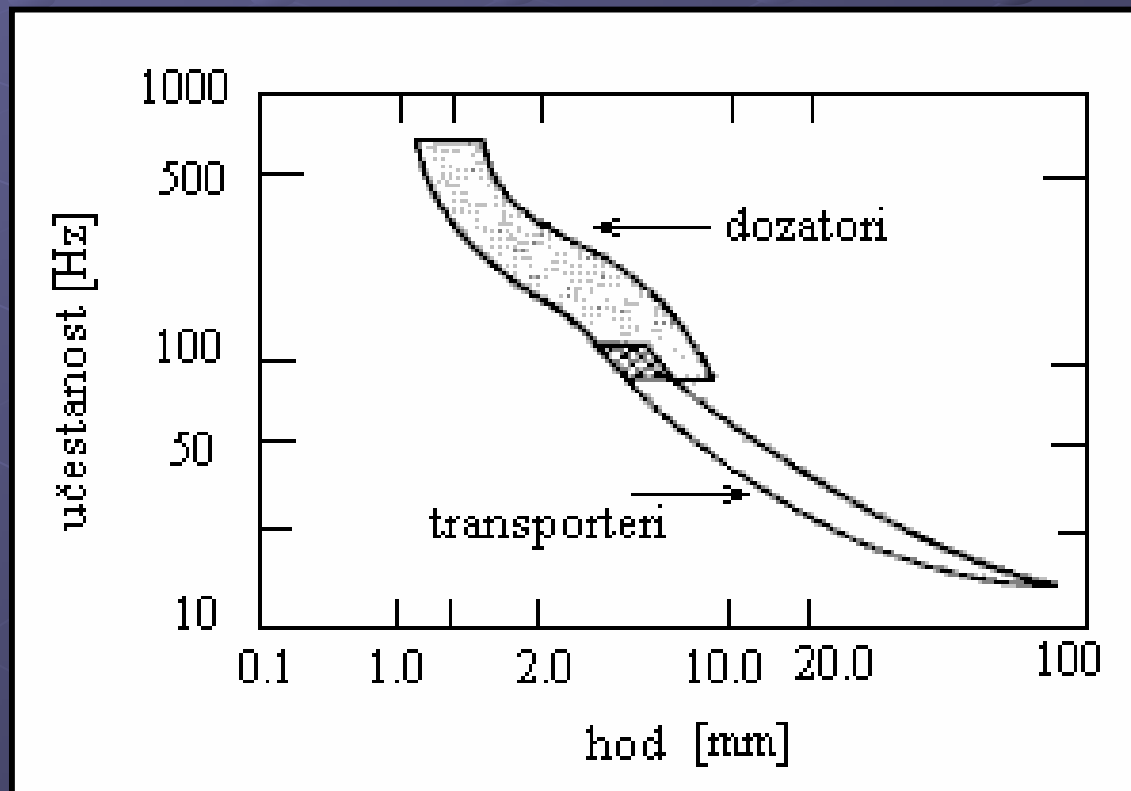
PNEUMATSKI TRANSPORT

PRIMENA U EKOLOGIJI-transport pepela iz prihvatnih levkova u postrojenjima elektrostatičkih precipitatora (ESP) – HIDRAULIČKI TRANSPORT

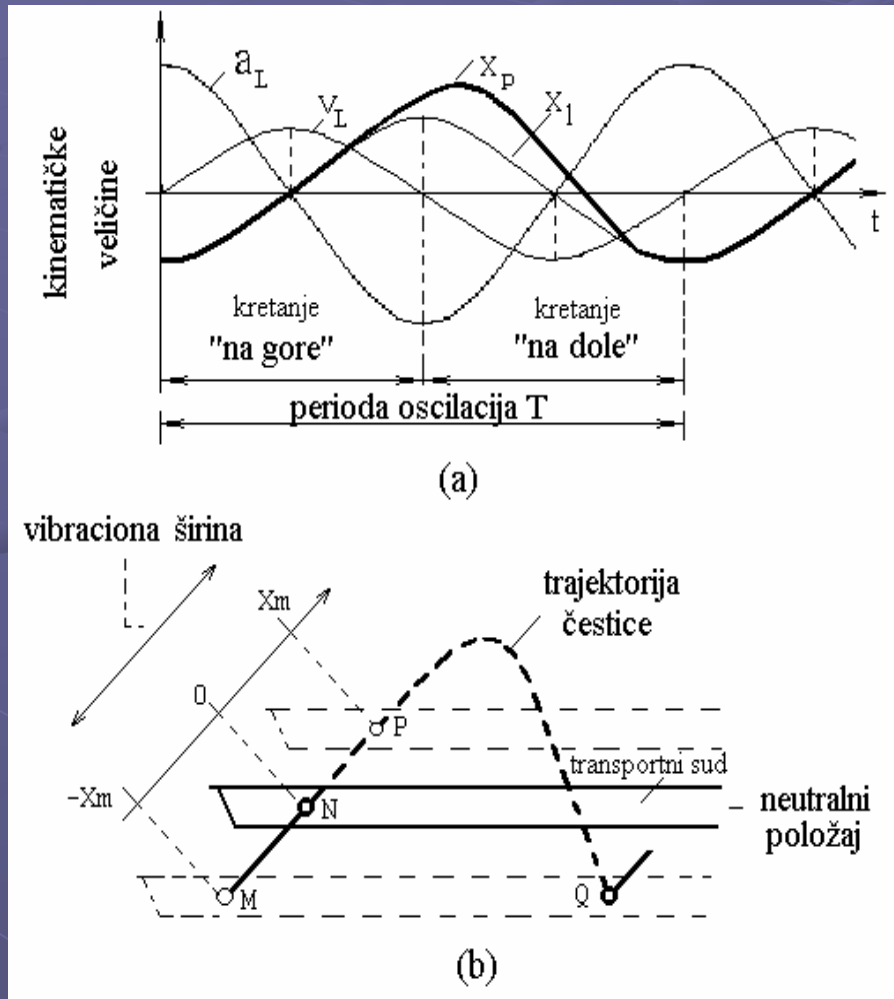


OPSEZI PRIMENE VIBRCIONIH MAŠINA

	AMPLITUDA [mm]	UČESTANOST [Hz]
vibracioni transporteri	2 – 100	5 – 150
vibracioni dozatori	1 – 10	100 – 500



KINEMATIKA VIBRACIONOG TRANSPORTA

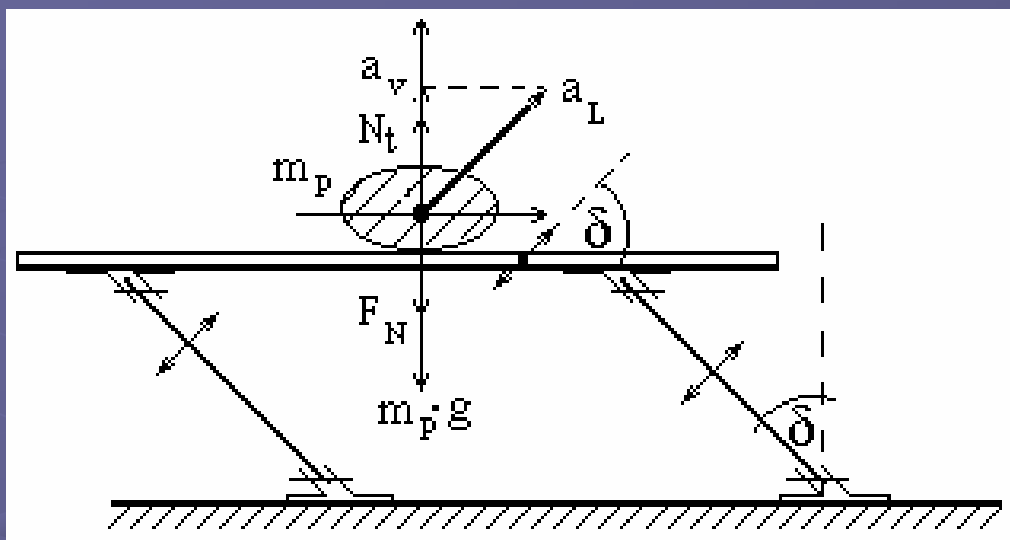


Vibracionim kretanjem transportnog suda se ostvaruje horizontalni transport čestice po trajektoriji koja se sastoji od niza neprekidnih mikroskokova.

Slično važi i za ostale čestice rasutog materijala, tako da makrotehnološki gledano rasuti materijal ostvaruje protok u zatom pravcu, odnosno dobija karakter fluida, čime postaje pogodan za transport i doziranje.

(a)-kinematičke veličine, (b)-trajektorija čestice

DINAMIKA VIBRACIONOG TRANSPORTA



osnovna dinamička jednačina

$$m_p \cdot a_v = \sum_{i=1}^n F_i = -m_p \cdot g + N_t$$

$$a_v = a_L \cdot \sin \beta = -X_m \cdot \Omega^2 \cdot \sin \delta \cdot \sin \Omega \cdot t$$

$$F_N = m_p \cdot (g - X_m \cdot \Omega^2 \sin \delta \cdot \sin \Omega \cdot t)$$

X_m

- amplituda oscilovanja površine nosećeg elementa

Ω

- kružna učestanost oscilacija pobude

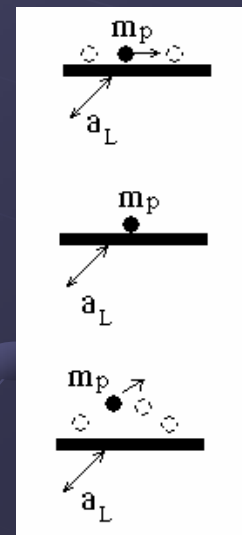
$$K = \frac{X_m \cdot \Omega^2 \cdot \sin \delta}{g}$$

koeficijent režima rada

$K < 1$

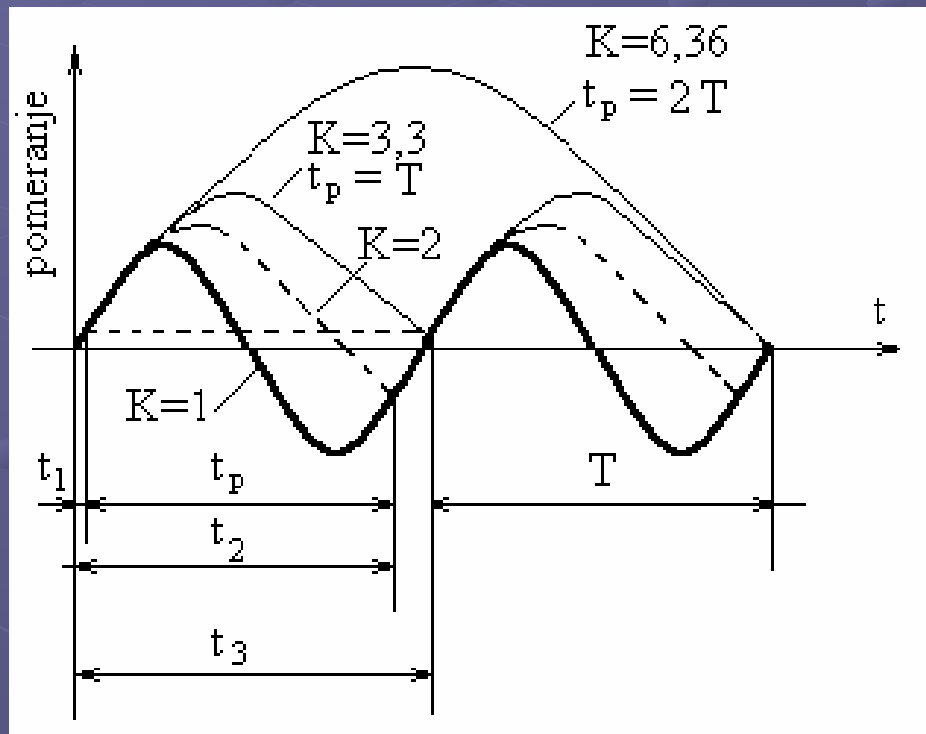
$K = 1$

$K > 1$

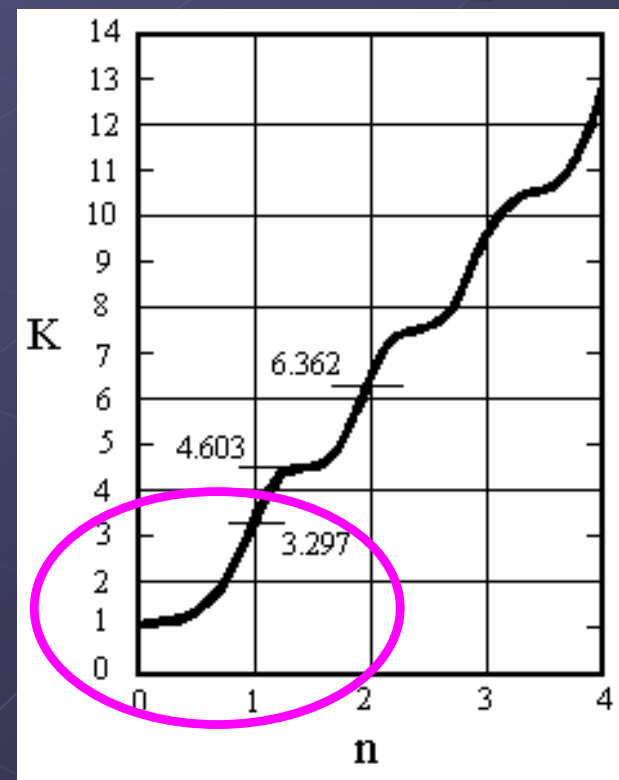


OPTIMALAN VIBRACIONI TRANSPORT

Najracionalniji režim se ima u uslovima pri kome se čestica bez prekida, kontinualno baca, tako da je vreme njenog mikro preleta jednako ili deljivo sa ukupnim periodom oscilovanja transportera $t_p = n \cdot T$



$$K = \sqrt{\left(\frac{\cos 2\pi \cdot n - 2\pi^2 \cdot n^2 - 1}{2\pi \cdot n - \sin 2\pi \cdot n} \right)^2 + 1}$$

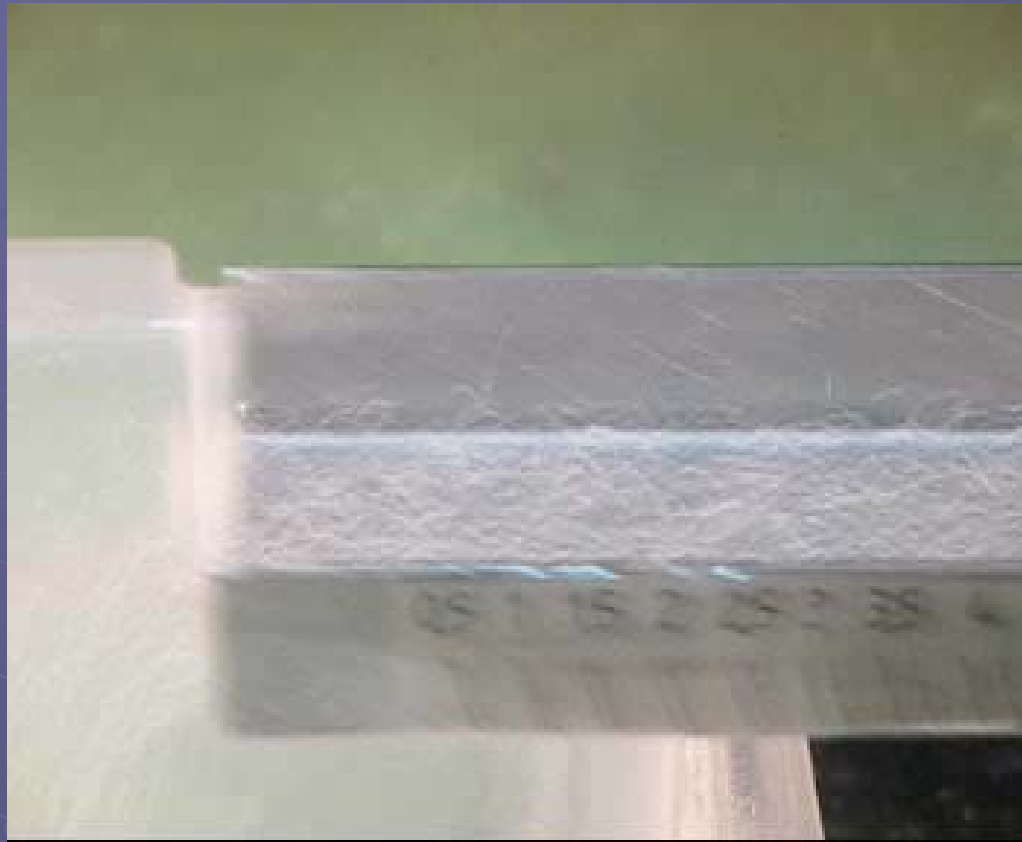


STVARNOST

$$3.297 > K > 1.1$$



RASUTI MATERIJAŁ KAO FLUID



<http://www.youtube.com/watch?v=zODZNP3D5AM>

BRZINA VIBRACIONOG TRANSPORTA

$$v_t = (K_1 \pm K_2 \cdot \sin \gamma_t) \cdot X_m \cdot \Omega \cdot \sqrt{1 - \frac{1}{K^2} \cdot \cos \delta}$$

amplituda i učestanost

K_1 i K_2 - empirijski koeficijenti koji zavise od fizičkih svojstava materijala

γ_t -ugao nagiba transportera

X_m -amplituda oscilovanja transportnog suda

Ω -učestanost oscilacija pobude

δ -ugao pod kojim deluje pobudna sila u odnosu na transportni sud

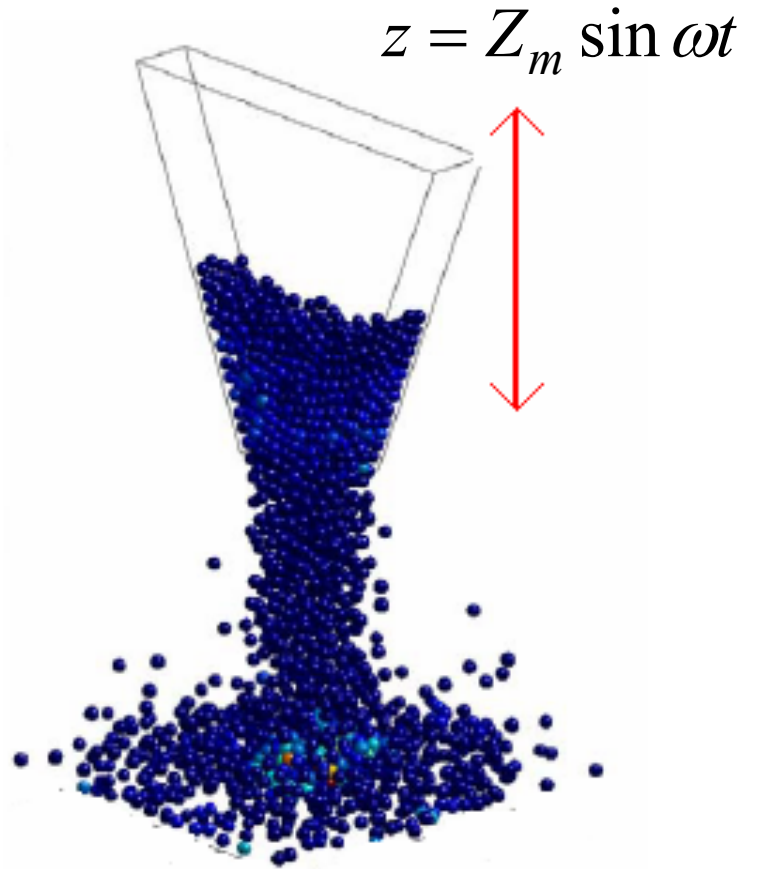
K - koeficijent režima rada transportera

***prema istraživanjima i ogledima В.К.Длъчков-а ВНИИПТМаш-и.*

Transportovani materijal	Dimenzije karakterističnih čestica materijala (mm)	Vlažnost (%)	K_1	K_2
Komadni	5...200	/	0,9...1,1	1,5...2,0
Zrno	0,1...5,0	0,5... 10,0	0,8...1,0	1,6...2,5
Praškasti	0,1...0,5	0,5...5,0	0,4...0,5	1,6...3,0
Prašinasti	Manje od 0,1	0,5...5,0	0,2...0,5	2,0...5,0

VERTIKALNE VIBRACIJE LEVKA

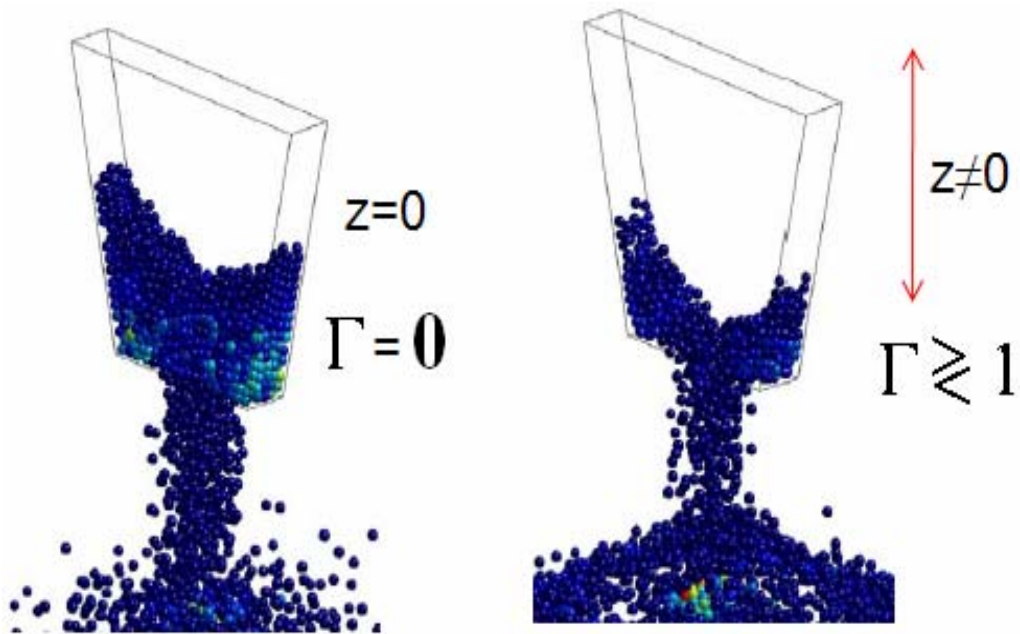
- ZA LEVAK KOJI JE PODVRGNUT VERTIKALNIM SINUSNIM VIBRACIJAMA, POSTOJI NEKOLIKO MODEVA RADA SAMOG KANALA LEVKA, ZAVISNO OD BEZDIMENZIONANE AMPLITUDE UBRZANJA Γ
- UČESTANOST VIBRACIJA $f = \omega / 2\pi$
- ZA $\Gamma > 1$, UZ BOČNI ZID SUDA SE POJAVLJUJU KONVEKCIJSKE ČELIJE KOJE USLOVLJAVAJU DA SE DEO ČESTICA KREĆU NA DOLE DUŽ VERTIKALNIH STRANA BOČNIH ZIDOVA, DOK SE ČESTICE KREĆU NA GORE U OSTATKU LEVKA.
- RAD AUTORA **Wassgren et al. [*]** OPISUJE OVAJ FENOMEN U VIŠE DETALJA.



$$\Gamma = Z_m \cdot \omega^2 / g$$

[*].C.R.Wassgren, M.L.Hunt, P.J.Freese, J.Palamara and C.E.Brennen, *Effect of vertical vibration on hopper flows of granular material*, Physics of Fluids, Vol.14, No.10, pp.3439-3448, October 2002.

$$\Gamma = Z_m \cdot \omega^2 / g$$



$$W \sim \rho_b \cdot g^{1/2} \cdot D_h^{5/2} \quad W \sim \rho_b \cdot g_{eff}^{1/2} \cdot D_h^{5/2}$$

$$\Gamma > 1 \quad ??????$$

- U odsustvu vibracija, intenzitet pražnjenja (**discharge rate**) levka- W , je proporcionalna **nasipnoj gustini** $-\rho_b$ na izlazu levka, kvadratnom korenu ubrzanja usled **gravitacije** koje deluje na materijal na samom izlazu iz levka- g i **hidrauličkom prečniku**- D_h izlaznog otvora stepenovanog sa $5/2$.
- Kada je levak podvrgnut vertikalnim oscilacijama **efektivna gravitacija**- g_{eff} , će varirati tokom oscilatornog ciklusa kao:

$$g_{eff} = g \cdot [1 - \Gamma \cdot \sin \omega t]$$

$$\Gamma \leq 1$$

SLUČAJ KADA JE amplituda ubrzanja $\Gamma > 1$

- Ako je amplituda ubrzanja veća od jedinice ($\Gamma > 1$) materijal ostavlja iza sebe tokom jednog dela ciklusa oscilovanja, tako da kontakti materijala i zidova suda se dešavaju u kasnijem trenutku.
- Važeća jednačina je originalno izvedena od **Suzuki et al. [**]**, i koja uključuje empirijski izvedenu jednačinu za nasipnu gustinu kao funkciju od Γ :

$$g_{eff} = \begin{cases} g \cdot [1 - \Gamma \cdot \sin \omega t] \rightarrow \text{Kada se materijal oslanja na zidovima levka} \\ 0 \text{ -----} \rightarrow \text{Kada materijal počinje da leti (flight faza)} \\ \ddot{y}_b \text{ -----} \rightarrow \text{Kada materijal upravo deluje na zidove levka} \end{cases}$$

Ubrzanje $g_{eff} = \ddot{y}_b$ usled impakta (udarnog dejstva) materijala o sud levka

$$\text{DISCHARGE RATE: } W \sim \rho_b \cdot g_{eff}^{1/2} \cdot D_h^{5/2}$$

[**]. A. Suzuki, H. Takahashi, and T. Tanaka, *Behaviour of a particle bed in the field of vibration. II. Flow of particles through slits in the bottom of a vibrating vessel*, Powder Technology, Vol.2, No.72, 1968.

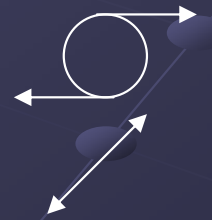
VIBRACIONI POGONI

● MEHANIČKI

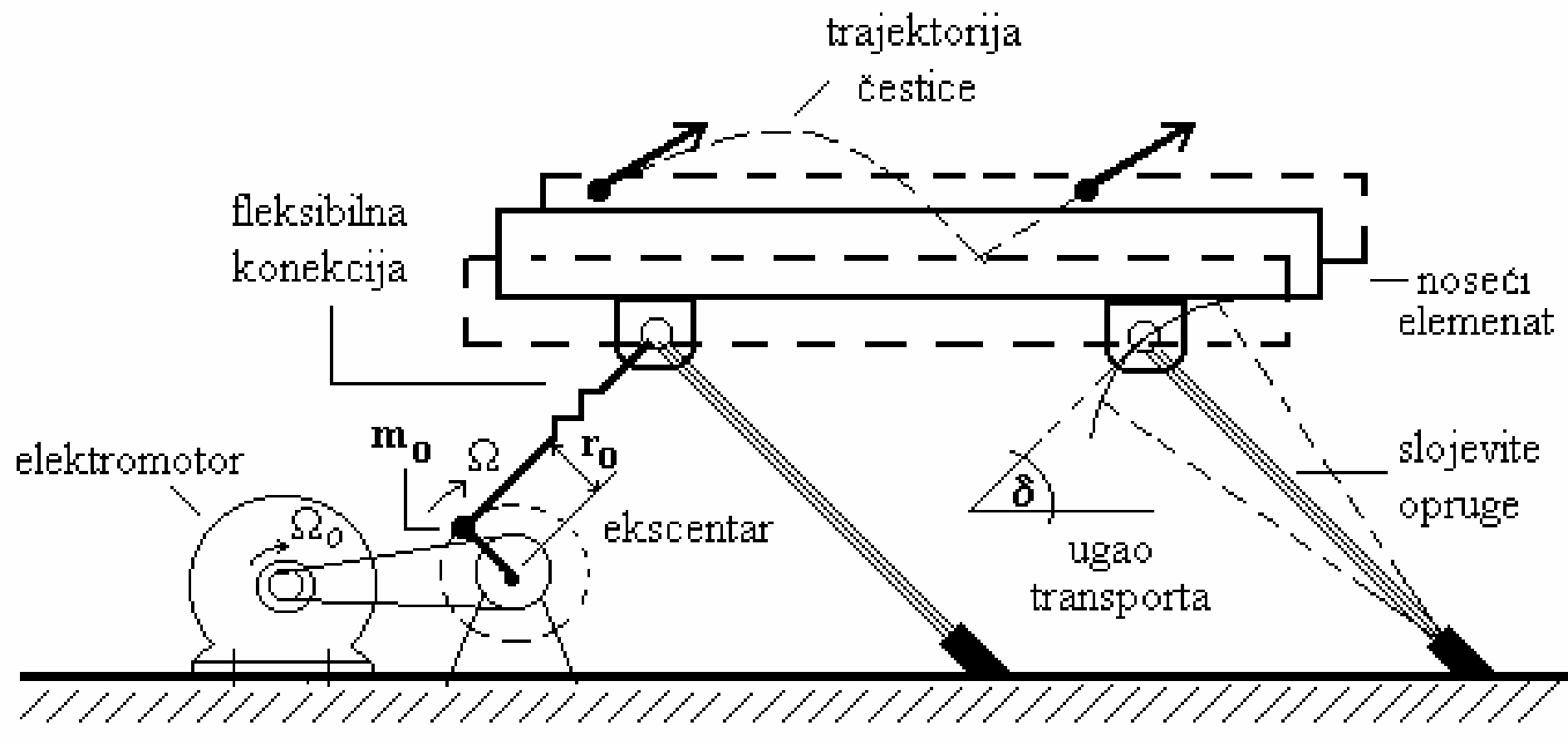
- sa ekscentrom
- centrifugalni
- inercioni

● ELEKTRIČNI

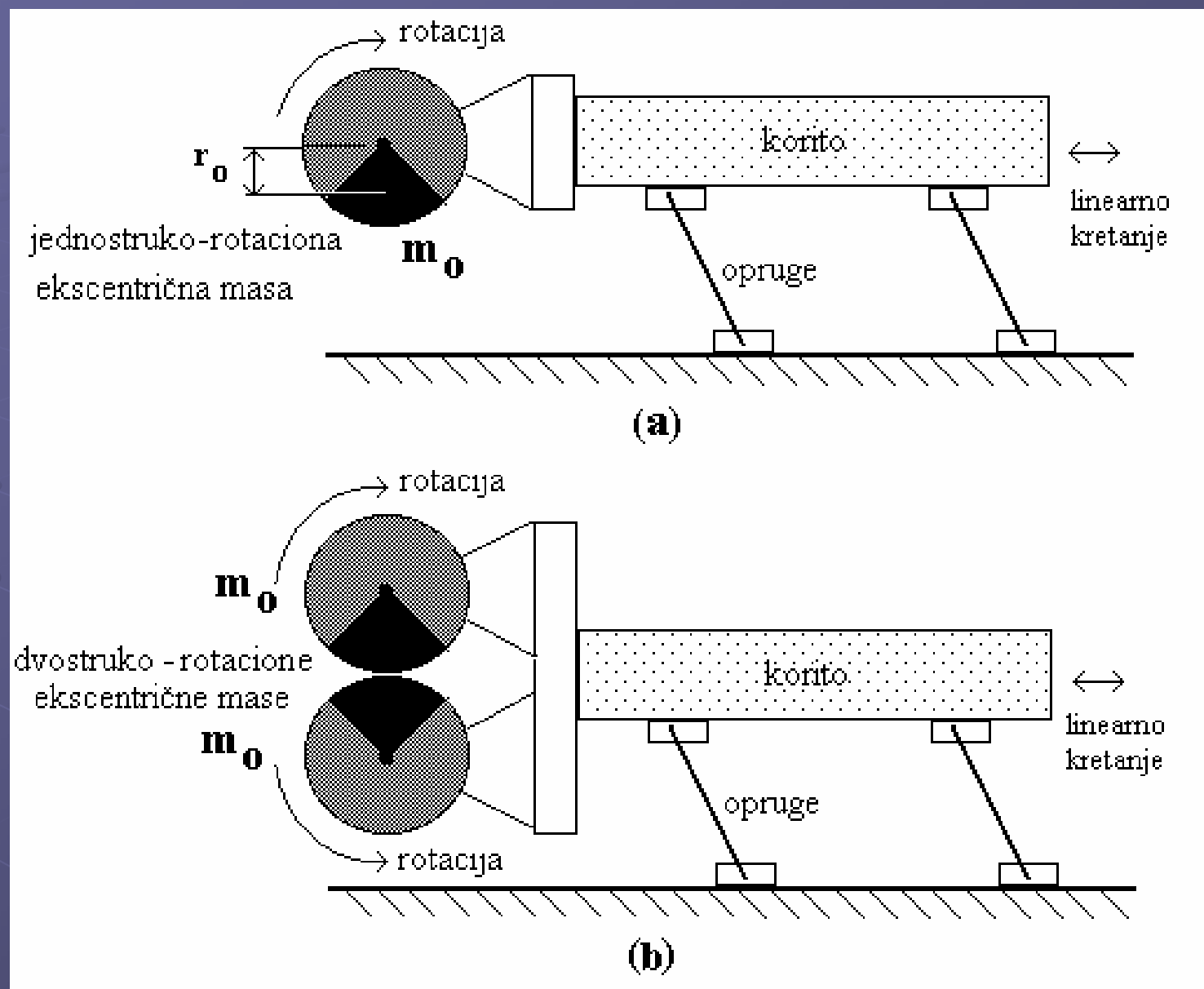
- rotacioni → elektromotorni
- linearni → elektromagnetni



VIBRACIONI ELEKTROMOTORNI POGON SA POGON SA EKSCENTROM



CENTRIFUGALNI VIBRACIONI POGON



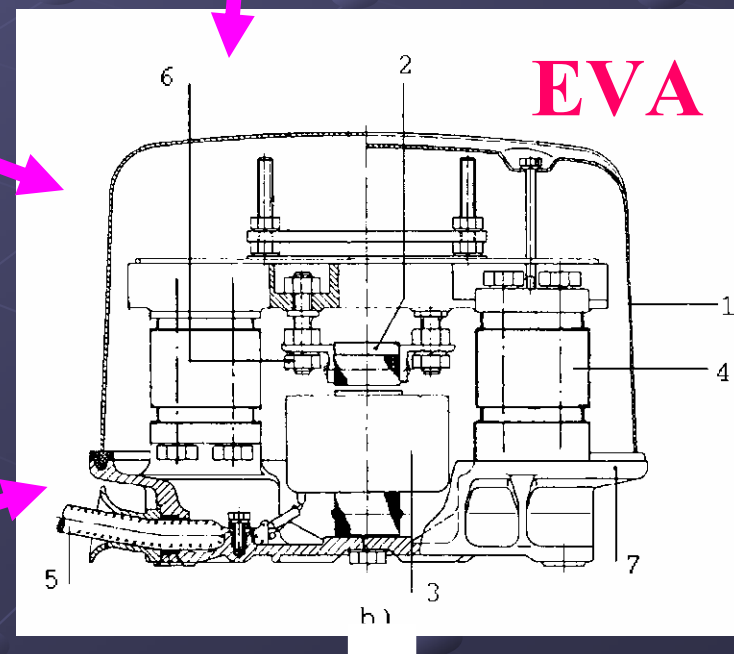
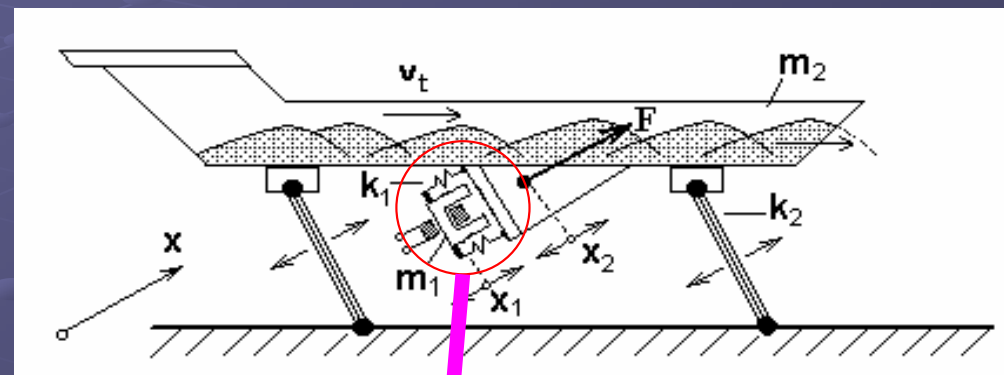
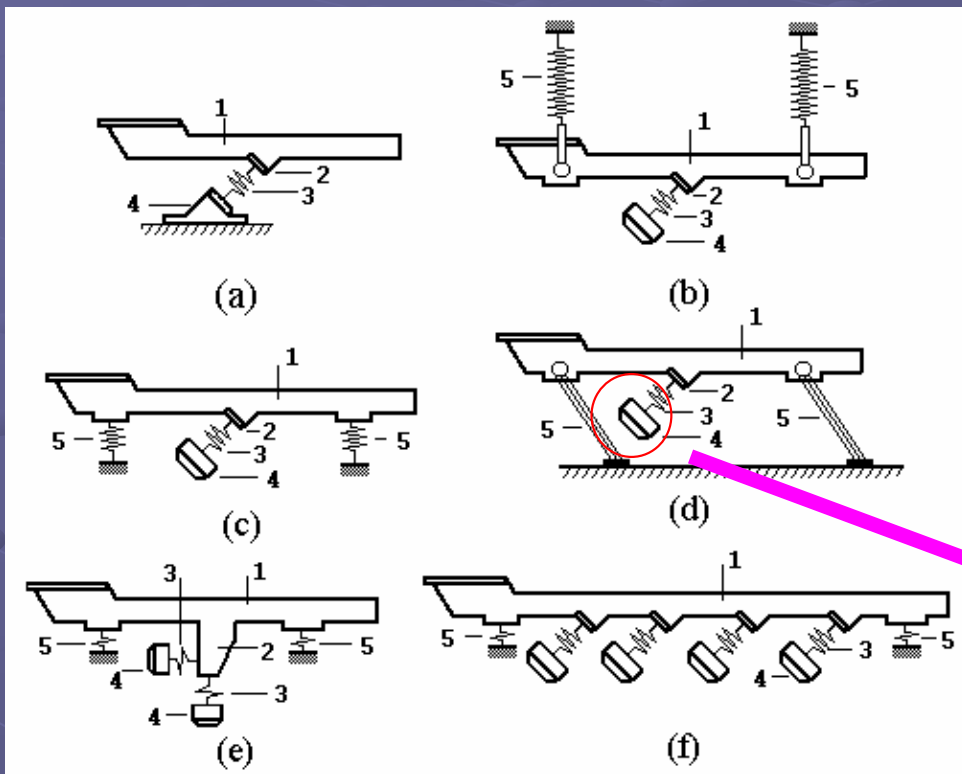
(a)- pogon sa jednom masom (b)- pogon sa dve mase

PROBLEMI KOD MEHANIČKIH VIBRACIONO TRANSPORTNIH POGONA

- Kada su potrebna naizmenična kretanja sa malim linearnim pomerajima proizvedena električnim putem, korišćenje rotacionog električnog motora sa odgovarajućim ekscentrom ili inercionim masama i odgovarajućom transmisijom (reduktor, kaišnik, elastične spojnice i sl.) predstavlja zaobilazni put za rešavanje postavljenog problema.
- Generalno gledano, bolje rešenje je jedan elektromehanički sistem koji direktno proizvodi male linearne pomeraje.

VIBRACIONO-TRANSPORTNI POGONI SA ELEKTROMAGNETNOM POBUDOM

Elektromagnetni vibracioni transporter sa usmerenim oscilacijama

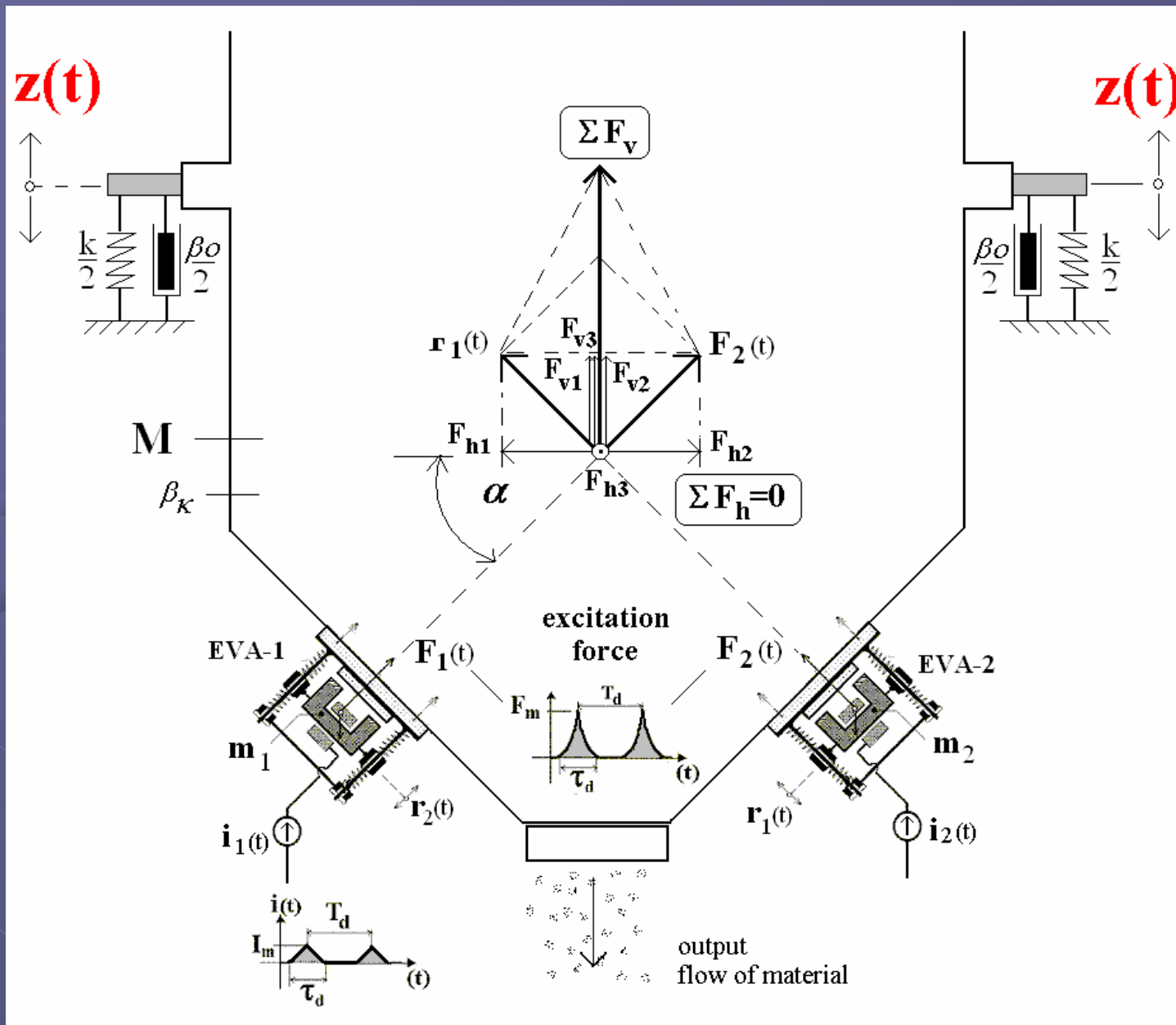


Tipovi elektromagnetnih transportnih pogona

(a)-jednomaseni, (b)-viseći, (c), (d)-osloni,
(e)-eliptički, (f)-višepogonski

ELEKTROMAGNETNI VIBRACIONI AKTUATOR

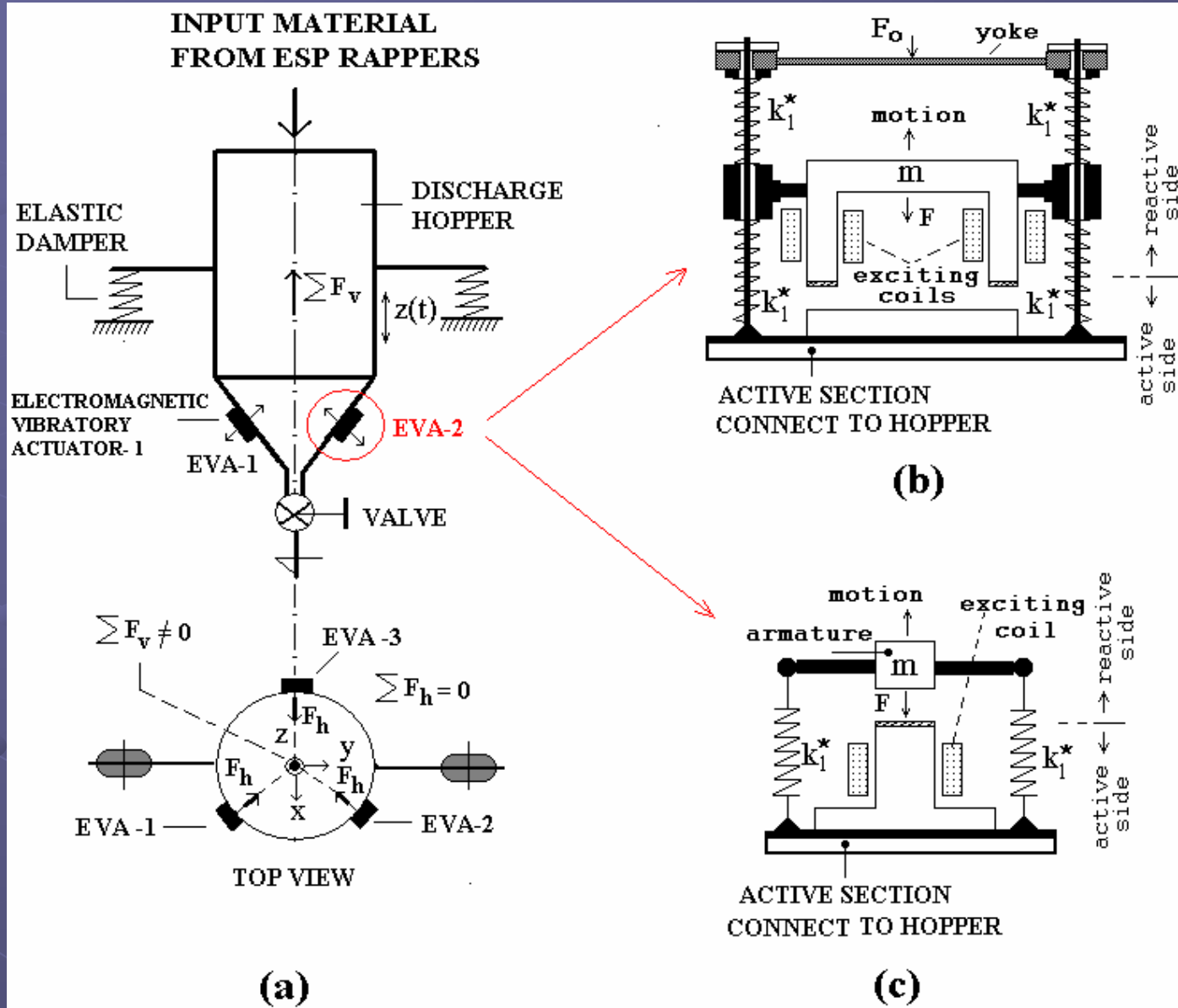
MEHANIČKA PREDSTAVA VIBRACIONIH DOZATORA



- Rezultantna vertikalna vibraciona pobudna sila- ΣF_v
- Rezultantna horizontalna sila $\Sigma F_h = 0$
- Pobudne sile vibracionih elektromagnetnih aktuatora- F_1, F_2 i F_3
- Pobudne struje $i_1(t), i_2(t), i_3(t)$

EVA-Elektromagnetni Vibracioni Aktuator

ELECTROMECHANICAL SYSTEM FOR VIBRATION EXCITATION OF HOPPER (VIBRATORY HOPPER)

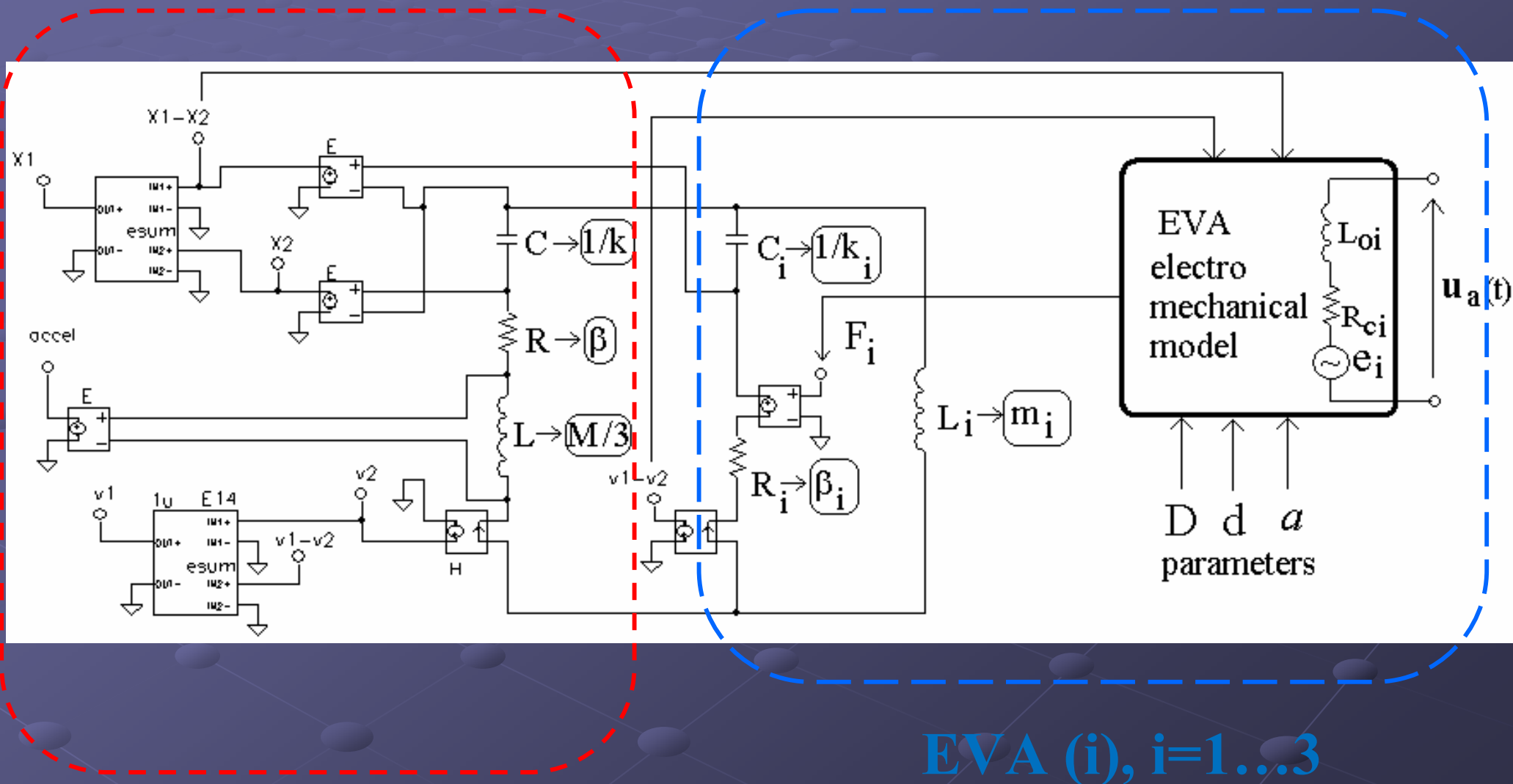


(a)-MEHANIČKA KONSTRUKCIJA

(b)-armatura EVA na aktivnoj strani

(c)-armatura EVA na reaktivnoj strani

EKVIVALENTNI ELEKTRIČNI MODEL VIBRACIONOG DOZATORA



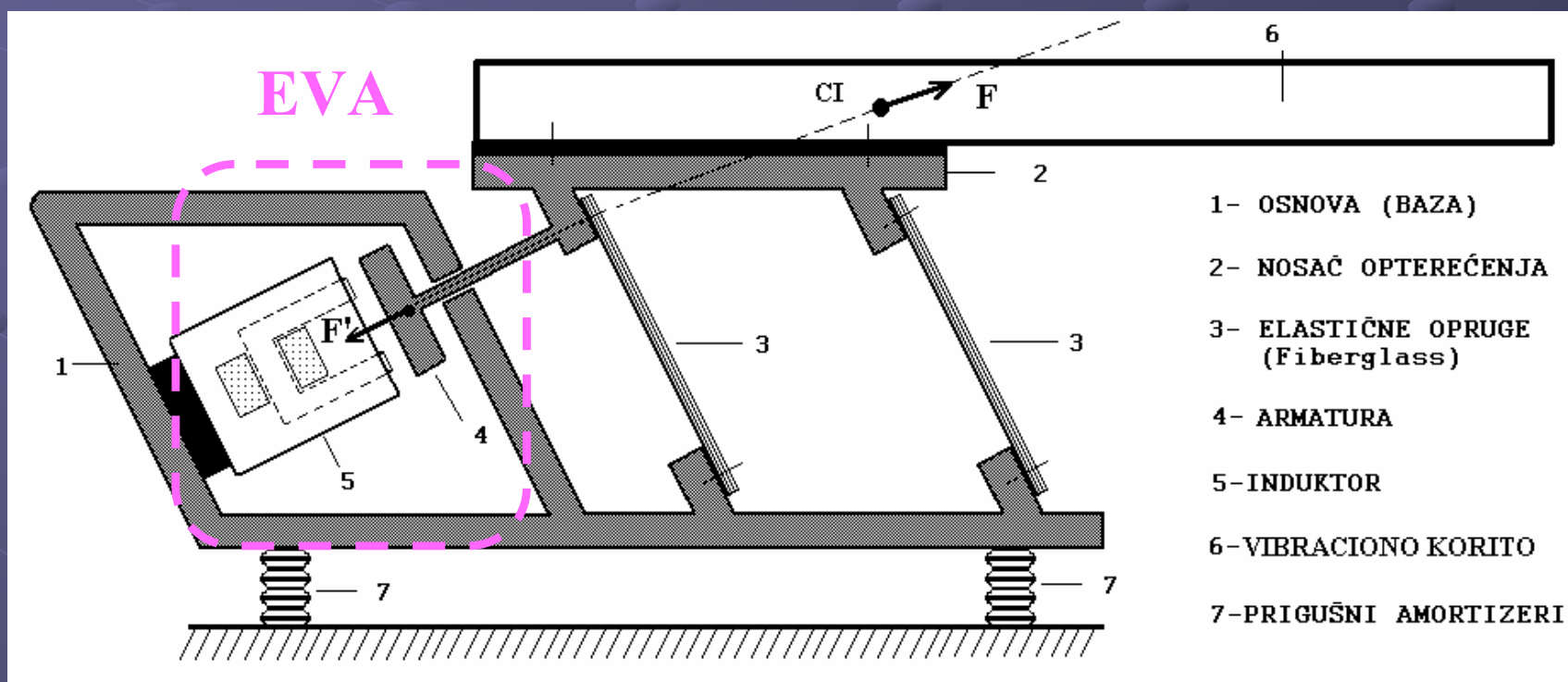
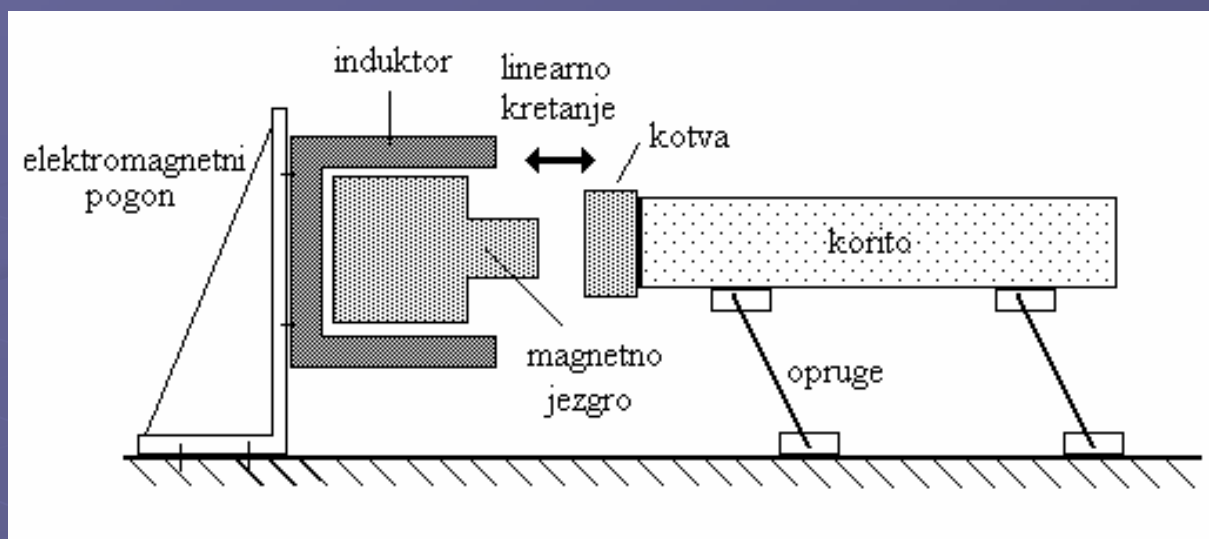
EVA (i), $i=1...3$

MEHANIČKI DEO SISTEMA

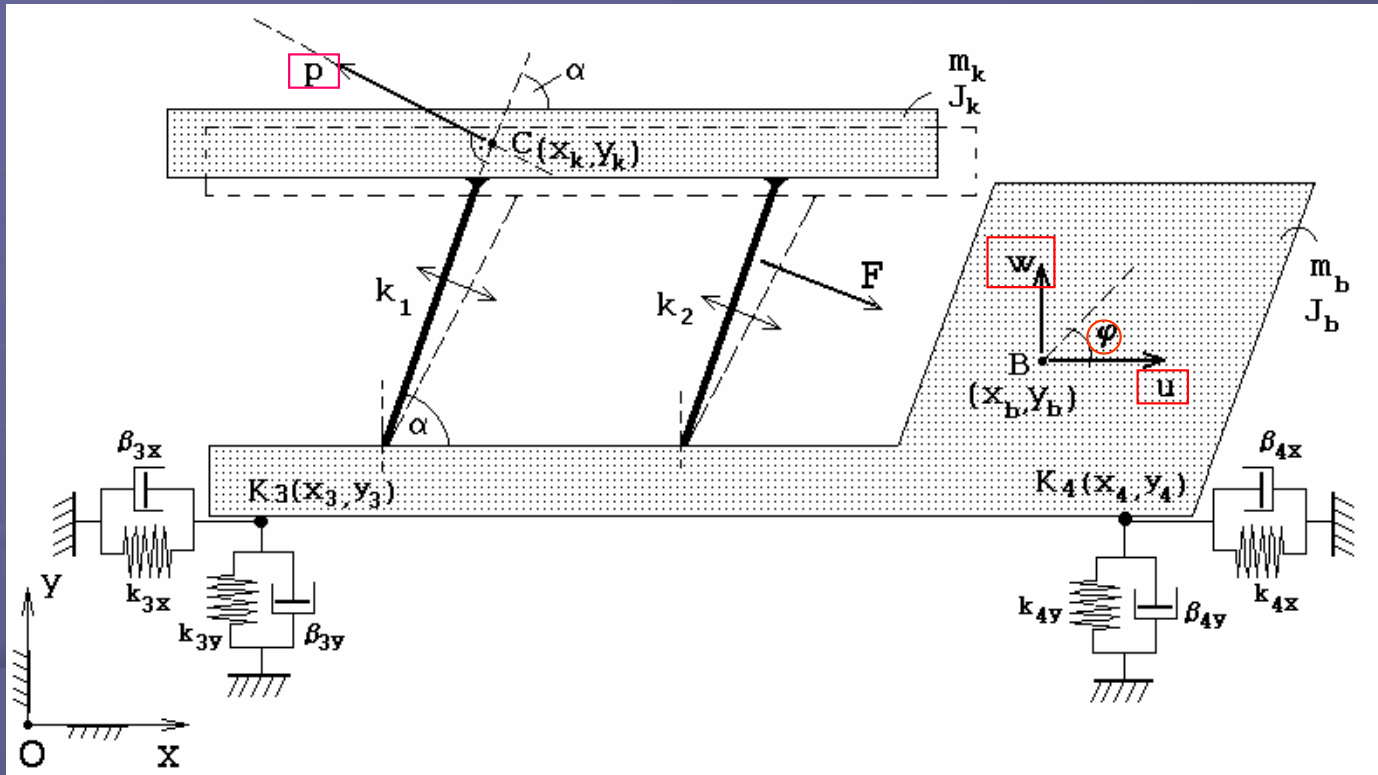
ELEKTROMAGNETNI POGONI SA USMERENOM POBUDNOM SILOM

Elektromagnetni vibracioni transporter sa fiksnim induktorom i usmerenom horizontalnom pobudom

CI-Centar Inercije



ANALITIČKI MODEL ELEKTROMAGNETNOG VIBRACIONOG TRANSPORTERA



Lagranžijan sistema

$$\mathfrak{T} = \sum_i (E_{ki} - E_{pi})$$

Lagranžiova jednačina kretanja

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \mathfrak{T}}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial \mathfrak{T}}{\partial q_i} + \frac{\partial \mathfrak{R}}{\partial \dot{q}_i} = F_{qi}$$

$i=1, 2, \dots, n_{ss}; n_{ss}=4$

$$\begin{bmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} & m_{14} \\ m_{21} & m_{22} & 0 & m_{24} \\ m_{31} & 0 & m_{33} & m_{34} \\ m_{41} & m_{42} & m_{43} & m_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \\ \ddot{q}_3 \\ \ddot{q}_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b_{22} & 0 & b_{24} \\ 0 & 0 & b_{33} & b_{34} \\ 0 & b_{42} & b_{43} & b_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \\ \dot{q}_4 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} k_{11} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_{22} & 0 & k_{23} \\ 0 & 0 & k_{33} & k_{34} \\ 0 & k_{42} & k_{43} & k_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ q_3 \\ q_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -F \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

$$\underline{M} \cdot \underline{\ddot{Z}} + \underline{B} \cdot \underline{\dot{Z}} + \underline{K} \cdot \underline{Z} = \underline{F}$$

$$\underline{Z} = [q_1 \quad q_2 \quad q_3 \quad q_4]^T = [p \quad u \quad w \quad \varphi]^T$$

PARAMETRI ELKTROMAGNETNOG VIBRACIONOG TRANSPORTERA

ELEMENTS OF MASS MATRIX M

$$m_{11} = m_k \cdot \cos \alpha,$$

$$m_{12} = m_{21} = -m_k \cdot \sin \alpha, \quad m_{13} = m_{31} = m_k \cdot \cos \alpha,$$

$$m_{14} = m_{41} = m_k \cdot (y_k - y_b) \sin \alpha + m_k \cdot (x_k - x_b) \cdot \cos \alpha,$$

$$m_{22} = m_k + m_b, \quad m_{23} = m_{32} = 0, \quad m_{24} = m_{42} = -m_k \cdot (y_k - y_b),$$

$$m_{33} = m_k + m_b, \quad m_{34} = m_{43} = m_k \cdot (x_k - x_b),$$

$$m_{44} = J_k + J_b + m_k \cdot \left\{ (x_k - x_b)^2 + (y_k - y_b)^2 \right\}$$

ELEMENTS OF DAMPING MATRIX B

$$b_{11} = 2\beta; b_{12} = b_{21} = 0; b_{13} = b_{31} = 0; b_{14} = b_{41} = 0$$

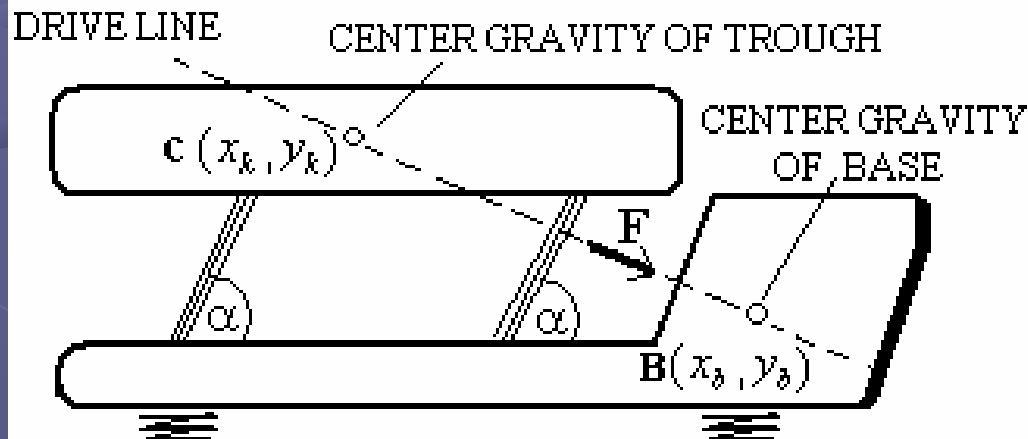
$$b_{22} = 2\beta_x; b_{23} = b_{32} = 0; b_{24} = b_{42} = \beta_x \cdot r_3 \cdot \cos \gamma_3 + \beta_x \cdot r_4 \cdot \cos \gamma_4$$

$$b_{33} = 2\beta_y; b_{34} = b_{43} = -\beta_y \cdot r_3 \cdot \sin \gamma_3 + \beta_y \cdot r_4 \cdot \sin \gamma_4$$

$$b_{44} = \beta_x \cdot r_3^2 \cdot \cos^2 \gamma_3 + \beta_x \cdot r_4^2 \cdot \cos^2 \gamma_4 + \beta_y \cdot r_3^2 \cdot \sin^2 \gamma_3 + \beta_y \cdot r_4^2 \cdot \sin^2 \gamma_4$$

$$\sin \gamma_3 = \frac{x_b - x_3}{r_3} \wedge \sin \gamma_4 = \frac{x_4 - x_b}{r_4}$$

$$\cos \gamma_3 = \frac{y_b - y_3}{r_3} \wedge \cos \gamma_4 = \frac{y_4 - y_b}{r_4}$$



$$\sin \alpha = \frac{x_b - x_k}{r}, \quad \cos \alpha = \frac{y_k - y_b}{r}, \quad \overline{CB} = r$$

$$m_{14} = m_{41} = 0$$

$$\underbrace{\beta_1 = \beta_2 = \beta}_{\text{LEAF SPRINGS FIBERGLASS®}}, \quad \underbrace{\beta_{3x} = \beta_{4x} = \beta_x, \beta_{3y} = \beta_{4y} = \beta_y}_{\text{ABSORBERS}}$$

ELEMENTS OF STIFFNESS MATRIX K

$$k_{11} = k_1 + k_2,$$

$$k_{12} = k_{21} = k_{13} = k_{31} = k_{14} = k_{41} = 0$$

$$k_{22} = k_{3x} + k_{4x}, \quad k_{23} = k_{32} = 0$$

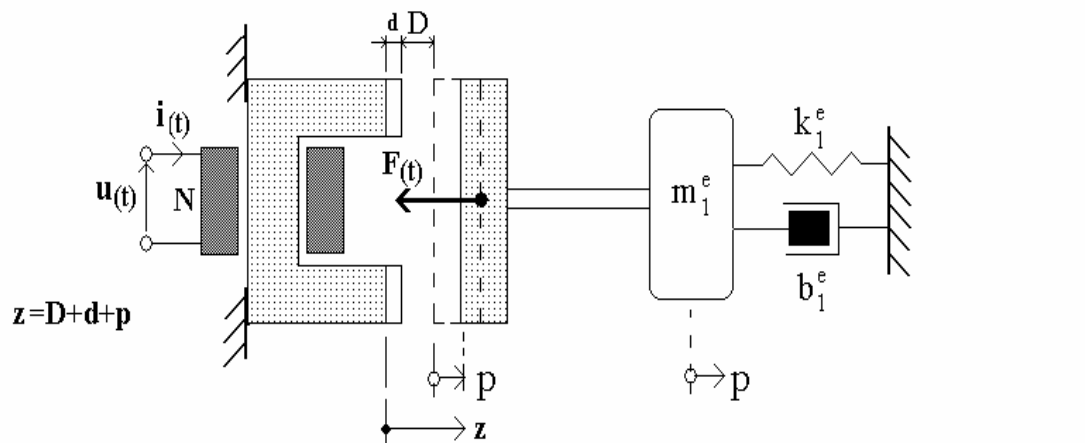
$$k_{24} = k_{42} = k_{3x} \cdot (y_3 - y_b) - k_{4x} \cdot (y_4 - y_b),$$

$$k_{33} = k_{3y} + k_{4y}, \quad k_{34} = k_{43} = k_{3y} \cdot (x_3 - x_b) - k_{4y} \cdot (x_4 - x_b),$$

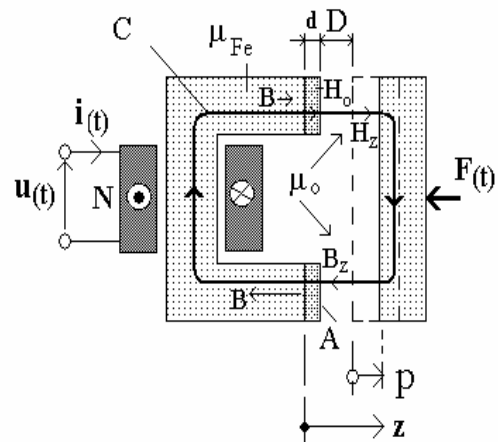
$$k_{44} = k_{3x} \cdot (y_3 - y_b)^2 + k_{4x} \cdot (y_4 - y_b)^2 + k_{3y} \cdot (x_3 - x_b)^2 + k_{4y} \cdot (x_4 - x_b)^2$$

$$\underbrace{k_1 = k_2 = k}_{\text{LEAF SPRINGS FIBERGLASS®}}, \quad \underbrace{k_{3x} = k_{4x} = k_x, k_{3y} = k_{4y} = k_y}_{\text{ABSORBERS}}$$

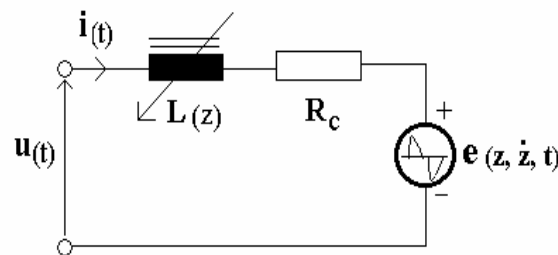
EVA kao generator sile



(a)



(b)



(c)

(a)-mehanički model, (b)-magnetno kolo,
(c)-ekvivalentno električno kolo

statička karakteristika →

$$F = \frac{\mu_o \cdot N^2 \cdot A \cdot i^2}{4(D + d + p)^2}$$

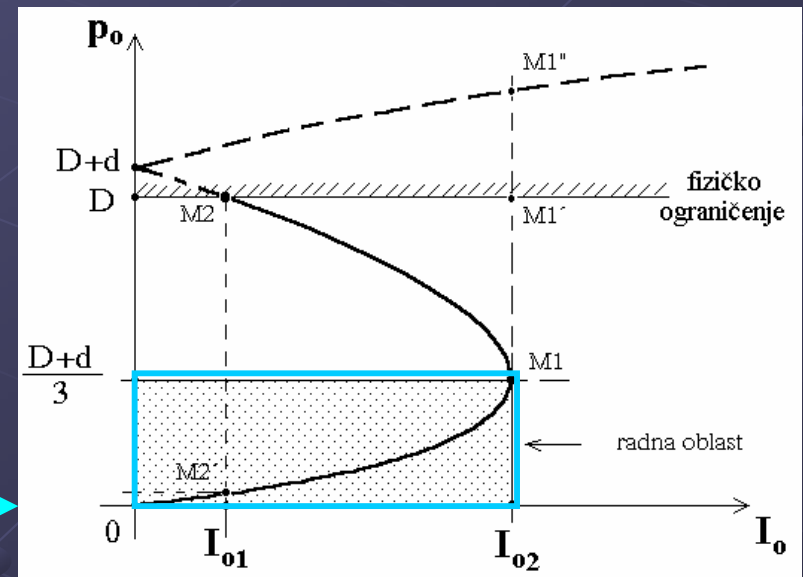
EM sila

mehanička jednačina

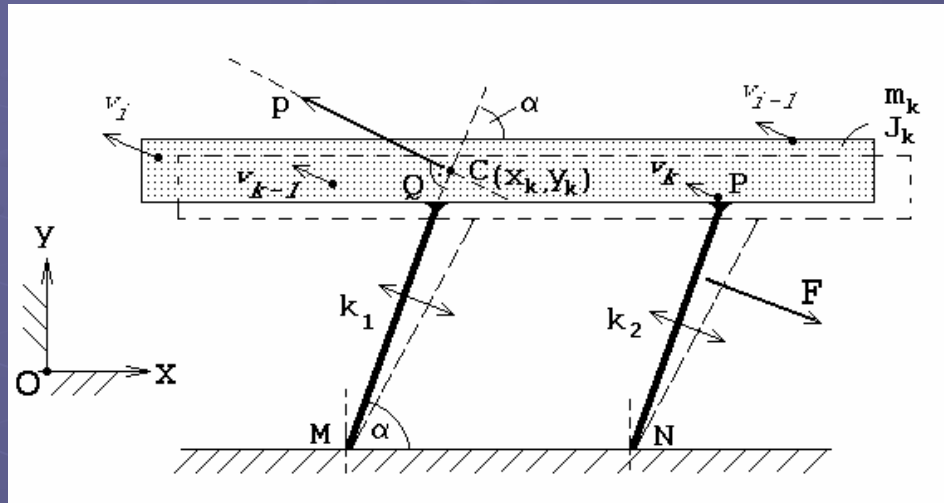
$$m_1^e \cdot \ddot{z} + b_1^e \cdot \dot{z} + k_1^e \cdot [z - (D + d)] = -\frac{a_i \cdot i^2}{z^2}$$

električna jednačina

$$L(z) \cdot \frac{di}{dt} + R_c \cdot i + e(\dot{z}, z, t) = u(t)$$



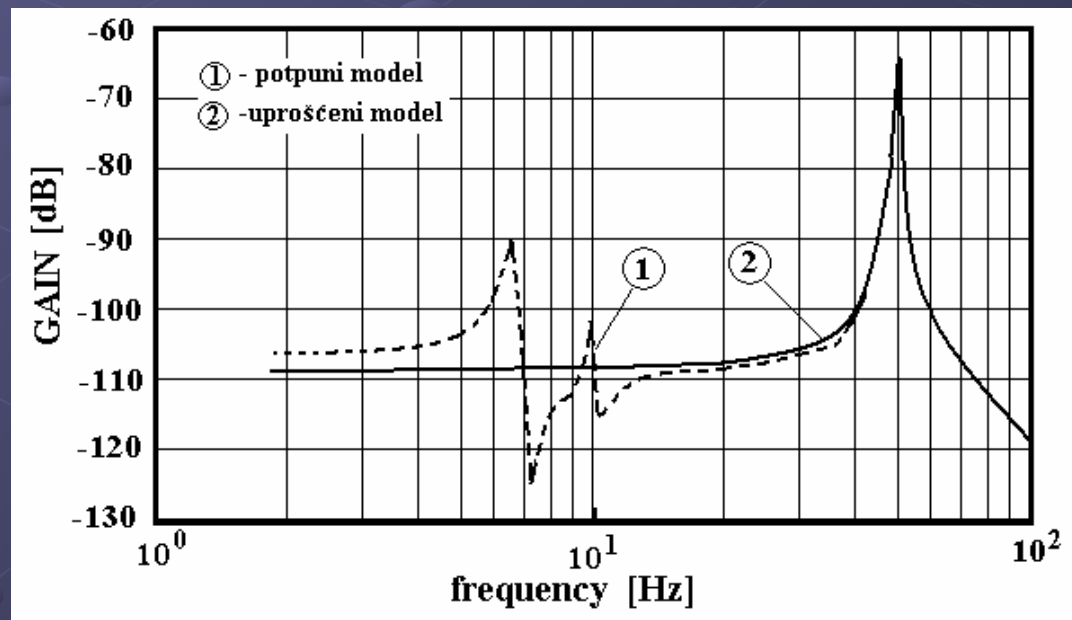
UPROŠĆENI ANALITIČKI MODEL



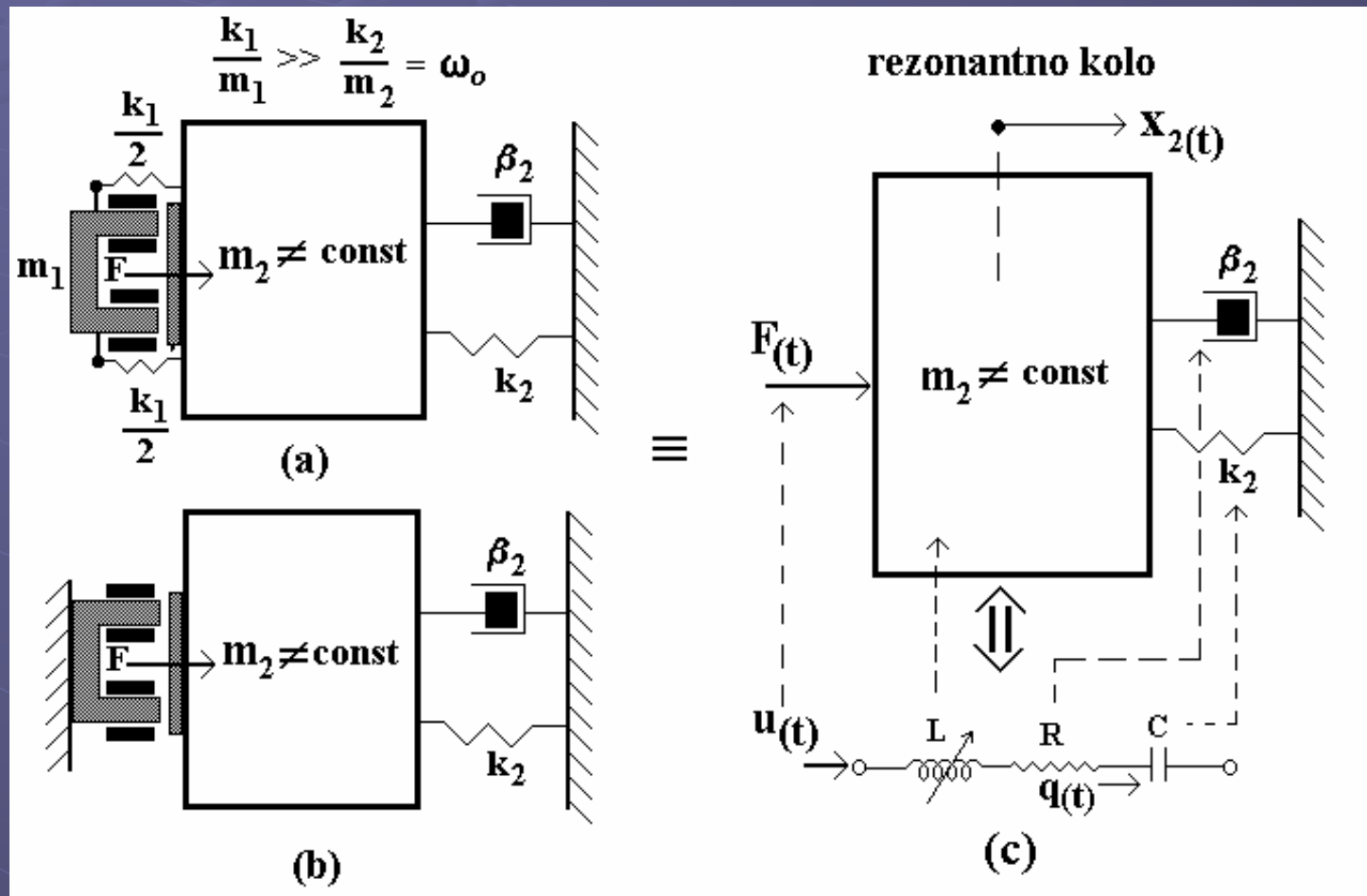
$$m_b \gg m_k$$

REALNOST

Frekventna
karakteristika

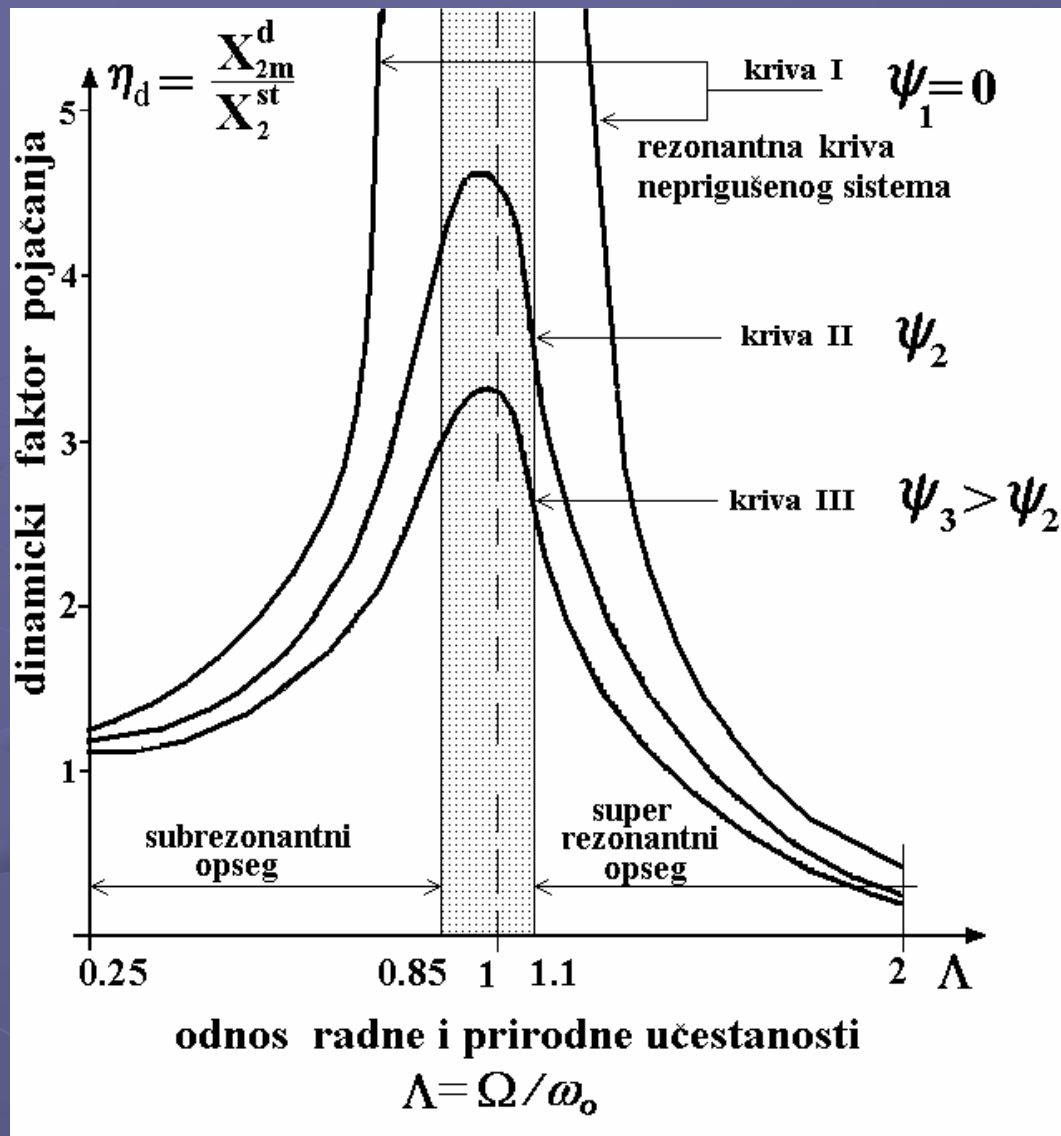


ULOGA MEHANIČKE REZONANCE U VIBRACIONOM TRANSPORTU



Mehanički modeli elektromagnetnih rezonantnih vibracionih transportera

(a)-pokretni induktor , (b)-nepokretni induktor , (c)-ekvivalentni električni model



$$X_{2m}^d = X_2^{st} \cdot \frac{1}{\sqrt{(1 - \Lambda^2)^2 + 4 \cdot \Psi^2 \cdot \Lambda^2}}$$

$$\Lambda = \frac{\Omega}{\omega_0}$$

$$\Psi = \frac{\beta_2}{2m_2 \cdot \omega_0}$$

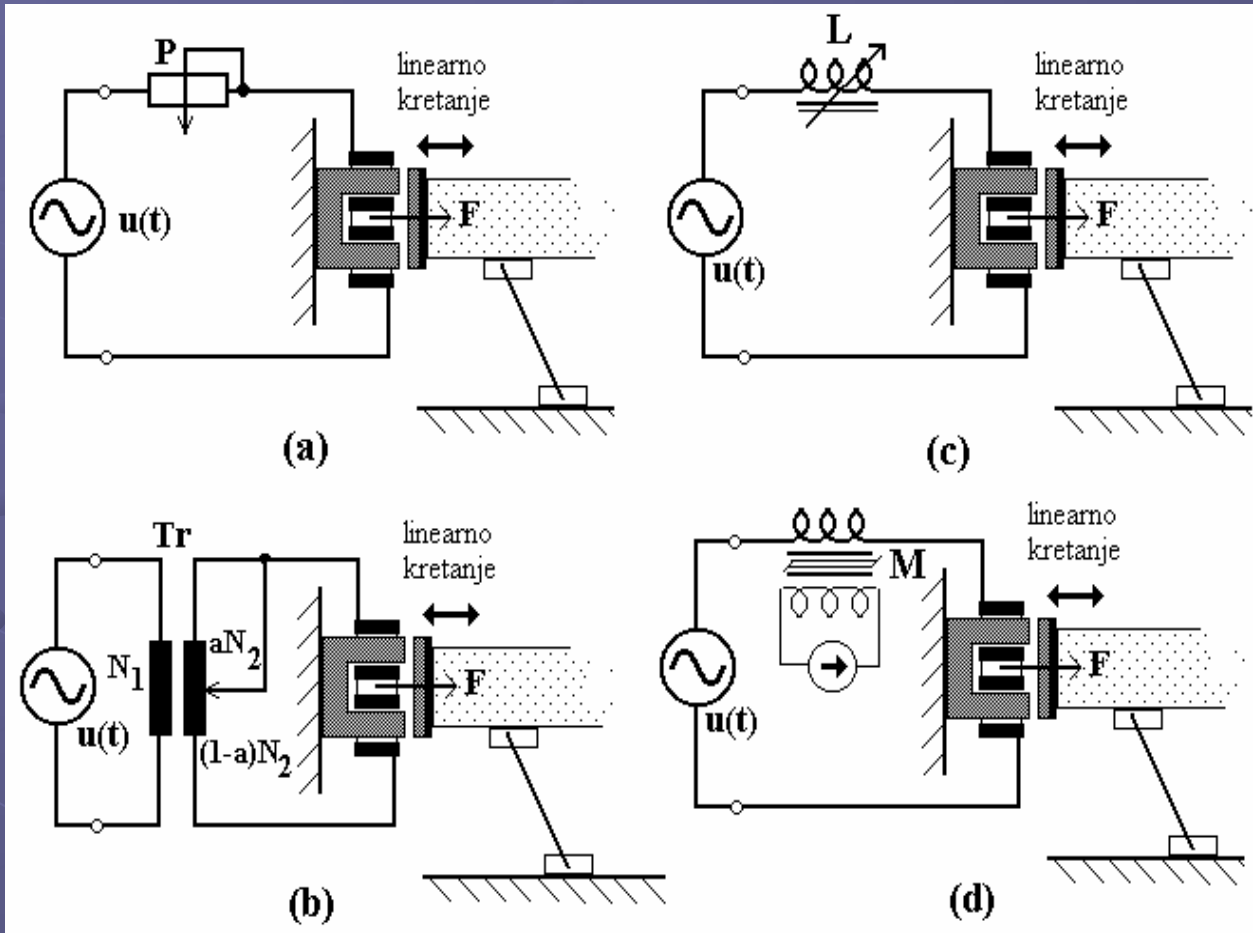
$$X_2^{st} = \frac{F_m}{m_2 \cdot \omega_0^2}$$

$$X_{2m}^d = \frac{F_m}{2 \cdot \beta_2 \cdot \omega_0}$$

Ograničenje amplitude je moguće
 postići pored pasivnog prigušenja i
aktivnom kontrolom pobudne sile
 odnosno struje EVA

U tom slučaju rad u rezonantnom opsegu postaje energetski povoljan,
 pošto se dovoljno velike, ali konačne vrednosti amplituda oscilovanja mogu
 dobiti, za relativno malu pobudu

KLASIČNA REŠENJA KONTROLE VIBRACIONOG TRANSPORTA



(a)-potenciometrom,
(b)-auto transformatorom,
(c)-prigušnicom,
(d)-magnetnim pojačavačem

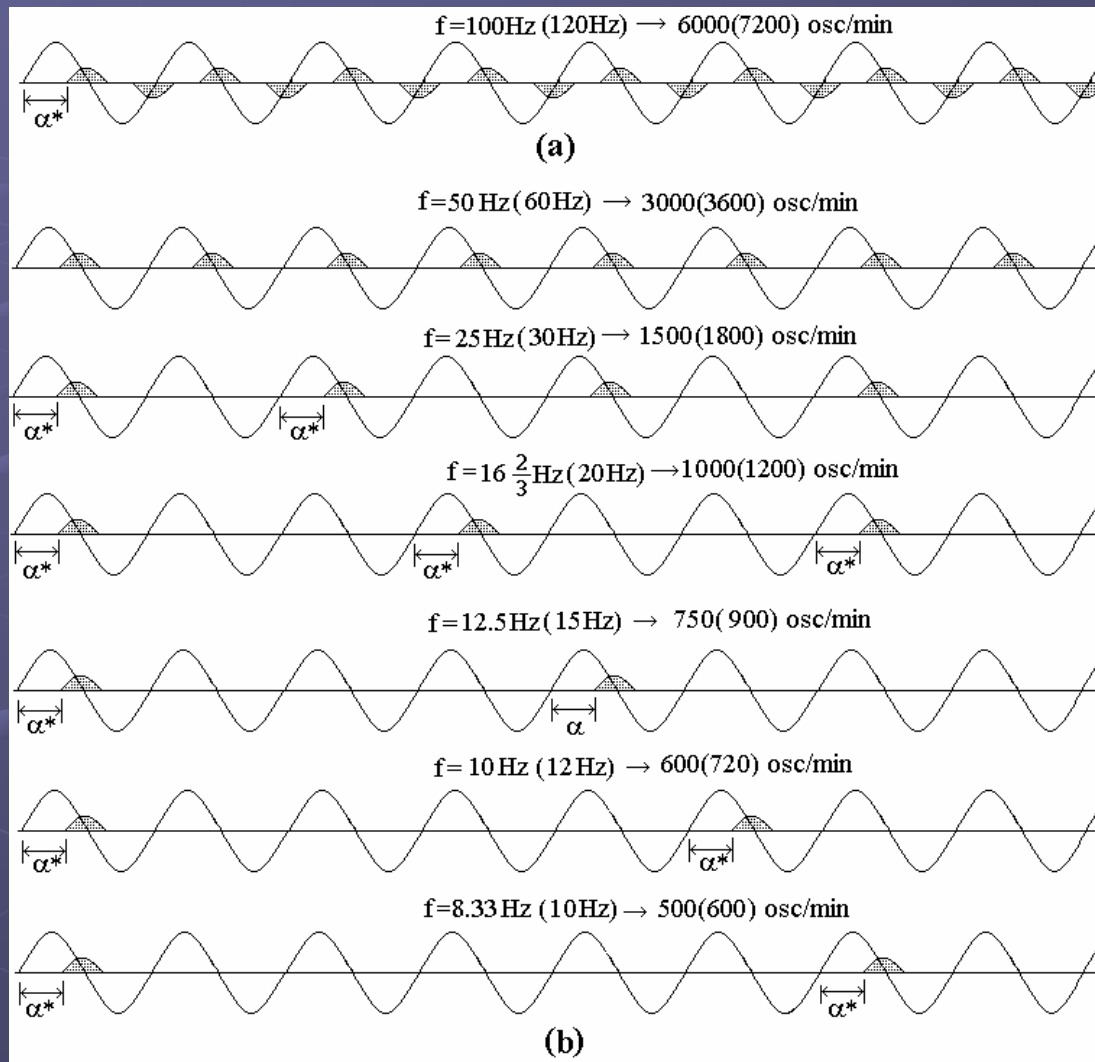
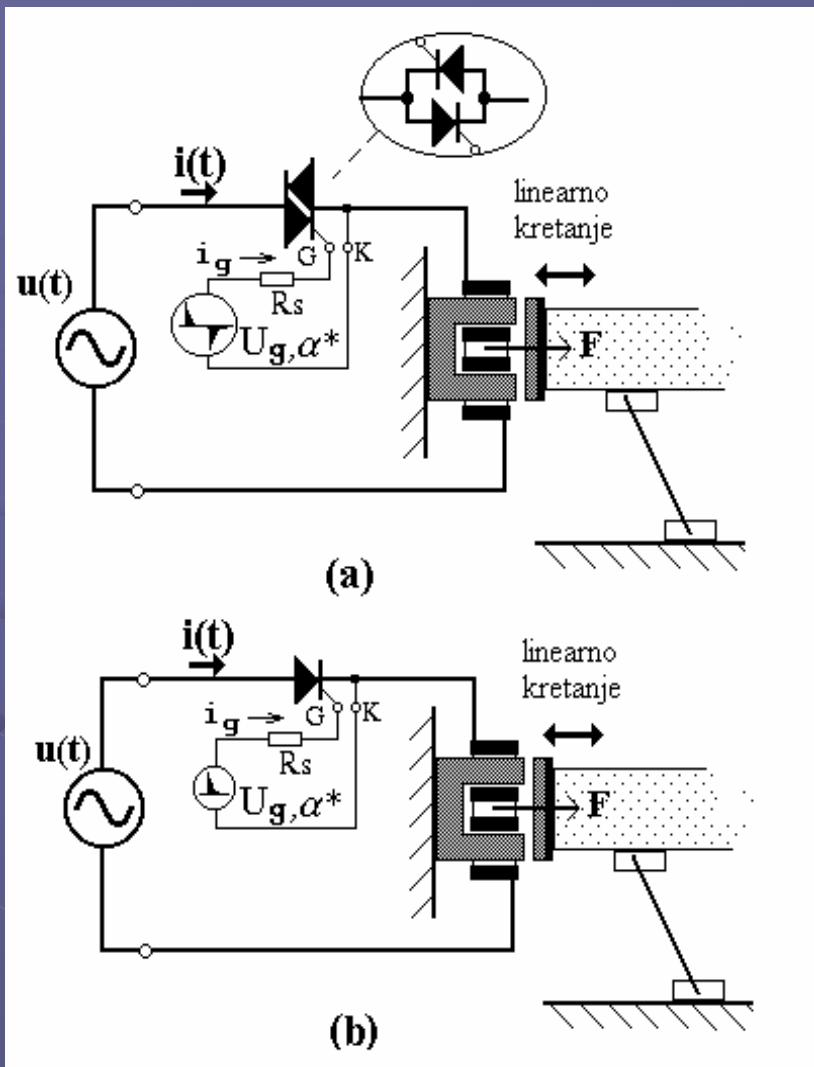
Svi ovi načini regulacije su grubi i praćeni velikim gubicima energije što značajno utiče na porast cene i povećavanje dimenzija regulacione opreme.

ENERGETSKA ELEKTRONIKA KAO KLJUČNA OBLAST ZA OPTIMALNU KONTROLU VBRACIONOG TRANSPORTA

- Jedan od načina za prevazilaženje nedostataka tradicionalnih načina kontrole je korišćenje ENERGETSKE ELEKTRONIKE odnosno energetskih pretvarača
- Primena elektromagnetih vibracionih pogona u kombinaciji sa energetskim pretvaračima obezbeđuje fleksibilnost u radu
- Na ovaj način je moguće istovremeno podešavanje amplitude i(ili) učestanosti struje namotaja vibracionog aktuatora, odnosno podešavanje intenziteta i učestanosti pobudne sile koja je primenjena na transportni element odnosno PODEŠAVANJE AMPLITUDE i(ili) UČESTANOSTI mehaničkih oscilacija

ENERGETSKI PRETVARAČI SA FAZNOM KONTROLOM

Phase Angle Control (PAC)



TIRISTORSKI (SCR) energetska pretvarači ; (a)-unidirekcioni, (b)- bidirekcioni

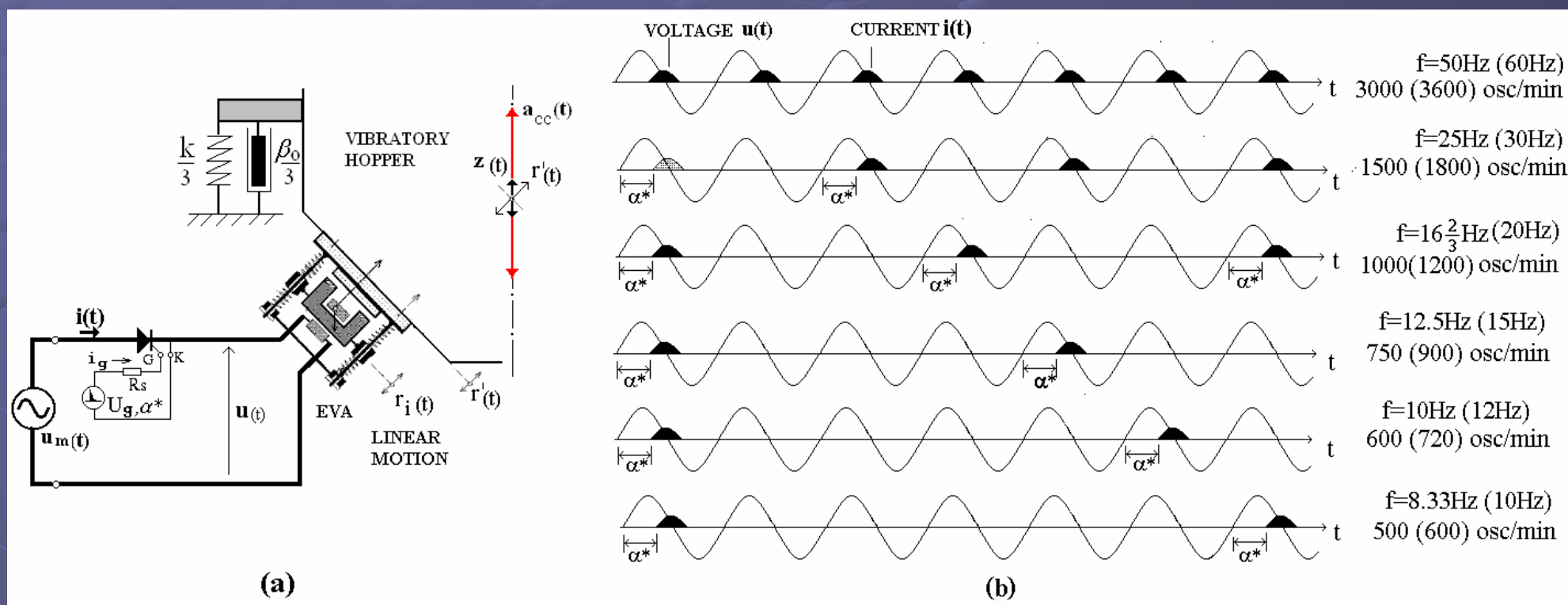


AMPLITUDA



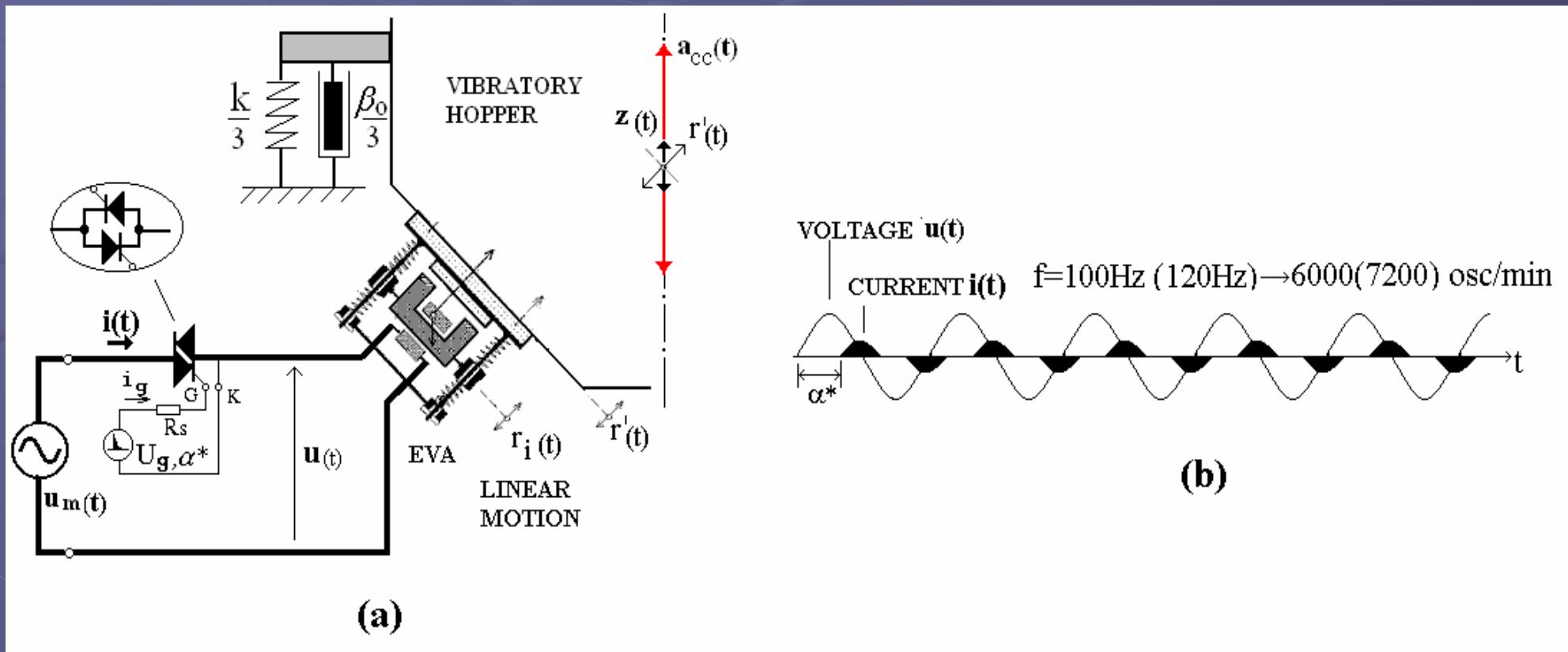
UČESTANOST

FAZNO KONTROLISANI TIRISTORSKI PRETVARAČ ZA POBUDU VIBRACIONOG KOŠA



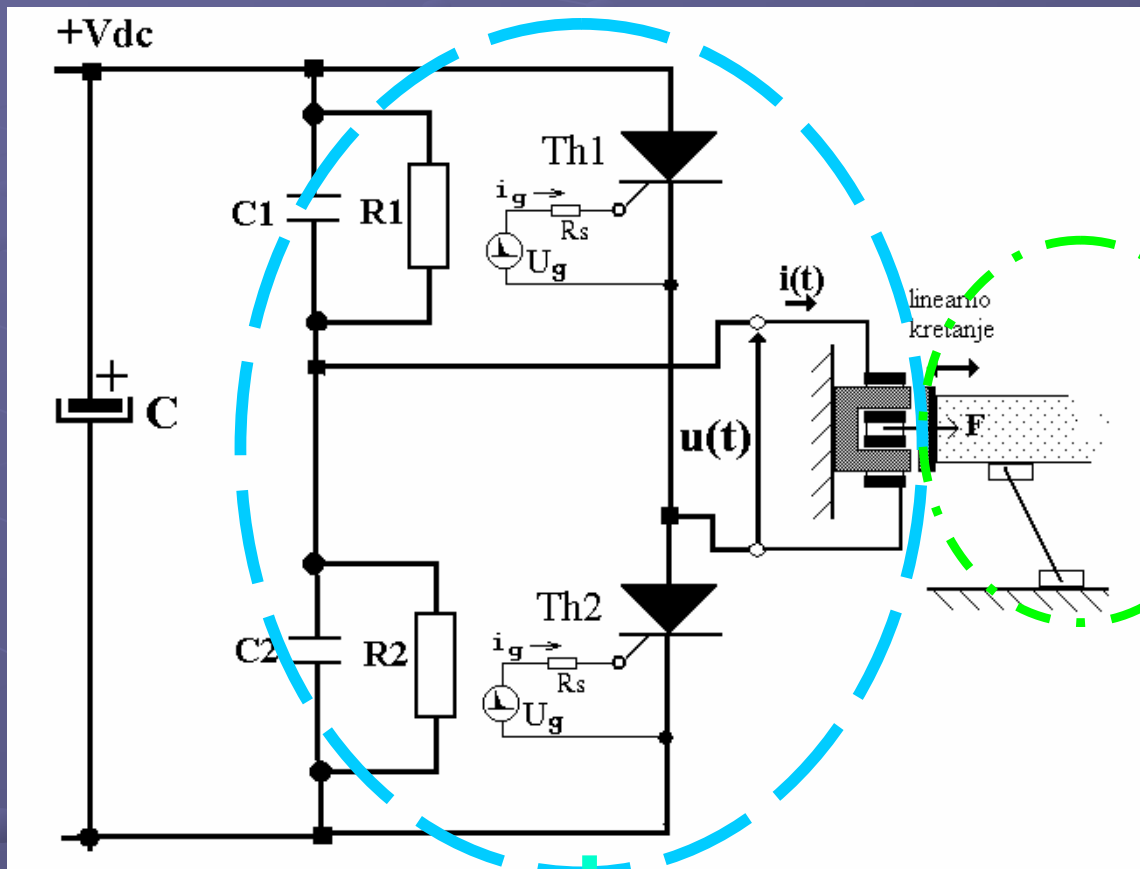
(a) unidirekciona topologija (b) talasni oblici struje i napona EVA

FAZNO KONTROLISANI PRETVARAČ SA TRIAC-ima ZA POBUDU VIBRACIONOG KOŠA



(a) bidirekciona topologija (b) talasni oblici struje i napona EVA

REZONANTNI TIRISTORSKI PRETVARAČI



mehanično
rezonantno kolo

$$f_{\text{rez(meh)}} \ll f_{\text{rez(el)}}$$

5Hz-150Hz 10kHz-20kHz



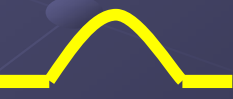
učestanost



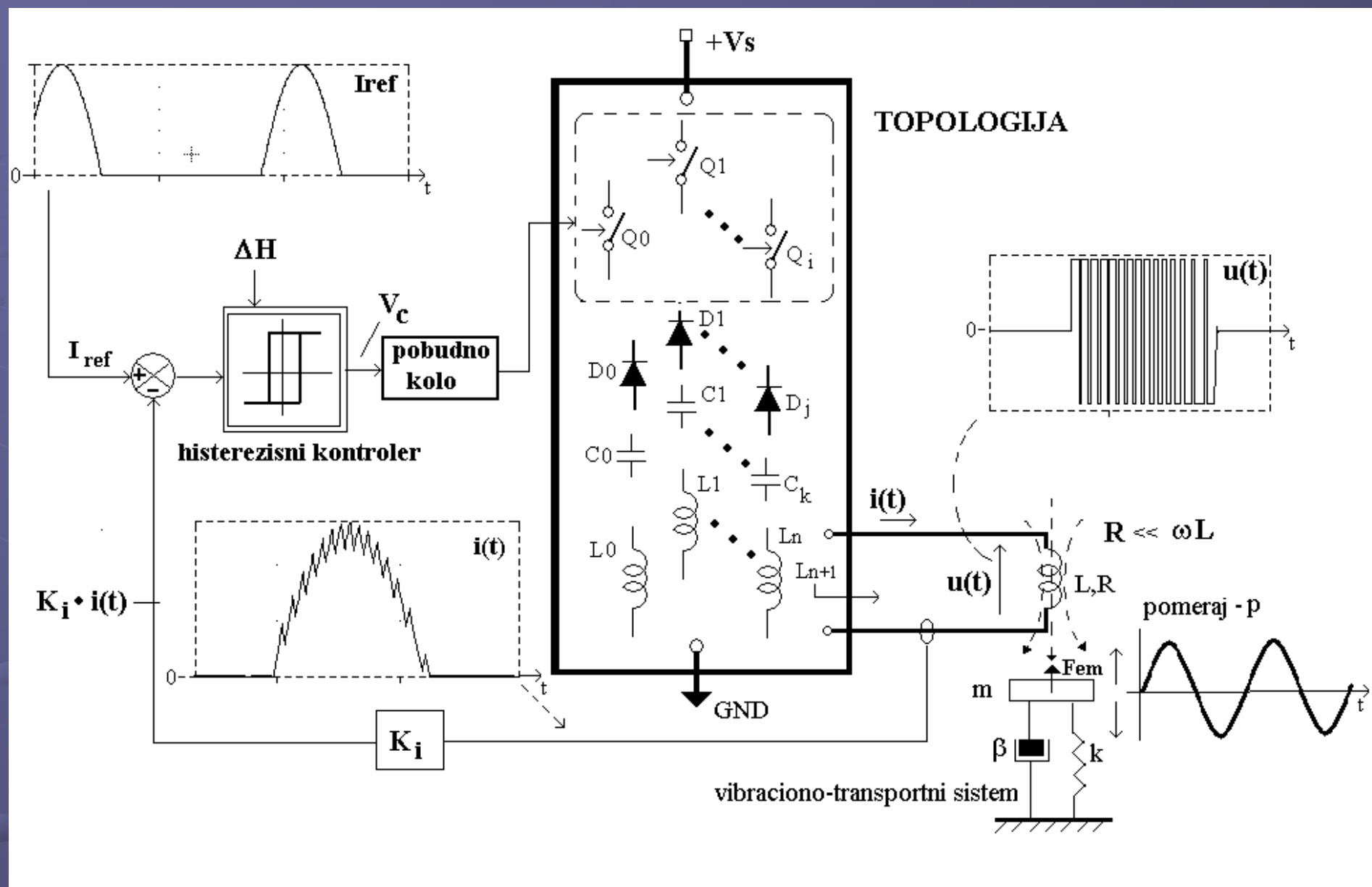
amplituda

električno rezonantno kolo

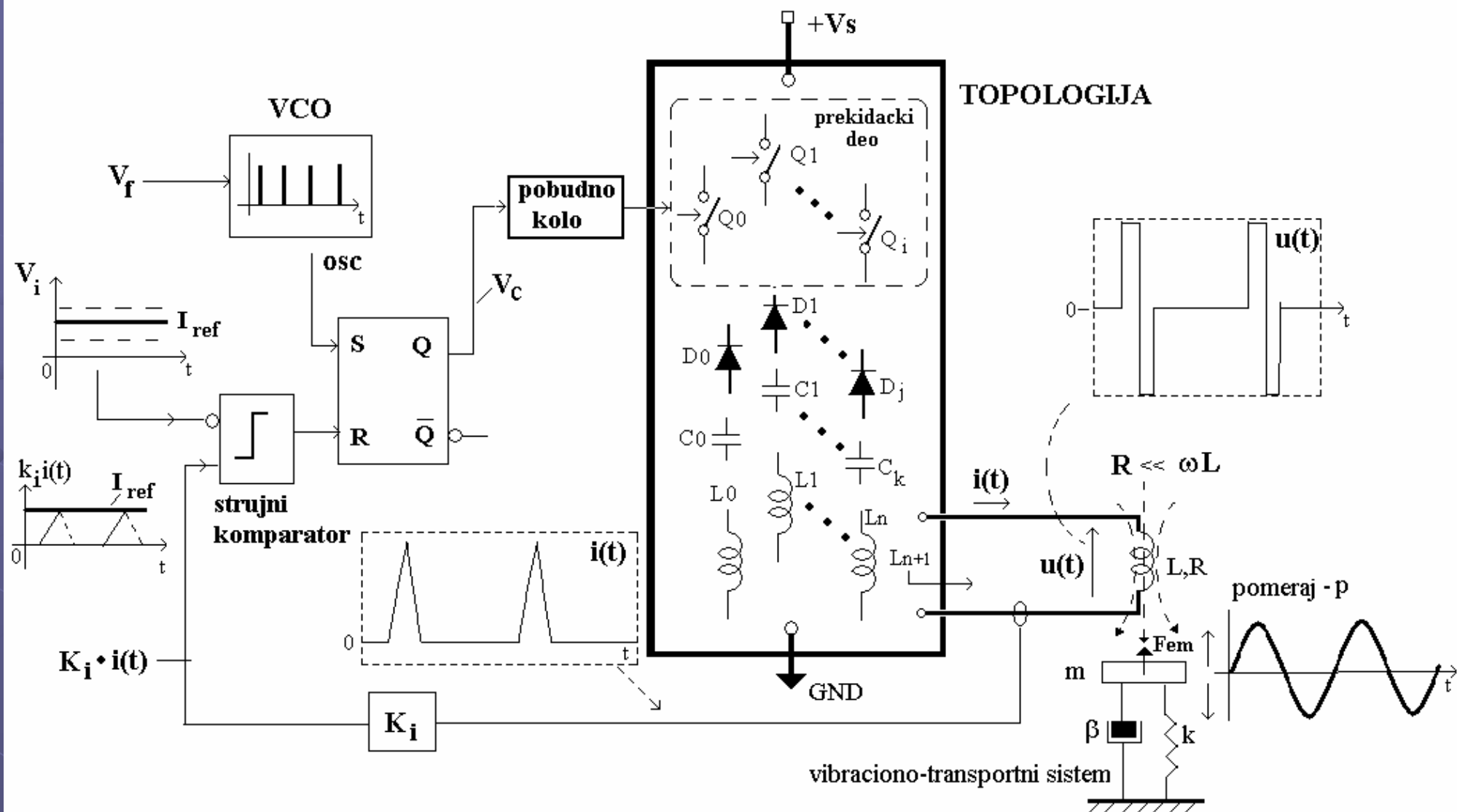
PREKIDAČKI (SWITCH-MODE) PRETVARAČI U VIBRACIONOM TRANSPORTU I SISTEMIMA ZA DOZIRANJE

- Kontrolom struje EVA moguće je ostvariti kontrolu elektromagnetne pobudne sile koja deluje na vibracioni sud transportera
- U električnom smislu EVA predstavlja pretežno induktivno opterećenje
- Stoga se kao moguća rešenja električne strujne pobude EVA nameću PWM (strujna ili naponska) i rezonantna električna pobuda
- Trougaoni  ili sinusni  strujni polutalas
- Obezbeđena kontrola amplitude  i (ili) kontrola učestanosti  vibracija

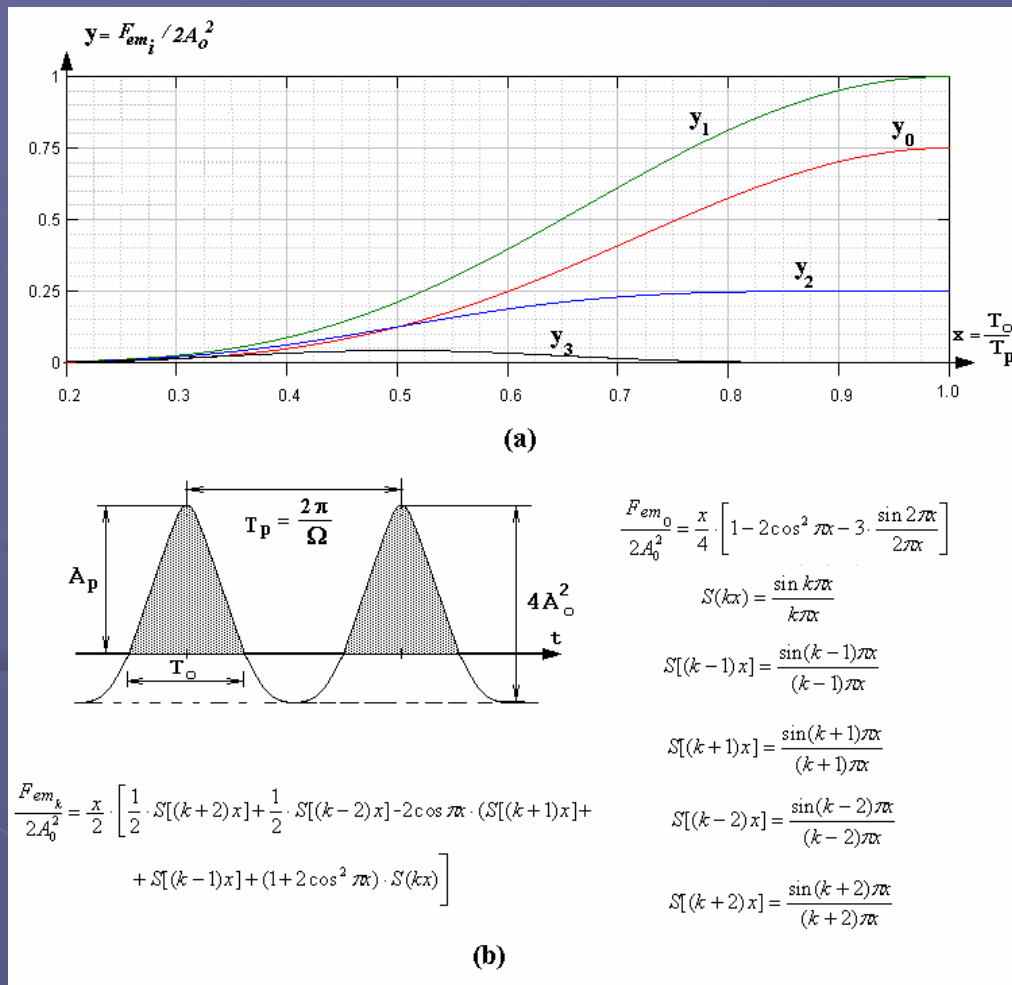
SINUSNA STRUJNA POBUDA



TROUGAONA STRUJNA POBUDA

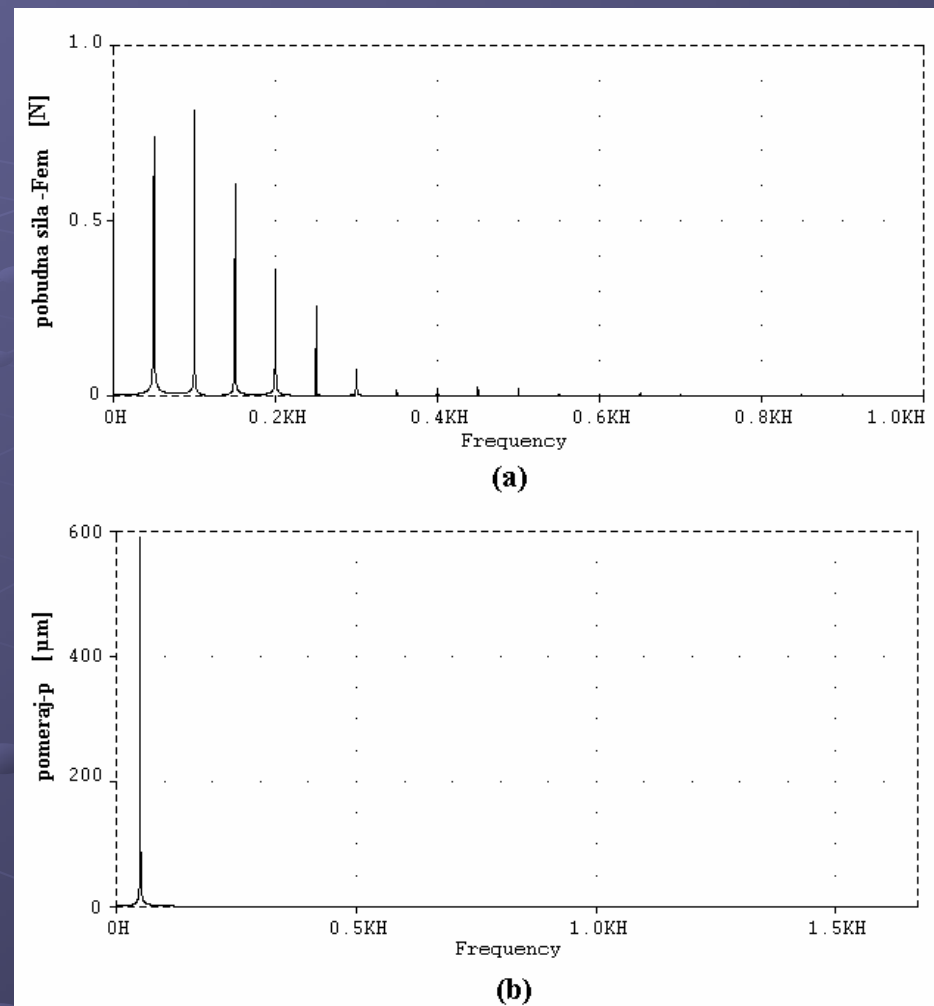


Talasni oblik pobudne elektromagnetne sile

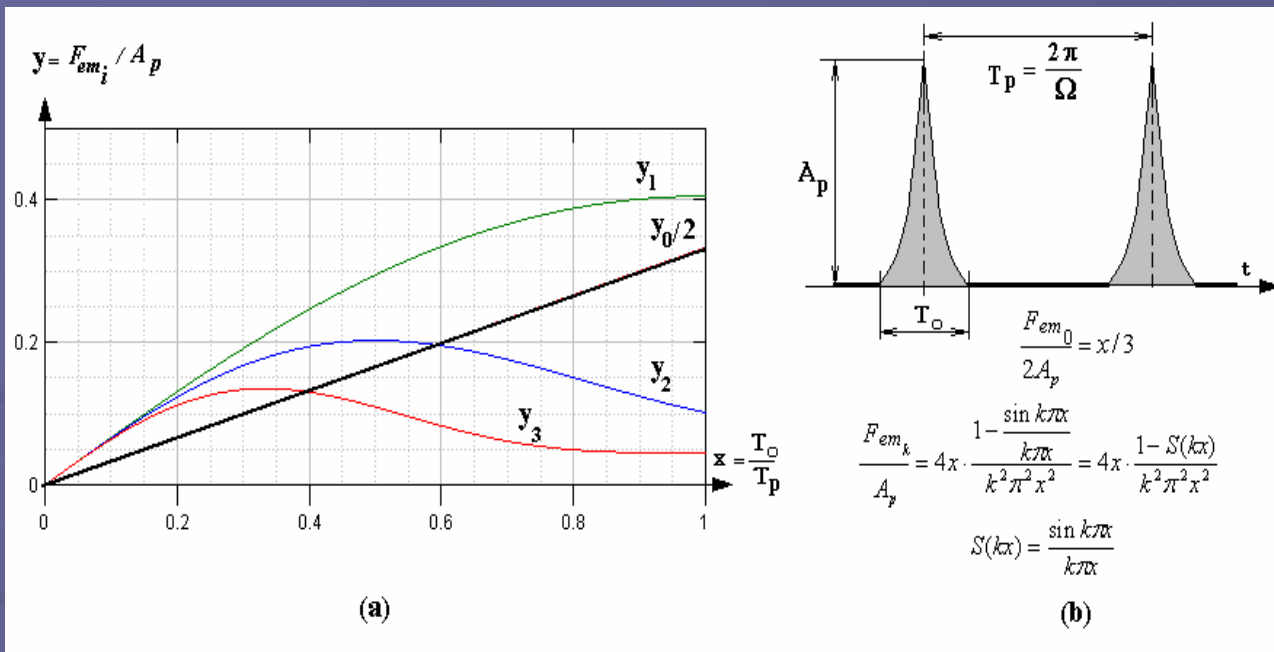


(a)-grafički harmonijski prikaz
(b)-analitički oblik

Furijeovi spektri pri sinusnoj strujnoj pobudi

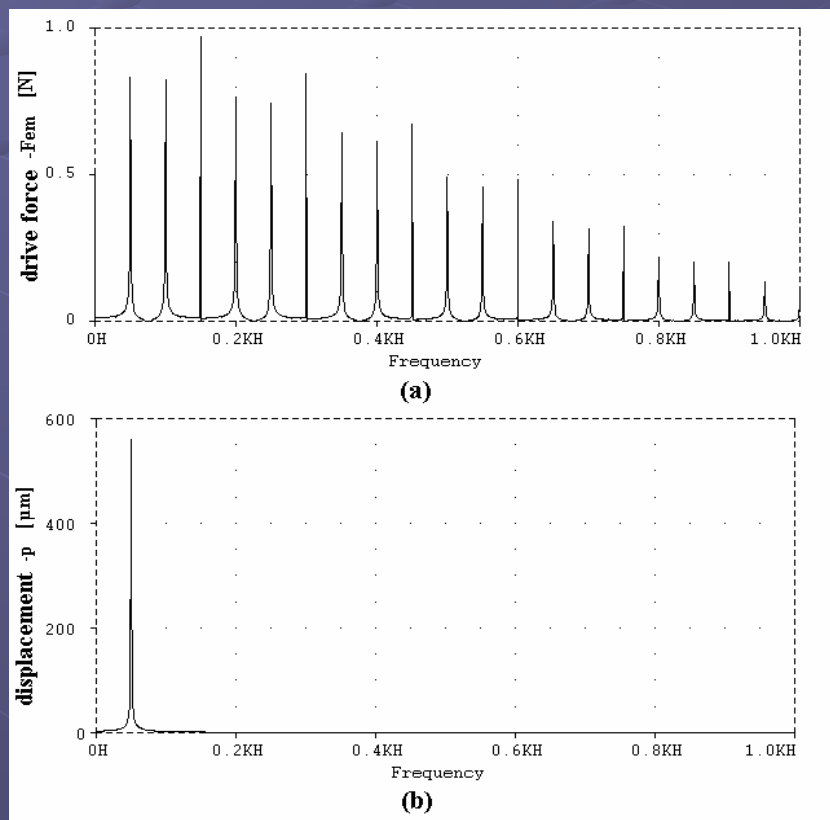


(a)- pobudna sila
(b)-pomeraj



Talasni oblik pobudne elektromagnetne sile

(a)-grafički harmonijski prikaz
(b)-analitički oblik



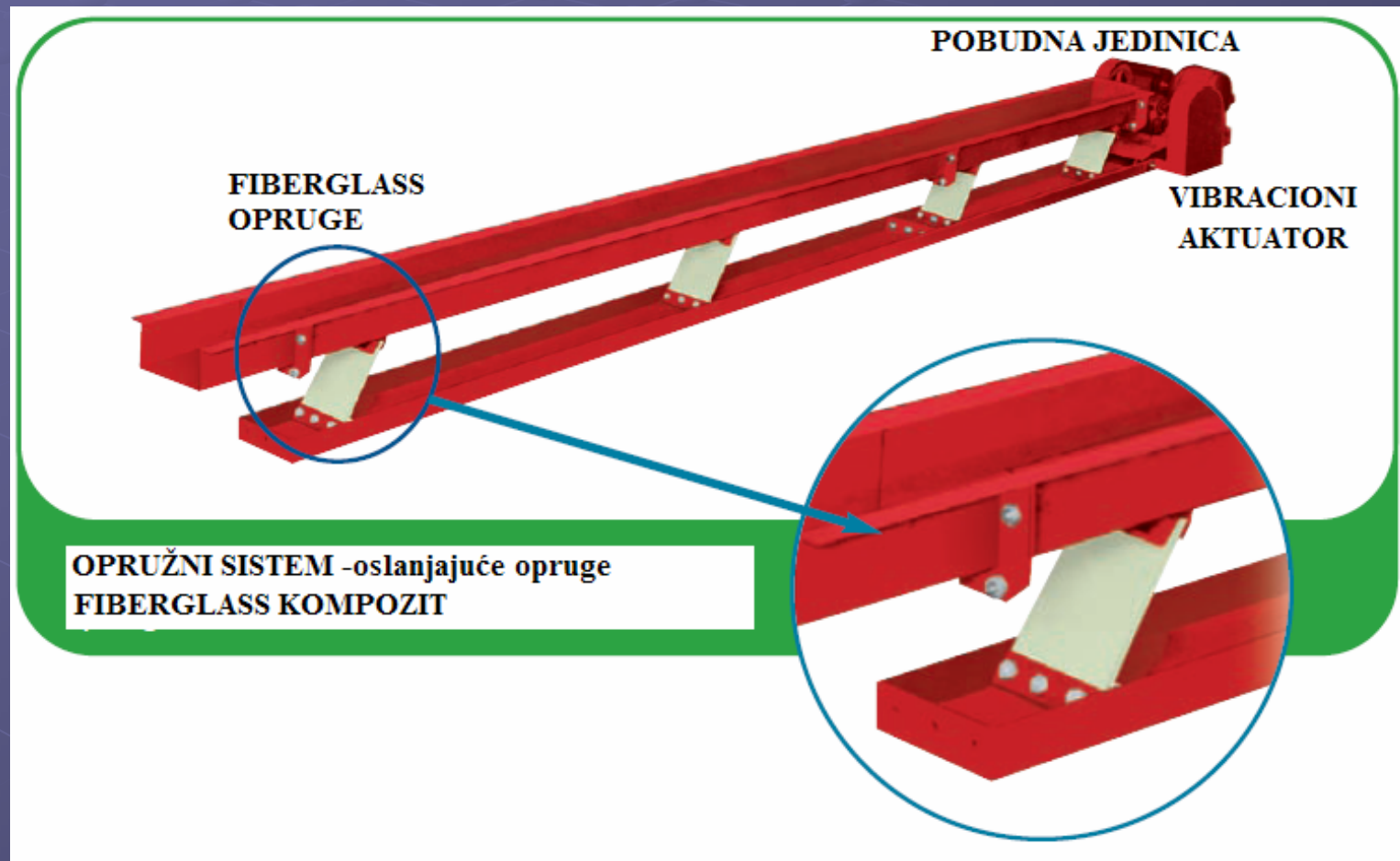
Furijeovi spektri pri trougaonoj strujnoj pobudi

(a)- pobudna sila
(b)-pomeraaj

TROUGAONA POBUDA-veći broj viših harmonika pobudne sile

HARMONICI: f_0 , $2f_0$, $3f_0$ $20f_0$ (prvih 5 su dominantni)

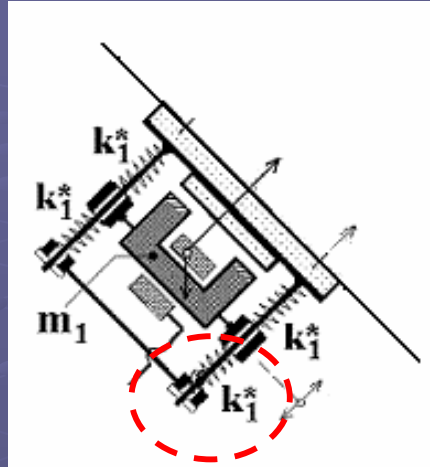
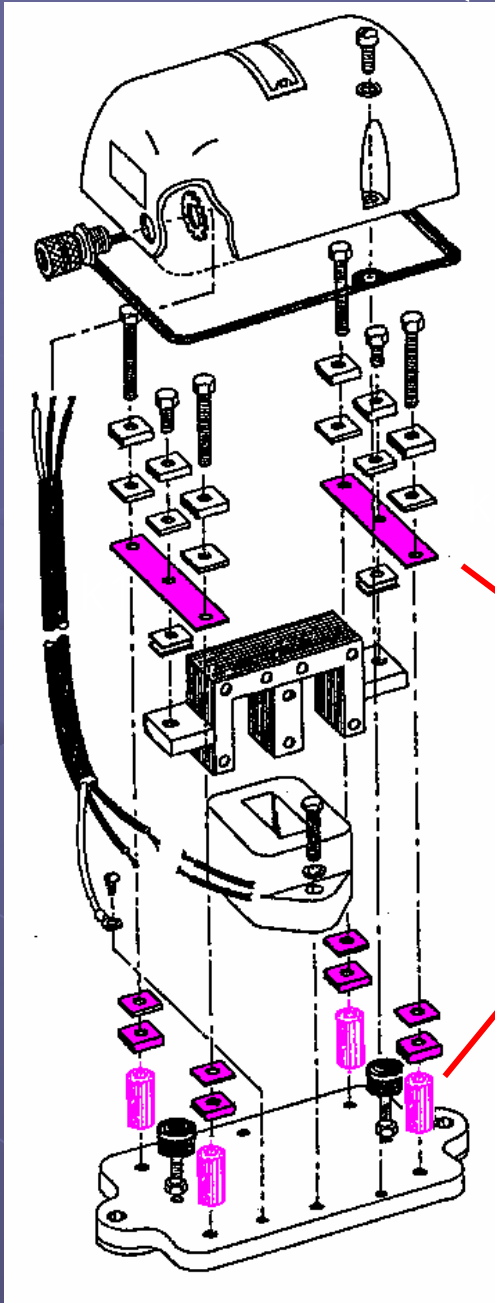
GUBITCI U OPRUGAMA SU ZNAČAJNI (veliki problem kod čeličnih slojevitih opruga), **ALTERNATIVA: FIBERGLASS KOMPOZITI**



50Hz→3000 osc/min→180 000 osc/h→ $0.5 \cdot 10^6$ osc/ dan (srednja vrednost)

GODIŠNJI BROJ CIKLUSA $180 \cdot 10^6$ ciklusa

PROBLEM: DEGRADACIJA ELASTIČNIH ELEMENATA (opruga) kod vibracionih aktuatora



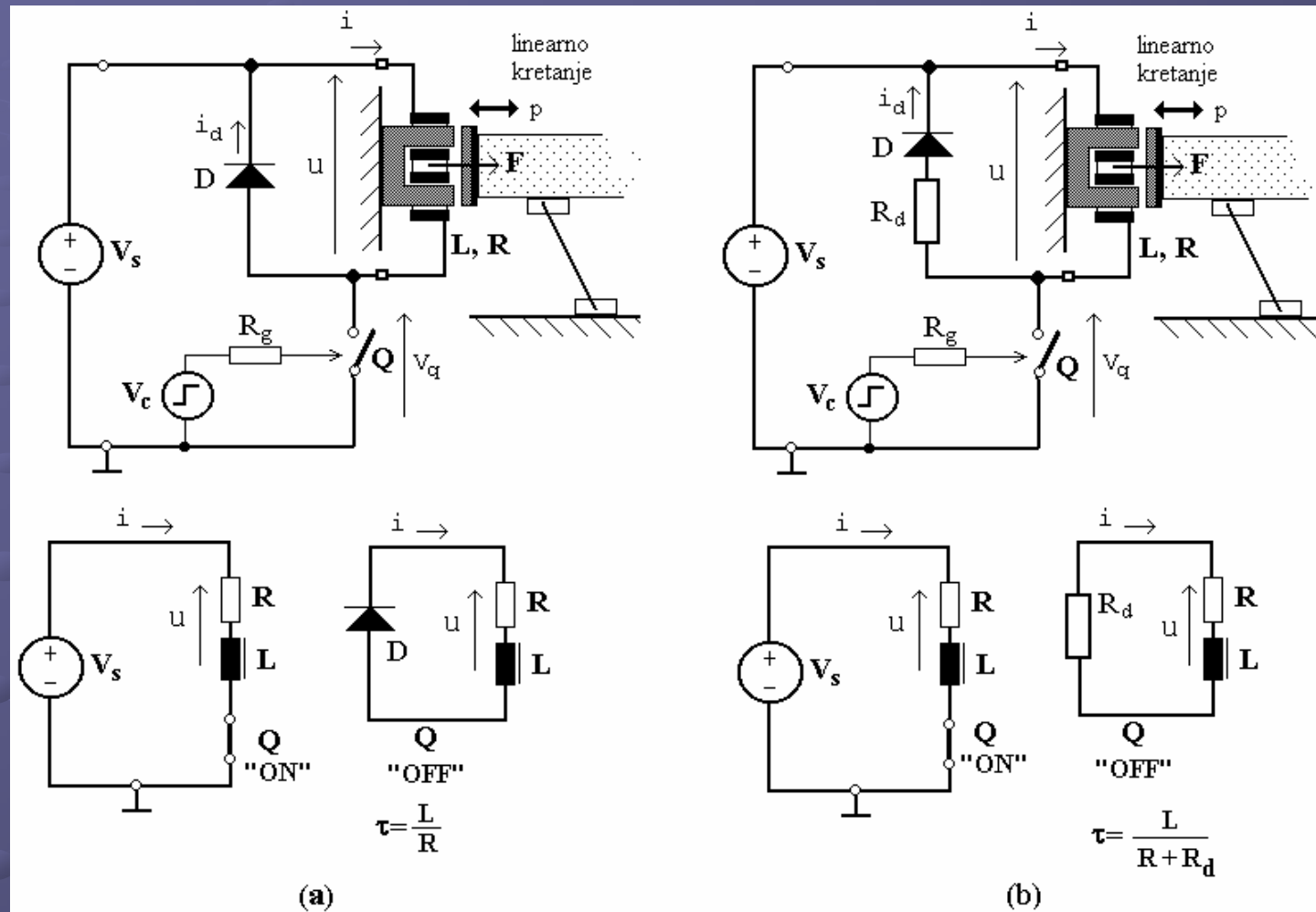
**BREAKING OF
SPRINGS!!!!**

**REŠENJE:
FIBERGLASS
OPRUGE**

100Hz → 6000 osc/min → 360 000 osc/h →
→ $1 \cdot 10^6$ osc/ dnevno (srednja vrednost)
GODIŠNJE $360 \cdot 10^6$ ciklusa

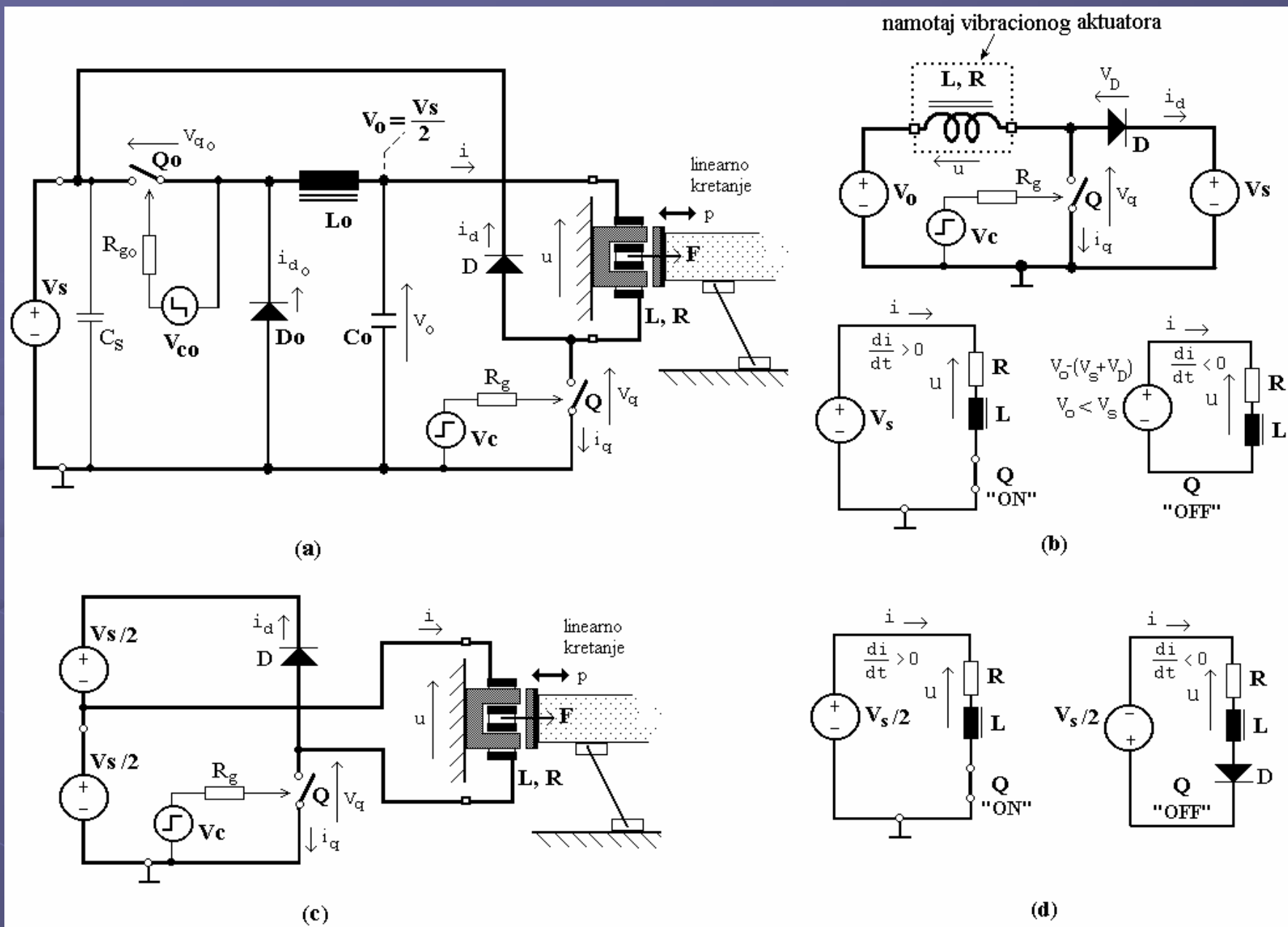
- drift of karakteristika opruga
- smanjenje krutosti k_1
- promena rezonantne učestanosti
- opadanje rezonantne učestanosti
- smanjenje amplitude oscilacija

TOPOLOGIJE PREKIDAČKIH PRETVARAČA U VIBRACIONOM TRANSPORTU



Topologija pretvarača sa jednim prekidačkim elementom i povratnom diodom;

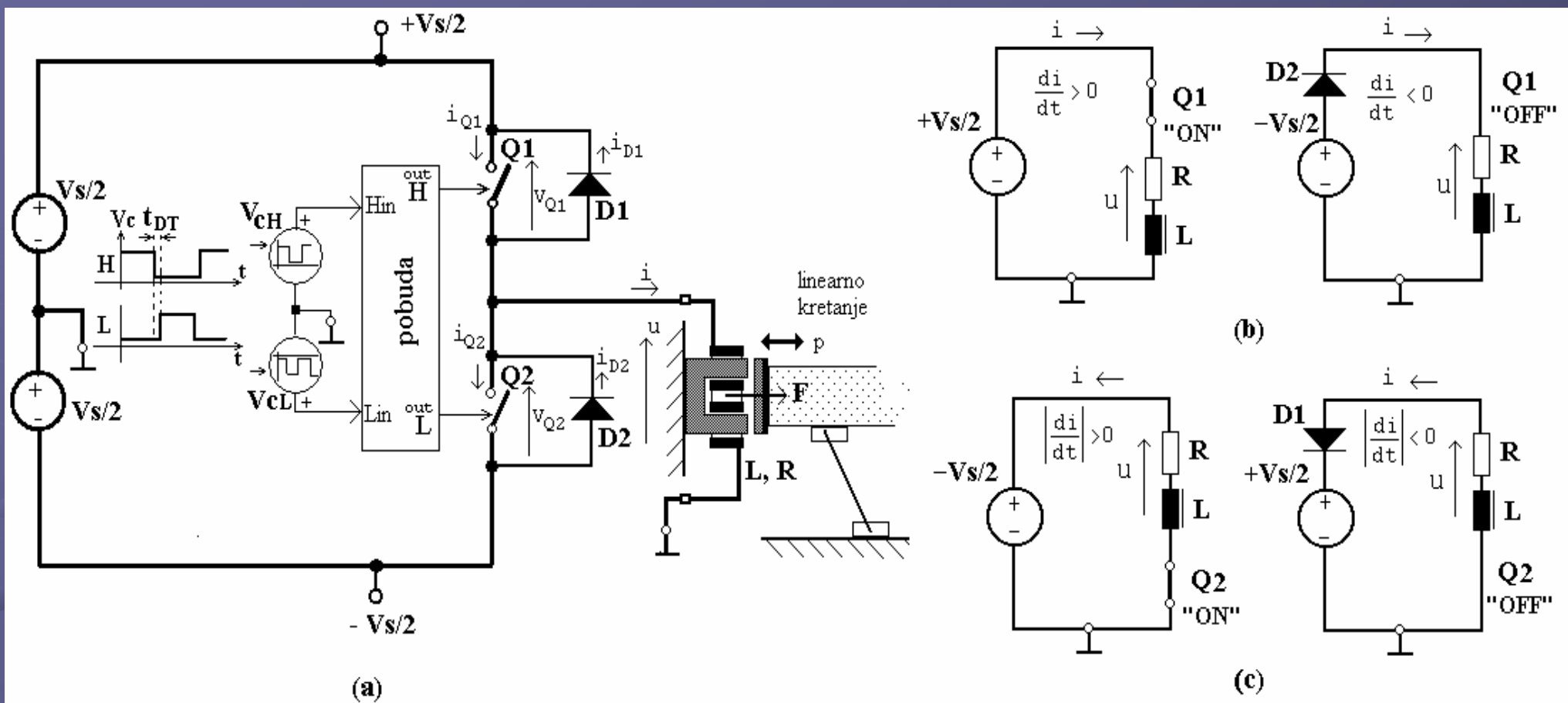
(a)-bez predotpora , (b)-sa predotporom



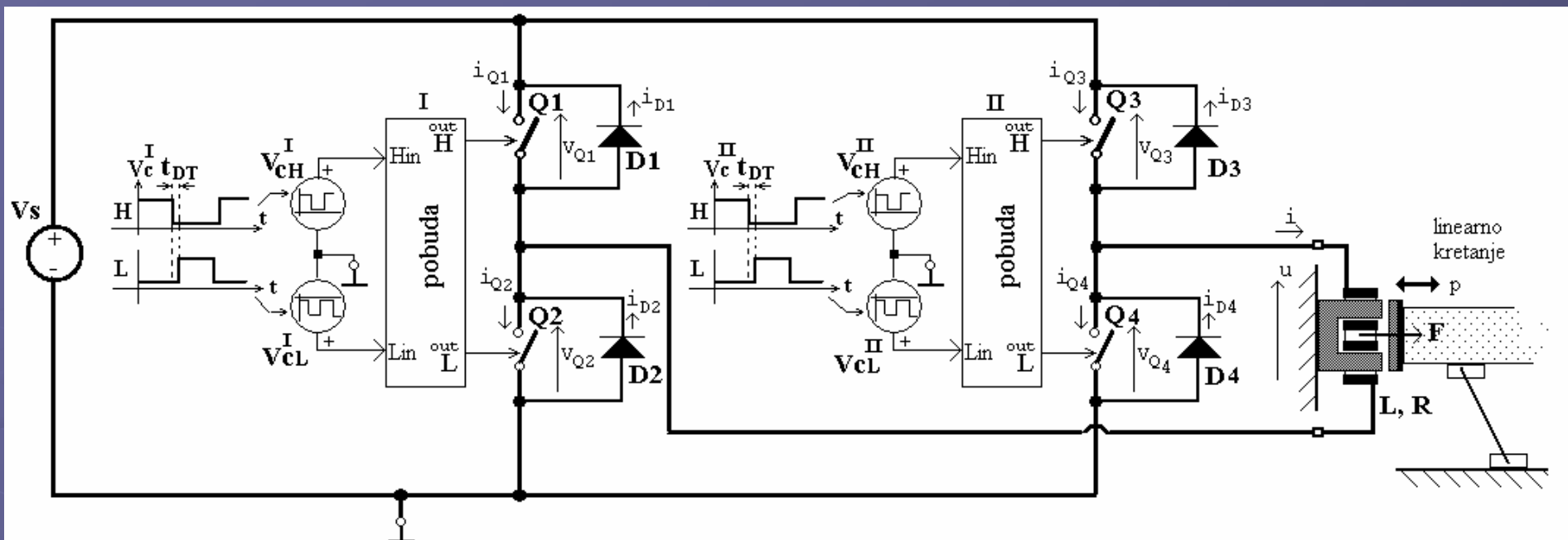
Topologija podizачa napona

(a)-sa podešljivim naponom $V_0 \rightarrow$ (b)-ekvivalentno kolo ,

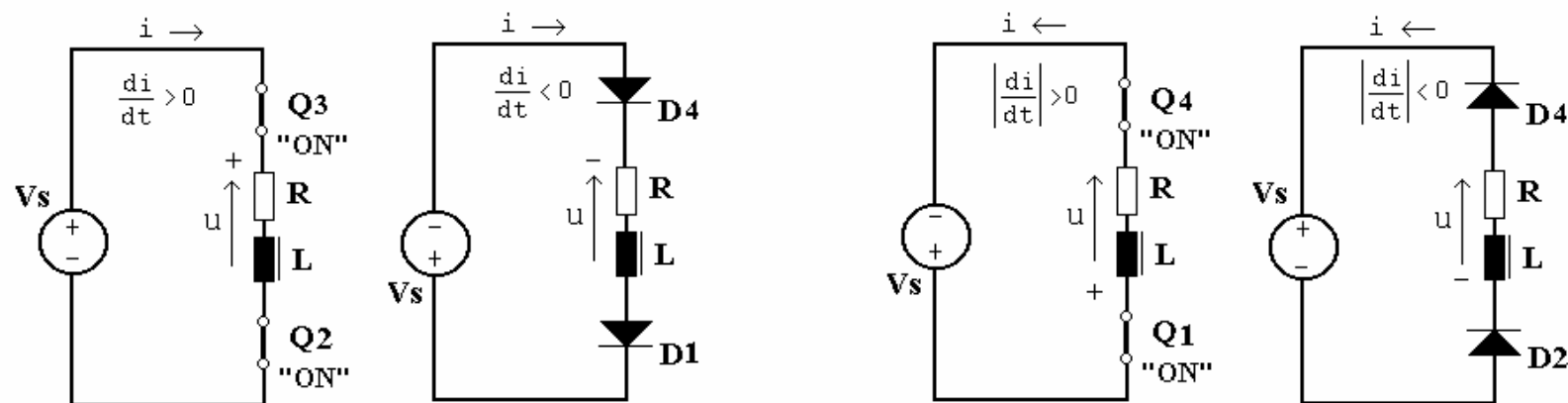
(c)-ekvivalentna topologija sa simetričnim fiksnim naponima $\rightarrow$ (d)-ekvivalentno kolo



Topologija sa prekidačkim polumostom;(a)-osnovno kolo, (b)-stanje u kolu tokom porasta struje namotaja aktuatora , (c)- stanje u kolu tokom opadanja struje namotaja aktuatora



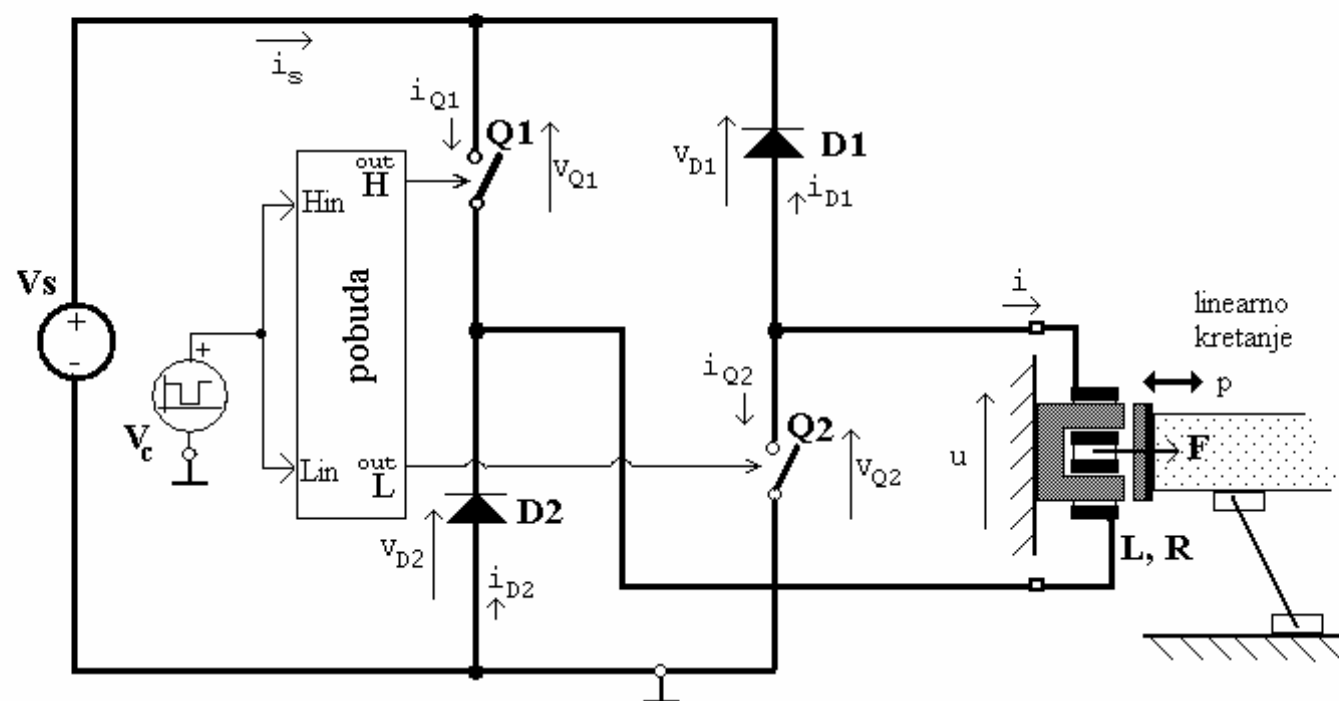
(a)



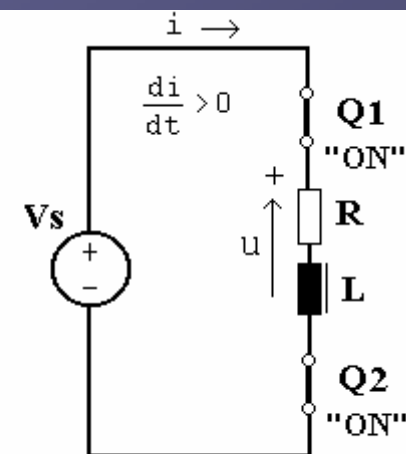
(b)

(c)

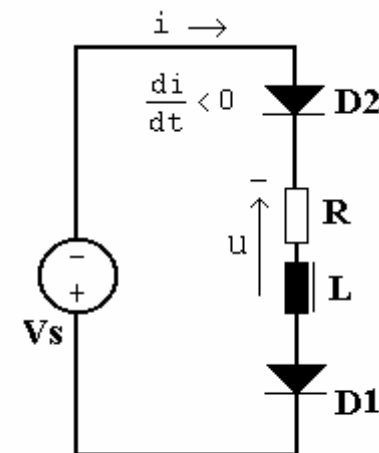
Topologija sa prekidačkim punim mostom; (a)-osnovno kolo;
 (b)- stanje u kolu kad se generiše pozitivan strujni polutalas,
 (c)- stanje u kolu kad se generiše negativan strujni polutalas



(a)



(b)



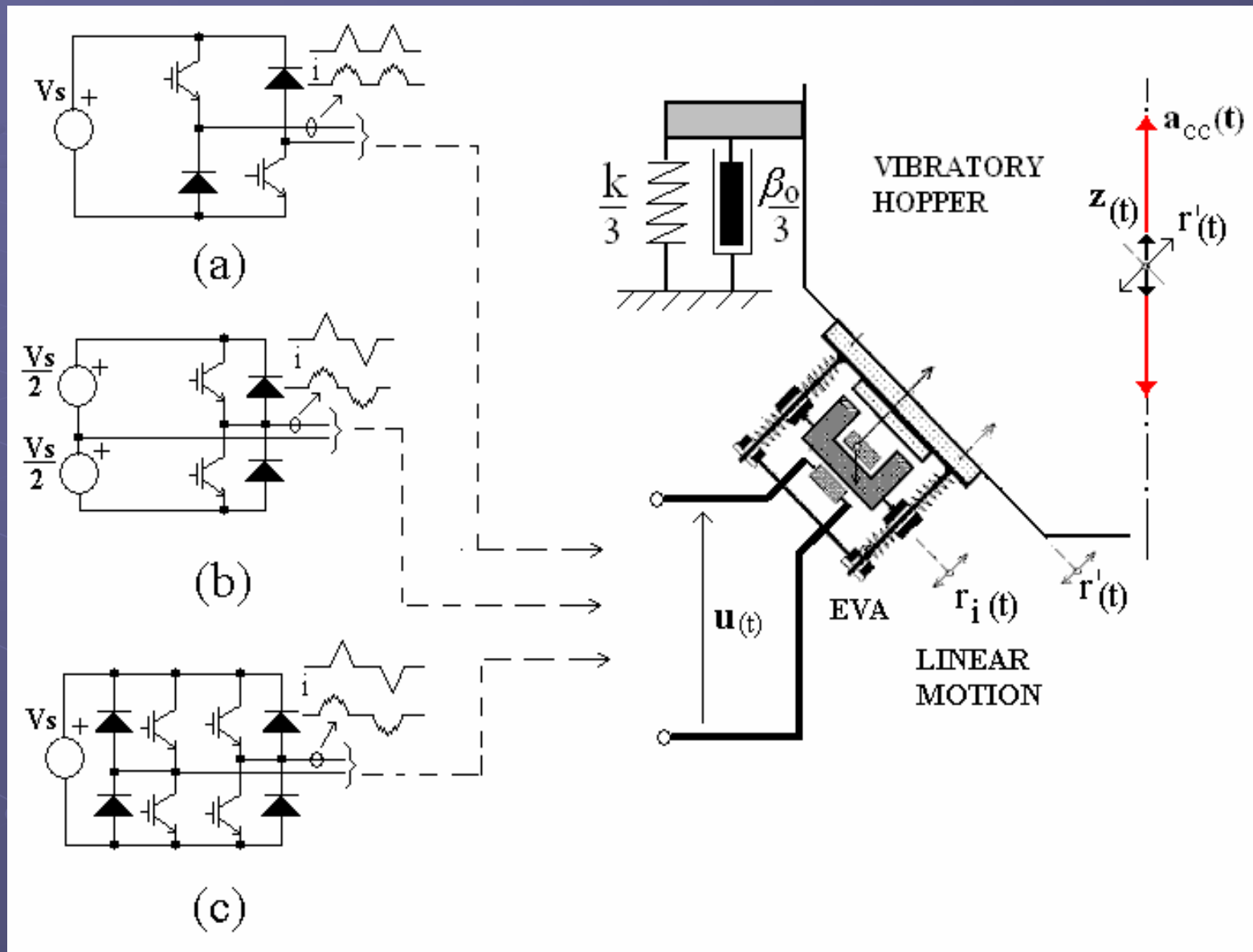
(c)

Topologija sa prekidačkim asimetričnim polumostom;

(a)-osnovno kolo;

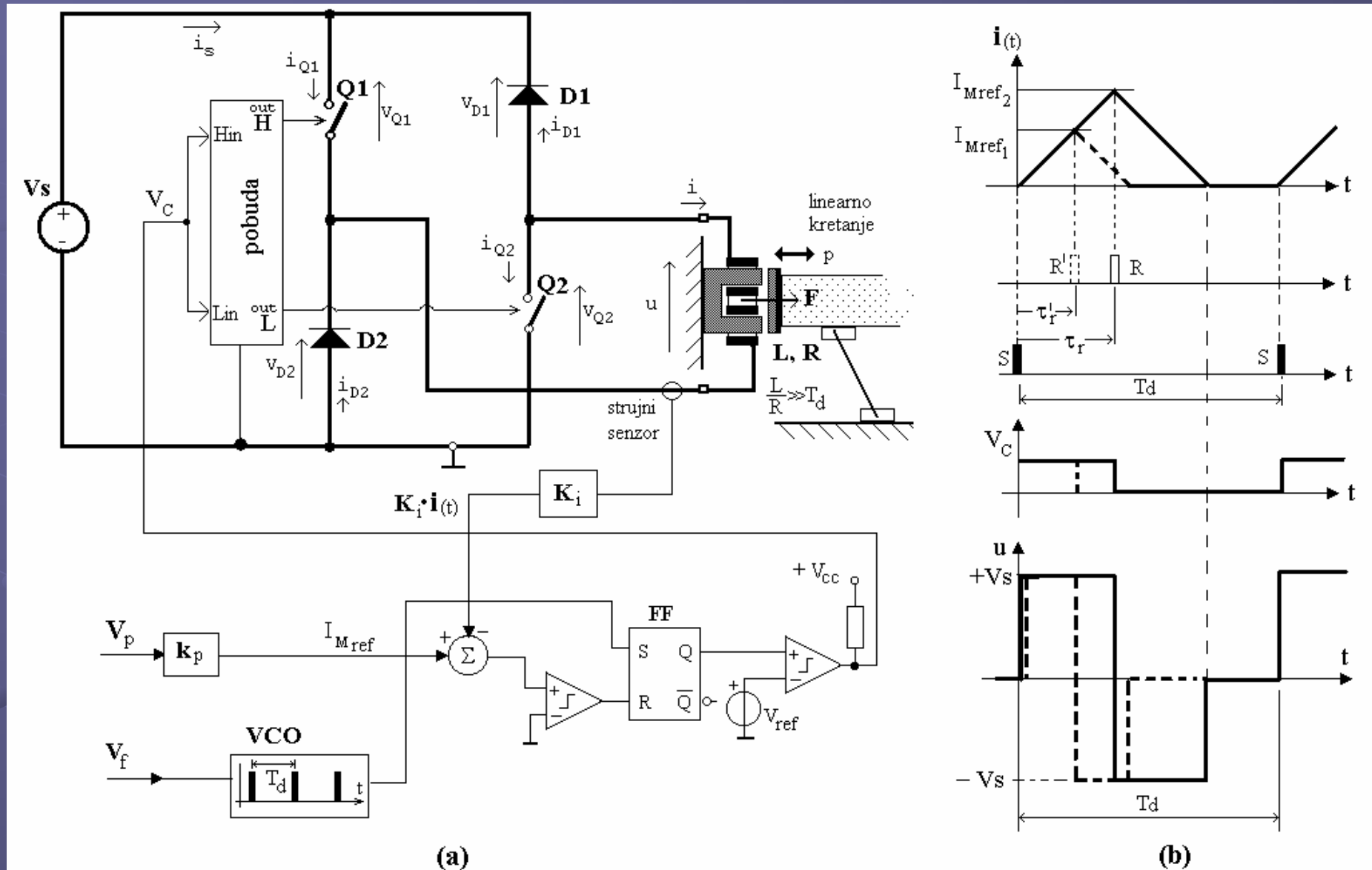
(b)-stanje u kolu pri porastu struje, (c)-stanje u kolu pri opadanju struje

PREKIDAČKI PRETVARAČI ZA POBUDU ELEKTROMAGNETNIH AKTUATORA VIBRACIONIH LEVKOVA

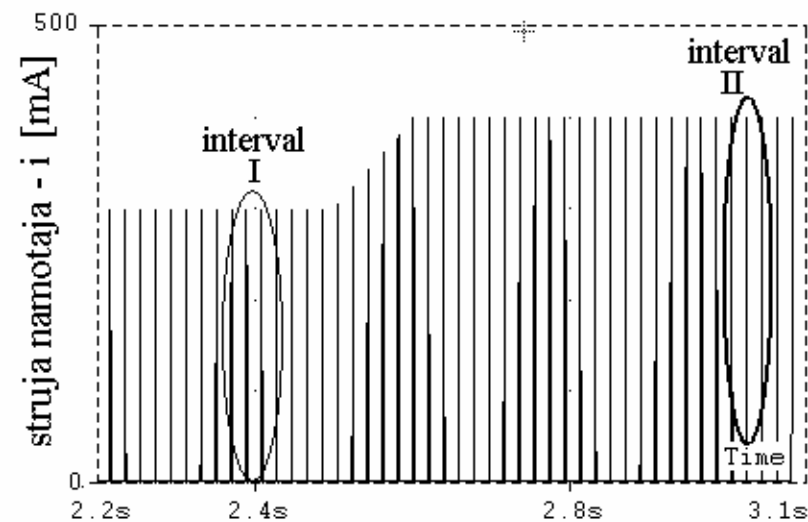
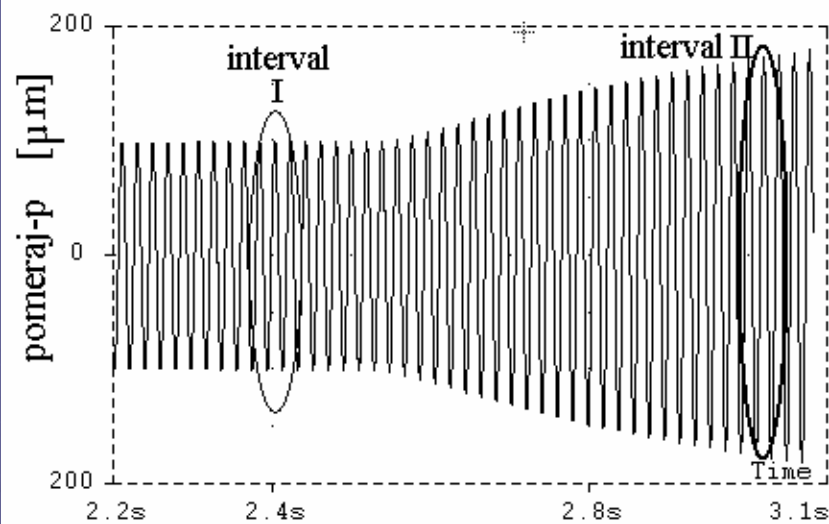


(a) two switch forward, (b) symmetric half-bridge, (c) full-bridge

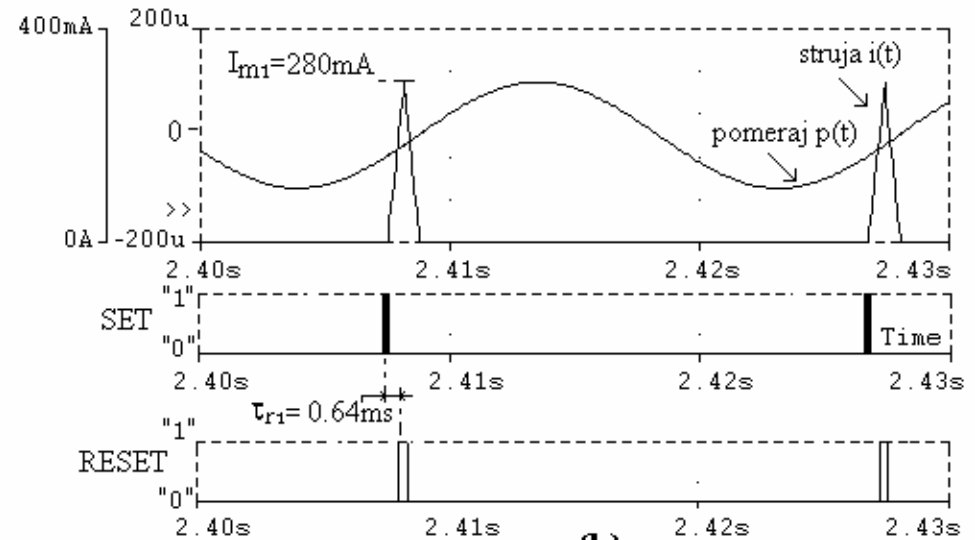
Strujna kontrola – generisanje trougaone struje EVA



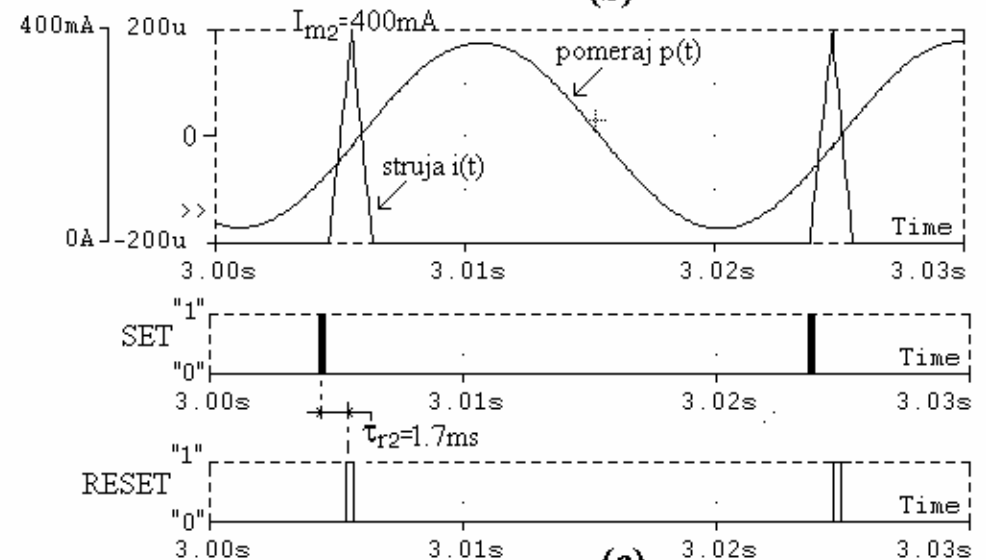
Upravljačko kolo koje obezbeđuje kontrolu trougaonog sinusnog polutalasa;
(a)-principska šema, (b)-talasni oblici



(a)



(b)

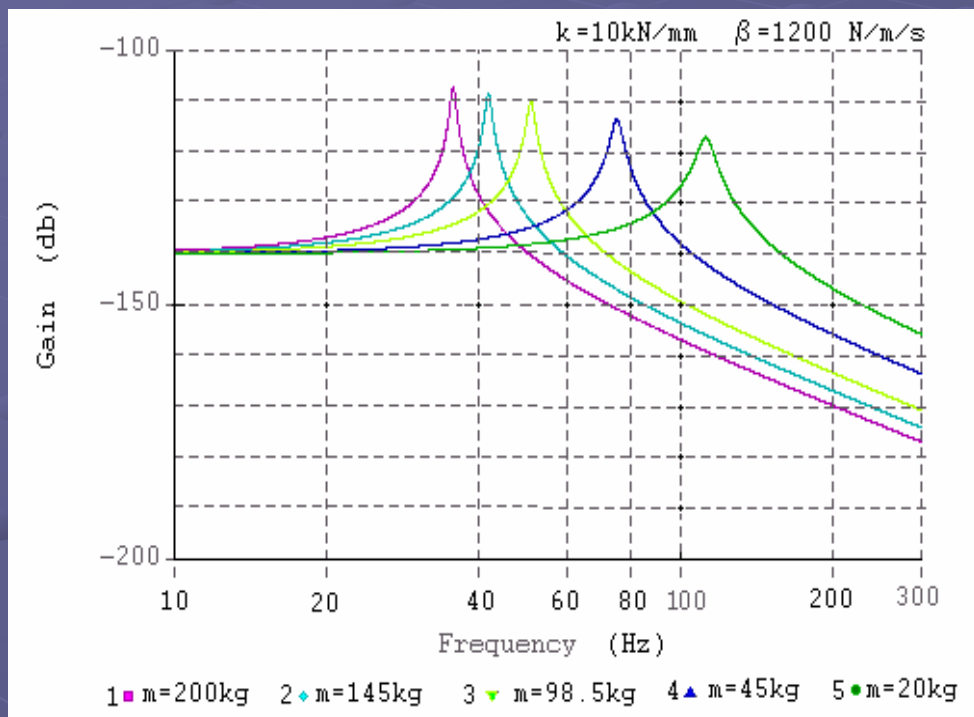


(c)

Uticaj promene referentne vrednosti amplitude trougaonog strujnog polutalasa na izlazni hod;

(a)-talasni oblici izlaznog hoda i struje aktuatora ; (b)-detaljni prikaz *intervala I* ,
(c)-detaljni prikaz *intervala II*

APLITUDSKA i FREKVENTNA KONTROLA VIBRACIONOG TRANSPORTA



Frekventne karakteristike jednog realnog vibracionog transportera **sa promenljivim masenim opterećenjem**

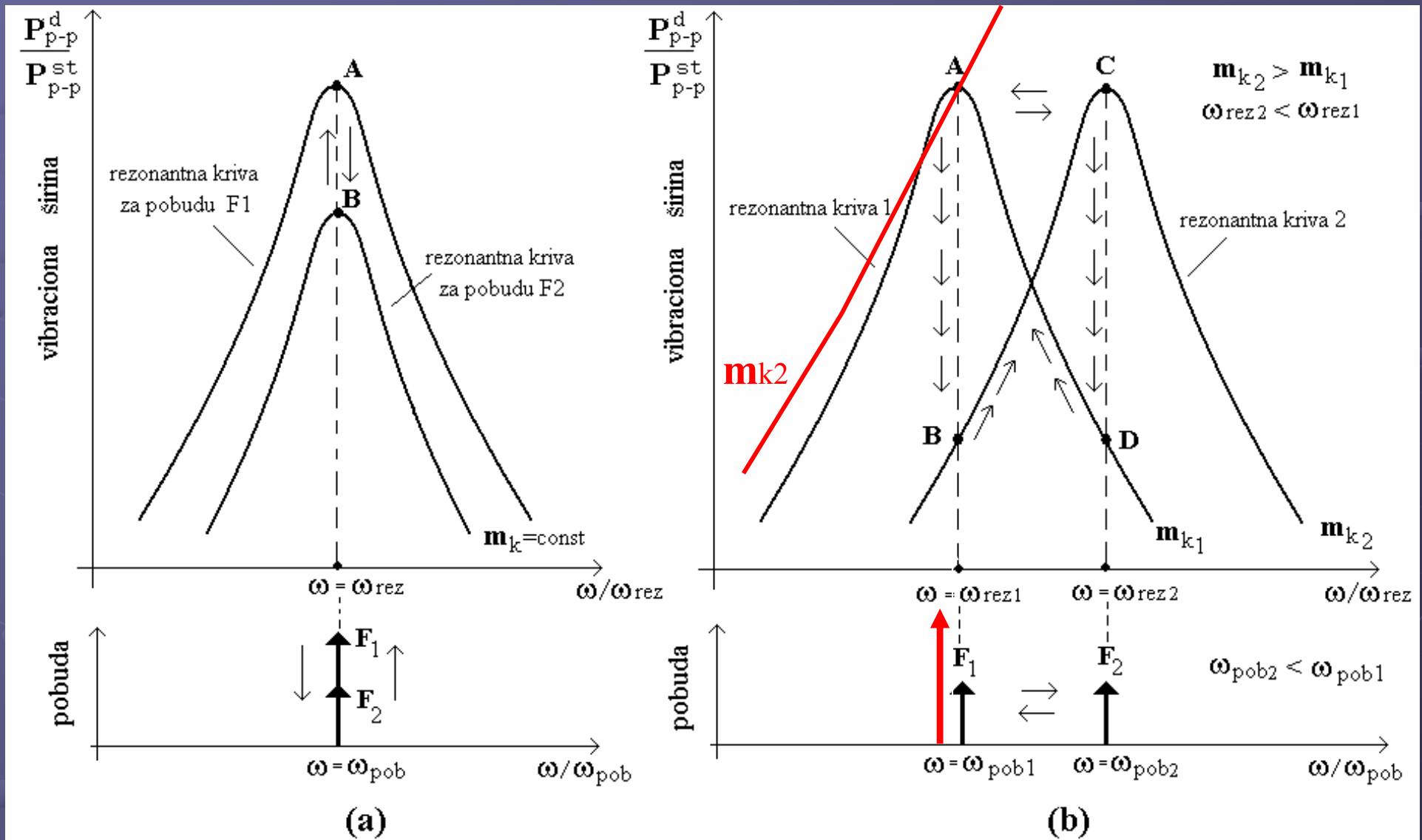
zahtevi

- Usklađivanje između prijema i predaje transportujućeg materijala
- Kompenzacija promene masenog opterećenja transportera
- Kompenzacija promene **mehaničkih parametara** sistema

starenje,
zamor materijala opruga
promena mase

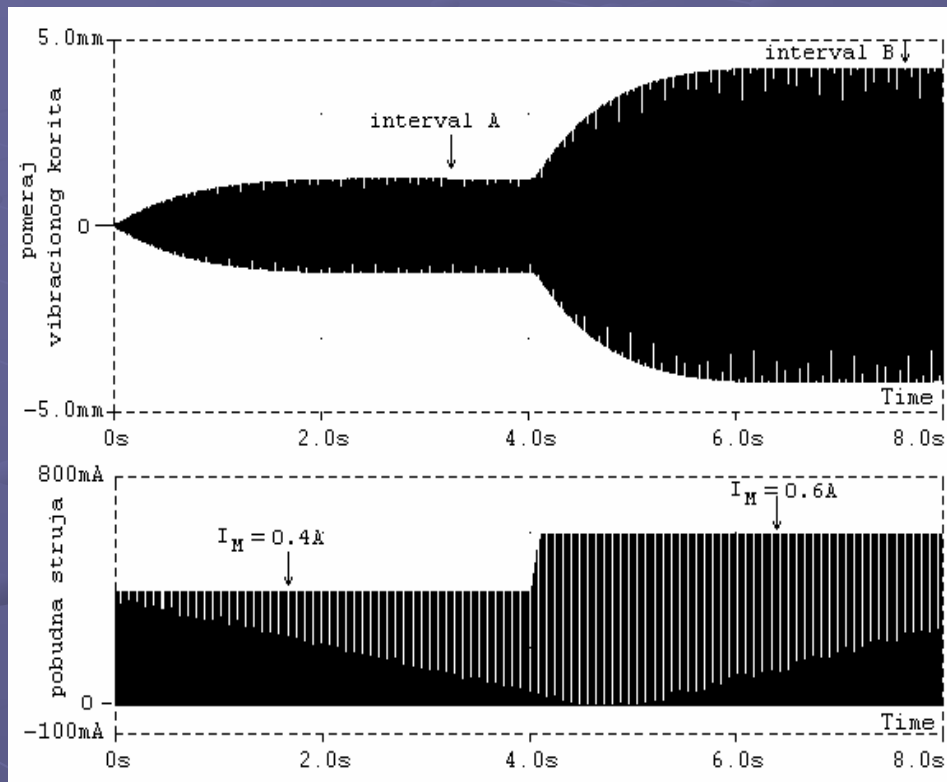
- Aktivno prigušenje
- Ušteda električne energije

Promena AF karakteristike vibracionog transportera

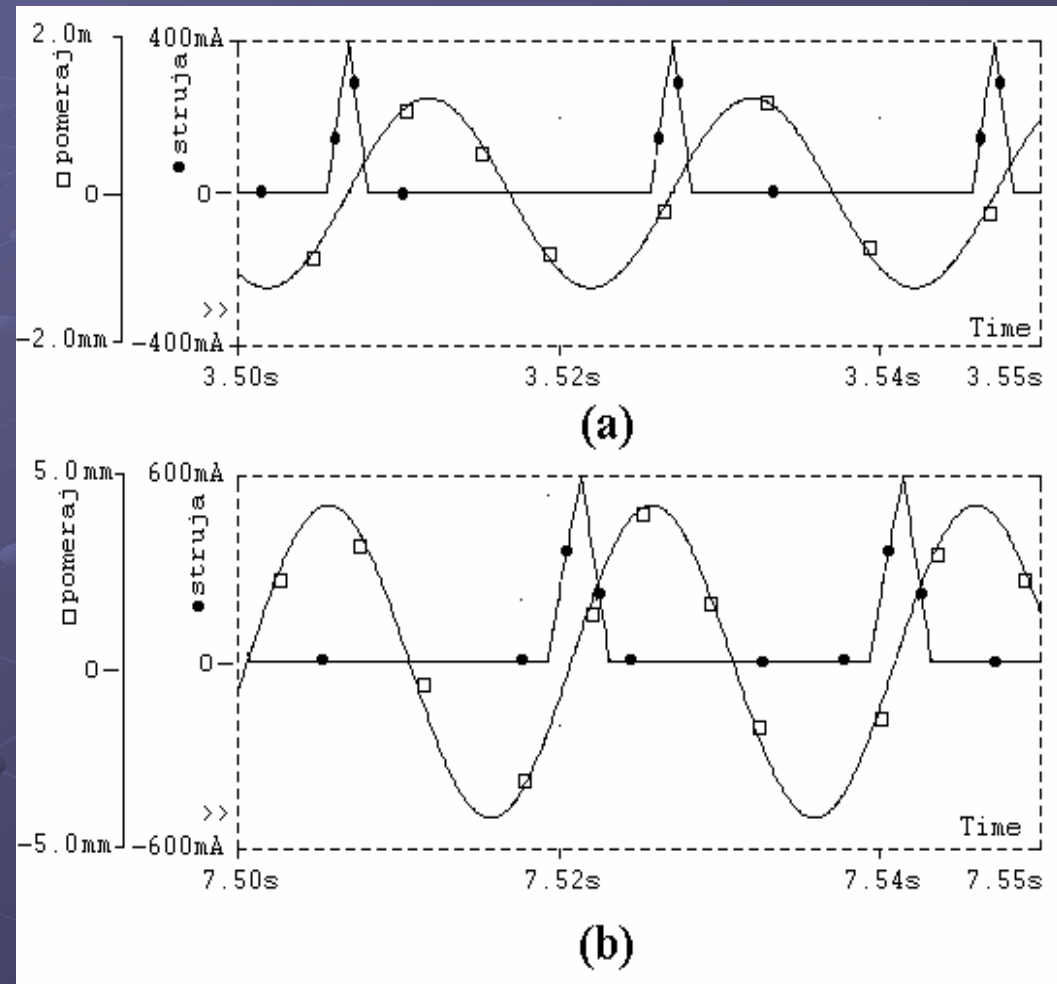


(a)-amplitudska kontrola, (b)-frekventna kontrola

SIMULACIJA AMPLITUDSKE KONTROLE



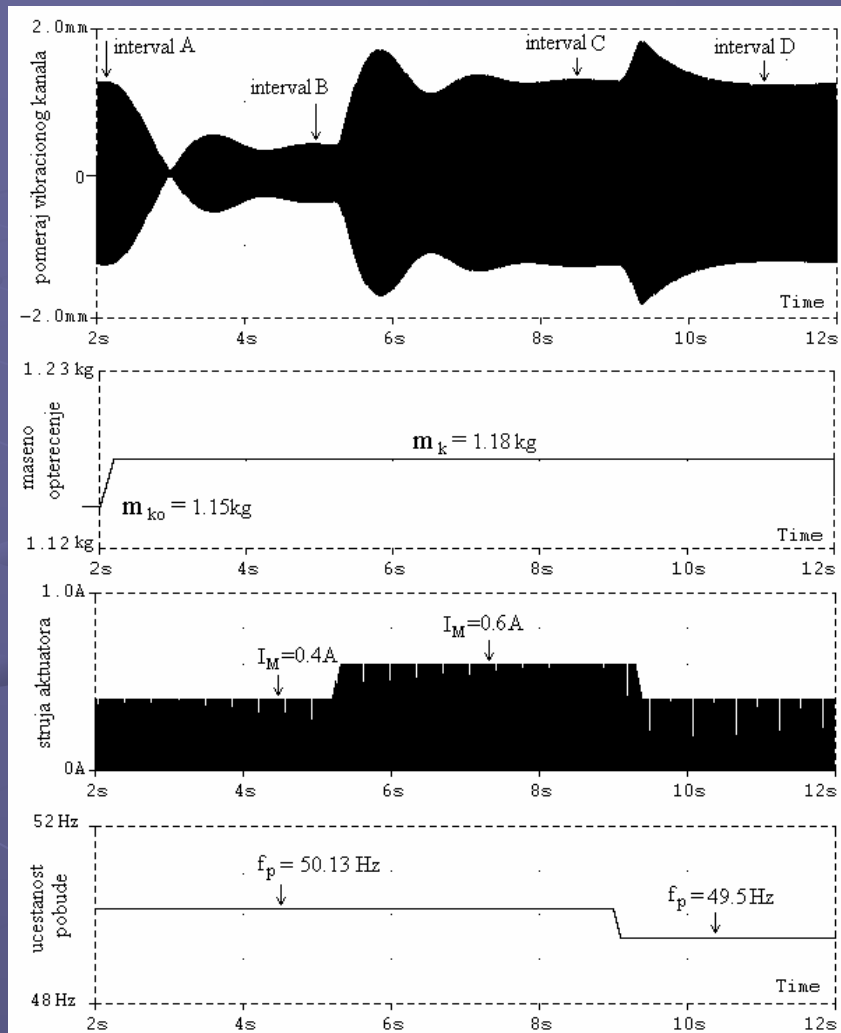
Podešavanje amplitude
oscilacija rezonantnog
transportera posredstvom
struje aktuatora



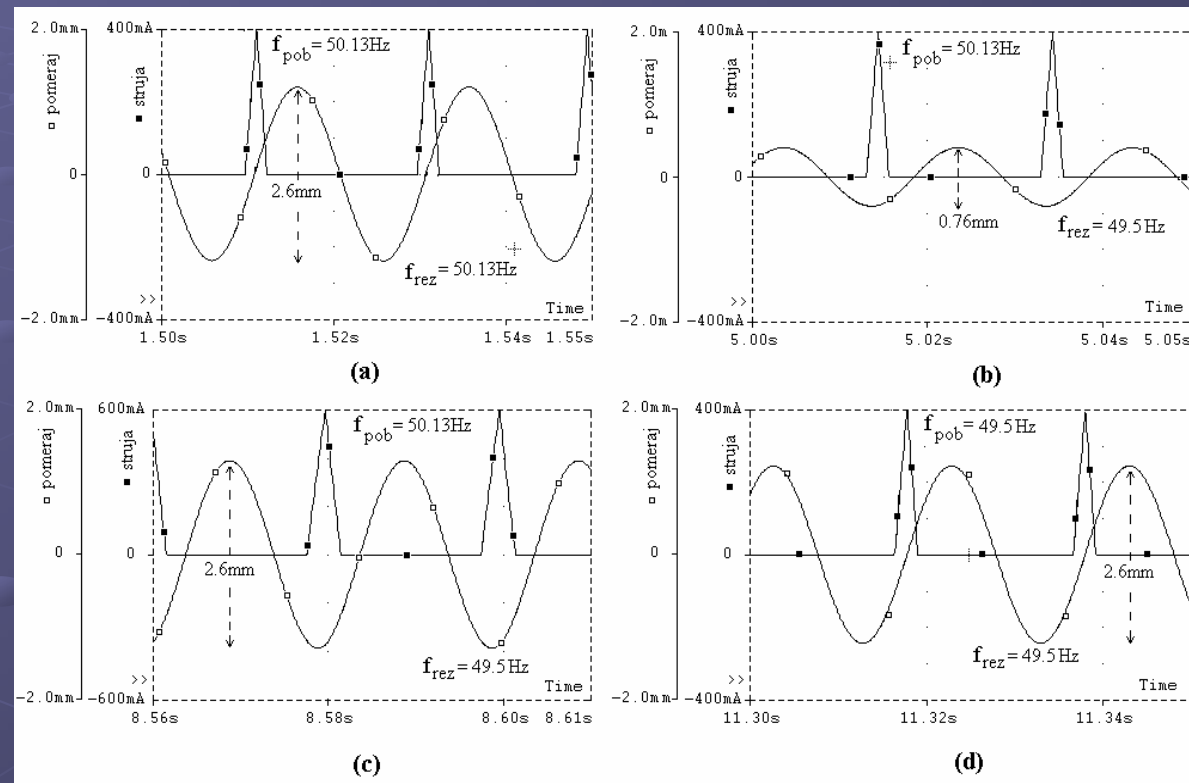
Detaljni prikaz

(a)- interval A, (b)-interval B

SIMULACIJA FREKVENTNE KONTROLE



Podešavanje učestanosti oscilacija rezonantnog transportera posredstvom struje aktuatora



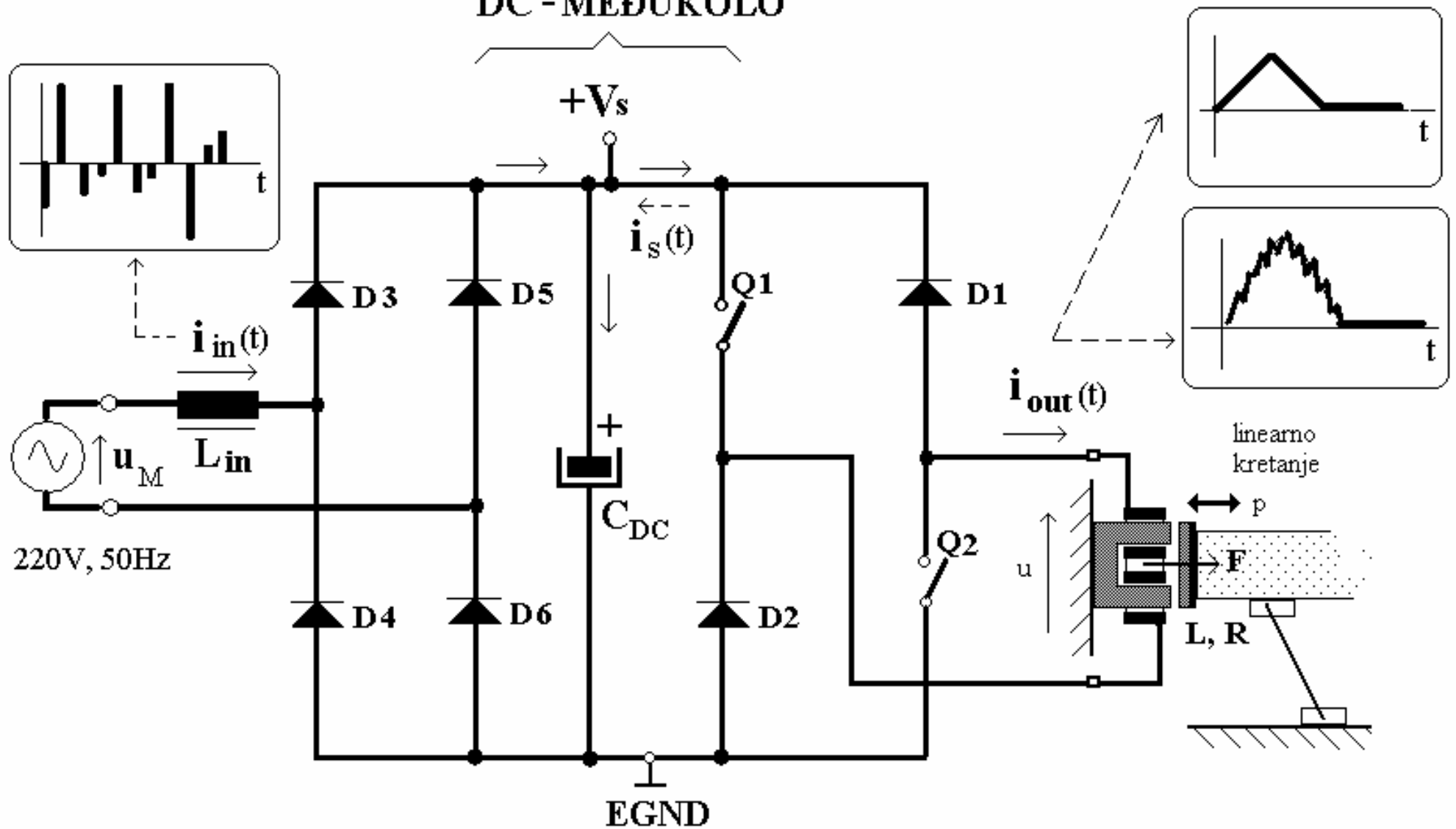
Detaljni prikaz

(a)- interval A, (b)-interval B, (c)-interval C, (d)-interval D.

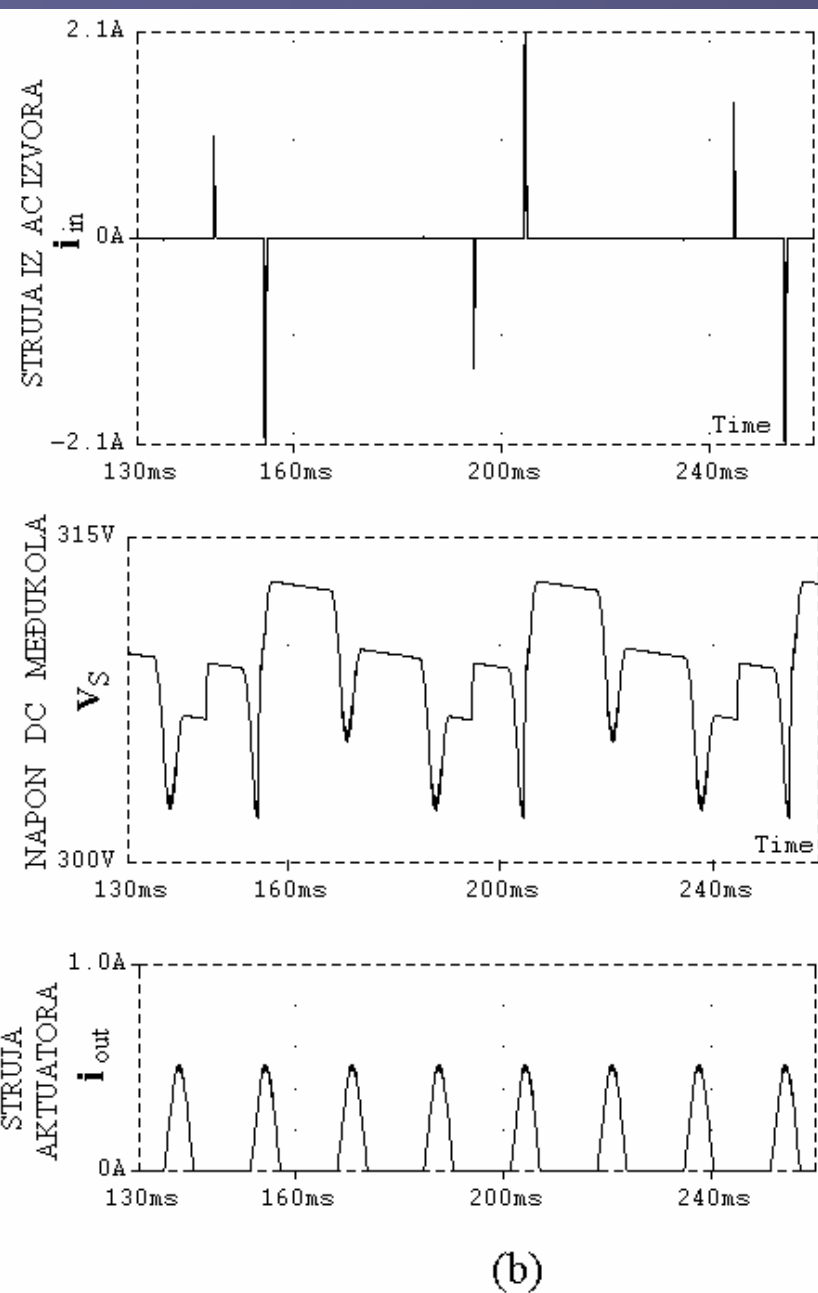
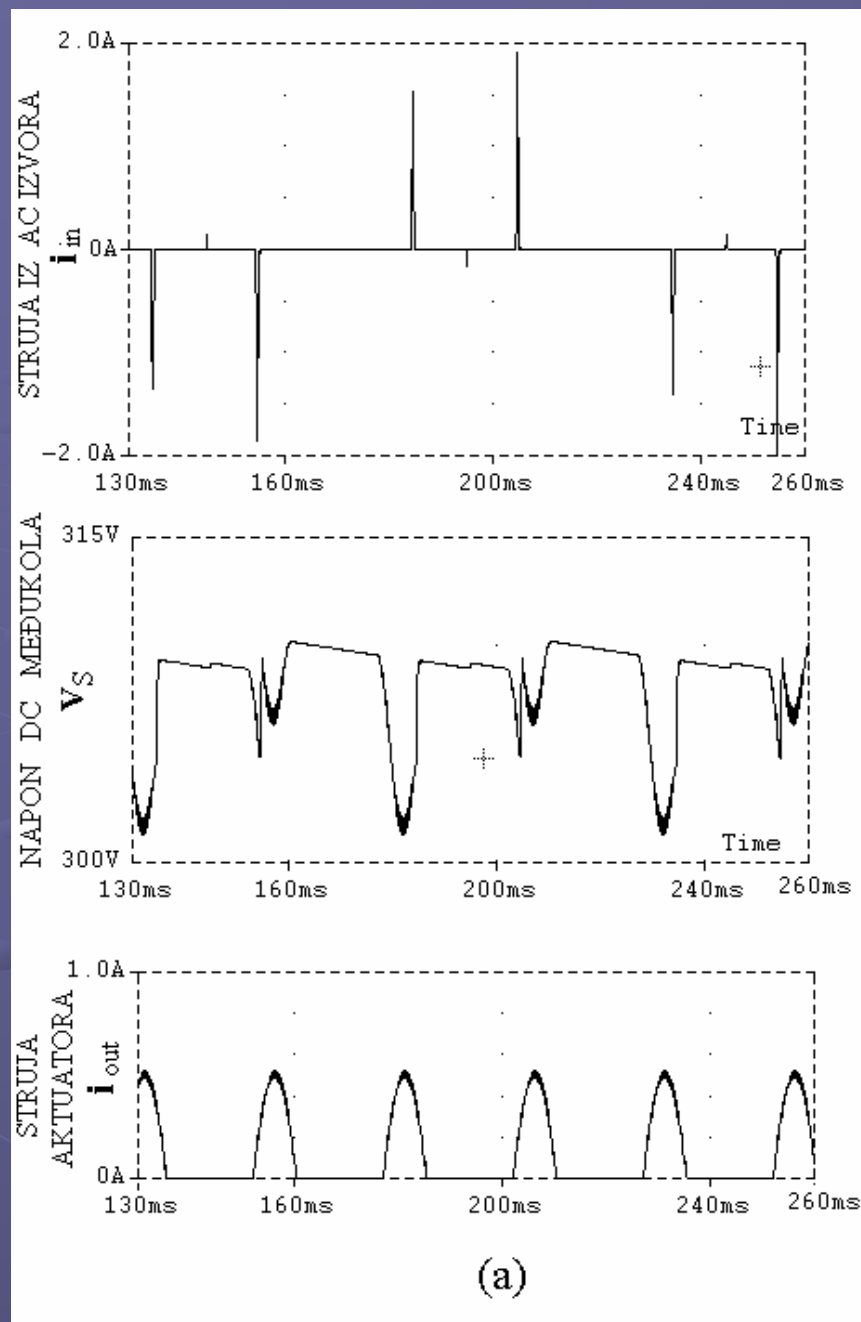
UTICAJ VIBRACIONO-TRANSPORTNIH POGONA (VTP) NA NAPOJNU MREŽU 50Hz

- **Tiristorski unidirekcionni pretvarači** imaju **jako loš faktor snage**, generišu jednosmernu komponentu struje i više harmonike koji se prenose u napojnu mrežu i **nepovoljno utiču na rad ostalih potrošača**.
- Povoljnija situacija se ima u slučaju bidirekcionnih pretvarača (antiparalelna veza tiristora ili trijak).
- **Prekidački pretvarači** sa frekventnom i amplitudskom kontrolom zahtevaju jednosmerni napon napajanja (**diodni ispravljač + "banka" elektrolita**) → **jako loš faktor snage**.
- **Efekat na mrežu** je još **drastičniji** ukoliko se iz nje, posredstvom pretvarača napaja **veći broj transportera**.
- Upravo je u praksi to najčešći slučaj, pošto se iz tehnoloških razloga transportna linija "hrani" materijalom iz većeg broja transportnih uređaja.

DC - MEĐUKOLO

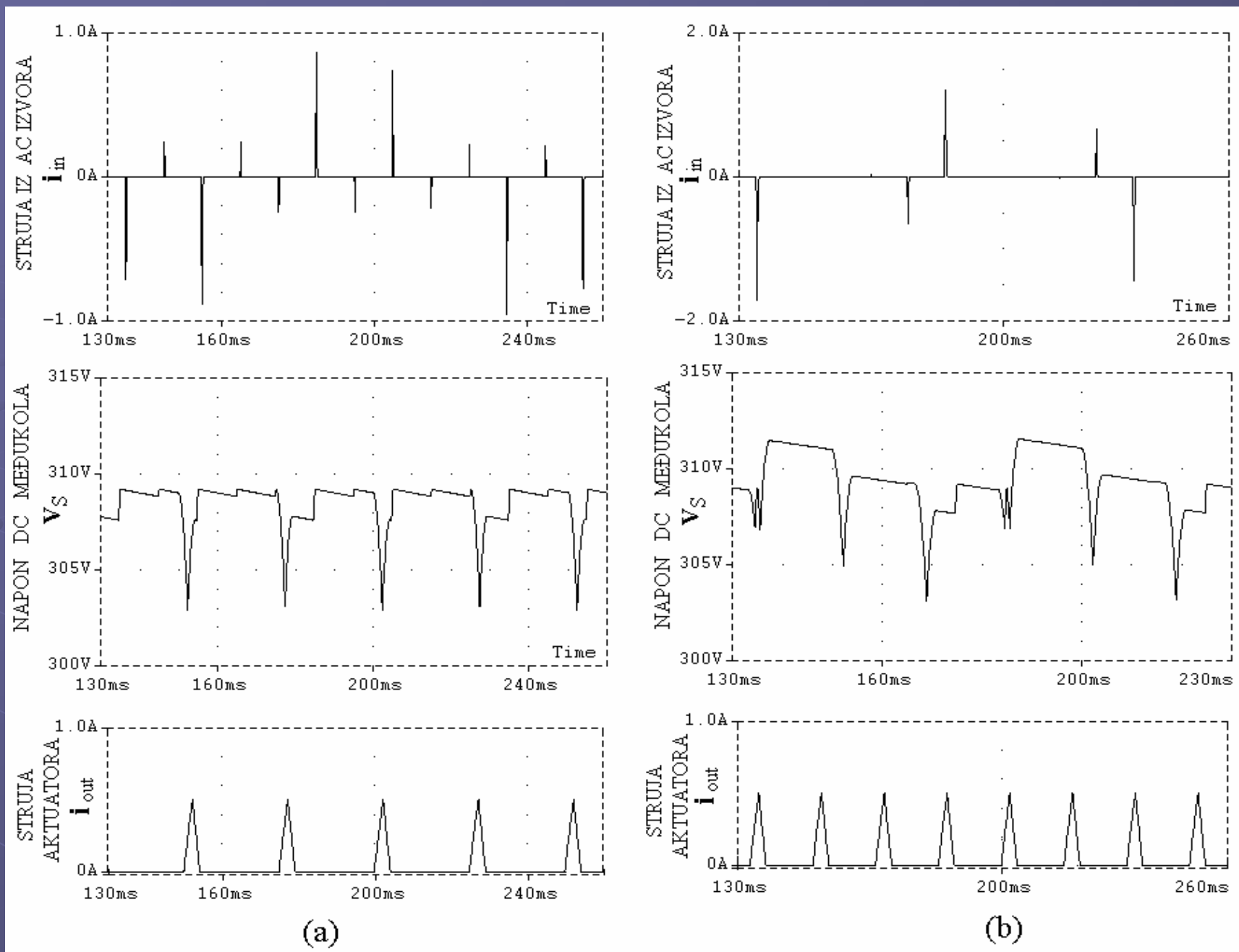


Simulaciono kolo pretvarača za pobudu elektromagnetnog aktuatora sa diodnim punotalasnim ispravljačem kao jednosmernim izvorom napajanja



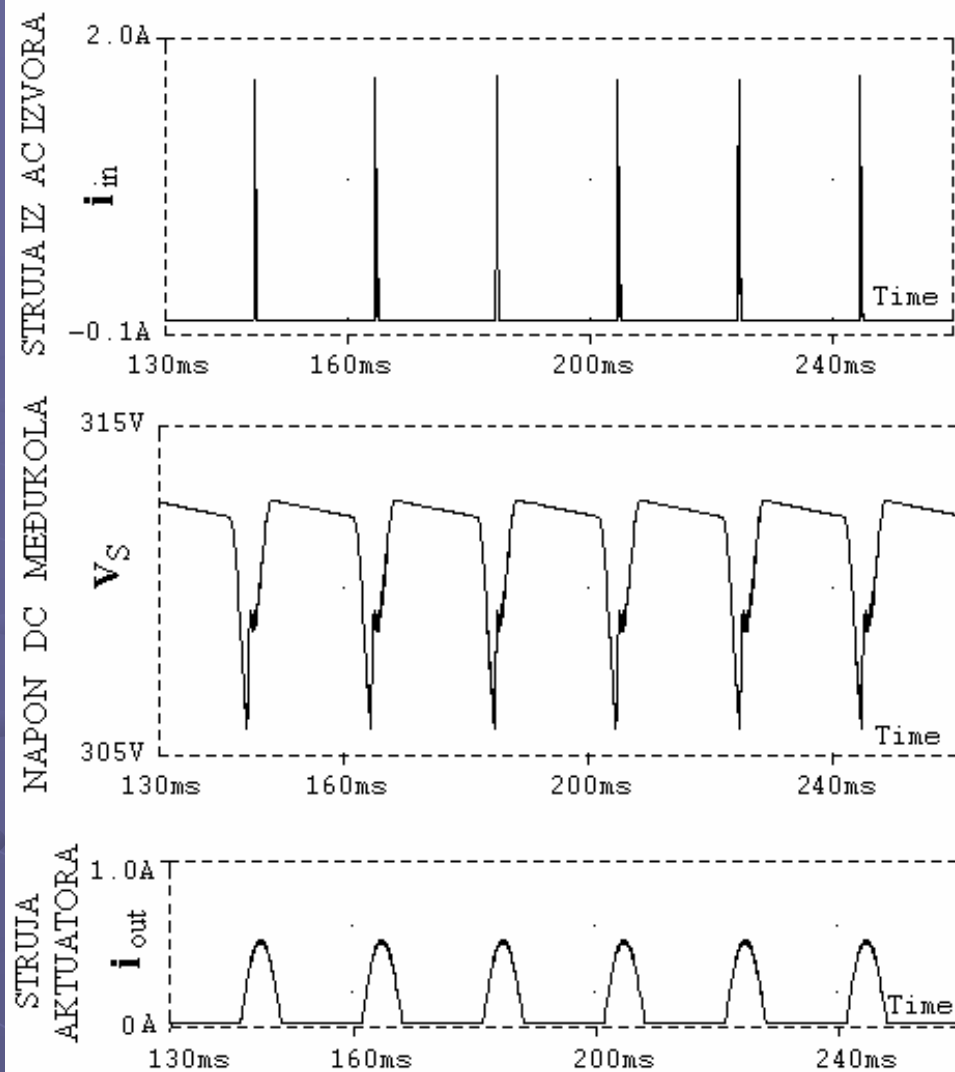
Simulacioni talasni oblici za slučaj sinusne strujne pobude

Pobudna učestanost izlaznog pretvarača (a)- $f_{pob} = 40Hz$ (b)- $f_{pob} = 60Hz$

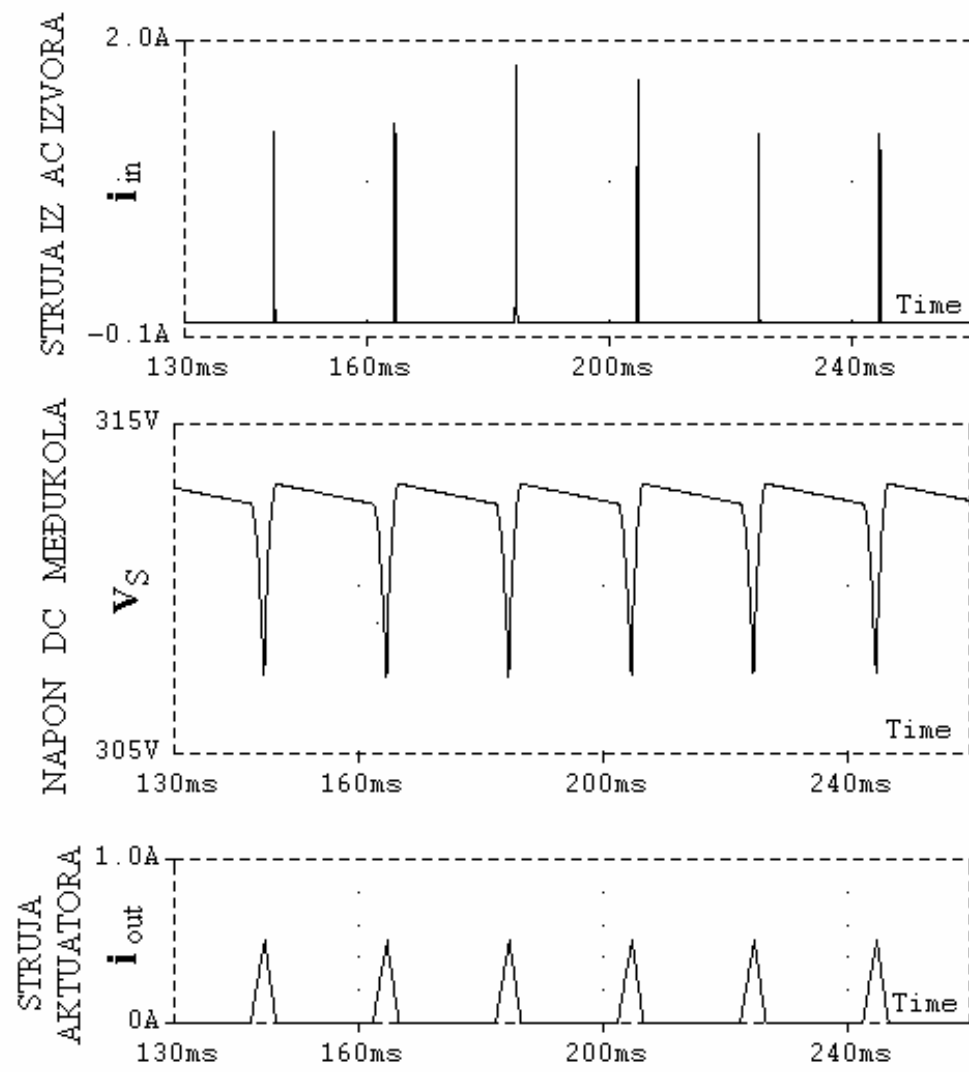


Simulacioni talasni oblici za slučaj sinusne strujne pobude

Pobudna učestanost izlaznog pretvarača (a)- $f_{pob} = 40\text{ Hz}$ (b)- $f_{pob} = 60\text{ Hz}$



(a)



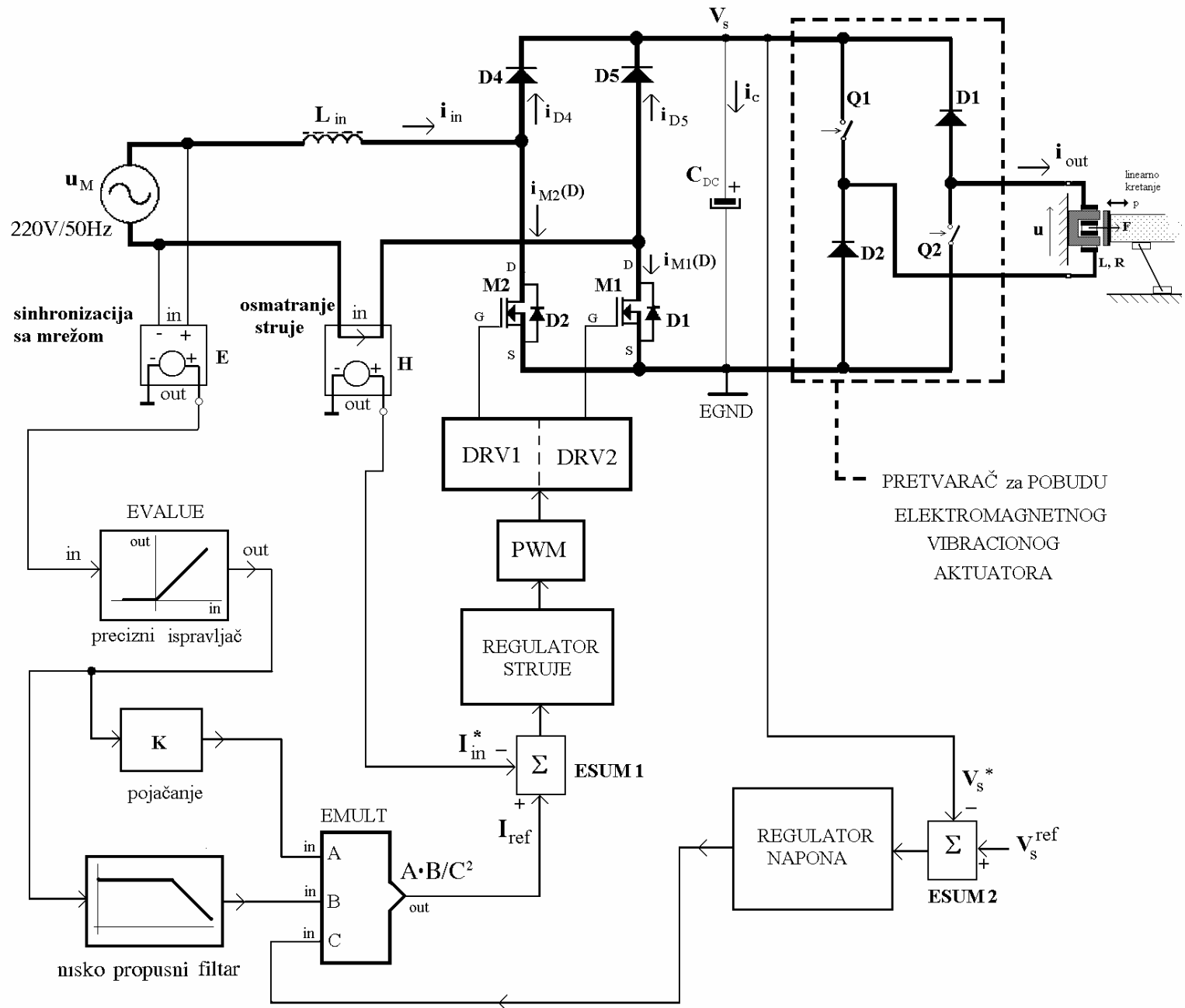
(b)

Simulacioni talasni oblici za slučaj $f_{pob} = 50Hz$

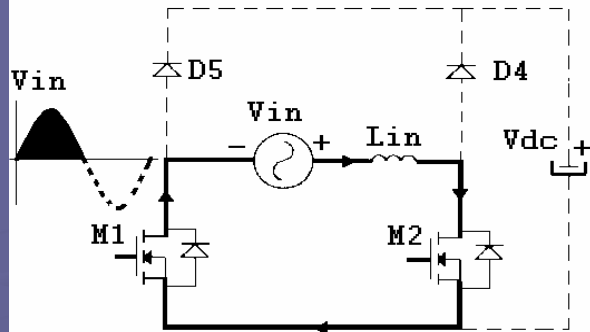
(a)-sinusna pobuda

(b)-trougaona pobuda

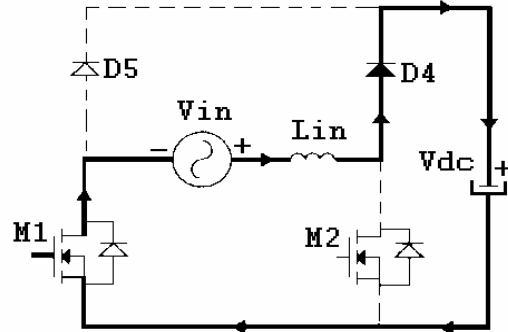
KOREKCIJA FAKTORA SNAGE U VIBRACIONO-TRANSPORTNIM POGONIMA



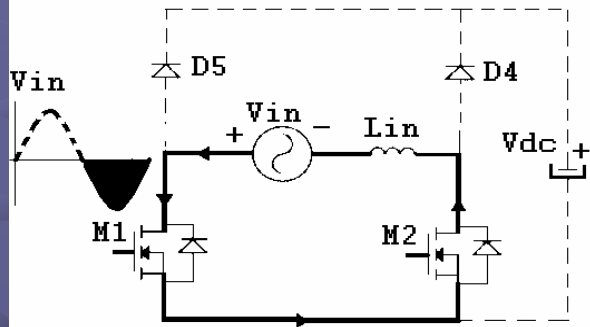
Monofazni ispravljač sa korekcijom faktora snage-režim I



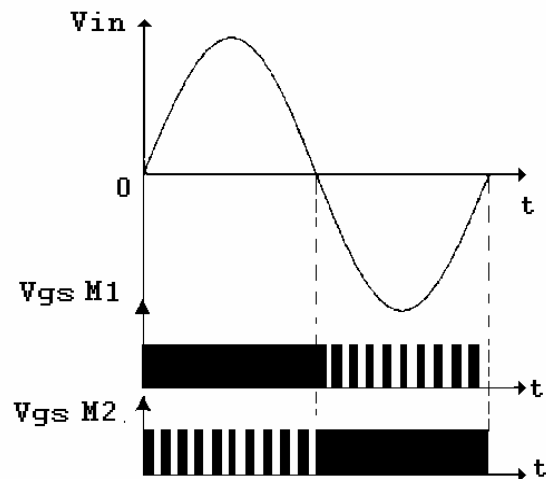
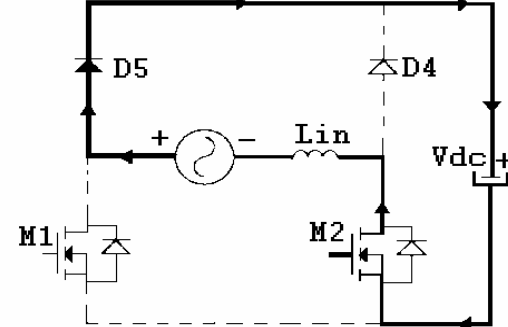
(a)



(b)



(b)



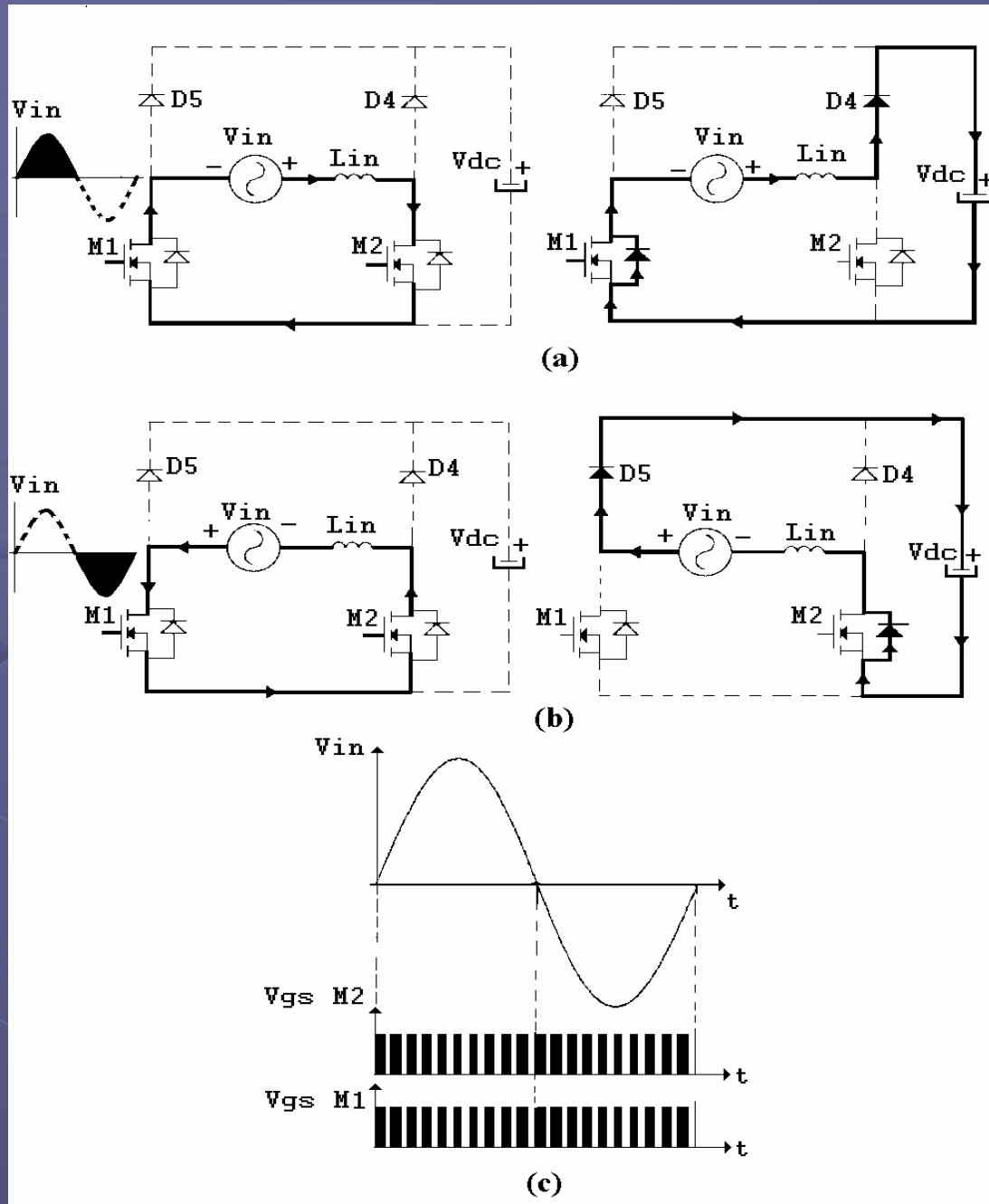
(c)

(a)-pozitivna poluperioda mrežnog napona

(b)-negativna poluperioda mrežnog napona

(c)- sinhronizacija pobudnih signala sa ulaznim mrežnim naponom

Monofazni ispravljač sa korekcijom faktora snage-režim II



(a)-pozitivna poluperioda mrežnog napona

(b)-negativna poluperioda mrežnog napona

(c)- sinhronizacija pobudnih signala sa ulaznim mrežnim naponom

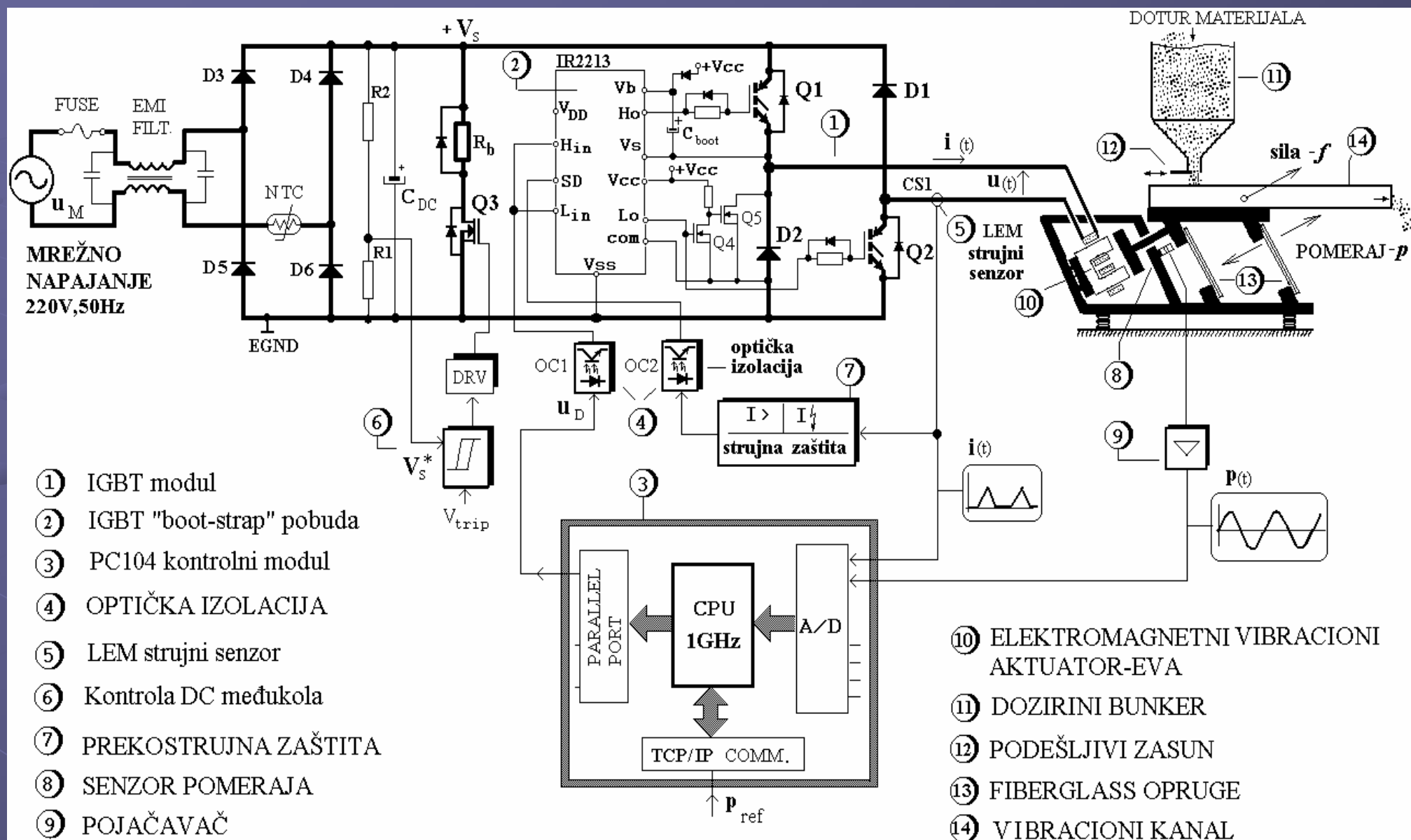
PRAKTIČNA REALIZACIJA TRANZISTORSKOG PRETVARAČA

U sklopu ovog istraživanja su realizovana dva pretvarača:

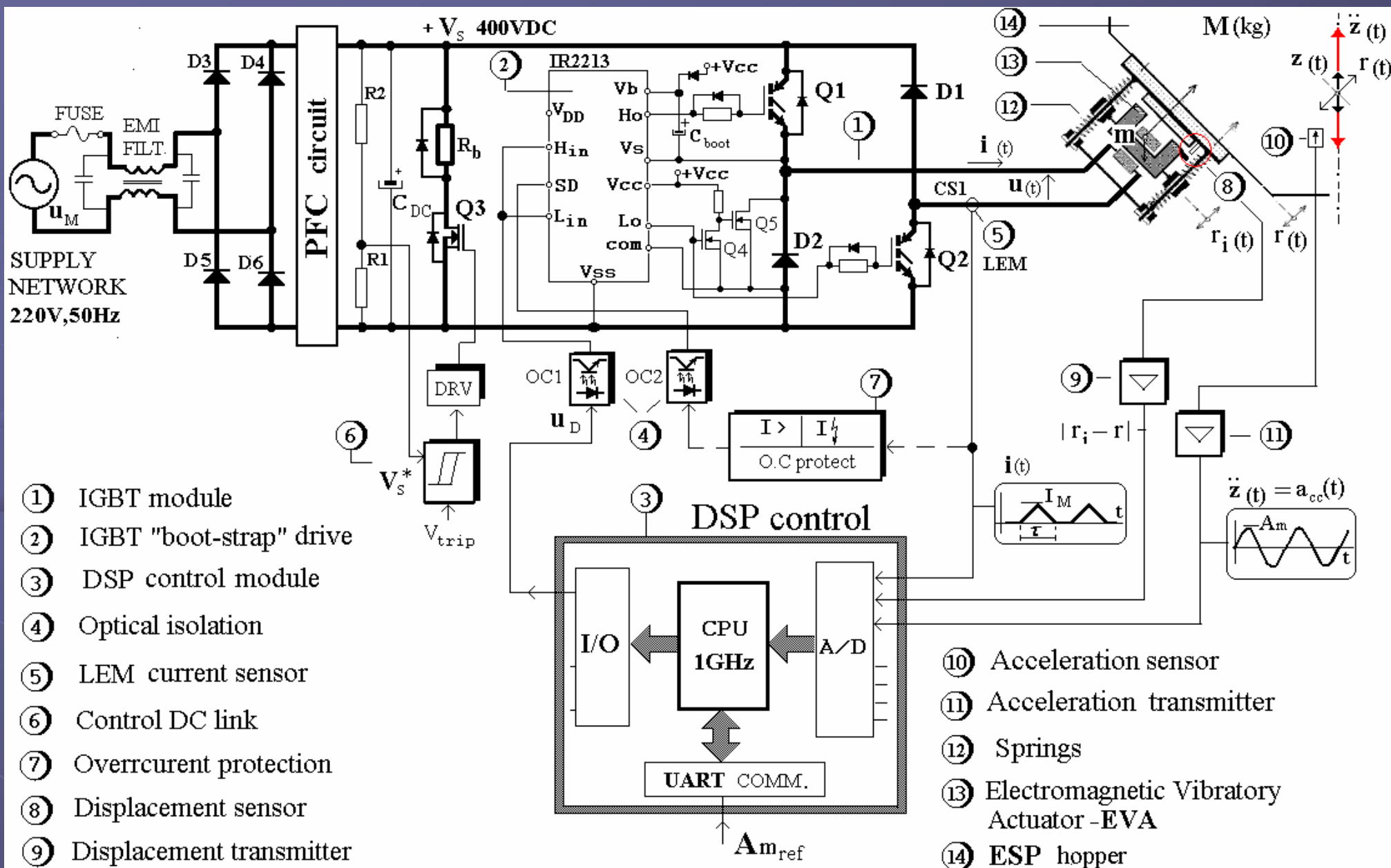
izlazni DC/DC ali sa jednosmernom pulsirajućom strujom, koji obezbeđuje promenu učestanosti, amplitude i trajanja sinusnog ili trougaonog strujnog polutalasa kojim se napaja namotaj vibracionog aktuatora

ulazni AC-DC koji obezbeđuje korekciju faktora snage.

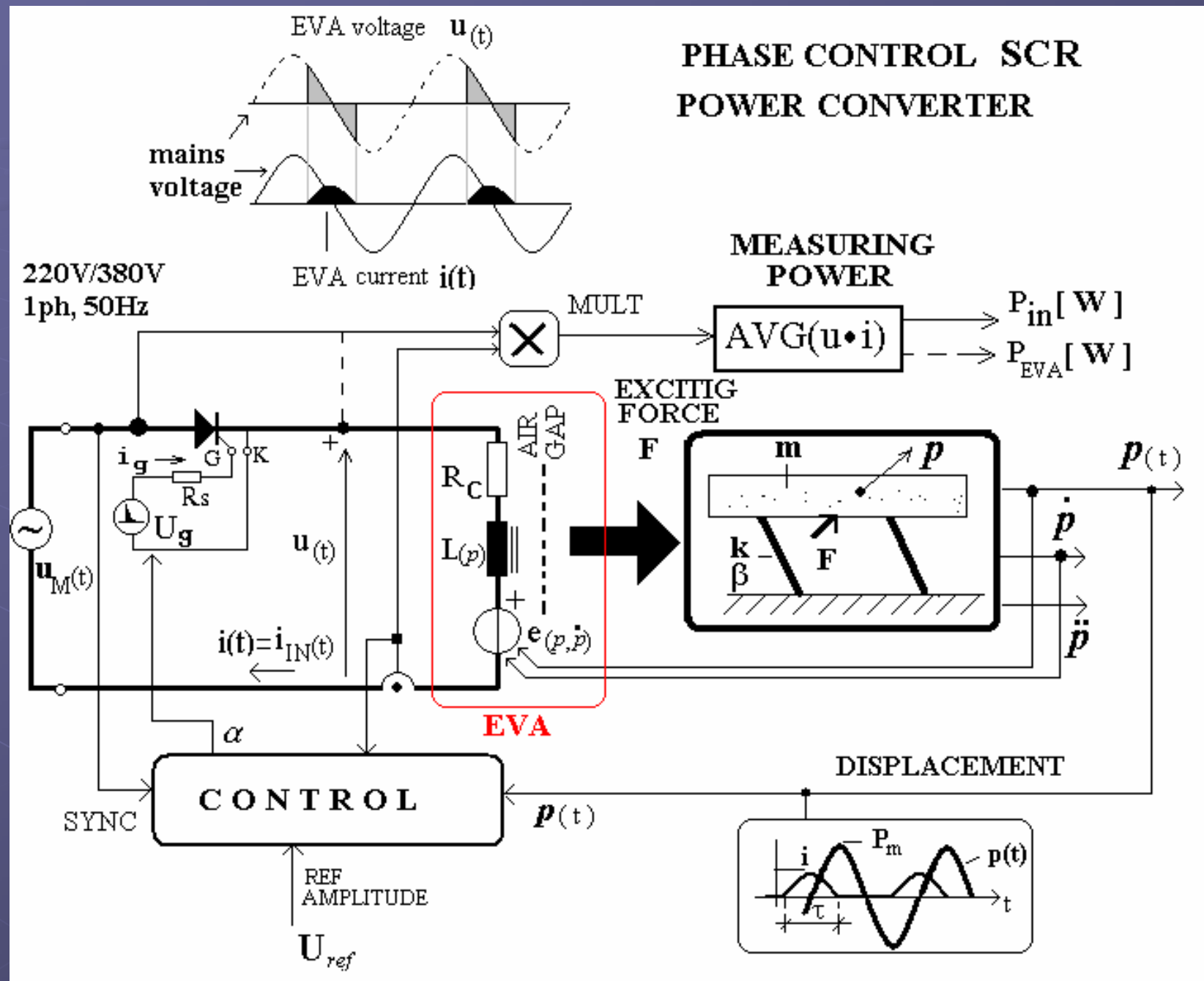
PRAKTIČNA REALIZACIJA IGBT TRANZISTORSKOG PRETVARAČA-principska šema kontrole vibracionog transporta



PRAKTIČNA REALIZACIJA IGBT TRANZISTORSKOG PRETVARAČA-principiska šema kontrole doziranja

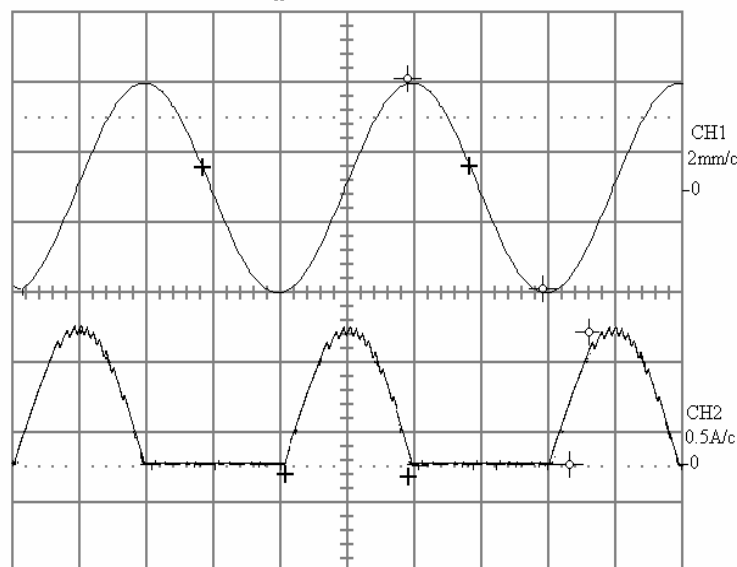


PRAKTIČNA REALIZACIJA TIRISTORSKOG PRETVARAČA ZA KONTROLU VIBRACIONOG TRANSPORTA



**EXPERIMENTALNI
REZULTATI
AMPLITUDSKE I FREKVENTNE
KONTROLE VIBRACIONOG
TRANSPORTA I DOZIRANJA**

$V_s=400V$ $K_i=1$ $m_k=m_{ko}=1.15kg$ $f_{res}=50.3Hz$

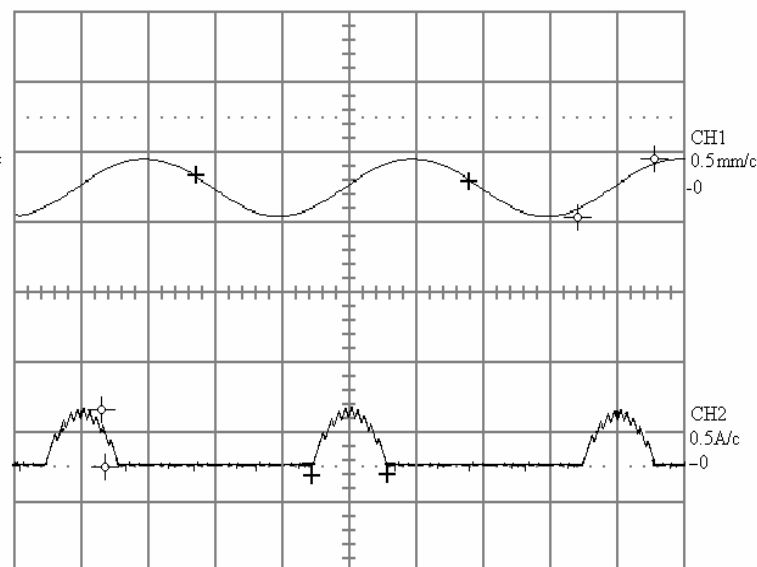


CH1: DISPLACEMENT OF VIBRATORY TROUGH
 $\Delta t = 20\text{ ms}$ +
 $\Delta P = 6\text{ mm}$ -

CH2: EVA CURRENT
 $\Delta t = 9.3\text{ ms}$ +
 $\Delta I = 0.95\text{ A}$ -

TIME: 5ms/c

(a)



CH1: DISPLACEMENT OF VIBRATORY TROUGH
 $\Delta t = 20\text{ ms}$ +
 $\Delta P = 0.5\text{ mm}$ -

CH2: EVA CURRENT
 $\Delta t = 5.5\text{ ms}$ +
 $\Delta I = 0.35\text{ A}$ -

TIME: 5ms/c

(b)

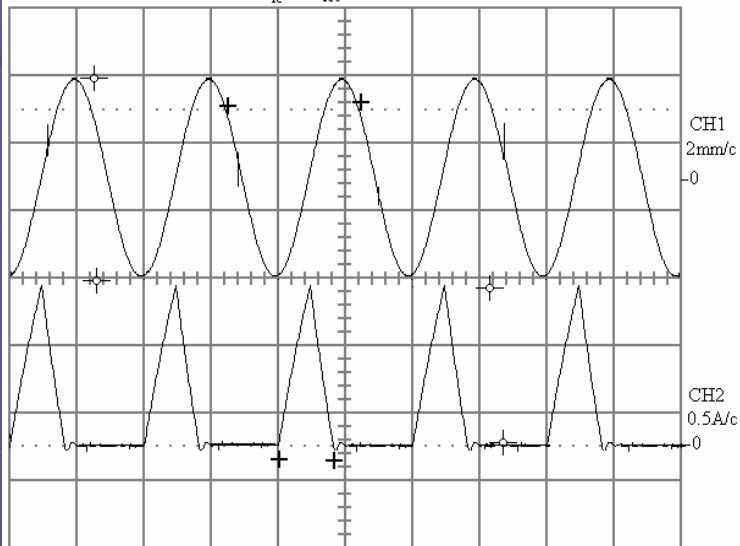
AMPLITUDSKA KONTROLA- vibracioni transport

-sinusna pobuda
EVA

(a)- $VW=6\text{mm}$

(b)- $VW=0.5\text{mm}$

$V_s=400V$ $K_i=1$ $m_k=m_{ko}=1.15kg$ $f_{res}=50.3Hz$

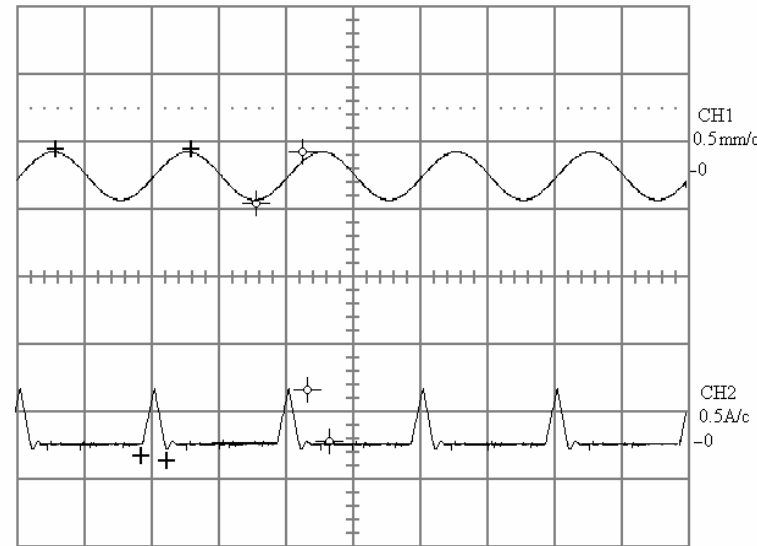


CH1: DISPLACEMENT OF VIBRATORY TROUGH
 $\Delta t = 20\text{ ms}$ +
 $\Delta P = 6\text{ mm}$ -

CH2: EVA CURRENT
 $\Delta t = 8\text{ ms}$ +
 $\Delta I = 1.2\text{ A}$ -

TIME: 10ms/c

(a)



CH1: DISPLACEMENT OF VIBRATORY TROUGH
 $\Delta t = 20\text{ ms}$ +
 $\Delta P = 0.4\text{ mm}$ -

CH2: EVA CURRENT
 $\Delta t = 4\text{ ms}$ +
 $\Delta I = 0.45\text{ A}$ -

TIME: 10ms/c

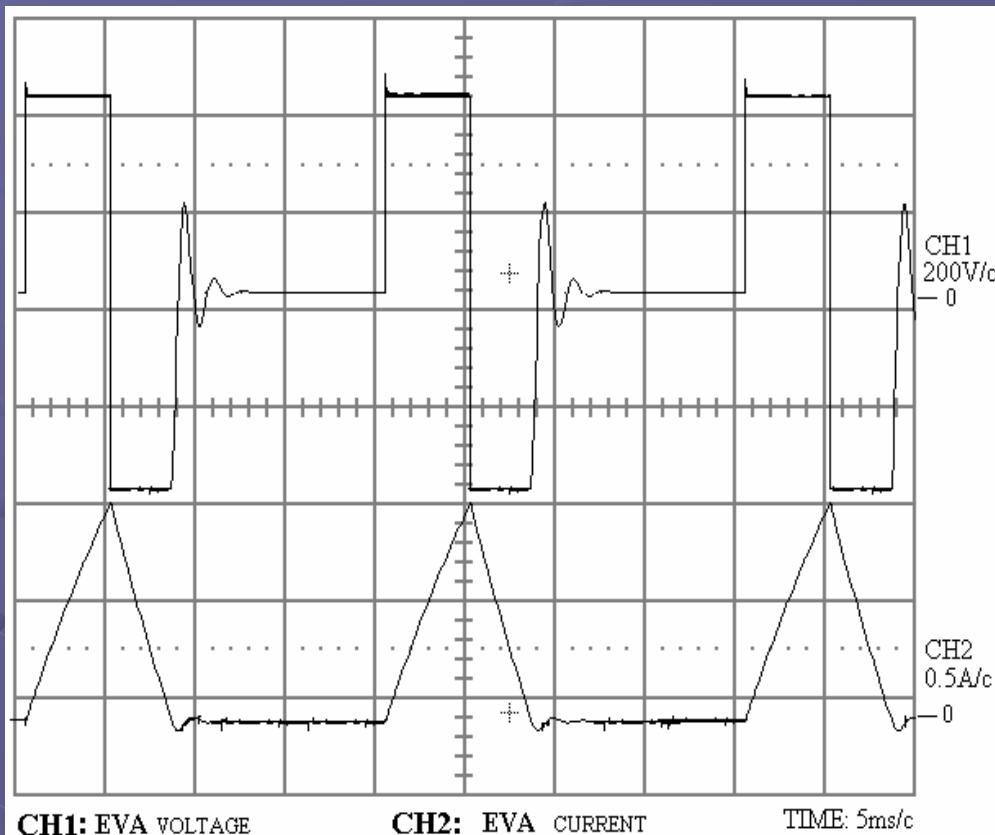
(b)

-trougaona
pobuda EVA

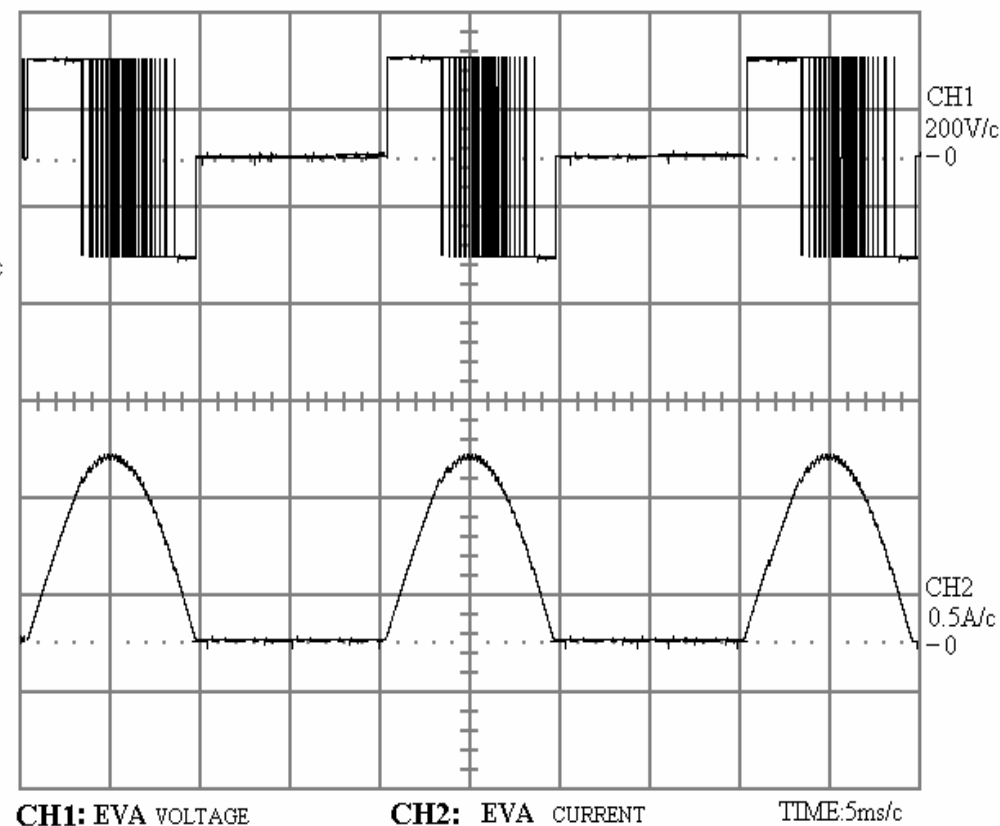
(a)- $VW=6\text{mm}$

(b)- $VW=0.5\text{mm}$

OSCILOSKOPSKI SNIMCI KARAKTERISTIČNIH TALASNIH OBLIKA-*vibracioni transport*



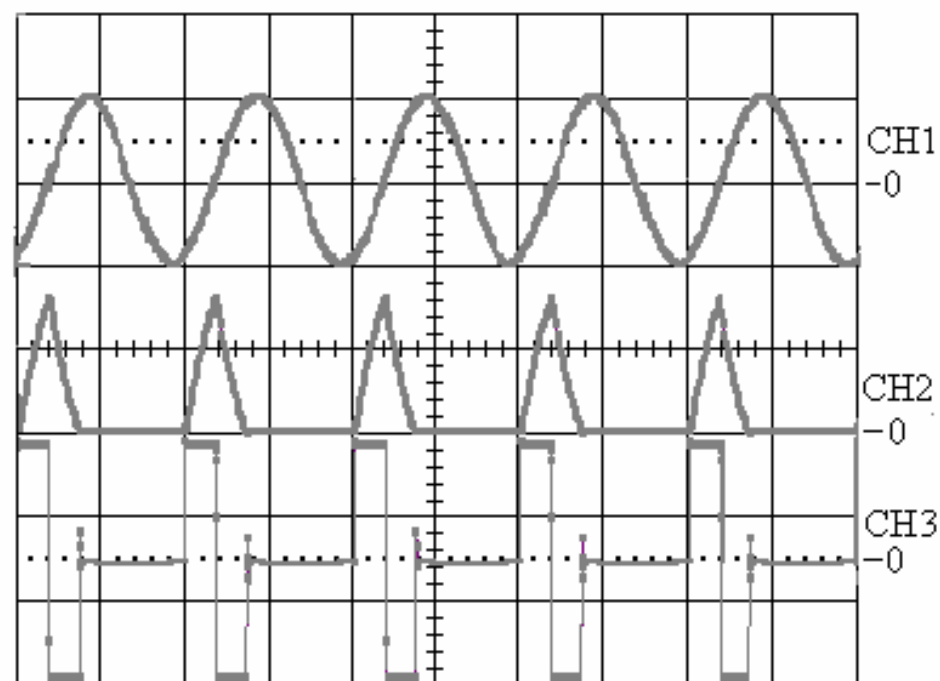
(a)



(b)

Napon i struja EVA (a)- trougaona pobuda (b)-sinusna pobuda

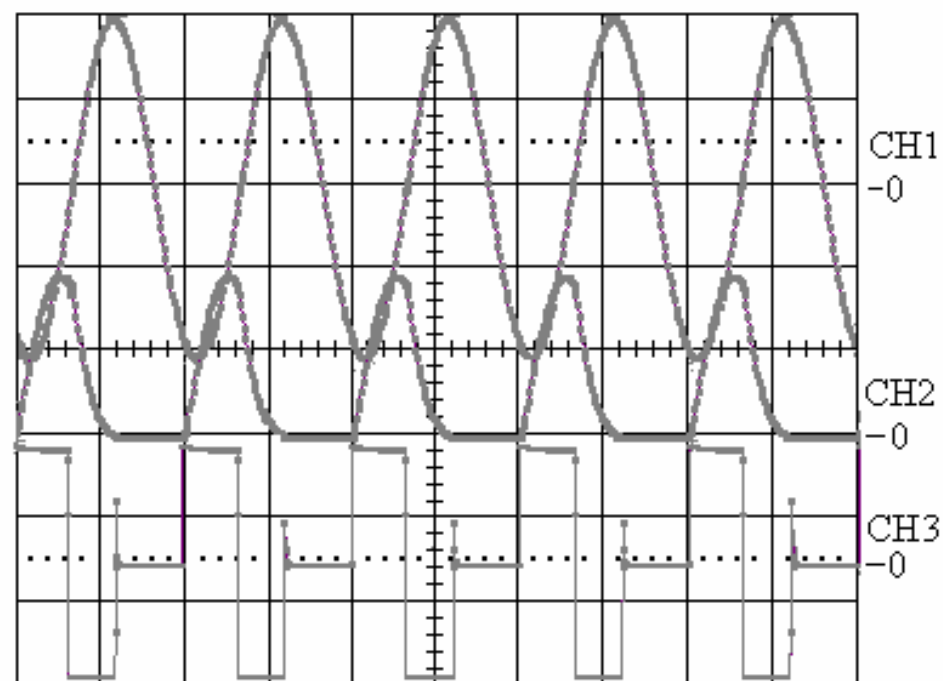
EKSPERIMENTALNI REZULTATI-*doziranje*



CH1- acceleration [1g/c] TIME: 5ms/c
CH2-current [2A/c]
CH3 - voltage [200V/c]

$k=1.18\text{kN/mm}$ $M=4\text{t}$ $m=3\text{kg}$ $F_{\text{res}}=100\text{Hz}$
 $F_h=25\text{Hz}$

(a)



CH1- acceleration [2g/c] TIME: 5ms/c
CH2-current [5A/c]
CH3 - voltage [200V/c]

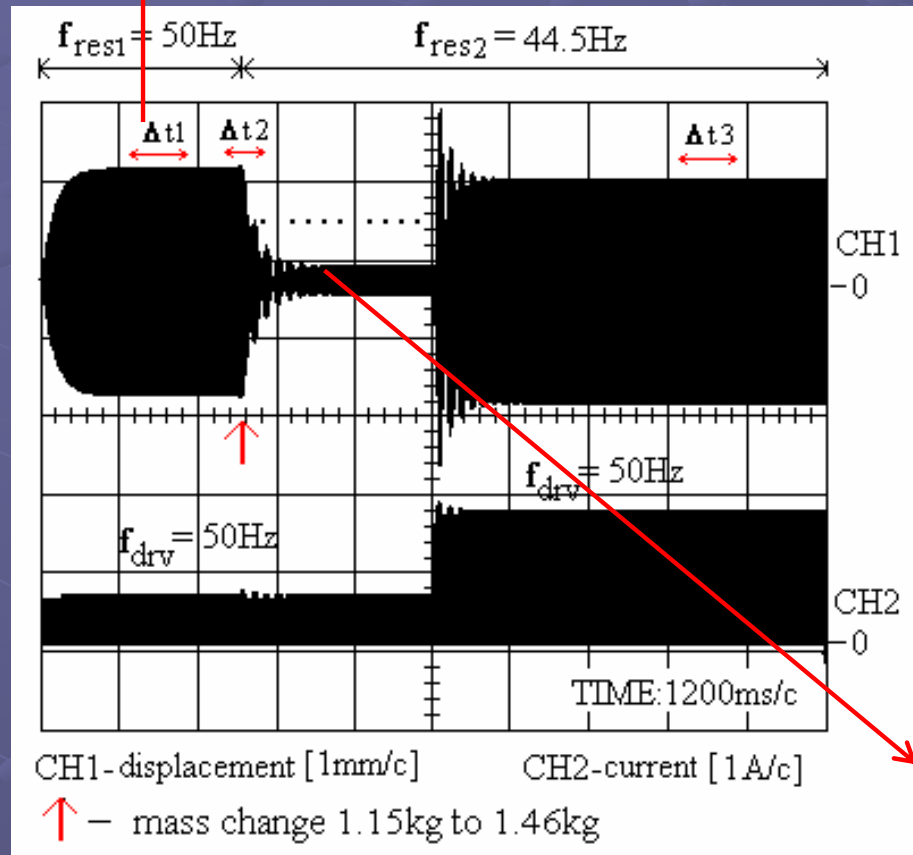
$k=1.18\text{kN/mm}$ $M=4\text{t}$ $m=3\text{kg}$ $F_{\text{res}}=100\text{Hz}$
 $F_h=25\text{Hz}$

(b)

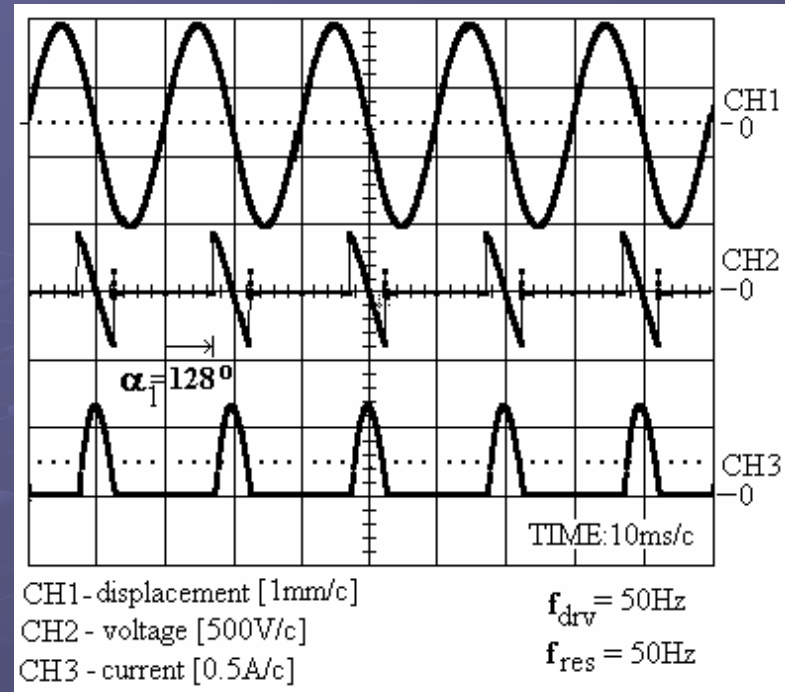
Podešavanje amplitude vertikalne komponente **ubrzanja vibracionog levka** (vibratory hopper-a) posredstvom strujno kontrolisanog IGBT pretvarača;
(a) duty cycle $\delta=15\%$, (b) duty cycle $\delta=30\%$

EKSPERIMENTALNI REZULTATI ZA TIRISTORSKI REGULISANE VT POGONE

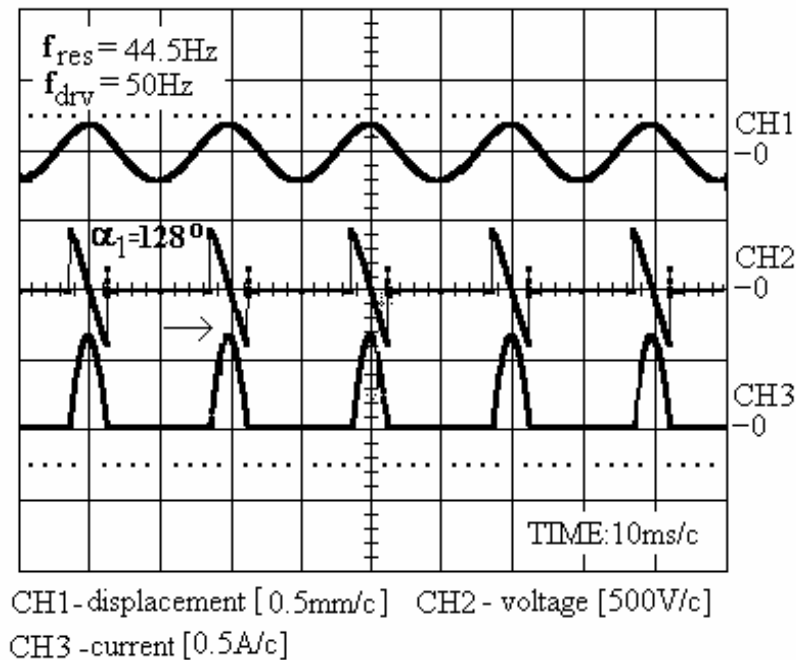
AMPLITUDSKA KONTROLA



KOMPENZACIJA PROMENE MASE TRANSPORTUJUĆEG MATERIJALA

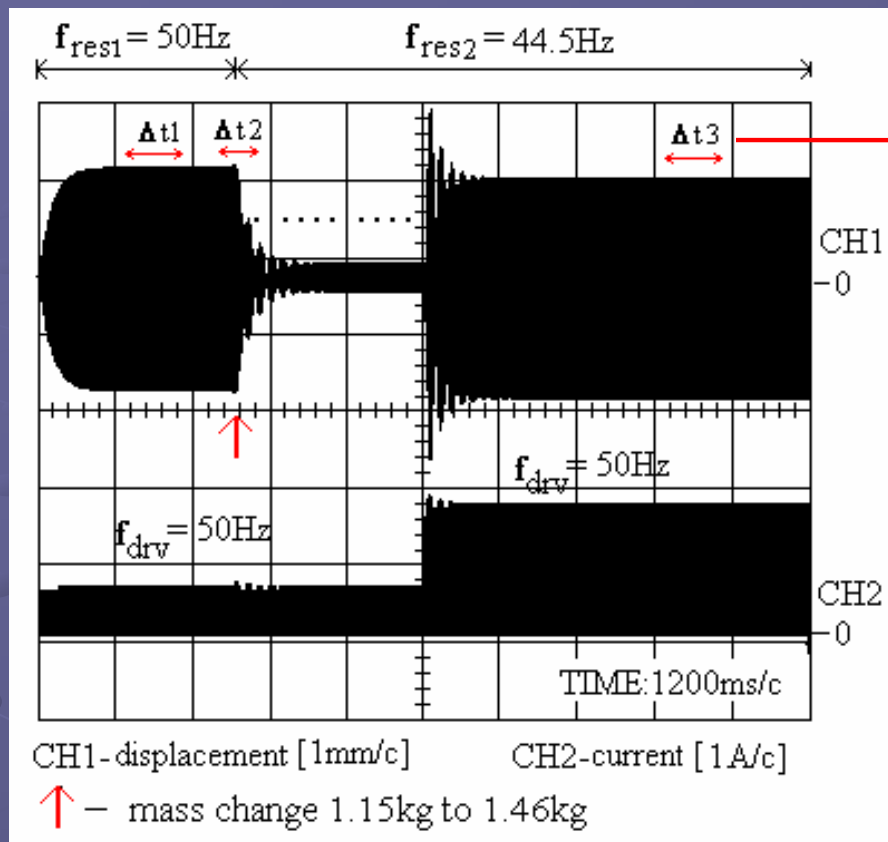


DETALJNI
PRIKAZ
time
interval $\Delta t1$



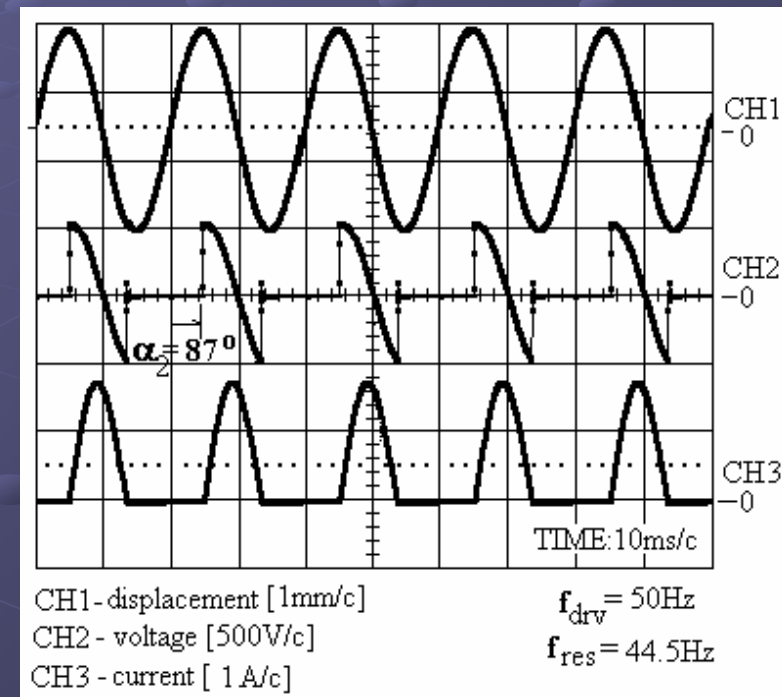
DETALJNI
PRIKAZ
time
interval $\Delta t2$

AMPLITUDSKA KONTROLA



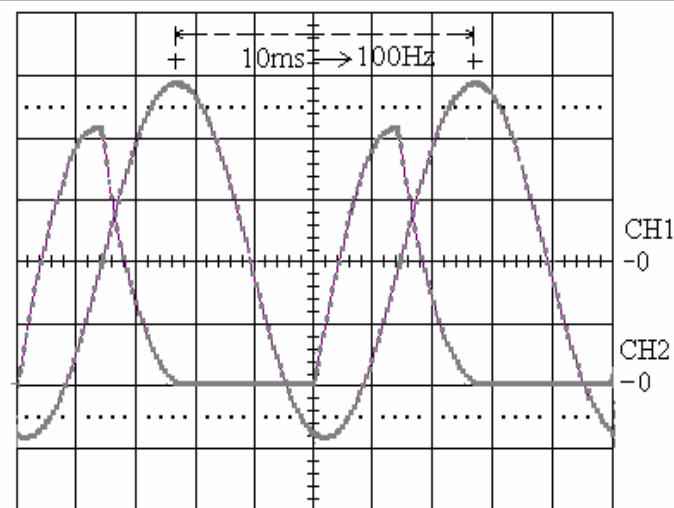
**KOMPENZACIJA PROMENE
MASE TRANSPORTUJUĆEG
MATERIJALA**

EKSPERIMENTALNI REZULTATI ZA TIRISTORSKI REGULISANE VIBRACIONO-TRANSPORTNE POGONE



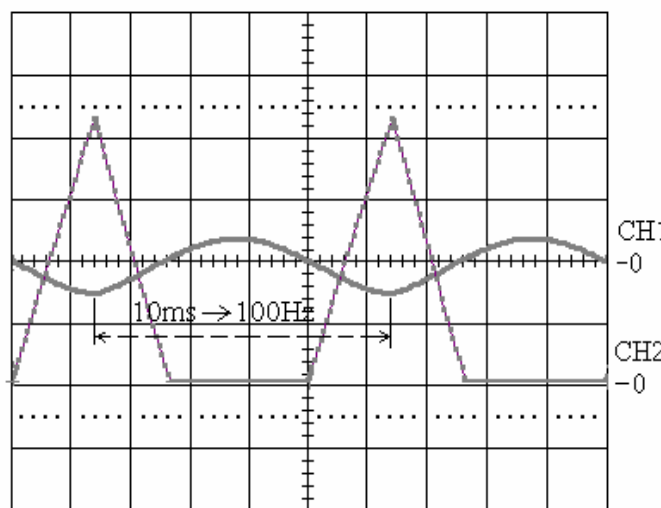
DETALJNI PRIKAZ time interval $\Delta t2$

EKSPERIMENTALNI REZULTATI FREKVENTNE KONTROLE VIBRACIONIH DOZATORA



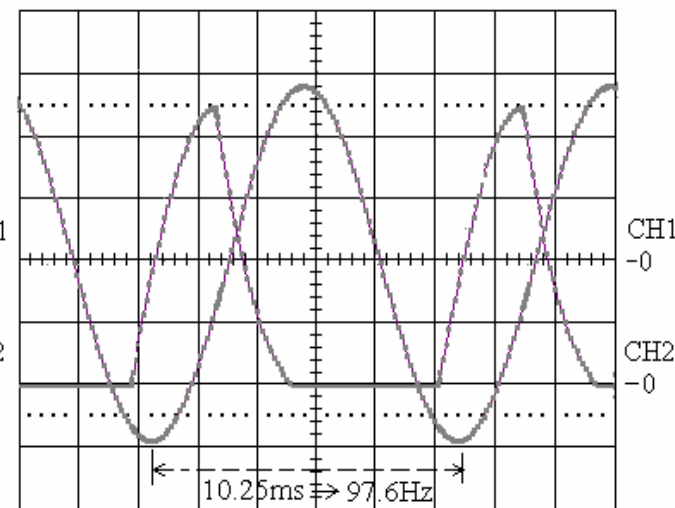
CH1- acceleration [1g/c]
CH2-current [2A/c]
TIME: 2ms/c
 $k = 1.18 \text{ kN/mm}$ $M = 4 \text{ t}$ $m = 3 \text{ kg}$ $F_{res} = 100 \text{ Hz}$
 $F_h = 25 \text{ Hz}$

(a)



CH1- acceleration [1g/c]
CH2-current [2A/c]
TIME: 2ms/c
 $k = 1.12 \text{ kN/mm}$ $M = 4 \text{ t}$ $m = 3 \text{ kg}$ $F_{res} = 97.6 \text{ Hz}$
 $F_h = 25 \text{ Hz}$

(b)



CH1- acceleration [1g/c]
CH2-current [2A/c]
TIME: 2ms/c
 $k = 1.12 \text{ kN/mm}$ $M = 4 \text{ t}$ $m = 3 \text{ kg}$ $F_{res} = 97.6 \text{ Hz}$
 $F_h = 25 \text{ Hz}$

(c)

Frekventna kontrola EVA- kompenzacija drifta karakteristika elastičnih;

(a) krutost EVA elastičnih elemenata

$$k = 1.18 \text{ kN} / \text{mm} \quad F_{drv} = F_{res} = 100 \text{ Hz}$$

(b) krutost EVA elastičnih elemenata

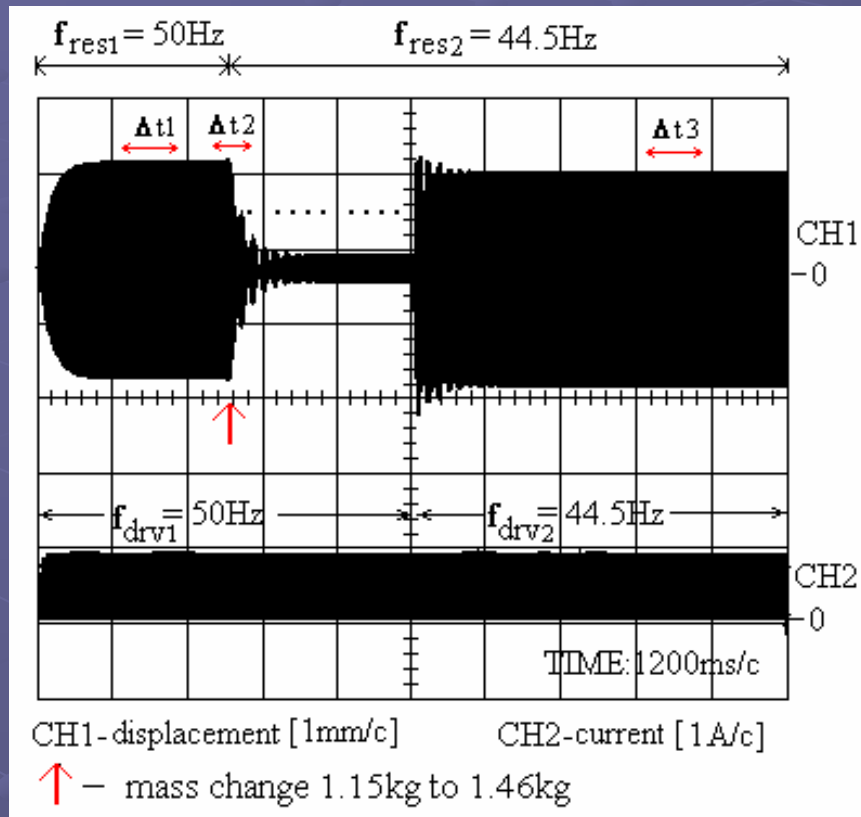
$$k = 1.12 \text{ kN} / \text{mm} \quad F_{drv} = 100 \text{ Hz}, F_{res} = 97.6 \text{ Hz}$$

(c) Krutost EVA elastičnih elemenata

$$k = 1.12 \text{ kN} / \text{mm} \quad F_{drv} = F_{res} = 97.6 \text{ Hz}$$

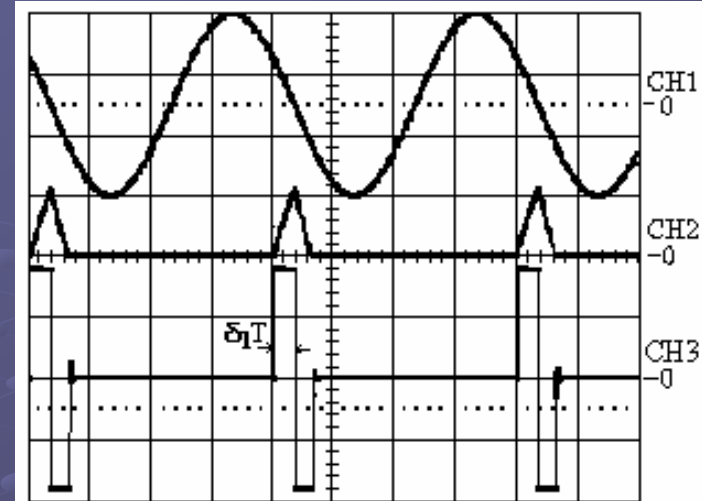


EKSPERIMENTALNI REZULTATI ZA TRANZISTORSKI REGULISANE VIBRACIONO-TRANSPORTNE POGONE



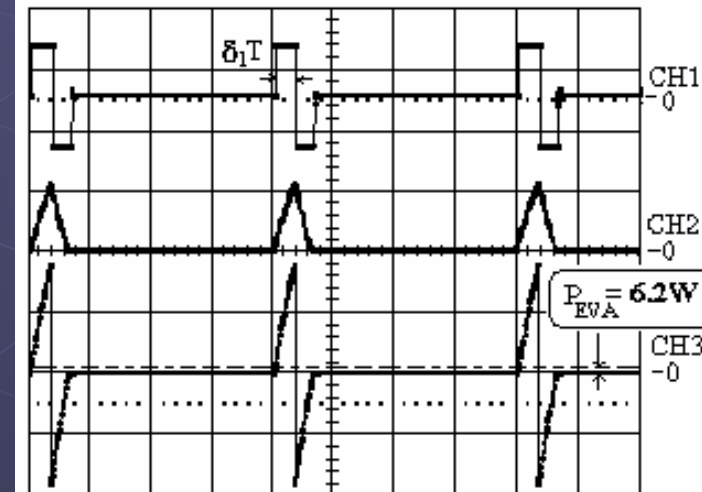
KOMPENZACIJA PROMENE MASE TRANSPORTUJUĆEG MATERIJALA

FREKVENTNA KONTROLA



CH1-displacement [1mm/c] $\delta_1 = 9\%$ TIME: 10ms/c
CH2-EVA current [1A/c] $f_{drv} = 50\text{Hz}$
CH3-EVA voltage [300V/c] $f_{res} = 50\text{Hz}$

(a)



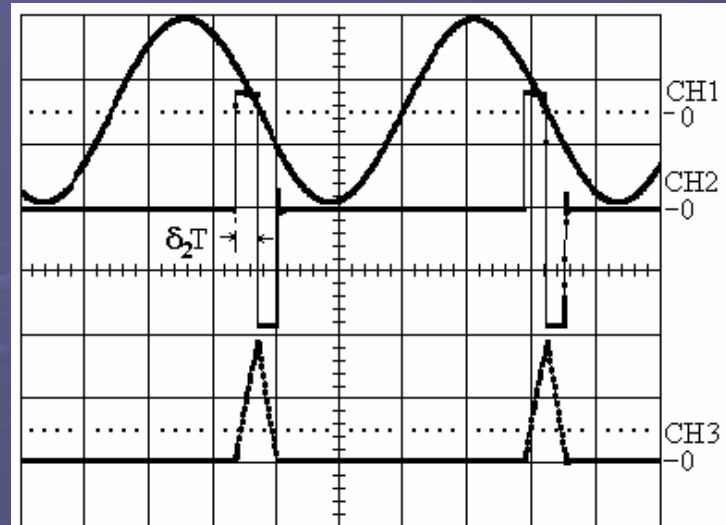
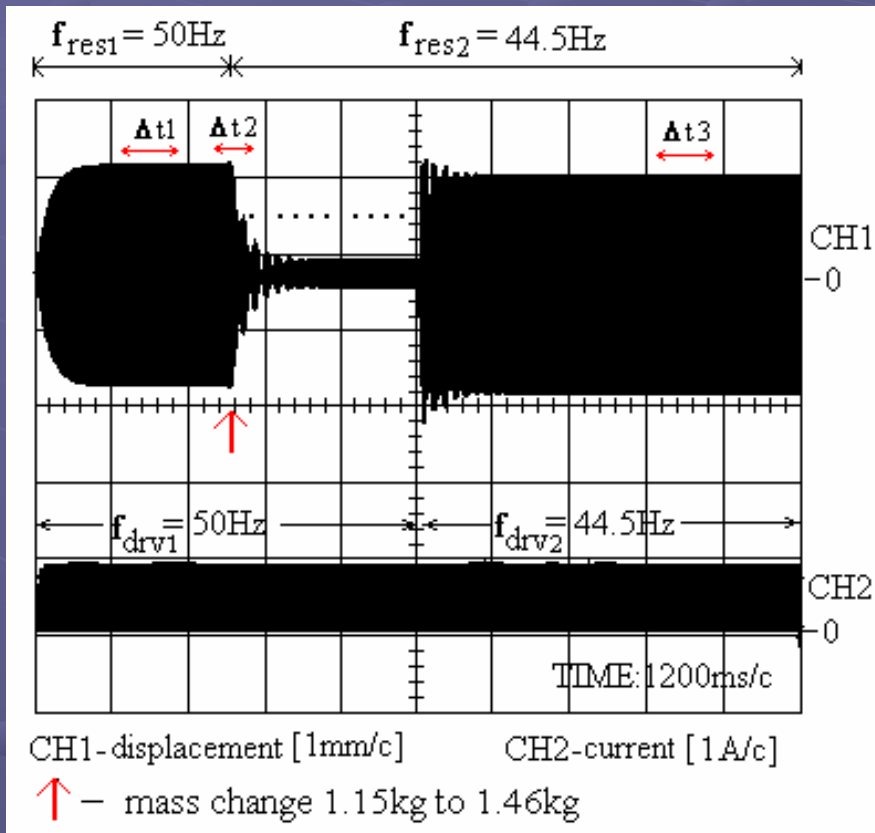
CH1-EVA voltage [500V/c] $\delta_1 = 9\%$ TIME: 10ms/c
CH2-EVA current [1A/c] $f_{drv} = 50\text{Hz}$
CH3-EVA power [300W/c] $f_{res} = 50\text{Hz}$

(b)

DETALJNI
PRIKAZ
Tme
interval $\Delta t1$

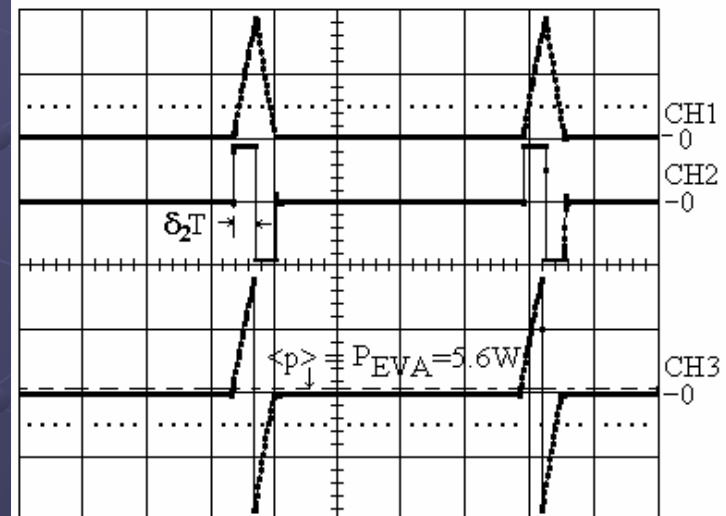
EKSPERIMENTALNI REZULTATI ZA TRANZISTORSKI REGULISANE VIBRACIONO-TRANSPORTNE POGONE

FREKVENTNA KONTROLA



CH1-displacement [1mm/c] $\delta_2 = 7.86\%$ TIME: 5 ms/c
 CH2-EVA voltage [300V/c] $f_{drv} = 44.5\text{Hz}$
 CH3-EVA current [0.5A/c] $f_{res} = 44.5\text{Hz}$

(a)



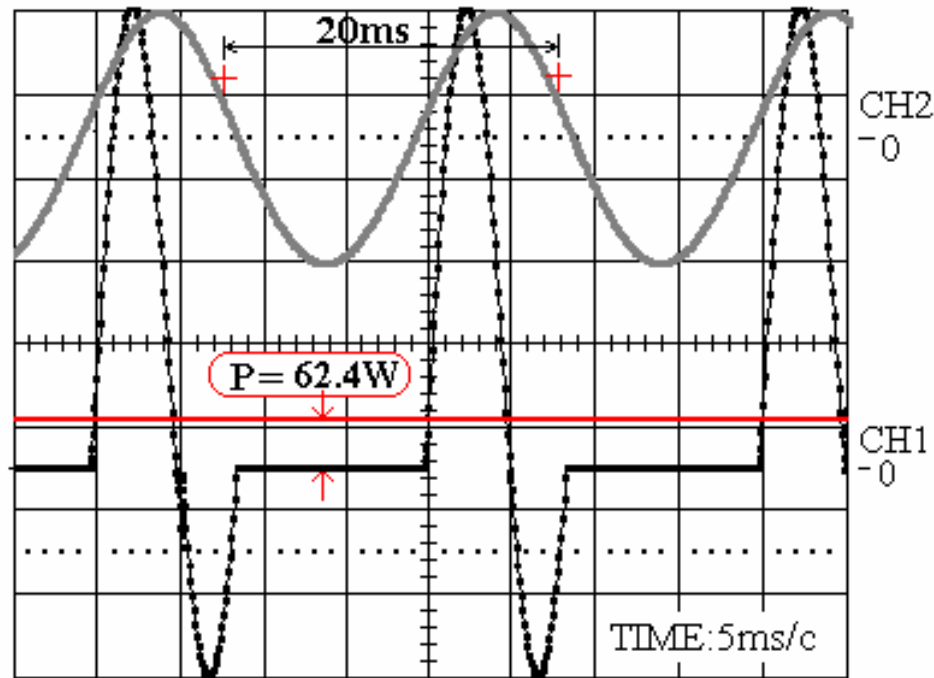
CH1-EVA current [0.5A/c] $\delta_2 = 7.86\%$ TIME: 5 ms/c
 CH2-EVA voltage [600V/c] $f_{drv} = 44.5\text{Hz}$
 CH3-EVA power [300W/c] $f_{res} = 44.5\text{Hz}$

(b)

DETALJNI
 PRIKAZ
 Tme
 interval $\Delta t3$

POREĐENJE ENERGETSKE EFIKASNOSTI TIRISTORSKIH I TRANZISTORSKIH VIBRACIONO-TRANSPORTNIH POGONA (VTP)

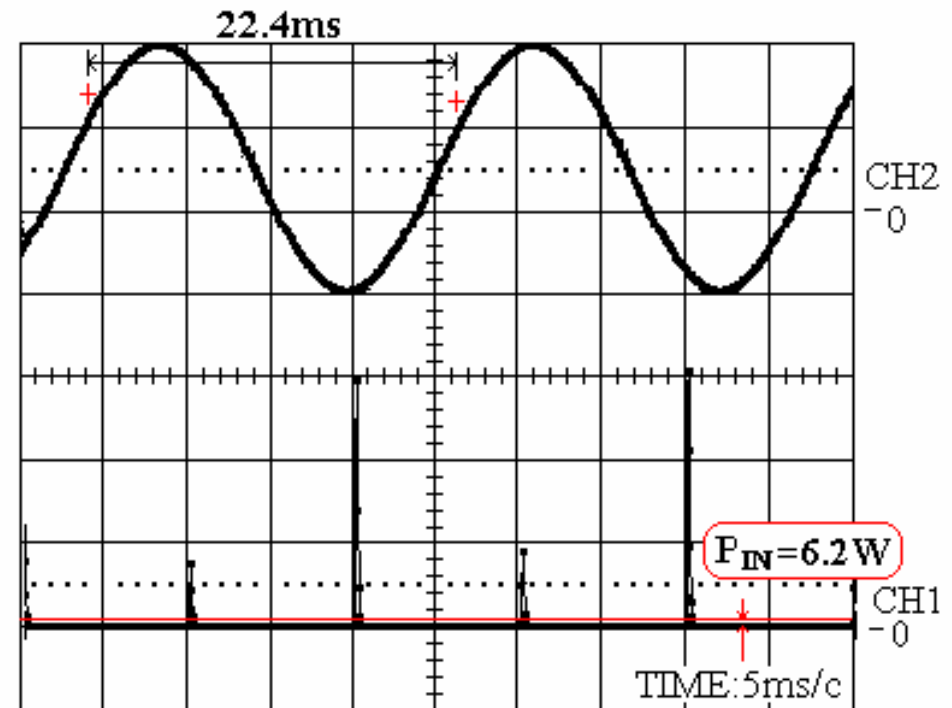
Osciloskopski snimci trenutne vrednosti ulazne snage u novom rezonantnom modu $f_{res}=44.5\text{Hz}$



CH1-INPUT POWER [100 W/c] $\langle p \rangle = P_{IN} = 62.4\text{W}$
CH2- displacement [1mm/c]

(a)

Phase Control SCR power converter , $f_{drv}=50\text{Hz}$,



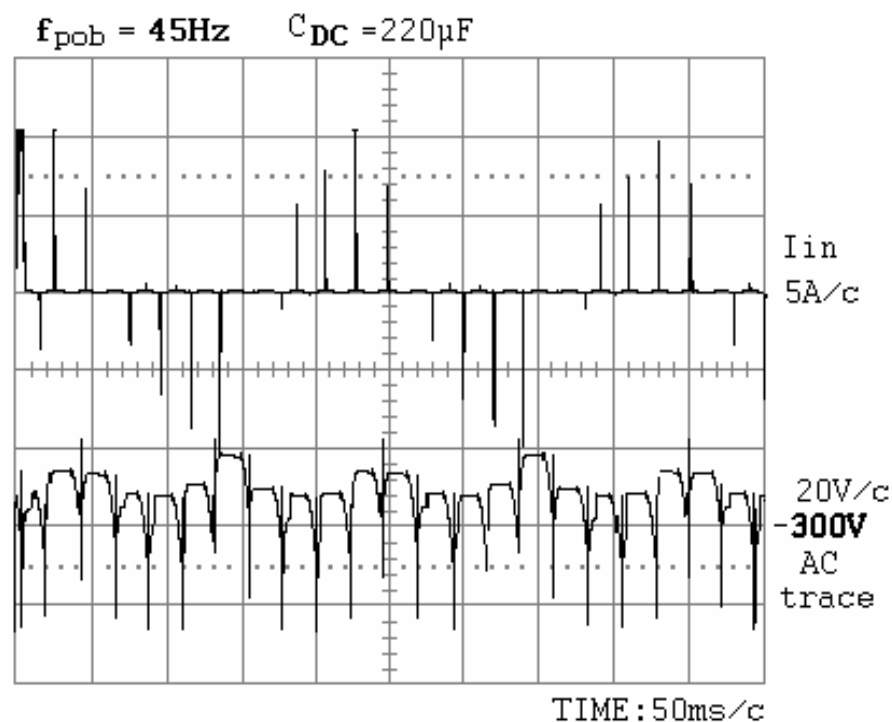
CH1- INPUT POWER [250W/c] $\langle p \rangle = P_{IN} = 6.2\text{W}$
CH2- displacement [1mm/c]

(b)

Switch Mode Power Converter, $f_{drv}=44.5\text{Hz}$

UTICAJ VTP NA NAPOJNU MREŽU-trougaona pobuda EVA

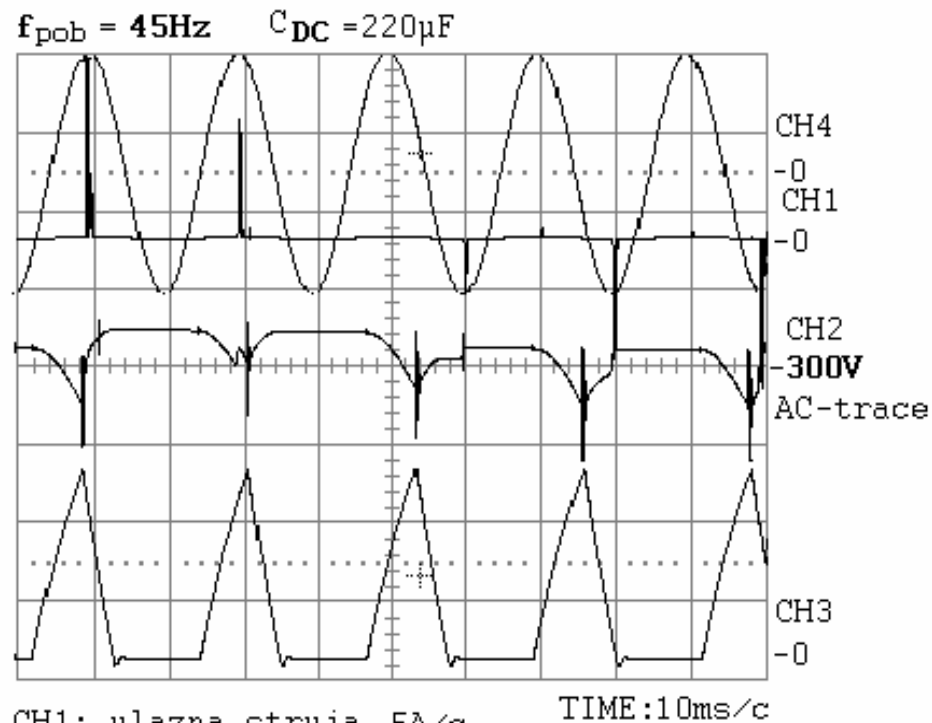
$$f_{pob} < 50\text{Hz}$$



CH1: ulazna struja 5A/c

CH2: napon DC međukola 10V/c

(a)



CH1: ulazna struja 5A/c

CH2: napon DC međukola 50V/c

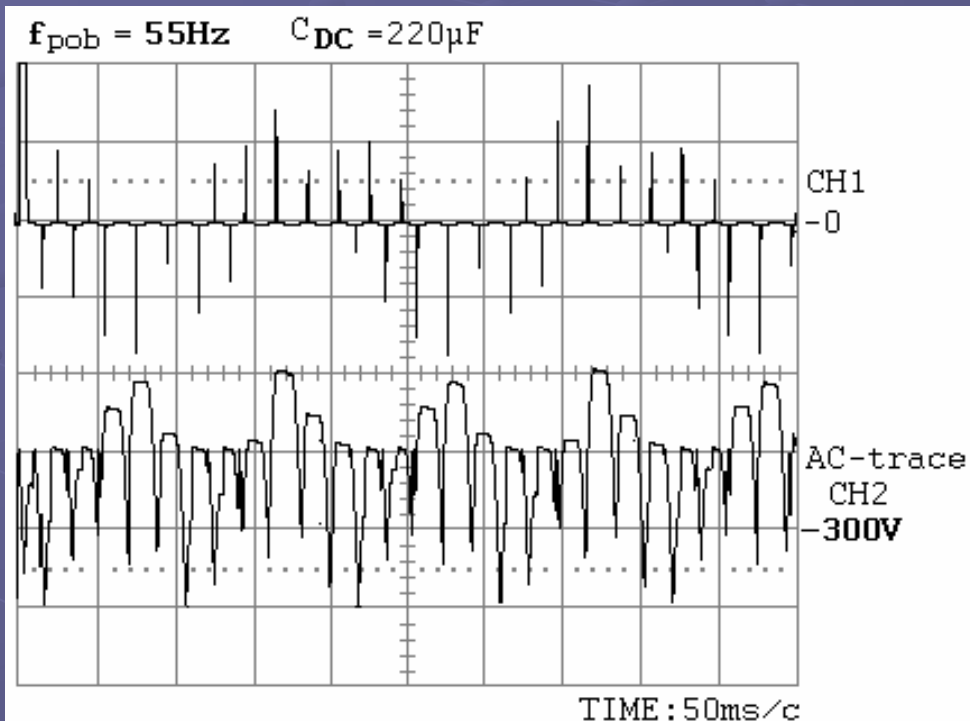
CH3: izlazna struja 0.5A/c

CH4: mrežni napon 200V/c

(b)

UTICAJ VTP NA NAPOJNU MREŽU-trougaona pobuda EVA

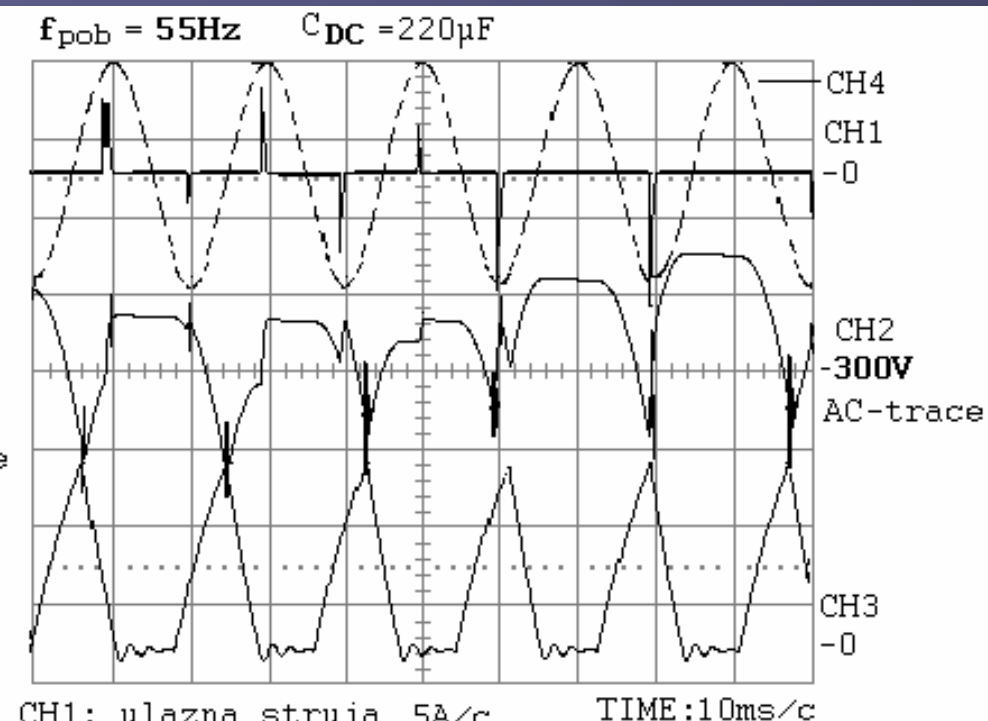
$$f_{pob} < 50\text{Hz}$$



CH1: ulazna struja 5A/c

CH2: napon DC međukola 10V/c

(a)



CH1: ulazna struja 5A/c

CH2: napon DC međukola 10V/c

CH3: izlazna struja 0.5A/c

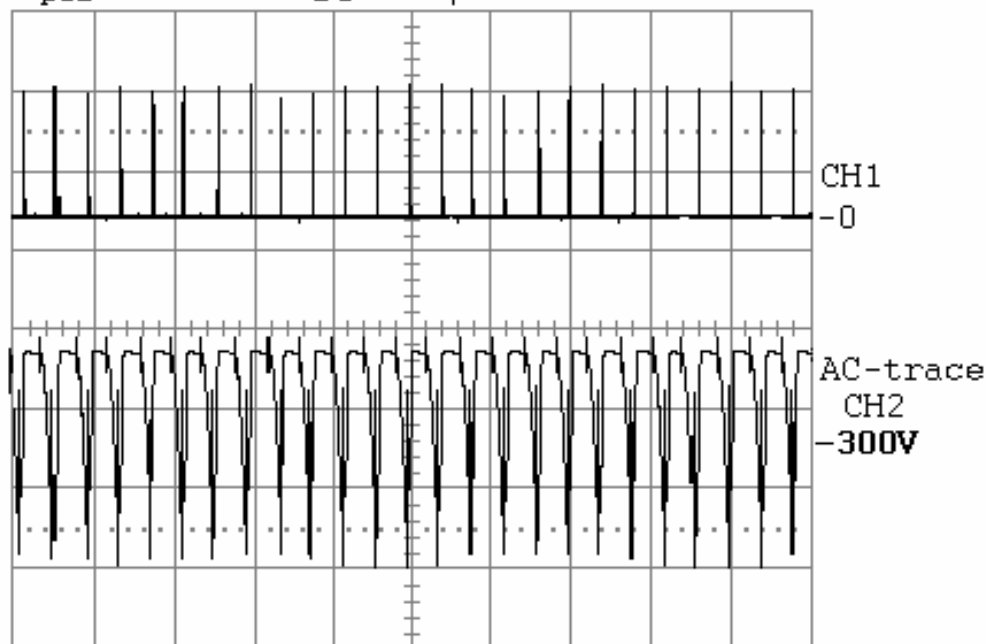
CH4: mrežni napon 200V/c

(b)

UTICAJ VTP NA NAPOJNU MREŽU-trougaona pobuda EVA

$$f_{pob}=50\text{Hz}$$

$f_{pob} = 50\text{Hz}$ $C_{DC} = 220\mu\text{F}$

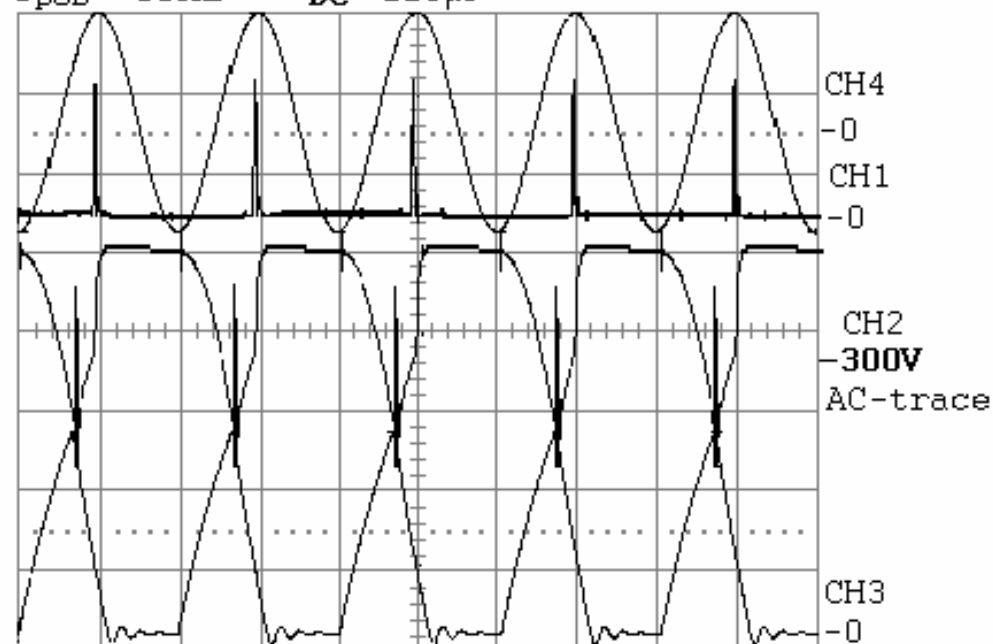


CH1: ulazna struja 5A/c

CH2: napon DC međukola 10V/c

(a)

$f_{pob} = 50\text{Hz}$ $C_{DC} = 220\mu\text{F}$



CH1: ulazna struja 5A/c

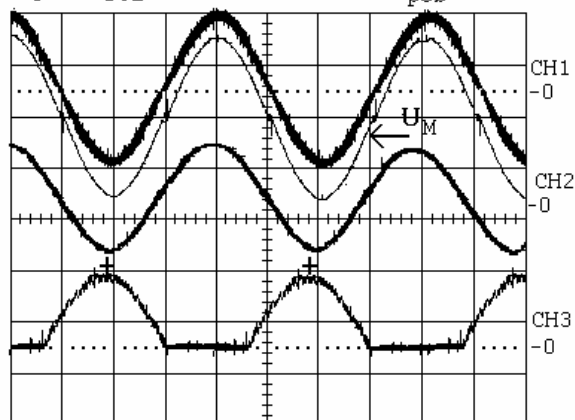
CH2: napon DC međukola 10V/c

CH3: izlazna struja 0.5A/c

CH4: mrežni napon 200V/c

(b)

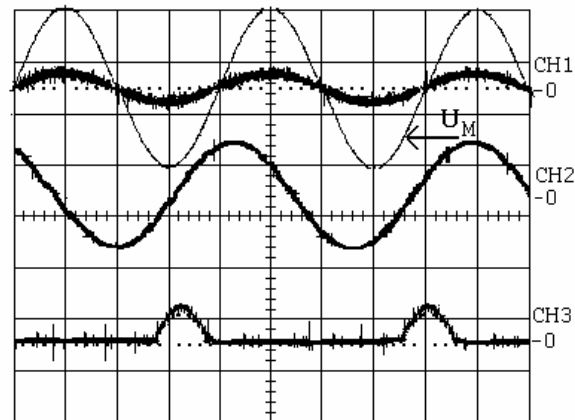
U_M -mrežni napon 200V/c $U_{Meff} = 215V$
 $f_{pob} > f_{rez} = 40.4Hz$ $f_{pob} = 50Hz$



+ cursor control $\Delta t = 20ms$ TIME: 5ms/c
 CH1: ulazna struja 0.1A/c
 CH2: pomeraj vibracionog korita 0.1mm/c
 CH3: struja vibracionog aktuatora 0.5A/c

(a)

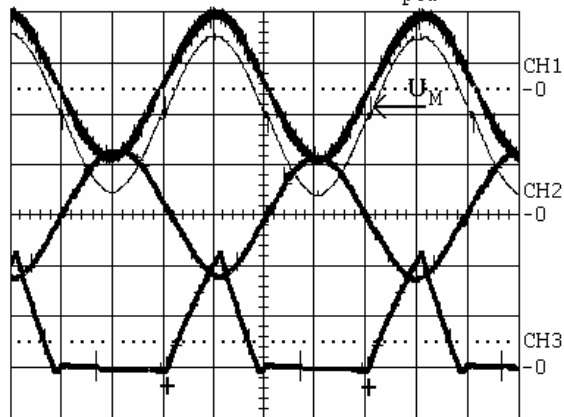
U_M -mrežni napon 200V/c $U_{Meff} = 215V$
 $f_{pob} = f_{rez} = 40.4Hz$



+ cursor control $\Delta t = 24.3ms$ TIME: 5ms/c
 CH1: ulazna struja 0.1A/c
 CH2: pomeraj vibracionog korita 0.1mm/c
 CH3: struja vibracionog aktuatora 0.5A/c

(b)

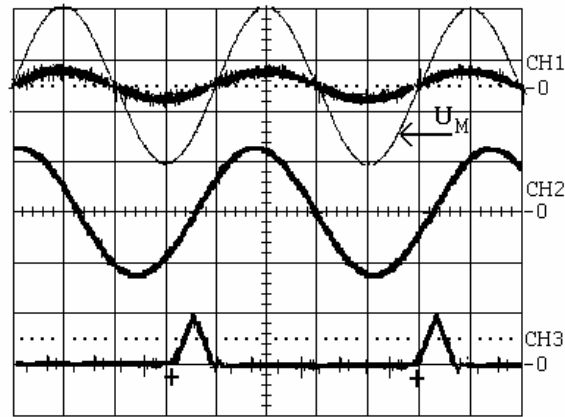
U_M -mrežni napon 200V/c $U_{Meff} = 210V$
 $f_{pob} > f_{rez} = 40.6Hz$ $f_{pob} = 50Hz$



+ cursor control $\Delta t = 20ms$ TIME: 5ms/c
 CH1: ulazna struja 0.1A/c
 CH2: pomeraj vibracionog korita 0.1mm/c
 CH3: struja vibracionog aktuatora 0.5A/c

(a)

U_M -mrežni napon 200V/c $U_{Meff} = 210V$
 $f_{pob} = f_{rez} = 40.6Hz$



+ cursor control $\Delta t = 24.6ms$ TIME: 5ms/c
 CH1: ulazna struja 0.1A/c
 CH2: pomeraj vibracionog korita 0.1mm/c
 CH3: struja vibracionog aktuatora 0.5A/c

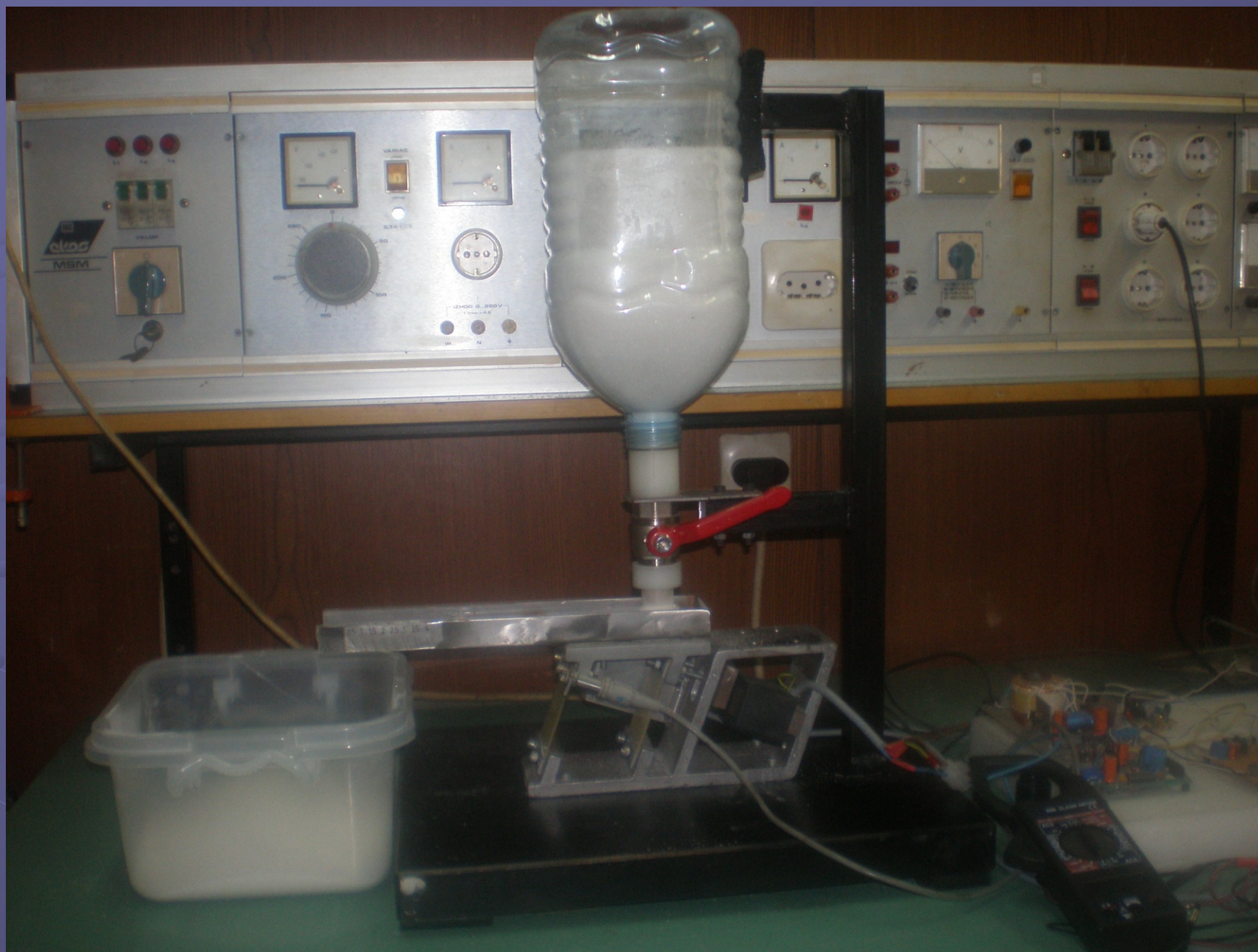
(b)

UTICAJ REGULISANOG VTP SA KOREKCIJOM FAKTORA SNAGE NA MREŽNO NAPAJANJE 220V, 50Hz

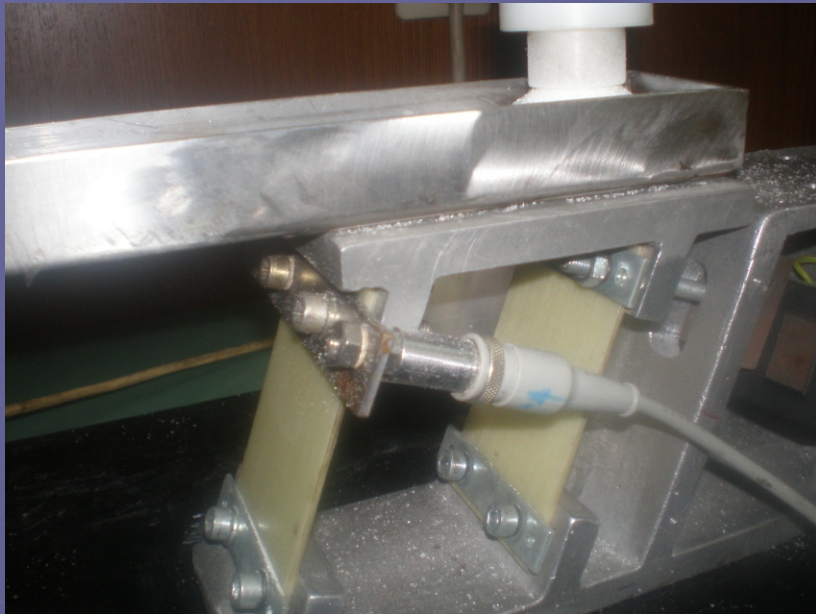
-sinusna pobuda EVA

-trougaona pobuda EVA

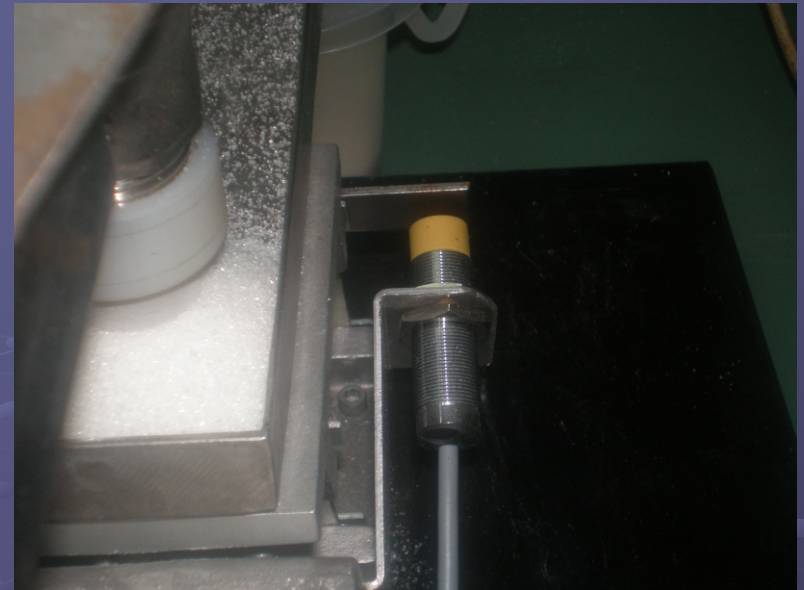
**Slike implementiranog
prototipa
IGBT kontrolisanog
rezonantnog vibracionog
transportera sa
elektromagnetnom pobudom**



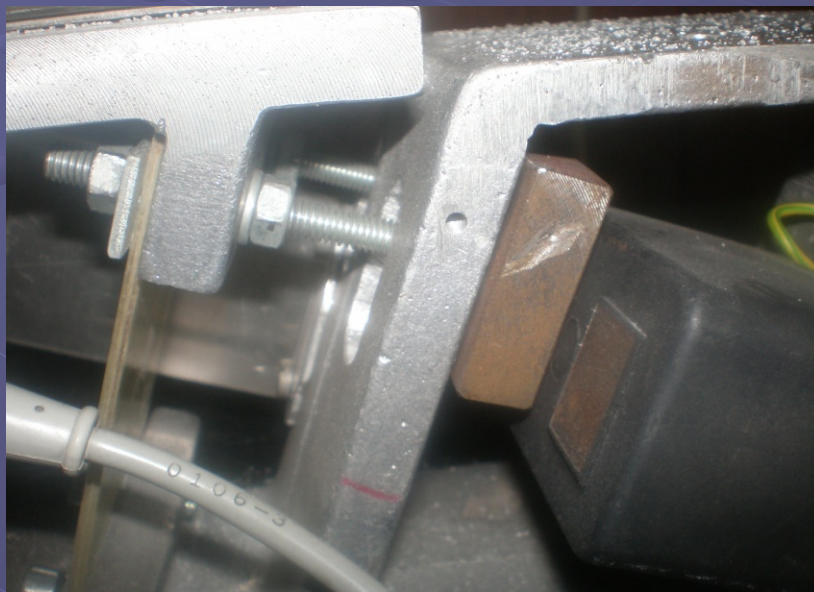
Implementirani prototip vibracionog transportera



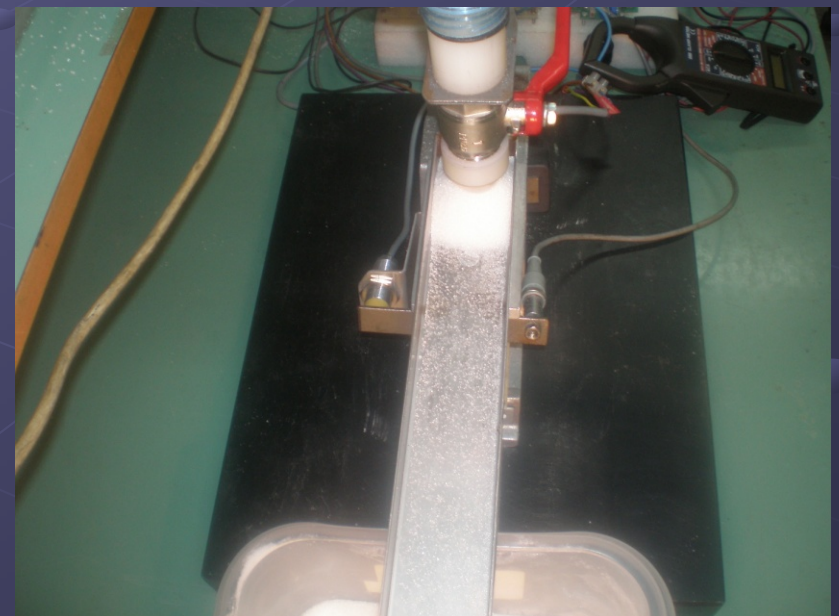
Montaža senzora ubrzanja



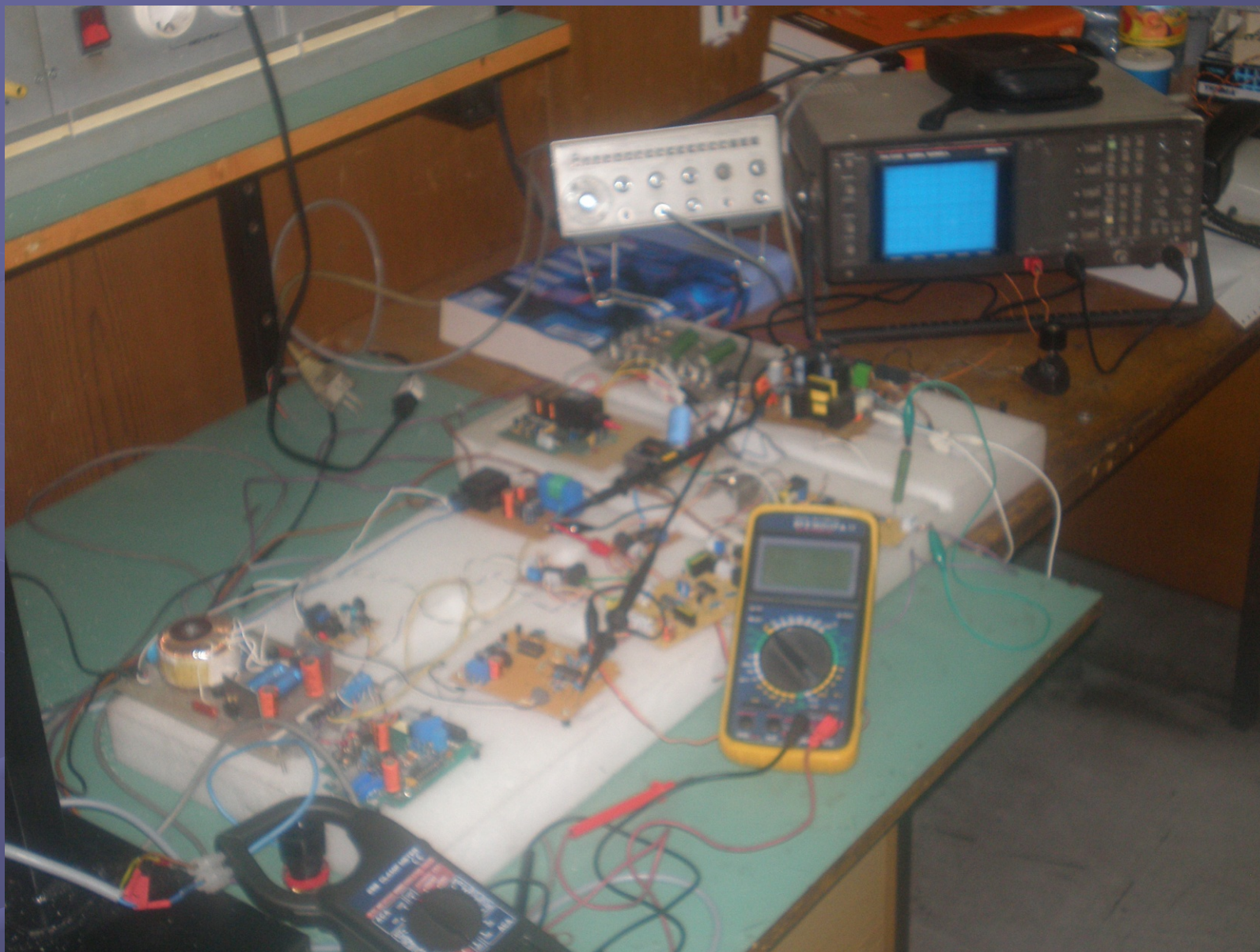
Montaža senzora pomeraja



Electromagneti Vibracioni Aktuator-EVA

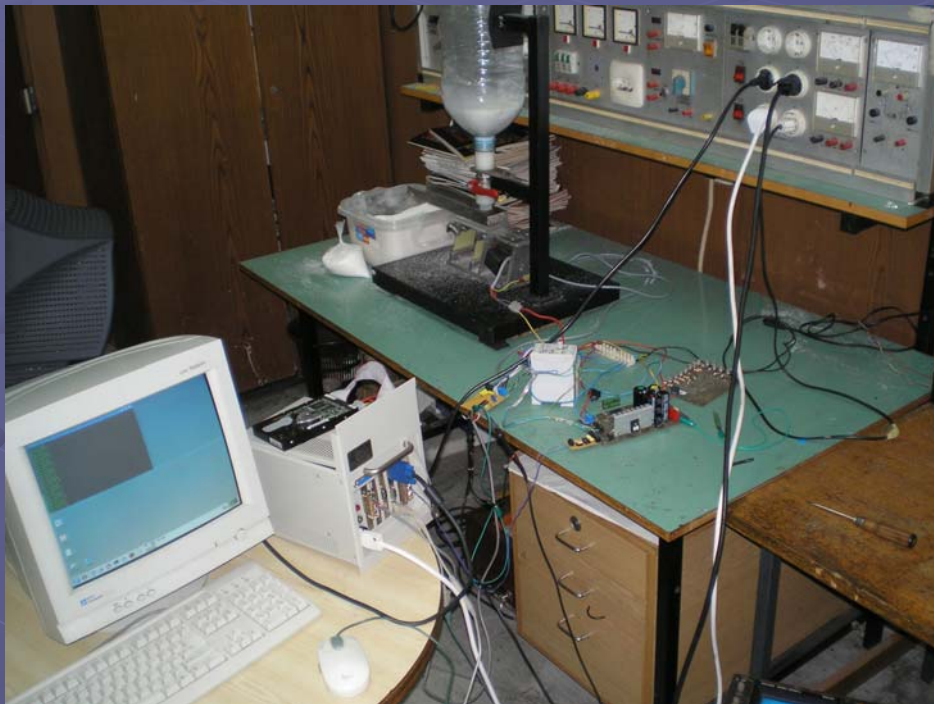


Vibracioni kanal- *top view*

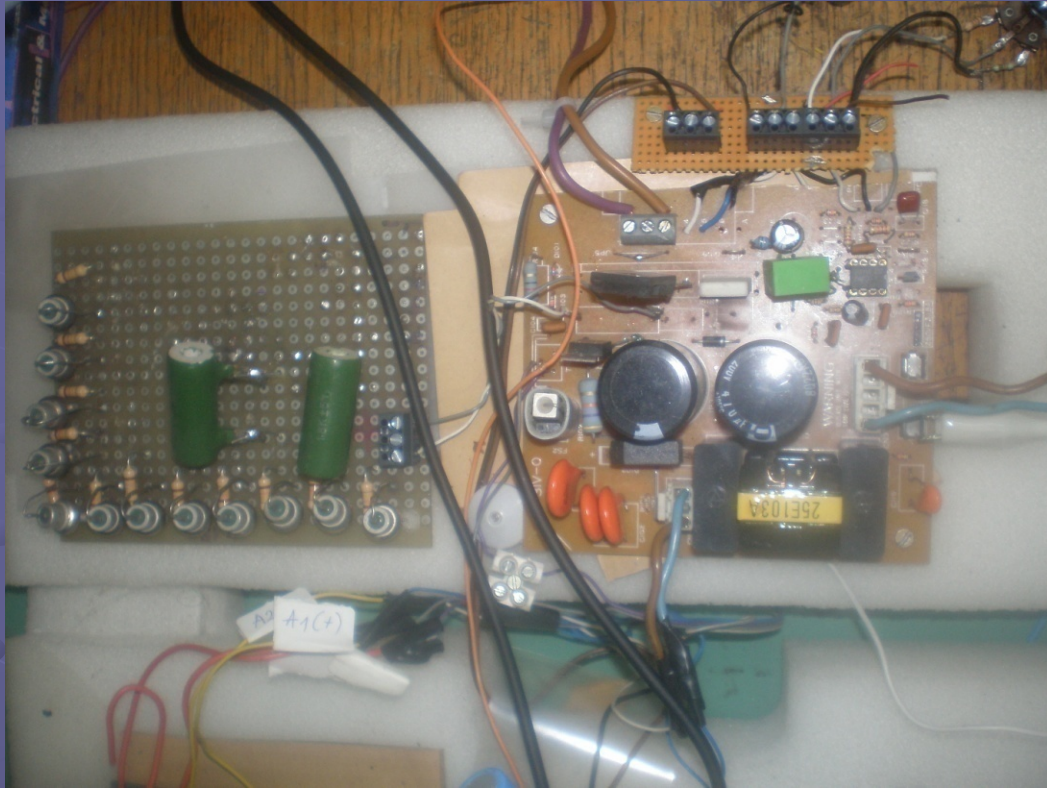


**IMPLEMENTIRANI PROTOTIP
ENERGETSKOG PRETVARAČA**

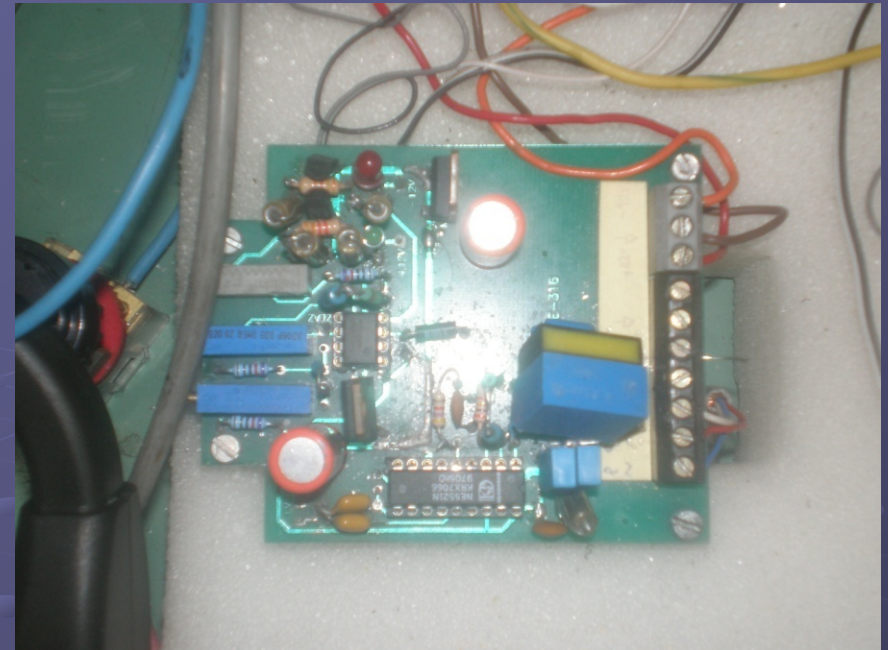
PC 104 UPRAVLJAČKA JEDINICA



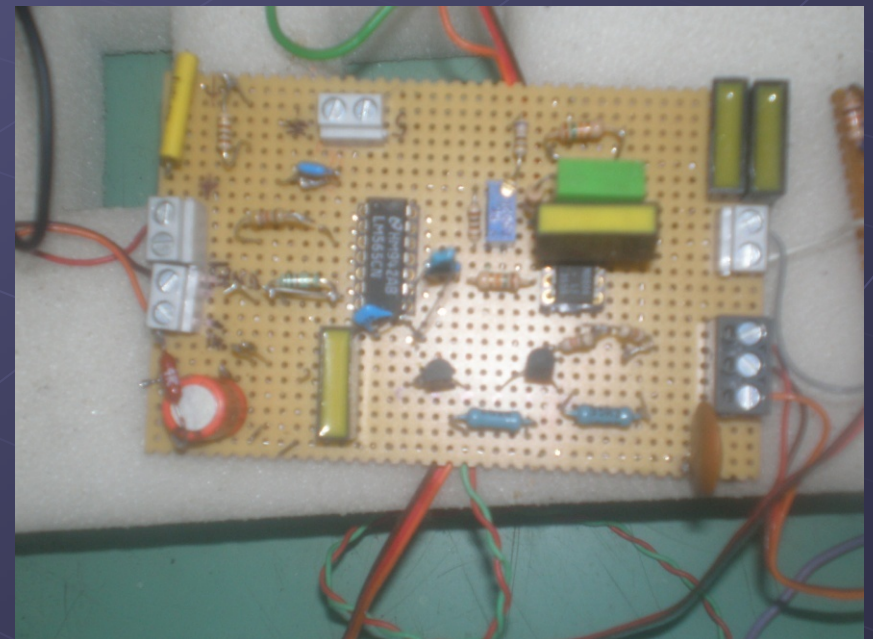
LINUX- OPERATIVNI SISTEM



Energetski pretvarač



Transmitter ubrzanja



PLL kolo

FILMSKI SNIMCI

- AMPLITUDSKA KONTROLA

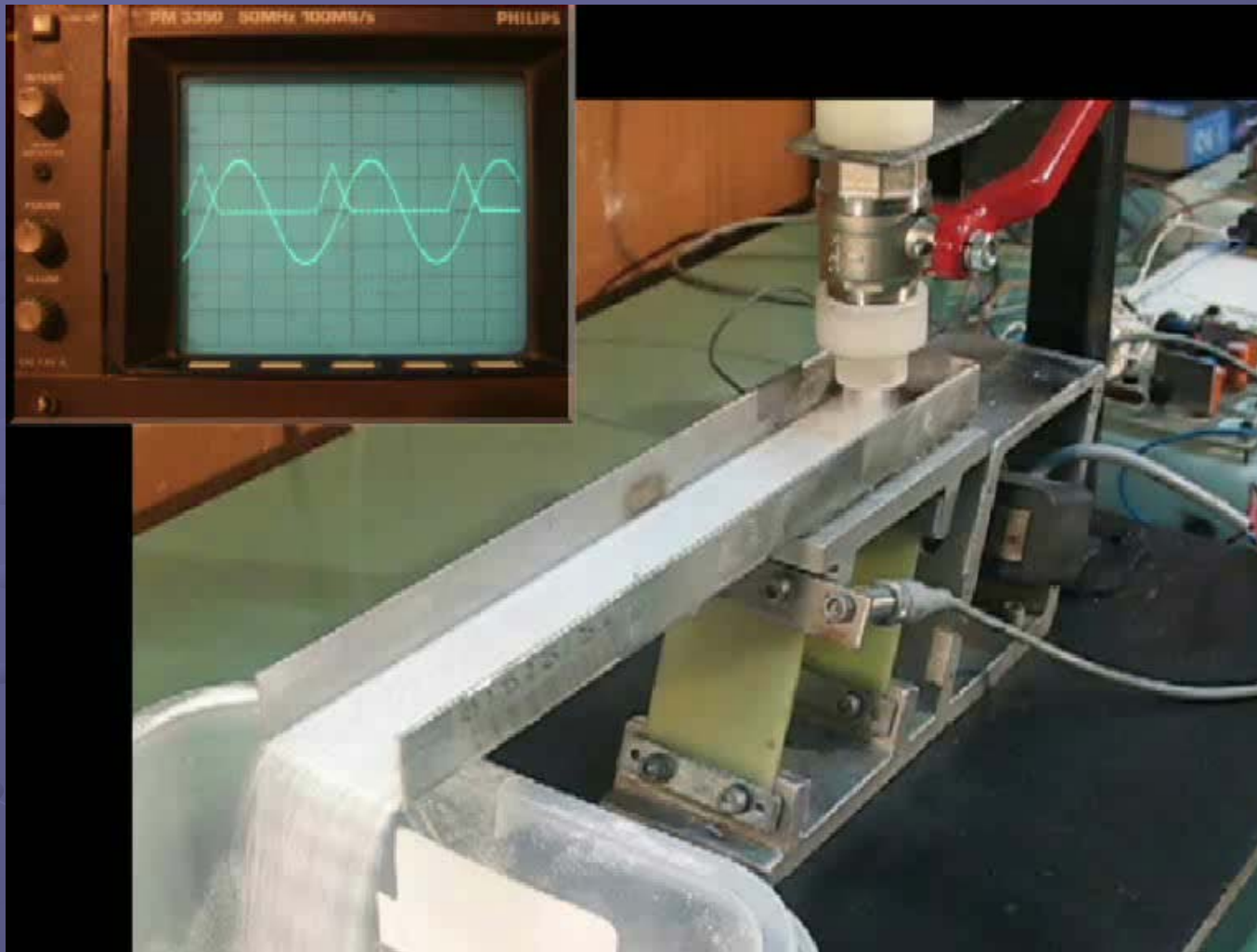
- FREKVENTNA KOTROLA

Time 5 ms/c

DISPLACEMENT 0,5mm/c



CURRENT 1A/c



AMPLITUDSKA KONTROLA

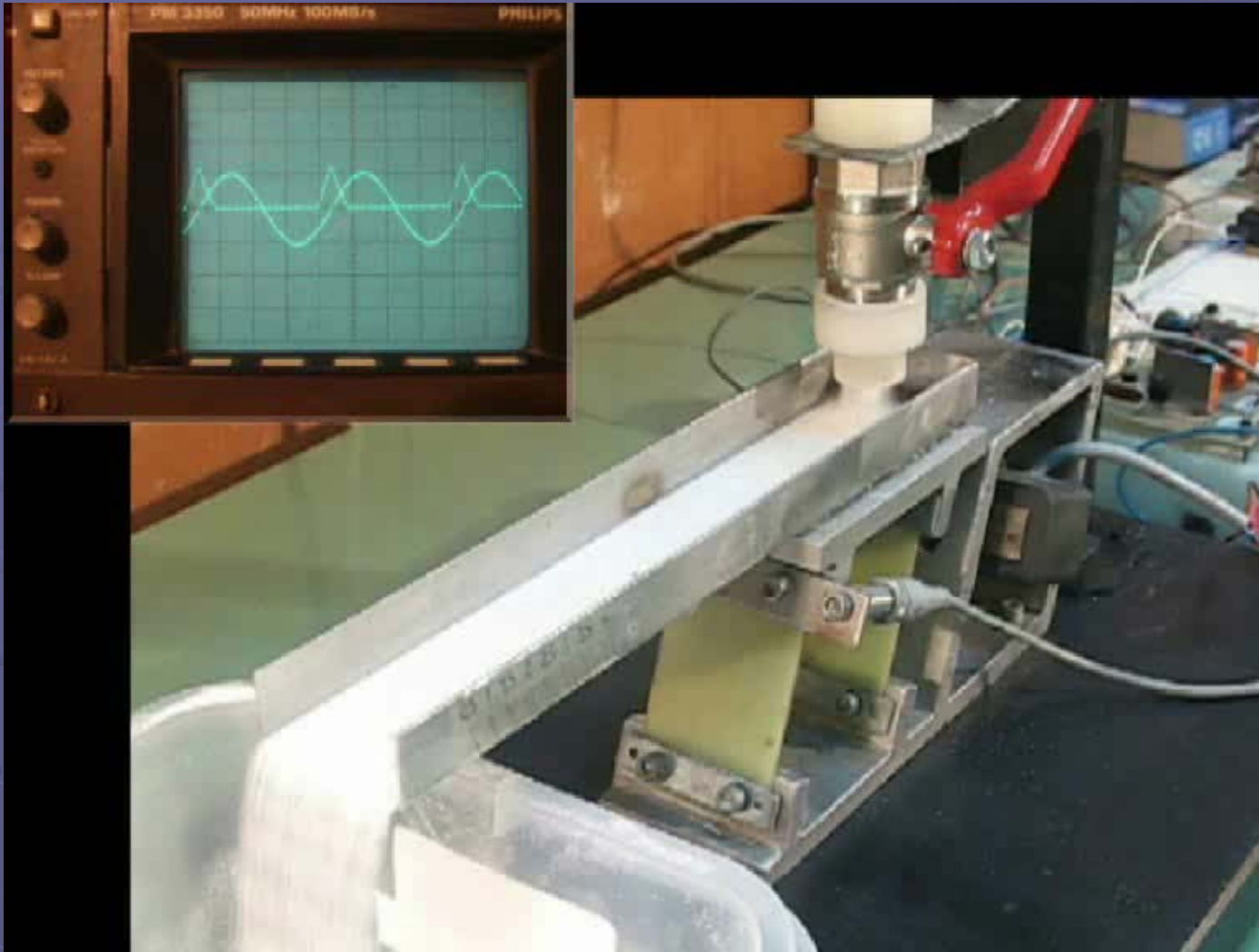
<http://www.youtube.com/watch?v=cc26Ds54sxxg>

<http://www.youtube.com/watch?v=4TvfS4kth7w>

Time 5 ms/c DISPLACEMENT 0,5mm/c

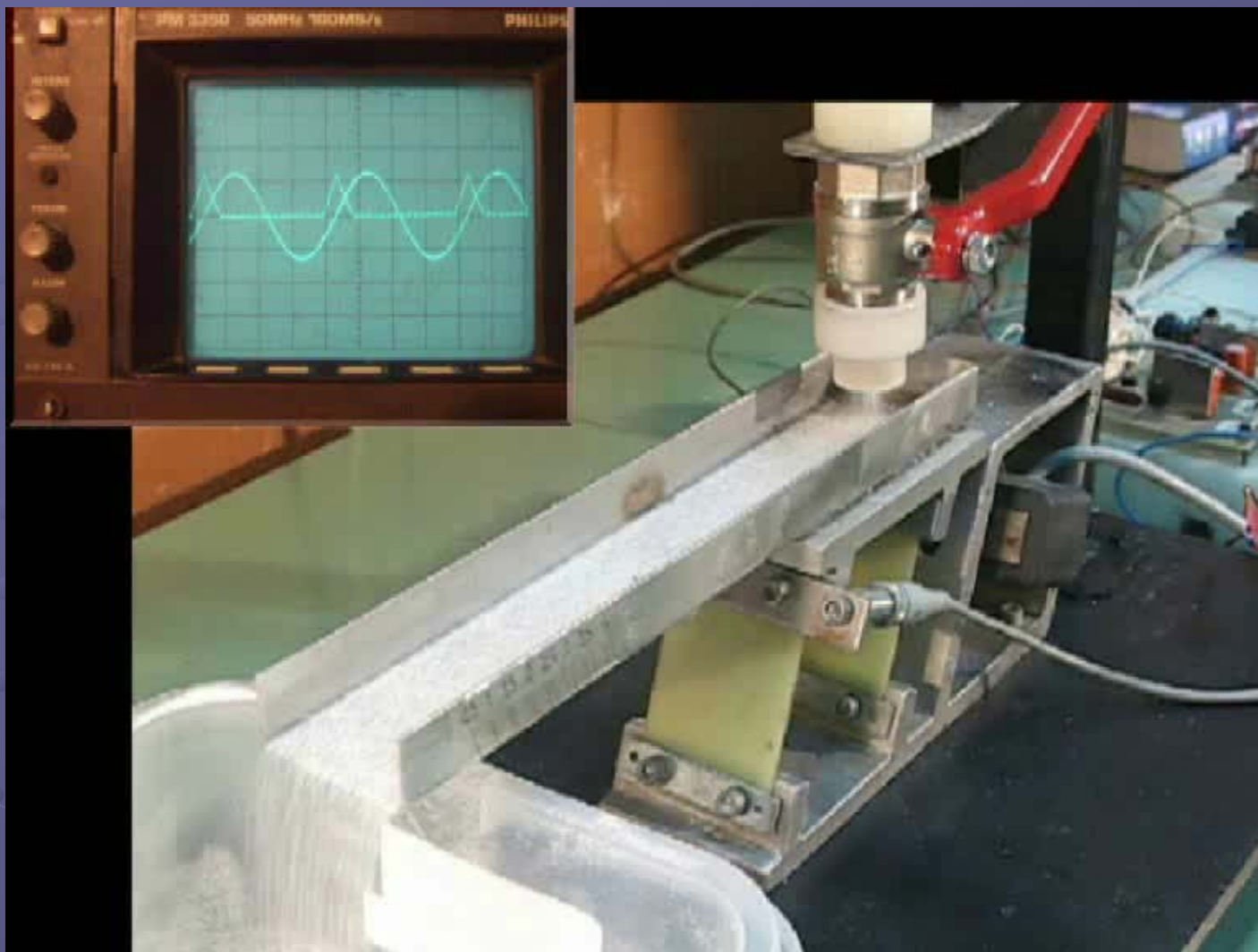


CURRENT 1A/c



FREKVENTNA KONTROLA

<http://www.youtube.com/watch?v=vn3q3YeoYL8>



AMPLITUDSKO-FREKVENTNA KONTROLA

<http://www.youtube.com/watch?v=4TvfS4kth7w>



<http://www.youtube.com/watch?v=2yi7CBaJvIU>

*Amplitudsko frekventna regulacija protoka rasutog materijala
Rezultat istraživanja objavljenog u radu:*

*A.I.Ribic, Z.V.Despotovic, " High Performance Feedback
Control of Electromagnetic Vibratory Feeder" , IEEE Transactions on Industrial Electronics,
Vol.57, Issue IX, pp.3087-3094, September 2010. (IF=4.678)*

LINK: https://www.researchgate.net/profile/Prof_dr_Zeljko_Despotovic/publications/2?sorting=published

ZAKLJUČCI

- ❶ U predavanju je istaknut značajan uticaj ENERGETSKIH PRETVARAČA i ENERGETSKE ELEKTRONIKE u razvoju optimalne kontrole rezonantnih vibracionih transportera i dozatora, kao i povećanju njihove energetske efikasnosti
- ❷ Upotrebom ENERGETSKE ELEKTRONIKE i adekvatne kontrole je ostvarena kompenzacija spoljašnjih uticaja koji dovode do narušavanja zahtevanog rezonantnog režima vibracionih transportera i dozatora, kao i njihove promene rezonantne učestanosti.
- ❸ Najdominantniji uticaji su: promena mase transportujućeg materijala, promena krutosti opruga, promena mrežnog napona

- U toku razvoja energetskih pretvarača su realizovana dva potpuno različita talasna oblika struje vibracionog akuatora koji daju iste efekte što se tiče izlaznog pomeraja vibracionog suda, pod uslovom da su im efektivne vrednosti iste.
- Ni jedno od predloženih rešenja nije apsolutno zadovoljavajuće, odnosno pri izboru rešenja treba praviti kompromis.
- Razvoj tehnologije novih kompozitnih materijala na bazi fiberglas vlakana i ugljenih fiber kompozita od kojih se danas isključivo prave elastični elemenati transportera je jako preokrenuo pravac daljeg razvoja energetskih pretvarača za pobudu rezonantnih vibracionih transportera.

❶ Pomoću opisanih pretvarača sa strujnom kontrolom i pripadajuće upravljačke elektronike, rezonantna učestanost je određena automatski.

❷ Ovim su postignute maksimalne performanse VT pogona i ostvareno je niz prednosti od kojih treba istaći sledeće:

- minimalni utrošak energije iz mreže

- fleksibilna automatizacija sa minimalnim preklopnim vremenom

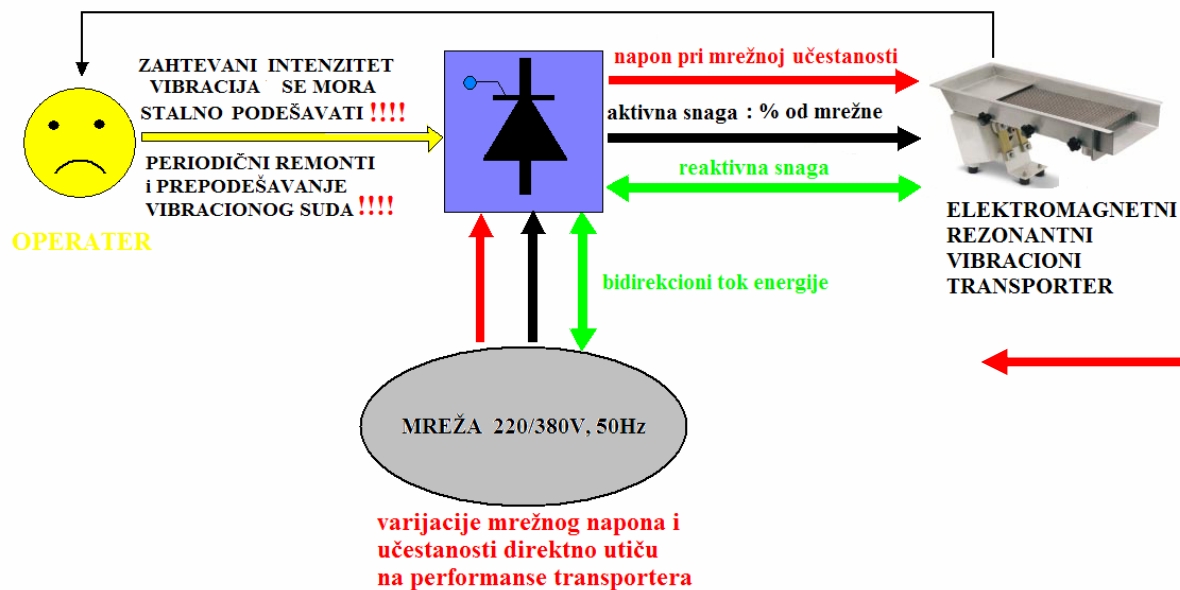
- eliminisan su opsežne i vrlo komplikovane mehaničke kalibracije i podešavanja

- omogućen rad bez rukovaoca u agresivnim i otrovnim sredinama

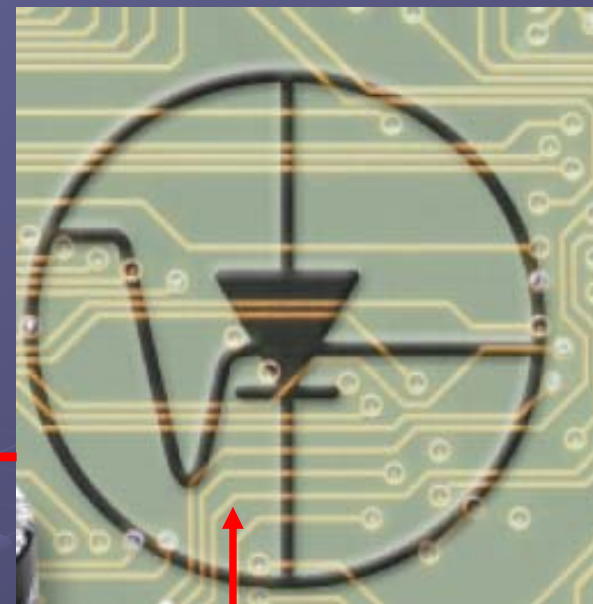
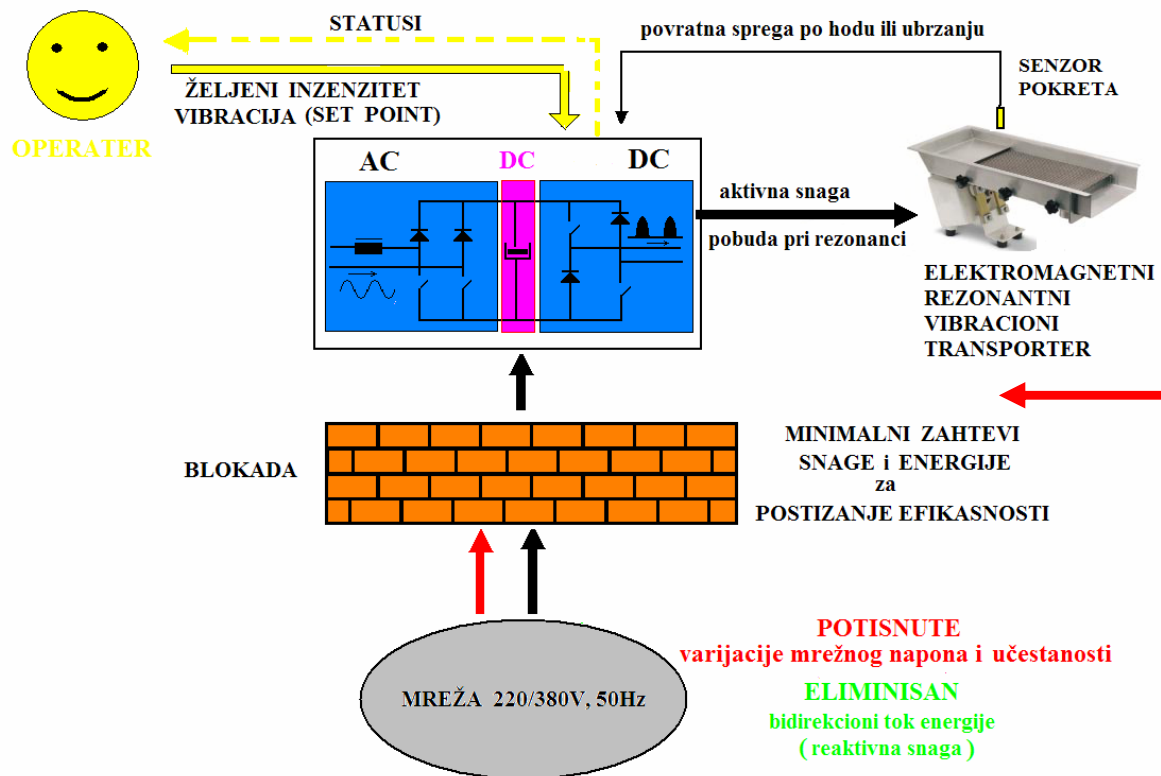
- ostvareno je proširenje korišćenja standardnih namotaja elektromagneta bez obzira na mrežnu učestanost (50Hz/60Hz)

STANDARDNA TIRISTORSKA KONTROLA VT

VIZUELNA I AUDIO POVRATNA SPREGA
(čovjek učestvuje u regulacionoj petlji)



TRANZISTORSKA KONTROLA VT



ENERGETSKA
ELEKTRONIKA



TRENDOVI DALJEG RAZVOJA

- Integracija energetskog pretvarača, upravljačkog dela i vibracionog aktuatora u jedan inteligentni sklop tzv. *smart actuator module*.
- DSP kontrola i implementacija metoda spektralne analize i brze Furijeove transformacije u pretraživanju i održavanju stanja rezonance.
- Primena Fuzzy-regulatora i neuronskih mreža u kontroli VT
- Istraživanje i razvoju vibracionih pogona sa kontrolom bez senzora ubrzanja ili pomeraja tzv. *sensorless vibratory conveying drive*.
- Na osnovu struje vibracionog aktuatora ili na osnovu struje DC međukola, preko sofisticiranih matematičkih metoda moguće je dobiti informaciju o vrednosti pomeraja ili ubrzanja transportnog suda.

Ideja za razvojem predloženog tranzistorskog IGBT pretvarača je proistekla iz dugogodišnjeg iskustva stečenog na razvoju i realizaciji tiristorskih pretvarača za pogon vibracionih transportera i dozatora primenjenih u industriji cementa (u periodu 2000-2003 god.) kao i sagledavanjem njihovih prednosti i nedostataka

● DEO REZULTATA ISTRAŽIVANJA NA OVOJ PROBLEMATICI SE KORISTI U OKVIRU PROJEKTA MINISTARSTVA PROSVETE, NAUKE I TEHNOLOŠKOG RAZVOJA:

“INTEGRISANI SISTEMI ZA UKLANJANJE ŠTETNIH SASTOJAKA DIMA I RAZVOJ TEHNOLOGIJA ZA REALIZACIJU TERMOELEKTRANA I ENERGENA BEZ AEROZAGAĐENJA” - TR33022

20. Novembar 2012



HVALA NA PAŽNJI!!!!

Dr Zeljko Despotović, Institut “Mihajlo Pupin”-Beograd
zeljko.despotovic@pupin.rs