

EKSPERIMENTALNE METODE - VAJE

2004/05

Piezo senzorji

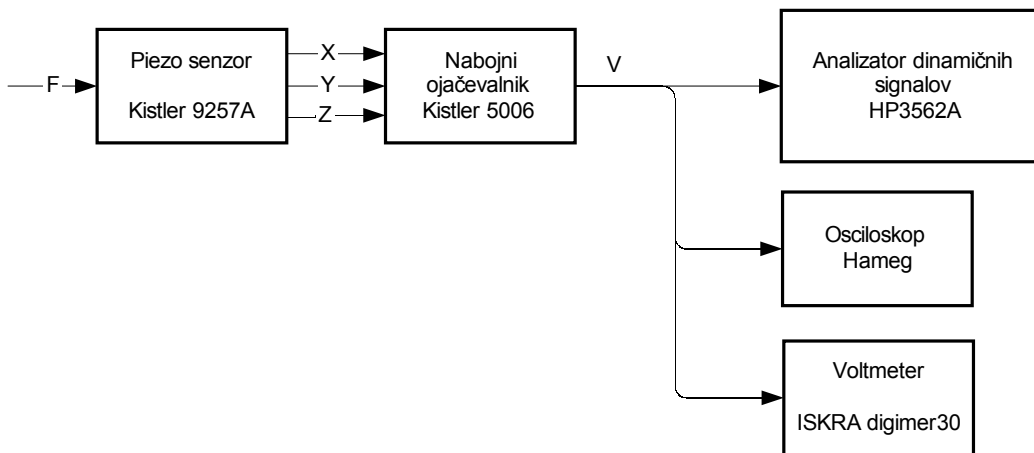
Merjenje rezalnih sil pri struženju

1. Definicija naloge

Pri nalogi spoznavamo lastnosti piezo senzorjev in njihovo uporabo pri merjenju sil. Pogledali bomo, kako uporabimo piezo senzor za meritve rezalnih sil pri struženju.

2. Merilni sistem

a. Troosni senzor Kistler

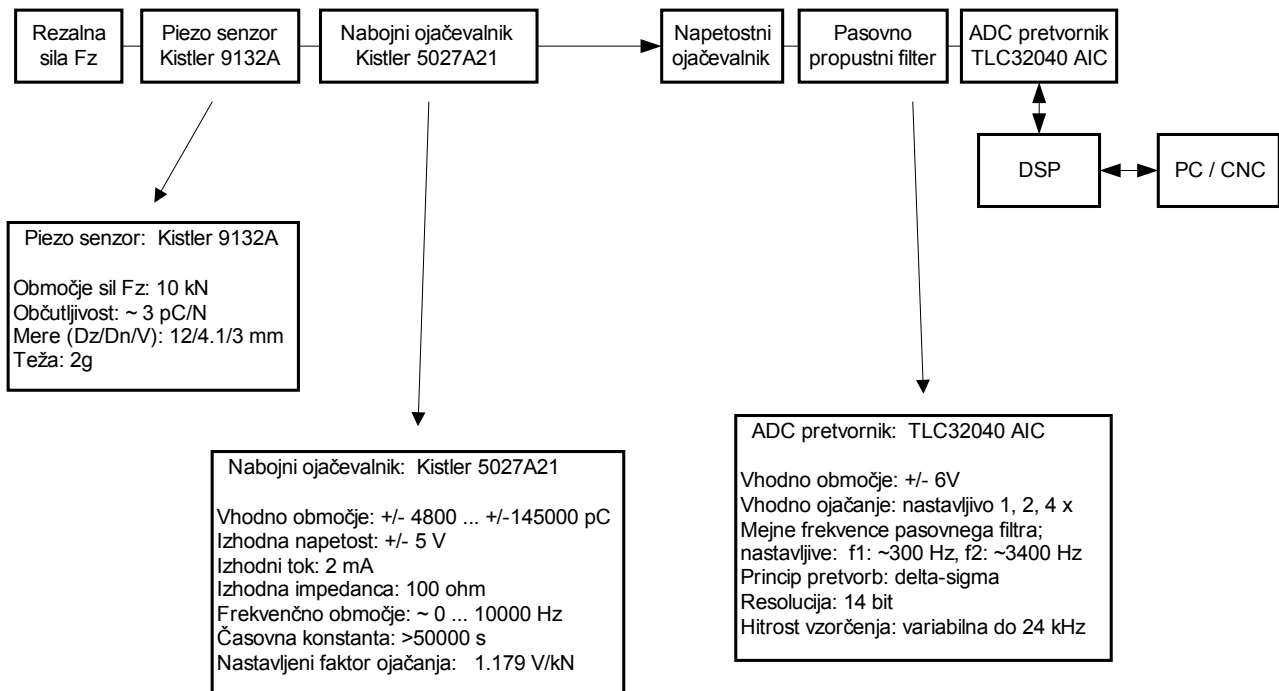


Slika 1: Piezoelektrični merilni sistem za merjenje dinamičnih sil

Merilni sistem sestavljajo:

- troosni piezoelektrični dinamometer Kistler 9257A
- trije nabojni ojačevalniki Kistler 5006
- analizator dinamičnih signalov HP 3562A
- osciloskop Hameg
- univerzalni digitalni voltmetr Iskra digimer 30

b. Merilni sistem na stružnici



Slika 2: Merilna veriga za merjenje rezalnih sil na stružnici in karakteristike pretvornikov

Merilni sistem sestavljajo:

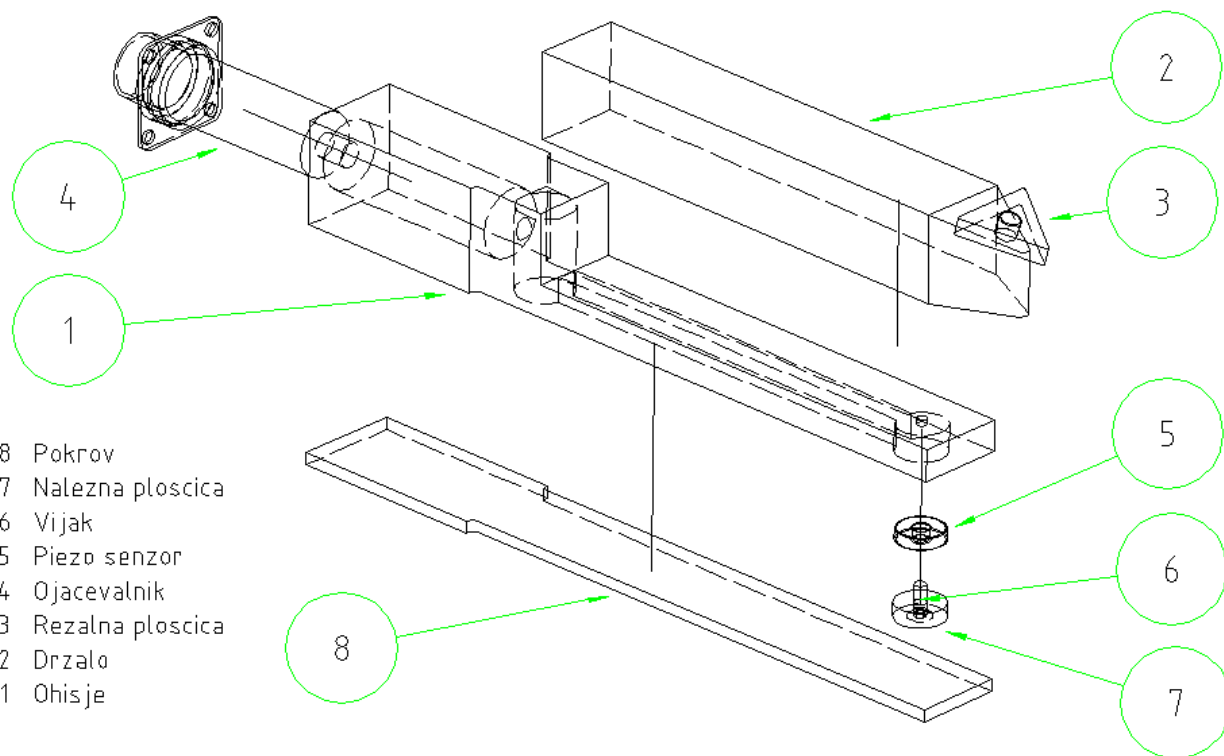
- enoosni piezoelektrični senzor Kistler 9132A
- nabojni ojačevalnik Kistler 5027A
- A/D pretvornik Texas Instruments TLC32040
- DSP procesor Texas Instruments TMS320 c31
- PC računalnik



Slika 3: Rezalno orodje in senzor rezalnih sil

Sila [N]	meritev [V]
0	0.000
50	0.056
100	0.118
150	0.176
100	0.118
50	0.056
0	0.000

Tabela 1: Kalibracijski podatki za senzor rezalnih sil



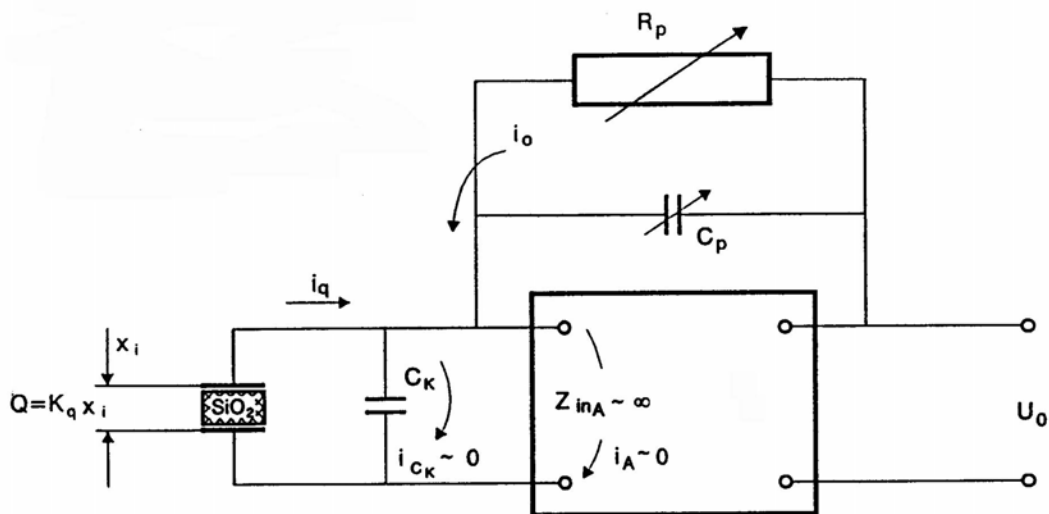
Slika 4: Senzor za merjenje sil - sestav komponent

$$i_q = i_o$$

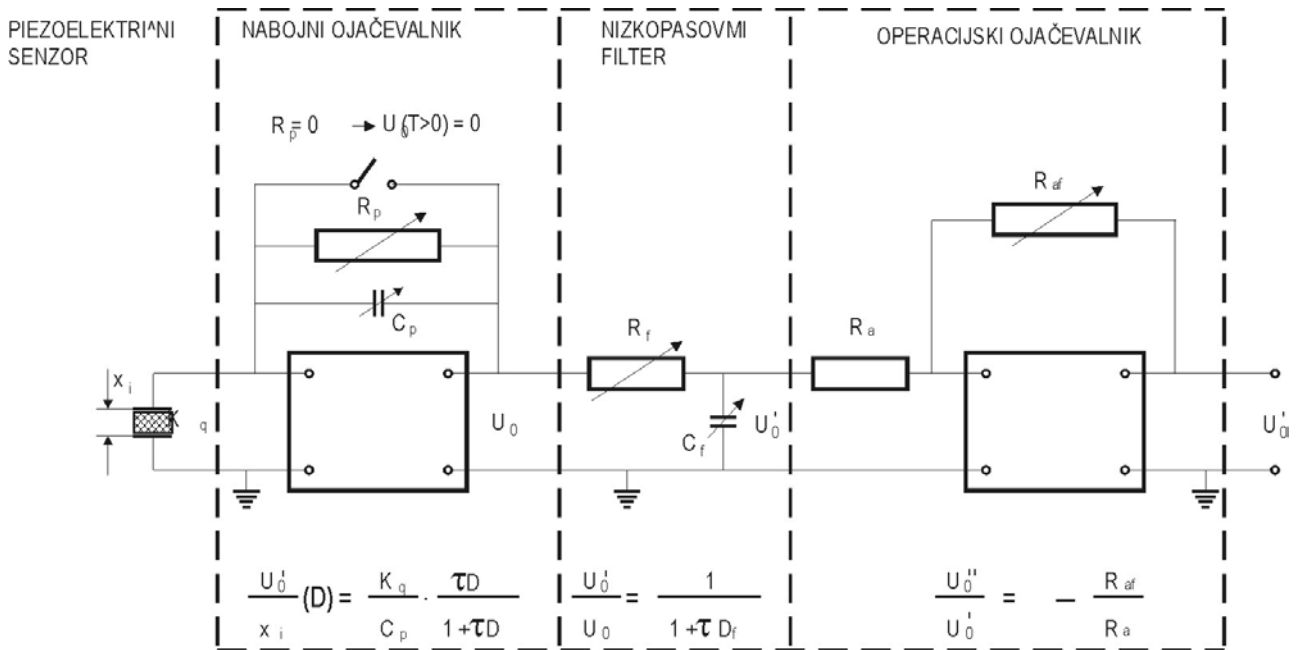
$$K_q D x_i = C_p D U_o + \frac{U_o}{R_p}$$

$$\frac{U_o}{x_i} = K \cdot \frac{\tau D}{1 + \tau D}$$

$$K = \frac{K_q}{C_p}, \quad \tau = R_p C_p$$



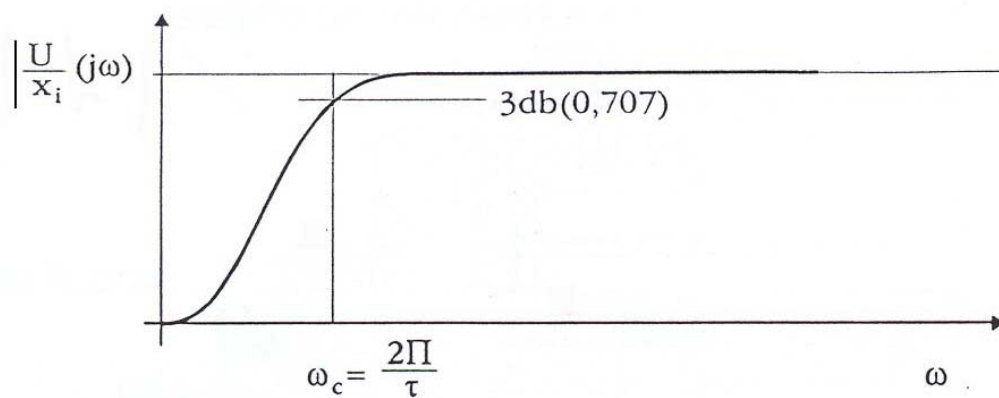
Slika 5: Piezoelektrični senzor in ojačevalnik naboja



Slika 6: Ojačevalnik naboja in transferne funkcije elementov

Transferna funkcija

$$\frac{U_0}{x_i}(D) = \frac{K \cdot \tau D}{1 + \tau D} \Rightarrow \frac{U_0}{x_i}(j\omega) = K \cdot \frac{j\omega\tau}{1 + j\omega\tau}$$



Slika 7: Transferna funkcija piezoelektričnega senzorskega sistema

$$U_0(t) = U_0(t=0) \cdot e^{-t/\tau}$$

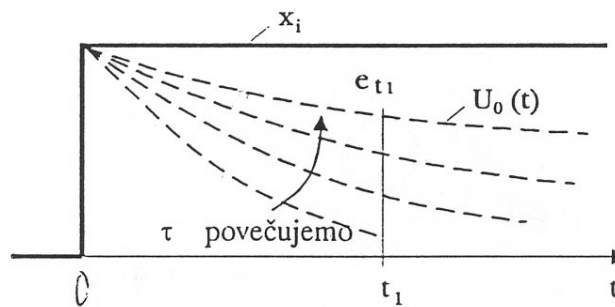
$$e^{-1} = 1 - x + \frac{x^2}{2} - \dots \text{ za } x \ll 1$$

$$U_0(t) = U_0 \left(1 - \frac{t}{\tau} \right)$$

predpišemo napako npr. 5%

$$\frac{t}{\tau} \leq 0,05$$

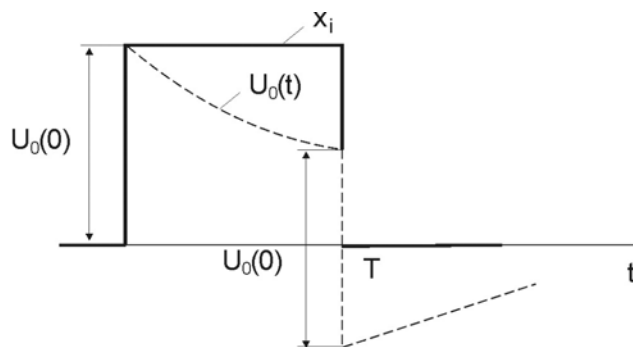
$$\tau_{\max} = 10^5 \text{ s} \rightarrow t_{\max} = 5 \cdot 10^3 \text{ s}$$



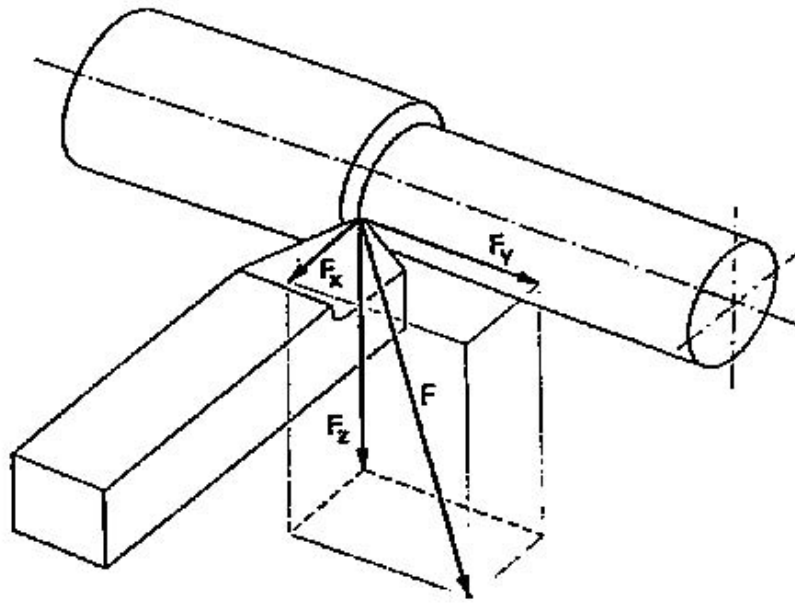
Slika 8: Koračni odgovor

$$U_0(t) = U_0(e^{-T/\tau} - 1) \cdot e^{-t/\tau}$$

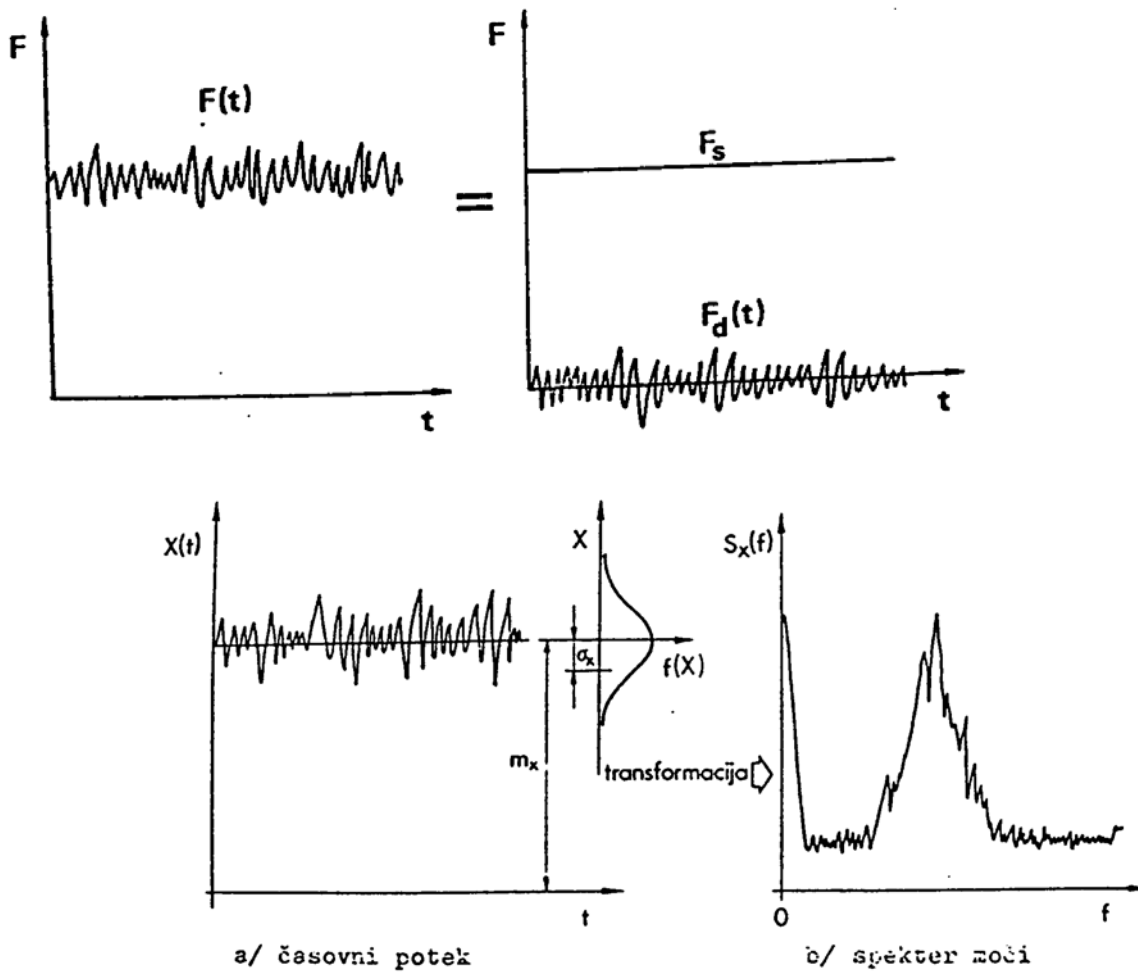
$$T < t < \infty$$



Slika 9: Koračni odgovor (0->1, 1->0)



Slika 10: Rezalne sile pri struženju



Slika 11: Potek rezalnih sil

Analiza naključnih signalov

$$m_x = E[x(t)] = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt \quad \dot{x}(t) = x(t) - E[x(t)]$$

$$\text{var}(x) = E[\dot{x}^2(t)] = \frac{1}{T} \int_0^T (x(t) - m_x)^2 \cdot dt$$

Korelacijska funkcija

$$K_x(\tau) = E[\dot{x}(t)\dot{x}(t+\tau)] = \frac{1}{T-\tau} \int_0^{T-\tau} \dot{x}(t) \cdot \dot{x}(t+\tau) \cdot dt$$

$$\text{op. : } R_x(\tau) = E[x(t) \cdot x(t+\tau)] = K_x(\tau) + m_x^2$$

$$K_x(\tau=0) = \text{var}(x)$$

$$K_x(\tau=\infty) = 0 \quad \text{ali tudi } R_x(\tau=\infty) = m_x^2$$

$$K_x(0) \geq K_x(\tau) \quad \text{ta} \quad K_x(-\tau) = K_x(+\tau)$$

$$K_x(\tau) = \frac{K_x(\tau)}{\text{var}(x)}$$

Spekter moči

$$S_x(f) = 2 \int_{-\infty}^{+\infty} R_x(\tau) \cos 2\pi \cdot d\tau$$

$$R_x(f) = \int_0^{\infty} S_x(\tau) \cos 2\pi\tau \cdot dt$$

$$R_x(\tau) \overset{\text{Fourier}}{\longleftrightarrow} S_x(f)$$

$$R_x(0) = \int_0^{\infty} S_x(f) \cdot df = \underbrace{\int_{-0}^{+0} S_x(f) \cdot df}_{m_x^2} + \underbrace{\int_0^{\infty} S_x(f) \cdot df}_{\text{var}(x)}$$

Potek vaje

1. Prikaz delovanja piezoelektričnega merilnega sistema
2. Analiza modela piezoelektričnega merilnega sistema
3. Umerjanje piezoelektričnega merilnega sistema
4. Merjenja statičnih sil
5. Ugotavljanje lastne frekvence držala noža - dinamične meritve
6. Rezalne sile pri struženju
7. Prikaz merilnega sistema za merjenje rezalnih sil na stružnici
8. Značilnosti A/D pretvorbe, vzorčni teorem, filtriranje signala
9. Hitra Fourierova transformacija DFT, FFT
10. Določanje rezalnih parametrov
11. Priprava programa za meritve rezalnih sil
12. Zajem podatkov
13. Analiza podatkov - statična in dinamična komponenta rezalnih sil, močnostni spekter

Podatki o eksperimentu na stružnici:

Material obdelovanca: avtomatno jeklo W.NR. 1.0737, DIN 9SMnPb36, obdelovanec $\phi 80 \times 500$ mm

Material orodja: Sandvik Coromant TNMG 22 04 08-PM 4025

Držalo: Sandvik: MTGNL 2525 22M1

Priporočeni rezalni parametri:

rezalna globina $a = 0.5 - 6$ mm

rezalna hitrost $v = 265 - 405$ m/min

podajalna hitrost $f = 0.15 - 0.50$ mm/vrt

Obdelovalni stroj: Index GU 1000

Izbrani rezalni podatki za eksperiment:

meritev	v [m/min]	f [mm/vrt]	a [mm]	d [mm]	rec	datoteka	sr.vredn. [N]	std [N]
1								
2								
3								
4								

Poročilo

- opis meritev
- blokovna shema in nastavitve komponent merilnega sistema
- grafični prikaz rezultatov
- srednje vrednosti in standardne deviacije
- spekter moči

NALOGE:

Kalibracija piezoelektričnega merilnega sistema:

Kalibrirajte piezoelektrični merilni sistem tako, da bo izhodna napetost proporcionalna mehanski obremenitvi na piezoelektričnem sensorju. Uporabite znano obremenitev in nastavite občutljivost nabojnega ojačevalnika. Odčitajte nastavljeni faktor K_q !

Meritve časovne konstante piezoelektričnega merilnega sistema:

Določite, kakšna je časovna konstanta piezoelektričnega merilnega sistema pri treh nastavitvah ojačevalnika (long, medium, short). Rezultate meritev vpisujte v tabelo !

Meritev	ojač.faktor [N/V]	časovna konst.ojačev.	sila [N]	U_1 [V]	t_1 [s]	U_2 [V]	t_2 [s]
1		long					
2		medium					
3		short					

Meritve linearnosti piezoelektričnega merilnega sistema:

Določite linearnost kalibriranega piezoelektričnega sistema. Piezoelektrični senzor obremenjujte z znanimi obremenitvami in rezultate vpisujte v tabelo. Ponovite test pri razbremenjevanju. Določite regresijsko premico in korelacijske koeficiente povezave mehanskih in električnih veličin.

Občutljivost K_q [pC/N]:

Ojačitev [meh.enote/V]:

Meritev	obremenitev [N]	meritev [V]
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Meritve lastnih frekvenc držala stružilnega noža:

Določite lastno frekvenco držala stružilnega noža v odvisnosti od vpetja.

Meritev	vpetje	čas [ms]	nihajev	frekvenca [Hz]
1				
2				

Analiza meritev rezalnih sil pri struženju:

Določite statično in dinamično komponento (srednja vrednost in standardna deviacija) časovnega poteka rezalnih sil v 'N', za izmerjene vzorce. Za enega od filtriranih signalov pokažite razporeditev vzorcev v histogramu. Izmerjene vzorce rezalnih sil prikažite tudi v grafični obliki, enote ordinate naj bodo 'N', enote abscise pa 'ms'. Za določitev enot uporabite podatke iz tabele 1 in podatke o nastavitvah merilne verige med izvajanjem eksperimentov.

Grafično prikažite tudi enega od močnostnih spektrov zajetih signalov in ga na kratko komentirajte. Enota na abscisi je frekvenca v 'Hz', ordinata naj bo prikazana v logaritmični skali.