

Senzory I

prof. Ing. Ján Šaliga, PhD.
KEMT FEI TU Košice
2015

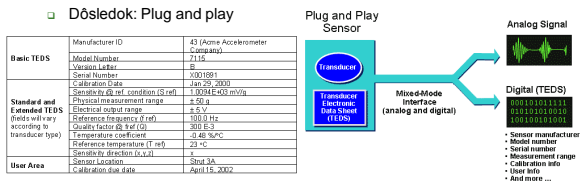
System zberu dát



- Data acquisition system (DAQ)
 - Senzorický element (princíp, obvyčajne analógový)
 - Obvody pre úpravu signálu (signal conditioning)
 - Spôsob zapojenia senzora, napr. mostík, konverzia prúd, odpor, kapacita, indukčnosť, ... na napätie, zesilenie/zoslabenie, galvanické oddelenie, ...
 - Digitalizácia
 - Korekcie (korekcia, linearizácia, filtrácia, prepočet veličín, ...)
 - Riadenie, vizualizácia, archivácia, ...
- Pre korekciu a linearizáciu je potrebné poznať parametre použitého senzora:
 - Jednotlivé kusy sa líšia, výrobca často udáva špecifické parametre (konštanty na rovnici) pre konkrétny kus

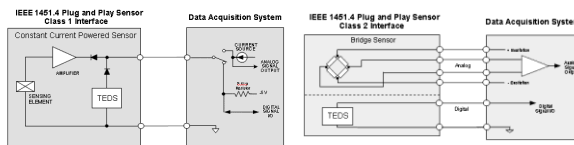
TEDS senzory (IEEE 1451.4)

- Štandard pre analógové senzory s implementovanou tabuľkou parametrov - Transducer electronic datasheet (TEDS)
 - Dôsledok: Plug and play

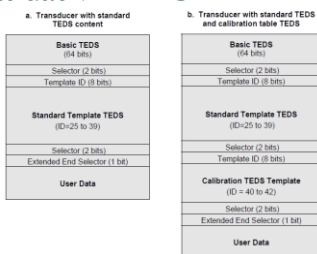


Komunikačné rozhranie IEEE 1451.4

- Dva typy zmiešaného (kombinovaného) rozhrania:



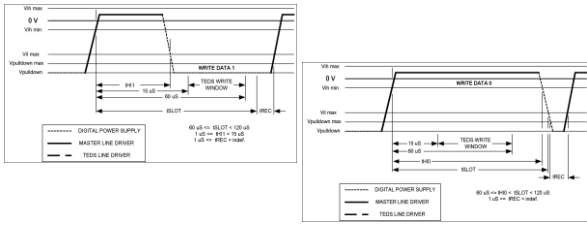
Formát dát v TEDS



Prenosový protokol

- Master-slave, multidrop, serial, napájanie od mastra, data vysielané cez otvorený kolektor
- Class 1 negatívna logika so zápornými hodnotami napätia (kladné znamenná prechod do analógového režimu = meraná hodnota), class 2 pozitívna logika (0V, 5V)
- Prenos:
 - Inicializácia - reset pulze od mastra - presence pulze od slave pred každou komunikáciou
 - ROM function commands (každý senzor má 64bitový jedinečný kód - sériové číslo - adresu v ROM, využívaný pre adresovania ak je viac senzorov v systéme - multidrop)
 - Memory Function Command and Data Transfer - čítanie TEDS

Časové sloty



IEEE1451

- IEEE1451.0 - základný IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators - Common Functions, Communication Protocols, and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats
- IEEE1451.1 - IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators-Network Capable Application Processor (NCAP) Information Model
- IEEE1451.2 - IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators - Transducer to Microprocessor Communication Protocols and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats
- IEEE1451.3 - IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators - Digital Communication and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats for Distributed Multidrop Systems
- IEEE1451.4 - IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators - Mixed-Mode Communication Protocols and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats
- IEEE1451.5 - IEEE Standard for a Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators Wireless Communication Protocols and Transducer Electronic Data Sheet (TEDS) Formats
- IEEE1451.6 - nie je
- IEEE1451.7 - IEEE Standard for Smart Transducer Interface for Sensors and Actuators-Transducers to Radio Frequency Identification (RFID) Systems Communication Protocols and Transducer Electronic Data Sheet Formats

TENZOMETRE - SNÍMANIE, TLAKU SILY, DEFORMÁCIE, ...

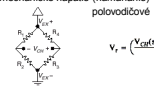
Tenzometer (strain gauge)

- Odpor sa mení s pôsobením namáhania alebo sily (deformácia)
- Používajú sa v mnohých aplikáciách ako merania polohy a posunu, váhy, dĺžky atď.
- Materiál - kov, fólia, polovodič, viď prednášku Ing. Andráša
- Základný parameter:

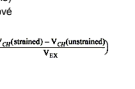
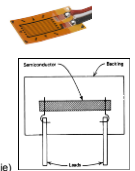
$$GF = \frac{\Delta R}{\epsilon}$$

- ΔR zmena odporu tenzometra, R_0 odpor bez namáhania, ϵ mechanické napätie (namáhanie) (nelineárne)
- GF býva v jednotkách pre kovové tenzometre (lineárne)

- Praktické zapojenie obyčajne vo forme Wheatstonovho mostíka
- V mostíku môže byť 1, 2, alebo 4 aktívne tenzometre - citlivost

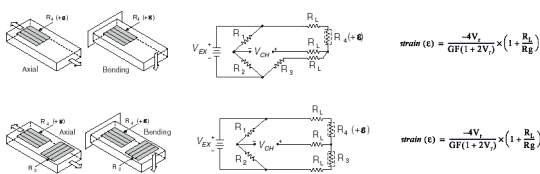


$$V_{EX} = \frac{(V_{OUT(unloaded)} - V_{OUT(unstrained)})}{V_{EX}}$$



<http://www.ni.com/white-paper/4172/en/>

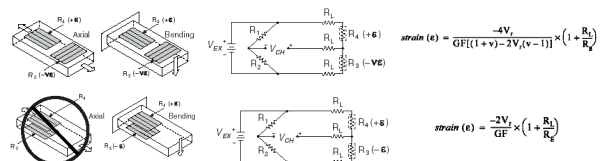
Štvrtinový mostík



$$\text{strain}(\epsilon) = \frac{-4V_{OUT}}{GF(1+2V_{EX})} \times \left(1 + \frac{R_L}{R_B}\right)$$

$$\text{strain}(\epsilon) = \frac{-4V_{OUT}}{GF(1+2V_{EX})} \times \left(1 + \frac{R_L}{R_B}\right)$$

Polovičný mostík

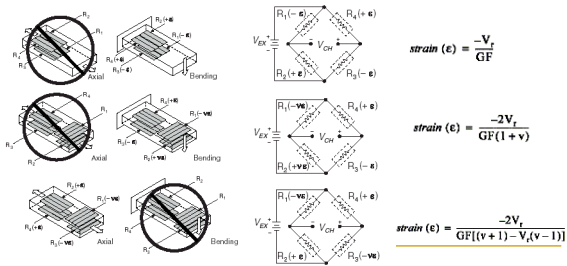


$$\text{strain}(\epsilon) = \frac{-4V_{OUT}}{GF[(1+\nu)-2V_{EX}(1-\nu)]} \times \left(1 + \frac{R_L}{R_B}\right)$$

$$\text{strain}(\epsilon) = \frac{-2V_{OUT}}{GF} \times \left(1 + \frac{R_L}{R_B}\right)$$

- Poisson efekt - ak sa materiál deformuje pôsobením sily v jednom smere, deformácia sa objaví aj ostatných smeroch

Úplný mostík



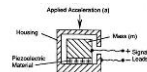
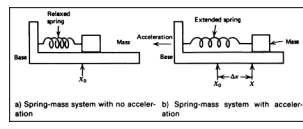
AKCELOMETRE - MERANIE VIBRÁCIÍ, ZRÝCHLENIA, ...

Akcelerácia

- Newtonov zákon $F=ma$
- Hookov zákon (spružina) $F = k \cdot x$
- $ma = kDx$

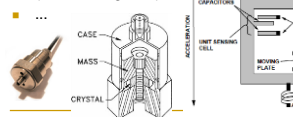
$$a = \frac{k}{m} \Delta x$$

- Akcelerácia sa udáva často v g (gravitačné zrýchlenie = $9,81 \text{ m/s}^2$) a býva v rozsahu od jednotiek po stovky g
- Frekvenčný rozsah od 0 do jednotiek až desiatok kHz
- Široké využitie v praxi, najmä vibrácie rotujúcich častí strojov, seizmické merania a otrasy, nárazy a úder, zistenie pozície (natočenie mobilu alebo tabletu), ...

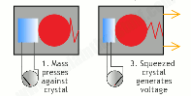


Princípy akcelerometrov

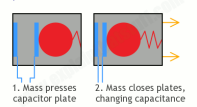
- Piezoelektrický - piezokeramika alebo monokrystal
- Kapacitný - najčastejšie na mikromechanických systémoch (MEMS) vo forme integrovaných obvodov (www.analog.com)



Piezoelectric accelerometer www.siemens.com

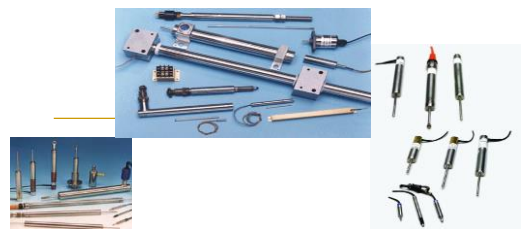


Capacitive accelerometer www.captainhat.com

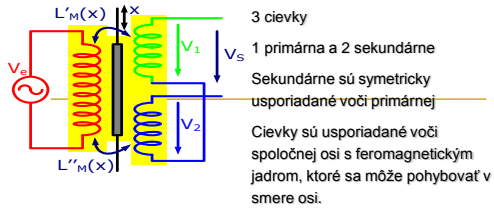


LVDT – LINEAR VARIABLE DIFFERENTIAL TRANSFORMER

LVDT

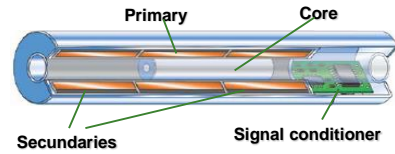


LVDT princíp

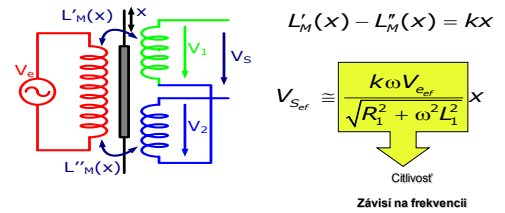
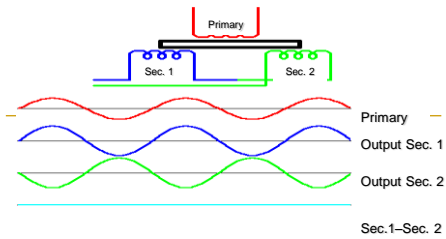


19

LVDT praktické usporiadanie



LVDT - priebeh napätí



LVDT

The sensitivity has a maximum for

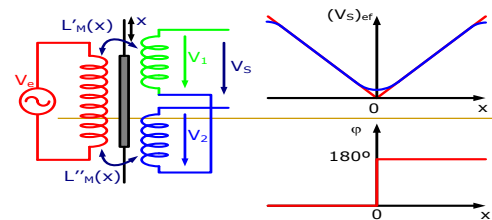
$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{R_1 R_2}{2L_1 L_2}}$$

At this frequency the input (primary) and the output (secondary) voltages are in phase or in opposition.

This is important for the synchronous detection.

23

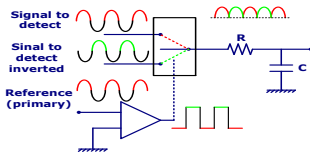
LVDT



LVDT - úprava signálu

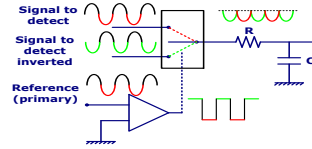
Usually with synchronous detection

(coherent detection or phase demodulation)



If primary and secondary are in phase

LVDT - úprava signálu



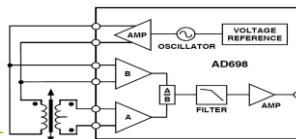
If primary and secondary are in phase opposition

LVDT úprava signálu

Integrated signal conditioner (AD698)

FEATURES
 Single Chip Solution, Contains Internal Oscillator and Voltage Reference
 No Adjustments Required
 Interfaces to Half-Bridge, 4-Wire LVDT
 DC Output Proportional to Position
 20 Hz to 20 kHz Frequency Range
 Unipolar or Bipolar Output
 Will Also Decode AC Bridge Signals
Outstanding Performance
 Linearity: 0.05%
 Output Voltage: ≈ 11 V
 Gain Drift: 20 ppm/ $^{\circ}$ C (typ)
 Offset Drift: 5 ppm/ $^{\circ}$ C (typ)

FUNCTIONAL BLOCK DIAGRAM



LVDT – príklad parametrov

Electrical Specification	B 1.5	B 15	B 25	
AC operation - calibration @ $3V_{rms}$	5kHz	2.5kHz	5kHz	2.5kHz
Non-linearity %	$<0.25\%$ of full range			
Sensitivity mV/mm $\pm 5\%$	15R	25R	27	25.5
Energising current mA/V	2.1	2.2	1.6	2.2
Output impedance Ω total (secondary coils)	1630	4032	750	410
Input/output phase shift $\pm 2^{\circ}$ (+leading, -lagging)	-1.6	-2.5	-3.0	-3.0
Zero phase shift frequency kHz	4.9	2.0	3.7	3.0
Residual voltage @ null	$<0.5\%$ full range output			
Energising voltage range	1-10Vrms			
Energising frequency range kHz*	0.4-10kHz			

Why mV/V/mm ??

28

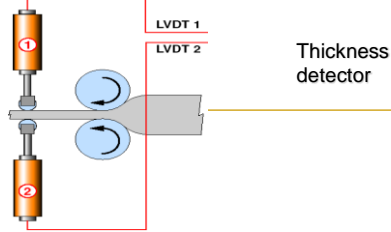
Vlastnosti LVDT

- High resolution: better than 0,1%
- It works with very low friction (no contact between the core and the coils)
- High mechanic lifetime
- Resistant to "over-displacements"
- Sensitivity on one direction
- High sensitivity (depends on the frequency)
- Reproducibility
- High dynamic response
- High linearity (0,05%)

Aplikácie LVDT

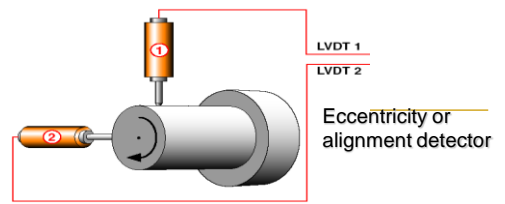
- Measurement of displacement and position
- In zero-detectors, used in position feedback systems (aircrafts and submarines)
- In machine-tools, as positioning detectors

LVDT – Applications



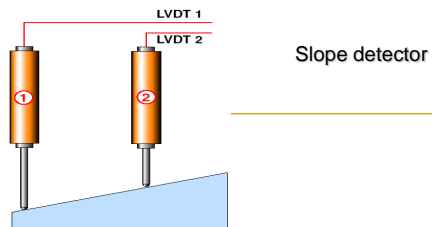
31

LVDT – Applications



32

LVDT – Applications



MERANIE TLAKU

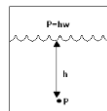
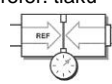
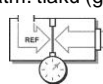
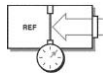
Čo je tlak?

- Tlak je definovaný ako sila na jednotku plochy
- Existujú 3 princípy merania

Absolútny

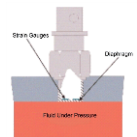
pomerný voči
atm. tlaku (gauge)

pomerný voči
refer. tlaku



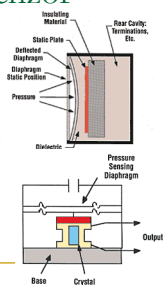
Tenzometrický princíp

- Tenzometer je umiestnený na membráne
- Deformácia membrány je závislá na rozdiel tlakov na stranách membrány
- Merá sa obyčajne pomerný tlak voči atmosférickému
- Medzná frekvencia do 1000Hz
- vhodné pre dlhodobé merania a ťažké podmienky

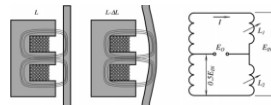


Kapacitný a piezoelektrický senzor

- Kapacitný senzor – tlak mení vzdialenosť medzi elektródami – merá sa kapacita
- Dobrá linearita a dlhodobá stabilita, nevhodné pre vysoké teploty
- Tlak spôsobuje deformáciu piezoelektrického materiálu – vytvára sa napätie
- Nevyžadujú napájanie ale nábojovocitlivý zosilňovač
- Citlivé na úder a vibrácie



Magnetický odpor



- Používa sa pre meranie veľmi malých tlakov
- Vplyvom tlaku sa deformuje časť magnetického obvodu a tým odpor v magnetickom obvode (reluktance - variable-reluctance pressure (VRP) sensor)
- Citivosť je daná faktom, že mag. Odpor vzduchu vo vzduchovej medzere je rádovo 1000krát väčší ako feromagnetického materiálu magnetického obvodu
- Pre zväčšenie citlivosti zapojenie do mostíka (viď tenzometre)