

Otázky ke zkoušce na SEE+zápočet

Fritak

2. května 2022

Verze 1.0



Obsah

1	Úvod	11
1.1	Energetické domény	11
1.2	Vysvětlete pojmy:	11
1.3	Využití senzoru v různých oborech	12
1.4	Domény MEMS, MOES + obrázek	12
1.5	Nakreslete příklad průniku 4 energetických domén	13
1.6	Uveďte 3 hlavní funkce měřicího (regulačního) řetězce	13
1.7	Definujte I, II a III generaci senzorů – charakteristické znaky	14
1.8	Aktivní a pasivní senzory	14
1.9	Napište alespoň 5 základních požadavků na výběr senzoru	15
2	Senzorové sítě	16
2.1	Nakreslete princip činnosti senzorových sítí vv medicíně (BAN)	16
2.2	Nakreslete princip využití Internetu věcí (IoT) v medicíně	16
2.3	Nakreslete princip činnosti implantované senzorové sítě BAN	17
3	Parametry senzorů	17
3.1	Napište základní typy parametrů charakterizujících senzor (3 typy)	17
3.2	Vymenujte alespoň 5 základních statických parametrů charakterizujících senzor	17
3.3	Převodní charakteristiky a rovnice	18
3.4	Nakreslete princip vzniku aditivní a multiplikativní chyby	18
3.5	Nakreslete princip kalibrace nelineárních senzorů	19
3.6	Napište matematický vztah pro definice přesnosti	19
3.7	Napište matematický vztah pro rozlišovací schopnost a průměrnou r.sch.	19
3.8	Napište matematické vztahy pro citlivost, selektivitu, citlivost multisenzorového systému	20
3.9	Napište vztah pro minimální detekovatelný signál	21
3.10	Nakreslete křivky vyjadřující hysterezi a reprodukovatelnost	21
3.11	Elektrický model senzoru	21
3.12	Nakreslete a popište rozsah charakteristiky včetně os: pracovní rozsah senzoru, práh měření	22
3.13	Nakreslete model senzoru jako blackbox s příkladem vstupního a výstupního zpětného působení	22
3.14	Nakreslete model senzoru s působením chybových veličin: uveďte příklady chybových veličin, hlavních a vedlejších vstupních veličin	22

3.15 Nakreslete princip kompenzační metody ke zmenšení chyb (např. vyloučení vlivu teploty na měření)	23
3.16 Nakreslete princip diferenciální metody ke zmenšení chyb (např. vyloučení vlivu posunutí na měření)	23
3.17 Nakreslete blokově princip zpětnovazební metody pro zmenšování chyb	24
3.18 Nakreslete blokově princip linearizace sériovým členem pro zmenšování chyb	24
3.19 Nakreslete blokově princip korekce dynamické charakteristiky senzoru	24
4 Kapacitní senzory	25
4.1 Kapacitní senzor - rovnice	25
4.2 Nakreslete princip činnosti a převodní charakteristiku pro změnu kapacity změnou vzdálenosti elektrod	25
4.3 Nakreslete princip činnosti a převodní charakteristiku pro změnu kapacity vzájemným posuvem elektrod	26
4.4 Nakreslete princip činnosti a převodní charakteristiku pro změnu kapacity zasouváním dielektrika	27
4.5 Nakreslete princip činnosti a převodní charakteristiku pro změnu kapacity změnou vlastnosti dielektrika	27
4.6 Nakreslete základní zapojení pro vyhodnocování kapacity s napěťovým kapacitním děličem a střídavým a stejnosměrným výstupním signálem, synchronním demodulátorem	28
4.7 Nakreslete základní zapojení pro vyhodnocování kapacity se zesilovačem se zpětnou vazbou	29
4.8 Nakreslete základní zapojení pro vyhodnocování kapacity s kapacitním můstkom	29
4.9 Nakreslete základní zapojení pro vyhodnocování kapacity s oscilátorem	30
5 Kapacitní tlakové senzory	30
5.1 Nakreslete zjednodušený model kapacitního tlakového senzoru, napište rovnici pro citlivost kapacitního senzoru	30
5.2 Nakreslete zjednodušeně základní integrovanou strukturu s referenční kapacitou a měřicí kapacitou, souvislost citlivosti s rozměrem elektrody (faktor γ)	31
5.3 Nakreslete zjednodušeně závislost citlivosti na rozměrech elektrody (faktor γ) pro základní strukturu s měřicí a referenční kapacitou	31
5.4 Nakreslete zjednodušeně prstencovou strukturu	32

5.5	Nakreslete zjednodušeně princip vyhodnocovací kapacity impedančním můstkem	32
5.6	Nakreslete zjednodušeně kapacitní vyhodnocovací obvody s kapacitně řízenými oscilátory	33
5.7	Nakreslete zjednodušeně základní vyhodnocovací obvody se spínánými kondenzátory	34
5.8	Nakreslete zjednodušeně kapacitní vyhodnocovací obvody s fázovým závěsem (PLL)	35
6	Piezoodporový jev	35
6.1	Piezoodporový jev: definujte deformaci elastickou a deformaci plastickou	35
6.2	Hookův zákon: Napište matematický vztah, co vyjadřuje jednotlivé jeho členy	35
6.3	Piezoodporový jev	36
6.4	Objemová deformace	36
6.5	Podélná deformace	36
6.6	Kovové tenzometry s volným drátkem (nelepené)	37
6.7	Lepené kovové drátkové tenzometry	37
6.8	Fóliové kovové tenzometry: Nakreslete 2 příklady uspořádání tenzometrů	38
6.9	Piezoodporový jev v polovodičích: typické používané polovodičové materiály	38
6.10	Polovodičové lepené tenzometry: Nakreslete konstrukční uspořádání lepeného polovodičového tenzometru, typické rozměry	38
6.11	Polovodičové difúzní tenzometry	38
6.12	Polovodičové tenzometry: napište definici teplotního součinitele odporu polovodičového tenzometru	39
6.13	Tenzometry – vyhodnocení signálu	39
6.14	Tenzometry – vyhodnocení signálu: Nakreslete princip kompenzace teploty v můstku	39
6.15	Tenzometry – vyhodnocení signálu: Nakreslete princip zvýšení citlivosti 2x v můstku	40
6.16	Tenzometry – vyhodnocení signálu: Nakreslete princip zvýšení citlivosti 4x v můstku	40
6.17	Snímání informace u elektronické váhy - senzor síly Honeywell	40
7	Piezoodporové senzory tlaku	41
7.1	Nakreslete princip činnosti tlakového senzoru pro měření absolutního tlaku a senzoru pro měření diferenciálního tlaku.	41

7.2	Napište alespoň 3 základní typy polovodičových tlakových senzorů	41
7.3	Piezoodporové senzory tlaku – uspořádání	42
7.4	Zpracování signálu z piezoodporů + kompenzace	42
8	Piezoelektrický jev	42
8.1	Podélný piezoelektrický jev	43
8.2	Piezoelektrické materiály - typy materiálů + Curierova teplota	44
8.3	Piezoelektrický senzor	44
8.4	Piezoelektrický aktuátor	45
8.5	Vyhodnocování signálů z piezoelektrických senzorů - náhradní model	45
8.6	Vyhodnocování signálů z piezoelektrických senzorů - impedanční oddělovače	46
8.7	Využití piezoelektrických materiálů k vytvoření ultrazvuku	47
8.8	Ultrazvuk	47
8.9	Měření vzdálenosti ultrazvukem	47
8.10	Použití ultrazvukových senzorů v jednom prostoru	48
8.11	Aplikace ultrazvukových senzorů: uveďte příklady 3 aplikací	49
8.12	Senzory s principem SAW	49
8.13	SAW senzory	49
8.14	Vyhodnocování signálu ze SAW senzorů	49
8.15	SAW senzory - teplota	50
8.16	SAW senzory - vlhkost	50
8.17	SAW senzory - chemické látky	50
9	Akcelerometry	51
9.1	Akcelerometr	51
9.2	Akcelerometr s principem piezoodporovým	51
9.3	Akcelerometr s principem piezoelektrickým	52
9.4	Akcelerometr s principem kapacitním	52
9.5	Akcelerometr s principem kapacitním s hřebenovým uspořádáním	53
10	Senzory s indukčností - induktivní, indukční, magnetické	53
10.1	Senzory s indukčností	53
10.2	Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní)	54
10.3	Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní) s malou vzduchovou mezerou	55
10.4	Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní) s posunutím jádra	55
10.5	Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní)	55

10.6 Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní) s potlačeným magnetickým polem	56
10.7 Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní), vzájemná indukčnost	56
10.8 Indukční (magnetoinduktivní) senzor elektromagnetický (aktivní)	57
10.9 Transfomátorový senzor polohy (LVDT): Nakreslete princip činnosti	58
10.10 Transfomátorový senzor polohy (LVDT)	58
10.11 Indukční (magnetoinduktivní) senzor elektrodynamický (aktivní)	58
10.12 Magnetoelastický senzor	59
10.13 Magnetoskriční senzor: Nakreslete a vysvětlete princip činnosti	60
10.14 Magnetoanizotropní senzor: Nakreslete a vysvětlete princip činnosti	60
11 Senzory magnetického pole	61
11.1 Senzor magnetického pole s Halovým jevem	61
11.2 Měření vzdálenosti a posuvy s Halovým senzorem	62
11.3 Měření vzdálenosti s Halovým senzorem v režimu s feromagnetikem	62
11.4 Vyhodnocování signálu z Halova senzoru	62
11.5 Senzory magnetického pole s magnetoodporovým principem	63
11.6 Senzory magnetického pole s magnetoodporovým principem - materiály	64
11.7 Magnetodioda	64
11.8 Magnetotranzistor	65
11.9 SQUID	65
11.10 SAW mikrosenzor magnetického pole	66
12 Teplotní senzory	67
12.1 Napište definice pro: Množství tepla v tělese, Rychlosť průtoku tepla tělesem, Teplotní gradient (tepelná vodivost)	67
12.2 Odporové kovové teplotní senzory (RTD)	67
12.3 Vyhodnocování signálu z odporových kovových teplotních senzorů (RTD)	68
12.4 Odporové polovodičové teplotní senzory s termistory	68
12.5 Odporové polovodičové teplotní senzory monokrystalické	69
12.6 Teplotní senzory s p-n přechodem	70
12.7 Cítilost teplotních senzorů s p-n přechodem	70
12.8 Teplotní senzory s p-n přechodem - charakteristiky	71
12.9 Vyhodnocování informace z teplotního senzoru s p-n přechodem	71

12.10 Termoelektrické teplotní senzory: nakreslete a vysvětlete základní princip činnosti termočlánku	72
12.11 Termoelektrické kovové teplotní senzory	72
12.12 Termoelektrické teplotní senzory - zapojení	73
12.13 Integrovaný termoelektrický článek	73
12.14 Bezkontaktní senzory infračerveného záření s termoelektrickým článek	74
12.15 MEMS bolometr	74
12.16 MEMS bolometr: Nakreslete zdjednodušeně strukturu bolometrické matice na čipu	75
12.17 Teplotní senzor SAW	75
12.18 Teplotní senzory pro měření kryogenických teplot	75
13 Senzory chemických veličin	76
13.1 Chemické senzory se změnou vodivosti (chemoodpor)	76
13.2 Chemické senzory se změnou vodivosti – tenkovrstvové	76
13.3 Chemokapacitory (Senzory se změnou kapacity)	77
13.4 Chemodioda: nakreslete a vysvětlete princip činnosti	78
13.5 Chemotranzistor MOS	78
13.6 Gravimetrické senzory chemických látek-piezoelektrické hmotnostní	79
13.7 Gravimetrické senzory chemických látek-SAW hmotnostní	79
14 Zápočtový test	80
15 Spektrální charakteristiky světla	80
15.1 V jakém rozsahu jsou vlnové délky viditelného světla?	80
15.2 Jak se chová světlo modré LED po nasazení kloboučku s lumenoforem z hlediska spektrálního složení a intenzity světla?	80
15.3 Pomocí čeho dochází k rozkladu světla ve spektrometru Ocean Optics USB2000+?	80
15.4 Jaký je spektrální rozsah žárovky se žhaveným vláknem?	80
15.5 Jaké je srovnání různých světelných zdrojů z hlediska spojitosti spektra? (například žárovka, výbojka/zářivka, LED, sluneční světlo, ...)	81
15.6 Jak se liší červený polovodičový laser od červené LED?	81
16 Senzory magnetického pole	81
16.1 K čemu lze využít magnetický senzor s jazýčkovými kontakty a jaké má vlastnosti?	81
16.2 Z jakého materiálu se vyrábí jazýčkové kontakty?	81

16.3 Co umožnuje měřit magnetorezistivní můstek (např. HMC1501)?	82
16.4 Jaké je vnitřní uspořádání magnetorezistivního můstku (např. HMC1501)?	82
16.5 K čemu se využívá Hallův senzor?	82
17 Piezorezistivní senzory síly	82
17.1 Na jakém principu pracuje piezorezistivní senzor síly?	82
17.2 Jaké je srovnání kovových a polovodičových tenzometrů z hlediska citlivosti a linearity?	83
17.3 Jak ovlivní vlastnosti tenzometru jeho nalepení na nosník?	83
17.4 Na čem závisí mechanické napětí v ohýbaném nosníku?	83
17.5 Jaká je řádově deformační citlivost K pro kovové tenzometry?	83
17.6 Kde je místo největšího mechanického namáhání nosníku (kam je třeba umístit tenzometr, aby měl největší citlivost)?	83
17.7 Jaký je princip určení X-Y polohy v ploše pomocí senzorů síly?	83
17.8 Co se využívá pro eliminaci odporu přívodů odporového tenzometru?	83
17.9 Co je to koeficient deformační citlivosti?	84
17.10 Jak se definuje nelinearity senzoru?	84
17.11 Jak se definuje hystereze senzoru?	84
18 Detektory kovu	84
18.1 Na jakém principu pracuje záznějový detektor kovů?	84
18.2 Jak pracuje detektor založený na principu utlumení vřívivými proudy?	85
18.3 Co je to zázněj?	85
18.4 Jak malou změnu indukčnosti hledací cívky lze sluchem vyhodnotit pomocí záznějové metody?	85
18.5 Jaké jsou typické pracovní frekvence záznějového detektoru kovů a detektoru na principu vysílač-přijímač?	85
18.6 Jak kov způsobuje rozvážení magnetického toku cívek v detektoru typu vysílač-přijímač?	86
18.7 Jak ovlivňuje pracovní frekvence detektoru kovů jeho citlivost na mineralizované prostředí (vlhká půda, přiblížení ruky apod ...)?	86
18.8 Jaký je maximální dosah záznějového detektoru o průměru hledací cívky 15 cm?	86
19 MEMS akcelerometry pro měření náklonu a vibrací	87

19.1 Jaké jsou základní vztahy mezi polohou, rychlostí a zrychlením? Pomocí jaké matematické operace se dají mezi sebou převádět? (například zjistit okamžitou rychlosť pomocí měření zrychlení a obráceně)	87
19.2 Jaké průběhy napětí z akcelerometru lze očekávat při detekci vibrací o harmonickém průběhu a skokových změnách polohy?	87
19.3 Jaký charakter má závislost výstupního napětí z akcelerometru při měření náklonu?	87
19.4 Na jakém principu pracují moderní integrované MEMS akcelerometry?	87
20 Optický senzor, optická závora, optický kodér	88
20.1 Jak přesně pracuje optický senzor vzdálenosti, využívající IR-LED, PIN diodu a principu triangulace? (Jaké veličiny mají zásadní význam pro jeho funkci a jaké ne)	88
20.2 V jakém rozsahu lze využít optický senzor vzdálenosti GP2D120 (ten, který byl použit pro měření na cvičení)?	88
20.3 Jaké jsou vlastnosti Grayova kódu?	88
20.4 Co jsou to hazardní stavy z hlediska interpretace binárního čísla?	88
20.5 Jaký vliv má Schmittův klopný obvod na zpracování signálu z optické závory?	88
20.6 Jaké jsou dva základní typy optických závor z hlediska geometrie uspořádání světelného zdroje a detektoru?	89
20.7 Jaký je základní princip jednocestné optické závory – jak se mění napětí na kolektoru fototranzistoru se změnou osvětlení jeho báze?	89
20.8 Jak vypadají výstupní charakteristiky fototranzistoru?	90
21 Teplotní senzory	91
21.1 Jaké jsou vlastnosti senzorů PT1000, PN diody, termistoru NTC a senzoru KTY 83-120 z hlediska linearity a citlivosti?	91
21.2 Jakou citlivost má křemíková dioda?	91
21.3 Jaké materiály se využívají pro výrobu PN přechodu pro měření teploty?	91
21.4 Jak se mění odpor termistoru NTC se zvyšující se teplotou?	91
21.5 V jakém teplotním rozsahu lze využít běžné křemíkové diody?	91
22 Induktivní senzory	92
22.1 Na jakém principu pracuje LVDT transformátor?	92
22.2 K čemu lze využít LVDT transformátor?	92

22.3	Na čem závisí maximální spínací kmitočet induktivního senzoru?	92
22.4	Jak se liší spínací vzdálenosti koncového spínacího senzoru pro železo a ostatní kovy?	92
22.5	Jak se definuje korekční faktor induktivního spínacího senzoru?	92
22.6	Jak lze induktivním senzorem s analogovým výstupem rozlišit různé materiály?	93
22.7	Jak se nazývá rozdíl mezi vzdáleností kovového předmětu nutného pro sepnutí induktivního senzoru, a vzdáleností potřebnou pro rozepnutí senzoru?	93
22.8	Čím je způsobena změna frekvence oscilátoru induktivního senzoru při změně vzdálenosti kovového předmětu?	93
23	Termoelektrický senzor, Peltierův článek	93
23.1	Co se dá měřit pomocí termočlánku?	93
23.2	Co je to teplotní gradient termoelektrického napětí termočlánku?	93
23.3	Jaký je teplotní gradient termoelektrického napětí pro termočlánek typu K?	94
23.4	Co je to Seebeckův jev?	94
23.5	Co je to Peltierův jev?	94
23.6	Co musí být splněno, aby se Peltierův článek dal využít ke chlazení?	94
23.7	Jaké minimální teploty lze v praxi dosáhnout pomocí Peltierova článku na jeho studené straně v případě, že v okolí je pokojová teplota?	94
24	Kapacitní senzor přiblížení	94
24.1	Jak se spočítá kapacita deskového kondenzátoru?	94
24.2	Jaký charakter má závislost změny kapacity na změně vzdálenosti mezi elektrodami a plochou překryvu u deskového kondenzátoru?	95
24.3	Jaké uspořádání desek deskového kondenzátoru se více hodí pro detekci velkých nebo malých posunů?	95
24.4	Dá se kapacitní senzor využít i k detekci přítomnosti nevodivých předmětů mezi elektrodami?	95
24.5	Proč kapacitní senzor reaguje i na přiblížení ruky?	95

1 Úvod

1.1 Energetické domény

Napište 6 základních energetických (signálových) domén obklopujících náš reálný svět

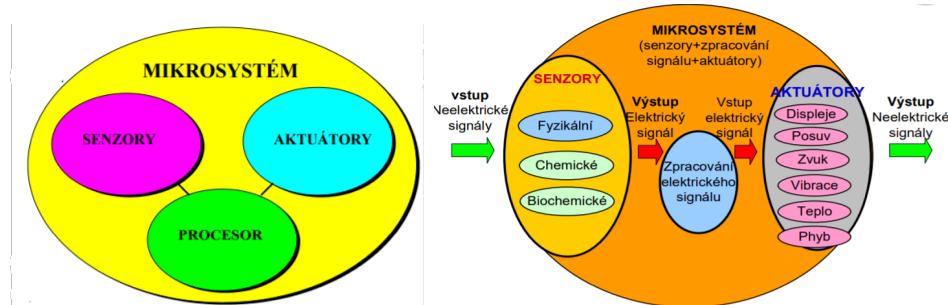
- Záření
- Chemické
- Elektrická
- Tepelná
- Magnetická
- Mechanické

1.2 Vysvětlete pojmy:

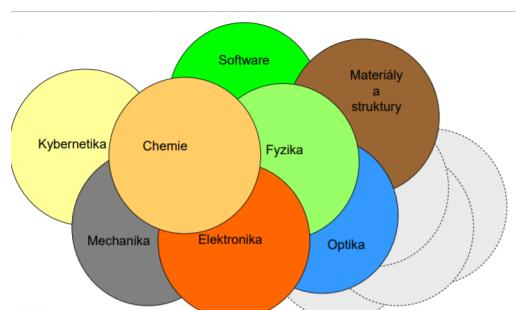
Vysvětlete pojmy: Transducer, Senzor, Aktuátor, Procesor. Nakreslete obrázek, jak souvisí senzor, aktuátor a procesor

- Transducer - Obecný neelektrický převodník
- Senzor
 - měří veličiny ze vstupních energetických (signálových) domén okolního reálného světa
 - Převodník neelektrické veličiny na elektrickou
 - vstupní transducer
- Aktuátor
 - Převodník elektrické veličiny na neelektrickou
 - výstupní transducer
- Procesor

Obrázek 1: Jak souvisí senzor, aktuátor a procesor



Obrázek 2: využití různých oborů pro návrh a realizaci senzoru



1.3 Využití senzoru v různých oborech

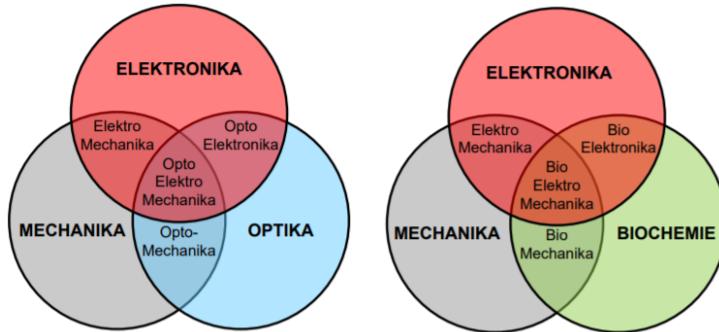
Nakreslete princip využití různých oborů pro návrh a realizaci senzoru

1.4 Domény MEMS, MOES + obrázek

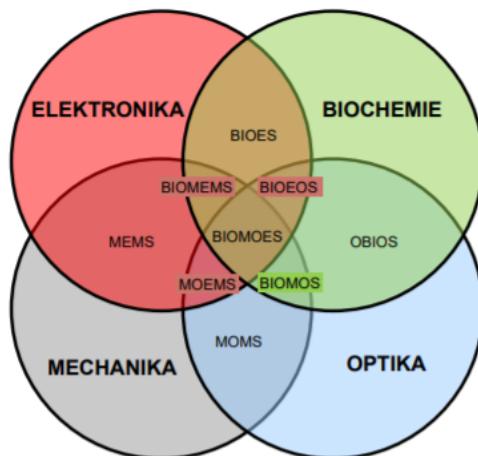
Nakreslete, jak vzniká doména MEMS, MOES, co vyjadřuje zkratka

- MEMS - Mikro - elektro - mechanický systém
- MOES - Mikro - opto - elektrický systém

Obrázek 3: Vznik domén MEMS, MOES



1.5 Nakreslete příklad průniku 4 energetických domén



1.6 Uved'te 3 hlavní funkce měřicího (regulačního) řetězce

- snímání informace vstupu - senzory
- zpracování signálů (DSP nebo ASP)
- akční funkce - výstup (aktuátory)

1.7 Definujte I., II a III generaci senzorů – charakteristické znaky

- I.generace

- využití základních fyzikálních jevů
- vývoj ukončen
- př.: odporová, indukční, kapacitní, termoelektrická, piezoelektrická, atd..
- využití v automatizaci a robotizaci

- II.generace

- využití polovodičů
- integrace s elektronikou
- výrazně lepší parametry (citlivost, miniaturizace, dynamické vlastnosti, přesnost, atd.)
- řady a matice senzorů v jednom pouzdře
- multisenzory
- význam pro robotiku
- stále ve vývoji

- III.generace

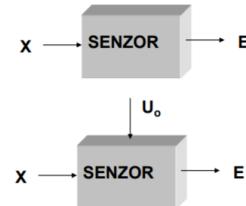
- optické vláknové senzory a optoelektronické
- přenos signálů pomocí optických vláken
- vyjímečné vlastnosti
- využití ve všech oblastech průmyslu
- ve vývoji

1.8 Aktivní a pasivní senzory

Definujte aktivní a pasivní senzory. Uveďte konkrétní příklady senzorů pro obě skupiny. Principiální blokové zapojení pro měření fyzikální veličiny (pasivní a aktivní senzor)

- aktivní - působením snímané veličiny se chová jako zdroj energie (zachycuje a vysílá změny v okolí)
- pasivní - pro svoji funkci potřebuje zdroj napájení (zachycuje změny v okolí)

Obrázek 4: Aktivní a pasivní senzor



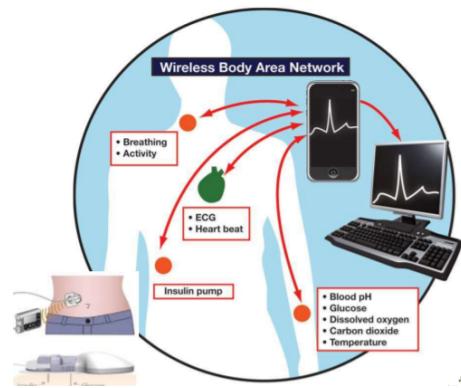
1.9 Napište alespoň 5 základních požadavků na výběr senzoru

Nikdy nelze splnit všechny požadavky - výsledek je kompromis

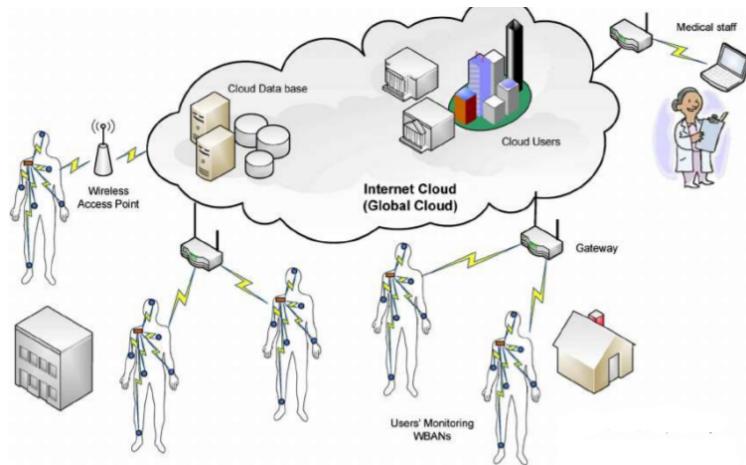
- jednoznačná závislost výstupní veličiny na veličině vstupní
- vhodný tvar základní přenosové charakteristiky
- velká citlivost
- požadovaná přesnost
- časová stálost
- vhodná frekvenční charakteristika (časová konstanta)
- minimální závislost na parazitních parametrech (teplota, tlak, vlhkost, . . .)
- minimální zatěžování měřeného prostředí (velký vstupní fyzikální odpor)
- Minimální ovlivňování okolního fyzikálního nebo jiného prostředí (parazitní vliv senzoru)
- co největší výstupní elektrický signál
- spolehlivost

2 Senzorové sítě

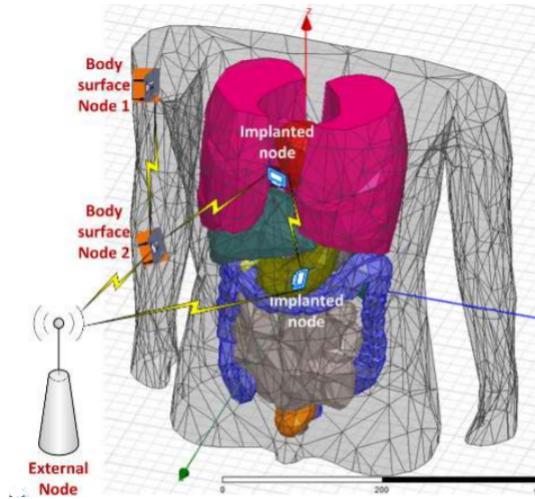
2.1 Nakreslete princip činnosti senzorových sítí v medicíně (BAN)



2.2 Nakreslete princip využití Internetu věcí (IoT) v medicíně



2.3 Nakreslete princip činnosti implantované senzorové sítě BAN



3 Parametry senzorů

3.1 Napište základní typy parametrů charakterizujících senzor (3 typy)

- statické, dynamické, prostředí

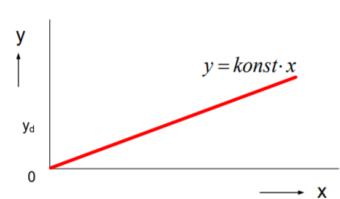
3.2 Vyjmenujte alespoň 5 základních statických parametrů charakterizujících senzor

- přesnost
- rozlišovací schopnost
- citlivost
- selektivita
- práh citlivosti
- práh měření
- linearita
- zkreslení
- šum
- hystereze
- reprodukovatelnost
- výstupní impedance
- nestabilita a drift
- rozsah měření
- ...

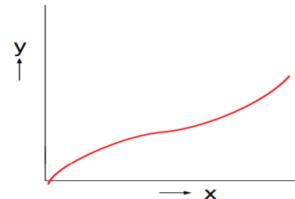
3.3 Převodní charakteristiky a rovnice

Nakreslete obecnou a ideální převodní charakteristiku senzoru, napište základní rovnice popisující charakteristiky

- ideální lineární převodní charakteristika: $y = \text{konst} \cdot x$
- obecná statická převodní charakteristika: $y = f(x)$

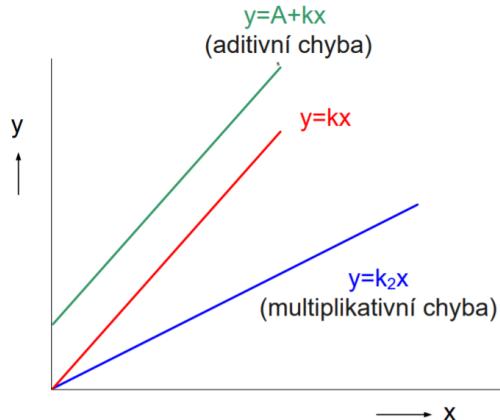


(a) Ideální charakteristika

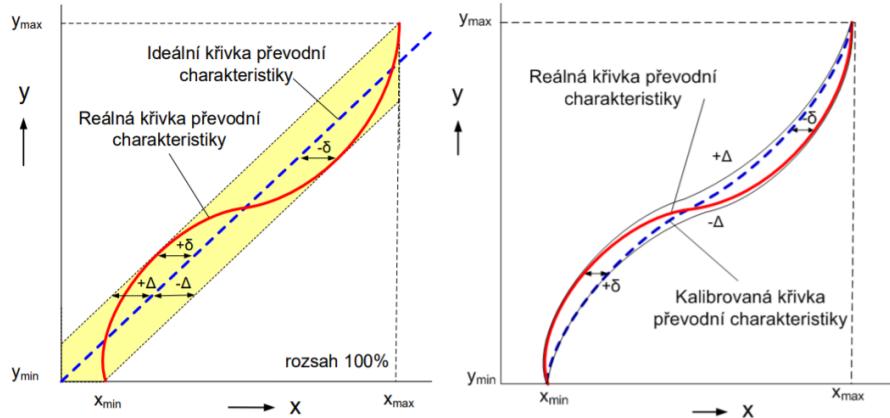


(b) Obecná charakteristika

3.4 Nakreslete princip vzniku aditivní a multiplikativní chyby



3.5 Nakreslete princip kalibrace nelineárních senzorů



δ - odchylka skutečné hodnoty od teoretické

Δ - odchylka teoretické od tolerančního pásma

3.6 Napište matematický vztah pro definice přesnosti

- přesnost (relativní chyba senzoru)

$$\varepsilon_a = 100 \cdot \frac{X_m - X_t}{X_t} (\%)$$

m - measurement, t - true

- Přesnost vyjádřená na plný rozsah výstupu

$$\varepsilon_f = 100 \cdot \frac{X_m - X_t}{X_{FSO}} (\%)$$

FSO - Full Scale Output

3.7 Napište matematický vztah pro rozlišovací schopnost a průměrnou r.sch.

- Rozlišovací schopnost

$$R_{max} = 100 \cdot \frac{\Delta X_{min}}{X_{max} - X_{min}} (\%)$$

- Průměrná rozlišovací schopnost

$$R_{av} = 100 \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \Delta X_i}{n \cdot (X_{max} - X_{min})_i} (\%)$$

n - počet úseků

3.8 Napište matematické vztahy pro citlivost, selektivitu, citlivost multisenzorového systému

- citlivost

$$S = \frac{\Delta y}{\Delta x}$$

– platí v daném pracovním bodě P_0

- selektivita

$$S_\alpha = \frac{\Delta y}{\Delta x_\alpha}$$

– x_α - je působící fyzikální veličina α
 – S_α - je citlivost na veličinu α

- citlivost multisenzorového systému

$$S_{\alpha\beta} = \frac{\Delta y_\beta}{\Delta x_\alpha}$$

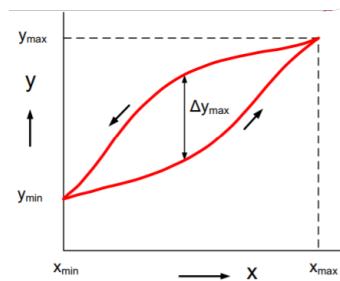
– α - působící fyzikální veličina
 – β - β -itý senzor

3.9 Napište vztah pro minimální detekovatelný signál

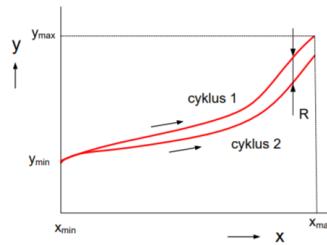
$$y = \sqrt{u_s^2}$$

- u_s - šumové napětí

3.10 Nakreslete křivky vyjadřující hysterezu a reprodukovatelnost



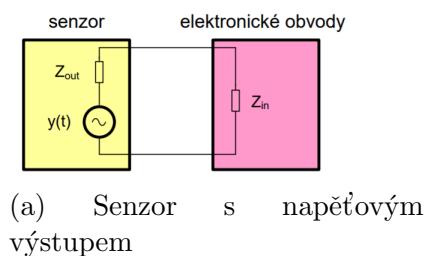
(a) Hystereze



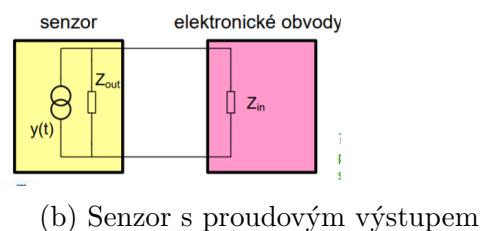
(b) reprodukovatelnost

3.11 Elektrický model senzoru

Nakreslete elektrický model senzoru s napěťovým výstupem a připojením zátěže, napište podmínky mezi výstupní impedancí senzoru s napěťovým výstupem a vstupní impedancí zátěže



(a) Senzor s napěťovým výstupem

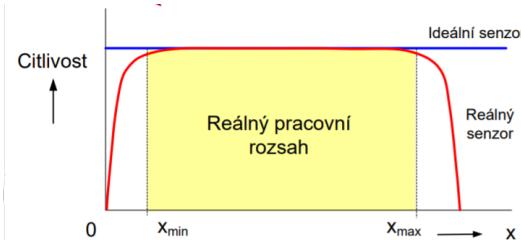


(b) Senzor s proudovým výstupem

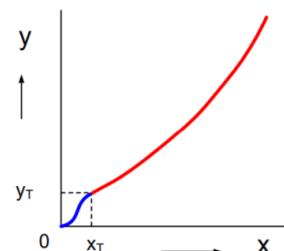
$$Z_{in} \geq \geq Z_{out}$$

$$Z_{in} \leq \leq Z_{out}$$

3.12 Nakreslete a popište rozsah charakteristiky včetně os: pracovní rozsah senzoru, práh měření

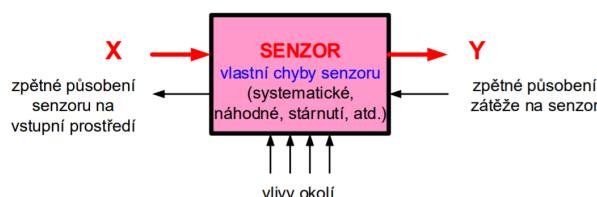


(a) Rozsah měření

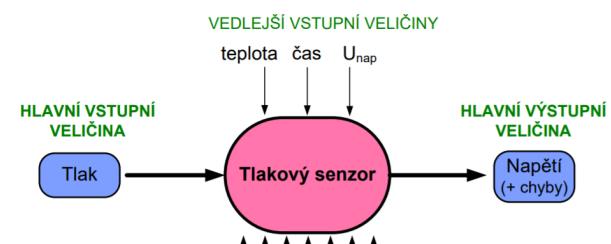


(b) Práh měření - X_T

3.13 Nakreslete model senzoru jako blackbox s příkladem vstupního a výstupního zpětného působení



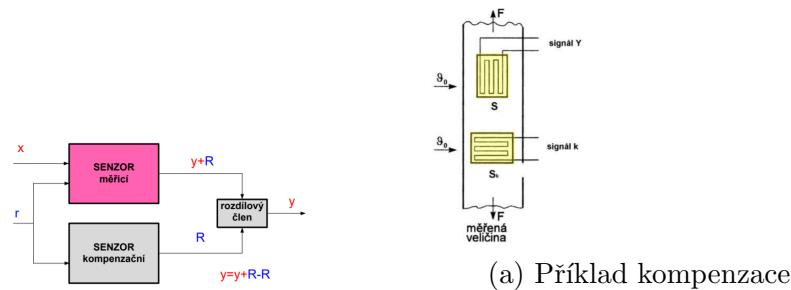
3.14 Nakreslete model senzoru s působením chybových veličin: uveďte příklady chybových veličin, hlavních a vedlejších vstupních veličin



- Chybové veličiny

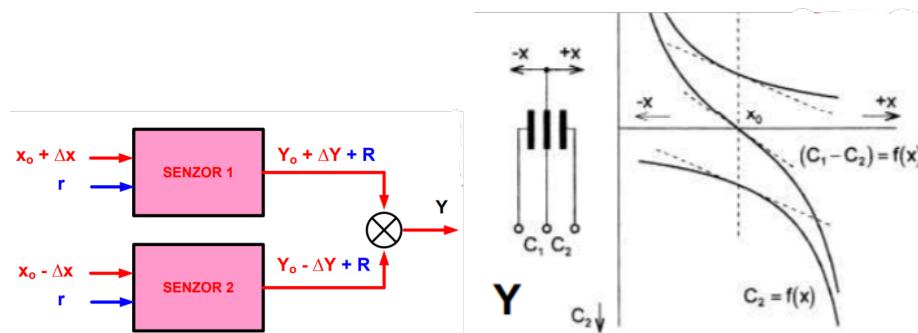
- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> – linearita – hystereze – reprodukovatelnost | <ul style="list-style-type: none"> – stabilita – kalibrace – teplotní koeficient |
|--|---|

3.15 Nakreslete princip kompenzační metody ke zmenšení chyb (např. vyloučení vlivu teploty na měření)



- Princip: Použití v případě, že lze rušivou veličinu snímat dalším senzorem (např. teplota). Vyhodnocení veličiny a korekce ve výstupním členu.

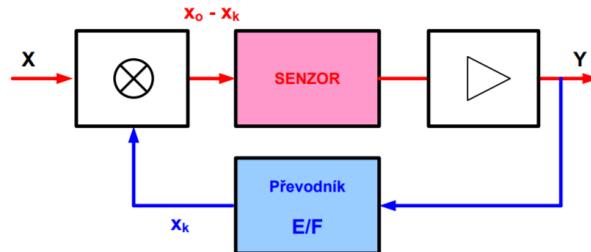
3.16 Nakreslete princip diferenciální metody ke zmenšení chyb (např. vyloučení vlivu posunutí na měření)



- Princip: Dva stejné senzory. Statické charakteristiky jsou totožné. Vstupní signál vstupuje do druhého senzoru s opačným znaménkem. Rušivé signály vstupují se shodným znaménkem.

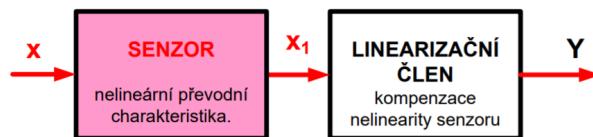
$$Y \approx Y_0 + \Delta Y + R - (Y_0 - \Delta Y + R) = 2\Delta Y$$

3.17 Nakreslete blokově princip zpětnovazební metody pro zmenšování chyb



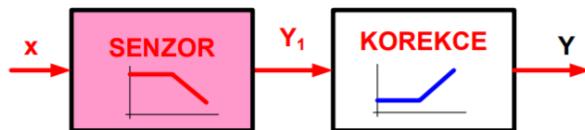
- Princip: Kompenzace měřené veličiny zpětnou vazbou. Umožňuj potlačit chybu nelinearit senzorů.

3.18 Nakreslete blokově princip linearizace sériovým členem pro zmenšování chyb



- Princip: Linearizační člen kompenzuje nelinearitu senzoru, tj. na výstupu teoreticky dostaváme lineární závislost veličiny Y

3.19 Nakreslete blokově princip korekce dynamické charakteristiky senzoru



- ()
- Princip: korekce kmitočtové charakteristiky
- Realizace: RC členy - pásmová, horní, dolní propust

4 Kapacitní senzory

4.1 Kapacitní senzor - rovnice

Napište základní rovnici pro výpočet kapacity deskového kondenzátoru a k ní napište diferenciální rovnici popisující změnu kapacity. Nakreslete náhradní zapojení pro připojení kapacitního senzoru k měřicímu obvodu. K náhradnímu obvodu napište nerovnici pro určení frekvence napájecího signálu

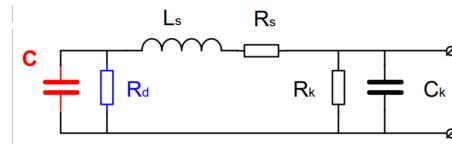
- výpočet kapacity deskového kondenzátoru

$$C = \epsilon \frac{S}{d}$$

- diferenciální rovnice pro změnu kapacity

$$dC = \frac{\partial C}{\partial S} dS + \frac{\partial C}{\partial \epsilon} d\epsilon + \frac{\partial C}{\partial d} d(d)$$

- náhradní zapojení

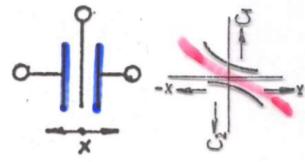
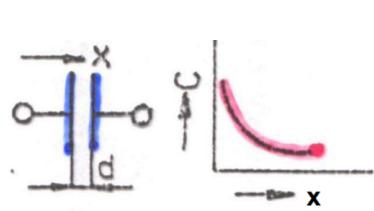


- rovnice pro určení frekvence napájecího signálu náhr. obvodu

$$R_s, \omega L_s \leq \frac{1}{\omega C} \leq R_d, R_k, \frac{1}{\omega C_k}$$

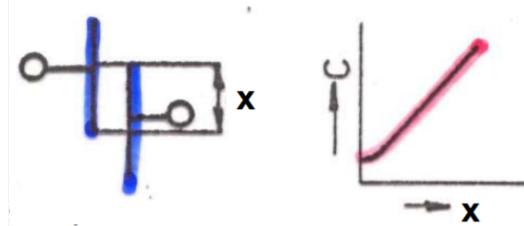
4.2 Nakreslete princip činnosti a převodní charakteristiku pro změnu kapacity změnou vzdálenosti elektrod

$$C = C_0 \frac{1}{1 \pm \frac{\Delta d}{d}}$$

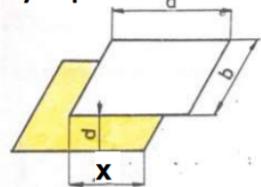


(a) Diferenciální zapojení

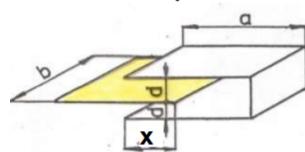
4.3 Nakreslete princip činnosti a převodní charakteristiku pro změnu kapacity vzájemným posuvem elektrod



Chyba posuvem desek

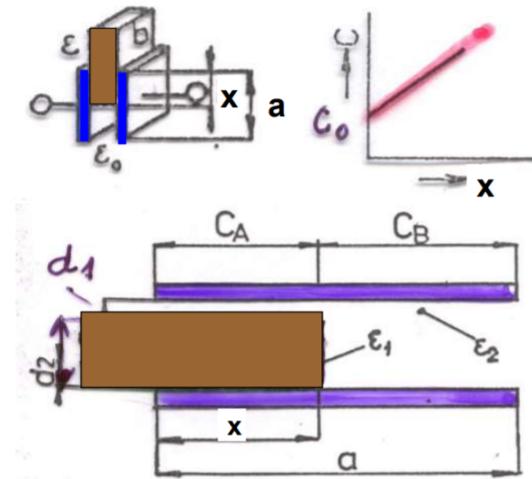


Diferenciální uspořádání

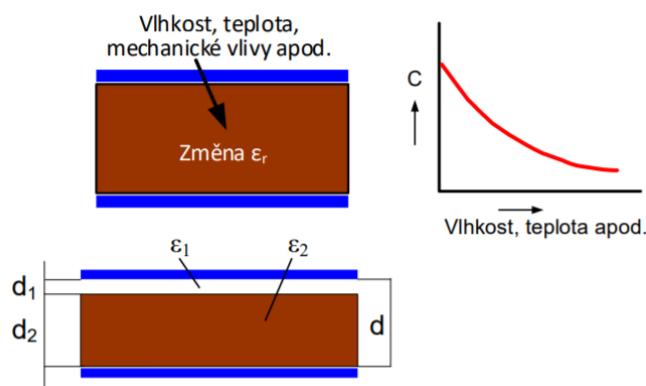


$$C = C_0 \frac{x}{a}$$

4.4 Nakreslete princip činnosti a převodní charakteristiku pro změnu kapacity zasouváním dielektrika

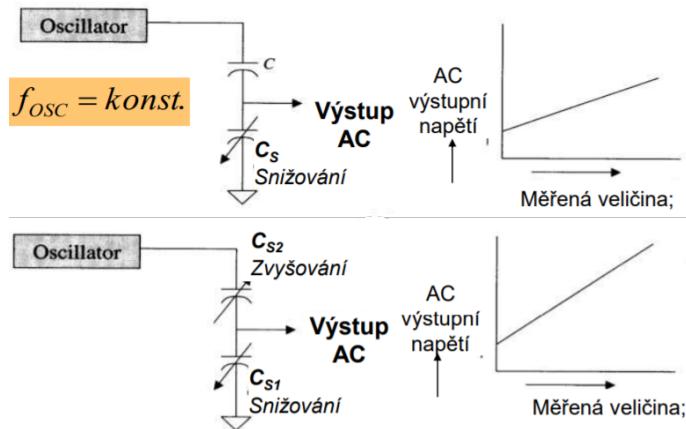


4.5 Nakreslete princip činnosti a převodní charakteristiku pro změnu kapacity změnou vlastností dielektrika

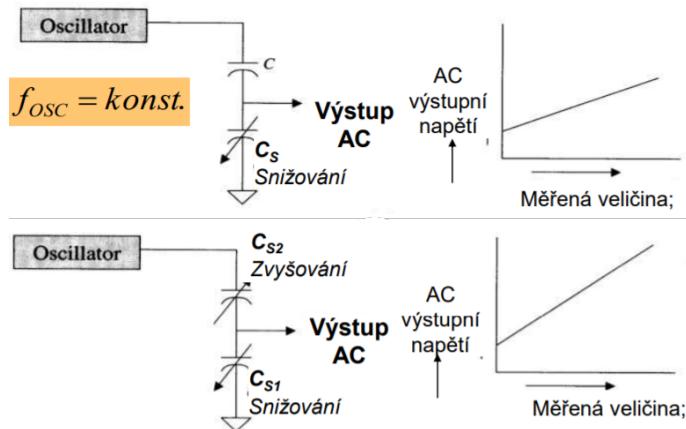


4.6 Nakreslete základní zapojení pro vyhodnocování kapacity s napěťovým kapacitním děličem a střídavým a stejnosměrným výstupním signálem, synchronním demodulátorem

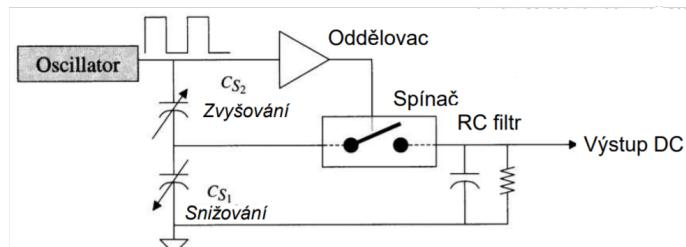
- Střídavý výstup



- Střídavý výstup s usměrňovačem

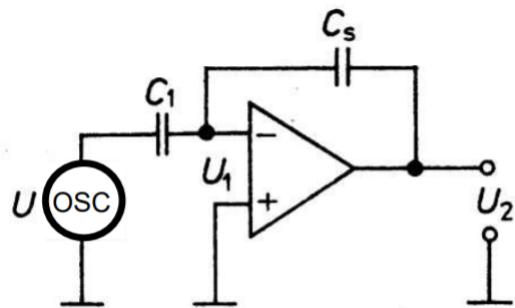


- střídavý výstup + synchronní demodulátor



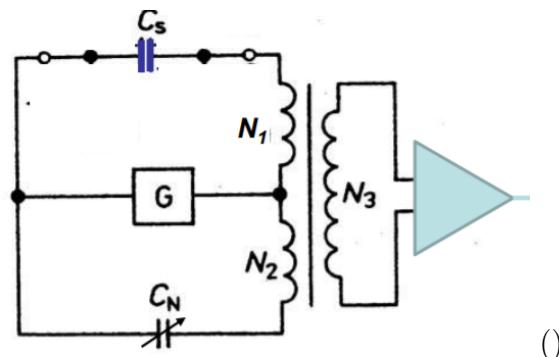
- ()
- Princip činnosti: Elektronický spínač místo diody, synchronizace spínače s oscilátorem.
- Sepnutí: vyšší napětí, filtrační C se nabíjí z děliče
- nižší napětí
- Nabíjení filtrační C bez chyb, které vznikají u klasického usměrňovače

4.7 Nakreslete základní zapojení pro vyhodnocování kapacity se zesilovačem se zpětnou vazbou



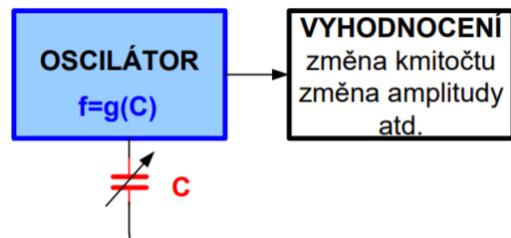
$$U_2 = -\frac{C_1}{C_s}U$$

4.8 Nakreslete základní zapojení pro vyhodnocování kapacity s kapacitním můstkem



$$\frac{C_s}{C_N} = \frac{N_2}{N_1} \quad f_G \leq f_{rezon}$$

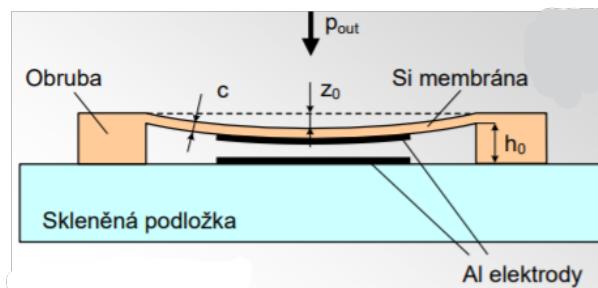
4.9 Nakreslete základní zapojení pro vyhodnocování kapacity s oscilátorem



$$f = g(C)$$

5 Kapacitní tlakové senzory

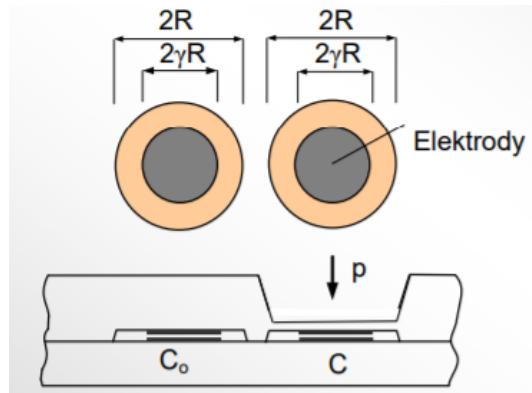
5.1 Nakreslete zjednodušený model kapacitního tlakového senzoru, napište rovnici pro citlivost kapacitního senzoru



- Citlivost:

$$S = \frac{\Delta C}{\Delta p}$$

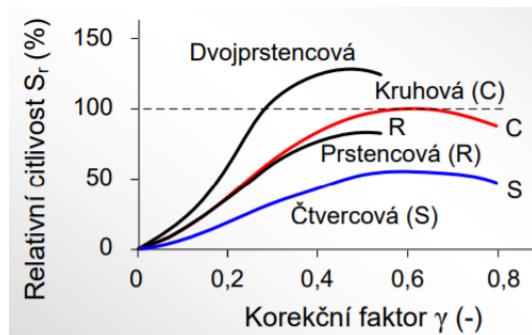
- 5.2 Nakreslete zjednodušeně základní integrovanou strukturu s referenční kapacitou a měřicí kapacitou, souvislost citlivosti s rozměrem elektrody (faktor γ)



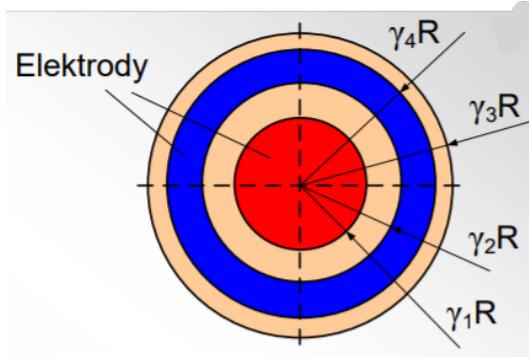
$$S_r = \frac{dC}{dp} = f(\gamma)$$

-relativní tlaková citlivost S_r jako funkce koeficientu γ

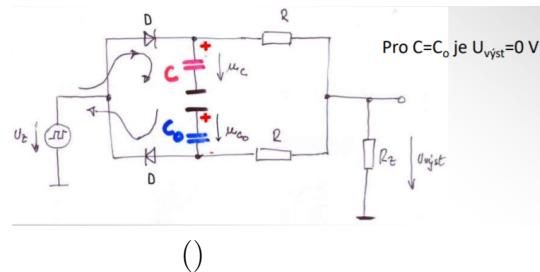
- 5.3 Nakreslete zjednodušeně závislost citlivosti na rozměrech elektrody (faktor γ) pro základní strukturu s měřicí a referenční kapacitou



5.4 Nakreslete zjednodušeně prstencovou strukturu



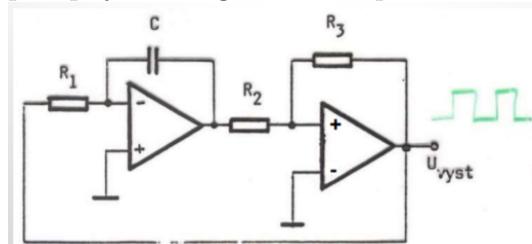
5.5 Nakreslete zjednodušeně princip vyhodnocovací kapacity impedančním můstkom



$$Q = C \cdot U \quad U_{vyst} = konst \cdot U_z f(C - C_0)$$

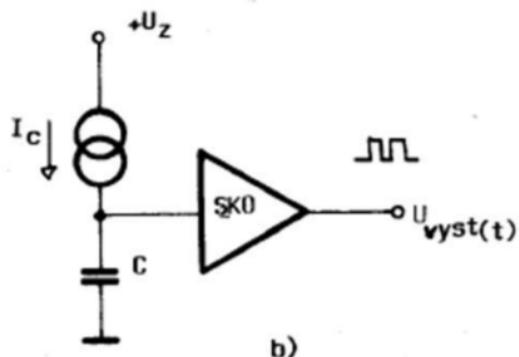
5.6 Nakreslete zjednodušeně kapacitní vyhodnocovací obvody s kapacitně řízenými oscilátory

- př. spojení integrátor, komparátor



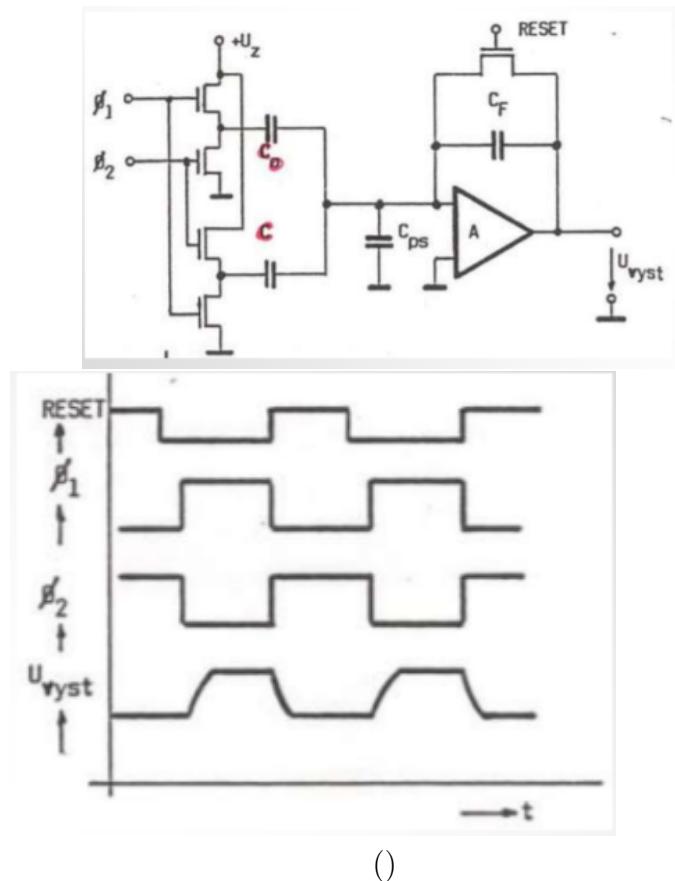
$$f = g(C)$$

- převodník C/t



$$U = \frac{1}{C} I \cdot t = konst \cdot t$$

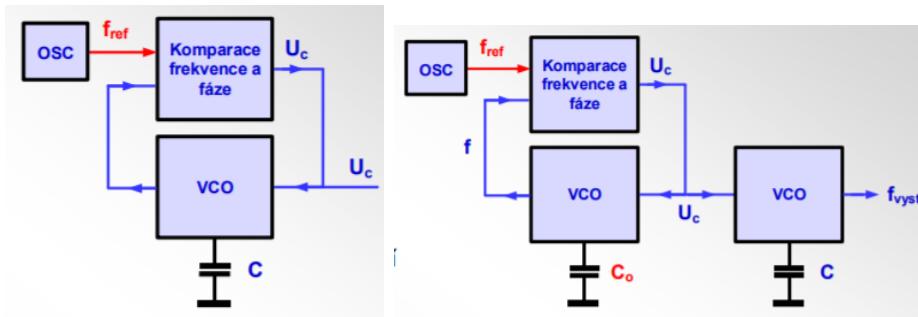
5.7 Nakreslete zjednodušeně základní vyhodnocovací obvody se spínanými kondenzátory



()

$$U_{vyst} = U_z \frac{C - C_0}{C_F}$$

5.8 Nakreslete zjednodušeně kapacitní vyhodnocovací obvody s fázovým závěsem (PLL)



6 Piezoodporový jev

6.1 Piezoodporový jev: definujte deformaci elastickou a deformaci plastickou

- () Deformace - změna tvaru při mechanickém namáhání
- Elastická - těleso vrátí do původního stavu po odeznění mechanického namáhání
- Plastická - těleso zůstane deformované
- () Deformační síly - tažné, tlakové, smykové, ohybové nebo torzní

6.2 Hookův zákon: Napište matematický vztah, co využadřují jednotlivé jeho členy

$$\sigma = \epsilon \cdot E \rightarrow \epsilon = \frac{dl}{l}$$

- σ - mechanické napětí, ϵ - relativní délkové prodloužení, E - Youngův modul pružnosti
- () Hookův zákon - popisuje deformaci materiálu působením síly (deformace je úměrná mech. napětí materiálu), platí dobře pro malá mech. napětí

6.3 Piezoodporový jev

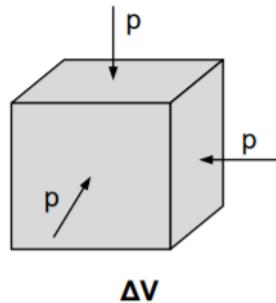
Napište základní vztah pro závislost elektrického odporu piezoodporového materiálu na změně geometrických rozměrů vlivem mechanického namáhání

$$R = f(F) = \rho \frac{l}{S} = \rho \frac{l^2}{V}$$

- () Piezoodporový jev popisuje závislost elektrického odporu R materiálu na mechanickém namáhání

6.4 Objemová deformace

Nakreslete princip činnosti senzoru pro objemovou deformaci piezoodporového materiálu mechanickým namáháním a napište rovnici pro výpočet závislosti změny odporu na působícím tlaku, tj. $\Delta R = f(p)$

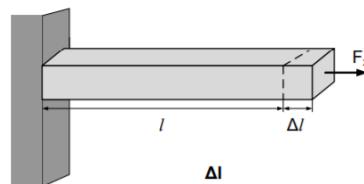


$$\frac{\Delta R}{R} = \alpha p$$

- α - je tlakový součinitel (u většiny materiálů závislý nateplotě i na působícím tlaku)

6.5 Podélná deformace

Nakreslete princip činnosti senzoru pro podélnou deformaci piezoodporového materiálu mechanickým namáháním a napište rovnici pro výpočet závislosti změny odporu na jeho relativní změně délky $\Delta R = f(p)$



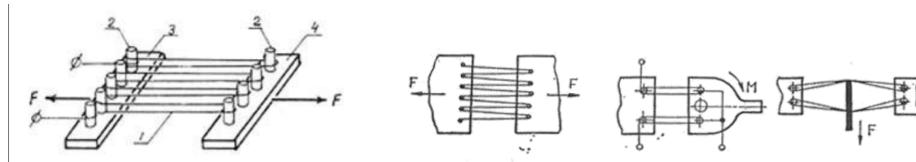
$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta l}{l}$$

$$K = \frac{\frac{dR}{R}}{\varepsilon}$$

- $\frac{\Delta R}{R}$ - relativní změna odporu
- Δl - změna délky piezoodporového elementu v ose namáhání (síly)
- $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ - relativní prodloužení
- K - součinitel deformační citlivosti (též se označuje G nebo GF (gauge factor)), Charakterizuje citlivost piezoodporových prvků

6.6 Kovové tenzometry s volným drátkem (nelepené)

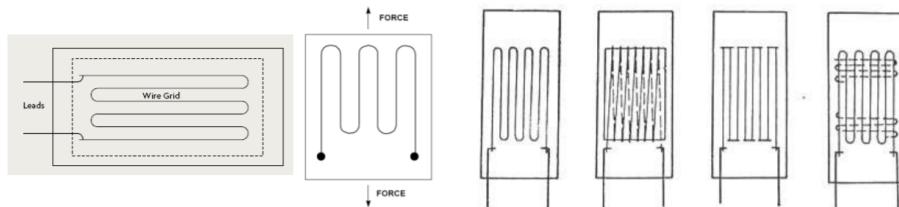
Nakreslete základní konstrukční uspořádání, Používané materiály, typická citlivost K, rozměry



- Materiály: Pt, Ni, Cu, Fe
- Citlivost K: -12 Ni až +6 Pt
- Rozměry: cm

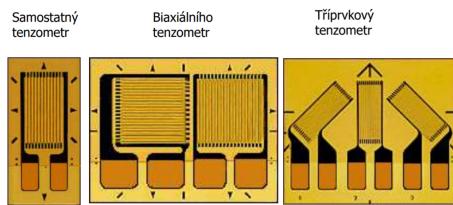
6.7 Lepené kovové drátkové tenzometry

Nakreslete základní konstrukční uspořádání, Používané materiály, typická citlivost K, rozměry



- Materiály: Pt, Ni, Cu, Fe
- Citlivost K: -12 Ni až +6 Pt
- Rozměry: cm

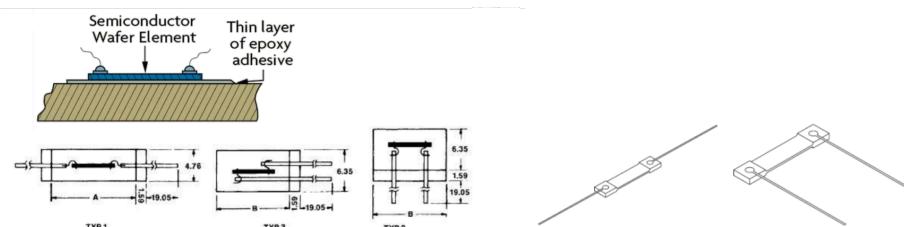
6.8 Fóliové kovové tenzometry: Nakreslete 2 příklady uspořádání tenzometrů



6.9 Piezoodporový jev v polovodičích: typické používané polovodičové materiály

- Si (krystalický, polykrystalický, amorfni), Ge, GeAs, SiC, diamant a další
- () Princip: : Změna měrného odporu polovodiče je způsobena anizotropní změnou pohyblivosti nosičů proudu při působení mechanického napětí v určité krystalografické ose polovodiče

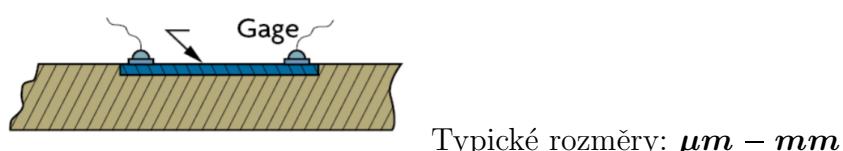
6.10 Polovodičové lepené tenzometry: Nakreslete konstrukční uspořádání lepeného polovodičového tenzometru, typické rozměry



- Typické rozměry: mm

6.11 Polovodičové difúzní tenzometry

Nakreslete konstrukční uspořádání polovodičového difúzního tenzometru, typické rozměry



6.12 Polovodičové tenzometry: napište definici teplotního součinitele odporu polovodičového tenzometru

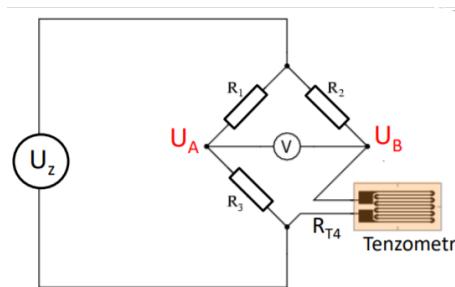
$$\alpha_R = \frac{1}{R_0} \cdot \frac{\Delta R}{\Delta T} \quad (\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1})$$

- R_0 - odpor při pokojové teplotě, ΔR - změna odporu vlivem teploty, ΔT - rozsah změny teploty

6.13 Tenzometry – vyhodnocování signálu

Nakreslete zapojení tenzometrů do tenzometrického můstku, napište podmínu vyvážení můstku

Nejčastěji Wheatstnův můstek

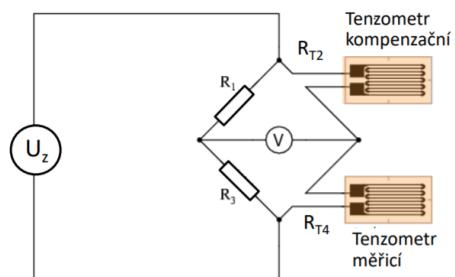


$$U_A = U_B$$

$$U_A = U_z \frac{R_3}{R_1 + R_3} \longleftrightarrow U_B = U_z \frac{R_{T4}}{R_2 + R_{T4}}$$

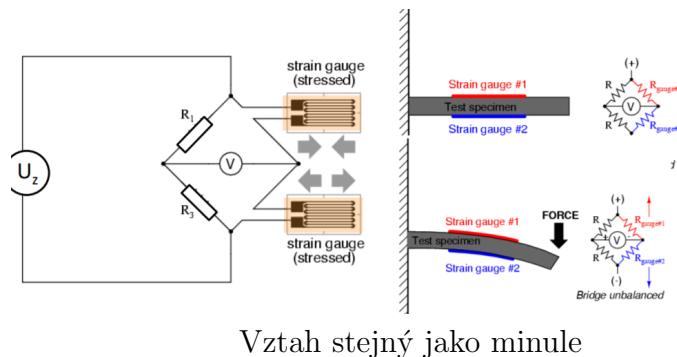
$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_2}{R_{T4}}$$

6.14 Tenzometry – vyhodnocování signálu: Nakreslete princip kompenzace teploty v můstku



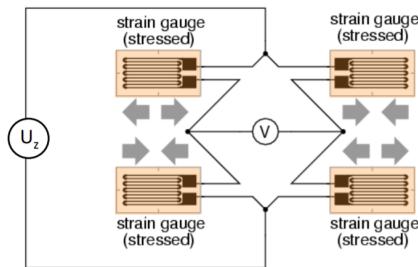
$$\frac{R_1}{R_3} = \frac{R_{T2}}{R_{T4}}$$

6.15 Tenzometry – vyhodnocování signálu: Nakreslete princip zvýšení citlivosti 2x v můstku



Vztah stejný jako minule

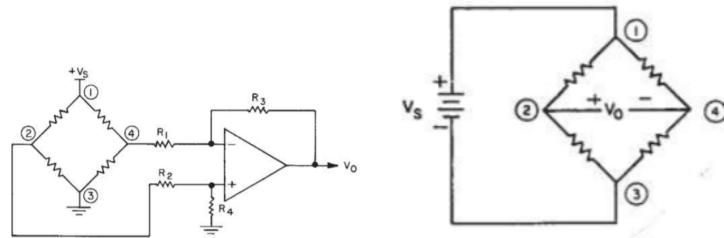
6.16 Tenzometry – vyhodnocování signálu: Nakreslete princip zvýšení citlivosti 4x v můstku



$$\frac{R_{T1}}{R_{T3}} = \frac{R_{T2}}{R_{T4}}$$

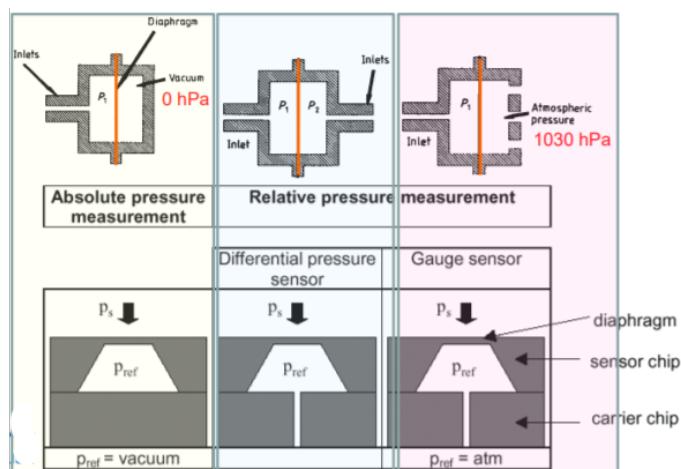
6.17 Snímání informace u elektronické váhy - senzor síly Honeywell

Nakreslete princip činnosti snímacího elementu u elektronické váhy, Nakreslete zjednodušený elektronický vyhodnocovací obvod snímače



7 Piezoodporové senzory tlaku

7.1 Nakreslete princip činnosti tlakového senzoru pro měření absolutního tlaku a senzoru pro měření diferenciálního tlaku.



- ()
- Absolutní - tlak působí na jednu stranu membrány, druhá strana je referenční tlak (vakuum)
- Diferenciální - tlaky působí na obě strany membrány, měří se rozdíl tlaků
- Manometrické – diferenciální, referenční tlak je atmosférický tlak

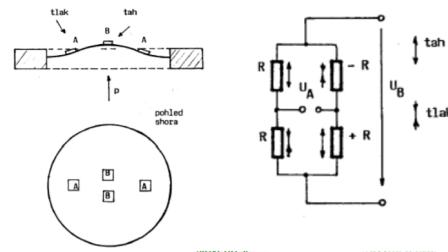
7.2 Napište alespoň 3 základní typy polovodičových tlakových senzorů

- Kapacitní

- Piezoelektrické
- Piezoodporové
- Jiné - rezonance, přechod pn, optické, ultrazvuk, apod.

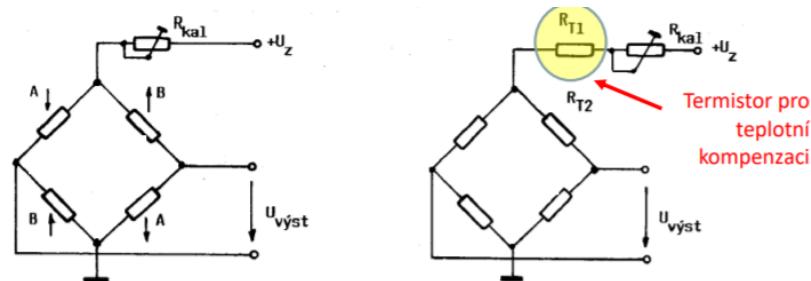
7.3 Piezoodporové senzory tlaku – uspořádání

Nakreslete základní uspořádání piezoelektrického tlakového senzoru se 4 piezoodporovými tenzometry na membráně. Nakreslete obvodové zapojení s můstkem pro vyhodnocování signálu ze 4 piezoodporů tlakového senzoru



7.4 Zpracování signálu z piezoodporů + kompenzace

Nakreslete zjednodušené elektronické obvodové zapojení s můstkem pro vyhodnocování signálu z piezoodporů tlakového senzoru. Do zapojení nakreslete princip jednoduché teplotní kompenzace s termistorem

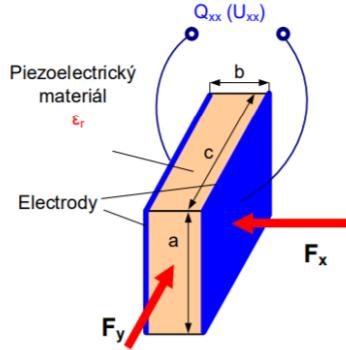


8 Piezoelektrický jev

- senzory, ultrazvuk senzory, SAW senzory

8.1 Podélný piezoelektrický jev

Nakreslete princip činnosti piezoelektrického senzoru, Napište základní rovnice pro výpočet náboje a napětí



- podélný jev

- vektor polarizace \mathbf{P}_e - rovnoběžný s osou x a úměrný mech. tlaku

$$\mathbf{P}_e = k_p p_x = k_p \frac{\mathbf{F}_x}{S_x}$$

- na každé stěně vznikne náboje

$$Q_x = P_e S_x = k_p F_x$$

- a napětí na elektrodách

$$U_x = \frac{Q_x}{C} = \frac{k_p}{C} F_x = k_u F_x \quad U_{xx} = k_u F_x$$

- příčný jev

- Vektor polarizace \mathbf{P}_e - rovnoběžný s osou x, ale má opačný stejnospěrný

$$\mathbf{P}_e = -k_p p_y = -k_p \frac{\mathbf{F}_y}{S_y}$$

- náboj na elektrodách

$$Q_x = P_e S_x = -k_p \frac{F_y S_x}{S_y} = -k_p \frac{b}{a} F_y$$

- napětí na elektrodácích

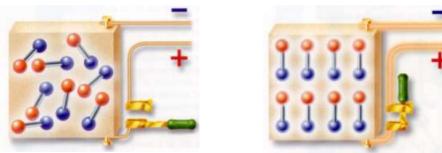
$$U_x = \frac{Q_x}{C} = -\frac{k_p b}{C a} F_y = k_u \frac{b}{a} F_y \quad U_{xx} = k_u \frac{b}{a} F_y$$

- kde k_p je piezoelektrická konstanta, k_u je napěťová citlivost senzoru

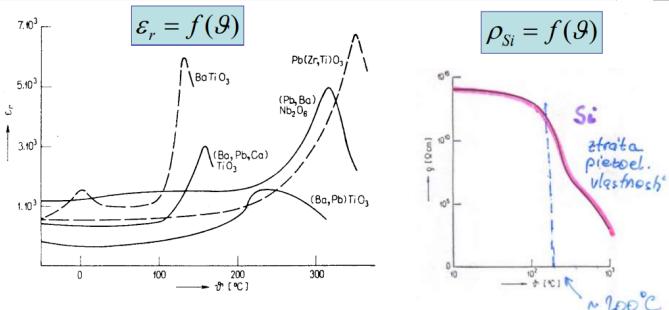
8.2 Piezoelektrické materiály - typy materiálů + Curierova teplota

Napište alespoň 3 základní typy piezoelektrických materiálů, vysvětlete pojmu polarizace piezoelektrického materiálu

- Monokrystaly - křemen, lithium niobát, ..., pro SAW
- Piezoelektrická keramika
- Perovskity
- Piezoelektrické polymery - na bázi polyvinylfluoridu
- Piezoelektrické kompozity keramika/polymer
- Polarizace: Polarizace aplikací silného stejnosměrného elektrického pole při teplotě těsně pod Curierovou teplotou – spontánně orientovaná zrnka jsou orientovány ve směru elektrického pole.

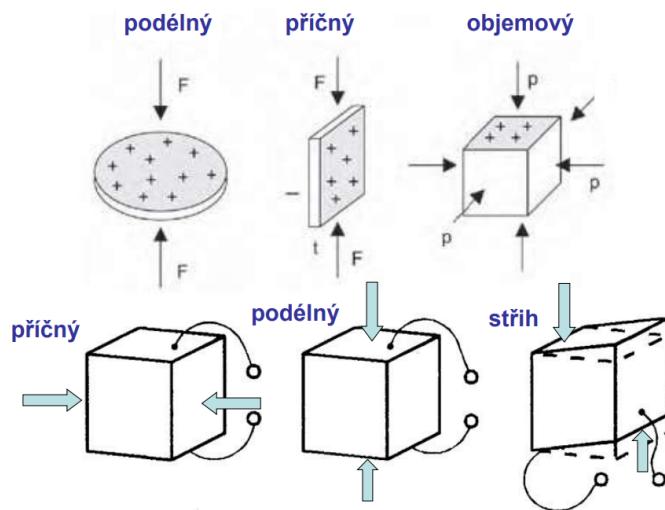


- Curierova teplota: Nad touto teplotou ztrácí materiál své piezoelektrické vlastnosti



8.3 Piezoelektrický senzor

nakreslete základní typy mechanického zatěžování piezoelektrické struktury



8.4 Piezoelektrický aktuátor

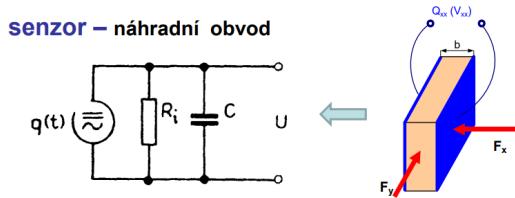
Nakreslete alespoň 3 základní struktury piezoelektrických aktuátorů (nosník, torze, dilatace), porovnejte sílu a posun u těchto struktur

Nosník	Torze	Dilatace
Posuv (μm) ≤ 1000 Síla (N) ≤ 5 Napětí (V) $60 \div 400$	≤ 50 ≤ 1000 $120 \div 1000$	≤ 50 ≤ 1000 $60 \div 500$
		$20 \div 200$ ≤ 3000 $60 \div 1000$

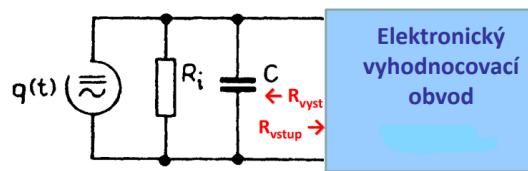
8.5 Vyhodnocování signálů z piezoelektrických senzorů - náhradní model

Nakreslete náhradní elektrický model piezoelektrického senzoru, nakreslete připojení vyhodnocovacího obvodu. Definujte podmínu pro vstupní impedanci připojeného elektrického vyhodnocovacího obvodu.

- náhradní elektrický model



- připojení vyhodnocovacího obvodu



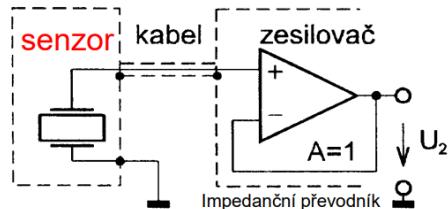
- podmínka pro vstupní impedanci

$$R_{vstup} \gg R_{vyst}$$

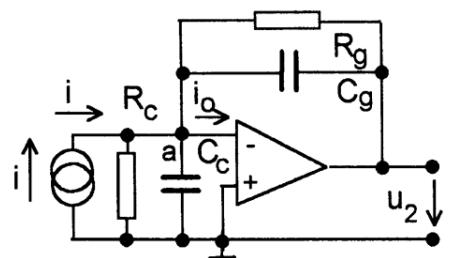
8.6 Vyhodnocování signálů z piezoelektrických senzorů - impedanční oddělovače

Nakreslete zjednodušeně příklady dvou impedančních oddělovačů připojovaných na výstup piezoelektrického senzoru a převádějících vysokou impedanci na nízkou

- Impedanční převodník



- Impedanční převodník - nábojový zesilovač



8.7 Využití piezoelektrických materiálů k vytvoření ultrazvuku

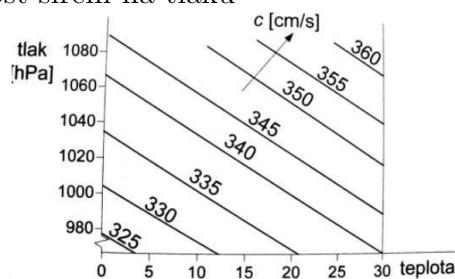
8.8 Ultrazvuk

Jaká je přibližná rychlosť šíření zvuku a ultrazvuku ve vzduchu, jaká je teplotní závislost, závislá rychlosť šíření na tlaku vzduchu, dolní kmitočtová hranice ultrazvuku.

- Přibližná rychlosť šíření zvuku

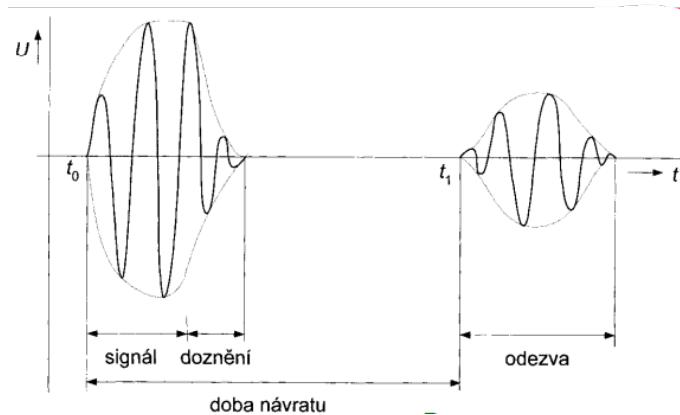
$$c = 331,6 + 0,61 \cdot T \quad (\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$$

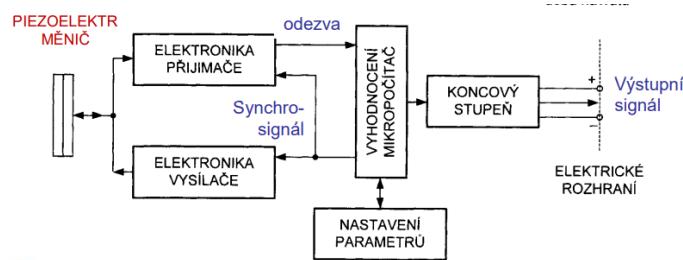
- dolní kmitočtová hranice ultrazvuku se udává **20 kHz**
- závislost rychlosť šíření na tlaku



8.9 Měření vzdálenosti ultrazvukem

Nakreslete základní princip (impulzy v závislosti na čase) a způsob vyhodnocování, Nakreslete zjednodušeně blokové schéma elektronické části senzoru pro měření vzdálenosti

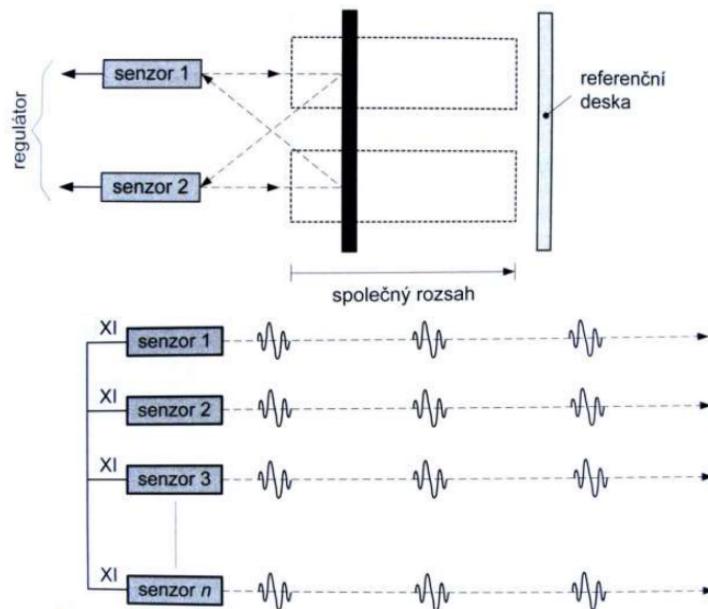




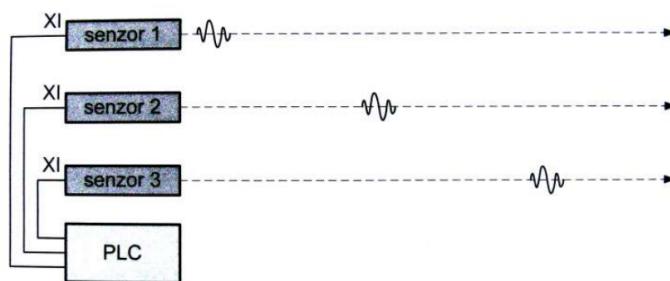
8.10 Použití ultrazvukových senzorů v jednom prostoru

lze použít více ultrazvukových senzorů současně v jednom prostoru, event. jakými metodami lze řešit použití více senzorů v jednom prostoru (nakreslete příklady)

- Synchronizace činnosti dvou nebo více senzorů



- Časový multiplex



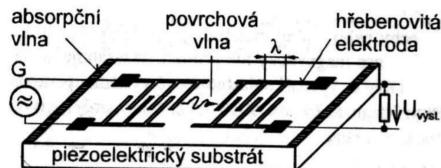
8.11 Aplikace ultrazvukových senzorů: uveďte příklady 3 aplikací

- Ultrazvuková závora
- Senzor výšky hladiny
- Parkovací senzory
- Senzor přítomnosti vlhkého papíru ve stroji
- Senzor přiblížení

8.12 Senzory s principem SAW

8.13 SAW senzory

Nakreslete základní princip činnosti senzorů s povrchově akustickou vlnou, význam budící a snímací interdigitální struktury



Základním principem je závislost mechanické rezonanční frekvence pružného prvku na deformaci vyvolané vnějším působením. Využívají změn parametrů vlnění šířícího se z hřebenové struktury vysílače do místa přijímače. Nejčastější se SAW uplatňuje v pásmových filtroch 3 - 300 MHz.

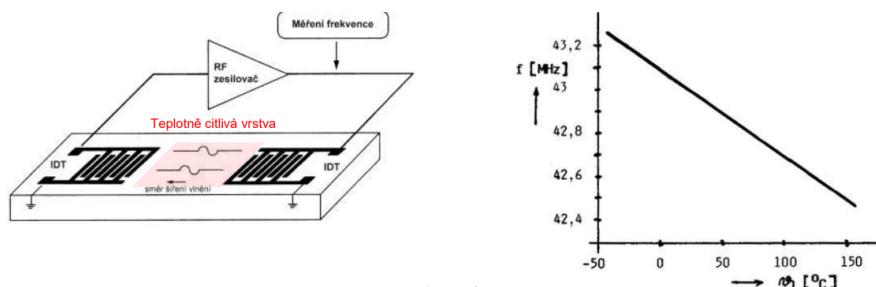
8.14 Vyhodnocování signálu ze SAW senzorů

Nakreslete senzor se základním elektronickým vyhodnocovacím obvodem, nakreslete výstup signálu, v jaké formě je výstupní signál.

- Lze měřit:
 - frekvence oscilátoru se SAW ve zpětné vazbě
 - rozdíl amplitud na vstupu a výstupu SAW
 - rozdíl fází mezi vstupem a výstupem SAW

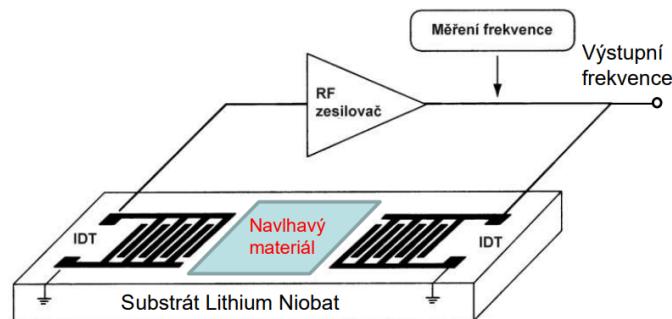
8.15 SAW senzory - teplota

Nakreslete základní princip činnosti senzoru SAW pro měření teploty



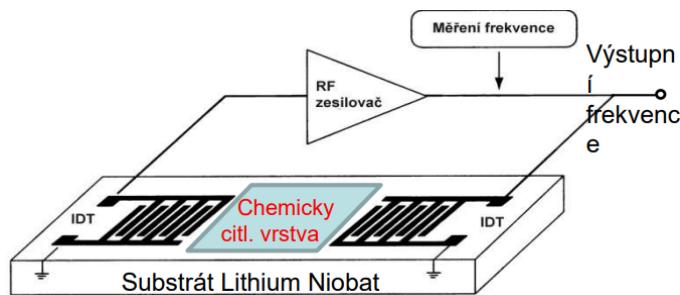
8.16 SAW senzory - vlhkost

Nakreslete základní princip činnosti senzoru SAW pro měření vlhkosti



8.17 SAW senzory - chemické látky

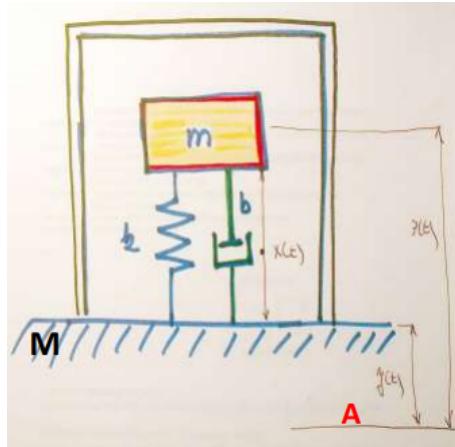
Nakreslete základní princip činnosti senzoru SAW pro měření vlhkosti



9 Akcelerometry

9.1 Akcelerometr

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti, co je to seismická hmota, napište základní rovnici popisující pohyb hmoty u jednoosého akcelerometru.



- seismická hmota - (asi) setrvačná hmota (m), jejíž výchylka vůči základně je vyhodnocována
- pohybová rovnice
 - při vztažném bodu A, vůči kterému měříme kmity objektu $y(t)$
 - mechanická soustava je popsána rovnováhou setrvačné hmoty. Direktivní a tlumící síly, tj. pohybovou rovnicí:

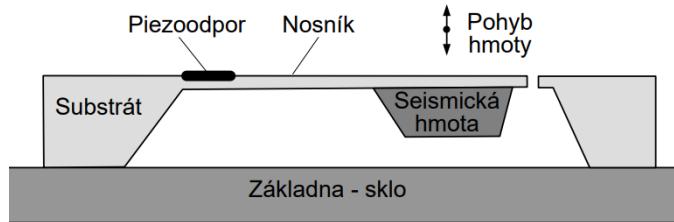
$$m \frac{d^2z}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + ky = 0$$

- pro časově proměnné složky (základní rovnice):

$$z(t) = x(t) + y(t)$$

9.2 Akcelerometr s principem piezoodporovým

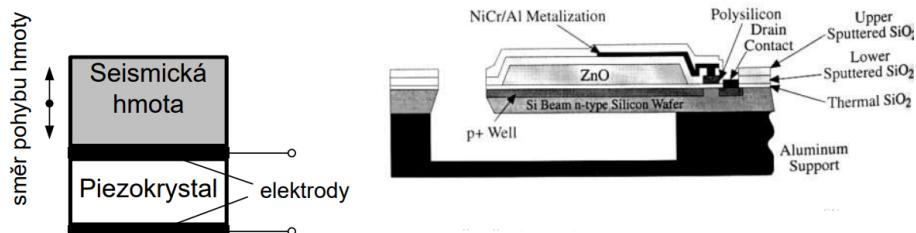
Nakreslete zjednodušeně základní strukturu a popište princip činnosti akcelerometru



- Princip: Pohybem hmoty dochází k prodlužování nebo zkracování piezoodporového elementu- princip tenzometru (změna ohmického odporu). Změna je úměrná výchylce hmoty.

9.3 Akcelerometr s principem piezoelektrickým

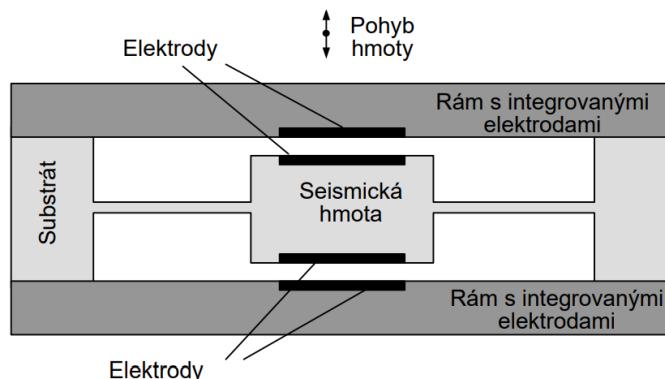
Nakreslete zjednodušeně základní strukturu a popište princip činnosti akcelerometru



- Princip: Měří se poloha seismické hmotnosti vůči pouzdrou senzoru – piezoelektrické napětí. Využití kompresní nebo především smykové deformace.

9.4 Akcelerometr s principem kapacitním

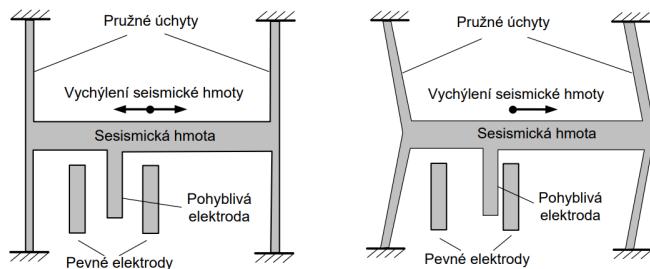
Nakreslete a vysvětlete princip činnosti



- Pevné elektrody tvoří vůči seismické hmotě 2 kapacity. Při pohybu dochází ke změně vzdálenosti desek - změna kapacit (1 roste, 2. klesá). Základ složitějších používaných uspořádání např. hřebenové.

9.5 Akcelerometr s principem kapacitním s hřebenovým uspořádáním

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti



- Princip:
 - Paralelně pospojované diferenční kapacitory – desítky až stovky
 - Část diferenčních kapacitorů může sloužit jako testovací-budicí (elektrostatický princip) – používáno např. v ADXL akcelerometrech fy Analog Devices, viz dále
 - Seismická hmota s pohyblivými elektrodami je upevněna na pružných závěsech, při akceleraci dojde k pohybu oproti rovnovážnému stavu

10 Senzory s indukčností - induktivní, indukční, magnetické

10.1 Senzory s indukčností

Napište základní rovnici pro výpočet indukčnosti L a k ní napište diferenciální rovnici pro určení změny indukčnosti. Nakreslete náhradní elektrické zapojení senzoru s L s připojením k vyhodnocovacímu obvodu. Z náhradního elektrického obvodu odvodte nerovnici pro určení rozmezí pracovních frekvencí.

- základní rovnice pro indukčnosti

$$L = f(S, l, N, \mu)$$

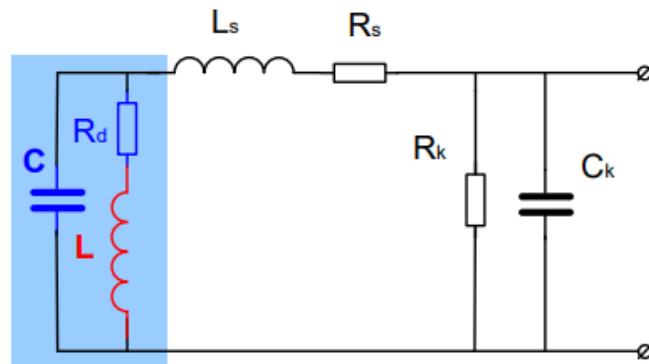
- změna indukčnosti

$$dL = \frac{\partial L}{\partial S} dS + \frac{\partial L}{\partial l} dl + \frac{\partial L}{\partial N} dN + \frac{\partial L}{\partial \mu} d\mu$$

- pracovní kmitočet - odvození intervalu

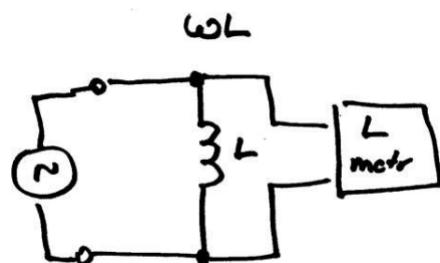
$$R_d, R_s, wL_s \leqslant wL \leqslant \frac{1}{wC}, \frac{1}{wC_k}, R_k$$

- náhradní schéma:



10.2 Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní)

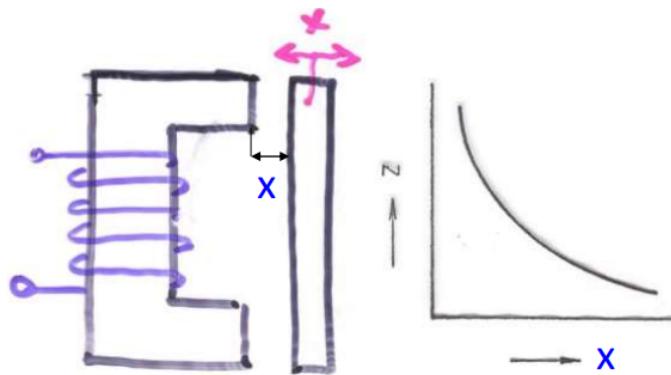
Nakreslete princip činnosti, napište, na kterých parametrech je indukčnost L závislá.



- Indukčnost je závislá na:
 - S - průřez jádra, L - délka závitů, N - počet závitů, μ - permeabilita
- Princip: Změnou parametrů indukčnosti se mění impedance L

10.3 Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní) s malou vzduchovou mezery

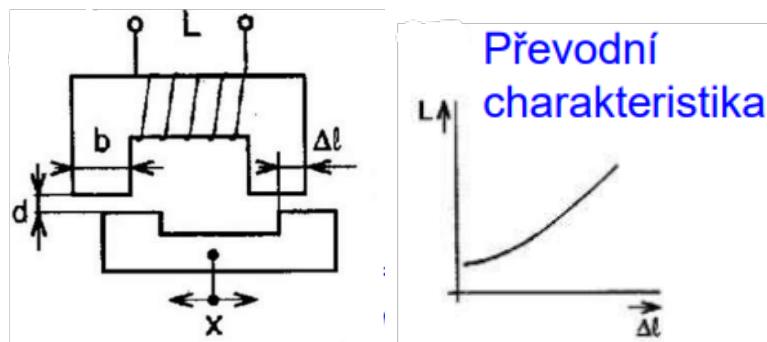
Nakreslete princip činnosti a převodní charakteristiku pro změnu indukčnosti se změnou vzduchové mezery



Rozsah $3\mu m - 5\mu m$, změna vzduchové mezery

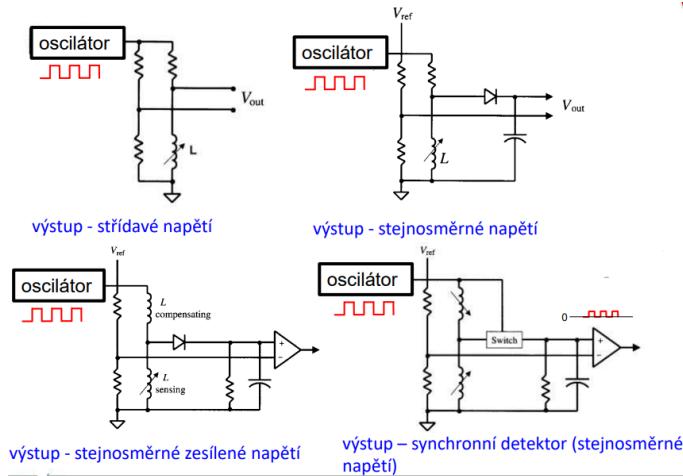
10.4 Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní) s posunutím jádra

Nakreslete princip činnosti a převodní charakteristiku L jako funkci posunutí třmene



10.5 Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní)

Nakreslete můstková zapojení pro vyhodnocování senzorových signálů (výstupem je střídavý signál, stejnosměrný signál, zapojení se synchronním detektorem)



10.6 Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní) s potlačeným magnetickým polem

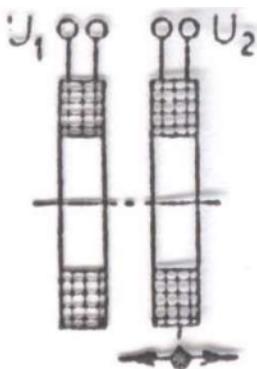
Nakreslete a vysvětlete princip činnosti



- Princip: Střídavé magnetické pole indukuje v elektricky vodivém tělese cirkulární (vířivé) proudy. Tyto proudy vytvářejí vlastní magnetické pole, které má opačnou fázi než pole budící, jeho působením proti budícímu poli je toto zeslabováno, výsledné pole je vektorovým složením obou dílčích polí, mění se impedance cívky.

10.7 Indukčnostní (induktanční) senzor (pasivní), vzájemná indukčnost

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti senzoru



- Princip: Vzájemná indukčnost L_1 a L_2 nastavena bez jádra tak, aby OSC kmital. Zasunutím jádra se změní vzájemná indukční vazba – OSC přestane kmitat, změna amplitudy na výstupu

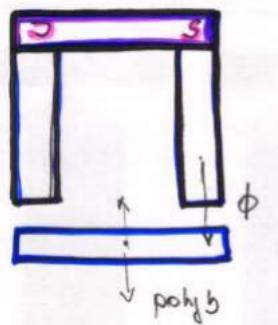
10.8 Indukční (magnetoinduktivní) senzor elektromagnetický (aktivní)

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti senzoru, napište rovnici indukčního zákona pro cívku s N závity, nakreslete princip (zjednodušený obvod) pro vyhodnocování výstupního signálu.

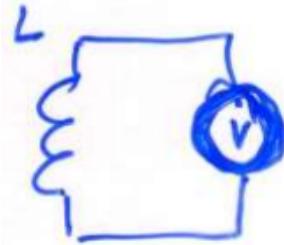
- Indukční zákon pro cívku s N závity

$$u = -N \frac{d\phi}{dt}$$

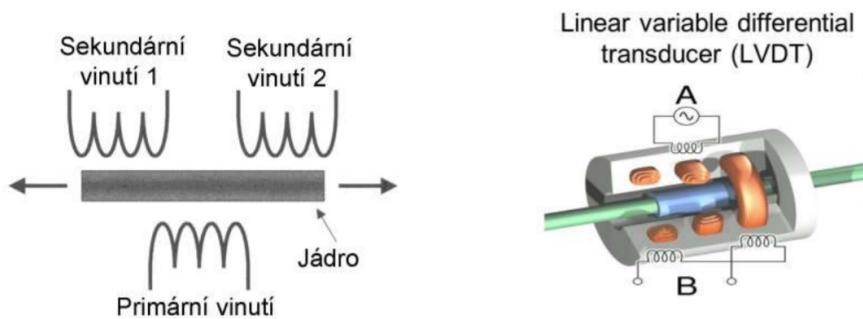
- princip



- vyhodnocování výstupního signálu - zjednodušený obvod

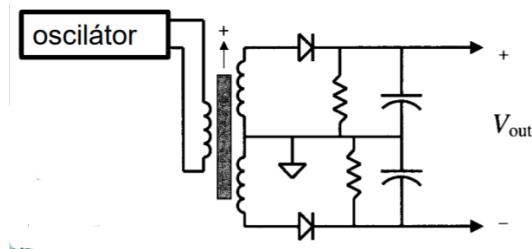


10.9 Transfomátorový senzor polohy (LVDT): Nakreslete princip činnosti



10.10 Transfomátorový senzor polohy (LVDT)

Nakreslete zjednodušené obvodové zapojení pro vyhodnocování informace z LVDT senzoru



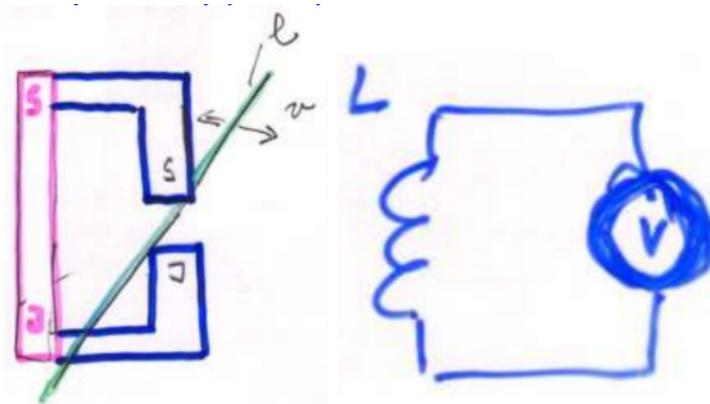
10.11 Indukční (magnetoinduktivní) senzor elektrodynamický (aktivní)

Nakreslete princip činnosti senzoru, napište magnetoinduktivní rovnici pro výstupní napětí, nakreslete zjednodušený obvod pro vyhodnocování výstupního signálu

- magnetoinduktivní rovnice

$$u = B v e$$

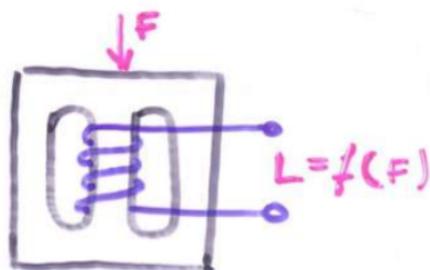
- princip a vyhodnocení



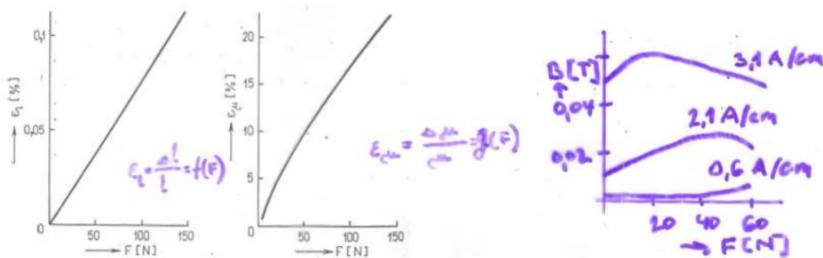
10.12 Magnetoelastický senzor

Nakreslete a vysvělte princip činnosti. Nakreslete příklad závislosti permeability, resp. indukčnosti na působící síle (mechanickém namáhání). Nakreslete příklad konstrukce magnetoelastických (lístkových) tenzometrů.

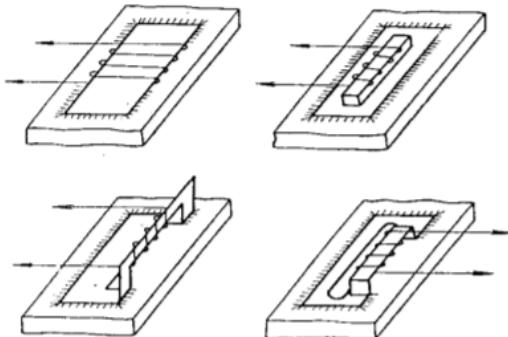
- princip činnosti a schéma: změna μ_r - změna vlastností jádra



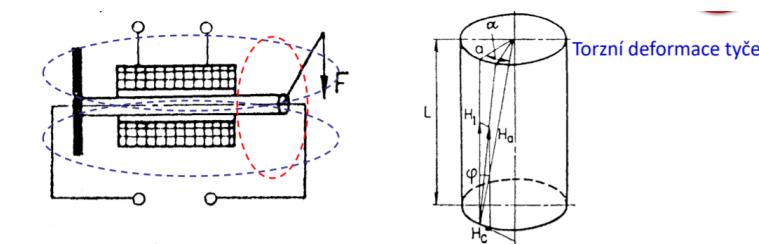
- závislosti permeability a indukčnosti na síle



- příklad konstrukce

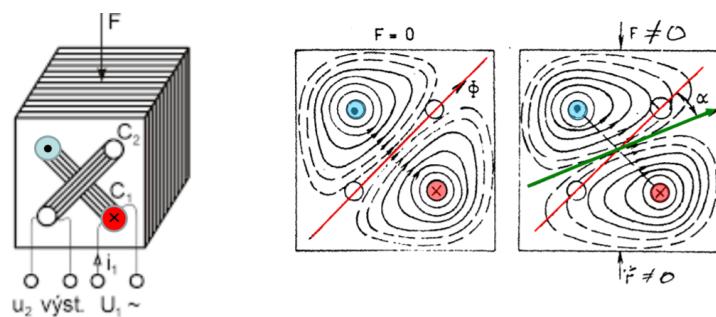


10.13 Magnetosktriční senzor: Nakreslete a vysvětlete princip činnosti



- Wiedemannův jev: Feromagnetická tyč (Fe, Co, Ni) se torzně deformuje, pokud týčí protéká elektrický proud (kruhové mg. pole) a tyč je umístěna v podélném magnetickém poli (cívka s feromegnetickou tyčí)
- Inverzní Wiedemannův jev: tyč je v kruhovém mg. Poli (protéká proud), tyč je torzně deformovaná, v cívce okolo tyče se objeví napětí (výstupní signál)

10.14 Magnetoanizotropní senzor: Nakreslete a vysvětlete princip činnosti

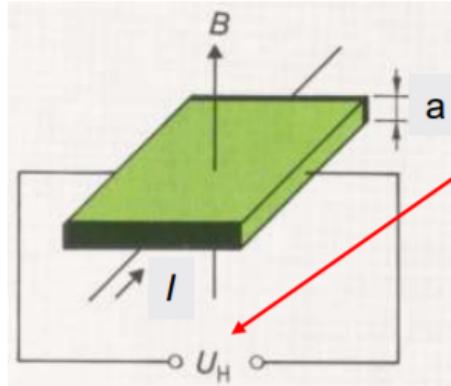


- Magnetoanizotropie označuje deformaci magnetického pole při mechanickém namáhání
- Magnetoanizotropní senzor je vyroben bud' z plného materiálu nebo z plechů, kolem středu symetrické čtyři otvory, umístěno primární a sekundární vinutí.
- Senzor bez zatížení: mg. tok primárního vinutí nezasahuje do sekundární cívky
- Senzor je zatížený: mechanická deformace vytvoří magnetickou anizotropii, zvýší se vazba mezi primárním a sekundárním vinutím a na výstupu se objeví napětí.

11 Senzory magnetického pole

11.1 Senzor magnetického pole s Halovým jevem

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti Hallova senzoru, Napište základní rovnici pro výpočet Hallova napětí.

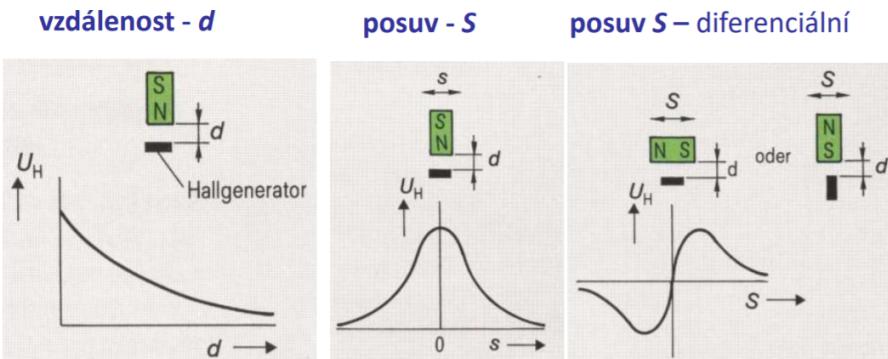


$$U_H = \frac{R_H}{a} \cdot B \cdot I$$

- kde, U_H - Halovo napětí, B - magnetická indukce, I - proud čipem, a - tloušťka destičky, R_H - Halova konstanta
- Princip: Je tvořen úzkou polovodivou destičkou, skrz niž prochází proud. Při vložení destičky (článku) do magnetického pole skrz ni prochází indukční tok a přeskupuje náboje v destičce na jednu stranu. Tak na Hallově článku vzniká napětí.

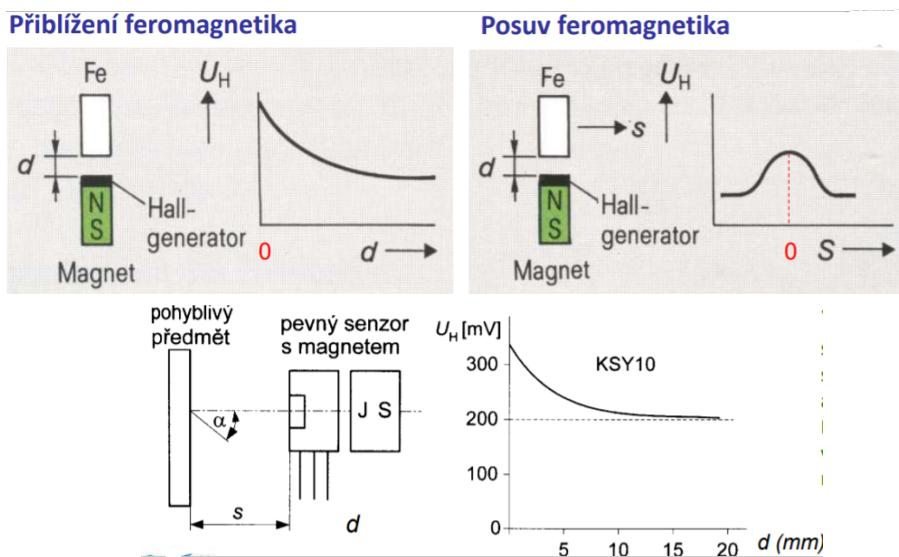
11.2 Měření vzdálenosti a posuvy s Halovým senzorem

Nakreslete a vysvětlete princip měření vzdálenosti a posuvu



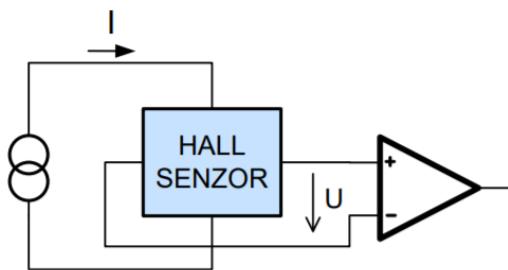
11.3 Měření vzdálenosti s Halovým senzorem v režimu s feromagnetikem

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti Halova senzoru v režimu využití feromagnetika pro měření vzdálenosti



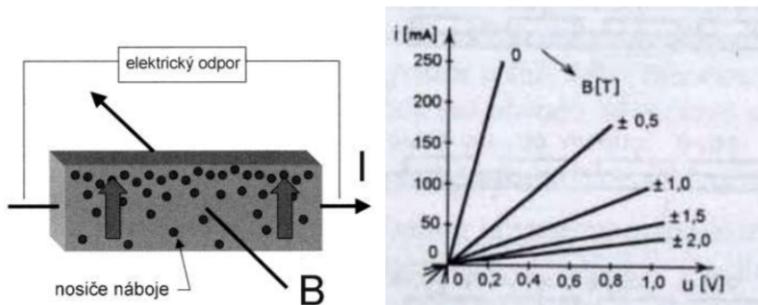
11.4 Vyhodnocování signálu z Halova senzoru

Nakreslete zjednodušeně princip zapojení senzoru pro vyhodnocování signálu (vyhodnocovací obvod) a vysvětlete jeho činnost



11.5 Senzory magnetického pole s magnetoodporovým principem

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti magnetoodporového senzoru. Nakreslete jednoduché zapojení magnetoodporového senzoru do elektronického obvodu pro vyhodnocování magnetické indukce B .

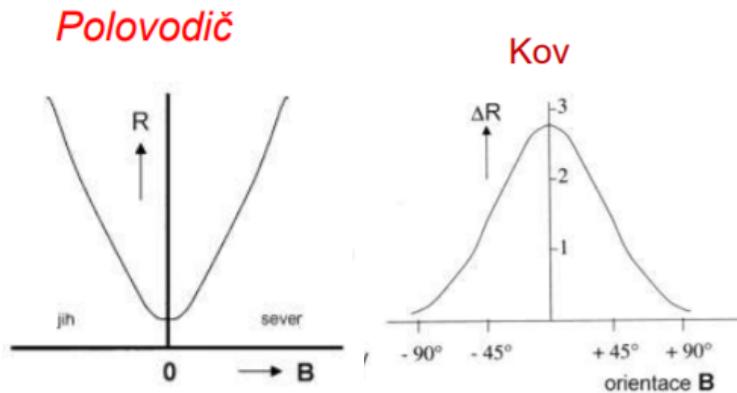


Princip:

- tenká magnetická vrstva
- Elektricky vodivé magnetické materiály představují tzv. anizotropní "magnetoodporový jev".
- V těchto materiálech vektor magnetizace vytváří směr, ve kterém teče proud.
- Působením vnějšího magnetického pole dochází ke stáčení magnetizačního vektoru ve vrstvě a tímto i "proudové cesty", což ve výsledku představuje změnu odporu vrstvy
- Lorentzova síly uvnitř polovodiče „zužuje“ proudovou cestu a tím zvyšuje R magnetoodporu.

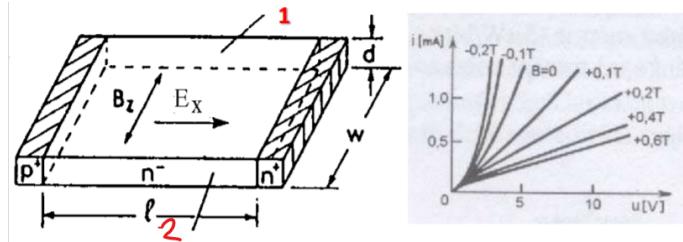
11.6 Senzory magnetického pole s magnetoodporovým principem - materiály

Nakreslete převodní charakteristiky $R=f(B)$ pro kovový a polovodičový typ senzoru.



11.7 Magnetodioda

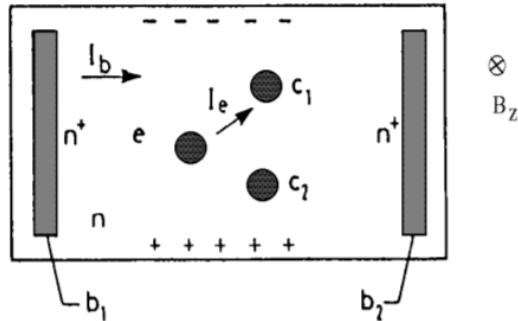
Nakreslete a vysvětlete princip činnosti zjednodušené struktury magnetodiody



- Nosiče jsou injektovány do polovodivé oblasti o rozměrech (l, w, d) z $n+$ a $p+$ oblasti působením elektrického pole.
- Princip magnetodiodového jevu - mezi dvěma konci existuje rozdíl rekombinací, objevuje se dvojí injekce nosičů.
- Nosiče jsou odchylovány působením Lorentzovy síly směrem k okrajům označeným **1** a **2**, což vede k vytvoření gradientu koncentrace nosičů kolmého k elektrickému poli E_x , následně k modulaci VA charakteristik diody.
- Modulace VA charakteristik diody - závislá na poměrech rekombinací, geometrii a proudovém zatížení.

11.8 Magnetotranzistor

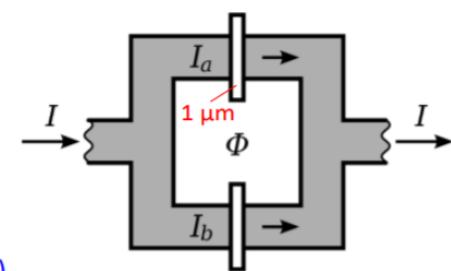
Nakreslete zjednodušeně základní strukturu bipolárního laterálního magnetotranzistoru, vysvětlete stručně činnost a význam jednotlivých veličin v nákresu.



- Emitorový proud I_e se odchyluje působením magnetického pole - na p+ typech kolektorů C1 a C2 vzniká proudový rozdíl.
- Přiložením kladného napětí mezi bázové kontakty b1 a b2 způsobí chování podobné Hallouje jevu a tímto vzniká Hallovo napětí.
- Vzniklé Hallovo napětí pomáhá odchylovat proudové siločáry a tím dále zvyšuje proudové rozdíly na kolektorech.
- Kombinací těchto dvou jevů vzniká výsledný rozdíl proudů
- Laterální magnetotranzistory mohou být realizovány jako bipolární nebo CMOS
- Rozlišitelnost do 10^{-7} T

11.9 SQUID

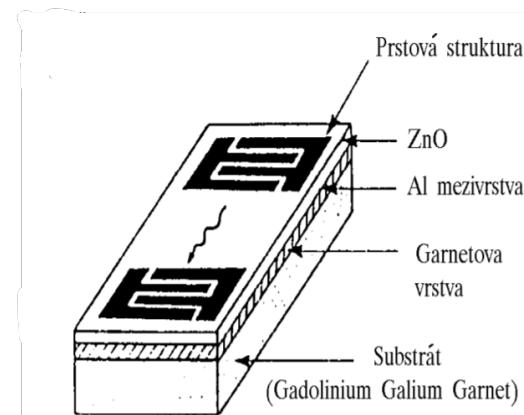
Nakreslete zjednodušeně a vysvětlete princip činnosti struktury SQUID. Jaké nejmenší magnetické pole může tato struktura měřit. Jaké plyny se používají k dosažení kryogenních teplot.



- SQUID (supravodivé kvantové interferenční zařízení) pro měření velmi malých magnet. polí.
- Základem SQUID je smyčka se dvěma Josephsonovými přechody
- Celkový stejnosměrný proud $\mathbf{I} = \mathbf{I}_a + \mathbf{I}_b$ je součet proudů v obou větvích, při sčítání vzniká interference
- Fázový rozdíl je \mathbf{I}_a a \mathbf{I}_b přímo úměrný Φ , který prochází smyčkou (vysoká přesnost měření)
- Je využíváno k měření velmi malých magnetických polí až na hranici řádu $5 \cdot 10^{-18} \mathbf{T}$
- Hlavní složka zařízení použit niob ochlazený pomocí tekutého hélia (nejpřesnější ale drahé).
- Vysokoteplotní slitiny, např. YBa₂Cu₃O_{7-x} s chlazením tekutým N₂ (menší přesnost, lacinější)

11.10 SAW mikrosenzor magnetického pole

Nakreslete zjednodušeně a vysvětlete základní princip činnosti senzoru. Popište způsob vyhodnocování výstupního signálu



- Působením \mathbf{B} na tenkou magnetickou vrstvu, kterou se šíří povrchově akustická vlna, dochází k modulaci akustických parametrů magnetoelastických materiálů.
- Digitální tvar výstupního signálu

12 Teplotní senzory

12.1 Napište definice pro: Množství tepla v tělese, Rychlost průtoku tepla tělesem, Teplotní gradient (tepelná vodivost)

- Množství tepla v tělese

$$Q = mcT$$

- Rychlosť průtoku tepla tělesem

$$\frac{dQ}{dT} = -kS \cdot \frac{dT}{dx}$$

- Teplotní gradient - tepelná vodivost

$$\frac{dT}{dx}$$

- tepelný odpor

$$R_T = \frac{1}{k} \cdot \frac{l}{S}$$

- kde, m - hmotnost, c - měrná tepelná vodivost, T - teplota, S - průřez

12.2 Odporové kovové teplotní senzory (RTD)

Uveďte alespoň 2 typické materiály pro teplotní senzory, uveďte typický teplotní rozsah, napište základní rovnici pro approximaci průběhu odporu v malém rozmezí teplot ($0 - 100^\circ C$).

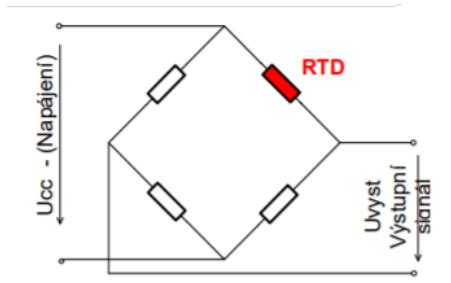
- materiály:

- především čisté kovy (Pt, Ni, Cu ...)
- Wolfram (vysoce linární)
- Měď (menší teplotní rozsahy)
- Nikl (nižší teploty, nízká cena, nelineární), $-60^\circ C \sim 120^\circ C$
- Platina (vysoká cena, lineární, nejběžnější), $-260^\circ C \sim 630^\circ C$
- slitiny Ni (nižší teploty, nízká cena)
- slitiny Ag, Au do $120^\circ C$

$$R = R_0(1 + \alpha\vartheta + \beta\vartheta^2 + \gamma(\vartheta - 100)\vartheta^3)$$

12.3 Vyhodnocování signálu z odporových kovových teplotních senzorů (RTD)

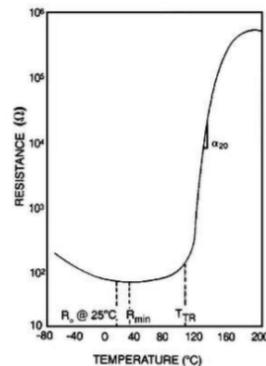
Nakreslete zjednodušeně obvodové zapojení pro vyhodnocování teploty



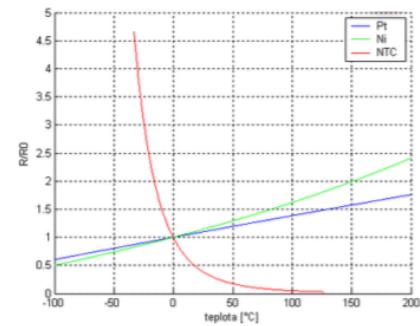
12.4 Odporové polovodičové teplotní senzory s termistorami

Napište rozdíl mezi termistory NTC, PTC, nakreslete typické převodní charakteristiky, Nakreslete zjednodušené obvodové zapojení pro vyhodnocování teploty.

- PTC termistor (Positive Temperature Coefficient)
Termistor s pozitivní teplotní závislostí, tzn. že odpor s teplotou roste. Charakteristika nejdříve lehce klesá až do Curieovy teploty, odtud pak vzroste o 3 řády a pak opět mírně klesá.

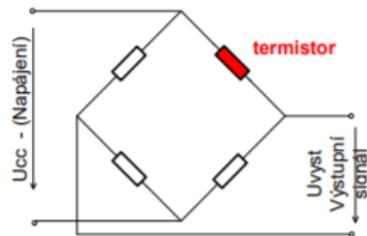


- NPC termistor (Negative Temperature Coefficient)
Termistor s negativním teplotním koeficientem (negistor), tj. odpor s teplotou klesá



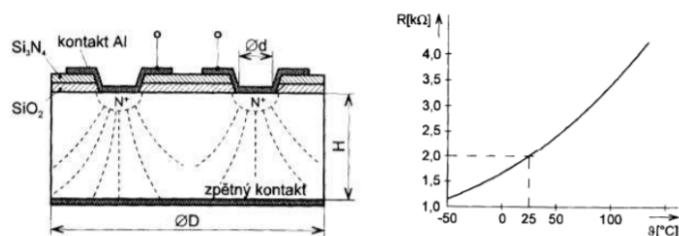
- vyhodnocování pomocí Wheatstnova můstku

Wheatstoneův můstek



12.5 Odporové polovodičové teplotní senzory monokrystalické

Nakreslete a vysvětlete základní principy činnosti.



- Polovodičový monokrystalický Si senzor (senzor s odporem šíření) Princip – odpor šíření se uplatňuje v místě styku kovového hrotu s polovodičem. Odpor závisí a rezistivitě ρ a poloměru kontaktu r . Využívá se kladný teplotní součinitel (pro Si od $-50 \sim 150^{\circ}C$). S rostoucí teplotou klesá pohyblivost volných nosičů náboje.

12.6 Teplotní senzory s p-n přechodem

Napište základní rovnici popisující proud přechodem (Shockley rovnice), Napište nebo odvod'te rovnici pro teplotní závislost napětí na přechodu p-n na teplotě, Nakreslete teplotní závislost saturačního proudu $I_s = f(teplota)$

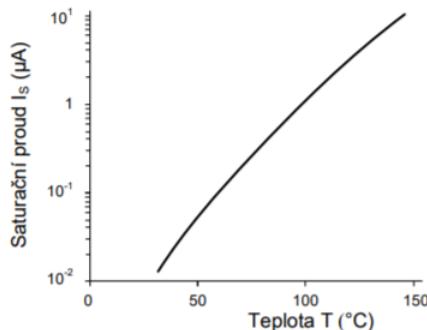
- Proud diodou

$$I = I_s(e^{\frac{nU}{kT}} - 1)$$

- závislost napětí na přechodu p-n na teplotě

$$U \doteq \frac{kT}{nq} \ln \frac{I}{I_s}$$

- Teplotní závislost saturačního proudu $I_s = f(teplota)$



12.7 Citlivost teplotních senzorů s p-n přechodem

Napište princip odvození citlivosti p-n přechodu, Napište typickou číselnou hodnotu citlivosti.

- lze odvodit, že platí

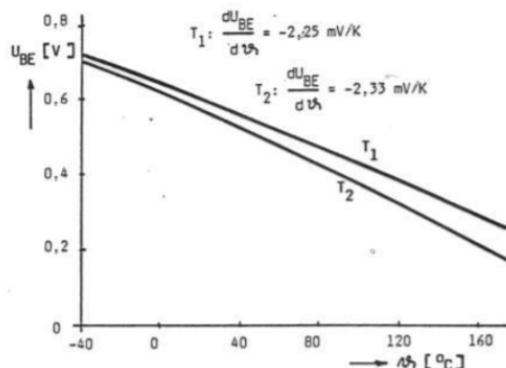
$$\beta = \frac{dU}{dT} = \frac{k}{nq} \ln \frac{I}{I_s}$$

- pro běžné Si je $I_s = 10^{-10}$ A a $I = 10^{-4}$ A je

$$\beta = -2,1 mV \cdot K^{-1}$$

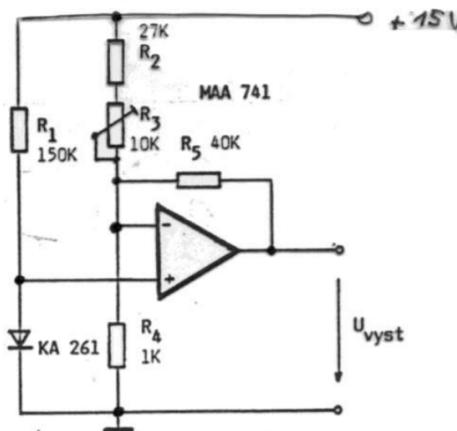
12.8 Teplotní senzory s p-n přechodem - charakteristiky

Nakreslete typický průběh teplotní závislosti napětí na přechodu p-n $U = f(\text{teplota})$ pro dva různé proudy I přechodem

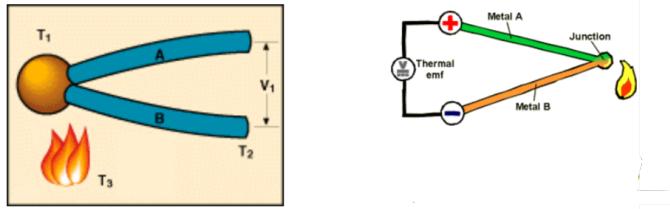


12.9 Vyhodnocování informace z teplotního senzoru s p-n přechodem

Nakreslete zjednodušené základní zapojení teploměru s přechodem p-n, vysvětlete, proč je nutné používat proudový zdroj pro napájení přechodu p-n, jak je tvořen proudový zdroj na Vašem obrázku.



12.10 Termoelektrické teplotní senzory: nakreslete a vysvětlete základní princip činnosti termočlánku.

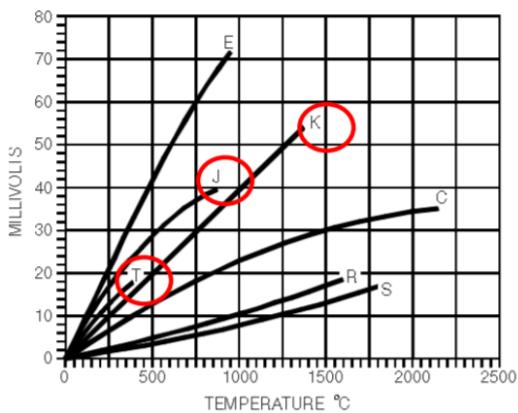


- Princip: Dva různé kovy spojené svařením, pájením nebo výjimečně mechanicky. Kovy lze nahradit polovodiči.
- () Seebeckův jev: jsou-li spojeny dva vodiče z různých kovů do uzavřeného obvodu a mají-li spoje různou teplotu T_1 a T_2 , protéká obvodem elektrický proud. Pokud obvod rozpojíme, na svorkách naměříme elektromotorické napětí

12.11 Termoelektrické kovové teplotní senzory

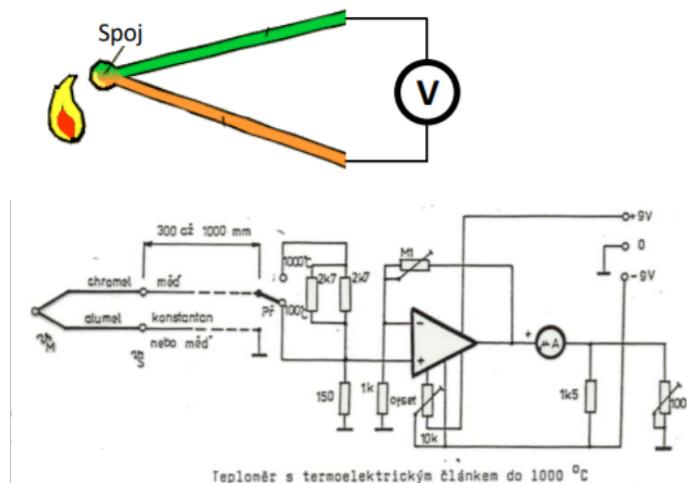
Uveďte 3 základní typy kovových termočlánků. Uveďte typické materiály, Nakreslete 3 typické charakteristiky.

- Chromel-Constantan (E křivka)
 - Pro použití pro teploty vyšší než 870°C ve vakuu nebo inertním prostředí. Při záporných teplotách nekoroduje. Tyto termočlánky mají nejvyšší výstupní napětí ze všech standardních kovových termočlánků.
- Platinum-Rhodium (S a R křivka)
 - Mají velkou odolnost proti oxidaci a korozii
 - Doporučený rozsah pracovních teplot je 1540°C .
- Wolfram-Rhodium (C křivka)
 - Používají se pro měření teplot vyšších než 2760°C .
- charakteristika závislosti na teplotě



12.12 Termoelektrické teplotní senzory - zapojení

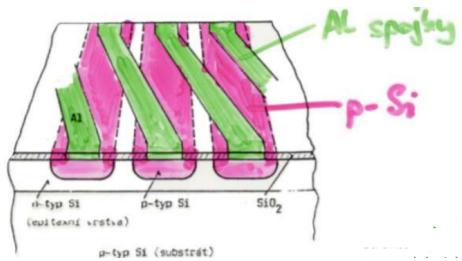
Nakreslete zjednodušený princip elektronického zapojení pro vyhodnocování signálu z termočlánků



12.13 Integrovaný termoelektrický článek

Nakreslete strukturu jednoho článku. Nakreslete princip termoelektrická baterie. Jak je zabráněno šíření teploty na čipu.

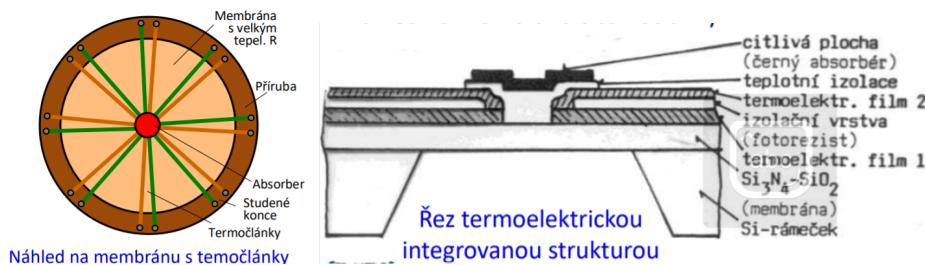
- termoelektrická baterie



- DOPLNIT!!!

12.14 Bezkontaktní senzory infračerveného záření s termoelektrickým článkem

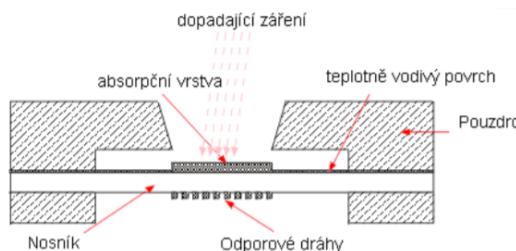
Nakreslete zjednodušeně strukturu jednoho termočlánku na čipu. Jak je zabráněno šíření teploty po ploše čipu



asi taky doplnit

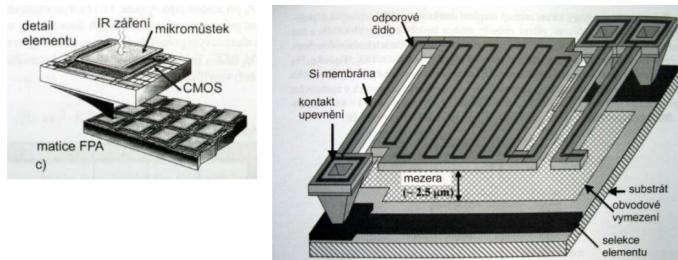
12.15 MEMS bolometr

Nakreslete zjednodušeně strukturu jednoho MEMS bolometru na čipu. Jak je zabráněno šíření teploty po ploše čipu.



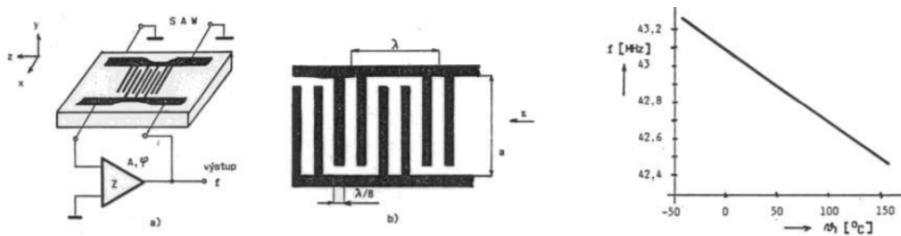
asi taky doplnit

12.16 MEMS bolometr: Nakreslete zjednodušeně strukturu bolometrické matice na čipu



12.17 Teplotní senzor SAW

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti, Nakreslete a vysvětlete elektronický vyhodnocovací obvod.



- Princip: Využívá se teplotní závislosti rychlosti šíření povrchové akustické vlny v určitém materiálu (LiNbO_3)

12.18 Teplotní senzory pro měření kryogenních teplot

Napište alespoň 4 základní typy teplotních senzorů, Jaké nevýhody mají termočlánkové, Do jakých nejmenších teplot je možné senzory použít.

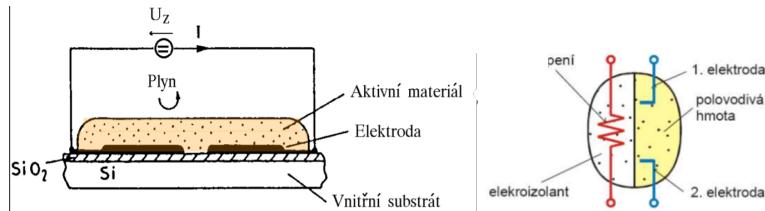
- Termoelektrické články
 - výhody: jednoduché, laciné
 - nevýhody: termoelektrické napětí není stabilní a je malé
- Odporové senzory
 - Kovové – pro $10K \sim 90K$
 - Uhlíkové - $1 \sim 20K$, popřípadě $0,01 \sim 1K$
 - Termistory - až do $20K$

- Kapacitní teplotní senzory
- Indukční princip
 - $mK \sim 5K$
- Šumový teplotní senzor
- P-N přechod
 - citlivost pro $Si - 55mV K^{-1}$, pro $T = 1 \sim 30K$

13 Senzory chemických veličin

13.1 Chemické senzory se změnou vodivosti (chemo-odpor)

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti, elektronické zapojení pro vyhodnocování informace

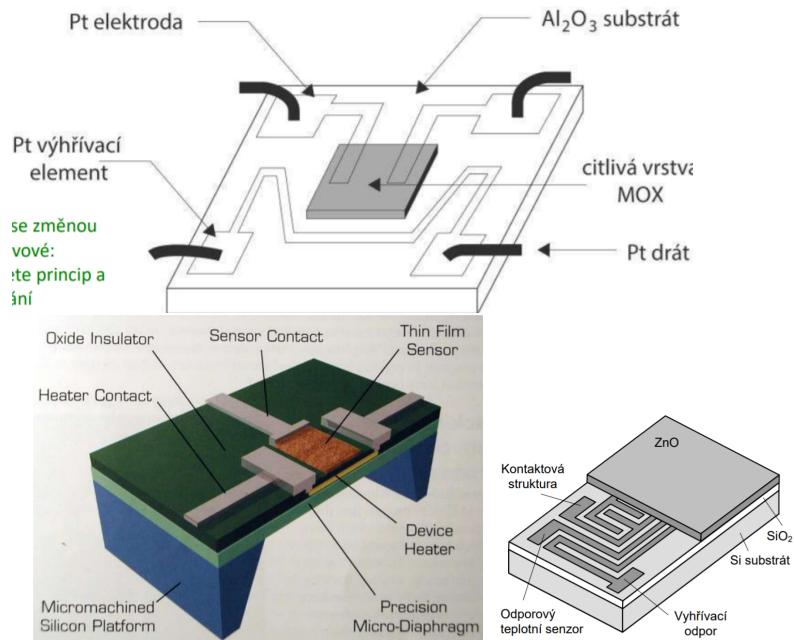


Princip:

- První typ reakce probíhá na povrchu citlivého materiálu a je připisován výměně volných elektronů mezi materiélem a adsorbovaným plynem.
- Druhý typ reakce probíhá uvnitř objemu materiálu a je vyvolán výměnou mezi kyslíkovými ionty plynu a kyslíkovými vakancemi v materiálu.

13.2 Chemické senzory se změnou vodivosti – tenkovrstvové

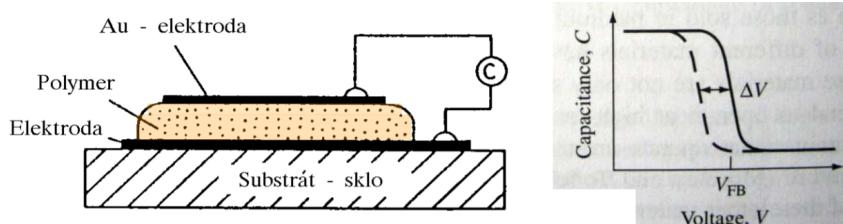
Nakreslete a vysvětlete princip a konstrukční uspořádání



- Princip: Součástí tohoto uspořádání ve většině případů je vyhřívací element převážně z Pt, který díky jeho vyšší závislosti rezistivity na teplotě často slouží současně i jako kontrolní senzor teploty citlivé vrstvy

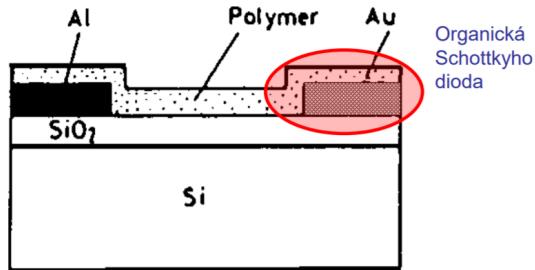
13.3 Chemokapacitory (Senzory se změnou kapacity)

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti



- Princip: Působením chemické látky (plynu) se mění dielektrická konstanta ϵ chemicky citlivé vrstvy.

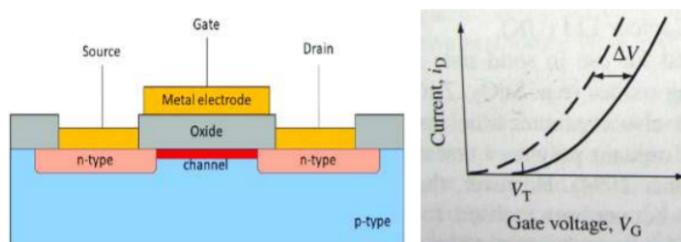
13.4 Chemodioda: nakreslete a vysvětlete princip činnosti



- Princip:
- U Schottkyho pn přechodu se projevuje citlivost elektrických charakteristik na působení chemické veličiny (plynu)
- pro Schottkyho diodu lze použít kovovou elektrodu (např. Pt) a oxidovou elektrodu (TiO_2 , ZnO).
- Organická Schottkyho dioda - Činnost vodivých polymerů se mění při přítomnosti organických par - jedna elektroda je z kovu, např. Au a druhá ptypu z polymerového polovodiče

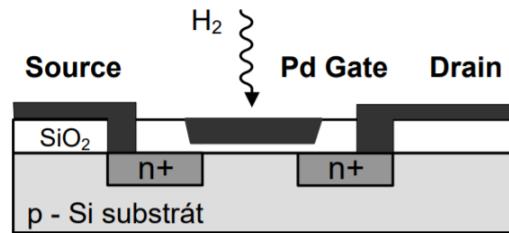
13.5 Chemotranzistor MOS

nakreslete a vysvětlete princip činnosti, princip vyhodnocování informace, příklad struktury GASFET



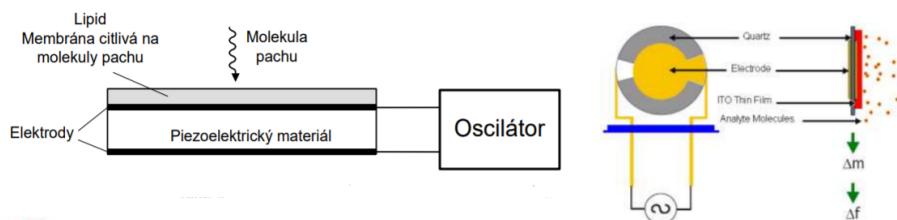
- Některé fyzikální parametry v rovnicích popisujících chování tranzistoru MOS, zejména proud kanálem i_D (popř. napětí na hradle U_G) jsou závislé na vlivech okolního prostředí, lze využít jako senzorů.
- Všechny jsou na Si substrátu se source a drain realizovaným difúzí a pokrytou tenkou nebo silnou vrstvou oxidu
- Všechny typy se realizují standardními MOSFET technologiemi.

- Většina variant MOSFET mikrosenzorů plynů se liší pouze technologickými změnami na hradle.
- struktura GASFETu



13.6 Gravimetrické senzory chemických látek-piezoelektrické hmotnostní

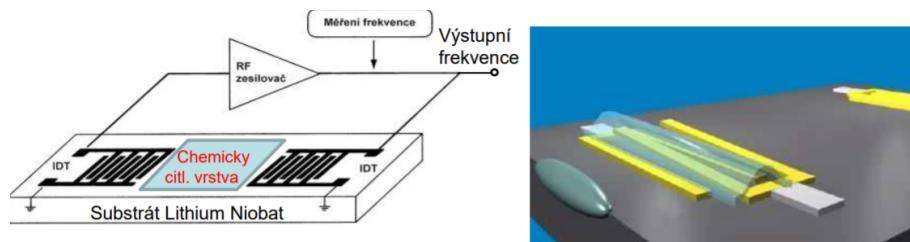
Nakreslete a vysvětlete princip činnosti



- Princip:
- je založen na změně hmoty při chemické reakci citlivého materiálu mikrosenzoru s chemickou veličinou.
- Tyto malé změny ve hmotě mohou být měřeny např. pomocí mikrovah pracujících na piezoelektrickém nebo SAW principu

13.7 Gravimetrické senzory chemických látek-SAW hmotnostní

Nakreslete a vysvětlete princip činnosti



- Pro vytvoření citlivé tenké vrstvy se používají polymery, které při reakci s chemickou veličinou mění svoji hmotnost.
- Pracovní frekvence (GHz) mnohem vyšší než u krystalových (10 MHz), dosahují vyššího rozlišení.
- Výběr chemicky citlivých vrstev určuje selektivitu mikrosenzoru.
- Chemický mikrosenzor vznikne umístěním selektivně citlivých vrstev (na různé plyny nebo páry) na povrch prvku SAW

14 Zápočtový test

15 Spektrální charakteristiky světla

15.1 V jakém rozsahu jsou vlnové délky viditelného světla?

cca 380 - 750 nm (typicky udáváno záleží na jedinci)

15.2 Jak se chová světlo modré LED po nasazení kloboučku s luminoforem z hlediska spektrálního složení a intenzity světla?

Bílé spektrum , mírně menší intenzita

15.3 Pomocí čeho dochází k rozkladu světla ve spektrometru Ocean Optics USB2000+?

Pomocí difrakční mřížky

15.4 Jaký je spektrální rozsah žárovky se žhaveným vláknem?

400 - 800 nm

15.5 Jaké je srovnání různých světelných zdrojů z hlediska spojitosti spektra? (například žárovka, výbojka/zářivka, LED, sluneční světlo, ...)

- Žárovka - Téměř perfektně spojité žádné skoky
- Výbojka - Je spíše diskrétní do 550 nm, ale poté se stává více spojitým
- Zářivka - Spektrum je diskrétní (na většině vln. délek nulové, ale hodně peaků)
- LED - Je spojité, ale má několik velkých skoků
- Slunce - Velmi spojité, jen velmi malé skoky

15.6 Jak se liší červený polovodičový laser od červené LED?

Světlo LED pochází ze spontánní emise, zatímco světlo laserové diody pochází ze stimulované emise. LED diody tedy obecně mají nižší výstupní výkon a všeobecně vyzařování. LED diody jsou účinné a malé jako jejich laserové protějšky, ale obvykle pracují při nižších buditých proudech a jsou levnější.

16 Senzory magnetického pole

16.1 K čemu lze využít magnetický senzor s jazýčkovými kontakty a jaké má vlastnosti?

Tento typ senzoru tedy slouží pouze k detekci přítomnosti magnetického pole. Od určité jeho hodnoty zůstávají kontakty sepnuté až do doby, kdy vnější magnetické pole zmizí. Intenzita magnetického pole pro sepnutí a vypnutí je různá proto má tento senzor určitou hysterezi.

Ve skleněné trubičce jsou umístěny dva feromagnetické kontakty. V důsledku vnějšího magnetického pole dochází k jejich zmagnetování, tím se přitáhnou, až dojde k jejich sepnutí.

16.2 Z jakého materiálu se vyrábí jazýčkové kontakty?

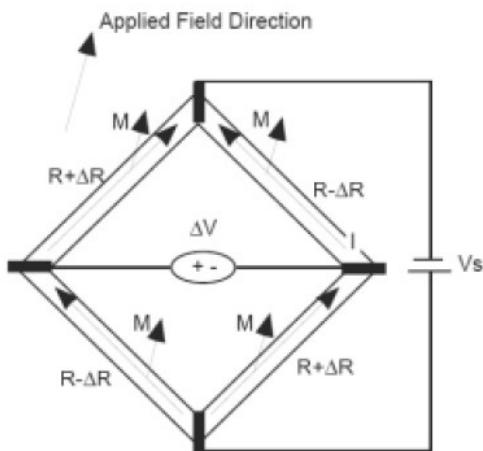
Z feromagnetických (železo, kobalt, nikl)

16.3 Co umožňuje měřit magnetorezistivní můstek (např. HMC1501)?

Směr magnetického pole přesná měření úhlu magnetického pole (s přesností až $0,07^{\circ}$), rotace a vzdálenosti.

HMC1501 obsahuje Wheatstoneův můstek, který vytváří výstupní napětí vzhledem ke směru magnetického toku procházející povrchem snímače.

16.4 Jaké je vnitřní uspořádání magnetorezistivního můstku (např. HMC1501)?



16.5 K čemu se využívá Hallův senzor?

Využívá se k měření proudu, výkonu a také k měření otáček, vzdálenosti a posuvu, např.: kontrola na výrobní lince, počítání Fe kuliček

17 Piezorezistivní senzory síly

17.1 Na jakém principu pracuje piezorezistivní senzor síly?

Princip změny odporu vnitřního implantovaného Si piezorezistoru (s rostoucí silou roste odpor)

17.2 Jaké je srovnání kovových a polovodičových tenzometrů z hlediska citlivosti a linearity?

- Koeficient deformační citlivosti = K
- Kovové: $K = 2$, lineární
- Polovodičové: $K = 125$, nelineární

17.3 Jak ovlivní vlastnosti tenzometru jeho nalepení na nosník?

Tenzometr je negativně ovlivněn materiélem, ke kterému je přilepen (vlhkostí, hysterezí, teplotou)

17.4 Na čem závisí mechanické napětí v ohýbaném nosníku?

Na velikosti průřezu, délce ohýbaného tělesa a na síle která působí na těleso

17.5 Jaká je řádově deformační citlivost K pro kovové tenzometry?

Přibližně 2

17.6 Kde je místo největšího mechanického namáhání nosníku (kam je třeba umístit tenzometr, aby měl největší citlivost)?

V místě, kde je nosník uchycen

17.7 Jaký je princip určení X-Y polohy v ploše pomocí senzorů síly?

Poloha se vypočítá jako těžiště z působících sil

17.8 Co se využívá pro eliminaci odporu přívodů odporového tenzometru?

Čtyřsvorkové měření

17.9 Co je to koeficient deformační citlivosti?

Koeficient sloužící pro srovnání tenzometrů s různou koncentrací příměsi

17.10 Jak se definuje nelinearita senzoru?

Nelinearita senzoru je definovaná jako odchylka od lineárního průběhu závislosti měřené veličiny a výstupního napětí

$$\delta = \frac{U_{XR} - U_{ID}}{U_1 - U_0} \cdot 100$$

kde

- U_{XR} = naměřená hodnota výstupního napětí UM při dané měřené veličině
- $U_{ID} = (U_1 - U_0) \cdot x$ = ideální lineární průběh
- U_1 = výstupní napětí při jmenovitém zatížení ($F = F_{jm}$)
- U_0 = výstupní napětí při nulovém zatížení ($F=0$)

17.11 Jak se definuje hystereze senzoru?

$$\delta = \frac{U_{XR} - U_{XK}}{U_1 - U_0} \cdot 100$$

- U_{XR} = naměřená hodnota výstupního napětí UM při rostoucí měřené veličině
- U_{XK} = naměřená hodnota výstupního napětí UM při klesající měřené veličině

18 Detektory kovu

18.1 Na jakém principu pracuje záznějový detektor kovů?

Je založen na principu vyhodnocení změny indukčnosti cívky v přítomnosti kovového předmětu. Detektor obsahuje 2 oscilátory, kde jeden je referenční a druhý má oscilační frekvenci danou indukčností detekční cívky a jako výstup z detektora slouží rozdíl těchto frekvencí.

18.2 Jak pracuje detektor založený na principu utlumení vířivými proudy?

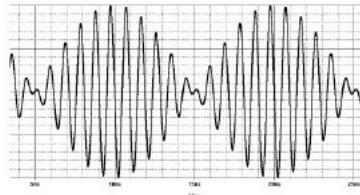
Je založen na principu detekce Foucaultových proudů – pokud se vodič nachází ve střídavém magnetickém poli, tak se v něm indukuje napětí, které vyvolává proud. V případě kovových povrchů vznikají na povrchu vířivé proudy, které vyvolávají sekundární magnetické pole, které působí opačně vůči buzení, a tím pádem oslabují pole, které jej vyvolalo.

Tyto detektory měří velikost napěťového přenosu mezi dvěma cívками, kde útlum je úměrný vodivosti povrchu kovu.

18.3 Co je to záZNĚj?

Signály z referenčního a hledacího oscilátoru (viz 3.1) vedou do měšovače, kde se sečtou a výsledkem je harmonický signál o přibližně stejně frekvenci, vynásobený signálem o frekvenci rovné polovině rozdílu obou frekvencí a této rozdílové frekvenci se říká záZNĚj.

$$U_m \cdot \{\sin(\omega \cdot t) + \sin[(\omega + \Delta\omega) \cdot t + \varphi]\} = 2 \cdot U_m \cdot \sin\left[\left(\omega + \frac{\Delta\omega}{2}\right) \cdot t + \frac{\varphi}{2}\right] \cdot \cos\left(\frac{\Delta\omega}{2} \cdot t + \frac{\varphi}{2}\right)$$



18.4 Jak malou změnu indukčnosti hledací cívky lze sluchem vyhodnotit pomocí záZNĚjové metody?

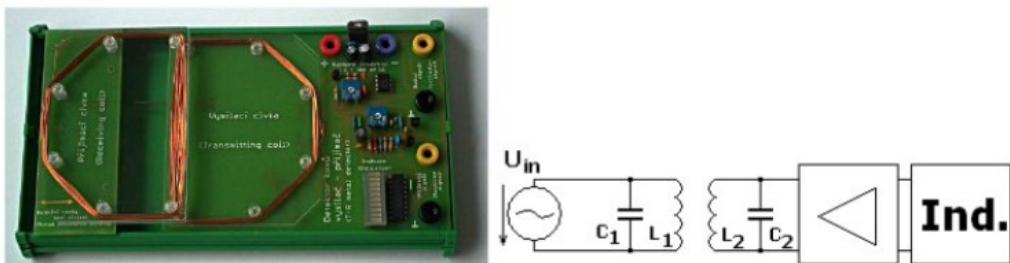
Změna indukčnosti obvykle velmi malá. V laborce 10Hz.

18.5 Jaké jsou typické pracovní frekvence záZNĚjového detektoru kovů a detektoru na principu vysílač-přijímač?

Tento detektor obvykle pracuje na nízké frekvenci (typicky do 20 kHz).

18.6 Jak kov způsobuje rozvážení magnetického toku cívek v detektoru typu vysílač-přijímač?

Na obrázku 2 je přípravek s hledacími cívkami s uspořádáním ve tvaru dvojitého D. Posunem jedné cívky přes druhou se nastaví nulový vazební koeficient mezi nimi. Pokud se v okolí nachází kovový předmět, tak v důsledku výrievých proudů nebo ohnutím magnetických siločar dojde k porušení této rovnováhy a zvýší se vazební koeficient mezi nimi. Na přijímací cívce se tak objeví signál. Ten je zesílen a upraven pro indikátor. Velmi zajímavé je též chování fáze přijímaného signálu. Fázový posun mezi vysílaným a přijímaným signálem totiž obsahuje informaci o vodivosti kovového předmětu. Lze tak rozlišit o jaký kov se jedná.



Obrázek 2: Detektor založený na principu vysílač-přijímač a jeho principiální schéma

18.7 Jak ovlivňuje pracovní frekvence detektoru kovů jeho citlivost na mineralizované prostředí (vlhká půda, přiblížení ruky apod ...) ?

Vzhledem k poměrně vysoké frekvenci oscilací (asi 200 kHz) může být detektor citlivý též na silně mineralizované prostředí (vlhká stěna, vlhká půda, část těla apod. ...)

18.8 Jaký je maximální dosah záznějového detektoru o průměru hledací cívky 15 cm?

Nejvýše jsme naměřili 15 cm u cuprexitové desky

19 MEMS akcelerometry pro měření náklonu a vibrací

19.1 Jaké jsou základní vztahy mezi polohou, rychlostí a zrychlením? Pomocí jaké matematické operace se dají mezi sebou převádět? (například zjistit okamžitou rychlosť pomocí měření zrychlení a obráceně)

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d^2\vec{x}}{dt^2}$$

- \vec{a} ... vektor okamžitého zrychlení ($m \cdot s^{-2}$)
- \vec{v} ... vektor rychlosti ($m \cdot s^{-1}$)
- \vec{x} ... vektor polohy (m)
- $\frac{d}{dt}$... časová derivace

Dají se mezi sebou převádět pomocí integrace a derivace podle času

19.2 Jaké průběhy napětí z akcelerometru lze očekávat při detekci vibrací o harmonickém průběhu a skokových změnách polohy?

Při buzení akcelerometru harmonickým signálem $Y_m \sin(\omega t + \varphi)$, lze na výstupu očekávat signál $-Y_m \sin(\omega t + \varphi) \omega^2$ (tedy jeho druhou derivaci). Při buzení akcelerometru skokovým signálem, vznikne na výstupu "diracův" signál v podobě zákmítů dokmitávajících k nule, jelikož diracův signál sám o sobě je nekonečně vysoký a nekoněčne krátký, vidíme jeho zkreslenou podobu

19.3 Jaký charakter má závislost výstupního napětí z akcelerometru při měření náklonu?

Průběh výstupního napětí je sinový

19.4 Na jakém principu pracují moderní integrované MEMS akcelerometry?

(Micro Electromechanical System) akcelero μ metry jsou kombinací elektrických a mechanických struktur o velikosti jednotek μm . Hmotná elektroda (uprostřed) se v důsledku zrychlení vychyluje a dochází ke změně kapacity.

20 Optický senzor, optická závora, optický kodér

- 20.1 Jak přesně pracuje optický senzor vzdálenosti, využívající IR-LED, PIN diodu a principu triangulace? (Jaké veličiny mají zásadní význam pro jeho funkci a jaké ne)**

Infračervená LED dioda vysílá signál, který se odráží od objektu a dopadá na detekční PIN diodu. Úhel dopadu světla je závislý na vzdálenosti měřeného objektu. Různý úhel dopadu způsobí, že světlo je detekováno v různých částech PIN diody jinak, což způsobí rozdělení referenčního proudu do dvou větví I₁ a I₂. Na základě poměru těchto proudů lze stanovit úhel dopadu, a tedy i vypočítat vzdálenost objektu od senzoru. Je téměř nezávislý na množství odraženého světla

- 20.2 V jakém rozsahu lze využít optický senzor vzdálenosti GP2D120 (ten, který byl použit pro měření na cvičení)?**

Od 0 - 3 cm je senzor velmi citlivý a napětí roste spolu se vzdáleností přibližně lineárně, od 3 – 40 cm napětí se vzdáleností exponenciálně klesá.

- 20.3 Jaké jsou vlastnosti Grayova kódu?**

Každé dvě po sobě jdoucí hodnoty se liší pouze na jedné bitové pozici.

- 20.4 Co jsou to hazardní stavы z hlediska interpretace binárního čísla?**

Jeden stav se změní dříve než ten druhý

- 20.5 Jaký vliv má Schmittův klopný obvod na zpracování signálu z optické závory?**

Fototranzistor se v optickém závoře otevří v závislosti na dopadajícím světle na bázi tranzistoru, proto se fototranzistor může pozvolna otevřívat/zavírat. Pro spojení s digitálními obvody je stav pozvolně změny úrovně nežádoucí

– na výstupu je proto zapojeno Schmittovo hradlo, které signál upraví na korektní logické úrovně

20.6 Jaké jsou dva základní typy optických závor z hlediska geometrie uspořádání světelného zdroje a detektoru?

(optické závory slouží k detekci optického záření, používá se nejčastěji jako detektor přítomnosti překážky)

- Reflexní závora - závora vysílá světlo a detekuje se světlo odražené zpět, typické aplikace: bezkontaktní aktivace vysoušeče rukou, senzor tepu, detekce průletu prachové částice
- Jednocestné závory - aplikace: na všech modulech, které byly použity v některých úlohách s pojezdami – hlídá dorazy pojezdu a dále slouží jako čítač impulzů pro určení jeho vzdálenosti o zdroj světla se často moduluje, aby se omezil vliv rušení okolním světlem

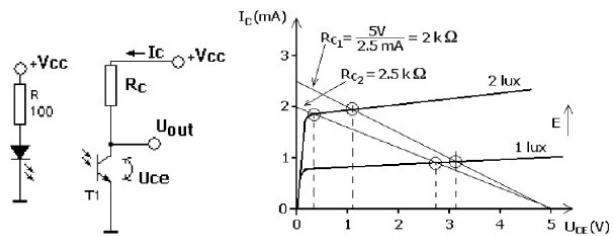
20.7 Jaký je základní princip jednocestné optické závory – jak se mění napětí na kolektoru fototranzistoru se změnou osvětlení jeho báze?

Zdroj světla je umístěn přímo proti detektoru

V tomto případě se hlídá přerušení světelného toku překážkou

Klíčovým prvkem detektoru záření je fototranzistor

- výstupní charakteristika je stejná jako u BJT s rozdílem, že křivky nejsou vztaženy k proudu báze, ale k intenzitě osvětlení (případě proudu LED)
- obrázek ukazuje základní zapojení fototranzistoru jako optická závora (vlevo) a jeho výstupní charakteristiku pro dvě hodnoty intenzity osvětlení (vpravo), dále je do charakteristiky také vynesena zatěžovací přímka odporu RC
- průsečíky zatěžovací přímky udávají výstupní napětí na kolektoru tranzistoru při dané intenzitě osvětlení do báze, odporem RC lze nastavit příslušné napěťové úrovně pro další obvody



20.8 Jak vypadají výstupní charakteristiky fototranzistoru?

viz. bod výše

21 Teplotní senzory

21.1 Jaké jsou vlastnosti senzorů PT1000, PN diody, termistoru NTC a senzoru KTY 83-120 z hlediska linearity a citlivosti?

- PT1000 - platinový RTD (Resistance Temperature Device), pro malé teplotní rozsahy velmi lineární, s teplotou roste odpor zhruba $3,85 \text{ ohm} / ^\circ\text{C}$
- PN diody - úbytek napětí na přechodu PN je teplotně závislý, mírně nelineární, s teplotou klesá zhruba $-2 \text{ mV} / ^\circ\text{C}$
- Termistor NTC - (Negative Temperature Coefficient), nelineární (exponenciální), s teplotou klesá
- KTY 83-120 - křemíkový teplotní sensor, poměrně lineární, s teplotou odpor roste zhruba $6,8 \text{ ohm} / ^\circ\text{C}$

21.2 Jakou citlivost má křemíková dioda?

Zhruba $-2 \text{ mV} / ^\circ\text{C}$

21.3 Jaké materiály se využívají pro výrobu PN přechodu pro měření teploty?

Si (křemík), Ge (germánium), GaAs (Gallium Arsenit)

21.4 Jak se mění odpor termistoru NTC se zvyšující se teplotou?

Odpor s teplotou klesá

21.5 V jakém teplotním rozsahu lze využít běžné křemíkové diody?

Řada výrobců uvádí rozsah $-65 \text{ } ^\circ\text{C}$ až $+150 \text{ } ^\circ\text{C}$

22 Induktivní senzory

22.1 Na jakém principu pracuje LVDT transformátor?

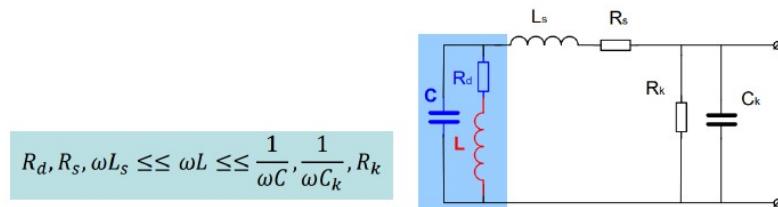
LVDT = Linear Variable Differential Transformer (transformátor s proměnnou vazbou)

22.2 K čemu lze využít LVDT transformátor?

- zpětnovazební řízení polohy servomechanismů
- obecné měření lineárního posuvu u strojů

22.3 Na čem závisí maximální spínací kmitočet induktivního senzoru?

Rozmezí pracovních frekvencí odvozeno z náhradního elektrického obvodu:



22.4 Jak se liší spínací vzdálenosti koncového spínacího senzoru pro železo a ostatní kovy?

Železo (ocel) lze detekovat lépe než ostatní kovy a tudíž má větší spínací vzdálenost

22.5 Jak se definuje korekční faktor induktivního spínacího senzoru?

Indukční senzory reagují různě na kovy. Například ocel je detekována mnohem lépe než měď. V souladu s tím výrobci uvádějí korekční faktory nebo redukční faktory v datových listech. Spínací vzdálenost vynásobená zadanými faktory má za následek skutečnou spínací vzdálenost jednotlivých kovů.

22.6 Jak lze induktivním senzorem s analogovým výstupem rozlišit různé materiály?

Fázový posun mezi vysílaným a přijímaným signálem obsahuje informaci o vodivosti kovového předmětu. Lze tak rozlišit o jaký kov se jedná.

22.7 Jak se nazývá rozdíl mezi vzdáleností kovového předmětu nutnou pro sepnutí induktivního senzoru, a vzdáleností potřebnou pro rozepnutí senzoru?

Hystereze

22.8 Čím je způsobena změna frekvence oscilátoru induktivního senzoru při změně vzdálenosti kovového předmětu?

Frekvence oscilátoru je rovna: $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$
kde L je indukčnost detekční cívky která roste s přiblížením kovového předmětu k cívce

23 Termoelektrický senzor, Peltierův článek

23.1 Co se dá měřit pomocí termočlánku?

Lze měřit pouze rozdíl 2 teplot. Tudíž pro měření 1 teploty je nutné znát teplotu kontaktu/připojení k vyhodnocovacímu obvodu.

23.2 Co je to teplotní gradient termoelektrického napětí termočlánku?

Pro určitou dvojici kovů, které tvoří termočlánek, se definuje teplotní gradient termoelektrického napětí dE/dT , který se též udává v $\mu V \cdot K^{-1}$ a je dán rozdílem Seebeckových koeficientů. Například termočlánek složený z železa a konstantaku má gradient termoelektrického napětí roven přibližně 55 $\mu V \cdot K^{-1}$.

23.3 Jaký je teplotní gradient termoelektrického napětí pro termočlánek typu K?

Definuje se jako rozdíl Seebeckových koeficientů pro určitou dvojici kovů, které tvoří termočlánek. Definice:

Definice: $\frac{dE}{dT}$, jednotka je $\mu V K^{-1}$.

23.4 Co je to Seebeckův jev?

Přeměna teplotních rozdílů mězi dvěma rozdílnými kovy nebo polovodiči na elektrické napětí o velikosti v řádech mikrovoltů.

23.5 Co je to Peltierův jev?

Jde o inverzní jev k Seebeckově jevu, takže peltierův článek je schopen z elektrického proudu vytvářet rozdíl teplot, proto musí mít oproti termočlánu sobrou elektrickou a špatnou tepelnou vodivost, aby se omezil přestup tepla z topící strany na chladící stranu.

23.6 Co musí být splněno, aby se Peltierův článek dal využít ke chlazení?

Musí se na teplou stranu umístit chladič, aby se teplo odvádělo jinak by teplota na obou stranách byla moc vysoká (třeba 100°C) a mohlo by dojít ke zničení článku.

23.7 Jaké minimální teploty lze v praxi dosáhnout pomocí Peltierova článku na jeho studené straně v případě, že v okolí je pokojová teplota?

Až -45°C.

24 Kapacitní senzor přiblížení

24.1 Jak se spočítá kapacita deskového kondenzátoru?

$$C_S = \epsilon_0 \cdot \epsilon_r \frac{S}{d}$$

24.2 Jaký charakter má závislost změny kapacity na změně vzdálenosti mezi elektrodami a plochou překryvu u deskového kondenzátoru?

Při změně vzdálenosti u horizontálního uspořádání má lineární.

Při změně vzdálenosti u vertikálního uspořádání má hyperbolický.

24.3 Jaké uspořádání desek deskového kondenzátoru se více hodí pro detekci velkých nebo malých posunů?

Pro velké posunutí se více hodí horizontální uspořádání, protože má charakter lineární závislosti.

Pro menší změny se více hodí vertikální uspořádání, protože je nárůst strmější a menší změny mají větší rozdíly.

24.4 Dá se kapacitní senzor využít i k detekci přítomnosti nevodivých předmětů mezi elektrodami?

ANO

24.5 Proč kapacitní senzor reaguje i na přiblížení ruky?

Jelikož je ruka vodivá, chová se jako další deska, a ještě je uzemněná.