

Sensorët dhe Interfejsët

Kapitulli 2 : Veçoritë e Performansave të
Sensorëve dhe Interfejsëve

Hyrja dhe Dalja

- Sensorët

Hyrja: stimulim apo madhësi që matet (presioni i temperaturës, intensiteti i dritës, etj.)

Dalja: sinjal elektrik (tension, rrymë, frekuencë, fazë, etj.)

Variacionet: dalja ndonjëherë mund të jetë zhvendosje (termometrat, sensorët magnetostriktivë dhe piezoelektrikë).

Disa sensorë kombinojnë detektimin me veprimin

Hyrja dhe Dalja

- Aktuatorët

Hyrja:

sinjal elektrik (tension, rrymë, frekuencë, fazë, etj.)

Dalja:

funksion mekanik (forca, shtypja, zhvendosja) apo funksion displeji (shifrat, dritë, displej, etj)

Funksioni i transferit

- Relacioni mes hyrjes dhe daljes
- Emërtimet tjera:
 - Funksioni karakteristik i hyrjes / daljes
 - Funksioni karakteristik i transferit
 - Reagimi

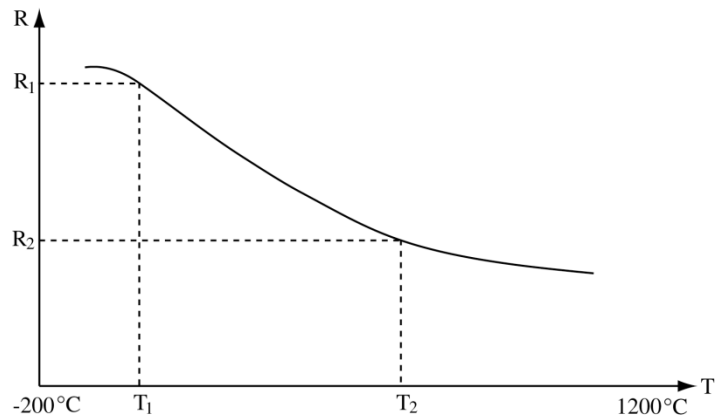
Funksioni i transferit (vazhd.)

- Linear apo jolinear
- Me vlera të njëfishta apo jo
- Një dimensionale apo shumë dimensionale
 - Hyrje e njëfishtë, dalje e njëfishtë
 - Hyrje të shumëfishta, dalje e njëfishtë
- Në shumicën e rasteve:
 - Vështirë të përshkruhet matematikisht (për grafikun, dhe vlera numerike të caktuara)
 - Shpesh duhet të definohet nga të dhënat kalibruese
 - Shpesh definohet vetëm për një pjesë të brezit të pajisjes

Funksioni i transferit (vazhd.)

- T_1 në T_2 – përfaqësohet lineare
 - Brezi më i dobishëm
 - Zakonisht një pjesë e vogël e brezit
 - Shpesh merret si lineare

$$S = f(x)$$

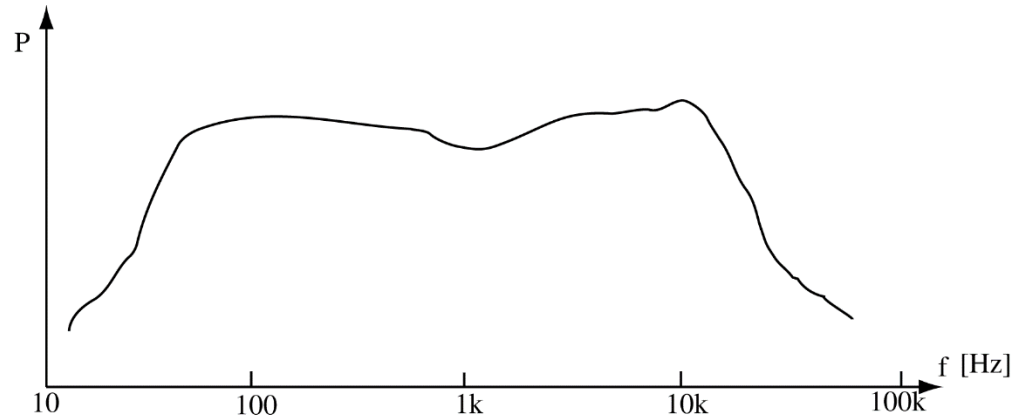


Funksioni i transferit (vazhd.)

- Të dhënat tjera nga funksioni i transferit
 - Ngopja
 - Ndjeshmëria
 - Brezi në shkallë të plotë (hyrja dhe dalja)
 - Histereza
 - Brezi i vdekur
 - Etj.

Funksioni i transferit (vazhd.)

- Llojet tjera të funksioneve të transferit
 - Reagimi në lidhje me sasinë e caktuar
 - Veçoritë e performancës (lakoret e besueshmërisë, etj.)
 - Shikuar si relacion mes cilado dy veçorive



Impedanca dhe përshtatja e impedancës

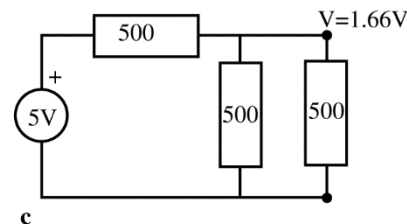
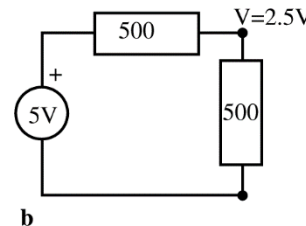
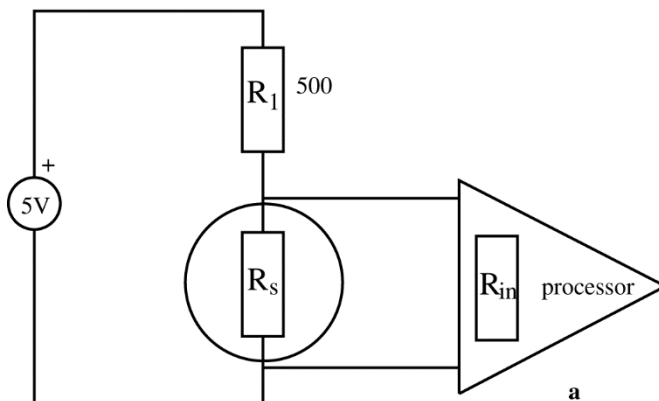
- **Impedanca hyrëse:** raporti mes tensionit nominal dhe rrymës rezultuese nëpër një port hyrës të pajisjes me portin dalës në gjendje të hapur (pa ngarkesë)
- **Impedanca dalëse:** raporti i tensionit nominal dalës dhe rrymës së qarkut të lidhur shkurtë (p.sh., rryma kur dalja është e lidhur shkurtë)
- Këto janë definime për pajisje dy-portëshe

Impedanca (vazhd.)

- **Sensorët:** vetëm impedanca dalëse është me rëndësi
- **Aktuatorët:** vetëm impedanca hyrëse është me rëndësi
- Mund të definojë po ashtu edhe impedancën mekanike
 - Impedanca është me rëndësi për interfejs
 - Do të flasim vetëm për impedancën elektrike

Impedanca (vazhd.)

- **Pse është me rëndësi?**
 - Ndikon në performancë
- **Shembull:**
 - Sensor 500Ω (impedanca dalëse) e lidhur në procesor
 - b. Impedanca hyrëse e procesorit është pakufi
 - c. Impedanca hyrëse e procesorit është 500Ω



Impedanca (vazhd.)

- **Shembull. Matësi i tendosjes:**
 - impedanca është 500Ω në zero tendosje, 750Ω në tendosje të matur
- **b:** dalja e sensorit: $2.5V$ (në zero ngarkesë), $3V$ në ngarkesë të matur
- **c.** Dalja e sensorit: $1.666V$ deri $1.875V$
- Rezultati:
 - Ngarkesë në rastin c.
 - Ndjeshmëri e zvogëluar (ndryshim më i vogël në dalje për të njëjtën tendosje hyrëse)
 - b. është më mirë se c (në këtë rast). Impedanca pakufi është më e mira.

Impedanca (vazhd.)

- **Sensorët aktualë:** impedanca është e ultë – e nevojshme impedanca e ultë në procesor
- Të njëjtat konsiderata edhe për aktuatorët
- **Përshtatja e impedancës:**
 - Ndonjëherë mund të bëhet direkt (C-MOS pajisjet kanë impedanca hyrëse shumë të larta)
 - Shpesh kanë nevojë për qark përshtatës
 - Prej impedancave të ulëta në ato larta dhe e kundërta

Impedanca (vazhd.)

- Impedanca mund të jetë (dhe shpesh është) komplekse: $Z=R+jX$
- Përveç kësaj:
 - Përshtatja konjuktive ($Z_{in}=Z_{out}^*$) – transfer maksimal i fuqisë
 - Kritike për aktuatorë!
 - Zakonisht jo me rëndësi për sensorët
 - $Z_{in}=R+jX$, $Z_{out}^*=R-jX$.
 - Pa përshtatje të reflektimit ($Z_{in}=Z_{out}$) – pa reflektim nga ngarkesa
 - Me rëndësi në frekuenca të larta (linjat e transmetimit)
 - Po e rëndësishme për sensorët dhe aktuatorët (antenat)

Brezi dhe shtrirja

- **Brezi:** vlerat minimale dhe maksimale të stimulimit
- **Shtrirja:** diferenca aritmetike mes vlerave maksimale dhe minimale të stimulimit e cila mund të detektohet brenda gabimeve të pranueshme
- **Input full scale** (IFS) = shtrirja
- **Output full scale** (OFS): diferenca mes brezave të lartë dhe të ultë të daljes të sensorit korrespondues me shtrirjen e sensorit
- **Brezi dinamik:** relacioni mes kufijve të lartë dhe të ultë, zakonisht e shprehur në db

Brezi dhe shtrirja (vazhd.)

- Shembull: një sensor është i dizajnuar për : $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ deri $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ për dalje 2.5V deri 1.2V
- Brezi: $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ dhe $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Shtrirja: $80 - (-30) = 110\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Shkalla e plotë hyrëse = $110\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Shkalla e plotë dalëse = $2.5\text{V} - 1.2\text{V} = 1.3\text{V}$
- Brezi dinamik = $20\log(110/30) = 11.28\text{db}$

Brezi dhe shtrirja (vazhd.)

- Brezi, shtrirja shkalla e plotë dhe brezi dinamik mund të aplikohen në aktuatorë po në të njëjtën mënyrë
- Shtrirja dhe shkalla e plotë po ashtu mund të jepen në db në rastet kur shkalla është e madhe.
- Në aktuatorë, ekzistojnë edhe veçori tjera që analizohen:
 - Forca maksimale, torku, zhvendosja
 - Nxitimi
 - Koha e reagimit, vonesat, etj.

Saktësia, gabimet, përsëritja

- **Gabimet:** devijimet nga “idealja”
- Burimet e gabimeve:
 - Materialet e përdorura
 - Tolerancat në prodhim
 - Vjetërsia
 - Gabimet operacionale
 - Gabimet e kalibrimit
 - Gabimet në përshtatje (të impedancës) apo në ngarkesë
 - Zhurmat
 - Shumë tjera

Saktësia, gabimet (vazhd.)

- **Gabimet:** definoohen si në vijim:
- a. Si diferencë: $e = V - V_0$ (V_0 është vlera aktuale, V është vlera e matur – stimuluesi në rastin e sensorëve apo dalja në rastin e aktuatorëve).
- b. Si përqindje e shkallës së plotë (shtrirja për shembull) $e = \Delta t / (t_{\max} - t_{\min}) * 100$ ku t_{\max} dhe t_{\min} janë vlerat e maksimumit dhe të minimumit për të cilat pajisja është dizajnuar të operojë.
- c. Sa i përket vlerave të pritura të sinjalit dalës.

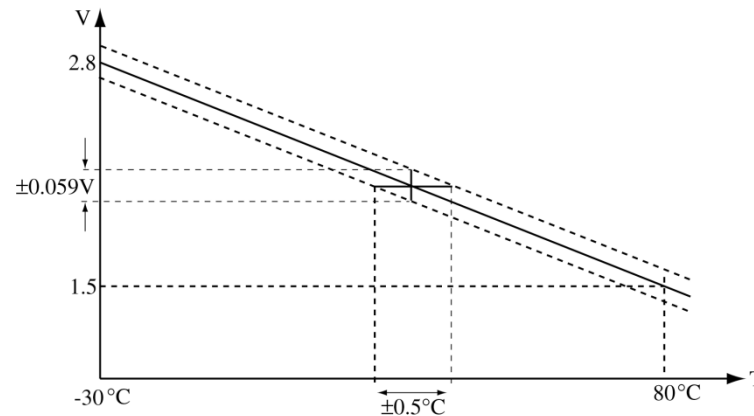
Shembull: gabimet

- **Shembull:**

- Një termistor përdoret për të matur temperaturën mes -30 dhe $+80$ °C dhe gjeneron në dalje një tension mes 2.8V dhe 1.5V.
- Për shkak të gabimeve, saktësia e detektimit është ± 0.5 °C.

Gabimet (vazhd.)

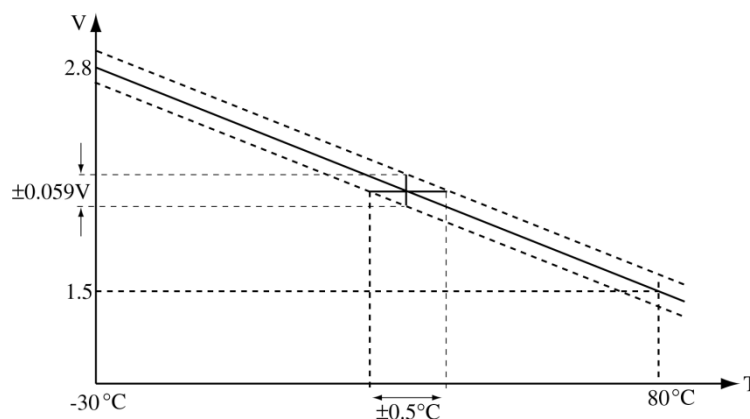
- Sa i përket hyrjes si $\pm 0.5^\circ\text{C}$
- Përqindja e hyrjes: $e = 0.5/(80+30)*100 = 0.454\%$
- Sa i përket daljes. Nga funksioni i transferit:
 $e = \pm 0.059\text{V}$.



Më tepër për gabime

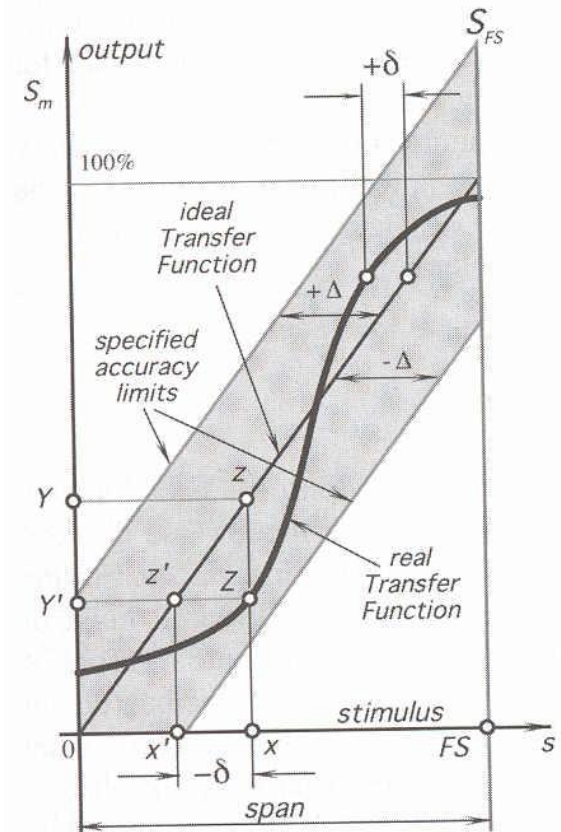
- Gabimet statike: të pavarura nga koha
- Gabimet dinamike: të varura nga koha
- Gabimet e rastit: Gabime të ndryshme në parametra apo në kohë të ndryshme operimi
- Gabimet sistematike: gabimet janë konstante gjatë gjithë kohës dhe në çdo kusht punues – të shkaktuara nga sistemi

- Funkzionet e transferit linear
 - Gabimi i njëjtë përgjatë funksionit të transferit
 - Gabimi rritet apo zvogëlohet përgjatë TF
 - Kufizimet e gabimit – dy linja që përkufizojnë daljen



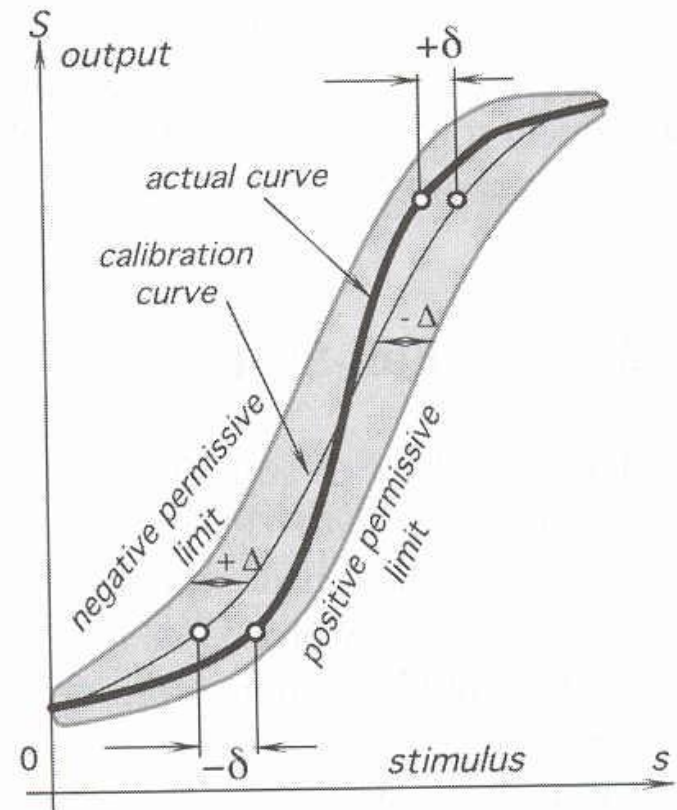
Kufizimet e gabimit – TF jolineare

- Funkcionet e transferit jolinear
 - Ndryshojnë përgjatë funksionit të transferit
 - Gabimi maksimal nga idealja
 - Gabimi mesatar
 - Lakoret kufizuese përcjellin funksionin e transferit ideal



Kufizimet e gabimit – TF jolineare

- Lakorja e kalibrimit mund të përdoret nëse është në dispozicion
 - Më pak gabime
 - Gabimi maksimal nga lakorja e kalibrimit
 - Gabimi mesatar
 - Lakoret kufizuese në fakt përcjellin funksionin aktual të transferit (kalibrimi)



Përsëritshmëria

- E njohur edhe si ri-prodhimi: dështimi i sensorit apo aktuatorit për të paraqitur të njëjtën vlerë (p.sh., stimulimin apo hyrjen) në kushte identike gjatë matjeve në kohë të ndryshme.
 - Zakonisht e lidhur me kalibrimin
 - Konsiderohet si një gabim
 - Merret si diferencë maksimale mes dy leximeve të bëra në kohë të ndryshme në kushte identike
 - Gabimi jepet si përqindje e hyrjes në shkallë të plotë

Ndjeshmëria

- **Ndjeshmëria** e një sensori definohet si ndryshim në dalje për një ndryshim të hyrjes, zakonisht për ndryshim të një njësie të hyrjes.
- Ndjeshmëria paraqet pjerrtësinë e funksionit të transferit (jo domosdo konstante)
- E njëjtë edhe për aktuatorë

Ndjeshmëria (vazhd.)

- Shembull për një funksion të transferit linear:
 - Vëreni njësitë
 - a paraqet pjerrtësinë
- Për një funksion të transferit $f(T) = aT + b$:

$$\frac{d}{dR}(aT + b) = 1 \quad \rightarrow \quad \frac{dR}{dT} = a \quad \left[\frac{\Omega}{^{\circ}\text{C}} \right]$$

Ndjeshmëria (vazhd.)

- Zakonisht e ndërlidhur me sensorët
- Aplikohet me sukses të njëjtë edhe te aktuatorët
- Mund të jetë shumë jolineare përgjatë funksionit të transferit
- Matet në njësi të madhësisë dalëse për njësi të madhësisë hyrëse ($W/^\circ C$, N/V , $V/^\circ C$, etj.)

Analiza e ndjeshmërisë

- **Detyrë e vështirë**

- Ekziston zhurma
- Një funksion i kombinuar i ndjeshmërive të komponentëve të ndryshme, përfshirë këtu edhe ato të seksioneve të shndërrimit.
- Pajisja mund të jetë relativisht komplekse me shumë nivele të shndërrimit, burime të zhurmës dhe të parametrave tjerë
- Disa veçori mund të dihen por shumë tjera jo apo të dihen përafërsisht.
- Aplikohet me efekt të njëjtë edhe në aktuatorë

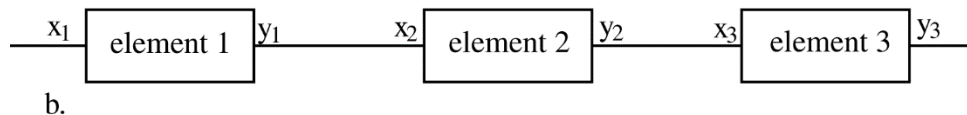
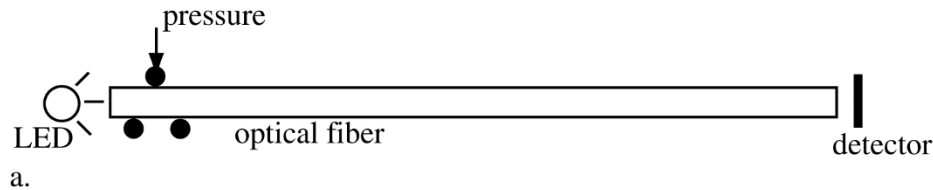
Analiza e ndjeshmërisë (vazhd.)

- **Detyrë e vështirë**

- Ofron informacion në brez dalës të pritur të sinjalit,
- Ofron informacion sa i përket zhurmës dhe gabimeve që mund të paraqiten.
- Mund të ofrojë mënyra të minimizimit të efekteve të zhurmës dhe të gabimeve
- Ofron mënyra të përzgjedhjes së duhur të llojeve të sensorëve, lidhjeve të tyre dhe hapave tjerë që duhet ndër marrë për të përmirësuar performancën (amplifikatorët, rikthyesit, etj.).

Shembull – gabimet shtuese

- Sensor presioni i fijeve optike
 - Presioni ndryshon gjatësinë e fijos
 - Ky ndryshim shkakton ndryshim të fazës në dalje
 - Tri etapa të shndërrimit (rrymë-dritë, presion-zhvendosje, dritë-tension)



Shembulli 1-1 – nuk ka prezencë të gabimeve

- Ndjeshmëritë individuale

$$s_1 = \frac{dy_1}{dx_1}, \quad s_2 = \frac{dy_2}{dx_2}, \quad s_3 = \frac{dy_3}{dx_3}$$

- Ndjeshmëria e përgjithshme

$$S = s_1 s_2 s_3 = \frac{dy_1}{dx_1} \frac{dy_2}{dx_2} \frac{dy_3}{dx_3}$$

- Por, $x_2 = y_1$ (dalja e shndërruesit 1 është hyrje për shndërruesin 2) dhe $x_3 = y_2$

$$S = s_1 s_2 s_3 = \frac{dy_3}{dx_1}$$

Shembulli -1 – gabimet janë prezente

- Dalja e 1-rë është

$$y_1 = y_1^0 + \Delta y_1. \quad y_1^0 = \text{Dalja pa gabime}$$

- Dalja e 2-të

$$y_2 = s_2(y_1^0 + \Delta y_1) + \Delta y_2 = y_2^0 + s_2 \Delta y_1 + \Delta y_2$$

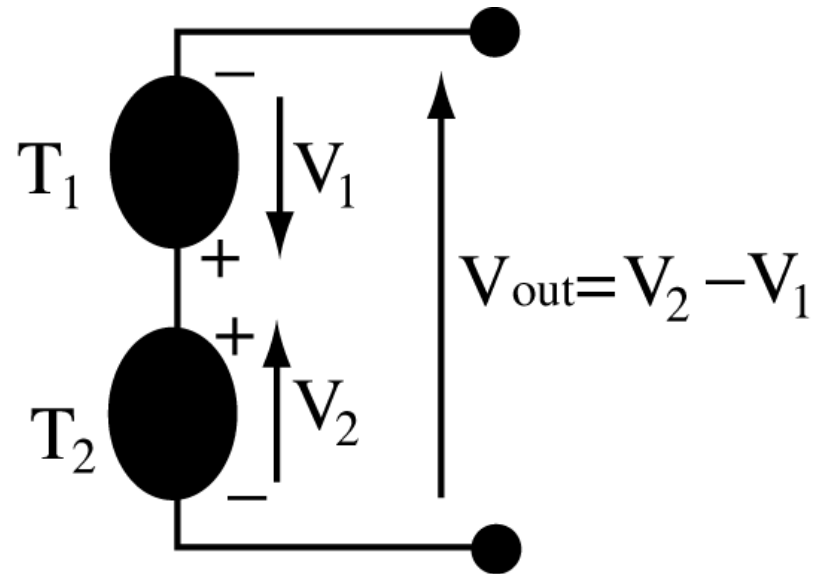
- Dalja e 3-të

$$y_3 = s_3(y_2^0 + s_2 \Delta y_1 + \Delta y_2) + \Delta y_3 = y_3^0 + s_2 s_3 \Delta y_1 + s_3 \Delta y_2 + \Delta y_3$$

3 termet fundit – gabimet shtesë

Shmbulli - 2 – sensorët diferencialë

- Dalja proporcionale me diferencën mes daljeve të sensorëve
- Dalja është zero kur $T_1 = T_2$
- Sinjalet (zhurmat) e modit të përbashkët (noise) anulohen
- Gabimet anulohen (në përgjithësi)

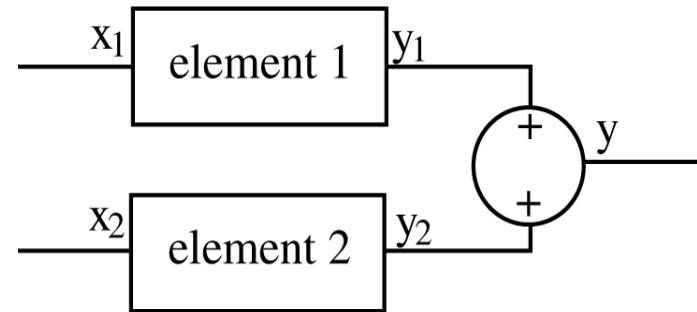


Shembulli -2 - (vazhd.)

$$s_1 = \frac{dy_1}{dx_1}, \quad s_2 = \frac{dy_2}{dx_2}$$

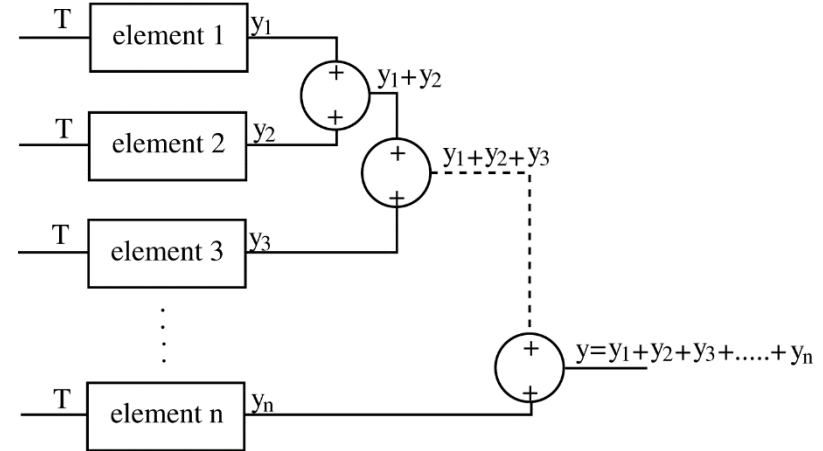
$$y = y_1 - y_2 = s_1 x_1 - s_2 y_x$$

$$s = \frac{d(y_1 - y_2)}{d(x_1 - x_2)}$$



Shembulli -3 – sensorët në seri

- Dalja është në seri
- Hyrja në paralel (të gjithë sensorët në të njëjtën temperaturë)



- Daljet mblidhen

$$y = y_1 + y_2 + y_3 + \dots + y_n = (s_1 + s_2 + s_3 + \dots + s_n)x = nsx$$

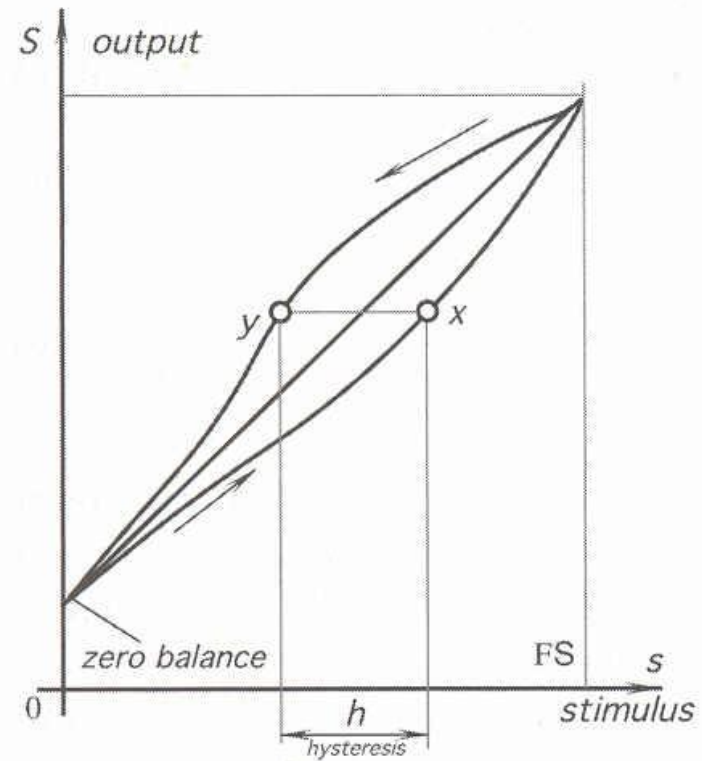
- Zhurma shumëfishohet si produkt i ndjeshmërive

$$S = ns$$

Histereza

- **Histereza** (vonesa)-
 - Devijimi i daljes së sensorit në çdo moment kur i qasemi nga dy drejtime të ndryshme

- Shkaktohet nga sistemet elektrike apo mekanike
 - Magnetizimi
 - Veçoritë termike
 - Lidhje të dobëta



Histereza - Shembull

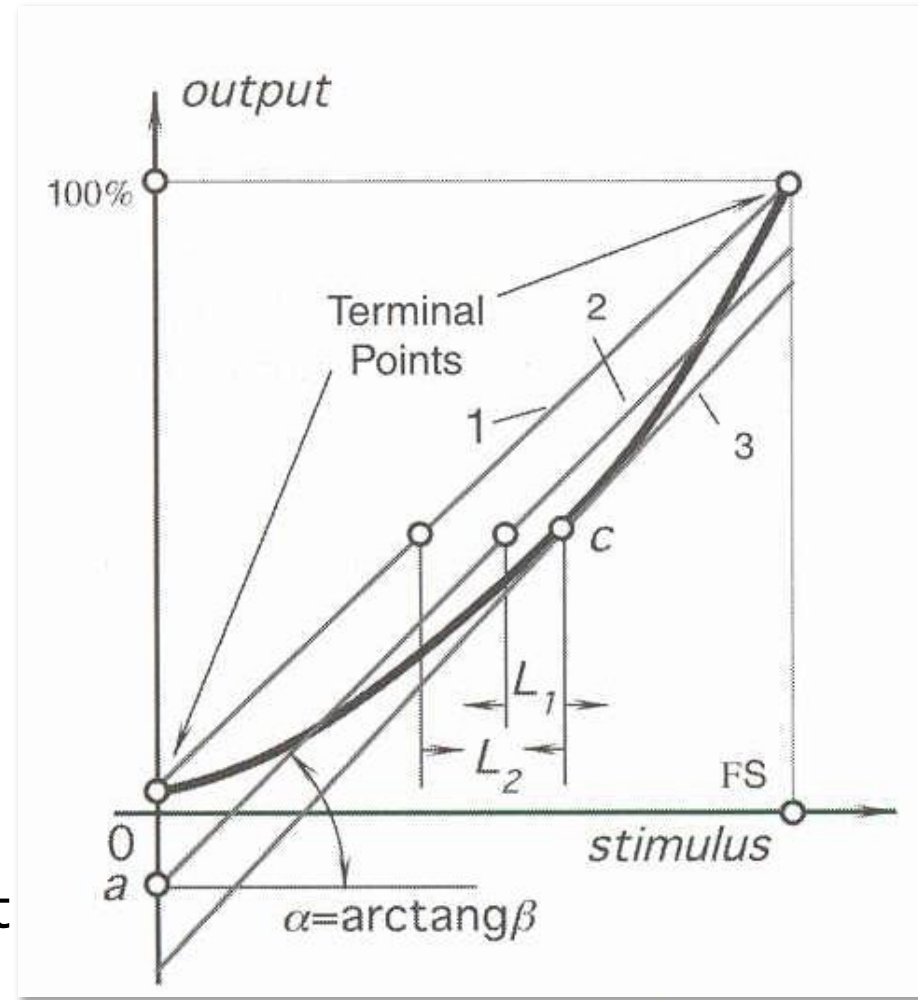
- Nëse temperatura është matur, në temperaturë të vlerësuar prej 50°C , dalja mund të jetë 4.95V kur temperatura rritet por 5.05V kur temperatura zvogëlohet.
- Ky është një gabim prej $\pm 0.5\%$ (për një dalje të shkallës së plotë prej 10V në këtë shembull të idealizuar).
- Histereza është poashtu prezente edhe në aktuatorë dhe, në rast të lëvizjes, më e pranishme se në sensorë.

Jolineariteti

- Një veçori e sensorit (funksion i transferit jolinear) apo:
- Si pasojë e gabimeve
- Gabimet e jolinearitetit ndikojnë në saktësi.
- Jolineariteti definohet si devijim maksimal nga funksioni ideal i transferit linear.
- Kjo e fundit zakonisht nuk dihet dhe nuk është e dobishme
- Jolineariteti duhet të zbritet nga funksioni aktual i transferit apo nga lakorja e kalibrimit
- Disa metoda për të arritur këtë:

Jolinaeriteti (vazhd.)

- a. Përmes përdorimit të brezit të sensorit/aktuatorit
 - Vizatohet një vijë e drejtë mes pikave të brezit (vija 1)
 - Kalkuloni devijimin maksimal të lakores aktuale nga kjo vijë e drejtë
 - Është mirë kur jolinearitetet janë të vogla dhe kur shtrirja është e vogël (termoçiftet, termistorët.)
 - Jep një pamje të përgjithësuar për jolinearitetet



Jolinearieti (vazhd.)

- b. Duke përdorur dy pikat që definojnë një pjesë të shtrirjes së sensorit/aktuatorit.
 - Vizatoni një vijë të drejtë mes këtyre pikave
 - Zgjeroni vijën e drejtë për të mbuluar tërë shtrirjen
 - Kalkuloni devijimin maksimal të lakores aktuale nga vija e drejtë
 - Është mirë kur pajisja përdoret në pjesë të vogla të shtrirjes së saj (p.sh., termometri për matje të temperaturës së trupit të njeriut)
 - Përmirëson figurën e linearitetit në brezin e interesimit

Jolinearieti (vazhd.)

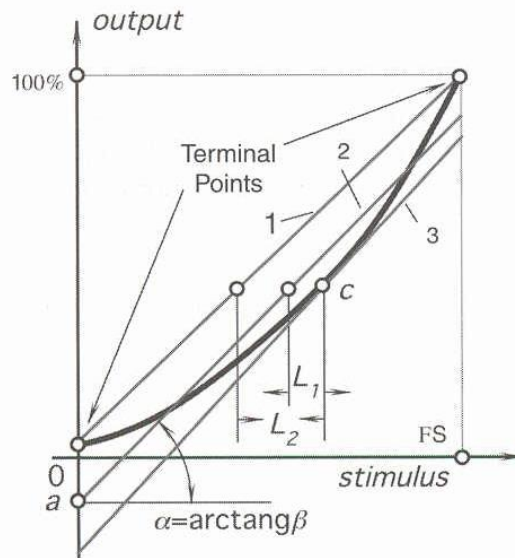
- c. Përdorni përshtatjen lineare më të mirë (katrorët më të vegjël) përmes pikave të lakores (2)
 - Merrni n pika të lakores aktuale, $x_i, y_i, i=1,2,\dots,n$.
 - Supozoni që përshtatja më e mirë është drejtëza $y=ax+b$ (2)
 - Kalkuloni a dhe b nga formulat e mëposhtme:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \left\{ \sum_{i=1}^n x_i \right\} \left\{ \sum_{i=1}^n y_i \right\}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \left\{ \sum_{i=1}^n x_i \right\}^2}$$

$$b = \frac{\left\{ \sum_{i=1}^n x_i^2 \right\} \left\{ \sum_{i=1}^n y_i \right\} - \left\{ \sum_{i=1}^n x_i \right\} \left\{ \sum_{i=1}^n x_i y_i \right\}}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \left\{ \sum_{i=1}^n x_i \right\}^2}$$

Jolineariteti (vazhd.)

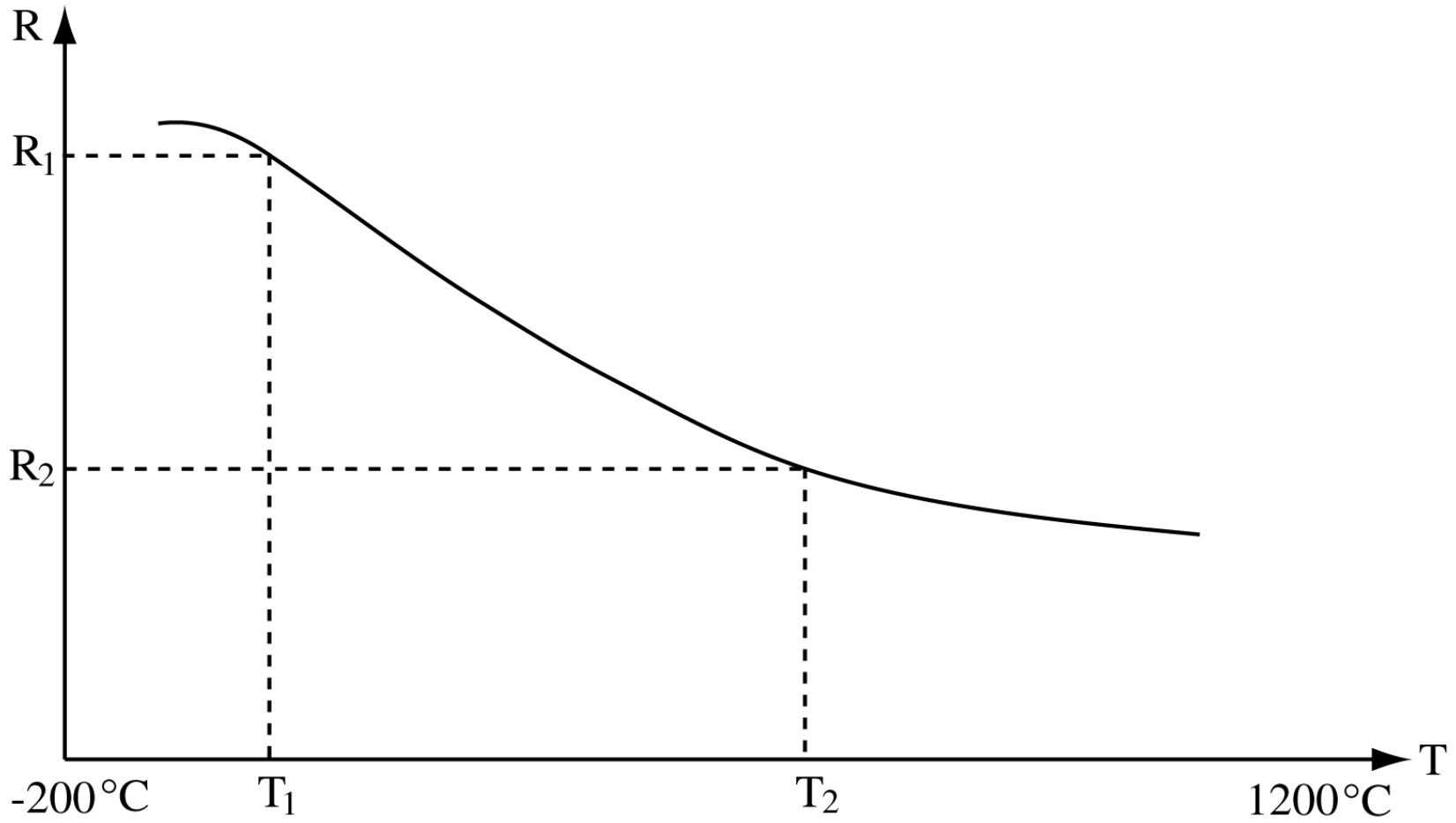
- d. Përdorni tangjentën e lakores në një pikë të lakores
 - Caktoni një pikë të mesit të brezit përkatës
 - Vizatoni tangjentën dhe e zgjeroni në brezin e lakores (3)
 - Kalkuloni jolinearitetin si paraprakisht
 - I dobishëm vetëm nëse jolineariteti është i vogël dhe shtrirja është shumë e vogël



Ngopja

- **Ngopja:** Veçori e sensorëve apo aktuatorëve kur ato nuk reagojnë më në hyrje.
- Zakonisht në fund apo afër fundit të shtrirjes së tyre dhe tregon që dalja nuk është më funksion i hyrjes apo, për më tepër është funksion shumë jolinear i hyrjes.
- Duhet evituar – ndjeshmëria është e vogël apo joekzistuese
- Te aktuatorët, mund të shkaktojë dështim të aktuatorit (rritje të humbjeve të fuqisë, etj.)

Ngopja (vazhd.)

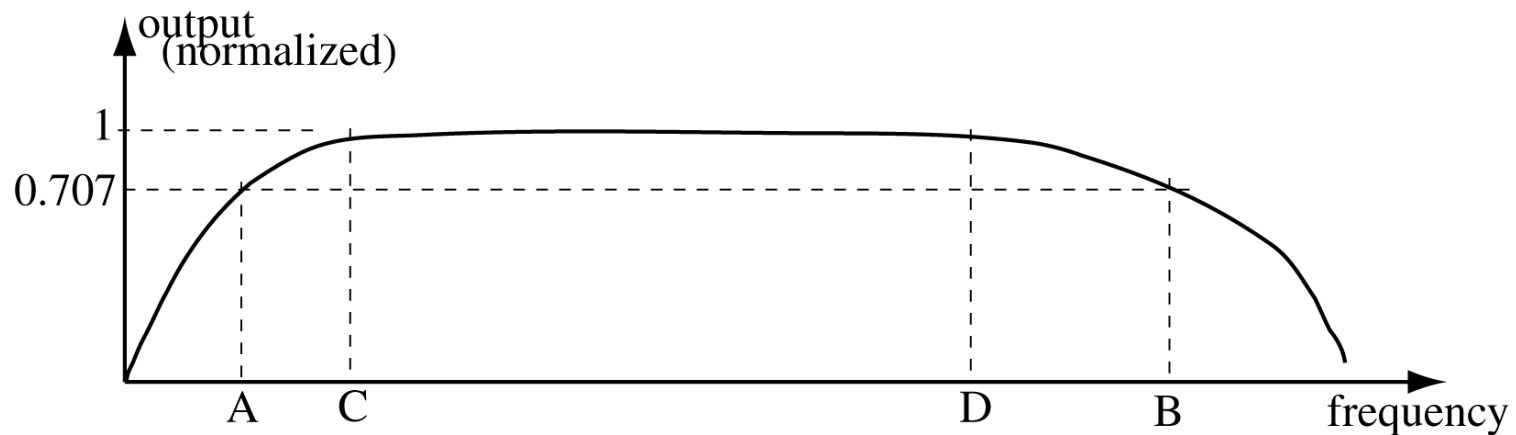


Reagimi frekuencor

- **Reagimi frekuencor:** Aftësia e pajisjes për të reaguuar në hyrje harmonike (sinusoidale)
- Raport madhësish (fuqi, zhvendosje, et.) si funksion i frekuencës
- Tregon për shtrirje (apo brezin) e stimulimit në të cilin pajisje është e përdorshme (sensorët dhe aktuatorët)
- Ofron pamametra me rëndësi për dizajnim
- Ndonjëherë jepet edhe faza (çifti i raporteve paraqet diagramin e Bode-ut për pajisjen)

Reagimi frekuencor (vazhd.)

- Parametra me rëndësi për dizajnim të pajisjeve
 - Brezi (B-A, në Hz)
 - Brez i rrafshhtë frekuencor (D-C në Hz)
 - Frekuencat e ndërprerjes (pikat A dhe B në Hz)
 - Frekuencat rezonante



Reagimi frekuencor (vazhd.)

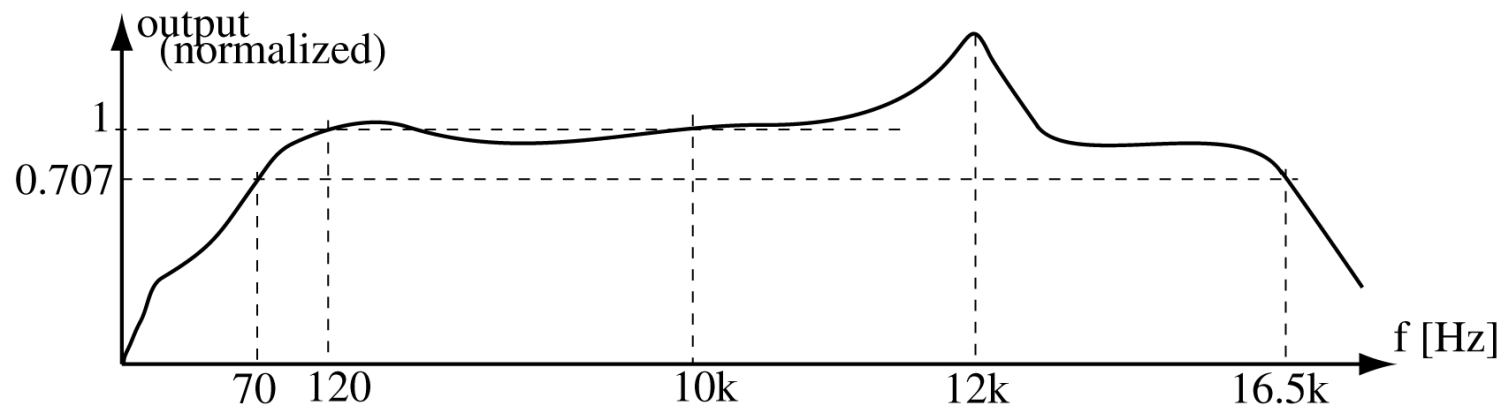
- Brezi frekuencor: distanca në Hz mes pikave të gjysmë fuqisë
 - Pika gjysmë - fuqi: $e_h = 0.707e$, $p_h = 0.5p$
- Brezi i reagimit të rrafshët: distanca maksimale në Hz gjatë të cilës reagimi është i rrafshët (bazuar në disa toleranca të lejuara)
- Frekuenca rezonante: frekuenca (apo frekuencat) në të cilën lakorja ndërron monotoninë

Pikat e gjysmë fuqisë

- Të quajtura edhe pikat 3db
- Fuqia është për 3db më e ultë në këto pika:
 - $10 \cdot \log 0.5 = -3\text{db}$ apo
 - $20 \cdot \log (\sqrt{2}/2) = -3\text{db}$
- Këto pika janë arbitrare por tani janë standard.
- Zakonisht pretendohet që pajisja është e “padobishme” përtej pikave të gjysmë fuqisë.

Reagimi frekuencor (shembull)

- Brezi frekuencor: 16.5kHz-70Hz=16.43 kHz
- Brezi i rrafshët frekuencor: 10kHz-120Hz=9880 Hz
- Frekuencat e ndërprerjes: 70 Hz and 16.5 kHz
- Rezonanca: 12 kHz



Koha e reagimit

- **Koha e reagimit** (apo koha e vonesës), paraqet kohën e nevojshme që dalja të arrijë gjendjen stabile (apo ndonjë përqindje të gjendjes stabile) për një shkallë ndryshimi në hyrje.
- Zakonisht koha e reagimit do të jepet si kohë e nevojshme për t'u arritur 90% i daljes stabile në momentin e ndryshimit për një njësi në hyrje.
- Koha e reagimit të pajisjes është si pasojë e inercionit të pajisjes ("mekanik" dhe "elektrik").

Koha e reagimit (vazhd.)

- Shembull: sensori i temperaturës:
 - Koha e nevojshme që trupi i sensorit të arrijë temperaturës të cilën tenton ta matë (konstanta kohore termale) apo
 - Konstantat kohore elektrike të pranishme në pajisje si pasojë e kapaciteteve (kondensatorët) dhe induktancave
 - Në shumë raste si pasojë e të dyjave
- Shembull: aktuatori:
 - Si pasojë e masës së aktuatorit dhe çfarëdo që është duke vënë në veprim
 - Si pasojë e konstantave kohore elektrike
 - Si pasojë e momentumit

Koha e reagimit (vazhd.)

- Koha e shpejtë e reagimit është zakonisht e dëshirueshme (jo gjithmonë)
- Kohët e ngadalta të reagimit tentojnë të gjejnë mesataren e leximeve
- Sistemet e mëdha mekanike kanë kohë të ngadaltë të reagimit
- Sensorët dhe aktuatorët e vegjël gati gjithmonë do të reagojnë më shpejtë
- Do të analizojmë sensorë në të cilët koha e reagimit është ngadalësuar me qëllim

Kalibrimi

- **Kalibrimi:** përcaktimi eksperimental i funksionit të transferit të një sensori apo aktuatori.
- Zakonisht, i nevojshëm kur funksioni i transferit nuk është i njohur apo,
- Kur pajisja duhet të operojë në toleranca përfundi vlerave të specifikuara nga prodhuesi.
- Shembull, përdorimi i një termistori ,e tolerancë 5% në shkallë të plotë prej 0 deri në 100°C për të matur temperaturë me saktësi, të themi, prej $\pm 0.5^\circ\text{C}$.
- E vetmja mënyrë e realizimit të kësaj matjeje është së pari përcaktimi i funksionit të transferit të sensorit.

Kalibrimi (vazhd.)

Dy metoda:

- a. Funkzioni i njohur i transferit:
 - Përcaktohet pjerrtësia dhe pika kryqëzuese (funksioni i kufitar) nga dy stimulime të njohura (të themi dy temperatura) nëse funksioni i transferit është linear
 - Matet dalja
 - Kalkukulohet pjerrtësia dhe pika kryqëzuese në $V=aT+b$
 - Nëse funksioni është më kompleks, kemi nevojë për më tepër pikë: $V = aT + bT^2 + cT^3 + d$
 - 4 matje për të kalkuluar a,b,c,d
 - Pikat duhet të përzgjedhen me mençuri – nëse lineare, përdoren pikët afër brezit. Nëse jo, përdor pikë të larguara njësoj apo pikë përreth lokacioneve me lakim më të madh

Kalibrimi (vazhd.)

Dy metoda:

- b. Funkzioni i panjohur i transferit:
 - Matet dalja R_i në po aq vlera hyrëse T_i sa të jetë praktikisht e mundur
 - Përdoret e tërë shtrirja
 - Kalkulohet përshtatja më e mirë lineare (katrorë më të vegjël p.sh.)
 - Nëse lakorja nuk është lineare përdoret përshtatja polinomiale
 - Mund të përdoren segmentet lineare të copëtuara nëse numri i pikave është i madh.

Kalibrimi (vazhd.)

- Kalibrimi ndonjëherë është kërkesë operationale (termoçiftet, sensorët e presionit)
- Të dhënat e kalibrimit zakonisht ofrohen nga prodhuesi
- Procedurat e kalibrimit duhet të përfshihen në dokumentet e dizajnit
- Gabimet gjatë kalibrimit duhet të vlerësohen dhe të specifikohen

- **Rezolucioni:** rritja minimale në stimulues ndaj të cilit mund të reagojë. Është madhësia e ndryshimit në hyrje e që rezulton në dalje më të vogël të dallueshme.
- Shembull: një voltmetër digjital me rezolucion prej 0.1V përdoret për të matur daljen e sensorit. Ndryshimi në hyrje (temperaturë, presion, etj.) që do të ofrojë një ndryshim prej 0.1V në voltmetër është rezolucioni i sistemit sensor/voltmetër.

Rezolucioni (vazhd.)

- Rezolucioni përcaktohet nga i tërë sistemi, e jo vetëm nga sensori
- Rezolucioni i sensorit mund të jetë më i mirë si i sistemit.
- Vetë sensori duhet të bashkëveprojë me një procesor, faktor kufizues mund të jetë sensori apo procesori.
- Rezolucioni mund të specifikohet në njësi të stimuluesit (0.5°C për sensor temeperature, 1 mT për sensor të fushës magnetike, 0.1mm për sensor të afërsisë, etj.) apo mund të specifikohet si një përqindje e shtrirjes (0.1% p.sh.).

Rezolucioni (vazhd.)

- Në sistemet digjitale, rezolucioni mund të specifikohet në bitë (rezolucion 1 bitësh apo 6 bitësh)
- Në sistemet analoge (ato të cilat nuk digjitalizojnë daljen) dalja është e vazhdueshme dhe rezolucioni mund të jetë infitezimal (vetëm për sensorin apo për aktuatorin).
- Rezolucioni i një aktuatori është rritja minimale në daljen e tij të cilën mund ta ofrojë.
- Shembull: stepper motori mund të ketë 180 hapa për një rrotullim të plotë. Rezolucioni i tij është 2° .
- Voltmetër analog i shkallëzuar mund të thuhet që ka rezolucion të barabartë me një shkallë (të themi 0.01V).

Parametrat tjerë

- **Besueshmëria:** masë statistikore e kualitetit të pajisjes e cila tregon aftësinë e pajisjes që të realizojë funksionin e saj të deklaruar, në kushte normale pa dështim për një periudhë të caktuar kohore apo numër të cikleve.
- Jepet në orë, vite apo në MTBF (Mean Time Between Failures)
- Zakonisht jepet nga prodhuesi
- Bazohet në testime të jetëgjatësisë së shpejtuar

Parametrat tjerë

- **Brezi i vdekur:** mungesa e reagimit apo pandjeshmëria e pajisjes nëpër një brez të caktuar të hyrjes.
- Në këtë brez i cili mund të jetë i vogël, dalja mbetet konstante.
- Pajisja nuk duhet të operojë në këtë brez përveç nëse kjo pandjeshmëri është e pranueshme.
- Shembull, një aktuator i cili nuk reagon në hyrjet afër zeros mund të jetë i pranueshëm por tjetri i cili "ngrin" nëpër një brez normal mund të mos jetë i pranueshëm.

Parametrat tjerë

- **Ekscitimi:** Furnizimi elektrik i nevojshëm për operim të sensorit apo aktuatorit.
- Mund të përcaktojë brezin operues të pajisjes (të themi 2 deri 12 V), brez të rrymës, shpërndarjen e fuqisë. Ekscitimin maksimal si funksion i temperaturës dhe ndonjëherë i frekuencës.
- Pjesë e specifikimit teknik të pajisjes
- Së bashku me specifikimet tjera definon kushtet normale të operimit të sensorit.
- Dështimi për t'iu përmbajtur vlerave përkatëse mund të rezultojë me dalje të gabuara apo dështim të parakohshëm të pajisjes.