

8. Sensorer- Praktiske eksempler

Seks modeller presenteres som ”kan generaliseres slik at de kan dekke alle typer sensorer.”

Betegnelser:

Sensor: Alle typer

Transducer: Energi fra en form til en annen

F.eks stråling => Strøm

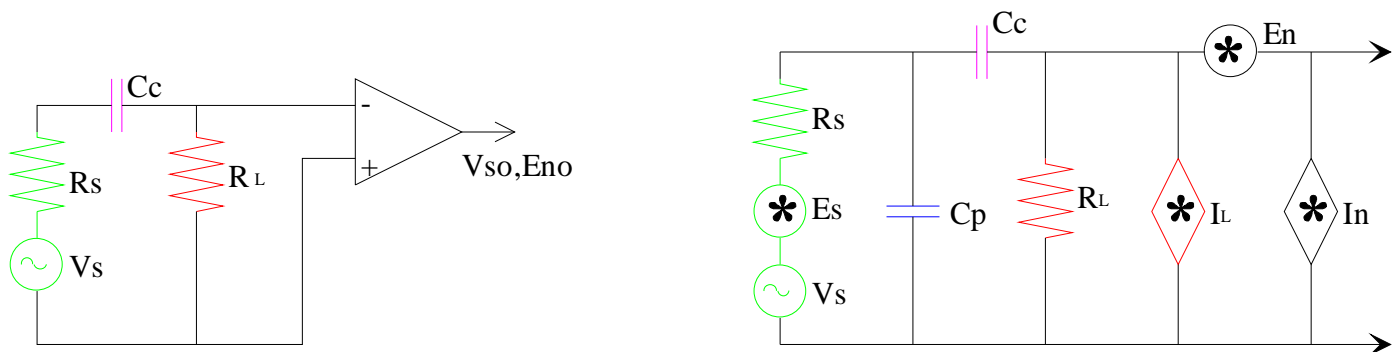
Piezo elektrisk element (bidireksjonal funksjon): Bevegelse \Leftrightarrow Spenning)

Transducer=Sensor+Aktuator

Detektor: Optikk, Infrarød, Partikkel

Simulatorene modellerer de vanligste støytypene mens spesielle støytyper som f.eks. G-R (Generation-Regeneration støy) må man man lage egne støymodeller for.

8-1 Voltaic Sensor



Denne sensortypen genererer et spenningsignal.
Sensorer:

- Thermokobler
- Thermopile
- Pyroelektrisk infrarød detektor

C_c : Fordi vi bare er interessert i AC-delen av sensorsignalet.

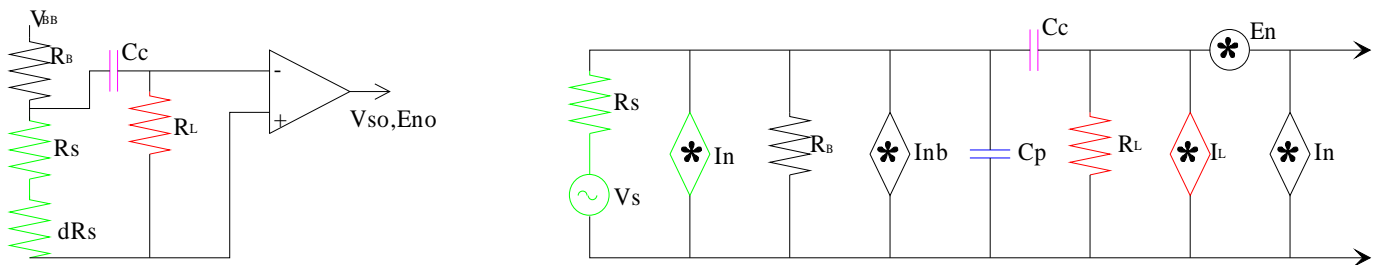
R_L : Gir bias til forsterker og eventuell impedanstilpassning.

C_p : Parasittisk kapasitans i sensor eller mellom forbindelseslinjer.

Lav støy $\Rightarrow R_L$ bør være stor, C_p bør være liten og C_c stor.

Forsterkeren bør velges slik at $R_o = R_s$ og $E_n I_n$ er minst mulig.

8-2 Biased Resistive Sensor



Denne typen gir en variasjon i motstanden ($dR_s \lll R_s$).

Trenger biasnettverk. Medfører to nye støykilder: V_{BB} og R_B .

Hvis sensormotstanden er plassert i ei bru vil også de andre motstandene bidra med støy.

Sensorer:

- Strekkklapp (Strain gauge)
- Fotokonduktiv infrarød celle
- Bolometer radiation detector
- Resistivt termometer
- Piezoresistive sensors

R_B : Bias

C_C : Fjerne DC-signalet

R_L : Bias: Gir forsterkerinngangen forspenning.

$$V_S = I_B \Delta R_S \cong \frac{V_{BB} \Delta R_S}{R_S + R_B}$$

Alternativt en strømkilde i parallell med R_S : $I_S = V_S / R_S$.

I_{ns} : Termisk støy

1/f-støy

G-R støy (Generation-Recombination

I_{nb} : Termisk støy og eventuell annen støy p.g.a. R_B .

Lav støy $\Rightarrow R_B$ bør være stor. R_B kan eventuelt byttes ut med L . C_C bør være så stor at $I_n X_c$ ikke bidrar selv ikke for de laveste frekvenser.

Hvis V_{BB} er konstant må R_B velges som et kompromiss for å få høy nok V_S og lav nok støy. Det riktige valget er avhengig av sensor karakteristikkene. Hvis V_{BB} kan økes kan en oppnå både høy gain og lav støy. $R_L \gg R_S$ slik at I_L ikke bidrar vesentlig.

8-3 Optoelectronic Detector

Applikasjoner:

- Infrarød deteksjon
- Varme måling
- Lys og fargemåling
- Fiberoptiske detektorer
- Sensorer for CDer
- Laser detektorer

To typer:

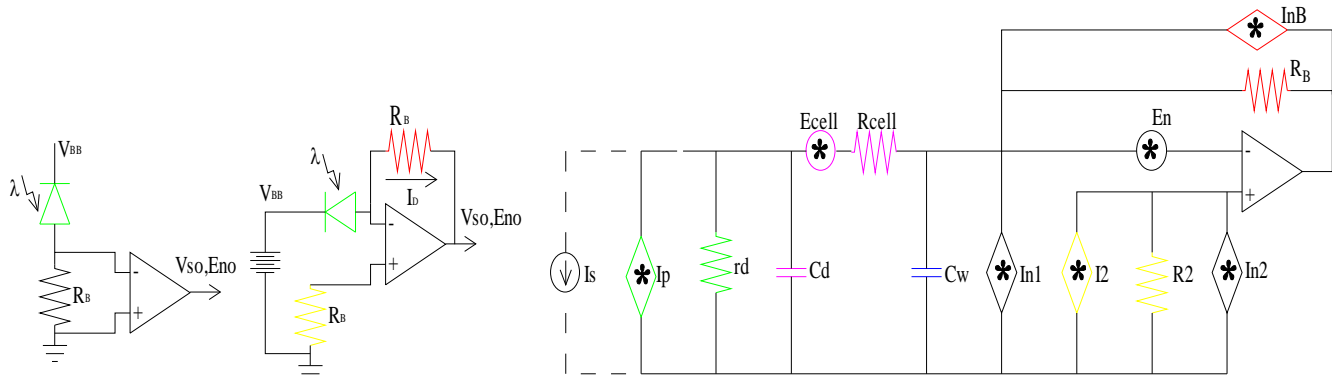
Photovoltaic: Lys gir en spenning på utgang

Photoconductive: Lys gir strøm (i tillegg til mørkestrømmen). Krever bias for å samle ladningene.

Fotokonduktive har to undergrupper:

1. En som lages av bulk halvledermateriale og hvor konduktiviteten øker med strålingen. Oppfattes som en variabel motstand. Diskutert tidligere.
2. Oppfatter detektoren som en diode. Denne reversforspennes.

I det følgende diskuteres fotokonduktiv diode av type 2 (d.v.s. med en diode modell av sensor)



Figuren viser tre elementer: Den enkle oppkoblingen, den vanligste oppkoblingen og støyskjemaet for den vanligste oppkoblingen.

Spenningen over R_B er et produkt av R_B og strømmen gjennom detektoren.

Strømmen = lekkasjestrøm + signalstrøm.

R_B gir en virtuell jord på inngangen som vil redusere inngangsimpedansen og dermed bedre frekvensresponsen $V_o = -I_D R_B$.

I_s : Signalstrøm (ikke støystrøm)

I_p : Diodestøy i detektoren

$$\left(I_{sh}^2 + I_{G-R}^2 + I_{1/f}^2 \right)^{1/2}$$

r_d : Dynamisk støyfri motstand i fotodioden

C_d : Parasittisk kapasitans i dioden

R_{cell} : Seriemotstand i dioden

E_{cell} : Termisk støy i dioden

C_W : Parasittisk kapasitans i ledere

R_B : Tilbakekoblingsmotstand

I_{nB} : Termisk støy i R_B

R_2 : Motstand på positiv forsterkerinngang

I_2 : Termisk støy i R_2

E_n, I_{n1} og I_{n2} : Støy i forsterkermodellen.

FET inngang på forsterker trolig best her!

8-3-1 Photodiode Noise Mechanisms

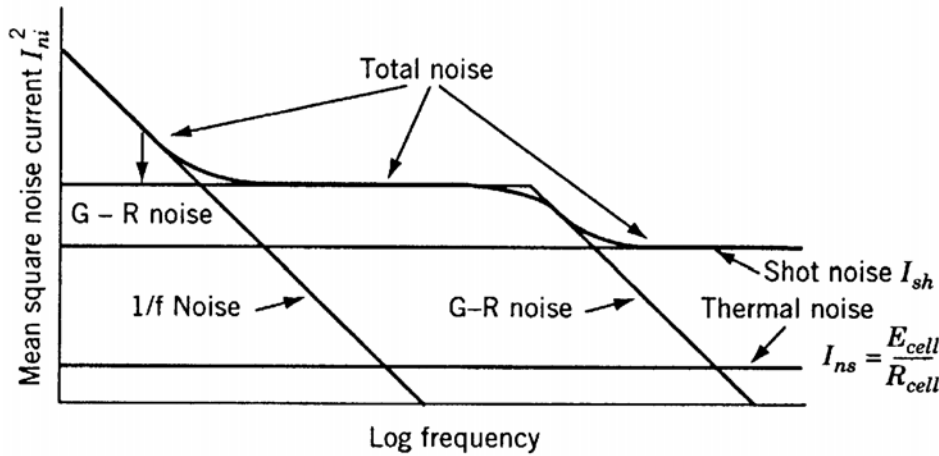


Figure 8-8 Noise sources in a photodiode.

$$I_p = \left(I_{sh}^2 + I_{G-R}^2 + I_{1/f}^2 \right)^2$$

$$I_{ns} = E_{cell} / R_{cell}$$

$$I_{sh}^2 = 2qI_D \Delta f \quad (\text{All str\o{m} igjennom dioden})$$

$$E_{cell}^2 = 4kTR_{cell} \Delta f$$

I_{G-R} Generation-Recombination st\o{y}.

Konduktiviteten varierer p.g.a. variasjon i frie ladninger. "Hvit" opp til 1/levetiden til e-h-par i detektordioden.

I_{sh} , I_{G-R} og $I_{1/f}$: Funksjon av str\o{m} og \o{ker med str\o{m}styrke. Minimum st\o{y} n\o{r} str\o{m} gjennom dioden bare er bakgrunnsfotonst\o{y}.

NEP = Noise Equivalent Power

.....er verdien av inngangssignalet (i dette tilfelle lys effekt) som produserer et elektrisk utgangssignal som er like stort som utgangsstøyen alene når det ikke tilføres noe inngangssignal.

8-3-2 PIN Fotodiode sensor

PIN dioden brukes til synlig lys og til den delen av det infrarøde spekteret som er nærmest synlig lys.

Trenger forspenning gjerne i området 5-20V men $< 50V$.

Eksempelverdier:

$$V_B = 20V$$

$C_d = 1pF$ i noen tilfeller, typisk 5pF

$$R_{cell} = < 50\Omega$$

$$R_d = 10G\Omega$$

I_D : Mørkestrøm: 100pA typisk + reversstrøm

1/f-støy: Støyhjørne: 20 - 30 Hz

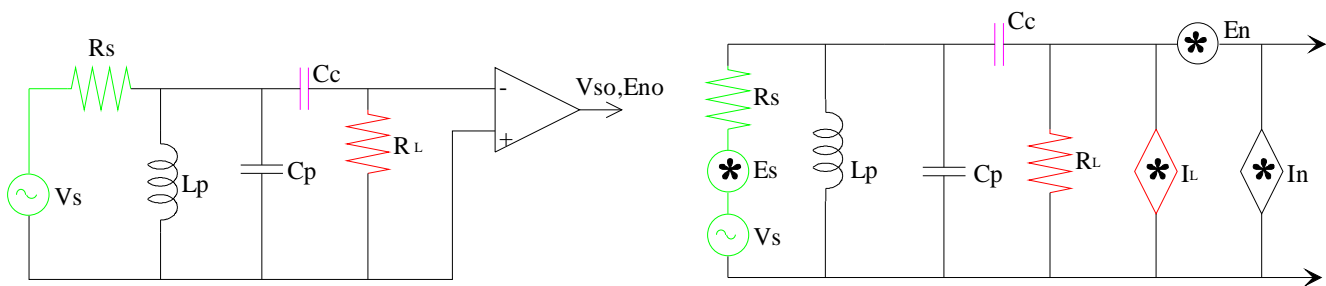
10dB/dek stigning under

Max respons: $0.5\mu A/\mu W$ i lysbåndet 0.5-0.8 μm

0.75 elektron/foton=75% kvantum effekt

NEP ned mot $-110dBm/\sqrt{Hz}$

8-4 RLC Sensor Model



Sensorer:

- Hoder for magnetiske taper
 - Induktive pick-ups
 - Dynamiske mikrofoner
 - Lineær variable differensielle transformatorer
- "diverse andre induktive sensorer"

R_s : Sensor seriemotstand eller reell del av sensor impedans.

E_s : Termisk støy i R_s

L_p : Sensor induktans

C_p : Kapasitans som skal bidra til riktig resonans

Består av --- parasittisk kapasitans internt og eksternt

--- intern og ekstern kapasitans

C_c : Isolerer DC-komponent fra forsterker slik at denne eventuelt kan settes opp med ønsket forspenning

I_L : Termisk støy i R_L

Lav støy => Ved resonans vil E_n være ved sitt minimum og I_n vil bare være avhengig av impedansen til serieinduktans og resistans. (Eq. 7-13)

Spoler med magnetkjerne har avtagende induktans og voksende motstand ved høyere frekvenser. Det kan derfor være nødvendig å modulere spolen ved flere frekvenser.

Konstruksjon av sensorspole og resonanskapasitans kan gjøres slik at en får maksimum S/N-forhold.

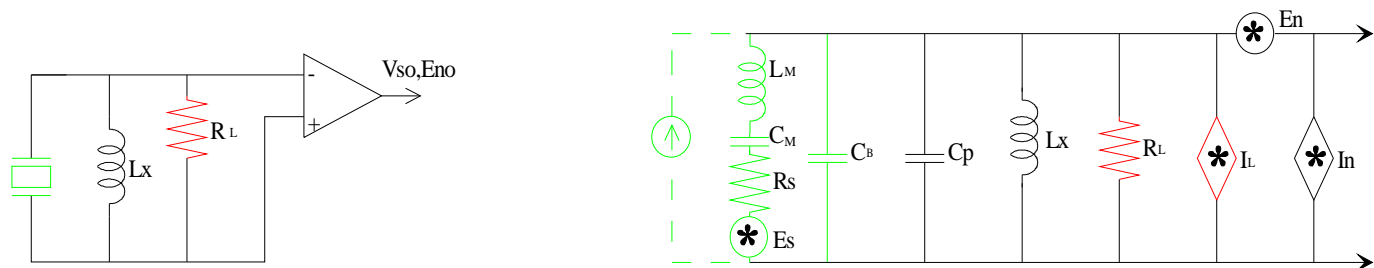
V_s er proporsjonal til antall turn

$R(L)$ er proporsjonal til antall turn for liten diameter

Støy er proporsjonal til kvadratroten av antall turn.

Dermed vil signalnivået øke mer enn støyen med økt antall turn inntil en viss grense.

8-5 Piezoelectric Transducer



"Piezo" ←=====→ "Elektrisk"

Mekanisk bevegelse Elektrisk reaksjon

Applikasjoner:

- Mikrofoner
- Hydrofoner
- Sonarer
- Seismiske detektorer
- Vibrasjonssensorer
- Akselrometre

To resonanser

--- serieresonans L_M og C_M

--- parallellresonans $(C_M + C_B)$ og L_x .

Vanligvis brukes parallell resonansen

L_M : Mekanisk induktans

C_M : Mekanisk kapasitans

R_S : Serietap i transducer

E_S : Termisk støy i R_S

C_B : Transducer kapasitans

I_s : Signalstrøm (Ikke støy)

C_p : Parasittisk kabel kapasitans

L_x : Ekstern spole

R_L : Last motstand

I_L : Termisk støy i R_L

Ekvivalent inngangsstøy:

$$E_{ni}^2 = 4kTR_S + E_n^2 \left(\frac{Z_S + Z_L}{Z_L} \right)^2 + (I_n^2 + I_L^2) Z_P^2$$

Z_S : Serieimpedansen til R_S , C_M og L_M .

Z_L : Parallellimpedansen til C_B , C_P , L_x og R_L .

Z_P : er $Z_S // Z_L$

R_S er typisk liten og første ledd kan vanligvis ignoreres. Dette er et høyimpedanssystem og E_n vil være liten i forhold til I_n . Ved lave frekvenser vil Z_P være meget stor p.g.a. C_B og C_P . For å få minst mulig støystrøm bør R_L være stor og I_n liten.

FET forsterker bør velges fordi:

- Liten I_n
- R_L kan gjøres meget stor

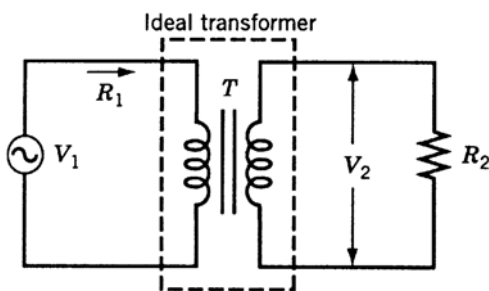
8-6 Transformer Model

Hvorfor trafo mellom sensor og forsterker ?

- 1) Impedanstilpassning gjør at både sensor og forsterker "ser" den impedansen som gir minst støy.
- 2) Gir isolasjon i mellom kilde og forsterker. (sikkerhet, DC-strømmer etc.)
- 3) For å oppnå maksimal overføring av signaleffekten.

Men trafoen bidrar også med noe støy selv !!

Impedans transformasjon



Anta ideell trafo:

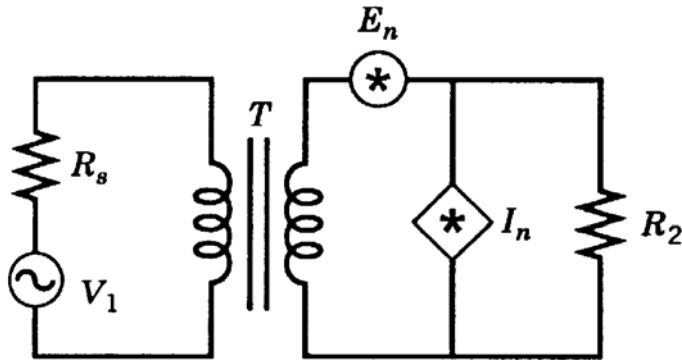
$$P_p = P_s \Rightarrow \frac{V_1^2}{R_1} = \frac{V_2^2}{R_2}$$

$$\text{Def : } T = \frac{N_s}{N_p} \quad V_2 = TV_1$$

Vi får da

$$R_1 = \frac{R_2}{T^2} \left(= R_2 \frac{N_p^2}{N_s^2} \right)$$

Slik kan sensor motstanden transformeres slik at forsterkeren ser den kildemotstanden som gir minst mulig støy.



Vi har tidligere definert $R_0 = E_n / I_n$. Når E_n' og I_n' er slik E_n og I_n oppleves på sourcesiden så har vi:

$$E'_n = \frac{E_n}{T} = E_n \frac{N_p}{N_s}$$

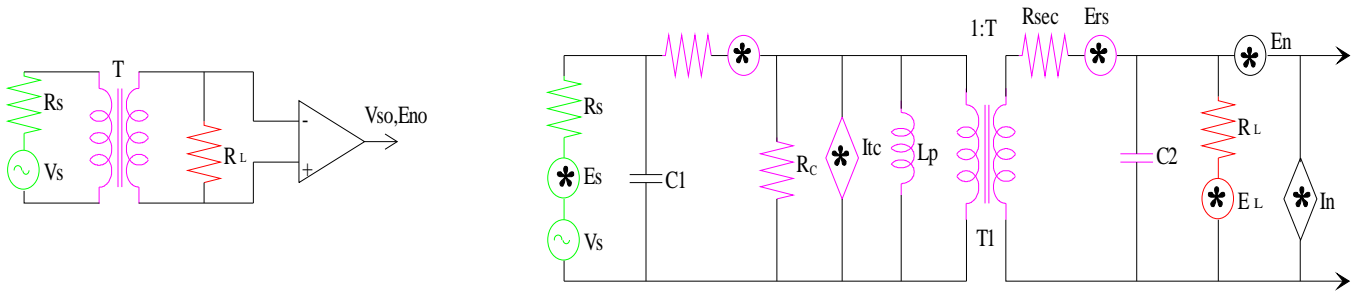
og

$$I'_n = T I_n = I_n \frac{N_s}{N_p}$$

Vi får da på sourcesiden:

$$R'_0 = \frac{E'_n}{I'_n} = \frac{E_n}{T^2 I_n} = \frac{R_0}{T^2} = R_0 \frac{N_s^2}{N_p^2}$$

Vi matcher slik at $R'_0 = R_s$ og har da $R_s = R_0 / T^2 \Rightarrow T^2 = R_0 / R_s$. Vi velger dermed forholdet mellom viklinger på trafoen slik at $T^2 = R_0 / R_s$ for å få minst mulig støy.



V_s : Sensor signal spenning

R_s : Sensor motstand

E_s : Termisk støy i R_s

C_1 : Primær shunt kapasitans

R_p : Motstand primærsiden av trafoen, serie

E_p : Termisk støy i R_p

R_c : Motstand primærsiden av trafoen, parallell

I_{tc} : Termisk støy i R_c

L_p : Induktans i primærsiden

T_1 : Støyfri, ideell transformator

R_{sec} : Motstand sekundærsiden av trafoen

E_{rs} : Termisk støy i R_{sec}

C_2 : Sekundær shunt kapasitans

R_L : Last motstand

E_L : Termisk støy i R_L