
ETLYAK

Sound and Acoustics



Indholdsfortegnelse

1	Karakterisering af lyd	5
1.1	Lektion 01-02-2018	5
1.1.1	Lyd i et medium	5
1.1.2	Hørelsen	7
1.1.3	Ohms lov analogi	10
1.1.4	Vægtning	11
1.1.5	Lydens udbredelse	12
1.1.6	Opgaver	14
2	Måling/opsamling af lyd	15
2.1	Lektion 08-02-2018	15
2.1.1	Mikrofon	15
2.1.2	Opgaver	17
3	Lydens udbredelse i frit felt	19
4	Gengivelse af lyd	21
5	Højtalerdesign	23
6	Lyddæmpning og lyddiffusion	25
7	Lydens opførsel i lukkede rum	27
8	Menneskets opfattelse af lyd	29

Karakterisering af lyd

1.1 Lektion 01-02-2018

1. Lyd i et medium
2. Hørelsen (opfattet lydniveau)
3. Ohms lov analogi
4. Vægtning (filtrering)
5. Lydens udbredelse (afstandsregel)

- **Pensum:**

1. Master Handbook Of Acoustics, ch. 1-3
2. Audio Meetering, sec. 1-6, 11, 13
3. Elektroakustik, TAS, p. 6

- **Opgaver:**

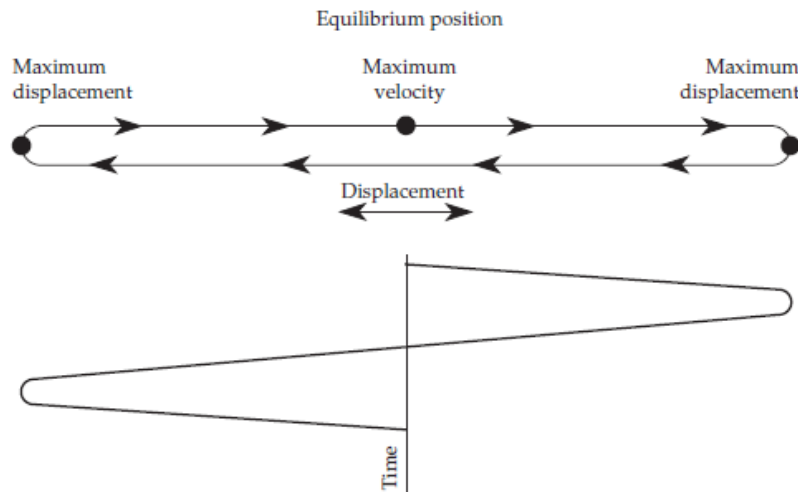
1. Lyd og Akustik - Lektion 1 - opgaver og øvelser

1.1.1 Lyd i et medium

Sound can be viewed as a wave motion in air or other elastic media. In this case, sound is a stimulus. Sound can also be viewed as an excitation of the hearing mechanism that results in the perception of sound. In this case, sound is a sensation.

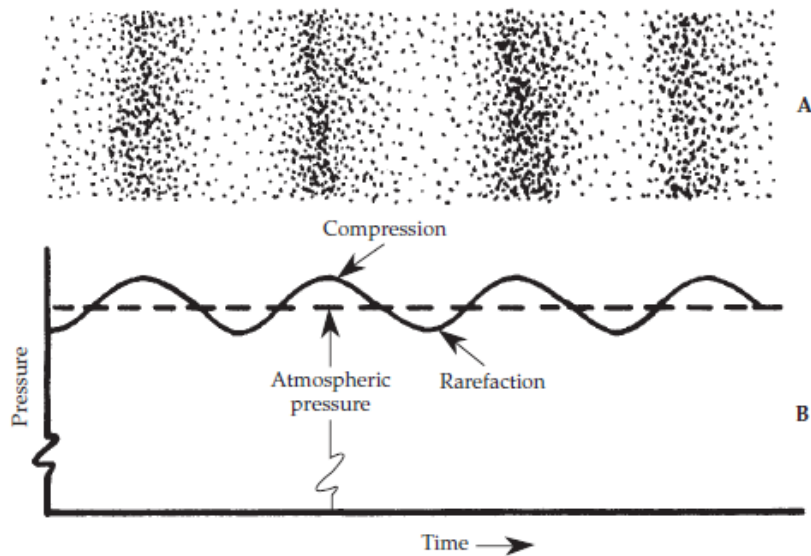
- Lyd er svingning i et medium omkring ligevægt. Uden et medium kan lyd ikke blive udbredt.

- Lyd kan udbredes i medier såsom luft, væsker og materialer af fast form. Lyd kan ikke udbredes i rummet, da mediet her er et vakuum.
- Hvis en luftpartikel bliver forskudt fra dens oprindelige position, vil elastiske kræfter forsøge at tilbagevende luftpartiklen til dens oprindelige position.



Figur 1.1: En luftpartikel der vibrerer rundt om dens medie som er i ligevægt (elastiske kræfter).

- Fluktuationerne i trykket omkring det atmosfæriske tryk er meget små.
 - Normal tale ses som små ripples i det atmosfæriske tryk.
 - Den mindste ændring i trykket et øre kan opfatte er således $20 \mu\text{Pa}$. Dette svarer til et tryk der er 5 millioner gange mindre end det atmosfæriske tryk.
- Lydens hastighed er $c = 344 \text{ m s}^{-1}$
 - Lydens udbredelse (hastighed) afhænger af mediets densitet.
 - * Jo større densitet, jo nemmere er det for partiklerne at overføre energi. Lyd udbredes derfor hurtigere i væsker og materialer i fast form end i luft.
 - Lydens udbredelse afhænger også af temperatur og luftfugtighed.
 - * Jo højere temperatur, jo hurtigere udbredes lyden.
 - * Jo højere luftfugtighed, jo hurtigere udbredes lyden.



Figur 1.2: (A) Variationer af lufttryk komprimerer luftpartiklerne.
(B) Variationerne ligger lige over og lige under det atmosfæriske tryk.

- Bølgelængde og frekvens
 - Frekvens (waveform repetitions per unit of time)

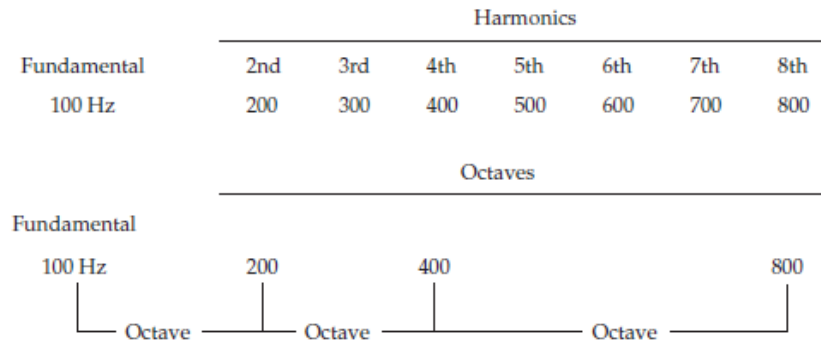
$$f = \frac{c}{T} \quad (1.1)$$

- – Wavelength (to complete one cycle)

$$T = \frac{c}{f} \quad (1.2)$$

1.1.2 Hørelsen

- Tonehøjden (pitch) af en frekvens høres forskelligt af øret.
- Tonehøjden for en **lav frekvens dæmpes** når intensiteten øges mens tonehøjden for en **høj frekvens øges** når intensiteten øges.
- Harmonisk er en lineær skala.
- Oktaver er en logaritmisk skala ofte anvendt i musik fordi den skalerer bedre til ørets opfattelse af lyd.
 - En oktav er defineret ved en 2:1 ratio af to frekvenser.
 - Intervallet fra 100 Hz til 200 Hz opfattes som værende større end intervallet fra 200 Hz til 300 Hz.



Figur 1.3: Sammenligning mellem harmoniske og oktaver.

$$\frac{f_2}{f_1} = 2^n \quad (1.3)$$

f_2 = frequency of the upper edge of the octave interval, Hz

f_1 = frequency of the lower edge of the octave interval, Hz

n = number of octaves

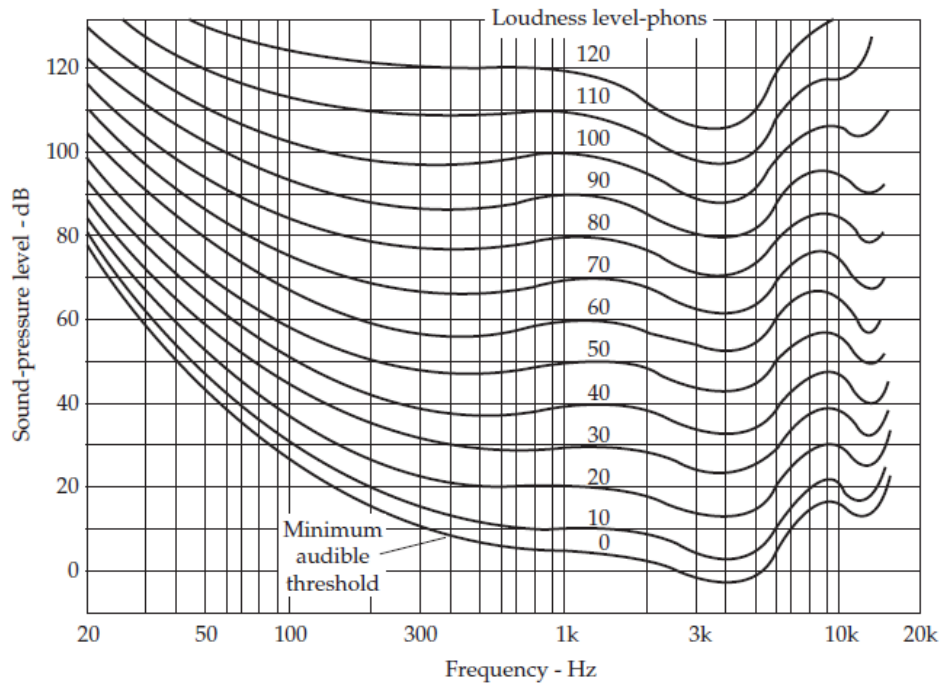
- Scopet af det hørbare spektrum er 20 Hz til 20 kHz.
 - Der er lyde der ikke kan høres af øret. Det er frekvenser der er lavere end det hørbare spektrum (infrasound) og frekvenser der er højere end det hørbare spektrum (ultrasound).
- Intensiteten af lyden I_L kan opgives i decibel [dB] ved at anvende reference $I_{ref} = 20 \mu\text{Pa}$ som er den mindste ændring i trykket et øre kan opfatte.
- Lydeffekten kan ligeledes opgives i dB ved at anvende reference effekt $L_p = 1 \text{ pW} = 10^{-12} \text{ W}$.

$$PW_L = 10 \log_{10} \frac{W}{W_{ref}} \quad (1.4)$$

PW_L = sound-power level, dB

W = sound power, watts

W_{ref} = a reference power, 10^{-12} W



Figur 1.4: Det menneskelige øres opfattelse af subjektivt konstant lydtryk.

- Lydintensitet er svært at måle. Men lydtryk (sound pressure level SP_L) er derimod det nemmeste at måle. Derfor anvendes lydtryk ofte.
 - SP_L er tæt på at være ens med I_L , hvor begge ofte bliver referet til som lydniveauet (sound level).

$$SP_L = 20 \log_{10} \frac{p}{p_{ref}} \quad (1.5)$$

SP_L = sound-pressure level, dB

p = acoustic pressure, μPa or other

p_{ref} = acoustic reference pressure, μPa or other

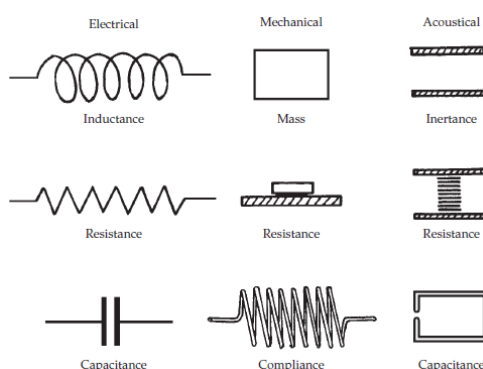
	Equation (1.4)	Equation (1.5)
Parameter	$10 \log_{10} \frac{a_1}{a_2}$	$20 \log_{10} \frac{b_1}{b_2}$
Acoustic		
Intensity	X	
Power	X	
Air particle velocity		X
Pressure		X
Electric		
Power	X	
Current		X
Voltage		X
Distance (From source-SPL; inverse square)		X

Figur 1.5: Om der skal bruges 10 log og 20 log.

- Når effekten fordobles svarer det til en 3 dB forøgelse uanset om effekten fordobles fra 1 W til 2 W eller fra 100 W til 200 W.

1.1.3 Ohms lov analogi

- Et akustisk system som en højttaler kan blive repræsenteret i termer der er ækvivalente med et elektrisk eller mekanisk system.



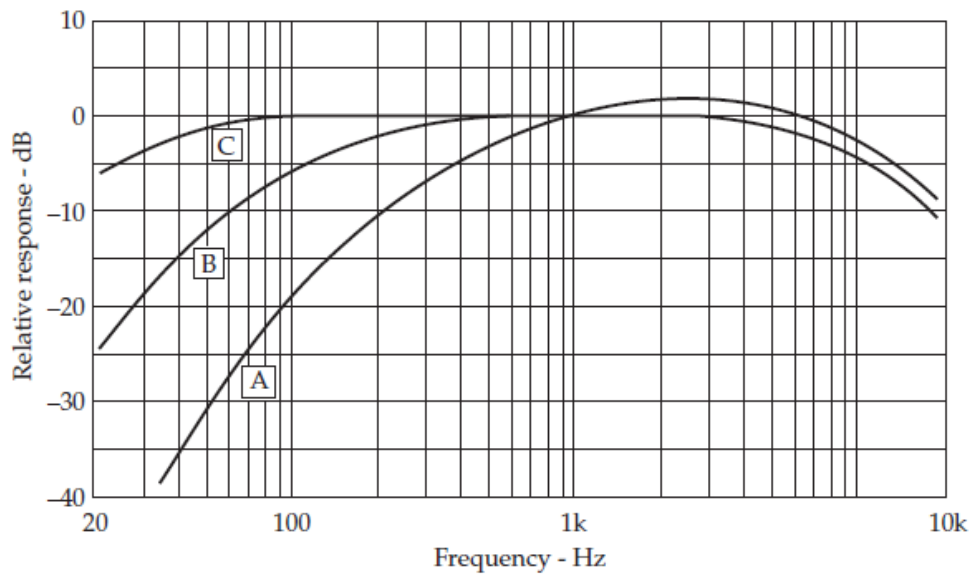
Figur 1.6: De 3 basale elementer af elektriske systemer og deres analogier i mekaniske og akustiske systemer.

System	Variable		Komponenter		
Elektrisk	Spænding	Strøm	Kapacitet	Modstand	Selvinduktion
Impedans: $V/A = \Omega$	V	A	$F = As/V$	$\Omega = V/A$	$H = Vs/A$
	$u(t)$	$i(t)$	$u = \frac{1}{C} \int i dt$	$u = R i$	$u = L \frac{di}{dt}$
Mekanisk	Kraft	Hastighed	Fjeder	Modstand	Masse
Impedans: $N/ms^{-1} = kg/s$	N	m/s	m/N	Ns/m	kg
	$F(t)$	$v(t)$	$F = \frac{1}{C} \int v dt$	$F = Rv$	$F = M \frac{dv}{dt}$
Akustisk	Tryk	Vol.hast.	Fjeder	Modstand	Masse
Impedans: $Nm^{-2}/m^3s^{-1} = kg/m^4s$	$Pa = N/m^2$	m^3/s	$1/m^3N$	Ns/m^5	kg/m^4
	$p(t)$	$q(t)$	$p = \frac{1}{C} \int q dt$	$p = Rq$	$p = M \frac{dq}{dt}$
Termisk	Temperatur	Effekt	Kapacitet	Modstand	(Ingen)
Impedans: K/W	K	W	J/K	K/W	(ingen)
	$T(t)$	$P(t)$	$T = \frac{1}{C} \int P dt$	$T = RP$	(ingen)

Figur 1.7: Analogier for komponenter i et elektrisk, mekanisk og akustisk system.

1.1.4 Vægtning

- Ved måling af lydtryk benyttes ikke blot en mikrofon og en forstærker. Hørelsen er kompleks og for at efterligne hjernens opfattelse af et lydniveau benyttes nogle elektriske filtre
- Filtrene A, B og C modificerer frekvensresponsen så den efterligner hørekurven ved lavt, middel og højt lydniveau.
 - A-vejning korrelerer godt til nedslidningen af hørelsen ved kraftige signaler og benyttes derfor ved støjmåling.
 - B-vejning benyttes ikke mere.
 - C-vejning bruges til specifikation af kortvarige spidser for måling af støjens skadevirkning ved klassifikation af en arbejdsplads for påbudt brug af høreværn.



Figur 1.8: A, B, and C weighting response characteristics for sound-level meters.

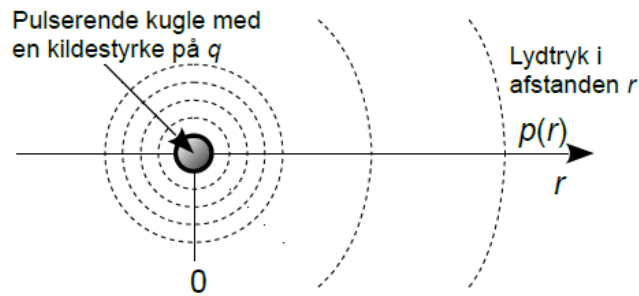
For sound-pressure levels of 20 to 55 dB, use network A.

For sound-pressure levels of 55 to 85 dB, use network B.

For sound-pressure levels of 85 to 140 dB, use network C.

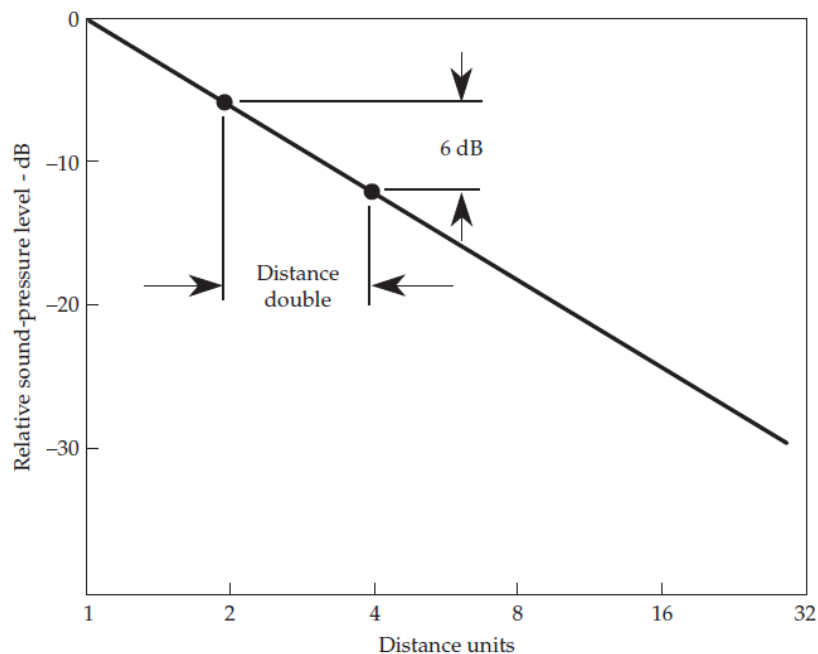
1.1.5 Lydens udbredelse

- Punktløydkilde: Lyden udbredes ligeligt i alle retninger.
 - Lyden fra en punktløydkilde ændrer **ikke** udseende ved stigende afstand.
 - En plan lydbølge er en matematisk abstraktion og følgende tilnærmelser anvendes:
 - * Lydens udbredelse i smalle rør (musikinstrumenter, fjernvarme).
 - * Lydens udbredelse i stor afstand fra lydkilden.
 - * Højtalerens nærfelt.



Figur 1.9: Lyden fra en punktkilde udbredes fra kildens centrum og lydtrykket aftager ved stigende afstand.

- Lydtrykket aftager med stigende afstand idet effekten i den kugleformede bølgefront fordeles over et areal, der vokser kvadratisk med afstanden.
 - Nærfelt: Lydtrykket varierer ikke – plane bølger.
 - Fjernfelt: -6 dB/fordobling – sfæriske bølger.



Figur 1.10: Afstandsregel.

1.1.6 Opgaver

1. Beregn dB værdien af det maksimalt mulige lydtryk.
2. Beregn det A-vægtede lydtryk af 76 dB ved 125 Hz.
3. Et lydtryk reduceres 8 dB, hvor mange gange er det?
4. Hvor meget lydtryk skal der til, for at vi opfatter lyden - ved 63 Hz og ved 2 kHz?

```
1 %% LYAK L1 01-02-2018
2 % 1. Beregn dB værdien af det maksimalt mulige lydtryk.
3 L = 20*log10(10^5/(20*10^-6));
4 disp(['Det maksimalt mulige lydtryk er ', num2str(L), ...
       ' dB'])
5
6 % 2. Beregn det A-vægtede lydtryk af 76 dB ved 125 Hz.
7 f = 125;
8
9 R_A = (12194^2*f^4)/((f^2+20.6^2)* ...
10 sqrt((f^2+107.7^2)*(f^2+737.9^2))*(f^2+12194^2));
11 A = 20*log10(R_A)+2;
12
13 disp(['Det A-vægtede lydtryk af 76 dB (125 Hz) er ', ...
       num2str(76+A), ' dB'])
14
15 % 3. Et lydtryk reduceres 8 dB, hvor mange gange er det?
16 gg = db2mag(8);
17 disp(['Lydtrykket reduceres 8 dB, hvilket svarer til ...
       ', num2str(gg), ' ganges reducereing'])
```

Måling/opsamling af lyd

2.1 Lektion 08-02-2018

1. Mikrofon
2. Højtaler (afstandsregel)
3. Måling af lydtryk

- **Pensum:**

1. Audio Meetering, sec. 8-9, 26-29
2. Elektroakustik, TAS, p. 12-14

- **Opgaver:**

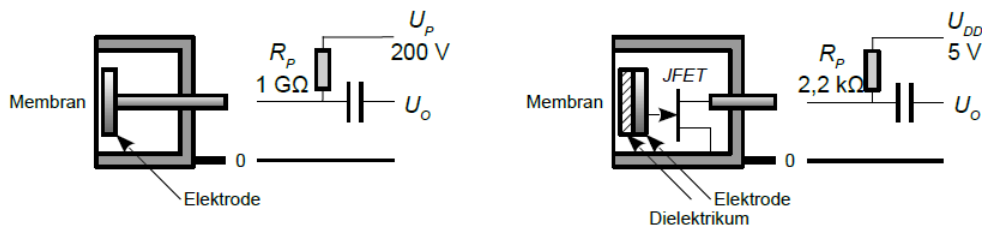
1. Lyd og Akustik - Lektion 2 - opgaver og øvelser

2.1.1 Mikrofon

- En transducer der omsætter et oscillerende lydtryk til et analogt elektrisk signal.
 - Kaldes også for en tryktransducer.
 - Måler lydtrykkets variation i et punkt uden reference til den retning lyden udbredes i.
 - Flere mikrofontyper er retningsbestemte på grund af deres opbygning.

Kondensator mikrofon

- En tynd membran af udspændt metalfolie er anbragt tæt på en fastsiddende elektrode.
- Kondensatoren mellem membran og elektrode oplades gennem R_p .
- Spændingen mellem membran og elektrode vil variere efter definitionsligningen $Q = C \cdot U$.
 - Q er den konstante ladning givet af polarisationsspændingen U_P der ved målemikrofoner typisk er 200 V.
- Den lave grænsefrekvens sættes af R_p og mikrofonens kapacitet C .
 - $C \approx 5 \text{ pF} - 20 \text{ pF}$ gør at R_p skal være mindst $1 \text{ G}\Omega$ for måling af hørbar lyd.
- Den høje grænsefrekvens sættes af membranens masse.



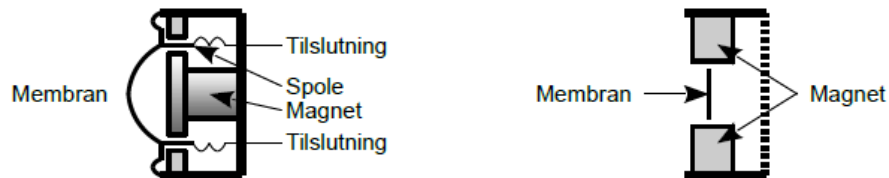
Figur 2.1: Kondensatormikrofonens opbygning.

- Alternativt indbygges en plastskive mellem membran og elektrode hvor en såkaldt "fastfrosset ladning" fungerer som Q .
- Den høje udgangsimpedans sænkes af en indbygget JFET og det eksterne kredsløb skal nu levere strøm til transistorens drain.
- Følsomheden er typisk $\approx 5 \text{ mV/Pa}$.

Dynamisk mikrofon

- **Klassiske form:** minder om en højttaler (membranen sættes i bevægelse af lydtrykket). Derved bevæges svingspolen i magnetfeltet og der induceres en spænding.
- **Båndmikrofonen:** membran er i et kraftigt magnetfelt. Når lydtrykket får membran til at svinge induceres der en spænding over de to ender af båndet. Spændingen er normalt så lav at der skal benyttes en transformator for at løfte det op på et brugbart niveau.

- Lyden har adgang til begge sider af membranen.
 - * Mest følsom for lyd på akse (0° og 180°).
 - * Der kan ikke registreres lyd fra siden (90°).



Figur 2.2: (V: svingspolen drives af en membran til at svinge i et magnetfelt.) (H: En tynd metalfolie svinger i et magnetfelt og signalet tages ud ved båndets ender (ud af papiret og ind i papiret)).

2.1.2 Måling af lydtryk

2.1.3 Opgaver

1. Lav et MLS signal med orden 10.
2. Find impulsresponsen ud fra de sammenhørende excitations- og målesignaler i filen meassigs.mat. Systemet er "målt" både med MLS og hvid støj.
3. En 8 ohms højttaler har DC modstand på 6 ohm og virkningsgrad på 1 %.
 - (a) Bestem den producerede akustiske effekt, når højttaleren tilføres 2,83 volt.
 - (b) Lyden antages at udbrede sig sfærisk fra højttaleren. Beregn intensiteten og lydtrykniveauet på 2,5 meters afstand.
 - (c) Lydtrykket måles nu med en mikrofon hvis følsomhed er 5 mV/Pa. Hvilken spænding leverer mikrofonen?

Lydens udbredelse i frit felt

Gengivelse af lyd

Højtalerdesign

Lyddæmpning og lyddiffusion

Lydens opførsel i lukkede rum

Menneskets opfattelse af lyd
