

## Titelblad

### Aalborg Universitet

Tema: Virkelighed og Modeller  
Titel: Effektangivelser for højttalersæt  
Projekt: P0  
Projekt begyndt: Onsdag d. 1. september 2004  
Rapportafleveringsfrist: Fredag d. 24. september 2004 kl. 14.30  
Sideantal: 24 sider + 20 siders bilag + 5 siders appendix  
Studieretning: Elektronik og elektroteknik

#### *Udarbejdet af:*

Christoffer Sloth

---

Jens Oddershede

---

Mikkel Gade Jensen

---

Peter Østergaard

---

Rasmus Andersen

---

Thomas Esbensen

---

#### *Synopsis:*

Udgangspunktet for dette projekt er at øve gruppearbejde og herved nå et resultat i form af en fælles rapport.

Formålet med projektet er at undersøge de effektværdier som højttalerproducenter angiver på deres produkter.

Forbrugerne er i vildrede, da forskellige effektangivelser benyttes på højttalersæt. For at dokumentere omfanget af denne problemstilling er foretaget en mindre spørgeskemaundersøgelse blandt de studerende på Den Teknisk-Naturvidenskabelige Basisuddannelse på Aalborg Universitet.

For teknisk at belyse problemet, er et højttalersæt med en imponerende effektangivelse blevet indkøbt. Det vil blive undersøgt, om det er muligt at få højttalersættet til at levere de 360 watt, som producenten angiver på emballagen.

**Gruppe:** B218

**Vejleder:** Claus Leth Bak

## Forord

Rapporten er et resultat af et P0-projekt på den teknisk-naturvidenskabelige basisuddannelse på Aalborg Universitet. I dette første projekt på basisåret er samarbejdet sat i højsæde, og projektforbøbet er strakt ud over godt tre uger. Det overordnede tema for P0 er "Virkelighed og Modeller". Titlen for dette projekt er "Effektangivelser for højttalersæt".

I rapporten vil der kun forekomme nummereringer af de formler, der senere henvises til. En oversigt over de anvendte kilder kan findes bagerst i rapporten, hvor også bilag og appendix er vedlagt.

Kildehenvisningerne er markeret med et bogstav og et nummer [*BogstavNummer*], hvor B = Bog, E = Elektronisk opslagsværk, N = Netadresse og P = Person.

I forbindelse med projektet vil vi gerne takke vores vejleder lektor Claus Leth Bak og Institut for Energiteknik for lån af udstyr og plads i laboratorium. Desuden ønsker vi at takke Altec Lansing for god dialog om emnet samt deres tilknyttede lydeksperter akustik-ingeniør Daniel Emonts [P1] for svar på spørgsmål omkring effektangivelser.

## Indholdsfortegnelse

Forord.....	5
Indholdsfortegnelse.....	6
1 Indledning.....	8
1.1 Initierende problem.....	8
2 Problemanalyse.....	8
2.1 Problemformulering.....	9
2.2 Projektafgrænsning.....	9
3 Teknisk analyse.....	10
3.1 Sådan virker en højttaler.....	10
3.2 Effektbegrebet.....	11
3.3 RMS.....	14
3.4 PMPO.....	15
3.5 Peak Power.....	16
3.6 Forstærkerkreds.....	16
4 Forsøgsbeskrivelse.....	18
4.1 Formål.....	18
4.2 Definition.....	18
4.2.1 RMS.....	18
4.2.2 PMPO.....	18
4.3 Betegnelser.....	18
4.4 Benævnelser.....	19
4.5 Apparatur.....	19
4.6 Fremgangsmåde.....	19
4.7 Forsøgsopstillinger.....	19
4.7.1 Forsøg 1.....	19
4.7.2 Forsøg 2.....	20
4.7.3 Forsøg 3.....	21
4.8 Resultatbehandling.....	21
4.8.1 Forsøg 1.....	21
4.8.2 Forsøg 2.....	23
4.8.3 Forsøg 3.....	25
4.9 Vurdering.....	25
4.10 Fejlkilder.....	26
5 Konklusion.....	26
6 Kildehenvisninger.....	27

## 1 Indledning

For dette første projekt, P0, her på det teknisk-naturvidenskabelige basisår er der valgt at arbejde med udgangspunkt i emnet ”effektangivelser for højttalersæt”. Dette skyldes, at man i hverdagen møder mange forskellige effektangivelser, som forbrugerne ikke er i stand til at gennemskue. En undersøgelse foretaget blandt de nye ingeniørstuderende på Badehusvej i Aalborg viser, at hovedparten af den adspurgte gruppe ikke kender forskellen på de forskellige effektangivelser. Disse forbrugere er derfor dårligt stillede, når de skal ud og købe højttalere. Hele undersøgelsen kan ses i appendix A.

Forvirringen eksisterer, da forskellige højttalerproducenter angiver effekt forskelligt. F.eks. kan man støde på en lille højttaler påtrykt en meget stor effektværdi og kan samtidig møde en kraftigere højttaler, med en mindre effektangivelse. Derfor undersøges de forskellige angivelser for effekt, for at se om de kan sammenlignes.

### 1.1 Initierende problem

Hvordan fremkommer højttalerproducenternes effektværdier, og hvad betyder de?

## 2 Problemanalyse

Problemet består i, at højttalerproducenter, når de beskriver effektværdien for et højttalersæt benytter flere forskellige definitioner, således de angivne værdier ikke umiddelbart kan sammenholdes.

At problemet er velkendt, fremgår blandt andet af Jyllands-Postens artikel ”Højttalere på skrump” [N1]. Historien er her, at en journalist har købt et sæt højttalere med den påtrykte værdi 2×600 watt. Ved nærmere undersøgelser af højttalerne viser det sig, at dette kun svarer til 2×3 watt RMS<sup>1</sup>. Forelagt disse kendsgerninger har Faktas indkøbsdirektør, Stig Laursen, følgende kommentar: *”Egentlig mener vi jo bare, at højttalersættet kan spille højt. Og det med at angive watt i 4 og 8 ohm, det er der jo alligevel ingen der forstår.”* Dette er et eksempel på, at der selv blandt forhandlere er usikkerhed om, hvordan oplysningerne skal benyttes og forstås. I Hi-Fi klubben kender man også til problemet, og her mener man ikke, at branchens forskellige effektangivelser er hensigtsmæssige, hvilket fremgår af Hi-Fi klubbens produktkatalog [N2]: *”Det samme gælder, når branchen måler*

---

<sup>1</sup> Definition forklares senere i rapporten

*effekt. Man kunne få det indtryk, at fysikkens love ikke er ens for alle, når man støder på rene fantasidata, hvor f.eks. 6 x 75 watt i allerbedste fald sniger sig op på reelle 6 x 20 watt målt på alle kanaler samtidigt. Snyd eller uvidenhed? Tjah - vi vælger at tro på, at det mere handler om "branchens" mangel på teknisk viden end faktiske forsøg på at snyde kunden! Men det rækker ikke en tomme ved, at vi tager afstand fra den slags gøgl."*

Gennem en forbrugerundersøgelse foretaget i forbindelse med projektet fremgår det, at der blandt forbrugere er forvirring omkring effektangivelser for højttalersæt. Den adspurgte gruppe repræsenterer 39 studerende fra 7 forskellige linier på ingeniørstudiet ved Aalborg Universitet, og giver derfor ikke et fuldstændigt billede af hele forbrugerspektret. Undersøgelsen viser, at størstedelen, nemlig 57 % af de adspurgte, intet kender til RMS og PMPO<sup>2</sup>. Derfor er nogle af de spurgte tilbøjelige til at vælge et sæt højttalere påtrykt den høje PMPO-værdi frem for et tilsvarende sæt påtrykt den langt lavere RMS-værdi. Det viser derfor, at en række forbrugere lader sig vildlede af marketingsstrategierne og tager den påtrykte effektangivelse som et udtryk for ydeevne. Som forventet er der også nogle af de adspurgte, som udmærket ved, hvad man skal gå efter, når man køber højttalere. Det er ikke overraskende de elektronik- og datateknik-studerende, der har mest styr på begreberne.

## 2.1 Problemformulering

For at besvare det initierende problem er det nødvendigt at stille følgende underspørgsmål. Hvordan virker en højttaler, og hvordan er en sådan opbygget? Desuden er det relevant at se på selve effektbegrebet. Derfor gives en definition på de forskellige effektværdier. Hertil vil gives eksempler på udregninger af effektværdier. For at undersøge én producents effektangivelse vil et billigt sæt computerhøjttaler blive indkøbt, og ved forsøg vil det blive undersøgt, hvordan højttalersættets ydelse passer med det opgivne effekttal. Ud fra forsøget vil det undersøges, hvad man i praksis kan bruge effektværdien til.

## 2.2 Projektafgrænsning

Grundet en begrænset tidsperiode er projektet afgrænset til kun at omhandle den i højttaleren afsatte effekt. Der ses bort fra den akustiske effekt, højttalerens frekvensområde, det valgte kabinet samt virkningsgraden af højttaleren. Med dette projekt undersøges ikke den egentlige kvalitet af højttale-

---

<sup>2</sup> Definition forklares senere i rapporten

ren, men kun højttalerens ydeevne. Da der er tale om et P0-projekt, vil der kun blive målt på ét højttalersæt. Dermed kan der kun efterprøves én producentens angivelse. Dette ene forsøg giver derfor ikke et repræsentativt billede af forholdene mellem producenternes angivelser og højttalerens reelle effekt, men fungerer som en stikprøve, der kan give et hint om, hvor forskellige effektværdierne er.

### 3 Teknisk analyse

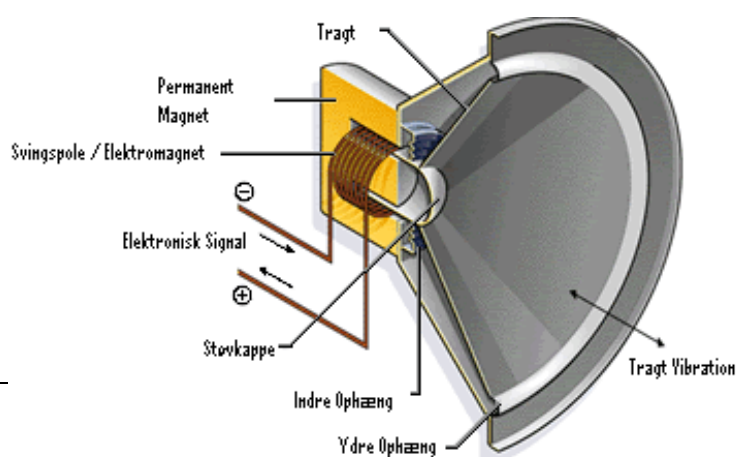
#### 3.1 Sådan virker en højttaler

For at opnå forståelse af, hvordan en højttaler virker, må man først og fremmest forstå, hvad lyd er, og hvordan vi opfatter det. En kortfattet forklaring lyder således:

Inden i øret sidder en trommehinde, der er en tynd membran. Når denne vibrerer, opfatter hjernen disse vibrationer som lyd. Det er hurtige ændringer i lufttrykket, der er årsag til, at trommehinden bevæger sig, og man opfatter lyd. Når et objekt vibrerer i luft, frembringes lyd, fordi den omkringliggende luft sættes i svingninger. Herved flyttes luftpartikler omkring objektet. Disse partikler skubber da til luftpartiklerne omkring dem, således at en puls af vibrationer bevæger sig gennem luften; dette er lyd, der bevæger sig. Lyd udbreder sig altså i form af trykbølger, og det at vi hører lyde forskelligt afhænger af bølgenes frekvens og amplitude.

- Frekvens: En lyd med en høj frekvens (hurtige svingninger) betyder en høj tonehøjde. Modsat hører vi lydbølger med lave frekvenser som dybe toner.
- Amplitude: En lydbølges amplitude kan sammenholdes med størrelsen af lufttrykket. Lydbølger med en stor amplitude bevæger trommehinden mere, og lyden opfattes hermed som værende kraftigere.

En højttaler omformer et elektrisk signal til en fysisk vibration i form af lydbølger. Kender man lidt til elektromagneter, vil man vide, at sådanne består af en spole, typisk viklet omkring en metalkærne. Lader man en strøm gennemløbe spolen, frembringes et magnetisk felt rundt omkring denne, som magnetiserer metallet, den er viklet omkring. Dette felt har en nord- og en sydpol, præcis som en permanent magnet. I modsætning til en permanent magnet, kan man i en elektromagnet vende polerne, simpelthen ved at man vender strømmens retning. Dette er det grundlæggende princip i en



Figur 1. Her ses illustration af en dynamisk højttaler

højttaler. Har man prøvet at skille et højttalersystem ad, vil man vide, at der til hver højttaler går to ledere, som regel en sort og en rød. Forstærkeren, som højttaleren er tilkoblet, vender konstant det elektriske signal, så skiftevis en positiv ladning og en negativ ladning sættes på den røde ledning.

I en dynamisk<sup>3</sup> højttaler er elektromagneten, også kaldet svingspolen, placeret i et konstant magnetisk felt frembragt af en permanent magnet. De to magneters magnetiske felter er skiftevis ensrettede og modsatrettede. Dermed opstår der en kraft  $F$ , der skifter efter strømmens retning. Kraften, som magneterne påvirker hinanden med, har en størrelse, der afhænger af strømmens styrke, da den magnetiske flux bliver større, når strømmen øges. Kraftens retning afhænger af strømmens retning.

Når elektromagnetens poler skifter, ved at strømmen vendes, så ændres samtidig retningen fra frastødning til tiltrækning eller omvendt. På den måde vender vekselstrømmen konstant den magnetiske kraft mellem svingspolen (elektromagneten) og den permanente magnet. Dette medfører, at svingspolen hurtigt presses frem og tilbage som et stempel.

Svingspolen er fastgjort på højttalerens tragt. Når spolen bevæger sig, skubber og trækker den derfor i tragten. Dette får luften foran højttaleren til at vibrere, hvilket skaber lydølger. Hermed frembringes lyd fra højttaleren.

Det elektriske lydsignal kan også opfattes som en bølge. Frekvensen og amplituden af denne bølge, bestemmer hastigheden og afstanden, hvormed svingspolen bevæges. [N3] [N4]

### 3.2 Effektbegrebet

Effekt er defineret ved energi per tidsenhed:

$$P = \frac{E}{t}$$

Her er  $E$  energien angivet i joule, mens  $t$  er et udtryk for tiden i sekunder. Ser man nærmere på effektbegrebet kan dette inddeles i en øjeblikseffekt  $p$  og i en gennemsnitseffekt  $P$ . Den øjeblikkelige effekt kan udtrykkes som en funktion af tiden, hvor man til tiden  $t$  har den øjeblikkelige effekt  $p$ .

I et kredsløb, hvor strømmen er proportional med spændingen, har disse identiske perioder og er i fase. Her ses på en øjeblikkelig effekt, der udtrykkes:

---

<sup>3</sup> I dynamiske og elektrodynamiske højttalere er en spole anbragt i et magnetfelt, der findes i gabet i en ringformet magnet, som enten kan være en permanent magnet eller en elektromagnet. Spolen, som er forbundet med en papmembran, sættes i svingende bevægelse af den modtagne vekselstrøm. Lademanns Leksikon 2003 [E1]

$$p = u \cdot i$$

Her er  $u$  den øjeblikkelige spænding og  $i$  er den øjeblikkelige strøm. Disse kan skrives som  $u(t)$  og  $i(t)$ , og de er periodiske inden for periodetiden  $T$ . Hermed kan skrives:

$$u(t+T) = u(t) \quad \text{samt} \quad i(t+T) = i(t)$$

Dette medfører, at:

$$\begin{aligned} p(t+T) &= u(t+T) \cdot i(t+T) \quad \Leftrightarrow \\ p(t+T) &= u(t) \cdot i(t) \quad \Leftrightarrow \\ p(t+T) &= p(t) \end{aligned}$$

Den øjeblikkelige effekt er derfor også periodisk for periodetiden  $T$ . Effekten  $p$  gentager altså sig selv for hver  $T$  sekunder.

Den fundamentale periode  $T_1$  for  $p$ , den mindste tid i hvilken  $p$  kan gentage sig selv, er ikke nødvendigvis lig med  $T$ , men  $T$  må indeholde et helt antal af perioder  $T_1$ : Når  $n$  er et positivt heltal kan skrives:

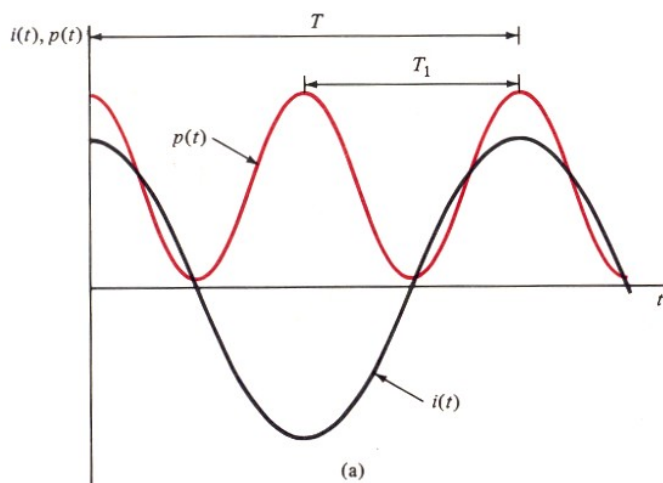
$$T = nT_1 \quad (1)$$

Det antages, at en strøm  $i = I_{\max} \cdot \cos(\omega t)$  med perioden  $T = 2\pi/\omega$  gennemløber en modstand  $R$ . Det giver:

$$\begin{aligned} p &= u \cdot i \quad \Leftrightarrow \\ p &= R \cdot i^2 \quad \Leftrightarrow \\ p &= R \cdot I_{\max}^2 \cdot \cos^2(\omega t) \quad \Leftrightarrow \\ p &= \frac{R \cdot I_{\max}^2}{2} \cdot (1 + \cos(2\omega t)) \end{aligned} \quad \left| \cos^2(\theta) = \frac{1}{2}(1 + \cos(2\theta)) \right|$$

Det viser sig, at  $T_1 = \pi/\omega$ , da der i overstående udtryk tages den dobbelte vinkel til cosinusfunktionen, og derfor er  $T = 2T_1$ . Dette svarer altså til, at  $n = 2$  i (1). Dette er illustreret for grafen  $p$  og  $i$  på figur 2.



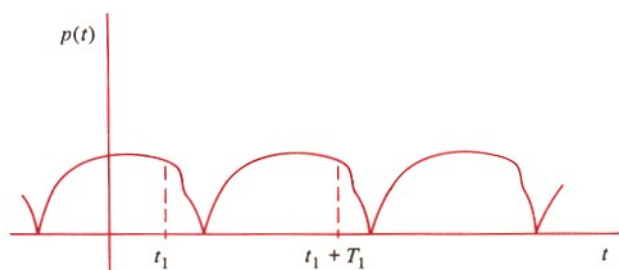


Figur 2. Her afbildes strømmen  $i(t)$  med perioden  $T = 2\pi/\omega$  samt effekten  $p(t)$  med perioden  $T = \pi/\omega$

Matematisk set er gennemsnitsværdien for en periodisk funktion defineret som integralet af funktionen med hensyn til tiden over en hel periode, divideret med perioden:

$$P = \frac{1}{T_1} \int_{t_1}^{t_1+T_1} p \, dt \quad (2)$$

Her er  $t_1$  et vilkårligt tidspunkt. En periodisk øjeblikseffekt  $p$  er vist på figur 3.



Figur 3. Viser en periodisk effekt  $p(t)$

Tages integralet over et helt antal perioder, lad os sige  $mT_1$ , hvor  $m$  er et positivt heltal, så er det totale areal ganske enkelt  $m$  gange større end integralet i (2). Derfor kan skrives, at:

$$P = \frac{1}{mT_1} \int_{t_1}^{t_1+mT_1} p \, dt$$

Vælges  $m$  således  $T = mT_1$  (perioden for  $u$  og  $i$ ), medfører dette, at:

$$P = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_1+T} p \, dt$$

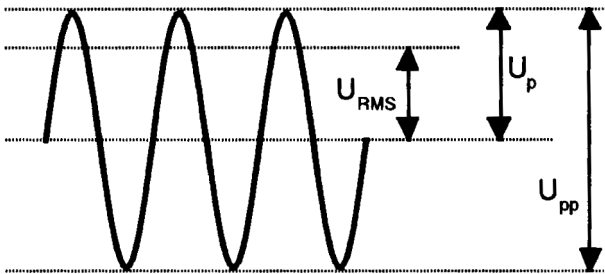
[B1]

### 3.3 RMS

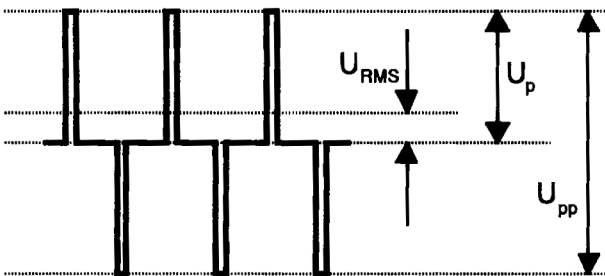
RMS, som står for Root Mean Square, er et udtryk for effektivværdien af strømmen eller spændingen ved en periodisk kurve. Det forholder sig sådan, at effekten afsat i en modstand ved en jævnspænding er identisk med effekten afsat i modstanden ved den samme værdi for den effektive vekselspænding. RMS-værdien er en gennemsnitsværdi, der kan skrives på følgende form:

$$I_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 \cdot dt}$$

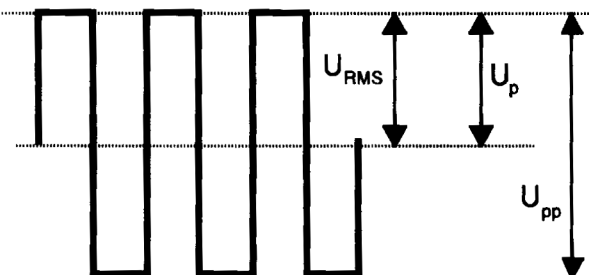
$$U_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 \cdot dt} \quad (\text{Udledes i Appendix B})$$



Figur 4. Af grafen herover fremgår RMS-værdien for et sinusformet signal.



Figur 5. Grafen viser størrelsen af middelværdien for et firkant-signal.



*Figur 6. RMS-værdien er for dette firkantsignal identisk med peak-værdien, da spændingen kun har max- og minimumsværdier.*

RMS bliver normalt brugt til opgivelse af AC-værdier. Derfor er de 230 V, som er vekselspændingen, der findes i almindelige stikkontakter, ikke en maksimumsspænding, men er lig med:

$$U_{rms} = \frac{u_m}{\sqrt{2}} \quad (\text{Udledes i Appendix B})$$

RMS bruges også i forbindelse med angivelse af effekt afsat i højttalere. Her bruges RMS som et udtryk for den gennemsnitseffekt, der afsættes, og som beskriver, hvor kraftig en højttaler er. Effekten, der ofte optræder sammen med forkortelsen RMS, kan ikke siges at være lig  $P_{RMS}$ , men er i stedet en middelværdi beregnet på basis af RMS værdierne  $U_{RMS}$  og  $I_{RMS}$ . Dvs. effekten udtrykkes således:

$$P = U_{RMS} \cdot I_{RMS}$$

RMS-effekten bliver i forbindelse med lyd målt efter forhold beskrevet i den tyske standard DIN 45500-6 kapitel 7, som er vedlagt som bilag 1. [B1] [B2]

### 3.4 PMPO

PMPO står for Peak Momentary Power Output og beskriver den effekt en forstærker i et højttalersystem kan yde i et kort tidsinterval (typisk 10 ms), idet man ser bort fra forvrængning. Til måling af PMPO skal et oscilloskop og en tonegenerator benyttes. En sinustone frembragt af tonegeneratoren sættes på forstærkerens indgang, mens oscilloskopet kobles til forstærkerens udgang. Der skrues helt op for forstærkeren, så forvrængningen bliver stor. Man måler med et oscilloskop den maksimale spænding som forstærkeren kan levere over en meget kort tidsperiode. Den maksimale effekt PMPO findes ved hjælp af nedenstående formel, idet højttalerens impedans er kendt:

$$p = \frac{u^2}{R}$$

[P1] (Se bilag 3)

### 3.5 Peak Power

Peak Power (PP) er en ældre måde at beskrive en forstærkers effekt på. I modsætning til RMS, der er en gennemsnitsværdi, er Peak Power en angivelse for en max-værdi, der forekommer for et periodisk signal. Derfor er omregningsfaktoren mellem RMS og Peak Power tallet to, i henhold til appendix B. Altså er:

$$P = 2 \cdot P_{pp}$$

Dette skyldes, at både  $u_p$  og  $i_p$  er  $\sqrt{2}$  større end RMS-værdierne for spænding og strøm. [N5]

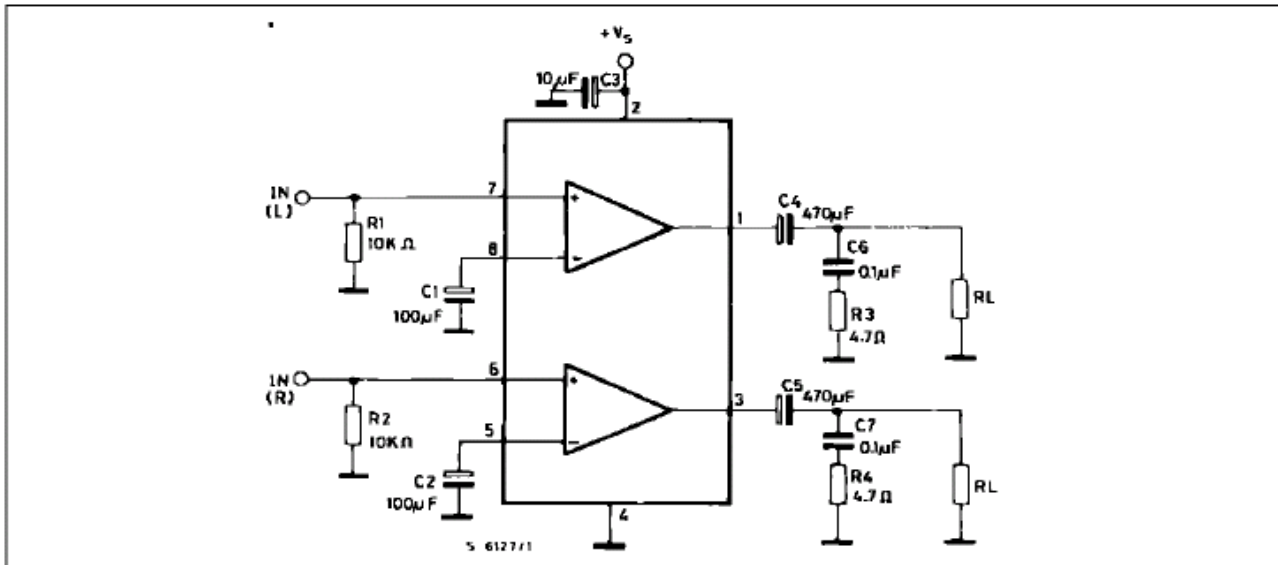
### 3.6 Forstærkerkreds

I forbindelse med projektet er indkøbt et højttalersæt, som bruges i en række forsøg, hvor effektværdien påtrykt emballagen ønskes påvist sammen med størrelsen af den reelle effekt. Højttalersættet har navnet "Cycon SP-163 Multimedia Speakers". Dette sæt består grundlæggende af en strømfor- syning med udgangsspændingen 15 V, et forstærkerprint samt to højttalerenheder. Forstærkeren i højttalersættet er bygget op om en forstærkerkreds kaldet TDA2822M. Denne komponent er en stereo forstærkerkreds med en forsyningsspænding på 9 V og en modstand  $R_L^4$ , højttalerens impedans, på 8  $\Omega$ . Kredsen kan levere en udgangseffekt på 1 W på begge kanaler ved en frekvens på 1 kHz og med en forvrængning på 10 %.

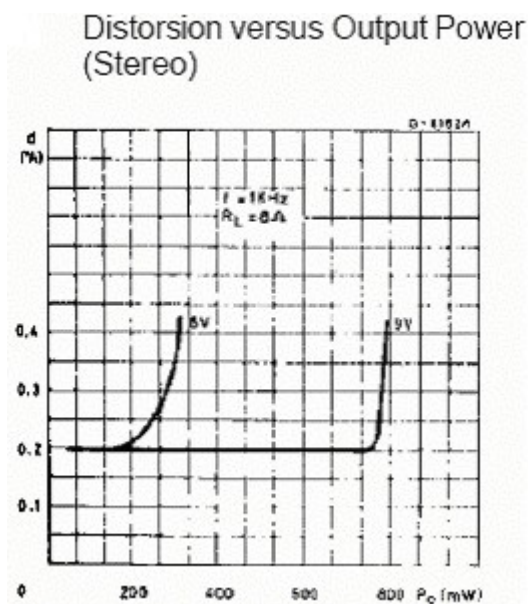
Højttalersættets forstærker er næsten bygget op på samme måde, som testopstillingen fra kredsens datablad viser. Derfor er databladets oplysninger brugt. Databladet til kredsen er vedlagt som bilag 2.

---

<sup>4</sup>  $R_L = R_{\text{Loudspeaker}}$



Figur 7. Viser den testopstilling, som er udgangspunktet for databladets resultater



Figur 8. Grafen viser sammenhængen mellem forvrængningen  $d$  og udgangseffekten  $P_o$ . Spændingen kan være vanskelig at aflæse, men er 6 V henholdsvis 9 V.

Overstående graf viser altså sammenhængen mellem udgangseffekten og forvrængningen. Heraf ses det, at forvrængningen ligger nede på 0,2 % op til en udgangseffekt på ca. 750 mW, med en forsyningsspænding på 9 V. Forstærkeren i højttalersættet har en forsyning på 15 V. Derfor vil forstærkerens udgangseffekt formegentligt være større end 750 mW, ligesom det er tilfældet ved forøgelsen fra 6 V til 9 V. Derfor forventes ved forsøget med højttalersættet, at en samlet udgangseffekt på ca. 1,5 W kan opnås.

## 4 Forsøgsbeskrivelse

### 4.1 Formål

Formålet med denne øvelse er at finde RMS-effekten for en højttaler samt at eftervise højttalersættets påtrykte PMPO-effekt. Derudover vil den frekvens, hvor den største effekt afsættes i højttaleren bestemmes. Dette gøres for at finde frem til, om en højere effekt afsættes i højttaler ved højere eller lavere frekvenser end 1 kHz.

### 4.2 Definition

#### 4.2.1 RMS

Sinus- eller RMS-effekten er den udgangseffekt, som en forstærker kan afgive ved en ren 1 kHz tone i mindst 10 min med under 0,5 % forvrængning, ifølge DIN 45500-6 kapitel 6 og 7.

Sinuseffekten kan beregnes således:

$$P = U_{rms} \cdot I_{rms} \quad (3)$$

$$P = \frac{U_{rms}^2}{R_L}$$

$$I_{rms} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad (4)$$

#### 4.2.2 PMPO

PMPO står for Peak Momentary Power Output og beskriver den effekt en forstærker i et højttalersystem kan yde i et kort tidsinterval (typisk 10 ms), idet man ser bort fra forvrængning.

### 4.3 Betegnelser

$p$  = Øjeblikseffekt

$P$  = Middeffekt

$u$  = Øjebliksspænding

$U$  = Middelspænding

$i$  = Øjebliksstrøm

$I$  = Middelstrøm

#### 4.4 Benævnelser

Effekterne  $P$  og  $P$  er opgivet i  $[W]$

Spændingerne  $u$  og  $U$  er opgivet i  $[V]$

Strømmene  $i$  og  $I$  er opgivet i  $[A]$

#### 4.5 Apparat

Oscilloskop, strømprobe og tonegenerator.

#### 4.6 Fremgangsmåde

Ved forsøg efterprøves ét produkts effektangivelse. Et sæt Cycon Multimedia Speakers SP-163 computerhøjttalere er indkøbt til formålet. For indkøbsprisen på godt 100 kr. får man ifølge emballagen et sæt stereohøjttaler med effekt på hele 360 watt PMPO. Vi ønsker ved udførsel af en række forsøg at finde højttalersættens RMS-effekt, samt prøve at finde frem til en peak-effekt. Dette gøres ved følgende forsøg:

1. Forsøg: Måling ved 1 kHz, da sinuseffekt måles ved netop denne frekvens.
2. Forsøg: Måling ved varierende frekvens fra 20 Hz til 20 kHz, for at finde frem til frekvensen, hvor den største effekt afsættes.
3. Forsøg: Måling ved afspilning af musik, for at finde frem til den i højttaleren afsatte effekt ved normal brug.

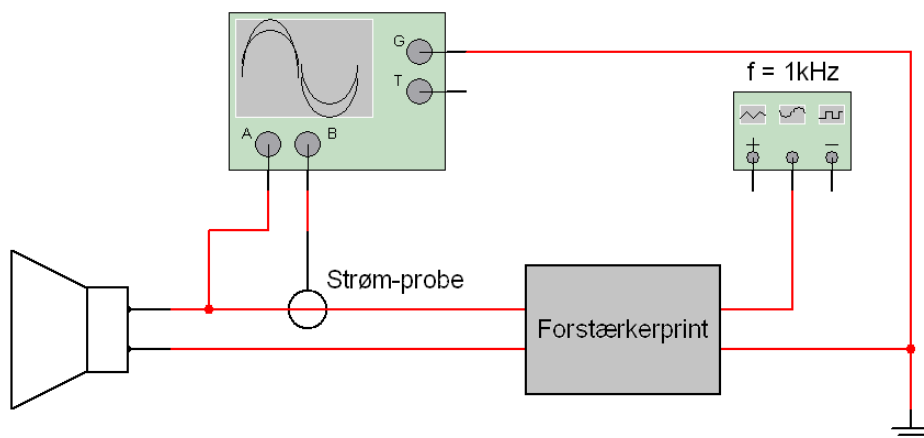
Ved forsøgene vil vekselspænding over en højttaler samt måling af strøm igennem højttaleren med probe blive målt. Disse to værdier måles i en længere tid og multipliceres, så øjeblikseffekten kan aflæses. Herudfra bestemmes en max-effekt.

Ved det første forsøg vil vi desuden bestemme RMS-værdien, som enten direkte måles med et oscilloskop eller som beregnes ud fra:  $P = U_{RMS} \cdot I_{RMS}$ .

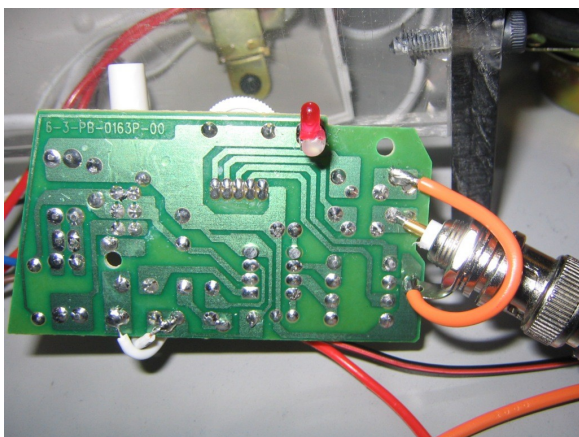
#### 4.7 Forsøgsopstillinger

##### 4.7.1 Forsøg 1

I forsøg 1 ønskes sinuseffekten bestemt. Derfor tilsluttes en tonegenerator med frekvensen 1 kHz til højttalersættets forstærkerprint. For at kunne udregne sinuseffekten måles spændingen over højttaleren og strømmen igennem højttaleren i et tidsrum på 10 min (i overensstemmelse med definitionen for RMS).  $I_{RMS}$  og  $U_{RMS}$  måles med et oscilloskop. Alternativt kan  $I_m$  og  $U_m$  måles, hvorefter formel (3) og (4) benyttes til udregning af effekten.



Figur 9. Viser opstilling anvendt i forsøg 1.

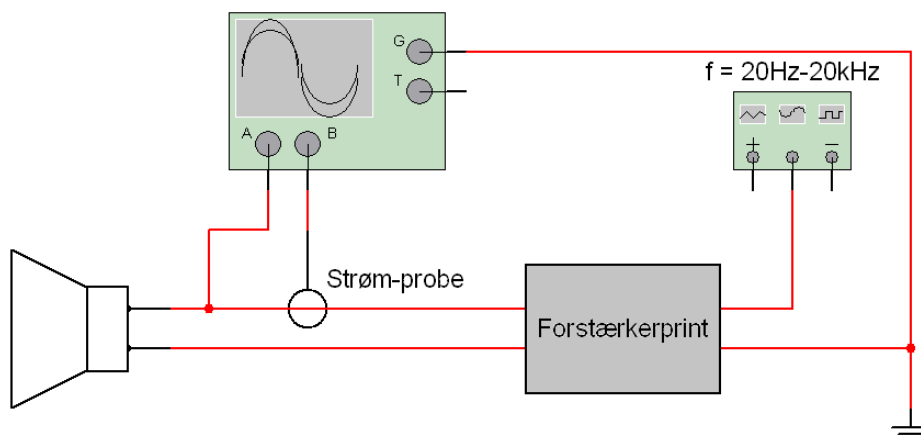


Figur 10. Højttalersættets forstærkerprint. Her er tilsluttet et skærmet BNC-kabel til indgangen i stedet for det oprindelige mini-jack-stik.

#### 4.7.2 Forsøg 2

I forsøg 2 ønskes max-effekten bestemt. Derfor tilsluttes en tonegenerator, hvor frekvensen varieres fra 20 Hz til 20 kHz. For at bestemme max-effekten måles strømmen og spændingen. Disse målinger gentages ved forskellige frekvenser og en graf med effekten som en funktion af frekvensen udarbejdes.

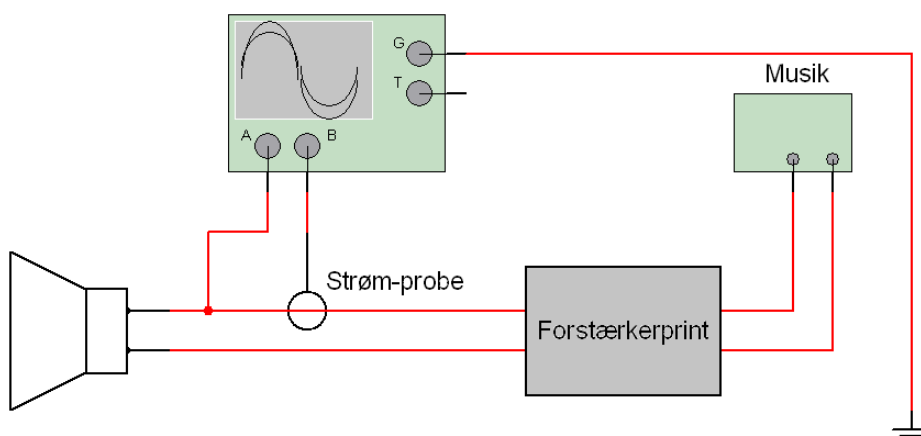




Figur 11. Viser opstilling anvendt i forsøg 2.

#### 4.7.3 Forsøg 3

I forsøg 3 ønskes at bestemme den effekt, der afsættes i højttaleren ved normal brug. Derfor afspilles musik på en computer tilsluttet højttalersættet. Spændingen over og strømmen igennem højttaleren måles.



Figur 12. Viser opstilling anvendt i forsøg 3.

## 4.8 Resultatbehandling

### 4.8.1 Forsøg 1

I forsøg 1 blev en sinustone på 1 kHz tilsluttet forstærkerens indgang. Der blev kun sat signal på højttalersættets ene indgang, idet der generelt ved forsøgene kun blev målt på én højttalerenhed. På højttalersættets volumenknop blev der skruet op, således signalet på udgangen lå lige under grænsen til at forvrænge. For en sikkerhedsskyld blev dette første forsøg opstillet og udført to gange, hvorfor der findes to dele. På oscilloskopet blev følgende RMS-værdier aflæst:

---

	Del 1	Del 2
$U_{RMS}$	2,76 V	2,76 V
$I_{RMS}$	0,276 A	0,274 A

Idet spændingen  $u(t)$  og strømmen  $i(t)$  har samme fase, kan effekten, der afsættes i højtaleren, bestemmes således:

$$P = U_{RMS} \cdot I_{RMS}$$

Det giver:

$$P_1 = 2,76 \text{ V} \cdot 0,276 \text{ A}$$

$$P_1 = 0,762 \text{ W}$$

$$P_2 = 2,76 \text{ V} \cdot 0,274 \text{ A}$$

$$P_2 = 0,756 \text{ W}$$

Et færdigt skema over resultaterne ser således ud:

	$U_{RMS}$	$I_{RMS}$	$P$
<b>Del 1</b>	2,76 V	0,276 A	0,762 W
<b>Del 2</b>	2,76 V	0,274 A	0,756 W

I afsnittet "Forstærkerkreds" blev det vist, at databladet for højttalersættets forstærkerkreds ved 9 V og en forvrængning på kun 0,2 % kan levere en udgangseffekt på ca. 750 mW. Databladet viser ikke data ved en forsyningsspænding på 15 V, som højttalersættet forsynes med, men måleresultaterne samt opslaget i databladet viser sig at ligge tæt på hinanden. Idet højttalersættet er i stereo og derfor består af to enheder, kan den fundne værdi multipliceres med 2, da databladet foreskriver, at samme effekt kan opnås på begge kanaler. Samlet set kan højttalersættet yde en RMS-effekt svarende til:

$$P_{set} = 2 \cdot 0,762W$$

$$\underline{\underline{P_{set} = 1,524 W}}$$

Det kan ses på figur 8, at en udgangseffekt på 750 mW kan opnås på begge kanaler uden betydelig forvrængning. Dermed er den af databladet forventede effekt opnået.

#### 4.8.2 Forsøg 2

I forsøg 2 blev peak-peak spændingen  $u_{pp}$  samt peak-peak strømmen  $i_{pp}$  målt ved 6 forskellige frekvenser mellem 20 Hz og 20.000 Hz. Med en tonegenerator blev frembragt toner med forskellige frekvenser. Tonegeneratoren blev tilsluttet højttalersættets indgang. Med en kombination af forøgelse af amplituden på tonegeneratoren samt øget volumen på højttalersættets forstærkerkreds, blev der ganske kort skruet helt op, således den maksimale værdi af  $u_{pp}$  og  $i_{pp}$  blev målt. Da en peak-peak-værdi skal divideres med 2 for at få en peak-værdi, er dette gjort i nedenstående tabel, hvor også forsøgsresultaterne er vist. Ydermere er effekt beregnet og indsat:

$f$	$u_{pp}$	$i_{pp}$	$u_p$	$i_p$	$P_1$	$P_2$
<b>20 Hz</b>	16,8 V	0,840 A	8,4 V	0,420 A	7,06 W	17,64 W
<b>200 Hz</b>	13,6 V	0,750A	6,8 V	0,375 A	5,10 W	11,56 W
<b>500 Hz</b>	14,6 V	0,650A	7,3 V	0,325 A	4,75 W	13,32 W
<b>1000 Hz</b>	14,2 V	0,700A	7,1 V	0,350 A	4,97 W	12,60 W
<b>5000 Hz</b>	15,6 V	0,810 A	7,8 V	0,405 A	6,42 W	15,21 W

<b>20000 Hz</b>	14,2 V	0,810 A	7,1 V	0,405 A	5,75 W	12,60 W
-----------------	--------	---------	-------	---------	--------	---------

I kolonnen, hvor  $p_1$  figurerer, er denne effekt udregnet således:

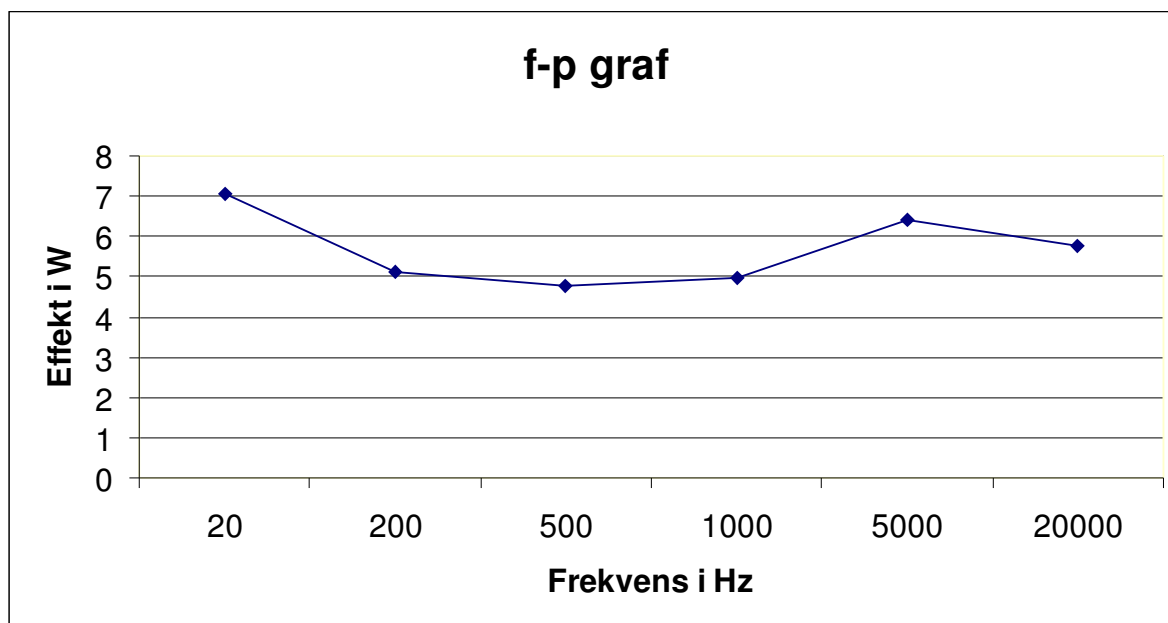
$$p = i_p \cdot u_p$$

I kolonnen, hvor  $p_2$  figurerer, er denne effekt udregnet således:

$$p = \frac{u_p^2}{R}$$

Disse to metoder til udregning af effekten giver noget forskellige resultater, hvilket ses af skemaet. Det skyldes, at impedansen ændrer sig med frekvensen. Derfor er den i  $p_1$  brugte metode den korrekte måde, at udregne effekten på. Effektdudregningen  $p_2$  er medtaget, da vi formoder, at denne udregningsmetode er anvendt til nogle effektangivelser for simpelthen at opnå en højere værdi.

Herunder ses en graf, hvor den beregnede effekt er afbildet som en funktion af frekvensen:



Figur 13. Effekten afbildet som en funktion af frekvensen

Figur 13 viser, at den højeste effekt opnås ved en lav frekvens.

### 4.8.3 Forsøg 3

I forsøg 3 blev effekten, der afsættes i højttaleren ved normal brug, målt. Højttalersættet blev tilsluttet en computer, hvorefter der blev afspillet musik på computeren. Signalet fra computeren blev forstærket så meget, at lyden netop ikke forvrængede. Spændingen over og strømmen igennem højttaleren blev målt på et oscilloskop, hvilket gav:

	Med forvrængning	Uden forvrængning
$u_{pp}$	10,2 V	8,2 V
$I_{pp}$	0,810 A	0,720 A

Herunder er de beregnede effekter for max- og middelværdi indsat.

	Med forvrængning	Uden forvrængning
$u_{pp}$	10,2 V	8,2 V
$i_{pp}$	0,810 A	0,720 A
$p$	4,13 W	2,95 W
$P$	2,07 W	1,48 W

Effekterne er udregnet således (der ganges med to, da der er to højttalerenheder i sættet):

$$p = \frac{u_{pp}}{2} \cdot \frac{i_{pp}}{2} \cdot 2 \hat{=}$$

$$p = \frac{u_{pp} \cdot i_{pp}}{2}$$

$$P = \frac{u_{pp}}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot \frac{i_{pp}}{2 \cdot \sqrt{2}} \cdot 2 \hat{=}$$

$$P = \frac{u_{pp} \cdot i_{pp}}{4}$$

Igen ser vi, at den effektive værdi uden forvrængning ligger omkring 1,5 W, som fundet i forsøg 1.

### 4.9 Vurdering

Det første forsøg gav de, i henhold til databladet, ventede resultater, da der i databladet er opgivet en max-effekt ved 9 V, med en støj på 0,2 %, på 0,750 W pr. kanal.

Ved det andet forsøg ønskedes højttalersættets påtrykte PMPO-effekt eftervist. Dette lykkedes ikke. Målingerne viste et maksimum på 7,06 W, hvilket er noget lavere end de 360 W, som var den påtrykte værdi. Højttalersættet brændte dog ikke af under forsøget, så det absolutte max-værdi blev ikke opnået, hvilket skal ske ved måling af PMPO. Det tredje forsøg viste resultater, der ligger tæt på resultaterne fra forsøg 1. Her blev opnået en effekt på 1,48 W.

#### 4.10 Fejkilder

I forbindelse med forsøgene kan følgende fejlkilder have haft indflydelse på de målte resultater. En af disse fejlkilder var indstilling af instrumenterne. Dette skabte problemer, da strømproben ikke kunne tilsluttes direkte til oscilloskopet. Derfor skulle strømmålingen indstilles på to apparater, hvilket kan have fremkaldt fejl. Derudover var der også støj på systemet. Denne støj fremkom, da ikke alle ledningerne var skærmede.

### 5 Konklusion

Ved belysning af højttalerproducenternes effektværdier fremgår det, at producenterne benytter effektværdier, der er defineret forskelligt. Værdier, der er defineret vidt forskelligt, kan ikke sammenlignes, og man kan ikke regne fra én værdi til en anden.

RMS er en effektangivelse, der bliver målt uden støj, i henhold til DIN 45500-6 kapitel 6 og 7. Peak Power er en effektangivelse, der svarer til dobbelte RMS-effekten. Derfor er det muligt at regne mellem Peak Power og RMS-effekt. Den sidste effektangivelsesform, som er undersøgt i denne rapport, er PMPO. PMPO svarer til Peak Power, men her er der ikke taget højde for forvrængning. Derudover er testens varighed kun 10 ms, hvorimod varigheden af testene for RMS og Peak Power er 10 min. Det er derfor ikke muligt at omregne PMPO-effekten til nogen anden effekttype.

Ifølge DIN 45500-6 kapitel 7 skal et højttalersæt, der har en mærke-udgangseffekt, have en udgangseffekt  $P \geq 10$  W per kanal. Derfor har højttalerproducenter, hvis højttalersæt har en effekt, der er under 10 W per kanal, ikke mulighed for at bruge DIN 45500 standarden til opgivelse af effekten for deres højttalersæt. Derfor er de nødt til på anden vis at opgive effekten. Den opgivelsesform, eks PMPO, som visse højttalerproducenter bruger, kan man dog diskutere anvendeligheden af, da den opgivne effekt ikke kan opnås ved normal brug.

## 6 Kildehenvisninger

I forbindelse med udarbejdelsen af rapporten er følgende kilder og litteratur benyttet:

### Bøger

- [B1] Eddy Bøgh Brixen © 2001: "LYD - niveau & visning"  
ISBN 87-987116-0-1
- [B2] Johnson, Johnson & Hillburn © 1992: "Electric Circuit Analysis"  
ISBN 0-13-249335-7

### Elektronisk opslagsværk

- [E1] Lademanns Leksikon 2003

### Netadresser

- [N1] Artikel af Poul Tvilum: Højttalere på skrump, Jyllandsposten d. 18/8 2004  
<http://www.jp.dk/arkiv:aid=2567688>
- [N2] Hi-Fi klubbens produktkatalog 2005  
[http://www.hifiklubben.dk/files/Kat2005\\_DK\\_net.pdf](http://www.hifiklubben.dk/files/Kat2005_DK_net.pdf)
- [N3] HowStuffWorks.com  
<http://electronics.howstuffworks.com/speaker.htm/printable>
- [N4] TheFreeDictionary.com  
<http://encyclopedia.thefreedictionary.com/Loudspeaker>
- [N5] Basic car audio electronics  
<http://www.bcae1.com/voltages.htm>

### Person

- [P1] Daniel Emonts.  
Akustik-ingeniør tilknyttet Altec Lansing.