

## KAPITEL 1

## FREKVENNS OG TONER

INDHOLD:		LÆRER- SIDER	ELEV- SIDER
FT 1	Vi bygger en astabil multivibrator på sømbræt .....	L 2	E 1
FT 2	Vi skifter modstandene ud .....	L 4	E 3
	Nogle faglige bemærkninger om AMV'ens frekvens .....	L 5	
FT 3	Vi skifter kondensatorerne ud .....	L 9	E 5
FT 4	Vi frembringer toner .....	L 10	E 6
FT 5	Vi efterligner lyde og laver et musikinstrument .....	L 13	E 8
	Sådan virker den astabile multivibrator .....	L 16	

FT 1

## VI BYGGER EN ASTABIL MULTIVIBRATOR PÅ SØMBRÆT

AMV'en er valgt som første opstilling, bl.a. fordi den er let at bygge og virker med det samme, hvis komponenterne er anbragt rigtigt, og lodningerne er af nogenlunde kvalitet. Samtidig synes eleverne, at den er sjov, fordi "den kan noget".

Udlevér en kopi af AMV-diagrammet side 2 i elevhæftet til hvert elevhold (kopieringssider i "Teknisk appendix"). Prøv at lade eleverne arbejde sammen 2 og 2 i laboratoriet. Det har den fordel, at de kan tale sammen om eksperimenterne, give hinanden ideer, og hjælpe hinanden med at holde, når der loddes.

Instruktionen af eleverne bør være meget kortfattet - noget i retning af: "Dette er en transistor, og den skal anbringes sådan" etc. Brug ikke mere end 15-20 minutter til at give eleverne en regulær brugsanvisning på, hvordan man gør! Sørg for, at eleverne forstår, at de ikke må klippe noget af komponenternes trådender (de skal jo kunne bruges igen), og hold øje med dette, når de starter i laboratoriet.

Lad være med at fortælle for meget om lodning. Det er alligevel noget man kun kan lære ved at gøre det. Gå rundt til de enkelte hold, når sømmene er banket i, og vis dem hvordan man gør: Først fortinne sømhovedet. Hold spidsen af kolben (med lidt tin på) under sømhovedet og kom først med tinnets, når sømmet er varmt. Kom så tin på trådene, og smelt tråden fast ved sømhovedet. Iagttag jævnligt elevernes loddeteknik og sørg for, at de fra starten får gode loddevaner. En traditionel fejl er, at de kommer en stor klat tin på kolben, og så prøver ligesom at klistre de to emner sammen.

Hvis en AMV ikke straks fungerer, så prøv følgende:

1. Er transistorerne vendt rigtigt?
2. Er elektrolytkondensatorerne vendt rigtigt?

3. Er der dårlige lodninger? Tag fat i ledninger og trådender, og rusk i dem.

Erfaringsmæssigt er dette de hyppigste fejlkilder!

Vi foreslår, at man bruger batterier (2 x 4.5V) til drift af opstillingerne, så langt det er muligt.

Hvis man anvender jævnspændingen i elevbordene, skal man være opmærksom på, at flere AMV'er kan synkronisere hinanden (blinke i samme takt, selvom de burde køre forskelligt). Prøv at anbringe 1000  $\mu$ F tværs over bordklemmerne.

Vi har valgt transistoren BC 547 B, fordi den - mens dette skrives - er en af de billigste standardtransistorer på markedet. Den kan umiddelbart erstattes af et stort antal transistorer med andre typebetegnelser, f.eks. BC 107,8,9. - BC 171,72,73. - BC 237,38,39. - BC 546,48,49,50. I tidsskriftet "Elector" (f.eks. nr. 9, januar 1976) findes en fortegnelse over anvendelige transistorer (kaldet TUN = Transistor Universal NPN). Se yderligere TA 5 i "Teknisk appendix".

Kun et par steder i dette program skal eleverne anvende en PNP transistor. Vi har derfor valgt at forsøge at gøre eleverne fortrolige med den almindeligste NPN-type og foreslår, at man slet ikke omtaler typeforskellene, og i hvert fald venter med det til PNP-typen optræder.

Endelig en bemærkning om plus, minus og nul: Eleverne møder i 8. klasse med lidet anvendelige begreber om strøm og spænding. Vi har valgt i almindelighed at benytte den "nederste" ledning i diagrammerne som reference for spænding, dvs. som 0 V. Herved får den "øverste" ledning spændingen +9 V. Prøv at få eleverne til efterhånden at opfatte nul-ledningen som et referencepunkt - som det sted, vi altid måler spændingsforskelle fra. Dette skal føre frem imod, at vi senere kan tale om spændinger i forskellige punkter i kredsen - med nul som underforstået reference.

FT 2

## VI SKIFTER MODSTANDENE UD

Nu skal eleverne til at eksperimentere! Den langsomme AMV er her uovertruffen, fordi eleverne uden brug af måleapparater umiddelbart kan se på pærerne, hvilken indflydelse resistanserne har på frekvensen.

Der er herigennem lagt op til elevernes første uformelle møde med begrebet "signal" og med begrebet "frekvens", som de kan måle simpelthen ved at tælle blink pr. minut.

Ved at udskifte basismodstandene får de fleste elever ret hurtigt hold på AMV'en i den forstand, at de selv kan begynde at bestemme, hvad den skal kunne.

Gættefasen er vigtig, idet eleverne her selv skal forsøge at systematisere, generalisere og derefter anvende en eksperimentelt erhvervet viden, med umiddelbar kontrol af om deres tankegang var rigtig.

Vi spørger nu, om eleverne kan "ramme" en bestemt frekvens (et bestemt antal blink pr. minut).

Nogle elever vil her bede om "skæve" modstandsværdier. Benyt lejligheden til en snak med disse elever om standardværdier, og led deres tanker hen på serie- og parallelforbindelser. Lad dem derefter selv prøve sig frem, og grib kun ind, hvis det ser ud til at gå helt galt.

Til de elever, der insisterer på at ramme den forlangte frekvens helt nøjagtigt, udleverer man en variabel modstand (trimmer eller potentiometer) med en kort besked om, hvad det er. Derefter må eleven selv prøve at klare resten.

Lad være med at forlange, at eleverne skal lære modstandenes farvekode udenad. Det er gold viden, der glemmes, hvis man ikke bruger den hver dag. Tag eventuelt nogle kopier af side E 4, og hæng dem op på strategiske steder i lokalet.



Hvis nogle elever får den idé at bruge basismodstande med forskellige resistanser, er det en god idé blot at lade dem prøve, i stedet for at fortælle dem, hvad der vil ske. Sørg så til gengæld for, at eleverne kommer til at "stå til regnskab" for deres forsøg ved at forlange, at de gør sig klart, hvad der sker. Vær generelt så imødekommende som muligt overfor elevernes egne ideer - det er under arbejdet med disse, at de virkelig lærer selv at formulere problemer, og til at komme med forslag til deres løsninger, når de spørger om noget. Hvis f.eks. en elev spørger, om man kan bruge en variabel modstand, - så giv ham en, og lad ham prøve sig frem. Det samme gælder, hvis nogen allerede her begynder at tale om toner og højttalere.

Arbejdet med FT 2 giver eleverne en række tal, der er velegnede som udgangspunkt for samtaler.

Man kan f.eks. lave et skema på tavlen, og lade eleverne notere deres resultater i skemaet.

På side 6 er vist et skema, hvor 2 elektronikhold (14 elevhold) har noteret deres resultater.

Eleverne er almindeligvis også interesserede i de andre holds resultater, og diskuterer dem uopfordret.

Skemaet kan også bruges som grundlag for klassesamtaler, som helt naturligt vil komme til at dreje sig om sammenhængen mellem resistans og frekvens, om komponenttolerancer og om serie- og parallelforbindelser, ligesom elever, der har fundet på spændende eller særprægede løsninger, får lejlighed til at fortælle om, hvad de har gjort.

Sådanne samtaler vil med fordel kunne anvendes i begyndelsen af undervisningsforløbet, men vil senere, når spredningen mellem elevernes standpunkter bliver større, være mindre hensigtsmæssige.

#### Nogle faglige bemærkninger:

For en symmetrisk AMV ( $R_1=R_2=R$  og  $C_1=C_2=C$ ), kan frekvensen tilnærmest beregnes ved:

$$f = \frac{1}{1,4 \cdot R \cdot C}$$

Med  $R = 10 \text{ k}\Omega$  og  $C = 100 \text{ }\mu\text{F}$  fås  $f = 0.71 \text{ Hz}$  svarende til 43 blink pr. minut i én af pærerne.

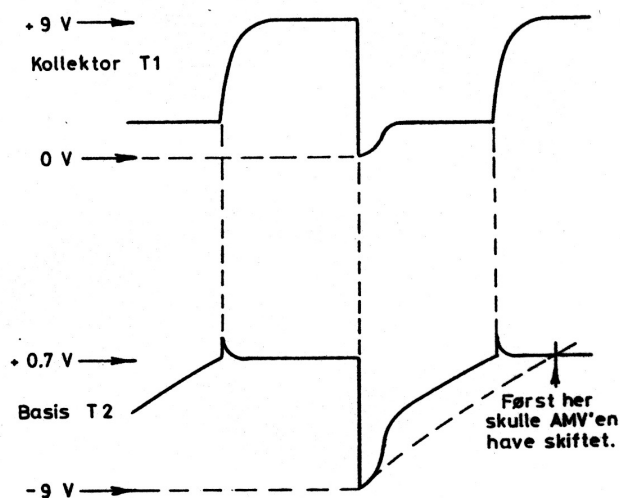
	$C_1 = C_2 = 100 \mu\text{F}$		$R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ Blink pr. minut		$R_1 = R_2 = 4,7 \text{ k}\Omega$ Blink pr. minut		$R_1 = R_2 = 2,2 \text{ k}\Omega$ Blink pr. minut		$R_1 = R_2 = 22 \text{ k}\Omega$ Blink pr. minut		50 blink pr. minut	
	Målt	Målt	Gæt	Målt	Gæt	Målt	Forslag til modstande	Antal blink pr. minut (målt)				
Michael Morten	30	59	100	133	15	14						
Lars Michael	32	60	125	120	14	14	Haltende AMV 6,8 k $\Omega$ 4,7 k $\Omega$	49				
Erling Bo	30	62	120	128	15	14	6,8 k $\Omega$	44				
Kim Harm	31	62	130	134	10	14	3,3 k $\Omega$	70				
Morten Jan	32	62	120	124	14	15	2,2 k $\Omega$ + 3,3 k $\Omega$ (serie)	50				
Allan Jan	30	62	124	138	12	13	6,8 k $\Omega$	42				
Lars Bent	31	64	120	126	15	16	6,8 k $\Omega$	46				
Morten Peter	31	62	124	144	15	15	2,2 k $\Omega$ + 3,3 k $\Omega$ (serie)	50				
Anne Helle	30	60	125	132	13	14	6,8 k $\Omega$	43				
Steen Morten	32	64	140	140	15	14	3,3 k $\Omega$ + 1,5 k $\Omega$ (serie)	56				
Christian Christian	32	62	124	127	15	15	4,7 k $\Omega$ + 1,5 k $\Omega$ (serie)	49				
Erik Morten	31	62	124	126	12	14	6,8 k $\Omega$	42				
Stig Jeppe	37	71	140	127	12	14	Haltende AMV 6,8 k $\Omega$ 4,7 k $\Omega$	49				
Søren Lars	32	64	128	140	15	15	4,7 k $\Omega$ + 1,5 k $\Omega$ (serie)	49				

Alle eleverne måler (side L 6) væsentligt lavere frekvens, nemlig omkring 31 blink/minut ( $0.52 \text{ Hz}$ ). De anvendte modstande har  $\pm 5\%$  tolerance, og afvigelsen kan måske skyldes, at kondensatorerne afviger betragteligt fra den nominelle værdi. Indsættes  $C = 140 \mu\text{F}$  i formlen i stedet for  $100 \mu\text{F}$ , forklares resultaterne. Dette ligger inden for tolerancen på standardkondensatorerne:  $-10\%$  til  $+100\%$ . At elevernes resultater alligevel er så ensartede, kan måske forklares ved, at kondensatorerne stammer fra samme "sending" (?).

Når  $R$  gøres større, bliver frekvensen i almindelighed højere, end man umiddelbart ville forvente.

Dette skyldes, at transistorerne - med pærer som kollektormodstande - ikke lukker helt op, når basismodstandene bliver store, og basisstrømmene dermed tilsvarende små. Med  $R = 22 \text{ k}\Omega$  kan kurveformen se ud som vist på skitsen.

Øverst ses kurveformen på kollektoren på én af transistorerne, og nederst kurveformen på basis af den anden transistor. Med endnu større værdi af  $R$  lukker transistorerne endnu mindre op, og afvigelserne fra den forventede frekvens bliver større. Afhængigt af transistorerne vil man undertiden kunne se begyndelsen til de viste kurveformer allerede ved  $R = 10 \text{ k}\Omega$ . En kurveform som på skitsen, vil på AMV'ens pærer ytre sig ved, at de først lyser kraftigt op, og derefter holder en mindre, men konstant lysstyrke indtil næste skifte, jfr. iøvrigt TA 5.



Disse forhold har naturligvis ingen væsentlig betydning for opgaven og dens resultater, men bør holdes i erindring, hvis f.eks. en elev - ved at anvende meget store basismodstande - ikke kan få en meget langsom AMV til at fungere.

Tilsvarende viser det sig, at hvis man anvender for små basismodstande, lukker begge transistorer op samtidig (dvs. begge pærer lyser). Det billede, vi forsøger at give eleverne af AMV'en, har således et begrænset gyldighedsområde, der kan udtrykkes ved:

$$\text{ca. } 1 \text{ k}\Omega \leq R \leq \text{ca. } 22 \text{ k}\Omega.$$

I sidste kolonne på side L 6 har nogle elever valgt at gøre AMV'en usymmetrisk ("haltende"). Den teoretiske frekvens er her:

$$f = \frac{1}{0,7(R_1C_1 + R_2C_2)}$$

Man vil igen kunne se, at de målte og beregnede frekvenser stemmer udmærket overens, hvis man antager, at  $C_1 = C_2$  ca.  $140 \mu\text{F}$  i stedet for  $100 \mu\text{F}$ .

Bemærk endelig, at  $f = 60$  blink/minut ( $1 \text{ Hz}$ ) måske kan inspirere elever, der tænker på digitalure!

FT 3

## VI SKIFTER KONDENSATORERNE UD

I denne opgave beholder man hele tiden de samme basismodstande (10 k $\Omega$ ). Eleverne udskifter kondensatorerne efter samme retningslinier, som de udskiftede modstande i FT 2, idet de angivne kapacitanser dog stadig holder frekvensen så lav, at man kan tælle blinkene. Der er stadig tale om elektrolytkondensatorer, der skal poles rigtigt.

Det er set, at AMV'en fungerer, selv om kondensatorerne er vendt forkert, men med en frekvens, der afviger meget fra den forventede.

Nogle elever kan efter denne opgave have behov for en stærkere udfordring. Prøv f.eks. følgende:

*Når  $R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$ , og  $C_1 = C_2 = 100 \text{ }\mu\text{F}$ , blinker en pære i din AMV \_\_\_\_\_ gange pr. minut.*

*Kan du finde andre sæt af modstande og kondensatorer, der giver det samme antal blink pr. minut?*

I denne opgave sammenfattes elevernes erfaringer fra FT 2 og FT 3, og man kan overveje at drøfte begrebet tidskonstant med nogle af eleverne.

Der kan på dette tidspunkt vise sig tegn på "loddetræthed" hos enkelte elever. Det er for besværligt hele tiden at lodde komponenterne af og på, og man opfinder derfor sindrige monteringsmetoder som f.eks. at hæfte komponenterne på med krokodillensøb, at sno trådenderne fast omkring sømmene etc.

Prøv at undgå sådanne metoder. Fortæl eleverne, at selvom det måske fungerer lige nu, kan der ske så mange uventede ting i en elektronisk kreds, at det, der måtte stamme fra dårlige elektriske forbindelser, på forhånd skal udelukkes. Det betaler sig at holde en vis, professionel standard!

FT 4

## VI FREMBRINGER TONER

I denne opgave anvendes begreberne "frekvens" og "svingninger", og eleverne møder enhederne "nF" og "Hz".

Undgå at forklare begreberne ved klassegennemgang, men forsøg at lade eleverne selv få indhold i dem gennem arbejdet med opgaven, og giv de enkelte elever den nødvendige hjælp til at komme over de uforståelige punkter.

Prøv at få de elever, der magter det, til at give et bud på, hvor mange blink pr. minut der vil komme med 680 nF, inden de prøver det. Har de nogen idé om, hvor hurtige blink øjet kan skelne? (Film, TV-billeder).

Hvordan kan man nu overhovedet vide, at AMV'en stadig fungerer, man kan jo ikke se pærerne blinke?

Oscilloskopet kan her indføres - ikke som et egentligt måleapparat - men som en indretning, der kan bruges, når man skal se på signaler.

AMV'ens frekvens måles på en frekvenstæller. De fleste skoler har nu en tæller, der kan bruges (f.eks. fra Impo eller Søren Frederiksen, eller måske en "rigtig" frekvenstæller). Vis eleverne, hvordan man bruger apparatet, eventuelt ved at de "følger med", når en langsom AMV tilsluttes, og lad dem tælle over 10 sekunder.

Det er bekvemt at have mere end én tæller til rådighed for eleverne, og man kan da selv fremstille det nødvendige antal efter et modulsystem, der passer til - og anvendes i - kapitlet "Elektronisk tælling". På side L 177 er der en byggevejledning.

Frekvens defineres som "svingninger pr. tid". Enheden 1 hertz (1 Hz) er 1 svingning pr. sekund (= 60 svingninger pr. minut). Blink pr. minut - eller pr. 10 sekunder - er således også et udtryk for frekvensen, blot ikke målt i Hz. I et forsøg på at holde elevernes begreber nogenlunde klare, har vi - uden dog at sige det helt skarpt - ladet frekvens og hertz høre sammen.

Til sidst skal vi omtale tilslutning af en højttaler til AMV'en:

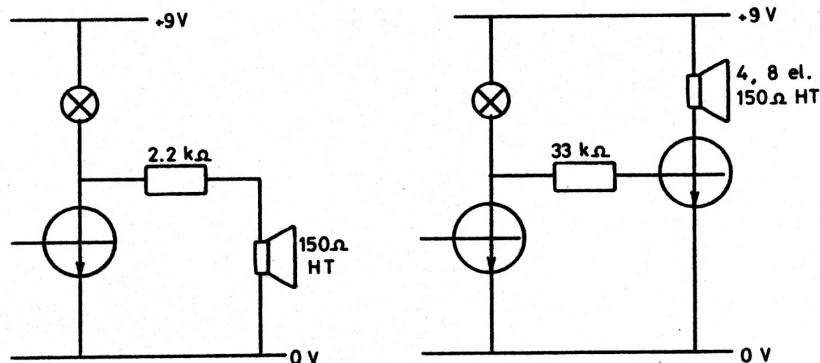
Det væsentlige er her, at eleverne indser, at man ikke ukritisk kan gøre hvad som helst. AMV og højttaler skal passe sammen. Et



af formålene med denne sekvens er at give eleverne en (omend meget løs) fornemmelse af begrebet udgangsmodstand (-impedans).

Når en højttaler sluttes til AMV'ens udgang, kan man for det første konstatere, at man nu kan høre svingningerne. Øret kan altså nu i nogen grad erstatte øjet som detektor for svingninger. For det andet ser man, at pærerne lyser anderledes, når højttaleren tilsluttes. Vi ændrer altså AMV'en, når vi tilslutter højttaleren, og for at undgå dette, må højttaleren "tilpasses" AMV'en.

I opstillingen nedenfor til venstre afsættes det meste af effekten i  $2.2 \text{ k}\Omega$  modstanden, dvs. lydstyrken bliver lille. Til gengæld ændres AMV'ens frekvens næsten ikke (typisk 2%). I opstillingen til højre bruger vi et højttalerdrivtrin, der ikke belaster AMV'en, og som samtidig giver kraftig lyd (hvilket ikke altid er en fordel i klassen!).



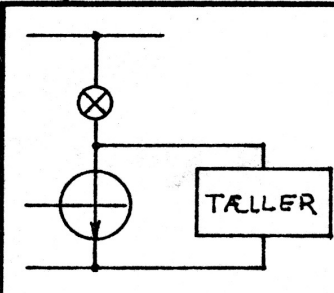
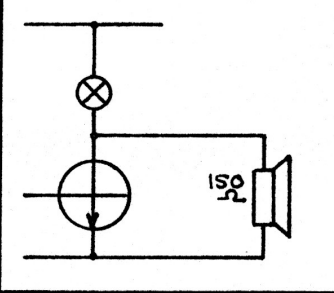
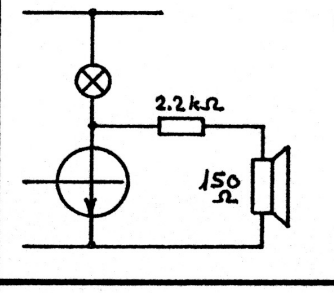
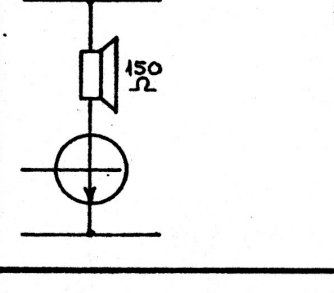
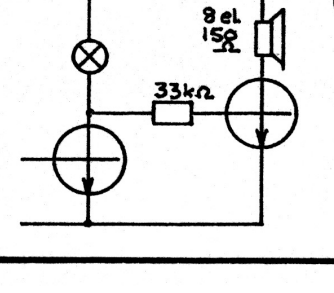
Man vil udmærket kunne belyse forskellige muligheder for højttalertilslutninger gennem en elevopgave, der f.eks. kan have følgende forløb:

Eleverne måler AMV'ens frekvens (ubelastet). Derefter enes man om, hvilke tilslutningsmuligheder, man ønsker at undersøge. Tilslutningerne etableres, og for hver tilslutning måles frekvensen.

På side L 12 er der givet nogle resultater fra en sådan elevundersøgelse. Tal som disse vil kunne bruges som grundlag for samtaler med eleverne om, at "tingene skal passe sammen", en samtale, som vil kunne fortsættes i forbindelse med FT 5, hvis man kobler alle AMV'er sammen til et musikinstrument.

AMV frekvens. Målt med frekvens-tælleren anbragt over højttaleren i tilfældene 2-5.

$R_1 = R_2 = 10 \text{ k}\Omega$   
 $C_1 = C_2 = 470 \text{ nF}$

	Hold 1	Hold 2	Hold 3	Hold 4	Hold 5	Hold 6
 <p>1</p>	146 Hz	145 Hz	153 Hz	155 Hz	148 Hz	151 Hz
 <p>2</p>	171 Hz	182 Hz	186 Hz	194 Hz	192 Hz	195 Hz
 <p>3</p>	150 Hz	146 Hz	154 Hz	158 Hz	156 Hz	153 Hz
 <p>4</p>	192 Hz	184 Hz	183 Hz	204 Hz	213 Hz	190 Hz
 <p>5</p>	145 Hz	148 Hz	156 Hz	149 Hz	138 Hz	149 Hz

FT.5

## VI EFTERLIGNER LYDE OG LAGER ET MUSIKINSTRUMENT

I denne opstilling kan man ikke beregne frekvensen ud fra formelen side L 5, og AMV'en svinger ikke længere "pænt firkantet". Det spiller imidlertid ingen rolle her, hvor det blot drejer sig om at få toner med en bestemt frekvens frem, - om det lyder som et horn eller en klarinet er underordnet.

Med de angivne komponenter er det typiske frekvensområde (fundet eksperimentelt) fra 150 Hz til 700 Hz.

Jo større resistans, der drejes ind med 10 k $\Omega$  potentiometeret, jo mere forvrænget bliver kurveformen.

Det kan være ret svært at indstille de højere frekvenser nøjagtigt, idet selv en lille ændring af potentiometeret giver en stor ændring i frekvensen, når den variable modstand er drejet næsten ud. Selv med "køkkenbordstælleren" fra kapitel 5 er det dog i alle tilfælde muligt at indstille frekvensen indenfor de par procent, der skal til for at få "instrumentet" til at lyde nogenlunde i stemning.

Man kan i løbet af denne opgave drøfte begrebet "tonekarakter" med eleverne - eventuelt som et fællesforsøg: Brug f.eks. UF 1 forstærkeren som monitorforstærker, og lad eleverne se signalet over højttaleren, mens de lytter til det. Prøv først at sende en ren sinus ind, og bemærk dens "flade" karakter i sammenligning med de mere "spændende" toner fra AMV'en. Prøv også at lytte til sinus'en, når forstærkningen drejes op til overstyring.

Der er et ret stort spillerum for ideer i denne opgave, f.eks. fra en vurdering af, hvad frekvensen af en fiskekutter mon er, til "-hvor høje toner kan jeg høre"? Eleverne har de nødvendige forudsætninger for selvstændigt at angribe problemerne, og man bør give dem den nødvendige frihed til, at de - hvis de kommer med ideer af denne eller lignende art - kan anvende deres viden, og prøve kræfter med et sådant problem.

Man kan bemærke, at AMV'ens kurveform ændres noget, når en højttaler tilsluttes som vist side L 12, nr. 3, dvs. overtoneindholdet og dermed tonekarakteren ændres. Selvom tilslutningsmulighed nr. 5 giver den kraftigste tone, kan det derfor godt være, at nr. 3 simulerer den ønskede lyd bedst. Det må afgøres ved eksperimenter fra situation til situation.

"Ambulancelyden" reproduceres ganske godt med en "lille terts" (f.eks. E - G). For at finde frekvensen af toner, der ikke er angivet på side E 9, må man huske, at forholdet mellem frekvenserne af to nabotoner ( $\frac{1}{2}$  tones afstand) er  $\sqrt[12]{2} = \text{ca. } 1.0595$ . Dvs. at frekvensen af tonen E<sub>s</sub> er:

$$f_{E_s} = \sqrt[12]{2} \cdot f_D = 311 \text{ Hz}$$

(NB: På side E 9 er frekvenserne angivet til nærmeste hele tal. Kun kammertonen A = 440 Hz er helt præcis).

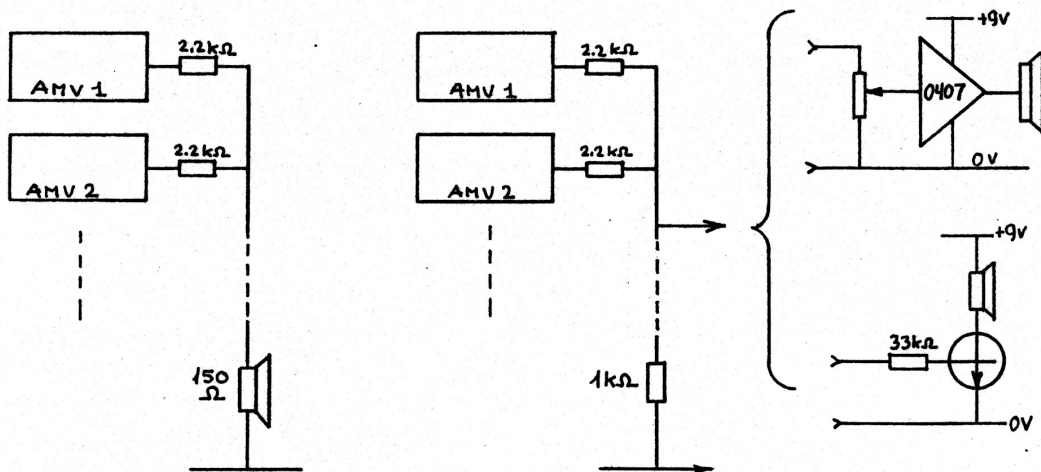
Forholdet mellem frekvensen af to toner med en oktavs forskel bliver således 2. Hvis eleverne ikke kan finde frekvensen af tonen d ud fra den hjælp, der ligger i tabellen side E 9, kan man foreslå dem at indstille én AMV til D = 294 Hz, lytte sig frem på en anden AMV til én oktav højere, og derefter måle  $f_d$ .

På tilsvarende måde kan man foreslå interesserede elever at undersøge frekvensforholdet for de almindelige, kendte intervaller.

Eksempler: Kvart (f.eks. C - F). Frekvensforhold = 4:3  
 Kvint ( " C - G). " = 3:2

Musikinstrumentet tænkes i første omgang at bestå af et antal helt uafhængige AMV'er med hver sin højttaler, batteri m.v., hvor eleverne har fundet ud af at anbringe f.eks. en telegrafnøgle som "tangent". Læreren griber en taktstok, og dirigerer - som et højdepunkt i elektronikundervisningen - radioens pause-signal - udsat for AMV'er!

Herefter rejser enten eleverne eller læreren spørgsmålet om at få tonerne ud gennem kun én højttaler. På næste side er vist nogle muligheder, som kan diskuteres med eleverne efter deres evner.



Hvis eleverne finder på at anbringe "tangenterne" i AMV'ernes udgange (i serie med 2,2 k $\Omega$ -modstanden), kan man komme ud for, at der høres en "syngen" i højttaleren selv om ingen af tangenterne er trykket ned. Dette skyldes en "kapacitiv" overføring af signalerne fra AMV'erne, via de få pF mellem tangentens to dele, til forstærkerens indgang.

Det er ikke muligt at køre alle AMV'erne på samme batteri, idet en RC-afkobling mellem de enkelte AMV'er - på grund af den relativt store strøm til pærerne - vil kræve en for lille resistans. I dette tilfælde må man eksperimentere med modstande i stedet for pærer i transistorernes kollektorer. Prøv med 1 k $\Omega$  som udgangspunkt.

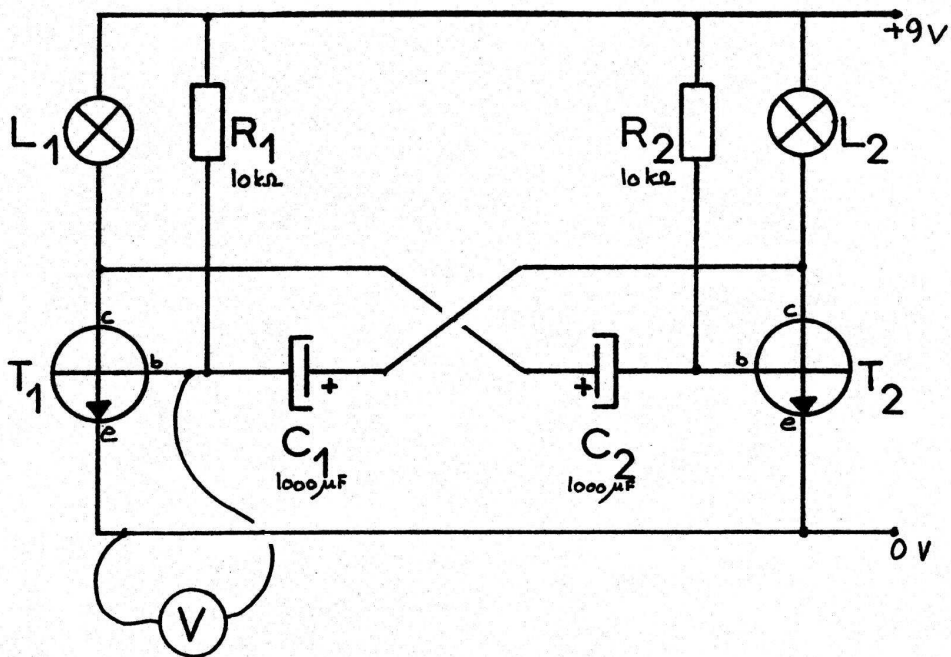
Der findes mange andre melodier, der kan spilles med et begrænset antal toner, f.eks. "Tordenskjold" og "Pedersen og Pallesen" og mange andre. Musik skal der til - spil selv!

---

De følgende fire sider stammer fra 1. udgaven af "Elektronik i Folkeskolen". Det er sider, der viste sig uegnede for det store flertal af elever, men som vi mener kan være af interesse for læreren selv (og måske for en enkelt elev). Derfor er de medtaget her, og de skal - som resten af materialet - benyttes på den måde, læreren selv finder rigtig.

### SÅDAN VIRKER DEN ASTABILE MULTIVIBRATOR

Vi vil undersøge en "langsom" AMV, med de komponentværdier, der er angivet på figuren, og for at måle basisspændingen anbringer vi et voltmeter mellem nul og basis på T1. Brug et voltmeter, der kan give udslag til begge sider eller eventuelt et oscilloskop.

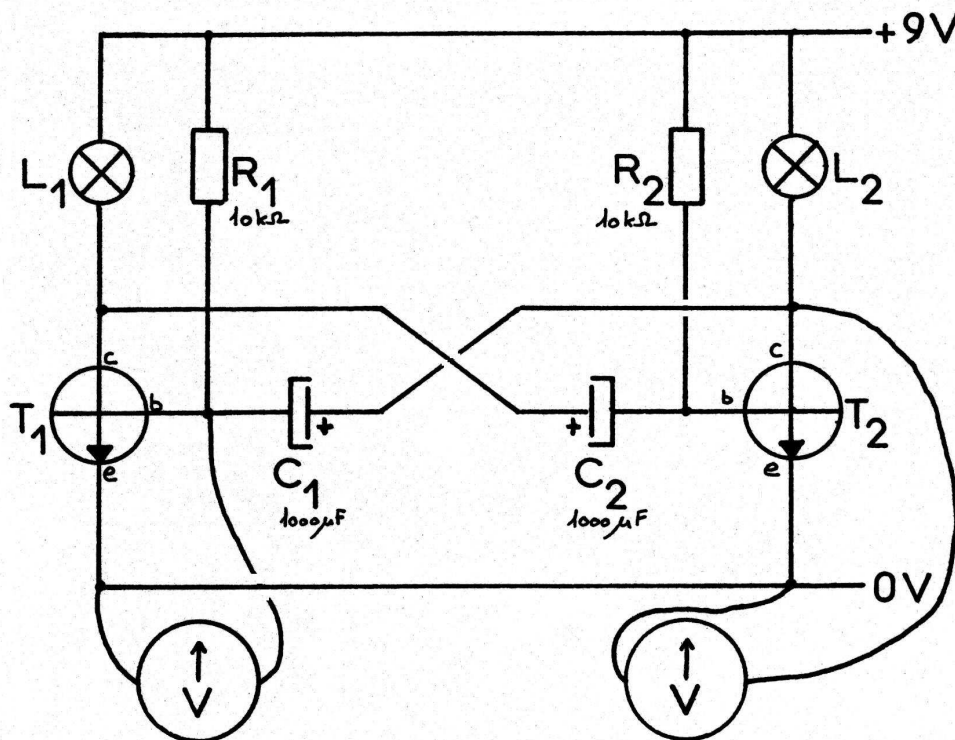


Iagttag hvordan basisspændingen ændrer sig, og besvar følgende spørgsmål:

Hvor stor er den største basisspænding?	
Hvor stor er den mindste basisspænding?	
Hvor stor er basisspændingen, når $L_1$ lyser?	
Hvad sker der med basisspændingen, når $L_1$ er slukket?	



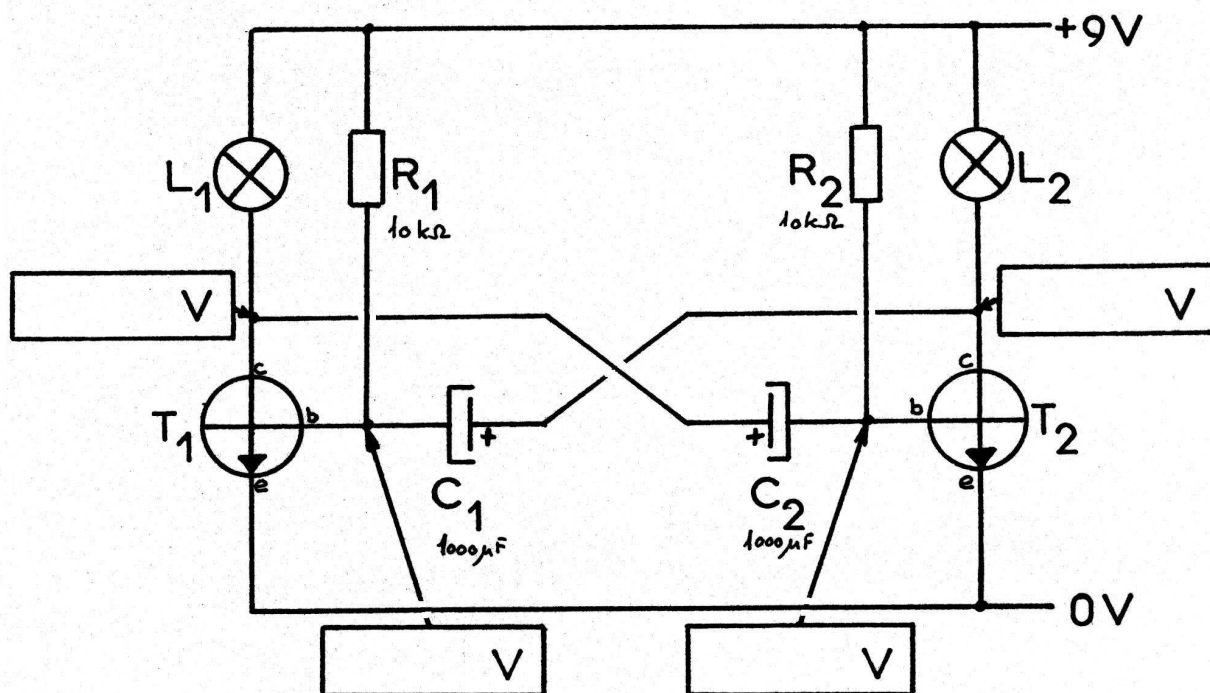
Derpå forbinder vi endnu et voltmeter (der kan give udslag til begge sider - eventuelt et oscilloskop) til AMV'en. Det "nye" voltmeter måler altså spændingen på transistor T2's kollektor:



Iagttag nu begge voltmetrene, og besvar følgende spørgsmål:

Hvad sker der med T <sub>2</sub> 's kollektorspænding, når L <sub>2</sub> tænder?	
Hvad sker der samtidig med T <sub>1</sub> 's basisspænding?	
Hvad sker der med spændingen på C <sub>1</sub> 's <u>pluspol</u> , når L <sub>2</sub> tænder?	
Hvad sker der samtidig med spændingen på C <sub>1</sub> 's <u>minuspol</u> ?	
Hvornår falder T <sub>1</sub> 's basisspænding fra 0,8 V til ca. -8 V?	

På denne figur tænker vi os, at L1 lyser og at L2 er slukket:



Skriv på figuren, hvor stor spændingen er de fire steder.

Med disse resultater kan vi nu svare på spørgsmålene:

- Hvad sker der, mens L1 lyser, og L2 er slukket? og
- Hvad sker der, når den astabile multivibrator skifter?

Lige når L2 slukker, er spændingen på T2's basis ca.  $-8\text{ V}$ , dvs. der er ca.  $17\text{ V}$  over R2. Der løber derfor strøm gennem R2, hvorved spændingen vokser på minus-siden af C2. Egentlig vokser denne spænding op mod  $+9\text{ V}$ , men når den er nået op på ca.  $0.8\text{ V}$ , åbner T2.

Herved falder T2's kollektorspænding, og dermed også spændingen på +siden af C1, fra 9 V til ca. 0 V. Spændingen over en kondensator kan ikke ændres pludseligt. Derfor må spændingen på minus-siden "falde med ned", og da den startede med at være knap 1 volt, falder den altså til ca. -8 volt.

Det betyder, at T1 bliver lukket, og L1 slukker.

Så starter der en afladning af C1 gennem R1, og det hele gentager sig på samme måde, som vi forklarede for C2 og R2.

Hvis skolen har et 2-stråle oscilloskop, kan du direkte se det, der sker: De to indgange på oscilloskopet skal forbindes til AMV'en i stedet for instrumenterne på figuren side L 17, og det vil være lettere at få billedet til at stå roligt på skærmen, hvis man lader multivibratoren køre noget hurtigere. vælg nogle værdier af R og C, der får den til at svinge med f.eks. 1000 Hz.

Prøv nu at give en forklaring på det, du så, da du arbejdede med AMV'en nemlig, at hvis du gør R eller C større, så svinger den med en mindre frekvens:

---

---

---

---

---

---

---

---