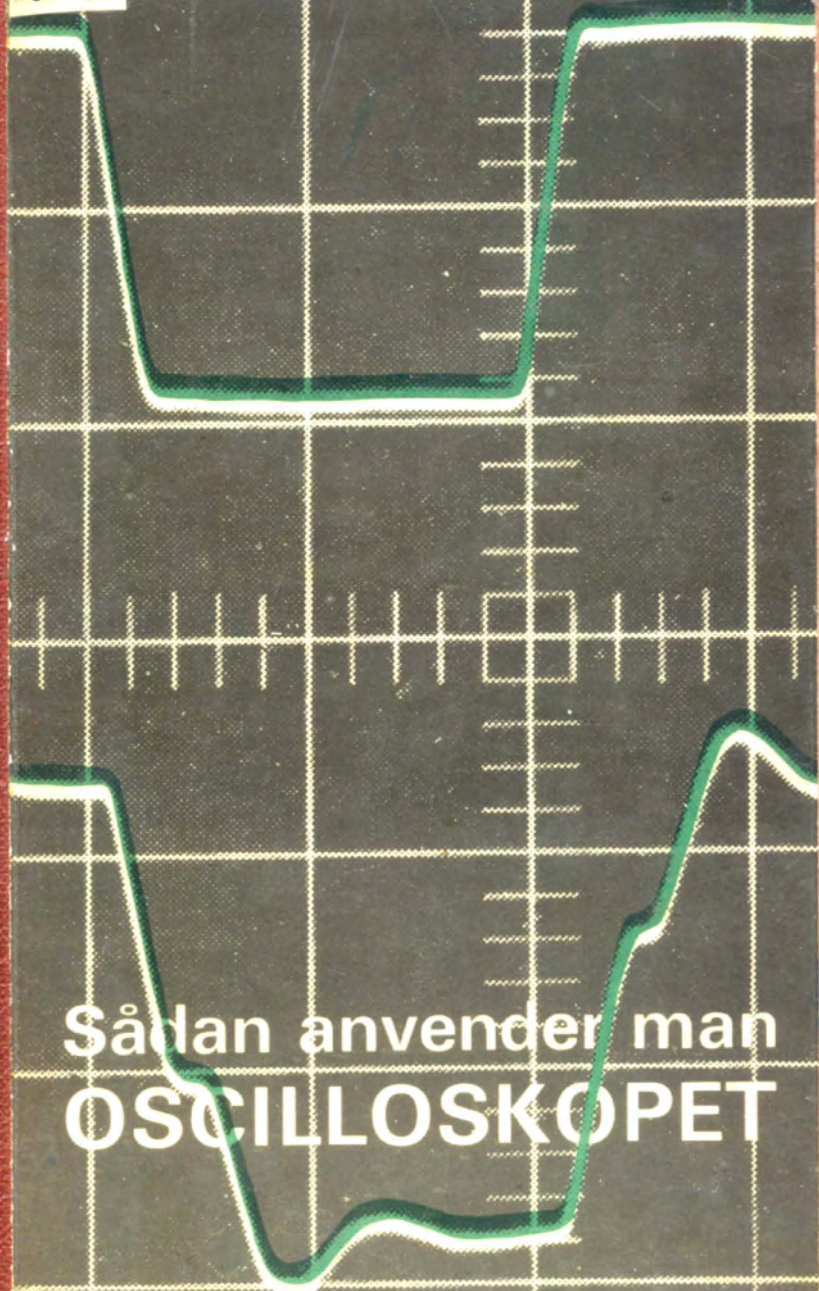
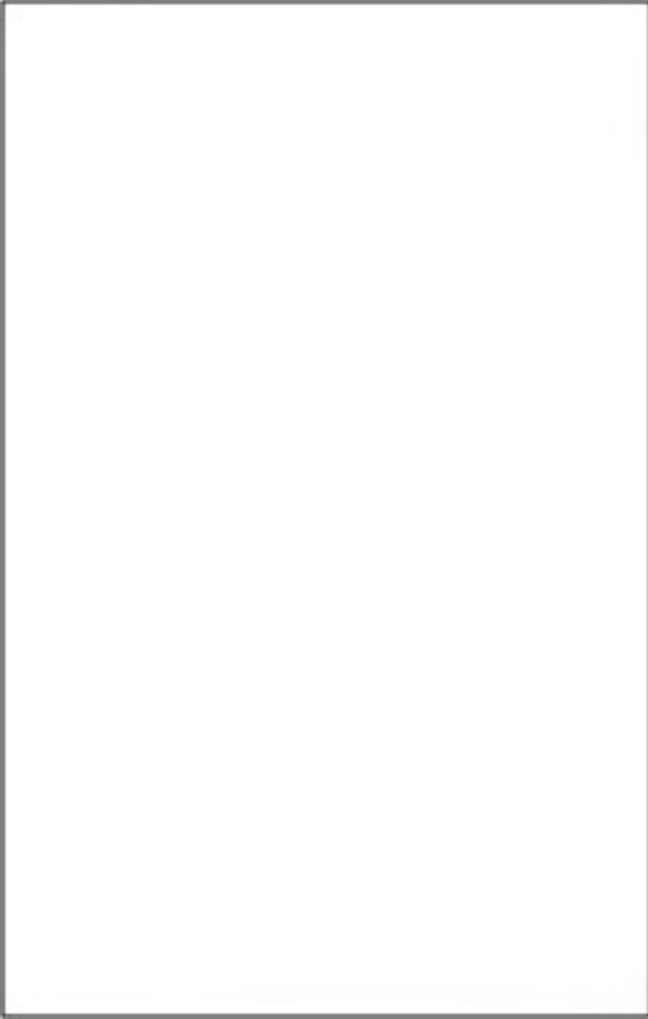


2.317



Sådan anvender man
OSCILLOSKOPET



Af JOHN SCHRÖDER – ARNE BERGHOLTZ

Sådan anvender man **OSCILLOSKOPET**

Oversat af civilingeniør NORGAARD



NORDSTEDTS / EBaB ELECTRONICS

© JOHN SCHRÖDER, EBaB ELECTRONICS, Sverige

18278V0

1. tryk december 1969

RONOTA TRYK
København 1969

Indhold

Forord.....	7
1. OSCILLOSKOPETS PRINCIPIELLE OPBYGNING.....	9
Billedrøret, x- og y-forstærkerne. Tidsbasis sweepet. Trigning af tidsbasis. Trigning ved eengangsforløb.	
2. OSCILLOSKOPETS DATA OG HVAD DE BETYDER...	14
Båndbredde og stigetid. Jævnspændingsforstærkere. Passive måleprober. Aktive måleprober. Sweepområder. Trigningsintervaller. Z-modulering. Dobbelstråleoscilloskop. Samplingsoscilloskop.	
3. RETTE OSCILLOSKOP PÅ RETTE PLADS.....	21
Hvilket oscilloskop bør man vælge?	
4. MÅLING AF SPÆNDING, STRØM, MODSTAND OG IMPEDANS.....	24
Måling af spænding. Måling af strøm. Måling af modstand. Måling af impedanser.	
5. OSCILLOSKOPET SOM NULINDIKATOR.....	29
6. UNDERSØGELSE AF KURVEFORMER.....	31
Afprøvning af LF-forstærkere. Forvrængningsarter. Bestemmelse af forvrængning. Måling af støj. Frekvensgang. Undersøgelse af afbøjningskredsløb.	
7. AFPRØVNING AF FORSTÆRKERE MED FIRKANT-IMPULSER.....	39
8. MÅLING AF FASEFORSKYDNING.....	42
9. FREKVENSBESTEMMELSE.....	45

10. MÅLINGER PÅ DIGITALT APPARATUR.....	49
Stigetid. Addition af stigetid. Sammenhæng mellem stigetid og båndbredde. Betydningen af stigetid.	
11. REKLEKTOMETRI.....	55
Målinger på mikrobølgekomponenter. Impulsforsinkelsen i kabler.	
12. MÅLINGER PÅ HALVLEDERE.....	59
Målinger på halvlederdiodes. Optagelse af I_C , U_{CE} -kurverne for transistorer. Målinger på thyristorer. Karakteristikskrivere for transistorer.	
13. OPTAGELSE AF HYSTERESEKURVER.....	65
14. MÅLING AF IKKE-ELEKTRISKE STØRRELSER.....	67
Strain-gauges. Brokoblinger med strain-gauges. Temperaturkompensering. Kalibrering. Målinger med positionsgivere.	
15. FORSTYRRELSER.....	76
50 Hz brumspænding. Netspændingsvariationer. Forstyrrelser fra radiosendere.	
16. FOTOGRAFERING AF OSCILLOGRAMMER.....	80
Gentagne forløb. Engangsforløb. Kameraer til Oscilloskoper.	
17. INTET BILLEDE - HVAD ER DER I VEJEN?.....	84
ORDLISTE FOR OSCILLOSKOPUDTRYK.....	86

Forord

Fra at have været et eksklusivt laboratorieinstrument er oscilloskopet blevet et selvfølgeligt hjælpemiddel ved alle typer undersøgelser af elektriske og mekaniske forløb i både forskning og teknik. Det er et spørgsmål, om der overhovedet findes et mere universelt anvendeligt instrument til studier og målinger af mekaniske og elektriske foreteelser. Med nogen overdrivelse kan man hævde, at blot eet eller to velegnede oscilloskoper er alt, hvad der behøves på et laboratorium – forudsat at oscilloskopernes muligheder fuldt udnyttes.

Hvor overordentligt anvendeligt et moderne oscilloskop er i virkeligheden, er måske ikke gået op for alle teknikere og forskere, som har dette måletekniske vidunder inden for rækkevidde. Ikke så sjældent står meget avancerede oscilloskoper alt for lidt benyttet på laboratorier – af og til som et statussymbol, medens indkøbsafdelingerne opstøver dyre specialinstrumenter til målinger eller undersøgelser, som oscilloskopet med ganske enkelt ekstratilbehør måske kunne klare lige så godt – eller måske endda bedre.

Navnlig inden for al aktivitet, hvor målet er at klarlægge fysiske sammenhænge, at udvikle metoder eller at udforme apparatur, kommer oscilloskopets evne til billedligt og samtidigt at give en mængde informationer om de elektriske tilstande i kredsløb, ganske særligt til sin ret. Ligeledes er oscilloskopet en suveræn analysator ved produktionskontrol og ved fejlfinding i elektrisk og mekanisk materiel.

Dog – et oscilloskop er i lighed med en datamaskine ikke mere værd end den, der anvender det og derfor kan lidt forklaring om, hvorledes man anvender det, vel være på sin plads. Der har indtil nu været en mangel på en vejledning som tager sigte på at udnytte oscilloskopets overordentlige rige muligheder ved iagttagelse af tidsafhængige elektriske forløb og andre fysiske forløb, som med egnet hjælpeapparatur kan omdannes til elektriske størrelser.

Kan denne bog give tips og ideer, som kan være værd at bemærke sig – og arbejde videre med – har den opfyldt sit formål.



Oscilloskopets principielle opbygning

I fig. 1.1 vises et forenklet blokdiagram af et oscilloskop. Hjertet i oscilloskopet er katodestrålerøret, som har en opbygning der i mangt og meget minder om den i et fjernsynsbilledrør. Ofte kaldes katodestrålerøret da også for »billedrøret.«

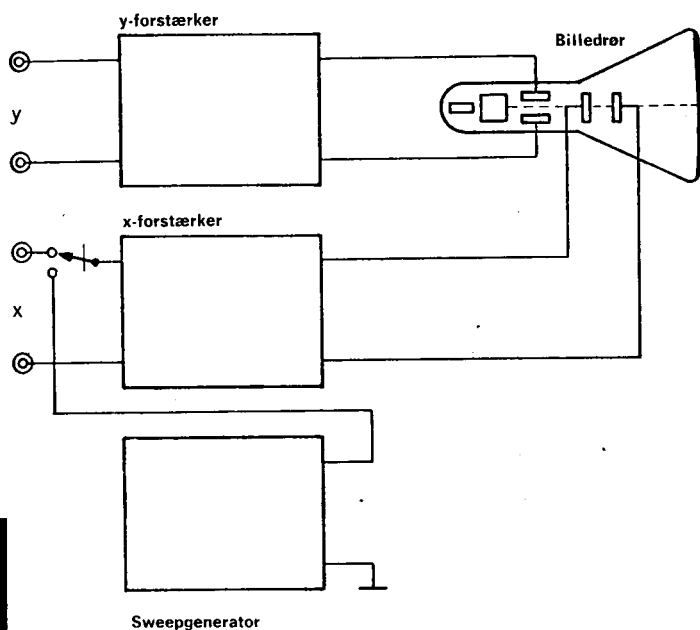


Fig. 1.1
Forenklet blokdiagram
for et oscilloskop.

Billedrøret

I billedrøret, se fig. 1.2 indgår en såkaldt elektronkanon, A, fra hvilken der udsendes elektroner i et smalt strålebundt. Ved hjælp af specielle fokuseringselektroder i billedrøret kan man ad elektrisk vej fokusere elektronstrålen i et lille punkt på billedskærmen omtrent på samme måde som man med linser kan fokusere en lysstråle i et punkt. Elektronstrålens fokusering kan finindstilles med betjeningsgreb på oscilloskopets frontpanel.

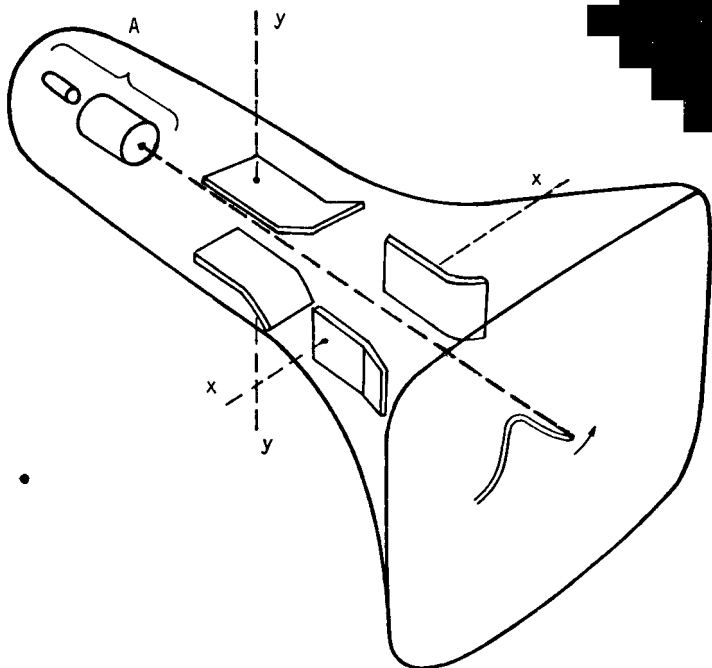


Fig. 1.2

Forenklet afbildning af billedrørets opbygning. Kun elektronkanonen og afbøjningspladerne er angivet.

Den fokuserede elektronstråle, der udgår fra elektronkanonen fungerer omtrent som en tynd leder, den påvirkes således af et elektrostatisk felt. I modsætning til en leder har en elektronstråle imidlertid en meget lille masse og kan derfor bevæges praktisk taget uden træghed. Elektronstrømmens styrke kan reguleres med et betjeningsgreb på oscilloskopets frontpanel.

Elektronstrålen afbøjes i billedrøret ved hjælp af to pladepar, to der sidder vandret (y-pladerne) og to, der sidder lodret (x-pladerne). De to vandrette plader er beregnet til at afbøje elektronstrålen i højden, man siger også i »i y-retningen«, eller »i y-aksens retning.« De to lodrette plader afbøjer strålen i vandret retning, »i x-aksens retning«.

x- og y-forstærkerne

Hvert pladepar er sluttet til en forstærker, x-pladerne til en »x-forstærker« og y-pladerne til en »y-forstærker«. Forstærkerne er i almindelighed kalibrerede, hvad der medfører, at man kan indstille forstærkningen, så en vis spænding på indgangen giver en vis afbøjning regnet i cm på billedrøret. Følsomheden kan indstilles trinvis, f.eks. 0,1 V/cm, og 0,2 V/cm, 0,5 V/cm osv. 1 V/cm betyder, at en påtrykt spænding på 1 V giver en afbøjning af elektronstrålen på 1 cm i lodret retning. Ved målinger af spændinger fås den søgte værdi ved at elektronstrålens afbøjning på skærmen i cm multipliceres med den valgte følsomhed. 3 cm afbøjning modsvarer ved en følsomhed på 1 V/cm en spænding på 3 V. Efter at have passeret de afbøjede plader accelereres elektronerne ved hjælp af en accelerationsspænding mod en fluorescerende skærm, billedskærmen. Når elektronstrålen træffer denne skærm, lyser den op i det punkt, hvor elektronerne fokuseres. Jo højere accelerationsspænding, des stærkere lyser punktet på skærmen.

Tidsbasis - sweepet

Ved undersøgelser af kurveformer med periodiske forløb sluttes en tidsbasisgenerator til x-forstærkerens indgang. Den frembringer en spænding, »sweepet«, der afbøjer elektronstrålen i vandret plan frem og tilbage over skærmen. Dermed svinger strålen relativt langsomt over skærmen fra venstre til højre, men springer meget hurtigt tilbage fra højre til venstre. Under tilbageløbet fra højre til venstre slukkes elektronstrålen ved at elektronemissionen fra elektronkanonen undertrykkes. Hvad man ser på skærmen er derfor et lyspunkt, som rytmisk bevæger sig fra venstre til højre. Ved lav hastighed ser man elektronstrålen som et bevægeligt punkt, som uophørligt farer over skærmen fra venstre til

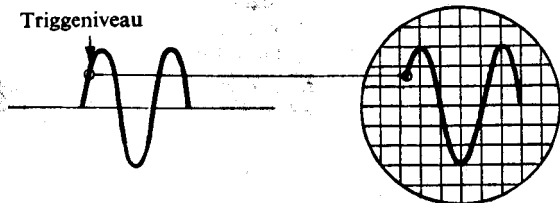


Fig. 1.3

Den på oscilloskopets y-indgang påtrykte spænding aftastes af et kredsløb, som når spændingen har opnået et vist niveau, trigger (udløser) sweepet. Et gentaget forløb låses derfor i bestemt stilling på skærmen.

højre, ved højere hastigheder opfattes lyspunktet som en vandret linie. Tidsbasisgeneratoren er kalibreret således, at man kan indstille sweephastigheden i flere trin. For at lette tidsmålingen er hastigheden oftest kalibreret i tidsenhed pr. cm, f. eks. 1 us/cm, 2 us/cm, 5 us/cm, 10 us/cm, 20 us/cm osv. 1 us/cm betyder, at 1 us modsvares af 1 cm på skærmen. Det vil sige, at elektronstrålen farer fra venstre til højre med en hastighed på 10 km/s.

Tilslutter man samtidig en spænding til y-forstærkeren, vil denne afbøje strålen i højden, samtidig med at tidsbasisspændingen afbøjer den i vandret retning fra venstre til højre

Trigning af tidsbasis

Man kan nu i oscilloskopet »afføle« den påtrykte y-spænding og lade denne udløse eller *trigge* tidsbasisgeneratoren, så tidssweepet altid begynder f. eks. når y-spændingen når op til et vist niveau. Når der er tale om et gentaget forløb, kommer, når et enkelt sweep er afsluttet og elektronstrålen (i slukket tilstand) hurtigt føres tilbage til venstre side på billedrøret, y-spændingen til påny at trigge sweepet, når den atter kommer op på samme niveau.

Dermed låses y-spændingens kurveafbildning fast på billedrøret. Se fig. 1.3. For hvert nyt tidssweep tegner elektronstrålen samme kurve og fortsætter med det så længe den indkommende spænding har samme kurvefacon.

Oscilloskopet optegner altså en kurve på billedskærmen, som angiver hvorledes en på oscilloskopets y-indgang periodisk varierende spænding

ser ud som en funktion af tiden. Hvad man ser er et stadig gentaget øjebliksbillede af den påtrykte spændings kurveform.

Trigning ved eengangsforløb

På samme måde kan man få et oscilloskop til at gengive et på y-indgangen påtrykt engangsforløb. Også i dette tilfælde triggescilloskopet, når den påtrykte spænding når et vist niveau. I dette tilfælde udløses dog kun eet sweep. Se fig. 1.4.

Trigningen kan ske, når y-spændingen har opnået en vis indstillelig positiv eller negativ værdi. For at man kan opnå at iagttage et engangsforløbs begyndelse, må man indføre en vis forsinkelse af y-signalet, så tidssweepet begynder inden signalet begynder at blive gengivet på billedskærmen. Se fig. 1.5.

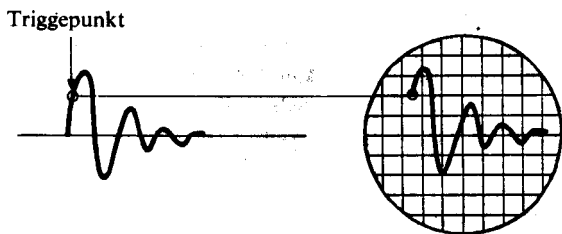


Fig. 1.4

Selv ved et eengangsforløb triggescweepet, når en vis værdi af signalet er opnået, men der er kun tale om et enkelt sweep.

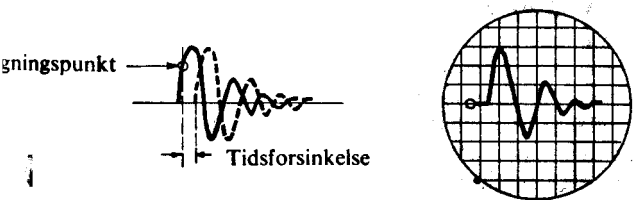


Fig. 1.5

Ved at forsinke y-signalet ved et eengangssweep kan man triggesweepet inden signalet når frem til billedskærmen, så at man også får begyndelsen med på forløbet.

Oscilloskopets data og hvad de betyder

Oscilloskoper fremstilles nu i en mængde typer og prisklasser lige fra enkle oscilloskoper til servicebrug i prislejet 5–600 kroner til højt udviklede laboratorieoscilloskoper til en snes tusinde kroner.

Naturligvis har enklere oscilloskoper ikke de samme data og heller ikke de samme betjeningsbekvemmeligheder som de mere bekostelige instrumenter. De enkle oscilloskoper kan f.eks. ikke registrere så hurtige impulsforløb som de mere avancerede oscilloskoper. Man finder heller ikke den samme nøjagtige kalibrering, i det hele taget har billigere oscilloskoper et mere begrænset anvendelsesområde.

Udfra de data som fabrikanten angiver for sit oscilloskop, kan man bedømme et oscilloskops anvendelsesmulighed ved forskellige måleopgaver. Ved bedømmelsen kan den ordliste, som er medtaget på siderne 86–95 være til nytte. I denne liste er de vigtigste udtryk, som bruges til at beskrive de forskellige egenskaber og data for oscilloskoper, sammenstillet.

Båndbredde og stigetid

En af de vigtigste opgivelser for et oscilloskop er båndbredden hos y-forstærkeren. Har oscilloskopet for lille båndbredde i y-forstærkeren, deformeres kurveformen hos den spænding der undersøges.

Man må forlange, at oscilloskopet har en båndbredde, der er væsentligt større end den, indenfor hvilken grundtonefrekvenserne ligger. Indeholder signalerne nemlig overtoner, skal disse dels overhovedet komme med, og dels endda i rigtig fase, hvis billedet på skærmen skal være korrekt.

Et kraftigt forvrænget signal gengives på skærmen fejlagtigt som en næsten ren sinuskurve, hvis oscilloskopets y-forstærker dæmper frekvenser lige over signalets grundtone, således at anden og tredje overtone ikke kommer med i rigtig fase og med rigtig amplitude.

For at få tilstrækkelig god gengivelse af et overtonerigt (dvs. forvrænget) sinussignal bør man have overtoner med indtil den femte. Det betyder, at oscilloskopets øvre grænsefrekvens bør ligge i det mindste fem gange højere end grundfrekvensen hos det signal, man vil undersøge. Det samme gælder for gengivelse af firkantimpulser: man bør have overtoner med helt op til den femte eller den tiende for at få korrekt impuls-gengivelse. Kan man tolerere nogle få procents forvrængning kan man nøjes med et oscilloskop, hvis y-forstærker gengiver frekvenser op til og med tredje overtone over den undersøgte spændings grundfrekvens.

Når det gælder gengivelse af spændingsspring og impulser, er det ofte mere praktisk at tale om oscilloskopets stigetid. Jo større båndbredde en forstærker har, des kortere stigetid har forstærkeren og des hurtigere spændingsspring og des kortere impulser kan forstærkes uden deformation af impulsernes kurveform.

Mere om firkantbølgeforvrængning i kapitlerne 7 og 10.

Jævnspændingsforstærkere

y-forstærkerne i moderne oscilloskoper er i almindelighed af jævnspændingstypen, det betyder, at den jævnspænding, som påtrykkes indgangen, resulterer i en konstant afbøjning af lyspletten på billedrøret. Denne jævnspændingskobling muliggør, at man uden forvrængning kan gengive ekstremt lavfrekvente forløb. Dette er ikke muligt, hvis der i forstærkeren – i indgangen eller noget andet sted – indgår en koblingskondensator, man får da en mere eller mindre udpræget forvrængning, se fig. 7.2.

Differentialforstærkere

I visse tilfælde udnyttes de såkaldte differensforstærkere som y-forstærkere i oscilloskoperne. Det betyder, at forstærkeren i så tilfælde har to ikke-stelforbundne indgangsklemmer og en stelklemme. Den spænding som registreres på billedskærmen er da altid differensen mellem de to signaler, som påtrykkes de to indgangsklemmer. Dermed er det f. eks. muligt at få en spænding med ringe amplitude, som har en kraftigt interfererende spænding overlejret, fremstillet på skærmen. Dette er f. eks. tilfældet ved måling af små potentialforskelle mellem spændinger, som har spænding i forhold til stel (eller jord), således som det er tilfældet ved målinger af potentialdifferenser, der tages ud fra menneskelegemer. Oscillogrammet kommer da til at vise udelukkende den målte spændingsforskelle, medens den fælles støjsspænding til jord undertrykkes.

Differentialforstærkeren muliggør på denne måde kontrol af en spænding mellem to punkter, hvoraf ingen af dem har forbindelse med jord. En differentialforstærker kan også anvendes til forstærkning af spændinger i forhold til jord. Man anvender da kun den ene af differentialforstærkerne og jordslutter samtidig den anden.

Måleprober

Ved alle målinger gælder, hvis man vil have et nøjagtigt måleresultat, at måleobjektet ikke må påvirkes af det anvendte måleapparat. Ved målinger med oscilloskoper er det foruden y-forstærkerens båndbredde også indgangsmodstanden og -kapaciteten i y-forstærkeren, som påvirker måleobjektet. Man stræber mod at holde indgangsmodstanden så stor som muligt og kapaciteten så lav som muligt. Modstanden har størrelsesordenen $1\text{ M}\Omega$ og indgangskapaciteten er 20 pF i moderne oscilloskoper.

Passive måleprober

Ved en indgangsmodstand så høj som $1\text{ M}\Omega$ bliver imidlertid prøveledningerne sårbare overfor forstyrrelser, der kapacitivt overføres til dem. (Se kapitel 15). For at undgå dette anvender man skærmede ledninger. Disse har imidlertid en kapacitet af en størrelse, der i mange tilfælde ikke kan tolereres. En metode til at klare dette på, er at anvende en spændingsreducerende probe. I enden af måleledningerne tilsluttes en modstand på $9\text{ M}\Omega$ og parallelt med denne modstand en trimmekondensator. Probens modstand giver da sammen med indgangsmodstanden i y-forstærkeren en spændingsdeling på $1:10$ (20 dB) samtidig med at den samlede modstand, man belaster måleobjektet med bliver $10\text{ M}\Omega$.

Ved høje frekvenser bliver spændingsdelingen imidlertid ikke korrekt, da kablets kapacitet ligger parallelt med indgangsmodstanden. For at kompensere for dette justeres trimmeren ind, således at den capacitive spændingsdeling bliver lige så stor som den modstandsmæssige. Denne indtrimning udføres med en firkantgenerator. Trimmeren justeres sådan at firkantimpulserne gengives på skærmen uden forvrængning. Den resulterende indgangskapacitet er lig med trimmerens kapacitet i serie med kablets kapacitet og forstærkerens indgangskapacitet.

Aktive måleprober

Ved målinger af signaler af så ringe størrelse, at oscilloskopets følsomhed ikke tillader anvendelsen af en dæmpende probe, må en aktiv probe anvendes. Denne indeholder en forstærker koblet som emitterfølger (katodefølger). Dæmpningen bliver derved kun ca. 1 dB, medens indgangskapaciteten bliver ca. 5 pF.

Sweepområderne

Sweep hastigheden er data som umiddelbart giver oplysning om, hvor hurtige spændingsforløb, man kan registrere. Man må dog bemærke at det er båndbredden, der sætter grænsen for den forvrængningsfri gengivelse. Se ovenover under *båndbredde*.

Ved detailstudium af komplicerede kurveformer er sweepforsinkelse og sweepexpansion nyttige finesser.

x-forstærkeren

Hvis oscilloskopet skal anvendes til gengivelse af to signaler som funktion af hinanden, f.eks. ved indikordiagrammer, må horisontalgeneratoren have en tilstrækkelig følsomhed.

Trigningsområder

Trigningen af tidssweepet bør kunne ske valgfrit ved positiv eller negativ y-spændingsniveau og med positiv eller negativ kurvehældning. Ved studium af komplicerede kurveforløb kan det være værdifuldt at kunne forsinke trigningen.

z-modulering

Ved at tilføre et signal til styreelektroden i billedrørets elektronkanon kan man tænde og slukke strålen. Denne såkaldte z-modulation kan anvendes som tidsmarkering.

Dobbeltstråleoscilloskop

Dobbeltstråleoscilloskoper er forsynede med to elektronstråler med hver sin y-forstærker. x-forstærkeren og tidsbasisgenerator er derimod fælles, så strålerne følges ad på skærmen. Man kan derigennem samtidig studere to kurveforløb på skærmen, f.eks. kurveformen for et prøvesignal, der påtrykkes en forstærker og det signal, der fås over forstærkerens udgangsklemmer. Man kan også studere tidsforsinkelsen mellem impulser eller spændingsspring, f.eks. ind- og udgående impulser i et kredsløb, i et forstærkertrin og i ledninger. Endvidere er det på denne

måde særligt let at studere faseforskydninger i kredsløb af forskellig slags. Se fig. 2.1.

I det hele taget byder dobbeltstråleoscilloskopet på så store extra målemuligheder, at man i de fleste tilfælde, når det gælder oscilloskoper til forskning og udviklingsarbejder, kan tilråde køb af et dobbeltstråleoscilloskop.

Samplingsoscilloskop

Sædvanlige oscilloskoper kan ikke anvendes til undersøgelser af signaler med frekvenser højere end op til ca. 100 MHz. Det betyder, at man ikke korrekt kan gengive impulser med stigetider under ca. 10 ns.

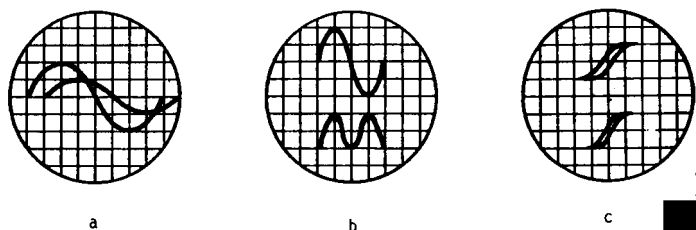
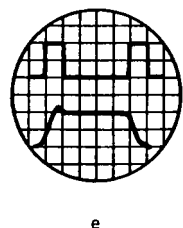
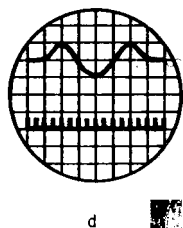


Fig. 2.1

Eksempler på undersøgelser med dobbeltstrålestråleoscilloskop.

- Undersøgelse af faseforskydning i et kredsløb.
- Sammenligning af frekvenser hos to signaler.
- Sammenligning mellem hysteresekurver for en normalselvinduktion og en vilkårlig selvinduktion.
- Nøjagtig frekvensbestemmelse ved at kalibrerede tidsimpulser tilføres den ene y-indgang og den signalspænding, hvis frekvens skal måles, tilføres den anden y-forstærkerindgang.
- Undersøgelse af den indbyrdes tidsafstand mellem impulser i en digital opstilling.



For at muliggøre målinger og undersøgelser med oscilloskoper ved højere frekvenser end de ca. 100 MHz, har man været nødt til at anvende et nyt princip for aftastning af signalerne, nemlig prøvetagnings- eller samplingsprincippet. Det sker ved at man udtager prøver fra signalspændingen i forskellige punkter i det hurtige elektriske forløb, som man vil undersøge.

Man gengiver på denne måde ikke det elektriske signal direkte. Ved hver trigning tager man i stedet en »prøve« i form af en måling af signalets øjeblikkelige amplitude. Prøveudtagningen sker i et meget kort tidsrum – ca. 300 ps. Oscilloskopet opfatter dette ringe tidsrums øjebliksværdier som middelværdien af signalamplituden. Ved succesivt at forsinke tidspunktet for prøvetagningen i forhold til trigningstidspunktet kan man efter et stort antal trigninger rekonstruere en periodisk kurves forløb i form af et punktmønster på oscilloskopskærmen. Fig. 2.2 viser et eksempel på, hvorledes billedet af en impuls bygges op af en række »prøvemålinger«.

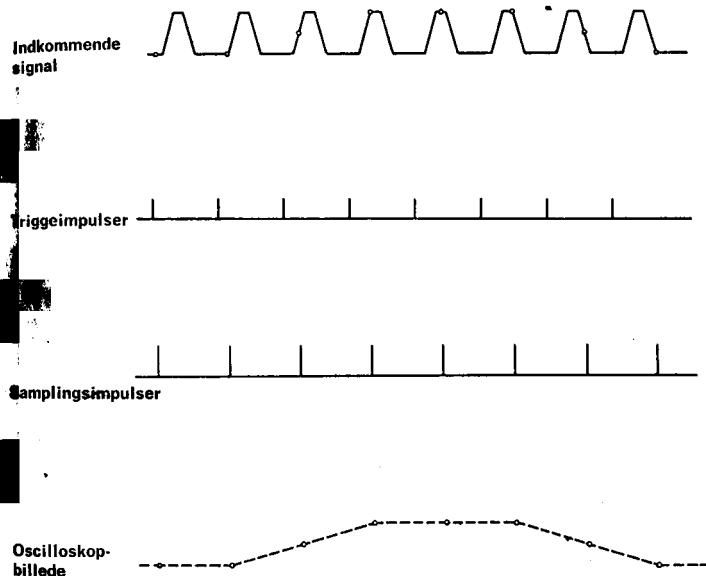


Fig. 2.2

Princippet for samplingsoscilloskopet. Oscilloskopbilledet bygges op af punkter som repræsenterer den indkommende kurveforms momentane amplitude ved et antal prøvetagningstidspunkter, som succesivt forskydes langs det periodiske kurveforløb.

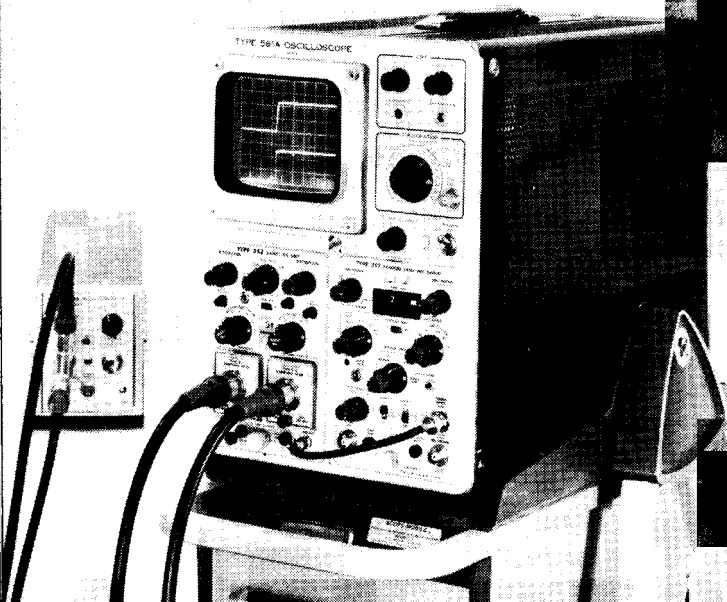


Fig. 2.3.

Samplingsoscilloskop fra Tektronix. Oscilloskopet kan anvendes op til 18 GHz.

Samplingsprincippet, således som det anvendes i oscilloskoper, er begrænset til anvendelse ved repetitive forløb, men ikke nødvendigvis periodiske forløb. Selv impulser med tilfældigt varierende afstand kan afbildes. Med samplingsoscilloskoper har man opnået båndbredder op til 1000 MHz og med en følsomhed på ned til 1 mV/cm. Se fig. 2.3.

Samplingsoscilloskopets vigtigste anvendelsesområde ligger inden for impuls- og digitaltekniken, hvor stigetider under 5 ns forekommer.

Ved måling af signaler med frekvenser så høje som 100–1000 MHz er det nødvendigt at anvende kabler for overføring af signalet fra målepunktet til oscilloskopindgangen. Ved længere kabler må disse afsluttes med deres karakteristiske impedans. Den almindeligste kabelimpedans er 50 Ω , så samplingsoscilloskoper forsynes oftest med 50 Ω -indgange. Man kan endda anvende måleprober i denne forbindelse.

Rette oscilloskop på rette plads

Der findes på markedet mange oscilloskoper at vælge imellem. Stort set kan man inddele oscilloskoperne i typer med lille båndbredde og typer med stor båndbredde. I begge disse grupper findes typer med stor følsomhed og med lille følsomhed. Endvidere findes typer med ekstra udstyr og særlig udførelse i form af nøjagtig kalibrering, forsinket sweep, signalforsinkelse, flere elektronstråler, eengangssweep osv.

Til radio- og fjernsynsservice findes specielle oscilloskoper med data afstemt efter anvendelsen hvad angår båndbredde, følsomhed og specielle trigningmuligheder. Disse typer passer også godt ind på mange andre områder f. eks. i fysik- og elektronikundervisning, vedligeholdelse af digital udrustning i industrien og vedligeholdelse af radar- og telekommunikationsudstyr.

Til måling af ikke-elektriske størrelser med forsatse af forskellig type findes oscilloskoper med ekstrem stor følsomhed. Båndbredden hos disse er ofte begrænset til nogle hundrede kHz, men kan dog findes i udgaver indtil 50 MHz. For at formindske betydningen af støj er disse oscilloskoper ofte forsynet med variabel båndbredde. Som regel er de forsynede med balanceret indgang med god undertrykkelse af støjsignaler. Til avanceret impulsteknik findes oscilloskoper med båndbredder op til 1000 MHz. Disse oscilloskoper er forsynede med signalforsinkelse, trigningforsinkelse, engangssweep o.l.

De vigtigste data for y-forstærkere og tidsbasis for nogle hovedtyper af oscilloskoper er sammenstillede i tabel 3.1.

Hvilket oscilloskop bør man vælge?

Hvilket oscilloskop, der bør vælges, beror ganske på anvendelsesområdet og på hvilke krav om præcision og komfort ved anvendelsen man kræver. Men man må regne med, at jo mere et oscilloskop kan, des

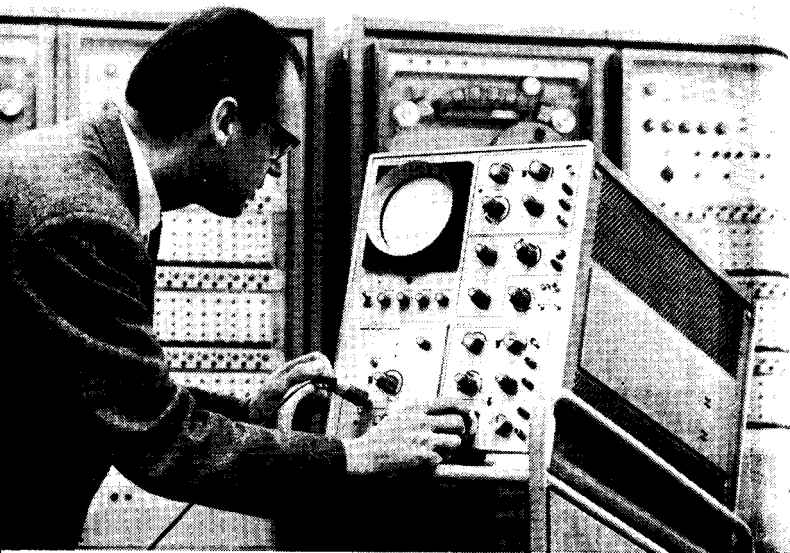


Fig. 3.1.

Oscilloskop fra Hewlett-Packard i specialudførelse til medicinsk brug – i dette tilfælde til bestemmelse af hjernesvulster.

dyrere er det. Spørgsmålet er, hvad man vil ofre. Der findes ingen grund til at købe dyre og komplicerede oscilloskoper til enkle rutinemålinger på apparatur, der anvender langsomme elektriske forløb. På den anden side behøver udviklingsafdelinger og forskningslaboratorier oscilloskoper med data i topklassen. Kun sådanne oscilloskoper kan anvendes til alle målinger uden at man behøver at frygte, at man får ufuldstændig information af billederne på skærmen.

I almindelighed kan det vel siges, at man kun når det gælder rutineundersøgelser og -kontrol kan anbefale enkle og lidet udbyggede oscilloskoper af enkeltstråletypen. I de fleste tilfælde er det dog ønskeligt, at de har kalibreret y-forstærkning og kalibreret sweep – det letter i høj grad betjeningen og øger oscilloskopets anvendelse.

Til laboratorieoscilloskoper stilles store krav og almindeligvis er det klogt at anskaffe oscilloskoper af plug-in-typen, dvs. oscilloskoper med indstikningsenheder. Man har da altid muligheden for at tilpasse sit oscilloskops data til de måleopgaver, der foreligger. Dobbeltstråleoscilloskoper giver stærkt øgede målemuligheder.

Tabel 3.1 Hoveddata for y-forstærkere og tidsbasis for nogle oscilloskop-typer.

Data for y-forstærkeren	Tidsbasis			
	Båndbredde (MHz)	Stigetid (ns)	Max. følsomhed (mV/cm)	Max. sweep-hastighed (ns/cm)
Oscilloskoper til langsomme forløb	0- 5	70	1-10	50
	0- 10	70	1-10	20
Oscilloskoper til hurtige forløb	0- 25	14	↓ 50	10
	0- 100	3,5	100	3
Samplingsosc.	0-1000	0,35	2	1*

*) tilsyneladende sweep-hastighed

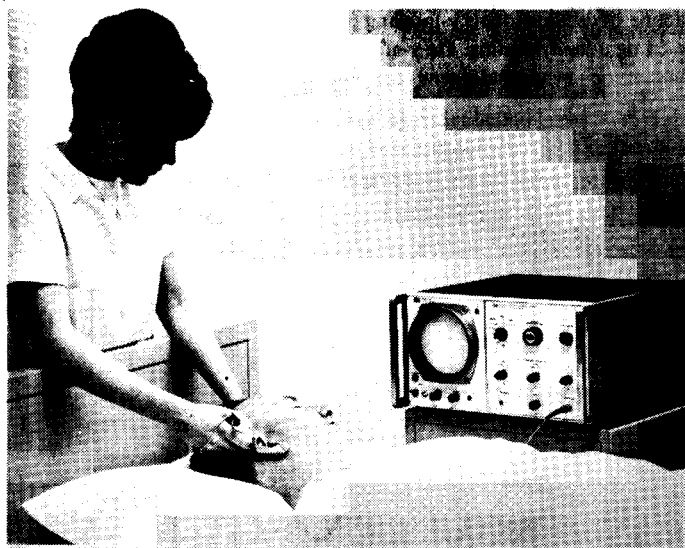


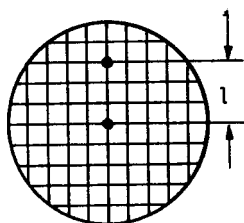
Fig. 3.2

Ved medicinske undersøgelser, f.eks. af potentialforskelle mellem målepunkter på menneskelegemet kræves oscilloskoper med differentialforstærkerindgang.

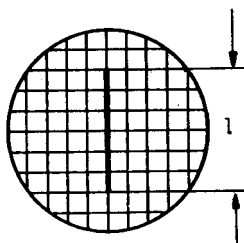
Måling af spænding, strøm, modstand og impedans

Da oscilloskopets elektronstråle afbøjes med meget ringe træghed og proportionalt med den påtrykte spænding, så udgør elektronstrålens bevægelse på billedskærmen en analog afbildning af den påtrykte spænding. Man kan derfor direkte måle en jævnspænding, hvis man tilfører denne til oscilloskopets y-indgang og så aflæser størrelsen af afbøjningen med og uden spænding. Da y-afbøjningen er kalibreret, kan man direkte bestemme jævnspændingens størrelse. Se fig. 4.1.

*Fig. 4.1
Princippet for bestemmelse af
jævnspændingers størrelse med
et oscilloskop.*



*Fig. 4.2
Princippet for bestemmelse af
spids-til-spids-værdien af en vek-
selspænding med et oscilloskop.*



Måling af spænding

Oscilloskopet kan også uden videre anvendes til umiddelbart at måle en påtrykt vekselspændings størrelse. Er y-forstærkeren indstillet til følsomheden 1 V/cm, betyder det, at en vekselspænding, som gengives af en kurve, hvor afstanden fra spids til spids er 3 cm, har spændingen 3 V spids-til-spids. For at måle en vekselspænding iagttager man derfor ganske enkelt den på billedskærmen tegnede kurve og måler afstanden mellem de positive og de negative spidser. Se fig. 4.2. Denne afstand er $2,83 \times$ effektivværdien af spændingen (forkortes U_{eff}). 0,35 V påtrykt spænding modsvarer 1 V spænding spids-til-spids (forkortet U_{ss}) på skærmen. 3,5 V U_{eff} modsvarer 10 V U_{ss} og 25 V U_{eff} modsvarer 71 V U_{ss} . Se fig. 4.3.

Den store fordel ved måling med oscilloskop er jo, at indgangsmodstanden i almindelighed er så høj, at man ikke belaster måleobjektet nævneværdigt. Man må dog være opmærksom på, at man ikke kan anvende vilkårligt lange prøveledninger fra oscilloskopet, hvis der måles i en kreds med højfrekvente strømme. Der kommer da en kapacitiv belastning, som kan indvirke utilladeligt på kredsens funktion. Det kan også forekomme, at en udstråling fra prøveledningerne kan give tilbagekobling til andre steder i kredsløbet. Dermed kan det undersøgte apparats funktion ændres.

Når der er tale om en jævnspændingsmåling, er det derfor en god ide at indføre et RC-filter i den yderste ende af måletilledningerne – en højohmsmodstand, som afkobles med en kondensator – se fig. 4.4. Dermed får man naturligvis en vis spændingsdeling i oscilloskopet eftersom

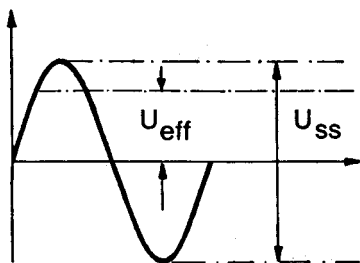


Fig. 4.3

Sammenhængen mellem spids-til-spids-spænding U_{ss} og effektivværdien af spændingen U_{eff} .

man jo trods alt har en vis modstand i dette. Modstanden i oscilloskopet er af størrelsesordenen $1\text{ M}\Omega$ og lægger man $1\text{ M}\Omega$ i serie i måleledningen, får man kun den halve spænding repræsenteret ved afbildningen.

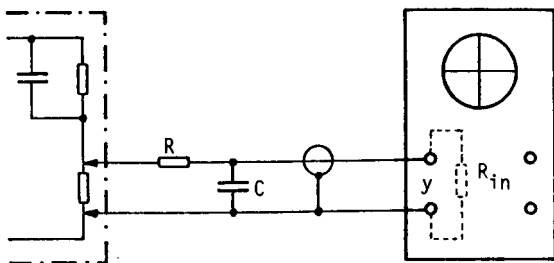


Fig. 4.4

For at hindre højsfrekvent spænding at gå ud i måleledningerne i retning mod oscilloskopet, bør man indsætte et lille RC-filter i den yderste ende.

Nøjes man med at sætte så lav en værdi som $10\text{ k}\Omega$ kommer man – hvis oscilloskopet har $1\text{ M}\Omega$ indre modstand – til at tabe 1% af spændingen, og man får altså en fejlvisning på 1%.

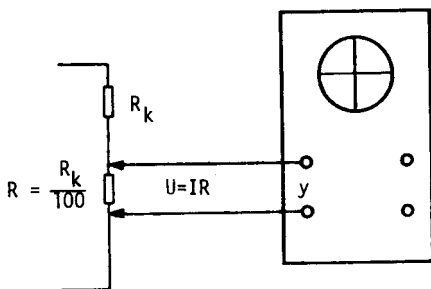


Fig. 4.5

Princippet for strømmåling med et oscilloskop.

Måling af strøm

På samme måde som man måler spænding kan man også måle strøm med et oscilloskop. Man må da omdanne strømmen til en til strømmen svarende spænding som tilføres oscilloskopets y-indgang. Det sker ved at man lader den strøm I , der skal måles passere en kendt modstand R . Man får da et spændingsfald $U = I \cdot R$. Det er dette, som man måler med oscilloskopet. Fig. 4.5.

Naturligvis må man gøre sig klart, hvilken ændring af strømmen som indtræder ved denne indførelse af en modstand. Udgør denne 1% af strømkredsens øvrige modstand, får man en formindskelse af strømmen på 1%. I samme omfang man øger denne målemodstand for at opnå større udslag på oscilloskopet, ændrer man naturligvis strømmen ved at den totale modstand i kredsløbet øges. Det er derfor ønskeligt at anvende så lav modstand i målekredsen som muligt.

Selv i dette tilfælde kan det være bekvemmest at arbejde med en serie-modstand og tilhørende kondensator i måleledningen for at forhindre at højfrekvent strøm går fra kredsløbet og ud i måletilledningerne og dermed ændrer det undersøgte apparats virkemåde.

Modstandsmåling

Ligesom man kan måle spænding og strøm i et kredsløb med et oscilloskop kan man også måle modstand. Det er lettest at måle højohmige modstande, eftersom man da får en højere signalspænding ved en vis

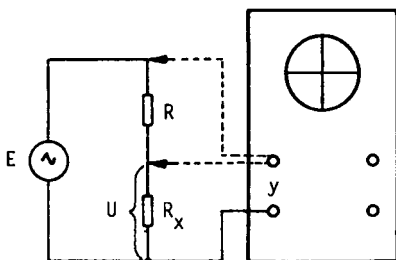


Fig. 4.6

Princippet for modstandsmåling ved hjælp af et oscilloskop.

given spænding over kredsen. Diagrammet for en sådan måleopstilling er vist i fig. 4.6. Ved først at måle den totale spænding E og derefter at måle delspændingen U får man for værdien af R_x :

$$R_x = (U \cdot R) : (E - U)$$

hvor R er modstandsværdien for den kendte seriemodstand.

Impedansmåling

Den målemetode, der anvendes for måling af fasedrejning, kan også i nogen modificeret form udnyttes til at undersøge reaktanser. Fig. 4.7 viser en enkel målekobling, der gør det muligt at bestemme både amplitude og fasevinkel hos en impedans. Som del af denne indgår en kalibreret, variabel modstand R , f.eks. en dekademodstand. I serie med denne indkobles den søgte impedans Z og man måler skiftevis spændingsfaldet over R og Z . Man indstiller R , så $U_R = U_Z$. Dermed er impedansens numeriske værdi lig R .

For bagefter at finde fasevinklen hos impedansen kan man gå frem som angivet i kapitel 8.

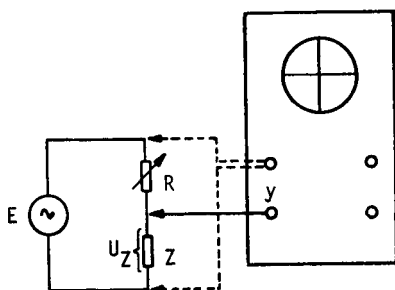


Fig. 4.7

Opstilling til måling af numerisk værdi og fasevinkel for en impedans ved hjælp af et oscilloskop.

Oscilloskopet som 0-indikator

Som det fremgår af tidligere afsnit egner oscilloskopet sig godt til at måle elektrisk spænding. Har oscilloskopets y-forstærker en nogenlunde høj forstærkning kan man derfor også med fordel anvende oscilloskopet som 0-indikator i broopstillinger af forskellig slags.

Fordelen ved oscilloskopet i denne sammenhæng er, at det ikke alene viser, når brospændingen er minimum, se fig. 5.1, men man kan også af oscilloskopbilledet bedømme når grundtonen af den påtrykte målespænding er minimum. Dette er f.eks. ikke muligt med et indikatorinstrument af drejespoletypen i forbindelse med signalensrettere. Med drejespoleinstrumentet i denne opstilling aflæser man effektivværdien, event. middelværdien af den ensrettede brospænding.

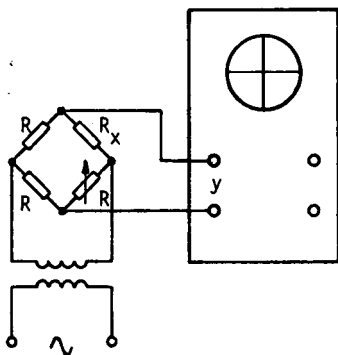


Fig. 5.1

Oscilloskopet benyttet som 0-indikator i en målebro.

Oscilloskopet er også værdifuldt ved forvrængningsmålinger, hvor man undertrykker signalets grundtone og aflæser effektivværdien af overtonerne. Man kan med oscilloskopet i målebroens diagonal ganske let afgøre, hvilken eller hvilke overtoner, som dominerer. Har y-forstærkeren desuden kalibreret forstærker, kan man også finde de enkelte overtoners amplitudeværdier og dermed klirfaktoren, idet man jo også har mulighed for at aflæse amplitudeværdien af signalet incl. alle overtoner, blot ved at tilslutte oscilloskopet broens indgang. Se endvidere kapitel 6.

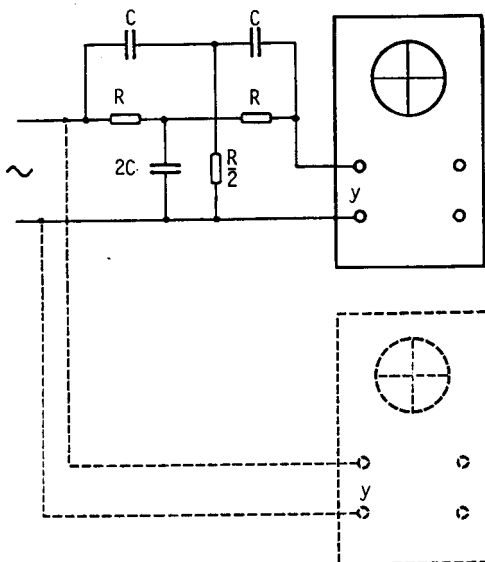


Fig. 5.2

Principet for klirfaktormåling med et oscilloskop.

Undersøgelse af kurveformer

Med oscilloskopet kan man afbilde periodiske elektriske forløb, dvs. elektriske forløb, der uafbrudt gentages. Den praktisk taget træghedsfrie elektronstråle, som på billedskærmen giver sig til kende som en bevægelig lysplet, tegner hele tiden samme billede, hvorved man får en fastholdt afbildning af forløbet. Dette, at man detaillert kan studere et sådant forløbs kurveform, giver umiddelbart et af oscilloskopets vigtigste anvendelsesområder: at iagttage kurveformen for mangfoldige arter elektriske hændelser.

Fremgangsmåden bliver følgende: til oscilloskopets y-indgang føres den spænding, der skal undersøges. Ved at indstille på en passende sweep-

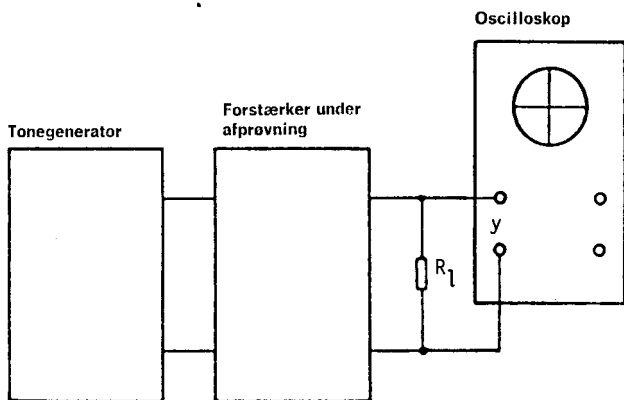


Fig. 6.1

Afprøvning af LF-forstærker med et oscilloskop. Et forvrængningsfrit signal fra en tonegenerator tilføres forstærkeren.

frekvens på den horisontale afbøjning og synkronisere får man et stående billede af det signal, der tilføres.

Undersøgelse af LF-forstærkere

I fig. 6.1 vises måleopstillingen ved undersøgelse af en LF-forstærker med et oscilloskop. En tonegenerator sluttes til indgangen på den forstærker, der skal afprøves. En belastningsmodstand R_1 sluttes til forstærkerens udgangsklemmer. R_1 bør have den for forstærkeren foreskrevne værdi. Drejer det sig om en LF-forstærker kan man ganske enkelt tilslutte en højttaler med passende impedans. Man kobler da oscilloskopet parallelt over højttaleren.

Man kan også gå ind andre steder i LF-forstærkeren med oscillografen, for eksempel på de enkelte trins kollektorer i en transistorforstærker. Optræder der forvrængning i forstærkeren kan man med oscilloskopet søge sig frem til det trin i forstærkeren, hvor forvrængningen optræder. Ved denne undersøgelse går man fra første trin trinvis frem til udgangstrinet og dets belastning.

Forvrængningstyper

I det efterfølgende gives der eksempler på forskellige typer forvrængning,

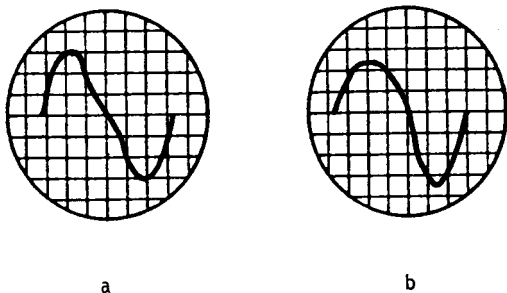


Fig. 6.2

- Eksempel på hvorledes kurveformen ser ud ved 10% forvrængning forårsaget af 2. overtone.
- Kurveformen ved samme forvrængning, men med 2. overtone i anden fase end i tilfælde a.

der kan optræde i LF-forstærkere. I fig. 6.2 a og 6.2 b vises den kurveform, der – afhængigt af forholdene – fås ved 10% forvrængning som følge af indhold af 2. overtone. I fig. 6.3 a og 6.3 b vises kurveformen ved 10% forvrængning som følge af forekomsten af tredje overtone ved forskellig fase i forhold til grundtonen. Endelig vises i fig. 6.4 to kurveformer der er karakteristiske, når både anden og tredje overtone forekommer.

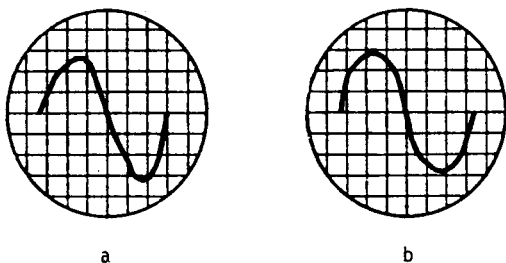


Fig. 6.3

- a) Kurveformen ved 10% forvrængning forårsaget af 3. overtone.
 b) Samme forvrængning stammende fra 3. overtone, men i anden fase.

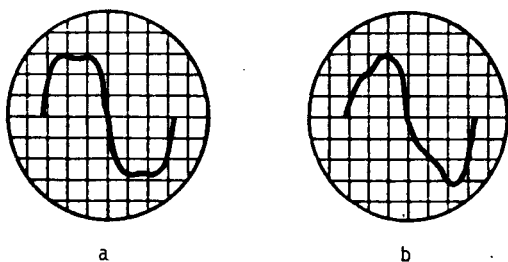


Fig. 6.4

- a) Kurveform ved 10% forvrængning på grund af indhold af både 2. og 3. overtone.
 b) Samme forvrængning, men med anden fase hos overtonerne.

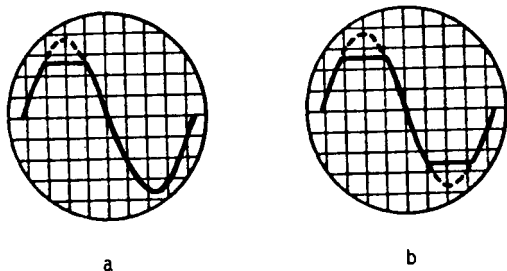


Fig. 6.5

a) Kurveformen ved fejlagtig forspænding i et modkoblet trin i forstærkeren.

b) Kurveform ved så kraftig overstyring af forstærkeren, at begge halvperioder »klippes«.

Disse billeder kan være nyttige at kende ved undersøgelser af LF-forstærkere, idet man udfra dem kan skønne arten og størrelsen af forvrængningen.

Et sinussignal, der bliver afklippet på den måde som fremgår af fig. 6.5 a, kan være forårsaget af en forkert forspænding i et af de modkoblede trin. Forvrængningen af den type i endnu mere udpræget grad kan også fremkomme ved at det ene rør i et push-pull-trin helt er sat ud af funktion.

Sker der klipping af begge toppe i et sinussignal (se fig. 6.5 b) kan man gå ud fra, at der er kraftig overstyring i forstærkeren.

Bestemmelse af forvrængning

I kapitel 5 blev gennemgået, hvorledes man med oscilloskopet i en broopstilling kan måle de enkelte overtoners amplitude i et signal. For at finde frem til klirfaktoren for en forstærker, skal man egentlig kende overtonernes effektivværdier som indsættes i

$$d = \sqrt{(U_2^2 + U_3^2 + U_4^2 + \dots)} : U_1,$$

hvor U_2, U_3, \dots er effektivværdierne for anden, tredje osv. overtoners spænding, og U_1 er effektivspændingen af grundtonen i det pågældende

signal. Med oscilloskopet i en opstilling som den i fig. 5.2 får man imidlertid amplitudeværdierne og kan kun gætte effektivværdien af den overtoneblanding, man får, når grundtonen er helt undertrykt. Da der ikke er tale om sinusspændinger, er effektivværdien ikke nøjagtig $1 : \sqrt{2}$ af amplitudeværdien, men er vel i nærheden af denne værdi. For U_1 gælder, at man i det mindste ved lave grader af forvrængning kan gå ud fra, at effektivværdien er $1 : \sqrt{2}$ af amplitudeværdien.

Støjmåling

Med et oscilloskop, der har tilstrækkelig følsomhed kan man undersøge forstærkerens støjegenskaber. Man slutter da oscilloskopet parallelt med forstærkerens belastningsimpedans. Over forstærkerens indgang forbindes en impedans af den størrelse, som signalkilden normalt skal have.

Ved at forøge oscilloskopets følsomhed tilstrækkeligt, får man afbildet et signal sammensat af forstyrrelser, f.eks. brum og et mere uregelmæssigt støjsignal. Amplituden for dette sammensatte støj- og brumsignal kan let fastslås og man kan skønne over størrelsen af amplituden dels for brumkomponenten, dels for støjkomponenten. Ved bagefter at undersøge amplituden hos det signal som skal danne referenceværdi, f.eks. signalamplituden ved maksimal udgangseffekt U_{max} , kan forholdet $U_{max} : U_{støj}$ dannes. Dette forhold er et mål for forstærkerens signal/støjforhold. På samme måde kan forholdet $U_{brum} : U_{max}$ dannes. Det udgør et mål for forstærkerens brumniveau i forhold til maksimalt udgangssignal.

Frekvensgang

Med samme måleopstilling kan man undersøge hvor forstærkerens frekvenskurve begynder at falde ved høje og ved meget lave signalfrekvenser. Man varierer den påtrykte vekselspændings frekvens og iagttager på oscilloskopet den forstærkede vekselspændings amplitude. Det ses straks, når amplituden begynder at formindskes. Det er naturligvis en forudsætning, at man holder indgangsspændingen konstant – den generator, der sluttes til indgangen, må have en udgangsspænding, der er uafhængig af den valgte frekvens (dette kan man kontrollere ved at sætte oscilloskopet over forstærkerindgangen). En anden forudsætning er naturligvis, at oscilloskopets forstærker har konstant forstærkning indenfor det frekvensområde, hvor målingerne foretages.

Med samme måleopstilling kan man altså skaffe sig en oversigt over

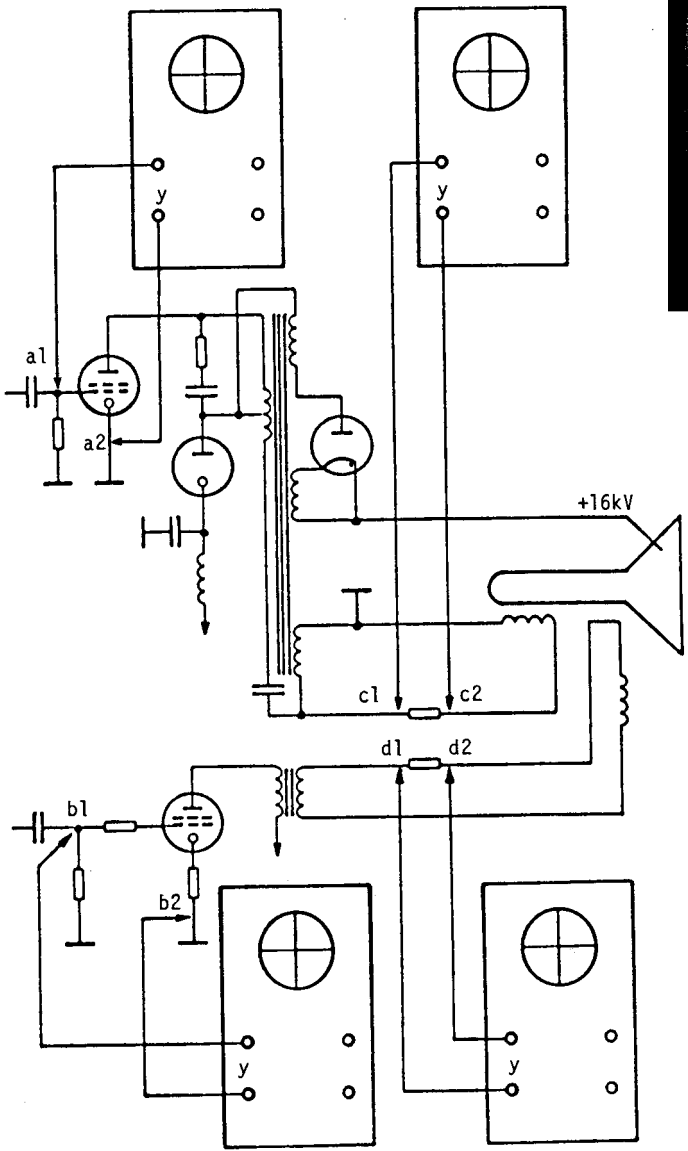


Fig. 6.6

Oscilloskopet kan anvendes til at studere kurveformen i en fjernsynsmodtagers afbøjningsdel, hvilket kan give gode vink om, hvor eventuelle fejl kan ligge.

hvilke indgangsniveauer af signaler, der er mulige uden at altfor kraftig forvrængning optræder. Man forøger efterhånden indgangssignalets niveau til man opdager en forvrængning af en af de typer, der er vist i fig. 6.2–6.5. Man aflæser så indgangsspændingens størrelse f.eks. med oscilloskopet over indgangen og har da umiddelbart største tilladelige værdi for indgangsspændingen.

Undersøgelse af afbøjningskredsløb

På fig. 6.6 ses, hvorledes man med oscilloskopet kan kontrollere kurveformen hos spændinger og strømme i en fjernsynsmodtagers afbøjningsdel. Vigtigt er det, at modtageren strømforsynes via en skilletransformator, da fjernsynsmodtagerens chassis kan være spændingsførende og da oscilloskopets stelforbundne indgangsklemmer (og chassis) ofte er tilsluttet en beskyttelsesjordledning via netledningen. En kortslutning kan opstå ved at det spændingsførende modtagerchassis jordsluttes.

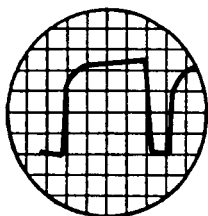


Fig. 6.7

Korrekt kurveform på indgangen af linieafbøjnings-trinnet.

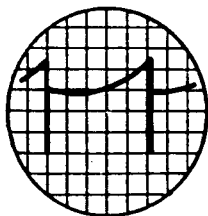


Fig. 6.8

Korrekt kurveform på indgangen af billedafbøjnings-udgangstrinnet.

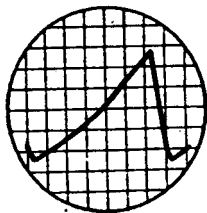


Fig. 6.9
 Korrekt kurveform hos afbøjningsstrømmen for linieafbøjningsspolerne. Udmålt over 1Ω modstande i serie med afbøjningsspolerne.

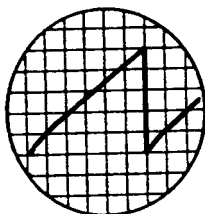


Fig. 6.10
 Korrekt kurveform hos afbøjningsstrømmen i billedafbøjningsspolerne. Udmålt over 1Ω modstande i serie med afbøjningsspolerne.

I fig. 6.7–6.8 vises den rigtige kurveform for driftsspændingen for linie- henholdsvis billedafbøjningsspændingen i punkterne a1–a2 henholdsvis b1–b2. I fig. 6.9 og 6.10 vises kurveformen hos afbøjningsstrømmen i linie- og billedafbøjningsspolerne. For at kunne registrere afbøjningsstrømmene måtte en 1Ω modstand indskydes i tilledningerne til de to spoler. Tilslutningspunkterne er c1–c2 og d1–d2.

Afprøvning af forstærkere med firkantimpulser

Ved undersøgelser af forstærkere med oscilloskop er firkantspændingen ofte bekvemmere at anvende end sinusspændingen. Årsagen er den, at man ved firkantprøven får en hel del oplysninger frem om fase-, frekvens- og amplitudekarakteristikken i samme oscilloskopbillede.

Ved en undersøgelse med firkantspændinger laver man sin opstilling på samme måde som ved undersøgelsen af forstærkere med sinusspændinger men man udskifter tonegeneratoren med en firkantgenerator. Se fig. 7.1. Bemærk, at firkantgeneratoren ikke må overstyre noget trin i forstærkeren. Man bør derfor først foretage en undersøgelse med sinusspænding på forstærkerindgangen og fastslå hvilken amplitude indgangssignalet kan antage uden overstyring.

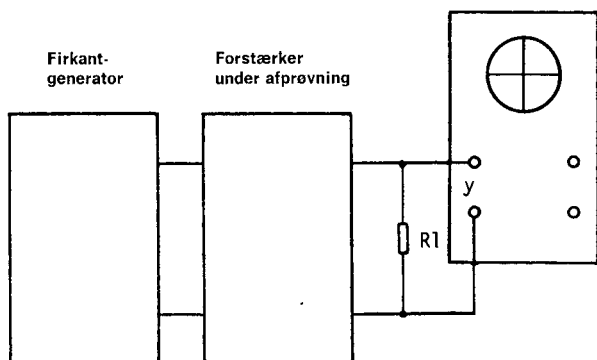


Fig. 7.1

Måleopstilling for afprøvning af forstærkere med firkantsignaler.

Oscilloskopet sluttes til forstærkerens udgang over hvilken også forstærkerens normale belastningsimpedans forbindes.

Forstærkerens måde at gengive den påtrykte firkantspænding giver umiddelbart til kende, om der er defekter i forstærkeren.

I fig. 7.2 vises eksempler på typiske kurveformer, der kan optræde på billedskærmen ved firkantundersøgelsen.

I fig. 7.2.a vises den kurveform, der fås når firkantsignalets frekvens f_k

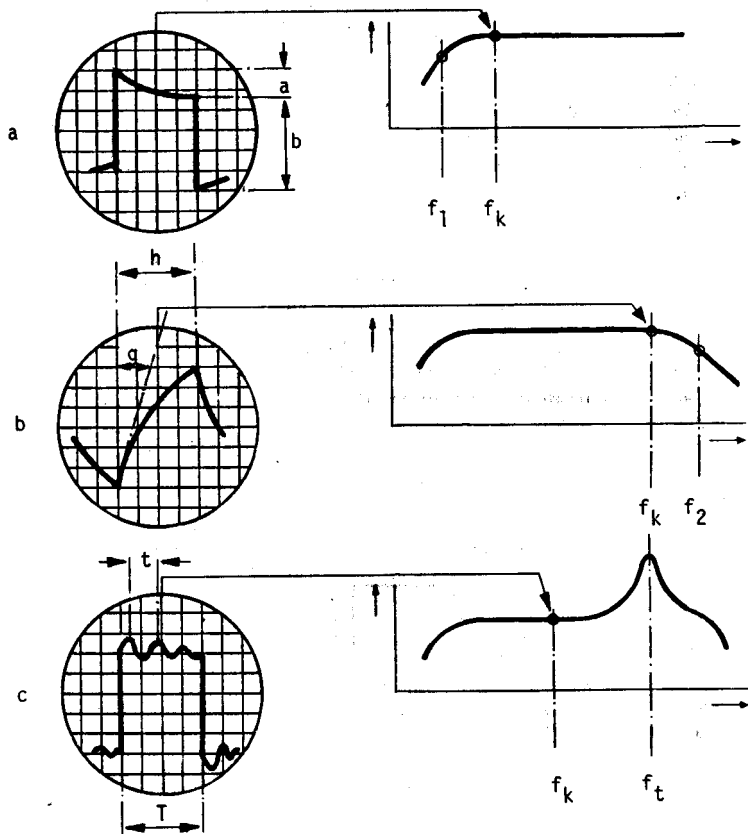


Fig. 7.2

Firkantgengivelsen i en forstærker i forskellige tilfælde. Se teksten.

begynder at nærme sig forstærkerens nedre grænsefrekvens f_1 . Hvis den nedre grænsefrekvens hovedsagelig bestemmes af een seriekondensator efterfulgt af en shuntmodstand gælder følgende sammenhæng:

$$\operatorname{tg} \varphi \approx f_1 : f_k \approx 0,64 \cdot (a:b)$$

Her betegner φ fasedrejningen ved den aktuelle frekvens f_k . Forholdet $a:b$ kan opnås ved at man på billedskærmen udmåler stykkerne a og b . Er f.eks. $a = b:2$ ved $f_k = 100$ Hz, så er $\operatorname{tg} \varphi = 0,64 \cdot 0,5 = 0,32$, der giver $\varphi = 18^\circ$. Endvidere fås $f_1 = 0,32 \cdot 100 = 32$ Hz.

I fig. 7.2 b ses den kurveform, der fås, når firkantspændingens frekvens begynder at nærme sig den øvre grænsefrekvens f_2 . Bestemmes den øvre grænsefrekvens i hovedsagen af een shuntkapacitet, gælder der følgende sammenhæng:

$$\operatorname{tg} \varphi \approx f_k : f_2 \approx 3,2 \cdot (g : h)$$

Også her betyder φ fasedrejningen ved den pågældende frekvens f_k . Forholdet $g : h$ fås ved direkte udmåling af stykkerne g og h på skærmen.

Er f.eks. $g = h:8$ ved frekvensen 5000 Hz, så er $\operatorname{tg} \varphi = 3,2:8 = 0,4$, hvad der giver $\varphi = 22^\circ$, og videre fås $f_2 \approx 5000/0,4 = 12.500$ Hz. Ved at studere firkantgengivelsen kan man tydeligvis hurtigt fastslå grænsefrekvenserne for en forstærker og endvidere størrelsen af fasedrejningen.

Resonansspidser i en forstærker giver sig til kende som krusning eller oversving på den gengivne firkantbølge, se fig. 7.2 c. Hvor i frekvensspektret resonansspidserne er beliggende, er let at bestemme. Man bestemmer forholdet $t:T$, se fig. 7.2 c.

Følgende sammenhæng gælder:

$$f_1 = 2 (T:t) \cdot f_k,$$

hvor f_t er frekvensen for resonansspidsen og f_k er lig firkantspændingens frekvens.

Er f.eks. $(T:t) = 3$ ved firkantfrekvensen 3000 Hz er der en resonansspids i forstærkerens frekvenskurve ved frekvensen $f_t = 6 \cdot 3000 = 18.000$ Hz.

Måling med firkantsignaler på modkoblede forstærkere

Ved målinger med firkantsignaler på modkoblede forstærkere må man huske, at man ikke kan arbejde med for kort stigetid i firkantimpulserne. Er det tilfældet, når modkoblingen ikke at virke og forstærkeren overstyres ved lavere niveau end det forstærkeren klarer ved sinussignaler i stationær tilstand.

Måling af faseforskydning

Man kan med oscilloskopet let måle faseforskydning mellem to spændinger med nøjagtig samme frekvens, f.eks. ind- og udgangsspænding i en forstærker. Anvendes et eenstråleoscilloskop, kobles den ene spænding til y-forstærkeren og den anden spænding til x-forstærkeren. Sammenhængen mellem faseforskydningen og det på skærmen viste billede fremgår af fig. 8.1, der viser det tilfælde, at afbøjningen er lige stor i x- og y-retningen.

Hvorledes fasevinklen mellem to spændinger med samme frekvens bestemmes fremgår af fig. 8.2. Det må bemærkes, at forstærkningen i x- og y-forstærkerne ikke behøver at være lige stor. Det i fig. 8.2 viste forhold gælder uafhængigt af hældningen af den på billedskærmen viste faseellipse. I fig. 8.3 vises en kurve, som kan anvendes til bestemmelse af

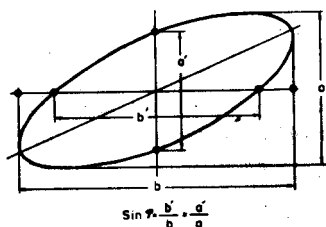


Fig. 8.2

Fasen mellem to sinusformede vekselspændinger med nøjagtigt samme frekvens kan bestemmes ved at man på billedrøret udmåler strækningerne a og a' . Man kan også udmåle strækningerne b og b' . Fasevinklen mellem spændingerne fås af sammenhængen $\sin \varphi = a'/a = b'/b$.

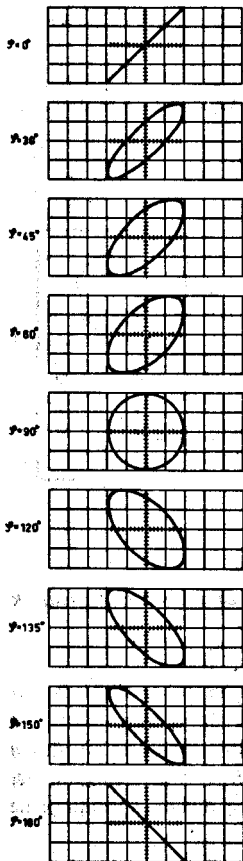


Fig. 8.1

Afhængigt af faseforskellen mellem to sinusformede vekselspændinger med samme frekvens som påtrykkes x - og y -indgangene på et oscilloskop får man ellipseformede figurer på billedskærmen. Ellipsernes hældning giver faseforskellen mellem spændingerne. Det er forudsat, at afbøjningen for x - og y -spændingen har samme størrelse. Hvis spændingerne har forskellig størrelse, kan bestemmelsen af fasevinklen ske som vist på fig. 8.2.

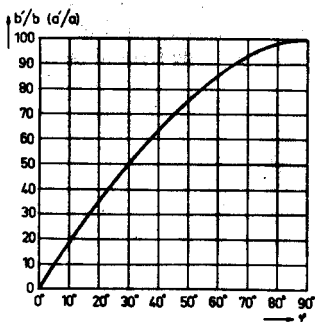


Fig. 8.3

Kurve til bestemmelse af fasevinklen. Forholdet b'/b eller a'/a er angivet i procent.

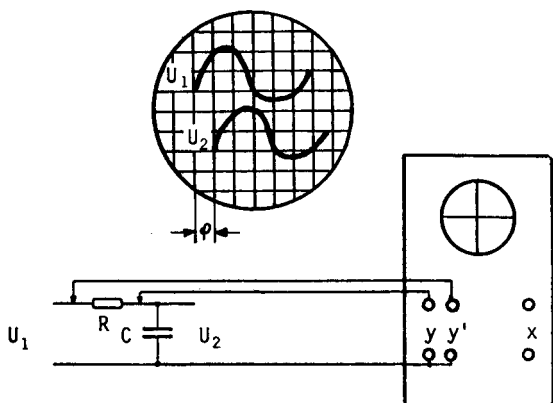


Fig. 8.4

Bestemmelse af faseforskydning ved hjælp af dobbeltstråleoscilloskop.

φ udfra de to forhold a'/a eller b'/b . Anvendes dobbeltstråleoscilloskop påtrykkes de to spændinger, hvis faseforskydning skal måles til de to y-indgange på oscilloskopet. Man kan derefter direkte på billedskærmen udmåle afstanden mellem f.eks. spændingernes 0-gennemgange (se fig. 8.4) for at finde frem til faseforskydningen φ mellem spændingerne.

Frekvensbestemmelse

Har man adgang til et oscilloskop kan man let foretage en bestemmelse af et signals frekvens ved sammenligning med et signal, hvis frekvens er kendt. Ved denne undersøgelse tilsluttes den ukendte spænding til y-forstærkerens indgang og en vekselspænding af en kendt frekvens føres til x-forstærkerens indgang. Man får da en såkaldt Lissajous-figur, som giver oplysning om forholdet mellem de to frekvenser.

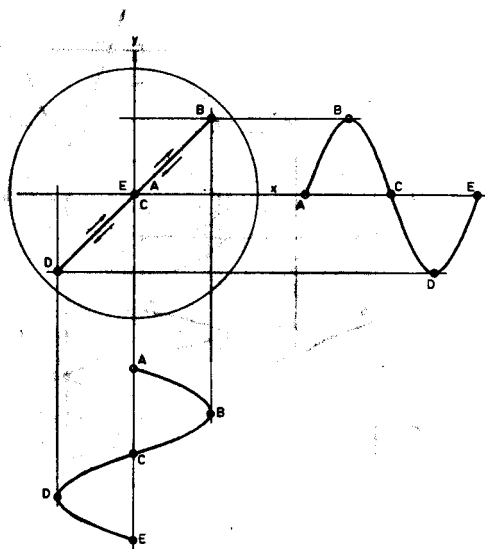


Fig. 9.1

Hvis to sinusformedede vekselspændinger med samme frekvens tilføres et oscilloskops vertikale og horisontale afbøjningspladesæt fås ved en vis faseforskel mellem de to spændinger en stillestående ret linie på billedskærmen.

På fig. 9.1 ses, hvorledes man kan konstruere denne figur, hvis man fører signaler af samme frekvens til x- og y-pladerne. På fig. 9.2 vises det tilfælde, hvor man har samme frekvens for de to signaler, men hvor faseforskellen er en anden end i fig. 9.1. På fig. 9.3 ses den figur, man får, når den ene frekvens (x-indgang) er dobbelt så stor som den anden (y-indgang). En Lissajous-figur i form af en cirkel eller en ret linie som i fig. 9.1. eller fig. 9.2 viser altså, at samme frekvens ligger over x- og y-pladerne.

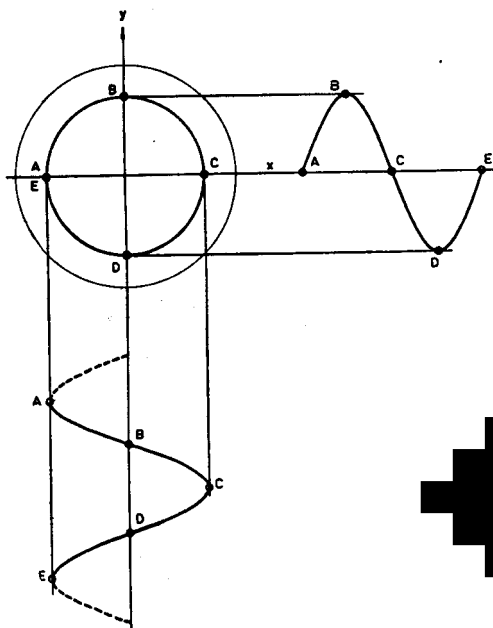


Fig. 9.2

Hvis to sinusformedede vekselspændinger med samme frekvens påtrykkes et oscilloskops vertikale og horisontale afbøjningsplader, fås ved en bestemt faseforskydning mellem de to spændinger en stillestående figur A-B-C-D-E. Hvorledes denne figur (en Lissajous-figur) opstår, fremgår af konstruktionen.

I det tilfælde, at de to frekvenser afviger fra hinanden, får man andre typer Lissajou-figurer. Afhængigt af faseforskydningerne, får man figurer, der ser noget forskellige ud. Ved at se, hvormange toppe i en Lissajous-figur, som tangerer en vertikal og hvor mange en horisontal tangent, kan man bestemme forholdet mellem vertikal- og horisontal-spændingens frekvenser f_y og f_x . Man har nemlig sammenhængen:

$$f_x = f_y \cdot n_v/n_h.$$

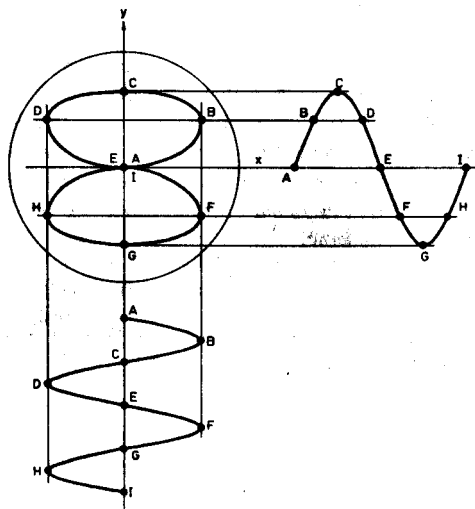


Fig. 9.3

Hvis en sinusformet vekselspænding med frekvensen f_y påtrykkes et oscilloskops vertikalafløbende plader og en sinusformet vekselspænding med frekvensen $f_x = 2 f_y$ påtrykkes det horisontalafløbende pladepar fås en 8-talsformet figur A-B-C-D-E-F-G-H-I på billedskærmen.

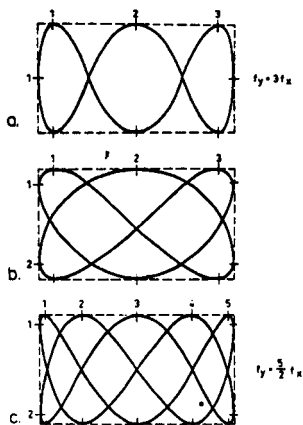


Fig. 9.4

Ved at holde rede på, hvor mange toppe i en Lissajous-figur, der tangerer en horisontal og hvor mange, der tangerer en vertikal tangent til figuren (punkterede på tegningen) kan man som vist ved figurerne få oplyst forholdet mellem frekvenserne hos de signaler, der tilføres henholdsvis det vertikalafløbende og det horisontalafløbende pladeapar. Bemærk, at faseforskellen mellem f_x og f_y må være således, at ingen »spidser« når frem til begrænsningslinierne.

hvor n_v er antal toppe, der når en vertikal tangent og n_h er antallet der når en horisontal tangent. Se fig. 9.4.

Målinger på digitalt apparatur

Digitalt apparatur, dvs. apparatur til styring, regulering og overvågning af maskiner eller hele industrielle processer, databearbejdende apparatur og digitale måleinstrumenter har i de senere år indtaget en stadig mere dominerende plads i teknikken. Ved alle arter arbejde med den slags apparatur er oscilloskopet det selvsikrede overvågnings- og måleinstrument, der kan næppe erstattes med noget andet.

Hvad man vil undersøge, måle eller overvåge i digitalt apparatur er f. eks. spændingsimpulser, kurveform, forsinkelse og impulsers stige- og faldetid. Det har også stor betydning, at man på enkel måde kan sikre sig at støjimpulser ikke optræder – f. eks. via fælles strømforsyning eller ved kobling mellem forbindelseskabler. Denne kontrol udføres lettest med et oscilloskop.

Da man altid, når det drejer sig om digitalt apparatur, arbejder med spændinger som hurtigt veksler mellem to niveauer, altså udfører spændingsspring, gælder det om at have et oscilloskop med tilstrækkelig kort stigetid eller – hvilket er det samme – tilstrækkelig stor båndbredde. Vor tids digitalkredse går imod at blive hurtigere og hurtigere, hertil medvirker fremkomsten af integrerede kredse, og dermed stiger kravene om korte stigetider i de oscilloskoper, der skal anvendes til kontrol og undersøgelse af disse kredse.

Stigetiden

Stigetiden defineres som det tidsinterval, der er mellem det tidspunkt, da spændingen ved et spændingsspring er nået til 10% af sin maksimale værdi og det tidspunkt, da 90% af maksimalværdien er nået, se fig. 10,1. Mellem den øvre grænsefrekvens f_2 for et oscilloskop og stigetiden t_r

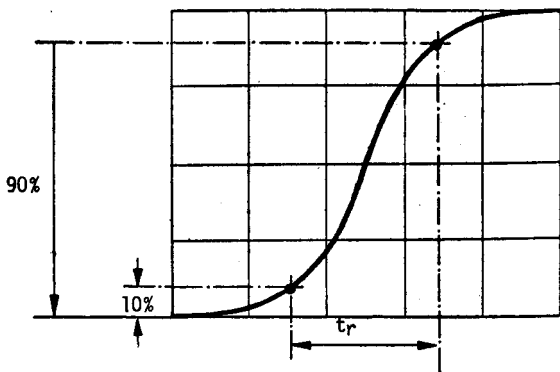


Fig. 10.1
Definition på stigetiden ved spændingsspring.

gælder følgende sammenhæng

$$f_2 \cdot t_r \approx 0,3-0,5$$

hvor f_2 kan måles i MHz og t_r i us.

Med 5% forvrængning er $f_2 \cdot t_r = 0,35$. Med 10% forvrængning er $f_2 \cdot t_r = 0,45$. Sammenhængen mellem båndbredden B ($\approx f_2$) og stigetiden t_r udtrykt ved $B \cdot t_r = 0,35$ fremgår af diagrammet i fig. 10.2.

Eksempel: For et oscilloskop med den øvre grænsefrekvens 100 MHz er stigetiden t_r

$$t_r = 0,35 : 100 = 0,0035 \text{ us} = 3,5 \text{ ns.}$$

Stigetidens betydning

Når det gælder om at måle hurtige forløb må oscilloskopets stigetid lægges til den stigetid, som man har i det undersøgte kredsløb og den stigetid, som impulsgeneratoren giver. Stigetiderne adderes imidlertid kvadratisk, så den stigetid, man aflæser på oscilloskopet $t_{osc}^2 =$

$$t_{rg}^2 + t_{rm}^2 + t_{rf}^2$$

hvor t_{rg} er impulsgeneratorens stigetid, t_{rf} er oscilloskopforstærkerens stigetid og t_{rm} er kredsløbets stigetid.

Vil man kende stigetiden t_{rm} i den kreds, man undersøger, må den beregnes ud fra:

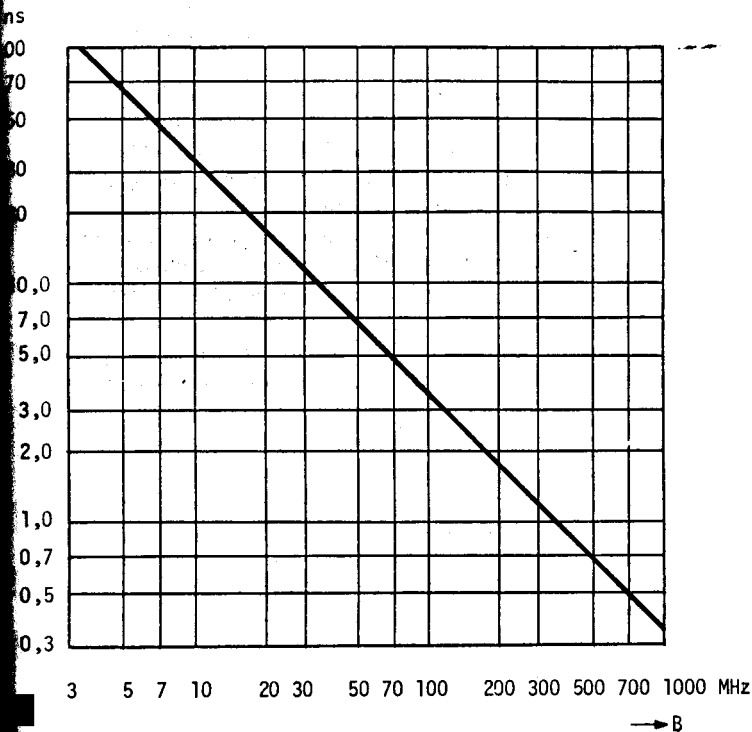


Fig. 10.2

Sammenhængen mellem stigetid t_r i ns og båndbredden B i MHz.

$$t_{rm} = \sqrt{t_{rosc}^2 - t_{rg}^2 - t_{rf}^2}$$

Eksempel: Man ønsker at måle stigetiden t_{rm} i en kreds med en impuls-generator med stigetiden $t_{rg} = 10$ ns og med et oscilloskop, hvis y-forstærker har stigetiden $t_{rf} = 20$ ns. På oscilloskopet måles stigetiden $t_{rosc} = 50$ ns. Se fig. 10.3. Hvilken stigetid har man i den kreds, på hvilken målingen foretages? Af formelen fås

$$t_{rm} = \sqrt{50^2 - 10^2 - 20^2} = \sqrt{2000} = 45 \text{ ns.}$$

Kredsløbets øvre grænsefrekvens må da være

$$f_s = 0,35 : 0,045 \approx 8 \text{ MHz}$$

For at kunne måle switchtider med passende nøjagtighed ved hjælp af oscilloskoper må man tydeligvis anvende et oscilloskop med tilstrækkelig kort stigetid. Er stigetiden for lang, får man en vis fejl. Størrelsen af denne bliver jo større, jo mere stigetiden nærmer sig den, der findes i den målte kreds. Forudsætter man, at firkantgeneratorens stigetid er ubetydelig i sammenligning med målekredsens, får man for forskellige forhold mellem stigetiden i den målte kreds og stigetiden i oscilloskopet den procentuelle fejl, der fremgår af tabel 10.1.

Tabel 10.1 giver et par værdifulde oplysninger. Antag, at et oscilloskop med båndbredden 0–100 MHz skal anvendes til undersøgelse af et kredsløb med stigetiden $t_{rm} = 10$ ns. Båndbredden 100 MHz hos oscilloskopet modsvarer en stigetid t_{rf} på $0,35 : 100 = 3,5$ ns. Af tabel 10.1 fås for $t_{rm} : t_{rf} = 10 : 3,5 \approx 3$, at fejlvisningen er 6%. For at komme ned på 0,5% fejl må, stadig ifølge tabel 10.1, forholdet

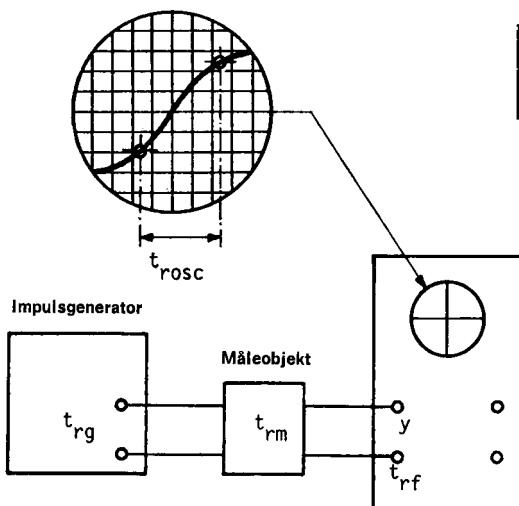


Fig. 10.3

Måleopstilling for måling af stigetid ved hjælp af et oscilloskop.

Tabel 10.1

Fejlvisning i procent ved bestemmelse af stigetid med oscilloskop ved forskellige forhold mellem stigetiden i målekredsen og stigetiden i oscilloskopet.

Stigetid i målte kredsløb Stigetid i oscilloskop	Fejlvisning i %
1 : 1	41
2 : 1	14
3 : 1	6
4 : 1	3
5 : 1	2
10 : 1	0,5

$t_{rm} : t_{rf}$ op på mindst 10. Det betyder, at stigetiden i oscilloskopet må gå helt op til 1 ns, hvilket svarer til en båndbredde på 350 MHz.

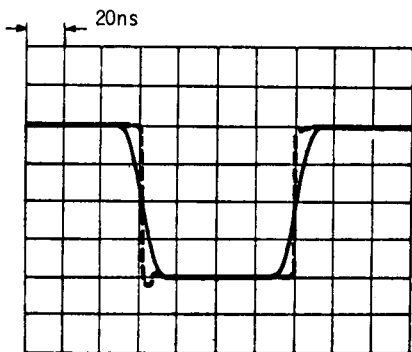


Fig. 10.4

Oscillogram, der viser den kurveform, der fås når en 80 ns lang impuls med en stigetid på 0,1 ns iagttages med

a) et oscilloskop, hvis y-forstærker har båndbredden 33 MHz (dvs. stigetid 10 ns) – fuldt optrukken linie

b) et oscilloskop, hvis y-forstærker har båndbredden 1000 MHz (dvs. en stigetid på 0,35 ns) – punkteret linie.

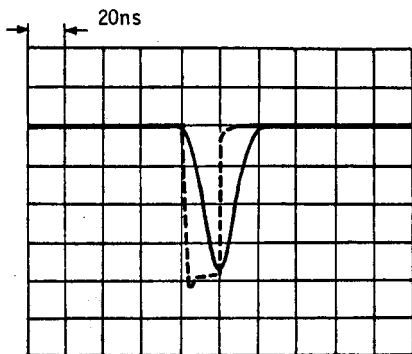


Fig. 10.5

Oscillogram, der viser den kurveform, der fås når en 20 ns lang impuls med en stigetid på 0,1 ns iagttages i

a) et oscilloskop, hvis y-forstærker har båndbredden 33 MHz – fuldt optrukken kurve.

b) et oscilloskop, hvis y-forstærker har båndbredden 1000 MHz – punkteret kurve.

Specielt ved undersøgelse af korte impulser medfører for lang stigetid hos oscilloskopet, at man får en utilfredstillende impulsgengivelse. Fig. 10.4 viser, hvorledes en 80 ns lang firkantimpuls med en stigetid på 0,1 ns ser ud i et oscilloskop med båndbredden 33 MHz og hvorledes den ser ud i et oscilloskop med båndbredden 1000 MHz. I fig. 10.5 vises, hvorledes tilsvarende impulser ser ud i de to oscilloskoper, når impuls-længden er så kort som 20 ns. Som det ses, bortfalder en hel del af impulsens detaljerede udseende ved gengivelse i oscilloskoper med utilstrækkelig båndbredde. For at slippe for besværligheder med impulsforvrængning ved lave frekvenser, bør man vælge et oscilloskop med jævnspændingsforstærker i y-sektionen. Man kan da studere impulser af passende lange varigheder og kan kontinuert overvåge forandringer i spændingsniveauerne.

»Reflektometri«

Samplingsoscilloskopet har vist sig særdeles anvendeligt til målinger og undersøgelser af mikrobølgekredekløb og hurtige digitalkredekløb og af komponenter til sådanne systemer. I den forbindelse anvendes en impulsgenerator, der giver hurtige spændingsspring på indgangen af et coaxialkabel med passende karakteristik og passende længde. Se fig. 11.1. Mellem impulsgeneratoren og indgangen af coaxialkablet indskydes en symmetrisk T-afgrening, hvis tredje terminal sluttes til samplingsoscilloskopet. Reflektioner, der opstår på grund af mistilpasning mellem kabelimpedansen og måleobjektet vandrer tilbage til T-stykket og kan iagttages på oscilloskopet, hvor den reflekterede spænding overlejres på de udgående impulser. Se fig. 11.2.

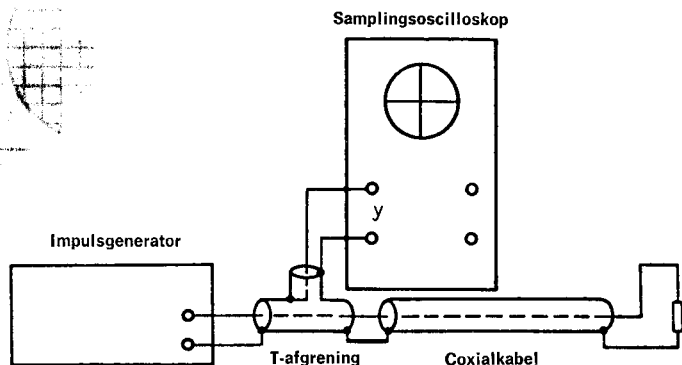


Fig. 11.1

Måleopstilling til måling af bl. a. mikrobølgekomponenter ved udnyttelse af reflektioner i et kabel.

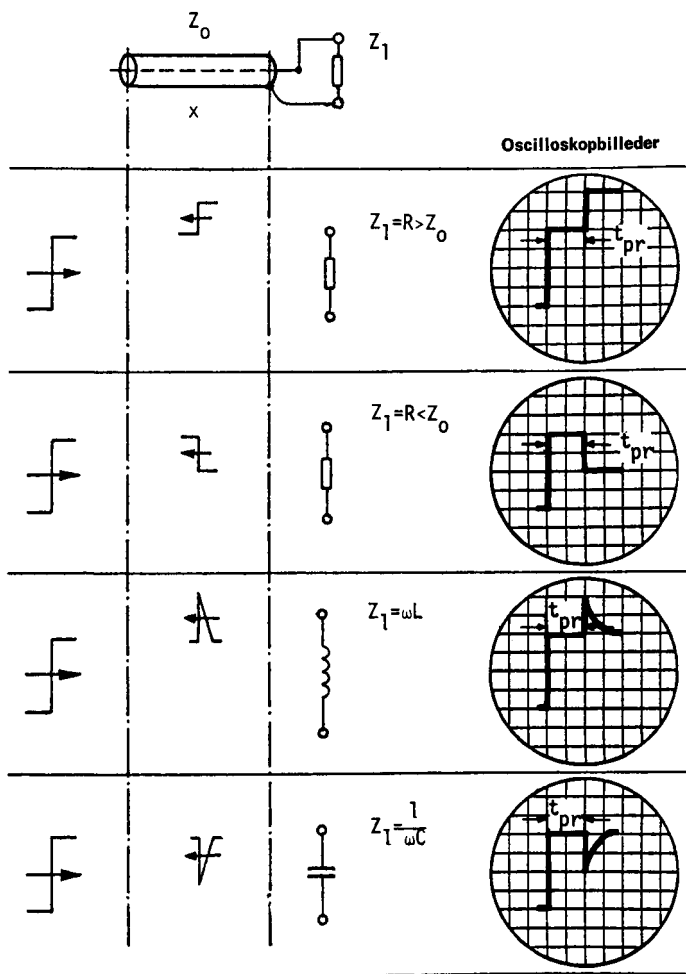


Fig. 11.2

Udgående og reflekteret spænding ved indførelse af et spændingsspring på et kabel under forskellige driftsforhold. Det oscillografiske billede ses længst til højre på figuren.

Afstanden i tid t_{pr} mellem impulsfronten og den reflekterede spændings ankomst til generatorsiden kan, hvis 50Ω kabel anvendes, beregnes ud fra

$$t_{pr} = 2x : 0,22$$

hvor t_{pr} haves i ns og x er kabellængden i meter. Sammenhængen mellem t_{pr} og x er givet i fig. 11.3.

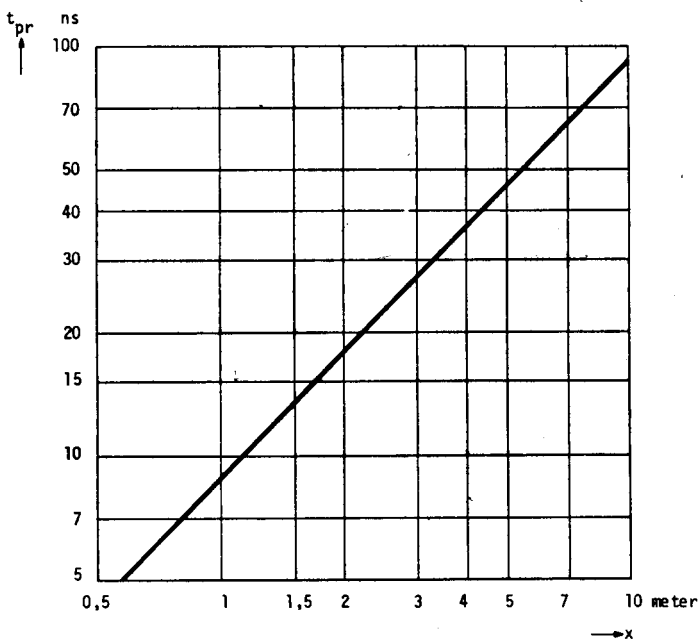


Fig. 11.3

Tidsforsinkelsen t_{pr} for reflekteret impuls i 50 ohms coaxialkabel. x er kabellængden.

Det gælder om at sikre, at oscilloskopets tidssweep begynder i rette tid, så refleksionerne kan studeres på skærmen. Man må derfor eventuelt indkoble anordninger, der trigger oscilloskopets tidssweep med passende tidsforskydning før signalets indtræden på kablet.

Af den viste impulsform kan man slutte sig til, om den tilkoblede belastning er resistiv, induktiv eller kapacitiv. Endvidere kan man afgøre, om en belastning er en værdi, der er større eller mindre end kablets karakteristiske impedans.

Navnlig ved mikrobølgekrede løb giver denne metode en enkel måde hurtigt at afgøre om et kabel er korrekt tilpasset.

I hurtige impulssystemer kan selv korte ledninger i hvilke refleksioner opstår, forårsage alvorlige impulsforvrængninger. Med refleksionsmålinger af den lige omtalte art kan man på enkel måde søge eventuelle forvrængninger af denne art. Endvidere kan man undersøge om refleksioner optræder f.eks. i coaxialstikforbindelser.

Metoden byder også på interessante muligheder med hensyn til måling af komponenter ved høje frekvenser til fastsættelse af eventuelle induktive og kapacitive impedansandele hos f.eks. stavmodstande (induktion i tilledningerne og spredningskapaciteter).

Af andre muligheder med refleksionsmålinger kan nævnes målingen af ledningers karakteristiske impedans, mikrobølgeantenners tilpasningsimpedans og udmåling af dynamiske data i transistorforstærkertrin. I alle disse tilfælde er der tale om målinger, der kan foretages efter fig. 11.1.

Målinger på halvledere

Oscilloskopet byder på interessante muligheder for at måle data for halvlederkomponenter af forskellig type. Princippet ved disse målinger er, at oscilloskopet optegner et strøm/spændingsdiagram. Man lader da strålen i y-aksens retning repræsentere strømmen og strålens udslag i x-aksens retning repræsentere spændingen.

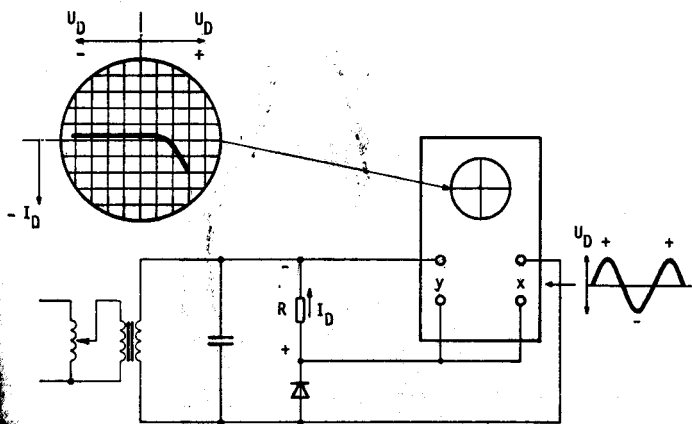


Fig. 12.1

Diagram for en måleopstilling til undersøgelse af strøm/spændingskarakteristik for halvlederdiode.

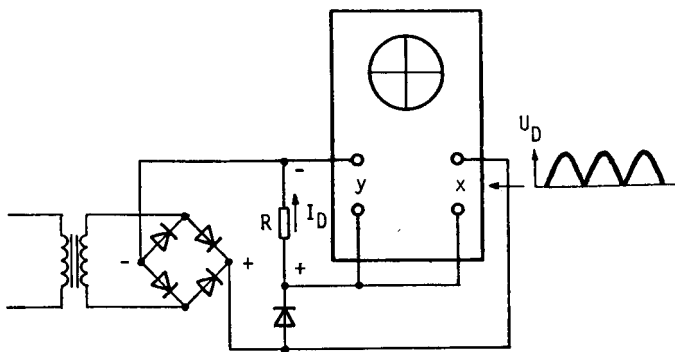


Fig. 12.2

En anden koblingsmåde til undersøgelse af $I_D|U_D$ -kurven for en halvlederdiode, hvorved kun gennemgangskarakteristikken gennemløbes.

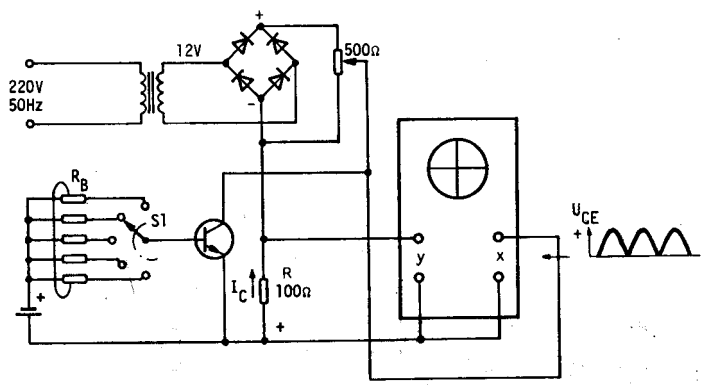


Fig. 12.5

Diagram for en måleopstilling for optagelse af $I_C|U_{CE}$ -kurven for NPN-transistorer. Kurvens længde i y-retningen kan varieres med et potentiometer på 500Ω .

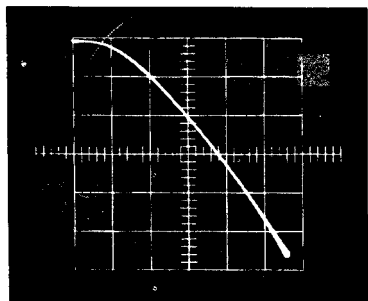


Fig. 12.3

$I_D|U_D$ -kurve optaget for en halvlederdiode med måleopstillingen fig. 12.2.

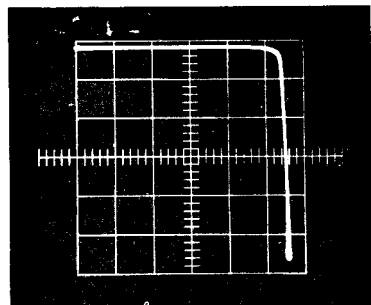


Fig. 12.4

$I_D|U_D$ -kurve for en zenerdiode optaget med en måleopstilling som i fig. 12.2.

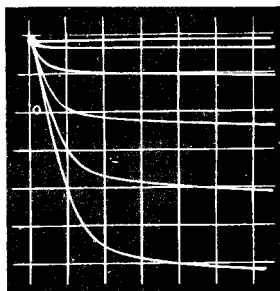
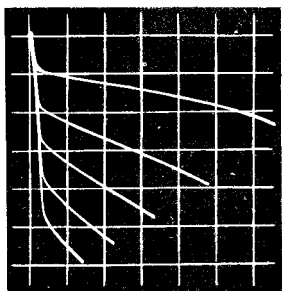


Fig. 12.6

To $I_C|U_{CE}$ -kurver optaget med måleopstillinger efter fig. 12.5.

Fig. 12.1 viser hvorledes man, når det gælder måling på dioder, får strømmen gennem dioden I_D repræsenteret af et med strømmen proportionalt spændingsfald i en modstand R . Spændingen føres til y-forstærkerens indgang. Spændingsfaldet er $I_D \cdot R$. Dette er proportionalt med I_D . F.eks. giver $R = 10 \Omega$ og $I_D = 10 \text{ mA}$ en spænding på 0,1 V og med følsomheden 0,1 V/cm får man altså en inddeling, hvor 1 cm på y-aksen svarer til 10 mA.

Spændingen over dioden føres til x-forstærkeren. Den tilførte vekselspænding giver udslag både i positiv og i negativ x-akseretning. Dermed omfatter den tegnede karakteristik både gennemgangs- og spærreretningen.

Med en kobling som vist i fig. 12.2 fås kun gennemgangsdelen af karakteristikken. Fig. 12.3.

Med en tilsvarende opstilling kan man kontrollere zenerspændingen for en zenerdiode, som dog skal undersøges i sin spærreretning. Se fig. 12.4. I_C/U_{CE} -karakteristikken for NPN-transistorer kan optages med oscilloskopet når opstillingen i fig. 12.5 anvendes. (Ved måling på PNP-transistorer skal målespændingen have modsat polaritet). På oscilloskopet fås kollektorstrømmen I_C i y-retningen, spændingen U_{CE} fås i x-retningen. Vælges $R = 100 \Omega$ fås for $I_C = 10 \text{ mA}$ et spændingsfald over R på 1 V. Vælges følsomheden 1 V/cm, kommer 1 cm på skærmen til at svare til 10 mA.

Ved at vælge en passende basismodstand med omskifteren S_1 kan den ønskede basisstrøm fås. Drejes omskifteren hurtigt frem og tilbage får man på oscilloskopet en hel skare I_C/U_{CE} -kurver med I_B som parameter. Se fig. 12.6.

I fig. 12.7 vises en enkel opstilling til måling af blokerings- og spærrekaraktistikken for en thyristor. I denne måleopstilling tilsluttes oscilloskopet over modstandene R_3 og R_4 , hvorved oscilloskopets x-indgang sluttes til R_3 og y-indgangen til R_4 . Forbindelsespunktet mellem R_3 og R_4 er oscilloskopets fælles stelpunkt. Modstandene R_2 og R_3 udgør en spændingsdeler, som fremskaffer en delspænding til oscilloskopet. Denne udgør en tiendedel af den spænding, der optræder over måletransistoren.

Med denne opstilling kan man aflæse spærrestrømmen både i gennemgangsretningen og i spærreretningen. Den positive y-retning repræsenterer derved spærrestrømmen i gennemgangsretningen.

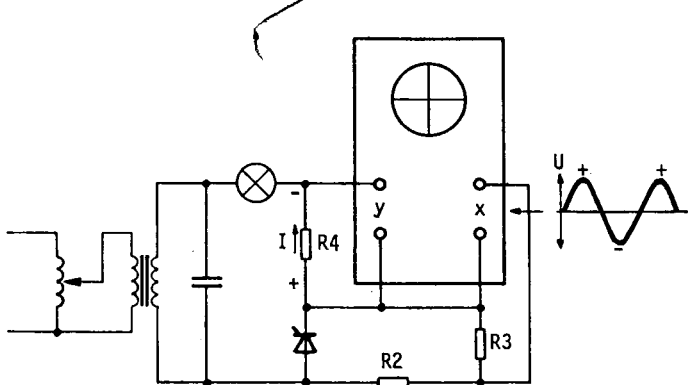
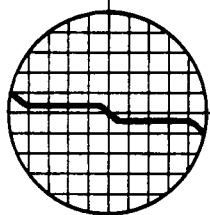


Fig. 12.7

Opstilling til måling af blokerings- og spærreretningskarakteristikken for en thyristor. Lampen begrænser strømmen gennem thyristoren, når den er tændt.

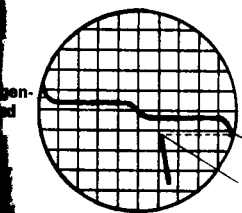
Spænding ← → Blokeringspænding



↑ Strøm i spærreretning
↓ Strøm i gennemgangsretning

Fig. 12.8

Strøm/spændingskarakteristikken for en thyristor optaget med måleopstillingen i fig. 12.7. Tændspændingen er ikke opdet.



— Kipspænding
— Holdestrom

Fig. 12.9

Samme strøm/spændingskarakteristik som i fig. 12.8, men med en påtrykt spænding, der overskrider tændspændingen.

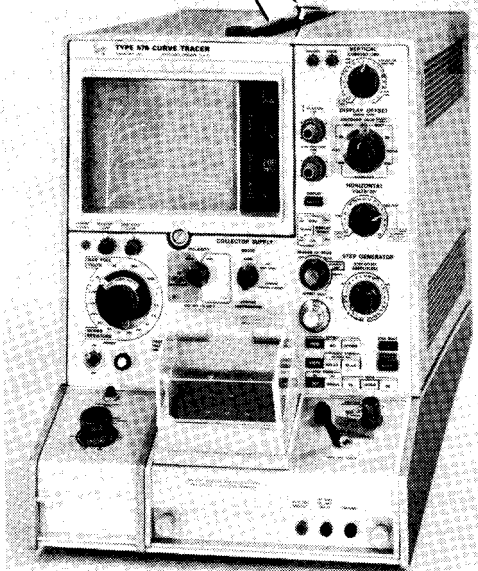


Fig. 12.10.

Dette er en såkaldt kurveskriver for transistorer. Den giver kontinuert afsøgning af de karakteristiske kurver i karakteristikfelterne for forskellige type halvledere. Afsøgning kan f. eks. ske med trinsvis stigende basisstrøm.

For at måle tændspændingen med en opstilling efter fig. 12.7 øger man blokeringspændingen over thyristoren med en variotransformator. Aflæs tændspændingen når det horisontale udslag til højre forsvinder og et tydeligt spor viser sig i opadgående retning – se fig. 12.8 og 12.9. Gennemgangsstrømmen øges også når tændspændingen nås. Mange thyristorer opviser en deformitet på kurven før tændspændingen nås og det samme gælder i spærretretningen før lavinegennembrud optræder. Det er vigtigt, at man ikke overskrider den maksimale værdi på blokeringspændingen under forsøget på at bestemme tændspændingen, når det gælder thyristorer med højere mærkespændinger. Resultatet kan blive, at thyristoren ødelægges.

Samme opstilling kan anvendes i det tilfælde, at man optager styrekarakteristikken for thyristorer. Man tilføjer da thyristorens styreelektrode en gradvist øget styrespænding og bemærker på oscilloskopet, hvornår thyristoren tænder. Den styrespænding, ved hvilken thyristoren tænder, er dens tændspænding.

Optagelse af hysteresekurver

En opstilling som i fig. 13.1 kan anvendes til at undersøge jerntabene i kerner til drosselspoler eller transformatorer eller til at undersøge magnetiske materials egenskaber. Modstanden R_2 i fig. 13.1 kan være 10–100 Ω . Strømmen gennem modstanden er proportional med den magnetiske feltstyrke H , spændingen over spolen er proportional med den magnetiske fluxændring dB/dt , men via et integrerende RC -led (R_1 , C_1) får man øjebliksværdierne af fluxen B . Værdien af R_1 kan være 1 $M\Omega$ og C_1 kan være 1 μF .

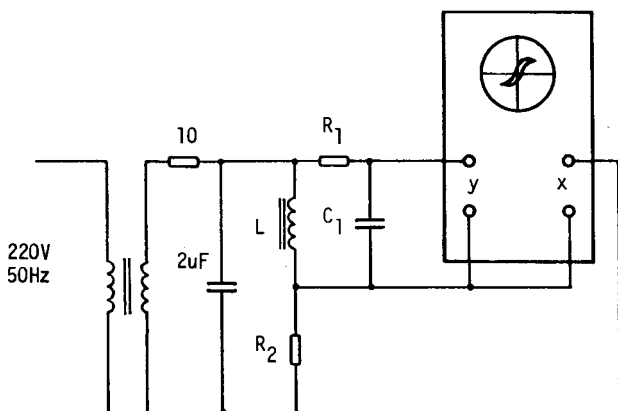


Fig. 13.1

Måleopstilling til undersøgelse af hysteresekurver for drosselspole eller transformator.

Med den viste opstilling får man den såkaldte hysteresekurve for kerne-
materialet. Jo tabsfattigere kernemner – dvs. jo lavere kernetab, som
materialet viser – des mindre bliver det af kurven indesluttede areal.
Se fig. 13.2–13.4. Kernens mætningsgrad kan bedømmes ved at vurdere
med udgangspunkt i længden af hysteresekurvens spidser. Se fig. 13.2 og
13.3.

Endvidere giver formen af hysteresekurven værdifuld information:
rektangulær hysteresekurve er f.eks. ønskelig for hukommelseskerner.
Fig. 13.4.

Fig. 13.2

*Eksempel på hysteresekurve med små tab i
jernkernen.*

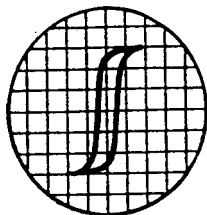


Fig. 13.3

*Eksempel på hysteresekurve for almindeligt
siliciumlegeret materiale.*

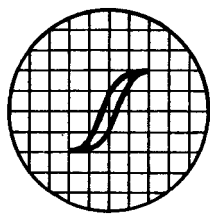
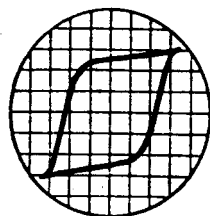


Fig. 13.4

Eksempler på rektangulær hysteresekurve.



Måling af ikke-elektriske størrelser

Ved hjælp af omdannere eller følere af forskellig slags kan man om-danne ikke-elektriske størrelser, f.eks. tryk, drejning, mekaniske form-ændringer, bevægelser, lys og lignende til analoge elektriske størrelser, som så kan iagttages i oscilloskopet. Eksempler på sådanne følere er strain-gauges, induktive positionsfølere, elektrodynamiske vibrations-målere og fotoceller.

Strain-gauges

Strain-gauges består af en tråd eller et folie af metal limet fast mellem to plastfolier. Tråden ligger i siksak eller viklet om en kerne af plastfolie og der er loddet tilledningsender på, se fig. 14.1 og 14.2. Tråden eller foliet har i almindelighed en modstand på 120, 300 eller 600 Ω .

Modstanden afhænger af lederens længde l , dens areal A og dens specifikke modstand ρ .

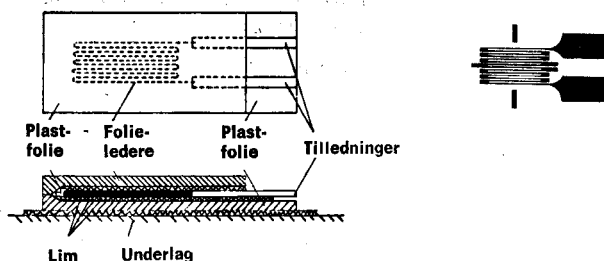


Fig. 14.1

En strain-gauges principielle opbygning



Fig. 14.2

Eksempler på, hvorledes strain-gauges kan udformes.

Sammenhængen er

$$R = \frac{q \cdot l}{A}$$

Lederen er elastisk, dvs. den følger underlagets bevægelser og udvidelser og når underlaget igen antager de oprindelige dimensioner, trækker tråden sig atter sammen til oprindelig længde. Udsættes underlaget for trykkrefter, forkortes lederen, l bliver mindre. Når lederen forlænges sker der samtidig en formindskelse af A og når den forkortes, sker der en forøgelse af A .

Lederens modstand ændres derfor både på grund af, at længden ændres og på grund af, at tværsnittet ændres. Begge dele bidrager til, at modstanden øges med længdeforøgelse og mindskes ved længdeformindskelse.

Mellem den relative modstandsændring R og den relative længdeændring Δl gælder følgende sammenhæng

$$\Delta R : R = k \Delta l : l$$

hvor k er en materialekonstant, hvis værdi kan ligge mellem 1,7 og 2,3. Strain-gaugen er klistret på den overflade, hvis deformation, man ønsker at bestemme, med en speciallim. Ved de små deformationer, som kommer på tale, højst 4%, følger tråden eller foliet i strain-gaugen med i overfladens deformation selv ved meget hurtigt forløbende ændringer.

Ved at måle variationerne i strain-gaugens modstand, kan man bestemme det virkende tryk. Man har nemlig denne sammenhæng

$$\sigma = E \Delta l : l = E \Delta R : R \cdot k$$

hvor σ er trykket og E er elasticitetsmodulen.

Den relative længdeforandring angives normalt i ‰ , men inden for den elektriske deformitetsmåleteknik angiver man den i milliontedele med betegnelsen mikrostrain. 1 ‰ ændring er 1000 mikrostrain.

Hvis det materiale, som en strain-gauge er klistret på, udsættes for temperaturvariationer, optræder der længdeændringer af denne grund. De overføres til strain-gaugen på samme måde som de længdeændringer, der skyldtes mekanisk påvirkning. I almindelighed må man kompensere for dette. Er temperaturerne kendt, kan man beregne en korrektionsfaktor.

På pakningen angives strain-gaugens temperaturkoefficient α_t , dvs. den tilsyneladende påvirkning af materialet ved en temperaturforandring på 1°C , når strain-gaugen er klistret på stål med temperaturkoefficienten 11 mikrostrain/ $^\circ\text{C}$. Er strain-gaugen klistret på et materiale med anden temperaturudvidelseskoefficient, må man korrigere for det. Der findes imidlertid strain-gauges, der er selvkompenserende, når de anvendes til konstruktionsstål, rustfrit stål og aluminium med temperaturkoefficienter på henholdsvis 11, 17 og 23 mikrostrain/ $^\circ\text{C}$. En tredje måde er at anvende kompenserede strain-gauges. Efter denne klistrer man en strain-gauge med samme temperaturkoefficient på materialet et sted, hvor temperaturen følger det undersøgte sted, men hvor der ingen udvidelse sker, som følge af mekaniske påvirkninger.

Da oscilloskopet måler spændinger eller spændingsændringer, må strain-gaugens modstandsændringer omdannes til spændingsændringer. Dette sker bedst i en Wheatstonebro, se fig. 14.3. Den består af fire modstande koblede som to spændingsdelere: R_1 - R_2 og R_3 - R_4 . Mellem punkterne a og b fås en spænding U_d , der er lig med forskellen i spænding mellem de to spændingsdelere.

$$U_d = U(R_1:(R_1 + R_2) - R_4:(R_4 + R_3))$$

U_d bliver nul, når spændingsdelingerne er ens, dvs.:

$$R_1:(R_1 + R_2) = R_4:(R_4 + R_3) \text{ dvs. hvis } R_1:R_4 = R_2:R_3$$

Broen er da i balance.

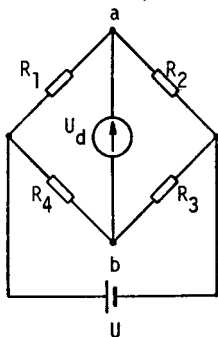


Fig. 14.3

Strain-gaugerne anbringes i en målebros af denne type.

Ændres f. eks. R_1 kommer broen i ubalance og giver en spænding U_d fra sig, der er proportional med modstandsændringen. Denne resulterende spænding fås af

$$U_d = U \cdot k \cdot \Delta l : l$$

Udgangssignalets størrelse afhænger altså af målespændingen, strain-gaugens faktor og den relative forlængelse. Man kan imidlertid ikke forhøje målespændingen U udover den grænse, som sættes af trådens opvarmning. Bliver temperaturen for høj, blødgøres limen og man får hysteresefænomener og formindskelse af strain-gaugens faktor. Højest 24 V plejer man at kunne tillade.

Ligningen viser, at en ubalancespænding ikke alene opstår, når R_1 ændres, men også når R_2 , R_3 og R_4 ændres. En forøgelse af R_3 og en samtidig relativ lige så stor forøgelse af R_2 modvirker hinanden, således at broen forbliver i balance. Dette kan man udnytte til temperaturkompensering. Se fig. 14.4.

Man kan også øge udgangsspændingen så man får større nøjagtighed hvis man klistrer to strain-gauges ved siden af hinanden og anvender dem som R_1 og R_3 . Hvis modstanden øges lige meget i dem begge, bliver udgangsspændingen dobbelt så stor. Til temperaturkompensering kan man da anvende to andre strain-gauges som R_2 og R_4 , se fig. 14.5. I visse tilfælde, f. eks. ved måling af en bøjning, kan man lime to strain-gauges fast, således, at forlængelsen af den ene bliver lige så stor som formindskelsen af den anden. Sætter man den ene som R_1 og den anden

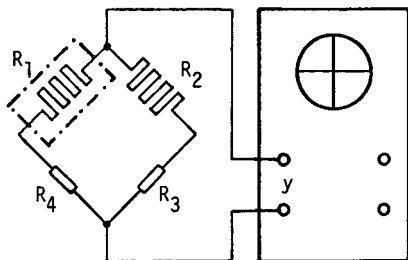


Fig. 14.4

Eksempel på temperaturkompenseret bro med strain-gauges.

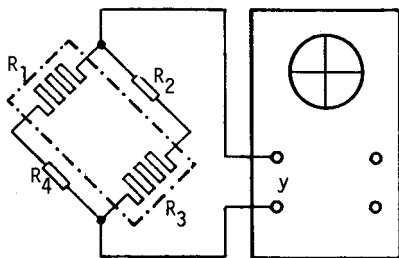


Fig. 14.5

Forøget følsomhed opnås med strain-gauges anbragte i brokobling på denne måde.

som R_2 bliver udslaget dobbelt så stort også i dette tilfælde. Se fig. 14.6. En ekstra fordel er det, at særlige strain-gauges til temperaturkompensation ikke er nødvendige i dette tilfælde, da de to strain-gauges kompenserer hinanden.

Ved at måle ubalancespændingen og forsyningsspændingen kan man bestemme påvirkningens absolutte størrelse. Metoden giver gode resultater, men den er tidskrævende og kræver stabil forsyningsspænding og følsomt apparatur.

En anden metode som er særdeles bekvem, når man anvender oscilloskoper, er parallelt med en af strain-gaugene at indkoble en modstand, som mindsker modstanden i denne brogren med en kendt del, som modsvarer en vis mekanisk påvirkning, man kan da når som helst

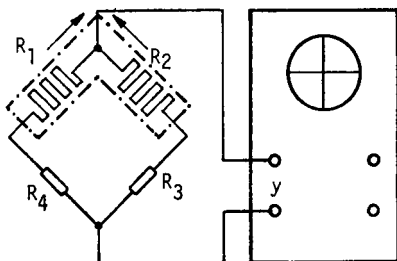


Fig. 14.6

Et andet eksempel på, hvorledes øget følsomhed kan opnås med strain-gauges i brokobling.

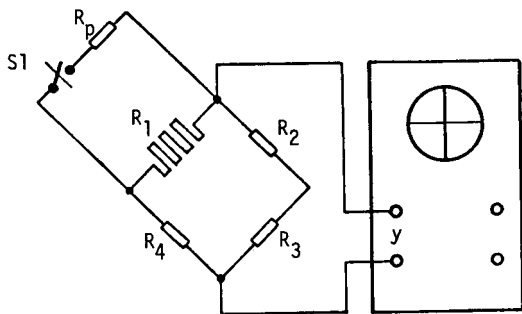


Fig. 14.7

En metode til at kalibrere udslaget fra en bro af strain-gauges ved hjælp af en kendt parallelmodstand R_p .

kalibrere instrumentet ved at indkoble modstanden og iagttage ændringen på skærmen. Fig. 14,7.

Positionsgivere

Ved valg af positionsgivere må man tage hensyn til størrelsen af de flytninger, der kommer på tale.

Ved flytninger fra 1 cm og opefter anvender man potentiometre, ved flytninger mellem 0,1 mm og 1 cm anvendes induktive positionsmålere og ved bevægelser på 0,1 mm og nedefter anvendes elektrodynamiske enheder. Fotoceller kan også anvendes.

Figur 14.8 viser en positionsmåler med målelængden 0-250 mm.

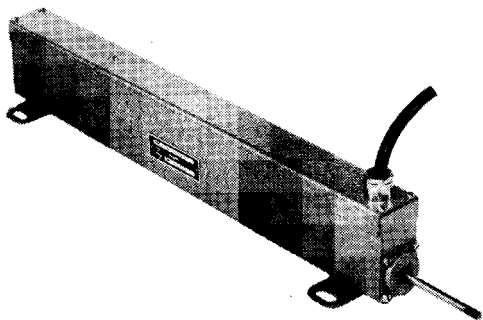


Fig. 14.8

Positionsmåler for længder mellem 0 og 250 mm.

Den består af et skrueformet trådviklet potentiometer, hvis glidekontakt er fastgjort til en bevægelig arm. Potentiometeret monteres f.eks. på en hydraulisk cylinder og armen bringes i forbindelse med stemplet. Potentiometeret tilsluttes et batteri og mellem batteriets ene pol og glidekontakten fås en spænding, der varierer fra nul til fuld batterispænding afhængigt af stemplets stilling. Opløsning og linearitet er god, og opstillingen kan kalibreres statistisk. En mangel er, at den ikke kan anvendes ved store hastigheder og at levetiden er begrænset på grund af sliddet på glidekontakten.

I de induktive positionsmålere udnytter man den variation i induktansen, som opstår når ferritkernen i en spole flyttes. Fig. 14.9 viser induktive positionsmålere med målelængder fra ± 1 mm til ± 20 mm. De består af to spoler monterede ind mod hinanden på et keramisk rør og beskyttet med en skærm af metal. I røret løber en ferritkerne fastgjort på en arm. Enheden monteres med skærmmkappen på den ene maskindel og ferritkernens arm på den anden. Når kernen befinder sig med sit midtpunkt midt mellem spolerne er induktansen ens i spolerne. Forskydes kernen så øges induktansen i den ene spole og mindskes i den anden. For at omdanne denne induktansvariation til spændingsvariation, kobler man spolerne til en bro. Da det her drejer sig om induktanser, må man føde broen med vekselspænding. Fig. 14.10 viser princippet for opstillingen. Broen balanceres ved at man justerer kernen til mindste ubalancespænding. Når man fra denne nulposition flytter kernen fås en

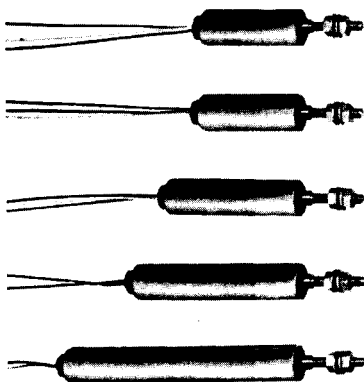


Fig. 14.9

Induktive positionsmålere med målelængder fra ± 1 mm til ± 20 mm.

ubalancespænding som er proportional med flytningen inden for et vist interval.

Retningen af flytningen er ikke bestemmende for brospændingens størrelse. Samme afstand fra nulstillingen giver samme udslag på et universalinstrument. Forskellen er spændingens faseforskydning i forhold til forsyningsspændingen. I den ene retning er den i fase med denne, i den anden retning er den i modfase. For at nå frem til en jævnspænding, der følger flytningen i størrelse og retning, anvender man en fasefølsom detektor af ringdemodulatorarten. Fig. 14.10 viser diagrammet for en sådan.

De inductive følere kendetegnes af god opløsning og linearitet. De kan anvendes ved højere hastigheder og rigtigt monteret er deres levetid ubegrænset. Desuden kan de kalibreres statisk. Manglerne ved dem er kravet om en vekselspændingsgenerator og en ringdemodulator. Elektrodynamiske følere består af en permanentmagnet og en spole, der er bevægelig i forhold til magneten. Ved en bevægelse induceres i spolen en spænding der er proportional med hastigheden. Disse følere anvendes særligt ved vibrationsmålinger. Ved vibrationsmålinger ønsker man at bestemme såvel vibrationernes hastighed som acceleration og amplitude. Dette gør man ved at differentiere henholdsvis at integrere spændingerne

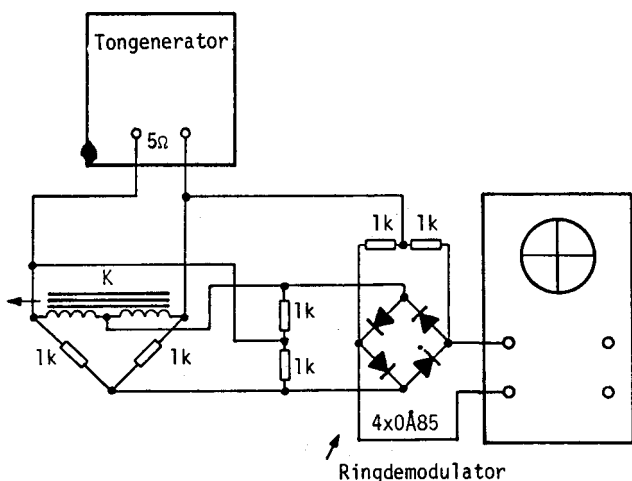


Fig. 14.10

Opstilling til positionsmåling med inductive følere.

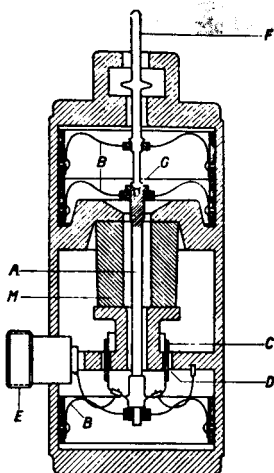


Fig. 14.11

En elektrodynamisk føler vist gennemskåret. Den er beregnet til måling af vibrationerne mellem to maskindele.

med en kondensator og en modstand og derved få signaler som er proportionale med accelerationen og amplituden. Fig. 14.11 viser en føler til måling af vibrationerne mellem f.eks. to maskindele.

Følerens ydre kappe fæstnes på en maskindel og stangen F på en anden. F centrerer af specielle skivefjedre B. På F sidder C fast. Denne spole kan bevæge sig i magnetfeltet D, der fås fra magneten M. Spændingen fra spolen tages ud via stikket E. Integrering og differentiering sker i en særlig kalibreringskasse, til hvilket oscilloskopet kan tilsluttes til visning af forløbet.

Følere af denne type er bekvemme at anvende, de fordrer ikke nogen driftsspænding. En mangel er, at de ikke er statisk kalibrerbare.

Forstyrrelser

En af fordelene ved oscilloskoperne er deres højohmsindgang der gør, at man kan indkoble oscilloskopets y-indgang over selv ret højimpedansede kredse uden at påvirke disse. En mangel er dog, at man ved mange målinger med oscilloskoper på højimpedansede kredsløb let får forstyrrelser ind som kan forvanske målingerne. Forstyrrelser af denne type kan imidlertid elimineres med temmelig enkle midler.

50 Hz-forstyrrelser

Den almindeligste kilde til forstyrrelser i denne sammenhæng er nettets 50 Hz-brum. Det går ind på oscilloskopet som en mere eller mindre forvrænget sinusurve. Støjspændingen kan iagttages hvis man slutter en prøveledning til y-forstærkerens ikke-jordede indgangsklemme. Se fig. 15.1. Jo længere ledning, jo større bliver amplituden hos den på skærmen gengivne 50 Hz-spænding. Anvender man i stedet en skærmet leder og tilslutter skærmen til den jordede indgangsklemme, jordklemmen, på y-forstærkeren, så forsvinder brumspændingen. Skærmen hindrer forstyrrelserne at komme ind på inderlederen i det skærmede kabel. Se fig. 15.2.

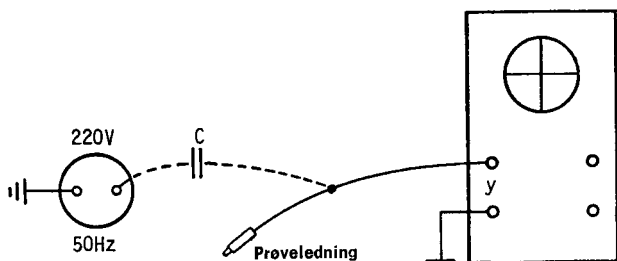


Fig. 15.1
Brumspænding fra 50 Hz-nettet.

Af og til har man brug for mange skærmede kabler som skal tilsluttes mellem måleobjektet og instrumentet. Man bør da i reglen forbinde skærmene sammen i eet punkt. Fører man skærmene sammen i flere punkter kan det hælde, at man får støjstrømme i skærmene, så en spænding induceres i inderlederen.

Instrumenternes chassiser skal jordforbindes. Også dette bør ske til eet punkt. Man vælger da et af instrumenternes jordklemme som centralt jordpunkt og tilslutter de øvrige instrumenters chassiser til dette punkt, som så forbindes til nettets beskyttelsesjordleder. I vanskelige tilfælde kan det være nødvendigt med en særskilt jordledning til instrumenterne.

Netspændingsvariationer

Variationer i netspændingen kan give besvær ved at der optræder forstyrrende spændingsspring i det oscillografiske billede. Variationerne kan elimineres ved vekselspændingsstabilisatorer. I nogle tilfælde er det nødvendigt at strømforsyne instrumenterne over deres egen sikringsgruppe eller via en speciel stikledning. Dette er ofte nødvendigt, når man måler på maskiner med stor effekt.

En formindskelse af støjniveauet som hidrører fra støjsspændinger i nettet kan man en gang i mellem opnå ved at vende stikket til oscilloskopet i dets stikdåse. Dette beror på, at nettransformatoren kan være viklet usymmetrisk.

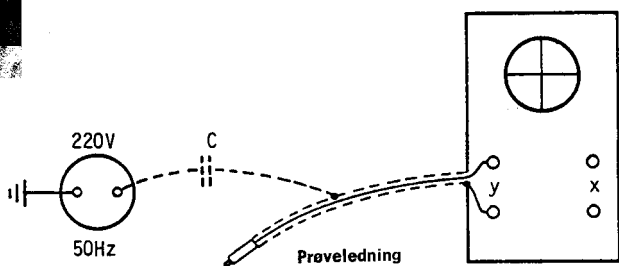


Fig. 15.2

Skærmet prøveledning forhindrer at støjsspændinger kan nå frem til oscilloskopets y-forstærkers indgang.

Det er en god regel ved målinger med oscilloskoper at fjerne alle de måleledninger, der ikke anvendes. Det er ikke nok f.eks. at afbryde strømmen til apparater, der ikke skal måles på. Ledningerne fungerer som antenner, der opsamler støjspændinger. Netledninger til instrumenter, der anvendes – lige så vel som oscilloskopets egen netledning – bør holdes så langt væk fra prøveledninger som muligt.

Forstyrrelser fra radiosendere

Bredbåndscilloskoper for frekvenser op til 10 MHz kan opfange den udstråling, der kommer fra mellembølge- og langbølgesendere. Man genkender let disse signaler på skærmen som amplitudemodulerede signaler.

Kræver målingen en stor båndbredde, kan det være svært at få fjernet disse forstyrrelser. Man kan blive tvunget til at måle i sendepauserne eller slutte hele måleudstyret ind i en afskærmning. I mange tilfælde behøves imidlertid ikke fuld båndbredde og man kan da i sådanne tilfælde eliminere forstyrrelser fra radiosendere ved parallelt med vertikalforstærkerens indgang at sætte en kondensator på 100, 1000 eller 10.000 pF. Man må naturligvis gøre sig klart, at denne metode kan

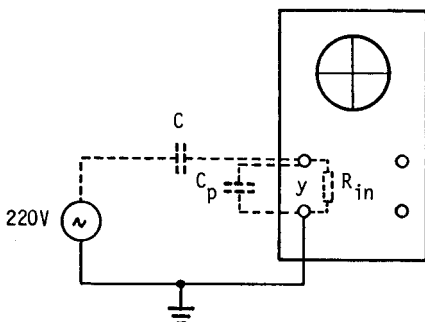


Fig. 15.3

Ved at indkoble enten en parallelkondensator C_p eller en modstand R_{in} over y -forstærkerens indgang kan ydre forstyrrelser dæmpes betragteligt.

indebære en ikke ønsket belastning af måleobjektet og at y-forstærkerens båndbredde mærkbart reduceres.

Forstyrrelser, der kommer ind i oscilloskopet via måleledningerne kan også reduceres ved at man parallelt over y-forstærkerens indgang sætter en modstand. Værdien af denne må afpasses efter det pågældende måleobjekt. Som almindelig regel gælder, at jo lavere modstanden i kredsløbet er, des mindre er følsomheden for forstyrrelser udefra.

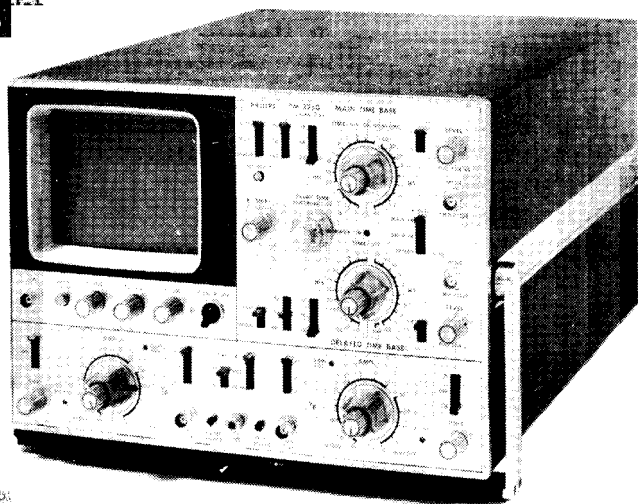


Fig. 15.4.

Det nye PM 3250 dobbeltstråleosilloskop fra Phillips har en kombination af indgangsfølsomhed og båndbredde, at det er særligt anvendeligt til forsknings- og udviklingsarbejde.

Fotografering af oscillogrammer

Det forekommer ofte ved alle arter laboratorieundersøgelser og udviklingsarbejder, at man vil have billedet af en kurve fra en oscilloskop-skærm bevaret til dokumentation eller til mere indgående analyse. Gælder det eengangsførløb er det ofte afgørende at man kan få oscillogrammet registreret til nærmere studium. Man kan, hvis det gælder om at fastholde et oscillogram en kortere tid, vælge et oscilloskopprør med lang efterglødstid, man kan da i løbet af nogle snese sekunder studere kurveformen og eventuelt aftegne den. Der findes også såkaldte hukommelsesoscilloskoper, der fastholder et oscillogram på skærmen i længere tid – et par timer – hvorefter man kan radere billedet bort ved hjælp af en særlig »raderspænding«.

Den almindeligste metode at forlænge levetiden af et oscillogram på er imidlertid at fotografere det. Fotografering kan ske med et særligt hertil beregnet kamera som stilles op foran skærmen på passende afstand og som indstilles til rigtig blænder og exponeringstid. Nu findes der forskellige typer oscilloskopskærme, med kort eller med lang efterglød, desuden er det fluorescerende lys, elektronstrålen giver anledning til, af forskellig bølgelængde. Det betyder, at exponeringstid og blænder bliver afhængig af billedskærmstype og filmnegativets egenskaber. Det er derfor det bedste at prøve sig frem til bedste resultat. Hertil kommer, at lyspletens intensitet afhænger af strålestrømmen (som kan reguleres med oscilloskopets intensitetsknop).

Gentagne forløb

Almindeligvis bør man ved optagelser af stående kurvebilleder, dvs. gentagne forløb have en lille blænderåbning, medens man ved fotografering af engangsførløb bør have så stor blænderåbning som muligt. Det lønner sig dog ikke at gå ned med blænderåbningen til for små

værdier ved optagelse af gentagne forløb. Selvfølgelig øger det skarp-
heden at sætte blænderåbningen ned, men sker fotografering på en plan
skive spiller øget skarphedsdybde mindre rolle.

Ved fotografering af langsomme forløb må man tage hensyn til faren
for overexponering. Skal man fotografere en 10 Hz sinuskurve, må
exponeringstiden være relativt lang – ca. 1/10 sekund. Ved følsomt
negativmateriale kan dette føre til overexponering hvis man da ikke
vælger en meget lille blænderåbning.

Hurtigere forløb med frekvenser over 40 Hz kan gennemgående foto-
graferes med exponeringstiden 1/25 sekund, den passende blænderåbning
afhængig af lysintensiteten må findes ved forsøg.

Engangsforløb

Ved fotografering af engangsforløb kommer elektronstrålens hastighed
over skærmen ind som en faktor, der indvirker på betingelserne for
fotograferingens udførelse. Jo højere hastighed, jo svagere spor giver
strålen på skærmen når der er tale om et engangsforløb.

Man skal også huske, at y-amplituden har betydning for skrivehastig-
heden. Jo større amplitude, des større hastighed har strålen over skærm-
fladen under tegning af kurven.

Et eksempel: En periode af en sinusbølge med frekvensen 10 kHz skal
fotograferes som et engangsforløb. Tidsbasisgeneratoren er indstillet til
en sweephastighed på 5 cm/0,1 ms, dvs. 500 m/s og elektronstrålen
bevæger sig derfor med denne fart over skærmen, når der ikke føres
nogen spænding til y-forstærkeren. Lægger man nu en sinusspænding
på 10 kHz på y-indgangen vil elektronstrålens hastighed blive størst
ved skæringen med x-aksen – og den bliver ca. 3 gange større end ved
y-signalets fravær. Derimod er skrivehastigheden i de positive og
negative spændingsspidser lig med strålens skrivehastighed i x-retningen.
Ovenstående hastighedsforøgelse gælder ved en udstyring af elektron-
strålen, der giver en afstand fra x-akse til spids der er lig med afstanden
på x-aksen mellem to skæringspunkter med sinuskurven.

Ved fotografering af engangsforløb må man derfor regne med at man
får varierende exponering i de forskellige dele af kurvebilledet. Fig. 16.1
viser en dæmpet svingning som engangsforløb.

Særligt udpræget bliver ujævnheden ved fotografering af spændings-
spring og engangsimpulser. Spændingsspringets vertikale flanker bliver
derved næppe synlige medens de horisontale dele af kurvebilledet
fremtræder tydeligt.

Ved fotografering med sædvanligt kamera bør man have det stillet op

på et sikkert stativ. En passende forsatslinse bør anvendes, så man får et afbildningsforhold på 1:1, mindst 1:4.

Ved fotografering af gentagne forløb som giver anledning til et stående billede på skærmen, indstiller man kameraet på passende blænderåbning og eksponeringstid således som nævnt i det foregående.

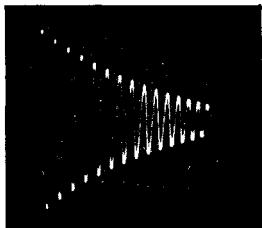


Fig. 16.1

Eksempel på et engangsforløb – en dæmpet sinussvingning – fotograferet fra et oscilloskop.

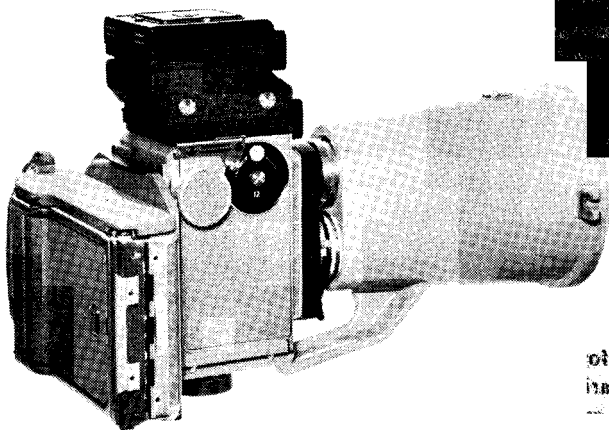


Fig. 16.2

Spejlreflekskamera med lystæt sluse til fotografering af oscilloskopbilleder.

Ved fotografering af engangsforløb må man først åbne for kameraets lukker, hvorefter man udløser det forløb, der skal fotograferes og når dette er afspillet, lukkes der for lukkeren igen.

For ikke at den omgivende belysning skal sværte filmen for meget under exponeringen må man passe på, at den samlede åbningstid er så kort som vel mulig. Man kan også arrangere sig med en lystæt skærm om skærmen og kameraet. Særligt bekvemt er det hvis man har et spejlreflexkamera, idet man så kan kontrollere at kurven har en passende amplitude og at engangsforløb virkeligt er afsluttet inden man lukker for exponeringen. Se fig. 16.2.

Oscilloskopkameraer

Der findes specielle kameraer til oscilloskopfotografering. I disse anvendes ofte 35 mm perforeret film på papir. De kan anvendes til fotografering med stillestående film eller med løbende film. I sidstnævnte tilfælde afbøjes strålen kun i y-retningen og tidsaksen opnås ved filmens bevægelse, denne kan andrage helt op til 50 m/s. I dette tilfælde kan en fortløbende registrering af et forløb gennem et længere tidsrum ske fotografisk. Fig. 16.3.

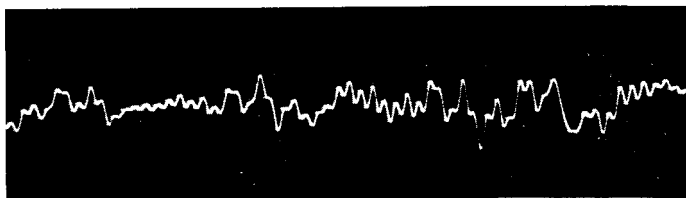


Fig. 16.3

Fotografisk registrering af mikrofonispænding i et elektronrør ved hjælp af løbende film.

Intet billede – hvad er der i vejen?

Hvis billedet helt udebliver er det ikke sikkert, at fejlen ligger i oscilloskopet. Gennemfør først følgende prøver:

1. Stil oscilloskopets indgangsskifter i stilling 0 eller bryd forbindelsen til y-forstærkerens indgang. Begynder strålen derefter at tegne en ret linie på skærmen, er oscilloskopet i orden.
Årsagen til, at billedet forsvinder, er i så fald at signalspændingen er for høj, eller at der er for stor overlejret jævnspændingskomponent. Man må da formindske vertikalforstærkerens følsomhed eller sætte indgangsskifteren i stilling vekselspænding. I det sidste tilfælde kan man også sætte en kondensator i serie med indgangen, således at jævnspændingen holdes borte. Man kan da studere en vekselspænding af ringe størrelse, der er overlejret med en høj jævnspænding. Hopper billedet ved måling af en vekselspænding overlejret med en jævnspænding, beror dette på, at jævnspændingen varierer.
2. Kan man ikke få en ret linie på skærmen, når prøvedningen fjernes, kan fejlen skyldes en fejlindstilling på oscilloskopets knapper. Det kan kontrolleres på denne måde:
 - a) Indstil til største lysstyrke. Kommer strålen ikke frem, så kontroller, at der ikke er sluttet noget til oscilloskopets Z-indgang.
 - b) Drej horisontalforskydningsknappen fra den ene yderstilling til den anden. Kommer strålen stadig ikke til syne, så stil knappen i midterstilling.
 - c) Drej vertikalforskydningsknappen fra den ene yderstilling til den anden. Kommer strålen stadig ikke frem, stil da denne knap i midterstilling.
 - d) Hvis oscilloskopet har betjeningsgreb for vertikalforstærkerens jævnspændingsbalance, drej denne fra den ene yderstilling til den anden. Strålen skal nu fremkomme på skærmen, forudsat at tids-sweepet arbejder.

Kommer der stadigvæk ikke noget billede, stilles der først på lysintensiteten til minimum lys og sweephastighedsknappen stilles i stilling: ydre horisontalafbøjning. Øg derefter forsigtigt lysintensiteten. Fremtræder der nu et stillestående punkt på skærmen, betyder det, at oscilloskopets arbejdsspændinger for elektronstrålen er i orden, men at sweepgeneratoren ikke fungerer.

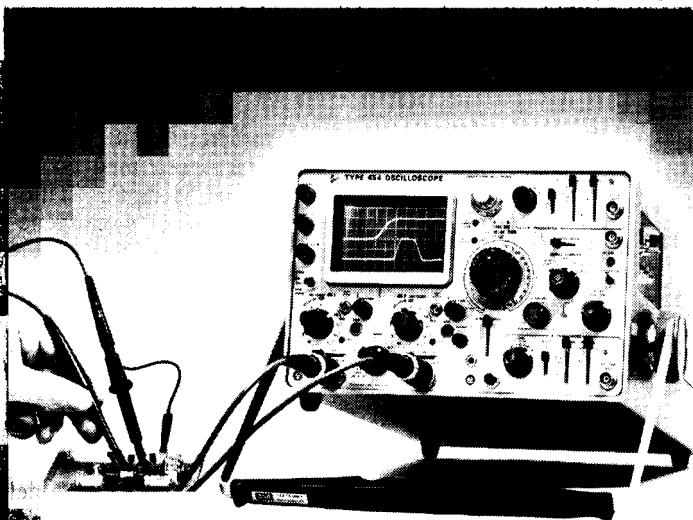


Fig. 17.1.

Oscilloskop type 454 fra Tektronix er et typisk eksempel på et nyere transistoriseret oscilloskop til finere laboratoriebrug, blandt andet til måling af hurtige impulser i EDB-kredsløb.

Ordliste for oscilloskopudtryk

Accelerationsspænding

Acceleration voltage

Beschleunigungsspannung

Den spænding i katodestrålerøret, der giver elektronerne i elektronstrålen deres sluthastighed.

Automatisk trigning

Automatic triggering

Triggerung – gesteuerte

Zeitablenkung

Uden indgangssignal svinger sweepgeneratoren med en vis egenfrekvens. Med påtrykt indgangssignal følger sweepgeneratoren indgangssignalet's frekvens hvis oscilloskopet har automatisk trigning.

Båndbredde

Bandwith

Bandbreite

Det frekvensområde *B* indenfor hvilket oscilloskopets følsomhed i y-retningen ikke er faldet med mere end 3 dB (ca. 30%) i forhold til den del af frekvenskurven, der er flad.

Fig. 1 a

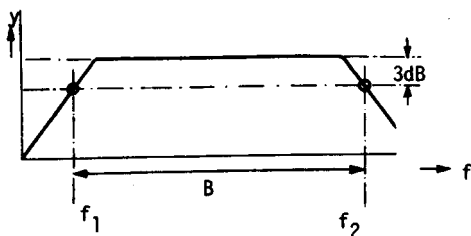
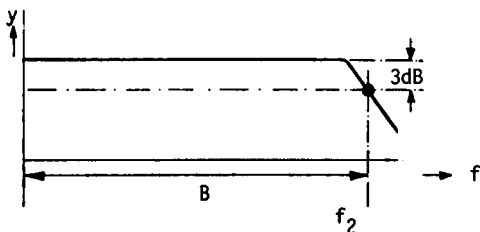


Fig. 1b



Ved jævnspændingsforstærkere med frekvenskurve helt kere med vandret frekvenskurve helt ned til 0 Hz regnes båndbredden B til øvre grænsefrekvens f_2 .

Dobbeltstråleoscilloskop

Dual beam oscilloscope
Zweistrahloszillograf

Et oscilloskop forsynet med katodestrålerør, der har to separate elektrodesystemer for hver sin stråle. Elektronstrålerne har gerne hvert sit y-pladepar men som regel fælles x-pladepar. Med dobbeltstråleoscilloskoper kan to forløb iagttages samtidigt.

Elektronisk switch

Electronic switch
Elektronischer Schalter

En omskifterkobling, der tillader, at man kan se to eller flere forløb som samtidigt afbildede kurver.

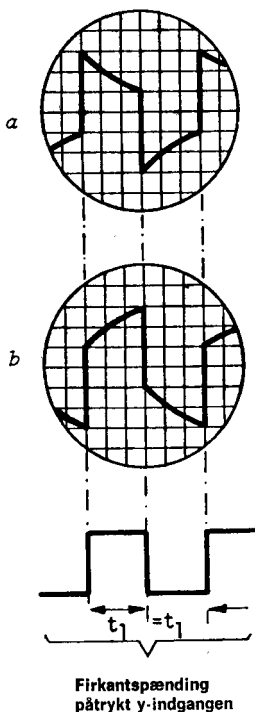
Engangssweep

Single shot

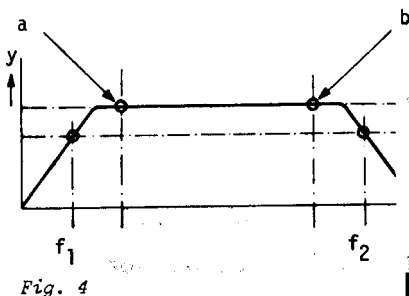
Ved engangssweep standses sweepgeneratoren efter første sweep. Efterfølgende trignings-signaler kan da ikke sætte sweepet i gang.

Firkantforvrængning

Square-wave distortion



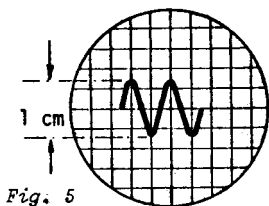
Firkantforvrængning optræder når et oscilloskops båndbredde i y-forstærkeren er utilstrækkelig. Hvis firkantfrekvensen lægges for tæt ved den lavere grænsefrekvens f_1 for y-forstærkeren, fås en forvrængning som vist på fig.



4 a. Lægges firkantfrekvensen for tæt ved den øvre grænsefrekvens f_2 fås en forvrængning svarende til fig. 4 b.

Følsomhed

Sensitivity
Empfindlichkeit



Angives som den indgangsspænding målt i V, mV eller uV på oscilloskopets y-forstærkers indgang som formår at afbøje elektronstrålen 1 cm. Ved vekselspænding forstås den indgangsspænding regnet spids-til-spids som giver en afbøjning målt fra spids-til-spids på 1 cm på det tegnede billede, se fig. 5.

Grænsefrekvens, nedre

Lower 3 dB frequency

Untere Grenzfrequenz

Den nedre grænsefrekvens f_1 , se fig. 3., er den ved hvilken oscilloskopets følsomhed i y-retningen er faldet med 3 dB (med ca. 30%) i forhold til den del af frekvenskurven, som er flad.

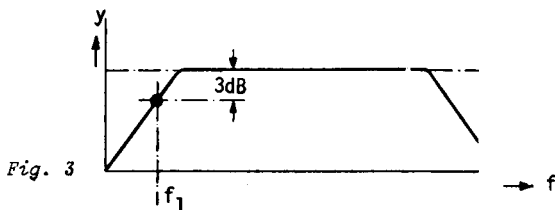


Fig. 3

Grænsefrekvens, øvre

Upper 3 dB frequency

Obere Grenzfrequenz

Den øvre grænsefrekvens f_2 , se fig. 2 er den frekvens, ved hvilken oscilloskopets følsomhed i y-retningen er faldet med 3 dB (med ca. 30%) i forhold til den del af frekvenskurven som er flad.

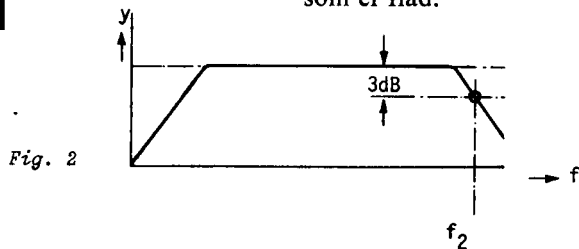


Fig. 2

Indgangsimpedans

Input impedance

Eingangsimpedanz

Et oscilloskops indgangsimpedans angives ofte som sammensat af en modstand i parallel med en kondensator.

Indgangskapacitet

Input capacitance

Eingangskapacitüt

Den kapacitive del af indgangsimpedansen. Opgives i pF.

Indgangsmodstand

Input resistance

Eingangswiderstand

Den resistive del af indgangs-impedansen. Opgives i $M\Omega$.

Jævnspændingskøbet forstærker

DC coupled amplifier

Jævnspændingskoblede eller jævnstrømskoblede forstærkere kan forstærke signaler med frekvenser ned til 0 Hz.

Kalibreringsspænding

Calibrating voltage

Eichspannung

Mange oscilloskoper har specielle udtag over hvilke en firkantspænding med kendt spids-til-spids-spænding kan udtages. Påtrykkes den kendte spænding y-forstærkerens indgang, kan man kontrollere denne forstærkers følsomhed.

Oversving

Overshoot

Überschwingung

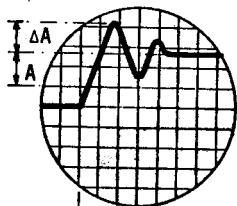
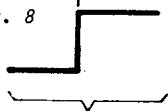


Fig. 8



Firkantspænding
påtrykt y-indgangen

En oversvingsforvrængning kan optræde når et spændingsspring påtrykkes en overkompenseret forstærker. Forvrængningen måles i procent og er $\Delta A:A$, se fig. 8.

Oversvingsforvrængning

Overshoot distortion

Überschwingungsverzerrung

Oversving er amplituden ΔA af den svingning, der optræder, når et spændingsspring påføres oscilloskopets y-indgang. Sammenlign oversvingsforvrængning. Se fig. 8

Probe
Probe
Tastkopf

Enhed, der indeholder et dæmpningsled (passiv probe) eller katode- (evnt. emitter-) følger (aktiv probe.) Sluttes til y-forstærkerens indgang via et kabel.

Pulse-top slope

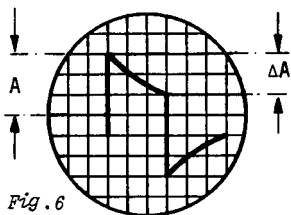


Fig. 6

Dette udtryk angiver graden af forvrængning som en firkant-impuls udsættes for f.eks. i en forstærker. Toppen eller »taget« på impulsen er ikke parallel med 0-linien, men stiger eller falder i forhold til denne linie. Det er vist i fig. 6. Impulsens længde må opgives.

Rejektionsfaktor
Common mode rejection factor

Rejektionsfaktoren angiver en differentialforstærkers evne til at undertrykke et signal, som samtidigt og med samme fase tilføres begge indgangene på differentialforstærkeren. Rejektionsfaktoren defineres som forholdet mellem to spændinger U_1 og U_2 . U_1 er den indgangsspænding som samtidigt og med samme fase må påtrykkes differentialforstærkerens begge indgange for at give anledning til en vis stråleafbøjning f.eks. 1 cm. U_2 er den spænding som skal tilføres en af differentialforstærkerens indgange – medens den anden holdes kortsluttet – for derved at give anledning til samme stråleafbøjning som før (1 cm).

Signalforsinkelse

Signal delay

Signalforsinkelse, synlig

Visible signal delay

Stigetid

Rise time
Anstiegszeit

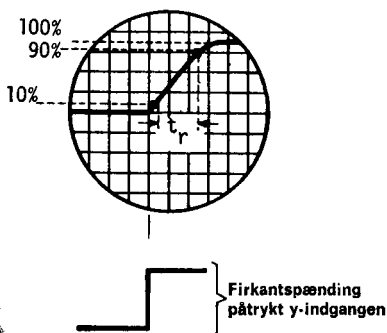


Fig. 7

Swepeksponation

Sweep expansion

Sweepgenerator

Time base generator
Zeitablenkgenerator

Bredbåndsoscilloskoper er forsynet med en signalforsinkelsesanordning, så den del af signalet, der starter sweepet kan gengives på skærmen trods sweepgeneratoren har en vis starttid.

Forskellen mellem signalforsinkelsen og sweepgeneratorens starttid.

Det tidsinterval t_r , der forløber mellem det tidspunkt, da et spændingsspring f.eks. forkanten på en firkantimpuls påtrykt y-indgangen når 10% af sin maksimalværdi til det tidspunkt, da den når 90% af sin maksimalværdi. Se fig. 7. Impulsstigetiden afhænger af oscilloskopets båndbredde. Der gælder følgende sammenhæng:

$$B \cdot t_r = 0,35 - 0,40,$$

hvor B er båndbredden i MHz og t_r er stigetiden i mikrosekunder.

Ved swepeksponation forøges afbøjningen i x-retningen f. eks. 2, 5 eller 10 gange.

Den i oscilloskopet indbyggede generator, der frembringer den spænding, der afbøjer strålen i x-aksens retning.

Sweep hastighed

Sweep velocity
Ablenkgeschwindigkeit

Den tid det tager for strålen at afbøjes i x-retningen 1 cm er det reciprokke af sweephastigheden. Den angives i s/cm, ms/cm eller us/cm.

Synkroniseringsområde

Synchronising range

Det frekvensområde inden for hvilket et sinussignal kan låses fast til billedskærmen (synkroniseres med sweepet).

Synkroniseringstærskelværdi, indre

Internal sync threshold
Interne Triggerempfindlichkeit

Minimumsværdien for y-signalet (regnet i cm afbøjning på skærmen) som kan forårsage en trigning.

Synkroniseringstærskelværdi, ydre

External sync threshold
Externe Triggerempfindlichkeit

Minimumsværdien for synkroniseringsspændingen, der kan afstedkomme en synkronisering eller en trigning.

Tidssweep

Time sweep
Zeitablenkung

Den afbøjning af strålen i x-retningen fra venstre til højre, som udnyttes til at danne oscilloskopets tidsakse.

Trigning

to trigger

Start af sweepgeneratoren med en impuls.

Trigningsforsinkelse

Delaying sweep

Et særligt sweep, som forsinker det normale sweeps start. På denne måde kan en lille del af et kompliceret signal studeres i detaljer. (Elektronisk lup).

Trigning, indre
Internal trigg

Trigning, ydre
External trigg

Trigningsniveau
Triggering level
Triggerungempfindlichkeit

Trigningsområde
Triggering range
Folgefrequenz bereich

Tokanaloscilloskop
Dual trace oscilloscope

**Vekselstrømskoblet
forstærker**
AC coupled amplifier
*Wechselspannungs-
verstärker*

X-Forstærker
*X-amplifier, horisontal
amplifier*

Trigningsimpulsen fås fra y-
forstærkeren.

Trigningsimpulsen fås fra en
ydre signalkilde.

Trigningsniveauet angiver det
niveau signalet skal op på for
at start af sweepgeneratoren
kan ske. Trigningsniveauet
kan indstilles, så kun signaler
med højt niveau kan trigge
sweepet.

Det frekvensområde inden for
hvilket en sinusspænding kan
trigge sweepet.

Enkeltstråleoscilloskop, hvis
y-forstærker forsynes med
elektronswitch, så to eller
flere forløb samtidig kan stu-
deres.

Strålens skift mellem kana-
lerne kan ske efter hvert
sweep (alternate mode) eller
med fast høj frekvens uaf-
hængigt af sweepet (chopped
mode).

Forstærker i hvilken der ind-
går koblingskondensator, hvil-
ket gør at forstærkning af
jævnspændingssignaler ikke
kan ske.

Den forstærker i oscilloskopet,
der afbøjer elektronstrålen i
den horisontale retning (x-ret-
ningen).

Y-Forstærker

Y-amplifier, vertical amplifier

Y-Verstärker

Den forstærker i oscilloskopet, der afbøjer elektronstrålen i den vertikale retning, (y-retningen).

Ydre Z-modulation

External Z-modulation

Externe Helligkeitsmodulation

Modulation af elektronstrålen med en ydre signalspænding.

Z-Modulation

Beam modulation

Den modulering af elektronstrålens intensitet, der kan frembringes i visse oscilloskoper ved at et signal påtrykkes en af billedrørets styreelektroder.