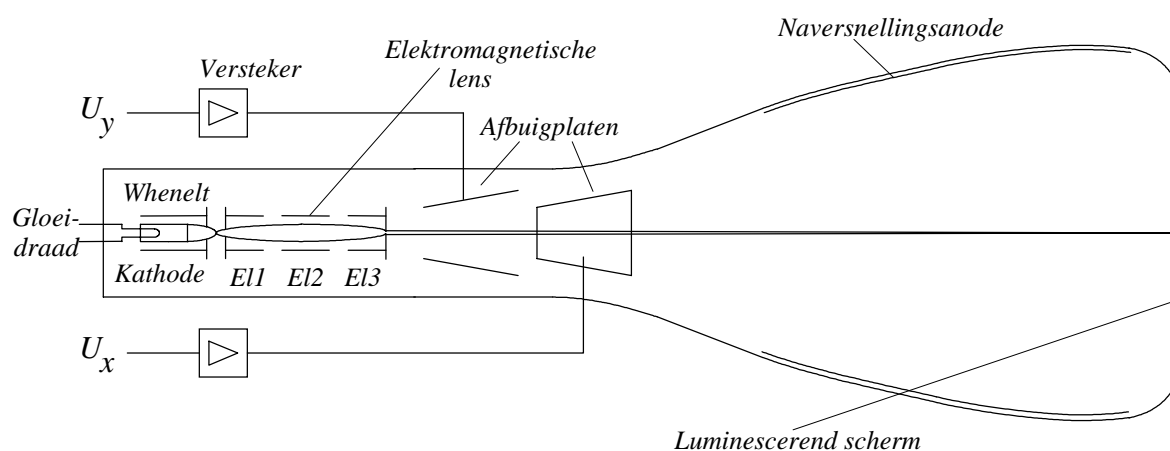


20 De oscilloscoop

20.1 De kathodestraalbuis (CRT)

De kathodestraalbuis (Cathode Ray Tube - CRT), zoals weergegeven in figuur 4.11, is het scherm van de oscilloscoop. Ze heeft als functie een lichtdot te visualiseren op een afstand tot het centrum van het scherm evenredig met de spanningen U_x (horizontale afstand) en U_y (verticale afstand). Hiertoe genereert men in de CRT een elektronenbundel die normaal het scherm in het centrum treft. Deze elektronenbundel ondergaat een afbuiging onder invloed van elektrostatische velden opgewekt tussen evenwijdige afbuigplaten waaraan de ingangsspanningen worden aangelegd (een horizontale afwijking onder invloed van U_x , een verticale onder invloed van U_y). Waar de elektronenstraal het met fosfor bedekte scherm treft ontstaat een lichtspot.



Figuur 4.11: De kathodestraalbuis (Eng.: Cathode ray tube - CRT).

De cilindervormige kathode welke door een gloeidraad indirect verhit wordt, genereert de elektronenbundel. De verhitting veroorzaakt thermische emissie van elektronen zodat er zich rond de kathode een wolk van elektronen vormt. De kathode wordt op negatieve potentiaal gebracht ten opzichte van de anode (zie verder).

Een cilindrische bus die de kathode omringt (de Wehnelt) heeft een regelbare negatieve potentiaal ten opzichte van de kathode. In de Wehnelt is aan de voorkant een opening gemaakt waardoor elektronen, aangetrokken door de positieve potentiaal van de anode, kunnen ontsnappen. Naarmate de Wehnelt negatiever wordt, verkleint de elektronenwolk rond de kathode en zullen minder elektronen ontsnappen naar de anode toe. Door de potentiaal van de Wehnelt in te stellen kunnen we dus het debiet aan ontsnappende elektronen regelen.

De elektronenbundel die de Wehnelt verlaat is divergent en wordt daarom door een elektromagnetische lens gestuurd. Deze lens bestaat uit drie cilinders waarvan er twee (E11 en E13) op een positieve en één (E12) op een negatieve spanning staan (ten opzichte van de potentiaal van de kathode). De lenswerking ontstaat door de negatieve potentiaal van E12 naarmate een elektron verder van de as van de cilinder afwijkt ondervindt het een sterkere afstotingskracht naar het centrum toe. De cilinders E11 en E13 dienen als anode en staan op 5 à 10 kV ten opzichte van de kathode. Ze versnellen de elektronen die uit de Wehnelt ontsnappen. De negatieve spanning op

E12 bepaalt het convergentiepunt van de lens. Instelling van deze spanning laat toe de focussing van de elektronenbundel bij te regelen.

Aan de uitgang van de elektromagnetische lens krijgen we dus een hoog energetische, convergerende elektronenbundel, regelbaar in debiet en focussing. Deze bundel dienen we nu te laten afbuigen evenredig met de twee spanningen U_x (~horizontale afbuiging) en U_y (~verticale afbuiging).

Het afbuigstelsel bestaat uit twee paar evenwijdige platen, respectievelijk verticaal en horizontaal opgesteld. De afbuiging van de elektronenbundel ontstaat door het aanleggen van een elektrische spanning over deze platen: de horizontaal opgestelde platen (spanning U_y) zorgen voor een verticale afwijking van de elektronenbundel, de verticaal opgestelde platen voor een horizontale afwijking. Daar de afwijkingen niet recht evenredig zijn met de aangelegde spanningen, worden er aan de kathodestraalbuis twee speciale versterkers toegevoegd, die deze niet-lineariteit compenseren. Zo ontstaat uiteindelijk een afwijking van de elektronenbundel die evenredig is met de aan de ingang van deze versterkers aangelegde spanningen.

Het scherm zelf tenslotte is bedekt met een luminescerende stof die oplicht onder invloed van het elektronenbombardement. De focussing wordt dusdanig afgeregeld dat de elektronenbundel het smalst is waar hij het scherm treft. De hoeveelheid uitgestraald licht is afhankelijk van het debiet aan elektronen dat het scherm treft, en van de energieïnhoud (de snelheid) van de elektronen. Bij een te groot elektronendebiet krijgt men echter een wazige dot op het scherm: door de random snelheidsverdeling van de elektronen bij het verlaten van de Wehnelt werkt de elektromagnetische lens niet perfect zodat we in plaats van een convergentiepunt een convergentiebol krijgen, die groter is naarmate het elektronendebiet hoger is. Om een scherp en helder beeld te bekomen moeten er dus weinig elektronen zijn met een grote energieïnhoud. Daarvoor dienen de naversnellingsanodes in de hals van de CRT. Deze worden ofwel verbonden met de meest positieve anode van de elektromagnetische lens, ofwel op een nog hogere potentiaal gebracht (tot 20 kV).

20.2 De analoge oscilloscoop

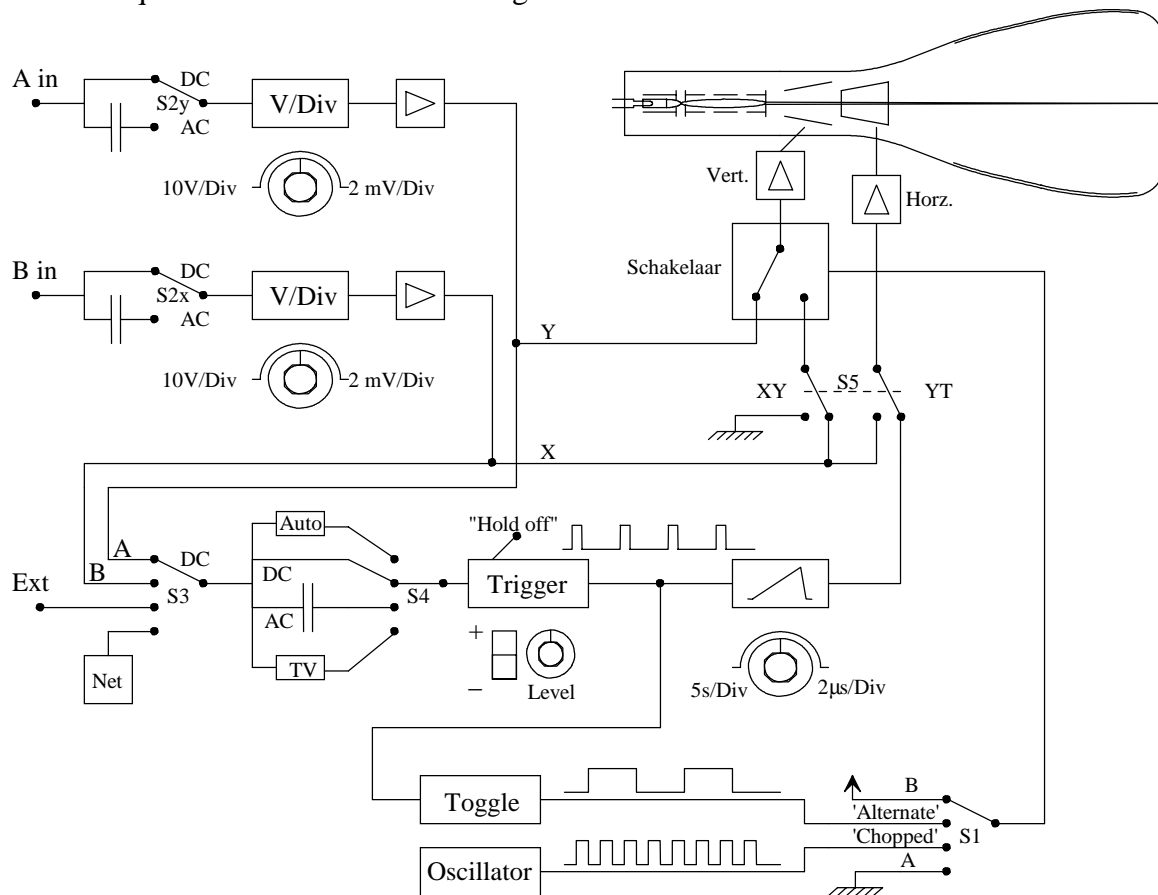
XY-werking

De XY-instelling dient om $U_y(t)$ te visualiseren in functie van $U_x(t)$. We leggen $U_y(t)$ aan de verticale-versterker en $U_x(t)$ aan de horizontale-versterker. Hiertoe zetten we schakelaar S5 in de XY-stand (zie steeds figuur 4.12).

Beide ingangsspanningen worden eerst versterkt in voorversterkers. Deze versterkers zijn in stappen instelbaar door de gebruiker en geijkt in Volts/Div: bij een instelling van 1mV/cm en een ingangssignaal dat over 3,2 mV varieert krijgen we op het scherm een overeenkomstige verplaatsing van 32 mm. De instelbare versterkingen variëren meestal van enkele mV/Div tot enkele V/Div. Het is ook mogelijk om met een speciale regelknop een continue regeling van de ingangsversterking te verkrijgen, doch in dat geval gaat de calibratie verloren en is de evenredigheidsconstante tussen schermverplaatsing en ingangsspanningsverandering niet langer gekend. Normaal staat deze knop in de nulstand.

Voor elk ingangssignaal kunnen we kiezen tussen een AC of een DC gekoppelde ingang (schakelaar S2). Bij een AC gekoppelde ingang wordt een condensator in serie geschakeld met het ingangssignaal. De condensator filtert de gelijkspanningscomponent (en de lage frequenties) uit het signaal waardoor uitsluitend de wisselspanningscomponent overblijft.

Een typische toepassing van de XY-werking is het visualiseren van Lissajous-figuren om het fase- en frequentieverband tussen twee signalen te bestuderen.



Figuur 4.12: De analoge tweekanaalsoscilloscoop.

YT-werking

Dit is de normale instelling van de oscilloscoop (S5 in figuur 4.12 in de stand YT). Ze dient om een periodiek variërende spanning U_y te visualiseren in functie van de tijd. Hiertoe leggen we aan de horizontale-versterker een zaagtandspanning aan zodat de lichtspot langzaam van links naar rechts beweegt en dan snel terug (tijdens de teruggaande beweging wordt de intensiteit van de spot op nul gebracht). Aan de verticale platen leggen we het te meten signaal $U_y(t)$ aan zodat de lichtspot naast de lineaire beweging van links naar rechts ook een verticale verplaatsing krijgt evenredig met $U_y(t)$. Door de helling van de zaagtand te regelen kunnen we de snelheid waarmee de spot van links naar rechts beweegt regelen (hoe scherper deze helling, hoe sneller de spot beweegt). Deze helling is in stappen instelbaar met behulp van een meerstanden schakelaar geijkt in tijd/Div (variërend van enkele $\mu\text{s}/\text{cm}$ tot enkele sec/cm).

Een probleem treedt op indien de zaagtandfunctie niet gesynchroniseerd is met U_y . We krijgen dan telkens een tekening van U_y met een verschillende faseverschuiving. Daar U_y vele tientallen malen per seconde wordt hertekend resulteert dit in een onbruikbaar beeld. Om de zaagtand te synchroniseren met het ingangssignaal wordt een zogenaamde *triggerschakeling* toegevoegd. Deze krijgt als ingang het te meten (periodieke) signaal $U_y(t)$ (figuur 4.12, schakelaar S3 in stand A). Op het ogenblik dat $U_y(t)$ een bepaalde instelbare waarde bereikt en dat dU_y/dt een bepaald instelbaar teken heeft, geeft deze schakeling een puls af. De zaagtandgenerator wacht op deze

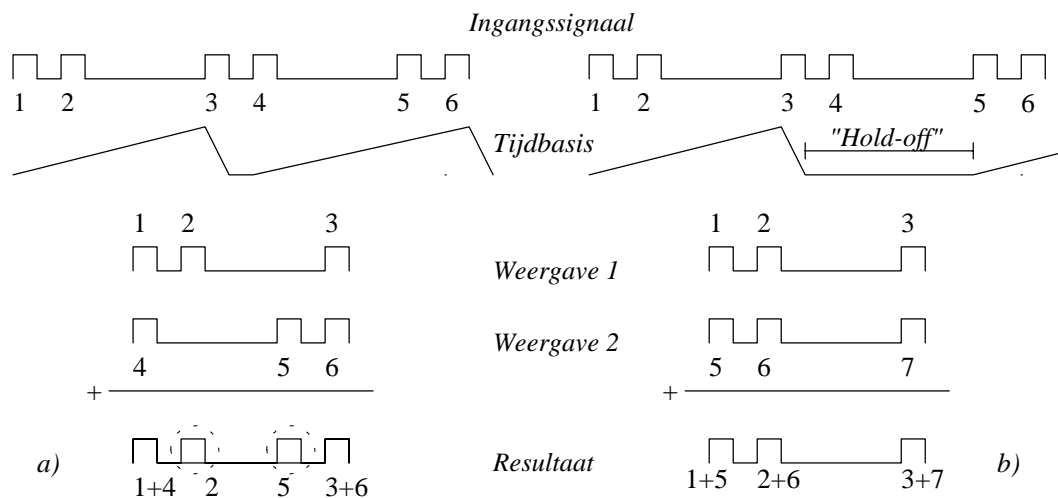
puls, start de zaagtand en wacht na het beëindigen van de zaagtand op een nieuwe puls. Door het regelen van de triggerspanning en het instellen van de triggerhelling kunnen we steeds hetzelfde gedeelte van het periodieke signaal $U_y(t)$ op het scherm brengen.

Deze manier van triggeren is niet geheel foutvrij. Signalen die bij het ingestelde triggerniveau en triggerhelling twee maal per periode de zaagtand triggeren zijn denkbaar. In de praktijk echter blijkt het voldoende te zijn om helling en niveau in te stellen om in de meeste gevallen een proper beeld te bekomen. In de andere gevallen kan men een extern signaal (bijvoorbeeld een blokgolf) genereren met eenzelfde periode als het te meten signaal (of heeft men een dergelijk signaal ter beschikking). In dat geval moet men triggeren op dat extern signaal: de schakelaar S3 wordt op stand *Ext* gezet en de zaagtand vertrekt indien het externe signaal de ingestelde spanning en helling bereikt. Een typisch voorbeeld van deze laatste situatie is het meten van de uitgang van een versterker waar men aan de ingang een blokgolf aanlegt. Men kan dan het beste triggeren op de blokgolf.

Merk op dat een slechte keuze van het triggerniveau er voor kan zorgen dat er nooit getriggerd wordt en dat er geen beeld op het scherm komt (zie ook de uitleg van de AUTO functie later).

De "HOLD-OFF" instelling.

Voor een stabiele triggering is het belangrijk dat de tijdbasislag steeds op hetzelfde punt van de te bekijken golfvorm begint. Dit triggerpunt wordt bepaald door niveau en helling (+ of -). Neem nu de golfvorm uit figuur 4.13 als ingangssignaal.



Figuur 4.13: Invloed van de "hold-off" instelling: a) foutief beeld, b) correct beeld.

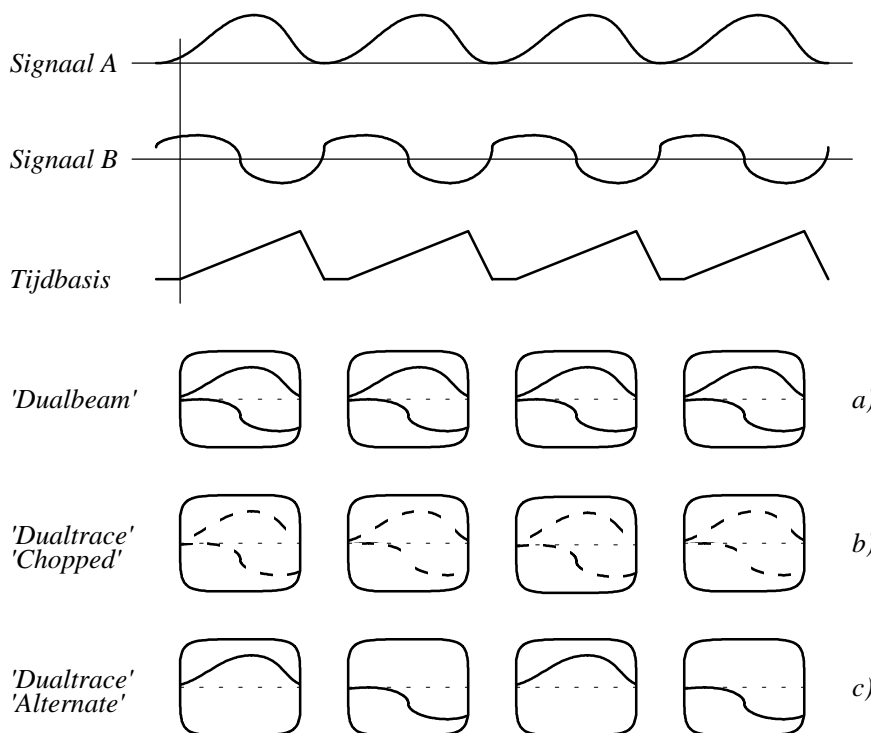
Iedere positieve flank van het ingangssignaal is een mogelijk triggerpunt. Pulsen 2 en 3 uit figuur 4.13.a genereren geen triggerpuls daar de tijdbasislag reeds begonnen is. Het is pas nadat puls 3 voorbij is dat de tijdbasislag kan hertriggerd worden. Het zal dus puls 4 zijn die de tweede tijdbasislag start. Dit is echter op het verkeerde punt van de golfvorm. Het 'foutieve' resulterende beeld is een overlapping van "Weergave 1" en "Weergave 2".

Met de "Hold-off"-knop wordt de terugslagtijd verlengt om alzo de triggering op puls 4 onderdrukken zoals aangegeven in figuur 4.13.b. Eens de positieve flank van puls 4 voorbij mag de triggerschakeling terug gevoelig gemaakt worden voor triggerpulsen. Het is dan precies puls 5 die opnieuw de tijdbasis zal starten.

De twee- of meerkanaalsoscilloscoop.

In vele gevallen is het nodig om meerdere signalen tegelijk op het scherm te brengen. We wensen dus meerdere signalen $U_y(t)$ uit te zetten tegenover eenzelfde tijdas.

Een eerste mogelijkheid bestaat erin twee elektronenbundels in eenzelfde CRT te genereren. Dit gebeurt door in het elektronenkanon twee bundels elektronen te genereren en gebruik te maken van een speciale elektromagnetische lens. Elke elektronenbundel krijgt zijn eigen stel verticale platen, doch beide bundels delen eenzelfde stel horizontale platen. Een dergelijke oscilloscoop noemt men een '*Dual Beam*' oscilloscoop. Deze methode is om technische redenen beperkt tot twee kanalen. De afwerking van het elektronenkanon dient zeer zorgvuldig te gebeuren, zodat er geen overspraak tussen beide kanalen kan optreden.



Figuur 4.14: Signalen bij tweekanaalsoscilloscoop.

Een tweede manier om meerdere signalen op het scherm te brengen bestaat erin een gewone oscilloscoop te gebruiken doch achtereenvolgens het ene en het andere signaal te visualiseren. Hiertoe brengen we aan de ingang van de verticale-versterker een elektronische schakelaar aan die snel heen en weer schakelt tussen kanaal A en kanaal B (zie figuur 4.12). Men spreekt dan van een '*Dual Trace*' oscilloscoop.

Er zijn twee manieren van uitvoering:

Een eerste manier, de '*Dualtrace Chopped Mode*', bestaat erin de schakelaar heel snel heen en weer te schakelen (schakelaar S1 in figuur 4.12 in stand 'chopped'). We krijgen dan op het scherm een beeld zoals in figuur 4.14.b. Dergelijke beelden worden heel snel over elkaar getekend, en daar er geen enkel verband bestaat tussen de schakelfrequentie en de frequentie van het te visualiseren signaal ontstaat een continu beeld. Het nadeel van deze methode is dat er een beeldbuis voor nodig is met een grote bandbreedte voor de verticale verplaatsing. De spot moet

heel snel kunnen wisselen tussen beide signalen, veel sneller dan de signalen zelf kunnen veranderen. Deze methode levert dus problemen op bij signalen met hoge frequentie.

Het alternatief is om eerst een keer het ene signaal te tekenen, en vervolgens, terwijl de spot terugkeert van rechts naar links, over te schakelen op het tweede signaal en dit te tekenen (schakelaar S1 in figuur 4.12 in stand 'Alternate'). Vervolgens schakelen we weer terug naar het eerste signaal enz. Dit is de '*Dualtrace Alternate mode*'. Ze heeft als voordeel dat ze minder eist van de bandbreedte van de oscilloscoop. Het grote nadeel is dat ze slecht werkt voor traag variërende signalen. Indien het bijvoorbeeld 0.5 sec duurt om een signaal volledig te tekenen, dan zullen we effectief op het scherm eerst het ene signaal en vervolgens het tweede zien. Daar 0.5 sec veel langer is dan de nagloeitijd van fosfor in de oscilloscoop zullen we nooit beide signalen gelijktijdig zien, zodat we ook geen vergelijkingen tussen beide signalen kunnen maken, iets waar het in principe net om te doen is.

'Dualtrace' oscilloscopen hebben meestal de mogelijkheid om te schakelen tussen 'Alternate' en 'Chopped' mode. Voor laag frequente signalen gebruiken we de 'chopped' mode, voor hoog frequente de 'alternate' mode. Sommige oscilloscopen kiezen zelf welke mode ze gebruiken, afhankelijk van de stand van de tijdbasis. Is de tijdbasis klein ($\sim 1 \mu\text{sec/div}$) dan is de 'chopped' mode ingeschakeld. Is de tijdbasis groot ($\sim 0.1 \text{ sec/div}$) dan is de 'alternate' mode actief.

Deze methode, het schakelen tussen verschillende ingangssignalen, is uiteraard niet beperkt tot twee kanalen. Drie, vier of meerkanaalsoscilloscopen zijn met deze methode mogelijk. Naarmate het aantal signalen toeneemt worden er uiteraard steeds hogere eisen gesteld aan de bandbreedte van de beeldbuis om nog een aanvaardbaar beeld te bekomen.

Figuur 4.12 geeft een volledig beeld van een tweekanaals-'dualtrace'-oscilloscoop. Naast de reeds besproken mogelijkheden kan de schakelaar ook vast in de ene of de andere stand gezet worden, zodat slechts een van beide signalen geselecteerd wordt. De mogelijk modes zijn dus: A, B, 'Alternate' of 'Chopped'.

De triggerschakeling ontvangt als ingang kanaal A, kanaal B, een Externe bron of het 'Net' (Eng.: MAINS), een 50 Hz sinus, afgeleid van het lichtnet. Deze laatste keuze laat toe om het signaal voortdurend op het scherm te brengen zonder rekening te houden met de periodiciteit ervan. Dit kan nuttig zijn bij metingen op niet-periodieke signalen (zoals ruis) waarbij triggeren moeilijk is. Het gekozen ingangssignaal wordt vervolgens behandeld alvorens het naar de eigenlijke triggerschakeling gaat. De verschillende keuzen voor het behandelingsnetwerk zijn:

- DC: Het signaal wordt hier (zonder behandeling) gewoon naar de triggerschakeling gevoerd.
- AC: Hierbij wordt een capaciteit in serie geschakeld met het ingangssignaal welke alle lage frequenties wegfiltert. Het triggersignaal wordt dus ontdaan van de DC-componente en van zeer lage frequenties.
- Auto: Hierbij wordt het ingangssignaal geëxpandeerd, zodat we steeds een triggerpuls zullen krijgen. Het signaal aangeboden aan de triggerschakeling zal steeds een groter bereik hebben dan kan ingesteld worden met de triggerniveau-knop. Deze mode is dan ook de meest gebruikte.
- TV: Dit is een speciale schakeling die gebruikt wordt bij het meten op televisiesignalen. De triggering gebeurt op de synchronisatiepuls van het videosaal.

Ook laag- of hoogfrequente spelfilters zijn mogelijk als voorbehandeling van het triggeringsignaal.

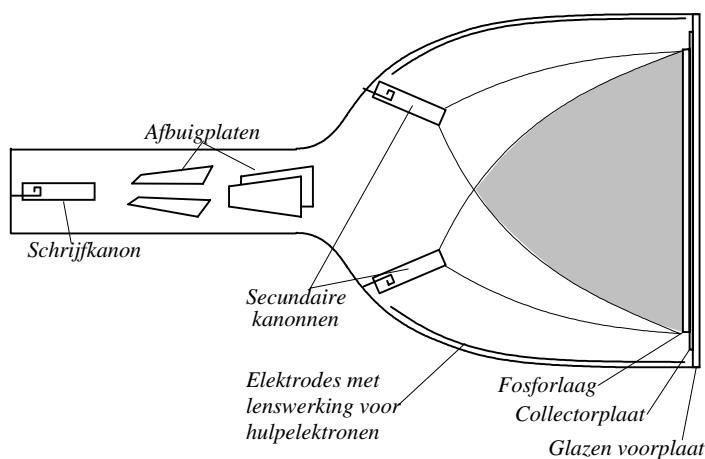
20.3 De analoge geheugenoscilloscoop

De klassieke analoge oscilloscoop kan heel wat problemen niet aan. Deze worden voornamelijk veroorzaakt door de beperkte schrijfsnelheid en nalichttijd van de kathodestraalbuis. Zo kent de klassieke analoge oscilloscoop problemen bij:

- visualisatie van eenmalige verschijnselen (bijvoorbeeld oplading van een capaciteit)
- visualisatie van traag verlopende verschijnselen (LF-signalen)
- visualisatie van zeer snelle verschijnselen (HF-signalen)

Hiervoor dienen de speciale oscilloscopen beschreven in deze en volgende paragrafen

Een analoge geheugenoscilloscoop kan in tegenstelling tot de klassieke analoge oscilloscoop met beperkte nalichttijd, een verschijnsel veel langer vasthouden (tot enkele uren nadat het voor het eerst op het fosfor geschreven is). Geheugenoscilloscopen gebruiken het fenomeen van emissie van secundaire elektronen. Bij het elektronenbombardement van primaire elektronen, heeft er een energieoverdracht plaats die secundaire elektronen aan het oppervlak van het doel doet vrijkomen. Het aantal elektronen dat vrijkomt hangt ondermeer af van de spanning van het doel.



Figuur 4.15: Opbouw van de analoge geheugenoscilloscoop.

Figuur 4.15 toont de elektronenstraalbuis van de geheugenoscilloscoop. Het scherm bestaat nu uit drie lagen. De *diëlektrische laag* die de fosfordeeltjes bevat, een achtergrondplaat die dienst doet als de *collector* van elektronen en een *glazen voorplaat*. Er zijn hulpkanonnen toegevoegd. Deze hulpkanonnen genereren de hulpelektronen. De hulpelektronen bevatten weinig energie. Ze worden continu uitgezonden en bestrijken het hele scherm. Hierdoor is het scherm zwak lichtgevend.

Bij het verschijnen van een signaal worden er elektronen met veel energiekracht losgelaten op het fosfor in een punt *P*. Er ontstaan secundaire elektronen die opgevangen worden in de collector. Punt *P* wordt dus positief, de overige punten blijven ongewijzigd. Het positieve punt *P* gaat aldus hulpelektronen aantrekken met een grotere kracht en zal nog meer oplichten. Punt *P* blijft elektronen aantrekken en zal nog licht geven op het scherm als er geen elektronen meer van het schrijfkanon worden aangevoerd. Nadat een signaal op het scherm geschreven is, zorgen de hulpelektronen er dus voor dat de informatie bewaard blijft.

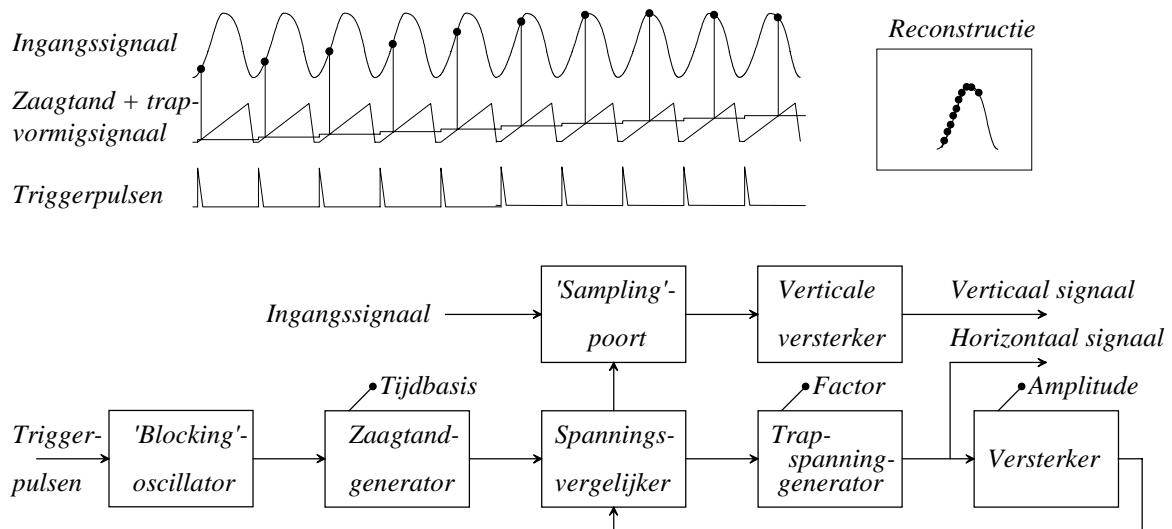
In normale werking staat de collector op een spanning van 200V. Het beeld kan gewist worden door de spanning van de collector te reduceren. Als de collectorspanning laag is, is er slechts een kleine stroom van elektronen naar de collector en wordt de positieve lading in *P* geneutraliseerd door de elektronen afkomstig van de hulpkanonnen.

20.4 De 'Samplingoscilloscoop'

Wanneer de frequentie van het te visualiseren signaal stijgt, gaat de snelheid van het schrijven van de elektronenstraal stijgen. Een hogere schrijfsnelheid betekent dat de intensiteit van het beeld vermindert.

Een eerste mogelijkheid om de bandbreedte van de oscilloscoop (de maximale frequentie van de signalen, waarbij nog een duidelijk beeld bekomen wordt) te verhogen is de elektronenstraal te versnellen. Een hogere elektronensnelheid wordt bekomen door de spanning van de naversnellingsanodes te verhogen.

Een tweede mogelijkheid is het gebruik van een 'samplingoscilloscoop'. In een 'samplingoscilloscoop' wordt hetingangssignaal gereconstrueerd uitgaande van monsters (Eng.: samples) genomen tijdens verschillende periodes van het periodieke signaal.



Figuur 4.16: Werkingsprincipe van de 'sampling'- of bemonsteringsoscilloscoop.

Figuur 4.16 toont hoe de golfvorm gereconstrueerd wordt. Op het ogenblik dat een bemonsteringspuls voorkomt, wordt de spanning van het signaal gemeten. De elektronenbundel wordt verticaal gepositioneerd overeenkomstig deze spanning. Een volgend monster wordt genomen tijdens de volgende periode van het signaal in een iets latere positie. De elektronenstraal wordt horizontaal bewogen over een zeer korte afstand en wordt verticaal gepositioneerd volgens de nieuwe waarde van deingangsspanning. De oscilloscoop tekent het signaal dus punt per punt.

De bemonsteringsfrequentie kan tot één honderdste van de signaalfrequentie bedragen.

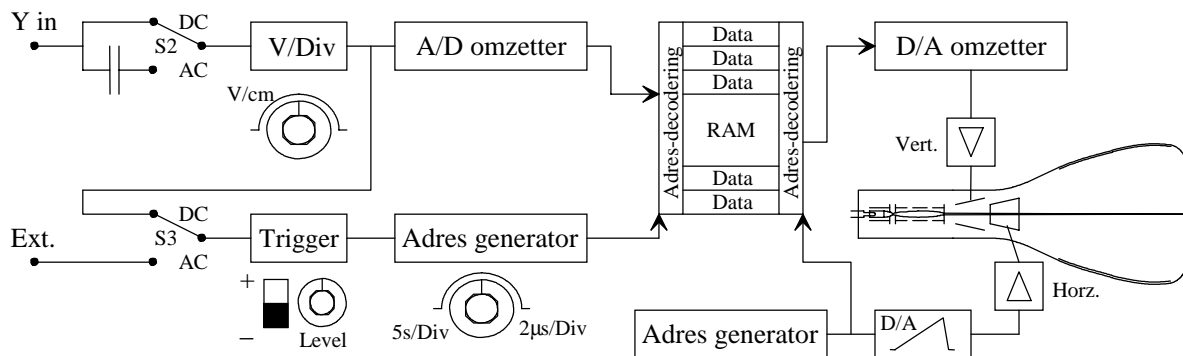
Figuur 4.16 toont een vereenvoudigd blokdiagramma van de bemonsteringsschakeling. Bij elke triggerpuls start de 'blocking' oscillator een lineair stijgende spanning (ramp). De spanningsvergelijker vergelijkt deze spanning met de uitgang van de trapvormige-spanningsgenerator. Wanneer de twee spanningen gelijk zijn in amplitude verhoogt de generator zijn spanning met één stap. Op het zelfde ogenblik wordt een bemonsteringspuls gegenereerd waardoor een monster van het signaal aangelegd wordt aan de verticale-afbuigenheid. De horizontale verplaatsing van de elektronenstraal wordt bepaald door de spanning van de trapgenerator.

20.5 Digitale geheugenoscilloscoop

De analoge geheugenoscilloscoop heeft volgende nadelen:

- Het beeld kan maar een beperkte tijd bewaard blijven. Zolang het beeld bewaard moet blijven, moet de voeding van het instrument aan blijven.
- De lijn van het beeld is meestal niet zo fijn als bij een normale oscilloscoop.
- De snelheid is lager dan bij een normale oscilloscoop. Dit beperkt de mogelijke frequentie van de signalen.
- De kathodestraalbuis van een analoge geheugenoscilloscoop is duurder dan die van een normale oscilloscoop.
- Enkel één beeld kan bewaard worden.

Een superieure methode om een beeld te bewaren is het gebruik van een digitale geheugenoscilloscoop. Bij deze techniek, wordt het signaal gedigitaliseerd, en bewaard in het digitaal geheugen. Een voordeel van de digitale geheugenoscilloscoop is de mogelijkheid tot verdere analyse van het gedigitaliseerd signaal bij uitlezing naar een computer.



Figuur 4.17: Blokschema van de digitale geheugenoscilloscoop.

Figuur 4.17 geeft een schematische weergave van de digitale geheugenoscilloscoop. In een digitale oscilloscoop kunnen we twee grote delen onderscheiden. Een eerste deel zorgt voor het capteren en de conditionering van het signaal. Dit gedeelte komt grotendeels overeen met een normale oscilloscoop. In plaats van het bekomen signaal naar het scherm te sturen, wordt het met behulp van een analoog/digitaal omzetter gedigitaliseerd en opgeslagen in het RAM-geheugen. Het RAM-geheugen is in feite een grote lijst van meetresultaten van de aangelegde en voorversterkte ingangsspanning. De tijdinformatie - wanneer welke meting werd verricht - wordt bijgehouden door de plaats van het getal in het RAM-geheugen. De eerste RAM-locatie komt overeen met de eerste meting na de triggerpuls. De laatste geheugenplaats komt overeen met de laatste meting. De schakeling die de te meten spanning digitaliseert en het bekomen getal in het geheugen opslaat wacht in het begin op de eerste triggerpuls. Het aantal metingen per seconde wordt bepaald door de ingestelde tijdbasis. De digitale geheugenscoop biedt de mogelijkheid om te triggeren op een eenmalige puls zodat een eenmaal ingelezen signaal niet overschreven wordt. De triggerschakeling dient dan na elke triggerpuls opnieuw manueel gereset te worden. Het tweede deel van de oscilloscoop heeft geen instelmogelijkheden en doet niets anders dan het in het geheugen opgeslagen beeld naar het scherm te sturen. Dit gebeurt vele tientallen keren per seconde. De waarde opgeslagen in de eerste geheugenlocatie komt links op het scherm, de waarde in de laatste geheugenlocatie rechts.