

KAPITEL 5

ELEKTRONISK TÆLLING

<u>INDHOLDSFORTEGNELSE:</u>	<u>SIDE</u>
Indholdsfortegnelse til elevteksten	L 131
<u>1. Indledning</u>	L 132
<u>2. Nogle bemærkninger om undervisningens praktiske tilrettelæggelse</u>	L 134
2.1 Opbygningen af modulsystemet	L 134
2.2 Fremstilling af printmodulerne	L 135
2.3 Isætning (-lodning) af komponenterne	L 136
2.4 Omgang med IC'erne	L 137
2.5 Modulskinnen	L 138
2.6 En 5-9 V spændingsforsyning	L 138
<u>3. Faglig information</u>	L 142
3.1 Gates	L 142
3.1.1 Præcis betydning af HØJ og LAV	L 142
3.1.2 Belastning af kredsene	L 144
3.1.3 Specifikationer for indgangsstrømmene ..	L 146
3.1.4 Gate-typer	L 148
3.1.5 Flip-flops	L 150
3.2 Schmitt-trigger NAND-gates 7413 og 74132	L 154
3.2.1 Firkantgeneratorer	L 154
3.2.2 Impulsformere	L 160
3.2.3 Andre anvendelser af 7413/132	L 161
3.2.4 En firkantgenerator. Byggevejledning ...	L 164
3.3 Nøjagtige tidsimpulser	L 166
3.3.1 Impulser med lysnettets frekvens	L 166
3.3.2 Timingmodulet	L 168
3.3.3 Faselås-princippet	L 171
3.4 Tællere	L 174
3.4.1 Digitalmåling af fysiske størrelser	L 175
3.4.2 Frekvenstællere	L 176
3.4.2.1 Beskrivelse af en modultæller ..	L 177
3.4.2.2 Beskrivelse af en automatisk fre-	L 179
kvenstæller	L 179
3.4.3 Et styrelogik-system	L 180
3.4.4 Hvad viser en frekvenstæller?	L 183
3.5 NTC-modstande	L 185
3.5.1 Resistansen som funktion af temperaturen	L 185
3.5.2 NTC-modstanden i digitaltermometeret ...	L 186
<u>4. Tillægsopgaver m.m.</u>	L 188
4.1 Eksempel på systemudvikling	L 188
4.2 Eksempler på anvendelse af flip-flop'en	L 192
4.3 Vi undersøger et lystal	L 194
4.4 Vi laver en HØJ/LAV-indikator	L 196
4.5 Vi udlæser tælleren med lystal	L 197
4.6 Vi forsyner tælleren med hukommelse	L 199

INDHOLDSFORTEGNELSE TIL ELEVTEKST.		Side
ET 1	Vi bygger et modul med 4 gates.	E 53
ET 2	Vi laver en hurtig firkantgenerator.	E 55
ET 3	Vi åbner og lukker gaten.	E 57
ET 4	Vi laver en langsom firkantgenerator.	E 59
ET 5	Vi laver en sirene.	E 61
ET 6	Vi styrer gaten med en fotomodstand.	E 62
ET 7	Vi styrer gaten fra kontrolenheden.	E 64
ET 8	Vi laver den omvendte funktion.	E 65
ET 9	Vi bygger et tællermodul.	E 68
ET 10	Vi laver et sekundur.	E 71
ET 11	Vi laver en elektronisk spilledåse.	E 74
ET 12	Vi laver en alternativ dørklokke.	E 75
ET 13	Vi laver en persontæller.	E 76
ET 14	Vi bygger et modul med 2 gates	E 79
ET 15	Vi laver en generator med flere frekvenser.	E 82
ET 16	Vi laver minutimpulser.	E 86
ET 17	Vi laver en prelfanger.	E 87
ET 18	Vi spiller "numberboss".	E 89
ET 19	Vi spiller "cifferchief".	E 92
ET 20	Vi laver spil med held i.	E 93
ET 21	Vi laver en reaktionstidsmåler.	E 95
ET 22	Vi lytter til temperaturen.	E 97
ET 23	Vi eksperimenterer med et digitaltermometer.	E 98
ET 24	Vi bygger en frekvenstæller.	E 101
ET 25	Vi laver en energisparealarm.	E 105
ET 26	Vi laver nøjagtige tidsimpulser.	E 109
ET 27	Vi eksperimenterer med et digitalur.	E 111
ET 28	Vi eksperimenterer med en elektronisk tidtager.	E 115
	Hvis du vil eksperimenterere videre med IC'er.	E 120
	Et udlæsemodul.	E 122

1. INDLEDNING

Denne udgave af kapitel 5 er ændret på væsentlige punkter i forhold til det tilsvarende kapitel i "Elektronik i Folkeskolen" 2. udgave.

Ændringerne er bl.a. foretaget på grundlag af erfaringerne fra forsøgsundervisningen i efteråret 1977 og begyndelsen af 1978 med ti 9. klasser.

Elevteksten består nu af 28 opgaver, der kan deles i tre grupper:

1) Ved arbejdet med opgaverne ET 1 - ET 17 opbygger eleverne en basisviden, en slags faglig platform, hvorfra de kan skimte, og i nogen grad bedømme, de videre muligheder. Hvis vi bliver i dette billede, kan man sige, at platformen hviler på tre piller: Gate, tæller og system.

Når "system" er taget med her, hænger det sammen med, at elevernes oplevelse af et system (bygge det - få det til at virke - tale med kammerater/lærer om det) kan hjælpe dem til at skabe sig overblik bl.a. ved, at de ser, hvordan man ved at sammensætte enheder med bestemte funktioner kan få et system med en ønsket resulterende funktion.

2) ET 18 - ET 20 handler om nogle spil, hvor eleverne på en leg-lignende måde kan genopfriske noget af det, de har arbejdet med i de første opgaver.

Ingen lærer behøver at føle, at han har svigtet, hvis nogle af hans elever synes, at disse opgaver er uinteressante, og springer dem over.

3) I opgaverne ET 21 - ET 28 møder eleverne en række systemer med brugsværdi også i hverdagen. Det er tanken, at de enkelte elever eller elevgrupper kan arbejde med et eller flere af disse systemer, men vi forventer ikke, at alle elever arbejder med alle systemer. Man kan endda tænke nogle af disse som en mulighed for elever, der ønsker at fortsætte ud over to år, idet vi skønner, at de 5 kapitler rummer rigeligt med stof til de første to årgange.

Lærertekstens kapitel 5 er opbygget anderledes end de foregående fire kapitler:

I afsnit 2 har vi samlet en række af de praktisk/tekniske oplysninger, der er nyttige for læreren, når han skal have undervisningen til at fungere.

Da elevteksten er bygget op omkring nogle ganske få, centrale elektroniske funktioner, har det været naturligt for os at lade det faglige baggrundsstof i afsnit 3 dreje sig om disse funktioner frem for om de enkelte elevopgaver.

Ideen er, at uanset hvor i elevteksten, man befinder sig, kan man finde dækkende faglig information om den pågældende funktion i afsnit 3. Dette afsnit er altså tænkt som en slags "håndbog" til kapitel 5, og er ikke en lærebog i digitalelektronik.

Herudover indeholder det faglige afsnit en række ideer, der efter lærerens skøn kan bruges som supplement i undervisningen.

De egentlige "tillægsopgaver" er samlet i afsnit 4, hvor der yderligere er nogle ideer, som vi synes er gode, men som ikke naturligt kunne indpasses andre steder.

Vi forestiller os, at eleverne får mulighed for at følge deres egen vej gennem materialet, alt afhængig af interesse og evner. Man kunne f.eks. tænke sig, at en elev, der nåede til "sekunduret", havde lyst til at arbejde videre med digitalure. Vi mener, at han ikke blot skal have lov til det, men at han bør opmuntres og støttes, vel vidende, at det vil medføre, at han hen ad vejen må gå tilbage i teksten for at samle viden op.

Det er derfor nødvendigt, at læreren kender hele materialet inden han går igang med at undervise efter det. Han bør gennemarbejde hele elevteksten, herunder bygge de forskellige enheder og systemer, og få dem til at virke.

Undervejs vil der opstå behov for yderligere belysning af såvel faglige som praktiske problemer. Det er vor tanke og vort håb, at lærerteksten i et rimeligt omfang kan dække sådanne behov.

Når vi har lagt så stor vægt på netop dette kapitel, hænger det sammen med den eksplosionsagtige udvikling, elektronikken er inde i i disse år. En udvikling, der ikke blot synes at fortsætte, men at tage yderligere fart.

Hvis vi ser "Elektronik i Folkeskolen" i forhold til denne udvikling, er det især kapitel 5, der peger fremad. Det kan derfor meget vel tænkes, at væsentlige dele af det, der står i kapitel 5 i denne udgave, vil være at finde i kapitel 1 i en kommende udgave af "Elektronik i Folkeskolen".

2. NOGLE BEMÆRKNINGER OM UNDERVISNINGENS PRAKTISKE TILRETTELÆGGELSE

2.1 OPBYGNINGEN AF MODULSYSTEMET

Undervisningen er bygget op omkring et antal printmoduler, hvoraf eleven selv fremstiller nogle, mens skolen efterhånden - f.eks. ved elevernes hjælp - skaffer sig en "udlånssamling". Vi foreslår, at hver elev laver et gatemodul med 4 gates ("type 1"), et gatemodul med 2 gates ("type 2"), og ét tællermodul. Undervejs vil der blive brug for endnu flere moduler, både flere af de allerede nævnte, men også af andre typer f.eks. udlæsemoduler og eventuelt timingmoduler.

Hvis det nye kapitel 5 bliver så dynamisk, som vi håber, kan det meget vel tænkes, at lærer og elev finder på nye moduler til funktioner, der viser sig nyttige i den daglige undervisning. Hvis en sådan funktion findes som IC, lægger vi op til, at man i første omgang bruger en prøveplade, idet man da hurtigt kan se, om det er den funktion, der er brug for.

Modulerne har vist sig at være en hensigtsmæssig måde at håndtere de ellers noget uhåndterlige IC'er på. Deres størrelse (7 x 8 cm) gør, at det er relativt let at komme til de enkelte printspyd - omend gatemodul 1 godt kan blive noget overlæsset med komponenter.

Ikke mindst fordi der er tale om et undervisningsmateriale, skal vi fremhæve en anden fordel ved at bruge modulsystemet:

Hvert modul har en veldefineret, elektronisk funktion. Opbygningen af et system ved hjælp af moduler, betyder derfor samtidig en strukturering af systemet i funktioner. Netop erkendelsen af de forskellige funktioner og den måde, de kan bringes til at fungere i et samspil, er af stor betydning for elevernes "færden" i denne del af elektronikken.

Vi lægger vægt på, at eleverne tegner symbolerne på printpladen i overensstemmelse med anvisningerne, idet vi mener, at dette kan være med til at præcisere og til stadighed sætte fokus på funktionerne. Heri kan man også finde årsagen til, at printspydene i gatemodulerne er anbragt så at sige "oven i" symbolerne.

Indgår der flere moduler i en opstilling, er det praktisk at anbringe den i en modulskinne (tegning side L 138). De "faste" forbindelser mellem modulerne (f.eks. mellem +5 V-linierne og mellem 0 V-linierne) laves med pålodede ledninger. Alle andre forbindelser laves med de sædvanlige prøveledninger med mini-krokodillenæb. Dem skal der bruges mange af! Mindst 20 pr. hold, og sørg altid for at have nogle i reserve.

2.2 FREMSTILLING AF PRINTMODULERNE

Erfaringsmæssigt har eleverne ikke svært ved at tegne printene selv ikke de tætliggende øer til IC'en. Det kræver blot en god printpen, hvor typen "DALO" (Århus radiolager. Rimelig rabat til skoler) foreløbig er den bedste, vi er stødt på. Dens spids er tilstrækkeligt fin til de print, vi laver. (NB: Tryk spidsen af pennen ned mod et stykke papir. Så åbnes en ventil i pennen, og lakken flyder).

Efter ættsning fjernes lakken med acetone, terpentiner eller fortynder. Sprit duer ikke.

Hvis man har problemer med at "håndtegne" IC-øerne, eller hvis man i almindelighed gerne vil lave mere "professionelt" udseende print, kan man anvende ALFAC overføringssymbolerne, der findes både som IC-sokler, som printbaner og som loddeøer. (Se i materialefortegnelsen).

I almindelighed vil brug af ALFAC dog være en ikke-nødvendig luksus.

Ved særlige lejligheder kan det være bekvemt at kunne ætse et print hurtigere end i den sædvanlige ferrichloridopløsning. Følgende blanding er i konflikt med risikovejledningen, men kan ætse et print på 5-10 sekunder! Brintoverilte (H_2O_2) koncentreret ca. 35% + saltsyre (HCl) koncentreret ca. 38% + postevand. Lige dele af hver i et bægerglas (måske lidt mere vand). Dyp printet i væsken med en tang (helst plastic) og pas på hud og tøj.

Væskerne blandes lige før brugen, og holder til måske 4-8 print. Derefter koger den op, og kan ikke bruges mere.

2.3 ISÆTNING (-LODNING) AF KOMPONENTER

1. Sæt altid sokler til IC'er i print.

Prisen (1,50 - 2 kr.) er lille i forhold til besværet og irriterationen ved at skulle lodde en IC ud af et print.

2. Når soklen loddes i printet, bruges tyndt loddetin (f.eks. 0.9 mm). Loddekolben holdes næsten lodret, så ben og print opvarmes samtidig. Derefter tilføres tin i sparsom mængde.

Lysdioderne (LED):

Strøm-spændingskarakteristikken for en lysdiode (LED) ligner karakteristikken for en almindelig diode bortset fra, at "knækket" ligger ved omkring 2 V i lederetningen. Nominelt skal der løbe omkring 20 mA i en LED for "normal" lysudsendelse, men man kan stadig se lyset, selvom strømmen kun er et par mA (undtagen i direkte sollys, der altid gør det vanskeligt at se, om der er lys i en LED).

Man kan naturligvis bruge LED'er af enhver farve, men den røde er den billigste.

Eleverne kan selv finde ud af, hvordan LED'en skal vendes.

Man kan sætte dem i gang med en LED, et 4.5 V batteri og en beskyttelsesmodstand (f.eks. 470 Ω), der sikrer, at strømmen ikke overstiger 20 mA.

PAS PÅ: En LED er mekanisk skrøbelig. Hvis man bøjer benene med håndkraft (som man gør med alle andre komponenter), brækker de let helt oppe i LED-hovedet. Benbøjning skal ske med tang!

Husk dette, hvis afstanden mellem LED-printøerne på et print er blevet lidt for stor.

Vi sparer ikke på LED'erne, men anvender dem af pædagogiske grunde overalt, hvor det er af betydning, at eleven får helt fat i, hvornår en udgang er HØJ eller LAV.

De komponenter, der indgår i firkantgeneratorerne m.v. loddes fast mellem printspyddene - uden afklipning af komponentbenene.

Der skal bruges store mængder af printspyd, og det er vigtigt, at de kommer til at sidde godt fast i printet. Der skal loddes meget på nogle af spyddene, og det kan ikke undgås, at man her ved også kommer til at smelte loddetinnet på printspyddets loddeø. Hvis det hul, der er boret til spyddet, ikke har den rigtige størrelse, "kæntrer" spyddet og falder måske helt af.

2.4 OMGANG MED IC'erne

1. En helt ny IC skal formentlig have benene klemt lidt sammen, før den kan komme i soklen. Det gøres ved, at man klemmer med fingrene om enderne på kredsen, og presser hele den ene ben-side ned mod et bord.

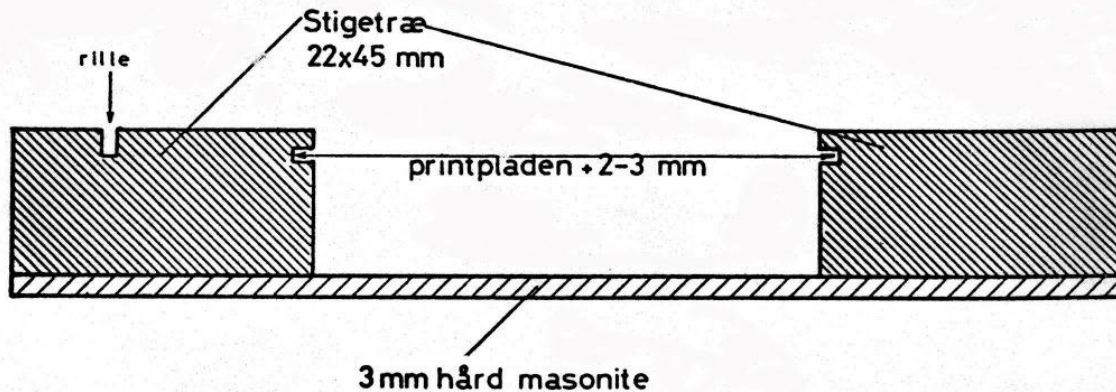
Pas på ikke at bøje et ben. Hvis det sker, så brug en fladtang til - forsigtigt - at rette det ud igen.

2. Når en kreds skal tages op af en sokkel, bør det ikke gøres med fingrene - det vil næsten med sikkerhed medføre ca. 4 bøjede (eller knækkede) ben. Stik en tynd skrueetrækker ind mellem sokkel og kreds, og bræk forsigtigt. Med lidt øvelse kan man let få alle ben op på én gang - uden beskadigelser.
3. Hvis man kommer til at bytte om på + og - til kredsen, kan man godt regne med, at den står af.
4. En udgang må aldrig tvinges hverken HØJ eller LAV. Dvs. forbind aldrig en udgang hverken til +5 V eller til 0V.
"En udgang er, hvad den skal være ifølge kredsens funktion og dét, vi gør på indgangene".
Det værste er at forbinde udgangen til +5 V. Det overlever den næppe. At kortslutte en udgang til 0 V er knap så slemt.
5. Send aldrig signaler større end 5 volt ind på en indgang.
Mange tællere er "gået bort" ved direkte tilslutning til AMV'e fra kapitel 1 (kørt på 9 volt).
7413 og 74132 er undtagelser fra denne regel, men overhold den alligevel.
6. Når flere kredse indgår i en opstilling, bliver der et stykke vej hen til strømkilden. Det medfører, at systemet kan gå i selvsving. Foretag afkobling (med f.eks. 100 nF) på hvert tredje modul i en større opstilling (lod de 100 nF på modulet direkte mellem +5 V og 0 V).
7. Kredsene brænder sandsynligvis af, hvis de tilsluttes højere driftspænding end 5.25 volt, der er fabrikkernes maximalværdi.

Modulerne kan i de første opgaver drives af et ikke alt for slidt 4.5 V batteri. Når flere moduler skal køre samtidig, er en stabiliseret 5 volt-forsyning at foretrække. Den er beskrevet side L 138.

2.5 MODULSKINNEN

Når flere moduler indgår i en opstilling, er det bekvemt at samle dem i en modulskinne, der her er tegnet set fra den ene ende:



Målestok: 1:1

Skinnens længde kan passende være 42 cm svarende til 6 moduler ved siden af hinanden.

Materialerne udskæres og riller saves på rundsav af den lokale snedker eller sløjdlærer, mens eleverne selv sømmer delene sammen, så modulpladerne kan glide let i rillerne, uden at falde ud.

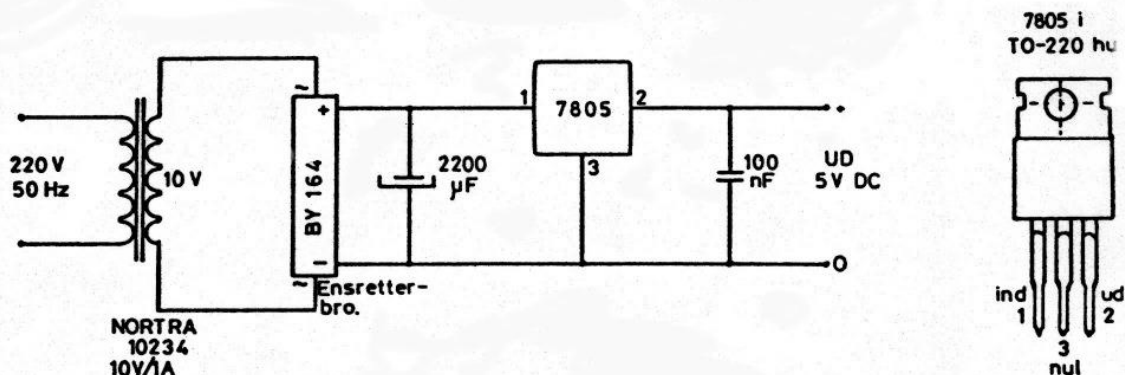
De brede lister (stigetræ) kan anvendes som "sømbræt", når der ikke er plads til at lodde komponenterne fast på modulernes printspyd.

Rillen i toppen af det venstre stykke træ på tegningen, er beregnet til lodret anbringelse af f.eks. udlæsemoduler, men er også godt at have, når der indgår flere moduler (eller prøveplader) i opstillingen end selve skinnen kan rumme.

2.6 EN 5-9 VOLT SPÆNDINGSFORSYNING,

der samtidig afgiver impulser med frekvensen 100 Hz.

Den enklest mulige 5 V spændingsforsyning bygges ved hjælp af en integreret regulator, der i flere forskellige fabrikater har nummeret 7805, hvor 05 betyder, at dens udgangsspænding er 5 volt (± 0.25 volt).



Spændingsforsyningen er kortslutningssikker, og kredsen selv har indbygget strømbegrænser og termisk sikring.

Med den angivne transformator kan der trækkes 1 A med 4-5 mV (ss) ripple. Ved 1.2 A stiger ripplens voldsomt.

Til eksperimenterne i elevteksten kan man godt spare på de dyre elektrolytter og nøjes med 1000 μF i stedet for - som angivet på diagrammet - 2200 μF .

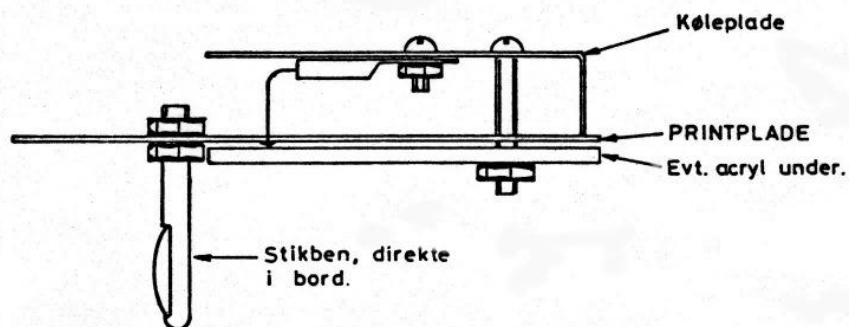
Et monteringsforslag:

Byg enheden bestående af ensretterbro, elektrolytkondensator, regulatorkreds samt de 100 nF på en lille printplade (f.eks. i 7 x 8 mm modulstørrelse). Montér to stikben, der passer ned i bordets veksel-forsyning (8-10 volt veksel).

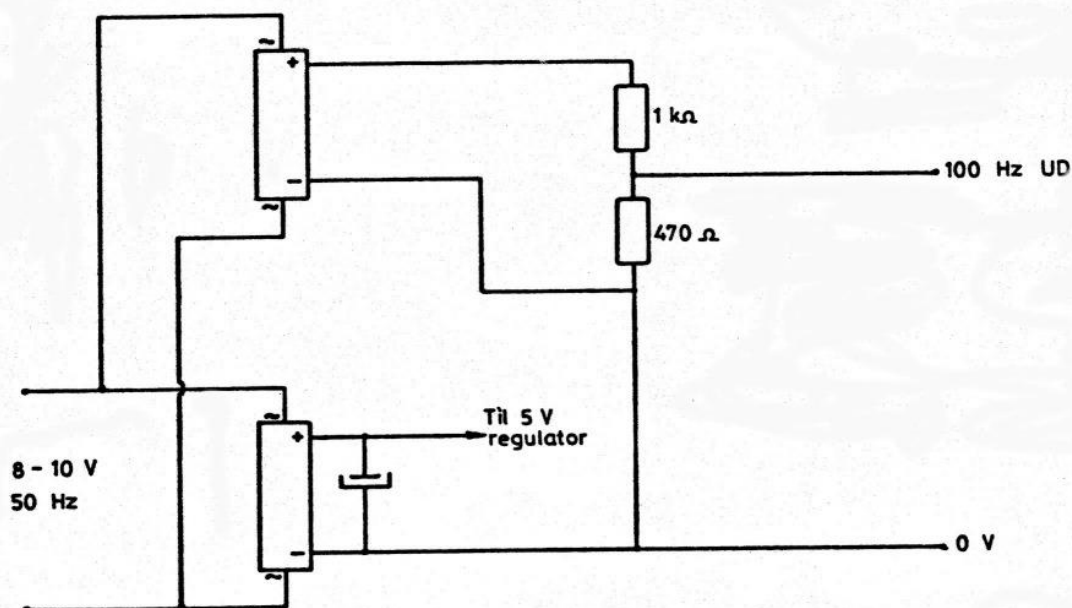
Så undgår vi problemet med transformator og 220 volt.

7805-kredsen bør (skal) forsynes med køleplade, f.eks. et stykke aluminium, gerne op mod 100 cm^2 , hvis der er plads.

Her er et skitseforslag, der kan arbejdes videre med:

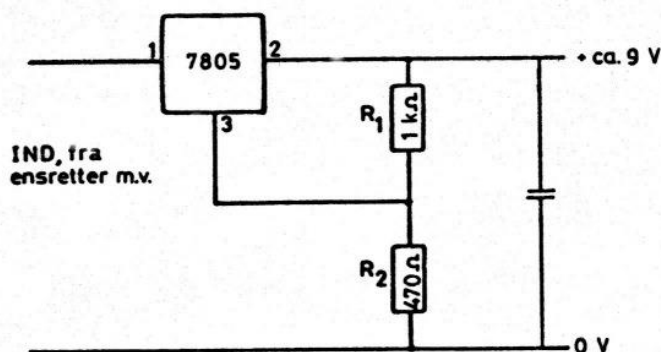


Af hensyn til senere anvendelser, kan det være praktisk at indbygge en 100 Hz generator i spændingsforsyningen. Forbindelsesmåden er vist her, hvor de to modstande er dem, der er foreskrevet i elevteksten:



Som ensretterbro kan man bruge en "færdig" bro (f.eks. BY 164) eller, som tegnet i elevteksten, fire dioder (f.eks. 1N 4002). Nu kan opstillingen spændingsforsyning IC'erne og samtidig levere 100 Hz signaler til dem.

Spændingsforsyningen kan let bygges om til at afgive andre spændinger, f.eks. 9 volt (med de angivne værdier beregnes U_{ud} til 9.2 volt):



Udgangsspændingen beregnes af formlen

$$U_{ud} = 5V \cdot \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) + 4mA \cdot R_2$$

4mA er fabrikantens opgivelse for den strøm, der løber ud af kredsens ben 3 under drift.

For at få en bestemt ønsket udgangsspænding, bliver det sikkert nødvendigt at indsætte en trimmemodstand for enten R_1 eller R_2 .

Det er let at montere en omskifter, så enheden kan afgive enten 5 eller 9 volt, men lav omskifteren sådan, at der skal et indgreb i apparatet til for at foretage omskiftningen (f.eks. at der skal loddes en stump monteringsstråd af eller på mellem et par printspyd).

Det skal være udelukket, at eleverne ved en fejltagelse kommer til at skifte om til 9 volt, mens de arbejder med IC'erne.

3. FAGLIG INFORMATION

3.1 GATES

Med det formål at få de fundamentale begreber til at stå så skarpt som overhovedet muligt i elevernes bevidsthed, har vi simplificeret verden til at bestå af kun én gate-type, nemlig NAND-gaten med 2 eller 4 indgange.

Denne forenkling er forsvarlig fordi:

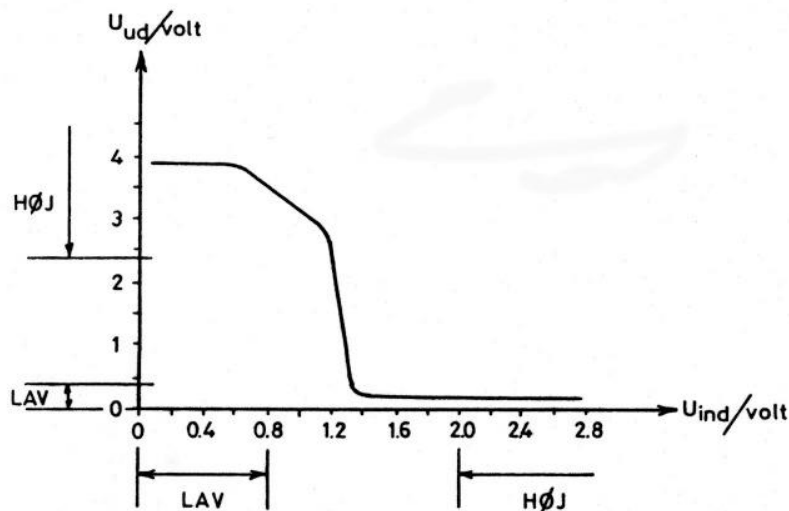
- 1) Alle andre gate-typer kan - som det vises på side L 148 - opbygges af NAND-gates.
- 2) NAND-gaten er den almindeligste og billigste blandt de integrerede gates.

Af grunde, som vil fremgå af afsnit 3.2, har vi yderligere lagt hovedvægten på de specielle typer 7413 og 74132, der begge - udover at være NAND-gates - fungerer som schmitt-triggere.

3.1.1 Præcis betydning af HØJ og LAV

Vi beskæftiger os kun med standard TTL-kredse i 74-serien (TTL = Transistor-Transistor-Logik).

For alle gatetyper bortset fra 7413/132, kan specifikationerne illustreres på følgende måde:



Grafen læses på denne måde:

Hvis indgangen på en kreds med sikkerhed skal opfattes som LAV, må spændingen højst være 0.8 V, og

hvis indgangen med sikkerhed skal opfattes som HØJ, skal spændingen mindst være 2.0 V.

Når en udgang er LAV, er spændingen på den højst 0.4 V, og når udgangen er HØJ, er spændingen mindst 2.4 V.

Spændingsområdet mellem 0.8 V og 2 V er "forbudt" område, hvor kredsens funktion ikke er veldefineret. En af de ting, der kan ske, hvis en indgang lægges i dette område er, at kredsen "går i sving" på en høj frekvens (af størrelsesorden 10-50 MHz).

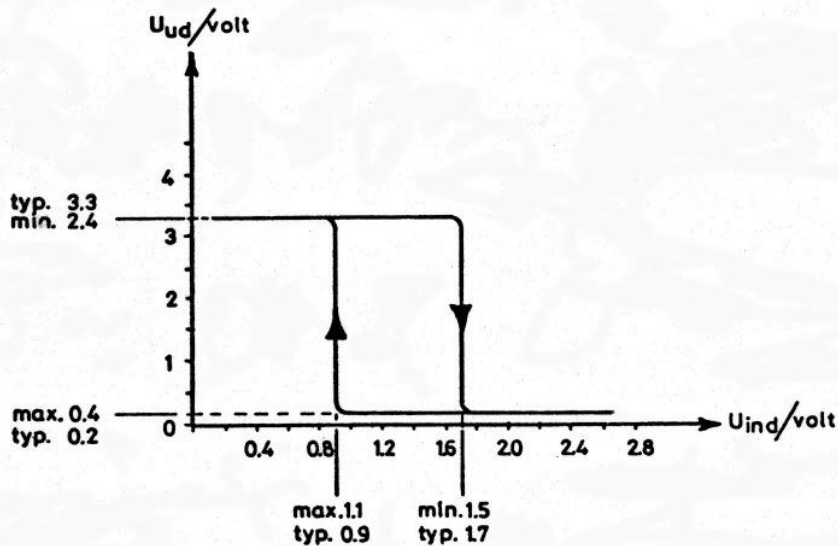
Flere kredse kan umiddelbart kobles efter hinanden:

Hvis udgangen på en kreds er HØJ (dvs. spændingen er over 2.4 V), vil dette med sikkerhed også blive opfattet som HØJ af indgangen på den efterfølgende kreds - den kræver jo kun 2.0 V.

Tilsvarende betragtninger ses at gælde for LAV-tilstanden.

De specificerede HØJ/LAV-grænser er garanterede minimum/maximum-værdier.

For schmitt-trigger NAND-gatene 7413/132 kan de tilsvarende forhold illustreres med denne graf:



Den læses på følgende måde:

Antag til en begyndelse, at U_{ind} er LAV (f.eks. 0.5 V). Så er U_{ud} HØJ (mindst 2.4 V som for de øvrige gates, og den typiske værdi angives til 3.3 V).

Nu gør vi U_{ind} større og større, men først når U_{ind} er mindst 1.5 V (og typisk helt oppe på 1.7 V), opfattes det af gaten som HØJ - hvorefter udgangen meget hurtigt skifter om til LAV. Her efter er U_{ud} som for de øvrige gates maksimalt 0.4 V (og typisk endnu lavere, nemlig 0.2 V).

Hvis vi nu lader indgangsspændingen falde igen, sker der ikke noget, før U_{ind} er nede under 1.1 V (typisk 0.9 V), hvorefter omslaget til HØJ udgang sker pludseligt.

Denne forskel i skiftespænding (typisk altså 0.8 V), der bevirker, at udgangens omslag sker ved forskellige indgangsspændinger, afhængigt af, om U_{ind} kommer "oppefra" eller "nedefra", kaldes schmitt-triggerens hysteres.

Det er denne egenskab ved 7413/132-gatene, der betinger deres anvendelse som firkantgeneratorer.

Dette behandles nærmere i afsnit 3.2.1.

Læg mærke til, at selv om schmitt-trigger-gatene er specificeret anderledes med hensyn til indgangsspændinger end de øvrige gates, ligger de angivne værdier rigeligt inden for udgangsspecifikationerne. Schmitt-trigger-gates og "almindelige" gates (og alle andre kredse iøvrigt) kan altså "blandes" som man lyster. Den eneste forskel vil være, at schmitt-trigger-gatenes udgange skifter hurtigere og ved en mere præcis værdi af indgangsspændingen, end de øvrige kredse.

3.1.2 Belastning af kredsene

Når udgangen på en kreds er HØJ, kan vi bruge den som strømkilde til at forsyne indgangen på en ny kreds, eller f.eks. som strømkilde for en lysdiode, der er anbragt mellem udgangen og nul.

Alle 74-kredse passer impedansmæssigt til hinanden, og kan blot kobles sammen, indgang til udgang.

Med lysdioden (eller en anden "fremmed" belastning), kan vi derimod risikere at belaste kredsens udgang så hårdt, at udgangsspændingen falder ned under den værdi, der af andre kredse opfattes som HØJ.

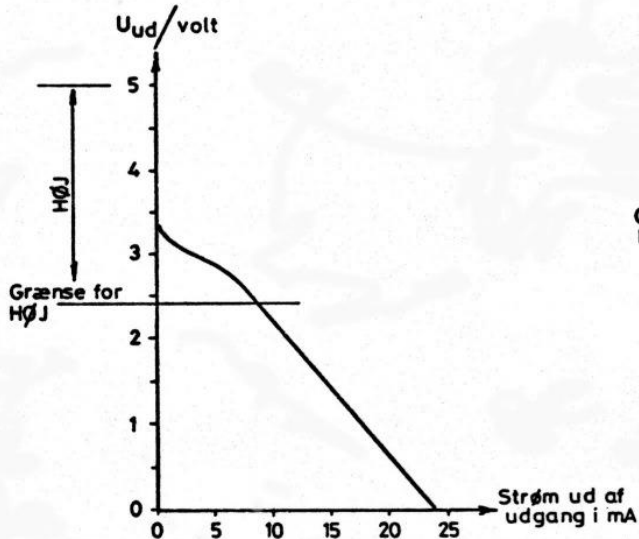
Dermed er informationen gået tabt, og kan følgelig ikke leveres videre til den kreds, der tilkobles udgangen sammen med lysdioden.

Når udgangen er LAV, kan vi udefra sende strøm ind i den. Bliver strømmen for stor, risikerer vi, at udgangsspændingen vokser op over den værdi, der er specificeret som LAV, og igen mistes informationen.

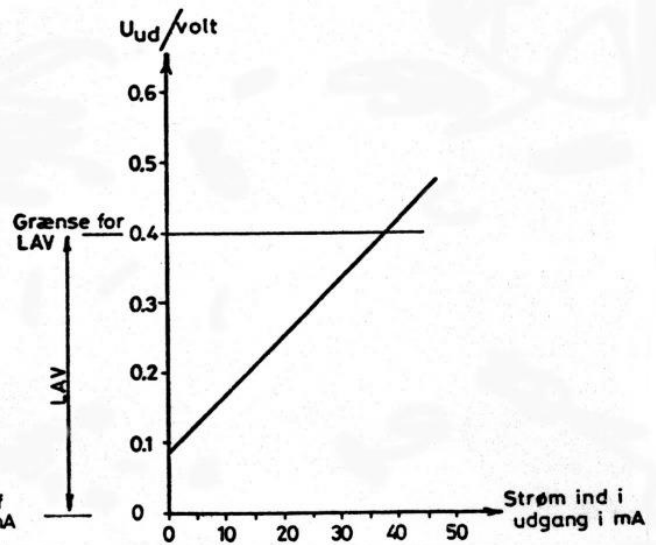
Graferne nedenfor viser, hvordan udgangsspændingen ændrer sig med strømstyrken i de to situationer.

Begge grafer er målt ved driftspændingen 5.0 volt.

Udgang HØJ:



Udgang LAV:



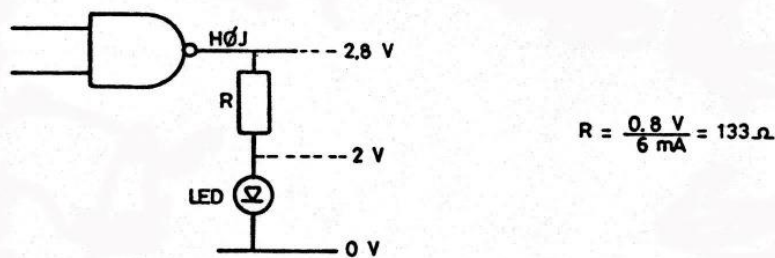
Af særlig interesse for os er HØJ-tilstanden, hvor vi ønsker at få en lysdiode til at lyse samtidig med, at informationen bevares.

Udgangsspændingen må altså ikke falde under 2.0 volt, og vi skal endda sørge for, at der er tilstrækkelig spænding til rådighed til, at vi kan belaste udgangen med et par kredse sammen med lysdioden.

Af grafen for HØJ-tilstanden ses, at hvis vi bruger 6 mA til lysdioden, er udgangsspændingen faldet til ca. 2.8 volt.

Hver TTL-indgang, vi kobler på, belaster kredsen svarende til et fald i udgangsspændingen på omkring 0.1 volt. Der er således "plads" til at tilslutte tre (måske fire) kredse udover lysdioden. Dette har vi anset for at være tilstrækkeligt.

Spændingsfaldet over en lysdiode med lys i sætter vi til 2 volt. Resten - op til de 2.8 volt - lader vi falde over en modstand:



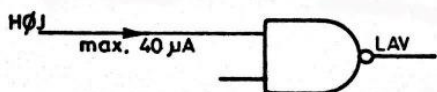
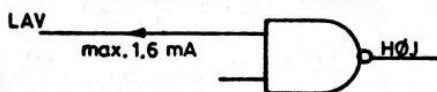
og for at være helt på den sikre side, har vi som standard valgt $R = 220 \Omega$.

3.1.3 Specifikationer for indgangsstrømmene

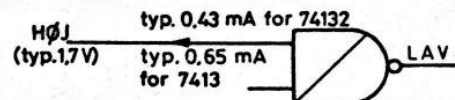
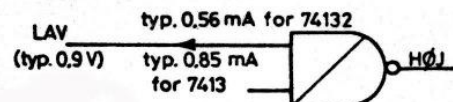
Når en gate-indgang gøres HØJ eller LAV, vil der løbe strøm i indgangsledningen. (NB: I en svævende indgang løber der naturligvis ikke nogen strøm. Vi har imidlertid heller ikke gjort noget for at gøre den HØJ, den virker blot sådan).

For de to gate-typer, vi arbejder med, kan vi illustrere specifikationerne sådan:

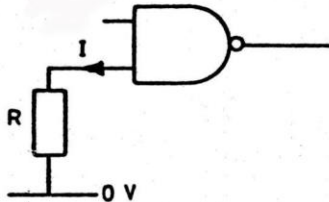
For de "almindelige" gates:



For 7413 og 74132:



Når vi "trækker en indgang LAV" med en modstand, bliver indgangsspændingen:



$$U_{\text{ind}} = R \cdot I$$

For en "almindelig" gate finder vi:

$$R = \frac{0.8 \text{ V}}{1.6 \text{ mA}} = 500 \ \Omega.$$

Hvis indgangen med sikkerhed skal være LAV gennem en modstand til nul, må denne altså højst være 500 Ω .

For Schmitt-triggere finder vi tilsvarende:

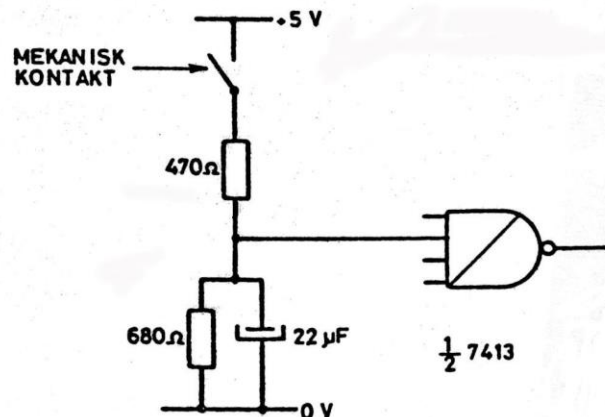
$$7413: \quad R = 1 \text{ k}\Omega$$

$$74132: \quad R = 1.6 \text{ k}\Omega.$$

For disse gates kan vi altså regne med, at indgangen bliver LAV, hvis vi anbringer henholdsvis 1 k Ω og 1.6 k Ω til nul.

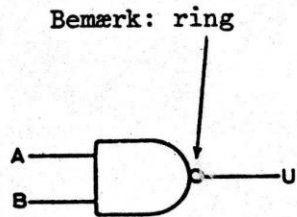
Dette har haft betydning ved dimensioneringen af modstanden i prelfangeren (der omtales nærmere side L 161):

Når kontakten er afbrudt, skal indgangen være LAV. Hertil har vi brugt den standardværdi i E6-rækken, der var nærmest ved 1 k Ω , og som med sikkerhed ville trække indgangen LAV, altså 680 Ω . Systemet vil formentlig også virke med 1 k Ω , men det har vi anset for at være for tæt på den teoretiske grænse.



3.1.4 Gate-typer

NAND-gate:



Sandhedsskema:

A	B	U
H	H	L
H	L	H
L	H	H
L	L	H

7400: 4 NAND-gates med hver 2 indgange.

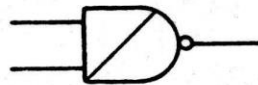
74132: 4 Schmitt-trigger NAND-gates med hver 2 indgange.

7420: 2 NAND-gates med hver 4 indgange.

7413: 2 Schmitt-trigger NAND-gates med hver 4 indgange.

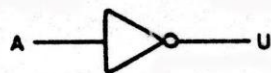
7430: 1 NAND-gate med 8 indgange.

Dette symbol:



markerer, at gaten yderligere har schmitt-trigger virkning.

INVERTER:

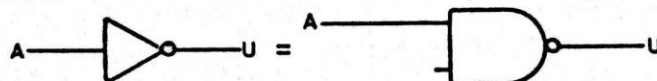


Sandhedsskema:

A	U
H	L
L	H

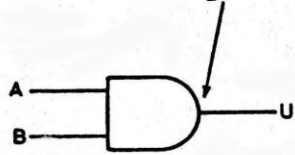
7404: 6 invertere.

Vi bruger ikke invertersymbolet, fordi vi overalt har anvendt NAND-gates med den ene indgang HØJ (svævende) som invertere:



AND-gate:

Bemærk: ingen ring



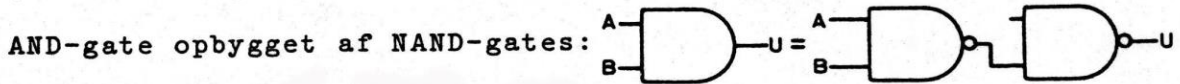
Sandhedsskema:

A	B	U
H	H	H
H	L	L
L	H	L
L	L	L



7408: 4 AND-gates med hver 2 indgange.

7421: 2 AND-gates med hver 4 indgange.



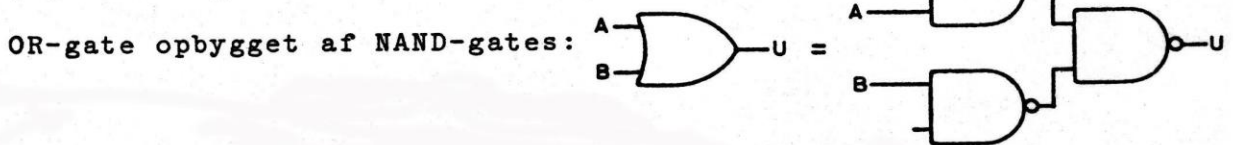
OR-gate:



Sandhedsskema:

A	B	U
H	H	H
H	L	H
L	H	H
L	L	L

7432: 4 OR-gates med hver 2 indgange.



NOR-gate:

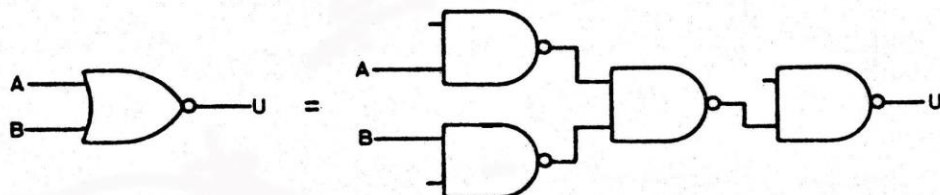


Sandhedsskema:

A	B	U
H	H	L
H	L	L
L	H	L
L	L	H

7402: 4 NOR-gates med hver 2 indgange.

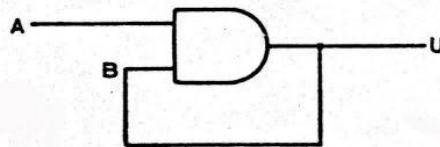
NOR-gate opbygget af NAND-gates:



3.1.5 Flip-flops

Flip-flop'en (også kaldet den bistabile multivibrator), er den fundamentale enhed i tællere og i hukommelser.

Flip-flop'en kan opbygges på en meget enkel måde ved hjælp af to NAND-gates, men for at forstå dens virkemåde, er det hensigtsmæssigt at starte med at se på følgende kredsløb med en tilbagekoblet AND-gate:



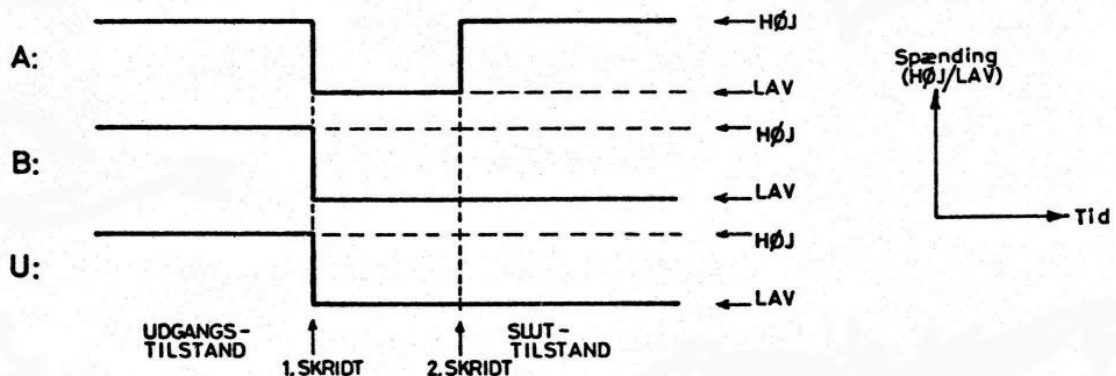
Selv om kredsløbet ser enkelt ud, er en beskrivelse af dets funktion med ord alene ret omstændelig og tung. Følg derfor med på tegningen af impulsforløbene nedenfor, mens denne tekst læses:

Lad os sige, at systemet er i følgende

udgangstilstand: A er HØJ og U (og dermed B) er HØJ. A, B og U "passer" sammen ifølge sandhedsskemaet, og tilstanden er derfor acceptabel (Tilstanden A = LAV og U = HØJ ville ikke være realisabel).

1. skridt: Vi gør A LAV.
Derved bliver U (og B) LAV.
Denne tilstand er acceptabel.

2. skridt: Vi gør A HØJ igen.
Tilbagekoblingen fra U til B bevirker, at U forbliver LAV. Enheden har "låst" sig selv fast i sluttilstanden med U = LAV.



X

De tre impulsforløb er tegnet i samme tidslige skala, og giver et hurtigt og præcist overblik over systemets funktion.

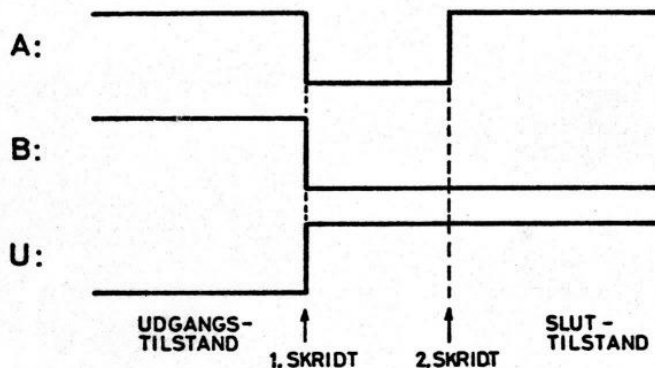
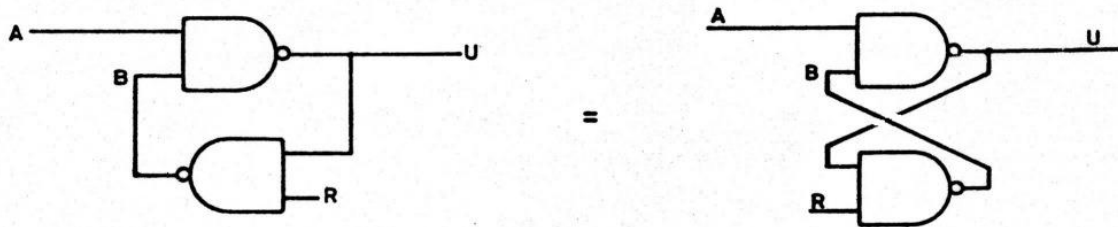
For at gøre tegningen helt klar, har vi markeret "HØJ" og "LAV" på de tre impulsæt. Dette vil vi herefter blot lade være underforstået.

Vi kan nu sammenfatte beskrivelsen af systemets funktion på denne måde:

Når vi starter med både A og U HØJE, og på et senere tidspunkt konstaterer, at U er LAV, kan vi slutte, at A mindst én gang i det mellemliggende tidsrum må have været LAV.

Enheden har således registreret og husket en begivenhed.

Vi kan ikke umiddelbart gøre det samme med en NAND-gate, der jo inverterer signalet. Men vi klarer det ved også at invertere det tilbagekoblede signal:



R skal være HØJ
(svævende)

Vi starter med at lade indgang R svæve (dvs $R = \text{HØJ}$).

Her starter vi fra følgende

udgangstilstand: $A = \text{HØJ}$ og $U = \text{LAV}$.

$U = \text{LAV}$ medfører $B = \text{HØJ}$ (jfr. sandhedsskemaet).

1. skridt: Vi gør A LAV.
Herved bliver U HØJ, og dermed B LAV.
2. skridt: Vi gør A HØJ igen.
Men da B er LAV, har vi stadig $U = HØJ$.
Systemet er altså låst i tilstanden med $B = LAV$
og dermed $U = HØJ$.

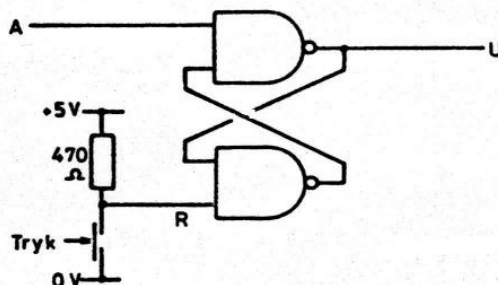
Igen har vi fået registreret, at A på ét eller andet tidspunkt må have været LAV.

Flip-flop'en med NAND-gates har en særlig finesse:

Vi kan "låse den op" igen ved et øjeblik at gøre indgangen R LAV. Herved bliver $B = HØJ$, og når A også er HØJ, bliver $U = LAV$. Dermed er vi tilbage i udgangstilstanden, hvor den forbliver, indtil A på et tidspunkt igen bliver LAV.

Denne tilbagesættelsesfunktion betegnes som "Reset".

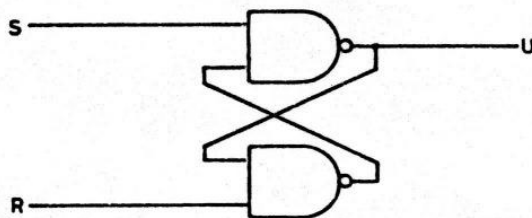
Her er det Reset-system, der er anvendt i elevteksten:



Modstanden sikrer, at R-indgangen normalt er HØJ, men kan som regel udelades, fordi en svævende indgang jo er HØJ. Den er indsat her for at være helt sikker på, at $R = HØJ$.

Når trykknappen aktiveres, bliver R med sikkerhed LAV, dvs. flip-flop'en reset'er.

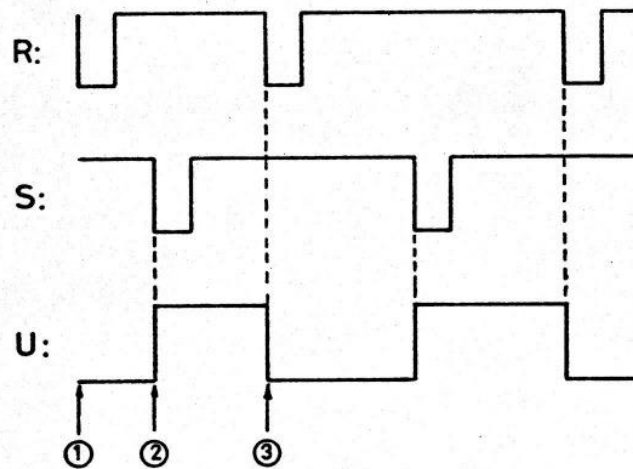
I "tidtageren" i elevteksten side E 117 bruger vi flip-flop'en i en mere symmetrisk kobling, der kan tegnes sådan:





Med $R = HØJ$ gør vi $S = LAV$ et øjeblik, og får derved $U = HØJ$.
 S -indgangen betegnes "Set", - den "sætter" udgangen $HØJ$.
 Gør vi R LAV , sker det modsatte: Vi "reset'er" udgangen til LAV .
 Denne type flip-flop kaldes en RS-flip-flop.

Impulsforløb for RS-flip-flop:



Vi starter med en Reset-impuls: ①

Når S samtidig er $HØJ$, er vi sikre på, at vi kommer i udgangstilstanden med $U = LAV$.

Når S "går LAV ", "går U $HØJ$ " ② og på den næste Reset-impuls (dvs når R går fra $HØJ$ til LAV), går U LAV igen: ③

Tegningerne af impulsforløbene er, som læseren sikkert har erfaret i det foregående, et nyttigt hjælpemiddel til beskrivelse og forståelse af et dynamisk systems funktion.

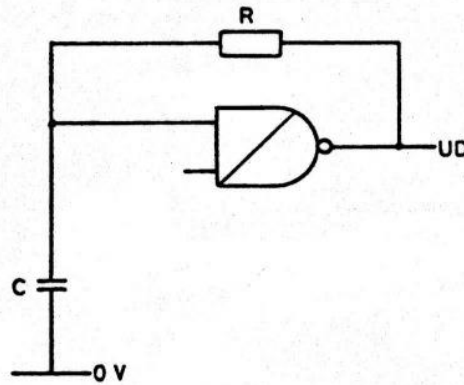
I blot lidt større systemer er en beskrivelse med ord alene stort set ulæselig. Her bliver en beskrivelsesform ved hjælp af impulsforløbene altså en nødvendighed.

Vi lader derfor eleverne møde denne metode flere steder i elevteksten. Hvis læreren ser, at en elev fanger ideen, kan det stærkt anbefales, at den udbygges og anvendes så meget som muligt.

3.2 SCHMITT-TRIGGER NAND-GATES 7413 OG 74132

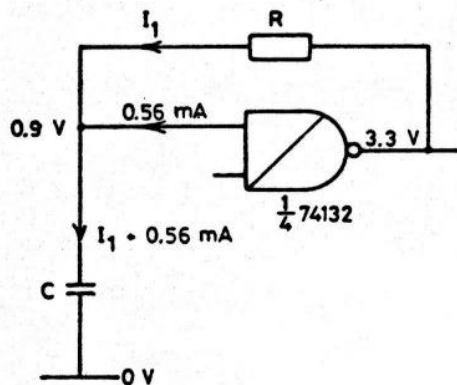
3.2.1 Firkantgeneratorer

Firkantgeneratorerne i elevteksten er opbygget på denne måde:



For at forstå virkemåden, starter vi med at betragte kredsløbet lige i det øjeblik, hvor udgangen er blevet HØJ.

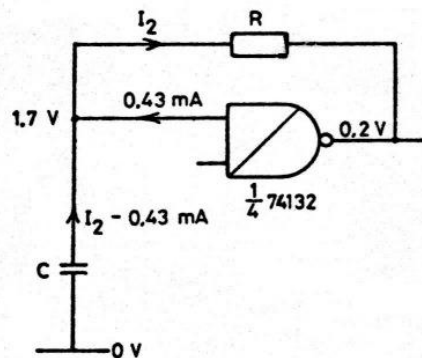
Vi har da følgende spændinger:



Strømmen fra den HØJE udgang gennem R, vil oplade C sammen med de 0.56 mA fra indgangen.

Spændingen over C - og dermed indgangsspændingen - vil følgelig vokse.

I det øjeblik den når 1.7 volt (øvre skiftespænding), slår schmitt-triggeren om, og vi får denne tilstand:

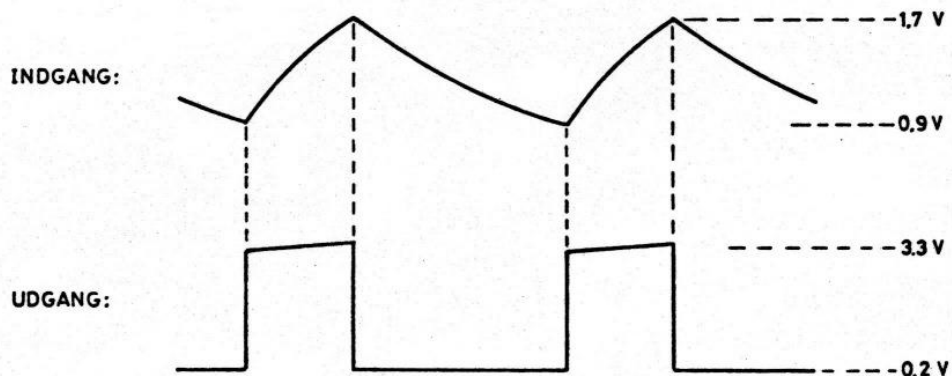


Nu vil den HØJE indgang sende strøm gennem R mod den LAVE udgang. Denne strøm er sammensat af kondensatorens afladestrøm plus strømmen fra indgangen (0.43 mA).

Kondensatorspændingen (og dermed indgangsspændingen) falder her ved fra de 1.7 volt.

I det øjeblik spændingen når 0.9 volt, starter det hele forfra.

På et 2-spor skop vil man kunne se følgende kurveformer:



Frekvensen kan tilnærmest beregnes af: $f = \frac{0.7}{R \cdot C}$.

Køres firkantgeneratoren med lavere driftspænding (f.eks. på et 4.5 V batteri), bliver de angivne spændingsniveauer tilsvarende lavere.

Spændingen på generatorens udgang er LAV i længere tid, end den er HØJ. (Ca. dobbelt så lang tid). Vi siger, at mark-space-forholdet er ca. 1:2.

En anden, ofte anvendt måde at udtrykke dette på, er ved hjælp af begrebet duty-cycle, der angiver, hvor stor en del af en hel periode, udgangen er HØJ.

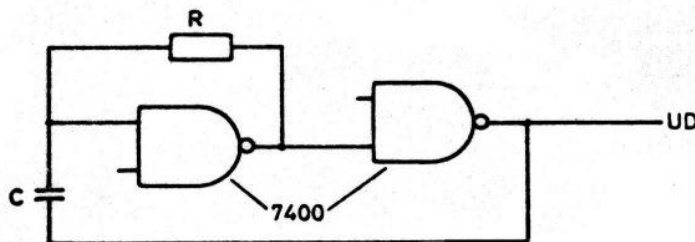
Her er duty-cycle således ca. 0.3.

På side L159 viser vi, hvordan man kan gribe ind i kondensatorens afladningstid således, at man selv kan bestemme signalernes duty-cycle, herunder specielt få "symmetriske" firkanter, dvs signaler med duty-cycle 0.5.

Det, der betinger generatorens funktion er, at øvre og nedre skiftespænding er forskellige. Forskellen (her 0.8 volt) kaldes schmitt-triggerens hysteresese.

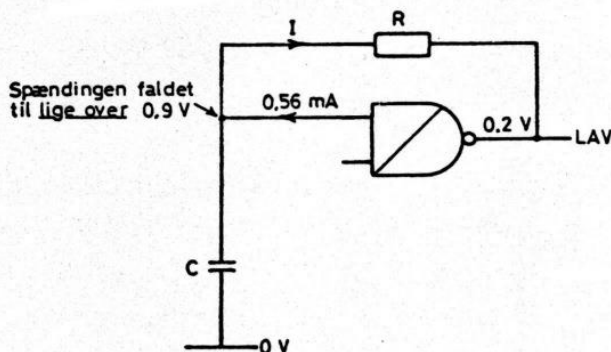
De "almindelige" gates (f.eks. 7400) har - som det fremgår af grafen side L 142 - ingen hysteresese, og de kan følgelig ikke fungere som generatorer i denne opstilling.

Derimod kan to gates fra f.eks. 7400 kobles som oscillator på denne måde:



Hvis tilbagekoblingsmodstanden R i firkantgeneratoren bliver for stor, fungerer generatoren ikke.

Årsagen hertil er følgende:



Tegningen viser en tilstand, hvor udgangen er LAV.

Indgangen er stadig HØJ, men vi tænker os, at kondensatoren er afladet så meget, at vi står umiddelbart over for skiftet til LAV indgang.

Strømmen ud af indgangen vil nu være knap 0.56 mA, og denne strøm løber gennem R.

For at kondensatoren overhovedet kan aflade, skal den totale strøm gennem R følgelig være større end 0.56 mA.

Spændingsfaldet over R er $0.9 - 0.2 = 0.7$ volt. Den største resistans, der også "giver plads for" en afladestrøm, bliver:

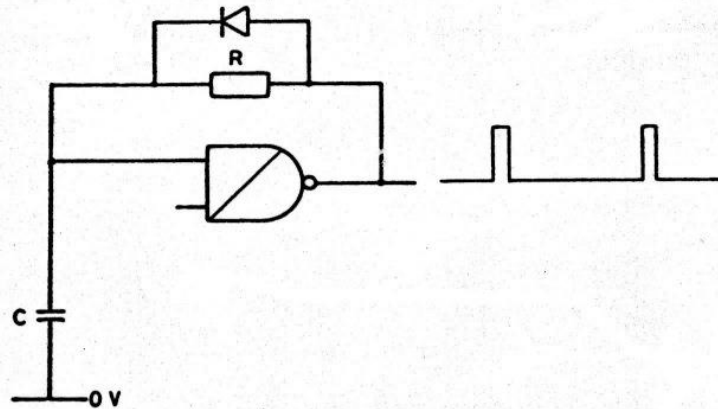
$$R_{\max} = \frac{0.7 \text{ V}}{0.56 \text{ mA}} = 1.2 \text{ k}\Omega$$

De værdier, beregningen hviler på, er fabrikkens "typiske", dvs. vi må regne med, at der kan forekomme afvigelser i praksis.

Med en særlig kobling er det muligt at bruge meget større værdier af R.

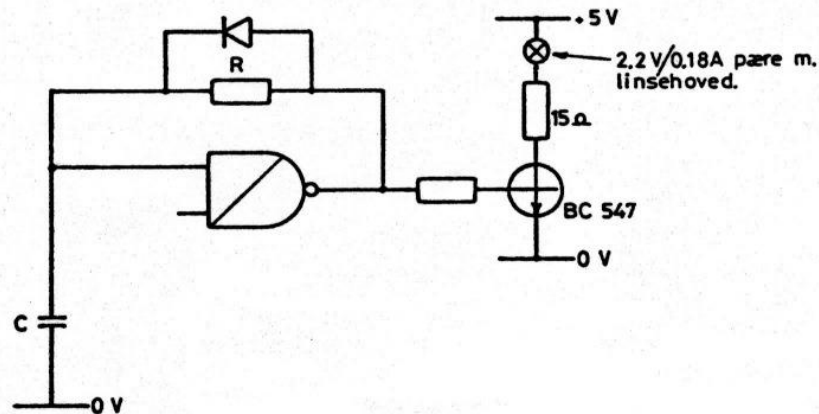
Denne kobling benyttes i "En TTL-firkantgenerator", der er beskrevet på side L 164.

Følgende kobling vil afgive kortvarige impulser:



Når udgangen er LAV, aflades C på normal måde gennem R (dioden er jo i den situation forspændt i spærreretningen). Når udgangen bliver HØJ, leder dioden, og C oplades meget hurtigt (uden om R) gennem dioden. Udgangen bliver altså LAV igen straks efter.

Denne generator kan f.eks. anvendes i en "lyskanon":

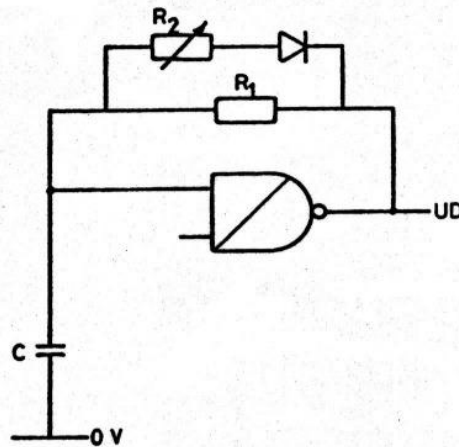


R og C tilpasses, så pæren afgiver korte glimt med passende mellemrum (frekvens).

Har man yderligere mulighed for at anbringe pæren i en stump elektrisk rør med en ekstra linse foran, kan man opnå koncentreret lysglimt, der kan registreres på et system via en LDR-modstand - hvis man kan ramme!

Systemet kan udbygges med en højttaler til markering af "skudene", og med et system, der "affyrer salver" på f.eks. 50 skud ad gangen.

Sætter vi en modstand i serie med dioden, begrænses kondensatorens afladestrøm. Ad denne vej får vi mulighed for at styre generatorens duty-cycle. Ved at variere R_2 i den viste kobling, kan vi f.eks. opnå duty-cycle = 0.5.



I "sirenen" (ET 5) og i "spilledåsen" (ET 11) griber vi ind i kondensatorens op- og afladningstider på en anden måde, nemlig ved at sende en ekstra ladestrøm ind på kondensatoren.

Bliver denne strøm for stor, risikerer vi, at indgangen tvinges permanent HØJ, hvorved generatoren går i stå.

Sker dette i "spilledåsen", kan man gøre den enlige $4.7\text{ k}\Omega$ -modstand (side E 74), der fører til generatorindgangen, større.

Både ved "sirenen" og ved "spilledåsen" kan vi beskrive funktionen som en frekvensmodulation af generatoren ved hjælp af en ydre spænding.

Generatorer, der er specielt indrettet til at afgive en spændingsstyret frekvens, spiller en stor rolle i moderne elektronik. En sådan generator kaldes en VCO (Voltage Controlled Oscillator).

Hvis generatoren anvendes som master-oscillator i et el-orgel, kan man let indføre vibrato for samtlige toner, der styres af denne oscillator, ved at lægge en 5-7 Hz sinus (med ikke for stor amplitude) på indgangen.

I afsnit 3.3.3 viser vi et eksempel på VCO'ens funktion i et såkaldt fase-lås kredsløb (PLL).