Theorie Besturingstechniek

Digitale schakelingen

Leerjaar 1

1.1 Inleiding

In de praktijk nemen we sommige beslissingen heel zwart-wit. (Dat is dus digitaal.)
Bijvoorbeeld: ‘Als het regent, dan ga ik met de bus. Als het niet regent, dan ga ik niet met de bus.’ Zie figuur 1.1.

Figuur 1.1 Als het regent, nemen we de bus

Deze situatie kunnen we eenvoudig in een waarheidstabel weergeven.
Zie tabel 1.1.

TABEL 1.1 WAARHEIDSTABEL VOOR ÉÉN VARIABELE

regen	*bus*
nee	nee
ja	ja

a in woorden

A	*Y*
0	0
1	1

b digitaal

Het nemen van de bus is dus *afhankelijk* of er *wel* of *geen* regen is. De *bus* is daarom de *afhankelijke* variabele en de *regen* is de *onafhankelijke* variabele. De variabelen kunnen we met een willekeurige letter aanduiden. Als we de *regen* variabele A noemen en de *bus* variabele Y, dan is tabel 1.1b voor deze situatie de waarheidstabel. De logische schakelfunctie van de variabele $Y = A$. (We nemen de bus als het regent.)

In de praktijk is een schakelfunctie meestal van verschillende variabelen afhankelijk. Dit hebben we reeds gezien in het hoofdstuk *Basispoorten* en bij de *Inleiding* van *Digitale techniek*.
In ons voorbeeld voegen we de variabele *storm* toe.
We hebben nu twee redenen om de bus te nemen:
– als het regent;
– als het stormt.

Ook nemen we de bus als het regent én stormt. De waarheidstabel voor deze situatie zien we in tabel 1.2, waarin de *storm* variabele B is.

Tabel 1.2 Waarheidstabel voor twee variabelen

storm	*regen*	*bus*
nee	nee	nee
nee	ja	ja
ja	nee	ja
ja	ja	ja

a in woorden

B	*A*	*Y*
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

b digitaal

Uit de waarheidstabel blijkt dat de schakelfunctie Y overeenkomt met die van de OR-poort.

In woorden: **bus = storm of regen**
In een formule: $Y = A + B$

1.2 Waarheidstabellen met verschillende variabelen

Als het aantal onafhankelijke variabelen toeneemt, neemt ook het aantal mogelijke combinaties toe. Dit zien we in tabel 1.3 voor respectievelijk twee, drie en vier variabelen. In deze tabel zien we iets opvallends: als er een variabele bijkomt, verdubbelt het aantal combinaties voor Y.

Tabel 1.3 Waarheidstabellen

B	A	Y
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

a voor twee variabelen

C	B	A	Y
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	

b voor drie variabelen

D	C	B	A	Y
0	0	0	0	
0	0	0	1	
0	0	1	0	
0	0	1	1	
0	1	0	0	
0	1	0	1	
0	1	1	0	
0	1	1	1	
1	0	0	0	
1	0	0	1	
1	0	1	0	
1	0	1	1	
1	1	0	0	
1	1	0	1	
1	1	1	0	
1	1	1	1	

c voor vier variabelen

Merk op dat de volgorde waarin de variabelen van boven naar beneden veranderen, overeenkomt met de stappen in het binair stelsel. Het aantal mogelijke combinaties voor Y dat we met de onafhankelijke variabelen kunnen samenstellen, kunnen we weergeven in machten van twee:

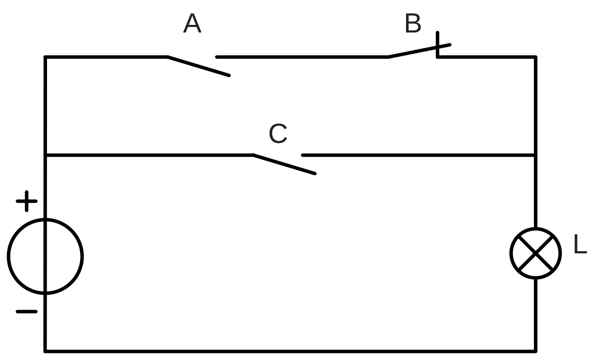
- met 1 variabele $2^1 = 2$ mogelijkheden;
- met 2 variabelen $2^2 = 4$ mogelijkheden;
- met 3 variabelen $2^3 = 8$ mogelijkheden;
- met 4 variabelen $2^4 = 16$ mogelijkheden;
- met 5 variabelen $2^5 = 32$ mogelijkheden, enzovoort.

In formulevorm: aantal mogelijkheden = 2^n, waarin n het aantal onafhankelijke variabelen is.

Een toenemend aantal onafhankelijke variabelen maakt het steeds moeilijker om de schakelfunctie L te bepalen. In dit hoofdstuk beperken we ons tot vier onafhankelijke variabelen.

1.3 Opstellen waarheidstabel voor een schakelfunctie

Van de schakeling in figuur 1.2 moet de waarheidstabel opgesteld worden. In de waarheidstabel zijn de drie onafhankelijke variabelen *A*, *B* en *C* opgenomen. Met drie variabelen hebben we acht mogelijkheden.



a schema

C	*B*	*A*	*L*
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	0
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

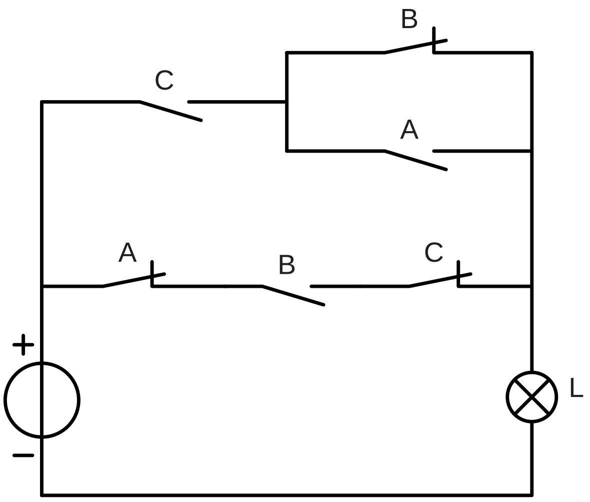
b waarheidstabel

Figuur 1.2 Schakeling met drie onafhankelijke variabelen

Met de waarheidstabel gaan we alle mogelijkheden na:
- Als $A = 0$ én $B = 0$ én $C = 0$ (dus geen van de contacten wordt bediend), brandt lamp *L* niet. In de waarheidstabel onder de variabele *L* vullen we een 0 in.
- Als $A = 1$ én $B = 0$ én $C = 0$ (dus alleen contact *A* wordt bediend), brandt lamp *L*. Het contact *B* (*normally closed*) wordt nu niet bediend, dus blijft het contact gesloten. In de waarheidstabel onder de variabele *L* vullen we nu een 1 in.
- Enzovoort.

Zo kunnen we dus voor elke combinatie van *A*, *B* en *C* de mogelijkheid onderzoeken wanneer lamp *L* brandt. Uit de waarheidstabel blijkt dat er vijf mogelijkheden zijn waarbij lamp *L* brandt.

In een digitale schakeling kunnen we contacten op verschillende plaatsen gebruiken. Dit kunnen bijvoorbeeld contacten zijn van een relais of schakelaar. (Zie ook het hoofdstuk *Digitale besturingstechniek*.) In figuur 1.3 zien we een schakeling waarin deze mogelijkheid voorkomt.



a schema

C	B	A	L
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	1
0	1	1	0
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	0
1	1	1	1

b waarheidstabel

Figuur 1.3 Schakeling met drie onafhankelijke variabelen

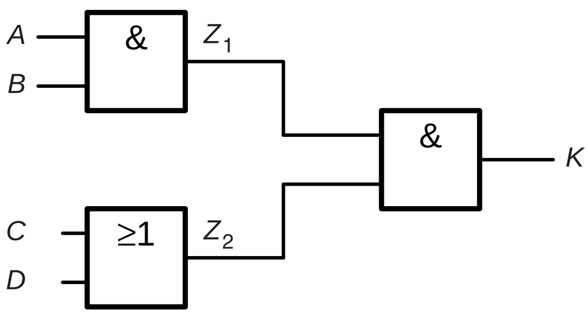
Met de waarheidstabel gaan we alle mogelijkheden na:

- Als $A = 0$ én $B = 0$ én $C = 0$, brandt lamp L niet. $L = 0$.
- Als $A = 1$ én $B = 0$ én $C = 0$, brandt lamp L ook niet. $L = 0$.
- Als $A = 0$ én $B = 1$ én $C = 0$, brandt lamp L wel. $L = 1$.
- Enzovoort.

Zo kunnen we voor elke combinatie van A, B en C de mogelijkheid onderzoeken wanneer lamp L brandt. Uit de waarheidstabel blijkt dat er drie mogelijkheden zijn waarbij lamp L brandt.

1.4 Bepalen schakelfunctie van een digitale schakeling

Als er een digitale schakeling in een schema voorkomt, kunnen we daarvan de schakelfunctie bepalen. In figuur 1.4 zien we een digitale schakeling, waarvan we de schakelfunctie K kunnen bepalen.



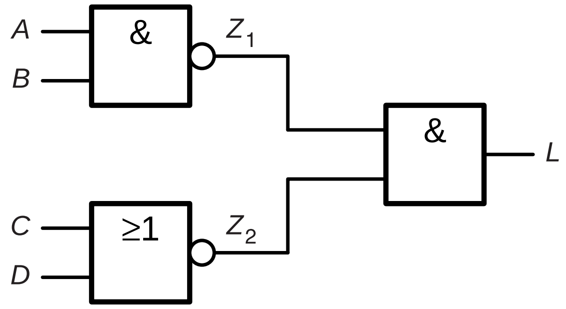
Figuur 1.4 Digitale schakeling 1

De schakelfunctie van $K = Z_1 \cdot Z_2$.
We bepalen eerst de schakelfuncties Z_1 en Z_2 en stellen daarna de schakelfunctie van K samen.

Er geldt:

$$\left.\begin{aligned} Z_1 &= AB \\ Z_2 &= C + D \end{aligned}\right\} K = Z_1 \cdot Z_2 = AB \cdot (C + D)$$

Ook als een schakeling NAND-poorten of NOR-poorten bevat, passen we hetzelfde principe toe. In figuur 1.5 zien we een dergelijke schakeling.



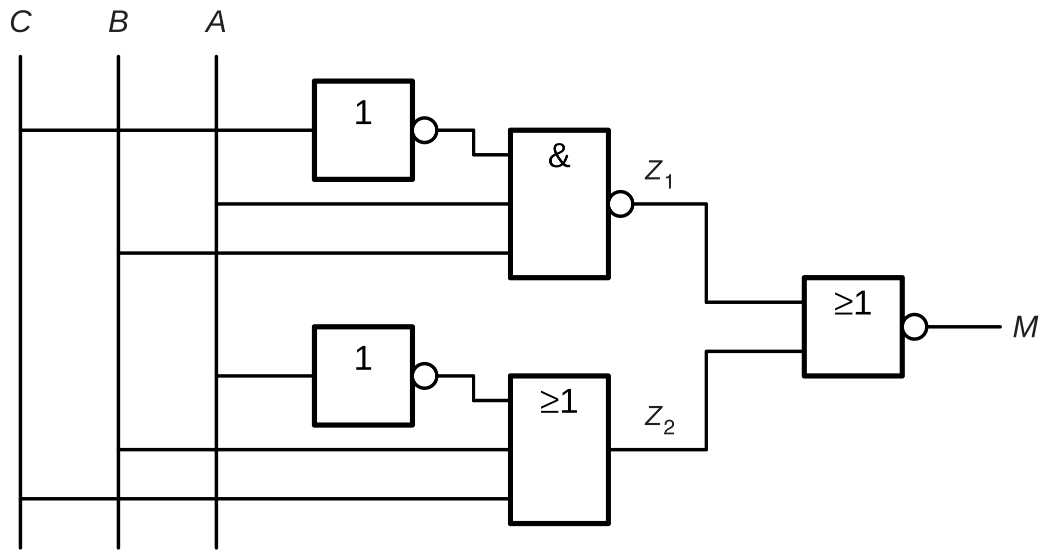
Figuur 1.5 Digitale schakeling 2

We bepalen eerst de schakelfuncties Z_1 en Z_2 en stellen daarna de schakelfunctie van L samen.

Er geldt:

$$\left.\begin{aligned} Z_1 &= \overline{AB} \\ Z_2 &= \overline{C + D} \end{aligned}\right\} L = Z_1 \cdot Z_2 = \overline{AB} \cdot (\overline{C + D})$$

In digitale schakelingen gebruiken we ingangsvariabelen vaak verschillende malen. In figuur 1.6 is een andere tekenwijze toegepast om de ingangsvariabelen te verbinden met de poorten.



Figuur 1.6 Digitale schakeling 3

We bepalen weer eerst de schakelfuncties Z_1 en Z_2 en stellen daarna de schakelfunctie van M samen.

Er geldt:

$$Z_1 = \overline{AB\overline{C}}$$

$$Z_2 = \overline{A} + B + C$$

Het logisch product NOR van Z_1 en Z_2 is nu:

$$M = \overline{Z_1 + Z_2} = \overline{\overline{AB\overline{C}} + (A + B + C)}$$

Let bij NAND- en NOR-poorten op het plaatsen van de inverse-streep. Het *hele* uitgangssignaal wordt geïnverteerd.

1.5 Omzetten van een schakelfunctie in een digitale schakeling

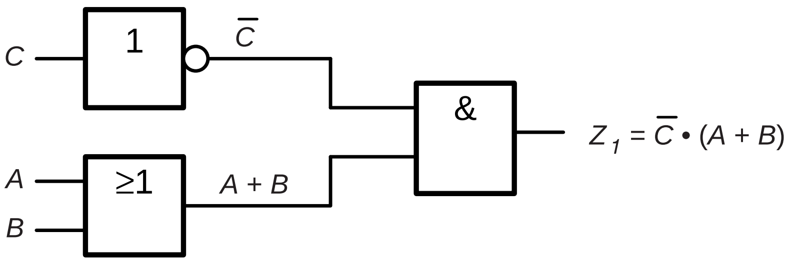
We kunnen ook het omgekeerde toepassen, namelijk van een gegeven schakelfunctie de digitale schakeling ontwerpen. We zullen dit met een aantal voorbeelden laten zien.

Voorbeeld 1.1

Gegeven
De schakelfunctie $Z_1 = \overline{C} \cdot (A + B)$.

Gevraagd
Realiseer deze functie met basispoorten.

Oplossing
We inverteren eerst de variabele C.
De deelfunctie $(A + B)$ stellen we apart samen met een OR-poort.
Ten slotte voegen we deze twee deelfuncties samen in een AND-poort.
Zie figuur 1.7.



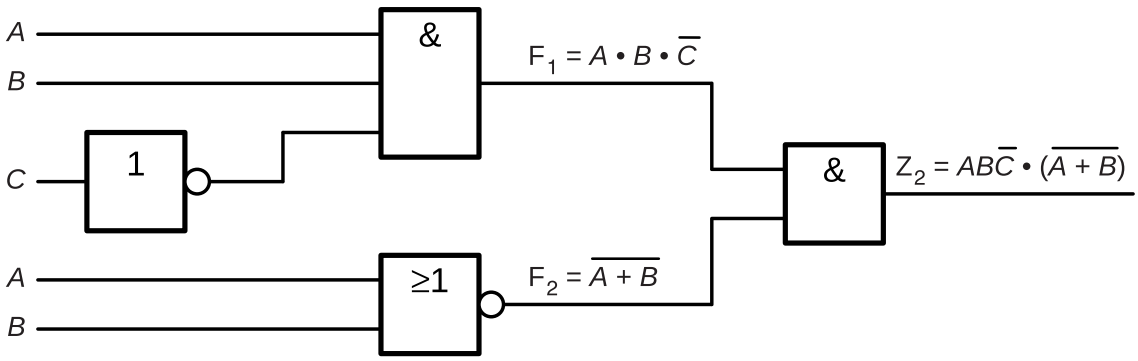
Figuur 1.7 Oplossing voorbeeld 1.1

Voorbeeld 1.2

Gegeven
De schakelfunctie $Z_2 = AB\overline{C} \cdot (\overline{A + B})$.

Gevraagd
Realiseer deze functie met basispoorten.

Oplossing
Deze schakelformule bestaat uit twee deelfuncties die we respectievelijk F_1 en F_2 noemen.
Er geldt: $Z_2 = F_1 \cdot F_2$.
Hierin is $F_1 = AB\overline{C}$ en $F_2 = \overline{A + B}$.
De deelfunctie F_1 realiseren we met een AND-poort met drie ingangen.
De deelfunctie F_2 realiseren we met een NOR-poort met twee ingangen.
Ten slotte voegen we de functies F_1 en F_2 samen in een AND-poort.
Zie figuur 1.8.



Figuur 1.8 Oplossing voorbeeld 1.2

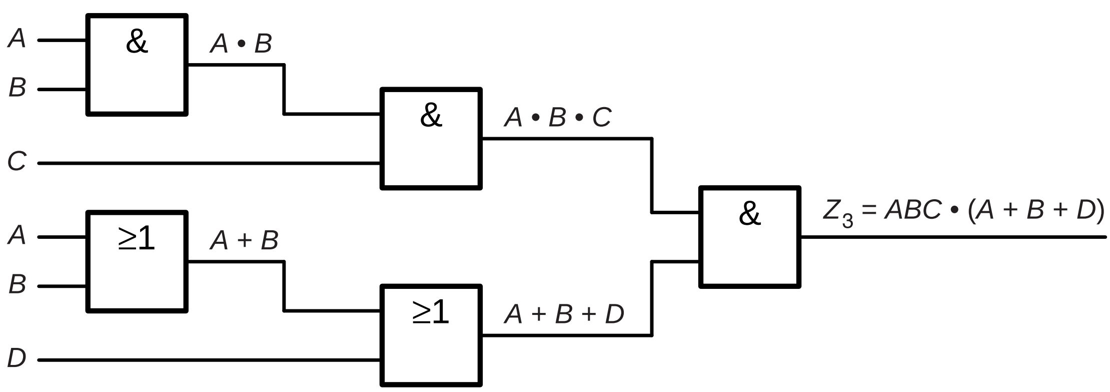
Soms is het aantal beschikbare ingangen per poort beperkt. In zo'n geval moeten we verschillende poorten combineren om tot de gewenste schakeling te komen.

Voorbeeld 1.3

Gegeven
De schakelfunctie $Z_3 = ABC \cdot (A + B + D)$.

Gevraagd
Realiseer deze functie met basispoorten die twee ingangen hebben.

Oplossing
Deze schakelformule bestaat ook uit twee deelfuncties die we respectievelijk F_1 en F_2 noemen.
Er geldt: $Z_2 = F_1 \cdot F_2$.
Hierin is $F_1 = ABC$ en $F_2 = A + B + D$.
Om de deelfunctie F_1 te realiseren hebben we twee AND-poorten nodig.
Ditzelfde geldt voor de OR-functie van F_2.
In figuur 1.9 zien we de oplossing van dit probleem.



Figuur 1.9 Oplossing voorbeeld 1.3

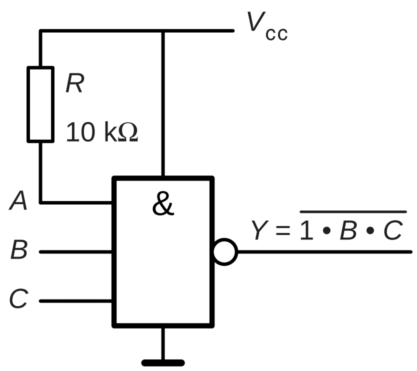
1.6 Niet-gebruikte poortingangen

Nu kan het voorkomen dat we niet alle ingangen van een poort gebruiken. Een niet-gebruikte ingang van een digitaal IC moeten we altijd met een vast potentiaal verbinden. Dat wil zeggen:

– of de ingang logisch 1 maken;
– of de ingang logisch 0 maken;
– of ingangen parallel schakelen.

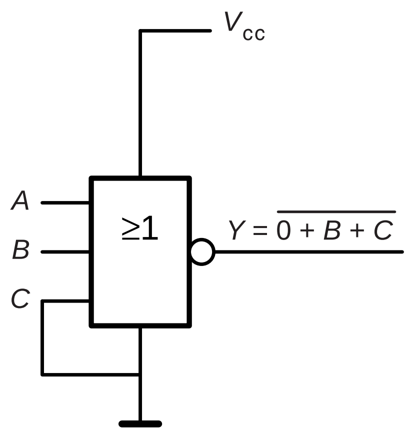
Een poortingang die niet met een vast potentiaal is verbonden, *zweeft*. Dat wil zeggen dat het spanningsniveau op de ingang geen vast potentiaal heeft.

Bij een AND-poort en een NAND-poort verbinden we een niet-gebruikte ingang via een weerstand met de voedingsspanning V_{cc}. Deze ingang is dan onder alle omstandigheden logisch 1. Zie figuur 1.10a.
Bij een OR-poort of NOR-poort verbinden we een niet-gebruikte ingang met de *common*. Deze ingang is dan onder alle omstandigheden logisch 0.
Zie figuur 1.10b.
In sommige gevallen schakelen we niet-gebruikte ingangen ook wel parallel met een ingang die we wel gebruiken. Zie figuur 1.10c.



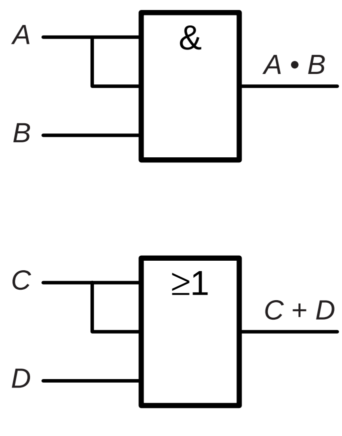
C	B	A	Y
0	0	1	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	1	1

a AND- of NAND-poort



C	B	A	Y
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	1
0	1	1	1

b OR- of NOR-poort



c parallel schakelen van ingangen

Figuur 1.10 Aansluiten niet-gebruikte ingangen

Opgaven

Waar gaat dit hoofdstuk over?

In dit hoofdstuk gaan we elementaire schakelfuncties toepassen.

Digitale schakelingen zijn schakelingen die de elementaire schakelfuncties zoals AND, OR en NOT bevatten. Deze schakelfuncties worden meestal meer malen toegepast. De schakelfunctie kan gerealiseerd worden met schakelaars of met digitale basispoorten. Van de schakelfuncties kunnen we een waarheidstabel opstellen.

Het doel van de opdrachten is om:
- kennis te maken met schakelfuncties met schakelaars en basispoorten;
- waarheidstabellen op te stellen.

Na het maken van alle opgaven en opdrachten heb je wat ervaring in het werken met logische functies.

Bestudeer eerst het volgende hoofdstuk uit je kernboek:
Digitale schakelingen

Doelstelling

Het doel van dit gedeelte is om te werken met schakelfuncties, met schakelaars en basispoorten.

Beantwoord nu de vragen en opdrachten 1 t/m 18.

Vragen

1 Wat verstaan we onder een onafhankelijke variabele?

___

2 Wat verstaan we onder een afhankelijke variabele?

3 Wat verstaan we onder een waarheidstabel?

4 Hoeveel mogelijkheden hebben we in een waarheidstabel als we drie onafhankelijke variabelen hebben?

5 Als we een maakcontact A hebben, hoe geven we dit aan in een schakelformule?

6 Hoe doen we dit met een verbreekcontact B?

7 In een schakeling staan de contacten in serie. Welke basisschakelfunctie vormen deze contacten?

8 In een schakeling staan de contacten parallel. Wat voor basisfunctie vormt dit?

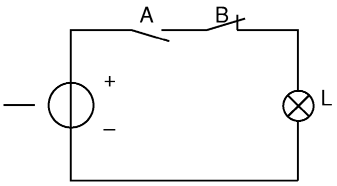
9 Wat moeten we doen met niet gebruikte poortingangen van een AND?

10 Wat moeten we doen met niet gebruikte poortingangen van een OR?

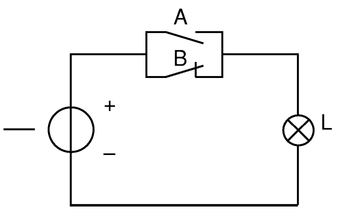
11 Wat moeten we doen met niet gebruikte poorten in een IC?

Opdrachten

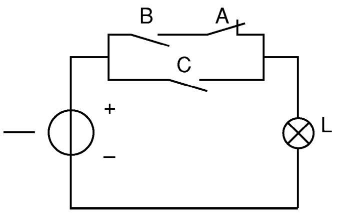
12 Geef de schakelformule van de schakelingen van figuur 11.1.



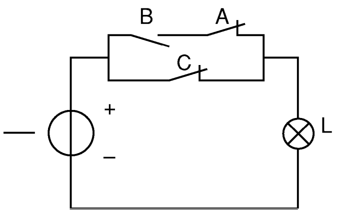
a L = ______________________



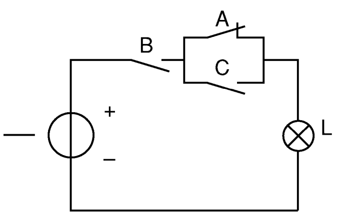
b L = ______________________



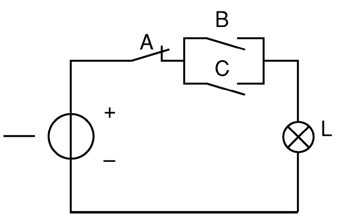
c L = ______________________



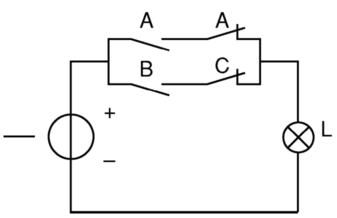
d L = ______________________



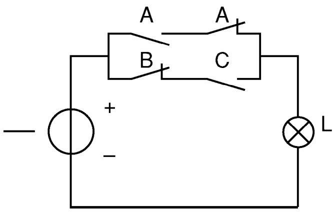
e L = ______________________



f L = ______________________



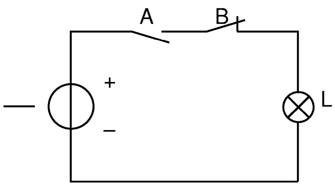
g L = ______________________

h 

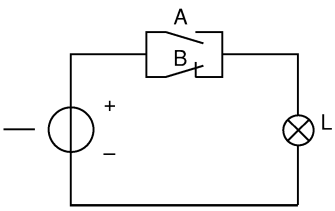
L = ______________________________

Figuur 11.1

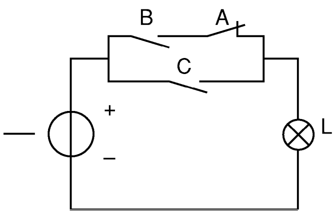
13 Maak de waarheidstabel van de schakelingen van figuur 11.2 af.

a 

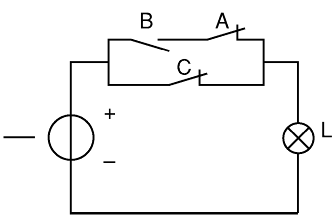
B	A	L
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

b 

B	A	L
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

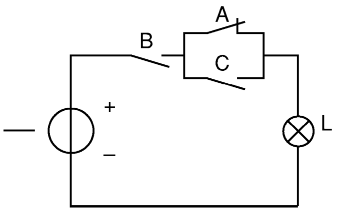
c 

C	B	A	L
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	

d 

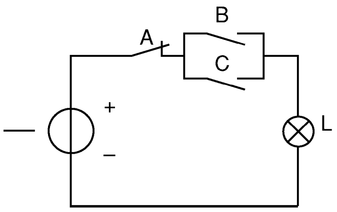
C	B	A	L
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	

e



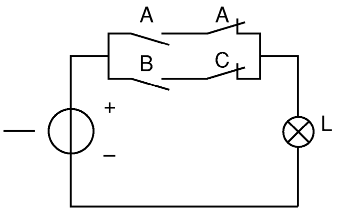
C	B	A	L
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	

f



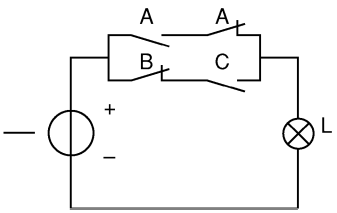
C	B	A	L
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	

g



C	B	A	L
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	

h

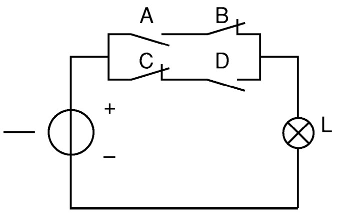


C	B	A	L
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	

Figuur 11.2

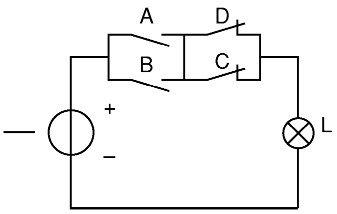
14 Stel de waarheidstabel op van de schakelingen van figuur 11.3 met vier variabelen.

a



D	C	B	A	L
0	0	0	0	
0	0	0	1	
0	0	1	0	
0	0	1	1	
0	1	0	0	
0	1	0	1	
0	1	1	0	
0	1	1	1	
1	0	0	0	
1	0	0	1	
1	0	1	0	
1	0	1	1	
1	1	0	0	
1	1	0	1	
1	1	1	0	
1	1	1	1	

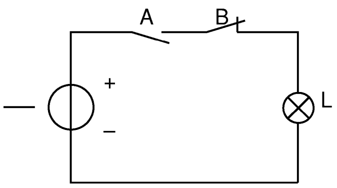
b

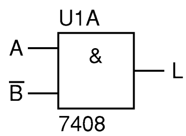


D	C	B	A	L
0	0	0	0	
0	0	0	1	
0	0	1	0	
0	0	1	1	
0	1	0	0	
0	1	0	1	
0	1	1	0	
0	1	1	1	
1	0	0	0	
1	0	0	1	
1	0	1	0	
1	0	1	1	
1	1	0	0	
1	1	0	1	
1	1	1	0	
1	1	1	1	

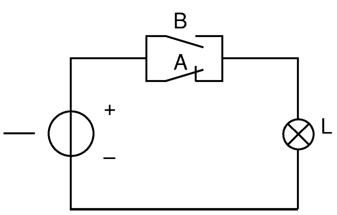
Figuur 11.3

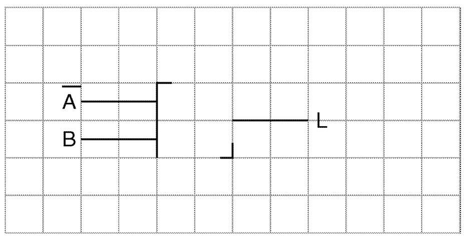
15 Zet de schakelingen van figuur 11.4 met schakelaars om in poortschakelingen.



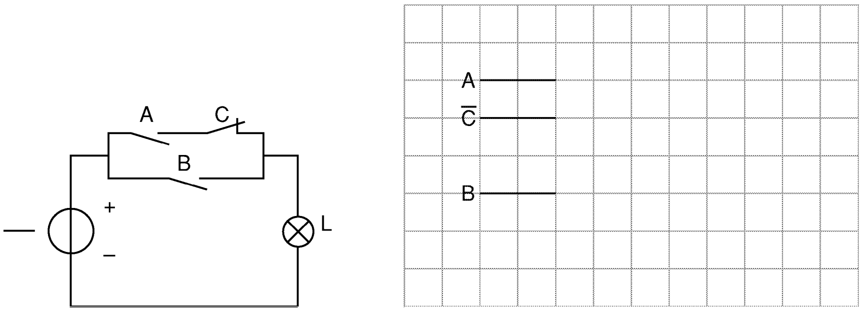


a

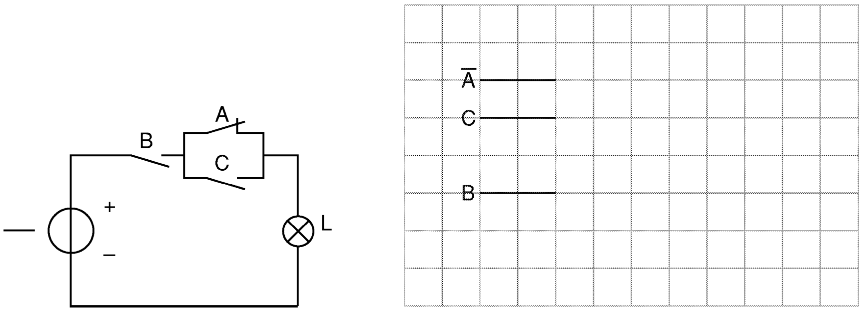




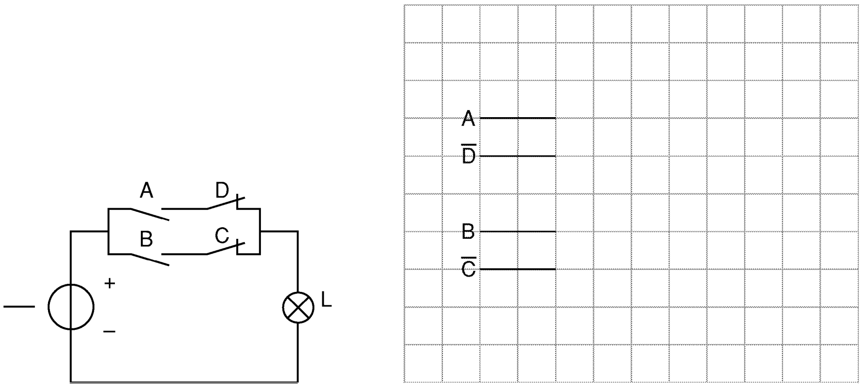
b



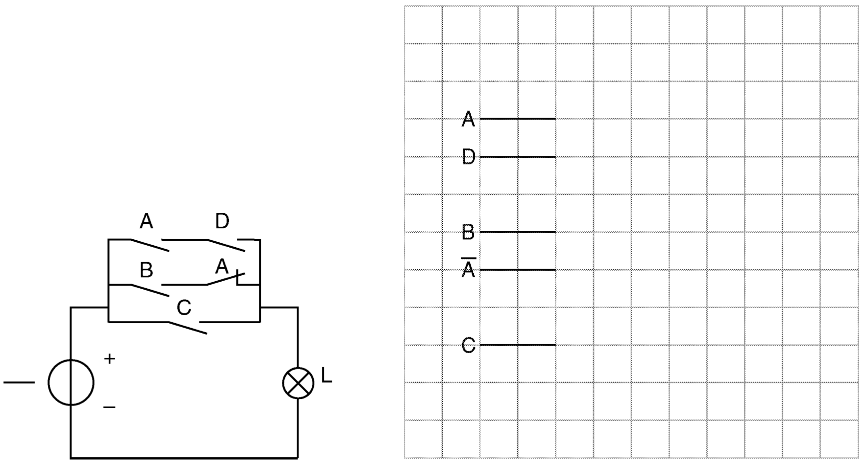
c



d



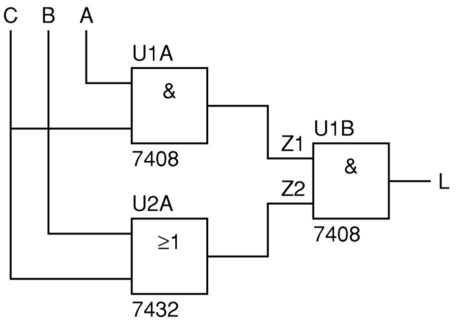
e



f

Figuur 11.4

16 Bepaal de schakelfunctie van de digitale schakelingen van figuur 11.5.



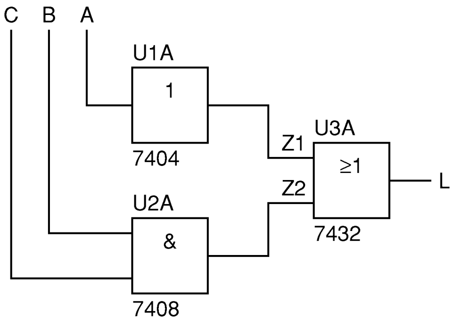
a

$L = Z1 \cdot Z2$

$Z1 = A \cdot C$

Z2 = ______________

L = ______________



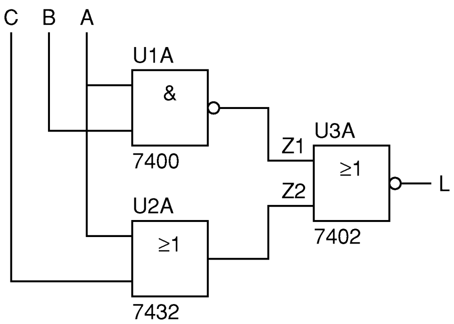
b

L = ______________

Z1 = ______________

Z2 = ______________

L = ______________



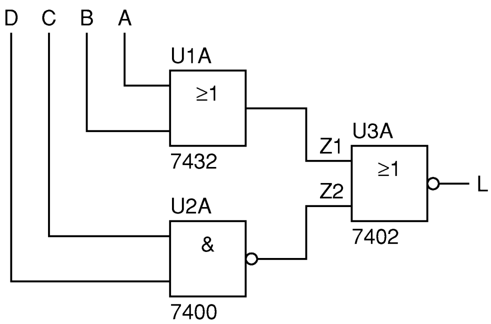
c

L = ______________

Z1 = ______________

Z2 = ______________

L = ______________



d

L = ______________

Z1 = ______________

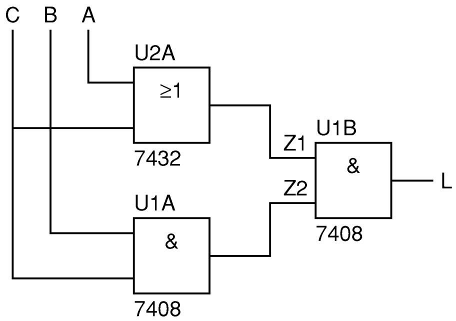
Z2 = ______________

L = ______________

Figuur 11.5

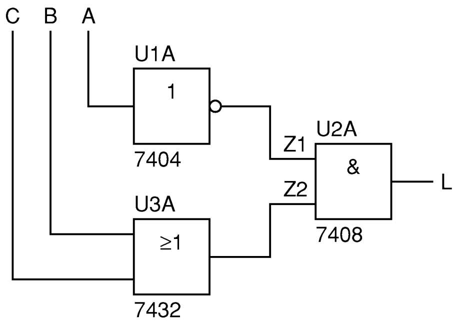
17 Stel de waarheidstabel op van de digitale schakelingen van figuur 11.6. Doe dit eventueel met tussenstappen.

a



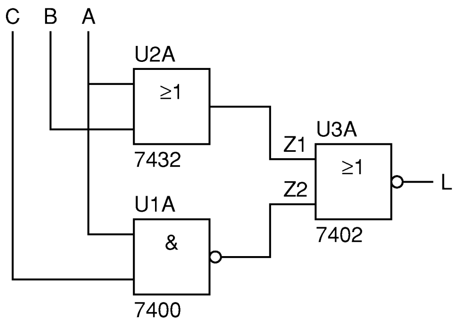
C	B	A	Z1	Z2	L
0	0	0			
0	0	1			
0	1	0			
0	1	1			
1	0	0			
1	0	1			
1	1	0			
1	1	1			

b



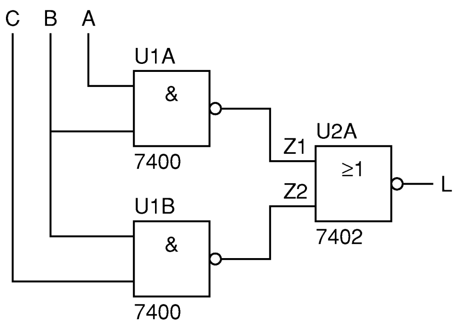
C	B	A	Z1	Z2	L
0	0	0			
0	0	1			
0	1	0			
0	1	1			
1	0	0			
1	0	1			
1	1	0			
1	1	1			

c



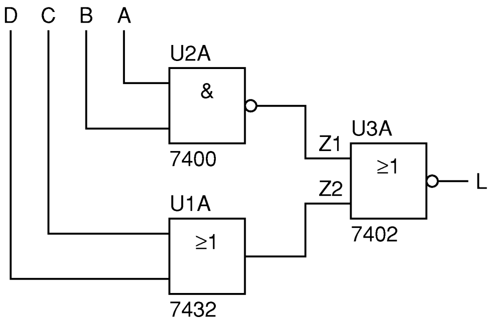
C	B	A	Z1	Z2	L
0	0	0			
0	0	1			
0	1	0			
0	1	1			
1	0	0			
1	0	1			
1	1	0			
1	1	1			

d



C	B	A	Z1	Z2	L
0	0	0			
0	0	1			
0	1	0			
0	1	1			
1	0	0			
1	0	1			
1	1	0			
1	1	1			

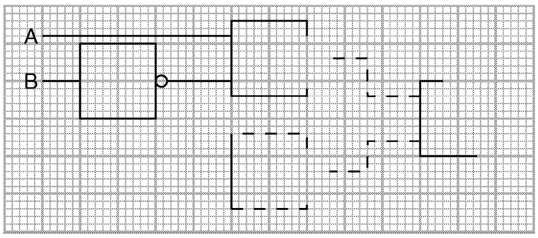
e



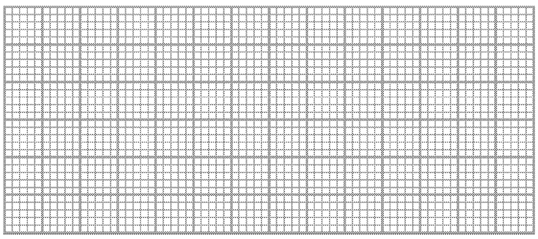
D	C	B	A	Z1	Z2	L
0	0	0	0			
0	0	0	1			
0	0	1	0			
0	0	1	1			
0	1	0	0			
0	1	0	1			
0	1	1	0			
0	1	1	1			
1	0	0	0			
1	0	0	1			
1	0	1	0			
1	0	1	1			
1	1	0	0			
1	1	0	1			
1	1	1	0			
1	1	1	1			

Figuur 11.6

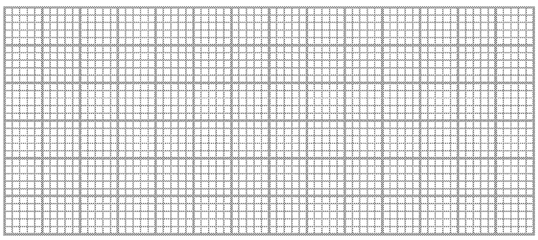
18 Realiseer de schakelfuncties van figuur 11.7 met basispoorten.



a $L = A \cdot \overline{B}\,(C + D)$



b $L = \overline{A} + (B \cdot C)$



c $L = \overline{(B \cdot D)} + \overline{(A \cdot C)}$

d $L = \overline{A \cdot \overline{B} \cdot C + B \cdot \overline{C}}$

e $L = \overline{(D + \overline{B} + A)} \cdot (\overline{C} + D)$

Figuur 11.7