

Tentamen Elektronische Schakelingen

Datum: vrijdag 30 juni
Tijd: 09.00-12.00

Opdracht 0 (1 punt) vul in uw naam en studienummer:

Naam:.....
Studienummer:

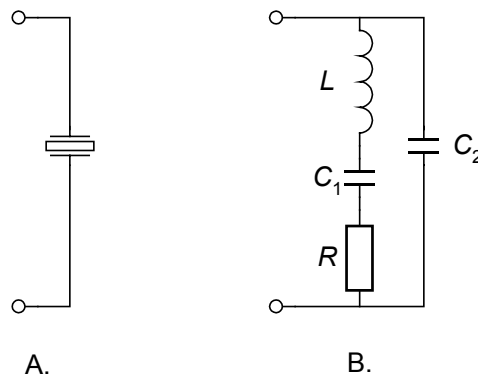
Cijfer:.....

Dit tentamen is een "open boek" tentamen. Het gebruik van een rekenmachine is toegestaan.
Vul uw antwoorden in de daarvoor gereserveerde ruimten in.

Datapaden zijn op een chip vaak herkenbaar als een rechthoek met een zich grotendeels in één richting herhalend patroon. Zo'n patroon noemen we een *bitslice*. Het aantal *bitslices* komt overeen met de woordlengte van het datapad. In het datapad worden zo modules gevormd die combinatorische functies vervullen (bij voorbeeld *shifters*, *rotators*, logische en rekenkundige bewerkingen), maar ook registers, geheugenmodules dus die één woord kunnen onthouden. Het dataverkeer tussen de eenheden vindt plaats via zogenaamde *bussen*, groepen van draden met bijbehorende logica die met dezelfde eenheden verbonden zijn. Daarnaast moeten de eenheden voorzien worden van voedingsspanningen en eventuele kloksignalen en worden gestuurd door signalen die van de *control unit* komen.

In ons geval worden de combinatorische eenheden gerealiseerd door domino-logica en bestaan de registers uit *master-slave flip-flops*. Dit betekent dat elke eenheid van kloksignalen voorzien moet worden. Hiervoor is een klokgenerator en een distributienetwerk nodig. Dit tentamen gaat over het ontwerpen van deze klokvoorzieningen.

Uitgangspunt is een voor deze klokvoorziening is een kristal-oscillator. Het hart van deze oscillator wordt, zoals de naam al aangeeft, gevormd door een kristal, een resonator opgebouwd rond een fijn-mechanisch bewerkt plaatje kwarts. Dit plaatje kwarts wordt door middel van twee elektroden in een trilling gebracht waarvan de frequentie grotendeels wordt bepaald door de mechanische eigenschappen van het kwartskristal. Deze mechanische eigenschappen manifesteren zich ook in de impedantie die tussen beide elektroden aanwezig is. Deze impedantie kan gemodelleerd worden met behulp van een inductantie L , een resistentie R en twee capaciteiten C_1 en C_2 en ziet er dan uit als volgt:



Figuur 1: Kwartskristal. A. Symbool. B. Elektrisch model

Er geldt: $L = 37 \mu\text{H}$, $C_1 = 17 \text{ fF}$, $C_2 = 4 \text{ pF}$, $R = 10 \text{ ohm}$.

Opgave 1 (0,25 punt)

Bepaal de impedantie van bovenstaand elektrisch vervangingsschema van een kristal als functie van L , R , C_1 en C_2 en de complexe variabele s .

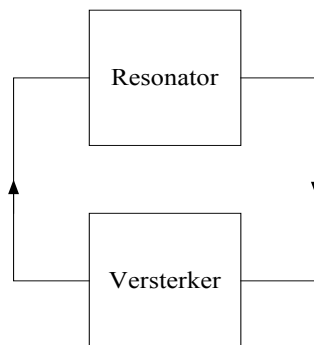
$Z(s) =$

Opgave 2 (0,25 punt)

Schets de modulus van deze impedantie als functie van de frequentie.



Om met behulp van een resonator een oscillator te ontwerpen wordt gebruik gemaakt van het feit dat bij een bepaalde frequentie (de resonantiefrequentie) of de impedantie minimaal wordt (serieresonantie) of de impedantie maximaal wordt (parallelresonantie). Een kristal kan men zowel in serieresonantie als in parallelresonantie gebruiken.



Figuur 2: Een resonator en een versterker in een lus

Opgave 3 (0,5 punt)

Ontwerp m.b.v. het kristal en eventueel een of meer lineaire passieve componenten een tweepoort

waarvan de spanningsversterkingsfactor $\frac{v_{out}}{v_{in}} \approx \frac{1}{A}$, met $A \approx k_{11}$, een banddoorlatend karakter vertoont, m.a.w. waarvan de spanningsoverdracht voor de resonantiefrequentie het grootst is.



Vraag 4 (0,25 punt)

Hoe groot is de modulus van de spanningsversterkingsfactor van deze tweepoort, $|\mu|$, bij de resonantiefrequentie?

$$|\mu(f_{res})| =$$

Door bovenstaande banddoorlatende tweepoort in een lus op te nemen (zie figuur 2) met een versterker zodanig dat aan de beide Barkhausen-criteria is voldaan, namelijk dat

- de fase draaiing in de lus gelijk is aan nul of een veelvoud van 360 graden
- de modulus van de lusversterking gelijk is aan 1

ontstaat een harmonische oscillator die op de resonantiefrequentie van het kristal oscilleert.

Vraag 5 (0,5 punt)

Uitgaande van bovenstaande banddoorlatende tweepoort waarvan de spanningsversterkingsfactor het gewenste banddoorlatende karakter vertoont, welke eisen gelden dan ten aanzien van de grootte van de vier kettingparameters A , B , C en D van de versterker?

$$\begin{array}{ll} A = & B = \\ C = & D = \end{array}$$

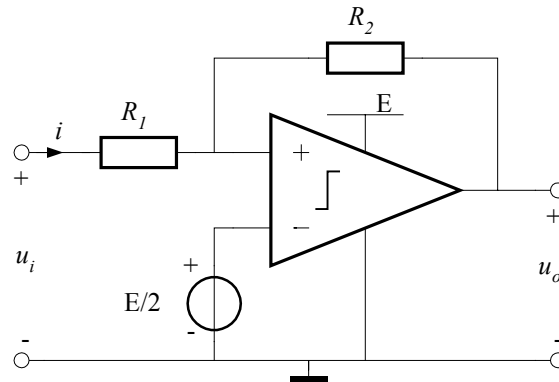
Opgave 6 (1 punt)

Ontwerp een harmonische oscillator met behulp van een:

- operationele versterker (opamp);
- geschikt gekozen tegenkoppelnetwerk (bestaand uit een of meer passieve lineaire componenten);
- de banddoorlatende tweepoort van vraag 3.

Het uitgangssignaal van de aldus ontworpen oscillator is harmonisch (sinusvormig) en heeft een eindige snelheid. Dit signaal kan nog niet gebruikt worden als kloksignaal. Hiertoe moeten eerst de flanken van het signaal steiler gemaakt worden.

Het verkregen sinusvormige signaal wordt door middel van een Smitt-trigger omgezet naar een blokvormig signaal. De Schmitt-trigger is weergegeven in figuur 3.

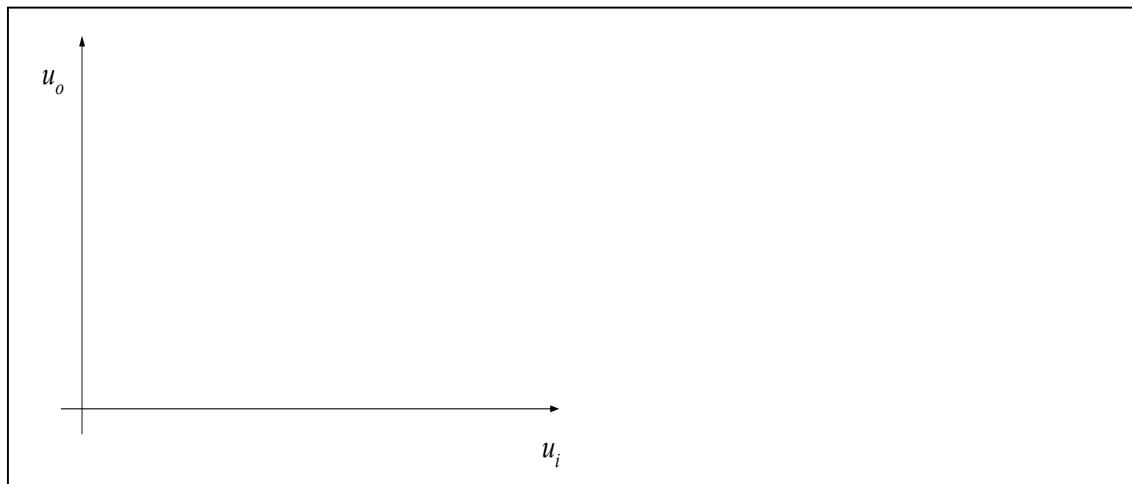


Figuur 3: Een Schmitt-trigger ($E = 3.3 \text{ V}$)

Voor dit circuit geldt dat de positieve verzadigingsspanning gelijk is aan E en de negatieve verzadigingsspanning gelijk is aan 0 V . Veronderstel dat het signaal van de harmonische oscillator gecentreerd is rond 1.65 V en een amplitude heeft van 1.65 V .

Opgave 7 (0.5 punt)

Bereken en schets de u_i versus u_o overdrachtskarakteristiek van de Schmitt-trigger van figuur 3 aanemende dat $R_1/R_2 \leq 1$.

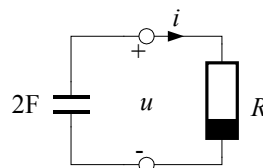


Vraag 8 (0.5 punt)

Wat moet de verhouding van de weerstanden zijn opdat met deze Schmitt-trigger van de sinus een blok gemaakt kan worden?

$R_1/R_2 =$

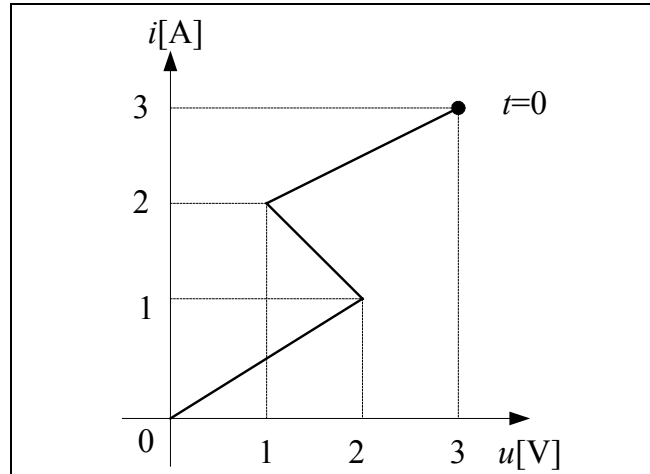
Het effect van een capaciteit aan de ingang van de opamp kan beschreven worden met het schema van figuur 4. Hierin zijn voor de eenvoud grote gehele waarden genomen voor de componentwaarden.



Figuur 4: Vervangingsmodel van Schmitt-trigger en capaciteit met fictieve componentwaarden

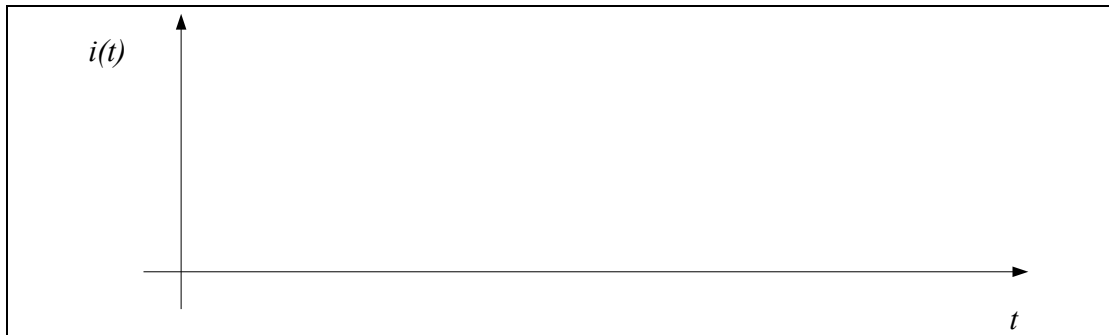
Opgave 9 (0.5 punt)

In onderstaande figuur is de u - i karakteristiek van de niet-lineaire weerstand gegeven. Geef de dynamische route van het vervangingsmodel door middel van pijltjes. Markeer de stabiele evenwichtspunten met een cirkeltje \bullet , de instabiele met een opgevuild cirkeltje \ominus en de impassepunten met een vierkantje \square .



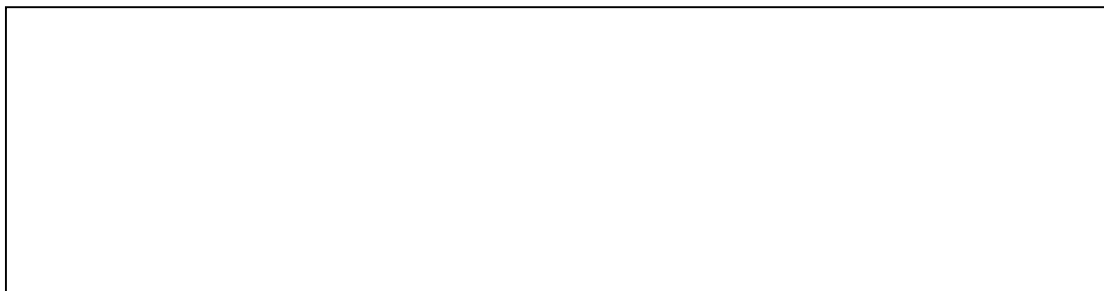
Opgave 10 (0.25 punt)

Teken de grafiek van $i=i(t)$. Geef duidelijk de relevante zaken aan.

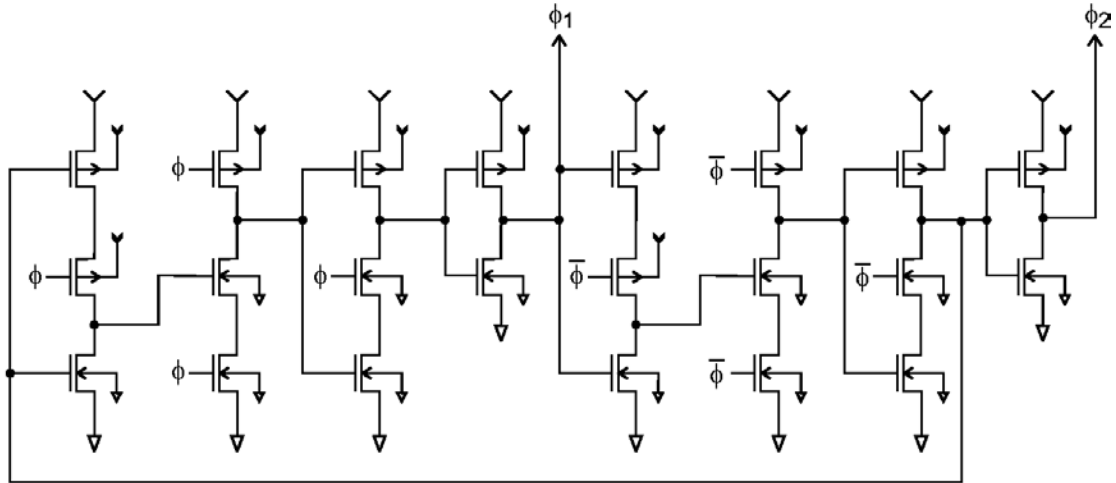


Opgave 11 (0.25 punt)

Bereken analytisch de spanning $u=u(t)$.



De combinatie van de kristal-oscillator en de schmitt-trigger noemen we de *master*-klok. Van het uitgangssignaal van deze *master*-klok moeten twee niet-overlappende fasen worden afgeleid, en deze twee fasen moeten bij alle modules in het datapad beschikbaar gemaakt worden. In figuur 5 is een twee-fasen-generator gegeven. Dit is een zogenaamde möbius-teller (zie "example 9.6" in het boek van Jan Rabaey) opgebouwd uit twee d-flipflops in *true single-phase-clocking*-techniek (zoals "example 6.4" in hetzelfde boek).



Figuur 5: Een möbius-teller als twee-fasen-generator

Opgave 12 (0.5 punt)

Teken in de diagrammen hieronder de tijddiagrammen van de kloksignalen ϕ , ϕ_1 , ϕ_2 .



De tijd waarbinnen alle modules van deze kloksignalen voorzien kunnen worden is meestal medebepalend voor de maximale frequentie waarop de processor kan functioneren. Om deze frequentie zo hoog mogelijk te maken kan men repeaters in de kloklijnen aan brengen. Dit zijn symmetrische invertoren die de verbindingen in kleinere delen kunnen opsplitsen en die het signaal qua golfvorm enigszins kunnen herstellen. Bij het ontwerpen van de modules wordt hiermee rekening gehouden door plaats voor zo'n invertor vrij te houden. Elk moduul kan dus eventueel een repeater voor elk van de kloklijnen "leveren". Ook is er rekening mee gehouden dat een deel van de modules de klok geïnverteerd aangeboden zullen krijgen.

Het model van een minimale symmetrische invertor is een spanningsbron en een equivalente weerstand R_o . De ingangcapaciteit wordt als een constante C_o gedefinieerd. De spanningsbron levert stapvormige spanningssprongen tussen de twee voedingsspanningen. Deze sprong is het gevolg van het passeren van een geschikt gekozen spanningsniveau aan de ingang.

In de gekozen technologie is R_o gelijk aan $6 \text{ k}\Omega$ en C_o gelijk aan 10 fF . Daarnaast hangt het effect van het wel of niet aanbrengen van een repeater in een moduul natuurlijk ook af van de eigenschappen van de verbinding. De weerstand per lengte-eenheid r van de verbinding is gelijk aan $50 \text{ k}\Omega/\text{m}$. De capaciteit per lengte-eenheid c van de verbinding is gelijk aan 135 pF/m . In deze capaciteit is de ingangcapaciteit van de modules bevat. Elke moduul is precies 1 mm hoog, zodat de totale hoogte van het datapad 2 cm is.

Opgave 13 (0.5 punt)

Geef aan in het symbolische datapad-floorplan in figuur 6 welke modules daadwerkelijk een repeater dienen te bevatten om de laatste aankomsttijd van de klok zo vroeg mogelijk te maken.

Men hoeft zich natuurlijk niet tot minimale symmetrische invertoren te beperken. Als dit de snelheid ten goede komt kan men natuurlijk ook grotere invertoren in de lijn plaatsen.

Opgave 14 (0.75 punt)

Bereken de optimale grootte van de repeaters in de kloklijnen ten opzichte van de minimale invertor als snelheid het enige criterium is.

maal

Voor de aandrijving van de lijnen is de fasen-generator equivalent met een bron met inwendige weerstand $R_g = 3 \text{ k}\Omega$.

Vraag 15 (0.5 punt)

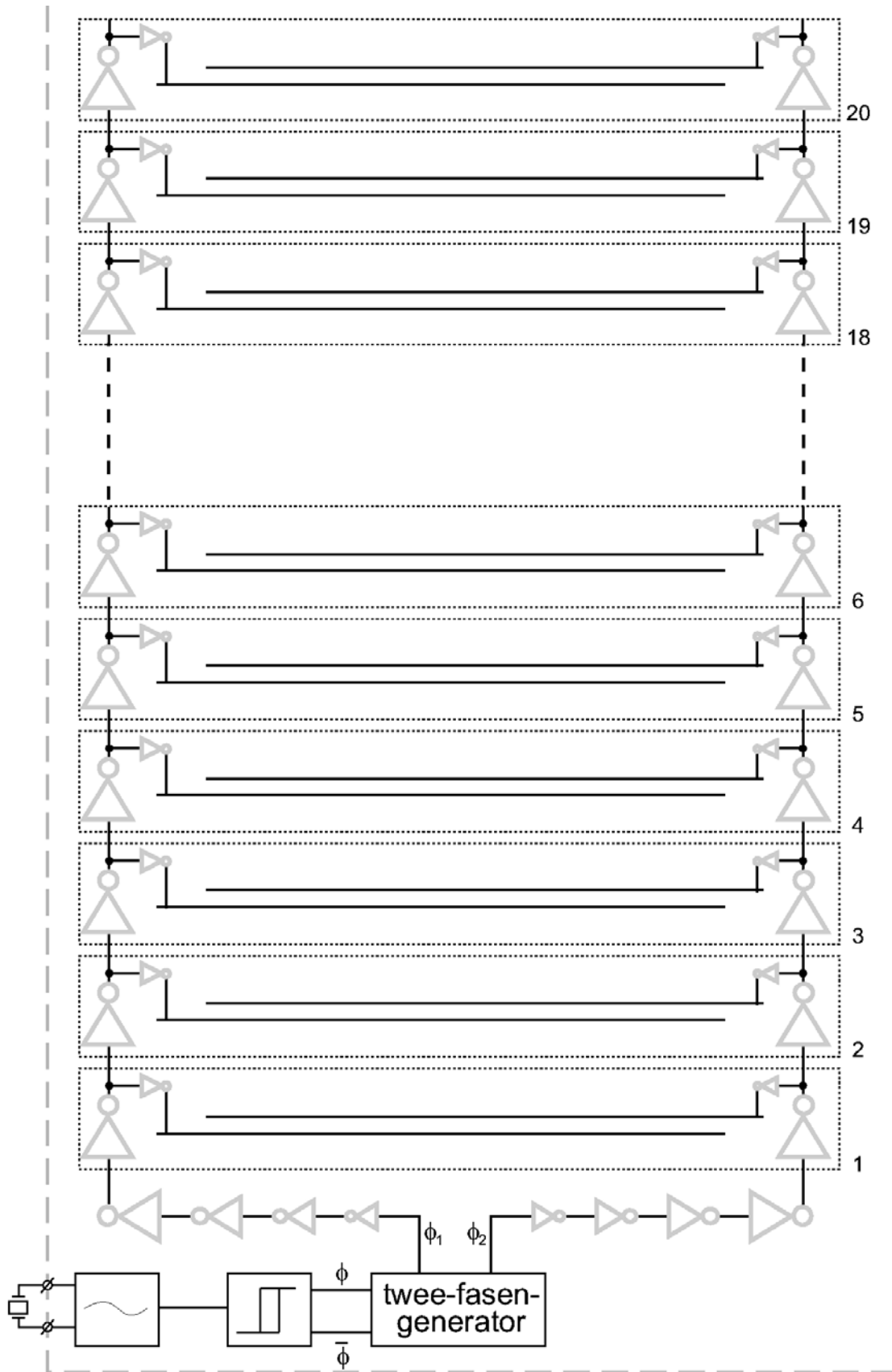
Met hoeveel invertoren tussen de fasengenerator en de kloklijn kan men de skew van de aan de kloklijnen toegevoerde signalen ten opzichte van de *master*-klok zo klein mogelijk te maken?

invertoren

Geef in figuur 6 welke repeaters/invertoren in het uiteindelijk ontwerp aanwezig moeten zijn!

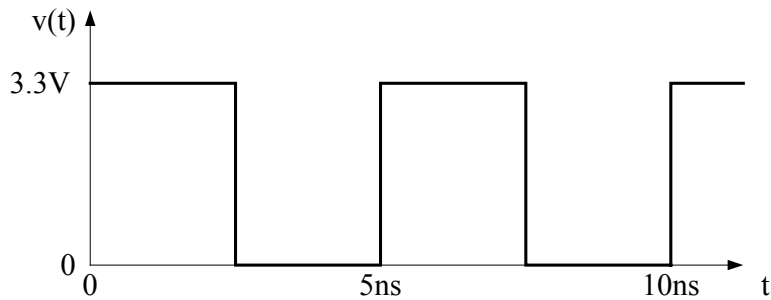
Vraag 16 (0.5 punt)

Kan men het floorplan van figuur 6 wijzigen zodat de frequentie verder opgevoerd kan worden? Zo ja, hoe?



Figuur 6: Een datapad

De frequentie van het kloksignaal wordt gemeten. Het gecombineerde instrument voor frequentie/periodetijdmeting (zonder pre-scaler) heeft een *8-cijferig* display en een interne referentiefrequentie op 10 MHz. Deingangsimpedantie is samengesteld uit een weerstand van 1 M Ω parallel aan een condensator van 10 pF. Het uitgangssignaal van de Schmitt-trigger veronderstellen als weergegeven in figuur 7.



Figuur 7 : Uitgangssignaal van de Schmitt-trigger

Opgave 17 (0.5 punt)

Bepaal bij het gegeven uitgangssignaal van de Schmitt trigger de instelling van het trigger window (optimale niveau van het trigger level [V] en de maximale breedte van het trigger window [V]).

Trigger level =	V
Trigger window =	V

Opgave 18 (0.5 punt)

Bepaal de mode (frequentie/periode) en de meettijd bij optimale instelling van het instrument.

Mode =
Meettijd =

Gegeven:

- Klokfrequentie = 200 MHz
- ingangsimpedantie van het meetinstrument = 1 M Ω in parallel met 10 pF
- Uitgangsweerstand van de oscillator = 50 Ω .
- Uitgangsweerstand van de Schmitt-triggerschakeling = 50 Ω .

Binnen het systeem zijn drie meetpunten.

1. direct op het kristal
2. de uitgang van de oscillatorschakeling
3. de uitgang van de Schmitt-trigger

Opgave 19 (0.5 punt)

Wat is het meest geschikte meetpunt. Verklaar uw keuze.

Einde van dit tentamen