



Inhoudsopgave

11	Digitale techniek	2
11.1	Wat leer je in dit hoofdstuk	2
11.2	Opmerking bij de opgaven	2
11.3	Analoog en digitaal	2
11.4	De getallenwereld	3
11.5	Omzetting van analoog naar digitaal en terug	4
11.6	Opgaven (inclusief drie examenopgaven)	6
11.6.1	Opgave 11-1.....	6
11.6.2	Opgave 11-2.....	7
11.6.3	Opgave 11-3.....	8
11.6.4	Opgave 11-4.....	9
11.6.5	Opgave 11-5.....	10
11.6.6	Opgave 11-6.....	11
11.7	Antwoorden bij de opgaven	12
11.7.1	Uitwerking van Opgave 11-1.....	12
11.7.2	Uitwerking van Opgave 11-2.....	13
11.7.3	Uitwerking van Opgave 11-3.....	14
11.7.4	Uitwerking van Opgave 11-4.....	15
11.7.5	Uitwerking van Opgave 11-5.....	16
11.7.6	Uitwerking van Opgave 11-6.....	17



11 Digitale techniek

11.1 Wat leer je in dit hoofdstuk

De eisen aan digitale kennis bij het N-examen zijn in vergelijking met die voor het F-examen beperkt. In feite wordt in de exameneisen alleen gesproken over “digitaal signaal” en de “grafische voorstelling in de tijd”. Daardoor is dit hoofdstuk kort. We bespreken de verschillen tussen analoog en digitaal, getalstelsels en het tweetallige (binaire) in het bijzonder en laten het effect zien van het digitaal voorstellen van een analoog signaal. Wie meer wil weten, kan zich uitleven in de F-cursus. De basis staat in hoofdstuk 11; in hoofdstuk 13 wordt onder meer aandacht besteed aan digitale radio. Advies: haal liever eerst het N-examen als elektronica en digitale zaken grotendeels nieuw voor je zijn.

11.2 Opmerking bij de opgaven

Dit hoofdstuk is in zijn N-versie erg kort. Dat komt doordat het overgrote deel van de exameneisen aangaande de leerstof over digitale zaken alleen op het F-examen wordt gevraagd. Omdat we de hoofdstuknummering van de N- en de F-cursus gelijk wilden houden, is het verschil in omvang tussen beide hoofdstukken 11 groot. Gevolg is dat er ook weinig examenopgaven voor het N-hoofdstuk zijn: we vonden welgeteld drie stuks. Het leek ons daarom niet zinvol om een aparte opgavenbundel bij hoofdstuk 11 van deze N-cursus te maken. De drie opgaven staan nu in de opgavenparagraaf 11.6 als Opgave 11-4, Opgave 11-5 en Opgave 11-6. De nummers 11-1 tot en met 11-3 zijn bedenksels van de cursusredactie.

11.3 Analooq en digitaal

Tot nu toe ging het in deze cursus over analoge techniek. Tegenwoordig wordt analoog vaak gezien als het tegendeel van digitaal, maar eigenlijk is digitaal vooral een manier om analoge verschijnselen bij benadering te beschrijven.

De schakelingen die we tot nu toe in deze cursus zijn tegengekomen, vallen onder de term *analoge schakelingen*. De grootheden daarin kunnen een oneindig aantal waarden aannemen. Een stroom kan een oneindig aantal verschillende waarden hebben. Een spanning, een weerstand, zelfinductie, capaciteit, noem maar op, ook. Al die grootheden worden *analoog* genoemd. Die naam komt uit een tegenwoordig bijna vergeten vakgebied in de elektronica: de *analoge computer* en de *analoge simulatie*. Dat laatste vakgebied omvat het bouwen van schakelingen die voldoen aan dezelfde vergelijkingen als sommige natuurkundige verschijnselen, zoals warmtestroming in vaste stoffen, doorbuigen van bouw materiaal of stroming van grondwater. Alleen de eenheden in die vergelijkingen waren anders, de vorm van de vergelijkingen dezelfde. Die elektrische systemen gedroegen zich *analoog* aan de niet-elektrische die ze moesten nabootsen. Daar komt de term ‘analoog’ vandaan.

Digitale schakelingen kennen 1 en 0, maar niets daartussenin. Je kunt ook zeggen: ‘aan en uit’ of ‘waar en onwaar’. Een seinsleutel voor morsetelegrafie is ingedrukt of niet



ingedrukt, dus aan of uit. Hetzelfde geldt trouwens voor de lichtschakelaar in een huiskamer, een kantoor of waar dan ook, zolang er tenminste geen dimmer aan gekoppeld is.

11.4 De getallenwereld

Het woord *digitaal* is afgeleid van het Latijnse woord *digitus*, wat vinger betekent. De meesten van ons hebben hun eerste stapjes op het gebied van rekenen gezet met behulp van hun vingers. Daarmee kun je rekenen tot en met 10. Het is dan ook niet helemaal toevallig dat ons getalstelsel gebaseerd is op datzelfde getal 10. We gebruiken 10 cijfers, 0 tot en met 9. Bij het tellen herhaalt zich dat met 10-19, 20-29, enz. Eerst het aantal keren 10, gevolgd door het aantal keren 1. Bij 100 komt er een derde cijfer voorop, het aantal keren $100 = 10 * 10$. Dat herhaalt zich bij $1000 = 10 * 10 * 10$ en zo verder.

Zo werkt ons meest gebruikte getallenstelsel. Een getal van een stuk of wat cijfers is dus een optelling van 0-9 maal 1, 0-9 maal 10, 0-9 maal 100 en zo verder. Voorbeeld:

$$3087 = 3 * 1000 + 0 * 100 + 8 * 10 + 7 * 1$$

Tot zover het tientallige stelsel, ook wel *decimaal stelsel* genoemd, naar het Latijnse *decem*, tien.

Wat met het getal 10 als basis kan, kan met elk willekeurig getal. Aan het getal 10 is dan ook niets speciaals. Je kunt elk willekeurig getal als basis gebruiken. 3300 jaar vóór onze jaartelling gebruikten de Soemeriërs en later ook de Babyloniërs het 60-tallige stelsel (https://nl.wikipedia.org/wiki/Babylonische_cijfers), waarin de getallen 5 en 12 een hoofdrol speelden. Daar komen de verdeling van de cirkel in 360 graden ($6 * 60$), onze klok met $2 * 12$ of $1 * 24$ uren in een dag, 60 minuten in een uur en 60 seconden in een minuut vandaan. Vermoed wordt dat men het getal 60 koos, omdat het door heel veel getallen deelbaar is.

Het 2-tallige stelsel kent de cijfers 0 en 1. Dat sluit mooi aan bij 'ja' en 'nee', 'aan' en 'uit', 'waar' en 'niet waar', enzovoort. Door het kleine getal 2 heeft dat stelsel maar 2 cijfers, 0 en 1. Daardoor zijn getallen in het tweetallige stelsel verhoudingsgewijs lang. Het tweetallige stelsel heet ook wel het *binaire* stelsel,

In de elektronica is het 2-tallig stelsel een doelmatig systeem dat nauwelijks tot fouten leidt. Een positieve spanning van bijvoorbeeld 5 V staat voor een 1, een lage spanning, bijvoorbeeld 0,5 V, staat voor een 0. Of, als dat zo is afgesproken, andersom. Die waarden onderscheiden zich duidelijk van elkaar. Tussenliggende spanningen leiden niet tot tussenliggende cijfers, want er zijn geen tussenliggende cijfers. Dat maakt het binaire stelsel bij elektronische verwerking heel betrouwbaar.

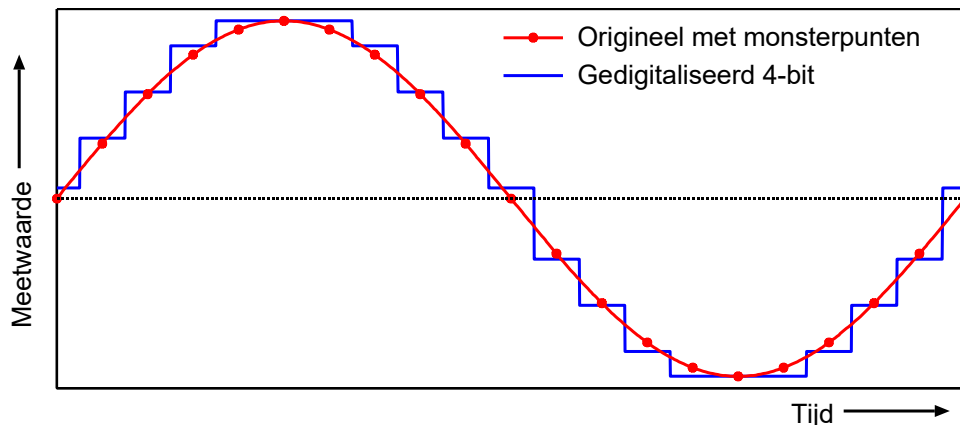
Hoe ziet zo'n binair getal eruit? De binaire getallen 0 en 1 zijn decimaal ook 0 en 1, maar daarna begint het. 10 staat voor 2, want $1 * 2 + 0 * 1 = 2$. Het binaire getal 11 staat voor het decimale getal 3, binair 100 voor $4 = 1 * (2 * 2) + 0 * 2 + 0 * 1$, enz. Het decimale getal 10 schrijf je binair als 1010: $1 * (2 * 2 * 2) + 0 * (2 * 2) + 1 * 2 + 0$. Reken maar na.

Een binaire cijfer wordt meestal *bit* genoemd. Met bijten heeft dat niets te maken. Het is een samentrekking van twee woorden: *binary* (binair) en *digit* (cijfer). *Binary digit* leidt tot hetzelfde. Door hun lengte zijn binaire getallen voor de mens lastig te lezen; digitale schakelingen die ze moeten verwerken, hebben er geen enkele moeite mee.

Binaire getallen kunnen op twee manieren worden overgebracht; parallel en serieel. Voor parallel overdracht zijn er evenveel gegevenslijnen of met een ander woord datalijnen nodig als er bits in een getal zijn; voor seriële overdracht gaan de bits één voor één achter elkaar via één lijn.

11.5 Omzetting van analoog naar digitaal en terug

Gezien de beperkte eisen aan digitale kennis bij het N-examen, duiken we niet het omzettingsproces zelf in. Meestal vindt de digitalisering van een analoog signaal in vaste tijdstappen plaats. Na elke tijdstap wordt het analoge signaal bemonsterd (zo heet dat). Dat betekent dat dan de momentele waarde van het bemonsteringstijdstip wordt omgezet naar het dichtstbijzijnde binaire getal. Bij de volgende bemonstering is er een nieuwe momentele waarde die dan wordt opnieuw omgezet naar de dichtstbijzijnde digitale waarde, enz. Op die manier verandert een vloeiende grafiek in een getallentabel. Als je die tabel weer omzet naar een grafiek, ontstaat een trapjes" kromme". Figuur 11.5-1 laat er bij wijze van voorbeeld één zien van een omzetting van punten op een sinus naar binaire waarden in 4 bits. Dat betekent 16 mogelijke binaire waarden.



Figuur 11.5-1. Resultaat van digitalisering van een sinusgolf naar 4 bits (16 mogelijke waarden). De rode stippen zijn de bemonsteringspunten. Ze liggen in de tijd steeds even ver uiteen.

Nu is een 4-bits omzetting niet erg nauwkeurig. 8 bits of meer is gebruikelijk. Het resultaat in de figuur maakt duidelijk dat uit een vloeiende curve een trapjescurve ontstaat. Hoe meer bits, des te kleiner zijn de treden en des te beter de gelijkenis met een echte analoge figuur. Voor de duidelijkheid hebben we dan ook een beperkt aantal bits toegepast.

Wordt de gedigitaliseerde spanning of stroom terug omgezet naar analoog, dan blijft de trapjescurve intact. Daar is nog wel iets aan te doen, maar de oorspronkelijke curve komt er nooit 100% ongeschonden uit. Digitaliseren betekent dan ook altijd enige vervorming.



In informaticatermen: enig informatieverlies. Daarvoor krijg je enige nep-informatie terug. Eén van de bijbehorende kunstjes is, die nep-informatie zo klein mogelijk te houden. Daarop gaan we hier niet verder in; in het F-hoofdstuk speelt het wel een rol.

De schakeling waarmee de omzetting van analoog naar digitaal plaatsvindt, heet een *Analoog naar Digitaal Converter*, afgekort *ADC*. De omgekeerde bewerking, van digitaal naar analoog, vindt plaats in een *DAC*, een *Digitaal naar Analoog Converter*.



11.6 Opgaven (inclusief drie examenopgaven)

11.6.1 Opgave 11-1.

Menselijke spraak is van oorsprong

- A. Een digitaal signaal
- B. Een analoog signaal
- C. Een videosignaal;
- D. Een signaal met zowel digitale als analoge kenmerken

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



11.6.2 Opgave 11-2.

Met een seinsleutel wordt voor een uitzending van Morsetelegrafie een gelijkspanning gesleuteld van 0 V naar 10 V en terug. De gesleutelde spanning is

- A. Een digitaal signaal
- B. Een analoog signaal
- C. Een audiosignaal
- D. Een hoogfrequent signaal

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking





11.6.3 Opgave 11-3.

Welke van de volgende stellingen is juist:

- A. Op de ingang van een werkende ADC staat een digitaal signaal
- B. Op de uitgang van een werkende ADC staat een analoog signaal
- C. Op de uitgang van een werkende DAC staat een digitaal signaal
- D. Op de uitgang van een werkende DAC staat een analoog signaal

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking 



11.6.4 Opgave 11-4

Spraak en muziek zijn van oorsprong:

- A. Digitale signalen
- B. Audiosignalen
- C. Videosignalen

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking



Op examens tussen 2000 en midden 2020 4 keer gevraagd; voor het laatst in maart 2012.



11.6.5 Opgave 11-5

Met een morsesleutel wordt een gelijkspanning gesleuteld. De gesleutelde spanning is een

- A. Audiosignaal
- B. HF -signaal
- C. Digitaal signaal

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking



Op examens tussen 2000 en midden 2020 10 keer gevraagd; voor het laatst in maart 2020.



11.6.6 Opgave 11-6

In een CW -zender is het modulerende signaal een:

- A. HF -signaal
- B. Audiosignaal
- C. Digitaal signaal

Antwoord gevonden? Naar de uitwerking



Op examens tussen 2000 en midden 2020 4 keer gevraagd; voor het laatst op 28 mei 2015.



11.7 Antwoorden bij de opgaven

11.7.1 Uitwerking van Opgave 11-1.

Menselijke spraak is van oorsprong

- A. Een digitaal signaal
- B. Een analoog signaal**
- C. Een videosignaal;
- D. Een signaal met zowel digitale als analoge kenmerken

Uitwerking

Spraak kan binnen zijn bandbreedte een oneindig aantal frequenties bevatten en bovendien een oneindig aantal amplitudes. Het is daarom een analoog signaal.

Antwoord B.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





11.7.2 Uitwerking van Opgave 11-2.

Met een seinsleutel wordt voor een uitzending van Morsetelegrafie een gelijkspanning gesleuteld van 0 V naar 10 V en terug. De gesleutelde spanning is

- A. Een digitaal signaal
- B. Een analoog signaal
- C. Een audiosignaal
- D. Een hoogfrequent signaal

Uitwerking

Het gesleutelde signaal kan 2 waarden aannemen: 0 V en 10 V. Daarmee is het een digitaal signaal. Wel heeft een Morsesignaal lange en korte tekens, waarmee het afwijkt van wat tegenwoordig bij digitale signalen gebruikelijk is.

Antwoord A

Opmerking

Omdat Morsetekens wat de lengte van hun tekens aangaat niet echt digitaal zijn, worden ze ook wel aangeduid als *niet-analoog signaal*. Niet wat het wel is, maar wel wat het niet is. Dat zijn we al eens eerder tegengekomen.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave



**11.7.3 Uitwerking van Opgave 11-3.**

Welke van de volgende stellingen is juist:

- A. Op de ingang van een werkende ADC staat een digitaal signaal
- B. Op de uitgang van een werkende ADC staat een analoog signaal
- C. Op de uitgang van een werkende DAC staat een digitaal signaal
- D. Op de uitgang van een werkende DAC staat een analoog signaal**

Uitwerking

Een ADC is een analoog naar digitaal converter. Daar moet iets analoogs in en er komt iets digitaals uit. Daarmee vervallen de antwoorden A en B.

Een DAC is een digitaal naar analoog converter. Daar moet iets digitaals in en er komt iets analoogs uit. Dat past niet bij antwoord C, maar wel bij D.

Antwoord D.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





11.7.4 Uitwerking van Opgave 11-4

Spraak en muziek zijn van oorsprong:

- A. Digitale signalen
- B. Audiosignalen**
- C. Videosignalen

Uitwerking

Spraak en muziek zijn audiosignalen. Audiosignalen omvatten het voor de mens hoorbare frequentiegebied dat loopt van 20 tot ongeveer 20 000 Hz. Deze bovengrens wordt lager bij het ouder worden.

Antwoord B.

Opmerkingen

De snelheid van geluid in lucht is 343 m/s bij de luchtdruk op zeeniveau. Ook temperatuur heeft daar enige invloed op.

Voor een verstaanbaar spraaksignaal is niet de volle audiobandbreedte nodig. Het frequentiegebied van ongeveer 300 Hz tot 3000 Hz volstaat. Soms gaat men uit van een bovengrens van 2700 Hz.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





11.7.5 Uitwerking van Opgave 11-5

Met een morsesleutel wordt een gelijkspanning gesleuteld. De gesleutelde spanning is een

- A. Audiosignaal
- B. HF -signaal
- C. Digitaal signaal

Uitwerking

Zie ook de uitwerking van Opgave 11-2.en de opmerkingen daarbij. Een seinsleutel is ingedrukt of niet. In het eerste geval is de spanning meestal 0, in het andere geval een andere vaste spanning. Keuze uit twee: dat is digitaal.



Terug naar de opgave

Naar de volgende opgave





11.7.6 Uitwerking van Opgave 11-6

In een CW -zender is het modulerende signaal een:

- A. HF -signaal
- B. Audiosignaal
- C. Digitaal signaal

Uitwerking

Het modulerende signaal is aan of uit (seinsleutel neer, seinsleutel op). Digitaal dus.

Antwoord C.

Opmerking

CW is een afkorting en staat voor 'Continuous Wave'. Het betekent een signaal in morsetelegrafie. **Opgave 11-5**



Terug naar de opgave