OPINNÄYTETYÖ - **AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO**
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

DIGITAALISTEN KOMBINAATIOPIIRIEN LABORATORIOTÖIDEN SUUNNITTELU

TEKIJÄ: Toni Halonen

SAVONIA-AMMATTIKORKEAKOULU

OPINNÄYTETYÖ
Tiivistelmä

Koulutusala
Tekniikan ja liikenteen ala

Koulutusohjelma
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Työn tekijä(t)
Toni Halonen

Työn nimi
Digitaalisten kombinaatiopiirien laboratoriotöiden suunnittelu

Päiväys	5.5.2015	Sivumäärä/Liitteet	38/12

Ohjaaja(t)
yliopettaja Väinö Maksimainen

Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t)
Savonia-AMK Oy

Tiivistelmä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli suunnitella ja testata laboratoriotyöt Savonia-ammattikorkeakoulun (Savonia-AMK Oy) Digitaaliset kombinaatiopiirit -kurssiin.

Opinnäytetyössä laboratoriotöiden suunnittelua lähestyttiin tutustumalla digitaalitekniikan kombinaatiopiirien perusteisiin, kuten kombinaatiopiireihin yleisesti, kombinaatiopiirien työkaluihin, funktioihin, laskuihin ja erilaisiin kombinaatiopiirien komponentteihin ja sovelluksiin. Tiedonhankinnan jälkeen aiheista suunniteltiin useita kytkentöjä, jotka piirrettiin paperille. Tämän jälkeen muodostettiin totuustaulut ja aloitettiin piirien simuloiminen Multisim-ohjelmistolla. Simuloinnin jälkeen kytkennöistä rakennettiin oikeat kytkennät käyttämällä oikeita komponentteja. Kytkennät rakennettiin IDL-800 Digital Lab -kytkentäalustalle.

Opinnäytetyön tavoitteena oli suunnitella ja testata laboratoriotyöt. Tavoite saavutettiin kokonaan, sillä kaikki suunnitellut laboratoriotöiden testikytkennät saatiin toimimaan oikein. Laboratoriotöistä laadittiin työohjeet opiskelijoille ja malliratkaisut opettajalle.

Avainsanat
digitaalitekniikka, kombinaatiopiirit

SAVONIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

THESIS
Abstract

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Electrical Engineering			
Author(s) Toni Halonen			
Title of Thesis Designing Laboratory Works for Digital Combinational Circuits			
Date	May 5, 2015	Pages/Appendices	38/12
Supervisor(s) Mr. Väinö Maksimainen, Principal Lecturer			
Client Organisation /Partners Savonia University of Applied Sciences			

Abstract

The purpose of this thesis was to design and test laboratory works for digital combinational circuits for Savonia University of Applied Sciences.

The planning of the laboratory works was started by becoming acquainted with the basics of digital combinational circuits; matters such as what are combinational circuits in general, tools in combinational circuits', functions and calculations and various components of combinational circuits. After gathering information, many circuits were designed from these topics, which were then drawn to paper. After that truth tables were made and simulations of circuits were started with the Multisim program. When the simulations were over, real couplings were built with real components. The building was made on the IDL-800 Digital Lab coupling platform.

As a result of this thesis the objectives, which were to design and test laboratory works, were fully achieved because all designed test circuits of the laboratory works worked correctly. Work instructions were made for students and model solutions were made for the teacher.

Keywords
digital technology, combinational circuits

ESIPUHE

Tämä opinnäytetyö tehtiin Savonia-ammattikorkeakoululle (Savonia-AMK Oy) Kuopiossa. Haluan kiittää yliopettajaa Väinö Maksimaista hyvästä ohjauksesta. Lisäksi haluan kiittää kaikkia niitä, jotka ovat tukeneet minua tämän opinnäytetyön aikana.

Kuopiossa 5.5.2015
Toni Halonen

SISÄLTÖ

1 JOHDANTO

Savonia-ammattikorkeakoulussa alkaa keväällä 2016 uusi kurssi nimeltään Digitaaliset kombinaatiopiirit, jossa opiskelijoille opetetaan digitaalisten kombinaatiopiirien alkeet ja kurssilla opetettuja asioita sovelletaan tekemällä laboratoriotöitä. Kurssi toteutettiin ennen kahdessa eri kurssissa. Kombinaatiopiirien teoria opiskeltiin Digitaalitekniikka -kurssilla ja laboratoriotyöt suoritettiin Elektroniikan työt -kurssilla. Koska kurssi toteutetaan ensimmäistä kertaa, ei sille ole vielä laadittu laboratoriotöitä, joita opiskelijat tekevät kurssin aikana.

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on suunnitella ja testata Digitaaliset kombinaatiopiirit -kurssille opetuskäyttöön tulevat laboratoriotyöt, laatia laboratoriotöistä työohjeet opiskelijoille ja malliratkaisut opettajalle. Apuna suunnittelussa käytetään Digitaaliset kombinaatiopiirit -kurssin OPS-kuvausta, jossa kerrotaan kurssin keskeinen sisältö ja kurssin tavoitteet (liite 1). OPS:n lisäksi käytetään useita kirjallisuuslähteitä ja internetistä löytyviä lähteitä, jotka sisältävät tietoa digitaalisista kombinaatiopiireistä.

2 KOMBINAATIOPIIRIT

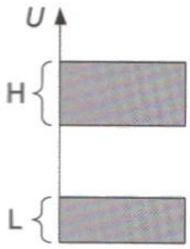
2.1 Johdatus digitaalisiin kombinaatiopiireihin

Digitaalitekniikkaa käytetään nykyään melkein kaikilla elämän osa-alueilla. Niitä hyödynnetään muun muassa kodeissa, opetuksessa, koulutuksessa, tieteessä, taiteessa, teollisuudessa, toimistoissa, terveydenhoidossa ja liikenteessä. Digitaalitekniikan sovelluksia löytyy aina suurista järjestelmistä pieniin yksittäisiin laitteisiin sekä näiden väliltä. (Haltsonen, Levomäki ja Rautanen 2013, 35.)

Digitaaliset piirit jaetaan kahteen ryhmään: kombinaatiopiireihin ja sekvenssipiireihin. Kombinaatiopiireissä lähtöfunktion tila riippuu tuloliitäntöjen senhetkisistä tiloista. Sekvenssipiireissä lähtöjen tila riippuu paitsi tuloliitäntöjen tiloista myös niiden aikaisemmista tiloista. (Haltsonen ym. 2013, 41).

Digitaalipiirejä kutsutaan logiikkapiireiksi ja niiden tehtävä on käsitellä digitaalisia signaaleja. Piirit ovat yleensä sähköisiä, mutta ne voivat olla myös mekaanisia, pneumaattisia tai jopa magneettisia. Piireillä on kahdenlaisia signaaleja, tulo- ja lähtösignaaleja. Näillä voi olla vain kaksi arvoa, yksi ja nolla. Arvojen esitys riippuu siitä, miten ne on toteutettu. Sähköisellä piirillä niitä vastaavat jännitealueet ja mekaanisella piirillä kytkimen koskettimen asento eli se, onko kytkin auki vai kiinni. Piirin tulojen ja lähtöjen arvoja voidaan kuvata myös käsitteillä false eli epätosi ja true eli tosi. (Haltsonen ym. 2013, 40 - 41.)

Sähköisellä piirillä käytetään jännitealueista kahdenlaista merkintää: L-merkinnällä tarkoitetaan pienempijännitteistä jännitealuetta ja H-merkinnällä korkeajännitteistä jännitealuetta. Kirjaimet L ja H tulevat englannin kielestä, jossa L tarkoittaa low eli matalaa ja H tarkoittaa high eli korkeaa. Jännitealueilla on kaksi esitystapaa, joita kutsutaan logiikkasopimuksiksi (kuva 1). Positiivisessa logiikkasopimuksessa jännitealue L vastaa arvoa nolla ja jännitealue H puolestaan arvoa yksi. Negatiivisessa logiikkasopimuksessa tilanne on päinvastainen eli L vastaa arvoa yksi ja H vastaa arvoa nolla. Näistä kahdesta logiikkasopimuksesta positiivista logiikkasopimusta käytetään eniten.
(Haltsonen ym. 2013, 40 - 41.)



	Jännitealue	Looginen arvo
Positiivinen logiikkasopimus	H L	1 0
Negatiivinen logiikkasopimus	H L	0 1

KUVA 1. Logiikkasopimusten määritelmät (Haltsonen, Levomäki ja Rautanen 2013, 41.)

2.1.1 Kytkentäfunktiot

Kytkentäfunktioita käytetään kuvaamaan kombinaatiopiirien toimintaa. Niissä esitetään piirin lähtösignaalit sen tulosignaalien funktioina. Tulosignaaleita ovat kytkentäfunktion muuttujat ja lähtösignaaleita ovat kytkentäfunktiot. Sekä muuttujat että funktiot voivat saada arvon nolla ja yksi. Muuttujat ja funktiot merkitään niitä kuvaavilla signaalien nimillä. (Haltsonen ym. 2013, 41.)

2.1.2 Totuustaulu

Totuustaulua käytetään kytkentäfunktioiden määrittelemiseen. Sen tarkoituksena on näyttää piiristä muodostetun kytkentäfunktion arvo kaikilla mahdollisilla kytkentämuuttujien arvoyhdistelmillä, joita kutsutaan myös arvokombinaatioiksi (taulukko 1). Yhdellä muuttujalla voi olla kaksi erilaista arvoa, eli silloin muuttujien erilaisten arvoyhdistelmien lukumäärä on 2^n, jossa n kertoo muuttujien lukumäärän. (Haltsonen ym. 2013, 41). Eli jos muuttujien määrä on *n* kappaletta, tarvitaan totuustaulukko, jonka rivimäärä on 2^n. Esimerkiksi jos muuttujien määrä on kolme, tarvitaan taulukko, jonka rivimäärä on 2^3 eli 8. Jokainen rivi totuustaulukossa vastaa yhtä arvoyhdistelmää. Tulkittaessa muuttujien arvoyhdistelmiä binaariluvuiksi rivien järjestys on asetettu suuruusjärjestykseen pienimmästä suurimpaan lähtöarvojen perusteella, esimerkiksi 000, 001, 010, 011,…jne.

Kun suunnitellaan kombinaatiopiiriä, voidaan sen totuustaulu suunnitella sen mukaan, mitä halutaan piirin tekevän. Jos laaditaan totuustaulua jo olemassa olevalle kombinaatiopiirille, onnistuu sen tekeminen piirille tehtävien mittausten avulla. Mikäli suunnitellaan piiri, jonka totuustaulu määritellään sen toiminnan perusteella, on mahdollista, ettei funktion arvoa voida määritellä tai sitä ei ole syytä määritellä joillakin tietyillä arvoyhdistelmillä. Sellaista arvoyhdistelmää kutsutaan don't care -yhdistelmäksi ja se merkitään totuustauluun funktion arvoksi *x*, *X*, *d* tai -. (Haltsonen ym. 2013, 41.)

TAULUKKO 1. Esimerkki totuustaulusta

A	B	C	D	F = AB+CD
0	0	0	0	0
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	1
0	1	0	0	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	0
0	1	1	1	1
1	0	0	0	0
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	0	x	1	1
1	1	0	0	1
1	1	0	1	1
1	1	x	0	1
1	1	x	1	1

2.2 Peruskytkentäfunktiot ja -portit

Jokainen kytkentäfunktio pystytään esittämään kolmen peruskytkentäfunktion avulla, joita kutsutaan myös loogisiksi perusoperaatioiksi. Peruskytkentäfunktioihin kuuluvat AND-funktio eli JA-funktio, OR-funktio eli TAI-funktio ja NOT-funktio. Kutakin peruskytkentäfunktiota vastaa myös persportti, jolla funktio voidaan toteuttaa käytännössä. Nämä portit ovat TAI-portti, JA-portti ja EI-portti, joka tunnetaan myös nimellä invertteri. (Haltsonen ym. 2013, 42.)

Peruskytkentäfunktioita käytetään kytkentäfunktion lausekkeen esittämisessä, koska portteja käytetään digitaalilaitteiden rakentamiseen. Kytkentäfunktion lausekkeessa piirin tulot ovat muuttujia ja piirin lähtö on kytkentäfunktion lausekkeen toteuttama funktio. Kytkentäfunktion arvon laskemisessa käytetään laskujärjestystä. Laskujärjestyksessä suoritetaan ensin JA-funktiot ja sen jälkeen TAI-funktiot. Sulkuja käytetään silloin, kun laskujärjestyksestä poiketaan. Digitaalipiiri pystytään kuvaamaan piirikaaviolla, jossa esitetään portit, joista piiri rakentuu, sekä niiden väliset yhteydet. Jokaisella portilla on kaksi piirrosmerkkiä: toinen on kansainvälisen standardin IEC 60617 (Sesko) mukainen ja toinen on amerikkalainen. (Haltsonen ym. 2013, 42 - 43.)

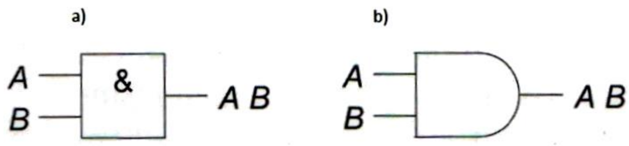
2.2.1 JA-funktio

JA-funktio (AND-function) vastaa aritmetiikassa kertolaskua (Silvonen 2009, 406). Sillä on oltava vähintään kaksi muuttujaa. JA-funktio saa arvon yksi vain siinä tapauksessa, kun funktion kaikkien muuttujien arvo on yksi. Eli jos funktion kaikista arvoista jollakin on arvo nolla tai kaikki muuttujat ovat nolla, funktion arvo on nolla. Esimerkiksi funktio, jossa tuloina ovat muuttujat A ja B, molemmat muuttujat ovat saaneet arvon yksi, funktion lähtö on myös yksi. Mutta jos molemmat tai toinen muuttujista saa arvon nolla, funktion tulo saa arvon nolla. Alla on tehty totuustaulu JA-funktiosta, jossa on havainnollistettu edellä kerrottu esimerkki selkeämmin (taulukko 2). (Haltsonen ym. 2013, 43.)

TAULUKKO 2. JA-funktion totuustaulu

A	**B**	**AB**
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

JA-funktiolla on oma merkitsemistapansa. Siinä tulot kerrotaan keskenään eli tulojen väliin laitetaan kertomerkki. Esimerkiksi muuttujien A ja B JA-funktio on $A \cdot B$, $A \wedge B$ tai AB. Jälkimmäistä merkintää voidaan käyttää vain silloin, kun ei ole sekaantumisen vaaraa eli kun kaikki funktion tulojen nimet ovat yksikirjaimisia. Alla olevassa kuvassa on AND-portti (kuva 2). (Haltsonen ym. 2013, 43.)



KUVA 2. AND-portti a) IEC 60617 -standardin mukainen piirrosmerkki b) amerikkalainen piirrosmerkki (Haltsonen ym. 2013, 43.)

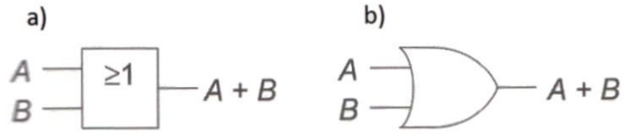
2.2.2 TAI-funktio

TAI-funktio (OR-function) vastaa aritmetiikassa yhteenlaskua (Silvonen 2009, 406). JA –funktion tapaan sillä on oltava vähintään kaksi muuttujaa. TAI-funktion arvo on nolla, silloin kun funktion kaikkien tulojen muuttujien arvot ovat nolla. (Haltsonen ym. 2013, 43.) Toisinsanoen kun funktiossa jokin tulojen muuttujista tai kaikki tulojen muuttujat ovat saaneet arvon yksi, TAI-funktion arvo on yksi. Esimerkiksi jos funktiossa, jossa ovat tulojen muuttujat A ja B, tulo A on saanut arvon yksi ja tulo B on saanut yksi, funktio saa arvon yksi. Jos tulo A tai tulo B on saanut arvon yksi ja toinen on saanut arvon nolla, funktion arvo on yksi. Jos kuitenkin molemmat tulot eli tulot A ja B ovat saaneet arvon nolla, funktion arvo on myös nolla. Alla on tehty totuustaulu TAI-funktiosta, jossa on havainnollistettu edellä kerrottu esimerkki (taulukko 3).

TAULUKKO 3. TAI-funktion totuustaulu

A	B	A+B
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

TAI-funktion muuttujat merkitään laittamalla muuttujien väliin plusmerkki, esimerkiksi A + B. Se voidaan myös merkitä A ∨ B. Alla olevassa kuvassa on OR-portti (kuva 3). (Haltsonen ym. 2013, 43.)



KUVA 3. OR-portti a) IEC 60617 -standardin mukainen piirrosmerkki b) amerikkalainen piirrosmerkki (Haltsonen ym. 2013, 43.)

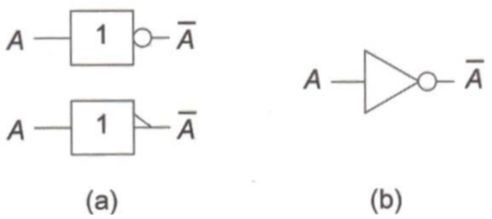
2.2.3 EI-funktio

EI-funktio (NOT-function) kutsutaan myös nimillä komplementti, negaatio ja inversio. Toisinkuin TAI- ja JA-funktiot, EI-funktiolla on vain yksi muuttuja (Haltsonen ym. 2013, 44). EI-funktio saa arvon yksi, silloin kun funktion tulo on nolla ja kun funktion tulon arvo on yksi, saa EI-funktio arvon nolla (taulukko 4).

TAULUKKO 4. EI-funktion totuustaulu

A	A'
0	1
1	0

Muuttujan merkitseminen funktiossa tapahtuu useammalla tavalla $\overline{A}, A', \neg A$ tai $!A$ (Haltsonen ym. 2013, 41). EI-funktion portista käytetään myös nimeä invertteri (kuva 4).



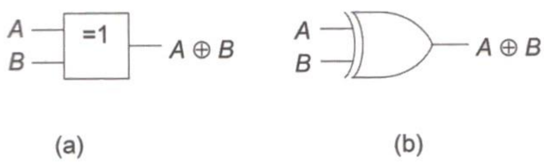
KUVA 4. NOT-portti a) IEC 60617 -standardin mukainen piirrosmerkki b) amerikkalainen piirrosmerkki (Haltsonen ym. 2013, 44.)

2.3 Lisäfunktiot ja - portit

JA-, TAI- ja EI-funktiot eivät ole ainoat funktiot, joita käytetään kombinaatiopiireissä. Näiden porttien lisäksi on EHDOTON TAI-, JA-EI-, TAI-EI- ja ekvivalenssifunktiot, joita käytetään piirien toteutuksissa. Kun käytetään JA-EI-, TAI-EI- ja XNOR-funktioita, tarvitaan funktioiden sieventämiseen De Morganin kaavoja.

2.3.1 EHDOTON TAI -funktio

EHDOTON TAI-funktiota (myös nimeltään XOR-funktio) käytetään ainoastaan kahdelle muuttujalle. Se toimii samalla tavalla kuin normaali TAI-funktio, mutta siinä yksi poikkeus. XOR-funktio saa arvon nolla myös silloin kun molempien muuttujien arvo on yksi (taulukko 5). XOR-funktiossa muuttujien väliin kirjoitetaan +-merkin sijasta ⊕-merkki (Haltsonen ym. 2013, 71). Esimerkiksi B ⊕ C on myös samalla tavalla merkitty kuin B’C = BC’. Alla olevassa kuvassa (kuva 5) on XOR-portti.



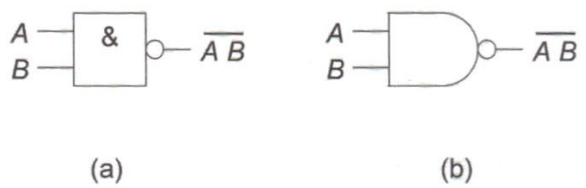
KUVA 5. XOR-portti a) IEC 60617 -standardin mukainen piirrosmerkki b) amerikkalainen piirrosmerkki (Haltsonen ym. 2013, 71.)

TAULUKKO 5. XOR-funktion totuustaulu

A	B	$A \oplus B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

2.3.2 JA-EI-funktio

JA-EI-funktio eli NAND-funktio saadaan kun yhdistetään JA- ja EI-funktiot peräkkäin. JA-EI-funktio toimii päinvastaisesti kuin normaali JA-funktio eli jos molemmat tai jompikumpi muuttujista on nolla, niin silloin funktio saa arvon yksi (Haltsonen ym. 2013, 68). Jos molemmat muuttuja saavat arvon yksi, on funktion arvo silloin nolla (taulukko 6).



KUVA 6. NAND-portti a) IEC 60617 -standardin mukainen piirrosmerkki b) amerikkalainen piirrosmerkki (Haltsonen ym. 2013, 68.)

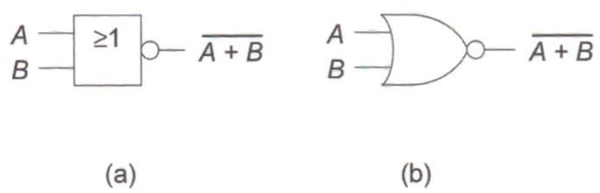
JA-EI-portti (kuva 6) on sisäiseltä rakenteeltaan yksinkertaisempi kuin normaali JA-portti, minkä vuoksi niitä käytetäänkin tulojen summamuotoisten lausekkeiden toteutukseen. JA-EI-portista voidaan tehdä EI-portti, jolla tulo voidaan komplementoida, yhdistämällä tulot yhteen. (Haltsonen ym. 2013, 68)

TAULUKKO 6. NAND-funktion totuustaulu

A	B	$\overline{AB}$
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

2.3.3 TAI-EI-funktio

TAI-EI-funktio eli NOR-funktio saadaan kun yhdistetään TAI- ja EI-funktiot. TAI-EI-funktio toimii päinvastoin kuin normaali OR-funktio, eli jos jompikumpi muuttujista tai molemmat muuttujat ovat saaneet arvon yksi, niin silloin funktio saa arvon nolla. Jos molemmat muuttujat ovat nolla, silloin funktio saa arvon yksi (taulukko 7). (Haltsonen ym. 2013, 70.)



KUVA 7. NOR-portti a) IEC 60617 -standardin mukainen piirrosmerkki b) amerikkalainen piirrosmerkki (Haltsonen ym. 2013, 70)

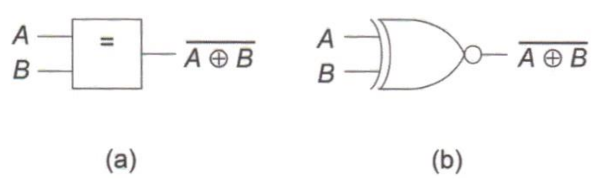
TAI-EI-portti on sisäiseltä rakenteeltaan yksinkertaisempi kuin tavallinen OR-portti, minkä takia sitä käytetäänkin sitä summien tulomuotoisten lausekkeiden toteutukseen. TAI-EI-portista (kuva 7) voidaan tehdä EI-portti, jolla tulo voidaan komplementoida, yhdistämällä tulot yhteen. (Haltsonen ym. 2013, 70.)

TAULUKKO 7. NOR-funktion totuustaulu

A	B	$\overline{\mathbf{A+B}}$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

2.3.4 Ekvivalenssi-funktio

Ekvivalenssi-funktio eli XNOR-funktio on XOR-funktion komplementtifunktio. Sen arvo on yksi silloin kun tuloilla on samat arvot (taulukko 8). XNOR-funktiossa muuttujien kirjoitetaan sama merkki kuin XOR-funktiossa, mutta koko lauseke komplementoidaan. Esimerkiksi $\overline{x \oplus y}$, joka on myös toisella tavalla kirjoitettuna: A’B’ + AB (Haltsonen ym. 2013, 72). Alla olevassa kuvassa on esitetty XNOR-portti (kuva 8).



KUVA 8. XNOR-portti a) IEC 60617 -standardin mukainen piirrosmerkki b) amerikkalainen piirrosmerkki (Haltsonen ym. 2013, 72.)

TAULUKKO 8. XNOR-funktion totuustaulu

A	**B**	$\overline{A \oplus B}$
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	1

3 KYTKENTÄFUNKTIOT

3.1 Kytkentäalgebra

Kytkentäalgebraa käytetään kytkentäfunktioiden muokkaamiseen ja yksinkertaistamiseen. Kytkentäalgebra on sama kuin Boolen Algebra, mutta muuttujilla on vain kaksi arvoa, 0 ja 1. Kytkentäalgebrassa on omat sääntönsä, jotka jaetaan kahteen ryhmään: aksioomat ja teoreemat. Aksioomiin kuuluu kymmenen sääntöä ja teoreemiin kuuluu kaksi sääntöä. Aksioomat kuuluvat matemaattiseen järjestelmään ja ne ovat minimijoukko peruslauseita, joiden oletetaan olevan totta. Kaikki muu tieto, joka liittyy järjestelmään tavalla tai toisella, johdetaan aksioomien avulla. (Haltsonen ym. 2013, 45.)

Ensimmäinen aksiooma on nimeltään vaihdantalaki. Vaihdantalaissa muuttujien järjestyksellä ei ole väliä TAI- ja JA-operaatiossa. Toinen aksiooma on nimeltään liitäntälaki. Siinä muuttujat voidaan ryhmitellä vapaasti TAI- ja JA-operaatiossa. Kolmas aksiooma on osittelulaki. Osittelulaki määrittelee yhteisen summatermin ja yhteisen tulotermin erottamisen, eli hakee funktioiden muuttujien yhteisen termin. Neljänneksi aksioomaksi kutsutaan tilannetta, jossa muuttuja on TAI- funktiossa nollan kanssa tai JA-funktiossa ykkösen kanssa, jolloin muuttujan arvo ei muutu. Viidennessä aksioomassa esitetään, että jos muuttuja on TAI-funktiossa saman muuttujan komplementin kanssa, arvo on nolla. Vastaavasti jos muuttuja on JA-funktiossa saman muuttujan komplementin kanssa, arvo on silloin yksi. Aksioomat sisältävät kaksi muotoa, joita kutsutaan toisilleen duaalisiksi muodoiksi. Jokaisesta lausekkeesta saadaan sille duaalinen muoto, kun vaihdetaan lausekkeissa yhtä aikaa keskenään kerto- ja yhteenlaskumerkit sekä arvot nolla ja yksi. Aksioomat ovat keskenään duaalisia, mikä tarkoittaa, että jos jokin kytkentäalgebran teoreema pätee, pätee myös sen duaalinen muoto (taulukko 9). (Haltsonen ym. 2013, 45.)

TAULUKKO 9. Aksioomat ja teoreemat. 1. Aksiooma on vaihdantalaki. 2. Aksiooma on liitäntälaki. 3. Aksiooma on osittelulaki. 12. Teoreema on De Morganin kaavat

Nro.	Aksiooma tai teoreema	Duaaliaksiooma tai- teoreema
1.	$A + B = B + A$	$A * B = B * A$
2.	$(A + B) + C = A + (B + C)$	$(A * B) * C = A * (B * C)$
3.	$(A+B)(A+C) = A+(B * C)$	$(A * B)+(A * C) = A * (B+C)$
4.	$A + 0 = A$	$A * 1 = A$
5.	$A + \overline{A} = 1$	$A * \overline{A} = 0$
6.	$A + A = A$	$A * A = A$
7.	$A + 1 = 1$	$A * 0 = 0$
8.	$\overline{\overline{A}} = A$	
9.	$A + A * B$	$A * (A + B) = A$
10.	$A + \overline{A} * B = A + B$	$A * (\overline{A} + B) = A * B$
11.	$A * B + A * \overline{A} = A$	$(A + B) * (A * \overline{B}) = A$
12.	$\overline{A + B} = \overline{A} * \overline{B}$	$\overline{A * B} = \overline{A} + \overline{B}$

Aksioomeilla voidaan todistaa joukko teoreemoja, joita käytetään kytkentäalgebran lausekkeiden muokkaamiseen ja yksinkertaistamiseen. Taulukon 9 12. rivin kaavat ovat nimeltään De Morganin kaavat. Ne ovat tärkeimmät kaavat, kun muokataan kytkentäalgebran kaavoja. De Morganin kaavoja voidaan myös soveltaa kaavoihin, joissa on enemmän kuin kaksi muuttujaa. De Morganin kaavojen mukaan lausekkeen yläpuolella oleva komplementti voidaan jakaa lausekkeen muuttujien päälle, jos muuttujien välinen operaatio vaihdetaan. Kun De Morganin kaavoja sovelletaan, on erityisesti otettava huomioon lausekkeen muoto. Kytkentäalgebrassa on oma laskujärjestys, jossa JA-funktiot suoritetaan ensin ja sen jälkeen TAI-funktiot, ellei järjestystä ole merkitty sulkumerkeillä toisin. De Morganin kaavoja käytettäessä laskujärjestyksen on pysyttävä samana. (Haltsonen ym. 2013, 46.)

3.2 Kytkentäfunktioiden lausekkeiden esitys

Kytkentäfunktiota kuvaava lauseke voidaan kirjoittaa usealla eri tavalla. Kaksi tärkeintä esitysmuotoa ovat tulojen summamuoto eli SOP ja summien tulomuoto eli POS. SOP tulee sanoista Sum of Products ja POS sanoista Product of Sums. Nämä kaksi esitysmuotoa ovat tärkeimmät sen vuoksi, että niiden muodoista on helppo muodostaa porttipiirit. Esimerkiksi lauseke CB + A + ABC on kolmen loogisen tulon eli tulotermin (product term), CB, A ja ABC summa, joten sitä voidaankin kutsua tulojen summamuotoiseksi lausekkeeksi. Termi A on myös tulotermi, vaikka siinä onkin vain yksi muuttuja. Toisessa esimerkissä otetaan lauseke (A+B)(A+B+C), jossa on kahden summatermin (sum term) A+B ja A+B+C tulo, joten sitä kutsutaan summien tulomuotoiseksi lausekkeeksi. Näiden lausekkeiden käyttö riippuu siitä, millaisilla porteilla funktio on tarkoitus rakentaa. (Haltsonen ym. 2013, 47.)

Jos funktio on summien tulomuotoinen lauseke, se on mahdollista muuttaa tulojen summamuotoiseksi lausekkeeksi, kun käytetään osittelulakia. Samoin tulojen summamuotoinen lauseke pystytään muuttamaan summien tulomuotoiseksi lausekkeeksi käyttämällä samaa aksioomaa. Kolmannen aksiooman lisäksi on mahdollista, että tarvitaan myös ensimmäistä ja viidennettä aksoomaa.

Komplementtifunktio on kytkentäfunktion EI-funktio. Esimerkiksi funktion A komplementtifunktio on A = B’ ja puolestaan funktion B on B = A’. Funktion B:n totuustaulu saadaan funktion A totuustaulusta, kun korvataan kaikki funktion A nollat ykkösiksi ja ykköset nolliksi. Funktion B:n kanonisessa muodossa ovat mukana kaikki ne termit, jotka puuttuvat funktion A vastaavasta kanonisesta muodosta. (Haltsonen ym. 2013, 50.)

3.2.1 Kanoniset muodot

Kanonisella muodolla tarkoitetaan tulojen summa- tai summien tulomuotoista lauseketta, jokaisessa tulo- tai summatermissä on jokainen muuttuja tai sen komplementti. Kanonisen muodon lausekkeessa ei saa olla samaa termi useita kertoja tai termissä ei saa olla samoja muuttujia useita kertoja. Kanoniset muodot ovat siis muuttujien ja termien järjestystä vaille yksikäsitteisiä, mikä tarkoittaa sitä, että kytkentäfunktiolla vain yksi kanoninen tulojen summamuotoinen lauseke ja vain yksi kanoninen summien tulomuotoinen lauseke. Kanonisten muotojen tärkeys on siinä, että niitä käytetään lähtökohtina, kun kytkentäfunktioiden lausekkeita sievennetään eli yksinkertaistetaan tulojen summamuotoon tai summien tulomuotoon. (Haltsonen ym. 2013, 48.)

Kanonisessa muodossa tulotermi on nimeltään minimitermi, josta käytetään myös nimeä mintermi. Se saa arvon yksi ainoastaan yhdellä muuttujien arvoyhdistelmällä. Summatermiä kutsutaan nimellä maksimitermi, mutta siitä käytetään myös nimeä maxtermi. Se saa arvon nolla ainoastaan yhdellä muuttujien arvoyhdistelmällä. Kun kanonisen muodon lauseketta kuvataan totuustaulussa, minimitermiä merkitään kirjaimella m ja maksimitermiä M. Kirjaimen perään liitetään totuustaulun rivin numero, jolla minimitermi saa arvo yksi ja maksimiarvo saa arvon nolla. (Haltsonen ym. 2013, 48.)

Totuustaulu (taulukko 10) voidaan laatia sen perusteella, miten piirin on suunniteltu toimivan. Totuustaulusta voidaan muodostaa suunnitellulle piirille joko kanoninen tulojen summamuotoinen tai kanoninen summien tulomuotoinen lauseke. Kanoniseen tulojen summamuotoiseen lausekkeeseen valitaan ainoastaan ne minimitermit, joiden funktion arvo on yksi. Kanonisten summien tulomuotoiseen lausekkeeseen puolestaan valitaan ainoastaan ne maksimitermit, joiden funktion arvo on nolla. (Haltsonen ym. 2013, 48 - 49.)

TAULUKKO 10. Esimerkki kanonisesta totuustaulusta

A	B	C	Minimitermi	Maksimitermi
0	0	0	$\overline{A}\,\overline{B}\,\overline{C} = m0$	$A + B + C = M0$
0	0	1	$\overline{A}\,\overline{B}\,C = m1$	$A + B + \overline{C} = M1$
0	1	0	$\overline{A}\,B\,\overline{C} = m2$	$A + \overline{B} + C = M2$
0	1	1	$\overline{A}\,B\,C = m3$	$A + \overline{B} + \overline{C} = M3$
1	0	0	$A\,\overline{B}\,\overline{C} = m4$	$\overline{A} + B + C = M4$
1	0	1	$A\,\overline{B}\,C = m5$	$\overline{A} + B + \overline{C} = M5$
1	1	0	$A\,B\,\overline{C} = m6$	$\overline{A} + \overline{B} + C = M6$
1	1	1	$A\,B\,C = m7$	$\overline{A} + \overline{B} + \overline{C} = M7$

3.2.2 Porttipiirin piirikaavio ja aikakaavio

Kun halutaan toteuttaa funktio porttipiireillä, piirretään funktiosta piirikaavio. Jokainen portti kuvataan niiden omilla piirrosmerkeillä ja porttien välisiä kytkentöjä signaaliviivoilla. Signaaliviivat kulkevat aina vasemmalta oikealle ja ylhäältä alas. Jos signaaliviivalla on poikkeava kulkusuunta, merkitään kulkusuunta nuolella. Signaaliviivan ollessa lyhyt, sitä ei tarvitse piirtää. Piirikaavio voidaan piirtää kahdella tavalla, joko lähtösignaalista taaksepäin tai tulosignaaleista eteenpäin. (Haltsonen ym. 2013, 50.)

Piirin toiminta voidaan kuvata myös piirtämällä aikakaavio. Aikakaaviossa näkyvät piirin kannalta tärkeimmät tulosignaalien aikariippuvuudet sekä piirin lähtösignaali. Eräs aikakaavion esitystapa on esittää aikakaavio myös siten, että muuttujien arvot vaihtuvat systemaattisesti, kuten totuustaulussa on aina tapana tehdä. (Haltsonen ym. 2013, 51 - 52.)

3.3 Kytkentäfunktioiden sieventäminen

Kytkentäfunktioita voidaan sieventää usealla eri tavalla. Ensimmäinen tapa on käyttää Boolen algebraa, jossa sovelletaan aksioomeja ja teoreemeja kytkentäfunktioon ja muutetaan funktio niiden avulla yksinkertaistettuun muotoon. Toinen tapa on käyttää Karnaugh'n karttaa, joka on näistä sievennystavoista helpoin, koska kytkentäfunktioiden lausekkeiden sieventäminen suoritetaan graafisesti. Muita tapoja ovat Quinen-McCluskeyn menetelmä (Nowick, 2013) ja Espresso-menetelmä (Zhou, 2002). Karnaugh'n kartta on kaikista sievennystavoista kaikista käytetyin.

3.3.1 Kytkentäfunktioiden sievennys Boolen Algebraa käyttäen

Kytkentäfunktioiden sieventäminen Boolen Algebralla on suhteellisen helppoa, jos muistaa kaikki aksioomat ja teoreemat. Sievennys tapahtuu tarkastelemalla kytkentäfunktiota ja vertaamalla kytkentäfunktion muuttujien funktioita Boolen Algebran aksioomeihin ja teoreemoihin. Jos huomataan, että funktiossa on yhtäläisyyttä, voidaan kytkentäfunktion muuttujien funktioita muuttaa sen aksiooman tai teoreeman mukaisesti, joka funktiosta huomataan.

Esimerkki 1:
Sievennä kytkentäfunktio

$$F = A\overline{B} + AB + C \tag{1}$$

Kuten huomataan kaavasta 1, kytkentäfunktion alkuosaan voidaan käyttää aksioomaa nimeltään osittelulaki, joka on AB + AC = A(B + C), kytkentäfunktio sieventyy alla olevaksi funktioksi (kaava 2).

$$F = A(\overline{B} + B) + C \tag{2}$$

Sulkujen sisällä olevaan funktioon voidaan käyttää aksioomaan $\overline{A} + A = 1$, jolloin kytkentäfunktio sievenee alla olevaksi funktioksi (kaava 3).

$$F = A(1) + C \tag{3}$$

Nyt kytkentäfunktion alkuosaan voidaan käyttää toista aksioomaa A * 1 = A, jolloin kytkentäfunktio seuraavaksi funktioksi (kaava 4).

$$F = A + C \tag{4}$$

Alkuperäinen kytkentäfunktio on sieventynyt toisenlaiseksi funktioksi. Tällä tavalla suoritetaan kytkentäfunktioiden sieventäminen käyttämällä Boolen Algebran aksioomeja ja teoreemoja.

Esimerkki 2:

Sievennä kytkentäfunktio

$$F = (AB + \overline{A}C)(BC + A\overline{B}) \tag{5}$$

Ensin avataan sulut eli kerrotaan tekijät keskenään kaavasta 5, jolloin saadaan seuraavanlainen funktio (kaava 6):

$$F = ABBC + ABA\overline{B} + \overline{A}CBC + \overline{A}CA\overline{B} \tag{6}$$

Nyt kun sulut ovat poissa, voidaan aloittaa funktion sieventäminen. Ensin käytetään aksioomaa nimeltään vaihdantalaki, jolloin voidaan järjestellä muuttujien järjestystä (kaava 7).

$$F = ABBC + AAB\overline{B} + \overline{A}BCC + A\overline{A}\,\overline{B}C \tag{7}$$

Muuttujien laittaminen helpottaa funktion sieventämistä, sillä huomataan, että kahdessa AND-funktiossa on sama muuttuja sekä invertoituna että ei-invertoituna. Silloin voidaan käyttää aksioomaa A * A’ = 0, jolloin koko AND-funktion arvoksi tulee nolla, koska käytetään aksioomaa A * 0 = 0. Sievennyksen jälkeen funktioksi jää (kaava 8):

$$F = ABBC + \overline{A}BCC \tag{8}$$

Molemmissa AND-funktioissa on kaksi samaa muuttujaa eli käytetään aksioomaa A * A = A, jolloin jäljelle jää enää kaavan 9 mukainen funktio:

$$F = ABC + \overline{A}BC \tag{9}$$

Sitten käytetään osittelulakia, koska molemmissa funktioissa on yhteinen tekijä BC, kuten kaavassa 10 on tehty:

$$F = BC\,(A + \overline{A}) \tag{10}$$

Sulkujen sisälle sovelletaan A + A’ = 1 aksioomaa ja sen jälkeen A * 1 = A aksioomaa, jolloin funktioksi saadaan kaavan 11 mukainen funktio:

$$F = BC \tag{11}$$

Jos funktiossa on NAND- tai NOR-funktioita, käytetään De Morganin kaavoja. De Morganin kaavojen avulla voidaan hajottaa funktion päällä oleva komplementtiviiva muuttujien päälle, mutta samalla funktion operaatio muuttuu.

Esimerkki 3:

Sievennä funktio

$$F = \overline{ABC + BC} \tag{12}$$

Kun käytetään funktioon De Morganin kaavoja kaavaan 12, joudutaan lisäämään sulut, koska laskujärjestys ei saa muuttua. Joten funktioksi saadaan kaavan 13 mukainen funktio:

$$F = \left(\overline{ABC}\right)\left(\overline{BC}\right) \tag{13}$$

Sulkujen sisälle käytetään De Morganin kaavaa, jolloin funktioksi saadaan kaavan 14 mukainen funktio:

$$F = \left(\overline{A} + \overline{B} + \overline{C}\right)\left(\overline{B} + \overline{C}\right) \tag{14}$$

Nyt funktio voidaan sieventää normaaliin tapaan käyttäen Boolen Algebraa. Aloitetaan poistamalla sulkumerkit, jolloin tekijät kerrotaan keskenään, kuten kaavassa 15 on tehty.

$$F = \overline{A}\,\overline{B} + \overline{A}\,\overline{C} + \overline{B}\,\overline{B} + \overline{B}\,\overline{C} + \overline{C}\,\overline{B} + \overline{C}\,\overline{C} \tag{15}$$

Tämän jälkeen sovelletaan A * A = A aksioomaa ja vaihdantalakia, jolloin saadaan kaavan 16 mukainen funktio:

$$F = \overline{B} + \overline{A}\,\overline{B} + \overline{A}\,\overline{C} + \overline{B}\,\overline{C} + \overline{B}\,\overline{C} \tag{16}$$

Sitten sovelletaan A + A = A aksioomaa kohtaan B’C’ + B’C’, jolloin saadaan kaavan 17 mukainen funktio:

$$F = \overline{B} + \overline{A}\,\overline{B} + \overline{A}\,\overline{C} + \overline{C} + \overline{B}\,\overline{C} \tag{17}$$

B’C’ + C’ ja A’B’ + B’ kohtiin voidaan soveltaa kaavaa A + AB = A, jolloin saadaan kaavan 18 mukainen funktio:

$$F = \overline{B} + \overline{A}\,\overline{C} + \overline{C} \tag{18}$$

Ja kun käytetään uudestaan kaavaa A + AB = A kohtaan A’C’ + C’ saadaan lopullinen funktio, joka on kaavan 19 mukainen:

$$F = \overline{B} + \overline{C} \tag{19}$$

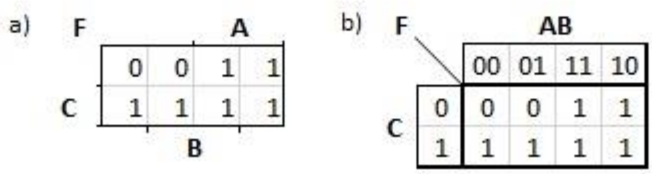
De Morganin kaavoja käyttäessä tulee muistaa ottaa huomioon laskujärjestys. Tällöin täytyy lisätä funktioon sulkumerkit, jotta laskujärjestys ei muuttuisi.

3.3.2 Kytkentäfunktioiden sievennys Karnaugh'n karttaa käyttäen

Karnaugh'n kartalla sieventäminen on paljon helpompaa kuin Boolen Algebralla sieventäminen. Karnaugh'n kartalla sieventämiseen tarvitaan kytkentäfunktion totuustaulu, josta saadaan piirrettävään karttaan kytkentäfunktion lähtöjen tilat. Karnaugh'n karttaa voidaan soveltaa maksimissaan jopa kuuden muuttujan kytkentäfunktioihin. Karnaugh'n kartan koko määrittyy sen mukaan miten paljon kytkentäfunktiossa on muuttujia. Kahden muuttujan Karnaugh'n kartta on kaksi kertaa kaksi ruutua (kuva 10), kolmen muuttujan kaksi kertaa neljä ruutua (Kuva 9) ja neljän muuttujan neljä kertaa neljä ruutua (kuva 11). Jos funktiossa on viisi muuttujaa, tehdään kaksi osa karttaa, jossa toisessa kartassa yksi muuttujista on aina nolla ja toisessa kartta aina yksi. Kun käytetään viiden muuttujan karttaa (kuva 12), kartat laitetaan päällekkäin. Karnaugh'n kartalla voidaan sieventää myös kuuden tai enemmän muuttujan funktioita, mutta niiden käyttö on todella monimutkaista. Jos käytetään neljän, viiden tai kuuden muuttujan Karnaugh'n karttaa, tulee kartta täyttää, kuten kuvassa 11 on tehty. (Haltsonen ym. 2013, 55.)

Jokainen Karnaugh'n kartan ruutu vastaa yhtä riviä totuustaulussa. Kartasta on tarkoitus rajata alueet, joilla funktion arvo on tosi eli arvo on yksi. Rajatut alueet saavat yhden ruudun, kahden ruudun, neljän ruudun, kuuden ruudun tai minkä tahansa parillisen ruutujen määrän kokoinen alue, kunhan vain kaikki kartalla olevat tosi arvot eli ykköset ovat jossakin rajatun alueen sisällä. Alueet voivat jatkua kartan ulkopuolella, jos kartan vastakkaisessa reunassa on tosi arvoja. Alueet nimetään niitä kuvaavilla funktiolausekkeilla ja sen jälkeen muodostetaan kytkentäfunktio. Kytkentäfunktio muodostetaan laittamalla funktiolausekkeet joko tulojen summamuotoiseen lausekkeeseen tai summien tulomuotoiseen lausekkeeseen. Tulojen summamuotoisessa lausekkeessa tarkastellaan kartassa arvoja, jotka ovat ykkösiä ja summien tulomuotoisessa lausekkeessa niitä arvoja, jotka ovat nollia. (Haltsonen ym. 2013, 58 - 63.)

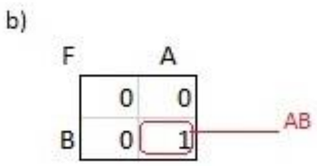
Karnaugh'n kartalla on kaksi erilaista esitysmuotoa (kuva 9):



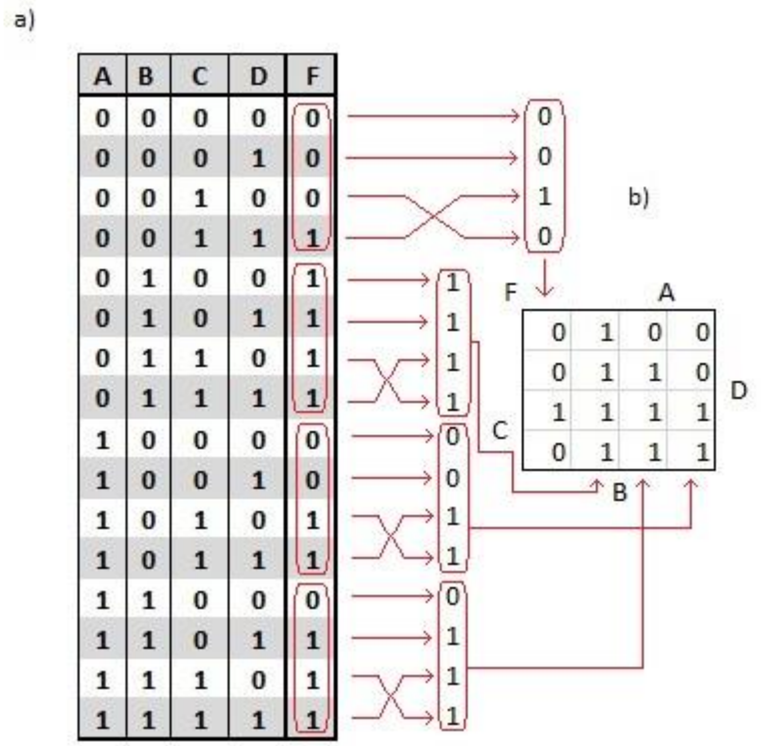
KUVA 9. Karnaugh'n kartan esitystavat a) ensimmäinen esitystapa b) toinen esitystapa

a)

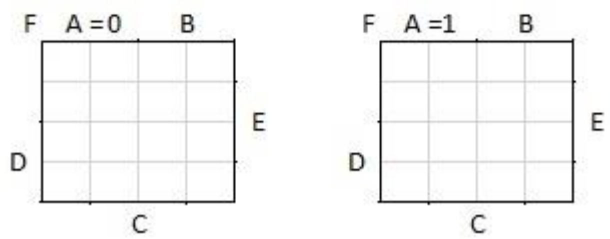
A	B	AB
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



KUVA 10. Kahden muuttujan a) totuustaulu b) ja siitä tehty Karnaugh'n kartta



KUVA 11. Esimerkki neljän muuttujan a) totuustaulusta ja b) siitä tehdystä Karnaugh’n kartasta



KUVA 12. Viiden muuttujan Karnaugh'n kartta

Esimerkki:

Sievennä funktio käyttämällä Karnaugh’n karttaa:

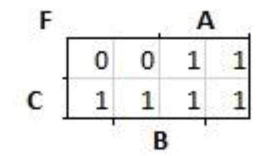
$$F = A\overline{B} + AB + C \qquad (20)$$

Ensin laaditaan kytkentäfunktiosta (kaava 20) totuustaulu (taulukko 11):

Taulukko 11. Esimerkki 1. totuustaulu

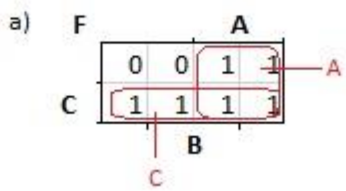
A	B	C	F = AB + AB' + C
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	1
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

Kun totuustaulu on laadittu, siirretään funktion arvot Karnaugh’n karttaan (kuva 13).



KUVA 13. Karnaugh’n kartta esimerkistä

Kun Karnaugh’n kartta on muodostettu, aloitetaan alueiden rajaaminen (kuva 14).



Kuva 14. Karnaughin kartasta etsitään kaikki alueet, joissa on tosi arvoja eli arvo on 1

Kun alueet on rajattu, merkitään jokainen alue niitä kuvaavilla funktiolausekkeilla, kuten kuvassa 14 on tehty. Tämän jälkeen muodostetaan kytkentäfunktio tekemällä lausekkeista tulojen summamuotoinen lauseke eli F = A + C.

3.3.3 Muut sievennystavat

Muita sievennystapoja ovat Quinen-McCluskeyn menetelmä (Nowick 2013) ja Espresso-menetelmä (Zhou 2002). Quinen-McCluskeyn menetelmä on melkein samanlainen kuin Karnaugh’n kartta -menetelmä, mutta se on paljon monimutkaisempi. Nykyään sitä ohjelmoidaankin enemmän tietokoneella. Espresso-menetelmää käytetään tietokoneohjelmissa, jotka ratkaisevat loogisia piirejä.

4 KEHITTYNEEMMÄT PIIRIKOMPONENTIT

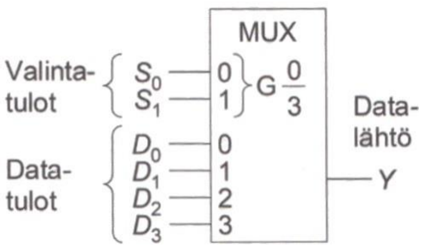
4.1 Multiplekseri eli tulovalitsin

Multiplekseri eli tulovalitsin on kombinaatiopiirin komponentti. Tulovalitsimessa on kahdenlaisia tuloja, datatuloja ja valintatuloja. Siinä on *n* määrä digitaalisia sisääntuloja ja $\log_2(n)$ määrä valintatuloja. Esimerkiksi nelituloisessa tulovalitsimessa on neljä sisääntuloa eli valintatuloja on silloin kaksi, kuten alla olevasta taulukosta voidaan huomata (taulukko 12). (Haltsonen ym. 2013, 78.)

Tulovalitsimen piirrosmerkissä käytetään merkintää MUX (kuva 15). Eri signaalien väliset riippuvuudet merkitään riippuvuusmerkinnöillä. Riippuvuusmerkinnällä G esitetään JA-riippuvuuteen liittyvä arvo, joka määräytyy valintatulojen perusteella. Tämä arvo riippuu siitä, kuinka monta datatuloa käytettävässä tulovalitsimessa on ja sillä viitataan yleensä datatulojen numerointiin. Lyhyesti se siis kertoo, mikä datatulo kytketään lähtöön. Jos halutaan lisätä datatulojen määrää, kytketään pienempituloisia tulovalitsimia yhteen. Kun toteutetaan kombinaatiopiiriä, voidaan siinä käyttää tulovalitsinta. Totuustaulua tehdessä pitää muistaa, että mikäli funktiossa on sama määrä muuttujia kuin tulovalitsimessa on valintatuloja, kytketään muuttujat valintatuloihin ja totuustaulun arvot kytketään datatuloihin. Mutta jos funktiossa on enemmän muuttujia kuin tulovalitsimessa on valintatuloja, osa muuttujista merkitään valintatuloihin ja loput muuttujat kytketään datatuloihin siten, että totuustaulusta otetaan muuttujien funktiot ja kytketään ne datatuloihin. (Haltsonen ym. 2013, 78 - 80.)

TAULUKKO 12. Multiplekserin totuustaulu

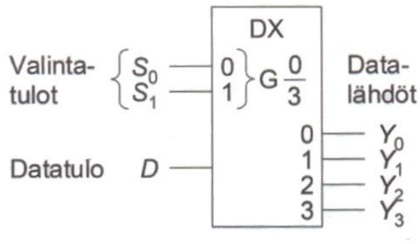
S_1	S_0	Y
0	0	D_0
0	1	D_1
1	0	D_2
1	1	D_3



KUVA 15. Multiplekserin piirrosmerkki (Haltsonen ym. 2013, 79.)

4.2 Demultiplekseri eli lähtövalitsin

Demultiplekseri eli lähtövalitsin (kuva 16) toimii päinvastaisesti kuin tulovalitsin. Siinä on vain yksi datatulo, mutta siinä on useita lähtöjä. Lähtövalitsimessa lähtöjen määrä on *n* määrä ja valintatulojen määrä on $\log_2(n)$, eli siis sama kuin tulovalitsimessa tulojen määrä. Lähtövalitsimessa valintatuloilla ohjataan datatulon kulkua eli sitä, mihin lähdöistä datatulo menee, kuten totuustaulusta nähdään (taulukko 13). (Haltsonen ym. 2013, 82.)



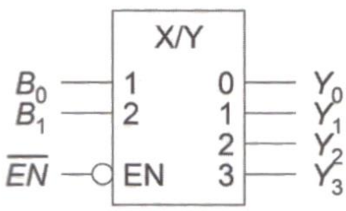
KUVA 16. Lähtövalitsimen piirrosmerkki (Haltsonen ym. 2013, 82.)

TAULUKKO 13. Lähtövalitsimen totuustaulu

S_1	S_0	Y_0	Y_1	Y_2	Y_3
0	0	D	0	0	0
0	1	0	D	0	0
1	0	0	0	D	0
1	1	0	0	0	D

4.3 Dekooderi

Dekooderi on piiri, jonka tarkoituksena on koodata binääriluvut yksikäsitteisiksi binäärikoodeiksi. Se tunnistaa tuloihin tulevan bittikombinaation ja se muuttaa tuloon tulevan binääriluvun binäärikoodiksi. Dekooderissa on n määrä sisääntuloja ja 2^n määrä ulostuloja. Bittikombinaatiota vastaava lähtö saa arvon yksi ja kaikki muut lähdöt saavat arvon nolla (taulukko 14). Jos lähdöt ovat invertoituja, bittikombinaation lähtö on nolla ja kaikki muut lähdöt ovat ykkösiä. Dekooderissa on EN-tulo eli sallintatulo, jolla piiri toimii normaalisti. Mikäli sallintatulo on ei-aktiivinen, kaikki lähdöt ovat nollia, mutta jos dekooderissa lähdöt ovat invertoitu, kaikki lähdöt ovat ykkösiä. Dekooderin piirrosmerkissä (kuva 17) on yleensä tarkennusmerkki X/Y, binääritulot merkitään painokertoimilla ja lähdöt merkitään tulomuuttujien minimitermien numeroilla. (Haltsonen ym. 2013, 83.)



KUVA 17. Dekooderin piirrosmerkki (Haltsonen ym. 2013, 83.)

TAULUKKO 14 Dekooderin totuustaulu

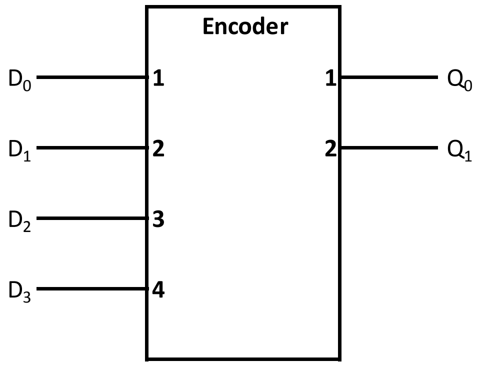
$\overline{EN}$	B_1	B_0	Y_0	Y_1	Y_2	Y_3
0	0	0	1	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0
0	1	0	0	0	1	0
0	1	1	0	0	0	1
1	x	x	0	0	0	0

4.4 Enkooderi

Enkooderi (kuva 18) on piiri, jonka toiminta on päinvastainen kuin dekooderin. Sen tarkoituksena on muuttaa tuloihin tuleva binäärikoodi binääriluvuksi. Enkooderissa on 2^n määrä sisääntuloja ja *n* määrä ulostuloja. Binäärikoodia vastaava lähtö saa sitä vastaavan binääriluvun (taulukko 15). (Storr 2013.)

TAULUKKO 15. Enkooderin totuustaulu

D0	D1	D2	D3	Q1	Q0
0	0	0	1	0	0
0	0	1	0	0	1
0	1	0	0	1	0
1	0	0	0	1	1
0	0	0	0	x	x

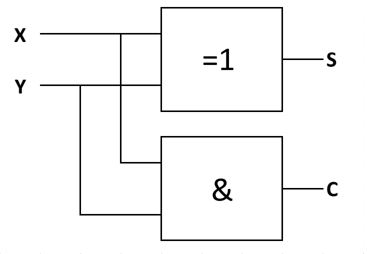


KUVA 18. Kuva enkooderista

4.5 Aritmeettiset piirit

Aritmeettisella piirillä tarkoitetaan porteilla toteutettua piiriä, jolla voidaan laskea peruslaskutoimituksia, kuten yhteen- ja vähennyslaskuja sekä kertolaskuja. Aritmeettisiin piireihin kuuluu puolisummain, kokosummain, puolivähennin ja kokovähennin.

Puolisummaimella (kuva 19) lasketaan kahden yksitavuista lukua yhteen summabitiksi (S) ja antaa myös samalla siirtobitin, jota merkitään C-kirjaimella (C tulee sanasta Carry). Puolisummaimen kytkentäfunktio on $S = X \oplus Y$ ja $C = XY$. Alla olevassa taulukossa (taulukko 16) on esitetty puolisummaimen totuustaulu. (Digitaalitekniikka 2003a.)

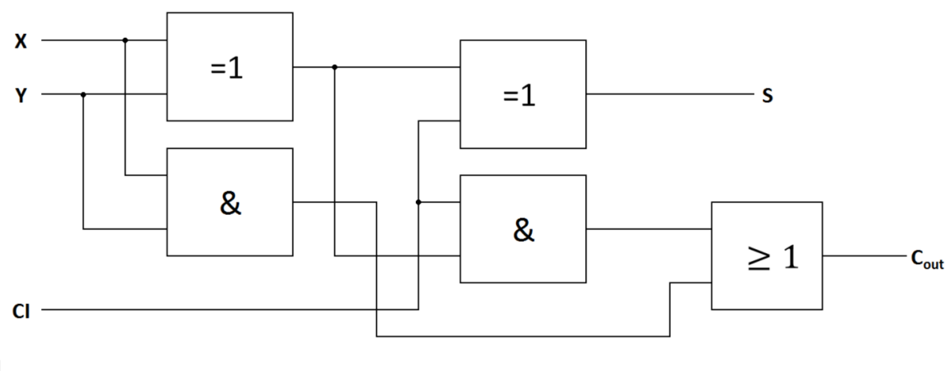


KUVA 19. Kuva puolisummaimesta

TAULUKKO 16. Puolisummaimen totuustaulu

Input X	Input Y	Output C	Output S
0	0	0	0
0	1	0	1
1	0	0	1
1	1	1	0

Kokosummain (kuva 20) on kehittyneempi piiri puolisummaimesta, koska sillä voidaan laskea kolme bittiä yhteen. Kokosummaimeen tulee CI -bitti (CI = Carry in), joka on muistibitti. Muistibitti voi olla muuttuja tai se voi olla myös tulos edellisestä laskutoimituksesta. Kokosummain antaa kolmen muuttujan yhteenlaskusta summabitin S ja muistibitin CO (CO = Carry Out). Kokosummain koostuu kahdesta puolisummaimesta. Alla olevassa taulukossa (taulukko 17) on esitetty kokosummaimen totuustaulu. (Digitaalitekniikka 2003a.)

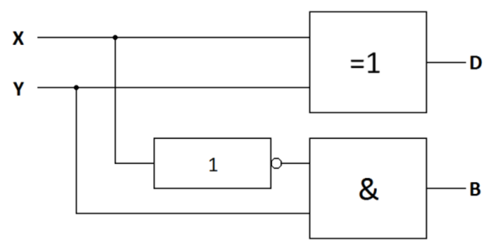


KUVA 20. Kuva kokosummaimesta

TAULUKKO 17. Kokosummaimen totuustaulu

Input X	Input Y	Input CI	Output C	Output S
0	0	0	0	0
0	0	1	0	1
0	1	0	0	1
0	1	1	1	0
1	0	0	0	1
1	0	1	1	0
1	1	0	1	0
1	1	1	1	1

Puolivähennin (kuva 21) on piiri, jolla lasketaan vähennyslaskuja. Sen toiminta ja rakenne ovat melkein samanlaiset kuin puolisummaimella ainoana erona on se, että sen muistibitti B (B = borrow) koostuu kahdesta yksitavuisen bitin tulosta eli AND-funktiosta, joista toinen bitti on invertoitu. Puolivähennin antaa ulos erotusbitin D (D =Difference). Alla olevassa taulukossa (taulukko 18) on esitetty puolivähentimen totuustaulu. (Boberg 2010.)

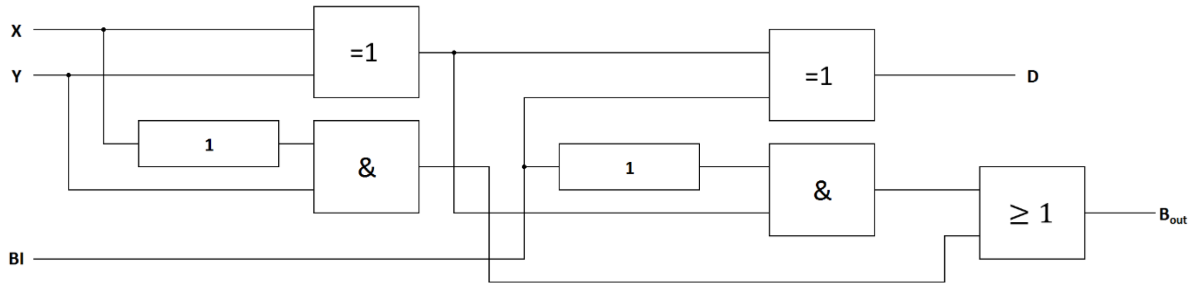


KUVA 21. Kuva puolivähentimestä

Taulukko 18. Puolivähentimen totuustaulu

Input X	Input Y	Output B	Output D
0	0	0	0
0	1	1	1
1	0	0	1
1	1	0	0

Kokovähennin (kuva 22) on muuten samanlainen piiri kuin kokosummain, paitsi puolisummaimien sijaan siinä käytetään puolivähentimiä. Kokovähennin laskee kolme bitin tai kahden bitin ja BI-bitin (BI = Borrow In) erotusbitin D ja muistibitin BO (BO = Borrow out). Alla olevassa taulukossa (taulukko 19) on esitetty kokovähentimen totuustaulu. (Boberg 2010.)



KUVA 22. Kuva kokovähentimestä

TAULUKKO 19. Kokovähentimen totuustaulu

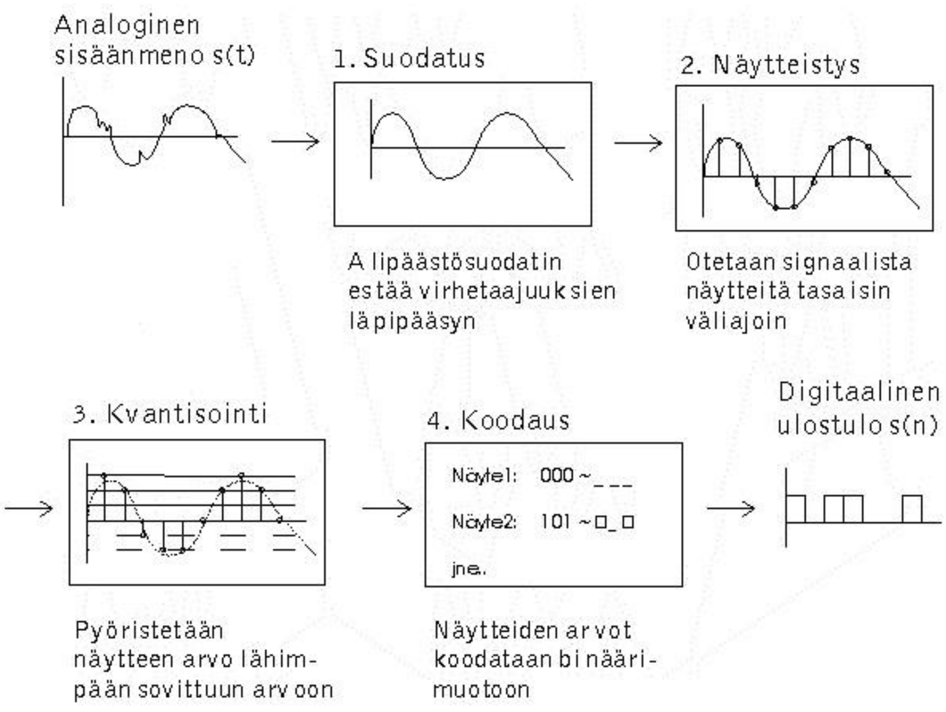
Input X	Input Y	Input BI	Output B	Output D
0	0	0	0	0
0	0	1	1	1
0	1	0	0	1
0	1	1	0	0
1	0	0	1	1
1	0	1	1	0
1	1	0	0	0
1	1	1	1	1

5 ANALOGIA-DIGITAALIMUUNNOS

5.1 AD-muunnin

AD-muunnin on piiri tai kytkentä, joka muuttaa analogisen signaalin digitaaliseen muotoon eli biteiksi. Sitä käytetään silloin kun halutaan muuttaa jotakin analogista signaalia kuten lämpötilaa, valoa, ääntä, resistanssia tai jotakin mitattavaa suuretta digitaaliseen muotoon. Edellä mainitut suureet on helppo mitata digitaalisessa muodossa ja käyttää saatua tietoa eri sovelluksissa ja lähettää sitä myös eteenpäin. Kuten tiedetään, analogisessa signaalissa on kohinaa, jonka takia analogisen signaalin informaatiosisältö tai hyötysignaali on häiriöllinen. AD-muunninta käytetään tämän kyseisen kohinan poistamiseen, sillä jos analoginen signaali käsiteltäisiin sellaisenaan, signaalia käyttävä järjestelmä tai sovellus ei erottaisi kohinaa ja hyötysignaalia toisistaan. (Digitaalitekniikka 2004b.)

AD-muunnoksessa on neljä vaihetta: suodatus, näytteistys, kvantisointi ja koodaus (kuva 23). Suodatuksessa suodatetaan pois kaikki suuritaajuuksiset signaalit, jotka näkyvät analogisessa signaalissa terävinä piikkeinä. Näytteistyksessä analogisesta signaalista otetaan tietyin aikavälein olevia näytteitä, esimerkiksi yhden millisekunnin välein tai 10 millisekunnin välein. Kvantisoinnissa analogisesta signaalista otetut näytteet kvantisoidaan eli pyöristetään lähimpään taulukoituun arvoon. Koodauksessa näytteet koodataan tallentamista tai tiedonsiirtoa varten sopivaan muotoon. (Digitaalitekniikka 2003b.)

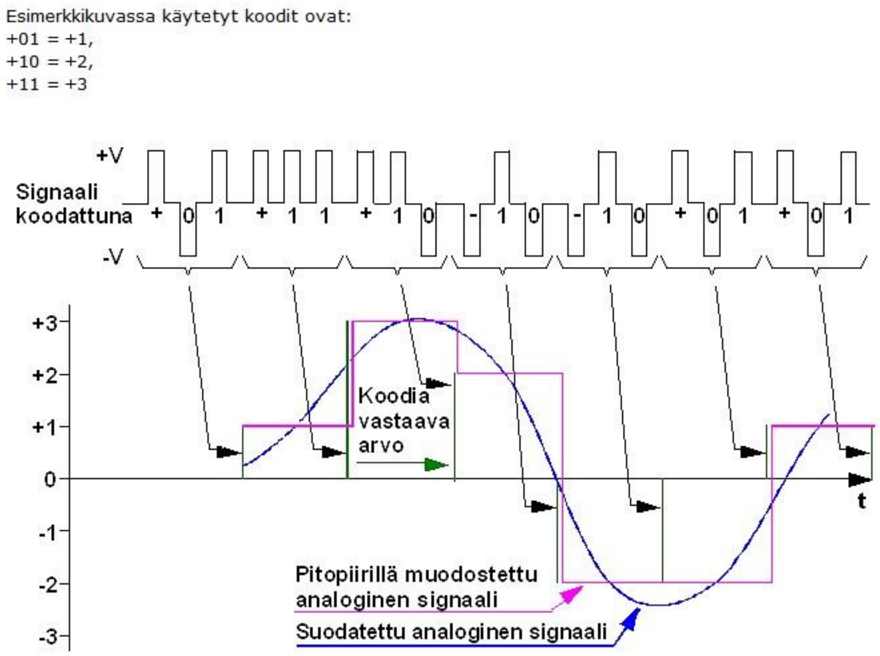


KUVA 23. AD-muunnoksen vaiheet (Digitaalitekniikka 2003c.)

5.2 DA-muunnin

Kun analoginen signaali on muutettu digitaaliseen muotoon, se yleensä muutetaan takaisin analogiseksi signaaliksi käyttämällä DA-muunninta. DA-muunnoksen vaiheita (kuva 24) ovat tiedon dekoodaus, analogisten signaaliarvojen muodostaminen, analogisten signaaliarvojen sijoittaminen, signaaliarvojen venyttäminen pitopiirillä ja kulmikkuuden suodatus.

Tietojen dekoodauksessa dekoodataan valmiiksi koodattu tietodigitaalisiksi arvoiksi eli biteiksi. Sen jälkeen seuraa analogisten signaaliarvojen muodostaminen, jossa luvut eli bitit muutetaan niitä vastaaviksi analogisiksi signaaliarvoiksi. Tämän jälkeen tulee analogisten signaaliarvojen sijoittaminen, jossa analogiset signaaliarvot sijoitetaan peräkkäin. Aikavälinä on AD-muunnoksessa käytetty näytteenottoväli. Sijoittelun jälkeen seuraa signaaliarvojen venyttäminen pitopiirillä, jossa venytetään signaaliarvoja täyttämään arvojen välillä olevat välit. Lopuksi tapahtuu suodattaminen, jossa poistetaan signaalin kulmikkuus. (Digitaalitekniikka 2003c.)



KUVA 24. Kuva DA-muunnoksesta (Digitaalitekniikka 2003c.)

6 OHJELMOITAVAT PIIRIT

Ohjelmoitavilla piireillä tarkoitetaan piirejä, joiden toimintaa ei ole määritetty valmistusvaiheessa, vaan sen toimintaa voidaan ohjata ohjelmoimalla. Ohjelmoitavat piirit voidaan jakaa kolmeen pääryhmään niiden sisäisen rakenteen perusteella: PLD-piirit, FPGA-piirit ja järjestelmäpiirit. PLD-piirit ovat näistä vanhimpia ja ne ovat ohjelmiltaan kiinteitä eli piirille ohjelmoitu ohjelma pysyy piirillä, vaikka piiristä katkaistaisiin sähkö. Osa PLD-piireistä on kerran ohjelmoitavia ja osa taas sellaisia, että ne voidaan ohjelmoida uudelleen. FPGA- piirit ovat kooltaan keskisuuria tai suuria, sillä ne sisältävät useita miljoonia portteja. FPGA-piirit voivat olla ohjelmaltaan joko haihtuvia tai kiinteitä. Haihtuvissa FPGA-piireissä piirille ohjelmoitu ohjelma ei jää talteen piirille, jos piiriltä katkaistaan sähköt, vaan piiri joudutaan ohjelmoimaan uudelleen. Tosin laite voi olla varustettu erillisellä muistipiirillä, joka lataa piirille ohjelman uudestaan, jos sähkö katkaistaan. Kiinteissä FPGA-piireissä ohjelma pysyy piirillä, jos piiriltä katkaistaan sähkö. Järjestelmäpiirit ovat kooltaan suuria ja niissä on porttien lisäksi yksi tai useampi prosessori, muistia, liitäntäpiirejä sekä muita erityislohkoja. Edellä mainittujen ominaisuuksien takia järjestelmäpiirillä voidaan rakentaa laitteen digitaalinen osa kokonaan. Järjestelmäpiirin prosessorien ohjelmat voivat kuitenkin viedä niin paljon muistitilaa, että on käytettävä erillisiä muistipiirejä ohjelmien tallentamiseen. (Haltsonen ym. 2013, 212 - 214.)

Piirien ohjelmoimiseen käytetään omaa ohjelmointikieltä, joka on VHDL-kieli. VHDL-kuvauskieli on todella laaja sekä monipuolinen. VHDL-kieli koostuu kahdesta osasta: suunnitteluyksikön esittely ja VHDL-arkkitehtuuri. Suunnitteluyksikköön tulevat nimet, tulot ja lähdöt sekä tulojen että lähtöjen tyypit. VHDL-arkkitehtuuriin tulee nimi ja toimintojen kuvauskomennot. VHDL-arkkitehtuuri voidaan laatia kahdella tavalla: käyttäytymiskuvauksena tai rakennekuvauksena. Käyttäytymiskuvauksessa esitetään piirin toiminta, mutta se ei ota kantaa itse piirin rakenteeseen. Se vastaa kombinaatiopiiriä määrittelevää totuustaulua tai lauseketta. Rakennekuvauksessa esitetään millaisista komponenteista tai suunnitteluyksiköistä piiri muodostuu. Se ei ota kantaa komponenttien tai suunnitteluyksiköiden toimintaan eikä myöskään piirin toimintaan kokonaisuutena. VHDL-kuvauskieli muistuttaa paljolti C-kieltä, mutta ne ovat kuitenkin täysin erilaiset. Ohjelmoitaville piirille ohjelma siirretään käyttämällä ohjelmointilaitetta. (Haltsonen ym. 2013, 231 - 233.)

7 KOMPONENTTIEN PIIRIPERHEET

Logiikkapiirejä voidaan valmistaa useilla erilaisilla piiritekniikoilla. Ensin ne tehtiin DTL-tekniikalla (diode-transistor logic), sitten TTL-tekniikalla (transistor-transistor logic) ja lopuksi CMOS-tekniikaksi (complementary metal-oxide semiconductor). Piirit voidaan luokitella logiikkaperheiksi niiden porttien sisäisen rakenteen ja niiden toteutuksessa käytetyn tekniikan mukaan. Saman logiikkaperheen piirit sopivat keskenään yhteen ja ne pystytään kytkemään suoraan toisiinsa. Eri logiikkaperheiden väliset kytkennät saattavat tarvita sovituspiirejä. CMOS-piireissä käytetään porteissa NMOS- ja PMOS- transistoreita, jotka kytkevät lähdöt maahan tai käyttöjännitteeseen. Nykyään laitteissa käytetään enää vain CMOS-piirejä. (Haltsonen ym. 2013, 85 - 87.)

8 DIGITAALITEKNIIKAN LABORATORIOTÖIDEN SUUNNITTELU

Suunnittelu aloitettiin tutustumalla digitaalitekniikan perusasioihin ja hankkimalla tietoa eri lähteistä. Laboratoriotöitä suunniteltaessa tuli ottaa huomioon digitaalitekniikan opetussuunnitelmat ja tarkastella edellisvuosien laboratoriotyöohjeita. Näin pystyttiin varmistamaan, että töiden aiheet olisivat tuttuja opiskelijoille eikä mikään aiheista olisi sellainen, jota ei ole opetettu millään digitaalitekniikan kurssilla.

Kun töiden aiheet oli päätetty, aloitettiin laboratoriotöiden sisällön suunnittelu aiheiden pohjalta, jossa päätettiin millaisia töiden pitäisi olla. Ensin tehtiin lista aiheista, minkä jälkeen aloitettiin töiden suunnittelu aihe kerrallaan. Aiheiksi päätettiin peruskombinaatiofunktiot, lisäfunktiot, multiplekseri, dekooderi, aritmeettiset piirit, käytännönläheinen kombinaatiopiiri ja AD-/DA-muuntimet. Demultiplekseri ja enkooderi olisivat myös voineet olla hyviä töiden aiheita, mutta koska niiden toimintatapa on päinvastainen kuin multiplekserin ja dekooderin toimintatapa, jätettiin ne pois suunnitelmasta.

Jokaisesta aiheesta suunniteltiin useita piirejä, joista valittiin sopivimmat piirit laboratoriotöiden suorittamiseen. Kahteen ensimmäiseen aiheeseen valittiin molempiin kaksi piiriä, joista voidaan tehdä toinen tai molemmat. Loppuihin aiheisiin valittiin yksi piiri, joka suoritettiin. Kaikista töistä tehdään totuustaulut ja kytkentäfunktiot, joiden jälkeen suunnitellaan piireistä yksinkertaisempi piiri sieventämällä totuustaulut ja kytkentäfunktiot. Sieventämisen jälkeen yksinkertaistettu piiri simuloidaan Multisim-ohjelmistolla. Simuloinnin jälkeen suunnitellaan piiri toteuttavaksi oikeilla komponenteilla tai ohjelmoitavalla piirillä.

Jokaisesta työstä kirjoitetaan raportti, jossa kerrotaan mitä työssä on tehty ja miten se on toteutettu. Sen lisäksi raporttiin laaditaan totuustaulut ja kytkentäfunktiot töiden piireistä ja tarvittaessa myös osaluettelo.

Töiden tekemiseen soveltuu Fliten valmistama IDL-800 Digital Lab, joiden kytkentäalustalle kytkennät voidaan rakentaa (kuva 25). Laitteesta saadaan kytkennöille tarvittavat jännitteet, kytkimet ja ledit. Malliratkaisuissa on käytetty Digital Lab -laitteen lisäksi Mastech® MS8201 -yleismittaria (kuva 26) ja Elc:n valmistamaa AL 936 -jännitelähdettä. Ohjelmoitavia piirejä varten on käytetty PALASM-ohjelmistoa ja Elnecin valmistamaa SmartProg2 -laitetta.

KUVA 25. IDL-800 Digital Lab-kytkentäalusta (Halonen 2015-4-21.)

KUVA 26. Yleismittari Mastech® MS8201 (Halonen 2015-4-21.)

9 TULOKSET JA POHDINTA

Opinnäytetyössä suunniteltiin ja testattiin digitaalisten kombinaatiopiirien laboratoriotöitä. Kaikki suunnitellut työt toimivat niin kuin pitivätkin, vaikka alussa oli pieniä vaikeuksia. Vaikeudet johtuivat IDL-800-kytkentäalustoista, koska niitä on käytetty opetuksessa niin paljon, että kontaktipinnat eivät johtaneet kunnolla. Sama toistui joidenkin komponenttien pinneissä, koska niitäkin on käytetty niin paljon, että pinneissä oli kontaktihäiriöitä tai pinni oli poikki.

Tähän opinnäytetyöhön suunniteltujen laboratoriotöiden työohjeet ovat liitteessä 2. Opettajan mallivastaukset löytyvät liitteestä 3. Töiden suunnittelussa on otettu huomioon se, että aiheet ovat tuttuja tunneilta ja että jokaisella ryhmällä ei olisi samanlaista laboratoriotyötä.

Opinnäytetyön aihe oli mielenkiintoinen, sillä asiat olivat ennestään vain vähäisessä määrin tuttuja ja niiden parissa oli todella mukava työskennellä. Laboratoriotöitä voitaisiin kehittää tulevaisuudessa siten, että tehdään pieniä muutoksia eri ryhmien kytkentöihin, jotta ryhmät eivät voi kopioida toistensa vastauksia.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

AALTONEN, Juha, KOUSA Seppo ja STOR-PELLINEN Jyrki 2004. Elektroniikan perusteet. 4. painos Limes ry.

FLOYD, Thomas L. 2009. Digital Fundamentals. 10. Painos. New Jersey, USA: Prentice Hall.

HALONEN, Toni 2015-04-21. IDL-800 -kytkentäalusta [digikuva]. Digitaaliset kombinaatiopiirit kuvakokoelma [verkkojulkaisu]. Sijainti: Kuopio: Toni Halosen sähköiset kokoelmat.

HALONEN, Toni 2015-04-21. Yleismittari [digikuva]. Digitaaliset kombinaatiopiirit kuvakokoelma [verkkojulkaisu]. Sijainti: Kuopio: Toni Halosen sähköiset kokoelmat.

HALTSONEN, Seppo, LEVOMÄKI, Jaakko ja RAUTANEN, Esko T. 2013. Digitaalitekniikka. 4 .painos Helsinki: Edita Publishing Oy.

BOBERG, Jorma 2010. Johdatus tietojenkäsittelytieteeseen. Turun Yliopisto. Luentomoniste. [PDF-dokumentti] 2010. [Viitattu 2015-26-4]. Saatavilla: http://staff.cs.utu.fi/staff/jorma.boberg/Mat/JTKTMoniste_16_06_2010.pdf

NOWICK, Steven 24.1.2013. The Quine-McCluskey Method. 2013. [Viitattu 2015-26-4] Saatavilla: http://www.cs.columbia.edu/~cs6861/handouts/quine-mccluskey-handout.pdf

SESKO RY 2015, IEC 60617 Piirrosmerkit. 2015. [Viitattu 2015-26-4] Saatavissa: http://www.sesko.fi/portal/fi/standardeja_ja_direktiiveja/valikoituja_standardisarjoja/piirrosmerkit_iec_60617/

Aalto-yliopisto, Signaalinkäsittelyn laboratorio, Digitaalitekniikan perusteet, [Verkkodokumentti] 2003. [Viitattu 2015-26-4] Saatavilla: http://legacy.spa.aalto.fi/sig-legacy/digis/index.html

Aalto-yliopisto, Signaalinkäsittelyn laboratorio, Signaalitekniikan perusteet, Aritmeettiset piirit 1. [Verkkodokumentti] 2003a.[Viitattu 2015-26-4] Saatavissa: http://legacy.spa.aalto.fi/sig-legacy/digis/luento6/aritm1.html

Aalto-yliopisto, Signaalinkäsittelyn laboratorio, Digitaalitekniikan perusteet, Analogia-digitaalimuunnos. [Verkkodokumentti] 2003b. [Viitattu 2015-26-4] Saatavissa: http://legacy.spa.aalto.fi/sig-legacy/digis/luento1/admuunnos.html

Aalto-yliopisto, Signaalinkäsittelyn laboratorio, Digitaalitekniikan perusteet, Analogia-digitaalimuunnos. [Verkkodokumentti] 2003c. [Viitattu 2015-26-4] Saatavissa: http://legacy.spa.aalto.fi/sig-legacy/digis/luento1/damuunnos.html

SILVONEN, Kimmo 2009. Elektroniikka ja puolijohdekomponentit. Helsinki:Gaudeamus, Otatieto.

STORR, Wayne 2015. ElectronicsTutorials: Priority Encoder. [Verkkodokumentti] 1999-2015 [Viitattu 2015-25-4] Saatavilla: http://www.electronics-tutorials.ws/combination/comb_4.html

ZHOU, Hai 2002. Two-Level Logic Minimization Algorithms. Advanced Digital Design. Luentomateriaali. [PowerPoint-esitys] 2002. [Viitattu 2015-25-4] Saatavilla: users.eecs.northwestern.edu/~haizhou/303/Lec03.ppt

LIITE 1: KURSSIN DIGITAALISET KOMBINAATIOPIIRIT OPS-KUVAUS

Koodi	ESE4420
Nimi	Digitaaliset kombinaatiopiirit
Laajuus	5 op
Osaamistavoitteet	Opintojakson suoritettuaan ymmärtää kuinka digitaaliset piirit ja mikropiirit toimivat ja kuinka niitä suunnitellaan. Lisäksi opiskelija tuntee lukujärjestelmät ja yleisimmät digitaalitekniikan koodit ja ymmärtää aritmetiikkapiirien toiminnan.

Keskeiset sisällöt

1. Lukujen esitys digitaalisissa laitteissa
2. Johdatus A/D- ja D/A -muunnoksiin
3. Digitaalitekniikan lukujärjestelmät
   - Kantalukuesitykset
   - Binääriluvut
   - Sanan pituuden muuttaminen
   - Liukuvan pilkun luvut
   - Muunnokset lukujärjestelmien välillä
4. Johdatus digitaalitekniikan koodeihin
   - BCD- koodi
   - GRAY- koodi
   - Kirjoitusmerkkien koodaaminen
5. Kytkentäfunktioiden käsittely
   - Perusfunktiot ja –portit
   - Kytkentäfunktioiden esitystavat
   - Kytkentäalgebra
   - Kytkentäfunktion esityslausekkeena
   - Kytkentäfunktion sieventäminen Karnaugh'n kartan avulla
6. Kombinaatiopiirit
   - Lausekkeen toteutus JA-EI-porteilla
   - Lausekkeen toteutus JA-TAI-porteilla
   - Lausekkeen toteutus EHDOTON-TAI-porteilla
   - Kombinaatiopiirin analysointi
   - Tulovalitsin eli multiplekseri
   - Lähtövalitsin
   - Dekooderi
   - Käytännön kombinaatiopiirit
7. Digitaaliaritmetiikka
   - 2-komplementtimuotoisten binäärilukujen yhteen- ja vähennyslasku
   - aritmeettiset piirit
   - Lukualueet
   - Virheiden havainta ja korjaus
8. Ohjelmoitavat logiikkaverkot

Suoritustavat Koe ja laboratoriotyöt selosteineen

Arviointiasteikko	0-5
Arviointiperusteet	Kokeet ja hyväksytyt laboratoriotyöt
Materiaali	S.Haltsonen, J.Levomäki, E.Rautanen: Digitaalitekniikka, 2013, Haltsonen Seppo Rautanen Esko T: Tietokonetekniikka, 2008, verkkomateriaalia

LIITE 2: DIGITAALISET KOMBINAATIOPIIRIT –KURSSIN TYÖOHJEET

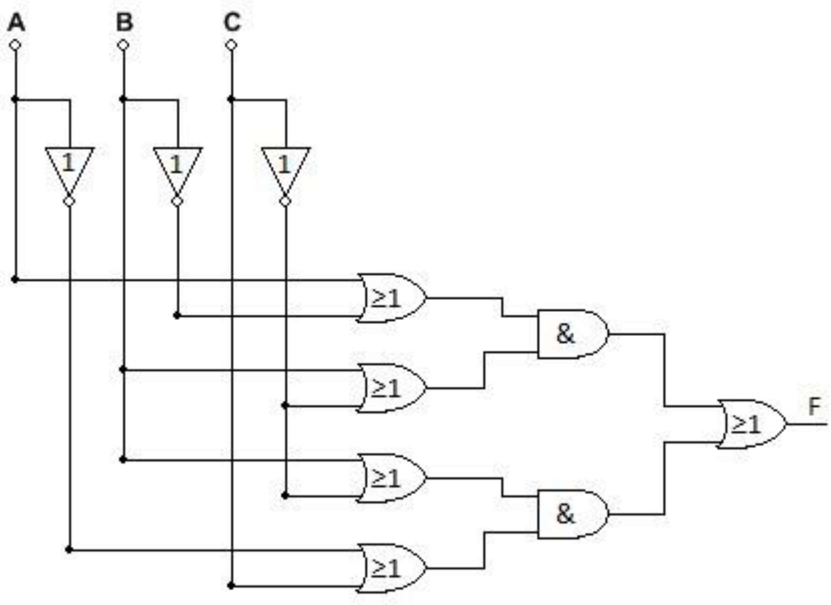
TYÖOHJE 1: PERUSFUNKTIOT JA PORTIT

KYTKENTÄ 1

Miten alla oleva piiri (kuva 27) toimii? Laadi piiristä totuustaulu ja kytkentäfunktio, joiden avulla voit toteuttaa piirin oikeilla komponenteilla tai ohjelmoitavalla piirillä.

Tarvittavat välineet: IDL-800 Digital Lab-kytkentäalusta, 5V jännitelähde ja hyppylankaa. Piirit: 74LS04/74HC04 ja 74LS32/74HC32. Ohjelmoitava piiri: ATF22V10.

Tarvittavien komponenttien datasheet-lehdet löytyvät Sulautetun tietotekniikan ja elektroniikan laboratorion tietokoneiden Työpöydällä olevalta Elelab-kansiosta. Siellä on linkit (Mozilla firefox ja Internet Explorer), jotka vievät laboratoriotilojen omille sivuille, josta löytyy Ohjeet-osio. Ohjeet-osiosta löytyy komponentit ja datalehdet -linkki, jonka takaa löytyvät kaikki laboratoriossa olevien komponenttien tiedot ja datalehdet. Mikäli piiri tehdään ohjelmoitavalla piirillä, tarvitaan siihen Palasm2-ohjelmisto ja SmartProg2-ohjelmointilaite. Niiden ohjeet löytyvät laboratorion sivuilta ohjeet osiosta.



KUVA 27. Piirikaavio kytkennästä 1

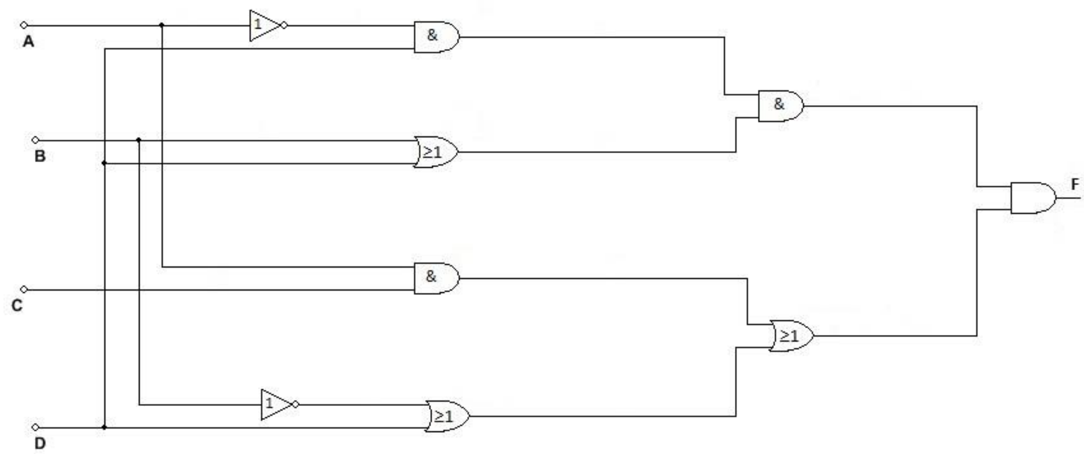
TYÖOHJE 1: PERUSFUNKTIOT JA PORTIT

KYTKENTÄ 2

Miten alla oleva piiri (kuva 28) toimii? Laadi totuustaulu ja kytkentäfunktio, joiden avulla voit toteuttaa piirin oikeilla komponenteilla tai ohjelmoitavalla piirillä.

Tarvittavat välineet: IDL-800 Digital Lab-kytkentäalusta, 5 V jännitelähde ja hyppylankaa. Piirit: 74LS04/74HC04 ja 74LS08/74HC08. Ohjelmoitava piiri: ATF22V10.

Tarvittavien komponenttien datasheet-lehdet löytyvät sulautetun tietotekniikan ja elektroniikan laboratorion tietokoneiden Työpöydällä olevalta Elelab-kansiosta. Siellä on linkit (Mozilla firefox ja Internet Explorer), jotka vievät laboratoriotilojen omille sivuille, josta löytyy Ohjeet-osio. Ohjeet-osiosta löytyy komponentit ja datalehdet -linkki, jonka takaa löytyy kaikki laboratoriossa olevien komponenttien tiedot ja datalehdet. Mikäli piiri tehdään ohjelmoitavalla piirillä, tarvitaan siihen Palasm2 -ohjelmisto ja SmartProg2-ohjelmointilaite. Niiden ohjeet löytyvät laboratorion sivuilta ohjeet osiosta.



KUVA 28. Piirikaavio kytkennästä 2

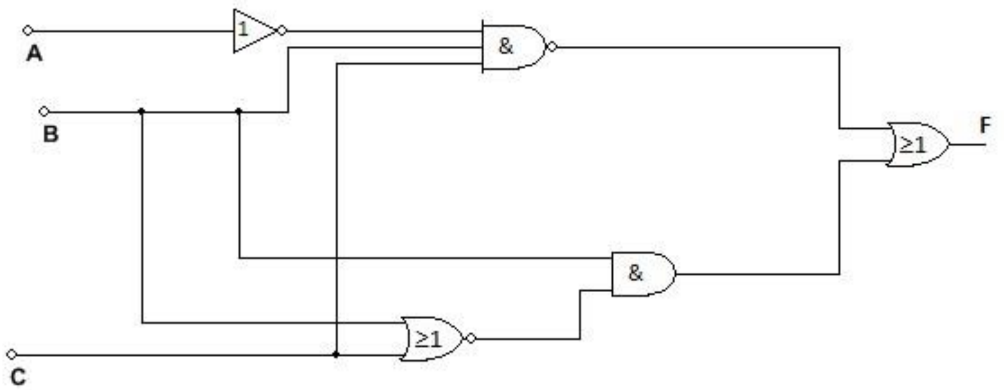
TYÖOHJE 2: LISÄFUNKTIOT JA-PORTIT

KYTKENTÄ 1

Miten alla oleva piiri (kuva 29) toimii? Laadi totuustaulu ja kytkentäfunktio, joiden avulla voit toteuttaa piirin oikeilla komponenteilla tai ohjelmoitavalla piirillä.

Tarvittavat välineet: IDL-800 Digital Lab-kytkentäalusta, 5 V jännitelähde ja hyppylankaa. Piirit: 74LS04/74HC04 ja 74LS08/74HC04. Ohjelmoitava piiri: ATF22V10.

Tarvittavien komponenttien datasheet-lehdet löytyvät Sulautetun tietotekniikan ja elektroniikan laboratorion tietokoneiden Työpöydällä olevalta Elelab-kansiosta. Siellä on linkit (Mozilla firefox ja Internet Explorer), jotka vievät laboratoriotilojen omille sivuille, josta löytyy Ohjeet-osio. Ohjeet-osiosta löytyy komponentit ja datalehdet -linkki, jonka takaa löytyy kaikki laboratoriossa olevien komponenttien tiedot ja datalehdet. Mikäli piiri tehdään ohjelmoitavalla piirillä, tarvitaan siihen Palasm2 -ohjelmisto ja SmartProg2-ohjelmointilaite. Niiden ohjeet löytyvät laboratorion sivuilta ohjeet osiosta.



KUVA 29. Piirikaavio kytkennästä 1

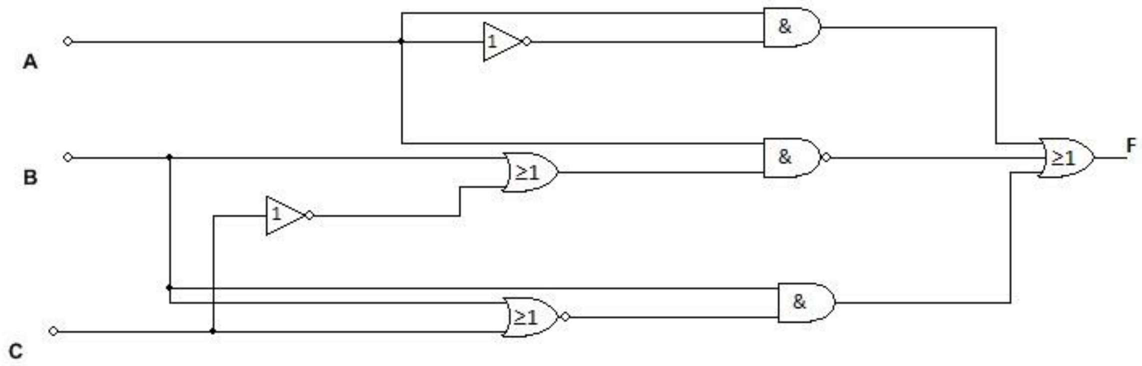
TYÖOHJE 2: LISÄFUNKTIOT JA-PORTIT

KYTKENTÄ 2

Miten alla oleva piiri (kuva 30) toimii? Laadi totuustaulu ja kytkentäfunktio, joiden avulla voit toteuttaa piirin oikeilla komponenteilla tai ohjelmoitavalla piirillä.

Tarvittavat välineet: IDL-800 Digital Lag-kytkentäalusta, 5V jännitelähde ja hyppylankaa. Piirit: 74LS04/74HC04 ja 74LS32/74HC32 tai 74LS00/74HC00 tai 74LS04/74HC04 ja 74LS00/74HC00. Ohjelmoitava piiri: ATF22V10.

Tarvittavien komponenttien datasheet-lehdet löytyvät Sulautetun tietotekniikan ja elektroniikan laboratorion tietokoneiden Työpöydällä olevalta Elelab-kansiosta. Siellä on linkit (Mozilla firefox ja Internet Explorer), jotka vievät laboratoriotilojen omille sivuille, josta löytyy Ohjeet-osio. Ohjeet-osiosta löytyy komponentit ja datalehdet -linkki, jonka takaa löytyy kaikki laboratoriossa olevien komponenttien tiedot ja datalehdet. Mikäli piiri tehdään ohjelmoitavalla piirillä, tarvitaan siihen Palasm2 -ohjelmisto ja SmartProg2-ohjelmointilaite. Niiden ohjeet löytyvät laboratorion sivuilta ohjeet osiosta.



KUVA 30. Piirikaavio kytkennästä 2

TYÖOHJE 3: MULTIPLEKSERI

Toteuta alla oleva kytkentäfunktio kahdeksantuloisella multiplekserillä.

$$F = AC + \overline{A}B\overline{C} + \overline{A}\,\overline{B}$$

Laadi kytkentäfunktiosta totuustaulu ja toteuta se joko oikeilla komponenteilla tai ohjelmoitavalla piirillä. Piirrä myös funktiosta aikakaavio.

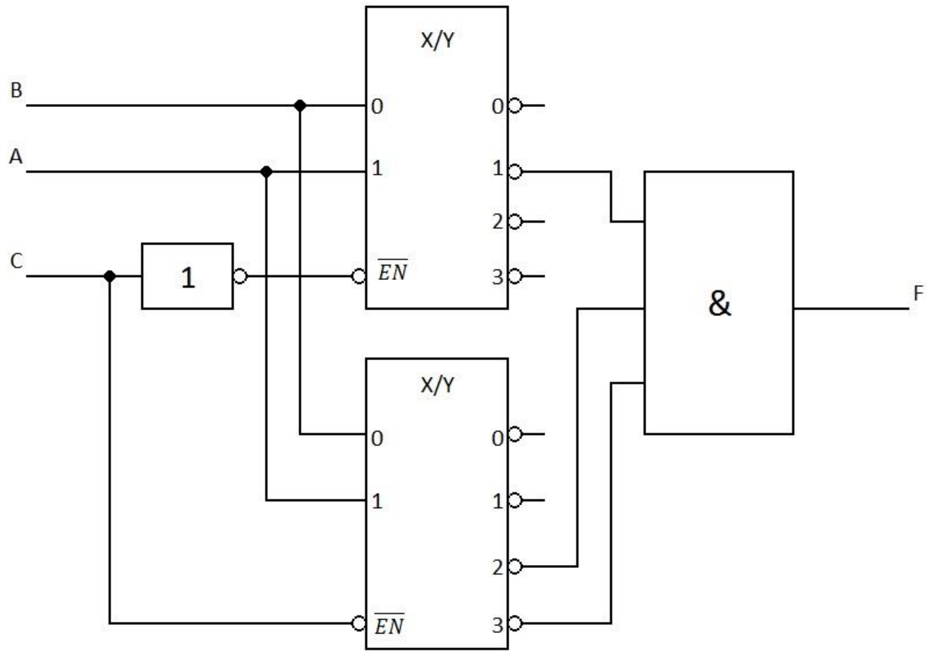
Tarvittavat välineet: IDL-800 Digital Lab-kytkentäalusta, 5V jännitelähde ja hyppylankaa. Piirit: 74LS151/74HC151. Ohjelmoitava piiri: ATF22V10.

Tarvittavien komponenttien datasheet-lehdet löytyvät Sulautetun tietotekniikan ja elektroniikan laboratorion tietokoneiden Työpöydällä olevalta Elelab-kansiosta. Siellä on linkit (Mozilla firefox ja Internet Explorer), jotka vievät laboratoriotilojen omille sivuille, josta löytyy Ohjeet-osio. Ohjeet-osiosta löytyy komponentit ja datalehdet -linkki, jonka takaa löytyy kaikki laboratoriossa olevien komponenttien tiedot ja datalehdet.

TYÖOHJE 4: DEKOODERI

Kuinka alla oleva piiri toimii (kuva 31)? Laadi totuustaulu ja suunnittele sitten piiri rakennettavaksi oikeilla komponenteilla.

Tarvittavat välineet: IDL-800 Digital Lab-kytkentäalusta, 5V jännitelähde ja hyppylankaa. Piirit: 74LS04/74HC04, 74LS139/74HC139 ja 74LS11/74HC11. (Viimeinen voidaan korvata myös kahdella 74LS08/74HC08 piirillä.)



KUVA 31. Piirikaavio kytkennästä

Tarvittavien komponenttien datasheet-lehdet löytyvät Sulautetun tietotekniikan ja elektroniikan laboratorion tietokoneiden Työpöydällä olevalta Elelab-kansiosta. Siellä on linkit (Mozilla firefox ja Internet Explorer), jotka vievät laboratoriotilojen omille sivuille, josta löytyy Ohjeet-osio. Ohjeet-osiosta löytyy komponentit ja datalehdet -linkki, jonka takaa löytyy kaikki laboratoriossa olevien komponenttien tiedot ja datalehdet.

TYÖOHJE 5: ARITMEETTISET PIIRIT

Suunnittele piiri, joka antaa kolmen muuttujan summabitin ja muistibitin.

Tarvittavat välineet: IDL-800 Digital Lab-kytkentäalusta, 5V jännitelähde ja hyppylankaa. Piirit:74LS08/74HC08, 74LS86/74HC86 ja 74LS32/74HC32. Ohjelmoitava piiri: ATF22V10.

Tarvittavien komponenttien datasheet-lehdet löytyvät Sulautetun tietotekniikan ja elektroniikan laboratorion tietokoneiden Työpöydällä olevalta Elelab-kansiosta. Siellä on linkit (Mozilla firefox ja Internet Explorer), jotka vievät laboratoriotilojen omille sivuille, josta löytyy Ohjeet-osio. Ohjeet-osiosta löytyy komponentit ja datalehdet -linkki, jonka takaa löytyvät kaikki laboratoriossa olevien komponenttien tiedot ja datalehdet. Mikäli piiri tehdään ohjelmoitavalla piirillä, tarvitaan siihen Palasm2 -ohjelmisto ja SmartProg2-ohjelmointilaite. Niiden ohjeet löytyvät laboratorion sivuilta ohjeet osiosta.

TYÖOHJE 6: KÄYTÄNNÖNLÄHEISEN KOMBINAATIOPIIRIN SUUNNITTELU

Suunnittele kahviautomaatin kombinaatiopiiri, joka toteutetaan joko oikeilla komponenteilla tai ohjelmoitavalla piirillä. Kahviautomaattista saa tavallista kahvia ja kaakaota. Automaatin sisällä on ainekset molempiin juomiin. Ainekset ovat kahvijauhe, maitojauhe, kaakaojauhe ja vesi. Muodosta totuustaulu ja muodosta kombinaatiopiiri kahviautomaatin toiminnasta ja sen jälkeen rakenna kytkentä oikeilla komponenteilla tai ohjelmoitavalla piirillä.

Tässä työssä opiskelijat voivat itsekin keksiä ja suunnitella oman käytännönläheisen kombinaatiopiirin, jonka he voivat sitten itse toteuttaa. Laadi suunnitellusta piiristä totuustaulu ja muodosta kytkentäfunktio. Simuloi kytkentä Multisim-ohjelmistolla ja sen jälkeen rakenna oikeilla komponenteilla tai toteuta piiri ohjelmoitavalla piirillä.

Tarvittavat välineet: IDL-800 Digital Lab-kytkentäalusta, 5V jännitelähde ja hyppylankaa. Piirit: 74LS08/74HC08 ja 74LS111/74HC111. Ohjelmoitava piiri: ATF22V10.

Tarvittavien komponenttien datasheet-lehdet löytyvät Sulautetun tietotekniikan ja elektroniikan laboratorion tietokoneiden Työpöydällä olevalta Elelab-kansiosta. Siellä on linkit (Mozilla firefox ja Internet Explorer), jotka vievät laboratoriotilojen omille sivuille, josta löytyy Ohjeet-osio. Ohjeet-osiosta löytyy komponentit ja datalehdet -linkki, jonka takaa löytyvät kaikki laboratoriossa olevien komponenttien tiedot ja datalehdet. Mikäli piiri tehdään ohjelmoitavalla piirillä, tarvitaan siihen Palasm2 -ohjelmisto ja SmartProg2-ohjelmointilaite. Niiden ohjeet löytyvät laboratorion sivuilta ohjeet osiosta.

TYÖOHJE 7: AD- JA DA-MUUNTIMET

AD-MUUNNIN

Rakenna AD-muuntimelle (AD7824) testikytkentä datasheet-lehden avulla. Valitse viisi jännitearvoa ja laadi tuloksista taulukko, jossa näkyy valitsemien jännitearvojen vastaavat bittikoodit.

Tarvittavat välineet ja komponentit: IDL-800 Digital Lab -kytkentäalusta, 5V jännitelähde hyppylankaa ja AD-muunnin (AD7824) sekä kaksi vastusta, jonka resistanssi on 1,2 kΩ - 1,5 kΩ.

Tarvittavien komponenttien datasheet-lehdet löytyvät Sulautetun tietotekniikan ja elektroniikan laboratorion tietokoneiden Työpöydällä olevalta Elelab-kansiosta. Siellä on linkit (Mozilla firefox ja Internet Explorer), jotka vievät laboratoriotilojen omille sivuille, josta löytyy Ohjeet-osio. Ohjeet-osiosta löytyy komponentit ja datalehdet -linkki, jonka takaa löytyy kaikki laboratoriossa olevien komponenttien tiedot ja datalehdet.

DA-MUUNNIN

Rakenna DA-muuntimella testikytkentä käyttäen apuna DA-muuntimen (AD7226) datasheet- lehdestä. Mittaa kymmenen erilaista bittikombinaatiota ja taulukoi tulokset. Merkitse myös jokaisen bitin jännitearvot. Merkitse taulukkoon MSB-bitit ja LSB-bitit.

Tarvittavat välineet ja komponentit: IDL-800 Digital Lab -kytkentäalusta, 5V jännitelähde, hyppylankaa, Mastech® MS8201 -yleismittari ja DA-muunnin (AD7226).

Tarvittavien komponenttien datasheet-lehdet löytyvät Sulautetun tietotekniikan ja elektroniikan laboratorion tietokoneiden Työpöydällä olevalta Elelab-kansiosta. Siellä on linkit (Mozilla firefox ja Internet Explorer), jotka vievät laboratoriotilojen omille sivuille, josta löytyy Ohjeet-osio. Ohjeet-osiosta löytyy komponentit ja datalehdet -linkki, jonka takaa löytyy kaikki laboratoriossa olevien komponenttien tiedot ja datalehdet.

LIITE 3: MALLIRATKAISUT TYÖOHJEISIIN

Poistettu julkisesta versiosta.