



UNIVERSITAS  
INDONESIA

*Veritas, Probitas, Iustitia*

# Buku Penuntun Praktikum

## Elektronika 1 (Geofisika)

Laboratorium Elektronika  
Departemen Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Indonesia  
2018



## KATA PENGANTAR

Atas berkat Rahmat Tuhan Yang Maha Esa akhirnya penyusunan buku Pedoman Praktikum edisi 2001 dapat diselesaikan.

Buku Pedoman Praktikum Elektronika I ini adalah salah satu buku penuntun praktikum elektronika yang terdapat di Jurusan Fisika Universitas Indonesia. Pada edisi ini, setiap modul mengalami penyempurnaan, baik itu penambahan maupun pengurangan yang disesuaikan dengan Mata Kuliah Elektronika dan perkembangan dunia elektronika. Praktikan diharapkan dapat lebih memahami mengenai teori yang diajarkan pada mata kuliah elektronika dengan melakukan praktikum Elektronika I ini.

Buku ini berisi sebagian dari keseluruhan Mata Kuliah Elektronika I. Dimulai dari cara menggunakan alat ukur seperti Voltmeter, Ampermeter, Ohmmeter, Osiloskop, serta merancang komponen pada Proto Board. Dilanjutkan mengenai dioda dan karakteristik dioda, transistor, jenis-jenis rangkaian transistor (rangkain Darlington, Regulator tegangan, rangkaian Diferensial Amplifier) serta rangkaian aplikasi dari transistor, seperti penguat daya, sumber arus, saklar, cermin arus. Transistor jenis FET dan Multivibrator dan jenis-jenisnya mengisi modul berikutnya. Schmitt Trigger dan rangkaian aplikasi menutup modul Praktikum Elektronika I ini.

Pada buku edisi ini gambar rangkaian dan prosedur percobaan juga telah mengalami penyempurnaan sesuai dengan prosesur percobaan yang benar dan tepat. Selain itu juga dilengkapi dengan format data pengamatan, yang dibuat dengan tujuan untuk membimbing praktikan dalam proses pengambilan data pengamatan.

Akhirnya, kami mengucapkan terima kasih kepada Laboran Lab. Elektronika, Bapak Katman yang telah banyak membantu dalam penyediaan peralatan demi terselesainya buku ini. Buku ini tidak luput dari kesalahan dan kekurangan, dengan itu segala kritik dan saran, selalu kami nantikan demi penyempurnaan dan perkembangan kita semua.

Depok, 5 Februari 2002

Dr. Santoso S  
Adhi Harmoko S, SSI  
Arieiko Abdullah

## DAFTAR ISI

Kata Pengantar .....	1
Daftar Isi .....	2
Tata Tertib.....	3
<b>Modul 1 - Menguji Komponen dan Menggunakan Alat Ukur.....</b>	<b>5</b>
Modul 2 - Karakteristik Dioda serta Aplikasi Dioda dan Dioda Zener.....	10
Modul 3 - Karakteristik dan Rangkaian-Rangkaian Transistor .....	16
Modul 4 - Aplikasi Transistor .....	22
Modul 5 - Karakteristik Op-Amp.....	25
<b>Modul 6 - Rangkaian Dasar Op-Amp 1 .....</b>	<b>28</b>
<b>Modul 7 - Rangkaian Dasar Op-Amp 2.....</b>	<b>30</b>
<b>Modul 8 - Rangkaian Penjumlahan dan Pengurangan.....</b>	<b>32</b>
<b>Modul 9 - Op-Amp sebagai Filter Aktif .....</b>	<b>35</b>

**TATA TERTIB PRAKTIKUM ELEKTRONIKA  
LABORATORIUM ELEKTRONIKA, DEPARTEMEN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS INDONESIA**

1. Praktikan harus hadir **maksimal 10 menit sebelum praktikum dimulai**, bagi praktikan yang terlambat tidak dapat mengikuti praktikum pada hari tersebut, dan percobaan pada hari tersebut dinyatakan gagal.
2. Pada saat berada di laboratorium, praktikum harus tenang, tertib, sopan, dan bertanggungjawab. Tas, jaket, buku, dan perlengkapan lainnya yang tidak diperlukan untuk praktikum ditiptkan di loker.
3. Praktikan dapat mengikuti praktikum apabila memenuhi syarat-syarat sebagai berikut:
  - a. **Membawa Kartu Praktikum**
  - b. **Membawa Kotak Komponen** yang telah dipinjamkan sebelumnya (Jaminan Kotak Komponen Rp 50.000,-)
  - c. **Membawa Laporan Praktikum** berupa:
    - i. **Laporan Pendahuluan modul hari-H**
    - ii. **Laporan Akhir modul sebelumnya, beserta lampiran data pengamatannya**
  - d. **Lulus Tes Pendahuluan (minimum 50% dari nilai total)**
  - e. Apabila tidak memenuhi syarat (a), praktikan wajib melaporkan ke co-PJ dan dikenakan **denda Rp 15.000,-**
  - f. Apabila tidak memenuhi syarat (b), praktikan wajib melaporkan ke co-PJ dan dikenakan **denda Rp 30.000,-**
  - g. Apabila tidak memenuhi syarat (c) dan (d) maka **praktikan tidak dapat mengikuti praktikum pada hari tersebut dan percobaan pada hari tersebut dinyatakan gagal**
4. Jika ada perlengkapan praktikum yang hilang, praktikan wajib melaporkan kepada co-PJ sebelum praktikum dimulai
5. Bagi praktikum yang berhalangan hadir, dapat memberikan **surat keterangan resmi** yang akan diserahkan kepada co-PJ atau Kepala Laboratorium
6. Praktikan harus **memperoleh data melalui praktikum yang dilakukan oleh kelompoknya sendiri**. Apabila ditemukan menggunakan data dari kelompok lain, praktikan akan dianggap gagal untuk modul tersebut
7. **Praktikan yang gagal diwajibkan untuk membayar denda susulan sebesar**
  - a. **Rp 50.000,- untuk pertemuan atau modul pertama**
  - b. **Rp 75.000,- untuk pertemuan atau modul kedua**
8. **Ketidakhadiran dengan alasan apapun, termasuk gagal, izin, sakit, dan alpha, hanya diizinkan maksimal dua kali. Apabila melebihi dua kali, praktikan yang bersangkutan tidak lulus praktikum.**
9. Selama praktikum, praktikan harus menjaga kebersihan, ketertiban, dan kenyamanan lingkungan laboratorium. Praktikan juga wajib menjaga keselamatan dirinya. Selama berada di laboratorium, praktikan **dilarang mengenakan sandal dan/atau baju kaos, merokok, makan, atau mengganggu kelompok lain.**
10. Selama praktikum, **praktikan dilarang meninggalkan ruangan laboratorium tanpa seizin Asisten Laboratorium.**
11. Praktikan harus mengembalikan meja praktikum kembali ke kondisi awal setelah praktikum selesai. Sisa-sisa kabel, komponen yang terbakar, kertas, dan benda-benda lain yang sudah tidak terpakai dapat dibuang pada tempat yang telah disediakan.
12. Setelah praktikum selesai, salinan data wajib diserahkan kepada Asisten Laboratorium pada hari itu juga

13. **Praktikan harus mengganti komponen-komponen yang hilang atau rusak.** Penggantian dapat diambil dari uang jaminan, namun praktikan juga dapat menambahkan atau mengganti alat atau komponen yang sama.
14. **Praktikan harus meminta tanda tangan Asisten Laboratorium pada Kartu Praktikum dan salinan lampiran data pengamatannya.**
15. **Praktikan dapat diberikan peringatan atau dikeluarkan apabila melanggar tata tertib ini**

**Sistem Penilaian Praktikum** terdiri dari:

- **Laporan Pendahuluan**
  - Sistematika Penulisan dan Bahasa
  - Teori Dasar
  - Tugas Pendahuluan
  - Simulasi
- **Penilaian Kerja**
  - Penggunaan Alat Ukur
  - Prosedur Praktikum
  - Perakitan Rangkaian
  - Pengambilan Data
  - Kerja Sama Tim
  - Kerapihan Meja Kerja
- **Laporan Akhir**
  - Sistematika Penulisan dan Bahasa
  - Data Pengamatan
  - Analisis
  - Kesimpulan
  - Tugas Akhir

dengan **Komponen Penilaian:**

- **Praktikum** **50%**
  - Tes Pendahuluan 30%
  - Lap. Pendahuluan 20%
  - Kerja 25%
  - Lap. Akhir 25%
- **Proyek Alat** **25%**
  - Presentasi 40%
  - Paper 30%
  - Alat 30%
- **UAS** **25%**
- **Total** **100%**

Depok, 20 Februari 2018  
Ketua Laboratorium Elektronika

Sastra Kusuma Wijaya, Ph.D



## MODUL 1

### MENGUJI KOMPONEN DAN MENGGUNAKAN ALAT UKUR

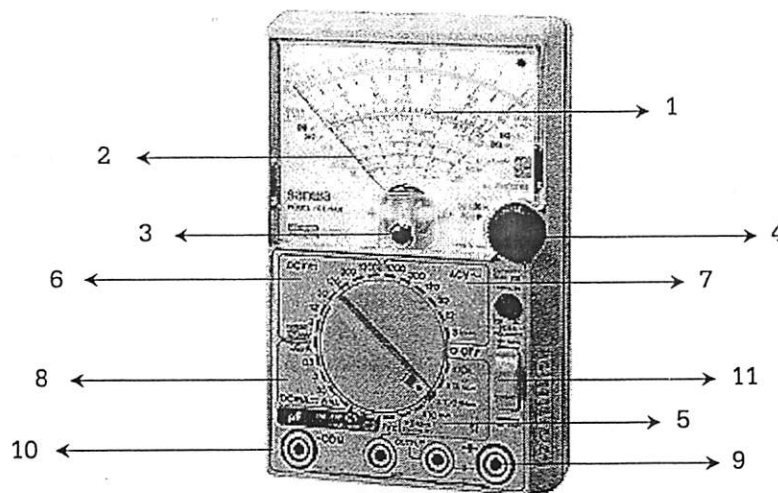
#### A. TUJUAN

1. Mahasiswa dapat menggunakan alat ukur Multimeter dan Osiloskop dengan baik
2. Mahasiswa dapat menguji/mengetes kondisi suatu komponen elektronika

#### B. TEORI DASAR

Multimeter adalah alat ukur elektronika yang dipakai untuk menguji atau mengukur suatu komponen, mengetahui kedudukan kaki-kaki komponen, dan besar nilai komponen yang diukur. Multimeter memiliki bagian-bagian penting, diantaranya adalah :

1. Papan skala
2. Jarum penunjuk skala
3. Pengatur jarum skala
4. Tombol pengatur nol Ohm
5. Batas ukur ohm meter
6. Batas ukur DC Volt (DCV)
7. Batas ukur AC Volt (ACV)
8. Batas ukur Ampere meter DC (DCmA)
9. Lubang positif (+)
10. Lubang negatif (-)
11. Saklar pemilih



Gambar 1.1 Multimeter

#### Menggunakan Multimeter

Ketrampilan dan kesesuaian penggunaan alat ukur akan menentukan keberhasilan dan ketepatan pengukuran.

Berikut ini beberapa ketentuan untuk menggunakan multimeter

##### 1. Voltmeter

- a. Penggunaannya di pasang **paralel** dengan komponen yang akan diukur tegangannya.
- b. Perhatikan jenis tegangannya, AC atau DC !
- c. Bila tidak diketahui daerah tegangan yang akan diukur, gunakan batas ukuran yang **terbesar** dan gunakan volt meter yang memiliki impedansi input tinggi.



## 2. Amperemeter

1. Penggunaannya dipasang secara seri pada jalur yang akan diukur arusnya.
2. Bila tidak diketahui daerah kerja arus yang akan mengalir, gunakan daerah pengukuran yang terbesar dari ampere meter yang digunakan.

## 3. Ohmmeter

Untuk mengukur nilai hambatan, nolkan dahulu titik awal pengukuran dengan cara menghubungkan probe kutub + dan -, lalu atur jarum penunjuk agar tepat di titik nol.

## 4. Menguji Transistor

Pada transistor biasanya letak kaki kolektor berada di pinggir dan diberi tanda titik atau lingkaran kecil. Sedangkan kaki basis biasanya terletak diantara kolektor dan emitor.

### a. Transistor PNP

- ❖ Saklar pemilih pada multimeter harus menunjuk pada *ohm meter*
- ❖ Praktikan harus memastikan kaki kolektor, basis, dan emitornya
- ❖ Tempelkan probe (pencolok) positif (berwarna merah) pada basis dan probe negatif (berwarna hitam) pada emitor. Jika jarum bergerak, pindahkan probe negatif pada kolektor. Jika pada kedua pengukuran di atas jarum bergerak, maka transistor dalam keadaan baik. Sedangkan bila pada salah satu pengukuran jarum tidak bergerak, maka transistor dalam keadaan rusak.

### b. Transistor NPN

- ❖ Tempelkan probe negatif pada basis dan probe positif pada kolektor. Jika jarum bergerak, pindahkan probe positif pada emitor. Jika pada kedua pengukuran di atas jarum bergerak, maka transistor dalam keadaan baik. Sedangkan bila pada salah satu (kedua) pengukuran jarum tidak bergerak, maka transistor dalam keadaan rusak.

## 5. Menguji Resistor

Resistor atau tahanan dapat putus akibat pemakaian ataupun umur. Bila resistor putus maka rangkaian elektronika yang kita buat tidak akan bisa bekerja atau mengalami cacat.

- ❖ Putar saklar pemilih pada posisi ohm meter.
- ❖ Tempelkan masing-masing probe pada ujung-ujung resistor. Tangan praktikan jangan sampai menyentuh kedua ujung kawat resistor (salah satu ujung resistor boleh tersentuh asal tidak keduanya)
- ❖ Jika jarum bergerak maka resistor baik, jika jarum penunjuk tidak bergerak berarti resistor putus.

## 6. Menguji Kondensator Elco

Sebelum dipasang pada rangkaian kapasitor harus diuji dahulu keadaannya atau ketika membeli ditoko anda harus memastikan bahwa elco tersebut dalam keadaan baik. Cara mengujinya adalah sebagai berikut :

- ❖ Putar saklar pemilih pada posisi ohm meter
- ❖ Perhatikan tanda negatif atau positif yang ada pada badan elco dan lurus pada salah satu kaki.
- ❖ Tempelkan probe negatif pada kaki positif (+) dan probe positif pada kaki negatif (-). Perhatikan gerakan jarum penunjuk.
- ❖ Jika jarum bergerak ke kanan kemudian kembali ke kiri berarti kondensator elco baik.
- ❖ Jika jarum bergerak ke kanan kemudian kembali ke kiri namun tidak penuh berarti kondensator elco agak rusak.
- ❖ Jika jarum bergerak ke kanan kemudian tidak kembali ke kiri (berhenti) berarti kondensator bocor.
- ❖ Jika jarum tak bergerak sama sekali berarti kondensator elco putus.

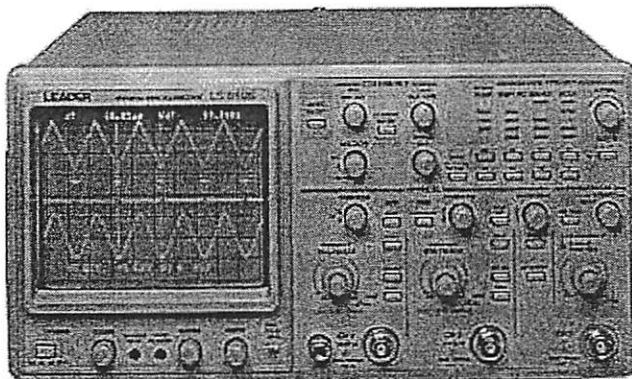


## 7. Menguji Dioda

- ❖ Putar saklar pemilih pada posisi ohm meter
- ❖ Tempelkan *probe* positif pada kutub katoda dan tempelkan *probe* negatif pada kutub anoda. Perhatikan jarum penunjuk, jika bergerak berarti dioda baik sedangkan jika diam berarti putus.
- ❖ Selanjutnya dibalik, tempelkan *probe* negatif pada kutub katoda dan tempelkan *probe* positif pada kutub anoda. Perhatikan jarum penunjuk, jika jarum diam berarti dioda baik sedangkan jika bergerak berarti dioda rusak.

## Menggunakan Osiloskop

Osiloskop dapat mengukur tegangan AC dan DC serta memperlihatkan bentuk gelombangnya. Sebelum menggunakan osiloskop adalah penting untuk mengkalibrasi osiloskop.



Cara mengkalibrasi osiloskop adalah sebagai berikut :

- ❖ Hidupkan osiloskop.
- ❖ Atur fokus dan tingkat kecerahan gambar pada osiloskop.
- ❖ Pasang kabel pengukur pada osiloskop (bisa pada chanel X atau Y).
- ❖ Atur COUPLING pada posisi AC
- ❖ Tempelkan kabel pengukur negatif/ground (berwarna hitam) pada ground yang terdapat di osiloskop.
- ❖ Tempelkan kabel pengukur positif (biasanya berwarna merah) pada tempat untuk mengkalibrasi yang ada pada osiloskop.
- ❖ Putar saklar pemilih Variable VOLT/DIV pada 0,5 V
- ❖ Putar saklar pemilih Variabel SWEEP TIME/DIV pada 0,5 ms
- ❖ Aturlah agar gelombang kotak yang muncul dimonitor sama dengan garis-garis kotak yang ada pada layar monitor osiloskop dengan mengerak-gerakan tombol merah atau kuning yang ada pada saklar pemilih Variabel VOLT/DIV dan SWEEP TIME/DIV sehingga gelombang kotak yang ada sebesar 0,5 V<sub>p-p</sub>.

## Menggunakan Sinyal Generator

Sinyal generator dapat menghasilkan sinyal yang berupa tegangan DC ataupun tegangan AC yang frekuensi dan amplitudonya dapat kita atur.

Bagian yang menghasilkan tegangan DC dinamakan DC POWER. Keluarannya terdiri dari +5 V, -5 V, 0 ~ +15 V dan 0 ~ -15 V.

Pada bagian yang menghasilkan sinyal AC dinamakan FUNCTION GENERATOR. Pada bagian ini tombol **frequency** berguna untuk mengatur frekuensi sinyal keluaran. Sedangkan tombol **amplitude** berguna untuk mengatur amplitudo sinyal keluaran. Sinyal keluaran dapat diatur apakah sinyal kotak, segi tiga atau sinyal yang berbentuk sinusoidal melalui tombol **function**.



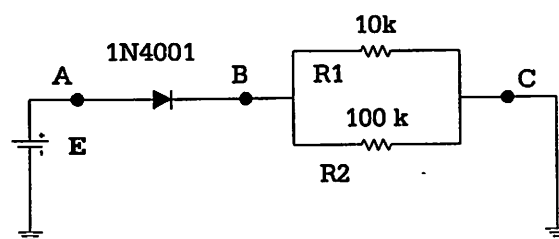


### C. PERALATAN

1. Multimeter
2. Osiloskop
3. Signal Generator
4. Protoboard
5. Transistor
6. Kapasitor Elektrolit
7. Resistor
8. Dioda
9. Kawat Penghubung

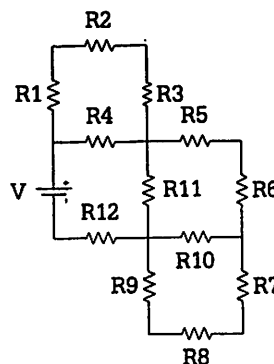
### D. PROSEDUR PERCOBAAN

1. Mengukur arus dan tegangan pada rangkaian.
  - a. Susun rangkaian pada Gambar 1.2 di bawah ini.



Gambar 1.2

- b. Sebelumnya ujilah dahulu komponen yang digunakan dan catat nilai dari hasil pengukuran tersebut.
  - c. Berilah tegangan baterai E (DC) sebesar 4 V, 6 V, 10 V dan 12 V
  - d. Ukurlah  $V_A$ ,  $V_B$ ,  $V_C$ ,  $V_{AB}$ ,  $V_{BC}$ ,  $I_{AB}$ ,  $I_{BC-R1}$  dan  $I_{BC-R2}$  dengan menggunakan multimeter.
  - e. Ganti sumber tegangan dengan sumber gelombang (generator fungsi), bentuk gelombang sinus dengan tegangan  $6 V_{PP}$  dan  $12 V_{PP}$ .
  - f. Ukurlah  $V_A$ ,  $V_B$ ,  $V_C$ ,  $V_{AB}$  dan  $V_{BC}$  dengan menggunakan osiloskop dan gambarkan hasilnya.
2. Percobaan Thevenin
  - a. Susun rangkaian pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3.

- b. Sebelumnya ujilah dahulu komponen yang digunakan.
  - c. Berilah tegangan baterai E (DC) sebesar 4 V, 6 V, 10 V dan 12 V
  - d. Ukurlah  $V_{R1}$  sampai dengan  $V_{R11}$  dengan menggunakan multimeter.
  - e. Ukurlah arus yang mengalir melalui R2, R4, R6, R8, R10, R11 dan R12 dengan menggunakan multimeter



### E. TUGAS PENDAHULUAN

- Perhatikan Gambar 1.2. Dengan menggunakan analisis teori rangkaian, lengkapi tabel berikut ini ! Sertakan pula penurunannya!

$E_{\text{batere}}$	$V_A$	$V_B$	$V_C$	$V_{AB}$	$V_{BC}$	$V_{AC}$	$I_A$	$I_{R1}$	$I_{R2}$
4 VDC									
6 VDC									
10 VDC									
12 VDC									
6 Vpp AC									
12 Vpp AC									

- Perhatikan Gambar 1.3. Dengan menggunakan analisis teori rangkaian, lengkapi tabel berikut ini ! Sertakan pula penurunannya!

$E_{\text{batere}}$	Tegangan											
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
4 VDC												
6 VDC												
10 VDC												
12 VDC												
$E_{\text{batere}}$	Arus											
	R2	R4	R6	R8	R10	R11	R12					
4 VDC												
6 VDC												
10 VDC												
12 VDC												

### F. FORMAT DATA PENGAMATAN

#### Percobaan I

$E_{\text{batere}}$	$V_A$	$V_B$	$V_C$	$V_{AB}$	$V_{BC}$	$V_{AC}$	$I_A$	$I_{R1}$	$I_{R2}$
4 VDC									
6 VDC									
10 VDC									
12 VDC									
6 Vpp AC									
12 Vpp AC									

#### Percobaan II

$E_{\text{batere}}$	Tegangan											
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
4 VDC												
6 VDC												
10 VDC												
12 VDC												
$E_{\text{batere}}$	Arus											
	R2	R4	R6	R8	R10	R11	R12					
4 VDC												
6 VDC												
10 VDC												
12 VDC												

### G. TUGAS AKHIR

- Bandingkan hasil yang diperoleh dari eksperimen dengan yang telah diperoleh sebelumnya di tugas pendahuluan?
- Apa kesimpulan yang bisa diperoleh dari Soal No. 1?
- Tentukan toleransi dari komponen yang digunakan
- Bagaimana cara kerja voltmeter AC dan DC
- Apa yang dimaksud dengan kalibrasi ohm meter (me-nol-kan jarum petunjuk)

## **MODUL 6**

### **RANGKAIAN DASAR OP-AMP 1**

#### **TUJUAN**

1. Membuktikan secara eksperimental bahwa penguatan suatu op-amp dapat diatur dan dapat bernilai negatif
2. Mampu mengoperasikan op-amp sebagai amplifier non inverting
3. Mampu mengoperasikan op-amp sebagai amplifier inverting
4. Mampu mengoperasikan op-amp sebagai diferensial amplifier
5. Menguji pengubah tegangan ke arus
6. Menguji pengubah arus ke tegangan

#### **PENDAHULUAN**

Operasional-amplifier (op-amp) dapat dikatakan sebagai penguat dengan multistage yang mempunyai input differensial. Op-amp dikemas dalam rangkaian terintegrasi (IC).

Ciri-ciri op-amp antara lain :

- memiliki dua input dengan satu output
- impedansi input tinggi
- impedansi output rendah
- penguatan *open loop* tinggi
- lebar pita frekuensi tak terhingga
- dapat dikonfigurasi dengan umpan balik
- tegangan output nol bila kedua tegangan input sama

Pada kenyataan op-amp memiliki nilai batas tertentu, tergantung jenis metode pembuatan op-amp tersebut.

#### **ALAT DAN KOMPONEN YANG DIGUNAKAN**

- Sumber tegangan tegangan  $\pm 15\text{ V}$
- Osiloskop
- Mutimeter
- Generator fungsi
- Op-amp 741
- Resistor dengan bermacam harga

#### **PROSEDUR PERCOBAAN**

##### **I. PENGUATAN OP-AMP INVERTING**

1. Susun rangkaian seperti pada gambar I.1
2. Bandingkan tegangan input dengan tegangan output
3. Perbesar output pada generator fungsi
4. Ukur dan catat pada lembar data, tegangan output dan input pada kondisi ini
5. Hitung penguatan tegangan dan bandingkan fase tegangan input dan output

- Matikan power op-amp dan ganti R1 dengan beberapa harga yang berbeda kemudian ulangi langkah 1 s/d 5

## II. PENGUATAN OP-AMP NON INVERTING

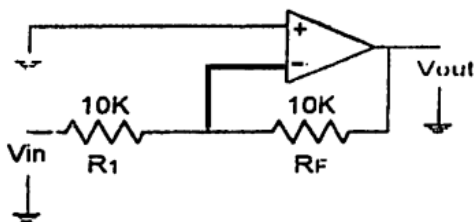
- Susun rangkaian seperti gambar I.2
- Lakukan langkah-langkah seperti pada percobaan I

## III. OP-AMP SEBAGAI PENJUMLAH

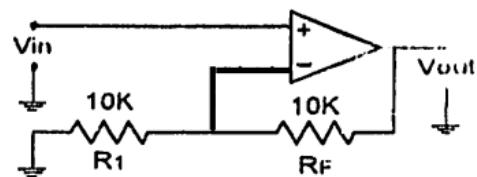
- Susun rangkaian seperti gambar I.3
- Tutup saklar S1 dan buka S2 lalu catat tegangan V1 dan  $V_{out}$
- Buka saklar S1 dan tutup S2 lalu catat tegangan V2 dan  $V_{out}$
- Tutup S1 dan S2 lalu catat tegangan  $V_{out}$
- Matikan power ke op-amp dan tukar polaritas V1 dan lakukan seperti langkah 4
- Rancang rangkaian penguat seperti pada gambar I.3 agar menghasilkan tegangan output sebesar -4,5 V dengan tegangan input 1,5 V

## TUGAS PENDAHULUAN

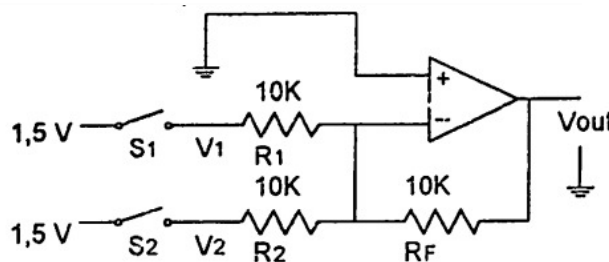
- Buat persamaan penguatan untuk rangkaian 1.1, 1.2, dan 1.3
- Apa yang dimaksud dengan umpan balik negatif?
- Apa kelebihan dan kekurangan rangkaian penguat Op-Amp dibanding dengan rangkaian penguat transistor?



Gambar I.1 Rangkaian inverting amplifier



Gambar I.2 Rangkaian non inverting amplifier



Gambar I.3 Op-amp sebagai penjumlah

## TUGAS AKHIR

- Dapatkah kita menghasilkan tegangan output yang melebihi  $V_{cc}$  Op-Amp dari sebuah tegangan input yang cukup kecil? Jelaskan!
- Cocokkah penguatan yang dihitung dengan teori dibanding dengan kenyataan percobaan?
- Apa saja yang mempengaruhi kecocokan perhitungan penguatan dari teori dengan kenyataan di rangkaian?
- Apa kesimpulan saudara dari percobaan yang dilakukan?

## **MODUL 7**

### **RANGKAIAN DASAR OP-AMP 2**

#### **TUJUAN**

1. Membuktikan secara eksperimental bahwa penguatan suatu op-amp dapat diatur dan dapat bernilai negatif
2. Mampu mengoperasikan op-amp sebagai amplifier non inverting
3. Mampu mengoperasikan op-amp sebagai amplifier inverting
4. Mampu mengoperasikan op-amp sebagai diferensial amplifier
5. Menguji pengubah tegangan ke arus
6. Menguji pengubah arus ke tegangan

#### **PENDAHULUAN**

Operasional-amplifier (op-amp) dapat dikatakan sebagai penguat dengan multistage yang mempunyai input differensial. Op-amp dikemas dalam rangkaian terintegrasi (IC).

Ciri-ciri op-amp antara lain :

- memiliki dua input dengan satu output
- impedansi input tinggi
- impedansi output rendah
- penguatan *open loop* tinggi
- lebar pita frekuensi tak terhingga
- dapat dikonfigurasi dengan umpan balik
- tegangan output nol bila kedua tegangan input sama

Pada kenyataan op-amp memiliki nilai batas tertentu, tergantung jenis metode pembuatan op-amp tersebut.

#### **ALAT DAN KOMPONEN YANG DIGUNAKAN**

- Sumber tegangan tegangan  $\pm 15\text{ V}$
- Osiloskop
- Mutimeter
- Generator fungsi
- Op-amp 741
- Resistor dengan bermacam harga

#### **TUGAS PENDAHULUAN**

1. Buat persamaan penguatan untuk rangkaian 1.4, 1.5, dan 1.6
2. Apa syarat utama sebuah rangkaian differensial amplifier dengan Op-Amp?
3. Buat skema pengukur arus yang melewati sebuah hambatan dengan amperemeter dan buat juga skema mengukur tegangan yang jatuh disebuah hambatan!

## PROSEDUR PERCOBAAN

### IV. DIFFERENSIAL

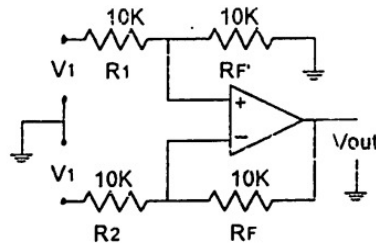
1. Susun rangkaian seperti gambar I.4
2. Berikan  $V_1 = 0,2 \text{ V}$  dan  $V_2 = 0,3 \text{ V}$
3. Catat  $V_{out}$  yang terukur
4. Ubah  $R_f$  menjadi  $50 \text{ K}\Omega$ . Catat  $V_{out}$  yang terukur

### V. PENGUBAH TEGANGAN KE ARUS

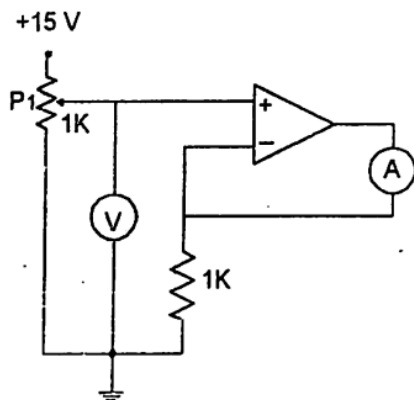
1. Susun rangkaian seperti gambar I.5
2. Atur variable resistor P1 sehingga didapat  $V_3 = 1 \text{ V}$
3. Catat arus output  $I_{out}$
4. Ubah variable resistor sehingga didapat  $V_{in}$  yang berbeda, ulangi langkah 1 s/d 3

### VI. PENGUBAH ARUS KE TEGANGAN

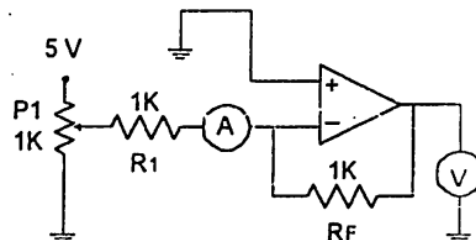
1. Susun rangkaian seperti gambar I.6
2. Atur variable resistor P1 sehingga didapat arus input  $I_{in} = 0,1 \text{ mA}$
3. Catat tegangan output  $V_{out}$
4. Ubah variabel resistor sehingga didapat  $I_{in}$  yang berbeda, ulangi langkah 1 s/d 3



Gambar I.4 Differential amplifier



Gambar I.5 Pengubah tegangan ke arus



Gambar I.6 Pengubah arus ke tegangan

## TUGAS AKHIR

1. Dapatkah kita menghasilkan tegangan output yang melebihi  $V_{cc}$  Op-Amp dari sebuah tegangan input yang cukup kecil? Jelaskan!
2. Cocokkan penguatan yang dihitung dengan teori dibanding dengan kenyataan percobaan?
3. Apa saja yang mempengaruhi kecocokan perhitungan penguatan dari teori dengan kenyataan di rangkaian?
4. Apa kesimpulan saudara dari percobaan yang dilakukan?

## MODUL 8

### RANGKAIAN PENJUMLAHAN DAN PENGURANGAN

#### TUJUAN

1. Menpelajari perubahan fase pada *inverting adder*
2. Mengamati pengaruh skala pada *output scaling adder*
3. Mempelajari dan membuat balans pada *adder-substracter* dan *direct adder*

#### PENDAHULUAN

Op-amp pada penggunaannya dapat digunakan sebagai rangkaian penjumlah terdiri dari *inverting adder*, *scaling adder*, *adder-substracter* dan *direct adder* dengan masing-masing mempunyai kelebihan tersendiri. Pada *inverting adder* penguatan tidak menjadi faktor utama sedangkan rangkaian penjumlah lainnya sangat memperhatikan penguatan.

#### ALAT DAN KOMPONEN YANG DIGUNAKAN

- Sumber tegangan  $\pm 15\text{ V}$
- Osiloskop
- Multimeter
- Op-amp 741
- Resistor dengan berbagai harga

#### PROSEDUR PERCOBAAN

##### I. INVERTING ADDER

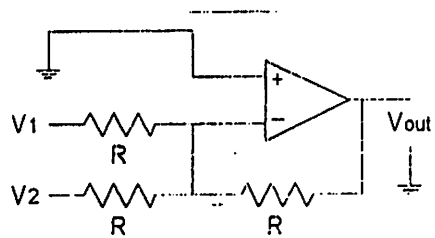
1. Susun rangkaian seperti pada gambar III.1 dengan harga  $R = 10\text{K}\Omega$
2. Beri tegangan 5V pada V1 dan 0V pada V2. Catat tegangan outputnya
3. V1 tetap 5 V, naikan tegangan pada V2 dengan interval 1V sampai 5V
4. Catat fase dan besar tegangan output

##### II. SCALLING ADDER

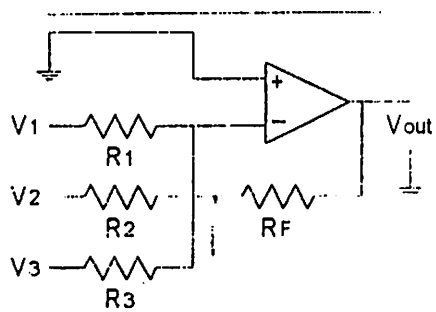
1. Susun rangkaian seperti pada gambar III.2 dengan harga  $R_1, R_2, R_3 = 10\text{K}\Omega$ ,  $R_f = 100\text{K}\Omega$
2. Beri tegangan 1V pada masing-masing input. Catat tegangan outputnya
3. Ganti harga  $R_1$  dengan  $20\text{K}\Omega$ . Catat tegangan outputnya
4. Ganti harga  $R_2$  dengan  $25\text{K}\Omega$  dan harga  $R_1$  tetap  $20\text{K}\Omega$ . Catat tegangan outputnya

##### III. ADDER SUBTRACTER

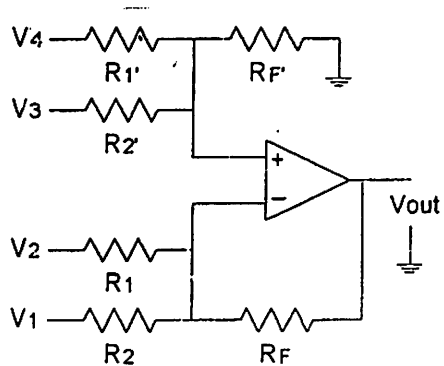
1. Susunlah rangkaian seperti gambar III.3 dengan harga  $R_1, R_2, R_1', R_2' = 10\text{K}\Omega$  dan  $R_f, R_f'$  masing-masing  $100\text{K}\Omega$
2. Beri tegangan 1V pada masing-masing input V1 dan V2 serta 2V untuk V3 dan V4. Catat tegangan outputnya



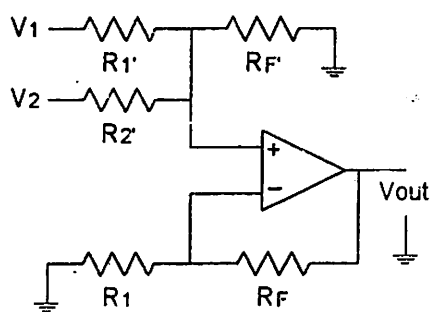
Gambar III.1 Inverting adder



Gambar III.2 Scaling adder



Gambar III.3 Adder-subtracter (balans)



Gambar III.4 Direct-adder (balans)



3. Ganti harga  $R_1$  dan  $R_2$  dengan  $50\Omega$ . Amati apa yang terjadi pada output
4. Tanyakan asisten cara untuk membuatnya menjadi balans

#### IV. DIRECT ADDER

1. Susun rangkaian seperti pada gambar III.4 dengan harga  $R_f$ ,  $R_1'$ ,  $R_2'$  = 100 K $\Omega$  dan  $R_1$  = 50 K $\Omega$
2. Beri tegangan 2 V pada masing-masing input  $V_1$  dan  $V_2$
3. Catat tegangan outputnya
4. Ganti harga  $R_1'$  dan  $R_2'$  dengan 50 K $\Omega$ . Amati apa yang terjadi pada output
5. Tanyakan asisten cara untuk membuatnya menjadi balans

#### TUGAS PENDAHULUAN

1. Jelaskan keuntungan dan kerugian rangkaian *inverting adder* !
2. Mengapa diperlukan penguatan yang seimbang (balans) pada rangkaian *adder-subtractor* ?
3. Buat rangkaian yang menjumlahkan tegangan berikut  $5V + 2V - 4V - 6V$  dengan input masing-masing 1V !

#### TUGAS AKHIR

1. Hitung penguatan pada masing-masing rangkaian !
2. Bandingkan tegangan output dari percobaan yang dilakukan dengan hasil perhitungan, buat kesalahan relatifnya !
3. Jelaskan salah satu kegunaan rangkaian penjumlah !
4. Buat analisis dan kesimpulan dari percobaan yang telah dilakukan !

## **MODUL 9**

### **OP-AMP SEBAGAI FILTER AKTIF**

#### **TUJUAN**

Memberikan pengertian dasar mengenai rangkaian integrator dan differensiator dan penerapannya sebagai filter aktif.

#### **PENDAHULUAN**

Differensiator merupakan rangkaian yang outputnya merupakan fungsi derivatif terhadap waktu dan input dengan konstanta tertentu. Pada integrator outputnya merupakan fungsi integrasi inputnya. Karena merupakan fungsi waktu, bentuk gelombang yang dilewatkan akan mengalami perubahan bentuk sesuai dengan hubungan matematisnya. Fungsi waktu berarti pula fungsi frekuensi, rangkaian ini digunakan sebagai induk dari rangkaian filter aktif, yaitu penguat yang hanya melewatkan daerah frekuensi tertentu.

#### **ALAT DAN KOMPONEN YANG DIGUNAKAN**

- Sumber tegangan  $\pm 15$  V
- Osiloskop
- Generator fungsi
- Op-amp 741
- Resistor dengan berbagai harga
- Kapasitor 0,1 mF dan 10 mF

#### **PROSEDUR PERCOBAAN**

##### **I. DIFFERENSIATOR**

1. Susun rangkaian seperti pada gambar V.1
2. Gunakan  $C = 0,1 \mu\text{F}$  dan  $R = 1\text{K}\Omega$
3. Beri gelombang sinus dari sinyal generator dengan frekuensi 1,67 KHz. dan amplitudo 200mV
4. Catat gelombang output bersamaan dengan gelombang input. Bila tidak ada output tukar C dengan 10 mF
5. Ganti input dengan gelombang segitiga kotak, catat gelombang outputnya

##### **II. INTEGRATOR**

1. Susun seperti pada gambar V.2
2. Lakukan langkah percobaan seperti differensiator

##### **III. LOW PASS FILTER**

1. Susun rangkaian seperti pada gambar V.3
2. Berikan dengan frekuensi rendah, amplitudo = 1 Vpp, amati gelombang output
3. Naikkan frekuensi sinyal input hingga tegangan output menjadi 0,707 tegangan output semula. Ini adalah frekuensi cut off
4. Ubah kapasitor dengan 10 mF dan lakukan langkah yang sama

#### IV. HIGH PASS FILTER

1. Susun rangkaian seperti pada gambar V.4
2. Berikan gelombang sinusoida sebagai input, atur frekuensi agar tegangan output menunjukkan harga terbesar
3. Turunkan frekuensi hingga tegangan output berubah menjadi 0,707 tegangan output semula. Ini adalah frekuensi cut off
4. Ubah kapasitor dengan 10 mF dan lakukan langkah yang sama

#### V. BAND PASS FILTER

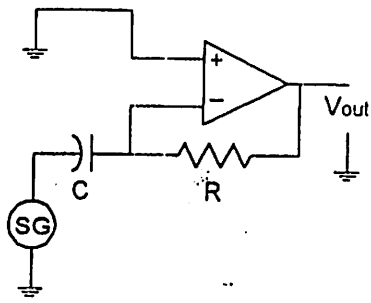
1. Susun rangkaian seperti pada gambar V.5
2. Berikan input gelombang sinusoida dengan amplitudo 1 Vpp
3. Dari frekuensi rendah amati output yang terjadi, naikan frekuensi perlahan-lahan hingga melewati frekuensi tengah dan tegangan output turun menjadi 0,707 tegangan output maksimum, ini adalah frekuensi cut off. Lakukan hal tersebut perlahan-lahan

#### TUGAS PENDAHULUAN

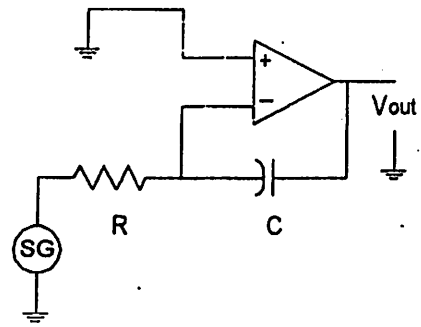
1. Buat persamaan untuk rangkaian differensiator dan integrator !
2. Sebutkan kelebihan dan kekurangan filter aktif !
3. Sebutkan jenis-jenis filter aktif !
4. Apa yang dimaksud dengan *roll off rate*, *gain bandwidth product* dan *pole* pada filter aktif ?
5. Jelaskan jenis-jenis respons filter !

#### TUGAS AKHIR

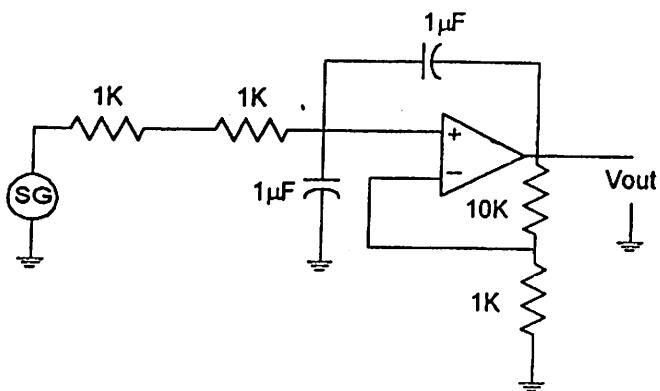
1. Gambar bentuk gelombang input dan output untuk rangkaian differensiator dan integrator !
2. Hitung dan bandingkan frekuensi cut off untuk masing-masing filter antara teori dan percobaan yang dilakukan
3. Sebutkan kegunaan, aplikasi dan pengembangan masing-masing filter !
4. Buat analisis, kesimpulan dan kesalahan relatifnya !



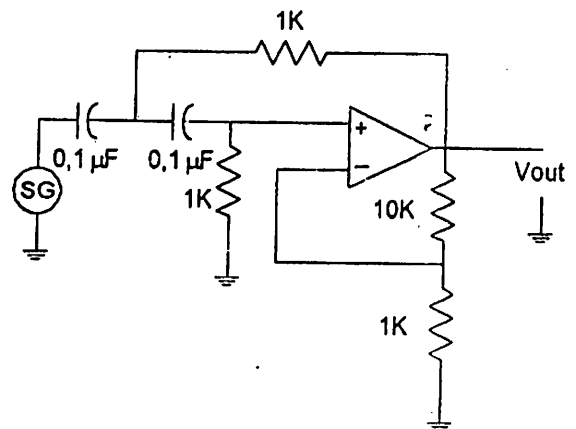
Gambar V.1. Differentiator



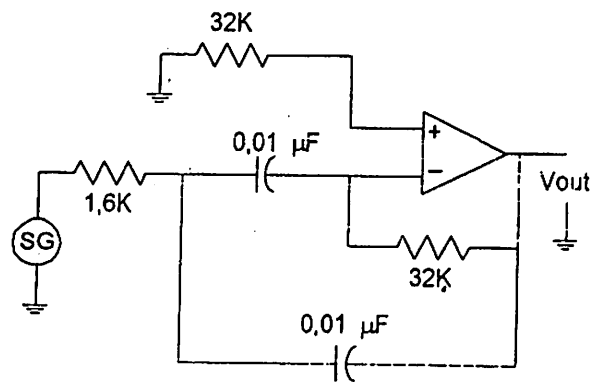
Gambar V.2. Integrator



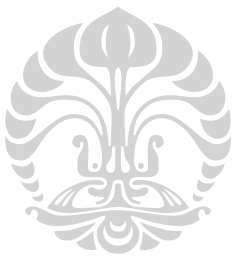
Gambar V.3. Low Pass Filter



Gambar V.4. High Pass Filter



Gambar V.5. Band Pass Filter



UNIVERSITAS  
INDONESIA

*Veritas, Probitas, Iustitia*

# Buku Penuntun Praktikum

## Elektronika 2

Laboratorium Elektronika  
Departemen Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Universitas Indonesia  
2018

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, akhirnya penyusunan Buku Penuntun Praktikum Elektronika Digital edisi 2018 dapat diselesaikan. Buku penuntun ini merupakan, acuan yang akan digunakan oleh praktikan yang akan melakukan Praktikum Elektronika II dan merupakan lanjutan dari Praktikum Elektronika I sebelumnya.

Pada edisi ini, setiap modul mengalami penyempurnaan dari modul sebelumnya dan telah disesuaikan dengan Mata Kuliah Elektronika dan perkembangan dunia elektronika. Penambahan juga dilakukan seperti pada modul 6 – 9 yang menggunakan perangkat *ZYBO™ FPGA Board* dengan menggunakan *VHDL* sebagai bahasa pemrogramannya. Kami berharap, praktikan tidak hanya terasah kemampuannya pada sisi *hardware* saja namun juga pada bagian *back-end (software)*, serta alur pemikiran konstruktifnya.

Akhirnya, kami mengucapkan terima kasih kepada bapak Dr. rer. nat. Agus Salam selaku Ketua Departemen Fisika yang telah banyak men-*support* baik moril maupun materil hingga penyusunan buku ini dapat terlaksana dengan baik. Buku Penuntun Praktikum ini jauh dari kata sempurna, maka saran dan kritik yang membangun selalu kami nantikan demi penyempurnaan dan perkembangan kita semua.

Buku ini kami persembahkan secara special kepada Departemen Fisika UI, semoga dapat bermanfaat. Amin.

Depok, 1 Maret 2018

Sastra Kusuma Wijaya, Ph.D

Dian Wulan Hastuti, S.Si

Affan Hifzhi, S.Si

Rizki Arif

# DAFTAR ISI

Kata Pengantar.....	1
Daftar Isi .....	2
Tata Tertib .....	3
<b>Modul 1 - Digital Integrated Circuits: AND Gate, OR Gate, Inverter, NOR Gate, NAND Gate .....</b>	<b>5</b>
<b>Modul 2 - Digital ICs: Binary Addition and The Full Adder; Decoder and Encoder .....</b>	<b>13</b>
Modul 3 - Digital ICs: Flip-Flops.....	20
Modul 4 - Digital ICs: Counters .....	28
Modul 5 - The 555 Timer .....	34
Modul 6 - Half Adder, Full Adder, and Decoder using VHDL.....	41
Modul 7 - BCD Seven Segment using VHDL .....	46
Modul 8 - Sequential BCD Counter using VHDL .....	49
Modul 9 - State Machine using VHDL .....	51

# MODULE 1

## DIGITAL INTEGRATED CIRCUITS: AND GATE, OR GATE, THE INVERTER, THE NOR GATE, THE NAND GATE

### OBJECTIVES

1. To become familiar with the characteristics and symbols of an AND gate and an OR Gate.
2. To determine experimentally the truth table of a combined AND gate and OR gate.
3. To determine experimentally the truth table for a NOR gate.
4. To use NOR logic to construct a logic inverter.
5. To use NOR logic to construct a NAND gate and determine a truth table for this gate.

### BASIC INFORMATION

In this preceding experiments you worked with linear ICs. In the remaining experiments you will study digital ICs. Digital ICs are *logic circuits*, the building blocks of digital computers and calculators. The basic digital circuits are rather simple and will serve as an introduction to digital ICs.

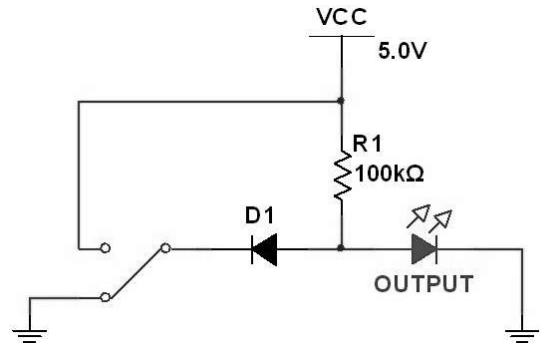
#### Logic Circuits

In digital electronics, a gate is a logic circuit with one output and one or more inputs; an output signal occurs for certain combinations of input signals. In this experiment we examine the AND and OR Gate.

Logic circuits can be in one of two states such as on or off, high or low, magnetized or unmagnetized, and so on. A toggle switch is a simple example of a two-state device.

#### AND Gate

Figure 1.1 shows a diode circuit with a switch input and a load resistor of 100 k $\Omega$ . The supply voltage is +5 V. When the switch is in the ground position, the diode is forward-biased and approximately 0.7 V appears across the diode. Therefore, the output voltage is low when the input is low.



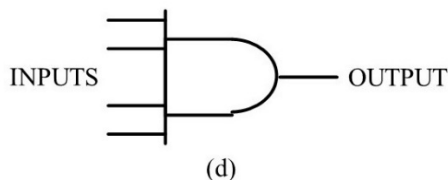
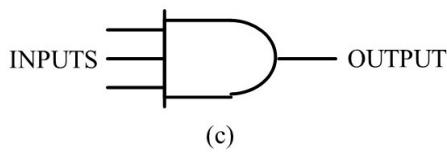
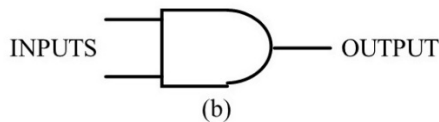
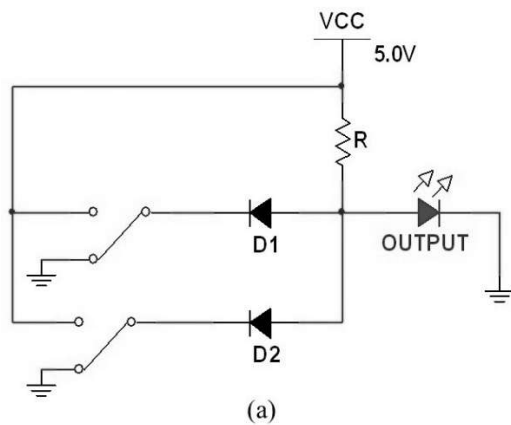
**Figure 1.1.** A forward-biased diode acts like a closed switch.

On the other hand, when the switch is at +5 V, the net voltage across the diode-resistor combination is 0. As a result, the diode is non-conducting. Since there is no current through the load resistor, the output is pulled up to the supply voltage. In other words, the output is HIGH (+5 V) when the input is HIGH.

Now look at the two-input AND gate of figure 1.2(a). When both switches are in the ground position, both diodes are conducting and the output is low. If  $S_1$  is switched to +5V and  $S_2$  is left in the ground position, then the output is still low because  $D_2$  still conducts. Conversely, if  $S_1$  is in the ground position and  $S_2$  is at +5V, diode  $D_1$  is conducting and the output is still low.

The only way to get a high output with an AND gate is to have all input high. If  $S_1$  and  $S_2$  are both at +5V, both diodes are non-conducting. In this case, the output is pulled up to the supply voltage because there is no current through the load resistor. By adding more diodes and switches, we can get 3-input AND gates, 4-input AND gates, and so on. Regardless of how many inputs an AND gate has, the operation is the same because it is an all-or-nothing gate. That is, all inputs must be high to get a high output. If any input is low, the output is low.





**Figure 1.2.** AND gate. (a) Diode circuit; (b) 2-input; (c) 3-input; (d) 4-input.

Transistors, MOSFETs, and other devices can also be used in the construction of AND gates. Figure 1.2(b) shows the schematic symbol for a 2-input AND gate of any design. Figure 1.2(c) shows the symbol for a 3-input AND gate, while figure 1.2(d) is the 4-input AND gate. For these AND gates the action can be summarized like this: All inputs must be high to get a high output.

### Truth Table for Two-Input AND Gate

The action of logic circuit is usually summarized in the form of *truth tables*. These are tables that show the output for all combinations of the input signals. Table 1.1 shows the truth table for a 2-input AND gate.

Binary means ‘two’. Computers use the binary number system. Rather than having digits 0 to 9, a binary number system has only digits 0 and 1. This is better suited to digital electronics where the signals are low or high, switches are open or closed, lights are off or on, and so on. In our experiments, we will use positive logic; this means binary 0 represents the low state and binary 1 represents the high state. With this in mind, table 1.2 is the truth table of a 2-input AND gate as it is usually shown. This gives the same information as

table 1.1, expect it uses a binary code where 0 is low and 1 is high.

**Table 1.1.** Two-input AND Gate

Inputs		Output
A	B	
Low	Low	Low
Low	High	Low
High	Low	Low
High	High	High

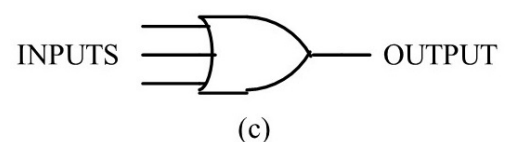
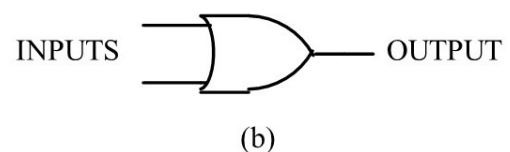
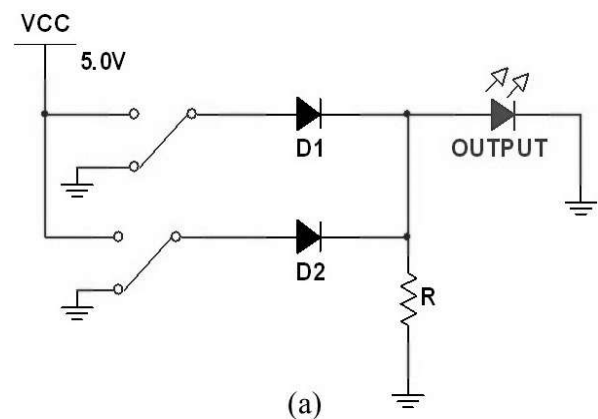
**Table 1.2.** Two-input AND Gate

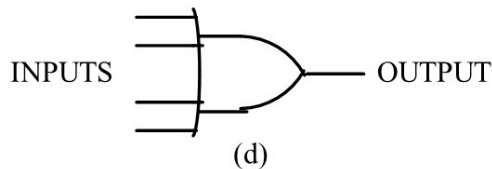
Inputs		Output
A	B	
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

### OR Gate and Truth Table

Figure 1.3(a) shows 2-input OR gate. When both switches are in the ground position, the diodes are non-conducting, and the output is low. If either switch is set to +5V, then its diode conducts and the output is approximately +4.3V. In fact, both switches can be at +5V and the output will be around +4.3V (the diodes are in parallel).

Therefore, if either input is high or if both are high, the output is high. Table 1.3 summarizes the operation of a 2-input OR gate in terms of binary 0s and 1s. As you see, if both inputs are low, the output is low. If either input is high, the output is high. If both inputs are high, the output is high.





**Figure 1.3.** OR Gate. (a) Diode circuit; (b) 2-input; (c) 3-input; (d) 4-input

Unlike the AND gate where all inputs must be high to get a high output, the OR gate has a high output if any input is high. Figure 1.3(b) shows the symbol for a two-input OR gate. By adding more diodes to the gate, we can produce 3-input OR gates, 4-input OR gates, and so on. Figures 1.3(c) and (d) show the schematic symbols for 3- and 4-input OR gates of any design.

**Table 1.3.** Two-input OR gate

Inputs		Output
A	B	
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

### Combined AND-OR Gates

Combinations of AND and OR gates may be used to perform complex logic operation in computers. Figure 1.4 is an example of combining AND and OR gates. Figure 1.4 is an example of combining AND and OR gates. To analyze this circuit, consider what happens for all possible inputs starting with all low, one low, and so on. For instance, if all inputs are low, the AND gate has a low output; therefore, both inputs to the OR gate are low and the final output is low. This is the first entry shown in table 1.4.

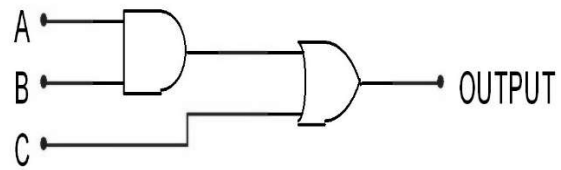
Next, consider A low, B low, and C high. The OR gate has a high input; therefore, its final output is high. This is the second entry in table 1.4. By analyzing the remaining input combinations, you can get the other entries shown in the truth table. (you should analyze the remaining entries.)

### IC Gates

Nowadays, most logic circuits are available as ICs. Transistor-transistor Logic (TTL) became commercially available in 1964. Since then, it has become the most popular family of digital ICs. In this experiment you will work with TTL gates.

An IC 7408, one of the many available ICs in the TTL family. As you see, this dual in-line package contains 4 AND gates. For this reason, it is called *quad two-input* AND gate. Notice that pin 14 is the supply pin. For TTL devices to work properly, the supply voltage must be between +4.75 and +5.25 V. This is why +5V is the

nominal supply voltage specified for all TTL devices. Notice also pin 7, the common ground for the chip. The other pins are for inputs and outputs.



**Figure 1.4.** AND-OR Circuit

The four AND gates are independent of each other. In other words, they can be connected to each other or to other TTL devices such as the quad two-input OR gate (IC 7432). Again, notice pin 14 connects to the supply voltage and pin 7 to ground.

**Table 1.4.** AND-OR Circuit

Inputs			Output
A	B	C	
0	0	0	0
0	0	1	1
0	1	0	0
0	1	1	1
1	0	0	0
1	0	1	1
1	1	0	1
1	1	1	1

### Boolean Equations

*Boolean algebra* is a special algebra used with logic circuits. In Boolean algebra, the variables can have only one of two values: 0 or 1. Another thing that is different about Boolean algebra is the meaning of the plus and times signs. In Boolean algebra, the '+' sign stands for the OR operation. For instance, if the inputs to an OR gate are A and B, the output Y is given by

$$Y = A + B$$

Read this equation as Y equals A OR B. Similarly, the \* sign is used for the AND operation. Therefore, the output of a 2-input AND gate is written as

$$Y = A * B$$

or simply as

$$Y = AB$$

Read this as Y equals A AND B.

These expressions can be combined to describe any logic circuit. For instance, the AND gate in figure 1.4 can be expressed in Boolean algebra as AB. This output supplies one input to the OR gate whose output (and the final output of the circuit) is

$$Y = AB + C$$

## NOT Logic

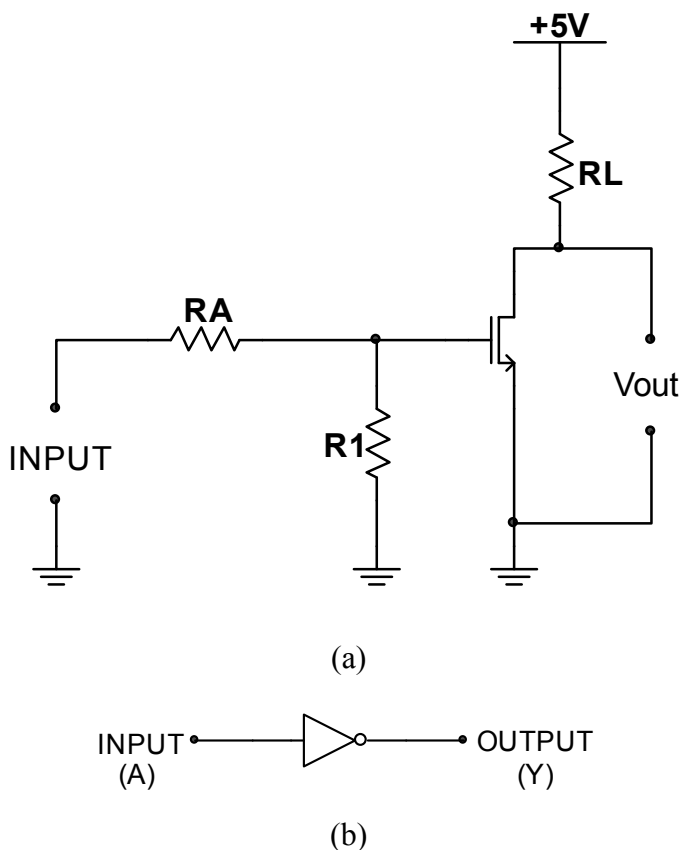
A NOT circuit is simply an *inverter*, as in figure 1.5(a) -an amplifier, biased to cut off- whose output is 180° out of phase with its input. When 0 V (a logic low) or no input is applied, the transistor is cut off and the output is at  $V_{CC}$ ; that is, it is high. When +5 V ( $+V_{CC}$  or a logic high) is applied to the base, the transistor saturates driving the collector voltage to 0.1 V, a logic low. The schematic symbol for a NOT or INVERTER circuit is shown in figure 1.5(b).

The Boolean expression for the characteristics of an inverter is given by

$$Y = \overline{A}$$

The *bar* over the A represents NOT. Thus, if the letter A represents a high level (1).  $\overline{A}$  Represents low, and if  $A = 0$ ,  $\overline{A} = 1$ .

The 7404 IC is a TTL gate with six inverters. As with the 7408 and 7432, pin 14 is the supply and pin 7 is the ground.



**Figure 1.5.** (a) NOT or Inverter Circuit; (b) Logic Symbol

## NOR and NAND Gate

The three building-block circuits, AND, OR, and NOT, serve as the basis for other logic circuits. The NOR gate combines NOT and OR logic. What characterizes a NOR circuit is that a low input is produced when a high

signal is applied to input A, *nor* to input B, *nor* to input N, *nor* to any combination of inputs. A high output is produced when all the inputs are low. Thus the output states for the NOT-OR or NOR are the inverse of the OR gate.

Figure 1.6 is a schematic symbol for a NOR gate with two inputs. The truth table of a 2-input NOR gate is shown in table 2.1, and the Boolean expression for a NOR gate is given by

$$Y = \overline{A + B}$$

A circuit which combines the NOT and AND functions is called a NAND gate. A 2-input NAND gate is shown in figure 1.7, and its truth table is shown in table 1.6. The output is like that which would be produced by a NOT AND Circuit; hence the term 'NAND'. The NAND gate is therefore an AND gate with its output inverted. The Boolean expression for NAND gate is

$$\overline{A \bullet B} = C$$

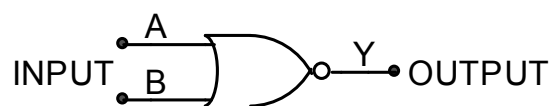
## TTL Logic Chips

Present state of the art employs integrated-circuit (IC) TTL logic in the manufacture of NOT, NOR, and NAND gates. ICs are nicknamed 'chips' because the actual electronics are manufactured on small-size substrates that appear as chips from a larger block of material. In this experiment you will use the 7427, a TTL positive-logic IC. This device is a triple 3-input NOR gate.

Figure 1.8 is a top view of the 7427 showing the inputs and outputs of each of the three gates. Also shown are the connection for  $+V_{CC}$ , terminal 14, and the connection for the ground in terminal 7. The 7427 operates with a supply +5V.

## De Morgan's Theorem

It is desirable to connect gates together in as few a number as possible to create a desired output result given a fixed set of input conditions. Alternatively, it may be necessary to utilize one type of gate to produce several other logic functions. Purchasing one IC type in bulk quantity has the advantage of reducing the cost of these chips.



**Figure 1.6.** Two-input NOR-gate Logic Symbol

Two theories are used to facilitate the objectives. The first, Boolean Algebra, utilizes rules based on logic gate operations. The later, De Morgan's Theorem, is examined here.

**Table 1.5.** Two Input NOR-Gate

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

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

De Morgan states, simply, that the inverse of Boolean relationship is expressed as a new relationship that is the opposite in value and function of the original. That is, the state of the input is inverted (A to  $\bar{A}$ ) and the function is inverted (OR to AND and AND to OR). To apply this concept, consider the Boolean expression for a NOR gate.

To ‘demorganize’ that expression, first invert each input and the function, so that the Boolean expression becomes

$$Y = \bar{A} \bullet \bar{B}$$

De Morgan’s theorem states that these two expressions are identical; that

$$\overline{A + B} = \bar{A} \bullet \bar{B}$$

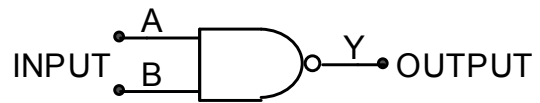
## SUMMARY

1. Digital electronics deals with voltages that are in one of two states, either high or low.
2. Digital circuits are called *logic circuits* because certain combinations of inputs determine the output.
3. In positive logic, a binary 0 represents low voltage and a binary 1 is high voltage.
4. The simplest logic circuits are 2-input OR gates and 2-input AND gates
5. All inputs must be high to get a high output an AND gate
6. An OR gate has a high output if any input is high.
7. A *truth table* is a concise summary of all input output combinations.
8. TTL is the most popular family of digital ICs.
9. A NOT circuit is a logic inverter, converting a binary 1 into a 0 or a 0 into a 1
10. A NOR gate is an OR circuit whose output is inverted. It is a NOT OR gate

## SELF-TEST

1. Are digital circuits the same as linear circuits?
2. In a 3-input AND gate all inputs must be \_\_\_\_\_ to get a \_\_\_\_\_ output.
3. In a 4-input OR gate at least \_\_\_\_\_ input must be high to get a \_\_\_\_\_ output.

The truth tables for these two produce results the same as those of table 1.5. Take one set of inputs, say, A = 0 and B = 0, and apply them to both expressions. The original NOR expression says  $A + B$  inverted.  $0 + 0$  results in a zero. Inverting this produces a final result of 1.

**Figure 1.7.** Two-input NAND-gate Logic Symbol

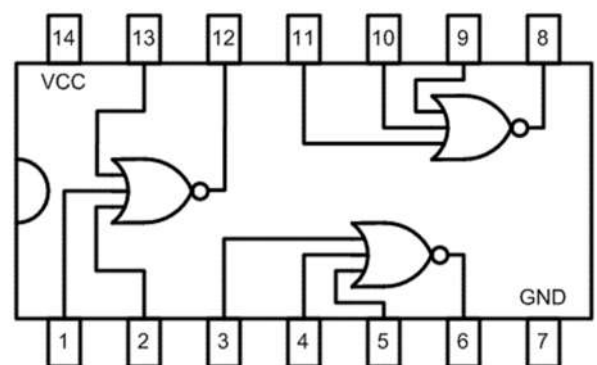
Now the demorganized expression, an inverted is AND with B inverted. In this example, a 0 inverted is a 1, and 1 AND 1 produces a result of 1. Note that both expressions produced the same result for the same input condition.

**Table 1.6.** Two-input AND-Gate

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

$$\overline{A \bullet B} = C$$

11. A NAND gate is an AND circuit whose output is inverted.
12. The truth table of NAND gate is that of an AND gate, with the output inverted.



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

**Figure 1.8.** Top View and Block Diagram of a 7427

4. With positive logic, a binary 0 represents the \_\_\_\_\_ state and a binary 1 the \_\_\_\_\_ state.
5. \_\_\_\_\_ is the most popular family of digital ICs, two examples being the 7408 and the 7432. The

first is a \_\_\_\_\_ 2-input AND gate and the second is a quad two-input OR gate.

6. The nominal supply voltage for TTL is \_\_\_\_\_.
7. If *each* of the inputs of a three-input NAND gate is high, the output is \_\_\_\_\_.
8. The expression  $1 + 0$  represents a \_\_\_\_\_ gate, one of whose inputs is \_\_\_\_\_, the other \_\_\_\_\_.
9. A binary 1 is changed into a binary 0 by a circuit called a(n) \_\_\_\_\_ or \_\_\_\_\_ circuit.

10. A circuit whose logic is the inverse of AND logic is called a(n) \_\_\_\_\_ gate.
11. A circuit whose logic is the inverse of OR logic is called a(n) \_\_\_\_\_ gate.
12. What is the De Morgan alternate expression for a NAND gate?

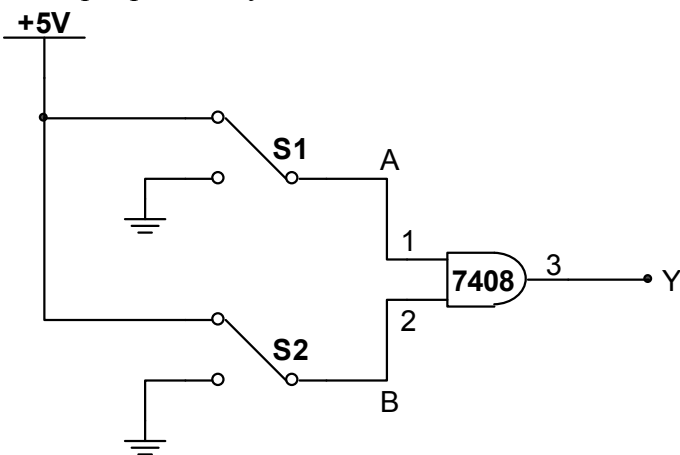
## -----PROCEDURE-----

### MATERIALS REQUIRED

- Power Supply DC
- Digital Multimeter
- ICs: 7408, 7432, 7427, 7404, 7400
- Resistors and switches
- Logic Breadboard; Three SPDT Switches

### AND Gate

1. Connect the circuit of figure 1.9 (remember to connect pin 14 to +5V and pin 7 to ground)
2. Set the switches as needed to get the different input combinations shown in table in figure 1.9. Record the state of the output as a 0 or 1 for each input possibility

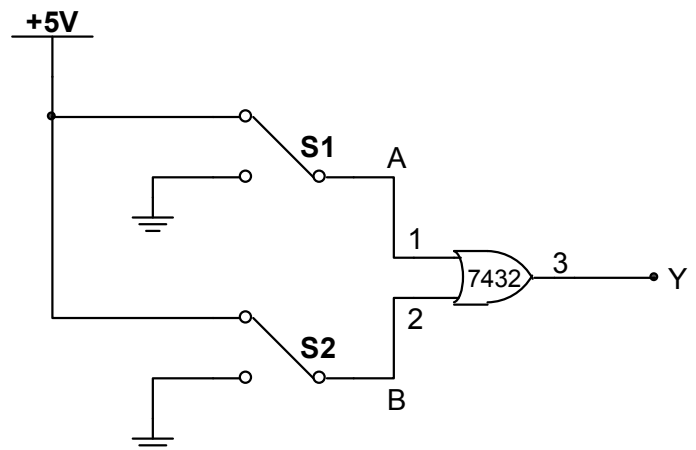


Inputs		Y
A	B	
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

**Figure 1.9.** AND Gate Experiment

### OR Gate

1. Connect the circuit of figure 1.10.
2. Measure the output voltage for each input combination of table shown in figure 1.10. Record



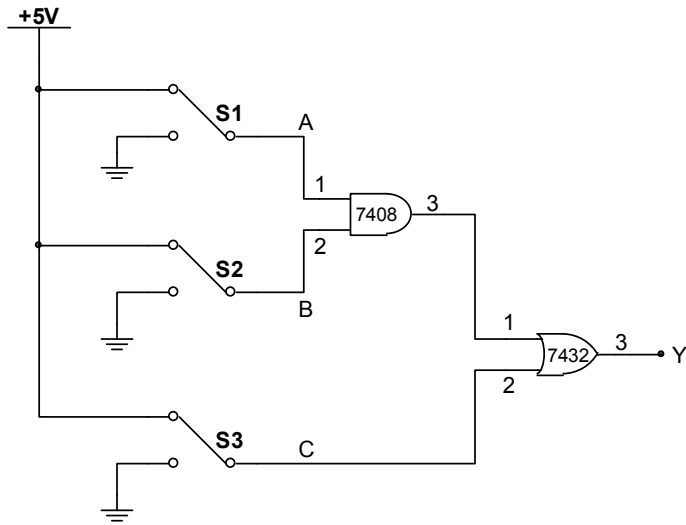
Inputs		Y
A	B	
0	0	
0	1	
1	0	
1	1	

**Figure 1.10.** OR Gate Experiment

### Combined AND-OR Gate

1. Connect the circuit of figure 1.11.
2. Set the switches for each input shown in figure 1.11. Record the output states as 0s and 1s.
3. Design a 3-input circuit with any combination of gates to get a high output only when all inputs are high. Draw the circuit!
4. Verify the circuit experimentally. Record your results in a truth table. What is the Boolean expression of this circuit?
5. Design a 4-input OR gate using any combination of gates. Draw the circuit.

6. Verify the circuit experimentally and record the results in a truth table. What is the Boolean expression of this circuit?



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

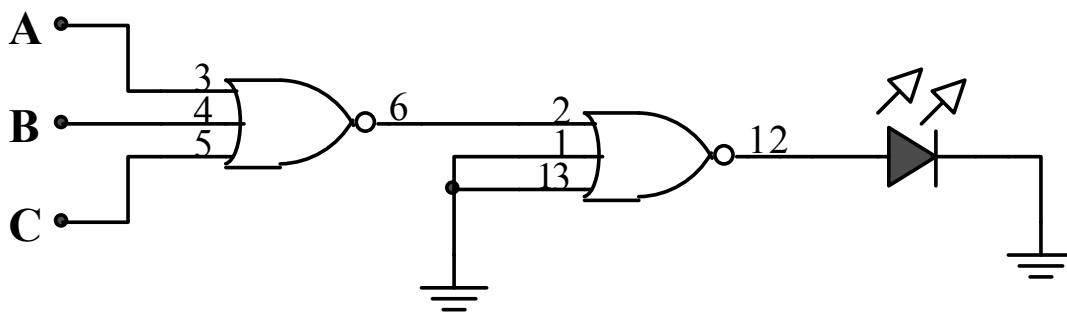
**Figure 1.11.** Combined AND-OR Experiment

### NOR Gate Logic

1. Connect the circuit shown in figure 1.12 and complete the truth table. Take the picture of each steps.
2. Connect the circuit shown in figure 1.13 and complete the truth table. Take the picture of each steps.
3. Connect the circuit shown in figure 1.14 and complete the truth table. What is the Boolean expression for the circuit?

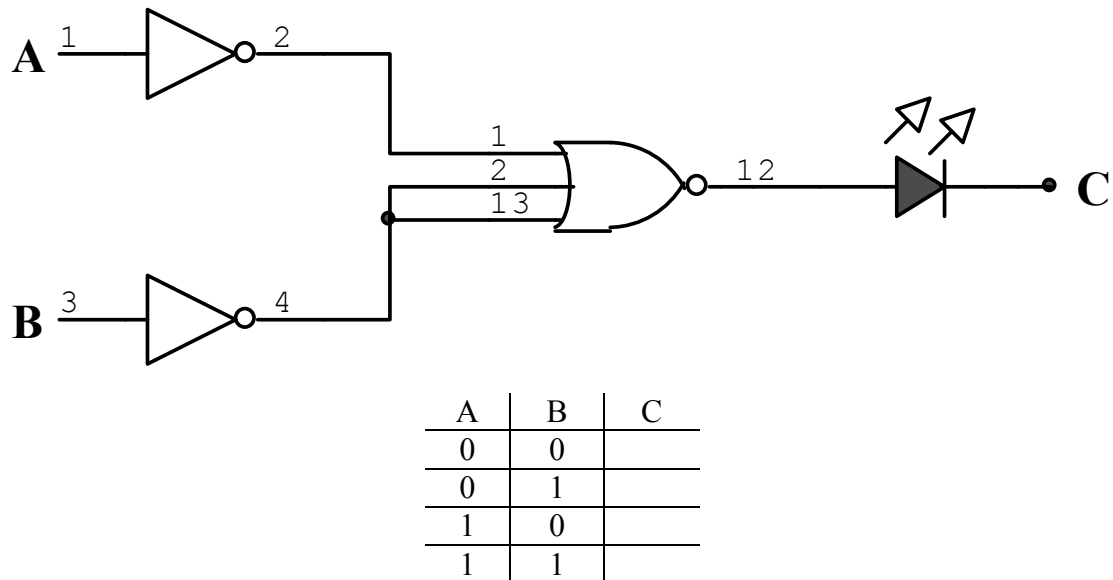
### NAND Gate Logic

1. Connect the circuit shown in figure 1.12 and complete the truth table (replace the 7427 with 7410). Take the picture of each steps.
2. Connect the circuit shown in figure 1.13 and complete the truth table (replace the 7427 with 7410). Take the picture of each steps.
3. Connect the circuit shown in figure 1.14 and complete the truth table (replace the 7427 with 7410). What is the Boolean expression for the circuit?

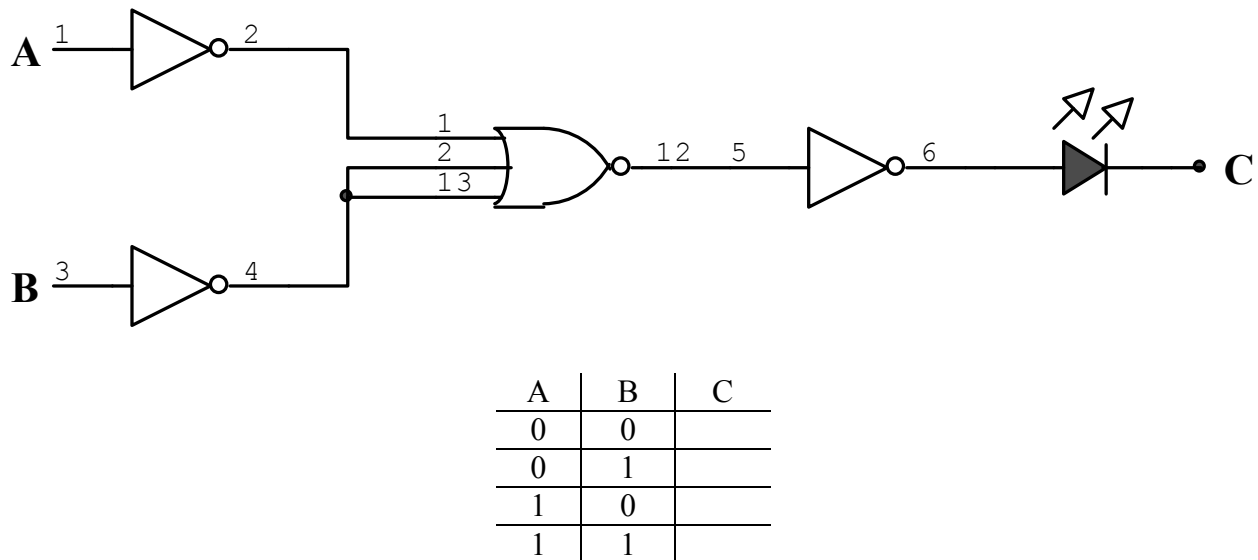


A	B	C	OUTPUT
0	0	0	
0	0	1	
0	1	0	
0	1	1	
1	0	0	
1	0	1	
1	1	0	
1	1	1	

**Figure 1.12.** Experimental Circuit 4 and Truth Table 4



**Figure 1.13.** Experimental Circuit 5 and Truth Table 5



**Figure 1.14.** Experimental Circuit 6 and Truth Table 6

## QUESTIONS

1. Using the logic family type in the experiment, identify the voltage level for the two logic states of a gate's output.
2. For your logic family, can unused inputs remain floating (open)? Explain your answer using the logic family characteristics as supporting information.
3. How many gates can the output of a single gate in your logic family drive? Contrast this to other logic families (TTL, CMOS, etc.)
4. What are the characteristics of a NOR gate?
5. What are the characteristics of a NAND gate?

## MODULE 2

# DIGITAL ICS: BINARY ADDITION AND THE FULL ADDER; DECODER AND ENCODER

### OBJECTIVES

1. To learn the rules of binary addition.
2. To convert a decimal into a binary number, and a binary into a decimal number.
3. To explore the uniqueness of an exclusive-OR gate.
4. To construct a full adder using IC logic blocks.
5. Study of 8 to 3 lines encoder.
6. Study of 3 to 8 lines decoder.

### BASIC INFORMATION

#### Binary Number

The binary system of arithmetic uses only two symbols (0 and 1) to represent all quantities. This system finds wide use in computers because the 0 and 1 are easily represented by the 2-state digital circuits.

Counting is started in the binary system in the same way as in the decimal system with 0 for zero and 1 for one. But at 2 in the binary system there are no more symbols. Therefore, the same move must be taken at two in the binary system that is taken at 10 in the decimal system: It is necessary to place a 1 in the position to the left and start again with a 0 in the original position. Table 2.1 is a list of numbers shown in both decimal and binary form.

The order of binary number is not designated unit, tens, hundreds, thousands, and so forth, as in the decimal system. Instead, the order is 1, 2, 4, 8, 16, 32, and so on, reading from right to left with the position farthest to the right being 1. Table 2.2 shows more decimal quantities and their equivalents in binary form. Note how the positions are numbered right to left.

**Table 2.1.** Decimal and Binary Numbers

Decimal	Binary	Decimal	Binary
0	0	6	110
1	1	7	111
2	10	8	1000
3	11	9	1001

4	100	10	1010
5	101	11	1011

These values are found by raising the base radix (2) by an exponential value equivalent to its position in the number. The smallest binary digit called the *least significant bit* (LSB) is binary digit position 0. It has a numerical weight of  $2^0 = 1$ . The weight of the next digit is  $2^1 = 2$ , then  $2^2 = 4$ , and so forth. Notice that each position weight is twice that of the preceding digit.

Converting binary values to decimal is achieved by multiplying the position weight of each digit by the value (1 or 0) in the position. These products are added to produce the final decimal equivalent of the original binary number. For example, let us convert 110101 to its decimal value. There are six binary digits with the LSB in rightmost place. The weights of these digits (bits) are LSB = 1 and then 2, 4, 8, and 16 and finally, 32. Thus,  $110101_2 = 53_{10}$ . The subscript denotes the base value of the number system used for each number (2 for binary and 10 for decimal).

**Table 2.2.** Decimal Numbers and Their Binary Equivalents

Decimal	Binary							
	256	128	64	32	16	8	4	2
34				1	0	0	0	1
15						1	1	1
225		1	1	1	0	0	0	1
75			1	0	0	1	0	1

The method used to convert a decimal number to its binary equivalent may be called *divide and remainder*. Divide the original decimal value by 2, the binary base value. The result is a quotient and a remainder. The remainder becomes the binary number starting with the LSB. Divide the quotient again by 2. The remainder is the next binary bit. The quotient result is again divided by the base value with the remainder becoming the third binary digit. This is repeated until the quotient becomes 0.



Addition of binary quantities is very simple and is based on the following three rules:

1.  $0 + 0 = 0$
2.  $0 + 1 = 1$
3.  $1 + 1 = 0$  with a 1 carry to the left

Table 2.3 is an example of binary addition using the rules stated.

The factors to be added are 75 and 225. Starting at the right, we have  $1 + 1 = 0$  with a 1 carry (rule 3).

The next position to the left is added:  $0 + 1 = 1$ . 0 with 1 carried to the third position. The third position consists of  $0 + 0 = 0 + 1(\text{carry}) = 1$ . This procedure given in binary form as 100101100, which is equal to  $256 + 32 + 8 + 4 = 300$ . This sum is exactly what we would expect to get by adding the decimal quantities 225 and 75.

Binary quantities can also be subtracted, multiplied, and divided, using rules similar to those for addition.

**Table 2.3.** Adding Binary Numbers

	<i>Binary Value</i>								
Carry:	1	1					1	1	
225 =	0	1	1	1	0	0	0	0	1
+75 =	+0	0	1	0	0	1	0	1	1
300 =	1	0	0	1	0	1	1	0	0

## Exclusive-OR Gate

Figure 2.1(a) is a schematic diagram for a special circuit called an *exclusive-OR*. The Boolean expression for this circuit is  $Y = A\bar{B} + \bar{A}B$ . Table 2.4 is the truth table for this circuit. Output Y will be high if A is low and B is high or the reverse is true. Output Y is low whenever the two inputs are both low or both high.

Examine table 2.4 carefully and note that the output is in one state when the inputs agree and in another state when they disagree. This respect allows the exclusive OR to be used for comparing binary bit values.

**Table 2.4.** Exclusive-OR

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

The Boolean operator for an exclusive-OR is an OR operator (+) enclosed in a circle:  $\oplus$ . As such, another Boolean expression for the circuit in figure 2.1 is

$$Y = A \oplus B$$

You will find many uses for this circuit which packaged in its own IC (7486). The schematic symbol for this gate is shown in figure 2.1(b).

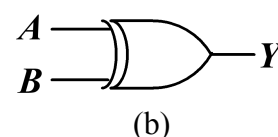
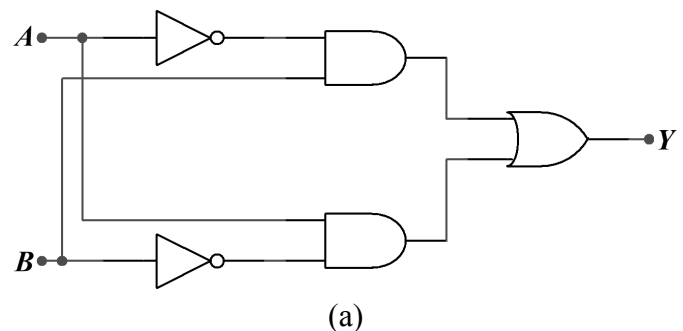
## Binary Half Adder and Truth Table

The simplest binary adder is called a *half adder* and is capable of combining two binary numbers and providing an output and a carry when necessary. The first step in understanding the operation of a half adder is to investigate the input combinations and the resulting outputs based on the rules of binary addition. Table 2.5 is a truth table showing these combinations. The table shows that a binary 1 on one input with a 0 in the other (rule 2) results in a binary 1 sum and binary 0 carry. A binary 1 on both inputs results in a binary 0 sum and a binary 1 carry (rule 3). A binary 0 on both inputs results in a binary 0 sum and binary 0 carry (rule 1).

**Table 2.5.** Truth Table for Half Adder

<i>Input</i>		Sum	Carry
A	B		
0	0	0	0
0	1	1	0
1	0	1	0
1	1	0	1

Consider the sum and carry as two separate truth table results generated by the inputs A and B. Note that the sum has generated an exclusive-OR table and the carry, an AND result. Figure 2.2 is the schematic of the circuit that produces this half adder truth table.



**Figure 2.1.** (a) Exclusive-OR; (b) logic schematic symbol

The half adder has only limited use because there are no provisions for a carry input from a previous adder.

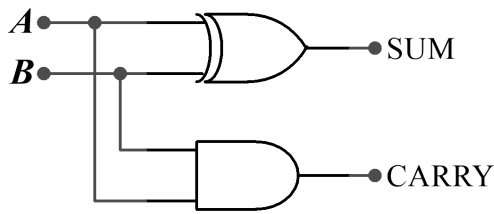


Figure 2.2. Half Adder

### Binary Full Adder and Truth Table

When a carry and the two quantities to be added are considered as inputs, the input combinations increase to eight as shown in table 2.6. An adder capable of producing the required outputs for the eight input combinations is called a *full adder*. The full adder is shown in the block diagram of figure 2.3.

The full adder shown represents a single position in a binary-adder system. Because many such adders are combined in a large computer, each full adder is

represented as a block in the computer logic diagram. An example of a five-position binary adder is shown in figure 2.4. The actual number of positions in such an adder depends on the size of the computer and the type of calculations the computer is designed for.

Table 2.6. Truth Table for Full Adder

Inputs			Outputs	
A	B	C	Sum	Carry
0	0	0	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	1	0
0	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	0	1	0	1
1	1	0	0	1
1	1	1	1	1

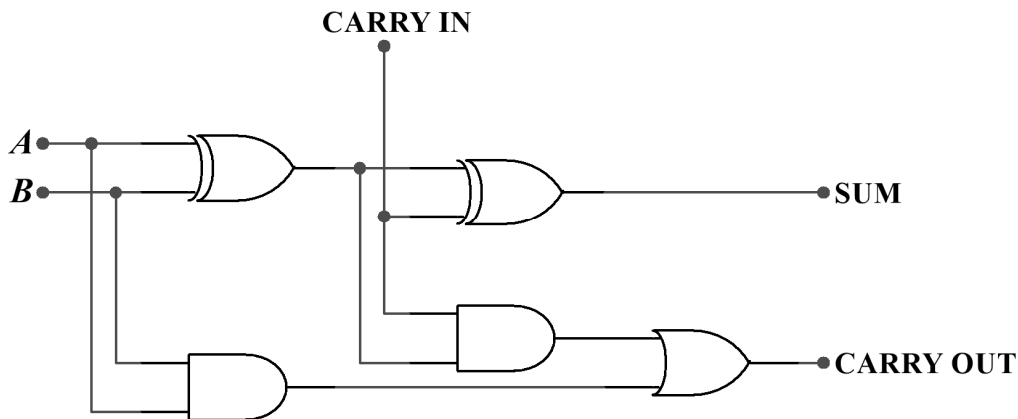


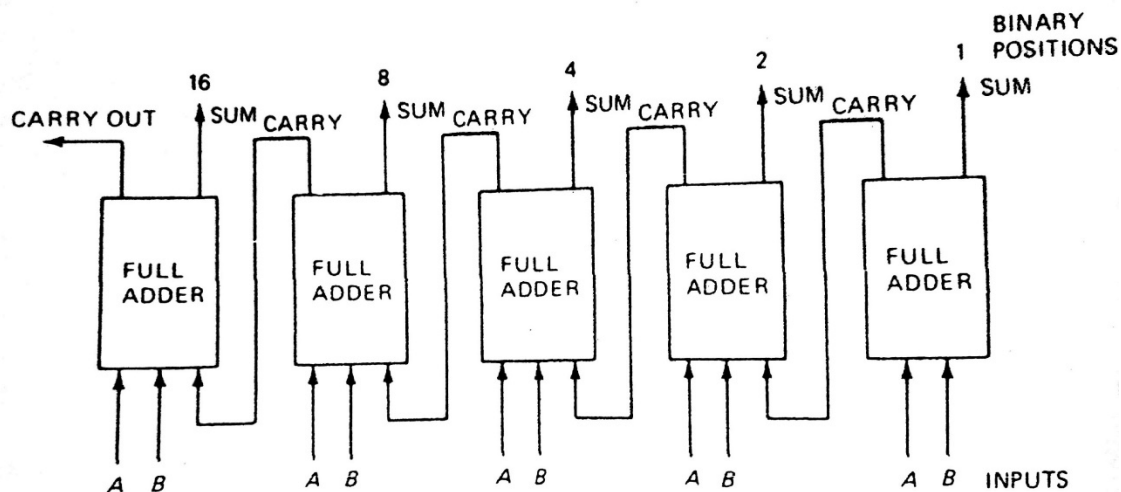
Figure 2.3. Full Adder

## SUMMARY

1. The binary number system for digital computers uses only two symbols, 1 and 0. These have the same meaning as 1 and 0 in the decimal number system you are so familiar.
2. In the decimal or base-10 system the value of each digit in a number is some power of 10 and depends on its position in the number. For example, in the number 527, the 7 is in the units ( $10^0$ ) column and counts for  $1 \times 7$ , or 7; the 2 is in the tens ( $10^1$ ) column and counts for  $2 \times 10$ , or 20. The 5 is in

the hundreds ( $10^2$ ) column and counts for  $5 \times 10^2$  or 500.

3. Numbers in the binary system are formed exactly as they are in the decimal, except the value of a column is a power of 2 rather than of 10, with the extreme right-hand column having the value  $2^0$  or 1. The next column on the left has the value  $2^1$  or 2; the next  $2^2$  or 4; the next  $2^3$  or 8; and so on. The values of the first seven binary columns, reading from right to left are:
4. To convert binary numbers to decimal, use the added weight process. To convert in the reverse direction, use the divide-and-remainder method.



**Figure 2.4.** Block Diagram of Five-Position Binary Adder

5. Addition of binary numbers is based on the following rules:
  - a.  $0 + 0 = 0$
  - b.  $1 + 0 = 1$
  - c.  $1 + 1 = 0$  with 1 carry to the left
6. An exclusive-OR gate is a unique circuit that produces a 0 when the two inputs are the same and a one when they are opposite of each other.
7. A *half-adder* is a binary adder (figure 2.2) which combines two binary digits and provides an output and a carry. A half adder has four possible input combinations (table 2.5).
8. A *full-adder* (figure 2.3) is a binary adder which combines three binary digits and provides an output and a carry. One of the inputs may be a carry from a previous arithmetic operation. A *full-adder* has eight possible input combinations (table 2.6).

## SELF-TEST

1. A number written in binary form has one and only one equivalent decimal value. \_\_\_\_\_ (true/false)
2. The number 479 written in binary form is \_\_\_\_\_.
3. The result of adding these two binary numbers, 10011100 and 10001101 is \_\_\_\_\_.
4. The value of the number 11010011 in the decimal form is \_\_\_\_\_.
5. Give an example of application of decoder and encoder circuit!

## PROCEDURE

### MATERIALS REQUIRED

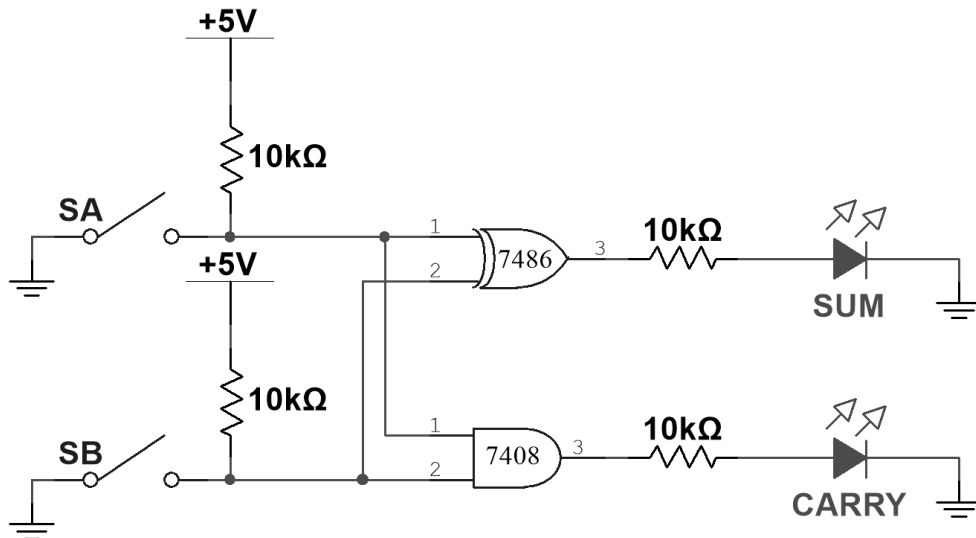
- Power Supply: Variable regulated low-voltage
- Digital multimeter
- Resistors
- Integrated circuits 7408, 7432, 7486, 7411, 4072
- 3 SPDT Toggle Switches, LED

## Half Adder Circuit

1. Connect the *half-adder* circuit (figure 2.5)
2. Connect pin 14 of each ICs to +5 V of the supply and pin 7 to the ground.
3. Change the input as shown in table 2.7 and write down the condition of the output.

**Table 2.7.** Logic of Half Adder

Inputs		Outputs	
A	B	Sum	Carry
Low	Low		
Low	High		
High	Low		
High	High		



**Figure 2.5.** Experimental Half Adder

## Full Adder Circuit

1. Connect the *full-adder* circuit (figure 2.6).
2. Connect pin 14 of each ICs to +5 V of the supply and pin 7 to the ground.
3. Change the input as shown in table and write down the condition of the output.
4. Using techniques developed for the full adder, create a truth table for a full subtractor. What is the Boolean expression for the difference and borrow results?

**Table 2.8.** Logic of Full Adder

Inputs			Outputs	
A	B	C	Sum	Carry
Low	Low	Low		
Low	Low	High		
Low	High	Low		
Low	High	High		
High	Low	Low		
High	Low	High		
High	High	Low		
High	High	High		

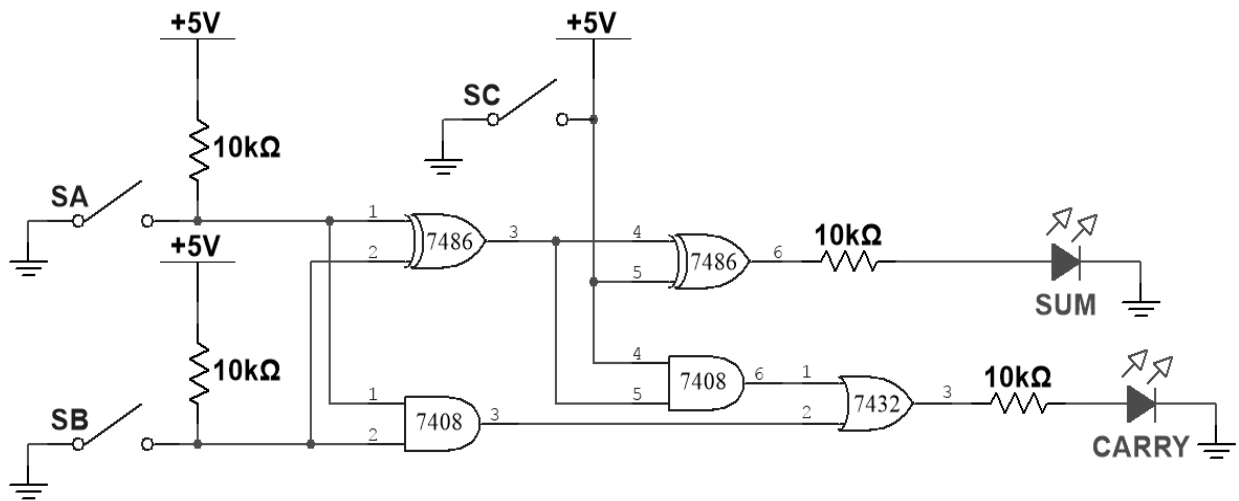


Figure 2.6. Experimental Full Adder

### 8 to 3 Lines Encoder Circuit

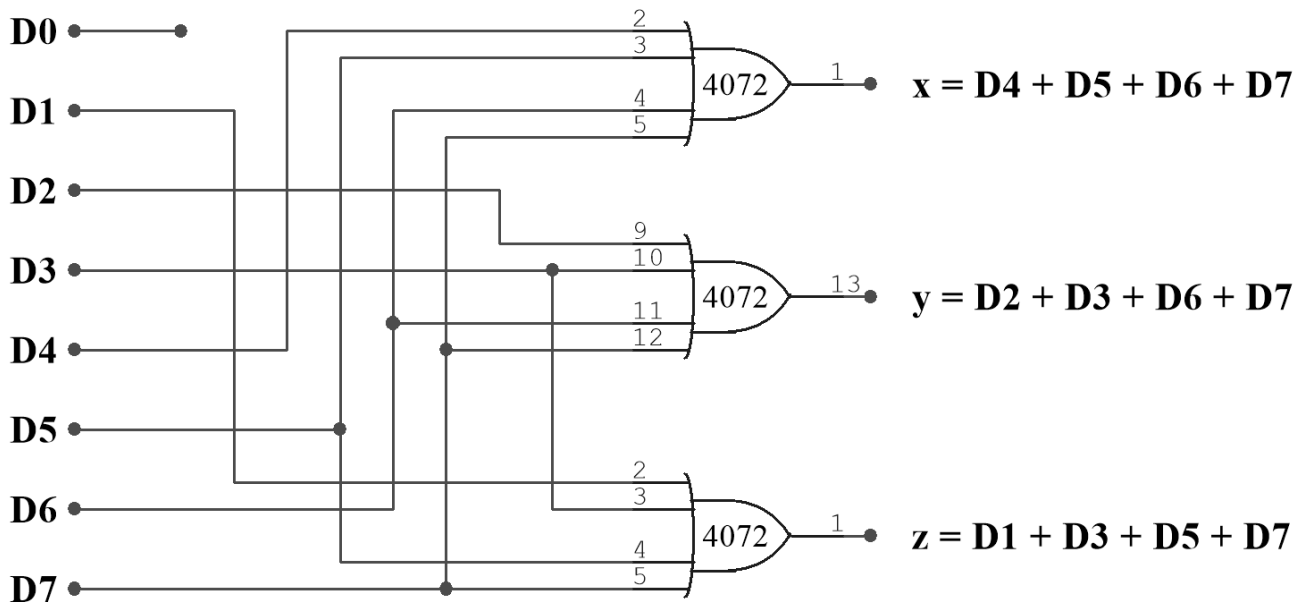


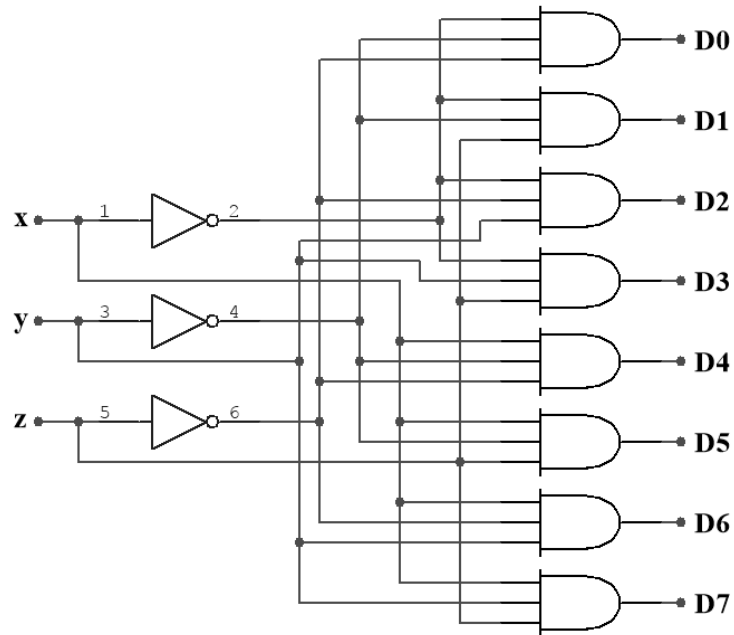
Figure 2.7. Experimental Circuit of 8 to 3 Lines Encoder

1. Make connections as shown in figure 2.7!
2. Connect pin 14 of each ICs to +5 V of the supply and pin 7 to the ground!
3. Connect input 1 or 0 to encoder circuit as shown in figure 2.7 as per truth table!
4. Switch on the instrument!
5. Observe output on 8 bits LED display!
6. Repeat step number 3 to 5 for other input combinations!
7. Verify the truth table!

Table 1.9. Truth Table for 8 to 3 Lines Encoder

D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	x	y	z
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0
0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1
0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1

### 3 to 8 Lines Decoder Circuit



**Figure 2.8.** Experimental 3 to 8 Lines Decoder

1. Make connections as shown in figure 2.8!
2. Connect pin 14 of each ICs to +5 V of the supply and pin 7 to the ground!
3. Connect input 1 or 0 to decoder circuit as shown in figure 2.8 as per truth table!
4. Switch on the instrument!
5. Observe output on 8 bits LED display!
6. Repeat step number 3 to 5 for other input combinations!
7. Verify the truth table!

**Table 1.10.** Truth Table of 3 to 8 Lines Decoder

x	y	z	D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7
0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1

### QUESTIONS

1. Why is the binary number system preferred to the decimal system for use in computers?
2. What is the main difference of half-adder and full-adder?
3. Write the quantity 8999 in binary form!
4. Convert the binary quantity 10011111 to its decimal equivalent!
5. Explain 3 example of application of decoder and encoder circuit!