



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN *INVERTER* 12V DC KE 220V AC
DENGAN FREKWENSI 50HZ DAN GELOMBANG
KELUARAN SINUSOIDAL**

SKRIPSI

**FADHLI MR
0806365785**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
DESEMBER 2010**



UNIVERSITAS INDONESIA

**RANCANG BANGUN *INVERTER* 12V DC KE 220V AC
DENGAN FREKWENSI 50HZ DAN GELOMBANG
KELUARAN SINUSOIDAL**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik**

**FADHLI MR
0806365785**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
DEPOK
DESEMBER 2010**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar**

Nama : FADHLI MR

NPM : 0806365785

Tanda Tangan :

Tanggal : 22 Desember 2010

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Fadhli MR
NPM : 0806365785
Program Studi : Teknik Elektro
Judul Skripsi : Rancang Bangun Inverter 12V DC ke 220V AC dengan Frekwensi 50Hz dan Gelombang Keluaran Sinusoidal

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Dr. Ir. Purnomo Sidi Priambodo, M.Sc ()

Penguji : ()

Penguji : ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 22 Desember 2010

Ketua Program Studi Teknik Elektro

()

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Elektro pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- (1) Dr. Ir. Purnomo Sidi Priambodo, M.Sc, selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
- (2) Orang tua tercinta, kakak, adik-adik dan keluarga besar yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
- (3) Teman-teman yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini, baik yang ada di Cirus SG (BH, BA, ED, EG, IS, HK, AM) maupun yang di Elektro 2008 (Andri, Ilma, Deni), Nola Rizal terima kasih untuk semangatnya dan semua pihak yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu

Depok, 10 Desember 2010

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fadhli MR
NPM : 0806365785
Program Studi : Teknik Elektro
Departemen : Teknik Elektro
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul :

**Rancang Bangun Inverter 12V DC ke 220V AC Dengan Frekwensi 50Hz dan
Gelombang Keluaran Sinusoidal**

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan skripsi saya tanpa meminta izin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 22 Desember 2010

Yang menyatakan

(Fadhli MR)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
UCAPAN TERIMA KASIH	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI SKRIPSI UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Tujuan Skripsi.....	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Sistematika Penulisan.....	2
BAB 2 TEORI INVERTER	3
2.1 Prinsip Dasar Inverter.....	3
2.1.1 Full-Bridge Converter Theory.....	3
2.1.2 Inverter Gelombang Kotak (<i>Square-Wave Inverter</i>).....	4
2.2 Inverter Dengan Lokal Oskilator.....	5
2.2.1 Sumber Gelombang Kotak 50Hz.....	5
2.2.2 Low Pass Filter (LPF) Orde 2.....	7
2.3 Rangkaian Penguat Sinusoidal 50Hz	9
2.3.1 Konfigurasi <i>Collector Feedback</i> (Umpan-balik Kolektor)...	9
2.4 Transformator.....	10
BAB 3 PERANCANGAN DAN SIMULASI	12
3.1 Bagian Pembangkit Gelombang Sinus.....	12
3.1.1 Sumber Gelombang Bolak Balik.....	12
3.1.2 Rangkaian Pembalik Fasa.....	13
3.1.3 <i>Low Pass Filter</i>	15
3.1.4 Rangkaian Non-Inverting Amplifier.....	18
3.2 Bagian Driver.....	20
3.2.1 Rancang Bangun Bagian Driver.....	20
3.2.2 Analisa Penguat Umpan-balik Kolektor.....	21
3.2.3 Analisa Penguat Pasangan Umpan-balik.....	23

BAB 4 PEMBUATAN RANGKAIAN INVERTER DAN PENGUJIAN	25
4.1 Sumber Gelombang Kotak.....	25
4.2 <i>Low Pass Filter</i>	27
4.3 Sirkit Driver.....	28
4.4 Transformator.....	29
BAB 5 KESIMPULAN	30
DAFTAR ACUAN	31

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	(a) <i>Full-bridge converter</i> . (b) S_1 dan S_2 tertutup. (c) S_3 dan S_4 tertutup. (d) S_1 dan S_3 tertutup. (e) S_2 dan S_4 tertutup.....	3
Gambar 2.2	Multivibrator astabil menggunakan IC NE555 berikut gelombangoutputnya.....	5
Gambar 2.3	Konfigurasi pin dari IC NE555.....	6
Gambar 2.4	Konfigurasi pin 74LS04 (a), dan tabel input terhadap outputnya.....	6
Gambar 2.5	<i>Sallen-Key low pass filter</i>	7
Gambar 2.6	Single-supply Sallen-Key low pass filter	8
Gambar 2.7	Penguat umpan-balik kolektor	9
Gambar 2.8	Model r_e dari penguat umpan-balik kolektor.....	9
Gambar 2.9	Transformasi tegangan (a) dan transformasi arus (b).....	10
Gambar 2.10	Gulungan CT pada kumparan sekunder(a) dan primer(b)....	10
Gambar 2.11	Fasa pada kedua output trafo CT.....	11
Gambar 3.1	Blok diagram inverter	12
Gambar 3.2	Rangkaian multivibrator astabil dan pembagi fasa	14
Gambar 3.3	Keluaran pada pin IC 74LS04.....	15
Gambar 3.4	Rangkaian low pass filter	16
Gambar 3.5	Plot tegangan input dan output LPF.....	17
Gambar 3.6	Skema blok pembangkit gelombang sinus dan LPF	18
Gambar 3.7	Grafik keluaran LPF terhadap keluaran non-inverting amplifier	19
Gambar 3.8	Skema lengkap bagian driver dan penguat akhir	20
Gambar 3.9	Penguat umpan balik kolektor.....	21
Gambar 3.10	Hasil simulasi rangkaian penguat umpan-balik kolektor.....	23
Gambar 3.11	Hasil simulasi rangkaian driver.....	23
Gambar 3.12	Tegangan primer (a) dan sekunder (b) trafo step-up.....	23
Gambar 4.1	Rangkaian IC 555 dengan IC 74LS04.....	24
Gambar 4.2	Keluaran NE555 (kaki 3).....	25
Gambar 4.3	Gelombang Kotak IC 74LS04 berbeda fase sebesar 180° ...	25
Gambar 4.4	Rangkaian Low Pass Filter.....	26
Gambar 4.5	Keluaran akhir dari Low Pass Filter.....	26
Gambar 4.6	Skema lengkap bagian driver dan penguat akhir.....	27
Gambar 4.7	Keluaran Akhir Dari rangkaian Driver.....	27
Gambar 4.8	Keluaran dari trafo CT.....	28

Fadhli MR
Departemen Teknik Elektro

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Purnomo Sidi Priambodo, M.Sc

**RANCANG BANGUN *INVERTER* 12V DC KE 220V AC
DENGAN FREKWENSI 50HZ DAN GELOMBANG
KELUARAN SINUSOIDAL**

ABSTRAK

Salah satu sistem elektronika yang kita kenal adalah inverter yang berfungsi mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC, salah satunya adalah DC 12V menjadi tegangan 220 AC 50Hz dan gelombang keluarannya sinusoidal. Inverter ini sangat berfungsi sebagai penyedia listrik cadangan baik di kendaraan maupun di rumah, sebagai *emergency power* saat aliran listrik rumah padam. Selain itu di masa mendatang, inverter DC to AC akan memegang peranan penting dalam mengubah energi DC dari sumber energi terbarukan sel surya menjadi energi listrik AC yang kita gunakan sehari-hari. *Low pass filter* (tapis lolos-rendah atau LPF) adalah suatu rangkaian yang meneruskan sinyal-sinyal yang memiliki frekuensi dibawah frekuensi transisinya, dan melemahkan sinyal-sinyal yang memiliki frekuensi diatas frekuensi transisinya.

Kata kunci : inverter, *low pass filter*, driver, gelombang sinusoidal.

Fadhli MR
Electrical Engineering Department

The lecturer of consultant
Dr. Ir. Purnomo Sidi Priambodo, M.Sc

DESIGN OF INVERTER 12V DC TO 220V AC 50HZ FREQUENCY AND
SINE WAVE OUTPUT

ABSTRACT

One of the electronic system as we know it is inverter which changing the DC voltage AC voltage Being, one of which is DC 12V into 220 AC 50Hz voltage and output sinusoidal wave. This inverter is functioning as a provider of backup power in both the vehicle and at home, as emergency home power when the electricity goes out. Also in the future, the inverter DC to AC will play an important role in changing the DC energy from renewable energy sources solar cells into AC electrical energy that we use everyday. Low pass filter (low-pass filter or LPF) is a circuit which transmit signals that have frequencies below the transition frequency, and weaken the signals that have frequencies above the transition frequency.

Key words : inverter, low pass filter, driver, sine wave.

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 LATAR BELAKANG

Perkembangan dunia industri yang terus berkembang di berbagai bidang, tentunya hal ini juga mampu membuat kehidupan manusia menjadi lebih mudah. Sejalan dengan kemajuan industri yang sangat pesat, maka kebutuhan akan listrik sebagai sumber energi dalam pelaksanaan industri juga semakin meningkat.

Perkembangan barang – barang elektronika sangat pesat, Beberapa perangkat pendukung mengalami perkembangan, alat – alat elektronika yang semakin beragam. Salah satu sistem elektronika yang kita kenal adalah inverter yang berfungsi mengubah tegangan DC 12V menjadi tegangan 220 AC 50Hz.

Inverter ini sangat berfungsi sebagai penyedia listrik cadangan baik di kendaraan maupun dirumah, sebagai *emergency power* saat aliran listrik rumah padam. Selain itu di masa mendatang, inverter DC to AC akan memegang peranan penting dalam mengubah energi DC dari sumber energi terbarukan sel surya menjadi energi listrik AC yang kita gunakan sehari-hari.

Dalam aplikasinya, inverter ini dapat digunakan pada perangkat rumah tangga, komputer, peralatan pertukangan, pompa air, kipas angin, sistem suplai energi pada rumah di daerah terpencil dan berbagai barang elektronik lainnya. Alat ini terutama pada perangkat rumah tangga sangat banyak digunakan terutama pada saat listrik padam dan pada sumber energi DC yang dihasilkan oleh sel surya. Kita membutuhkan sumber AC untuk digunakan pada lampu dan sistem elektronika lainnya.

1.2 TUJUAN SKRIPSI

Penulisan skripsi ini bertujuan untuk merancang dan membangun sebuah perangkat *inverter 12V DC to 220V AC* dengan frekuensi 50Hz dan gelombang keluaran yang dihasilkan berupa gelombang sinusoidal.

1.3 BATASAN MASALAH

Batasan masalah pada skripsi ini yaitu perancangan dan membangun sebuah perangkat *inverter 12V DC to 220 AC* dengan frekuensi 50Hz dan gelombang keluaran yang dihasilkan berupa gelombang sinusoidal.

1.4 SISTEMATIKA PENULISAN

Dalam penulisan skripsi ini akan disusun secara sistematis yang terdiri atas bagian-bagian yang saling berhubungan sehingga diharapkan akan mudah dipahami dan dapat diambil manfaatnya.

BAB 1 PENDAHULUAN

Berisi latar belakang, perumusan masalah, pembatasan masalah, metode penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2 TEORI INVERTER DC Ke AC

Pada Bab ini berisi tentang konsep yang mendasari prinsip inverter, *Inverter* adalah rangkaian yang mengubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Atau lebih tepatnya inverter memindahkan tegangan dari sumber daya DC ke beban AC. *Inverter* digunakan pada aplikasi seperti *adjustable-speed AC motor drives*, *uninterruptible power supplies (UPS)*, dan aplikasi AC yang dijalankan dari baterai.

BAB 3 PERANCANGAN SIRKIT INVERTER

Merupakan penjelasan pembuatan rancangan sistem inverter. Inverter ini akan mengubah keluaran gelombang kotak menjadi gelombang sinusoidal dengan menambahkan *low pass filter(LPF)* sebelum rangkaian drivernya. Diharapkan dengan penambahan LPF akan mengurangi harmonisa tinggi.

BAB 4 PEMBUATAN RANGKAIAN INVERTER DAN PENGUJIAN

Berisi pembahasan dan data-data dari pembuatan inverter serta pengujian rangkaian inverter.

BAB 5 PENUTUP

Berisikan beberapa kesimpulan dari dasar-dasar sistem dan perancangan sistem.

BAB 2

TEORI INVERTER

2.1 Prinsip Dasar Inverter

Inverter adalah rangkaian yang mengubah DC menjadi AC. Atau lebih tepatnya inverter memindahkan tegangan dari sumber DC ke beban AC. *Inverter* digunakan pada aplikasi seperti *adjustable-speed AC motor drives*, *uninterruptible power supplies* (UPS), dan aplikasi ac yang dijalankan dari baterai.

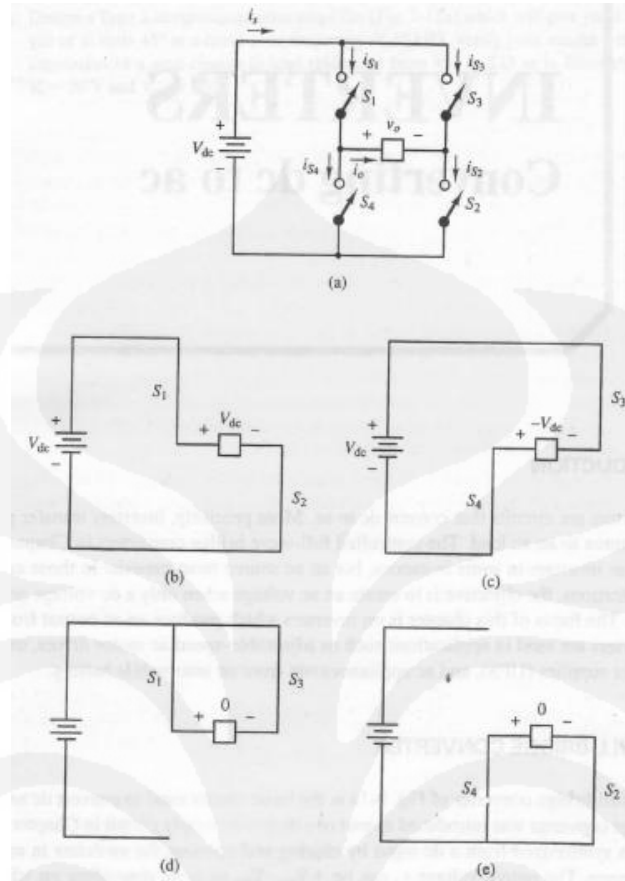
2.1.1 Full-Bridge Converter Theory

Full bridge converter adalah rangkaian teori dasar yang digunakan untuk mengubah DC ke AC. *Full bridge converter* mempunyai pasangan saklar (S_1, S_2) dan (S_3, S_4). Keluaran AC didapatkan dari masukan DC dengan membuka dan menutup saklar-saklar pada urutan yang tepat. Tegangan keluaran V_o bisa berupa $+V_{dc}$, $-V_{dc}$, atau nol, tergantung pada saklar yang mana tertutup.

Rangkaian ekivalen kombinasi saklar *full bridge converter* diperlihatkan pada Gambar 2.1. Sebagai catatan bahwa S_1 dan S_4 tidak boleh menutup pada saat yang bersamaan, begitu juga dengan S_2 dan S_3 , yang akan menyebabkan terjadinya *short circuit* pada sumber DC. Saklar yang nyata tidak bisa *on* atau *off* secara seketika. Tegangan keluaran dari kondisi pasangan saklar pada rangkaian full bridge converter ditampilkan pada table 2.1. [1]

Tabel 2.1. Tegangan keluaran pasangan saklar pada rangkaian *full bridge converter*. [1]

Saklar tertutup	Tegangan keluaran (V_o)
S_1 dan S_2	$+V_{dc}$
S_3 dan S_4	$-V_{dc}$
S_1 dan S_3	0
S_2 dan S_4	0



Gambar 2.1: (a) *Full-bridge converter*. (b) S_1 dan S_2 tertutup. (c) S_3 dan S_4 tertutup. (d) S_1 dan S_3 tertutup. (e) S_2 dan S_4 tertutup [1]

Walaupun waktu transisi *switching* harus diberikan pada kendali saklar, *overlap* pada waktu saklar *on* juga akan mengakibatkan *short circuit*, yang disebut *shoot-through*. Waktu yang diberikan untuk transisi *switching* disebut *blanking time*. [1]

2.1.2. Inverter Gelombang Kotak (*Square-Wave Inverter*)

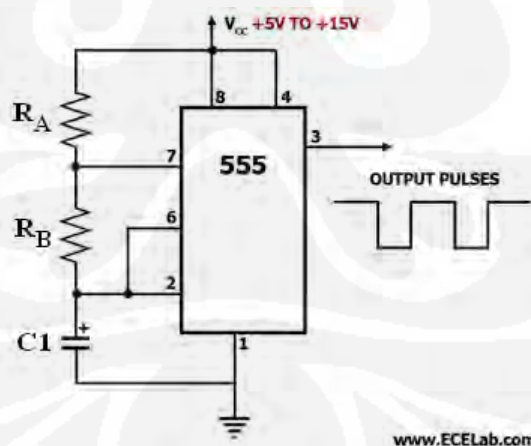
Merupakan pola *switching* yang paling sederhana agar *full bridge converter* dapat menghasilkan keluaran tegangan gelombang kotak. Saklar-saklar akan menghubungkan beban ke $+V_{dc}$ ketika S_1 and S_2 tertutup atau ke $-V_{dc}$ ketika S_3 dan S_4 tertutup. Periodik *switching* dari tegangan beban antara $+V_{dc}$ and $-V_{dc}$ menghasilkan tegangan gelombang kotak pada beban. Walaupun perselangan keluaran ini nonsinusoidal, namun mampu mencukupi bentuk gelombang AC untuk beberapa aplikasi.

Bentuk gelombang arus pada beban tergantung pada komponen beban. Untuk beban resistif, Bentuk gelombang arus sesuai dengan bentuk tegangan keluaran. Beban induktif akan mempunyai arus yang lebih bersifat sinusoidal dari pada tegangan karena sifat *filtering* dari induktansi. Pada beban induktif ada beberapa pertimbangan dalam mendesain saklar-saklar pada rangkaian *full bridge converter* karena arus saklar harus *bidirectional*. [1]

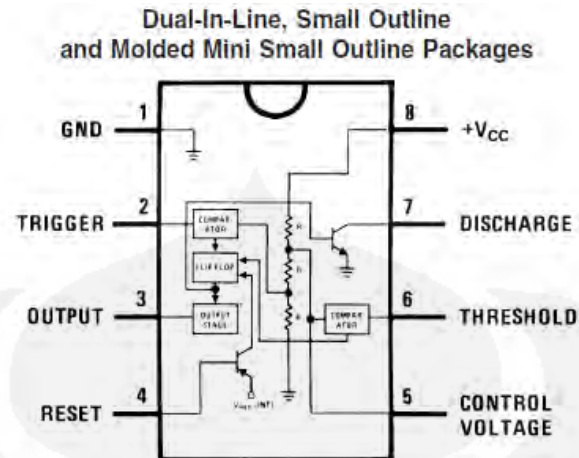
2.2. Inverter Dengan Lokal Oskilator

2.2.1. Sumber Gelombang Kotak 50Hz

Untuk menghasilkan sebuah gelombang kotak digunakan sebuah IC 555 yang merupakan sebuah Multivibrator astabil. Multivibrator astabil merupakan sebuah rangkaian-dua-kondisi (*two-state system*) yang tidak memiliki kestabilan di kedua kondisinya, maksudnya, output dari rangkaian ini selalu berubah-ubah kondisinya secara periodik. Dalam satu periode, outputnya dapat berubah dari kondisi HIGH ke kondisi LOW secara kontinu dan terus menerus sehingga menghasilkan suatu deretan pulsa (*pulse train*). Deretan pulsa yang dihasilkan nilainya konstan dan periodik sehingga dapat digunakan sebagai *clock*. Multivibrator astabil dapat juga disebut sebagai *pulse generator*. [2]

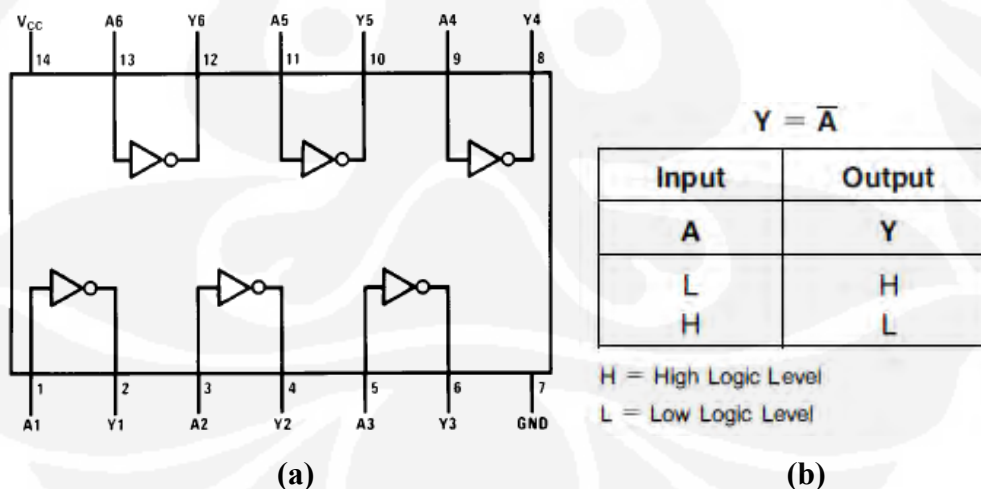


Gambar 2.2 Multivibrator astabil menggunakan IC NE555 berikut gelombang outputnya [2]



Gambar 2.3 Konfigurasi pin dari IC NE555 [2]

Untuk membalikkan fasa digunakan IC 74LS04, IC ini merupakan gerbang logika NOT yang berfungsi melakukan inversi (pembalikan) terhadap inputnya. Gerbang logika ini menerima masukan berupa gelombang persegi dan menghasilkan keluaran berupa gelombang persegi yang fasanya berbeda sebesar 180° terhadap gelombang inputnya. Proses inversi ini dapat diimplementasikan menggunakan rangkaian terpadu 74LS04 seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4 (a) berikut. [3] Gambar 2.4(b) berikut menunjukkan perbandingan input dan output dari 74LS04.



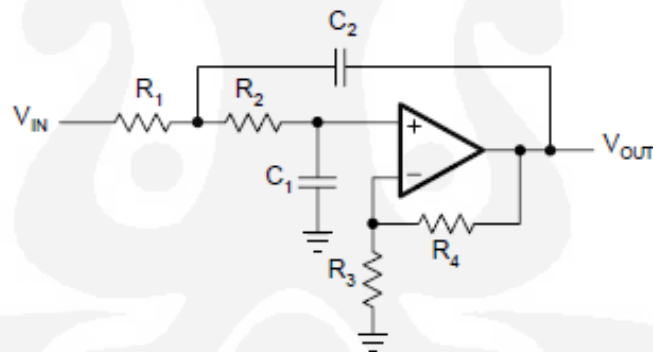
Gambar 2.4 Konfigurasi pin 74LS04 (a), dan tabel input terhadap outputnya (b) [3]

2.2.2. Low Pass Filter (LPF) Orde 2

Low pass filter (tapis lolos-rendah atau LPF) adalah suatu rangkaian yang meneruskan sinyal-sinyal yang memiliki frekuensi dibawah frekuensi transisinya, dan melemahkan sinyal-sinyal yang memiliki frekuensi diatas frekuensi transisinya.

Frekuensi transisi (frekuensi *cut-off*) dari sebuah LPF adalah suatu frekuensi dimana respon gain dari LPF tersebut turun menjadi 70,7% dari gain maksimumnya. Dengan kata lain, gain ($H(\omega)$) dari LPF tersebut bernilai $1/\sqrt{2}$ atau 0,707. Pada frekuensi cut-off, energi yang didisipasi pada rangkaian bernilai setengah dari energi maksimumnya.

Optimasi-optimasi yang dapat dilakukan sejauh ini terhadap respon gain dan frekuensi dari sebuah LPF salah satunya adalah dengan arsitektur Sallen-Key filer orde dua [4], seperti ditunjukkan pada Gambar 2.5 berikut. Frekuensi cut-off dari filter ini ditentukan oleh nilai R_1 , R_2 , C_1 , dan C_2 . Sedangkan R_3 dan R_4 berpengaruh terhadap gain dari filter tersebut sekaligus menentukan jenis respon yang diinginkan



Gambar 2.5 Sallen-Key low pass filter [4]

Gain dari Sallen-Key LPF dapat ditentukan dengan membandingkan tegangan output dengan tegangan inputnya, sehingga diperoleh sebuah fungsi alih. Fungsi alih standar dari sebuah LPF adalah sebagai berikut(5)

$$H(s)_{LPF} = \frac{K}{-\left(\frac{f}{f_c}\right)^2 + j\left(\frac{f}{f_c}\right)Q + 1} \quad (2.1)$$

Sinyal akan mengalami pelemahan yang besarnya sebanding dengan kuadrat rasio frekuensi. Persamaan inilah yang mendeskripsikan karakter LPF yang sebenarnya.

Sementara itu, fungsi alih dari rangkaian LPF pada gambar 2.5 adalah sebagai berikut.

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = H(s) = \frac{K}{s^2 (R_1 R_2 C_1 C_2) + s (R_1 C_1 + R_2 C_1 + R_1 C_2 (1 - K)) + 1} \quad (2.2)$$

Dengan membandingkan persamaan 2.1 dengan persamaan 2.2 akan diperoleh (4):

$$s = j2\pi f \quad (2.3)$$

$$f_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}} \quad (2.4)$$

$$Q = \frac{\sqrt{R_1 R_2 C_1 C_2}}{R_1 C_1 + R_2 C_1 + R_1 C_2 (1 - K)} \quad (2.5)$$

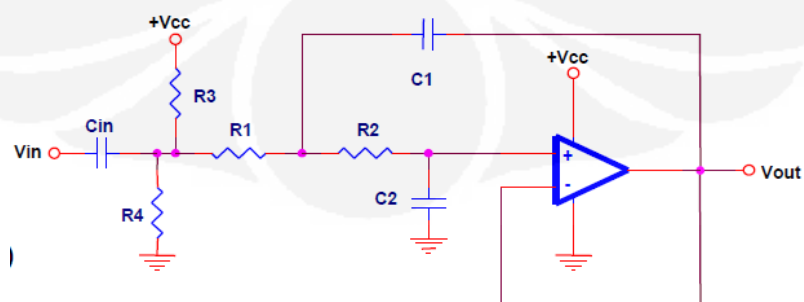
$$K = 1 + \frac{R_4}{R_3} \quad (2.6)$$

Untuk mempermudah desain dan mempersingkat persamaan 2.2, maka kita dapat membuat nilai $R_1 = R_2 = R$ dan $C_1 = C_2 = C$, sehingga diperoleh

$$f_c = \frac{1}{2\pi RC} \quad (2.7)$$

$$Q = \frac{1}{3 - K} \quad (2.8)$$

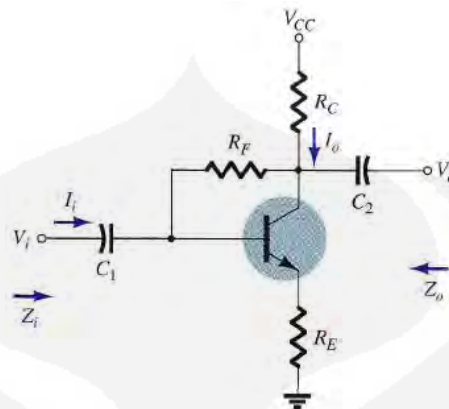
Sallen-Key LPF dapat juga dibuat menggunakan single-supply op-amp seperti pada rangkaian berikut. Perlu diperhatikan bahwa gain dari rangkaian ini adalah satu.



Gambar 2.6 Single-supply Sallen-Key low pass filter [5]

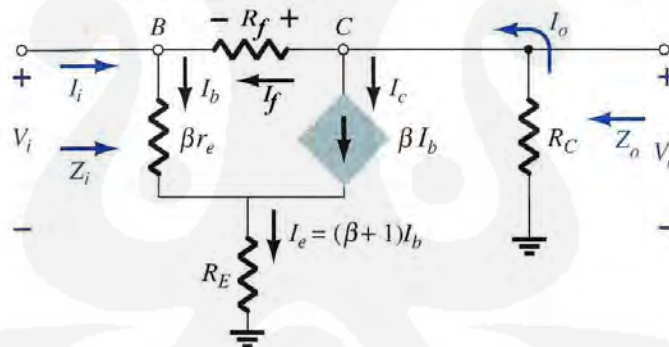
2.3 Rangkaian Penguat Sinusoidal 50Hz

2.3.1 Konfigurasi *Collector Feedback* (Umpan-balik Kolektor)



Gambar 2.7 Penguat umpan-balik kolektor [6]

Gambar 2.7 menunjukkan sebuah rangkaian penguat yang menggunakan umpan-balik dari kolektornya. Untuk dapat menentukan besarnya penguatan tegangan (A_v) dari rangkaian ini, perlu dilakukan analisa *small-signal* menggunakan permodelan r_e seperti pada Gambar 2.8 berikut:



Gambar 2.8 Model r_e dari penguat umpan-balik kolektor [6]

Penguatan tegangan yang dihasilkan adalah :

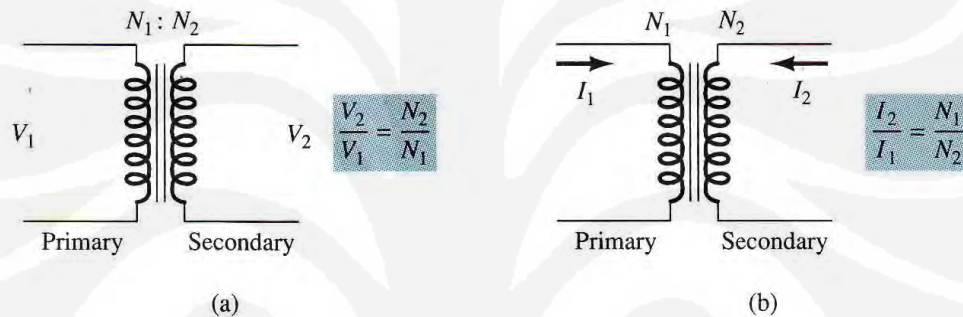
$$A_v = \frac{V_o}{V_i} = \frac{-(I_i + I_f)\beta R_C}{(I_i + I_f)\beta R_E} = -\frac{R_C}{R_E} \quad (2.9)$$

2.4 Transformator

Transformator (trafo) merupakan sebuah komponen pasif yang berfungsi untuk mengubah nilai tegangan bolak-balik pada kumparan primernya menjadi lebih besar atau lebih kecil pada kumparan sekundernya. Suatu trafo tidak dapat bekerja jika kumparan primernya dihubungkan ke sumber tegangan DC. Perbandingan tegangan dan arus pada kumparan primer dan sekunder adalah

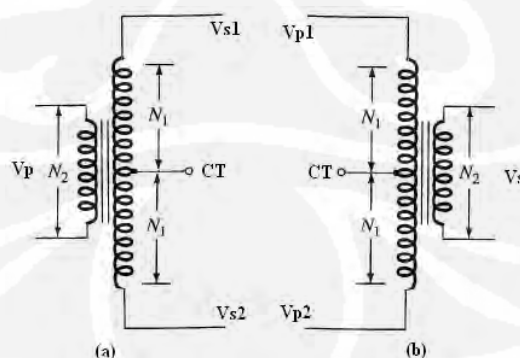
$$a = \frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p} \quad (2.10)$$

Untuk lebih jelasnya, perhatikanlah Gambar 2.9 berikut:



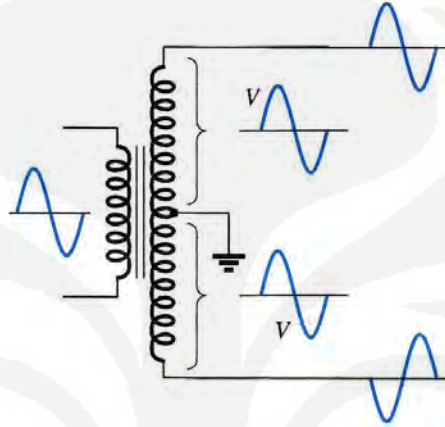
Gambar 2.9 Transformasi tegangan (a) dan transformasi arus (b) [6]

Trafo yang paling banyak digunakan saat ini adalah trafo yang memiliki centre-tap (CT) atau titik tengah. CT dapat terletak di sisi primer maupun di sisi sekunder. Besar tegangan di ujung-ujung kumparan terhadap CT adalah sama besar. Untuk lebih jelasnya perhatikanlah gambar 2.10 berikut,



Gambar 2.10 (a) Gulungan CT pada kumparan sekunder dan (b) primer [6]

Jika suatu sinyal sinusoidal dimasukkan pada kumparan primer trafo pada gambar 2.10(a) dan titik CT-nya dihubungkan ke ground, maka sinyal sinusoidal tersebut akan terbagi dua, yaitu pada titik Vs1 dan Vs2. Kedua gelombang yang muncul pada titik Vs1 dan Vs2 besarnya sama namun berbeda fasa 180° . Untuk lebih jelasnya perhatikan Gambar 2.11 berikut.

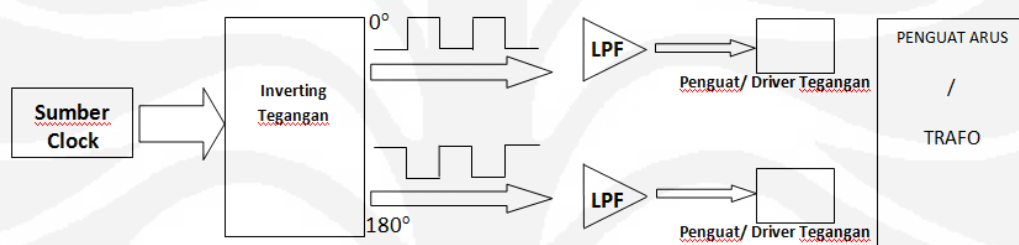


Gambar 2.11 Fasa pada kedua output trafo CT [6]

BAB 3

PERANCANGAN DAN SIMULASI

Rancang bangun dari inverter pada skripsi ini dibagi ke dalam dua bagian besar, yakni bagian pembangkit gelombang sinusoid dan bagian driver. Bagian pembangkit gelombang sinus terdiri dari empat bagian, yakni pembangkit gelombang persegi, pembagi fasa, low pass filter, dan non inverting amplifier. Sedangkan bagian driver terdiri dari rangkaian transistor daya yang beroperasi pada kondisi saturasi. Blok diagram lengkap dari inverter yang akan dibuat dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Blok diagram inverter

3.1 BAGIAN PEMBANGKIT GELOMBANG SINUS

3.1.1 Sumber Gelombang Bolak-Balik

Prinsip kerja rangkaian multistable vibrator pada Gambar 3.2 dapat dijelaskan sebagai berikut. Kapasitor C_1 akan diisi (*charge*) melalui R_A dan R_B sehingga memiliki tegangan yang cukup untuk memicu (men-*trigger*) komparator internal untuk menghidupkan rangkaian flip-flop internal untuk menghasilkan output HIGH pada pin 3. Setelah itu, flip-flop internal akan mengosongkan muatan C_1 (*discharge*) melalui R_B menuju pin 7 (pin discharge). Ketika tegangan C_1 sudah cukup rendah, komparator internal akan mematikan flip-flop internal sehingga dihasilkan output LOW pada pin 3. Siklus pengisian dan pelepasan muatan pada C_1 akan berulang lagi sehingga dihasilkan gelombang persegi (*squarewave*) yang periodik.

Karena kapasitor C_1 diisi (*charge*) melalui R_A+R_B dan dikosongkan (*discharge*) melalui R_B , duty cycle dari gelombang output yang diinginkan dapat

diatur secara presisi dengan mengatur kedua nilai R_A dan R_B . Waktu charge dan discharge tidak tergantung atau terpengaruh dengan tegangan suplai V_{CC} .

Waktu pengisian (*charge*) – yang mana akan menghasilkan output HIGH, ditentukan dengan rumus

$$t_1 = 0,693(R_A + R_B) C1 \quad (3.1)$$

Sedangkan waktu pelepasan (*discharge*) – yang mana akan menghasilkan output LOW, ditentukan dengan rumus

$$t_2 = 0,693(R_B) C1 \quad (3.2)$$

Sehingga, total periodenya adalah

$$T = t_1 + t_2 = 0,693(R_A + 2.R_B)C1 \quad (3.3)$$

Dan frekuensi osilasinya adalah

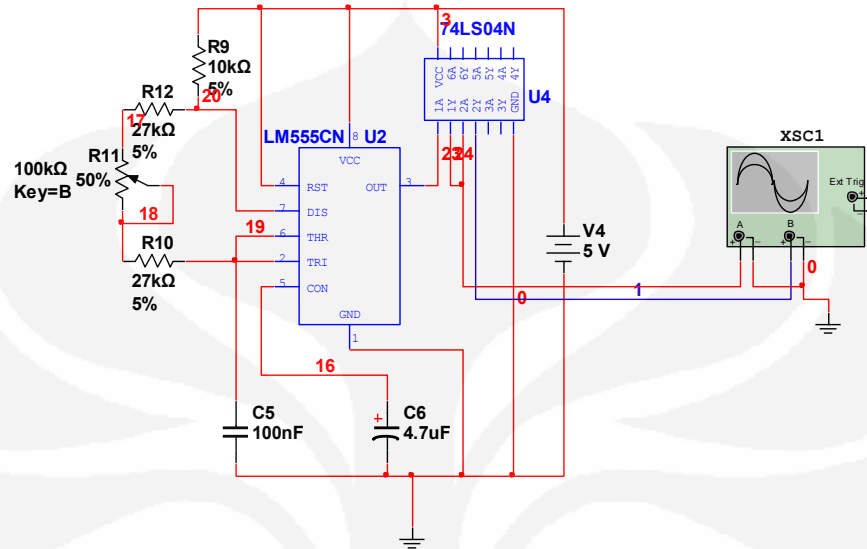
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1,44}{(R_A + 2.R_B)C1} \quad (3.4)$$

Gelombang persegi yang dibangkitkan oleh bagian ini harus memiliki periode HIGH dan LOW yang sama. Keluaran dari pembagi fasa ada dua, yang pertama memiliki sudut fasa 0° dan keluaran yang kedua memiliki beda fasa 180° terhadap fasa yang pertama. Diharapkan, keluaran dari pembagi fasa ini memiliki amplitudo dan frekuensi yang sama dengan keluaran IC NE555. Dalam kasus ini, gelombang persegi yang diinginkan memiliki frekuensi 100 Hz.

3.1.2 Rangkaian Pembalik Fasa

Untuk membalikkan fasa digunakan IC 74LS04, IC ini merupakan gerbang logika NOT yang berfungsi melakukan inversi (pembalikan) terhadap inputnya. Gerbang logika ini menerima masukan berupa gelombang persegi dan menghasilkan keluaran berupa gelombang persegi yang fasanya berbeda sebesar 180° terhadap gelombang inputnya. Proses inversi ini dapat diimplementasikan menggunakan rangkaian terpadu 74LS04 seperti ditunjukkan pada Gambar 2.4 (a) di Bab 2. [3]

Gambar 2.4(b) di Bab II menunjukkan perbandingan input dan output dari 74LS04. [3]



Gambar 3.2 Rangkaian multivibrator astabil dan pembagi fasa

Frekwensi keluaran dari IC 555 adalah sebesar 100Hz, untuk mendapatkan nilai frekuensi keluaran sebesar 50Hz maka digunakan IC 74LS04 untuk membagi frekwensi dan menghasilkan dua gelombang kotak yang berbeda fase sebesar 180° . Untuk nilai $C_1 = 100 \text{ nF}$ dan frekuensi yang diinginkan $f = 50 \text{ Hz}$, maka berdasarkan persamaan 3.4 nilai resistor R_A dan R_B ditentukan sebagai berikut:

$$(R_A + 2R_B) = \frac{1,44}{(50)(100 \times 10^{-9})} = 288.000\Omega$$

Untuk nilai $R_A = 10 \text{ k}\Omega$, maka nilai $R_B = 139 \text{ k}\Omega$.

Dari skema terlihat bahwa R_B dibentuk dari hubungan seri antara R_2 , R_3 , dan R_4 . R_2 dan R_4 masing-masing bernilai $27 \text{ k}\Omega$ sehingga untuk mencapai nilai $139 \text{ k}\Omega$ resistor R_3 harus bernilai $85 \text{ k}\Omega$. Karena R_3 merupakan suatu resistor variabel yang bernilai maksimum $100 \text{ k}\Omega$, maka nilai $85 \text{ k}\Omega$ dapat dicapai dengan memutar R_3 sebesar 85% .

Keluaran dari IC NE555 terdapat pada pin 3. Sesuai skema, maka pin 3 dari NE555 dihubungkan ke pin 3 dari IC 74LS04. Pin 4 dan pin 5 dihubungkan.

Keluaran rangkaian pembagi fasa ini dapat diperoleh pada pin 5 dan pin 6 IC 74LS04. Kedua keluaran ini kemudian dihubungkan dengan osiloskop XSC1. Gambar 3.6 menunjukkan hasil simulasi dari keluaran pembagi fasa pada pin 5 dan 6 IC 7LS04.



Gambar 3.3 Keluaran pada pin IC 74LS04

Dengan membandingkan kedua grafik simulasi tersebut dapat disimpulkan bahwa gelombang persegi yang keluar dari pin 5 IC 74LS04 berbeda fasa 180° dengan gelombang yang keluar dari pin 6. Selain itu, dengan skala 10 ms/Div terlihat bahwa gelombang persegi yang keluar memiliki periode 20 ms atau dengan kata lain memiliki frekuensi 50 Hz.

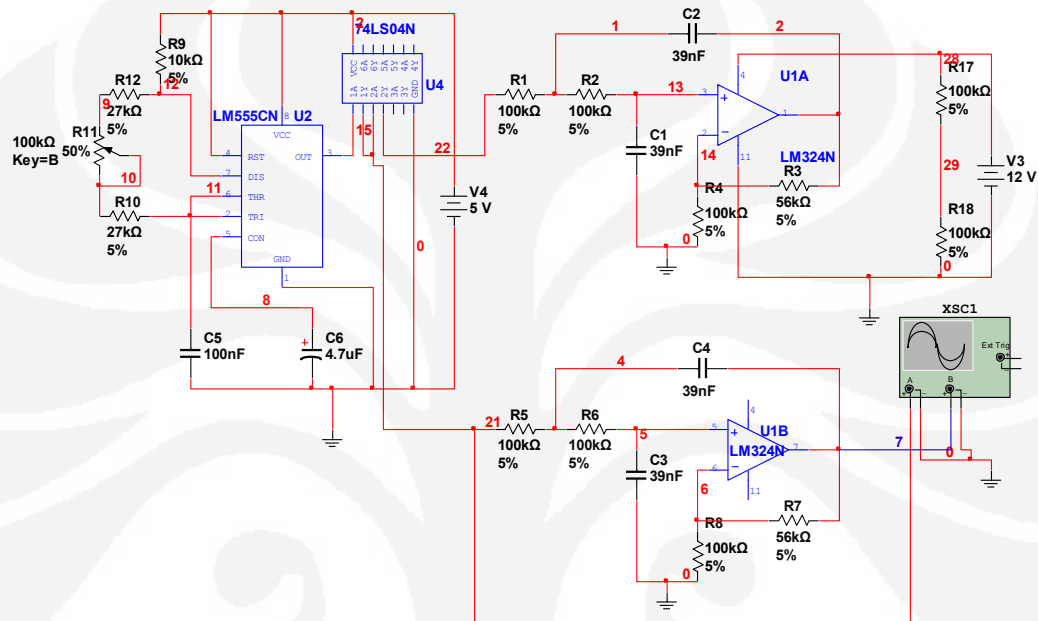
3.1.3 Low Pass Filter

Low pass filter (tapis lolos-rendah atau LPF) adalah suatu rangkaian yang meneruskan sinyal-sinyal yang memiliki frekuensi dibawah frekuensi transisinya, dan melemahkan sinyal-sinyal yang memiliki frekuensi diatas frekuensi transisinya.

Frekuensi transisi (frekuensi *cut-off*) dari sebuah LPF adalah suatu frekuensi dimana respon gain dari LPF tersebut turun menjadi 70,7% dari gain maksimumnya. Dengan kata lain, gain ($H(\omega)$) dari LPF tersebut bernilai $1/\sqrt{2}$ atau 0,707. Pada frekuensi cut-off, energi yang didisipasi pada rangkaian bernilai setengah dari energi maksimumnya.

Sinyal akan mengalami pelemahan yang besarnya sebanding dengan kuadrat rasio frekuensi. Persamaan inilah yang mendeskripsikan karakter LPF yang sebenarnya.

Gambar 3.4 menunjukkan rangkaian low pass filter yang inputnya dihubungkan dengan output dari pembagi fasa.



Gambar 3.4 Rangkaian low pass filter

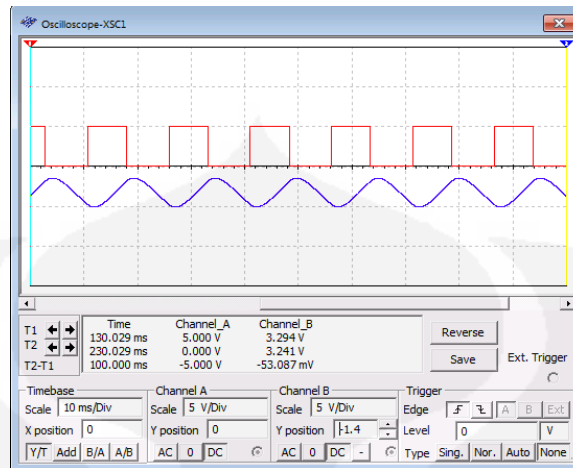
Rangkaian low pass filter tersebut memiliki nilai resistor dan kapasitor yang sama yakni 100 k Ω dan 39 nF, sehingga berdasarkan persamaan-persamaan pada subbab 2.5 diperoleh data-data sebagai berikut :

$$\text{Rasio } R_3 \text{ dan } R_4 : 0,568$$

$$\text{Gain sistem} : K = 1 + \frac{R_4}{R_3} = 1 + \frac{56}{100} = 1,56$$

$$\text{Faktor kualitas} : Q = \frac{1}{3 - K} = \frac{1}{3 - 1,56} = 0,694$$

Gambar 3.5 menunjukkan grafik perbandingan input dan output LPF yang dibuat.

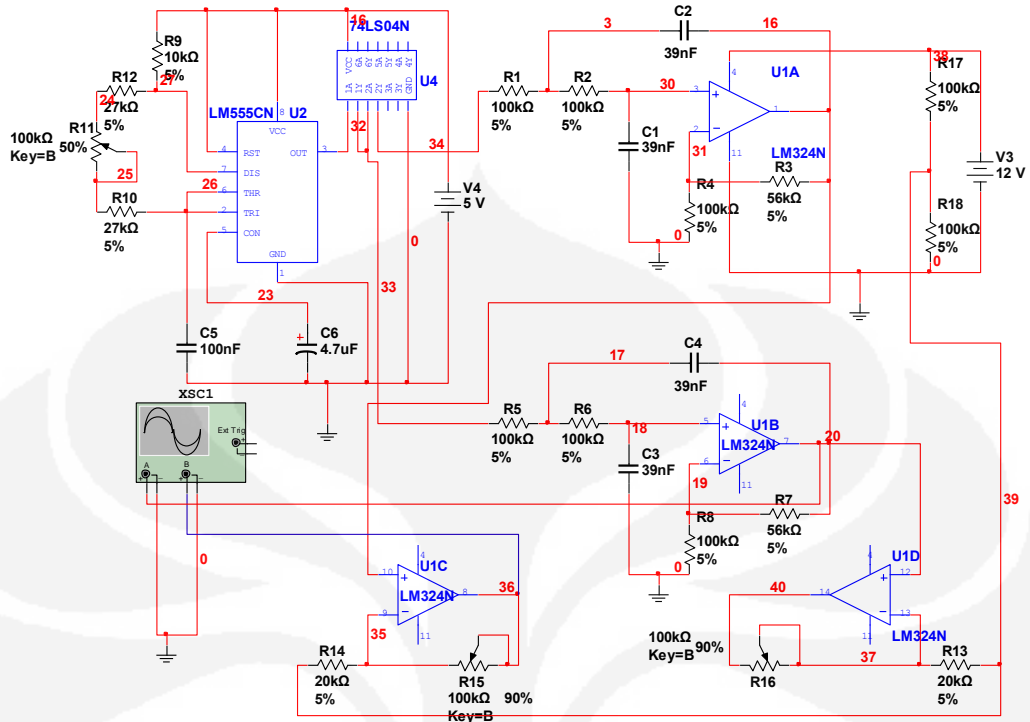


Gambar 3.5 Plot tegangan input dan output LPF

Dari Gambar 3.5 dapat dilihat bahwa tegangan output dari LPF nilainya sekitar $5V_{p-p}$, yang besarnya hampir sama dengan tegangan masukannya. Hal tersebut menunjukkan tidak terjadinya atenuasi (pelemahan) pada sinyal output terhadap sinyal input, yang disebabkan adanya penguatan oleh komponen R3 dan R4. Dari Gambar 3.5 juga dapat dilihat adanya pergeseran fasa output kira-kira 18 derajat, yang juga sudah sesuai dengan perhitungan diatas. Dapat disimpulkan bahwa rangkaian pembangkit sinus telah berhasil dibuat sesuai dengan dasar teori yang ada.

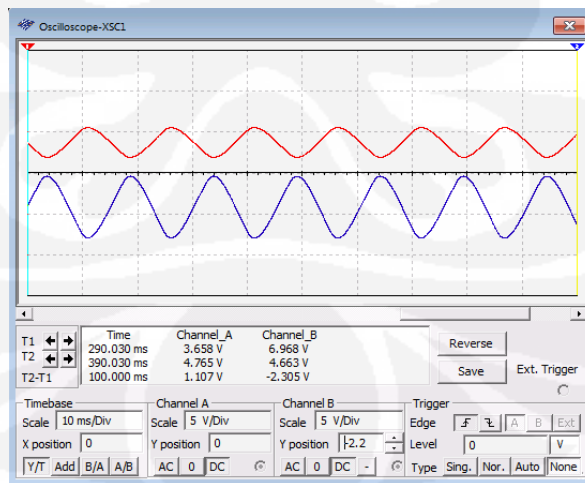
3.1.4 Rangkaian Non-Inverting Amplifier

Rangkaian penguat dibutuhkan untuk memperkuat sinyal keluaran dari LPF supaya mampu menggerakkan rangkaian driver. Selain itu rangkaian penguat ini berfungsi menghilangkan *loading effect* pada LPF yang disebabkan oleh driver. Rangkaian penguat yang dibuat harus dapat diatur gainnya (penguatannya) untuk mencegah masuknya sinyal yang berlebihan pada driver. Selain itu keluaran dari penguat ini harus sefasa dengan sinyal keluaran LPF. Jenis penguat yang memenuhi spesifikasi diatas adalah jenis non-inverting amplifier. Gambar 3.6 menunjukkan skema lengkap dari blok pembangkit gelombang sinus.



Gambar 3.6 Skema blok pembangkit gelombang sinus dan LPF

Gambar 3.7 berikut ini menunjukkan grafik tegangan output rangkaian non-inverting amplifier terhadap output rangkaian LPF. Dari gambar tersebut terlihat bahwa output dari LPF diperkuat sekitar dua kali lipatnya, namun dengan fasa keluaran yang sama. Hal ini dipengaruhi oleh setting potensiometer R₁₇ dan R₁₈ yang disetting 90% dari nilai nominalnya (100 kΩ).

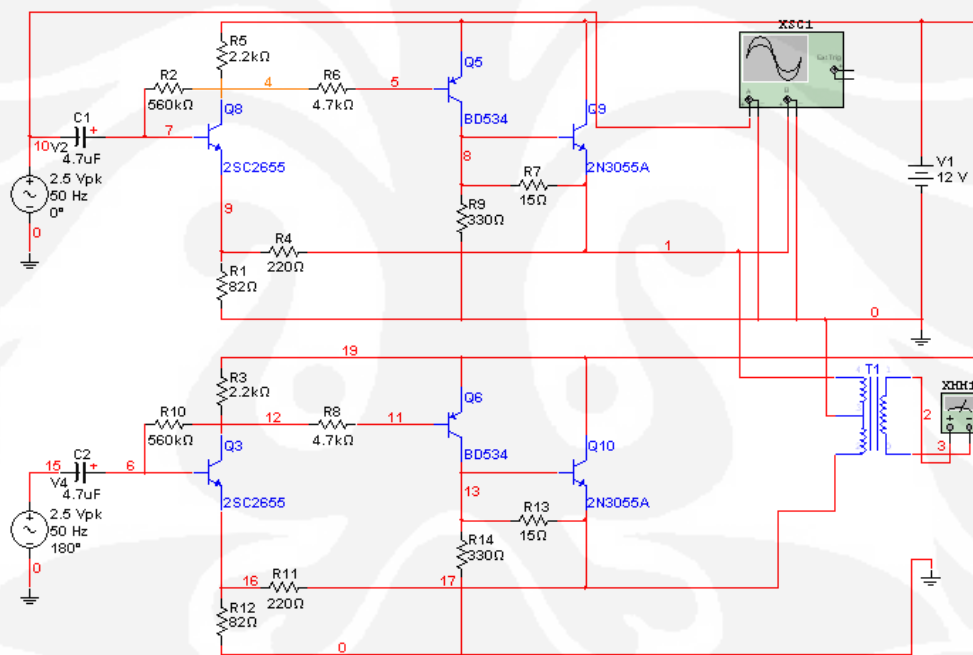


Gambar 3.7 Grafik keluaran LPF terhadap keluaran non-inverting amplifier

3.2 BAGIAN DRIVER

3.2.1 Rancang Bangun Bagian Driver

Bagian driver ini terdiri dari penguat umpan-balik kolektor dan penguat pasangan umpan-balik yang dihubungkan secara cascade. Artinya, keluaran dari bagian pembangkit gelombang sinus dimasukkan ke penguat umpan-balik kolektor, lalu keluaran penguat umpan-balik kolektor dimasukkan ke penguat pasangan umpan-balik. Dalam hal ini, penguat umpan-balik kolektor berfungsi untuk menguatkan amplitudo sinyal sinusoidal yang dihasilkan oleh bagian pembangkit gelombang sinus, dan penguat pasangan umpan-balik berfungsi menghasilkan tegangan keluaran yang amplitudonya sama dengan tegangan keluaran dari rangkaian penguat umpan-balik kolektor namun dengan kapasitas arus yang lebih besar.



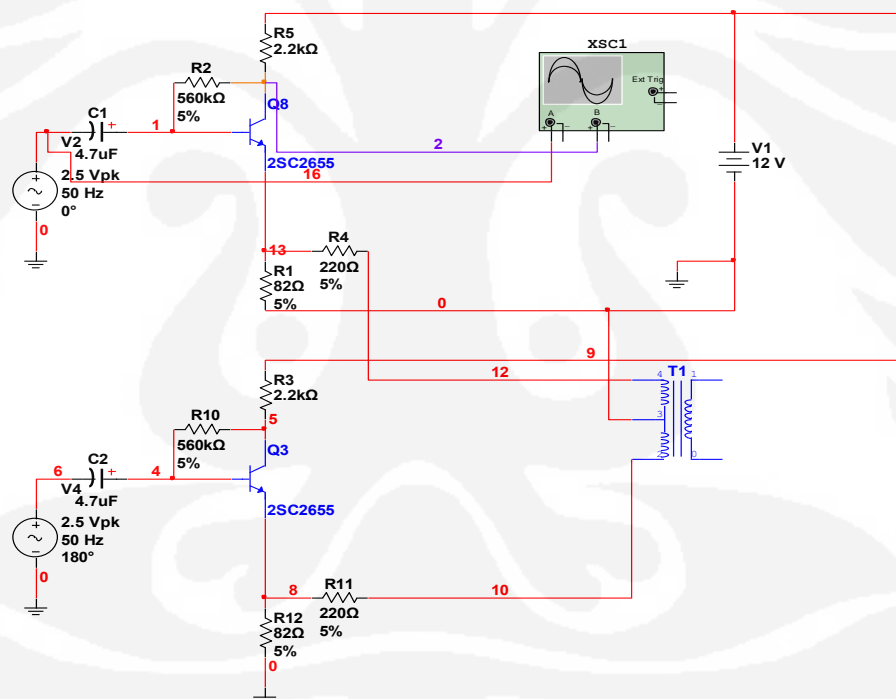
Gambar 3.8 Skema lengkap bagian driver dan penguat akhir

Gambar 3.8 menunjukkan skema lengkap dari bagian driver. Terdapat dua rangkaian penguat kembar pada gambar diatas. Kedua rangkaian ini menghasilkan tegangan dan arus keluaran yang sama namun fasanya berbeda 180° . Perbedaan fasa ini dibutuhkan mengingat keluaran dari kedua penguat ini akan dimasukkan ke trafo step-up yang memiliki CT. Pada gambar diatas, tegangan input dari rangkaian ini disimulasikan dengan sebuah sumber tegangan AC yang

menghasilkan gelombang yang amplitudo dan fasanya sama dengan bentuk gelombang yang dihasilkan bagian pembangkit gelombang sinus. Sementara itu, keluaran dari trafo step-up dihubungkan ke voltmeter XMM1.

Komponen R_1 , R_2 , R_5 , dan Q_8 membentuk konfigurasi penguat umpan-balik kolektor. Komponen R_7 , R_9 , Q_5 , dan Q_9 membentuk konfigurasi penguat pasangan umpan-balik. R_4 dan R_{11} merupakan resistor umpan-balik yang menghubungkan keluaran dari penguat pasangan umpan-balik ke emitor transistor rangkaian penguat umpan-balik kolektor. Resistor umpan-balik ini berfungsi mengatur penguatan total dari kedua rangkaian penguat yang ada. Karena ada dua rangkaian penguat yang kembar pada Gambar 3.8, maka analisa rangkaian akan mengacu pada rangkaian penguat yang terdapat pada sisi atas Gambar 3.8.

3.2.2 Analisa Penguat Umpan-balik Kolektor

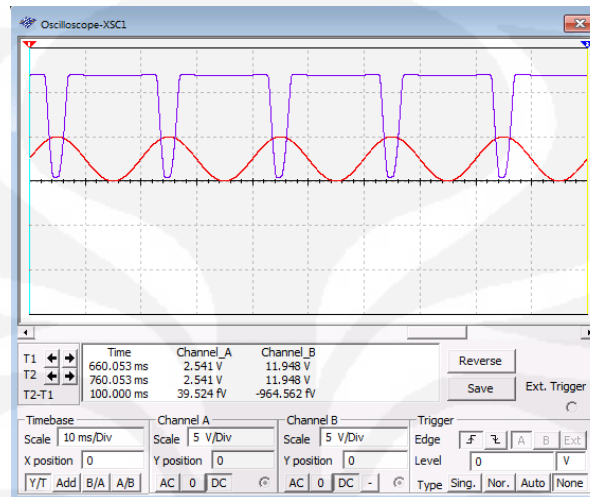


Gambar 3.9 Penguat umpan balik kolektor

Penguat umpan-balik kolektor pada bagian driver ini dibangun oleh komponen-komponen R_1 , R_2 , R_5 , dan Q_8 pada rangkaian di Gambar 3.9 bagian atas, serta oleh R_3 , R_{10} , R_{12} , dan Q_3 pada rangkaian di gambar 3.9 bagian bawah. Sesuai dengan persamaan 2.12, besarnya penguatan tegangan pada rangkaian penguat ini adalah :

$$A_v = -\frac{R_5}{R_1} = -\frac{2200\Omega}{82\Omega} = -26,8$$

Tanda minus pada persamaan diatas menunjukkan bahwa tegangan output yang dihasilkan berbeda fasanya sebesar 180° dari tegangan inputnya. Gambar 3.10 menunjukkan hasil simulasi dari rangkaian ini.



Gambar 3.10 Hasil simulasi rangkaian penguat umpan-balik kolektor

Pada Gambar 3.10, sinyal masukan penguat digambarkan dengan warna merah dan sinyal keluaran penguat berwarna oranye. Dari gambar tersebut terlihat jelas bahwa tegangan output yang dihasilkan berlawanan fasa dengan tegangan input yang diberikan. Tegangan output yang dihasilkan tampak terpotong di bagian atas dan bawahnya. Hal ini karena adanya batasan dari catu daya yang digunakan, yakni sebesar 12 Volt. Dengan kata lain tegangan outputnya tidak mungkin lebih besar dari 12 Volt. Secara teori, amplitudo maksimum tegangan output yang dapat dihasilkan adalah

$$V_o = |A_v| \cdot V_i = | -22 | (2,5V_{p-p}) = 55V_{p-p}$$

Namun karena catu daya yang diberikan hanya 12 Volt, penguat mengalami saturasi sehingga gelombang outputnya terpotong (*clipping*).

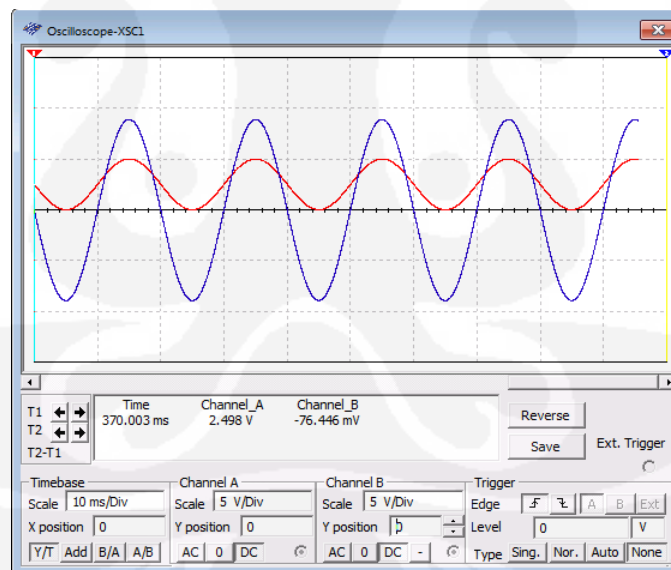
3.2.3 Analisa Penguat Pasangan Umpan-balik

Penguat pasangan umpan balik dibangun oleh komponen-komponen R_6 , R_7 , R_9 , Q_5 , dan Q_9 pada gambar 3.8. Penguatan tegangan total pada sistem tidak dipengaruhi oleh nilai R_5 melainkan dipengaruhi oleh R_4 , yang dapat didekati dengan persamaan :

$$A_{V-total} = \frac{V_o}{V_i} \cong \frac{R_4}{R_1} = \frac{R_{11}}{R_{12}} = \frac{220\Omega}{100\Omega} = 2,2$$

Dimana V_o adalah tegangan keluaran driver dan V_i adalah tegangan keluaran rangkaian pembangkit gelombang sinus.

Pembatasan penguatan tegangan ini dimaksudkan untuk mencegah terjadinya cacat sinyal berupa terpotongnya sinyal keluaran (*clipping*) yang disebabkan terbatasnya tegangan suplai daya dari sumber tegangan. Selain itu, yang paling diutamakan dari sebuah rangkaian driver adalah kemampuannya dalam menangani arus yang besar sehingga penguatan tegangan yang sangat tinggi menjadi tidak terlalu penting.



Gambar 3.11 Hasil simulasi rangkaian driver

Gambar 3.11 menunjukkan hasil simulasi rangkaian driver pada Gambar 3.8. Grafik sinusoid yang beramplitudo rendah merupakan keluaran dari pembangkit gelombang sinus – yang juga merupakan masukan bagi rangkaian driver. Sementara grafik yang beramplitudo tinggi merupakan keluaran dari

rangkaian driver. Terlihat jelas bahwa sinyal yang dihasilkan oleh pembangkit gelombang sinus diperkuat dengan penguatan yang tidak terlalu besar (kira-kira 4 kali) sehingga sinyal keluaran yang dihasilkan begitu mulus, tanpa cacat.

Seperti yang telah disebutkan bahwa blok rangkaian driver ini terdiri dari dua blok penguat, dimana kedua blok tersebut akan menghasilkan sinyal dengan amplitudo yang sama namun saling berlainan fasa. Dua sinyal yang berlainan fasa tersebut akan diumpankan ke sebuah transformator step-up yang memiliki CT pada kumparan primernya.

Jika keluaran rangkaian driver diukur dengan menggunakan voltmeter , maka akan diperoleh nilai tegangan output sebesar 7,764 Volt. Agar transformator step-up dapat menghasilkan tegangan keluaran sebesar 220 V (sesuai dengan tegangan jala-jala PLN), maka rasio trafo (a) – perbandingan kumparan primer dan sekunder, harus bernilai :

$$a = \frac{V_p}{V_s} = \frac{7,764}{220} = 0,035$$

Gambar 3.12(a) menunjukkan hasil pengukuran tegangan primer trafo step-up, yang juga merupakan tegangan keluaran dari rangkaian driver. Sementara Gambar 3.12(b) menunjukkan hasil pengukuran tegangan keluaran dari trafo step-up, yakni sebesar 221,741 Volt.



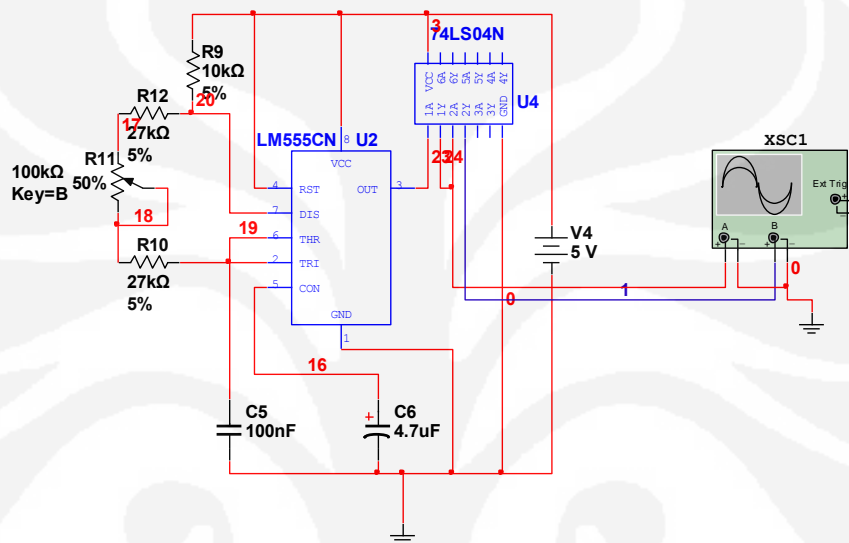
Gambar 3.12 Tegangan primer (a) dan sekunder (b) trafo step-up

BAB 4

PEMBUATAN RANGKAIAN INVERTER DAN PENGUJIAN

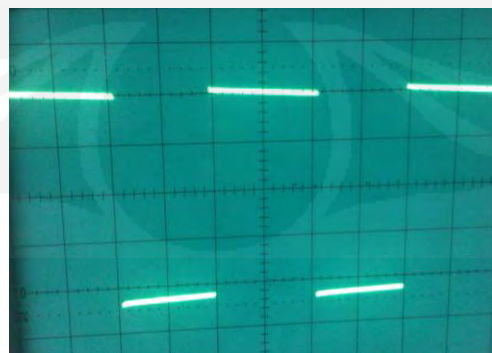
4.1 Sumber Gelombang Kotak

Pengujian untuk sumber gelombang kotak adalah menggunakan rangkaian yang menggunakan IC555 sebagai penghasil keluaran gelombang kotak dan IC 7404 sebagai pembalik salah satu dari gelombang kotak, rangkaiannya adalah sebagai berikut :

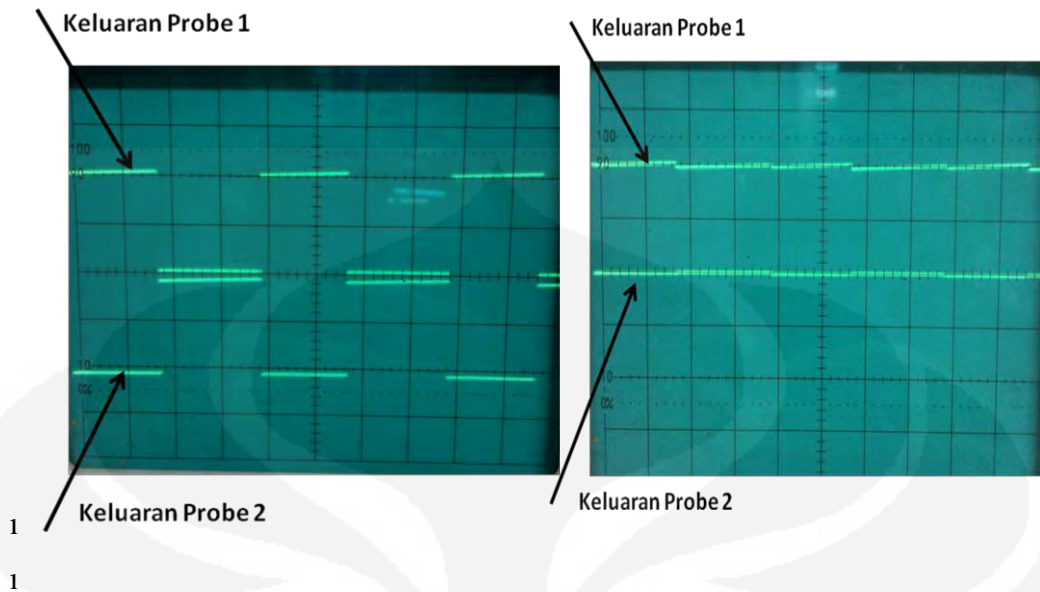


Gambar 4.1 Rangkaian IC 555 dengan IC 74LS04

Keluaran dari IC NE555 terdapat pada pin 3. Sesuai skema, maka pin 3 dari NE555 dihubungkan ke pin 3 dari IC 74LS04. Keluaran rangkaian pembagi fasa ini diperoleh pada pin 5 dan pin 6 IC 74LS04, yang saling berbeda fasa 180° . Kedua keluaran ini selanjutnya dimonitor dengan osiloskop XSC1. Di bawah ini adalah keluaran dari pin 5 dan 6 dari IC 74LS04 yang memiliki perbedaan fasa 180° .



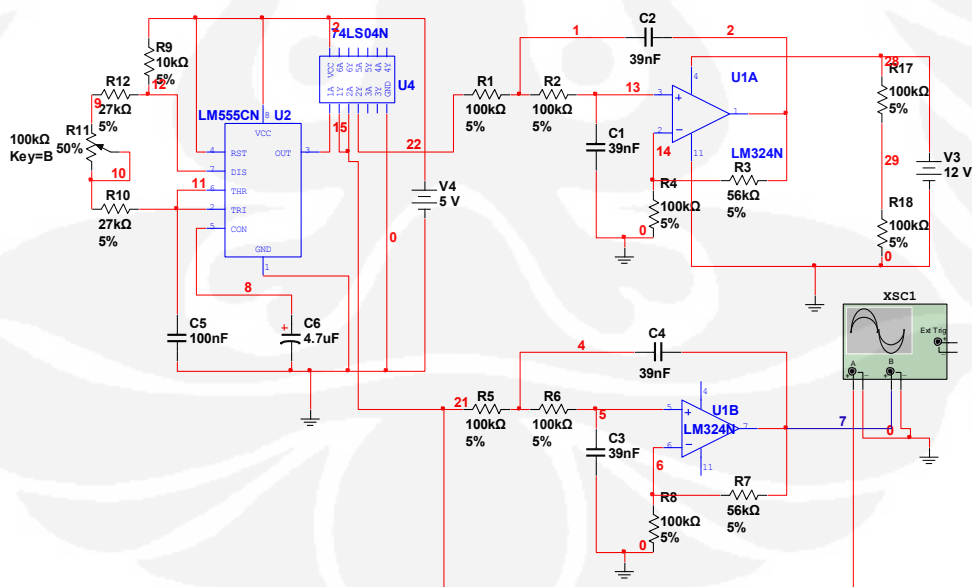
Gambar 4.2 Keluaran NE555 (kaki 3)



Gambar 4.3 Gelombang Kotak IC 74LS04 berbeda fase sebesar 180°

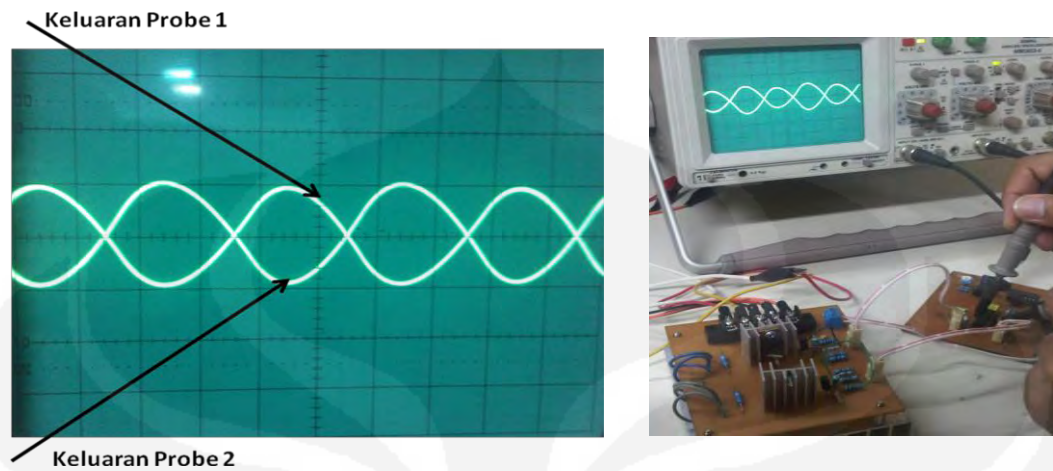
4.2 Low Pass Filter

Untuk mengubah dua gelombang kotak yang berbeda fase 180° tersebut menjadi gelombang sinusoidal, dalam tugas akhir ini, digunakan dua buah rangkaian low pass filter yang identik yang ditunjukkan pada Gambar 4.3 berikut ini:



Gambar 4.4 Rangkaian Low Pass Filter

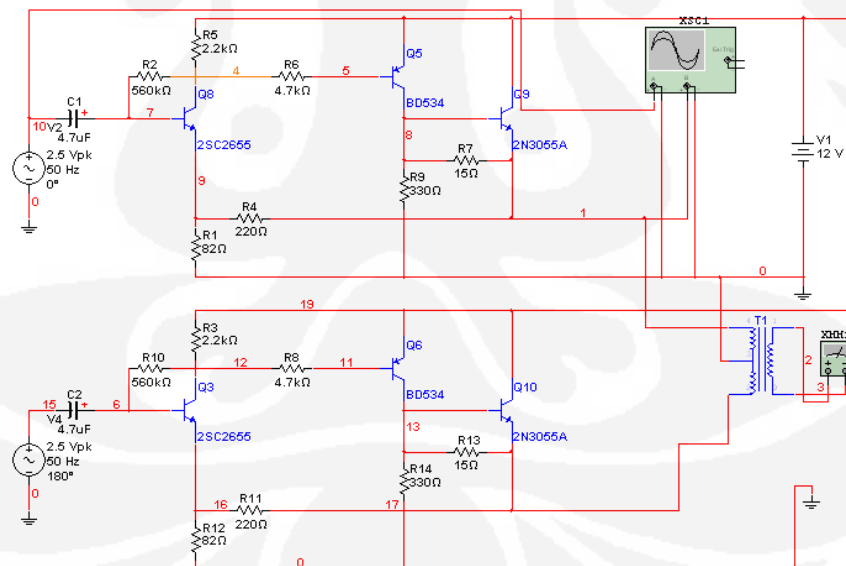
Sinyal keluaran dari Low Pass Filter tersebut terlihat pada osiloskop di Gambar 4.4 berikut ini :



Gambar 4.5 Keluaran akhir dari Low Pass Filter

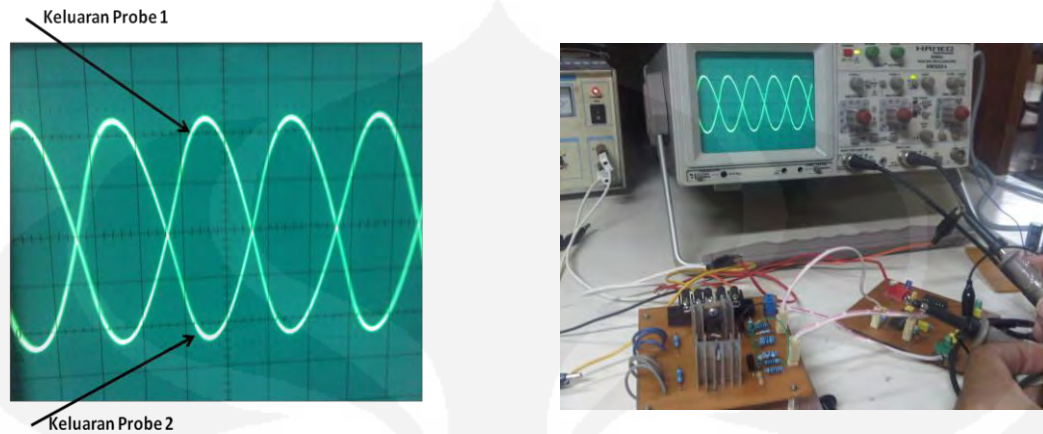
4.3 Sirkuit driver

Masing masing sirkuit driver terdiri atas 2 stage transistor untuk mendorong final stage transistor 2N3055A. Kedua susunan sirkuit driver dan final transistor harus dirancang sama, agar fasa positif dan negatif simetris.



Gambar 4.6 Skema lengkap bagian driver dan penguat akhir

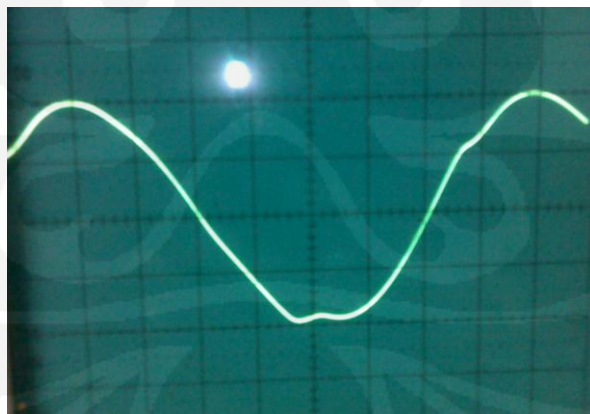
Sinyal keluaran dari driver dan penguat tersebut terlihat pada osiloskop di Gambar 4.6 berikut ini :



Gambar 4.7 Keluaran Akhir Dari rangkaian Driver

4.4 TRANSFORMATOR

Dari keluaran rangkaian driver dihubungkan ke masukan travo CT 9V dan keluaran pada travo diambil pada titik tegangan 240V, Besar tegangan dari travo pada saat dilakukan pengukuran terakhir adalah sebesar 80Vpp atau sekitar 28.4V, sedangkan untuk besarnya arus yang dihasilkan hanya sebesar 0.2A, keluaran dari travo pad titik 240V adalah sebagai berikut:



Gambar 4.8 Keluaran dari travo CT

BAB 5 KESIMPULAN

5.1. Kesimpulan

Berikut ini adalah kesimpulan dari rancang bangun dan pengujian inverter 12V DC ke 220 V AC 50 Hz:

1. Inverter ini memiliki keunggulan dibandingkan dengan inverter yang ada di pasar, karena telah dilakukan usaha peredaman harmonisa osilator pembangkit 50Hz yang asalnya berupa gelombang kotak dari multivibrator NE555 dengan menggunakan *low pass filter(LPF)* sebelum rangkaian driver, sehingga hanya keluar fundamental sinus 50Hz di output. Hal ini akan mengurangi rugi-rugi karena harmonisa.
2. Disain rangkaian ini memiliki keunggulan karena untuk penguat 2 fasa yang berbeda cukup menggunakan 2 rangkaian driver dan final yang identik. Tidak diperlukan transistor yang saling komplementer seperti pada rangkaian penguat push-pull. Konsekuensi yang ada adalah kebutuhan akan suatu transformator *step-up* yang memiliki CT pada kumparan primernya
3. Tegangan Keluaran yang dihasilkan tidak dapat mencapai 220V, hal ini disebabkan karena pengaruh jumlah lilitan yang dipakai. Untuk mendapatkan tegangan keluaran yang diinginkan dimungkinkan dengan pembuatan trafo sesuai dengan perhitungan yang ada.

DAFTAR ACUAN

- [1] Hart, Daniel W. *Introduction To Power Electronics: International Edition*. Prentice Hall International. London. 1997.
- [2] National Semiconductor. LM555 Timer, 2006. www.national.com .
- [3] National Semikonduktor. 74LS04 www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/.../74LS04.html
- [4] Karki, James *Analysis of the Sallen-Key Architecture*, Texas Instruments Application Report SLOA024A – July 1999.
- [5] Carter, Bruce A *Single-Supply Op-Amp Circuit Collection*, Texas Instruments Application Report SLOA058 – November 2000.
- [6] Boylestad, Robert L & Nashelsky, Louis *Electronic Devices and Circuit Theory*, 10Ed. Pearson Education. 2009