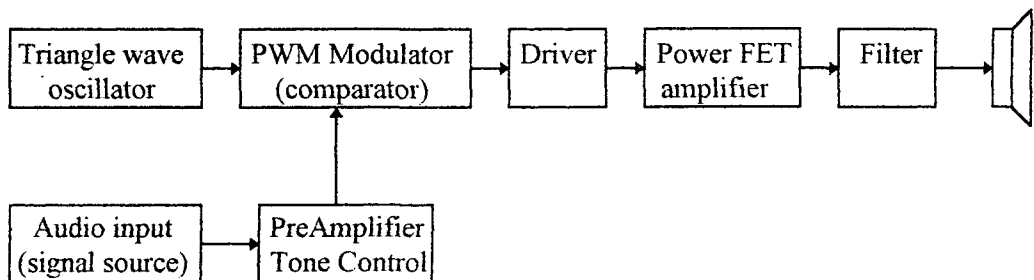


III. PERENCANAAN

Secara blok diagram, dapat digambarkan susunan penuh blok-blok rangkaian penyusun switching amplifier ini.



GAMBAR 3-1

BLOK DIAGRAM RANGKAIAN SWITCHING AMPLIFIER

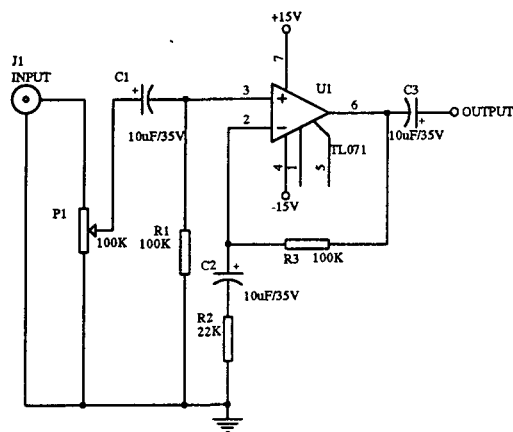
Di dalam bab ini akan dibahas perencanaan masing-masing bagian penyusun rangkaian lengkap Switching Amplifier. Bagian-bagian tersebut terdiri

dari bagian Pre-Amplifier, osilator triangle wave, dan switching driver serta power supply.

1. PERENCANAAN PRE AMPLIFIER

Bagian Pre Amplifier ini terdiri dari penguat awal serta pengatur nada. Bagian penguat awal terdiri dari sebuah Op-Amp yang dirangkai sebagai penguat non-inverting dengan penguatan sekitar 5.5 kali. Diasumsikan output dari sinyal source sekitar $500 \text{ mV}_{\text{P-P}}$.

$$\text{Gain} = \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) = 1 + 4.5 = 5.5$$



GAMBAR 3-2

RANGKAIAN PENGUAT AWAL

Kemudian hasil output dari rangkaian penguat awal tersebut diumpankan ke dalam rangkaian pengatur nada. Untuk memenuhi standar frekuensi hi-fi

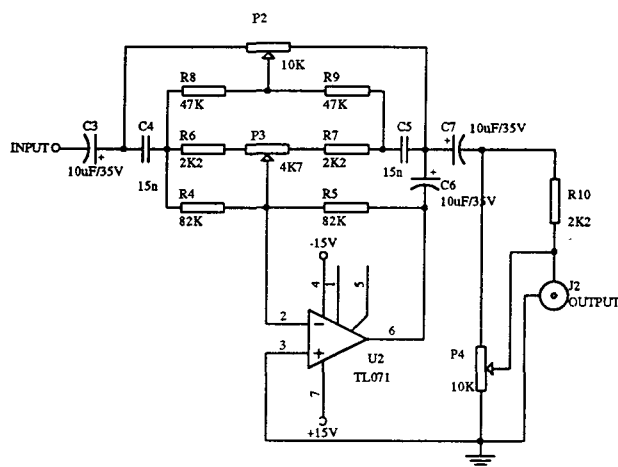
(50Hz - 15kHz) maka pengaturan bass dan treble sebagai berikut. Untuk frekuensi

bass diset :

$$f_B = 1 / (2 \cdot \pi \cdot (P_2 + R_8 + R_9) \cdot (C_4 + C_5)) = 1 / 19.6 \text{ e-}3 = 51 \text{ Hz}$$

Sedangkan untuk treble diatur pada frekuensi :

$$f_T = 1 / (2 \cdot \pi \cdot R_6 \parallel R_4 \cdot (C_4 \parallel C_5)) = 1 / 98.9 \text{ e-}6 = 10.1 \text{ kHz.}$$



GAMBAR 3-3

RANGKAIAN PENGATUR NADA

2. PERENCANAAN OSILATOR TRIANGLE WAVE

Osilator Triangle wave terdiri dari dua buah Op-Amp yang dirangkai menjadi square wave generator dan rangkaian integrator.

Bila dipilih R_{13} sama dengan $1k\Omega$ dan untuk tegangan output osilator diset sebesar $5V_{P-P}$ maka untuk R_{15} dapat dihitung sebagai berikut :

$$R_{15} = \frac{2 V_{SAT} R_{13}}{V_{P-P}} = \frac{2 \cdot 10 \cdot 1000}{5} = 4000 = 4k\Omega$$

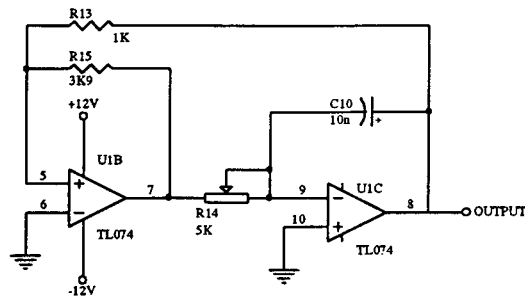
Harga R_{15} tersebut disesuaikan dengan persediaan komponen di pasaran yaitu $3k9\Omega$.

Sedangkan frekuensi yang diminta adalah sekitar $50kHz$ maka harga R_{14} dapat dihitung sebagai berikut :

$$R_{14} = R_{15} / (4 \cdot R_{13} \cdot f_{triangle} \cdot C) = 4000 / (4 \cdot 1000 \cdot 50000 \cdot 10 \cdot 10^{-9}) = 2k\Omega$$

Untuk itu dipilih R_{14} adalah potensiometer $5k\Omega$ sebagai pengatur frekuensi generator triangle. Hal ini dimaksudkan agar pada saat pengujian nantinya dapat dilihat perbedaan THD antara switching dengan frekuensi yang bermacam-macam.

Sedangkan output dapat diatur levelnya dengan mengatur potensiometer R_{19} . Pengaturan ini dimaksudkan untuk menyesuaikan level input bila dirasakan input terlalu tinggi atau terlalu rendah. Hal ini nantinya dapat memberikan efek pada sinyal PWM yang dihasilkan.



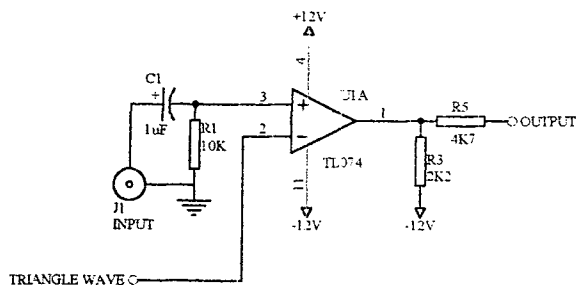
GAMBAR 3-4

RANGKAIAN OSILATOR TRIANGLE WAVE

3. PERENCANAAN COMPARATOR

Rangkaian comparator terdiri dari sebuah op-amp yang dirangkai sebagai comparator dan berfungsi untuk membandingkan sinyal audio yang masuk dengan sinyal triangle hasil dari triangle wave generator. Agar menghasilkan pulsa PWM maka input sinyal audio diumpankan ke kaki non-inverting dan input triangle wave diumpankan ke kaki inverting.

Untuk impedansi input dari rangkaian comparator diatur sebesar $10\text{k}\Omega$, maka pada input comparator dipasang R_1 sebesar $10\text{k}\Omega$. Output dari comparator ini adalah sebesar tegangan saturasinya. Bila digunakan supply $VCC = \pm 12\text{V}$ maka tegangan saturasi comparator sebesar $\pm 10\text{V}$.



GAMBAR 3-5

RANGKAIAN COMPARATOR

4. PERENCANAAN RANGKAIAN DRIVER DAN OUTPUT STAGE

Driver untuk switching amplifier ini menggunakan dua buah transistor BJT NPN 2N4401 dan PNP 24403 yang dirangkai secara complementary. Masing-masing transistor menangani sinyal 1 cycle yaitu cycle positif saja dan cycle negatif saja. Kemudian output dari driver diinputkan ke output stage.

Pemilihan komponen ini berdasarkan karakteristik switching transistor ini. Dari data sheet diketahui untuk karakteristik switching transistor 2N4401 dan 2N4403 adalah sama, baik turn on time maupun turn off time, delay time dan fall time. Hal ini menunjukkan bahwa untuk rangkaian complementer NPN dan PNP kedua transistor ini cocok untuk digunakan dalam frekuensi switching 50kHz.

Pada output stage dipasang dioda zener 16 V untuk memberikan V_{GS} untuk mendrive MOSFET sebesar 16 V (diasumsikan V_{CE} transistor kira-kira 0.2 V). Input yang masuk pada kaki Gate adalah sinyal switching antara $V_{CC}-16V$ sampai V_{CC} . Oleh karena MOSFET tidak boleh dikenakan V_{GS} lebih dari 20V (berdasarkan data sheet) maka antara zener dan gate dipasang kapasitor 100nF

untuk menghilangkan faktor DC. Sehingga tegangan yang masuk pada gate adalah -7.5V sampai dengan 7.5V. Output stage terdiri dari dua buah MOSFET yang dirangkai secara complementary untuk mempertahankan kecepatan pensaklaran. MOSFET yang digunakan adalah tipe N channel IRF540 dan P channel IRF9540. MOSFET dipilih dengan r_{DSON} kecil agar memperbesar efisiensi kerja MOSFET. Untuk switching dengan kecepatan tinggi MOSFET jauh lebih baik daripada BJT. Karena MOSFET tidak memerlukan waktu jeda untuk recovery time bila dibandingkan dengan BJT. Berdasarkan data sheet turn on delay time dan turn off delay time IRF540 cukup baik yaitu turn on delay time $t_{\text{D(ON)}} = 15\text{ns}$ dan turn off delay time $t_{\text{D(OFF)}} = 40\text{ns}$. Sedangkan untuk IRF9540 memiliki karakteristik switching hampir sama yaitu turn on delay time $t_{\text{D(ON)}} = 16\text{ns}$ dan turn off delay time $t_{\text{D(OFF)}} = 47\text{ns}$. Berarti untuk rangkaian complementary switching kedua MOSFET ini cocok satu sama lainnya bila digunakan dalam frekuensi switching 50kHz.

Bila digunakan $V_{\text{BUS}} = \pm 51\text{V}$, maka untuk perencanaan amplifier kelas

D ini yaitu :

$$I_{\text{RMS}} = V_{\text{BUS}} / [\sqrt{2} \cdot (2 \cdot r_{\text{DSON}} + R_{\text{LOAD}})]$$

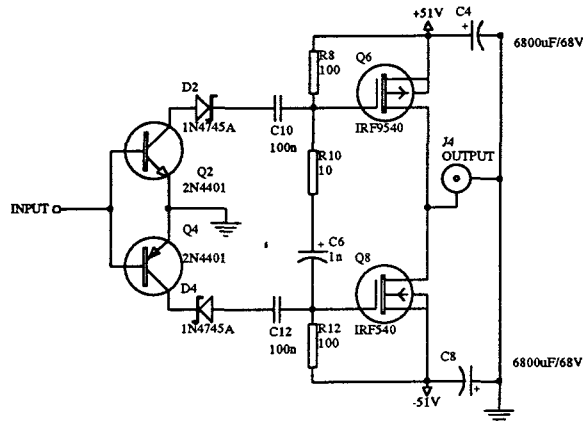
Bila diketahui dari data sheet IRF540 dan IRF9540 $r_{\text{DSON}} = 0.2\Omega$ dan untuk $R_{\text{LOAD}} = R_{\text{SPEAKER}} = 8\Omega$, maka

$$I_{\text{RMS}} = 51 / [\sqrt{2} \cdot (2 \cdot 0.2 + 8)] = 3\text{A}$$

$$P_{\text{LOAD}} = I_{\text{RMS}} \cdot R_{\text{LOAD}} = 3 \cdot 8 = 24\text{W}$$

$$\eta = R_{\text{LOAD}} / (2 \cdot r_{\text{DSON}} + R_{\text{LOAD}}) = 8 / (2 \cdot 0.2 + 8) = 95.2\%$$

Jadi diharapkan dalam pembuatan nantinya akan menghasilkan spesifikasi seperti yang telah direncanakan di atas.



GAMBAR 3-6

RANGKAIAN DRIVER DAN OUTPUT STAGE

5. PERENCANAAN PASSIVE LOW-PASS FILTER 30kHz

Low pass filter digunakan untuk mendapatkan kembali sinyal sinus dari sinyal PWM yang telah diperkuat. Hasil output dari MOSFET dihubungkan dengan low-pass filter. Kemudian output dari low-pass filter diumpankan ke loudspeaker.

Low-pass filter yang digunakan adalah 4 pole Butterworth filter dengan frekuensi cut off sebesar 30 kHz. Berdasarkan application note AN9525 tentang Class-D Audio II Evaluation Board (HIP4080EVAL2) halaman 6 yang disadur dari Electronic Filter Design Handbook tabel 12-2, menyatakan bahwa untuk

perencanaan 4 pole filter diasumsikan bahwa impedansi sumber sebesar 0.1Ω maka ditentukan harga-harga sebagai berikut:

$$L1_N : 1.5307 \qquad L3_N : 1.0824$$

$$C2_N : 1.5772 \qquad C4_N : 0.3827$$

Maka harga-harga normal ini ditransfer ke harga nyata induktansi dan kapasitasi pada saat frekuensi cut off dan impedansi beban yang diperlukan.

Untuk induktor :

$$L1 = L1_N \cdot R_N / \omega_{3dB} \qquad L3 = L3_N \cdot R_N / \omega_{3dB}$$

$$C2 = C2_N / (R_N \cdot \omega_{3dB}) \qquad C4 = C4_N / (R_N \cdot \omega_{3dB})$$

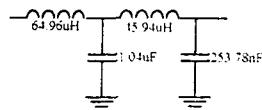
dimana ω_{3dB} adalah frekuensi cut off dalam radian per second dan R_N adalah impedansi beban.

$$\text{Bila } \omega_{3dB} = 2 \cdot \pi \cdot 30\text{kHz} = 1.885 \cdot 10^5 \text{ rad/sec}$$

dan $R_N = 8\Omega$ maka dapat dihitung harga komponen-komponen pembentuk filter adalah :

$$L1 = 64.96 \mu\text{H} \qquad C2 = 1.04 \mu\text{F}$$

$$L3 = 45.94 \mu\text{H} \qquad C4 = 253.78 \text{ nF}$$



GAMBAR 3-7

RANGKAIAN PASSIVE FILTER 4 POLE BUTTERWORTH 30kHz

6. PERENCANAAN POWER SUPPLY

Untuk memperoleh tegangan kerja sebesar +51V dan -51V sebagai power supply switching amplifier maka dirancang sebuah power supply khusus. Supply ini tidak bergantung pada transformator untuk menurunkan tegangan, maka rangkaian power supply ini ringan dibanding supply biasa yang menggunakan trafo penurun tegangan.

Untuk itu digunakan rancangan power supply switching yang dikontrol oleh optoisolator sebagai pengontrol SCR yang digunakan dalam rangkaian ini.

Optoisolator dikontrol oleh osilator untuk membangkitkan pulsa-pulsa square yang akan memberikan sinyal clock pada frekuensi 100Hz. Sinyal ini akan mengontrol gate SCR untuk mengatur sudut penyalanya. SCR yang digunakan adalah BT151 dengan pertimbangan rating tegangannya sampai 500V dan arus yang dialirkan maksimal adalah 12A.

Gambar 3-10 menunjukkan rangkaian power supply yang digunakan untuk menyuplai tegangan yang dibutuhkan oleh switching amplifier.

Input dari jala-jala memiliki frekuensi 50Hz, dan tegangan sebesar 110V. Dalam hal ini digunakan tegangan 110V agar penghitungan dan pencarian harga dan karakteristik komponen lebih mudah.

Tegangan AC 110V diinputkan pada penyearah gelombang penuh (bridge diode) dan menghasilkan 155.5VDC dengan frekuensi 100Hz.

Komposisi D1, D3, dan D4 serta R1 dan R2, membentuk deretan pulsa sebesar 5V yang terbentuk dari tegangan Zener D3 (zener 5.1 V).

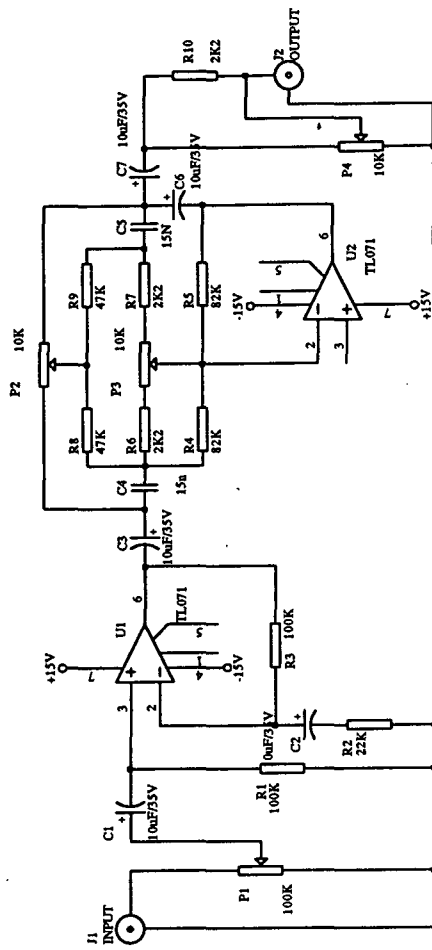
Dari tegangan AC yang telah disearahkan, dibagi tegangannya menurut pembagian R2 dan R1. Dimana tegangan antara R1 dan R2 adalah :

$$V_p = V_{RMS} \cdot \sqrt{2} = 110 \cdot \sqrt{2} = 155.5 V_p.$$

$$V_{pR2} = 2200/(2200 + 4700) \times 155.5V = 49.58 V_p.$$

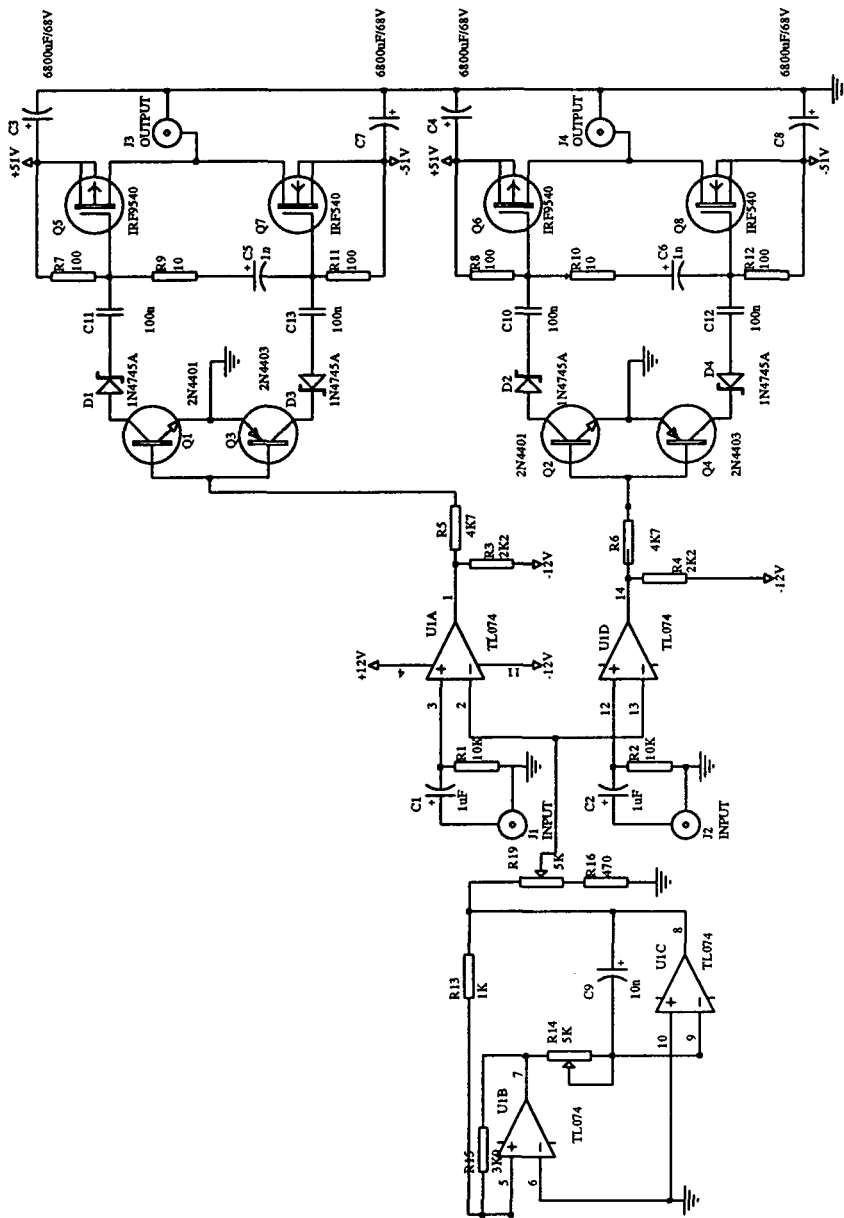
Tegangan sebesar 49.58 V ini menembus dioda zener 24V dan 5.1 V. Sehingga pada saat tegangan input belum mencapai 24 V maka zener belum ON. Setelah tegangan input melewati 24V, baru zener ON dan tegangan 5 V dihasilkan dan mengisi kapasitor C1 hingga penuh.

Tegangan 5 V yang dihasilkan memiliki fungsi dua macam, yang pertama sebagai pulsa untuk mentrigger optoisolator sebagai driver SCR, dan yang kedua mengisi kapasitor C1 melalui diode D2 sebagai catu daya transistor Q1 dan Q2. Pulsa yang terbentuk pada basis Q1 akan membuat transistor Q1 berfungsi sebagai switch (saklar). Kemudian output pulsa saklar Q1 diinputkan pada transistor Q2 yang akan membuat transistor Q2 juga berfungsi sebagai saklar. Output dari transistor Q2 inilah yang akan mentrigger optoisolator U1 dengan frekuensi 100Hz. Pulsa output dari optoisolator digunakan untuk mentrigger SCR. Sehingga SCR mampu berkonduksi dan mengalirkan arus dari anoda ke katoda dan kemudian arus mengalir ke beban yaitu switching amplifier.

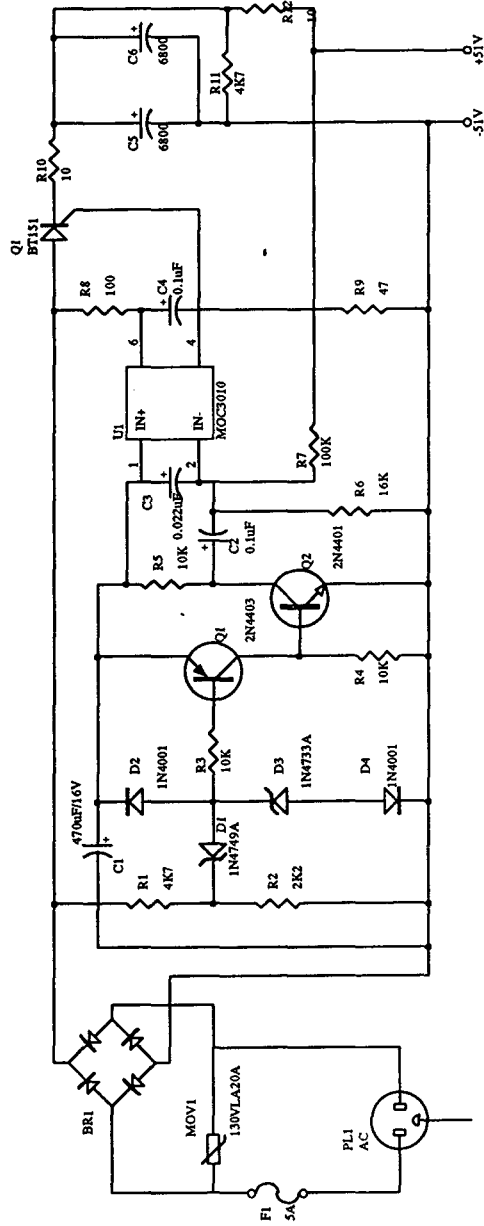


GAMBAR 3-8

RANGKAIAN PRE-AMPLIFIER



GAMBAR 3-9
RANGKAIAN SWITCHING AMPLIFIER



GAMBAR 3-10

RANGKAIAN POWER SUPPLY