

# PERANCANGAN DAN PEMBUATAN PEMANCAR FM STEREO 20 WATT

Oleh :

**T.SAID RIDWAN**

**NIM :00.812.0030**



**FAKULTAS TEKNIK  
JURUSAN ELEKTRO  
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
MEDAN  
2002**

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

## ABSTRAKSI

Dalam era globalisasi dunia saat ini peranan teknologi komunikasi sangatlah penting, baik itu dalam bidang penerbangan, pemberitaan, hiburan, pengetahuan dan lain sebagainya. Sistem komunikasi yang handal sangatlah dibutuhkan untuk dapat mencapai tujuan tersebut. Sistem modulasi amplitudo (AM) dan sistem modulasi frekuensi (FM) Sistem pemancar AM mempunyai beberapa kelemahan antara lain noise yang besar dan lebar Band yang sempit serta kualitas suara yang kurang baik. Untuk mengatasi hal tersebut digunakan sistem modulasi frekuensi (FM) pada radio pemancar. Selain mempunyai lebar band yang lebih luas sehingga kualitas suara lebih baik (Hi-Fi), pada pemancar FM dapat dibuat sistem stereo.

Perencanaan perangkat pemancar FM 20 Watt ini dimaksudkan juga menjadi Station Broadcast Universitas Medan Area yang bermanfaat untuk penyebaran informasi yang berkaitan dengan UMA atau informasi lain yang dibutuhkan oleh masyarakat.

## DAFTAR ISI

### ABSTRAKSI

### KATA PENGANTAR

( i )

### DAFTAR ISI

(iii)

### DAFTAR GAMBAR

(vi)

### BAB I PENDAHULUAN

1

1.1 Tujuan

1

1.2 Latar Belakang Permasalahan

1

1.3 Batasan Masalah

2

1.4 Metode Pengumpulan Data

2

1.5 Sistematika Pembahasan

2

### BAB II LANDASAN TEORI

4

2.1 Dasar Komunikasi Gelombang Radio

4

2.2 Perambatan Gelombang Radio

8

2.3 Modulasi

10

2.3.1 Pengertian Modulasi

10

2.3.2 Jenis Modulasi

10

2.3.3 Perbandingan antara gelombang AM dan FM

13

2.3.4 Modulasi Frekuensi

14

□ Gelombang FM

14

□ Spektrum Frekuensi

18

( iii )

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area (repository.uma.ac.id)20/9/23

□ Daya Rata-rata	20
□ Teknik Modulasi FM	22
2.4 Pemancar FM	24
2.4.1 Pemancar FM Modulasi Langsung	24
2.4.2 Pemancar FM Modulasi Tidak Langsung	24
2.5 Osilator	25
2.5.1 Osilator Kristal	26
2.5.2 Voltage Control Oscillator	28
2.6 Rangkaian Penguat RF	29
2.6.1 Jenis Rangkaian Penguat	29
2.6.2 Penguat Untuk RF	36
2.7 Attenuator	39
2.8 Filter	44
2.8.1 Jenis Filter	45
2.8.2 Low Pass Filter	46
2.9 Antena	47
<b>BAB III PERENCANAAN DAN PEMBUATAN PERALATAN</b>	<b>59</b>
3.1 Perencanaan	59
3.1.1 Spesifikasi Umum	59
3.1.2 Diagram Blok	60
3.1.3 Skema Rangkaian	63
□ Rangkaian MPX	64

□	Osilator FM	65
□	Rangkaian Buffer	66
□	Driver Amplifier	66
□	Power Amplifier	66
<b>BAB IV</b>	<b>ANALISA DAN PERCOBAAN PERALATAN</b>	<b>67</b>
4.1	Analisa Rangkaian	67
4.1.1	Rangkaian MPX	67
4.1.2	Rangkaian Pemancar	69
4.2	Percobaan Peralatan	71
4.2.1	Pengambilan Data	71
4.2.2	Analisa Data	72
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>73</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		<b>75</b>
<b>LAMPIRAN</b>		<b>76</b>

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Tujuan

Tujuan utama tugas akhir yang berjudul "*Perancangan dan Pembuatan Pemancar FM Stereo 20 Watt*" adalah sebagai berikut :

- 1 Sebagai syarat untuk memenuhi mata kuliah tugas akhir
- 2 Untuk mengaplikasikan / menerapkan pengetahuan dan ketrampilan yang didapatkan selama perkuliahan dalam membuat suatu sistem komunikasi
- 3 Untuk menghasilkan sebuah perangkat pemancar FM yang dapat digunakan sebagai alat siaran dan penelitian

### 1.2 Latar Belakang Masalah

Pada era teknologi yang berkembang pesat saat ini , teknologi komunikasi memegang peranan yang sangat berarti dalam kehidupan sehari-hari dalam hal pelayanan informasi. Dengan adanya teknologi komunikasi , maka penyampaian informasi akan semakin cepat dan mudah ketujuan walaupun jarak satu lokasi dengan lokasi lainnya berjauhan. Salah satu cara yang dilakukan dalam penyampaian informasi tersebut adalah dengan menggunakan gelombang radio.

Radio siaran baik swasta maupun nasional saat ini merupakan media komunikasi yang banyak sekali peminatnya sehingga disamping berfungsi sebagai media penyebar informasi juga memberikan keuntungan yang cukup besar dan mempunyai prospek yang cukup cerah.

Pemancar FM Stereo yang dimaksud agar sebagai mahasiswa program studi Teknik Energi Listrik dapat merancang dan membuat sebuah alat telekomunikasi yang sedang berkembang saat ini, sehingga mahasiswa dapat menerapkan teori yang didapat.

### 1.3 Batasan Masalah

Pemancar FM Stereo merupakan sebuah alat pemancar yang terdiri dari rangkaian-rangkaian Osilator, Penguat RF dan Modulator Stereo (MPX). Mengingat keterbatasan kemampuan dalam pembuatan tugas akhir dan keterbatasan waktu bila dibahas semua rangkaian, maka penulis membatasi masalah yang dibahas dalam penyusunan tugas akhir yaitu pada salah satu bagian dari pemancar FM Stereo yang disebut sebagai Multiplex (MPX) dimana pencampuran sinyal input L-R (Left - Right) menjadi sinyal output MPX komposit (Multiplex Composite).

### 1.4 Metode Pengambilan Data

Metode pengumpulan data dalam penyusunan Tugas Akhir tentang rancangan adalah selain langsung yang didapat dari hasil pengukuran juga dilakukan dengan metode kepustakaan yaitu membaca dari buku-buku referensi, dan kemudian digabung serta dibuktikan kebenarannya pada alat yang dihasilkan.

### 1.5 Sistematika Pembahasan

Untuk memudahkan penulis dalam membuat tugas akhir ini, dan agar tugas ini dapat dengan mudah dimengerti, penulis membuat suatu urutan langkah penulisan yang terdiri dari

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

bab-bab. Setiap bab membahas suatu topik utama , dan tiap-tiap bab ada keterkaitan dengan bab lain.

Urutan penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

## **BAB I PENDAHULUAN**

Berisikan tujuan pembuatan tugas akhir , latar belakang masalah , metode pengumpulan data dan sistematika pembahasan.

## **BAB II LANDASAN TEORI**

Berisikan tentang teori dasar komponen-komponen yang digunakan dalam sistem untuk memudahkan pemahaman cara kerja dari sistem.

## **BAB III PERENCANAAN DAN PEMBUATAN PERALATAN**

Berisikan tahap-tahap perencanaan sistem , baik itu perencanaan / pembuatan blok diagram setelah ide rancangan diperoleh , ataupun perencanaan pembuatan diagram rangkaian.

## **BAB IV ANALISA DAN PERCOBAAN PERALATAN**

Berisikan tentang cara kerja rangkaian secara umum diawali oleh alur cara kerja blok diagram dan juga analisis rangkaian yang meliputi cara kerja tiap rangkaian , dan hubungan kerja tiap sistem rangkaian.

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini berisikan beberapa kesimpulan –kesimpulan dan saran-saran pada penulisan tugas akhir ini.

## BAB II

### LANDASAN TEORI

#### 2.1 Dasar Komunikasi Gelombang Radio

Telekomunikasi listrik dimulai pada tahun 1838 dengan terjadinya hubungan telegraph pertama untuk jarak 16 Km oleh Samuel F.B Morse. Pada saat sekarang ini sistem telekomunikasi listrik merupakan bagian yang tidak dapat dipisahkan dalam kehidupan sehari-hari seperti : telepon, radio dan televisi. Demikian juga jaringan telekomunikasi untuk suara, gambar dan data komputer sudah mencakup seluruh dunia.

Komunikasi dapat didefinisikan sebagai proses pemindahan penyaluran informasi dari suatu titik ke dalam ruang pada waktu tertentu. Sistem telekomunikasi merupakan keseluruhan mekanisme yang menyelenggarakan hubungan informasi antar sumber dan tujuan.

Sistem komunikasi memancarkan informasi dalam bentuk sinyal listrik yang menyajikan pembicaraan , musik, gambar televisi, data ilmiah, bisnis dan sebagainya. Spektrum frekuensi pada sinyal tersebut biasanya terbatas pada lebar pita tertentu, baik oleh alam, sumber sinyal, ataupun oleh filter dalam peralatan transmisi . Suatu sistem transmisi dapat dibagi menjadi beberapa elemen menurut fungsinya masing-masing. Pada Gambar 2.1 di bawah ini dapat dilihat elemen-elemen yang terdapat pada sistem telekomunikasi.

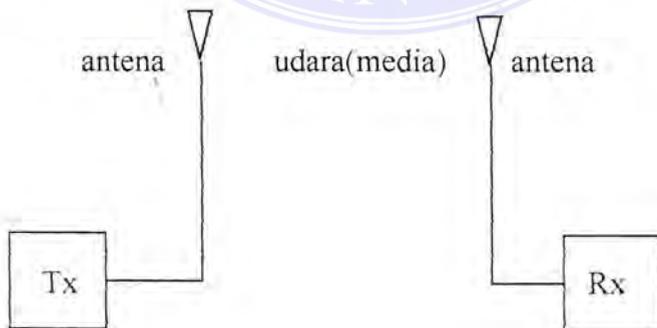


Gambar 2.1 Elemen-elemen Sistem Telekomunikasi

Dengan penjelasan tiap-tiap elemen adalah sebagai berikut :

Ti	= Transducer input
Tx	= Pemancar
MT	= Media Transmisi
Rx	= Penerima
To	= Transducer output

- **Transducer input** berfungsi merubah informasi baik gambar maupun suara menjadi sinyal listrik..
- **Tx** berfungsi untuk memancarkan Informasi yang diterima melalui Ti.
- **MT** berfungsi untuk menyalurkan hasil pancaran dari Tx , MT dapat berupa udara bebas , kawat , fiber optik dan air.
- **Rx** berfungsi sebagai penerima hasil pancaran dari Tx yang disalurkan lewat MT.
- **To** berfungsi untuk merubah sinyal – sinyal listrik yang berupa informasi ke bentuk semula yang dapat dimengerti oleh manusia.



Gambar 2.2 Komunikasi Radio

Dalam perjalanan sinyal sampai ke tujuan akan mengalami gangguan-gangguan.. Salah satu dari gangguan ini adalah redaman yang menurunkan kekuatan sinyal. Perubahan dan pengaruh lainnya yang lebih serius adalah distorsi , interferensi dan derau yang semuanya muncul sebagai perubahan bentuk pada sinyal.

Gelombang elektromagnetik dari pemancar biasanya dilepaskan ke ruang bebas oleh antena. Ruang bebas ini dapat berisi atmosfer bumi yang mengubah kelekukan gelombang dengan penyerapan , hamburan dan pantulan. Komunikasi radio ini memanfaatkan perantaraan gelombang dalam ruang bebas yang gelombang pada umumnya merambat ke segala arah. Suatu hubungan komunikasi radio dapat digambarkan seperti Gambar 2.2

Gelombang radio antara pemancar dan penerima merambat dalam udara bebas , dimana perambatannya tidak dapat diatur. Salah satu faktor yang mempengaruhi perambatan gelombang ialah media transmisi , maka dari itu perlu untuk menentukan pemakaian serta perolehan media transmisi yang sesuai bagi penyaluran dayanya.

Klasifikasi frekuensi radio dan daerah frekuensi serta panjang gelombang diperlihatkan pada Tabel 2.1

Gelombang-gelombang radio mempunyai kecepatan yang sama dengan cahaya yaitu  $3 \times 10^8$  m/s di udara bebas / ruang hampa (free space), sehingga panjang gelombang dapat diperoleh dengan persamaan :

$$\lambda = \frac{c}{f} \text{ (m)} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana :

$\lambda$  = panjang gelombang (m)

$C$  = kecepatan cahaya (m/s)

$f$  = fekuensi (Hz)

Hubungan radio dengan perambatan di atas permukaan bumi pada frekuensi di atas 100 MHz memanfaatkan gelombang ruang yang terdiri dari gelombang langsung dan gelombang oleh pantulan bumi. Hubungan bebas pandang (Line of Sight) merupakan pilihan pertama karena redaman lintasannya relatif rendah dan fading atau naik turunnya sinyal relatif kecil.

Tabel 2.1 Klasifikasi Frekuensi

Jenis Frekuensi	Frekuensi	Panjang Gelombang
ELF (Extreme Low Frequency)	30 Hz– 300 Hz	$10 \times 10^6 \text{ m} - 1 \times 10^6 \text{ m}$
VF (Voice Frequency)	300 Hz– 3000 Hz	$1 \times 10^6 \text{ m} - 0,1 \times 10^6 \text{ m}$
VLF (Very Low Frequency)	3 KHz– 30 KHz	$100 \times 10^3 \text{ m} - 10 \times 10^3 \text{ m}$
LF (Low Frequency)	30 KHz– 300 KHz	$10 \times 10^3 \text{ m} - 1 \times 10^3 \text{ m}$
MF (Middle Frequency)	300 KHz– 3000 KHz	$1 \times 10^3 \text{ m} - 0,1 \times 10^3 \text{ m}$
HF (High Frequency)	3 MHz– 30 MHz	100m – 10m
VHF (Very High Frequency)	30 MHz– 300 MHz	10m – 1 m
UHF (Ultra High Frequency)	300 MHz– 3000 MHz	1m – 10 cm
SHF (Super High Frequency)	3 GHz – 30 GHz	10cm – 1cm
EHF (Extra High Frequency)	30 GHz – 300 GHz	1cm – 0,1cm

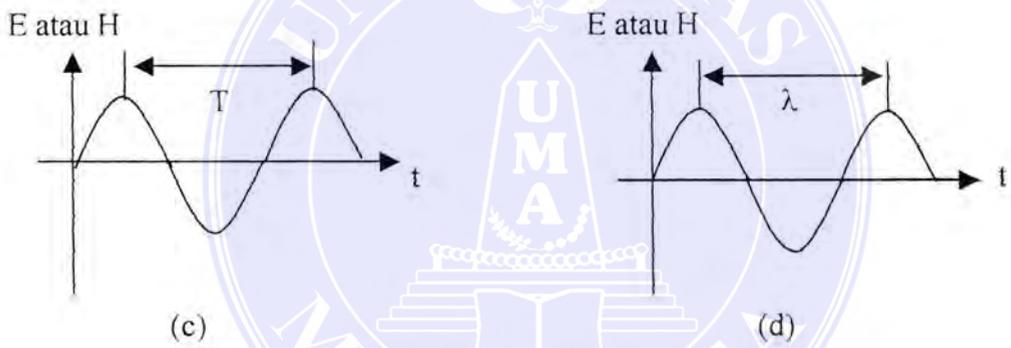
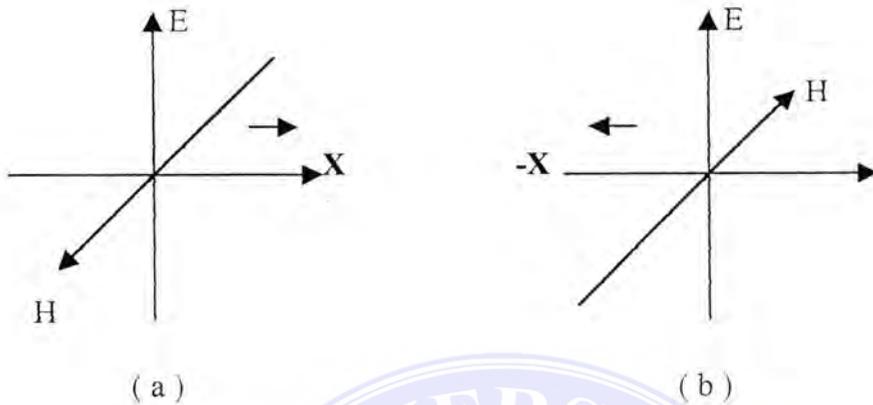
Untuk mencapai jarak propagasi yang lebih jauh pada penggunaan HF maka sudut pancaran antena harus sekecil mungkin. Jarak jangkauan pada sistem VHF, SHF atau microwave terbatas pada jarak pendek sehingga memungkinkan jarak hubungannya kira-kira 50 Km. Dalam hal ini akan mempunyai kualitas yang sangat baik dalam gelombang radionya. Dengan menggunakan teknik pengulang (Relay) jangkauan jarak jauh dimungkinkan dengan sistem pengulangan (repeater).

Disamping itu ada sifat lain yakni makin tinggi frekuensi maka makin besar saluran informasi yang dapat dibawa oleh gelombang radio. Jadi dengan demikian pada sistem ini, jenis informasi yang mempunyai pita frekuensi (Band Frekuensi) yang lebar seperti multipleks telepon yang dapat dilaksanakan.

Kemampuan penampungan pita frekuensi yang lebar pada gelombang radio memungkinkan sinyal yang dimodulasi dengan menggunakan sistem FM.

## 2.2 Perambatan Gelombang Radio

Energi elektromagnetik dipancarkan lewat ruang bebas dituntun sepanjang saluran transmisi dalam bentuk sebuah gelombang elektromagnetik secara melintang (Transverse Electromagnetic Wave, TEM Wave). Medan Magnet  $H$  (A/m) dan arah rambatan  $x$  ke arah mana gelombang berjalan dengan kecepatan fasa  $V_p$ (m/det) adalah tegak lurus satu terhadap yang lain, seperti tampak pada Gambar 2.3(a), jika gelombang TEM dibalik arahnya maka satu diantara medan  $E$  atau  $H$  seperti terlihat dalam Gambar 2.3(b) harus dibalik pula. Ini adalah mirip dengan keadaan yang diperlukan bila kita membalikkan arah putaran dari suatu



Gambar 2.3 Gelombang Elektromagnetik Melintang

Untuk melukiskan beberapa sifat dasar dari gelombang TEM, akan dimisalkan suatu perubahan-perubahan berbentuk sinusoida, maka persamaan-persamaan medan adalah :

$$e = E_{maks} \sin (\omega t - \beta x) \text{ V / m} \dots\dots\dots( 2.2 )$$

$$h = H_{maks} \text{ Sin } (\omega t - \beta x) \text{ A / m} \dots\dots\dots( 2.3 )$$

dimana :

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
 2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah  
 3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
 Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

Waktu periodik  $T$  dan Panjang gelombang diperlihatkan pada Gambar 2.3(c) dan (d).

Pembagian jenis-jenis perambatan gelombang radio dapat dilakukan dengan banyak cara, antara lain dapat dibagi menurut polarisasinya, menurut jenis modulasinya, menurut cara perambatan gelombang radionya dan pembagian menurut frekuensinya.

## 2.3 Modulasi

### 2.3.1. Pengertian Modulasi

Gelombang suara di udara didengar hanya pada jarak yang relatif pendek, tetapi gelombang radio bisa digunakan pada jarak yang lebih jauh. Oleh karena itu, pentransmisian dari sinyal informasi seperti kode, suara, musik bisa dilakukan dengan penggabungan atau menumpangkan sinyal informasi tersebut dengan sebuah gelombang frekuensi tinggi yang instan yang dihasilkan oleh pemancar. Proses penumpangkan gelombang frekuensi audio dengan frekuensi carrier disebut dengan modulasi.

### 2.3.2. Jenis Modulasi

Ada tiga cara penumpangkan ( modulasi ) gelombang pembawa pada sistem analog

- ❖ Dengan cara mengubah amplitudo gelombang pembawa
- ❖ Dengan cara mengubah fase gelombang pembawa
- ❖ Dengan cara mengubah frekuensi gelombang pembawa.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

*Modulasi Amplitudo*

Dalam modulasi amplitudo suatu tegangan yang sebanding dengan sinyal modulasi ditambahkan kepada amplitudo pembawa. Misalkan komponen tegangan yang ditambahkan dinyatakan dalam notasi fungsional sebagai  $e_m(t)$  ; kemudian gelombang pembawa termodulasinya diberikan oleh

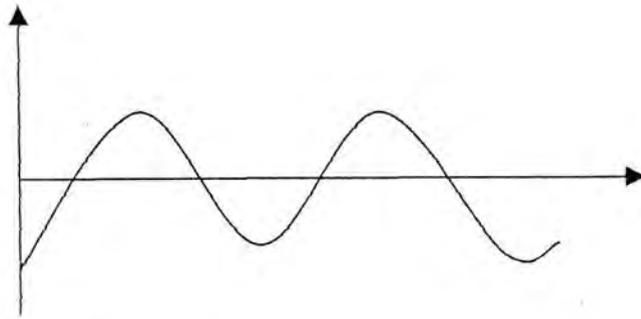
$$e(t) = [E_{C\ maks} + e_m(t)] \cos(2\pi f_c t + \phi_c) \dots\dots\dots(2.4)$$

Term  $[E_{c\ maks} + e_m(t)]$  melukiskan envelope (sampul) gelombang yang dimodulasi.

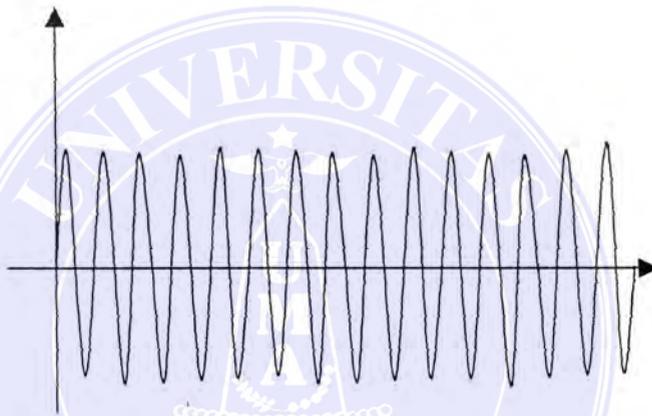
Gambar 2.4 menunjukkan (a) sinyal modulasi sembarang , (b) carrier wave, (c) gelombang AM yang dihasilkan, dimana sampulnya terlihat mengikuti bentuk gelombang sinyal modulasi. Ini juga mengilustrasikan secara grafik mengapa istilah carrier itu digunakan.

Sedangkan indeks modulasi amplitudo mengacu kepada Gambar 2.4 (c) karena itu indeks modulasi didefinisikan sebagai :

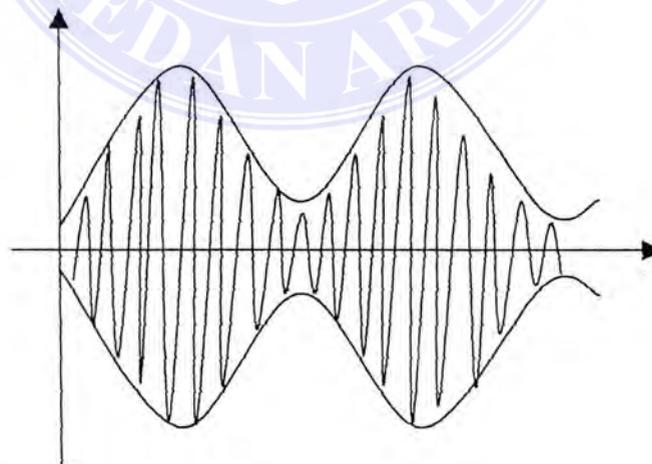
$$m = \frac{E_{maks} - E_{min}}{E_{maks} + E_{min}}$$



(a) sinyal pemodulasi



(b) sinyal pembawa



(c) gelombang AM yang dihasilkan

### Modulasi Pulsa

Seperti halnya amplitudo, frekuensi atau fase suatu carrier sinusoidal dapat dimodulasikan dengan sinyal informasi, jadi amplitudo, frekuensi atau fase (posisi) pulsa-pulsanya dalam sebuah rentetan pulsa dapat juga dimodulasikan. Misalnya dalam bidang telekomunikasi bentuk yang paling banyak digunakan adalah Pulse Code Modulation (modulasi sandi pulsa), atau disebut dengan PCM. Ini adalah suatu varian modulasi amplitudo pulsa yang dimana amplitudo pulsanya ditransmisikan dalam sandi biner. Sedangkan dasar-dasar dari beberapa bentuk pulsa lainnya adalah:

- Modulasi Amplitudo Pulsa (PAM)
- Modulasi Sandi Pulsa (PCM)
- Modulasi Frekuensi Pulsa (PFM)
- Modulasi Waktu Pulsa (PTM)
- dan lainnya

Sedangkan modulasi frekuensi adalah suatu proses pentransmisian sinyal informasi dengan mengubah gelombang pembawa sesuai dengan amplitudo sinyal informasi, tanpa mengubah amplitudo sinyal pembawa.

### 3.3.3 Perbandingan antara gelombang AM dan FM

Dibandingkan dengan modulasi amplitudo, modulasi frekuensi mempunyai beberapa kelebihan tertentu. Yang utama adalah bahwa perbandingan S/N dapat ditingkatkan tanpa menimbulkan distorsi yang signifikan, tetapi harus diimbangi dengan meningkatnya lebar

mudah untuk ditekan , dan proses modulasi dapat dilakukan pada tingkat daya yang rendah pada pemancar, sehingga dengan demikian tidak diperlukan daya modulasi yang terlalu besar.

Pada Tabel 2.2 berikut ini dapat dilihat beberapa perbandingan antara sistem AM dan FM berikut :

Tabel 2.2 Perbandingan antara sistem AM dan FM

	AM	FM
Amplitudo Pembawa	berubah dengan sinyal pemodulasi	tidak berubah
Frekuensi Pembawa	tidak berubah	berubah dengan sinyal pemodulasi
Frekuensi Samping	dua untuk setiap frekuensi pemodulasi	tidak terbatas jumlahnya
Lebar Jalur	9 KHz	250 KHz
Jalur Gelombang	LW, MW dan SW	VHF dan UHF

### 2.3.4 Modulasi Frekuensi

Seperti yang telah disebutkan di atas bahwa modulasi frekuensi adalah suatu proses transmisi sinyal informasi dengan mengubah gelombang pembawa sesuai dengan amplitudo sinyal informasi, tanpa mengubah amplitudo sinyal pembawa.

#### ❑ Gelombang FM

Dalam modulasi frekuensi , amplitudo dari gelombang yang dimodulasi adalah konstan yaitu amplitudo gelombang pembawa. Frekuensi gelombang pembawa berubah

Sinyal modulasi  $e_m$  digunakan untuk merubah frekuensi pembawa  $e_c$ . Misalkan bahwa perubahan pada frekuensi pembawa adalah  $k \cdot e_m$  dimana  $k$  adalah konstanta yang dikenal sebagai konstanta deviasi frekuensi, maka frekuensi pembawa sesaat adalah :

$$f_i = f_c + k e_m \dots\dots\dots(2.5)$$

dimana  $f_c$  adalah frekuensi pembawa tanpa modulasi

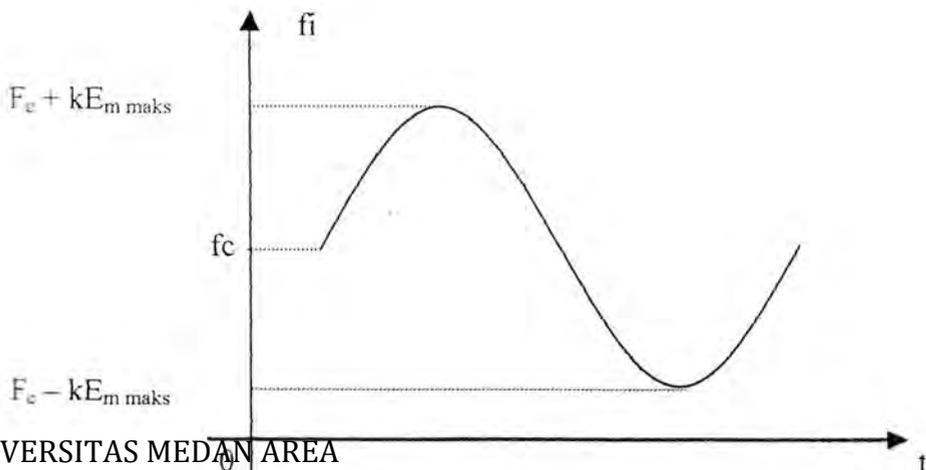
Misalnya, bila  $e_m$  adalah suatu gelombang sinus,

$$e_m = E_{m \text{ maks}} \sin \omega_m t \dots\dots\dots(2.6)$$

Frekuensi pembawa sesaat menjadi :

$$f_i = f_c + k E_{m \text{ maks}} \sin \omega_m t \dots\dots\dots(2.7)$$

Sketsa dari  $f_i$  ditunjukkan pada Gambar 2.5



UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

Gambar 2.5. Lengkung Frekuensi waktu sesaat

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
 2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah  
 3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
 Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

Deviasi frekuensi puncak dari sinyal didefinisikan sebagai :

$$\Delta f = kE_{m \text{ maks}} \dots\dots\dots(2.8)$$

sehingga persamaan 2.8 menjadi :

$$f_i = f_c + \Delta f \sin \omega_m t \dots\dots\dots(2.9)$$

Misalkan gelombang pembawa yang tidak dimodulasi adalah gelombang sinus dengan

persamaan :

$$e_c = E_{c \text{ maks}} \sin (\omega_c t + \phi) \dots\dots\dots(2.10)$$

Tanpa menghilangkan sifat umum,  $E_{c \text{ maks}}$  dapat dibuat sama dengan satu.

$$e_c = \sin (\omega_c t + \phi) \dots\dots\dots(2.11)$$

dimana  $\omega_c = 2\pi f_c =$  suatu frekuensi sudut konstan dalam radian per detik, dan  $\phi$  adalah sudut fasa konstan dalam radian.

Persamaan (2.12) adalah suatu bentuk yang khusus dari suatu rumus yang lebih umum

$$e = \sin \theta(t) \dots\dots\dots(2.12)$$

Frekuensi sudut dari rumus umum ini adalah kecepatan perubahan waktu dari  $\theta t$ , dan

bila frekuensi konstan maka bentuk khusus persamaan (2.12) berlaku. Bila frekuensi

berubah-ubah seperti dalam modulasi frekuensi, suatu frekuensi sudut sesaat dapat

didefinisikan sebagai :

$$\omega_i = 2\pi f_i = \frac{d\theta(t)}{dt} \dots\dots\dots(2.13)$$

$$\theta(t) = \int \omega_i dt \dots\dots\dots(2.14)$$

Frekuensi sesaat  $f_i$  dihubungkan dengan modulasi oleh persamaan (2.9). Misalnya,

frekuensi sudut yang konstan  $\omega_c$  (tidak dimodulasi) adalah :

$$\begin{aligned} \theta(t) &= \int \omega_c dt \\ &= \omega_c t + \phi \dots\dots\dots(2.15) \end{aligned}$$

mana  $\phi$  adalah konstanta integrasi. Untuk modulasi sinusoida, persamaan (2.9) dimasukkan

dalam persamaan (2.14) untuk memberikan :

$$\begin{aligned} \theta(t) &= \int 2\pi (f_c + \Delta f \sin \omega_m t) dt \\ &= \omega_c t - \frac{\Delta f}{f_m} \cos \omega_m t + \phi \dots\dots\dots(2.16) \end{aligned}$$

mana  $\omega_m = 2\pi f_m$ . Konstanta  $\phi$  dapat dibuat sama dengan nol dengan pemilihan sumbu

referensi yang sesuai, dan persamaan untuk gelombang yang dimodulasi frekuensi sinusoida

diperoleh dengan memasukkan persamaan (2.16) ke persamaan (2.12)

$$e = \sin \left( \omega t - \frac{\Delta f}{f_m} \cos \omega_m t \right) \dots\dots\dots(2.17)$$

Perhatikan bahwa persamaan (2.17) tidak dapat diturunkan hanya dengan

menggantikan  $f_c$  dan  $f_i$  dalam persamaan (2.11), alasannya adalah karena persamaan (2.11)

tidak diturunkan dengan dasar frekuensi yang konstan, dan sudah tentu modulasi frekuensi

seperti ini tidak berlaku.

Indeks modulasi untuk modulasi frekuensi didefinisikan sebagai :

UNIVERSITAS MEDAN AREA

$$m_f = \frac{\Delta f}{f_m} \dots\dots\dots(2.18)$$

dimana :

$m_f$  = Indeks modulasi

$\Delta f$  = derajat modulasi

$f_m$  = frekuensi modulasi

Persamaan untuk pembawa yang dimodulasi sinusoida menjadi :

$$e = \sin (\omega_c t - m_f \cos \omega_m t) \dots\dots\dots(2.19)$$

**Spektrum Frekuensi**

Spektrum frekuensi untuk modulasi FM ternyata terdiri dari sebuah komponen pembawa dan frekuensi-frekuensi sisi pada harmonisa dari frekuensi modulasi. Amplitudo-amplitudo dari berbagai komponen spektral diberikan oleh suatu fungsi Bessel dari jenis pertama (Bessel's Function of The First Kind), yang disini dinyatakan dengan  $J_n (m_f)$  ;  $m_f$  adalah indeks modulasi yang didefinisikan dalam persamaan (2.18) dan  $n$  adalah orde dari frekuensi sisi.

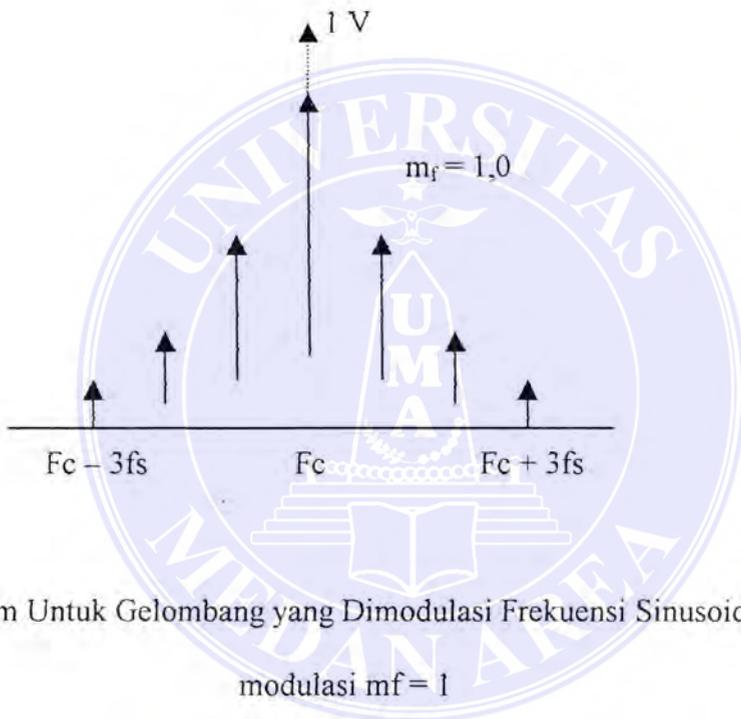
Gelombang pembawa dalam jumlah dari semua komponen-komponen dalam spektrum ini memberikan pembawa dengan amplitudo konstan. Akan terlihat pada Tabel 2.3 bahwa amplitudo-amplitudo dalam beberapa hal dapat negatif. Dan akan terlihat juga bahwa nilai-nilai  $m_f$  tertentu (2.4 , 5.5 , 8.65 dan nilai-nilai lebih tinggi yang tidak

akan), amplitudo pembawa adalah nol. Yang menjadi nol adalah komponen sinusoida

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang  
 1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
 2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah  
 3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
 Document Accepted 20/9/23  
 Access From (Repository.uma.ac.id)20/9/23

spektrum pada frekuensi pembawa dan bukannya pembawa yang dimodulasi yang tidak berbentuk sinusoida.

Spektrum untuk nilai  $m_f = 1$  ditunjukkan dalam Gambar 2.6



Gambar 2.6 Spektrum Untuk Gelombang yang Dimodulasi Frekuensi Sinusoida dengan indeks modulasi  $m_f = 1$

Pada setiap keadaan, garis-garis spektral berjarak  $f_m$  satu dari yang lain dan lebar jalur diduduki oleh spektrum terlihat sama dengan :

$$B_{FM} = 2nf_m \dots\dots\dots(2.20)$$

adalah 5% dari amplitudo pembawa tanpa modulasi, atau bahkan lebih kecil lagi, maka persamaan (2.20) dapat ditulis sebagai :

$$B_{FM} = 2 (m_f + 1) f_m \dots\dots\dots(2.21)$$

atau dengan mensubstitusikan  $m_f$  dari persamaan (2.18)

$$= 2 (\Delta f + f_m) \dots\dots\dots(2.22)$$

□ **Daya Rata-rata**

Fungsi-fungsi Bessel memberikan hubungan antara amplitudo tegangan dari masing-masing komponen sisi frekuensi sinusoida terhadap amplitudo pembawa tanpa modulasi sebagai :

$$E_n = J_n E_c \dots\dots\dots(2.23)$$

Dengan memisalkan bahwa amplitudo  $E_n$  dan  $E_c$  adalah nilai-nilai dari sinusoida, daya yang terkandung pada masing-masing komponen sinusoida diberikan oleh :

$$P_n = \frac{E_n^2}{R} \dots\dots\dots(2.24)$$

dimana :

- $P_n$  = Daya rata-rata (Watt)
- $E_n$  = Tegangan Maksimum (volt)
- $R$  = Tahanan beban/impedansi( $\Omega$ )

Dengan memperhatikan hanya terdapat satu komponen pembawa , sedangkan untuk setiap frekuensi sisi nomor n terdapat komponen, daya total pada sinyal yang dimodulasi menjadi :

$$\begin{aligned}
 P_T &= P_0 + 2P_1 + 2P_2 + \dots \\
 &= \frac{E_0^2}{R} + \frac{2E_1^2}{R} + \frac{2E_2^2}{R} \\
 &= \frac{(J_0 E_c)^2}{R} + \frac{2(J_1 E_c)^2}{R} + \frac{2(J_2 E_c)^2}{R} \\
 &= P_c(J_0^2) + 2(J_1^2 + J_2^2 + \dots) \dots \dots \dots (2.25)
 \end{aligned}$$

$$P_c = \frac{E_c^2}{R} \dots \dots \dots (2.26)$$

$P_c$  diperoleh dari persamaan (2.25) dan  $J_n$  adalah untuk suatu nilai indeks modulasi  $m_f$  konstan.

## □ Teknik Modulasi Frekuensi

Dalam sistem modulasi frekuensi, pemodulasian gelombang pembawa oleh sinyal pemodulasi terdapat pada bagian osilator. Secara umum metode yang digunakan untuk memperoleh modulasi frekuensi adalah dengan menggunakan sebuah rangkaian modulator reaktansi transistor (tabung hampa). Dengan sistem ini, sinyal pemodulasian dihubungkan ke sebuah transistor tersendiri, dimana perubahan tegangan sinyal pemodulasian menyebabkan perubahan kapasitansi output  $C_{cc}$  dari transistor, dengan demikian akan merubah reaktansi dari rangkaian outputnya. Gambar 2.7a, memperlihatkan rangkaian dasar dari osilator FM menggunakan  $Q_1$  sebagai osilator dan  $Q_2$  sebagai modulator reaktansi, resistor bias dan kapasitor by pass tidak diperlihatkan untuk menyederhanakan diagram. Transistor osilator  $Q_1$  menerima umpan balik positifnya dari lilitan sekunder  $L_3$  dari trafo  $T_1$ . Frekuensi dari gelombang pembawa diberikan oleh lilitan primer  $L_1L_2$  dari  $T_1$  serta  $C_1$ . Modulator reaktansi transistor  $Q_2$  mendapat tegangan sinyal pemodulasi yang dikopling basenya oleh lilitan sekunder  $T_2$ . Output  $Q_2$  dikopling ke bagian lilitan primer ( $L_2$ ) dari  $T_1$ . Setiap perubahan tegangan sinyal input pada  $T_2$  akan menyertai perubahan pada  $Q_2$  dalam : (1) bias maju, (2) arus kolektor, (3) tegangan kolektor dan (4) kapasitansi kolektor ke emiter ( $C_{cc}$ ).

Jika tegangan kolektor meningkat, kapasitansi kolektor ke emiter menurun, dan sebaliknya. Bila kapasitansi kolektor ke emiter menurun, frekuensi resonansi dari rangkaian  $L_1L_2C_1C_{cc}$  meningkat dan sebaliknya. Dan hasilnya, sinyal output pada lilitan sekunder dari  $T_1$  akan berbentuk frekuensi modulasi, yang sesuai dengan perubahan tegangan sinyal input pada  $T_2$ . Gambar 2.7(b) memperlihatkan output dari modulator FM.

## UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

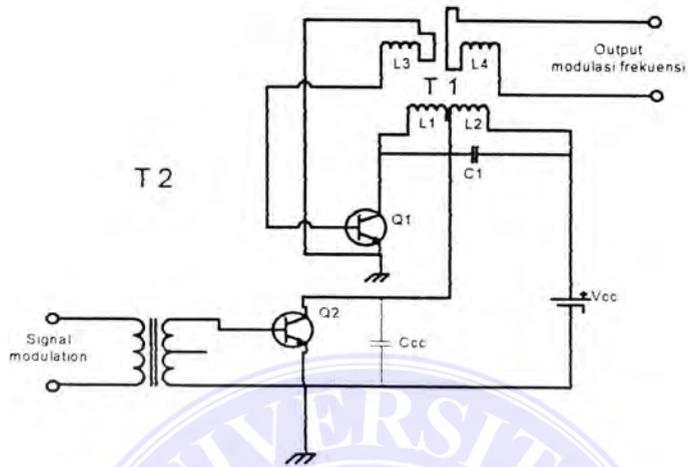
Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

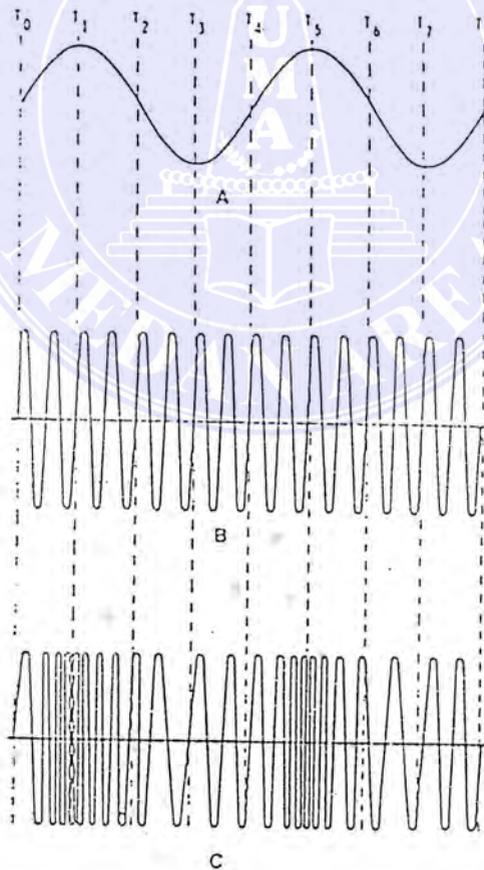
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (Repository.uma.ac.id)20/9/23



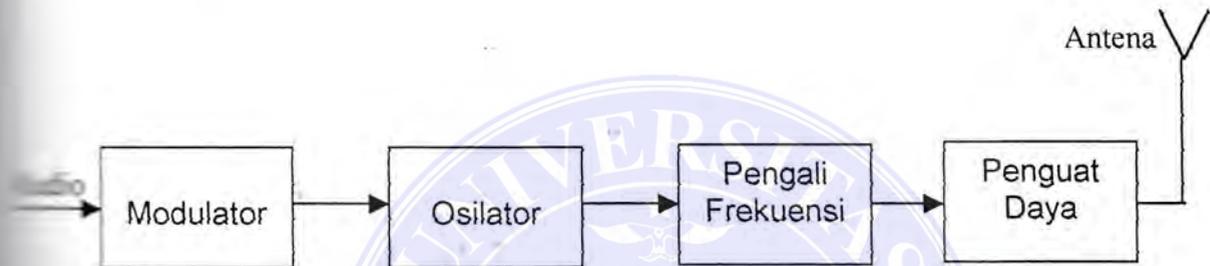
Gambar 2.7 ( a ) Osilator transistor FM  
Menggunakan modulator reaktansi



## 2.4 Pemancar FM

### 2.4.1 Pemancar FM yang Dimodulasi Langsung

Modulasi frekuensi langsung (Direct FM) dapat dilihat pada Gambar 2.8



Gambar 2.8 Sebuah FM yang dimodulasi langsung

Sinyal audio yang diteruskan ke rangkaian modulator reaktansi untuk memodulasikan pembawa. Deviasi frekuensi puncak dibuat tetap kecil, dan sinyal yang dimodulasi dari modulator kemudian diteruskan ke sebuah rangkaian pengali frekuensi yang menaikkan frekuensi pembawa ke frekuensi pembawa yang dikehendaki. Sebuah penguat daya mendorong antena.

Osilator kristal dapat langsung dimodulasi frekuensi, tetapi untuk memperoleh deviasi frekuensi akhir yang dapat digunakan, diperlukan suatu faktor perkalian frekuensi yang tinggi.

### 2.4.2 Pemancar FM yang Dimodulasi Tidak Langsung

Modulasi fasa dapat digunakan untuk mendapatkan modulasi frekuensi metode tidak langsung. Hanya diperlukan integrator sinyal modulasi sebelum memasukkannya ke

UNIVERSITAS MEDAN AREA

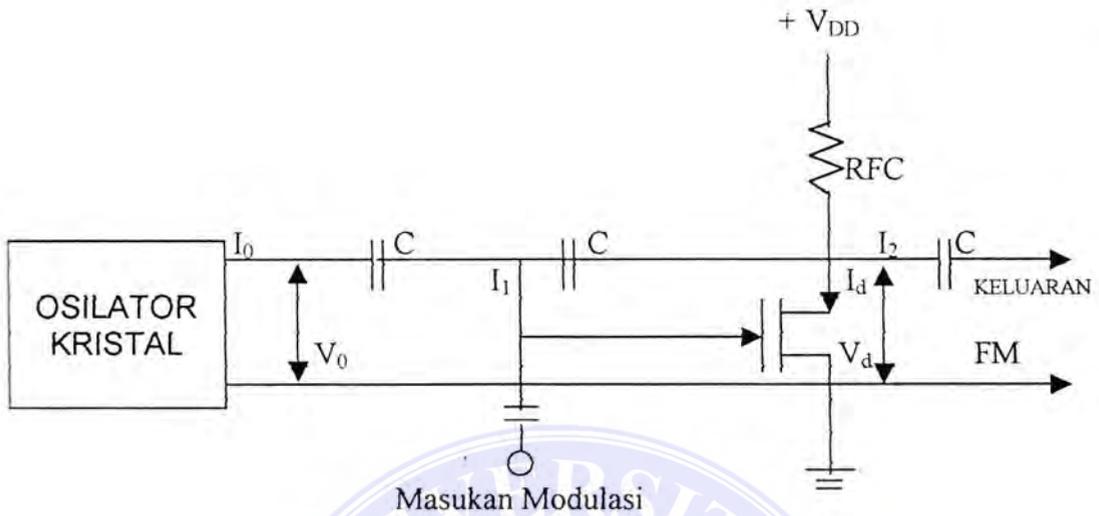
© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 20/9/23

Access From (Repository.uma.ac.id)20/9/23



Gambar 2.9 Rangkaian Modulator Fasa

Dalam rangkaian modulator fasa, keluaran dari sebuah osilator yang dikontrol dengan kristal dimasukkan ke terminal-terminal masukan pembawa dari rangkaian modulator sebagai input. Fungsi transfer dari rangkaian modulator menyebabkan suatu pergeseran fasa pada gelombang pembawa tanpa mempengaruhi amplitudo tegangannya, karena pergeseran fasa adalah berbanding lurus dengan tegangan modulasi.

### 2.5 Osilator

Osilator adalah rangkaian yang dapat membangkitkan osilasi listrik. Rangkaian osilator pada dasarnya tidak lain adalah sebuah penguat yang sistemnya menerapkan umpan balik positif pada inputnya.

Pada dasarnya ada tiga macam osilator yaitu :

- ❖ Osilator pergeseran fasa
- ❖ Osilator LC yang ditala
- ❖ Osilator relaksi

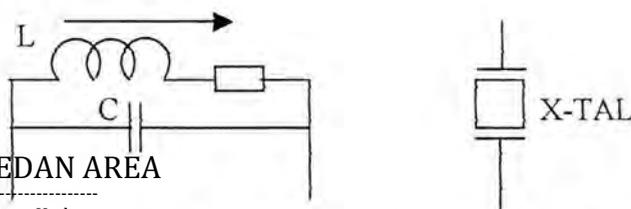
Osilator pergeseran fasa dan osilator LC (lilitan dan kapasitor sebagai pembangkit osilasi) yang ditala menghasilkan sinyal yang berbentuk sinusoida, sedangkan osilator relaksi menghasilkan sinyal persegi. Segi tiga, gigi gergaji atau pulsa. Salah satu contoh dari osilator LC yang ditala adalah *Osilator Collpits*.

### 2.5.1 Osilator Kristal

Agar diperoleh frekuensi yang mantap, kristal digunakan dalam rangkaian osilator. Yang dimaksud disini adalah kristal kuarsa, yaitu kristal Silikon dioksida. Kristal ini bersifat piezoelektrik.

Sifat piezoelectric pada kristal kuarsa menyebabkan kristal ini berperilaku sebagai suatu resonansi. Frekuensi resonansi kristal bergantung pada tebal kristal dan arah bidang potongan kristal menentukan kekuatan osilator dan perubahan frekuensi terhadap suhu.

Rangkaian ekivalen suatu kristal ditunjukkan pada Gambar 2.10.(a) dan lambang untuk kristal ditunjukkan pada Gambar 2.10 (b).



UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

Gambar 2.10 (a) Rangkaian Ekvivalen kristal dan (b) Simbol kristal

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mengizinkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Kapasitansi  $C_s$  adalah kristal itu sendiri dan  $C_m$  adalah kapasitansi pemegang kristal.  $C$

dan  $L$  membentuk rangkaian LC seri sedangkan  $C_m$  membentuk rangkaian paralel.

Frekuensi resonansi dari cabang LCR dalam Gambar 2.10 (a) pada frekuensi ini arus

cabang mencapai harga maksimum, karena  $L$  beresonansi dengan  $C_s$ . Rumus untuk frekuensi

resonansi seri  $f(s)$  adalah :

$$f_c = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC_s}} \dots\dots\dots(2.27)$$

dimana :

$f_c$  = frekuensi yang didapat (Herzt)

$L$  = Induktansi (Henry)

$C_s$  = kapasitansi (farad)

Frekuensi resonansi paralel ( $f_p$ ) di kristal adalah frekuensi dimana arus loop dalam

Gambar 2.10 (a) mencapai harga maksimum karena arus loop ini harus mengalir melalui

kombinasi seri dari  $C_s$  dan  $C_m$ , maka  $C$  ekivalen adalah :

$$C_{loop} = \frac{C_m \times C_s}{C_m + C_s} \dots\dots\dots(2.28)$$

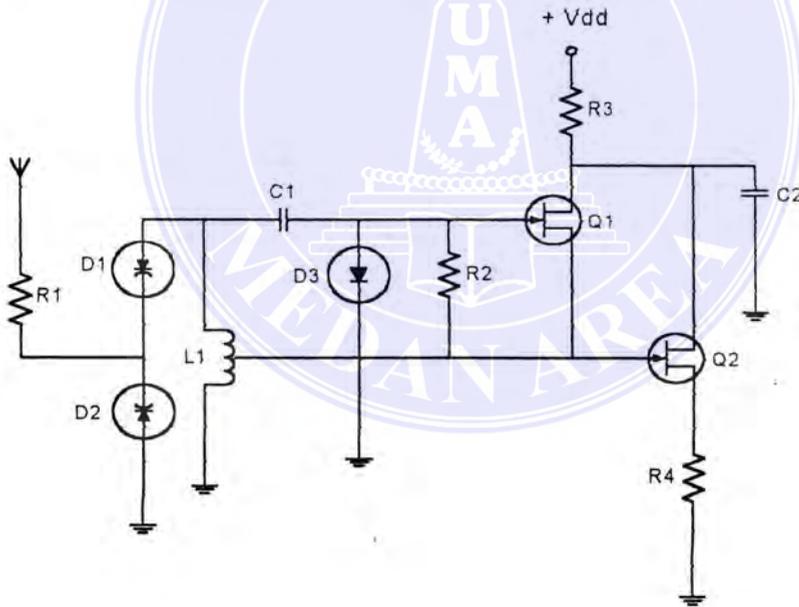
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
 Frekuensi resonansi paralel ( $f_p$ ) adalah :

$$f_p = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC_{loop}}} \dots\dots\dots(2.29)$$

Frekuensi osilator akan terletak antara  $f_s$  dan  $f_p$ ,  $f_s$  dan  $f_p$  akan menentukan batas atas dan bawah frekuensi osilator kristal.

**2.5.2 Voltage Control Oscillator (VCO)**

VCO adalah suatu perangkat osilator yang frekuensinya dapat ditala secara elektronik oleh tegangan dc yang diberikan pada rangkaian talanya. Gambar rangkaian VCO seperti di bawah ini :



Gambar 2.11 Rangkaian VCO

Pada VCO digunakan dioda semi konduktor kapasitif yang sering disebut Varactor

kapasitannya akan berubah-ubah besarnya sesuai dengan perubahan tegangan audio

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperjualbelikan atau menyebarkan secara komersial frekuensi osilator Q

## Rangkaian Penguat RF

Penguat dapat dianalogikan sebagai suatu kotak hitam dengan dua buah terminal masukan sinyal untuk dikuatkan.

Satu terminal masukan dan keluaran mungkin terhubung bersama, tetapi tidak semestinya (hubungan bersama tersebut mungkin dihubungkan ke casis penguat atau terminal dari jala-jala listrik). Sinyal yang dikeluarkan mungkin tegangan bolak-balik atau searah.

Sinyal masukan di sini dimaksudkan dari tegangan level rendah. Pada setiap hal keluaran sebuah penguat merupakan pembesaran dari masulannya. Untuk mengerjakan hal itu sebuah penguat memerlukan sumber daya.

Penguat sekurang-kurangnya terdiri dari komponen aktif, seperti tabung elektron atau komponen semi konduktor yang dapat mengerjakan fungsi pengendalian. Pada dasarnya, komponen aktif merubah daya dari sumber bolak-balik ke daya pada keluaran penguat, berbanding dengan sinyal masukan.

Sinyal masukan bolak-balik digunakan untuk memberikan pengendalian pada perubahan arus searah ke arus bolak-balik, yaitu seperti yang terjadi pada tabung transistor. Pengendalian biasanya dilakukan dengan sinyal masukan relatif kecil.

### Jenis Rangkaian Penguat

Penguat umumnya terbagi atas : penguatan arus, penguatan tegangan dan penguatan daya. Dimana penguatan arus adalah perbandingan arus keluaran dan arus masukan dengan

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (Repository.uma.ac.id)20/9/23

$$A_i = \frac{I_o}{I_s} \dots\dots\dots(2.30)$$

mana :

- A<sub>i</sub> = penguat arus
- I<sub>o</sub> = arus output (Ampere)
- I<sub>s</sub> = arus input (Ampere)

Selanjutnya penguatan tegangan adalah perbandingan tegangan keluaran dengan tegangan masukan dengan rumus :

$$A_v = \frac{V_o}{V_s} \dots\dots\dots(2.31)$$

mana :

- A<sub>v</sub> = penguatan tegangan
- V<sub>o</sub> = tegangan output
- V<sub>s</sub> = tegangan input

penguatan daya adalah perbandingan daya keluaran dengan daya masukan, dengan

$$A_p = \frac{P_o}{P_s} = A_i \times A_v \dots\dots\dots(2.32)$$

mana :

$A_p$  – penguatan daya

$P_o$  = daya output

$P_s$  = daya input

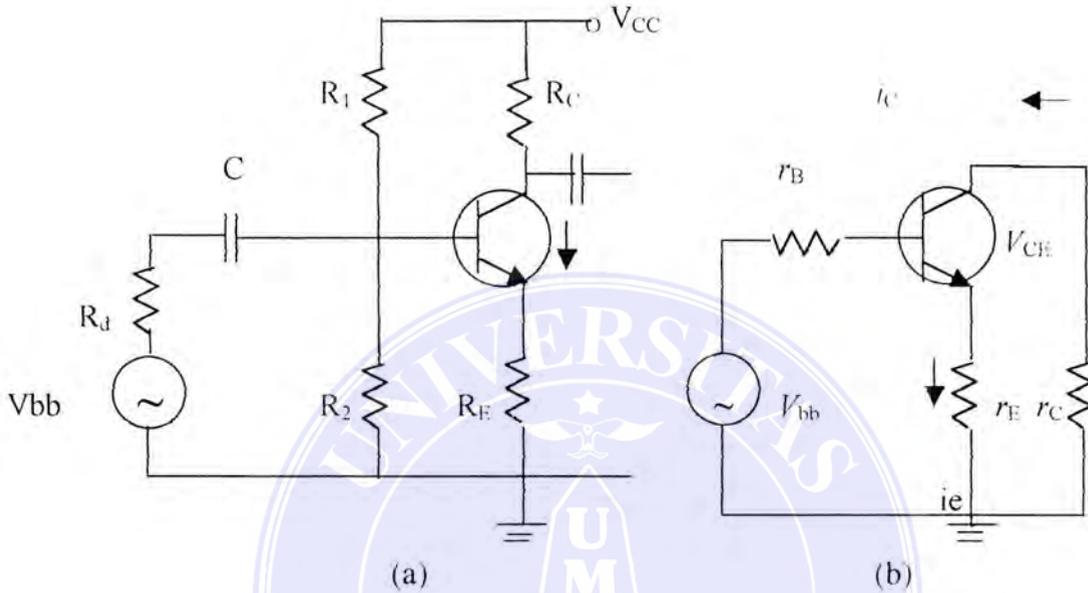
Suatu penguat mungkin menunjukkan atau tidak menunjukkan penguatan tegangan dan penguatan arus tetapi pada umumnya akan menunjukkan penguatan daya. Dengan demikian, apakah penguatan tegangan atau penguatan daya yang lebih penting tergantung pada aplikasinya. Penguatan daya dapat dinyatakan dalam Decibel dengan rumus :

$$n(\text{dB}) = 10 \log (P_1 / P_2) \dots\dots\dots(2.33)$$

$$= 20 \log (V_1 / V_2) \dots\dots\dots(2.34)$$

$$= 20 \log (I_1 / I_2) \dots\dots\dots(2.35)$$

□ **Transistor Sebagai Penguat Kelas-A**



Gambar 2.12 (a) Rangkaian penguat Kelas-A  
(b) Rangkaian ac ekivalennya

adanya C-kopling dan C-dekopling,

$$r_E \neq R_E \text{ dan juga } r_C \neq R_C$$

Dalam kondisi stasioner ;

$$V_{CE} + i_e \times r_E + i_C \times r_C = 0 \text{ atau}$$

$$i_C = \frac{V_{cc}}{r_C + r_E} \text{ dan } r_C + r_E = \frac{V_{CE}}{i_C}$$

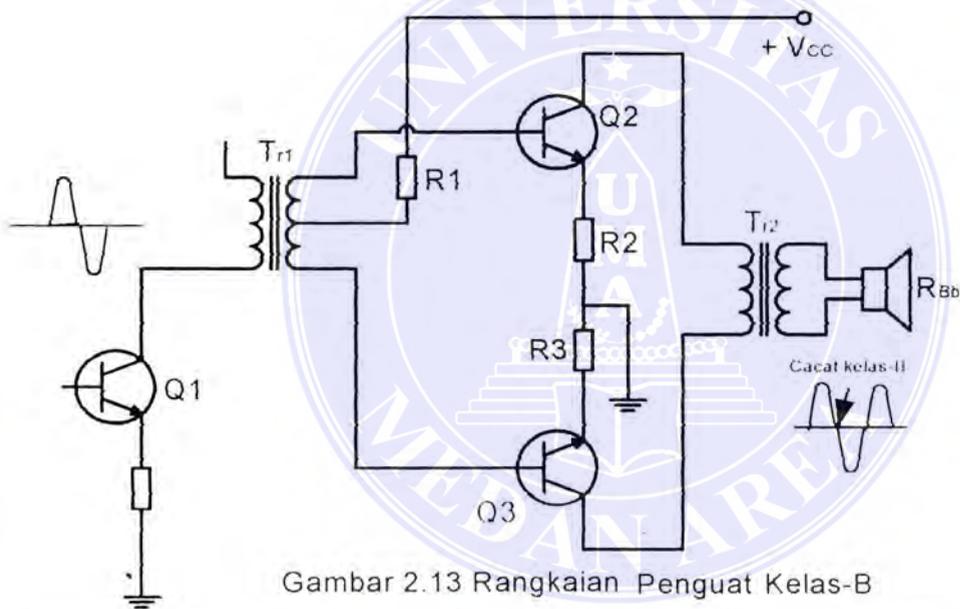
Diketahui :  $V_{CE}$  dan  $I_C$  adalah titik kerja ( setelah kerja ), maka :  $V_{CE}$  boleh mengayun paling tinggi  $2x$  , menjadi :

$$V_{CE\text{maks}} = 2 \times V_{CE}$$

akan boleh mengayun paling tinggi  $2x$ , jadi

$$I_{C\text{maks}} = 2 \times I_C$$

□ **Transistor Sebagai Penguat Kelas B**



Gambar 2.13 Rangkaian Penguat Kelas-B

- ≡ Frekuensi tinggi diperlemah (oleh reaktansi induksi yang kian besar) karena itu transformator yang berinti besi dipakai hanya untuk frekuensi rendah.
- ≡ Kurang baik untuk frekuensi di bawah 20 Hz
- ≡ Mudah diperoleh penjodohan antara penguat dan beban (dengan menerapkan perbandingan transformator yang benar) Pericatu daya cukup bertegangan rendah, yaitu kira-kira  $\frac{1}{2}$  dari tegangan yang diperlukan penguat dengan kopling-RC yang setara

UNIVERSITAS MEDAN AREA

sebab tegangan tinggi dalam gulungan trafo sangat kecil)

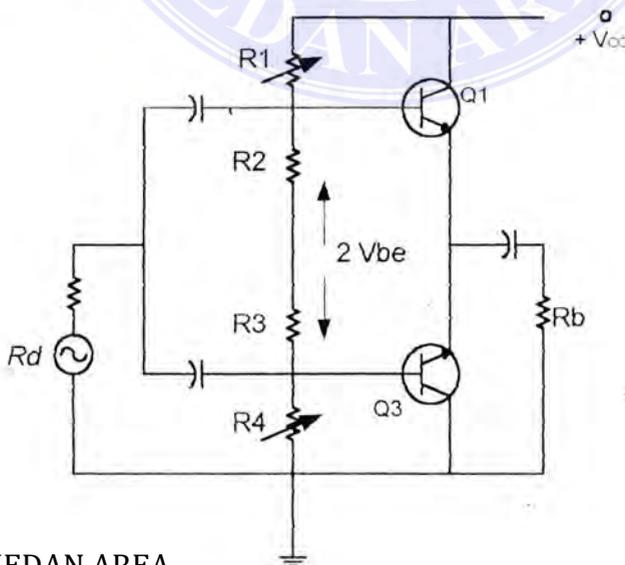
Document Accepted 20/9/23

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
 2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah  
 3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
 Access From (Repository.uma.ac.id)20/9/23

- Tanggapan frekuensi bergantung pada sifat-sifat induksi gulungan dan inti (Untuk tanggapan frekuensi yang lebar, kopling transformator kurang kena)
- Kian besar panjaran maju, cacat (yaitu cacat kelas-B) kian berkurang, namun dayaguna penguat kian kecil
- R2 dan R3 dipilih yang berharga kecil saja, agar tidak menimbulkan kerugian daya. Harga-harga cukup untuk sekedar menghapus cacat kelas-B
- Dayaguna penguat kelas
  - A = 35.....40 %
  - B = 70.....80 %
  - AB= 50.....60 %
- Kian kecil dayaguna, diperlukan penghantar bahang yang kian besar (Kelas-A memerlukan penghantar bahang paling besar)

□ **Transistor Sebagai Penguat Kelas-AB**



atau  $R_4$  perlu dapat satu kali distel, guna penyetelan titik kerja (menghapus cacat kelas-AB

Transistor-transistor bergantian menghantar dan menyumbat

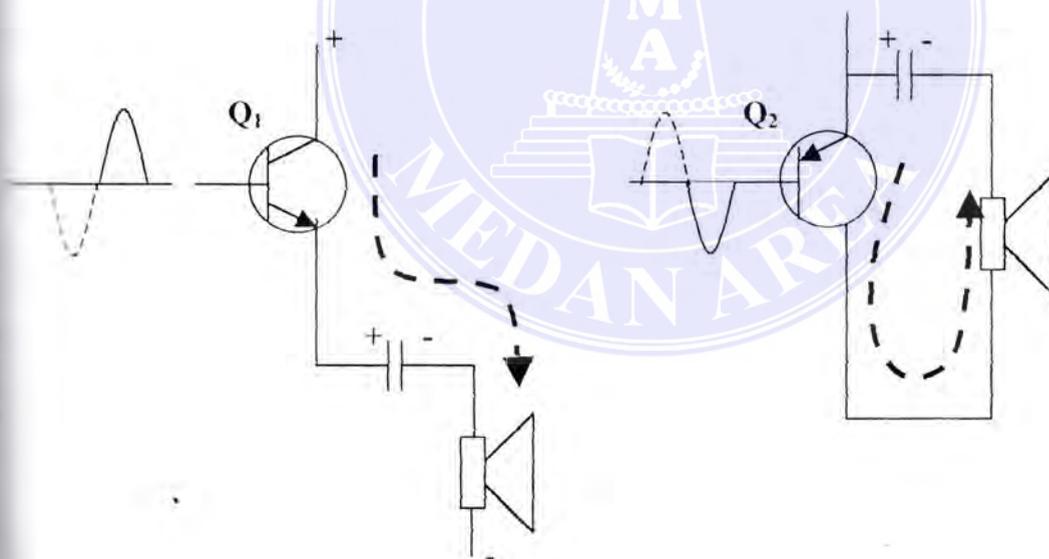
Selama menghantar berlaku :

$$\text{Perlawanan masukan } Z_{ib} = h_{FE} ( R_{13b} + R_e )$$

$$\text{Penguatan tegangan } A = \frac{R_{13b}}{R_{13b} + R_e}$$

Penguatan daya = penguatan tegangan x penguatan arus

$$h_{FE} \frac{R_{13b}}{R_{13b} + R_e}$$



Gambar 2.15 Cara kerja Transistor

ma  $Q_1$  menghantar, C diisi muatan dari baterai lewat  $Q_{1b}$  dan PS

UNIVERSITAS MEDAN AREA

ma  $Q_2$  menghantar, C membuang lewat  $Q_2$  dar PS. (Jadi C berfungsi sebagai sumber tenaga)

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Mengingat fungsi C itu, maka kapasitasnya perlu yang cukup besar (dalam praktek kira-kira 250 mfd atau lebih)

## 2.6.2 Rangkaian Penguat RF

Pada pemancar FM Stereo yang dirakit ini, daya output dari osilatornya hanya berkisar 100 mWatt, oleh karena itu untuk menambah daya pancar, agar dapat menjangkau daerah yang lebih luas, diperlukan rangkaian untuk meningkatkan (boost) daya pancarnya. Inilah fungsi dari rangkaian penguat (booster) di bawah ini.

Booster pemancar adalah sebuah penguat daya yang bekerja pada frekuensi radio. Rangkaian ini dibagi menjadi dua bagian, penguat kemudi (driver amplifier) dan penguat akhir (final amplifier). Tugas rangkaian driver adalah untuk memperkuat daya yang berasal dari osilator agar mampu menggerakkan penguat daya akhir yang berdaya keluaran lebih besar. Daya keluaran dari driver adalah 2 watt. Daya sebesar ini cukup untuk menggerakkan rangkaian final yang mampu mengeluarkan daya sampai 10 watt (maksimum 20 watt). Gambar 2.16 memperlihatkan rangkaian driver amplifier dan Gambar 2.17 memperlihatkan rangkaian final ampliifiernya.

### Driver Amplifier

Rangkaian driver dibangun dengan sebuah IC yang dipergunakan sebagai Final Amplifier pada Handy Talky ICOM-02 N dengan sedikit modifikasi pada dayanya yaitu dengan menambah tuned circuit yang sesuai dengan frekuensi yang

UNIVERSITAS MEDAN AREA

sehingga output impedance nya menjadi 50 ohm.

Document Accepted 20/9/23

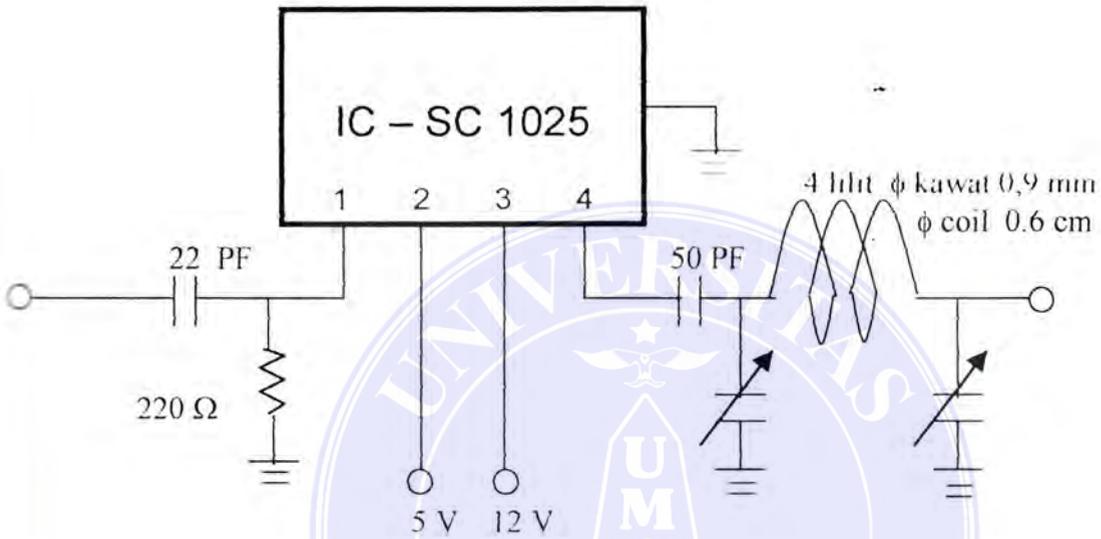
© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23



Gambar 2.16 . Rangkaian Driver Amplifier

### Final Amplifier

Rangkaian penguat akhir ini terdiri dari dua tingkat penguat , tingkat pertama menggunakan transistor C 2094 dan penguat terakhir transistor C 2694. Kombinasi kedua penguat ini mempunyai Gain ( pembesaran ) sebesar 30 kali , akan tetapi untuk bahanan lebih lama penulis mengatur Gain nya hanya 20 kali saja. Kedua penguat ini bekerja pada kelas C amplifier agar efesiensi daya yang didapat lebih besar. Untuk

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

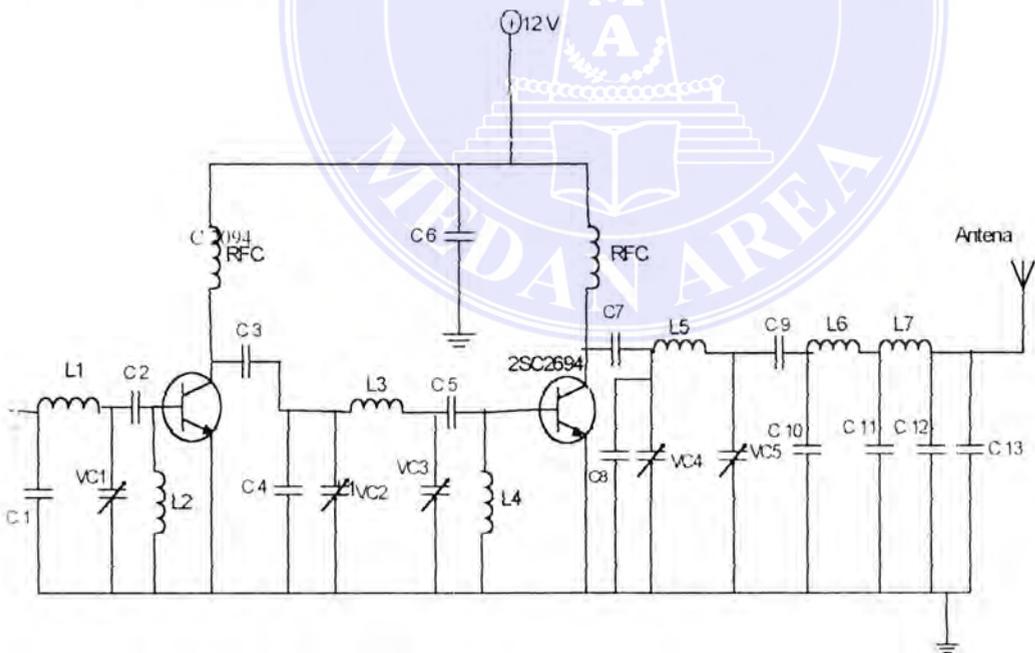
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 20/9/23

Access From (Repository.uma.ac.id)20/9/23

nya yang maksimum kepenguat terakhir, maka pada keluaran penguat pertama dibuat penyesuai impedansi yang terdiri dari  $L_3$ ,  $C_4$ , C trimer 2, C trimer 3 dan pada basis transistor penguat akhir diberi induktor  $L_4$ . Untuk penyesuai impedansi keluaran penguat akhir ke antena yang biasanya mempunyai impedansi sebesar 50 ohm, maka dibuat penyesuai impedansi yang terdiri dari  $L_5$ ,  $C_8$ , C trimer 4, dan C trimer 5. Untuk mencegah harmonisa - harmonisa frekuensi yang timbul dari penguatan ini, maka pada output penguat ini dipasang lowpass filter yang bertujuan untuk mereduksi harmonisa - harmonisa tersebut. Lowpass filter terdiri dari  $C_{10}$ ,  $L_6$ ,  $C_{11}$ ,  $L_7$ ,  $C_{12}$  dan  $C_{13}$ .

Dibawah ini dapat dilihat Gambar 2.17, penguat dua tingkat tersebut yang fungsikan sebagai final amplifier.



## UNIVERSITAS MEDAN AREA

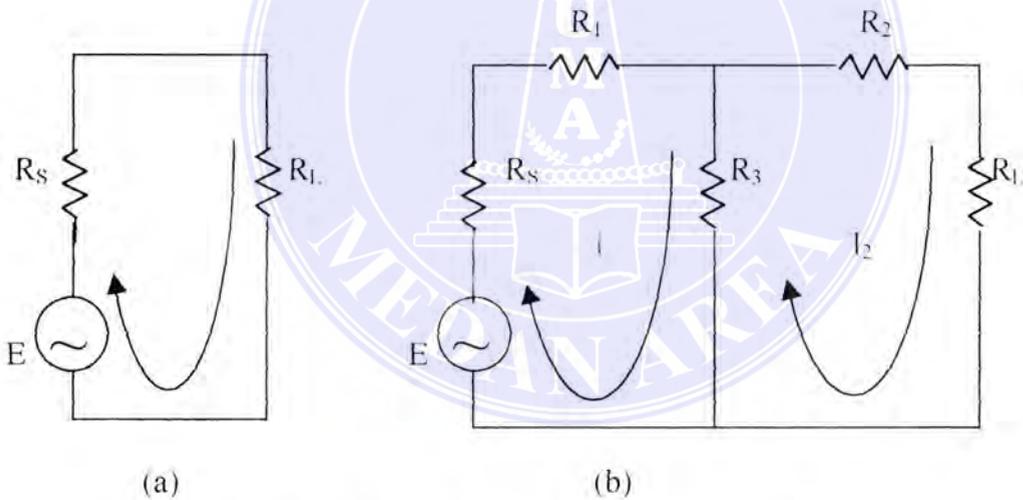
© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

## 2.7 Attenuator

Attenuator berfungsi untuk menurunkan level suatu sinyal. Suatu lapisan attenuator adalah suatu jala-jala resistik yang digunakan untuk mengadakan attenuasi yang telah ditentukan diantara sumber dan beban ( attenuator berarti memperlemah). Attenuator terdiri dari beberapa jenis antara lain ; attenuator T , attenuator  $\pi$  , attenuator L ( $R_S > R_L$ ), dan attenuator L ( $R_S < R_L$ ). Dan rangkaian yang sering digunakan adalah Attenuator T. Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.18 (b). Rugi-rugi penyisipan juga memberikan attenuasi yang dinyatakan dalam desibel.



Gambar 2.18 (a) Rangkaian tanpa Attenuator

(b) Attenuator T yang disisipkan dalam rangkaian (a)

Gambar 2.18 (a) :

$$E \dots\dots\dots (2.36)$$

$$\dots\dots\dots R_S + R_L$$

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
 2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah  
 3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
 Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

Dari Gambar 2.18 (b) :

$$E = I_1 (R_S + R_1 + R_3) - I_2 R_3 \dots\dots\dots(2.37)$$

$$O = - I_1 R_3 + I_2 (R_2 + R_3 + R_1) \dots\dots\dots(2.38)$$

Persamaan (2.37) dan (2.38) dapat diselesaikan untuk rugi penyisipan ( $R_p$ ) sehingga :

$$R_p = \frac{E \cdot R_3}{(R_S + R_1 + R_3) \cdot (R_2 + R_3 + R_1) - R_3^2} \dots\dots\dots(2.39)$$

Penggabungan persamaan (2.36) dan (2.39) menghasilkan

Rugi penyisipan ( $R_p$ ) :

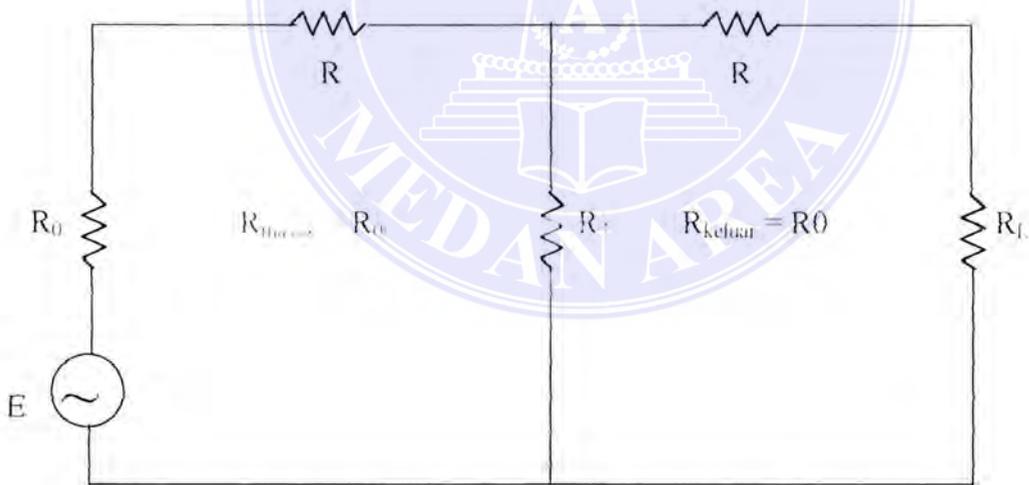
$$R_p = \frac{I_2}{I} \dots\dots\dots(2.40)$$

$$\frac{I_2}{I} = \frac{|R_3 (R_S + R_1)|}{|(R_S + R_1 + R_3) (R_2 + R_1 + R_1) - R_3^2|} \dots\dots\dots(2.41)$$

Jika rugi penyisipan dinyatakan dalam desibel, maka :

$$R_p \text{ (dB)} = - 20 \log \left| \frac{I_2}{I} \right| \dots\dots\dots(2.42)$$

Persamaan di atas memungkinkan dihitungnya rugi penyisipan (insertion loss) jika nilai-nilai resistor telah diberikan. Persoalan sebaliknya, yaitu menghitung nilai-nilai resistor yang akan memberikan attenuasi tertentu adalah lebih sulit. Attenuator tersebut juga harus memberikan penyesuaian masukan dan keluaran. Jadi harus dibentuk 3 buah persamaan, masing-masing untuk rugi penyisipan resistansi masukan dan resistansi keluaran yang pada prinsipnya dapat diselesaikan untuk ketiga hal yang tidak diketahui tersebut. Dalam kenyataannya ketiga parameter itu mungkin tidak dapat ditemukan, karena tidak semua nilai-nilai attenuasi itu mungkin untuk semua nilai-nilai resistor masukan dan keluaran. Sebuah bentuk jaringan umum ialah jaringan simetris seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.19



Gambar 2.19 Attenuator T Simetris

karena itu :

$$R_0 = R + \left| \frac{R_3 (R + R_0)}{(R_3 + R + R_0)} \right| \dots\dots\dots(2.43)$$

maka diperoleh :

$$\begin{array}{l} R_0 - R \\ R + R_0 \end{array} \left| \begin{array}{l} R_3 \\ R_3 + R + R_0 \end{array} \right| \dots\dots\dots(2.44)$$

Dari persamaan 2.37  $I = E/2R_0$

Karena  $R_{in} = R_{out}$ , arus masukan untuk rangkaian 2.18 (b) adalah sama dengan **I**.

Dengan menerapkan aturan pembagi arus pada simpul tengah, kita peroleh  $I_2 = IR_3 / (R_3 + R + R_0)$  dan karena itu rugi penyisipan ( $I_L$ ) adalah :

$$I_L = I_2 \times \left| \frac{R_3}{R_3 + R + R_0} \right| \dots\dots\dots(2.45)$$

$$I_L = I_2 \times \left| \frac{R_0 - R}{R + R_0} \right| \dots\dots\dots(2.46)$$

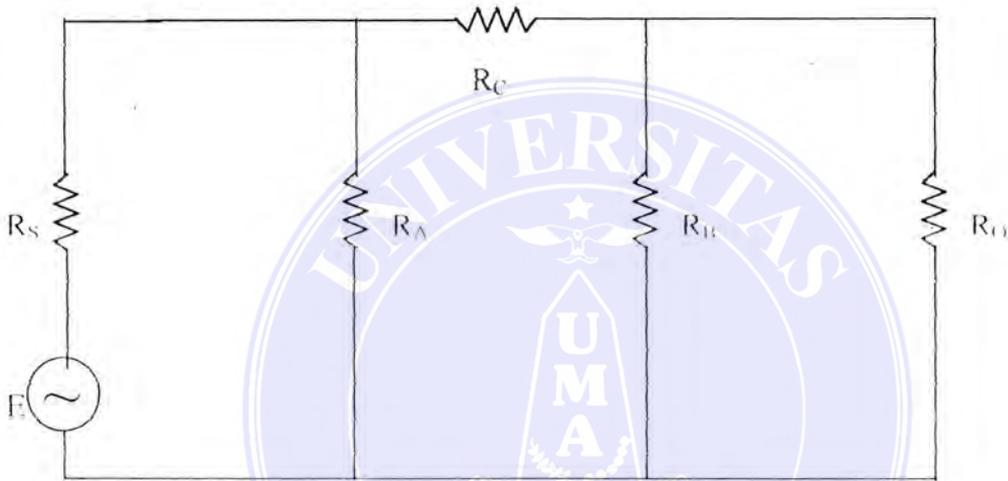
Dengan demikian :

**UNIVERSITAS MEDAN AREA**

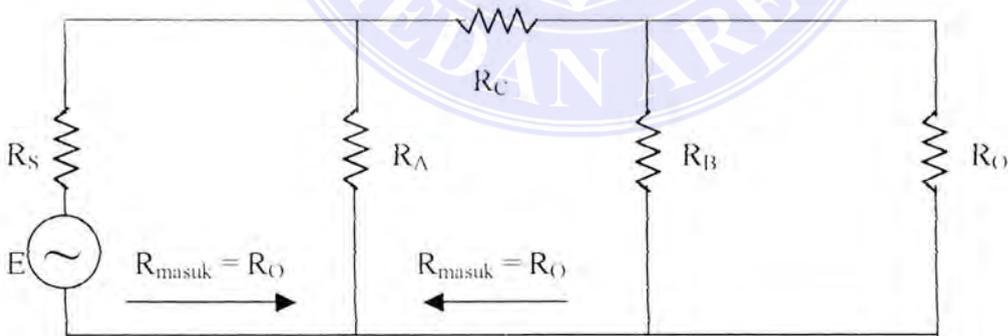
© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang  
 $I - I_L = R \times \left| \frac{I - I_L}{R + R_0} \right| \dots\dots\dots(2.47)$

Jaringan attenuator  $\pi$  seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2.20 (a) adalah attenuator lain yang banyak digunakan. Nilai-nilai untuk jaringan attenuator  $\pi$  dapat diturunkan dari rumus-rumus pada attenuator T dengan menggunakan persamaan-persamaan transformasi

Y-A



Gambar 2.20 (a) Attenuator  $\pi$



Gambar 2.20 (b) Attenuator  $\pi$  yang simetris

Dari gambar 2.20 :

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang  $R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3$

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber ..... (2.48)

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

$$R_B = R_A ( R_2 / R_1 ) \dots\dots\dots(2.49)$$

$$R_C = R_A ( R_2 / R_3 ) \dots\dots\dots(2.50)$$

Untuk jaringan simetris :

$$R = R_0 \times \left| \frac{I - I_L}{I + I_L} \right| \dots\dots\dots(2.51)$$

## 2.8 Filter

Dalam telekomunikasi , penyaringan (filtering) sinyal-sinyal diperlukan untuk memisahkan sinyal yang dikehendaki dari sinyal-sinyal lain yang dipancarkan, dan interferensi pada sinyal yang dikehendaki tersebut.

Filter-filter elektrik dapat dibuat dengan menggunakan resistor-resistor, induktor-induktor dan kapasitor-kapasitor. Filter-filter tersebut merupakan filter pasif. Filter yang menggunakan penguat-penguat operasional bersama-sama dengan resistor dan kapasitor merupakan filter aktif. Filter aktif mempunyai banyak kelebihan dibandingkan dengan filter pasif, terutama karena ukurannya lebih kecil, lebih ringan , lebih murah , serta memberikan lebih banyak keleluasaan dalam rancangan filter. Kekurangannya ialah bahwa filter aktif memerlukan catu daya yang lebih peka terhadap perubahan-perubahan sekitarnya , seperti

### 8.1 Jenis Filter

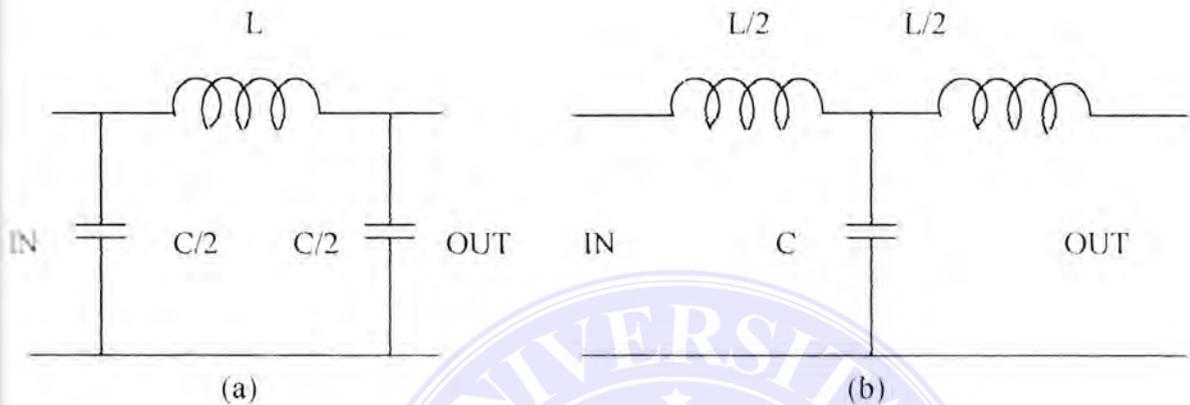
Rancangan filter adalah suatu topik yang sangat luas, yang meliputi filter-filter aktif, filter-filter pasif, serta filter-filter digital. Disamping filter-filter yang telah disebutkan di atas, yang dirancang dengan menggunakan komponen-komponen elektris, terdapat juga bermacam-macam jenis lain yang menggunakan salah satu bentuk dari gandengan elektromekanis (electromechanical coupling). Dalam jenis ini termasuk filter-filter piezo-elektris dan filter-filter elektromekanis.

Sebuah filter sekaligus akan mengubah amplitudo dan fasa dari sinyal sinusoida yang melewatinya. Untuk penggunaan-penggunaan audio, pengaruh pada fasa biasanya tidak besar artinya. Sesuai dengan bentuk umum dari respon amplitudo-frekuensinya, filter-filter diklasifikasikan sebagai berikut :

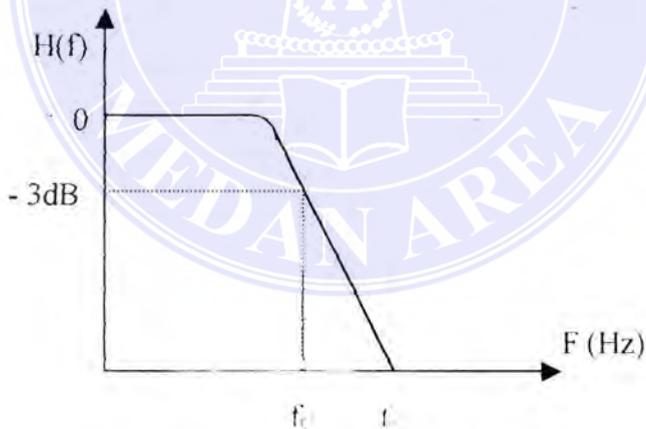
- Filter Low-Pass (LPF) yang berfungsi melewatkan frekuensi rendah saja
- Filter High-Pass (HPF) yang berfungsi melewatkan frekuensi tinggi saja
- Filter Band-Pass (BPF) yang berfungsi melewatkan frekuensi-frekuensi yang berada di dalam jalur (band) tersebut dan
- Filter Band-Stop (BSF) yang berfungsi menahan frekuensi-frekuensi yang berada di dalam jalur (band) tersebut

Istilah-istilah ini dipakai juga pada filter-filter digital dan video, tetapi pada penerapan, yang berpengaruh terhadap fasa adalah juga sangat penting. Jenis filter lainnya adalah Filter All-pass, yang hanya berpengaruh pada fasa dari sinyal, dan tidak pada amplitudonya.

2.8.2 Low Pass Filter



Gambar 2.21 (a) dan (b) Prototif dasar LPF pasif



Gambar 2.21(c) Respon attenuasi frekuensi

Sebuah low pass filter harus bisa melewatkan dengan attenuasi nol, semua frekuensi dari nol sampai frekuensi tertentu yang disebut cutoff  $f_c$ .

Pada frekuensi yang lebih besar dari frekuensi cutoff, attenuasi dari filter akan naik

UNIVERSITAS MEDAN AREA

dengan naiknya frekuensi ke harga yang lebih tinggi. Rangkaian prototif dasar rangkaian low pass filter adalah sebagai berikut.

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
 2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah  
 3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
 Access From (Repository.uma.ac.id)20/9/23

pass filter dan kurva respon frekuensinya terlihat pada Gambar 2.21 (c ). Untuk masing-masing rangkaian impedansi seri adalah  $\omega C$  dan impedansi paralel adalah  $1/\omega C$ . Besarnya  $f_c$  adalah :

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \dots\dots\dots(2.52)$$

Dimana :

$f_c$  = frekuensi cut off (Hertz)

L = induktor (mH)

C = kapasitor ( $\mu F$ )

Pada saat frekuensi rendah , reaktansi dari induktor seri L adalah rendah dan reaktansi dari kapasitor paralel C adalah tinggi. Karakteristik ideal attenuasi frekuensi LPF diperlihatkan pada Gambar 2.21 (c) dengan garis tebal dan secara praktek diperlihatkan dengan garis putus-putus.

## 2.9 Antena

Dalam suatu sistem radio, gelombang elektromagnetik berjalan dari pemancar ke penerima lewat ruang, dan diperlukan antena (atau aerial) pada kedua ujung tersebut untuk keperluan penggandengan (coupling) pemancar dan penerima ke hubungan ruang (space link).

Untuk fungsi pemancaran maupun penerimaan, karakteristik-karakteristik ini penting untuk suatu antena tertentu dan banyak yang identik, dan sering digunakan antena yang sama untuk kedua fungsi tersebut.

Jenis struktur yang digunakan untuk antena adalah banyak dan beraneka ragam, dari potongan kawat sederhana yang digantungkan di atas tanah sampai ke susunan-susunan tirai (curtain arrays) yang digunakan untuk siaran VLF ; dari antena lensa yang kelihatannya biasa-biasa saja sampai ke antena piringan parabolis raksasa untuk Teleskop Radio Astronomi.

Sedangkan untuk memperoleh hasil pancaran ataupun penerimaan yang baik sebuah antena harus memenuhi semua kriteria-kriteria yang berlaku seperti :

- Penyesuaian antara jenis antena dengan jenis pesawatnya maupun dengan bidang frekuensinya
- Sistem koordinatnya, yaitu sifat keterarahan sebuah antena
- Medan-medan radiasi gelombang
- Polarisasi gelombangnya.
- Perolehan daya dari sebuah antena
- Luas dan panjang efektif sebuah antena

Semua kriteria di atas hendaknya terpenuhi agar diperoleh hasil pancaran ataupun penerimaan yang baik. Begitu juga dengan antena pemancar FM yang akan dibahas berikut ini. Jenis antena yang dipakai untuk pemancar FM adalah jenis antena frekuensi tinggi ( antena VHF dan UHF ) karena jalur frekuensi yang dipakai pada sistem pemancar FM adalah jalur frekuensi VHF dan UHF.

Jenis antena pada pemancar FM yang umum digunakan adalah jenis antena *Dipole Setengah Gelombang*. Dipole setengah gelombang adalah suatu antena resonan yang panjang

UNIVERSITAS MEDAN AREA  
total nominalnya pada frekuensi pembawa adalah  $\frac{1}{2} \lambda$

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
Access From (Repository.uma.ac.id)20/9/23

Gelombang-gelombang berdiri tegangan dan arus terdapat disepanjang antena, dan suatu pendekatan yang baik tentang distribusi dapat diperoleh dengan memisalkan bahwa antena adalah suatu potongan saluran transmisi dalam hubungan terbuka sepanjang  $\frac{1}{4} \lambda$  yang terkembang. Seperti yang ditunjukkan dalam bagian 12.7, jarak antara sebuah maksimum dan minimum dari gelombang berdiri adalah  $\frac{1}{4} \lambda$ , dan karena arus pada rangkaian terbuka harus nol, pada jarak  $\frac{1}{4} \lambda$  dari ujung akan terdapat suatu arus maksimum, sedangkan tegangan adalah maksimum di ujung dan minimum pada titik  $\frac{1}{4} \lambda$ . Gambar 2.22 (a) menunjukkan bagaimana besarnya tegangan dan arus berubah sebagai fungsi jarak dari ujung, sementara Gambar 2.22 (b) memperlihatkan saluran yang dibuka (terkembang) untuk membentuk dipole  $\frac{1}{2} \lambda$ , bersama-sama dengan distribusi tegangan dan arus, yang dianggap tidak berubah. Karena pada potongan  $\frac{1}{4} \lambda$  terjadi pula pergeseran fasa  $180^\circ$  ( $\frac{1}{2} \pi$  radian untuk gelombang datang dan  $\frac{1}{2} \pi$  radian untuk gelombang pantulan pada arah berlawanan), adalah lebih memudahkan untuk memperlihatkan tegangan dan arus dalam Gambar 2.22 (b). Tegangan dimisalkan lewat melalui nol pada titik umpan (feed point). Sudah tentu tegangan harus berhingga (finite) besarnya pada titik umpan, dan distribusi amplitudo tidak mungkin identik dengan distribusi untuk potongan saluran transmisi, karena geometri antena itu berbeda; tetapi hasil-hasil yang diperoleh berdasarkan asumsi-asumsi ini sesuai sekali dengan hasil-hasil pengukuran. Dipole  $\frac{1}{2} \lambda$  dengan demikian dapat dipandang sebagai terdiri dari sejumlah besar dipole-dipole Hertz yang terhubung seri, sedangkan arus pada setiap dipole ditentukan oleh distribusi arus yang ditunjukkan dalam Gambar 2.22 (b)

Selain itu akan terjadi pula suatu perbedaan fasa antara radiasi dari elemen-elemen

UNIVERSITAS MEDAN AREA

yang berbeda pada dipole. Perbedaan fasa gelombang sebagai akibat dari perbedaan jarak ( $d_1 - d_2$ ),

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperjual-beli sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area (repository.uma.ac.id)20/9/23

Dengan menerapkan rumus kosinus pada segitiga yang dibentuk oleh  $l$ ,  $d_0$ , dan  $d$  dihasilkan

$$d^2 = d_0^2 + l^2 - 2d_0 l \cos \theta, \text{ dan untuk } d_0 > l,$$

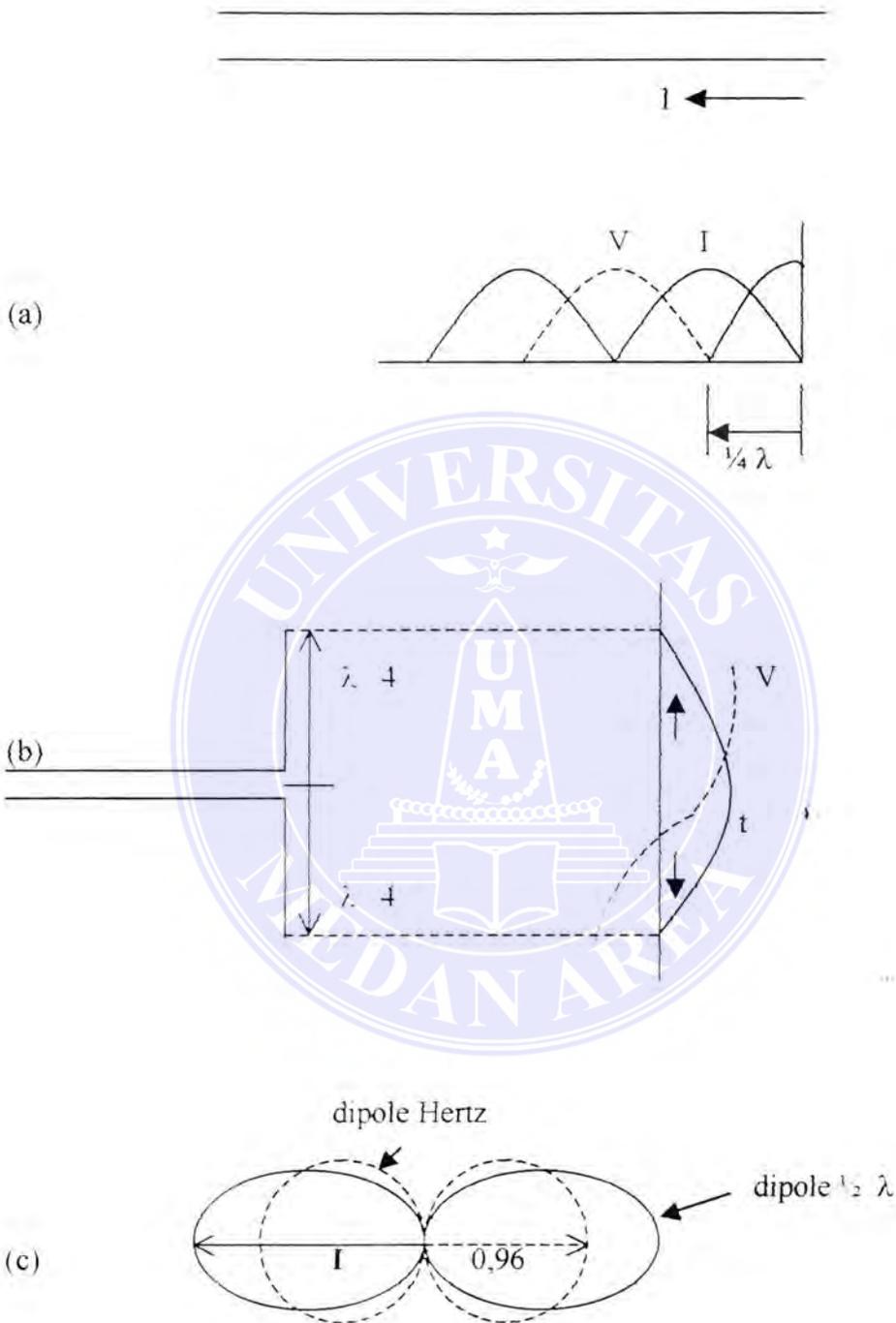
$$\text{ini memberikan } d_0^2 - d^2 = 2d_0 l \cos \theta.$$

Pergeseran fasa yang timbul karena hal ini adalah  $(d_0 - d)2\pi/l$ , dan terlihat bahwa ini tergantung pada  $l$  dan  $\theta$ . Jadi respons pada suatu titik  $P$  yang jauh, yang dihasilkan oleh semua elemen-elemen dipole Hertz yang membentuk dipole  $\frac{1}{2} \lambda$  tersebut harus memperhitungkan selisih fasa ini, disamping juga distribusi arus pada dipole  $\frac{1}{2} \lambda$  itu. Respons total dapat diperoleh dengan mengintegrasikan masing-masing medan untuk keseluruhan sepanjang dipole  $\frac{1}{2} \lambda$  tersebut. Integrasi ini adalah cukup sulit untuk dilakukan, dan disini hanya akan diberikan hasilnya saja. Dari persamaan

$$E_0 = (60\pi \delta l I_0 \sin \theta) / (\lambda d)$$

maka kuat medan puncak adalah :

$$E_0 = \frac{60 I_0}{d} F(\theta) \dots\dots\dots(2.53)$$



gambar 2.22 Dipole  $\frac{1}{2}$  gelombang (a) gelombang-gelombang berdiri arus dan tegangan pada

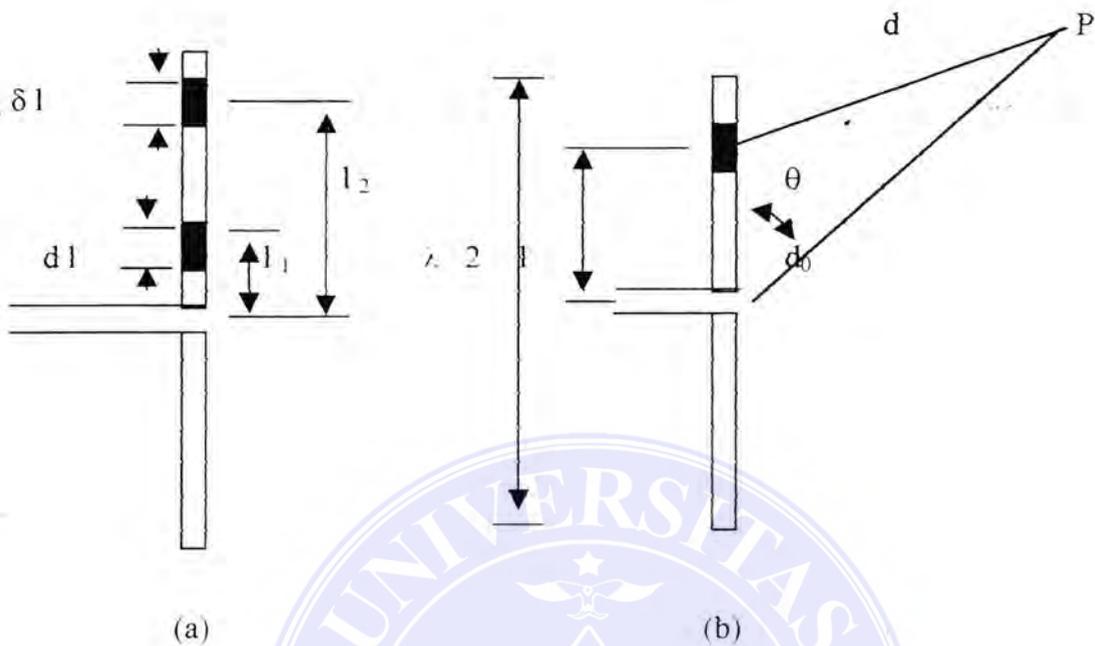
suatu saluran rangkaian terbuka (b) gelombang-gelombang berdiri arus dan tegangan pada

UNIVERSITAS MEDAN AREA

sebanding dipole  $l = \frac{1}{2} \lambda$  dibandingkan dengan radiasi dipole Hertz

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area



Gambar 2.23 (a) Dipole setengah gelombang yang terdiri dari dipole-dipole Hertz ; (b) perbedaan jalur (  $d - d_0$  ) menimbulkan suatu selisih fasa

dimana:

$$F(\theta) = \frac{\cos [ (\pi / 2) \cos \theta ]}{\sin \theta} \dots\dots\dots(2.54)$$

Sehingga itu fungsi perolehan daya yang dinormalkan adalah :

$$g(\theta) = F^2(\theta) \dots\dots\dots(2.55)$$

Seperti halnya dengan dipole Hertz,  $g(\phi) = 1$  karena keadaan simetri. Sebagai latihan bagi

penulis, tunjukkanlah bahwa lebar berkas  $-3\text{dB}$  untuk dipole  $\frac{1}{2} \lambda$  adalah

Dalam Gambar 2.22 (c) diperlihatkan diagram polar kuat medan  $F(\theta)$  bersama-sama dengan yang untuk dipole Hertz ( $F(\theta) = \sin \theta$ ) sebagai perbandingan, dimana keduanya dinormalkan menjadi satu untuk dipole  $\frac{1}{2} \lambda$ . Hasil-hasil penting lain untuk dipole  $\frac{1}{2} \lambda$  adalah :

$$l_{\text{eff}} = \lambda / \pi \dots \dots \dots (2.56)$$

$$D_M = 1,64 \dots \dots \dots (2.57)$$

$$A_{\text{eff}} = .13 \lambda^2 \dots \dots \dots (2.58)$$

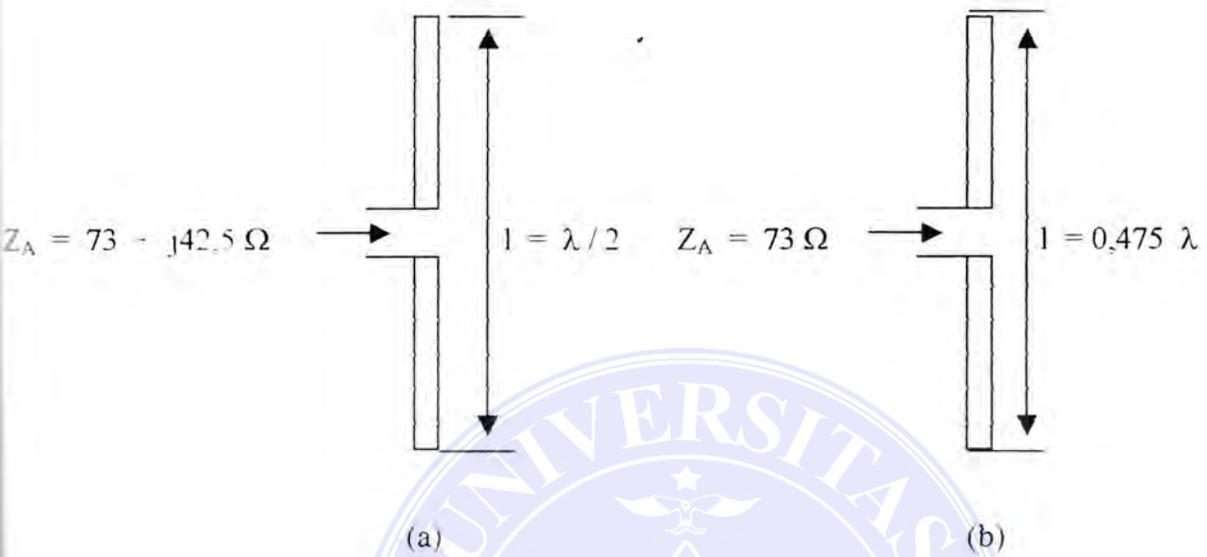
$$R_{\text{rad}} = 73 \Omega \dots \dots \dots (2.59)$$

Impedansi total adalah fungsi dari frekuensi, dan akan bersifat kapasitif untuk frekuensi-frekuensi yang sedikit di bawah nilai resonansi, dan induktif untuk frekuensi di atas nilai resonansi, sampai pada nilai resonansi berikutnya, yang terjadi bila panjang fisik adalah kira-kira satu panjang gelombang. Karena kecepatan pada kawat adalah sedikit lebih rendah daripada ruang bebas, resonansi tidak terjadi tepat pada titik  $\frac{1}{2} \lambda$ , tetapi pada suatu panjang yang sedikit lebih kecil, dan dalam praktek ini adalah kurang lebih 95% dari nilai  $\frac{1}{2} \lambda$ . pada  $\frac{1}{2} \lambda$ , impedansi antena adalah  $73 - j42.5 \Omega$ , dan pada panjang yang 5 % lebih kecil, ini adalah  $73 \Omega$ , seperti yang dilukiskan dalam Gambar 2.24.

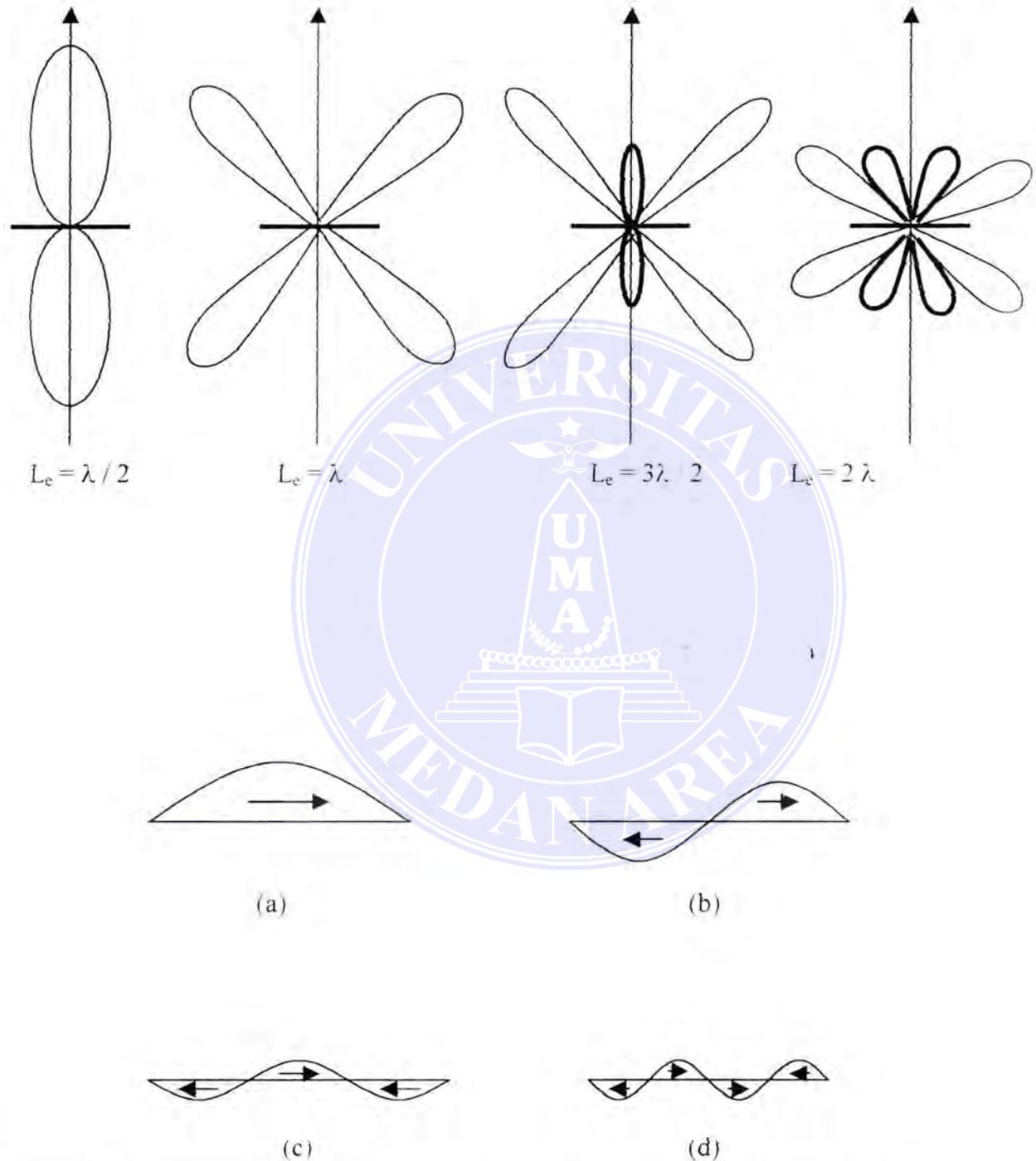
Gelombang-gelombang yang dipancarkan jarang sekali berbentuk sinusoida frekuensi tunggal, tetapi biasanya dimodulasikan. Semua gelombang yang dimodulasi terdiri dari sebuah pembawa dan beberapa frekuensi sideband yang tersebar dikedua sisinya. Karena dipole (seperti semua antena lain yang ditala) hanya ber-resonansi pada satu

pada frekuensi-frekuensi yang lain, frekuensi sideband (jalur sisi) akan mengalami sedikit distorsi (menjadi cacat). Untuk transmisi-transmisi jalur sempit (narrow band transmission), cacat ini tidak begitu berartitetapi pada lebar jalur yang lebih besar ini dapat menimbulkan kesulitan. Karakteristik ini dapat sedikit diperbaiki dengan mengubah  $Q$  efektif dari antenna dengan jalan memperbesar garis tengah konduktor-konduktor yang memancarkan. Ini berpengaruh dalam menaikkan kapasitansi dan menurunkan induktansi, jadi mengurangi  $Q$  dari antenna. Hasilnya adalah suatu deviasi frekuensi yang lebih lebar diantara titik-titik frekuensi 3dB, atau dengan perkataan lain, suatu lebar jalur yang lebih besar.

Resonansi pada dipole tidak hanya terbatas pada frekuensi setengah gelombang, tetapi juga terjadi pada semua kelipatan-kelipatan bilangan utuh (integer) dari frekuensi tersebut. Untuk setiap keadaan distribusi arus akan berbeda, sehingga untuk setiap frekuensi resonansi diperoleh pola radiasi yang berbeda pula. Ini dilukiskan dalam Gambar 2.25 untuk keadaan-keadaan dimana panjang efektif adalah 1, 2, 3, dan 4 kali setengah panjang gelombang. Gambar-gambar menunjukkan bahwa banyaknya cuping pada masing-masing sisi radiator adalah sama dengan kelipatan dari setengah panjang gelombang yang digunakan. Fasa arus berubah dengan  $180^\circ$  untuk setiap perpindahan dari satu potongan  $\frac{1}{2} \lambda$  ke potongan yang lain dan hal ini ditunjukkan oleh panah-panah arus. Perlu diingat kembali bahwa ini adalah pola-pola yang akan dihasilkan seandainya antenna dipasang di ruang bebas, jauh dari pantulan-pantulan. Perlu juga diperhatikan bahwa simpul arus (current node) terdapat pada posisi-posisi yang berbeda di sepanjang antenna.



Gambar 2.24 (a) Impedansi masukan dipole setengah gelombang yang dipotong tepat sepanjang  $l = \lambda$  adalah  $73 + j42.5 \Omega$  ; (b) dengan memperpendek dipole dengan kira-kira 5%, komponen reaktif menjadi nol



Gambar 2.25 Pola-pola radiasi dipole resonan dengan distribusi arusnya ; (a) untuk  $L_e = 1 \times \lambda$

UNIVERSITAS MEDAN AREA

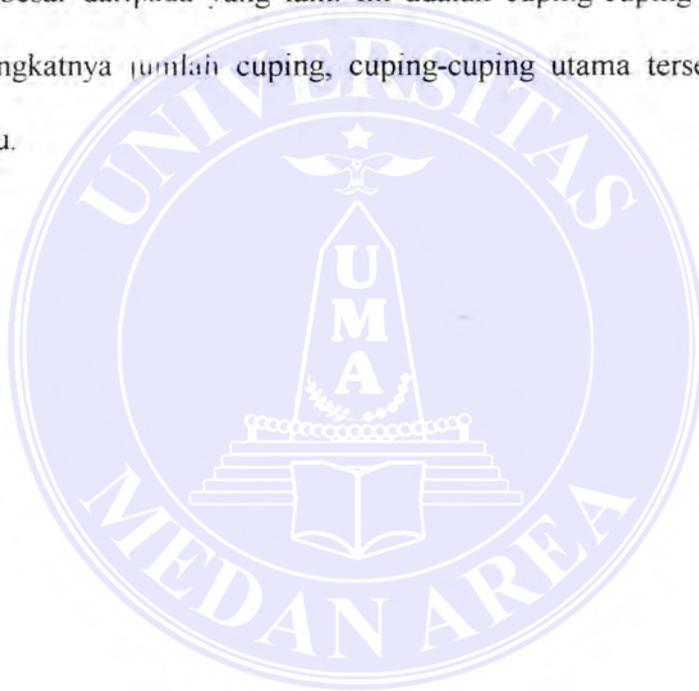
2: (b) untuk  $L_e = 2 \times \lambda / 2$ ; (c) untuk  $L_e = 3 \times \lambda / 2$  dan (d) untuk  $L_e = 4 \times \lambda / 2$  Document Accepted 20/9/23

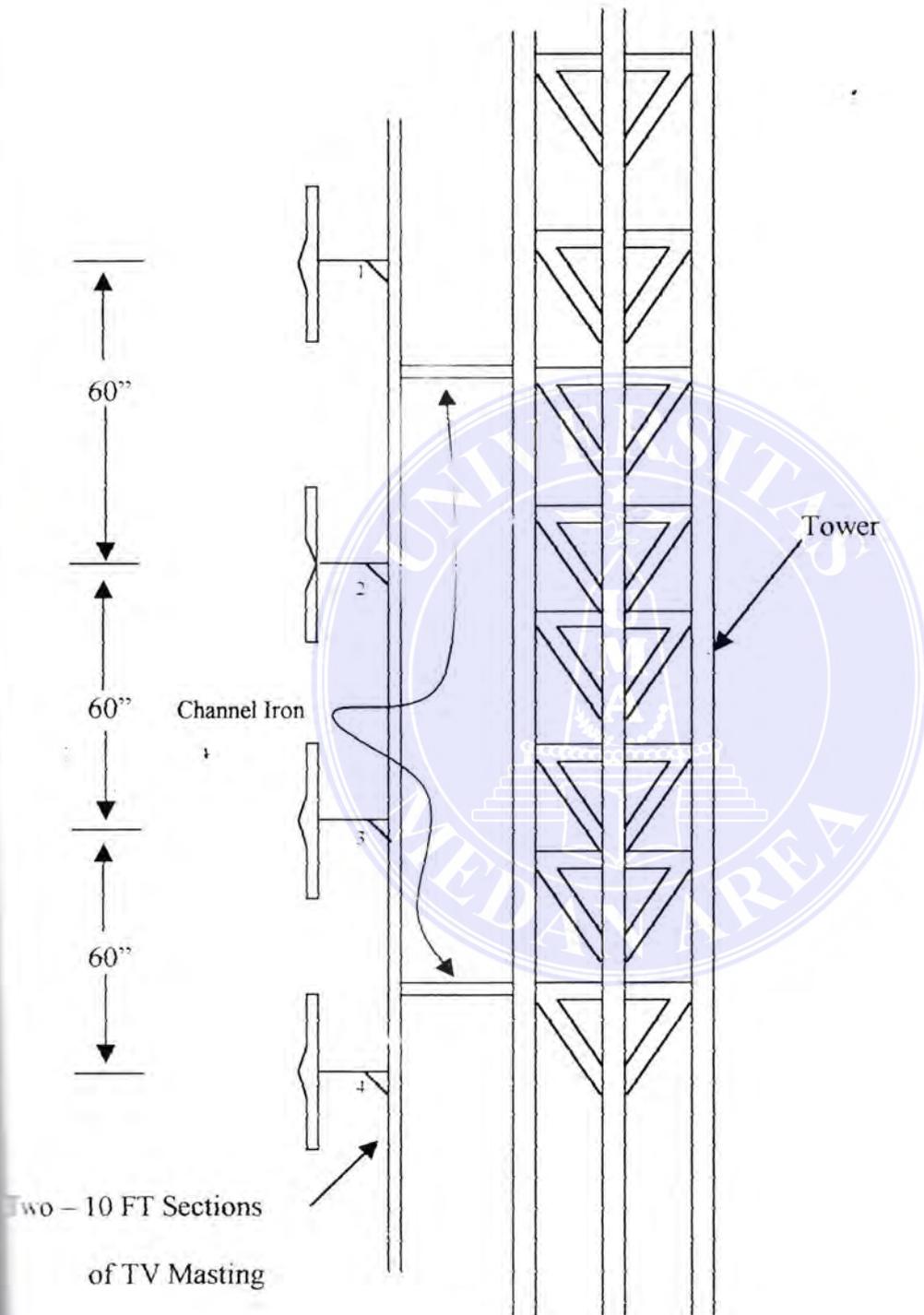
© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

dan jika dikehendaki sebuah titik umpan resonan, maka titik tersebut harus ditempatkan pada salah satu simpul arus yang ada ; jadi titik umpan harus ditempatkan sejauh  $\frac{1}{4} \lambda$  ,  $\frac{3}{4} \lambda$  ,  $\frac{5}{4} \lambda$  ,.... dari salah satu ujung radiator.

Dengan meningkatnya jumlah cuping , cuping-cuping yang paling dekat dengan sumbu antena akan selalu lebih besar daripada yang lain. Ini adalah cuping-cuping utama (major lobes), dan dengan meningkatnya jumlah cuping, cuping-cuping utama tersebut posisinya makin dekat dengan sumbu.





Gambar 2.26

## UNIVERSITAS MEDAN AREA Contoh Antena Dipole Array

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

## BAB III

### PERENCANAAN DAN PEMBUATAN PERALATAN

#### 3.1 Perencanaan

##### 3.1.1 Spesifikasi Umum

Pemancar FM Stereo 10 Watt dirancang untuk bekerja selama 24 jam secara terus menerus, sehingga dalam perancangan sangat diperhatikan untuk dapat menjaga kestabilan dan spesifikasi serta daya tahan alat karena penggunaan transistor sebagai penguat yang sangat dipengaruhi oleh suhu ruangan dan suhu transistor itu sendiri. Pemancar FM ini mempunyai spesifikasi umum rancangan sebagai berikut :

Range frekuensi	: 88 - 108 MHz
Power output	: 10 Watt
RF harmonic	: - 50 dB
RF output Impedansi	: 50 $\Omega$
Stability Frekuensi	: < dari 0,01 %
Modulasi Capability	: $\pm 100$ kHz
Audio input Impedansi	: 600 $\Omega$ Balance
Audio input Level	: +10 dBm $\pm 2$ dB untuk 100% modulasi pada 400Hz
FN Noise	: - 65 dB
AM Noise	: - 65 dB
Ambien Temperatur	: maksimal + 45 <sup>o</sup> C
Konsumsi Daya	: 100 Watt

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

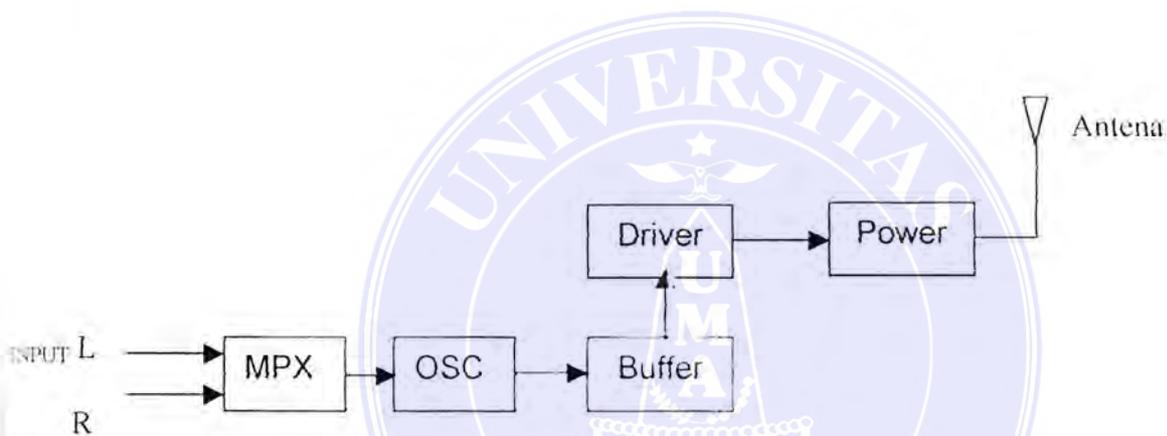
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

### 3.1.2 Diagram Blok

Setiap ide yang diperoleh pertama-tama dapat dikembangkan dengan membuat terlebih dahulu diagram bloknya. Diagram blok merupakan gambaran dasar dari rangkaian. Setiap diagram blok harus mewakili sebuah atau beberapa komponen yang memiliki fungsi transfer tertentu. Komponen dalam kotak tersebut.



Gambar 3.1 Blok Diagram Pemancar

Diagram blok pada Gambar 3.1 adalah diagram blok secara global, lalu kemudian fungsi blok MPX, dipecah kembali menjadi bagian-bagian kecil yang mempunyai fungsi masing-masing sehingga menjadi sebuah rangkaian MPX.

Penjelasan dari tiap blok di atas adalah :

#### □ Rangkaian MPX

Rangkaian ini berfungsi untuk membuat masukan audio stereo (L dan R), menjadi

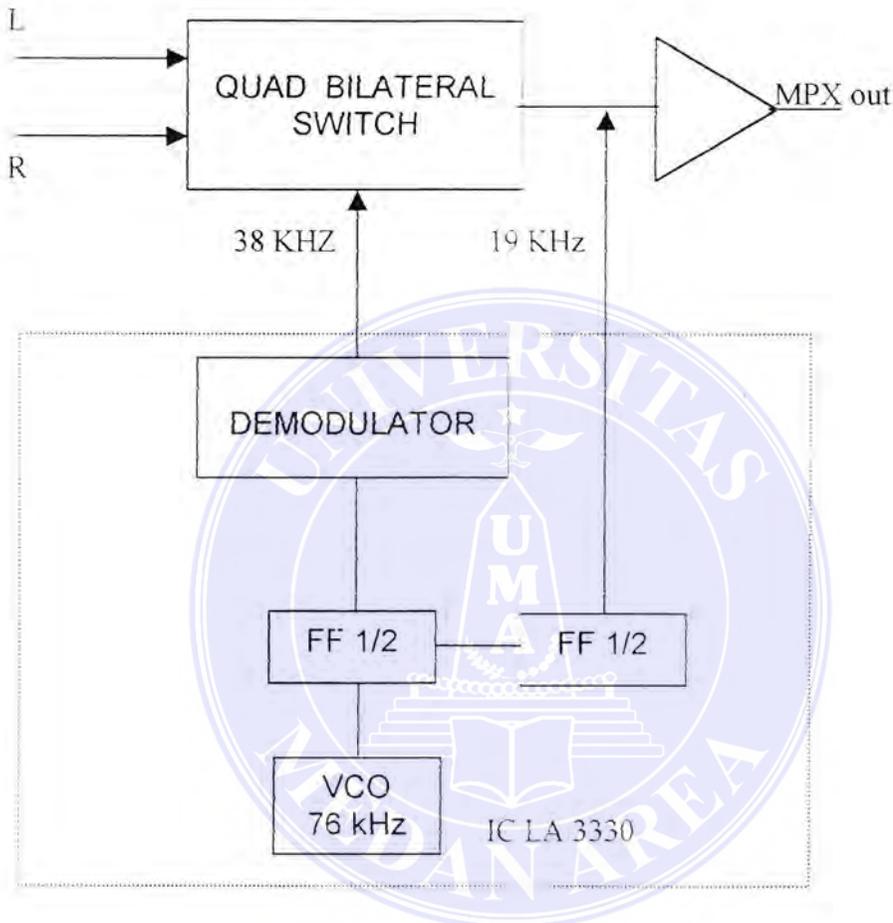
UNIVERSITAS MEDAN AREA  
sebuah keluaran satu saja yang disebut sinyal MPX

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area (repository.uma.ac.id)20/9/23

*Blok Diagram MPX*



Gambar 3.2 Blok Diagram MPX

> VCO 76 KHz

Osilator ini berfungsi untuk menghasilkan frekuensi sebesar 76 KHz, frekuensi yang dihasilkan diusahakan stabil, dan mempunyai duty-cycle mendekati 50%. Frekuensi 76 KHz ini diperlukan untuk proses

> Pembagi 2

Pembagi ini adalah sebuah rangkaian flip-flop pembagi 2, dimana masukan frekuensi akan dibagi 2, sehingga keluaran 38 KHz menjadi frekuensi sub -pembawa, dan pada rangkaian pembagi 2 berikutnya menjadi frekuensi pilot sebesar 19 kHz. Hal ini secara keseluruhan terjadi di dalam IC LA-3330

> Quad Bilateral Switch

Rangkaian ini berfungsi sebagai pencampur sinyal L – R dengan frekuensi sub-pembawa sehingga akan didapat sinyal sub-pembawa LR sebesar 23 - 38 kHz dan 38 - 53 kHz

> Rangkaian Penguat Penjumlah

Rangkaian ini akan menghasilkan sinyal multiplex komposit, yaitu hasil dari penjumlahan sinyal-sinyal sub-pembawa, frekuensi pilot dan sinyal L + R dengan penguatan yang dihasilkan sebesar dua kali sehingga cukup kuat untuk diumpankan ke rangkaian osilator

□ Osilator

Rangkaian osilator ini diperlukan untuk membangkitkan sinyal pembawa (carrier) pada frekuensi FM, sebesar 88 - 108 MHz. Rangkaian osilator yang dipakai adalah rangkaian osilator collpits karena rangkaian ini mempunyai kestabilan

UNIVERSITAS MEDAN AREA

frekuensi yang tinggi terhadap perubahan suhu dan tegangan supply

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 20/9/23  
Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

□ Buffer

Rangkaian Buffer berfungsi sebagai penyangga antara rangkaian osilator dan rangkaian driver yang bertujuan agar frekuensi osilator stabil.

□ Driver

Rangkaian Driver berfungsi untuk menguatkan sinyal RF yang datang dari Buffer sehingga cukup untuk membuat power amplifier bekerja sesuai dengan power output yang diinginkan.

□ Power Amplifier

Rangkaian Power Amplifier berfungsi untuk menguatkan sinyal RF yang datang dari Driver sehingga mencapai output yang diinginkan

□ Antena

Dengan penggunaan sebagai radio pemancar broadcast, maka diperlukan sebuah antena dengan pola radiasi keliling, maka dipilih antena  $\frac{1}{2} \pi$  Ring Base, karena antena ini selain mempunyai pola radiasi ke segala arah juga mempunyai penguatan 2,1 dB dengan impedansi 50  $\Omega$ , VSWR 1 :1,4 dengan daya maksimal yang dapat diradiasikan pada antena sebesar 95%.

### 3.1.3 Skema Rangkaian

Setiap blok yang telah dibuat dapat ditransfer menjadi sebuah rangkaian elektronika

yang sebenarnya. Perancangan skema rangkaian perlu memperhatikan hal-hal di bawah ini :

#### UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

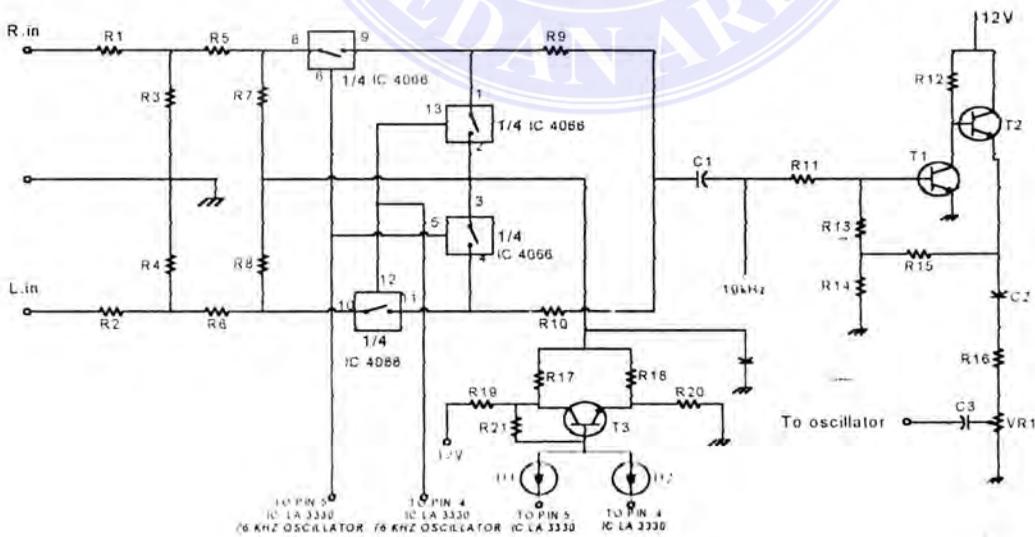
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

1. Mengusahakan rangkaian sesederhana mungkin untuk mengurangi biaya dan perawatan bila terjadi kerusakan
2. Menggunakan komponen yang telah tersedia di pasaran
3. Memilih komponen yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan

□ *Rangkaian MPX*

Rangkaian MPX terdiri dari IC Quad Bilateral Switch ( IC 4066 ) yang berfungsi untuk mencampur sinyal audio L, R dengan sinyal sub pembawa 38 KHz yang dihasilkan oleh IC PLL FM Multiplex ( IC LA 3330 ) dan hasil pencampuran ini dicampur kembali dengan sinyal Pilot 19 khz yang juga dihasilkan oleh IC PLL FM Multiplex ( IC LA 3330 )  
 Kemudian hasil pencampuran keseluruhan sinyal-sinyal tersebut diperkuat oleh Transistor C 945 sebagai penguat bertingkat sehingga keluarannya siap untuk dimodulasikan ke Osilator.  
 Gambar rangkaian MPX dapat dilihat pada Gambar dibawah ini.



UNIVERSITAS MEDAN AREA Gambar 3.4 Rangkaian MPX

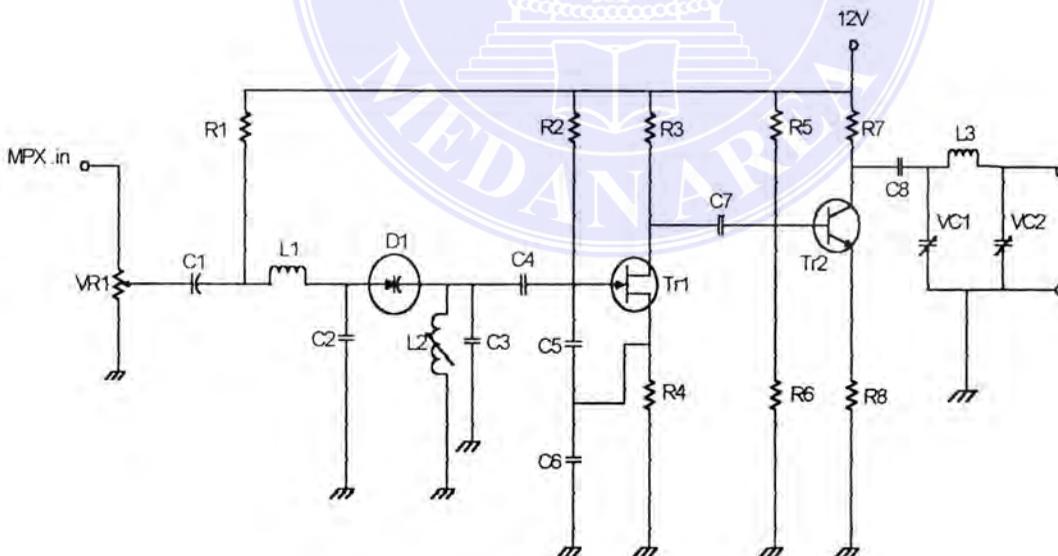
© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber  
 2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah  
 3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area  
 Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

□ *Osilator FM*

Rangkaian osilator pembangkit frekuensi pembawa menggunakan rangkaian osilator colpits, jenis pemodulasiannya adalah modulasi langsung dengan dioda varaktor sebagai modulatornya. Osilator dibentuk oleh  $Q_1$  dengan induktor  $L_2$ ,  $C_2$ ,  $D_1$ ,  $C_3$ ,  $C_4$  berfungsi sebagai blocking dc  $C_5$  dan  $C_6$ , berfungsi sebagai feed back, dan  $L_1$  berfungsi sebagai RFC. Komponen penentu frekuensi adalah  $L_1$  dan  $C_T$ , dimana  $C_T$  adalah kapasitansi total dari  $C_2$  di seri dengan kapasitansi dioda varaktor  $D_1$ ,  $C_2$ , dan  $C_3$ .  $VR_1$  digunakan sebagai pengatur suara dan sekaligus pengatur indeks bias modulasi.



Gambar 3.4 Rangkaian Osilator FM

### □ Rangkaian Buffer

Rangkaian buffer dibentuk oleh Q<sub>2</sub>. Buffer ini berfungsi sebagai penyangga dan penguat RF. Meskipun rangkaian ini bekerja pada kelas A yang efisiensinya lebih kecil tetapi alat ini dapat menguatkan sinyal input yang relatif kecil. L<sub>3</sub>, VC<sub>1</sub> dan VC<sub>2</sub> berfungsi sebagai rangkaian resonansi dan penyesuai impedansi untuk menjaga agar frekuensi yang dikehendaki saja yang dilewatkan oleh rangkaian buffer ini.

### □ Driver Amplifier

Driver terdiri dari satu buah IC yang terdapat pada Handie Talkie ICOM 02 N yaitu IC C1025 ( lihat Gambar 216 ) , penulis mencoba bereksperimen dengan IC ini dan ternyata berhasil. Untuk rangkaiannya penulis ambil dari rangkaian Handie Talkie ICOM 02 N dengan memodifikasi rangkaian penyesuai impedansi keluarannya . Dengan masukan sebesar 100 mWatt penguat ini mampu mengeluarkan daya sebesar 2 Wat. Daya ini sudah cukup kuat untuk mendrive penguat akhir ( power amplifier ).

### □ Power Amplifier

Untuk dapat memancarkan sinyal FM hasil modulasi dengan radius cukup jauh diperlukan level yang cukup besar, karena keluaran dari modulator sangat kecil 100 miliwatt, dan keluaran dari driver sebesar 2 Watt untuk itu sinyal tersebut perlu dikuatkan oleh rangkaian penguat RF ( power amplifier ), ( lihat Gambar 217 ) sehingga outputnya cukup besar untuk dapat dipancarkan. Keluaran dari penguat RF ( power amplifier ) ini adalah 20 watt dan untuk efisiensi keluaran dapat diatur menjadi 10 watt dengan mengurangi

© 2019 Cipta dan Ditulis oleh Said Ridwan

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber

2. Dilarang memperbanyak atau menyalin, mendistribusikan, menyebarluaskan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (repository.uma.ac.id)20/9/23

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari hasil pembuatan pemancar FM Stereo yang telah beberapa lama dikerjakan, disertai dengan hasil pembahasan / analisa dan juga hasil pengujian terhadap rangkaian Pemancar FM ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Modulasi frekuensi ternyata sangat lebih baik kualitas suara dan N/S dibandingkan modulasi sistem AM, dengan Bandwidth yang sempit sehingga daya yang digunakan menjadi lebih efisien.
2. Untuk dapat memodulasikan sinyal audio stereo (L-R), maka terlebih dahulu sinyal L-R tersebut harus dijadikan sebuah sinyal saja, dan proses penggabungan kedua sinyal itu memerlukan sebuah rangkaian multipleks. Keluaran dari rangkaian ini adalah sinyal MPX Komposit.
3. Penyesuaian impedansi (Matching Impedance) sangat diperhatikan di setiap tingkat pada rangkaian pemancar, karena mempengaruhi dari daya pancar rangkaian tersebut. Itu sebabnya setiap filter menggunakan kapasitor variabel (VC), agar frekuensi kerja dari rangkaian dapat ditala untuk mendapatkan impedansi yang setepat mungkin, sehingga daya yang ditransfer maksimal.

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

Document Accepted 20/9/23

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mengemukakan sumber

2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah

3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Access From (Repository.uma.ac.id)20/9/23

## Saran-saran

Dari hasil pengamatan dan yang dipelajari, kami mencoba memberikan beberapa saran yang kiranya dapat bermanfaat dalam perancangan Pemancar yaitu :

1. Dalam perancangan pemancar sebaiknya dihindari pengawatan yang terlalu panjang, karena akan memancarkan RF kemana-mana, sehingga selain daya RF yang didapat menjadi berkurang (terjadi attenuasi) juga akan menimbulkan gangguan pada peralatan elektronika lainnya yang berada disekitar perangkat pemancar ini. Usahakanlah pengawatan sependek mungkin.
2. Disain filter-filter terutama filter akhir sebaiknya ditala dengan sangat tepat karena bila tidak tepat akan sangat merugikan pada efisiensi daya. Dan distorsi pada perangkat elektronika lain.
3. Karena frekuensi yang digunakan cukup tinggi (masuk ke dalam kategori VHF), maka sebaiknya semua pendingin dibumikan pada chasing dengan baik, terutama pada rangkaian osilator sebaiknya ditutup dengan kotak alumunium dan di bumikan (grounding), untuk menghindari gangguan dari luar yang akan mengakibatkan frekuensi menjadi tidak stabil.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Boylestad, Robert L & Louis Nashelky, **Electronics Devices and Circuit Theory**, Prentice Hall New Jersey, Seventh Edition, 1999
2. Langley, Graham, **Prinsip Dasar Telekomunikasi**, Multi Media Group Gramedia Jakarta, 1986
3. Loveday, **Intisari Elektronika**, Elxmedia Komputindo, Jakarta, 1990
4. Malvino, Albert Paul & Hanapi Gunawan, **Prinsip-prinsip Elektronika**, Penerbit Jakarta
5. Metzger, Daniel L, **Electronics Component, Instruments and Trouble Shooting**, Prentice Hall New Jersey, 1981
6. Peebles, Peyton Z & Tayeb A. Guima, **Principles of Electrical Engineering**, Mc. Graw Hill, 1991
7. Roody, Denny & John Coolen, **Komunikasi Elektronika**, Erlangga Jakarta, Edisi Ketiga, 1986
8. Schultz, Michel E., **Electronics Devices A Text and Software Problems Manual**, Mc Graw Hill Mc.Millan, 1994
9. Shrader, Robert L, **Electronics Communication**, Mc. Graw Hill, International Edition Book Company, 1981
10. Smale, PH, **Sistem Telekomunikasi I**, Erlangga Jakarta, Edisi Kedua, 1986
11. Tobey, Graeme, Huelsman, **Operational Amplifier, Design and Applications**, Mc Graw Hill International Book Company, 1971
12. Wasito W, **Vademekum Elektronika**, Gramedia, Jakarta, 1990
13. Z. Bar, Paul B. & Albert Paul Malvino, **Basic Electronics A Text Book Lab Manual**, Mc. Graw Hill, Third Edition, 1989
14. **IC Linear Data Book 1980 National Semi Conductor Corporation**
15. **Hand Book Amateur Radio**, 1991