महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ, मुंबई
(स्वायत्त) (ISO 9001:2015) (ISO/IEC 27001:2013)

अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञान पदविका

शिक्षण पुस्तिका
(Learning Material)

प्रिंसिपल ऑफ इलेक्ट्रॉनिक संचार
Principle of Electronic Communication

(313326)

अणुविद्युत अभियांत्रिकी गट

मराठी - इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम
(अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञानातील त्रितीय सत्र पदविका)

शिक्षण पुस्तिका

(Learning Material)

प्रिंसिपल ऑफ इलेक्ट्रॉनिक संचार

Principle of Electronic Communication

(313326)

अणुविद्युत अभियांत्रिकी गट

मराठी – इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम

(अभियांत्रिकी व तंत्रज्ञानातील त्रितीय सत्र पदविका)

MAHARASHTRA STATE BOARD OF TECHNICAL EDUCATION * MUMBAI

महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ, मुंबई

(स्वायत्त) (ISO 9001:2015) (ISO/IEC 27001:2013)

मार्गदर्शक

अकोले किशोर प्रल्हाद

प्रभारी विभागप्रमुख, अणुविद्युत अभियांत्रिकी

प्रमुख समन्वयक

विक्रांत भास्करराव जोशी

प्राचार्य

समन्वयक

नीलिमा अविनाश पळसपगार

वरिष्ठ अधिव्याख्याता, अणुविद्युत आणि दूरसंचार अभियांत्रिकी

लेखक

मनीष राजेंद्र देशमुख

अधिव्याख्याता, अणुविद्युत अभियांत्रिकी

वैशाली अविनाश राजेशिर्के

अधिव्याख्याता, अणुविद्युत अभियांत्रिकी

प्रतीक प्रकाश तावडे

अधिव्याख्याता, अणुविद्युत अभियांत्रिकी

शितल शशिकांत देशमुख

अधिव्याख्याता, अणुविद्युत अभियांत्रिकी

पूनम अशोक कोळी

अधिव्याख्याता, अणुविद्युत अभियांत्रिकी

महाराष्ट्र राज्य तंत्र शिक्षण मंडळ

(स्वायत्त) (ISO: ९००१:२०१५) (ISO/IES: २७००१-२०१३)

शासकीय तंत्रनिकेतन इमारत, चौथा मजला, ४९, खेरवाडी, बांद्रा (पूर्व), मुंबई - ४०० ०५१.

दूरध्वनी क्र.: ०२२-६२५४२१७० / १६१

Email : director@msbte.com Web : www.msbte.org.in

प्रास्ताविक

महाराष्ट्र राज्यातील पदविका स्तरावरील तंत्रशिक्षणाशी संबंधित बाबींचे नियमन करण्यासाठी महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ वचनबद्ध असून विद्यार्थ्यांच्या सर्वांगिण विकासाकरिता वेळोवेळी प्रयत्नशील आहे. तंत्रज्ञान, उद्योग, समाज आणि जागतिकीकरण यामध्ये सतत घडून येणा-या बदलांच्या अनुषंगाने तांत्रिक शिक्षणाची भविष्यातील निकड वेधून पदविका स्तरावरील अभ्यासक्रम, परीक्षा पद्धती व शैक्षणिक सामुग्री ह्यांमधे अद्ययावत बदल करण्यात महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ अग्रगण्य आहे. विद्यार्थी हा शिक्षण क्षेत्राच्या केंद्रस्थानी असून त्यांची निकड व समस्या संवेदनशीलपणे हाताळल्यास भारत देशाचे 'ज्ञान महासत्ता' बनण्याचे स्वप्न पूर्णत्वास जाईल ह्याचा मला विश्वास आहे.

शहर आणि ग्रामीण भागातील शैक्षणिक सोयीसुविधांमधील दरी अनेक वेळा दिसून येत असून ग्रामीण भागातील विद्यार्थ्यांचे इंग्रजी भाषेतील ज्ञान व संवाद कौशल्याबाबतही ही वस्तुस्थिती प्रकर्षाने जाणवते. केवळ इंग्रजी भाषेतील संवाद कौशल्याअभावी ग्रामीण भागातील विद्यार्थी तंत्रशिक्षणापासून वंचित राहू नये, ह्या दृष्टिकोनातून महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळाने शैक्षणिक वर्ष २०२१-२२ पासून प्रथम वर्ष पदविका अभ्यासक्रमाकरिता तांत्रिक शिक्षण मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यमात इच्छुक विद्यार्थ्यांना उपलब्ध करून दिले आहे. मात्र असे करताना कोणत्याही परिस्थितीत गुणवत्तेशी तडजोड केली जाऊ नये ह्या दृष्टीने प्रमुख विषयांसाठीच्या शैक्षणिक सामुग्रीची निर्मिती करण्यात आली आहे.

राष्ट्रीय शिक्षण धोरण २०२० मध्ये प्रादेशिक भाषांमध्ये सर्वांना शिक्षणाची कल्पना मांडण्यात आली आहे. त्यास अनुसरून मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक माध्यमाचा पर्याय द्वितीय व तृतीय वर्षाकरिताही उपलब्ध करून देण्यात आला आहे. तसेच त्याकरिता शैक्षणिक सामुग्रीही विद्यार्थी व अध्यापकांना उपलब्ध करून देण्यात येत आहे.

महाराष्ट्र राज्यातील अनुभवी अध्यापकांकरवी ही शैक्षणिक सामुग्री तयार करण्यात आली असून व्यावहारिक मराठी भाषा, इंग्रजी भाषेतील तांत्रिक शब्दावलीचा उपयोग आणि संदर्भ पुस्तके लक्षात घेऊन या सामुग्रीची निर्मिती करण्यात आलेली आहे. सदर सामुग्रीची पुनर्तपासणी सुकाणू समितीमार्फत करण्यात आलेली असल्याने ही शैक्षणिक सामुग्री अधिक समृद्ध झालेली आहे. त्यामुळे विद्यार्थ्यांना तांत्रिक शिक्षण समजून घेणे अधिक सुकर होईल. तसेच व्यावहारिक मराठी भाषेच्या उपयोगाने विद्यार्थ्यांना विषयाचे सखोल आकलन होईल व इंग्रजी भाषेतील तांत्रिक शब्दावलीच्या वापरामुळे विद्यार्थ्यांचा उद्योग जगतातील वावर सुलभ होईल. त्यामुळे महाराष्ट्र राज्य तांत्रिक क्षेत्रातील वैश्विक मनुष्यबळाच्या निर्मितीत अग्रेसर राहील व त्यायोगे राष्ट्रनिर्मितीकरीता निश्चितच हातभार लागेल असा मला विश्वास आहे.

अभियांत्रिकी पदविका अभ्यासक्रमातील प्रमुख विषयांची मराठी-इंग्रजी द्विभाषिक शैक्षणिक सामुग्री बनविण्यासाठी अध्यापक व सुकाणू समितीचे सदस्य हे कौतुकास पात्र असून मी त्यांचे अभिनंदन करतो.

(प्रमोद नाईक)
संचालक
म. रा. तंत्र शिक्षण मंडळ, मुंबई.

MAHARASHTRA STATE BOARD OF TECHNICAL EDUCATION
MUMBAI

अनुक्रमणिका

अ. क्र.	युनिटचे नाव	पान क्र.
1	इलेक्ट्रॉनिक संचारची मूलभूत माहिती (Basics of Electronic Communication)	01
2	ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेशन (Amplitude Modulation)	13
3	वारंवारता मॉड्युलेशन (एफएम) संचारण (Frequency Modulation (FM) Communication)	35
4	लहरी प्रसार (Wave Propagation)	65
5	अँटेना (Antenna)	84

युनिट 1
इलेक्ट्रॉनिक संचार ची मूलभूत माहिती
(Basics of Electronic Communication)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

विविध संचार दुव्यासाठी संबंधित वारंवारता श्रेणी/बँड निवडा

Select the relevant frequency range/band for different communication link

युनिट निष्पत्ती (Unit Outcome):

1.a निर्दिष्ट संदेश साठी इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक स्पेक्ट्रमचा संबंधित वारंवारता बँड ओळखा

Identify the relevant frequency band of electromagnetic spectrum for the specified Signal

1.b ॲनालॉग आणि डिजिटल संदेशमध्ये तुलना करा

Differentiate analog and digital signal

1.c दिलेल्या प्रकारच्या ट्रान्समिशन मोडच्या वैशिष्ट्यांची तुलना करा

Compare features of the given types of transmission modes

1.d बाह्य आणि अंतर्गत नॉईझ (noise) मध्ये फरक करा

Distinguish between external and internal noise

परिचय:

दूर अंतरावर असलेल्या उगमस्थान आणि गंतव्यस्थानांमधील (destination)माहितीची देवाणघेवाण म्हणून संचार ची व्याख्या केली जाऊ शकते.

सामान्य अर्थाने, संचार म्हणजे अनूविधुत सहाय्यांद्वारे माहिती पाठवणे, प्राप्त करणे आणि त्यावर प्रक्रिया करणे.

आज एकवीस व्या शतकात, फायबर ऑप्टिक्स, सॅटेलाइट फोन आणि टेलिव्हिजन, आयपी टेलिव्हिजन, आयपी टेलिफोनी, मोबाईल इत्यादींच्या युगात संचार प्रणाली यशाची गुरुकिल्ली आहे, म्हणून मॉड्युलेशन, नॉईझ, ट्रान्समिशन मीडिया, अँटेना इत्यादी मूलभूत संकल्पनांद्वारे या विषयाकडे अगदी मूलभूत मार्गाने संपर्क साधतो.

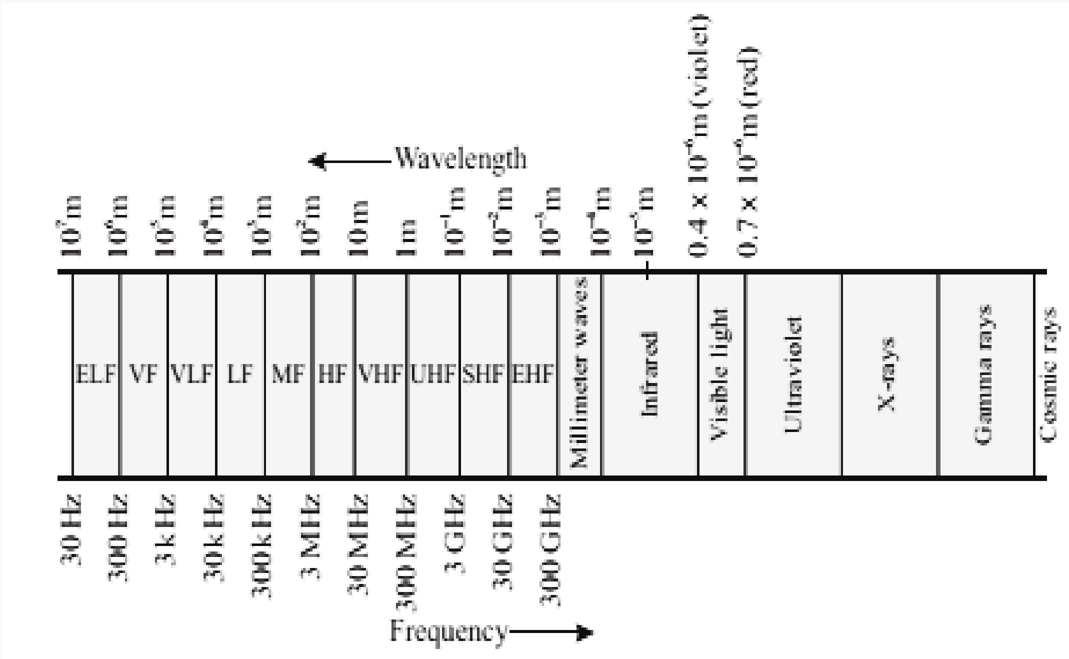
सर्वात वेगाने वाढणाऱ्या दूरसंचार (Telecommunication) युगात, डिप्लोमा अभियंते अनूविधुत संचार प्रणालीशी संबंधित आहेत.

1.1 इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक वेव्ह स्पेक्ट्रम, वारंवारता बँड आणि त्यांचे अनुप्रयोग

(Electromagnetic wave spectrum, frequency bands and their application)

इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक स्पेक्ट्रम म्हणजे इलेक्ट्रोमॅग्नेटिकच्या वारंवारताची श्रेणी उत्सर्जन (radiation) किंवा लहरी ज्यावर इलेक्ट्रॉनिक्स संचार होते.

इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक स्पेक्ट्रम ही **वारंवारता** (frequency), तरंगलांबी (wavelength) आणि फोटॉन एनर्जीची एक श्रेणी आहे जी 1 हर्ट्झच्या खाली ते 10^{25} हर्ट्झपेक्षा जास्त वारंवारता व्यापते, हजारो किलोमीटर खाली तरंगलांबीशी संबंधित अणू केंद्रकाच्या आकाराच्या एका अंशापर्यंत. ही वारंवारता श्रेणी स्वतंत्र बँडमध्ये विभागली गेली आहे आणि प्रत्येक वारंवारता बँड मधील विद्युत चुंबकीय लहरींना वेगवेगळ्या नावांनी संबोधले जाते, स्पेक्ट्रमच्या कमी वारंवारता (लांब तरंगलांबी) पासून सुरू होणारे हे आहेत. उदाहरण रेडिओ लाटा, मायक्रोवेव्ह, इन्फ्रारेड, दृश्यमान प्रकाश (visible light), अतिनील (ultraviolet), क्ष-किरण (x-ray) आणि उच्च वारंवारता (लहान तरंगलांबी) आणि शेवटी गॅमा किरण.



आकृती क्र.1.1: वारंवारता स्पेक्ट्रम

तक्ता क्र.1.1 : वारंवारता बँड आणि त्याचा अनुप्रयोग

वारंवारता बँड	वारंवारता	अनुप्रयोग
अत्यंत कमी वारंवारता (Extremely low frequency)	30-300 Hz	पाणबुडीशी संचार
आवाज वारंवारता (voice frequency)	300-3000 Hz	ऑडिओ अनुप्रयोग(application)
खूप कमी वारंवारता (very low frequency)	3-30 KHz	पाणबुडी संचार
कमी वारंवारता (low frequency)	30-300 KHz	जलपर्यटन
मध्यम वारंवारता (medium frequency)	300-3000 KHz	AM प्रसारण

उच्च वारंवारता (High Frequency)	3-30MHz	लघु लहर प्रसारण
खूप उच्च वारंवारता (Very high frequency)	30-300MHz	टीव्ही आणि एफ एम प्रसारण
अति उच्च वारंवारता (ultra high frequency)	300-3000 MHz	टीव्ही प्रसारण आणि मोबाइल फोन
सुपर उच्च वारंवारता (super high frequency)	3-30 GHz	मायक्रोवेव्ह उपकरण, वायरलेस लॅन
अत्यंत उच्च वारंवारता (Extremely high frequency)	30-300 GHz	रेडिओ खगोलशास्त्र, रडार

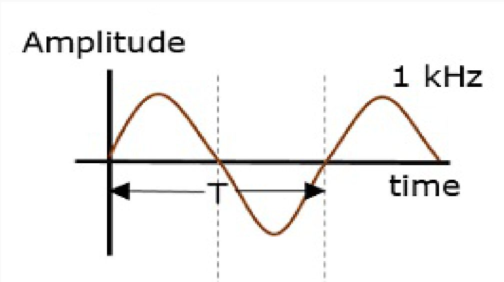
1.2 संदेश आणि त्याचे प्रतिनिधित्व: ॲनालॉग आणि डिजिटल संदेश (टाइम आणि वारंवारता डोमेन मध्ये (Signal and its representation: analog and digital signal in time domain and frequency domain)

ॲनालॉग संदेश:

- ॲनालॉग संदेश हा सतत संदेश वेळेनुसार बदलतो
- ॲनालॉग संदेशमध्ये माहितीचे प्रतिनिधित्व करण्यासाठी विपुलता (amplitude, वारंवारता (Frequency)आणि टप्पा (Phase) यासारखे काही पॅरामीटर भिन्न असतात
- सामान्यत: सर्व नैसर्गिकरित्या उपलब्ध संदेश निसर्गात ॲनालॉग रूपात असतात

टाइम डोमेनमध्ये ॲनालॉग संदेश (analog signal in time domain)

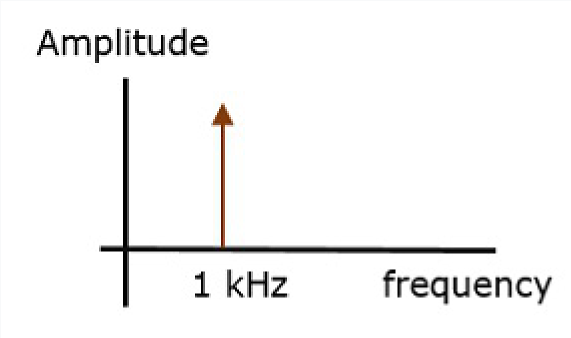
- टाइम डोमेन प्रतिनिधित्व वेळेच्या संदर्भात विपुलता मध्ये बदल दर्शविते



आकृती क्र. 1.2: टाइम डोमेनमध्ये ॲनालॉग संदेश

वारंवारता डोमेनमध्ये ॲनालॉग संदेश (analog signal in frequency domain)

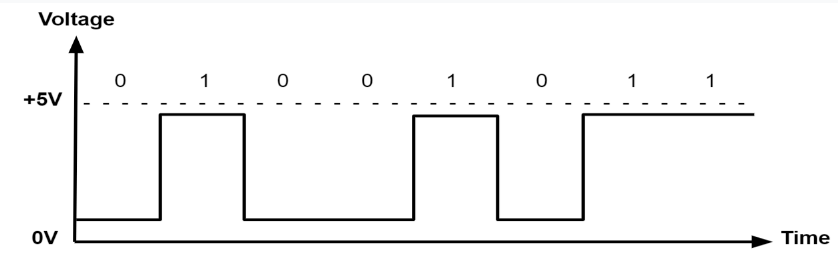
- वारंवारता डोमेन प्रतिनिधित्व मध्ये पिक विपुलता (peak amplitude) आणि वारंवारता (frequency) महत्वाचे आहेत
- वारंवारता डोमेनमध्ये, वारंवारताच्या संदर्भात एक गणितीय कार्य म्हणून संदेशचे विश्लेषण केले जाते.



आकृती क्र.1.3: वारंवारता डोमेन

डिजिटल संदेश:

- डिजिटल संदेश हा एक संदेश आहे जो डेटा वेगळ्या मूल्यांचा (values) क्रम म्हणून दर्शवतो. डिजिटल संदेश दिलेल्या वेळी संभाव्य मूल्यांच्या (discrete value) मर्यादित संचामधून केवळ एक मूल्य घेऊ शकतो.
- हे फक्त दोन संभाव्य मूल्यांसह लॉजिक संदेश आहे, ते तर्क (logic) 0 आणि 1 आहे



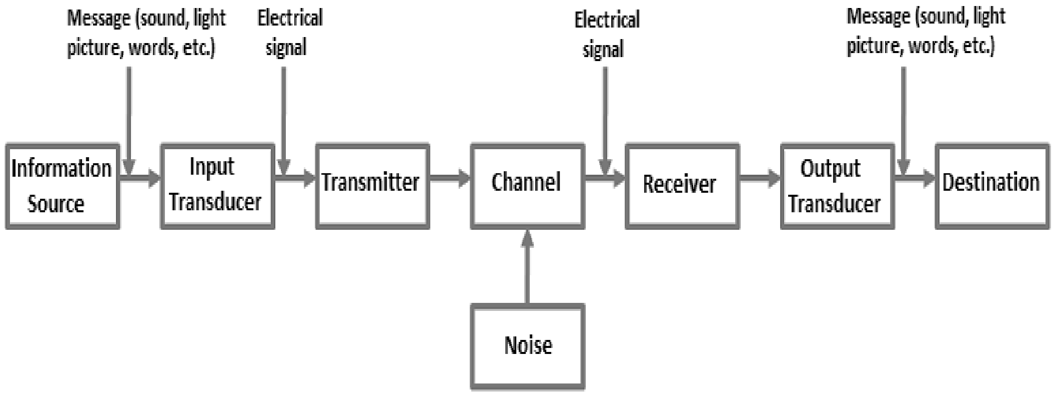
आकृती क्र.1.4: टाइम डोमेनमध्ये डिजिटल संदेश

ॲनालॉग आणि डिजिटल संदेशची तुलना करा

ॲनालॉग संदेश	डिजिटल संदेश
ॲनालॉग संदेश सतत वेळेनुसार बदलत असतो	डिजिटल संदेश मध्ये दोन किंवा अधिक अवस्था असतात आणि बायनरी स्वरूपात असतात
नोइज चा सहज परिणाम होतो	हे स्थिर आणि कमी नोइज प्रवण आहेत
ॲनालॉग संदेश अधिक शक्ति वापरतात	डिजिटल संदेश कमी शक्ति वापरतात

1.3 ॲनालॉग संचार प्रणालीचा ब्लॉक डायग्राम आणि प्रत्येक ब्लॉकचे कार्य (Block diagram of analog communication system and operation of each block)

ब्लॉक डायग्राम



आकृती क्र.1.5: ॲनालॉग संचार सिस्टम

माहिती स्रोत (Information Source):

स्त्रोताद्वारे उत्पन्न केलेली माहिती ध्वनी (मानवी भाषण), चित्र (प्रतिमा स्त्रोत), शब्द (काही विशिष्ट भाषेतील साधा मजकूर जसे की इंग्रजी, फ्रेंच, जर्मन) या स्वरूपात असू शकते.

उदाहरणार्थ, जर तुम्ही तुमच्या मित्राशी फोनवर बोलत असाल, तर तुम्हाला माहितीचा स्रोत मानला जातो जो आवाजाच्या स्वरूपात माहिती निर्माण करतो.

इनपुट ट्रान्सड्यूसर:

ट्रान्सड्यूसर हे असे उपकरण आहे की जे एका प्रकारची उर्जा किंवा संदेश दुसऱ्या प्रकारच्या उर्जेच्या किंवा संदेशमध्ये रूपांतरित करते. ट्रान्सड्यूसर हे संचार प्रणालीच्या इनपुट बाजूला आणि आउटपुट बाजूला असतो.

संचार प्रणालीच्या इनपुट बाजूला उपस्थित असलेल्या ट्रान्सड्यूसरला इनपुट ट्रान्सड्यूसर म्हणतात. सामान्यतः, इनपुट ट्रान्सड्यूसर अविद्युत (non-electrical) संदेश (ध्वनी संदेश किंवा प्रकाश संदेश) विद्युत संदेशमध्ये रूपांतरित करतो.

इनपुट ट्रान्सड्यूसरचे सर्वोत्तम उदाहरण म्हणजे मायक्रोफोन जे माहिती स्रोत आणि ट्रान्समीटर विभाग दरम्यान ठेवले आहे. मायक्रोफोन हे असे उपकरण आहे जे तुमचे व्हॉइस संदेश (ध्वनी संदेश) विद्युत संदेश मध्ये रूपांतरित करते.

ट्रान्समीटर:

ट्रान्समीटर हे एक साधन आहे जे स्त्रोताद्वारे तयार केलेल्या संदेशला दिलेल्या चॅनेल किंवा माध्यमावर प्रसारित करण्यासाठी योग्य असलेल्या स्वरूपात रूपांतरित करते. विद्युत संदेश ला दिलेल्या चॅनेल किंवा माध्यमावर प्रसारित करण्यासाठी योग्य असलेल्या स्वरूपात रूपांतरित करण्यासाठी ट्रान्समीटर मॉड्यूलेशन नावाचे तंत्र वापरतात.
मॉड्युलेशन हे ट्रान्समीटरचे मुख्य कार्य आहे.

संचार वाहक:

संचार वाहक चॅनेल हे एक माध्यम आहे ज्याद्वारे संदेश प्रवास करतो. संचार वाहक चॅनेल हे वायर्ड किंवा वायरलेस माध्यम आहे जे स्त्रोत (ट्रान्समीटर) पासून गंतव्यस्थानावर (रिसीव्हर) संदेश पाठवण्यासाठी वापरले जाते.
वायर्ड चॅनेलच्या काही उदाहरणांमध्ये सह-अक्षीय (Co-axial) केबल्स, फायबर ऑप्टिक केबल्स आणि ट्विस्टेड जोडी टेलिफोन लाईन्स समाविष्ट आहेत. वायरलेस चॅनेलची उदाहरणे म्हणजे हवा, पाणी आणि व्हॅक्यूम.

नॉईझ (Noise):

आवाज हा एक अवांछित (unwanted) संदेश आहे जो संचार चॅनेलद्वारे संचार प्रणाली मध्ये प्रवेश करतो आणि प्रसारित संदेश मध्ये हस्तक्षेप करतो. नॉईझ संदेश (अवांछित संदेश) प्रसारित संदेश (माहिती असलेले संदेश) खराब करते.

रिसीव्हर (Receiver):

रिसिव्हरचे मुख्य कार्य म्हणजे विकृत प्राप्त (distorted) संदेशमधून संदेश संदेशचे विद्युत स्वरूपात पुनरुत्पादन (reproduced) करणे. मूळ संदेशचे हे पुनरुत्पादन एका प्रक्रियेद्वारे केले जाते त्याला डिमॉड्युलेशन किंवा डिटेक्शन म्हणून ओळखले जाते.
डिमोड्युलेशन ही ट्रान्समीटरमध्ये चालणारी मॉड्युलेशनची उलट प्रक्रिया आहे.

आउटपुट ट्रान्सड्यूसर:

संचार प्रणालीच्या आउटपुट बाजूस उपस्थित असलेल्या ट्रान्सड्यूसरला आउटपुट ट्रान्सड्यूसर म्हणतात. सामान्यतः, आउटपुट ट्रान्सड्यूसर इलेक्ट्रिकल संदेशला नॉन-इलेक्ट्रिकलमध्ये रूपांतरित करतो (ध्वनी संदेश, प्रकाश संदेश किंवा ध्वनी आणि प्रकाश दोन्ही)
आउटपुट ट्रान्सड्यूसरचे सर्वोत्तम उदाहरण म्हणजे लाऊडस्पीकर जो रिसीव्हर विभाग आणि गंतव्यस्थान (रिसीव्हर) (destination) दरम्यान ठेवलेला असतो.
लाउडस्पीकर इलेक्ट्रिकल संदेशचे ध्वनी संदेशमध्ये रूपांतर करतो जे गंतव्यस्थानावरील मानवांना सहज समजू शकतात

गंतव्यस्थान (रिसीव्हर) (Destination):

संचार व्यवस्थेतील अंतिम टप्पा म्हणजे गंतव्यस्थान (रिसीव्हर). साधारणपणे, काही ठिकाणी मानवांना गंतव्यस्थान (रिसीव्हर) मानले जाते. उदाहरणार्थ, रेडिओ प्रसारणामध्ये, गंतव्यस्थान (रिसीव्हर) एक ध्वनिप्रक्षेपक (loud speaker) आहे जो ट्रान्सड्यूसर म्हणून काम करतो म्हणजेच मूळ ध्वनी संदेशच्या स्वरूपात विद्युत संदेश रूपांतरित करतो. गंतव्यस्थान (रिसीव्हर) एक अशी जागा आहे जिथे मानव माहिती वापरतात. उदाहरणार्थ, तुम्ही टीव्ही पाहत असाल तर तुम्हाला गंतव्यस्थान (रिसीव्हर) मानले जाते.

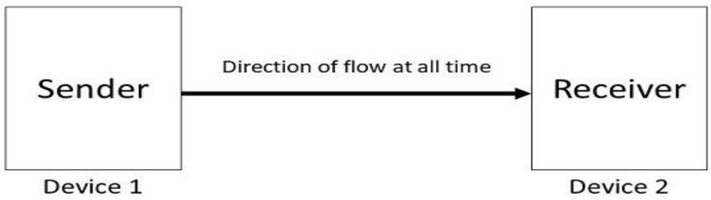
1.4 ट्रान्समिशन मोड (Transmission modes):

ट्रान्समिशन मोड दोन जोडलेल्या जोडलेल्या उपकरणांमधील संदेश प्रवाहाची दिशा परिभाषित करतो.

माहितीच्या देवाणघेवाणीच्या दिशेवर आधारित डेटा ट्रान्समिशन मोड खालील तीन प्रकारांमध्ये वैशिष्ट्यीकृत केले जाऊ शकतात: सिम्प्लेक्स, हाफ डुप्लेक्स आणि फूल डुप्लेक्स.

सिम्प्लेक्स मोड:

सिम्प्लेक्स ट्रान्समिशन मोडमध्ये, प्रेषक (Sender) आणि रिसीव्हर (Receiver) यांच्यातील संवाद फक्त एकाच दिशेने होतो. प्रेषक फक्त डेटा पाठवू शकतो आणि रिसीव्हर फक्त डेटा प्राप्त करू शकतो. रिसीव्हर प्रेषकाला डेटा पाठवू शकत नाही.

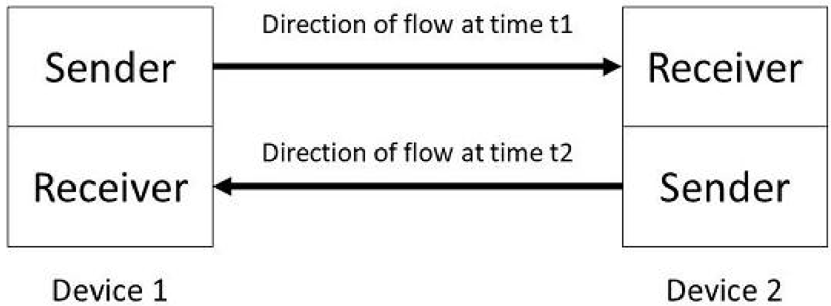


आकृती क्र.1.6: सिम्प्लेक्स मोड

उदाहरणार्थ: व्यावसायिक रेडिओ प्रसारण (AM, FM, TV), केबल टीव्ही,कीबोर्ड

हाफ डुप्लेक्स मोड:

प्रेषक आणि रिसीव्हर यांच्यातील संवाद हाफ डुप्लेक्स ट्रान्समिशनमध्ये दोन्ही दिशांना होतो, परंतु एका वेळी एकच. प्रेषक आणि रिसीव्हर दोघेही माहिती पाठवू आणि प्राप्त करू शकतात, परंतु कोणत्याही वेळी फक्त एकाला पाठवण्याची परवानगी आहे.

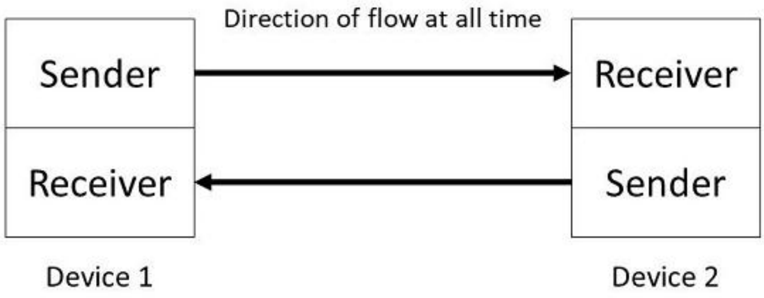


आकृती क्र.1.7: हाफ डुप्लेक्स मोड

उदाहरणार्थ: वॉकी-टॉकी, एमॅचुअर रेडिओ, लष्करी संप्रेषण

फुल डुप्लेक्स मोड:

फुल डुप्लेक्स ट्रान्समिशन मोडमध्ये, प्रेषक आणि रिसीव्हर यांच्यातील संवाद एकाच वेळी होऊ शकतो. प्रेषक आणि रिसीव्हर दोन्ही एकाच वेळी प्रसारित आणि प्राप्त करू शकतात.



आकृती क्र.1.8: फुल डुप्लेक्स मोड

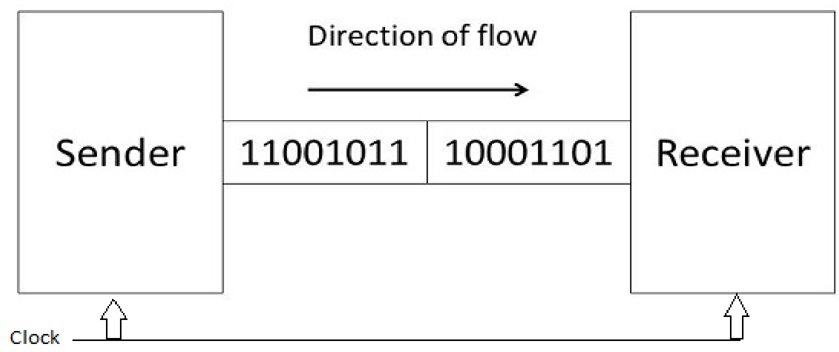
उदाहरणार्थ: टेलिफोन संभाषण, इंटरनेट.

सिंक्रोनस मोड (Synchronous Mode):

सिंक्रोनस ट्रान्समिशन मोड हा संचार चा एक मोड आहे ज्यामध्ये कोणत्याही स्टार्ट/स्टॉप बिट किंवा त्यांच्या दरम्यान अंतर न ठेवता बिट एकामागून एक पाठवले जातात.

वास्तविक, प्रेषक आणि रिसीव्हर दोघेही एकाच सिस्टीम क्लॉकने (System clock) वेगवान असतात. अशा प्रकारे, सिंक्रोनाइझेशन साध्य केले जाते.

उदाहरणार्थ, CPU, RAM, इ.



आकृती क्र.1.9: सिंक्रोनस मोड

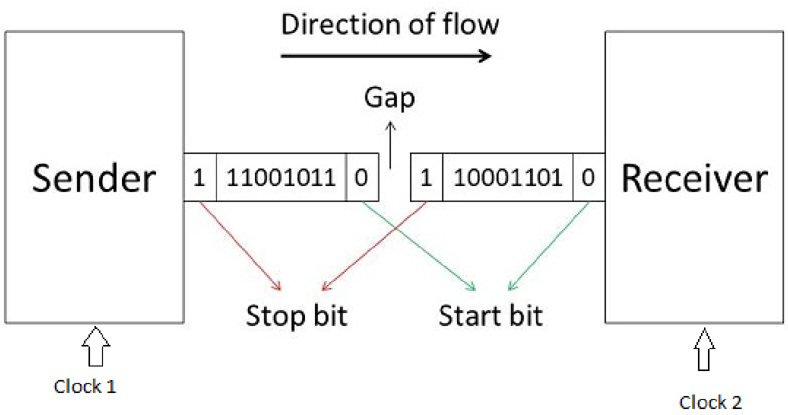
असिंक्रोनस मोड (Asynchronous Mode)

असिंक्रोनस ट्रान्समिशन मोड हा संप्रेषणाचा एक मोड आहे ज्यामध्ये प्रसारणादरम्यान संदेशामध्ये प्रारंभ आणि स्टॉप बिट सादर केला जातो.

प्रेषक आणि रिसीव्हर दोघेही वेगवेगळ्या घड्याळात कार्य करतात त्यामुळे प्रसारणात विलंब होऊ शकतो

स्टार्ट आणि स्टॉप बिट हे सुनिश्चित करतात की डेटा प्रेषकाकडून प्राप्तकर्त्याकडे योग्यरित्या प्रसारित केला जातो.

उदाहरणार्थ कीबोर्डवरून संगणकावर डेटा इनपुट.



आकृती क्र.2.0: असिंक्रोनस मोड

1.5 नॉईझ (Noise):

- संचार प्रणालीतील नॉईझ हे मुळात अवांछित(undesirable) किंवा अवांछित (unwanted) संदेश असतात जे प्रत्यक्ष माहिती वाहून नेणाऱ्या संदेश मध्ये याद्दच्छिकपणे जोडले जातात. परिणामी, एका टोकापासून दुसऱ्या टोकापर्यंत प्रसारित होणाऱ्या मूळ संदेशमध्ये अडथळा निर्माण होतो.
- सिस्टीममध्ये नॉईझ च्या उपस्थितीमुळे संदेश प्रसारित करण्यात व्यत्यय येतो आणि यामुळे शेवटी संचार प्रणालीमध्ये त्रुटी निर्माण होतात.

आवाजाचे स्रोत (Sources of noise):

1.बाह्य नॉईझ (External Noise)
2.अंतर्गत नॉईझ (Internal Noise)

1. बाह्य नॉईझ (External Noise)

- बाह्य आवाजामध्ये नैसर्गिक (Natural) आवाज आणि मानवनिर्मित(man-made) आवाज यांचा समावेश होतो.

a) नैसर्गिक नॉईझ:

नैसर्गिक घटना किंवा सौर ज्वाला, अवकाशातील रेडिएशन, अनूविधुत वादळे इत्यादी वातावरणातील क्रियांमुळे नैसर्गिक आवाज निर्माण होतो.

b) मानवनिर्मित नॉईझ:

- या प्रकारच्या बाह्य आवाजाला औद्योगिक आवाज असेही म्हणतात. हे मुळात विद्युतीय आवाज आहेत जे वापरल्या जाणाऱ्या सर्किटच्या झीजमुळे निर्माण होतात. मानवनिर्मित आवाज स्त्रोत म्हणजे इलेक्ट्रिक मोटर्स, उच्च प्रवाह सर्किट्स, फ्लोरोसेंट दिवे स्विच गियर इ.

- जेव्हा ही यंत्रे चालतात तेव्हा आर्क डिस्चार्ज (arc discharge) होतो आणि हा डिस्चार्ज संचार प्रणालीमध्ये नॉईझ संदेश तयार करतो.
- मानवनिर्मित आवाजाची वारंवारता स्पेक्ट्रम 1 MHz ते 600 MHz दरम्यान असते

2. अंतर्गत नॉईझ (Internal Noise)

- अंतर्गत आवाज हा मूलभूत आवाज आहे जो सिस्टममध्येच सामील असलेल्या इलेक्ट्रॉनिक उपकरणांद्वारे निर्माण होतो. त्यांना असे म्हटले जाते कारण ते प्रणालीचा अविभाज्य भाग आहेत.

अंतर्गत आवाजाचे प्रकार

1. थर्मल नॉईझ 2. शॉट नॉईझ 3. फ्लिकर नॉईझ 4. ट्रान्झिट टाइम नॉईझ

1. थर्मल नॉईझ:

जॉन्सन-नायक्विस्ट आवाज (बहुधा थर्मल नॉइज) हा अपरिहार्य असतो आणि चार्ज वाहकांच्या (सामान्यत: अनूविधुत) रेन्दुम थर्मल मोशनद्वारे विद्युत वाहकाच्या आत निर्माण होतो, जो कोणत्याही लागू विद्युत दाब ची पर्वा न करता घडतो.

2.शॉट नॉईझ:

नॉईझ चा सर्वात सामान्य प्रकार म्हणजे शॉट आवाज. ट्रान्झिस्टरमधील कलेक्टर किंवा ड्रेन सारख्या आउटपुट घटकावर इलेक्ट्रॉन किंवा होल रेन्दुम आगमनाने शॉट नॉईझ तयार होतो.
हे उपकरणातील खंडित झाल्यामुळे PN जंक्शन ओलांडून इलेक्ट्रॉन किंवा होल रेन्दुम हालचालींद्वारे देखील तयार केले जाते.

3.फ्लिकर नॉईझ:

फ्लिकर नॉइज किंवा मॉड्युलेशन नॉइज हा कमी ऑडिओ फ्रिक्वेन्सीवर चालणाऱ्या ट्रान्झिस्टरमध्ये दिसतो.
हे उत्सर्जक (Junction) प्रवाह आणि जंक्शन तापमानाच्या प्रमाणात आहे.

4. ट्रान्झिट टाइम नॉईझ:

ट्रान्झिट टाइम नॉईझ हा ट्रान्झिस्टरमध्ये आढळते. इनपुटमधून आउटपुटपर्यंत पोहोचण्यासाठी इलेक्ट्रॉन किंवा होल ने घेतलेला कालावधी आहे. उच्च वारंवारतेने संक्रमण वेळ वाढतो आणि समस्या उद्भवू शकते

संदेश ते नॉइज गुणोत्तर:

संदेश-टू-नॉईझ गुणोत्तर संदेश शक्तीच्या पातळीची तुलना नॉइज शक्तीच्या पातळीशी करते. हे बहुतेक वेळा डेसिबल (dB) चे मोजमाप म्हणून व्यक्त केले जाते

नॉइज फिगर (Noise Figure):

नॉइज फिगर म्हणजे वास्तविक रिसीव्हरच्या ध्वनी आउटपुट आणि "आदर्श"(ideal) रिसीव्हरच्या आवाज आउटपुटमधील डेसिबल (dB) मधील फरक.

1.6 भारतातील प्राचीन संपर्क पद्धत (Ancient communication method in India)

संवादाचे गैर-मौखिक स्वरूप (non-verbal form of communication)

ड्रम आवाज (drum sound):

एखाद्या व्यक्तीला चालता किंवा घोडा चालवता येण्याइतपत वेगाने खेड्यापाड्यातून तपशीलवार संदेश पाठवण्यासाठी ड्रमचा वापर केला जात असे. टॉकिंग ड्रमचा आवाज 4 ते 5 मैलांपर्यंत पोहोचू शकतो. या ड्रममध्ये पोकळ चेंबर्स आणि लांब, अरुंद छिद्रे असतात जे त्यांना आदळल्यावर गुंजतात.

कबुतरांचे संदेशवाहक (Messenger pigeons):

कबूतर त्यांच्या नैसर्गिक घरी येण्याच्या क्षमतेमुळे संदेशवाहक म्हणून प्रभावी आहेत. कबूतरांना पिंजऱ्यात एका गंतव्यस्थानावर नेले जाते, जिथे ते संदेशांसह जोडलेले असतात, नंतर कबूतर नैसर्गिकरित्या त्याच्या घरी परत जाते जिथे रिसीव्हर संदेश वाचू शकतो.

धुराचे संकेत (smoke signals):

हा एक प्रकारचा व्हिज्युअल संचार आहे जो लांब अंतरावर वापरला जातो. सामान्यत: धुराचे संकेत बातम्या प्रसारित करण्यासाठी, धोक्याचे संकेत देण्यासाठी किंवा सामान्य भागात लोकांना एकत्र करण्यासाठी वापरले जातात.

स्वाध्याय:(SELF-LEARNING)(Self-learning)

1.खालील वारंवारता बँड चे वारंवारता आणि अनुप्रयोग सांगा

a.उच्च वारंवारता b.खूप उच्च वारंवारता c.अल्ट्रा उच्च वारंवारता

2. टाइम आणि वारंवारता डोमेनमध्ये ॲनालॉग संदेश काढा

3.ॲनालॉग संचार प्रणाली चा ब्लॉक डायग्राम काढून प्रत्येक ब्लॉकचे कार्य स्पष्ट करा

4. हाफ आणि फुल डुप्लेक्स ट्रान्समिशन मोड व्यवस्थित आकृतीसह स्पष्ट करा

5.अंतर्गत आणि बाह्य नॉईझ स्पष्ट करा

6.संदेश ते ध्वनी नॉईझ गुणोत्तर आणि नॉइज फिगर ची व्याख्या परिभाषित करा

लघूप्रकल्प (Microproject)

1. वॉकी टॉकी सर्किट बनवा
2. सिम्प्लेक्स आणि डुप्लेक्स ट्रान्समिशन मोडसाठी प्रात्यक्षिक किट तयार करा.
3. इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक स्पेक्ट्रमवर तक्ता बनवा

संदर्भ:

Sr. no.	Author	Title	Publisher with ISBN Number
1	Tomasi W.	Electronic Communication System	Pearson Education India, New Delhi,ISBN:9780130221254
2	George kennedy	Electronics and Communication Engineering	TATA Mc- Graw Hill, New Delhi,ISBN:9780071077828

वेबसाइट्:

1.https://www.pace.edu.in/img/course/BE_&_CE_Module4.pdf

2. https://www.javatpoint.com/analog-communication

युनिट-2

ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेशन

(Amplitude Modulation)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

एएम (AM) आधारित संचार प्रणाली राखणे

Maintain AM based communication system.

युनिट निष्पत्ती (Unit Outcomes):

2.a मॉड्यूलेशनची व्याख्या परिभाषित करा आणि त्याची आवश्यकता द्या.

Define modulation and give its need.

2.b एएम (AM) सिग्नलच्या दिलेल्या वैशिष्ट्येचे रेखाकृतीसह वर्णन करा.

Describe with sketches the given parameters of AM signal.

2.c दिलेल्या AM सिग्नलच्या मॉड्युलेशन इंडेक्स आणि मॉड्युलेटेड सिग्नल शक्तीची गणना करा.

Calculate modulation index and modulated signal power of the given AM signal.

2.d दिलेल्या AM डिटेक्टशन पद्धतीच्या कार्याचे वर्णन करा.

Describe working of the given type of AM detection method.

2.e सुपर हेटरोडाइन रिसीव्हरच्या प्रत्येक ब्लॉकच्या कार्याचे वर्णन करा.

Describe working of each block of super heterodyne receiver.

परिचय:

ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेशन (एएम (AM)) हे इलेक्ट्रॉनिक संचारमध्ये वापरले जाणारे मॉड्युलेशन तंत्र आहे, सामान्यतः रेडिओ वेव्हसह संदेश प्रसारित करण्यासाठी. ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेशनमध्ये, तरंगाचे ॲम्प्लिट्यूड (सिग्नल सामर्थ्य) संदेश सिग्नलच्या प्रमाणात भिन्न असते, जसे की ऑडिओ सिग्नल. हे तंत्र ॲन्गल मॉड्युलेशनशी विरोधाभास आहे, ज्यामध्ये एकतर वाहक लहरीची वारंवारता भिन्न असते, वारंवारता मॉड्युलेशन प्रमाणे किंवा तिचा फेज मॉड्युलेशन प्रमाणे. रेडिओ प्रसारणमध्ये ऑडिओ प्रसारित करण्यासाठी AM ही सर्वात जुनी मॉड्युलेशन पद्धत होती.

सर्वसाधारणपणे, ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेशन व्याख्या ही एक प्रकारची मॉड्युलेशन म्हणून दिली जाते जिथे वाहक लहरींचे ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेटिंग डेटा किंवा सिग्नलच्या संदर्भात काही प्रमाणात बदलते.

2.1 मॉड्युलेशन म्हणजे काय?

मॉड्यूलेशन व्याख्या:

मॉड्युलेशन ही प्रक्रिया आहे ज्याद्वारे कॅरीयरची काही वैशिष्ट्य (ॲम्प्लिट्यूड, वारंवारता(frequency) किंवा फेज). इनपुट (बेसबँड सिग्नल) च्या ॲम्प्लिट्यूडनुसार बदलली जातात.

1.ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेशन (AM) मध्ये, कॅरीयरची ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेटिंग सिग्नलच्या ॲम्प्लिट्यूडनुसार बदलली जाते

2.वारंवारता मॉड्युलेशन (FM) मध्ये, कॅरीयरची वारंवारता(frequency) मॉड्युलेटिंग सिग्नलच्या म्प्लिट्यूडनुसार बदलली जाते

3. फेज मॉड्युलेशन (पीएम) मध्ये, कॅरीयरचा फेज मॉड्युलेटिंग सिग्नलच्या ॲम्प्लिट्यूडनुसार बदलला जातो.

2.1.1 मॉड्युलेशनची गरज:

संदेश(message) सिग्नल्सची वारंवारता(frequency) खूप कमी असते ज्यामुळे हे सिग्नल लांब अंतरावर प्रसारित केले जाऊ शकत नाहीत. त्यामुळे असे कमी-वारंवारताचे संदेश उच्च-वारंवारताच्या कॅरीयर सिग्नलने मॉड्युलेट केले जातात.

1. ऍन्टीनाची उंची कमी केली जाते: जेव्हा आपण रेडिओ सिग्नल प्रसारित करतो तेव्हा ऍन्टीनाची उंची $\lambda/4$ च्या एकाधिक(multiples)असणे आवश्यक आहे.

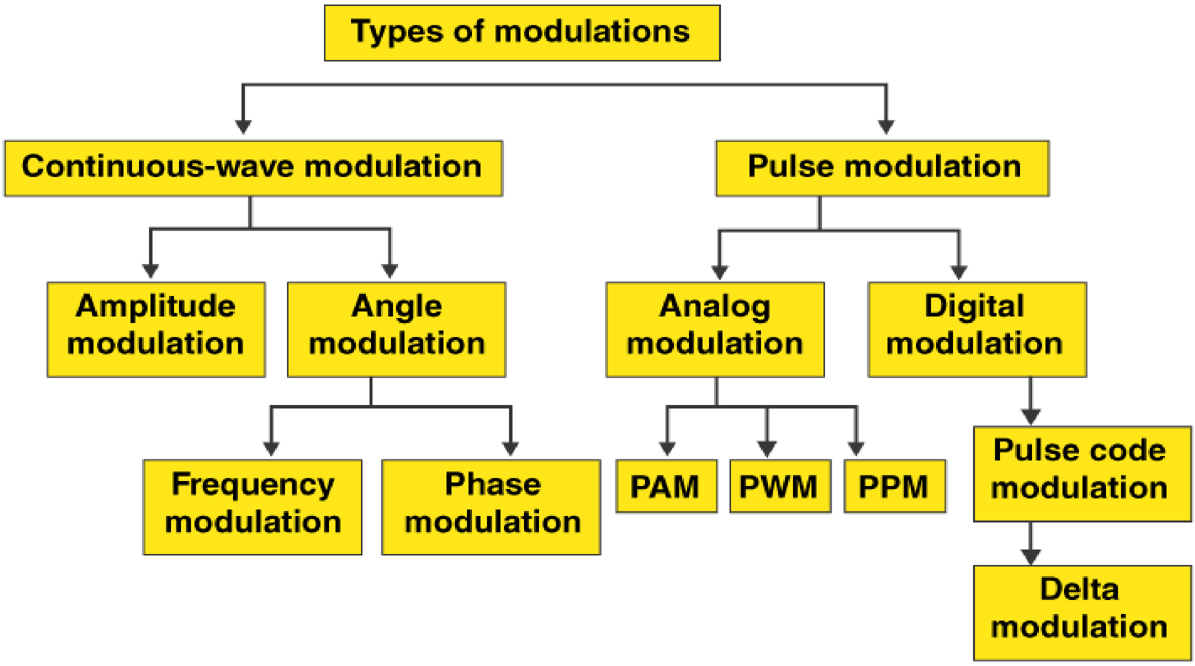
जेथे λ ही तरंगलांबी आहे ज्याचे मूल्य $\lambda = c/f$ आहे. λ हा प्रकाशाचा(light) वेगाच्या थेट प्रमाणात असतो आणि सिग्नल वारंवारताच्या उलट प्रमाणात असतो. याचा अर्थ असा की उच्च वारंवारतासाठी λ चे कमी मूल्य असेल ज्यामुळे अँटेनाची उंची कमी होईल. अशा प्रकारे मॉड्युलेशन मुळे ऍन्टीनाची उंची कमी होते.

1. **सिग्नल्सचे मिश्रण टाळते:** हे विविध सिग्नल्सचे मिश्रण टाळते. समजा आपण एकाधिक ट्रान्समीटरद्वारे काही बेसबँड सिग्नल प्रसारित केले आहे ते सर्व सिग्नल सारखेच वारंवारता बँड म्हणजेच 0 ते 20 KHz मधील सिग्नल असतील आणि यां सर्व सिग्नलचे मिश्रण होते आणि प्राप्तकर्त्या त्यांना वेगळे करण्यास सक्षम नाही. परंतु जर आपण सर्व सिग्नल वेगवेगळ्या कॅरीयरसह मॉड्युलेट केले तर सिग्नल्सची वारंवारता श्रेणी भिन्न असेल जेणेकरून ते गंतव्यस्थानावर(destination) सहजपणे वेगळे केले जाऊ शकतात.

3. श्रेणीत वाढ: कमी-वारंवारता संदेश सिग्नलमध्ये आणखी एक कमतरता आहे जी तो ट्रान्समिशन दरम्यान जास्त अंतराचा प्रवास करू शकत नाही. कारण जास्त अंतराच्या ट्रान्समिशन दरम्यान सिग्नल कमी होतो. तथापि, जर सिग्नल्सची वारंवारता(frequency)वाढवल्यास क्षीणन(attenuation) कमी होते ज्यामुळे डेटा ट्रान्समिशनची श्रेणी वाढते.

4. मल्टीप्लेक्सिंग करता येते: मॉड्युलेशन मल्टीप्लेक्सिंग शक्य करते. मल्टिप्लेक्सिंगद्वारे, एकाच वेळी विविध सिग्नल प्रसारित करण्यासाठी समान चॅनेल वापरू शकतो. पण ते फक्त यशस्वी होते जेव्हा सिग्नल मॉड्युलेट केले जाते कारण मॉड्युलेशन सिग्नलला भिन्न वारंवारता श्रेणी प्रदान करते. ज्यामुळे ते एकाच वेळी एकाच वाहिनीद्वारे प्रसारित केले जाऊ शकतात.

2.2 मॉड्युलेशन तंत्राचे प्रकार:



आकृती क्रमांक 2.1: मॉड्युलेशन तंत्राचे वर्गीकरण

2.2.1 ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेशन (AM):

व्याख्या: ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेशन हा एक प्रकारचा मॉड्युलेशन आहे जेथे कॅरीयर सिग्नलचे ॲम्प्लिट्यूड संदेश सिग्नलच्या ॲम्प्लिट्यूड प्रमाणे बदललेला असतो तर वारंवारता(frequency) आणि कॅरीयर सिग्नलचा फेज स्थिर राहतो. सध्या, हे तंत्र संप्रेषणाच्या अनेक क्षेत्रांमध्ये वापरले जाते जसे की पोर्टेबल टू-वे रेडिओ सिटीझन बँड रेडिओ, VHF ऐयरक्राफ्ट रेडिओ आणि मोडेममध्ये संगणकासाठी. ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेशनचा वापर मध्यम लहर AM रेडिओ प्रसारणाचा उल्लेख करण्यासाठी देखील केला जातो.

i) मॉड्युलेशन वारंवारता(frequency):

मॉड्युलेशन वारंवारता(frequency) हि संदेश सिग्नलची कमी श्रेणीची वारंवारताआहे.

उदाहरणार्थ: आवाज, संगीत, चित्रे किंवा डेटा या माहितीची सिग्नल वारंवारता असते.

ii) कॅरीयर वारंवारता(frequency):

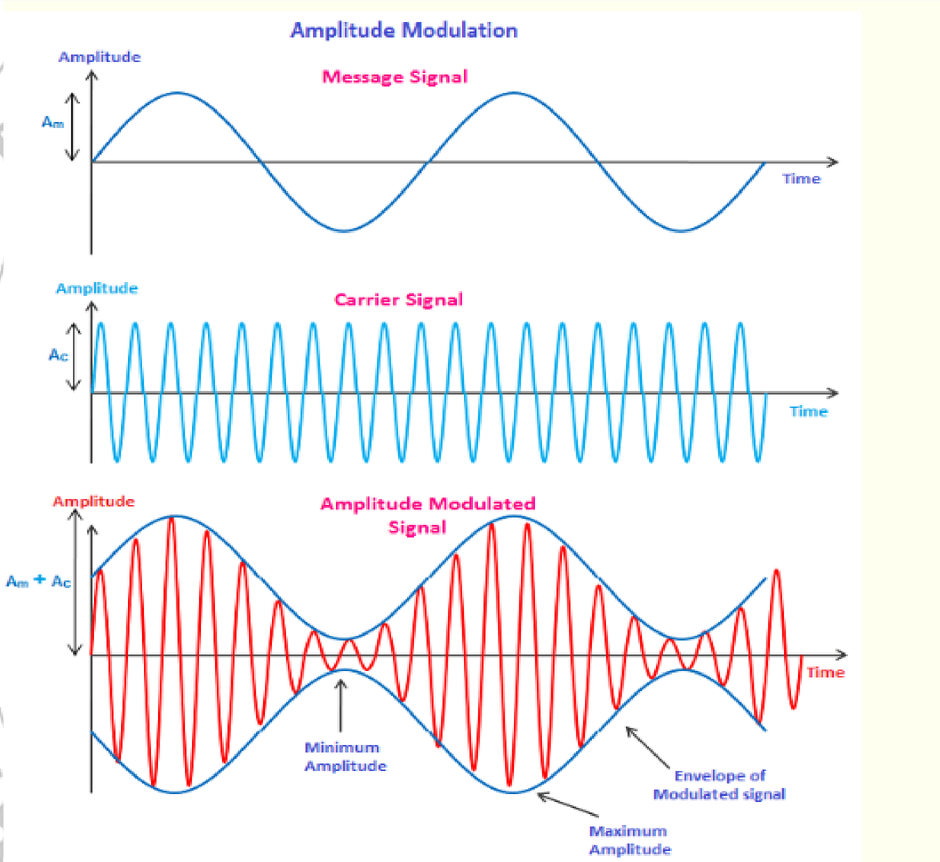
ज्या सिग्नलमध्ये कोणतीही माहिती नसते परंतु विशिष्ट फेज, वारंवारता(frequency) आणि ॲम्प्लिट्यूड असतात त्यांना कॅरीयर सिग्नल म्हणतात. कॅरीयरची वारंवारता(frequency) हि संदेश सिग्नलच्या वारंवारता(frequency) पेक्षा जास्त असते.

iii) AM मॉड्युलेशन इंडेक्स:

ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेशन इंडेक्सची व्याख्या:

ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेशन इंडेक्स हे संदेश सिग्नलचे कमाल ॲम्प्लिट्यूड ते कॅरीयर सिग्नलचे कमाल ॲम्प्लिट्यूडचे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित करतात.

iv)ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेशनसाठी गणितीय समीकरण:



आकृती क्रमांक **2.2:** एएम **(AM))** वेव्हफॉर्म

साइनसॉइडल मॉड्युलेटिंग सिग्नल किंवा संदेश(message) सिग्नल (Vm) ची वारंवारता (ωm) आणि ॲम्प्लिट्यूड (Am) हे खाली दिलेले आहे:

Vm = Am sin ωmt.. . .... (1)

Where,

Vm हा मॉड्युलेटिंग सिग्नल आहे

Am = संदेश(message) सिग्नलचे कमाल ॲम्प्लिट्यूड

ωm = संदेश(message) सिग्नलची वारंवारता

कॅरीयर सिग्नल (Vc) ची वारंवारता (ωc) आणि ॲम्प्लिट्यूड (Ac) हे खाली दिलेले आहे:

$V_c = A_c \sin \omega ct$ .. . . . . (2)

Where,

Vc हा कॅरीयर सिग्नल आहे

Ac = कॅरीयर सिग्नलचे कमाल ॲम्प्लिट्यूड

ωc = कॅरीयर सिग्नलची वारंवारता

मॉड्युलेशन इंडेक्स किंवा मॉड्युलेशन डेप्थ हे कॅरीयर सिग्नलचे आणि संदेश सिग्नलचे ॲम्प्लिट्यूड, वारंवारता किंवा फेज मॉड्यूलेटेड सिग्नलचे ॲम्प्लिट्यूड, वारंवारता किंवा फेजवर कसे परिणाम करतो हे वर्णन करते

ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेशन इंडेक्स हे कॅरीयर सिग्नल आणि संदेश सिग्नलचे ॲम्प्लिट्यूड, ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेटेड (AM) सिग्नलचे ॲम्प्लिट्यूडवर कसे परिणाम करते हे दर्शवते.

ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेशन इंडेक्स हे संदेश सिग्नलचे कमाल ॲम्प्लिट्यूड ते कॅरीयर सिग्नलचे कमाल ॲम्प्लिट्यूडचे

गुणोत्तर म्हणून परिभाषित करतात.

मॉड्युलेशन इंडेक्स **(Mi)** = $\frac{Am}{Ac}$

Where

Am हे संदेश सिग्नलचे कमाल ॲम्प्लिट्यूड आहे

Ac हे वाहक सिग्नलचे कमाल ॲम्प्लिट्यूड आहे

$V_m = A_m \sin \omega mt$ .. . . . . (1)

$V_c = A_c \sin \omega ct$ .. . . . . (2)

ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेटेड वेव्ह (A) खालीलप्रमाणे दिलेली आहे:

$A = A_c + V_m$. . . . . . . (3)

समीकरण (1) पासून समीकरण (3) मध्ये am मूल्य ठेवा

$A = A_c + A_m \sin \omega mt$ . . . . (4)

ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेटेडचे तात्काळ मूल्य खालीलप्रमाणे दिली जाऊ शकते:

$a = A \sin \theta$

$a = A \sin \omega ct$ . . . . . (5)

Put A value from equation (4) into equation (5)

$a = (A_c + A_m \sin \omega mt) \sin \omega ct$ . . . . (6)

आपल्याला माहित आहे की

$M_i = A_m / A_c$.

म्हणून

$A_m = M_i A_c$

Am चे हे मूल्य वरील समीकरण (6) मध्ये ठेवा

$a = (Ac + Mi\ Ac \sin \omega mt) \sin \omega ct$

$a = Ac\ (1 + Mi \sin \omega mt) \sin \omega ct$

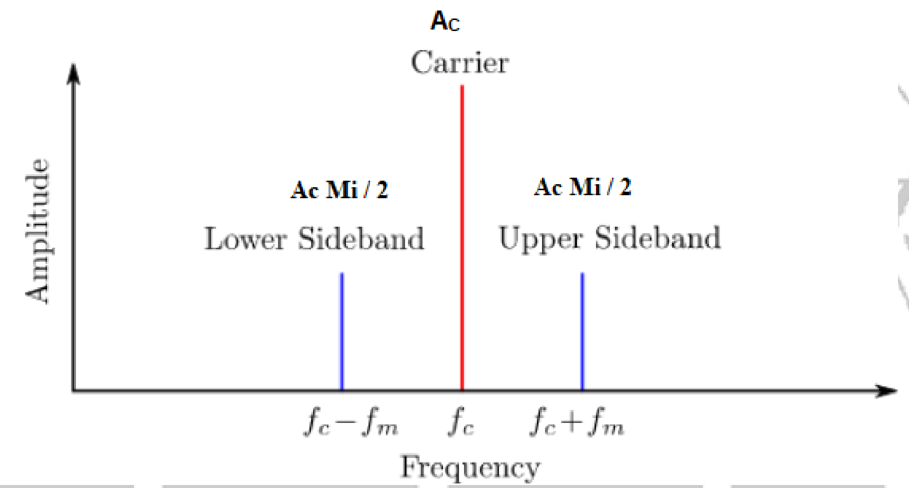
$a = Ac \sin \omega ct + Ac\ Mi \sin \omega mt \sin \omega ct$ . . . . (7)

$a = Ac \sin \omega ct + Ac\ Mi\ \frac{1}{2}\cos(\omega c - \omega m)t - Ac\ Mi\ \frac{1}{2}\cos(\omega c + \omega m)t$

$a = Ac \sin 2\Pi fc\ t + Ac\ Mi\ \frac{1}{2}\cos 2\Pi(fc - fm)t - Ac\ Mi\ \frac{1}{2}\cos 2\Pi(fc + fm)t$

$a = Ac \sin 2\Pi fc\ t + Ac\ Mi\ \frac{1}{2}\cos 2\Pi(fLSB\ \ t + Ac\ Mi\ \frac{1}{2}\cos 2\Pi(fUSB)t$

या वरील समीकरणांवरून खालील आकृतीत AM वेव्हचा वारंवारता(frequency) स्पेक्ट्रम दाखवला आहे



आकृती क्र:2.3 AM वेव्हचा वारंवारता(frequency) स्पेक्ट्रम

ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेशनची बँडविड्थ:

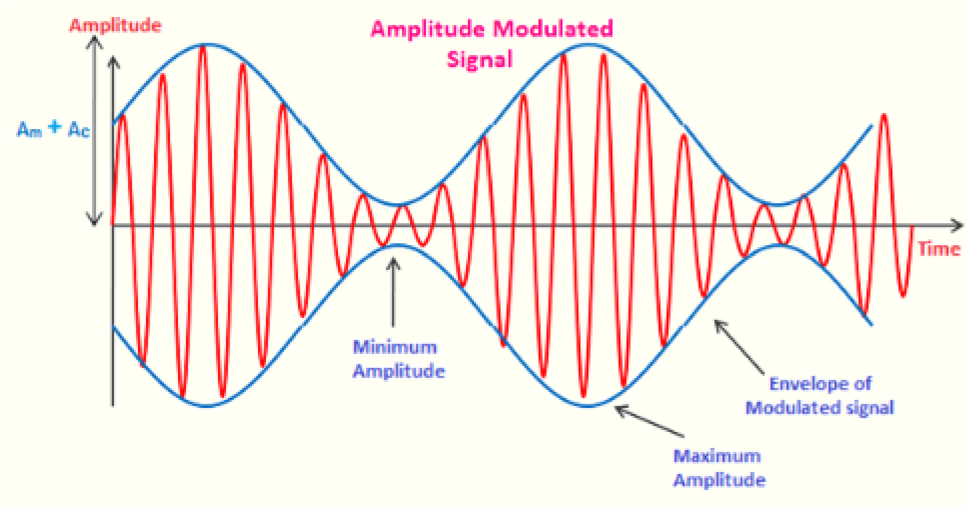
आकृतीवरून, AM वेव्हची बँडविड्थ मिळवू शकतो

$BW = f_{USB} - f_{LSB}$

$BW = (fc + fm) - (fc - fm)$

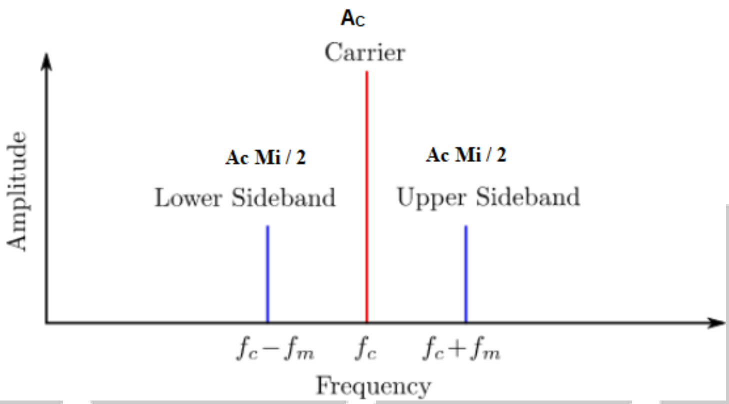
$BW = 2\ fm$

एएम (AM)) वेव्ह इन टाइम डोमेन:



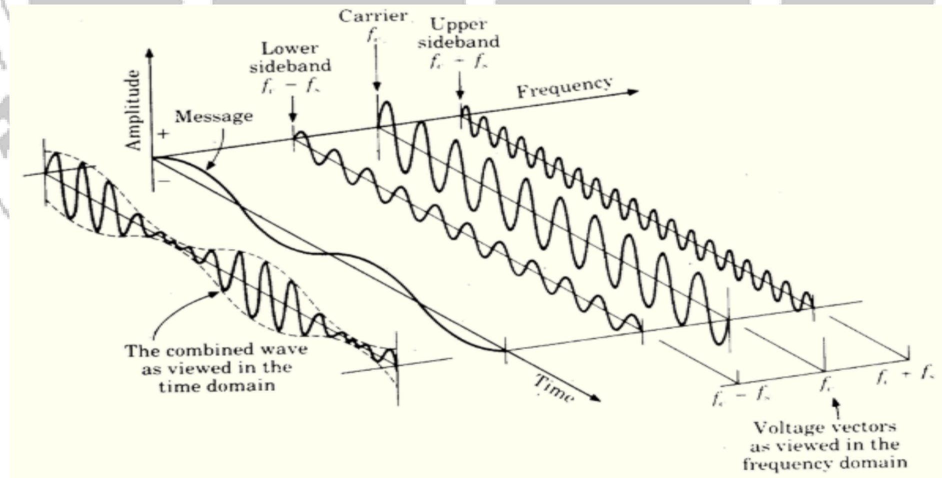
आकृती क्र:2.4 एएम (AM)) वेव्हफॉर्म इन टाइम डोमेन

एएम (AM) वेव्ह वारंवारता (Frequency) डोमेन:



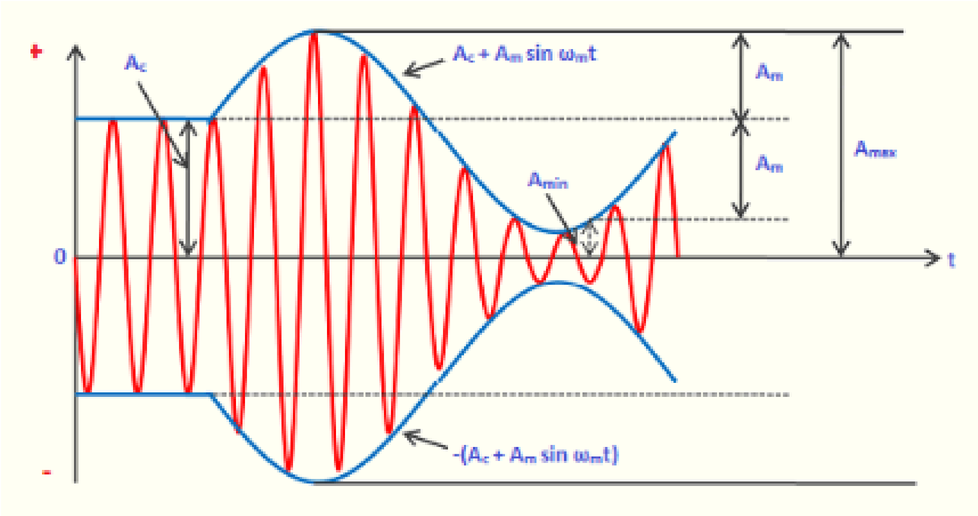
आकृती क्र:2.5 एएम (AM) वेव्ह वारंवारता (Frequency) डोमेन

एएम (AM) वेव्ह इन टाइम डोमेन आणि वारंवारता डोमेन:



आकृती क्र:2.6 एएम (AM) वेव्ह इन टाइम डोमेन आणि वारंवारता डोमेन

ऍम्प्लिट्यूड मॉड्युलेटेड पासून (AM) वेव्हफॉर्म च्या मॉड्युलेशन इंडेक्सची गणना:



आकृती क्र:2.7 ऍम्प्लिट्यूड मॉड्युलेटेड पासून (AM) वेव्हफॉर्म

$A_{max} = 2A_m + A_{min}$

$A_m = (A_{max} - A_{min}) /2$.........(1)

$A_c = A_{max} - A_m$ ....(2)

समीकरण 1 वरून समीकरण 2 मध्ये Am ची व्हॅल्यू टाका मग मिळेल

$A_c = A_{max} - (A_{max} - A_{min}) /2$.........(3)

$A_c = (A_{max} + A_{min}) / 2$ ....(4)

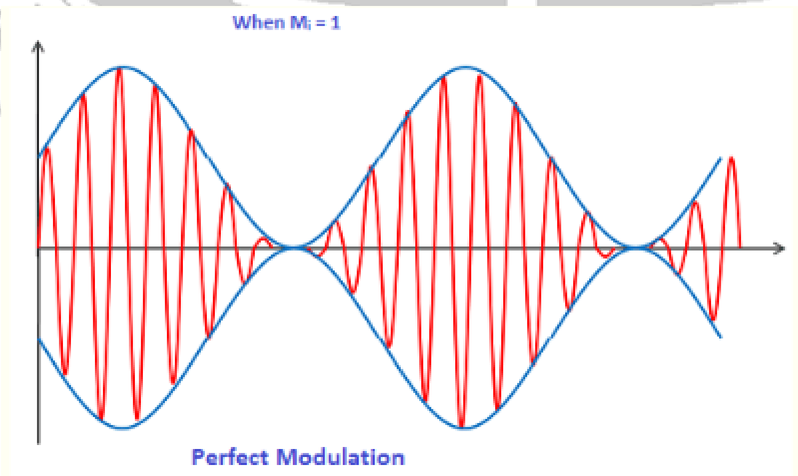
समीकरण 1 आणि समीकरण 4 चे गुणोत्तर घेतले तर आपल्याला मिळेल

$M_i = A_m / A_c$

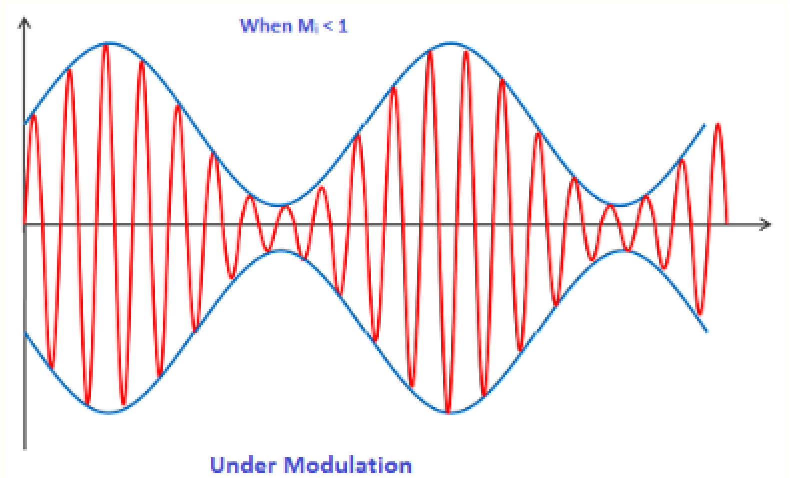
$= [(A_{max} - A_{min}) /2]/ (A_{max} + A_{min}) /2$

$M_i = (A_{max} - A_{min}) / (A_{max} + A_{min})$ ....(5)

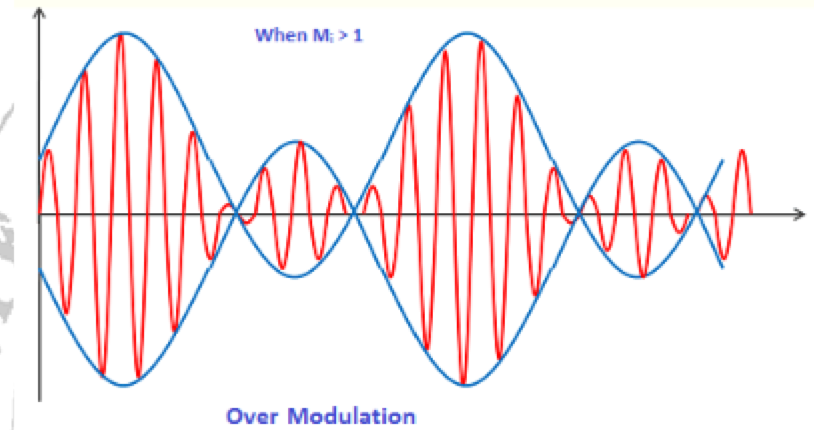
मॉड्यूलेशन डेप्थ उदाहरणे:



Am = Acच्या साठी



Am < Acच्या साठी



Am > Acच्या साठी

आकृती क्र: 2.8 "m" च्या विविध मूल्यांसाठी मॉड्यूलेशन डेप्थ वेव्हफॉर्म

वारंवारता(frequency) स्पेक्ट्रमवर आधारित AM चे प्रकार:

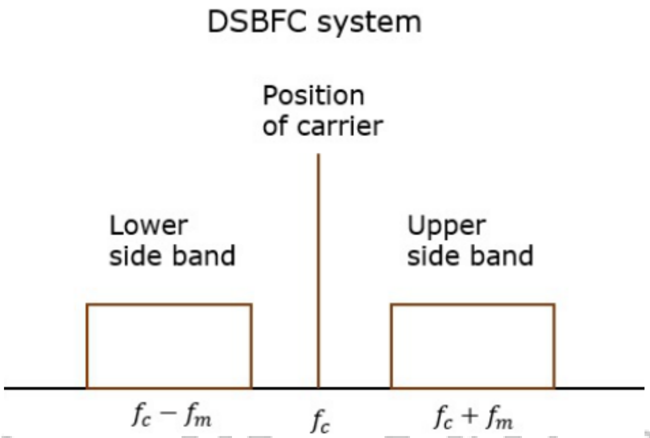
1.AM च्या दोन्ही साइडबँडमध्ये समान माहिती असते. अशा सिग्नलचे प्रसारण ज्यामध्ये दोन साइडबँडसह कॅरीयर असतो, त्याला डबल साइडबँड पूर्ण कॅरीयर प्रणाली असे म्हटले जाऊ शकते. किंवा फक्त DSB-FC.

2. जर हा कॅरीयर दाबला गेला असेल आणि बचत केलेली उर्जा दोन साइडबँडमध्ये वितरीत केली गेली असेल तर, अशा प्रक्रियेला डबल साइडबँड सप्रेस्ड कॅरियर सिस्टम किंवा फक्त DSBSC म्हणतात.

3.दोन साइडबँडपैकी एका सिंगल साइडबँडला दाबण्याची प्रक्रियाला आणि कॅरीयरसह एका सिंगल साइडबँड प्रसारित करण्याच्या प्रक्रियाला सिंगल साइडबँड सप्रेस्ड कॅरियर सिस्टम किंवा फक्त एसएसबी-SC किंवा SSB.असे म्हणतात.

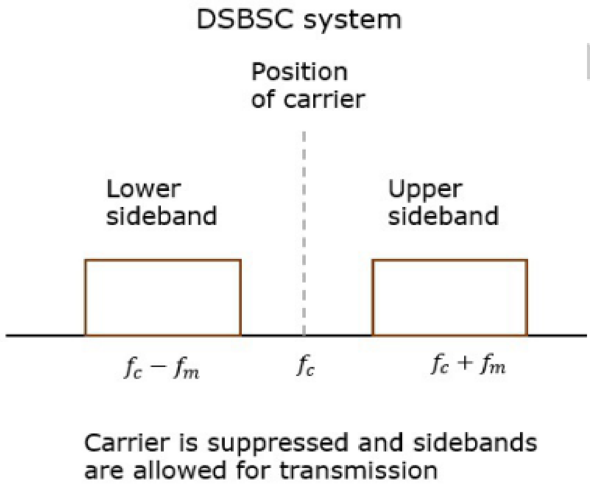
4. ही SSB-SC किंवा SSB प्रणाली, जी एक साइडबँड प्रसारित करते, त्यात उच्च पावर असते, म्हणून कॅरियर आणि इतर साइडबँडसाठी या दोन्हीसाठी पावर वाटप केलेला हा सिंगल साइडबँड(एसएसबी) ट्रान्समिट करण्यासाठी वापरला जातो.

एएम (AM) सिग्नलचे वारंवारता(frequency) स्पेक्ट्रम:



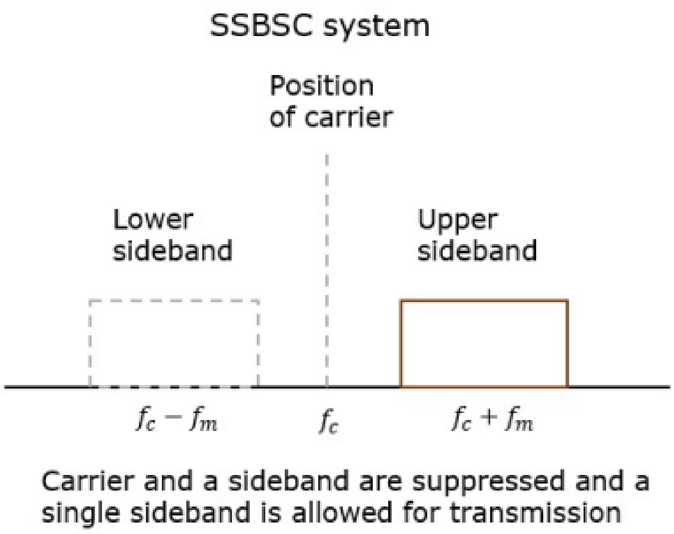
आकृती क्र:2.9 एएम (AM) सिग्नलचे वारंवारता(frequency) स्पेक्ट्रम

DSB सिग्नलचे वारंवारता(frequency) स्पेक्ट्रम:



आकृती क्र:2.10 DSB सिग्नलचे वारंवारता(frequency) स्पेक्ट्रम

एसएसबी (SSB) सिग्नलचे वारंवारता(frequency) स्पेक्ट्रम:



आकृती क्र:2.11एसएसबी (SSB) सिग्नलचे वारंवारता(frequency) स्पेक्ट्रम

एएम (AM) वेव्हमधील शक्ती(power) रिलेशन:

हे दर्शविले गेले आहे की मॉड्युलेटेड वेव्हच्या कॅरीयर घटकाचे ॲम्प्लिट्यूड हे अनमॉड्युलेटेड कॅरीयर सारखेच समान आहे. मोड्युलेटेड वेव्हमध्ये दोन साइडबँड घटकांमध्ये अतिरिक्त ऊर्जा असते.

म्हणून, मॉड्युलेटेड वेव्हमध्ये मॉड्युलेशन घेण्यापूर्वी कॅरीयरपेक्षा जास्त पावर असते. साइडबँड्सचे ॲम्प्लिट्यूड मॉड्यूलेशन इंडेक्स Vm/Vc वर अवलंबून असल्याने, असा अंदाज आहे की मॉड्युलेटेड वेव्हमधील एकूण पावर मॉड्युलेशन इंडेक्सवर देखील अवलंबून असेल. हे नाते कदाचित आता साधित केले जाऊ.

मॉड्युलेटेड वेव्हमधील एकूण पावर खाली दिल्याप्रमाणे असेल

$Pt = V^2_{carr} / R + V^2_{LSB}/R + V^2_{USB}/ R$------------(1)

येथे सर्व तीन विद्युतदाब (rms) मूल्ये आहेत (√2 पीकमध्ये रूपांतरित), आणि R हा रेझिस्टन्स आहे, (उदा., अँटेना रेझिस्टन्स), ज्यामध्ये शक्ती उत्सर्जित होते.

समीकरण 1 द्वारे अनमॉड्युलेटेड कॅरीयर शक्तीआणि साइडबँड शक्ती दिली आहे

$Pc = V^2 carr / R = (Vc/\sqrt{2})^2 / R = Vc^2 / 2R$------------(2)

तसेच

$P_{LSB} = P_{USB} = V_{SB}{}^2 / R = (mVc/2 /\sqrt{2}R)^2 = m^2Vc^2 / 8R$-------------(3)

समीकरण 1 मध्ये, समीकरण (2) आणि (3) ची मूल्य टाका

$Pt = Vc^2 / 2R + m^2 / 4 \times Vc^2 / 2R + m^2 / 4 \times Vc^2 / 2R$

$Pt = Pc + m^2 / 4 \times Pc + m^2 / 4 \times Pc$

$Pt = Pc\ (1+ m^2 / 4+m^2 / 4)$

$Pt / Pc = (1+ m^2 / 2)$ ……………… (4)

समीकरण (4) हे ॲम्प्लिट्यूड-मॉड्युलेटेड वेव्हमधील एकूण शक्ती आणि अनमोड्युलेटेड कॅरीयर शक्तीशी संबंधित आहे.

2.3 ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेशन (AM) चे उत्पादन:

एएम (AM) सिग्नल प्रसारित करणारे ट्रान्समीटर एएम (AM) ट्रान्समीटर म्हणून ओळखले जातात. हे ट्रान्समीटर एएम (AM) ब्रॉडकास्टसाठी मीडियम वेव्ह (MW) आणि शॉर्ट वेव्ह (SW) वारंवारता बँडमध्ये वापरले जातात. MW बँडमध्ये 550 KHz आणि 1650 KHz दरम्यान वारंवारता आहेत आणि SW बँडमध्ये 3 MHz ते 30 MHz पर्यंत वारंवारता आहेत. दोन प्रकारचे एएम (AM) ट्रान्समीटर जे त्यांच्या ट्रान्समिटिंग शक्तीवर आधारित वापरले जातात:

- उच्चस्तरीय एएम (AM) ट्रान्समीटर
- निम्नस्तरीय एएम (AM) ट्रान्समीटर

उच्च पातळीचे ट्रान्समीटर उच्च पातळीचे मॉड्युलेशन वापरतात आणि निम्न स्तराचे ट्रान्समीटर निम्न स्तराचे मॉड्युलेशन वापरतात. दोन मॉड्युलेशन योजनांमधील निवड AM ट्रान्समीटरच्या ट्रान्समिटिंग शक्तीवर अवलंबून असते. ब्रॉडकास्ट ट्रान्समीटर्समध्ये, जिथे ट्रान्समिटिंग शक्ती किलोवॅट्सच्या क्रमाने असू शकते तिथे उच्च स्तरीय मॉड्यूलेशन वापरले जाते. कमी शक्ती ट्रान्समीटरमध्ये, जिथे फक्त काही वॅट्स ट्रान्समिटिंग शक्ती आवश्यक असते, तिथे निम्नस्तरीय मॉड्यूलेशन वापरले जाते.

ट्रान्समीटरची कार्ये:

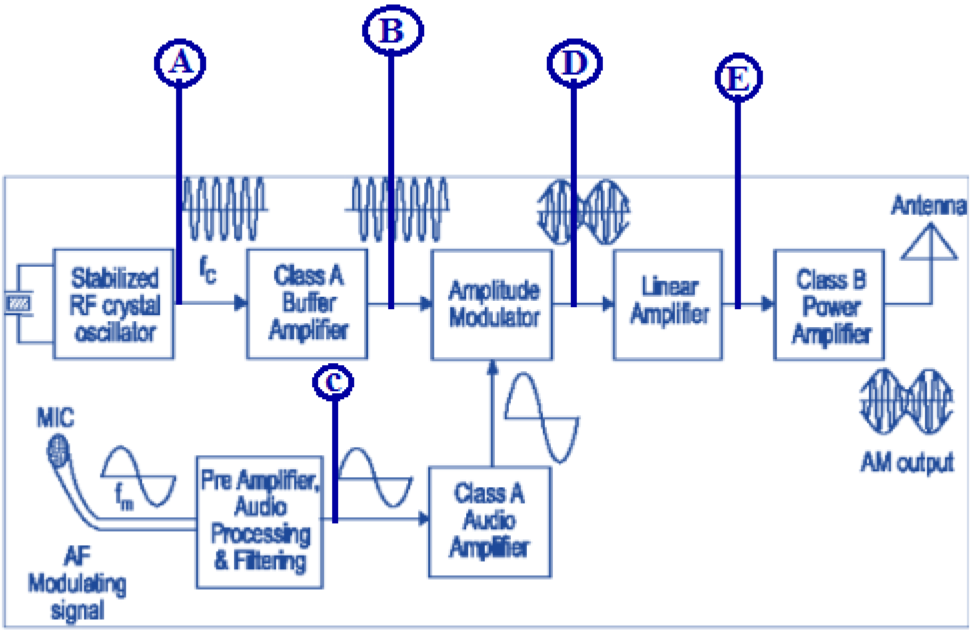
1. मूळ माहितीचे इलेक्ट्रिकल सिग्नलमध्ये रूपांतर करणे.
2. कमकुवत सिग्नल वाढवणे.
3. सिग्नल मॉड्युलेट करण्यासाठी.
4. मॉड्युलेटेड सिग्नलची शक्ती पातळी वाढवण्यासाठी.
5. ट्रान्समिटिंग अँटेनाद्वारे सिग्नल प्रसारित करण्यासाठी.

AM ट्रान्समीटर दोन प्रकारचे असतात:

1. लो लेव्हल मॉड्युलेटेड ट्रान्समीटर.
2. उच्च स्तरीय मॉड्युलेटेड ट्रान्समीटर.

निम्न स्तरीय एएम (AM) ट्रान्समीटर ब्लॉक डायग्राम:

लो लेव्हल मॉड्युलेशनमध्ये, एएम (AM) वेव्हची निर्मिती प्रवर्धनाच्या सुरुवातीच्या टप्प्यात होते. म्हणजे कमी शक्तीवर होते. उत्पादित केलेले AM सिग्नल नंतर प्रवर्धक टप्पे वापरून वाढवले जाते.



आकृती क्र:2.12 निम्न स्तरीय एएम (AM) ट्रान्समीटर

ब्लॉक डायग्राम स्पष्टीकरण/ विश्लेषण:

एएम (AM) सिग्नल तयार करण्यासाठी दोन पद्धती आहेत. हे निम्न आणि उच्च पातळीचे मॉड्युलेशन म्हणून ओळखले जातात. निम्न स्तरावरील एएम (AM) ट्रान्समीटर ट्रान्समीटरच्या सुरूवातीस मॉड्युलेशनची प्रक्रिया करते. उच्च स्तरीय ट्रान्समीटर ट्रान्समीटरमधील शेवटच्या किंवा "अंतिम" प्रवर्धक टप्प्यावर मॉड्यूलेशन करते. प्रत्येक पद्धतीचे फायदे आणि तोटे आहेत. दोन्ही सामान्य वापरात आहेत.

आकृती 2.12 निम्न-स्तरीय AM ट्रान्समीटरचा ब्लॉक डायग्राम दर्शविते. हे एएम (AM) ट्रान्समीटरसारखेच आहे. ट्रान्समीटरमध्ये दोन सिग्नल पथ आहेत, ऑडिओ वारंवारता (एएफ) आणि रेडिओ वारंवारता (आरएफ).

आरएफ (RF) कॅरियर ऑसिलेटर:

आरएफ सिग्नल आरएफ कॅरियर ऑसिलेटरमध्ये तयार केला जातो. चाचणी बिंदू A वर ऑसिलेटरचा आउटपुट सिग्नल असतो. कॅरियर ऑसीलेटरचे आउटपुट हे अगदी लहान AC व्होल्टेज आहे, कदाचित 200 ते 400 mV RMS. कोणत्याही ट्रान्समीटरमध्ये ऑसिलेटर हा एक महत्वाचा टप्पा आहे. ते अचूक आणि स्थिर वारंवारता निर्माण करणे आवश्यक आहे. प्रत्येक रेडिओ स्टेशनला वेगळी कॅरियर वारंवारता नियुक्त केली जाते. दोन सर्किट तंत्रे सामान्यतः ऑसिलेटर, बफरिंग आणि व्होल्टेज नियमन स्थिर करण्यासाठी वापरली जातात.

बफर प्रवर्धक:

बफर प्रवर्धक बफरिंग किंवा ऑसिलेटरचे संरक्षण करण्यासाठी वापरला जातो. बफर प्रवर्धक हे कमी-प्राप्ती करणारे प्रवर्धक आहे जे ऑसिलेटरचे अनुसरण करते. यात स्थिर इनपुट प्रतिबाधा (प्रतिरोध) असतो. म्हणून, ते नेहमी ऑसिलेटरमधून समान प्रमाणात विद्युत प्रवाह काढते. हे ऑसिलेटर वारंवारता खेचण्यास प्रतिबंध करण्यास मदत

करते.

मॉड्युलेटर:

बफर प्रवर्धक नंतर मॉड्युलेटर टप्पा आहे. मॉड्युलेटर एक नॉनलाइनर प्रवर्धक आहे. जेव्हा माहिती त्यात जात असते तेव्हा त्यात स्थिर इनपुट प्रतिरोध असतो. परंतु ऑसिलेटर आणि मॉड्युलेटरमध्ये बफर प्रवर्धक असल्याने, मॉड्युलेटर टप्पा काय करत आहे याची पर्वा न करता, ऑसिलेटर स्थिर लोड प्रतिरोध पाहतो.

स्थिर RF कॅरियर सिग्नल मॉड्युलेटर टप्प्याचे एक इनपुट फीड करते. मॉड्युलेटर एक व्हेरिएबल गेन (नॉनलाइनर) प्रवर्धक आहे. लो-लेव्हल ट्रान्समीटरमध्ये, ऑसिलेटर, बफर आणि मॉड्युलेटर टप्प्यात पॉवर लेव्हल कमी असतात; सामान्यतः, मॉड्युलेटर आउटपुट सुमारे 10 mW आहे.

AF विद्युतदाब प्रवर्धक:

मॉड्युलेटर कार्य करण्यासाठी, त्याला माहिती सिग्नल आवश्यक आहे. मायक्रोफोन हा बुद्धिमत्ता सिग्नल विकसित करण्याचा एक मार्ग आहे, तो फक्त काही मिलिव्होल्ट सिग्नल तयार करतो. मायक्रोफोनच्या सिग्नलला चालना देण्यासाठी व्होल्टेज प्रवर्धकचा वापर केला जातो. एएफ विद्युतदाब प्रवर्धकच्या आउटपुटवर सिग्नल पातळी सामान्यतः किमान 1 व्होल्ट आरएमएस (RMS) असते; ट्रान्समीटरमधील AF प्रवर्धक फक्त विद्युतदाब वाढवतो, या प्रवर्धकच्या आउटपुटमध्ये पॉवर लेव्हल अगदी काही mW लहान असते.

आरएफ पॉवर प्रवर्धक:

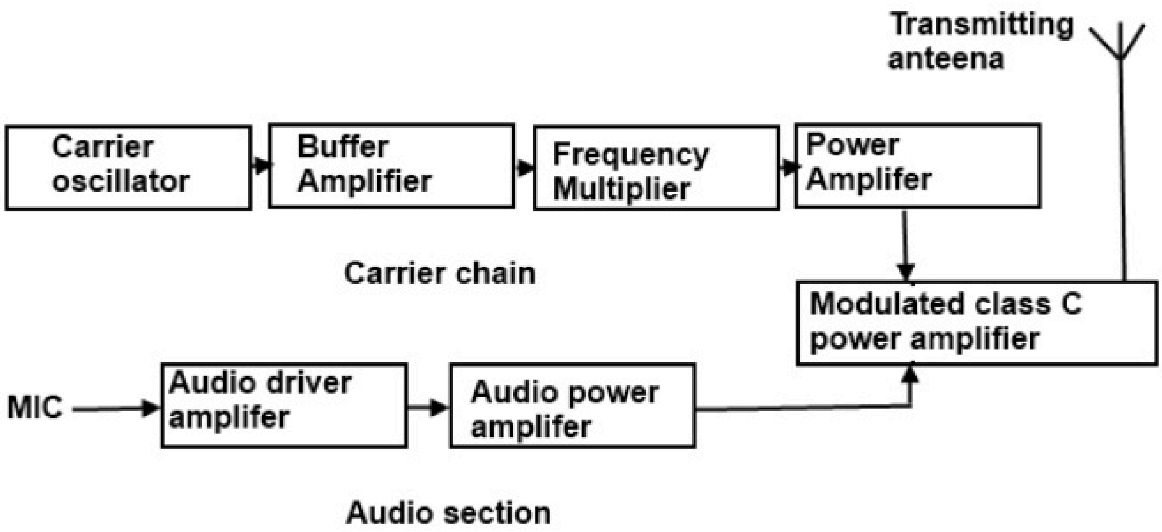
चाचणी बिंदू D वर मॉड्युलेटरने बफर प्रवर्धक आउटपुटवर चाचणी बिंदू B पासून स्थिर कॅरियर सिग्नलवर चाचणी बिंदू C वरून माहिती सिग्नल प्रभावित करून AM सिग्नल तयार केला आहे. हा सिग्नल (चाचणी बिंदू डी) एक संपूर्ण AM सिग्नल आहे, परंतु त्याची शक्ती फक्त काही मिलीवॅट्स आहे. आरएफ पॉवर प्रवर्धक सामान्यतः अनेक टप्प्यांसह तयार केले जाते. हे टप्पे एएम (AM) सिग्नलचे विद्युतदाब आणि विद्युतप्रवाह दोन्ही वाढवतात, जेव्हा सर्किट विद्युतप्रवाह गेन प्रदान करते तेव्हा पॉवर प्रवर्धन होते. आरएफ पॉवर प्रवर्धकचे टप्पे रेखीय असणे आवश्यक आहे. वर्ग A आणि वर्ग B प्रवर्धक हे लिनियर प्रवर्धक मानले जातात, त्यामुळे RF पॉवर प्रवर्धकचे टप्पे सामान्यतः यापैकी एक किंवा दोन्ही प्रकारचे प्रवर्धक वापरून तयार केले जातील. म्हणून, चाचणी बिंदू E वरील सिग्नल चाचणी बिंदू D प्रमाणेच दिसतो; ते विद्युतदाब आणि विद्युतप्रवाह मध्ये खूप मोठे आहे.

अँटेना कपलर:

अँटेना कपलर हा सहसा शेवटच्या किंवा अंतिम आरएफ पॉवर प्रवर्धकचा भाग असतो. हे कोणतेही प्रवर्धन करत नाही आणि त्यात कोणतेही सक्रिय उपकरण नाहीत. हे इम्पेडन्स जुळणी आणि फिल्टरिंगचे दोन महत्त्वपूर्ण कार्ये करते: अँटेना कपलर लो-पास फिल्टर म्हणून देखील कार्य करते. हे फिल्टरिंग पॉवर प्रवर्धकच्या आउटपुटमध्ये

उपस्थित असलेल्या हार्मोनिक एनर्जीचे ॲम्प्लिट्यूड कमी करते.

उच्च स्तरीय एएम (AM)ट्रान्समीटर ब्लॉक डायग्राम:



आकृती क्र:**2.13** उच्च स्तरीय एएम **(AM)**ट्रान्समीटर

ब्लॉक डायग्राम स्पष्टीकरण / विश्लेषण:

उच्च-स्तरीय AM ट्रान्समीटरचे ब्लॉक डायग्राम आकृती क्र:2.13 दाखवल्याप्रमाणे उच्च स्तरीय मॉड्युलेशनमध्ये, मॉड्युलेशन हे प्रवर्धनाच्या अंतिम टप्प्यात होते आणि म्हणून उच्च शक्ती हाताळण्यासाठी मॉड्यूलेशन सर्किटरीचा वापर करतात.

कॅरीयर ऑसिलेटर:

कॅरीयर ऑसिलेटर कॅरीयर सिग्नल उत्पन करतो, जो RF श्रेणीमध्ये असतो. कॅरीयरची वारंवारता नेहमीच खूप जास्त असते. चांगल्या वारंवारता स्थिरतेसह उच्च वारंवारता उत्पन करणे खूप अवघड असल्याने, कॅरियर ऑसिलेटर आवश्यक कॅरीयर वारंवारतेसह सब मल्टीपल उत्पन करतो. आवश्यक कॅरीयर वारंवारता मिळविण्यासाठी या उप-मल्टिपल वारंवारताला वारंवारता गुणक अवस्थेने गुणाकार केला जातो. पुढे, सर्वोत्तम वारंवारता स्थिरतेसह कमी वारंवारता कॅरीयर निर्माण करण्यासाठी या टप्प्यात क्रिस्टल ऑसिलेटर वापरला जाऊ शकतो. वारंवारता गुणक स्टेज नंतर कॅरीयरची वारंवारता त्याच्या आवश्यक मूल्यापर्यंत वाढवते.

बफर प्रवर्धक:

बफर प्रवर्धकचा दोन प्रकारे उद्देश साध्य करतो. हे प्रथम कॅरीयर ऑसिलेटरच्या आउटपुट इम्पिडन्स बरोबर वारंवारता गुणकच्या इनपुट इम्पिडन्सशी आणि नंतर पुढील टप्प्यातील कॅरीयर ऑसिलेटरच्या वारंवारताशी जुळते,

ते नंतर कॅरीयर ऑसिलेटर आणि वारंवारता गुणक यांना वेगळे करते.

वारंवारता गुणक

कॅरियर सिग्नलची सब-मल्टिपल वारंवारता, कॅरियर ऑसिलेटरद्वारे उत्पन्न केली जाते, आता बफर प्रवर्धकद्वारे वारंवारता गुणकांवर लागू केली जाते. या स्टेजला हार्मोनिक जनरेटर असेही म्हणतात. वारंवारता गुणक कॅरियर ऑसिलेटर वारंवारताचे उच्च हार्मोनिक्स उत्पन्न करते. वारंवारता गुणक हे एक ट्यून केलेले सर्किट आहे जे आवश्यक कॅरियर वारंवारतेशी ट्यून केले जाऊ शकते जी प्रसारित केली जाईल

शक्ती प्रवर्धक

कॅरियर सिग्नलची शक्ती नंतर शक्ती प्रवर्धक टप्पेमध्ये वाढविली जाते. ही उच्च-स्तरीय ट्रान्समीटरची मूलभूत आवश्यकता आहे. क्लास C शक्तीप्रवर्धक त्याच्या आउटपुटवर कॅरियर सिग्नलच्या उच्च शक्ती विद्युतप्रवाह पल्स देतो.

ऑडिओ साखळी

आकृती क्रमांक 2.13 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे, प्रसारित केला जाणारा ऑडिओ सिग्नल मायक्रोफोनमधून प्राप्त केला जातो. ऑडिओ ड्रायव्हर प्रवर्धक या सिग्नलचा विद्युतदाब वाढवतो. ऑडिओ शक्तीप्रवर्धक चालविण्यासाठी हे प्रवर्धन आवश्यक आहे. पुढे, क्लास A किंवा क्लास B शक्तीप्रवर्धक ऑडिओ सिग्नलची शक्ती वाढवतो.

मॉड्युलेटेड क्लास सी प्रवर्धक

हा ट्रान्समीटरचा आउटपुट स्टेज आहे. मॉड्युलेटिंग ऑडिओ सिग्नल आणि कॅरियर सिग्नल, शक्ती प्रवर्धन नंतर, या मॉड्युलेटिंग टप्पेवर लागू केले जातात. मॉड्यूलेशन या टप्प्यावर होते. क्लास C प्रवर्धक AM सिग्नलची शक्ती पुन्हा प्राप्त केलेल्या ट्रान्समिटिंग शक्तीमध्ये वाढवते. हा सिग्नल शेवटी अँटेनाकडे जातो. जो सिग्नलला ट्रान्समिशनच्या जागेत विकिरण करतो.

आकृती (b) मध्ये दर्शविलेले निम्न-स्तरीय AM ट्रान्समीटर उच्च-स्तरीय ट्रान्समीटर सारखेच आहे, कॅरियर आणि ऑडिओ सिग्नलची शक्ती वाढवली जात नाही. हे दोन सिग्नल थेट मॉड्युलेटेड क्लास C शक्ती प्रवर्धकवर लागू केले जातात. मॉड्युलेशन टप्प्यावर होते आणि मॉड्युलेटेड सिग्नलची शक्ती आवश्यक प्रसारीत शक्तीस्तरपर्यंत वाढविली जाते. ट्रान्समिटिंग अँटेना नंतर सिग्नल प्रसारित करते.

आउटपुट स्टेज आणि अँटेना जोडणे

मॉड्युलेटेड क्लास सी शक्ती प्रवर्धकचा आउटपुट स्टेज ट्रान्समिटिंग अँटेनाला सिग्नल फीड करतो. आउटपुट स्टेजपासून ऍन्टीनामध्ये जास्तीत जास्त शक्ती हस्तांतरित करण्यासाठी दोन विभागांचे प्रतिबाधा जुळणे आवश्यक

आहे. यासाठी, जुळणारे नेटवर्क आवश्यक आहे. दोहोंमधील जुळणी सर्व ट्रान्समिटिंग वारंवारतावर परिपूर्ण असावी. वेगवेगळ्या वारंवारतावर मॅचिंग आवश्यक असल्याने, वेगवेगळ्या वारंवारतावर वेगवेगळे प्रतिबाधा देणारे इंडक्टर आणि कॅपेसिटर मॅचिंग नेटवर्कमध्ये वापरले जातात.

मायक्रोफोन: मायक्रोफोन एक ट्रान्सड्यूसर आहे जो ध्वनी लहरींना विद्युत लहरींमध्ये रूपांतरित करतो. मायक्रोफोनद्वारे तयार होणारा परिणामी विद्युत सिग्नल मिलिव्होल्ट किंवा काही विद्युतदाब मध्ये असतो आणि त्यात आवाज(noise) असतो. त्यामुळे सिग्नलवर प्रक्रिया करणाऱ्या पुढील ब्लॉकमधून ते पार केले जाते.

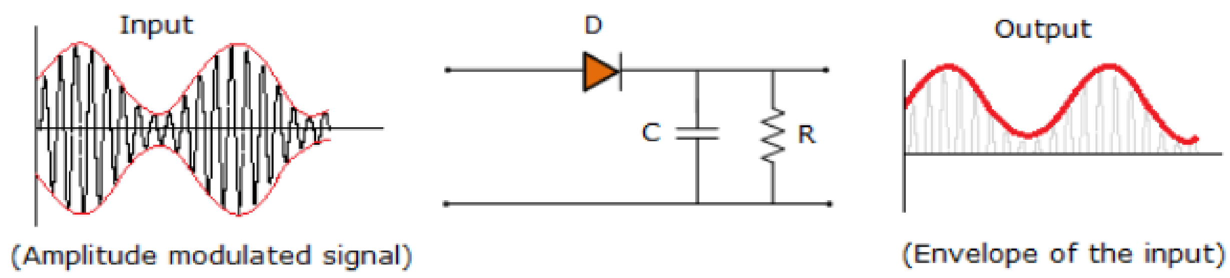
2.4 AM डिमॉड्युलेशन:

2.4.1 डायोड डिटेक्टर:

डायोड डिटेक्टर हा एनवेल्प डिटेक्टरचा एक प्रकार आहे आणि एएम (AM) सिग्नलचा शोधन्यासाठी वापरला जातो. एनवेल्प डिटेक्टर सर्किट मध्ये डायोड, कॅपेसिटर आणि रेझिस्टर वापरतात आणि याचे कार्य हाफ वेव्ह रेक्टिफायर नंतर लो-पास फिल्टर सारखा आहे.

हा एक लीनियर डिटेक्टर आहे जो उच्च वारंवारता RF सिग्नल इनपुट म्हणून घेतो आणि आउटपुट देते जे इनपुट सिग्नलचे एनवेल्प आहे.

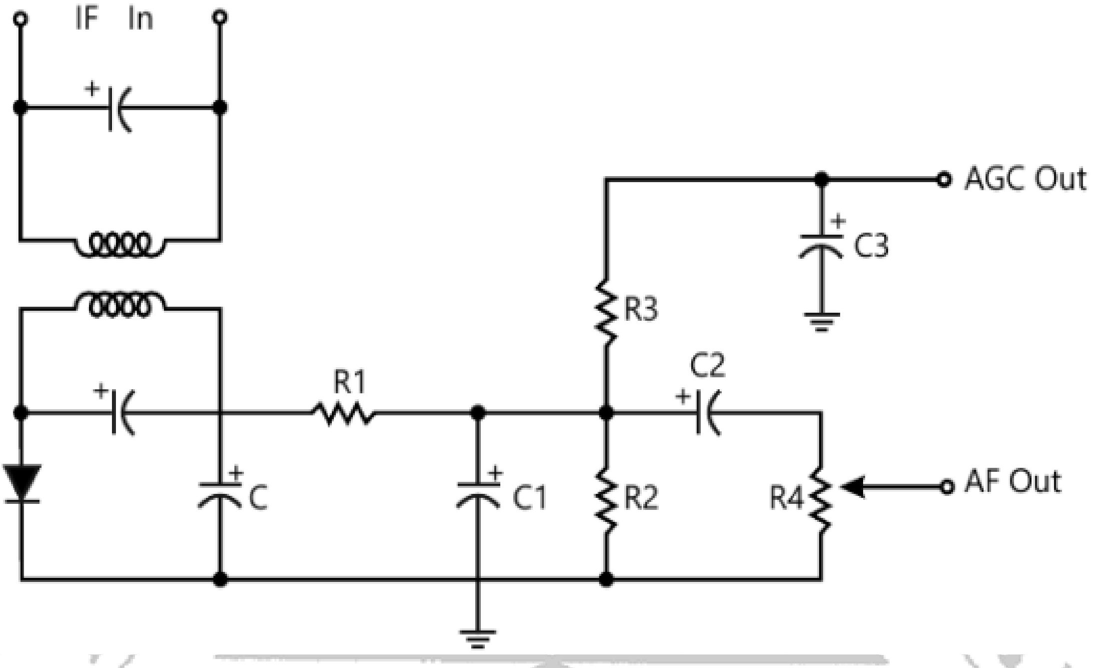
डायोड डिटेक्टर कार्य:



आकृती क्र:2.14 डायोड डिटेक्टर

येथे इनपुट सिग्नल सीरीज डायोड D द्वारे दुरुस्त केला जातो. कॅपेसिटर C आणि रेझिस्टर R चे संयोजन लो-पास फिल्टरसारखे असते. इनपुट सिग्नलमध्ये मूळ संदेश आणि कॅरियर वेव्ह हे दोन्ही असतात. जिथे कॅपेसिटर RF कॅरियर वेव्ह फिल्टर करण्यात मदत करतो. वाढत्या वेव्हच्या क्रमावर कॅपेसिटर चार्ज होतो आणि पडत्या वेव्हच्या क्रमावर रेझिस्टर R मधून कॅपेसिटर डिस्चार्ज होतो. अशा प्रकारे कॅपेसिटर इनपुटचा एक एनवेल्प आउटपुट म्हणून देण्यास मदत करतो.

प्रॅक्टिकल डायोड डिटेक्टर:



आकृती क्र:2.15 प्रॅक्टिकल डायोड डिटेक्टर

- साध्या डिटेक्टरमध्ये अनेक बदल करून त्याचे प्रॅक्टिकल आवृत्ती आकृती 2.15 दर्शविली आहे यात डायोड उलट जोडला गेला आहे, जेणेकरून आता निगेटिव्ह एनवेल्प मॉड्युलेट केला जाईल. याचा डिटेक्टशनवर कोणताही परिणाम होत नाही, परंतु ते निगेटिव्ह AGC विद्युतदाब उपलब्ध असल्याची खात्री करते.
- बेसिक सर्किटचा रेझिस्टर R दोन भागांमध्ये विभागला गेला आहे R1 आणि R2, डायोडसाठी ग्राउंडवर सीरिज डीसी पाथ असल्याची खात्री करण्यासाठी, परंतु त्याच वेळी लो-पास फिल्टरच्या स्वरूपात R1-C1असे जोडले गेले आहे. यात अद्याप कोणतेही RF रिपल काढून टाकण्याचे कार्य ते करते.
- उपस्थित कॅपेसिटर C2 हे कपलिंग कॅपेसिटर आहे, जे डायोडच्या DC आउटपुटला व्हॉल्यूम कंट्रोल R4 पर्यंत पोहोचण्यापासून प्रतिबंध करण्यासाठी वापरले जाते.
- R3-C3 चे संयोजन लो- पास फिल्टर हे कॅरीयर शक्तीसाठी आहे, आणि जे स्वयंचलित गेन नियंत्रणासाठी वापरले जाऊ शकते.
- DC डायोड लोड R1+R2 च्या समान आहे, तर ऑडिओ लोड इम्पिडन्स Zeq हे R1 च्या बरोबरीचा असून त्याला सिरीज मध्ये R2, R3 आणि R4 चे संयोजन समांतरआहे, मध्यम(medium) वारंवारतावर सर्व कॅपेसिटरची रिऍक्टन्स दुर्लक्ष केले जाऊ शकते. परंतु उच्च आणि कमी ऑडिओवर वारंवारता Zeq मध्ये प्रतिक्रियाशील घटक असू शकतात, ज्यामुळे फेज शिफ्ट आणि असमान वारंवारता प्रतिसाद आढळतो.

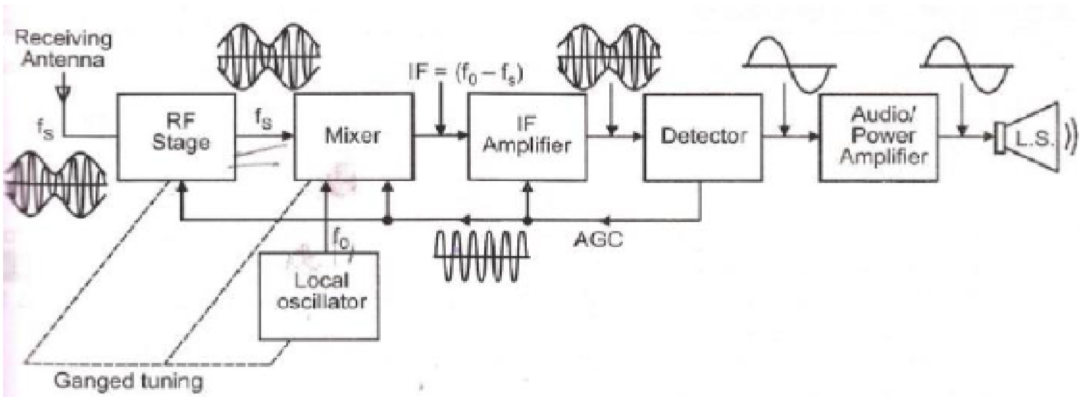
2.4.2 स्वयंचलित गेन नियंत्रण आणि त्याचे प्रकार:

ऑटोमॅटिक गेन कंट्रोल (AGC) सर्किट हे एक सर्किट आहे जे प्रवर्धक किंवा सिस्टमच्या इनपुटमध्ये सिग्नलमध्ये फरक असूनही, प्रवर्धननंतर स्थिर आउटपुट सिग्नल पातळी राखण्यासाठी तयार केलेले आहे. हे कमकुवत सिग्नलला

अधिक प्रवर्धन प्रदान करून आणि मजबूत सिग्नलला कमी प्रवर्धन प्रदान करून साध्य केले जाते अशा प्रकारे आउटपुटवर स्थिर सिग्नल मोठेपणा पातळी राखून.

एजीसी सर्किट्स प्राप्तकर्त्याद्वारे प्राप्त झालेल्या कमकुवत आणि मजबूत सिग्नलवर नियंत्रण ठेवण्यासाठी एएम (AM) प्राप्तकर्त्यासह विस्तृत अनुप्रयोगांमध्ये वापरले जातात. रेडिओ ट्रान्समीटर सर्किटमधून प्रसारित होणारे सिग्नल हवामानाच्या परिस्थितीमुळे आणि झाडांमुळे येणाऱ्या अडथळ्यामुळे कमी होतात. या प्रकरणात, सिग्नल एका विशिष्ट स्तरावर वाढविण्यासाठी प्राप्तकर्त्याला उच्च गेन प्रदान करणे आवश्यक आहे. आणि पर्यावरणीय परिस्थितींमध्ये जेथे कमी क्षीणता असते, AGC सर्किट प्रवर्धकद्वारे प्रदान केलेला फायदा कमी करेल जेणेकरून ते प्राप्तकर्त्या सर्किटरीला नुकसान होणार नाही.

एजीसी (AGC) युनिट ब्लॉकसह एएम (AM) रेडिओ रिसीव्हरचा ब्लॉक डायग्राम खालील आकृतीमध्ये दर्शविला आहे.



आकृती क्र:2.16 एजीसी (AGC) युनिट ब्लॉकसह एएम (AM) रेडिओ रिसिव्हर

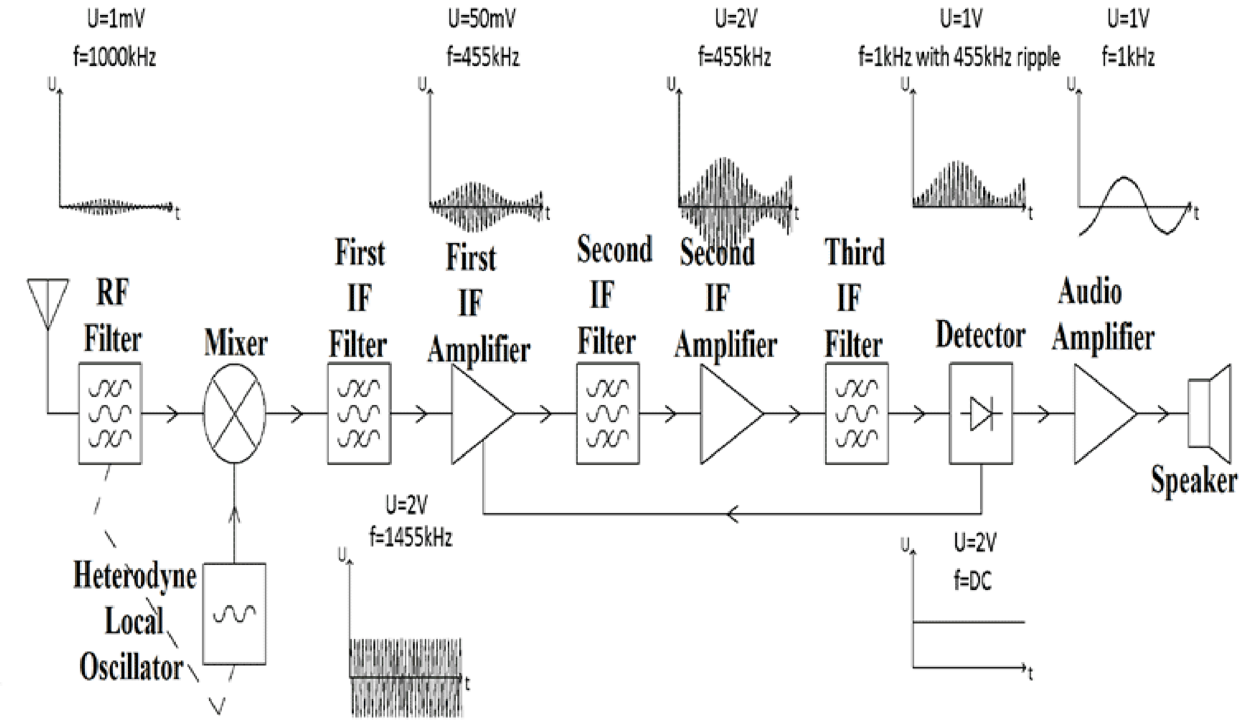
- ऑटोमॅटिक गेन कंट्रोल (एजीसी) ही एक यंत्रणा आहे ज्यामध्ये रेडिओ रिसीव्हरचा एकंदर गेन प्राप्त झालेल्या सिग्नलच्या बदलत्या सामर्थ्यानुसार स्वयंचलितपणे बदलतो. हे आउटपुट स्थिर पातळीवर राखण्यासाठी केले जाते.
- इनपुट सिग्नलनुसार गेन बदलत नसल्यास, अधिक मजबूत इनपुट सिग्नलचा विचार करा, नंतर संपृक्तता पातळीपर्यंत पोहोचलेल्या काही प्रवर्धकसह सिग्नल कदाचित विकृत होऊ शकतो.
- AGC हे RF, IF आणि मिक्सरच्या टप्प्यांवर लागू केले जाते, जे रेडिओ रिसीव्हरमधील विविध टप्प्यांचा गेन समायोजित करून प्राप्तकर्त्या अँटेनाची डायनॅमिक श्रेणी 60-100 dB पर्यंत सुधारण्यास मदत करते.
- AGC शोधलेल्या सिग्नलच्या भागातून DC बायस विद्युतदाब मिळवून ते RF, IF आणि मिक्सर स्टेजवर लागू करून त्यांचे वापर गेन नियंत्रित करण्यासाठी होतो. म्हणून ट्रान्सकंडक्टन्स आणि गेन, रिसीव्हरच्या या टप्प्यांमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या उपकरणांचा फायदा लागू केलेल्या बायस विद्युतदाब किंवा विद्युतप्रवाहवर अवलंबून असतो.

- जेव्हा एकूण सिग्नल पातळी वाढते, तेव्हा लागू केलेल्या AGC पूर्वाग्रहाचे मूल्य वाढते ज्यामुळे नियंत्रित टप्प्यांचा गेन कमी होतो.
- जेव्हा कमी मूल्यासह कोणतेही सिग्नल किंवा सिग्नल नसतात, तेव्हा किमान एजीसी (AGC) पूर्वाग्रह असतो ज्यामुळे प्रवर्धक जास्तीत जास्त फायदा निर्माण करतो.
- एजीसी (AGC) सतत आउटपुट प्रदान करणाऱ्या वेगवेगळ्या सिग्नल स्ट्रेंथ स्टेशनवर ट्यूनिंगची सुविधा देते.
- एजीसी (AGC) इनपुट सिग्नलचे ॲम्प्लिट्युडचे फरक सुरळीत करते आणि रिसीव्हरला प्रत्येक स्टेशन ते स्टेशनवर ट्यून केल्यावर गेन कंट्रोल पुन्हा कॅलिब्रेट करणे आवश्यक नाही.
- जे एजीसी (AGC) योग्यरित्या डिझाइन केलेले नाही ते सुरळीत सिग्नलमध्ये लक्षणीय विकृती आणू शकते.

एजीसी सर्किट्सचे दोन प्रकार आहेत:

- साधे AGC: कॅरीयर विद्युतदाबच्या उच्च तसेच कमी मूल्यासाठी गेन नियंत्रण यंत्रणा सक्रिय आहे.
- विलंबित AGC: जोपर्यंत सिग्नल सामर्थ्य पूर्वनिर्धारित पातळी ओलांडत नाही तोपर्यंत प्रवर्धकवर AGC पूर्वाग्रह लागू केला जात नाही, त्यानंतर AGC पूर्वाग्रह लागू केला जातो.

2.5 AM सुपर हेटरोडाइन रिसीव्हरचा ब्लॉक डायग्राम कार्य आणि वेव्हफॉर्म:



आकृती क्र: 2.17 AM सुपर हेटरोडाइन रिसीव्हरचा ब्लॉक डायग्राम

ब्लॉक डायग्राम कार्य:

इनपुट रेडिओ सिग्नलला स्थिर इंटरमीडिएट वारंवारता (IF) मध्ये रूपांतरित करण्यासाठी सुपरहेटेरोडायन प्राप्तकर्त्या सिग्नल मिक्सिंगचा वापर करतो जे ब्रॉडकास्टिंग स्टेशनवर अवलंबून भिन्न वारंवारता असलेल्या मूळ रेडिओ सिग्नलपेक्षा अधिक सहजतेने कार्य केले जाऊ शकते. IF सिग्नल नंतर IF प्रवर्धकच्या द्वारे वाढवले जाते आणि नंतर एका डिटेक्टरमध्ये दिले जाते जे ऑडिओ सिग्नलला ऑडिओ प्रवर्धकमध्ये आउटपुट करते जे स्पीकरला शक्ती देते. बहुतेक एएम (AM) प्राप्तकर्त्या्स सुपरहेटेरोडायन प्रकारचे आहेत कारण ते त्यांच्या इंटरमीडिएट वारंवारता (IF) टप्प्यांमध्ये उच्च प्रतीचे निवडक फिल्टर वापरतात. IF प्रवर्धक उच्च गेन प्रदान करते, प्रवर्धक ्समध्ये स्वयंचलित गेन कंट्रोल वापरल्यामुळे चांगला उच्च सिग्नल प्रतिसाद मिळतो.

आरएफ फिल्टर (RF FILTER): पहिला ब्लॉकमध्ये फेराइट रॉड अँटेना कॉइल आणि व्हेरिएबल कॅपेसिटर कॉम्बो आहे, जे दोन उद्देश पूर्ण करतात - आरएफ कॉइलमध्ये प्रेरित आहे आणि समांतर कॅपेसिटर त्याची रेझोनंट वारंवारता नियंत्रित करते, कारण फेराइट अँटेना सर्वोत्तम इनपुट प्राप्त करतो जेव्हा रेझोनंट वारंवारता कॉइल आणि कॅपेसिटर स्टेशनच्या कॅरीयर वारंवारताएवढे असतात – अशा प्रकारे ते रिसिव्हरचे इनपुट फिल्टर म्हणून कार्य करते.

हेटेरोडायन लोकल ऑसिलेटर: दुसरा ब्लॉक हेटेरोडायन आहे, ज्याला लोकल ऑसिलेटर (LO) असेही म्हणतात. स्थानिक ऑसीलेटरची वारंवारता स्थिर ठेवलेली जाते, त्यामुळे RF सिग्नलची वारंवारता आणि LO ची वारंवारता यांची बेरीज किंवा फरक प्राप्तकर्त्यामध्ये वापरल्या जाणाऱ्या IF च्या बरोबरीचा असतो (सामान्यतः सुमारे 455 kHz).

मिक्सर: तिसरा ब्लॉक मिक्सर आहे, आरएफ सिग्नल आणि LO सिग्नल मिक्सरला आवश्यक IF तयार करण्यासाठी दिले जाते. सामान्य AM रिसिव्हरसमध्ये आढळणारे मिक्सर LO आणि RF च्या वारंवारतामधील बेरीज, आणि LO आणि RF सिग्नल चा फरक स्वतःच आउटपुट करतात. बऱ्याचदा साध्या ट्रान्झिस्टर रेडिओमध्ये, हेटरोडाइन आणि मिक्सर एक ट्रान्झिस्टर वापरून बनवले जातात. उच्च-गुणवत्तेच्या रिसिव्हरसमध्ये आणि जे समर्पित एकात्मिक सर्किट्स वापरतात, जसे की TCA440, हे टप्पे वेगळे असतात, मिक्सर केवळ बेरीज आणि फरक वारंवारता आउटपुट करत असल्यामुळे अधिक संवेदनशील रिसेप्शनसाठी परवानगी देतात.

पहिला IF फिल्टर: चौथा ब्लॉक हा पहिला IF फिल्टर आहे. बहुतेक एएम (AM) रिसिव्हरसमध्ये, हे एक रेझोनंट सर्किट आहे जे मिक्सर ट्रांझिस्टरच्या कलेक्टरमध्ये IF वारंवारताच्या समान रेझोनंट वारंवारता असते. IF वारंवारतापेक्षा भिन्न वारंवारता असलेले सर्व सिग्नल फिल्टर करणे हा त्याचा उद्देश आहे

पहिला IF प्रवर्धक: पाचवा ब्लॉक हा पहिला IF प्रवर्धक आहे. प्रत्येक IF प्रवर्धक मध्ये 50 ते 100 चा गेन सामान्य आहे जर गेन खूप जास्त असेल तर, विकृती होऊ शकते आणि गेन खूप जास्त असल्यास, IF फिल्टर एकमेकांच्या खूप जवळ आहेत आणि योग्यरित्या संरक्षित केलेले नाहीत, परजीवी दोलन होऊ शकते. प्रवर्धक डिमॉड्युलेटरकडून एजीसी (ऑटोमॅटिक गेन कंट्रोल) विद्युतदाबद्वारे नियंत्रित केले जाते.

दुसरा IF फिल्टर: सहावा ब्लॉक हा दुसरा IF फिल्टर आहे, पहिल्याप्रमाणेच तो ट्रान्झिस्टरच्या कलेक्टरमध्ये एक रेझोनंट सर्किट असते. हे फक्त IF वारंवारता आणि निवडकता सुधारण्याचे सिग्नल करू देते.

दुसरा IF प्रवर्धक: सातवा ब्लॉक हा दुसरा IFप्रवर्धक आहे, तो व्यावहारिकदृष्ट्या पहिल्या IF प्रवर्धकसारखाच आहे, शिवाय तो AGC द्वारे नियंत्रित होत नाही, कारण खूप जास्त AGC नियंत्रित टप्पे असल्यामुळे विकृती वाढते.

तिसरा आयएफ फिल्टर: आठवा ब्लॉक हा तिसरा आयएफ फिल्टर आहे, अगदी पहिल्या आणि दुसरा ट्रान्झिस्टरच्या कलेक्टरमध्ये ठेवलेला रेझोनंट सर्किट आहे. हे फक्त IF वारंवारता आणि निवडकता सुधारण्यासाठी सिग्नल करू देते. ते IF सिग्नल डिटेक्टरला पुरवते.

डिटेक्टर: नववा ब्लॉक डिटेक्टर आहे, सामान्यतः जर्मेनियम डायोड किंवा डायोड-कनेक्टेड ट्रान्झिस्टरच्या स्वरूपात. ते AM डिमॉड्युलेट करून IF दुरुस्त करते. त्याच्या आउटपुटवर, एक मजबूत IF रिपल घटक आहे जो रेझिस्टर-कॅपॅसिटर लो पास फिल्टरद्वारे फिल्टर केला जातो, त्यामुळे फक्त AF घटक राहतो, तो ऑडिओ प्रवर्धक ला दिला जातो. AGC विद्युतदाब देण्यासाठी ऑडिओ सिग्नल पुढे फिल्टर केला जातो, जसे की नेहमीच्या DC शक्ती सप्लायमध्ये केला जातो.

ऑडिओ प्रवर्धक: दहावा ब्लॉक ऑडिओ प्रवर्धक आहे; ते ऑडिओ सिग्नल वाढवते आणि स्पीकरवर पास करते. डिटेक्टर आणि ऑडिओ प्रवर्धक दरम्यान, व्हॉल्यूम कंट्रोल पोटेंशओमीटर वापरला जातो.

स्पीकर: शेवटचा ब्लॉक म्हणजे स्पीकर (सामान्यत: 8 ohms, 0.5W) जो ऑडिओ आउटपुट करतो. स्पीकर कधीकधी हेडफोन जॅकद्वारे ऑडिओ प्रवर्धकशी जोडला जातो जो हेडफोन जोडल्यावर स्पीकरला डिस्कनेक्ट करतो.

स्वाध्याय:(Self-Learning)

1. 1.एएम (AM) साठी, मॉड्युलेटिंग सिग्नलचे ॲम्प्लिट्यूड 0.5 V आहे आणि कॅरीयरॲम्प्लिट्यूड 1V आहे. तर मॉड्युलेशन इंडेक्सची गणना करा. **(उत्तर: मॉड्युलेशन इंडेक्स(m) = 0.5)**

2. जेव्हा मॉड्युलेशन टक्केवारी 75% असते, तेव्हा एक AM ट्रान्समीटर 10KW शक्ती विकिरण करतो. यापैकी किती कॅरीयर शक्ती आहे त्याची गणना करा? **(उत्तर: Pc = 7.8KW)**

3. AM सिग्नलची एकूण उर्जा सामग्री 1000W आहे, जेव्हा मॉड्युलेशन टक्केवारी 100% असते तेव्हा कॅरीयर वारंवारता आणि प्रत्येक साइड बँडवर प्रसारित होणारी शक्तीची गणना करा. **(उत्तर:666.67W, 166.67W)**

4. 750 W,1MHz चा कॅरीयर, 2 KHz च्या सायनसॉइडल सिग्नलने बरोबर मॉड्युलेशन इंडेक्स 50% द्वारे ॲम्प्लिट्यूड मोड्युलेटेड केला आहे तर. बँडविड्थ, साइड बँडमधील शक्ती आणि एकूण शक्ती ट्रान्समिटची गणना करा. **(उत्तर:4 KHz, 843.75W,46.875W)**

5. एएम (AM) ट्रान्समीटरचे कोणते दोन मुख्य प्रकार आहेत?
6. एएम (AM) ट्रान्समीटर बफर प्रवर्धक का वापरतात?
7. अँटेना कपलरची दोन कार्ये सूचीबद्ध करा.
8. उच्च-स्तरीय ट्रान्समीटरचे फायदे काय आहेत?
9. मॉड्युलेशन म्हणजे काय?
10. मॉड्युलेशनची गरज स्पष्ट करा.
11. मॉड्यूलेशनचे वर्गीकरण करा.
12. मॉड्युलेशन इंडेक्स, एफएम सिग्नलचे वारंवारता विचलन परिभाषित करा.
13. VSB संकल्पना काढा आणि स्पष्ट करा.

लघुप्रकल्प (Microproject):

1. तुमच्या शहराजवळील एएम (AM) / एफएम (FM) ट्रान्समिशनचा अहवाल तयार करा.

2. संरक्षण / इस्रो (ISRO)साठी वापरल्या जाणाऱ्या इलेक्ट्रॉनिक संप्रेषणाच्या भूमिकेवर इंटरनेट आधारित

अहवाल/पीपीटी तयार करा.

3. इंटरकॉम सर्किट विकसित करा.

4. AM रिसिव्हरचे सर्किट तयार करा.

5. BJT आधारीत ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेटरचे सर्किट मल्टीसिम सिम्युलेशन पध्दतीने तयार करा.

संदर्भ:

Sr. No	Author	Title	Publisher with ISBN Number
1	George Kennedy	Electronics Communication System	TATA McGRA"'. -HILL EDITION 1999 37th reprint 2009 · ISBN-13: 978-0-07-463682-4. ISBN-10: 0-07-463682-0
2	**Wayne Tomasi**	Advanced Electronic Communications Systems	9 781292 027357 Sixth Edition ISBN 978-1-29202-735-7 citations Adv
3	Frenzel Louis E.	Principles of Electronics Communication system	Mc-Graw Hill 5, ir" Edition, New Delhi,2007, ISBN: 9780073222783
4	Tomasi W.	Electronic communication system: Fundamentals Through Advanced	Pearson Education India, New Delhi, 4lh Edition, 2001, ISBN: 9780130221254

संकेतस्थल:

1. **https://www.everythingrf.com/community/what-is-automatic-gain-control**
2. **https://www.tutorialspoint.com/analog_communication/analog_communication_transmitters.htm**
3. **https://www.androiderode.com/pcb-design-experiment-amplitude-modulator/**
http://mvp.edu.in/rsmpoly/wp-content/uploads/

युनिट 3
वारंवारता मॉड्युलेशन (एफएम) संचारण
(Frequency Modulation (FM) Communication)

विषयनिष्पत्ती (Course Outcome):

एफएम आधारित संप्रेषण प्रणाली राखणे.

Maintain FM based communication system

युनिट निष्पत्ती (Unit Outcome):

3.a AM आणि FM मध्ये फरक करणे

Differentiate between AM and FM.

3.b दिलेल्या पद्धतीचा वापर करून FM निर्मिती करणे

Generate FM signal using a given type of method.

3.c एफ एम रिसीव्हरच्या प्रत्येक ब्लॉक चे कार्य वर्णन करणे

Explain working of each block of FM receiver .

3.d दिलेल्या एफ एम डिटेक्टर सर्किटचे कार्य वर्णन करणे

Explain working of the given FM detector circuit.

3.e FM आणि PM वेव्हफॉर्ममध्ये फरक करणे

Differentiate between FM and PM waveforms.

परिचय:

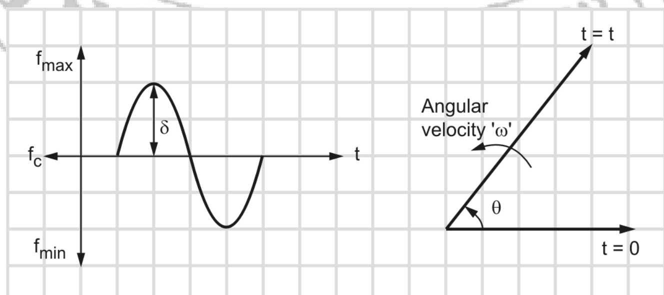
एडविन आर्मस्ट्रॉंग यांनी 1936 मध्ये व्यावहारिक एफएम प्रणाली सुचवली आणि ती आवाज सुरक्षितता आणि अचूकता फायद्यांमुळे जगभरात लोकप्रिय झाली. ही अशी प्रक्रिया आहे ज्यामध्ये वाहकाची वारंवारता (frequency) मोड्युलेटिंग सिग्नलच्या ॲम्प्लीट्यूड नुसार त्याचे ॲम्प्लीट्यूड आणि फेज (Phase) स्थिर ठेवून बदलली जाते. एफएम रेडिओ प्रसारण, टेलिमेटरी, रडार इत्यादीसाठी वारंवारता मॉड्युलेशनचा मोठ्या प्रमाणावर वापर केला जातो. .

माहिती वाहक वारंवारतेच्या भिन्नतेमध्ये वाहून नेली जाते. हा अँगल मॉड्युलेशन प्रकारां पैकी एक आहे. AM पेक्षा त्याचे बरेच फायदे आहेत

3.1 वारंवारता मॉड्युलेशन व्याख्या

ज्या मॉड्युलेशन मध्ये वाहक सिग्नलची वारंवारता (frequency)मॉड्युलेटिंग सिग्नलच्या तत्क्षणिक मूल्य (Instantaneous Amplitude) बदलते त्याला वारंवारता मॉड्यूलेशन म्हणतात

3.1.1 वारंवारता मॉड्यूलेशन: FM सिग्नलचे गणितीय प्रतिनिधित्व (Frequency modulation: Mathematical representation of FM signal)



आकृती 3.1 (a)वारंवारता विरुद्ध वेळ एफएम मध्ये (Frequency v/s time in FM)
(b) वेक्टरआकृती

वाहक सिग्नल (carrier frequency)

$e_c=E_c \sin \omega_c t$

आणि मॉड्युलेटिंग सिग्नल असेल,

$e_m=E_m \cos \omega_m t$

[कोसाइन साध्या गणने साठी गृहीत धरले जाते]

योग्य एफ एम मिळाल्यास, वारंवारता विचलन (deviation) मॉड्युलेटिंग सिग्नलच्या ॲम्प्लीट्यूडच्या प्रमाणात होते.

$K=\delta$

जेथे, K = आनुपातिकता स्थिर (Proportionality Constant)

δ = वारंवारता विचलन

$e_m = E_m \cos \omega_m t$ .... मॉड्युलेटिंग सिग्नल समीकरण

आकृती 3.1 (a) पासून FM ची तात्काळ वारंवारता द्वारे दिली जाते,

$$f = f_c [1 + Ke_m] \quad ...(1)$$

$$\therefore f = f_c [1 + KE_m \cos \omega_m t] \quad ...(2)$$

जेव्हा वरील समीकरणातील कोसाइन टर्म +/- 1 होते तेव्हाच δ चेकमाल मूल्य प्राप्त होते.

$$\therefore f = f_c [1 \pm KE_m]$$

$$\boxed{\therefore \boldsymbol{\delta} = K E_m f_c} \quad ...(3)$$

समीकरण (2) मध्ये वारंवारता विचलन वापरून मिळते

$f= f_c + \delta \cos \omega_m t$

आता, FM चे त्वरित ॲम्प्लीट्यूड द्वारे दिले जाते

$$V_{FM} = A \sin \theta \quad ...(4)$$

आकृती 3.1 (b) पासून θ हा A (FM चेॲम्प्लीट्यूड) वेक्टरने t = 0 पासून t = t पर्यंत स्थिर कोनीयवेग 'ω' ने

फिरवून तयार केलेला कोन आहे.

समीकरण (2) वरून आपल्याला 'ω' चे समीकरण मिळते.

$$\omega = \omega_c [\, 1 + KE_m \cos \omega_m t \,] \qquad ...(5)$$

आता, θ चे मूल्य शोधण्या साठी,‘ω’ हे वेळेच्या संदर्भात एकत्रित केले पाहिजे. त्यामुळे

$$\theta = \int \omega dt$$

$$\theta = \int \omega_c [1 + K E_m \cos \omega_m t]\, dt$$

$$\theta = \int \omega_c dt + \int K E_m \cos \omega_m t\, dt$$

$$\theta = \omega_c \int 1\, dt + K E_m \omega_c \int \cos \omega_m t\, dt$$

$$\theta = \omega_c t + K E_m \omega_c \omega\omega$$

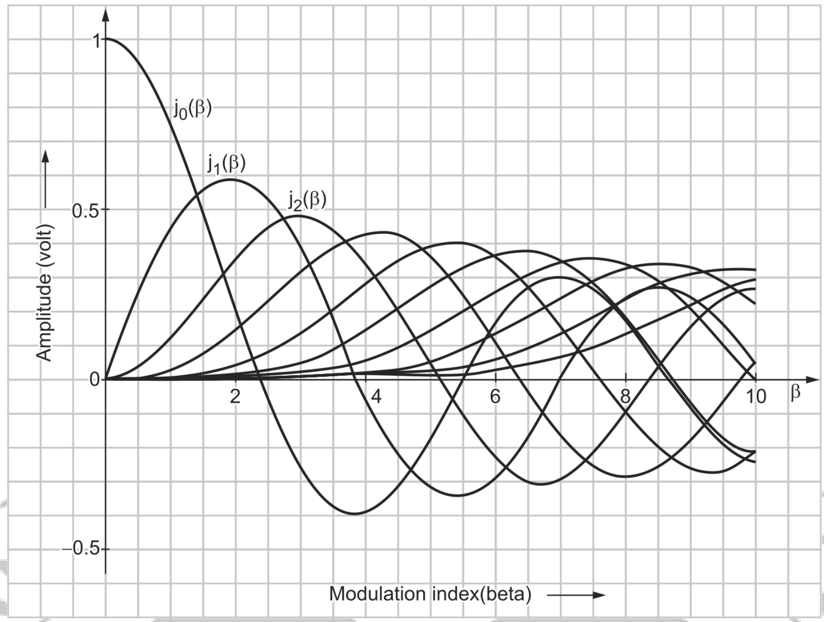
$$\theta = \omega_c t + \omega$$

$$\theta = \omega_c t + \delta \sin \omega_m t$$

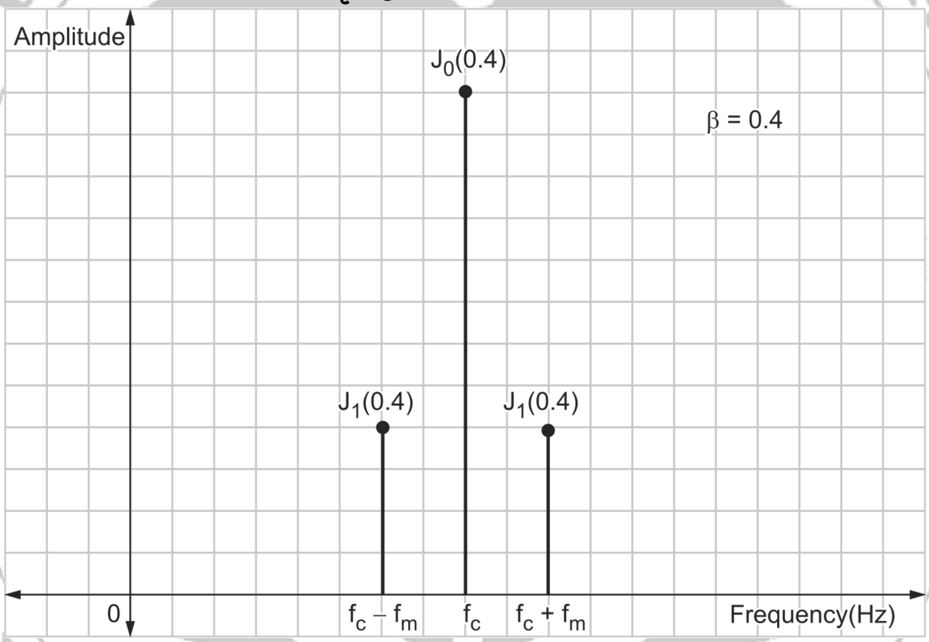
3.1.2 बेसलच्या कार्याचा वापर (Use of Bessel's function)

बेसल फंक्शन्स FM स्पेक्ट्रम मधील वारंवारता (frequency)घटकांचे परिमाण आणि चिन्हे निर्धारित करतात.

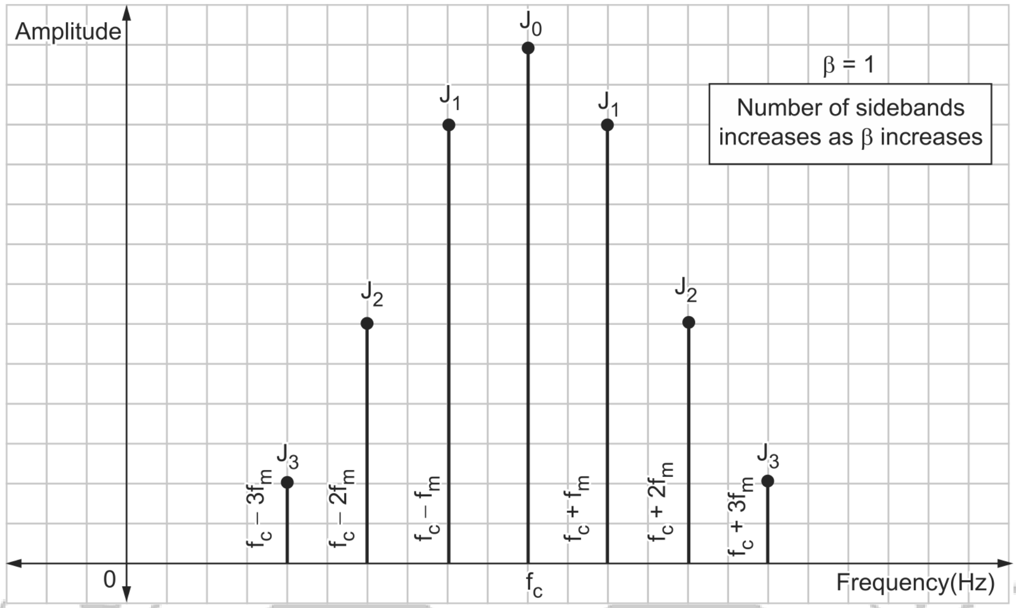
MAHARASHTRA STATE BOARD OF TECHNICAL EDUCATION MUMBAI



आकृती 3.2 बेसलफंक्शन्सआलेख

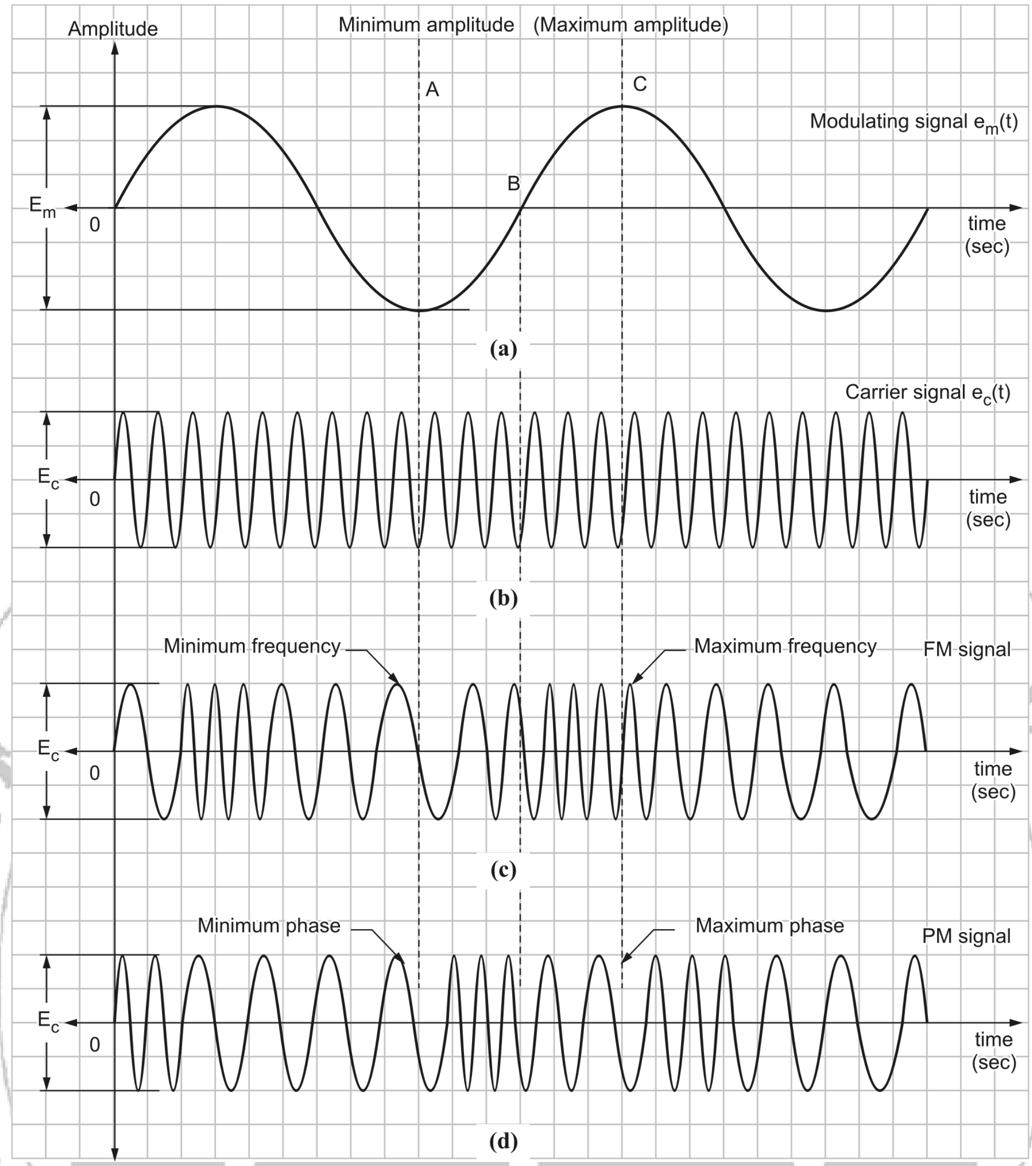


आकृती 3.3 β = 0.4 साठी FM स्पेक्ट्रम

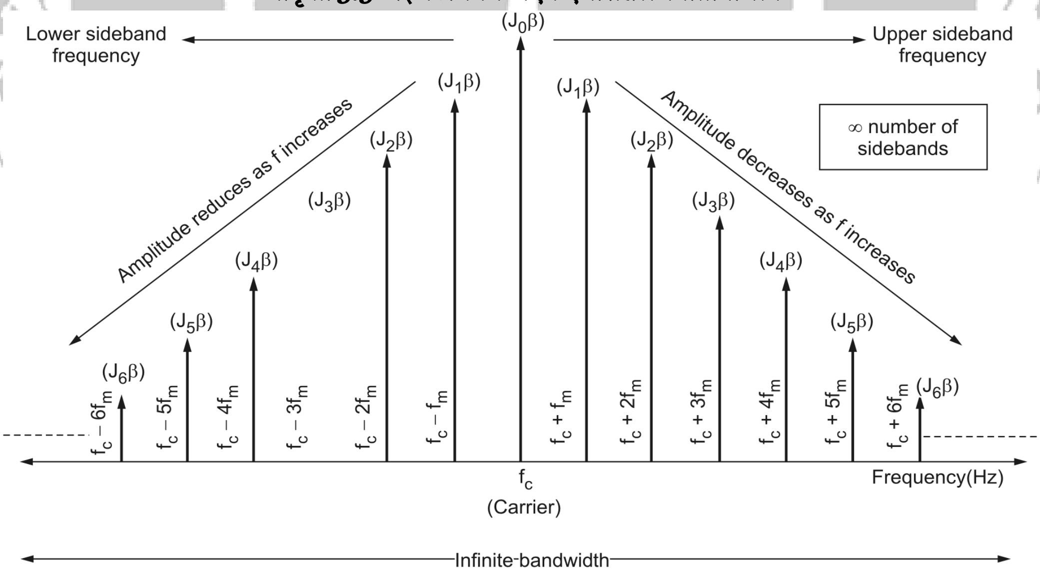


आकृती 3.4 β = 1साठी FM स्पेक्ट्रम

3.1.3 टाइमडोमेन आणि वारंवारता डोमेन मध्ये एफ एम सिग्नलचे प्रतिनिधित्व (Representation of FM signal in time domain and frequency domain)



आकृती 3.5 टाइमडोमेनमध्येएफएमसिग्नलचेप्रतिनिधित्व



आकृती 3.6 वारंवारताडोमेनमध्येएफएमसिग्नलचेप्रतिनिधित्व

3.1.4 वारंवारता विचलन प्रमाण (विचलन गुणोत्तर) (Frequency deviation ratio)

कमाल मॉड्युलेटिंग सिग्नल फ्रिक्वेंसी आणि कमाल वारंवारता विचलनाच्या गुणोत्तराला विचलन गुणोत्तर म्हणतात.

विचलन गुणोत्तर हे कमाल मॉड्युलेटिंग फ्रिक्वेन्सीच्या कमाल वारंवारता विचलनाचे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले जाते.

हे 'D' ने दर्शविले जाते.

$\therefore D = \delta$

(a)विचलनाचे कमाल मूल्य 75 KHz पर्यंत मर्यादितआहे

(b) आणि मॉड्युलेटिंग वारंवारता 15 KHz पर्यंत मर्यादितआहे

म्हणून कमाल विचलन गुणोत्तर 5 पर्यंत मर्यादित आहे

3.1.5 मॉड्यूलेशन इंडेक्स (Modulation index)

वारंवारता मॉड्युलेशन वेव्हचे मॉड्यूलेशन इंडेक्स

(a) मॉड्युलेशन इंडेक्स फ्रिक्वेन्सी मॉड्युलेशन वेव्हची बँडविड्थ ठरवते.

(b) मॉड्युलेशन इंडेक्स महत्त्वपूर्ण ॲम्प्लिट्यूड असलेल्या साइडबँडची संख्या देखील ठरवते.

FM चे मॉड्युलेशन इंडेक्स: हे मॉड्युलेटिंग सिग्नल फ्रिक्वेंसी (fm) आणि वारंवारता विचलनाचे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले जाते.

$$m_f = \beta = \delta$$

$$\theta = \omega_c t + \beta \sin \omega_m t$$

3.1.6 एफएमची बँडविड्थ (Bandwidth of FM)

तात्त्विकदृष्ट्या, एफएममध्ये अनंत(infinity) बँडविड्थ आहे परंतु व्यावहारिक हेतूसाठी ते कार्सनच्या नियमाद्वारे निर्धारित केले जाते.

कार्सनचा नियम सांगतो की FM सिग्नल पास करण्यासाठी आवश्यक असलेली बँडविड्थ कमाल वारंवारता विचलन आणि कमाल मोड्युलेटिंग फ्रिक्वेन्सी च्या दुप्पट आहे.

$$B = 2\,(\delta_{max} + f_{m\,(max)})$$

3.1.7 वारंवारता मॉड्यूलेशन चे प्रकार (Types of frequency modulation)

1.अरुंद बँड एफएम (Narrow Band FM)

2.वाईड बँड एफएम (Wide Band FM)

तक्ताक्रमांक 3.1अरुंदबँडएफएमचीवाइडबँडएफएमशीतुलना

अरुंद बँड एफ एम (Narrowband FM)	वाइड बँड एफ एम (Wideband FM)
) मॉड्युलेशन इंडेक्स 1 पेक्षा कमी किंवा किंचित जास्त आहे	1) मॉड्युलेशन इंडेक्स 1 पेक्षा जास्त आहे
) कमाल विचलन 5 KHz आहे	2) कमाल विचलन 75KHz आहे
) मॉड्युलेटिंग फ्रिक्वेन्सीची श्रेणी 30 Hz ते 3 KHz आहे	3) मॉड्युलेटिंग फ्रिक्वेन्सीची श्रेणी 30 Hz ते 15 KHz आहे
) बँडविड्थ अंदाजे AM प्रमाणेच लहान आहे	4) नॅरो बँड एफ एमच्या बँडविड्थ पेक्षा बँडविड्थ सुमारे 15 पट जास्तआहे
) अरुंद बँड एफ एम चे अनुप्रयोग म्हणजे एफ एम मोबाइल कम्युनिकेशन जसे की पोलिस वायरलेस, ॲम्ब्युलन्सइ.	5) वाइड बँड एफ एमचे अनु प्रयोग मनोरंजन प्रसारण आहेत

3.1.8 एफ एम चे फायदे (Advantages of FM):

1.प्रसारित शक्ती स्थिर राहते

2.एफ एम रिसीव्हर आवाजा पासून सुरक्षित असतात

3.चांगला कॅप्चर प्रभाव

4.सिग्नल चे मिश्रण नाही

3.1.9 एफ एम चे तोटे (Disadvantages of FM):

1.हे खूप स्पेक्ट्रम जागा वापरते

2.बँड विड्थ अधिक रुंद आहे

3.वापरलेली बँड विड्थ कमी करण्यासाठी मॉड्युलेशनइं डेक्स कमी ठेवला जाऊ शकतो

4.मॉड्युलेशन इंडेक्स कमी केल्याने आवाज प्रतिकार शक्ती कमी होते

5.केवळ उच्च फ्रिक्वेन्सीवर वापरले जाते

3.1.10 एफ एम चा अनुप्रयोग (Applications of FM):

1.एफ एम रेडिओ प्रसारण

2.टेलि व्हिजनमध्ये ध्वनी प्रसारण

3.पोलीस वायरलेस

4.पॉइंट टू पॉइंट संचार

3.1.11 प्री-एम्फसिस आणि डी-एम्फसिस आणि कामाची संकल्पना
(Concept of Pre-emphasis and De-emphasis and working)

व्याख्या

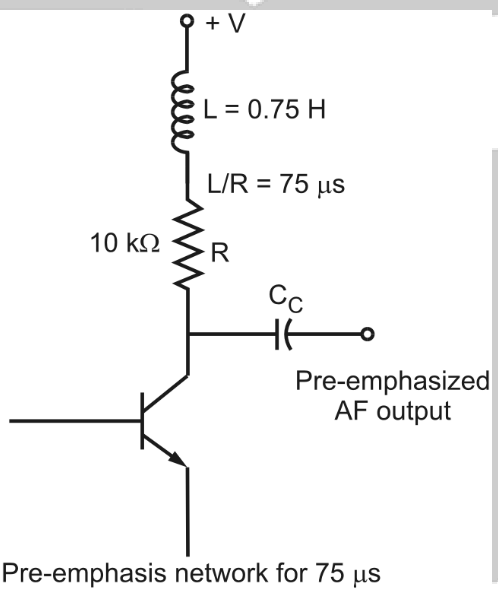
आवाजाचा प्रभाव कमी करण्यासाठी उच्च मॉड्युलेटिंग फ्रिक्वेन्सीजच्या कृत्रिम बूस्टिंगला प्री-एम्फसिस म्हणतात.

गरज:-

1. पूर्व नियोजित प्रतिसाद वक्रानुसार उच्चऑडिओ मॉड्युलेटिंग फ्रिक्वेन्सीच्या कृत्रिम बूस्टिंगला प्री –एम्फसिस म्हणतात.

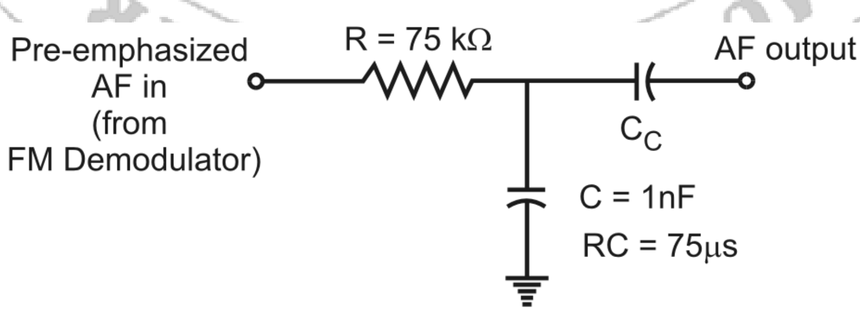
2. FM मध्ये, आवाजाचा उच्च मॉड्युलेटिंग फ्रिक्वेन्सीवर जास्त परिणाम होतो. मॉड्युलेशन इंडेक्स (mf) चे मूल्य वाढवून हा प्रभाव कमी केला जाऊ शकतो.

3.हेविचलनवाढवूनकेलेजाऊशकतेआणिउच्चफ्रिक्वेन्सीवरमॉड्युलेटिंगसिग्नलचेमोठेपणावाढवूनवाढवतायेते.

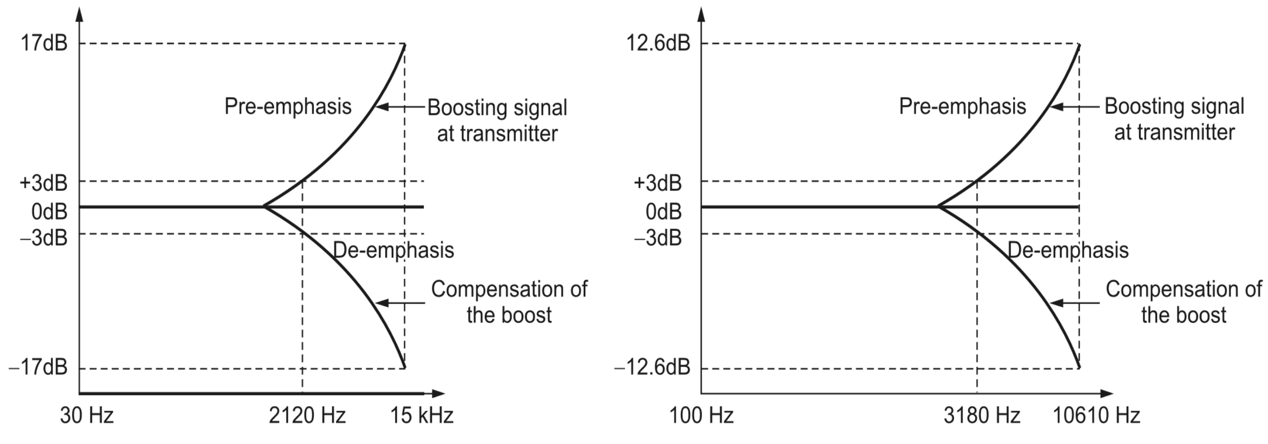


आकृती 3.7 प्री-एम्फसिस (Pre-emphasis)

प्रीफेसिसच्याप्रक्रियेतउच्चमॉड्युलेटिंगफ्रिक्वेन्सीलादिलेलेकृत्रिमबूस्टिंगरद्दकरण्यासाठीकिंवाभरपाईकरण्यासाठीरिसीव्हरच्याशेवटीवापरल्याजाणाऱ्याप्रक्रियेला डी-एम्फसिस म्हणतात.



आकृती 3.8 डी-एम्फसिससर्किट (De-emphasis circuit)



75 µs emphasis curve 50 µs emphasis curve

आकृती 3.9 एम्फसिस आलेख **(Emphasis Curves)**

तक्ताक्रमांक 3.2:प्री-एम्फसिस आणि डी-एम्फसिस मधील तुलना

क्र	**पॅरामीटर**	**प्री-एम्फसिस (Pre-emphasis)**	**डी-एम्फसिस (De-emphasis)**
1	व्याख्या	ट्रान्समीटरवर उच्च वारंवारता असल्यास बूस्टिंग	रिसीव्हरवर समान जोर देणाऱ्या घटकांसह आधीच बूस्ट केलेल्या फ्रिक्वेन्सीचे क्षीणीकरण
2	नेटवर्क वापरले	उच्च पास फिल्टर (high pass filter)	कमी पास फिल्टर (low pass filter)
3	ज्या टप्प्यावर ते केले जाते	मॉड्यूलेशन करण्यापूर्वी	डिमॉड्युलेटर नंतर
4	अनुप्रयोग	एफएम ट्रान्समीटर	एफएम रिसीव्हर

सोडवलेलीउदहारणे

उदा. ३.१:

107.6 MHz वाहक सिग्नल 7 kHz sine wave द्वारे मोड्युलेटेड वारंवारता (frequency) आहे. परिणामी एफएम सिग्नलमध्ये 50 kHz ची वारंवारता (frequency) विचलन असते. खालील निश्चित करा:

(i) FM सिग्नलचा वाहक स्विंग.

(ii) मोड्युलेटेड सिग्नलद्वारे प्राप्त केलेली सर्वोच्च आणि सर्वात कमी वारंवारता.(frequency)

(iii) एफएम वेव्हचा मॉड्युलेशन इंडेक्स.

उत्तर:

वाहकस्विंग (Carrier swing) = $2 \cdot \delta = 2 \cdot 50$ kHz

= 100 kHz

fmax = fc + δ

= 107.6 MHz + 100 kHz

∴ fmax = 107.7 MHz

fmin = fc – δ

= 107.6 MHz – 100 kHz

∴ fmin = 107.5 MHz

β = δ = ··

∴β = 7.1428

∴ Percent modulation = 714.28% (टक्के मॉड्युलेशन)

उदा. ३.२ :

जेव्हा मॉड्युलेटिंग सिग्नलची वारंवारता 8 kHz असते तेव्हा 100 kHz वाहक स्विंग असलेल्या FM सिग्नलचा मॉड्यूलेशन इंडेक्सची गणना करा.

उत्तर:

वाहक स्विंग(Carrier swing) = 2 ·δ

δ = (Carrier swing)/ 2

δ = 100 kHz / 2

δ = 50 kHz

β = δ / φμ

β = 50 kHz / 8 KHz

β = 6.25

उदा. ३.3 :

एफएम ट्रान्समिशनची वारंवारता 20 kHz चे विचलन असते.

(i) सिग्नल 88 MHz - 108 MHz बँडमध्ये प्रसारित केले असल्यास त्याचे टक्केवारी मोड्यूलेशन निश्चित करा.

(ii) हे सिग्नल टेलिव्हिजन प्रसारणाचा ऑडिओ भाग म्हणून प्रसारित केले असल्यास टक्के मॉड्यूलेशनची गणना करा.

उत्तर:

मानकव्यावसायिकएफएमबँडसाठी (For standard commercial FM band)

fm = 75 kHz

β = δ / φμ = 20KHz / 75KHz

β = 0.2666

∴ Percent modulation = β = 26.66%

मानकदूरदर्शनप्रसारणासाठी (For standard television broadcast)

fm = 25 kHz

β = δ / φμ = 20KHz / 25KHz

β = 0.8

∴ Percent modulation= β =80%

उदा. ३.४ :

वारंवारता विचलन δ = 75 KHz आणि मॉड्युलेटिंग वारंवारता (frequency) fm = 15 KHz असल्यास व्यावसायिक FM प्रसारणाची बँडविड्थ ची गणना करा.

उत्तर:

बँडविड्थ(Bandwidth)= 2 [δ + fm max] = 2 [75 kHz + 15 kHz]

∴ B = **180 kHz**

उदा. ३.५ :

नॅरोबँड FM सिग्नलची बँडविड्थ निश्चित करा जी 4 kHz ऑडिओ सिग्नल 125 MHz वाहक मॉड्युलेट करून व्युत्पन्न होते आणि मॉड्युलेशन इंडेक्स 0.8 आहे.

उत्तर:

β = δ

$\delta = \beta \cdot fm = 0.8 \cdot 4\ kHz$

$\delta = 3.2\ kHz$

बँडविड्थ(Bandwidth) = $2\,[\delta + fm\ max]$

$= 2\,[3.2\ kHz + 4\ kHz]$

$\therefore$ **B = 14.4 kHz**

उदा. ३.६ :

FM ब्रॉडकास्ट सिस्टीममध्ये कमाल विचलन (deviation) 75 kHz आहे. मॉड्युलेटिंग सिग्नल 8 kHz चे सिंगल टोन साइनसॉइड (single tone sinusoidal) असल्यास, FM सिग्नलची बँडविड्थ निश्चित करा. मॉड्युलेटिंग सिग्नल ॲम्प्लीट्यूड दुप्पट केल्यावर बँडविड्थ निश्चित करा.

उत्तर:

$B = 2\,[\delta + fm\ max] = 2\,[75\ kHz + 8\ kHz]$

$\therefore$ **B = 166 kHz**

जर मॉड्युलेटिंग वारंवारता (frequency)दुप्पटअसेल If the modulating frequency is doubled, i.e.,

$fm2 = 16\ kHz$ then,

$B = 2\,[\delta + fm\ max]$

$= 2\,[75\ kHz + 16\ kHz]$

$\therefore$ **B = 182 kHz**

उदा. ३.७ :

20 MHz वाहक 400 Hz मॉड्युलेटिंग सिग्नलद्वारे मोड्यूलेट केले जाते. वाहक विद्युतदाब 5 V आहे आणि कमाल विचलन 10 kHz आहे. एफएम वेव्हसाठी गणितीय अभिव्यक्ती लिहा.

उत्तर:

एफएम वेव्हचे मानक समीकरणआहे,(Standard equation of FM wave is,)

$V_{FM} = Ec \sin[\omega ct + \beta \sin \omega mt]$

$\omega c = 2\pi fc$

$= 2\pi \cdot 20$ MHz

$\therefore \omega c = 125.6637 \cdot 106$ rad/sec.

$\omega m = 2\,\pi fm$

$= 2\pi \cdot 400$ Hz

$\therefore \omega m = 2.5132 \cdot 103$ rad/sec.

$\therefore \beta = \delta = \; = 25$

$\therefore V_{FM}(t) = 5 \sin [125.6637 \cdot 106\, t$

$+ 25 \sin (2.5132 \cdot 103)\, t]$

उदा. ३.८ :

FM प्रणालीमध्ये विचलन (deviation) कमाल मूल्य 75 kHz आणि कमाल मॉड्युलेटिंग वारंवारता (frequency) 10 kHz असल्यास, कार्सनचा नियम वापरून प्रणालीचे विचलन गुणोत्तर आणि बँडविड्थ निश्चित करा.

उत्तर:

$D = \delta / fm = 75$ KHz / 10KHz

D = 7.5

$B = 2\,[\delta + fm(max)] = 2\,[75$ kHz + 10 kHz$]$

B = 170 kHz

उदा. ३.६ :

अँगल मोड्युलेटेड व्होल्टेजचे समीकरण $e = 10 \sin (108t + 3 \sin 104t)$

मॉड्युलेशन चा *प्रकार ओळखा?*

वाहक आणि मोड्युलेटिंग वारंवारता, मॉड्युलेशन इंडेक्स, वारंवारता विचलन आणि यांची गणना करा.

उत्तर:

हे समीकरण एफएम लहरीचेआहे.(This equation is of FM wave.)

दिलेल्या समीकरणाची मानक FM समीकरणाशी तुलना करणे

Comparing the given equation with the standard FM equation, i.e.,

$V_{FM}(t) = E_c \sin[\omega c\, t + \beta \sin \omega m\, t]$ and

$e = 10 \sin[10^8 t + 3 \sin 104t]$

$Ec = 10\ V$

$\omega c = 2\pi\ fc = 108$

$\therefore\ fc = \omega c / 2\pi$

$\therefore$ **fc = 15.91 MHz**

$\beta = 3$

$\omega m = 2\pi fm$

$\therefore$ **fm** $= \omega m / 2\pi$

$\therefore$ **fm = 1591.5 Hz**

$\delta = \beta \cdot fm = 3 \cdot 1591.5$

δ = 4.774 kHz

उदा. ३.१०:

300 Hz ते 3 kHz पर्यंत वारंवारता श्रेणीसह बेसबँड सिग्नल प्रसारित करण्यासाठी आवश्यक असलेल्या बँडविड्थची तुलना करण्यासाठी कार्सनचा नियम वापरा:

1. एनबीएफएम 5 kHz च्या कमाल विचलनासह.
2. 75 kHz च्या कमाल विचलनासह WBFM.

उत्तर:

For NBFM (एनबीएफएम)

$B = 2[\delta + fm(max)] = 2[5\ kHz + 3kHz]$

$\therefore$ **B = 16 kHz**

For WBFM (रुंदबँड)

$B = 2[\delta + fm(max)] = 2[75\ kHz + 3kHz]$

∴ B = 156 kHz

उदा. ३.११:

विद्युत दाब समीकरणाद्वारे वारंवारता मॉड्युलेटेड सिग्नल दर्शविले जाते.

$eFM = 10 \sin [6 \times 10^8 t + 5 \sin 1250 t]$

गणना करा :

(i) वाहक वारंवारता fc

(ii) मोड्युलेटिंग वारंवारता fm

(iii) कमाल विचलनδ

उत्तर:

FM चे मानक समीकरण आहे,(Standard equation of FM is,)

$$eFM(t) = Ec \sin [\omega c\, t + \beta \sin \omega m\, t]$$

$$\omega c = 2\pi fc = 6 \cdot 10^8$$

$$\therefore \quad fc = \omega c / 2\pi$$

$$\therefore \quad fc = 95.49 \text{ MHz}$$

मॉड्यूलेशनइंडेक्स(Modulation index,)β = 5

$$\omega m = 2 \pi fm = 1250$$

$$\therefore \quad fm = \omega m / 2\pi$$

$$\therefore \quad fm = 198.94 \text{ MHz}$$

$$\delta = \beta \cdot fm$$

$$\delta = 5 \cdot 198.94 \text{ MHz}$$

$$\delta = 994.72 \text{ Hz}$$

उदा. ३.१२ :

FM साठीआवश्यक बँडविड्थ किती आहे ज्यामध्ये मॉड्युलेटिंग वारंवारता 2 kHz आहे आणि कमाल विचलन 10 kHz आहे? सर्वाधिकआवश्यक साइडबँड 8 आहेत असे गृहीतधरा

उत्तर:

बँडविड्थ = 2fm x महत्त्वपूर्ण साइडबँडची संख्या

Bandwidth = 2fm · Number of significant sidebands

= 2fm · 8 = 2 · 2kHz · 8

∴ B = 32 kHz

Or

B = 2 [δ + fm (max)] ... by Carson's rule (कार्सनच्या नियमानुसार)

= 2 [10 kHz + 2 kHz]

∴ B = 24 KHz

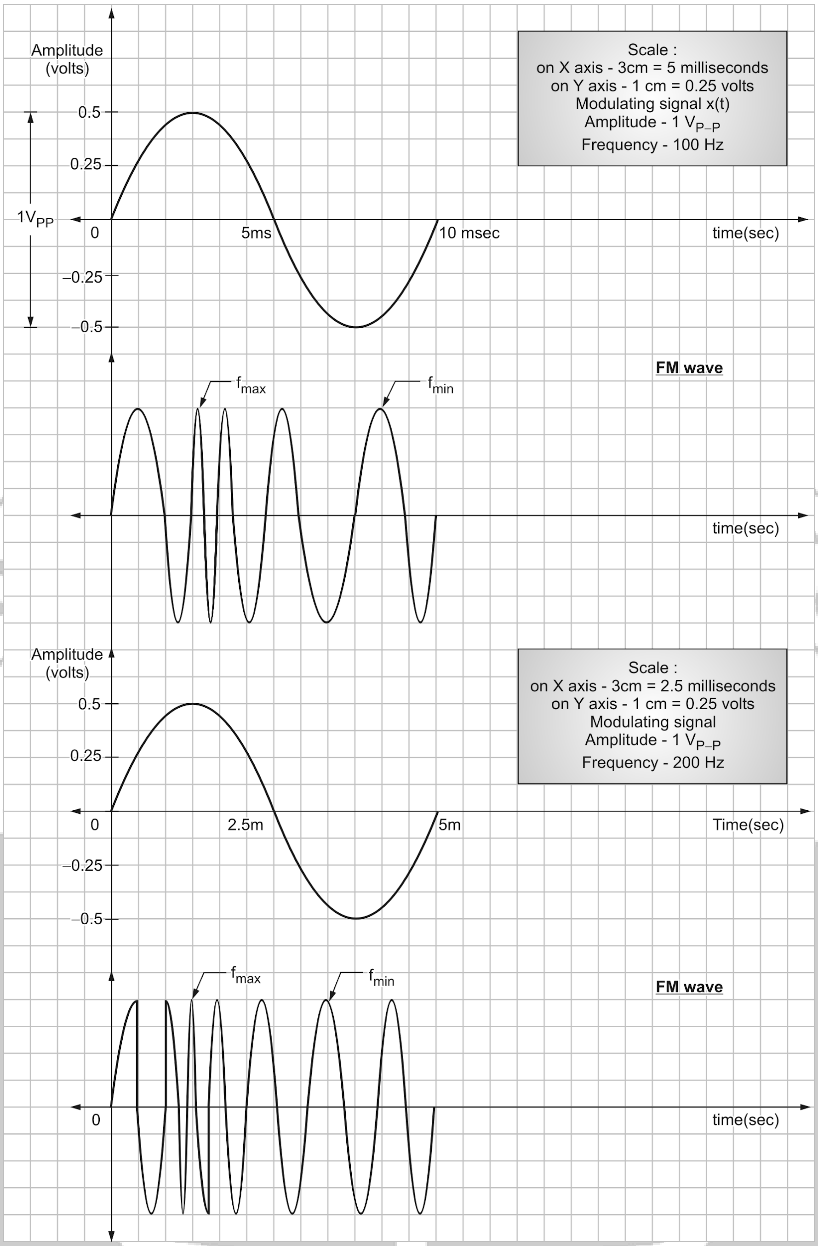
उदा. ३.१३ :

FM साठी वेव्हफॉर्म काढा

1. 100 Hz 1 VP– P चे मॉड्युलेटिंग सिग्नल

2. 1 kHz च्या वाहक वारंवारतेसह 200 Hz 1 VP – P चे मॉड्युलेटिंग सिग्नल.

उत्तर:



उदा. ३.१४:

FM मध्ये, कमाल विचलन 65 kHz आणि कमाल मॉड्युलेटिंग वारंवारता(frequency)10 kHz असल्यास, FM चे विचलन गुणोत्तरआणि बँडविड्थ मोजा.

उत्तर:

$D = \delta / fm = 65\ kHz / 10\ kHz$

$\therefore$ **D = 6.5**

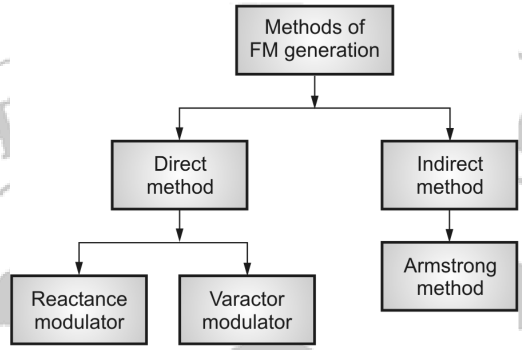
$B = 2\,[\delta + fm(max)]$

$= 2\,[65\ kHz + 10\ kHz]$

$\therefore$ **B = 150 kHz**

3.2 थेट पद्धतीचा वापर करून एफएमची निर्मिती (Generation of FM using direct method)

FM सिग्नल तयार करण्याच्या पद्धतींमध्ये वारंवारता गुणाकार वापरून अप्रत्यक्ष निर्मिती आणि व्होल्टेज-नियंत्रित ऑसिलेटर वापरून थेट निर्मिती समाविष्ट आहे. FM सिग्नल्सचे डिमॉड्युलेशन भेदक वापरून केले जाऊ शकते जे स्लोप डिटेक्टर किंवा फेज-लॉक केलेले लूप वापरून वारंवारता विचलनाच्या प्रमाणात आउटपुट तयार करतात.



आकृती 3.10: वारंवारता मोड्यूलेशन निर्मितीपद्धतींचेवर्गीकरण

(Classification of FM generation methods)

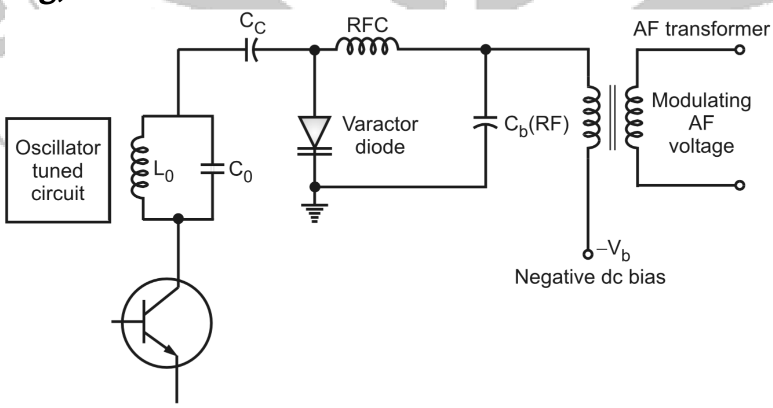
a.व्हॅरेक्टर डायोड मॉड्युलेटर(Varactor Diode Modulator)

b.प्रतिरोध मॉड्युलेटर (Reactance Modulator)

3.2.1 एफएम जनरेशनसाठी व्हॅरेक्टर डायोड मॉड्युलेटर
(Varactor diode modulator for FM generation)

वारंवारता मॉड्युलेशन तयार करण्यासाठी व्हॅरेक्टर डायोड वापरले जाऊ शकतात; एफ एम ट्रान्समीटरसाठी स्वयंचलित सुधारणा प्रदान करण्यासाठी ते रिॲक्टन्स मॉड्युलेटर सहकार्यरत आहेत.

कार्यरत **(Working):**



आकृती 3.11 व्हॅरेक्टर डायोड मॉड्युलेटर

1.व्हॅरॅक्टर डायोड हा अर्धसंवाहक डायोड आहे ज्याची जंक्शन कॅपेसिटन्स लागू बाय सविद्युतदाबसह रेषीयपणे बदलते जेव्हा डायोड उलटपक्षपाती असतो

2. ते FM निर्मितीसाठी VCO मध्येवापरलेजाऊशकते.

3. डायोड उलट पक्षपाती आहे आणि म्हणूनच, त्याचे जंक्शन कॅपेसिटन्सबायसविद्युतदाबसहबदलते.

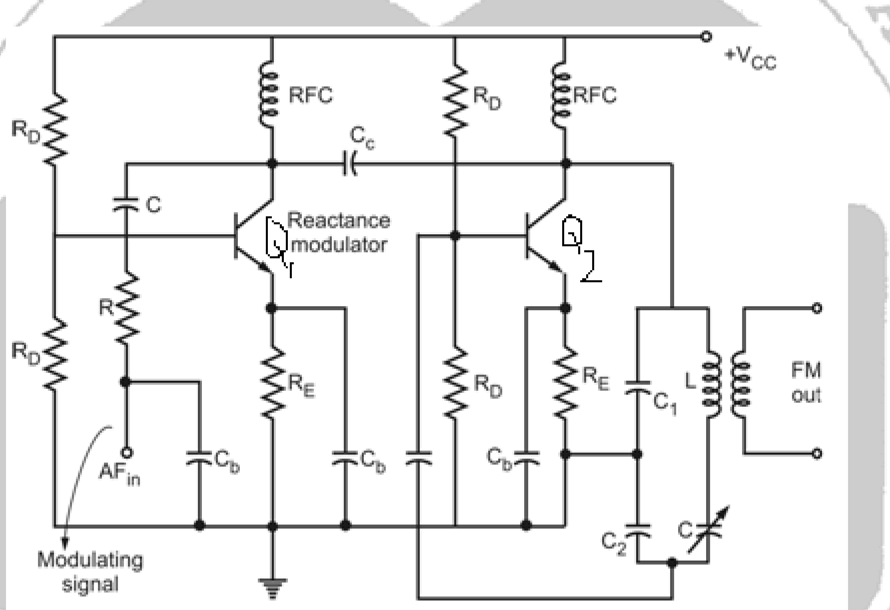
4.मॉड्युलेटिंगसिग्नलबायसविद्युतदाबसहमालिकेतजोडलेलेआहे. म्हणून पूर्वा ग्रह बदलतो कारण मॉड्युलेटिंग सिग्नल विद्युत दाब बदलतो आणि त्यानुसार जंक्शन कॅपेसिटन्स बदलला जातो.

5.व्हेरिएबल कॅपेसिटन्समुळे दोलन वारंवारता बदलते कारण कॅपेसिटन्स आणि वारंवारता एकमेकांच्या व्यस्त प्रमाणात असतात. त्यामुळे एकंदरीत, हे स्पष्ट आहे की मॉड्युलेटिंग सिग्नल विद्युतदाब बदलत असल्याने, दोलन वारंवारता बदलते ज्यामुळे ते VCO आहे.

6. हेसर्वातसोपे VCO डिझाइनआहे.

7.हेसामान्यतःएफएमट्रान्समीटरमधीलस्वयंचलितवारंवारतासुधारसर्किटमध्येरिॲक्टन्समॉड्युलेटरसहवापरलेजाते.

3.2.2 एफएम जनरेशनसाठी रिॲक्टन्स मॉड्युलेटर (Reactance modulator for FM generation)



आकृती 3.12 रिॲक्टन्समॉड्युलेटर

स्पष्टीकरण :-

1. Q1 वर ऑडिओ मॉड्युलेटिंग सिग्नल लागू केला जातो जो पाठवल्या जाणाऱ्या इनपुट माहितीनुसार Q1 चे बेस विद्युतदाब आणि विद्युत प्रवाह बदलतो.

2. संग्राहकवर्तमान ॲम्प्लीट्यूड बदलते जे कॅपेसिटन्स बदलते

3. कॅपेसिटन्स वाढ वावारंवारता कमी करा आणि कॅॅपसिटन्स कमी करा वारंवारता (frequency)वाढवा आणि अशाप्रकारे आउटपुटवर थेट एफ एम तयार करा.

रिॲक्टन्समॉड्युलेटरचेफायदे:

1.ही FM जनरेशनची सरळ पद्धत आहे ज्या मध्ये इनपुट मॉड्युलेटिंग विद्युत दाबसह वारंवारता रेषीयपणे बदलते.

2. साधे डिझाइन

3.कमीखर्च

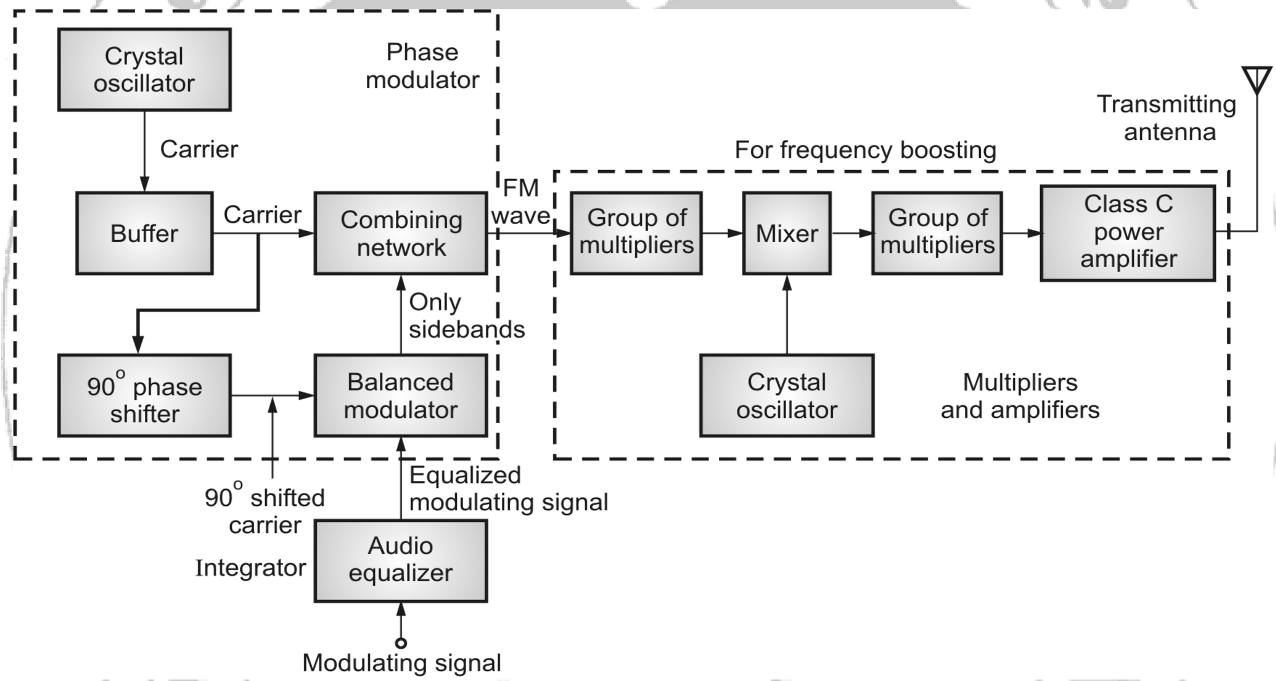
रिॲक्टन्स मॉड्युलेटर चे तोटे:

1. वाहक वारंवारता वाहून जाते आणि म्हणूनच, ती स्थिर करणे आवश्यक आहे. स्थिरीकरण सर्किटरी जटिलता वाढवते.
2. हे आरसी कॅपेसिटिव्ह ट्रान्झिस्टर रिॲक्टन्स मॉड्युलेटर आहे.
3. हे क्लॅप-गौरिएट ऑसिलेटर किंवा एलसी ऑसिलेटर सह वापरले जाऊ शकते.

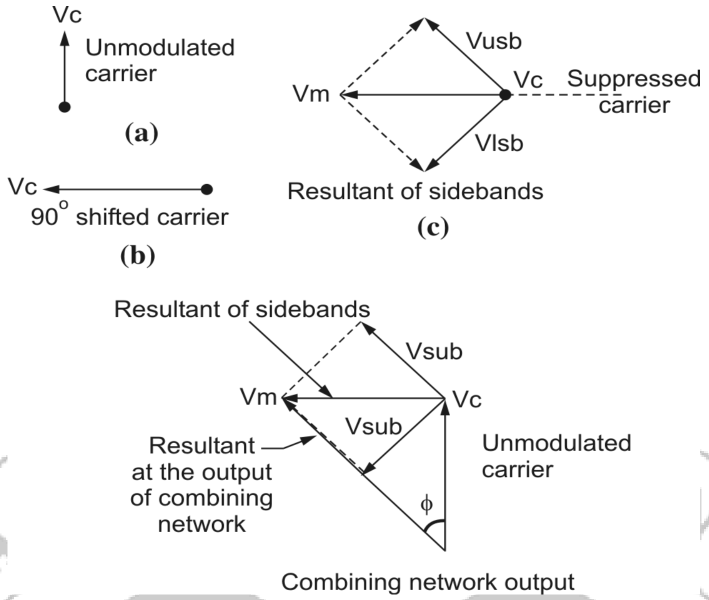
3.2.3 अप्रत्यक्ष पद्धतीचा वापर करून एफएमची निर्मिती

(Generation of FM using Indirect method)

एफ एम निर्मितीची आर्मस्ट्रॉंग पद्धत (Armstrong method of FM generation)



आकृती 3.13 एफएम निर्मितीची आर्मस्ट्रॉंग पद्धत



आकृती 3.14 वेक्टरआकृती (Phasor Diagram)

स्पष्टीकरण :-

1. क्रिस्टल ऑसीलेटर कमी वारंवारता वर वाहक तयार करतो विशेषत: 1 MHz वर. हे एकत्रित नेटवर्क आणि 90 डिग्री फेज शिफ्टर वर लागू केले जाते.

2. कमी मॉड्युलेटिंग वारंवारता ला चालना देण्यासाठी मॉड्युलेटिंग सिग्नल ऑडिओ इक्वलायझर द्वारे पास केला जातो. मॉड्युलेटिंग सिग्नल संतुलित मॉड्युलेटर ला लागू करतो.

3. संतुलित मॉड्युलेटर दोन साइडबँड तयार करतो जेसे की त्यांचा परिणाम 90 डिग्री फेज अन-मॉड्युलेट केलेल्या कॅरियर च्या संदर्भात स्थलांतरित होतो.

4. एकत्रित नेटवर्क मध्ये अन-मॉड्युलेटेड कॅरियर आणि 90 डिग्री शिफ्ट केलेले साइडबँड जोडले जातात.

5. आधी चर्चा केल्याप्रमाणे, एकत्रित नेटवर्क च्या आउटपुट वर आपल्याला FM लहर मिळते. या FM वेव्ह मध्ये कमी वाहक वारंवारता fc आणि मॉड्युलेशन इंडेक्स mf चे कमी मूल्य आहे.

6. वाहक वारंवारता आणि मॉड्युलेशन इंडेक्स नंतर गुणकांच्या पहिल्या गटातून FM वेव्ह पास करून वाढवले जातात. वाहक वारंवारता मिक्सर वापरून वाढवली जाते आणि नंतर fc आणि mf दोन्ही गुणकांच्या दुसऱ्या गटाचा वापर करून आवश्यक उच्च मूल्यांपर्यंत वाढवले जातात. गुणाकार आणि मिश्रणाचा प्रभाव आधी सांगितल्या प्रमाणे आहे.

7. उच्च fc आणि उच्च mf सह FM सिग्नल नंतर FM सिग्नल चा पॉवर लेव्हल वाढवण्यासाठी क्लास C पॉवर ॲम्प्लिफायर मधून जातो.

3.3 एफएम डिटेक्टर (FM Detector)

एफएम डिटेक्टर (किंवा डिमॉड्युलेटर) चे कार्य म्हणजे इनकमिंग कॅरियरचे वारंवारता विचलन AF ॲम्प्लिट्यूड व्हेरिएशनमध्ये बदलणे

डिटेक्टर किंवा डिमॉड्युलेटर सर्किटसाठी अटी (conditions):

1.ॲम्प्लीट्यूड बदलांसाठी असंवेदनशील

2.त्याच्या समायोजन आणि ऑपरेशनमध्ये खूप चिंताजनक होऊ नये

3.वारंवारता फरकांना ॲम्प्लिट्यूडत रूपांतरित करते

एफएम डिटेक्टरचे विविध प्रकार आहेत (FM Detector चेप्रकार):

a.साधा उतार डिटेक्टर (Simple Slope Detector)

b.संतुलित सोप डिटेक्टर (Balanced Slope Detector)

c.फेज डिस्क्रिमिनेटर (Phase Discriminator) or (फॉस्टर सीली डिस्क्रिमिनेटर) (Foster Seely Discriminator)

d.गुणोत्तर डिटेक्टर (Ratio Detector)

e.पीएलएल डिटेक्टर (PLL Detector)

3.3.1 गुणोत्तर डिटेक्टर (Ratio Detector)

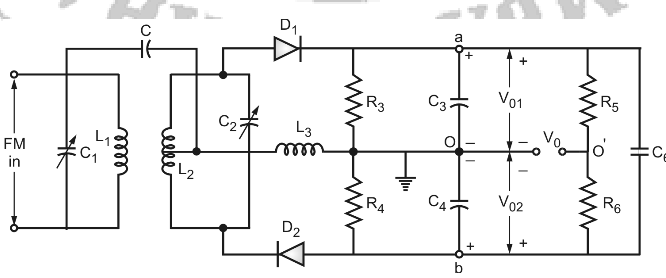
ॲम्प्लीट्यूड मर्यादित सुविधा जोडून फेज डिस्क्रिमिनेटरमध्ये बदल करणे याला गुणोत्तर डिटेक्टर म्हणतात.

फेरफार आहेत (Modifications are)

1. D2 ची दिशा उलट आहे

2. मोठ्या मूल्याचा कॅपेसिटर C5 आउटपुट असायचा त्याप्रमाणे ठेवलेला आहे

3. आउटपुट आता इतरत्र घेतले जाते



आकृती 3.15 मूलभूतगुणोत्तरडिटेक्टरसर्किट

सर्किट ऑपरेशन:

1. डायोड D2 उलट केल्याने, O (वर्णमाला O) आता b च्या संदर्भात सकारात्मक आहे, त्यामुळे V_{ab} आता बेरीज विद्युतदाबआहे.

2. हा बेरीज विद्युतदाबस्थिर ठेवण्यासाठी मोठा कॅपेसिटर C5 जोडलेला आहे.

3. आउटपुट विद्युतदाबV0 वैयक्तिक डायोड्समधील आउटपुट विद्युतदाबमधील फरकाच्या अर्ध्या समान आहे.

$Vo = \frac{Vo1-Vo2}{2}$

4.अशा प्रकारे आउटपुट विद्युतदाबवैयक्तिक आउटपुट विद्युतदाबमधील फरकाच्या प्रमाणात आहे.

ॲम्प्लीट्यूड मर्यादित क्रिया: (Amplitude Limiting Action)

1.FM इनपुट विद्युतदाबवाढवण्याचा प्रयत्न करत असताना, दुय्यम विद्युतदाबदेखील वाढते. त्यामुळे अतिरिक्त डायोड प्रवाह D1 आणि D2 मधून वाहतो. त्यामुळे लोड विद्युतप्रवाह वाढते.

2. परंतु C5 मधील विद्युतदाबतात्काळ बदलत नाही.

3. हे लोड विद्युतप्रवाह वाढले आहे परंतु लोड विद्युतदाबजवळजवळ स्थिर आहे.

4. रेशो डिटेक्टर अशा प्रकारे 'डायोड व्हेरिएबल डॅम्पिंग'(Diode Variable Damping) नावाच्या प्रक्रियेद्वारे ॲम्प्लीट्यूडमर्यादित करतो.

L3 चे कार्य (Function of L3):

1.L3 कमी प्रतिबाधा जुळणी *साठी* वापरला जातो.
2. तसेच L3 रेशो डिटेक्टर क्रियेद्वारे प्राइमरीचे खूप मोठे विद्युतदाबस्टेप डाउन देते.

फायदे:

1. सोपे सरळ रचना
2. चांगली रेखीयता
3. ॲम्प्लीट्यूड मर्यादा प्रदान केली आहे जेणेकरून अतिरिक्त लिमिटर आवश्यक नाही.

तोटे:

1. कठीण ऑपरेशन
2. अधिक घटक आवश्यक आहेत

रेशो डिटेक्टरच्या आधी लिमिटर स्टेज का वापरला जात नाही?

रेशो डिटेक्टरमध्ये एक मोठा व्हॅल्यू कॅपेसिटर ठेवला जातो जो ॲम्प्लीट्यूड लिमिटर म्हणून कार्य करतो.

लिमिटर फंक्शन:

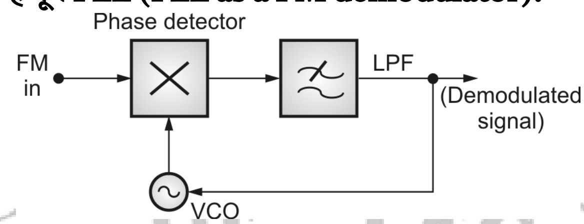
1.इनपुट विद्युतदाबकमी झाल्यास डायोड विद्युतप्रवाह अयशस्वी होईल, परंतु मोठ्या कॅपॅसिटरच्या उपस्थितीमुळे लोड विद्युतदाबप्रथम होणार नाही.

2.डायोड लोड प्रतिबाधाचा प्रभाव वाढला आहे, डायोड विद्युतप्रवाह कमी झाला आहे, परंतु लोड विद्युतदाबस्थिर आहे.

3.त्यामुळे, डॅम्पिंग कमी होते आणि ड्रायव्हिंग ॲम्प्लीफायरचा फायदा वाढतो, यावेळी इनपुट विद्युतदाबमध्ये प्रारंभिक घसरण रोखते.

4.रेशो डिटेक्टर डायोड व्हेरिएबल डॅम्पिंग म्हणून ओळखले जाणारे प्रदान करतो.
5.हे इनपुटच्या मोठेपणामध्ये सतत आउटपुट विद्युतदाबची इच्छा बदलते.
6.अशा प्रकारे रेशो डिटेक्टरच्या आधी लिमिटर स्टेजचा वापर केला जात नाही.

3.3.2 FM demodulator म्हणून PLL (PLL as a FM demodulator):



आकृती 3.16: एफएमडिमॉड्युलेटर(FM demodulator)म्हणून PLL

स्पष्टीकरण :-

1. डीमॉड्युलेट केले जाणारे एफएम सिग्नल पीएलएलच्या इनपुटवर लागू केले जाते. जर पीएलएल लॉक ठेवायचे असेल तर व्हीसीओ आउटपुट इनपुट सिग्नल सारखे असणे आवश्यक आहे.

2. PLL लॉक झाल्यामुळे, VCO FM इनपुट सिग्नल मध्ये तात्काळ वारंवारता (frequency) ट्रॅक करण्यास सुरवात करते.

3. ॲम्प्लीफायरच्या आउटपुटवर तयार होणारा त्रुटी विद्युत दाब केंद्र वारंवारता FM पासून इनपुट वारंवारता (frequency) विचलनाच्या प्रमाणात आहे.

4. अशा प्रकारे एरर विद्युत दाबचा AC घटक मॉड्युलेटिंग सिग्नलचे प्रतिनिधित्व करतो.

3.4 एफएम रिसीव्हर (FM Receiver)

एफएम रिसीव्हर हा सुपरहिटेरोडाइन रिसीव्हर देखील आहे.हे एएम रिसीव्हरपेक्षा वेगळे आहे. खालील यादी (Following List)

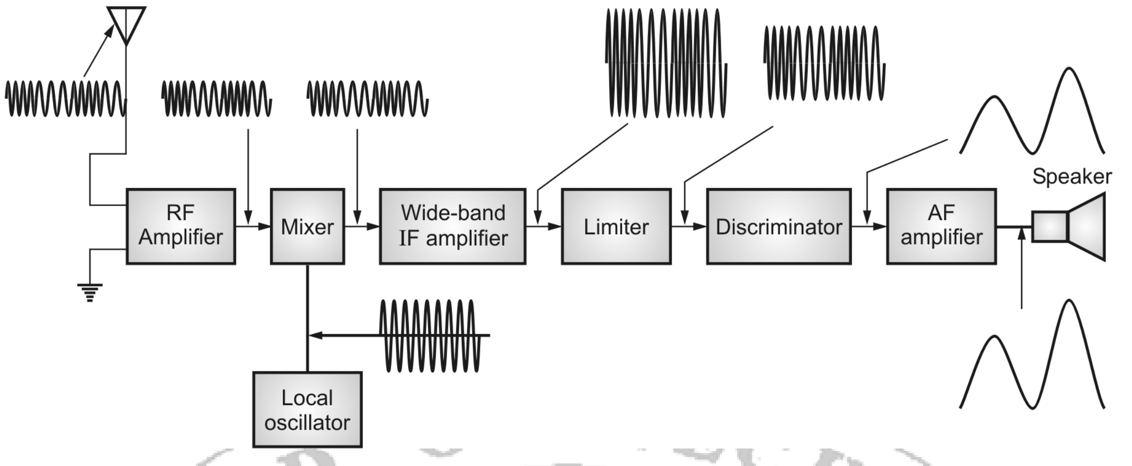
1.FM मध्ये ऑपरेटिंग वारंवारताजास्त आहेत.

2.ॲम्प्लीट्यूड लिमिटर (Amplitude Limiter) आणि डी-एम्फसिस सर्किटची (De-emphasis circuit)गरज.

3.डिमॉड्युलेशनच्या पूर्णपणे भिन्न पद्धती.

4.एजीसी (AGC) मिळविण्याच्या विविध पद्धती

3.4.1 एफएम सुपरहेटेरोडायन रिसीव्हर (FM SUPERHETERODYNE RECEIVER)



आकृती 3.17: एफएम सुपरहेटेरोडायन रिसीव्हर (FM SUPERHETERODYNE RECEIVER)

एफएम रिसीव्हरचा आकृती एएम सुपरहिटेरोडायन रिसीव्हरशी खूप साम्य आहे. फक्त काही ब्लॉक वेगळे आहेत जसे:

1. ॲम्प्लीट्यूडमर्यादा (Amplitude Limiter)
2. भेदभाव करणारा (Discriminator)
3. डी-एम्फसिस नेटवर्क (De-emphasis network)

अँटेना व्यावसायिक FM रेडिओ बँड वारंवारता सिग्नल असल्यास आणि RF ॲम्प्लिफायरला पुरवल्यास 88MHz-108MHz च्या श्रेणीतील FM वारंवारता प्राप्त करते.

आरएफ ॲम्प्लीफायर (RF Amplifier):

एफएम रिसीव्हरमध्ये आरएफ ॲम्प्लिफायरद्वारे केली जाणारी मुख्य कार्ये आहेत:

1. ध्वनी आकृतीत (Noise Figure) घट
2. अँटेनासह प्रतिबाधा जुळवून आणणे जेणेकरुन जास्तीत जास्त सिग्नल उर्जा अँटेनामधून ॲम्प्लिफायरमध्ये हस्तांतरित केली जाईल आणि त्याद्वारे FET ग्राउंडेड गेट RF ॲम्प्लिफायर वापरला जातो, कारण त्यात कमी विरूपण आणि साधे ऑपरेशन असते.
3. पुढील टप्प्यावर सिग्नल प्रदान करणे.

ऑसिलेटर आणि मिक्सर (Oscillators and mixers):

1. FM VHF रेंजवर कार्यरत असल्याने, सर्वात योग्य ऑसिलेटर कॉलपिट्स आणि क्लॅप असू शकतात; परंतु अनुप्रयोगावर अवलंबून इतर वापरले जाऊ शकतात.
2. एएम रिसीव्हर्स प्रमाणेच यामध्ये ट्रॅकिंग देखील वापरले जाते. परंतु AM रिसीव्हर्सच्या तुलनेत कमी ट्यूनिंग श्रेणीमुळे ते येथे अधिक जटिल आहे जे फक्त 1.25:1 आहे.
3. मिक्सरला RF ॲम्प्लिफायर आणि स्थानिक ऑसिलेटरकडून सिग्नल मिळतो. हे बेरीज, फरक आणि मूळ वारंवारतातयार करते आणि त्या सिग्नल वारंवारता IF स्टेजवर अग्रेषित करते.

IF amplifiers (IF ॲम्प्लीफायर):

1. FM साठी IF 88-108 MHZ FM बँडसाठी 10.7 MHz आहे. IF ॲम्प्लीफायरची बँडविड्थ 200 kHz आहे.

2. IF ॲम्प्लीफायर मिक्सर आउटपुटमधून प्राप्त वारंवारतामधील फरक वारंवारता निवडतो.

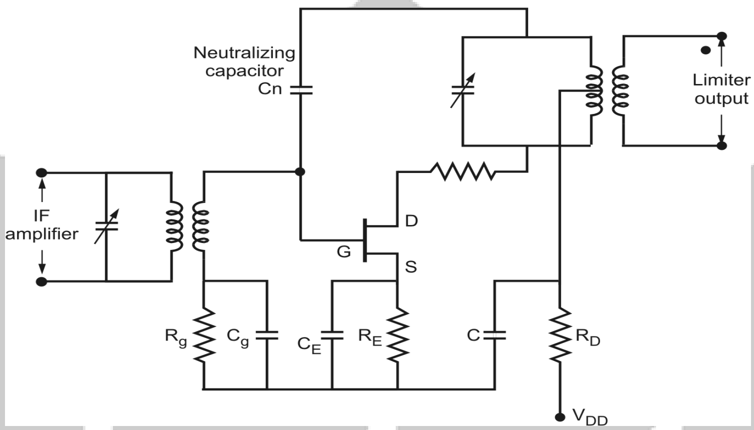
3.फरक IF सारखा असणे आवश्यक आहे. दोन IF टप्पे सहसा कोणत्याही FM ट्रान्समीटरमध्ये वापरले जातात.

ॲम्प्लीट्यूडमर्यादा (Amplitude limiter):

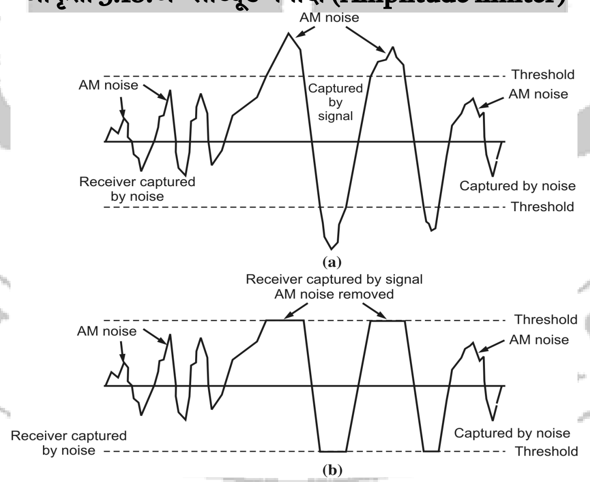
1.ॲम्प्लिट्यूड लिमिटर हे एक सर्किट आहे ज्याचे आउटपुट थ्रेशोल्ड मूल्याच्या वरच्या इनपुट सिग्नलमधील बदलांकडे दुर्लक्ष करून स्थिर आहे.

2.सिग्नलमधील विकृतीमुळे FM सिग्नलमध्ये ॲम्प्लीट्यूडबदलण्याची शक्यता आहे. FM सिग्नल डिस्क्रिमिनेटर स्टेजला दिले जाण्यापूर्वी हे ॲम्प्लीट्यूड भिन्नता काढून टाकणे आवश्यक आहे. हे आवश्यक आहे कारण एफएम डिमॉड्युलेटर ॲम्प्लीट्यूड बदल तसेच वारंवारता बदलांवर प्रतिक्रिया देतात.

3.लिमिटर हे क्लिपिंग सर्किटचे स्वरूप आहे. लिमिटरच्या आउटपुटवर, स्थिर ॲम्प्लीट्यूडसिग्नल प्राप्त होतो.



आकृती 3.18:ॲम्प्लीट्यूड मर्यादा (Amplitude limiter)



आकृती 3.19:लिमिटरसर्किटच्या (a) इनपुट (b) आउटपुटवरवेव्हफॉर्म

4.सर्किट दोन वेगवेगळ्या प्रकारचे इलेक्ट्रिकल इफेक्ट वापरते:

i) गळती प्रकार पूर्वाग्रह

ii) लवकर संग्राहक संपृक्तता

5. आकृती FET आधारित ॲम्प्लीट्यूड लिमिटर दाखवते. ड्रेन पुरवठा विद्युतदाब आरडी रेझिस्टरद्वारे जोडलेले आहे. हे ड्रेन सप्लाय विद्युतदाब कमी होण्यास मदत करते जे लवकर संपृक्ततेमध्ये आवश्यक असते.

6. Rg-Cg च्या समांतर संयोजनाद्वारे FET च्या गेटला गळती प्रकार पूर्वाग्रह दिला जातो. IF ॲम्प्लिफायरचे आउटपुट लिमिटर सर्किटला इनपुट म्हणून दिले जाते. C_n चा वापर FET ला तटस्थीकरण प्रदान करण्यासाठी केला जातो.

7.लिमिटिंगचे ऑपरेशन गळती-प्रकार पूर्वाग्रह (leak type bias)द्वारे प्रदान केले जाते.

8.जेव्हा इनपुट सिग्नल प्रदान केला जातो, तेव्हा विद्युत प्रवाह Rg-Cg संयोगद्वारे वाहतो. कॅपेसिटरमध्ये नकारात्मक विद्युतदाबतयार केले जाते.

9.जेव्हा FET वर पूर्वाग्रह वाढवला जातो, तेव्हा कॅपेसिटरमध्ये गळती-प्रकार नकारात्मक पूर्वाग्रहामुळे सर्किटचा लाभ कमी होतो. म्हणून, आउटपुट विद्युतदाबस्थिर राहते.

10.मर्यादित क्रिया केवळ मोठ्या इनपुट विद्युतदाबसाठी होते. आरडी द्वारे जोडलेल्या कमी ड्रेन पुरवठा विद्युतदाबद्वारे प्राप्त केलेल्या आउटपुट विद्युतप्रवाहच्या लवकर संपृक्ततेचा वापर करून ही समस्या सोडविली जाते.

11.संपृक्ततेच्या परिस्थितीत गेट ड्रेन विभागाचे फॉरवर्ड बायसिंग टाळण्यासाठी रेझिस्टर आर (R) ड्रेन आणि टाकी सर्किट (Tank circuit) दरम्यान जोडलेले आहे.

12.एफएम डिमॉड्युलेटर्स : ही सर्किट्स रिसीव्हरवरील मूळ इनपुट मॉड्युलेटिंग सिग्नल शोधण्यासाठी वापरली जातात. हे सहसा ॲम्प्लीट्यूड कनवर्टर करण्यासाठी वारंवारता आहे.

3.4.2 MW बँड AM (MW Band AM) आणि FM रेडिओ (FM Radio) रिसीव्हरची ट्युनिंग श्रेणी आणि IF (Intermediate Frequency) व्हॅल्यू लिहा.

Write tuning range and IF Value of MW Band AM and FM radio receiver.

1. MW AM बँडची ट्यूनिंग श्रेणी 540 ते 1640 KHz आहे
   Tuning range of MW AM Band is 540 to 1640 KHz
2. एफएम रिसीव्हरची ट्यूनिंग श्रेणी 88 ते 108 MHz आहे
   Tuning range of FM receiver is 88 to 108 MHz
3. MW AM बँडची इंटरमीडिएट वारंवारता (frequency) 455 KHz आहे
   Intermediate frequency of MW AM Band is 455 KHz
4. एफएम रिसीव्हरची इंटरमीडिएट वारंवारता (frequency) 10.7 MHz आहे
   Intermediate frequency of FM receiver is 10.7 MHz

3.4.3 FM सिग्नल वर नको असलेल्या सिग्नलचा परिणाम

(Effect of Noise on FM Signal)

(i) आवाजामुळे होणारे ॲम्प्लीट्यूडचे फरक काढून टाकण्यासाठी एफएम रिसीव्हर्स ॲम्प्लिट्यूड लिमिटर्ससह योग्य असू शकतात. अशाप्रकारे AM रिसेप्शनपेक्षा FM रिसेप्शनला गोंगाटापासून अधिक प्रतिकारकता दर्शवते.

(ii) वारंवारता विचलन वाढवून अजून आवाज कमी करणे शक्य आहे. हे एक वैशिष्ट्य आहे जे AM मध्ये नाही कारण गंभीर विकृती निर्माण केल्याशिवाय 100 टक्के मॉड्यूलेशन ओलांडणे शक्य नाही.

(iii) FM प्रसारणे वरच्या VHF आणि UHF फ्रिक्वेंसी रेंजमध्ये चालतात ज्यामध्ये AM ब्रॉडकास्टने व्यापलेल्या MF आणि HF रेंजपेक्षा तीनदा कमी आवाज होतो.

(iv) FM लहरीचे ॲम्प्लीट्यूड स्थिर असते. अशा प्रकारे हे मॉड्युलेशन डेप्थपासून स्वतंत्र आहे, जेथे AM प्रमाणे, मॉड्युलेशन डेप्थ प्रसारित शक्ती नियंत्रित करते.

3.5 फेज मॉड्युलेशन (Phase Modulation):

ही अशी प्रक्रिया आहे ज्यामध्ये वाहकाची वारंवारता आणि ॲम्प्लीट्यूड स्थिर ठेवून मॉड्युलेटिंग सिग्नलच्या ॲम्प्लीट्यूडनुसार बदलले जाते.

1.वाहकाच्या फेजशिफ्ट मध्ये याप्रकारच्या मॉड्यूलेशनमध्ये माहितीअसते.

2.हा FM सारखा अँगल मॉड्युलेशनचा प्रकारआहे. त्यामुळे FM आणि PM हेएकमेकांशी जुळले आहे

3.पी एम च्या निर्मिती नुसार, वारंवारता मॉड्युलेशन आर्मस्ट्राँग पद्धतीने मिळवता येते जी अप्रत्यक्ष एफ एम जनरेशन पद्धत म्हणून ओळखली जाते.

3.5.1 फेज मॉड्युलेशन (Phase Modulation):

फेज एंगल मधील बदल मॉड्युलेटिंग सिग्नलच्या ॲम्प्लीट्यूडशी संबंधितआहे.

$\therefore \quad K_p = \varphi$

where, K_p =proportionality constant(आनुपातिकता स्थिर)

φ = phase deviation in radians (रेडियन मधील फेजविचलन)

$e_m = E_m \sin \omega_m t$ = modulating signal (मॉड्युलेटिंगसिग्नल)

FM च्या समीकरणांप्रमाणे, PM चे समीकरण असे लिहिले जाऊ शकते,

$$\theta(t) = \theta_c + K_p e_m(t)$$

$$\therefore \theta(t) = \theta_c + K_p E_m \sin \omega_m t$$

रेडियन मधील शिखर विचलन हे फेज मॉड्युलेशन इंडेक्स mp याशिवाय दुसरे काहीही नाही.

$$\therefore \theta(t) = \theta_c + m_p \sin \omega_m t$$

FM लहरसमीकरणाप्रमाणेच, PM साठी

$$V_{PM} = A \sin [\omega_c t + m_p \sin \omega_m t]$$

3.5.2 वारंवारता मॉड्युलेशन आणि फेज मॉड्युलेशन मधील संबंध

Relationship between Frequency Modulation and Phase Modulation

1. वारंवारता म्हणजे फेज बदलण्याचा दर. याचा अर्थ असा की वारंवारता ही फेजचे डेरिव्हेटिव्ह (derivative) आहे.

2. परिणामी, मॉड्युलेशन इंडेक्स फेज विचलन आणि वारंवारता विचलनासाठी थेट प्रमाणात आहे आणि ते मोड्युलेटिंग वारंवारता च्या व्यस्त प्रमाणात आहे.

3. म्हणून, वारंवारता वाढल्यास, टप्पा देखील अधिक वेगाने बदलतो.

4. जेव्हा सिग्नल वारंवारता सामान्य पेक्षा जास्त असते, तेव्हा फेज अँगल देखील वाढतो कारण वारंवारता कमी होईपर्यंत सिग्नलची प्रगती अधिकाधिक होते.

5. वारंवारता कमी झाल्यावर, फेज अँगल कॅरियर फेज अँगलच्या मागे पडू लागतो.

6. म्हणून आपण असे म्हणू शकतो की फेज विचलन मोड्युलेटिंग सिग्नलच्या कालावधीच्या प्रमाणात होते, म्हणजे, मोड्युलेटिंग वारंवारता च्या व्यस्त प्रमाणात असते.

7. FM आणि PM चे हे नाते (Relationship) त्यांना एकमेकांमध्ये बदलायला लावते.

8. आणि म्हणून, फेज मॉड्युलेटेड ऑसिलेटरच्या आधी साधे इंटिग्रेटर वापरून FM सिग्नल देतो.

3.5.3 फेज मॉड्युलेशनचे फायदे (Advantages of Phase Modulation):

1. फ्रिक्वेन्सी मॉड्युलेशनच्या तुलनेत फेज मॉड्युलेशन आणि डिमॉड्युलेशन सोपे आहे.

3.5.4 फेज मॉड्युलेशनचे तोटे (Disadvantages of Phase Modulation):

1. जर आपण त्याचा मॉड्युलेशन इंडेक्स रेडियन ओलांडला तर फेज अस्पष्टता येते (180 अंश).

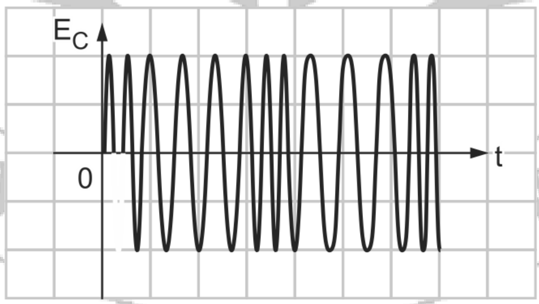
2. फेज मॉड्युलेशन इंडेक्स वाढवण्यासाठी वारंवारता गुणक आवश्यक आहे.

3.5.5 फेजमॉड्युलेशनचा अनुप्रयोग (Applications of Phase Modulation):

1. फेज मॉड्युलेशन हे सॅटेलाइट संचार, जीएसएम, वायफाय इ. मध्ये वापरल्या जाणाऱ्या तंत्रज्ञानाला मदत करते.

2. ध्वनी संश्लेषण करणाऱ्या ॲप्लिकेशन्ससाठी फेज मॉड्युलेशन त्याच्या आवाज प्रतिकार शक्ती वैशिष्ट्यांमुळे योग्य आहे.

फेज मॉड्युलेशनचे वेव्हफॉर्म (Waveform of Phase Modulation):

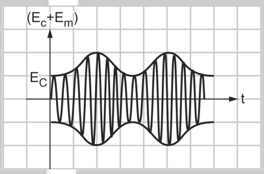
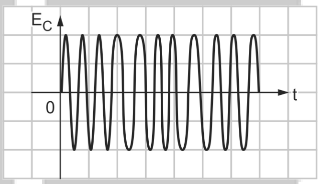
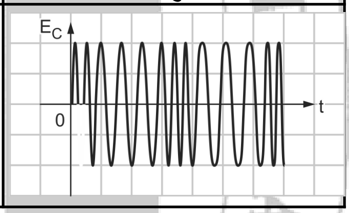


आकृती 3.20:फेज मॉड्युलेशनचे वेव्हफॉर्म (Waveform of Phase Modulation)

AM, FM आणि PM चीतुलना (COMPARISON OF AM, FM AND PM)

तक्ता क्रमांक 3.3: AM, FM आणि PM चीतुलना

पॅरामीटर	ॲम्प्लिट्यूड मॉड्यूलेशन (Amplitude modulation)	फ्रिक्वेन्सी मॉड्युलेशन	फेज मॉड्युलेशन (Phase modulation)

		(Frequency modulation)	
परिवर्तनीय कॅरींयर पॅरामीटर	ॲम्प्लिट्यूड	फ्रिक्वेन्सी	फेज
गणितीय समीकरण	$V_{AM}=E_c \cos \omega_c t + \cos (\omega_c - \omega_m) t - \cos (\omega_c - \omega_m) t$	$V_{FM} = E_c \sin[\omega_c t + m_f \sin \omega_m t]$	$V_{PM} = E_c \sin[\omega_c t + m_p \sin \omega_m t]$
माहिती(Information) या कॅरींयर द्वारे बदलते	ॲम्प्लिट्यूड	फ्रिक्वेन्सी	फेज
बँडविड्थ	$2f_m$	$2 (\delta_{max} + f_{m (max)})$	-
आवाज प्रतिकार शक्ती	अतिशय *कमी*	उत्कृष्ट	मध्यम
डिझाइनची गुंतागुंत	सोपे	कॉम्प्लेक्स	कॉम्प्लेक्स
कार्यक्षमता	*कमी*	उत्तम	उत्तम
सिग्नल ते नोइज गुणोत्तरनोईसे (S/N ratio)	*कमी*	उत्कृष्ट	मध्यम
अनुप्रयोग	रेडिओ प्रसारण	रेडिओ, टीव्ही	डेटा कम्युनिकेशन
वेव्हफॉर्म्स			

स्वाध्याय (Self-learning):

1. व्याख्या लिहा
   वारंवारता मॉड्यूलेशन, एफ एम च्या मॉड्युलेशन इंडेक्स, FM च्या टक्केवारी मॉड्यूलेशन, FM मध्ये विचलन गुणोत्तर, फेज मॉड्यूलेशन
   Definition: frequency modulation, modulation index of FM, percentage modulation of FM, deviation ratio in FM, phase modulation
2. विचलन गुणोत्तर आणि मॉड्युलेटिंग वारंवारता यांचे कमाल मूल्य किती आहे
   What is the maximum value of deviation ratio and modulating frequency
3. वारंवारता मॉड्यूलेशनचे गणितीय समीकरण लिहा.
   State mathematical representation of Frequency modulation
4. FM च्या बँडविड्थची गणना करण्यासाठी कार्सनचा नियम लिहा.
   Write carson's rule to calculate bandwidth of FM
5. वेळ डोमेन आणि वारंवारता डोमेनमध्ये FM स्केच करा
   Sketch FM in time domain and frequency domain
6. एफएमचे फायदे, तोटे,आणि अनुप्रयोग लिहा.
   Write Advantages, Disadvantages and Applications of FM

7. FM सिग्नल वर नको असलेल्या सिग्नलचा परिणाम लिहा
State effect of noise on FM signal
8. AM, FM आणि PM ची तुलना करा
Compare AM, FM and PM
9. नॅरोबँड एफएम आणि वाईडबँड एफएम ची तुलना करा
Compare Narrowband FM and Wideband FM
10. फेज मॉड्युलेटेड वेव्ह साठी राज्य गणितीय अभिव्यक्ती
State mathematical expression for phase modulated wave
11. फेज मॉड्युलेशनचे फायदे, फेज मॉड्यूलेशनचे तोटे, फेज मॉड्युलेशनचे अनुप्रयोग लिहा
Write Advantages, Disadvantages and Applications of phase modulation
12. प्री-एम्फसिस आणि डी-एम्फसिस नेटवर्क ची तुलना करा
Compare pre-emphasis and de-emphasis network
13. एफएम निर्मिती पद्धती लिहा
Write FM Generation Methods
14. FM रेडिओ रिसीव्हरची ट्यूनिंग श्रेणी आणि IF मूल्य लिहा
Write tuning range and IF value of FM radio receiver
15. व्हॅरेक्टर डायोड मॉड्युलेटर चे आकृती सह वर्णन करा
Draw and explain varactor diode modulator
16. रिॲक्टन्स मॉड्युलेटरचे आकृती सह वर्णन करा
Draw and explain reactance modulator
17. वारंवारता मोड्यूलेशनची आर्मस्ट्राँग पद्धत आकृती सह वर्णन करा.
Draw and explain armstrong method of frequency modulation
18. एफएम रिसीव्हर आकृती सह वर्णन करा.
Draw and explain FM receiver
19. विविध प्रकारचे FM डिटेक्टर सूचीबद्ध करा
List different types of FM detector
20. रेशो डिटेक्टर सर्किट चे आकृती सह वर्णन करा.
Draw and explain ratio detector circuit
21. FM डिमॉड्युलेटर म्हणून PLL चे आकृती सह वर्णन करा.
Draw and explain PLL as FM demodulator

लघुप्रकल्प (Microproject):

1. इंटरकॉम सर्किट विकसित करा
2. वॉकीटॉकी सर्किट तयार करणे
3. एफएम रिसीव्हरचे सर्किट तयार करणे

संदर्भ:

Sr No.	Author	Title	Publisher with ISBN Number

1	Dennis Roddy John Coolen	Electronic Communication	Pearson Education India, New Delhi ,ISBN: 978-817758-558-2
2	George Kennedybernard Devis	Electronics and Communications system	TATA Mc- Graw Hill, New Delhi,ISBN: 9780071077828
3	Ravi Kumar Jatoth , T. KishoreKumar , V .V. Mani	Electronics and Communications Engineering	Apple Academic Press ISBN: ISBN-13 978-1774633892
4	Tomasi W.	Electronics and Communications system	Pearson Education India, New Delhi,ISBN: 9780130221254
5	Constantine A. Balanis	Antenna Theory: Analysis and Design	Wiley-Student edition India, NewDelhi, ISBN: 9788126524228
6	Frenzel George:DravidBernard:Prasanna SRM	Electronic Communication Systems	Mc-Graw Hill , New Delhi ,ISBN:9780071077828
7	R. L. Yadava	Antenna and Wave Propagation	EEE, PHI,ISBN : 9788120342910

युनिट क्रमांक 4

लहरी प्रसार

(Wave Propagation)

विषय परिणाम (Course Outcome) :

निर्दिष्ट रेडिओ वारंवारता (frequency)बँडसाठी प्रसार प्रकार ओळखणे.

Identify Propagation modes for specified radio frequency band.

युनिट परिणाम (unit Outcomes):

4 .1 दिलेल्या प्रकारच्या रेडिओ लहरी/बँडचे स्केचसह वर्णन करणे.

Describe with sketches Propagation mode of the given type of radio wave/band.

4 .2 दिलेल्या प्रकारच्या लहरी प्रसाराच्या गुणधर्मांचे वर्णन करणे.

Describe properties of the given type of wave propagation.

4 .3 स्काय वेव्ह प्रसाराच्या (Sky Wave Propagation) संदर्भात क्रिटिकल फ्रिक्वेंसी (critical frequency) , स्किप डिस्टन्स(skip distance), स्किप झोन(skip zone), फेडिंग(, fading), मल्टिपल हॉप(multiple hop) परिभाषित करणे.

Define critical frequency, skip distance; skip zone, fading, multiple hop with respect to sky wave propagation.

4.4 डक्ट प्रपोगेशन(Duct propagation) आणि ट्रॉपोस्फियर स्कॅटर प्रोपॅगेशन(troposphere scatter propagation)लहरींच्या संकल्पनेचे वर्णन करणे.

Describe the concept of Duct propagation and troposphere scatter propagation of waves.

परिचय-

संचार सिस्टीमच्या ब्लॉक डायग्राममध्ये (Block diagram) ट्रान्समीटर (transmitter) आणि रिसीव्हर (receiver) मध्ये 'चॅनल' (Channel) ब्लॉक असते. या चॅनेलद्वारे माहिती सिग्नल (information signal) प्राप्तकर्त्यापर्यंत पोहोचविला जातो.

रेडिओ कम्युनिकेशन्स (म्हणजे वायरलेस संचार) मध्ये, चॅनेल म्हणजे ट्रान्समिटिंग आणि रिसीव्हिंग अँटेना यांच्यामधील मोकळी जागा. येथे आपल्याला त्या माध्यमातील (medium) सिग्नलच्या वर्तनाचा (behavior) अभ्यास करावा लागेल. अध्याय दोन भागात विभागलेला आहे. पहिले इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक रेडिएशन आहे, ते मोकळ्या जागेत प्रवास करत असताना होणारे स्वरूप(nature), प्रसार(, propagation), क्षीणता (attenuation) आणि शोषण(absorption) यांच्याशी संबंधित आहे.

जेव्हा प्रसारित करणाऱ्या अँटेनामधून रेडिओ लहरी(radio waves)विकिरण(radiate) केली जाते तेव्हा ती सर्व दिशांना पसरते कारण वाढत्या अंतरासह amplitude कमी होत जाते कारण खूप मोठ्या पृष्ठभागाच्या क्षेत्रांमधून प्रकाशासारख्या विद्युत चुंबकीय लहरींच्या(electromagnetic waves) स्वरूपात उच्च वारंवारता(high frequency) प्रवाह पसरतो.

मोकळ्या जागेच्या प्रसाराची (free space propagation) संकल्पना लहरी प्रसाराचा दृष्टीकोन सुलभ करते.

दुसरा भाग प्रसार लहरींचा(propagation waves) पैलू आहे.

तसेच प्रसाराच्या पद्धतीमध्ये वापरलेली वारंवारता(frequency) महत्त्वाची भूमिका बजावते.

(विद्युत चुंबकीय विकिरण) (Electromagnetic Radiation)

ट्रान्समीटरपासून रिसीव्हरपर्यंत सिग्नल प्रवासाची प्रक्रिया दोन भागात विभागली जाऊ शकते.

i)सिग्नलचे उत्सर्जन (Radiation of the signal).

ii)प्रसार (Propagation)

i) उत्सर्जन (Radiation)

जेव्हा कंडक्टरमधून उच्च वारंवारतेचा प्रवाह (high frequency current) वाहतो तेव्हा कंडक्टरच्या दोन्ही बाजूंनी मोजलेली शक्ती (power) समान नसते. शक्तीचा (power) एक भाग कंडक्टरच्या प्रतिकारामध्ये (resistance)विखुरला जातो आणि त्याचा एक भाग मोकळ्या जागेत 'पळून' (escapes)जातो. शक्तीचे हे पलायन (escapes)रेडिएशन (Radiation) म्हणून ओळखले जाते.

ii)प्रसार (Propagation)

ही 'रेडिएटेड' शक्ती (power) नंतर अंतराळात (space) प्रसारित होते, ज्याला प्रसार (Propagation) म्हणून ओळखले जाते. रेडिओ लहरींचे विकिरण (Radiation) आणि प्रसार (propagation) पाहता येत नाही.

इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक लहरींची मूलभूत तत्त्वे (Fundamentals Of Electromagnetic Waves)

इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक लहरी या काही नसून दोलन (oscillations)आहेत जे मोकळ्या जागेत पसरतात. ते मोकळ्या जागेतून प्रकाशाच्या वेगाने म्हणजेच 3 x 108 मी/सेकंद प्रवास करतात.

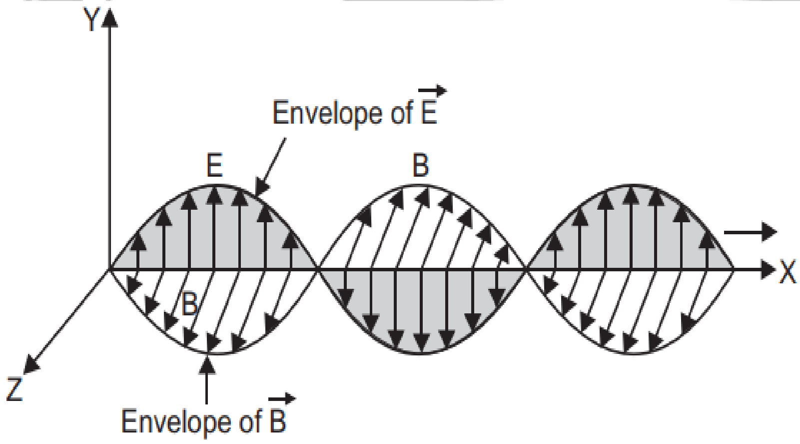
या लहरींमध्ये एकाचवेळी विद्युत (electric)आणि चुंबकीय क्षेत्रे (magnetic fields) असतात, ज्याला इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक लहरी (Electromagnetic waves) म्हणतात.

ट्रान्सव्हर्स इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक वेव्हज (Transverse Electromagnetic Waves (TEM))

विद्युत चुंबकीय लहरींना आडवा(transverse) लहरी का म्हणतात?

इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक लहरी दोलन (oscillation) असतात, ज्या मोकळ्या जागेतून पसरतात. ईएम (EM) लहरी प्रकाशाच्या वेगाने मोकळ्या जागेत प्रवास करतात.

साध्या विद्युत चुंबकीय लहरी, ज्यामध्ये विद्युत क्षेत्र (electric field)चुंबकीय क्षेत्र(magnetic field) आणि प्रसाराची (propagation) दिशा परस्पर लंब (mutually perpendicular) असतात.



आकृती क्र.4.1 ट्रान्सव्हर्स इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक वेव्हज **(Transverse Electromagnetic Waves)**

ध्रुवीकरण (POLARIZATION)

विद्युतचुंबकीय विकिरणाच्या तरंग स्वरूपामुळे निर्माण होणारी एक घटना म्हणजे ध्रुवीकरण (Polarization). ईएम वेव्हचे ध्रुवीकरण म्हणजे पृथ्वीच्या पृष्ठभागाच्या संदर्भात इलेक्ट्रिक फील्ड वेक्टरचे (electric field vector)अभिमुखता (orientation).

1. रेखीय ध्रुवीकरण (Linear Polarization):

ध्रुवीकरण स्थिर राहिल्यास त्याला रेखीय ध्रुवीकरण म्हणतात.

रेखीय ध्रुवीकरण दोन प्रकारचे असते.

a) (क्षैतिज ध्रुवीकरण (Horizontal Polarization

b) (अनुलंब ध्रुवीकरण (Vertical Polarization

a) क्षैतिज ध्रुवीकरण (Horizontal Polarization)-
जर विद्युत क्षेत्र पृथ्वीच्या पृष्ठभागाच्या समांतर प्रसारित होत असेल (म्हणजे प्रवास करत असेल) तरEM लाट क्षैतिजरित्या ध्रुवीकृत असल्याचे म्हटले जाते.

b) अनुलंब ध्रुवीकरण (Vertical Polarization)
जर विद्युत क्षेत्र पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर लंब पसरत असेल, तर ईएम लहर अनुलंब ध्रुवीकरण असल्याचे म्हटले जाते.

2. लंबवर्तुळाकार ध्रुवीकरण (Elliptical Polarization) - जर विद्युत क्षेत्र लंबवर्तुळाचा आकार बनवणाऱ्या सर्व दिशेने पसरत असेल, तर EM लहरी लंबवर्तुळाकार ध्रुवीकृत असल्याचे म्हटले जाते.

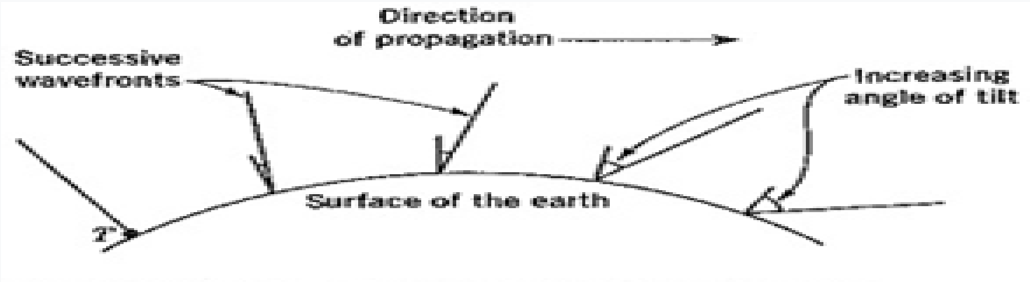
3. परिपत्रक ध्रुवीकरण (Circular Polarization) -जर विद्युत क्षेत्र सर्व दिशांना समान रीतीने प्रसारित होत असेल तर EM लाट गोलाकार ध्रुवीकृत असल्याचे म्हटले जाते.

लहरी प्रसाराचे प्रकार (**Types of Wave Propagation**)
सिग्नलने ट्रान्समिटिंग अँटेना सोडल्यानंतर, मोकळ्या जागेत प्रवास करण्यासाठी खालीलपैकी कोणताही मार्ग लागू शकतो.
प्रसाराचा प्रकार ट्रान्समीटरपासून रिसीव्हरपर्यंत पोहोचण्यासाठी सिग्नलद्वारे स्वीकारलेल्या मार्गाने ठरवला जातो.
तीन प्रकारचे प्रसार (किंवा मार्ग) खालीलप्रमाणे आहेत

1. **भूलहर प्रसार (Ground Wave Propagation).**
2. **आकाश लहरी प्रसार (Sky Wave Propagation).**
3. **अंतराळ लहर प्रसार (Space Wave Propagation).**

1. भूलहर प्रसार (Ground Wave Propagation).
(30 kHz - 3 MHz) ग्राउंड वेव्ह प्रसार हा रेडिओ लहरी प्रसाराचा एक प्रकार आहे जो जेव्हा रेडिओ लहरी पृथ्वीच्या पृष्ठभागाच्या समांतर आणि त्याच्या क्षितिजाच्या पलीकडे वक्रतेनुसार प्रवास करतो तेव्हा होतो. हे पृष्ठभाग लहरी प्रसार (Ground Wave)म्हणून देखील ओळखले जाते.
2. आकाश लहरी प्रसार (Sky Wave Propagation).
(3 MHz ते 30 MHz) आयोनाइज्ड नावाच्या वातावरणीय स्तरातून परावर्तनाद्वारे प्रवास करतात.
त्यांना आकाश लहरी(Sky Waves) म्हणतात.
3. अंतराळ लहर प्रसार (Space Wave Propagation).
(Above 30 MHz) स्पेस वेव्ह प्रोपगेशन हा रेडिओ लहरी प्रसाराचा एक प्रकार आहे ज्यामध्ये ट्रान्समिटिंग अँटेनापासून रिसीव्हिंग अँटेनापर्यंत अंतराळातून प्रवास करणाऱ्या रेडिओ लहरींचा समावेश होतो. याला ट्रॉपोस्फेरिक प्रपोगेशन किंवा लाइन-ऑफ-साइट संचार असेही म्हणतात. (tropospheric scatter propagation or line of sight communication).
4.2 भू लहर प्रसार (Ground Wave Propagation)

भू लहर प्रसार म्हणजे काय?
भू लहर प्रसार ही रेडिओ लहरी प्रसाराची एक पद्धत आहे जी पृथ्वीच्या पृष्ठभागाच्या आणि आयनोस्फीअरच्या दरम्यानचे क्षेत्र प्रसारासाठी वापरते. भू-लहरी प्रसारास पृष्ठभाग लहरी प्रसार देखील म्हणतात.



आकृती क्र. 4.2 भू लहर प्रसार

- यामध्ये थेट लहरीचा समावेश आहे जी ट्रान्समीटर कडून रिसीव्हरपर्यंत जमिनीच्या जवळून प्रवास करते.
- विद्युतचुंबकीय लहर ट्रान्समिटिंग अँटेना पासून निघून पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर जवळच राहते. जमिनीची लाट पृथ्वीच्या वक्रतेचे अनुसरण करते आणि म्हणून क्षितिजाच्या पलीकडे प्रवास करतो.
- जमिनीच्या लाटा अनुलंब ध्रुवीकृत (Vertically Polarized) आहेत.
- कमी आणि मध्यम वारंवारता श्रेणींमध्ये ते सर्वात मजबूत आहे.
- जेव्हा वारंवारता 30 KHz आणि 3 MHz दरम्यान असते तेव्हा भू लहर निवडले जाते.

भू लहर प्रसाराचे फायदे

1.या लहरींमध्ये कोपऱ्यांभोवती वाकण्याची प्रवृत्ती असते किंवा अडथळ्यांभोवती वळण्याची प्रवृत्ती असते, ज्यामुळे त्या अधिक कार्यक्षम बनतात आणि यावर वातावरणातील बदलांचा परिणाम होत नाही.

भू लहर प्रसाराचे तोटे

1.उच्च- वारंवारतेच्या लहरी प्रसारित केल्या जाऊ शकत नाहीत कारण पृथ्वीच्या वातावरणातील ऊर्जा शोषणामुळे ऊर्जा हानी अधिक होते.
2.हे लहान श्रेणी कव्हर करण्यासाठी वापरले जातात आणि यात लहरींचे क्षीण (attenuate) होणे देखील समाविष्ट आहे, कारण त्या पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर निर्माण होणाऱ्या एडी (Eddy) करंट्सच्या संपर्कात येतात.

भू लहर प्रसाराचा अनुप्रयोग

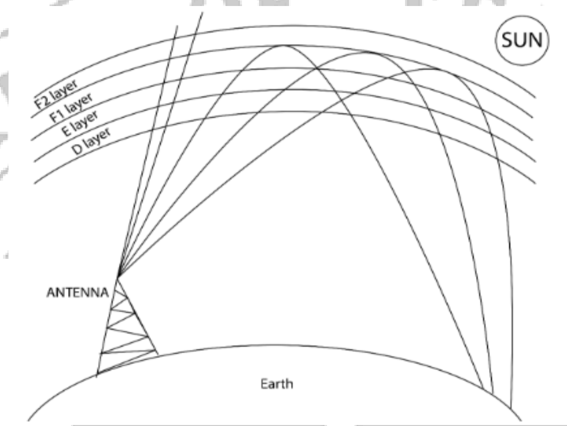
1.याचा उपयोग लष्करी ते बुडलेल्या पाणबुड्यांपर्यंतच्या एकेरी दळणवळणासाठी केला जाऊ शकतो कारण ते समुद्राच्या पाण्यात लक्षणीय खोलीपर्यंत प्रवेश करतात.
2.एएम (AM), एफएम (FM) आणि दूरदर्शन प्रसारण भू लहरी च्या मदतीने करता येते.

4.3 आकाश लहर प्रसार(Sky Wave Propagation) / एकल मंडल प्रसार (Ionospheric propagation)

आकाश लहरींच्या प्रसारामध्ये, प्रसारित सिग्नल वरच्या वातावरणात जाते जेथे ते वाकलेले (bent) किंवा पृथ्वीवर परत परावर्तित (or reflected back)होते.

हे वाकणे किंवा सिग्नलचे प्रतिबिंब वरच्या वातावरणात आयनोस्फीअर(ionosphere) नावाच्या थराच्या उपस्थितीमुळे होते.

आयनोस्फियरचे स्तर आणि आकाश लहरींच्या प्रसाराचे तत्त्व आकृतीत दर्शविल्याप्रमाणे आहे.



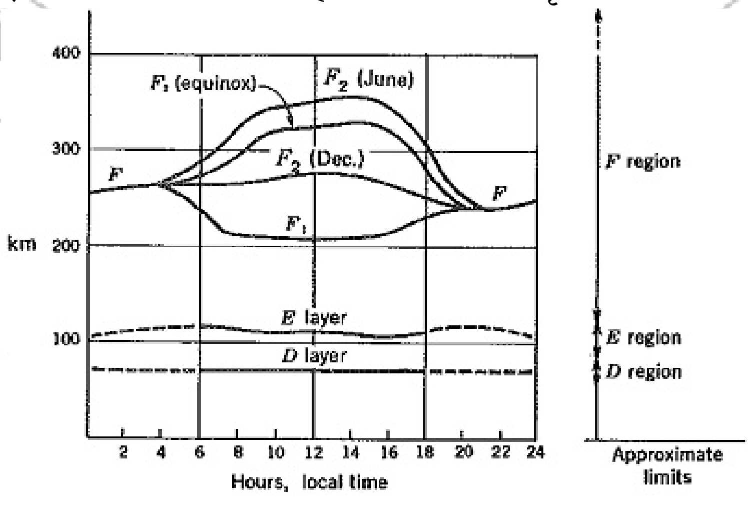
आकृती क्र.4.3 आकाश लहरींच्या प्रसाराची तत्त्वे

4.3.1 एकलमंडल आणि त्याचे स्तर (Ionosphere and its layers):

सूर्यापासून निघणारे अतिनील किरणे (ultraviolet radiation) वातावरणाच्या वरच्या थराचे आयनीकरण(ionization) करतात.

आयनीकरणामुळे, वातावरणाचा हा भाग विद्युत चार्ज (electrically charged) होतो. अणू एक अतिरिक्त इलेक्ट्रॉन घेतात किंवा एक गमावून अनुक्रमे (respectively) ऋण (negative) किंवा आयन (ion) बनतात.

मुक्त इलेक्ट्रॉन (free electrons) देखील उपस्थित आहेत. आयनांचा हा थर आयनोस्फीअर म्हणून ओळखला जातो.हा एक जाड पण अदृश्य थर आहे. आयनोस्फियर आकृती ४.४ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे आहे.



आकृती क्र.4.4 आयनोस्फेरिक स्तर

आयनोस्फेरिक स्तरांबद्दल महत्वाचे मुद्दे आहेत.

अल्ट्राव्हायोलेट किरणोत्सर्गाबरोबरच, सूर्यापासून येणारे α (alpha), β (Beta) आणि γ (Gamma) किरण आणि वैश्विक किरण देखील आयनीकरणासाठी आणि त्यामुळे आयनोस्फियरच्या निर्मितीसाठी जबाबदार आहेत.

चार मुख्य आयनोस्फेरिक स्तर आहेत. F2. F1. E आणि D उतरत्या क्रमाने, आकृती ४.४ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे उंचीसह F1 आणि F2 थर रात्री पुन्हा एकत्र होऊन एक थर तयार करतात.

डी थर (D layer) हा सर्वात कमी आहे आणि तो पृथ्वीच्या पृष्ठभागापासून सुमारे 70 किमी उंचीवर अस्तित्वात आहे. त्याची सरासरी जाडी सुमारे 10 किमी आहे. पुनर्संयोजन(recombination.) मुळे डी लेयर रात्री अदृश्य होते.

E थर (E layer) जो 100 किमीच्या अंदाजे उंचीवर अस्तित्वात आहे. त्याची जाडी सुमारे 25 किमी आहे. रात्रीच्या वेळी सूर्यापासून किरणोत्सर्गाच्या अनुपस्थितीमुळे आयन आणि रेणूंच्या पुनर्संयोजनामुळे E थर देखील रात्री जवळजवळ अदृश्य होते.

तुरळक(sporadic) E लेयर (Es) हा पातळ पण उच्च घनतेचा थर आहे जो कधी कधी E लेयर बरोबर दिसतो. (हा थर आकृती ४.४ मध्ये दर्शविला नाही. परंतु जेव्हा तो दिसतो तेव्हा तो रात्रीच्या वेळी देखील उपस्थित राहतो. हा एक असामान्य ionospheric अडथळा आहे. या लेयरची वास्तविक (actual) आणि आभासी (virtual)उंची समान आहेत. कारण हा अत्यंत पातळ आणि उच्च घनतेचा (density) थर आहे, त्यामुळे या थरातून प्रत्यक्ष परावर्तन होईल. तुरळक E स्तर लांब पल्ल्याच्या HF संवाद प्रतिबंध करते.

F1 थर (F1 Layer) सुमारे 180 किमी उंचीवर आहे आणि दिवसाच्या वेळी त्याची जाडी अंदाजे 20 किमी आहे. हे F2 सह एकत्रित होते, रात्रीच्या वेळी थर बहुतेक HF लहरी त्यातून F_2 थरापर्यंत जातात. हा थर HF लहरींसाठी अधिक शोषण (absorption) प्रदान करतो.

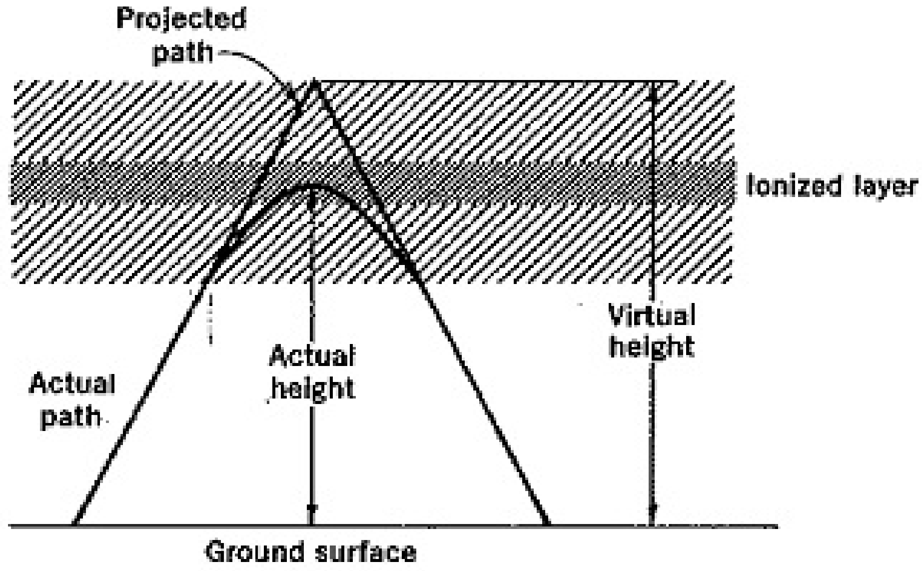
F_2 थर (F2 Layer) हा HF रेडिओ सिग्नल्सच्या घटनेसाठी सर्वात महत्वाचा परावर्तित (reflecting) थर आहे. त्याची उंची सुमारे 200 किमी जाडीसह 250 किमी ते 400 किमी पर्यंत आहे. आकृती ४.४ मध्ये या थराची उंची आणि आयनीकरण घनता मोठ्या प्रमाणात बदलते. उच्च आयनीकरण घनतेमुळे F थर रात्रीच्या वेळी देखील उपस्थित राहतो.

रात्री आम्हाला चांगले रिसेप्शन का मिळते?

रात्रीच्या वेळी F1, आणि F_2 थर एकत्र होऊन एक थर तयार होतो आणि खालचे दोन स्तर D आणि E नाहीसे होतात. खालचा थर नसल्यामुळे सिग्नलचे शोषण (absorption) होत नाही, जे दिवसा होत होते.हे परावर्तित सिग्नलची ताकद (strength)सुधारते आणि म्हणूनच रात्रीच्या रिसेप्शनची गुणवत्ता सुधारते.

4.3.2 आभासी उंची (Virtual Height-)-

आकृती ४.५ बघून आभासी उंचीची संकल्पना (concept) समजू शकते. अपवर्तनामुळे (refraction) घटना लहरी पृथ्वीवर परत येतात.



आकृती क्र. 4.5 आभासी उंची

या प्रक्रियेत घटना लहर (incident wave) झपाट्याने नव्हे तर हळूहळू खाली वाकते.
परंतु घटना आणि परावर्तित किरण (reflected rays) तंतोतंत त्याच मार्गांचे अनुसरण करतात जसे की जर सिग्नल जास्त उंचीवर असलेल्या पृष्ठभागावरून परावर्तित झाले (reflect) असते. या उंचीला आभासी उंची (Virtual height) म्हणतात. जर एखाद्या लेयरची (थराची) आभासी उंची माहित असेल तर निवडलेल्या बिंदूवर लहर जमिनीवर परत येण्यासाठी आवश्यक असलेल्या घटनांचा कोन (angle of incidence) शोधणे शक्य आहे.

4.3.3 गंभीर वारंवारता (Critical frequency) :-

लेयरची क्रिटिकल फ्रिक्वेन्सी ही त्या थराद्वारे पृथ्वीवर परत येणारी कमाल वारंवारता (maximum frequency)म्हणून परिभाषित केली जाते, जेव्हा लाट त्याच्याशी 90° (सामान्य) कोनात येते. F2, लेयरसाठी गंभीर वारंवारता (Critical frequency) 5 ते 12 MHz दरम्यान आहे.

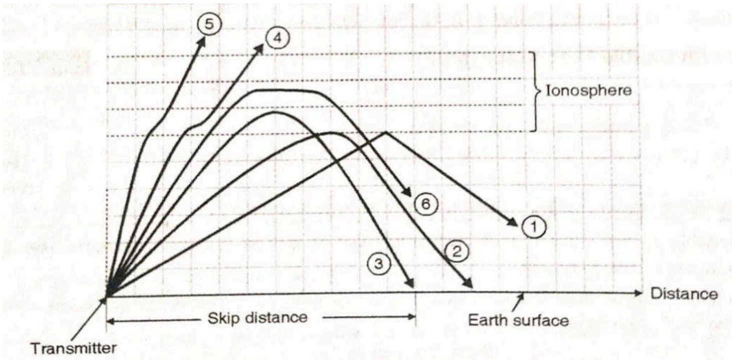
4.3.4 कमाल वापरण्यायोग्य वारंवारता (The Maximum Usable Frequency (MUF):

कमाल वापरण्यायोग्य वारंवारता (MUF) ही गंभीर वारंवारतेच्या (critical frequency) बाबतीत सामान्यपणे परिभाषित करण्याऐवजी घटनांच्या कोन θ (थीटा) च्या विशिष्ट मूल्यासाठी परिभाषित केली जाते. ही व्याख्या आम्हाला सांगते की जर कोन θ (थीटा) वाढवला असेल, तर गंभीर वारंवारता fc पेक्षा जास्त वारंवारता (higher frequency) चालवणे शक्य आहे.
MUF असे दिले जाते,
MUF = गंभीर वारंवारता/ $\cos\theta$ (Critical Frequency/ $\cos\theta$)
= $f_c \sec\theta$
हे समीकरण "सेकंट कायदा (Secant law)" म्हणूनही ओळखले जाते.
साधारणपणे MUF ची मूल्ये (value) 8 ते 35 MHz च्या श्रेणीत असतात.

4.3.5 स्कीप डीस्टॅन्स (Skip Distance):-

स्कीप डीस्टॅन्स हे ट्रान्समीटरपासूनचे सर्वात कमी अंतर म्हणून परिभाषित केले जाते, ज्याचे मोजमाप पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर केले जाते ज्यावर स्थिर वारंवारतेची (fixed frequency) आकाश लहर पृथ्वीवर परत येते. ही वारंवारता गंभीर वारंवारता fc पेक्षा जास्त असावी.

आता आकृती ४.६ चा संदर्भ घ्या जे वारंवारता स्थिर ठेवून घटनांच्या कोनात फरकाचा परिणाम (variation in the angle of incidence) दर्शविते.



आकृती क्र.4.6स्कीप डीस्टॅन्स (skip distance)

किरण 1 साठी घटनाकोन (angle of incidence) θ बराच मोठा आहे आणि किरण 2 आणि 3 द्वारे दर्शविल्याप्रमाणे तो उत्तरोत्तर कमी होत आहे. कोन θ मध्ये घट झाल्यामुळे, किरण ट्रान्समीटरच्या अधिकाधिक जवळ असलेल्या बिंदूंवर परत येतात.

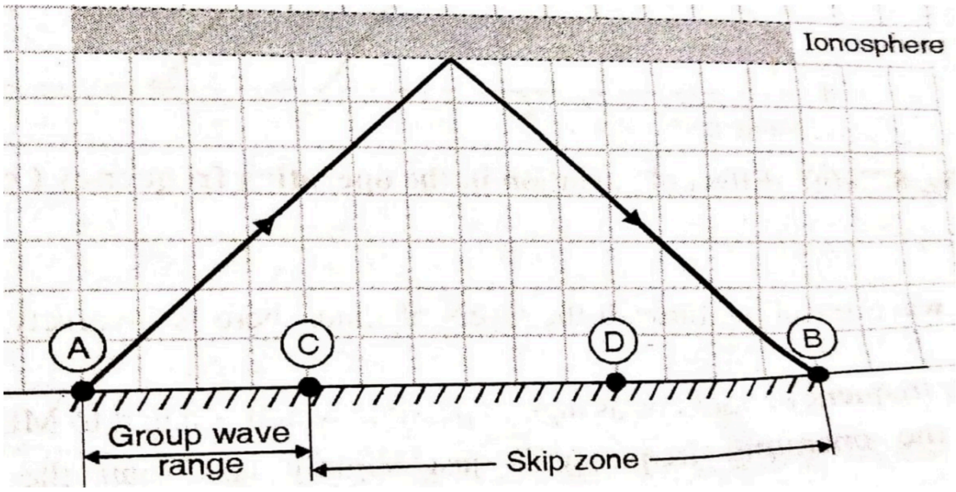
किरण 3 पेक्षा खूपच कमी घटना कोनासाठी, 4 आणि 5 किरण पृथ्वीच्या पृष्ठभागावर परत येऊ शकत नाहीत आणि आकृती ४.६ मध्ये दाखवल्याप्रमाणे बाहेर पडू शकत नाहीत. अशा प्रकारे दिलेल्या वारंवारतेवर किरण 3 शी संबंधित कोनाचा परिणाम परतीच्या बिंदूपर्यंत सर्वात कमी अंतर होईल. म्हणून हे अंतर " स्कीप डीस्टॅन्स " आहे.

आता जर किरण 3 च्या घटनांच्या कोनात उच्च वारंवारता बीम अप केली गेली तर ती पृथ्वीवर परत येणार नाही. अशा प्रकारे MUF ही वारंवारता आहे जी स्कीप डीस्टॅन्स शी (skip distance) संबंधित (correspond) अंतर बनवते.

4.3.6 स्कीप झोन (Skip Zone)

आकृती ४.७, जेथे A ते B हे अंतर स्कीप डीस्टॅन्स आहे.

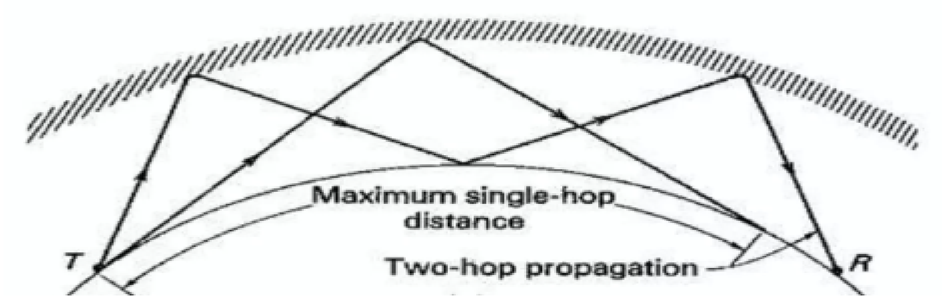
बिंदू A वर स्थित ट्रान्समीटरसाठी A ते C हे अंतर भू तरंग श्रेणी आहे. नंतर C ते B या अंतराला स्कीप झोन (Skip Zone) म्हणतात.



आकृती क्रमांक ४.७ स्कीप झोन (Skip Zone)

4.3.7 एकाधिक हॉप (Hop) आकाश लहर प्रसार (Multiple Hop Sky Wave Propagation:)

आत्तापर्यंत ज्या आकाश लहरी प्रसाराची चर्चा झाली आहे त्याला सिंगल हॉप ट्रान्समिशन असे म्हणतात.
तथापि सिंगल हॉप ट्रान्समिशनची कमाल श्रेणी स्किप डीस्टॅन्स (skip distance) आणि पृथ्वीच्या वक्रतेमुळे (curvature of earth) 4000 किमी पर्यंत मर्यादित आहे.
पृथ्वीचा अर्धपरिघ (semi circumference) सुमारे 20,000 किमी आहे. ही श्रेणी कव्हर करण्यासाठी सिंगल हॉप ट्रान्समिशन उपयुक्त नाही, म्हणून बहुधा मल्टिपल हॉप ट्रान्समिशनला प्राधान्य दिले जाते. हे खालील आकृतीत (४.८) दाखवल्याप्रमाणे आहे.



आकृती क्र.4.8 एकाधिक हॉप (Hop) आकाश लहर प्रसार

4.3.8 लुप्त होण्याची संकल्पना (Concept of Fading) -:

फेडिंग म्हणजे रिसीव्हरच्या सिग्नलच्या सामर्थ्यामध्ये फरक (variations) किंवा चढ-उतार (fluctuations).
लुप्त होणे खालील प्रकारचे असू शकते:

i) जलद किंवा मंद लुप्त होणे (Rapid or slow fading)

ii) सामान्य किंवा वारंवारता निवडक लुप्त होणे (General or frequency selective fading)

ट्रान्समीटरपासून रिसीव्हरपर्यंत प्रवास करण्यासाठी वेगवेगळ्या मार्गांचा अवलंब करणाऱ्या दोन लहरींमधील हस्तक्षेपामुळे (interference)कोणत्याही प्रकारचा लुप्त होणे घडते. अशा प्रकारे सिग्नलच्या मल्टीपाथ

रिसेप्शनमुळे लुप्त होत आहे. वेगवेगळ्या मार्गाच्या लांबीमुळे, दोन सिग्नल वेगवेगळ्या फेज शिफ्टमधून जातील. रिसर्व्हरवर त्यांची वेक्टर बेरीज (vector sum) होईल.
त्यामुळे मार्गातील फरक $\lambda/2$ इतका मोठा असल्यास पर्यायी रद्दीकरण (cancellation) आणि मजबुतीकरण (reinforcement) केले जाईल. त्यामुळे असे चढउतार (fluctuations) कमी तरंगलांबी (wavelengths) किंवा जास्त फ्रिक्वेन्सीवर (frequency) होण्याची शक्यता असते.

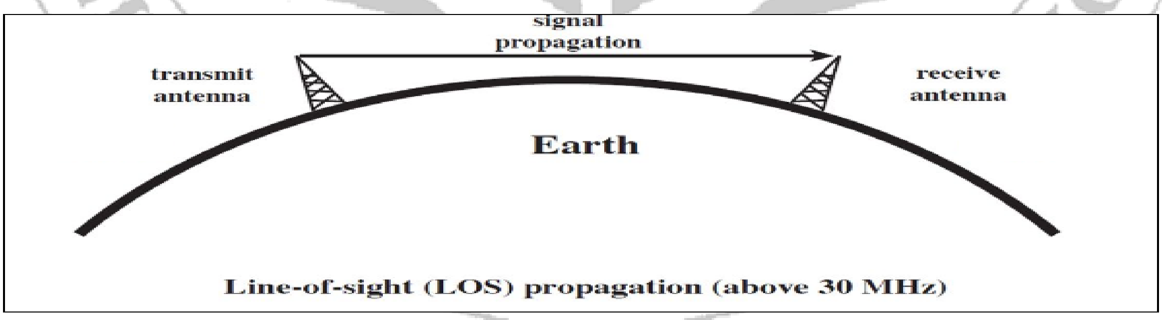
लुप्त होण्याची भिन्न कारणे:

- आकाशाच्या लाटेच्या खालच्या आणि वरच्या किरणांमधील हस्तक्षेपामुळे लुप्त होणे शक्य आहे.
- वेगवेगळ्या हॉप्स किंवा मार्गांनी येणाऱ्या लाटांमधील हस्तक्षेपामुळे हे घडू शकते.
- जमिनीच्या लाटा आणि आकाशाच्या लाटा यांच्यातील हस्तक्षेपामुळे.
- आयनोस्फियरच्या थरांमधील उंची किंवा घनतेच्या चढउतारांमुळे.
- फेडिंग ही फ्रिक्वेंसी निवडक प्रक्रिया असल्याने, फ्रिक्वेन्सी डोमेनमध्ये एकमेकांच्या अगदी जवळ असलेले सिग्नल वेगळ्या प्रमाणात कमी होतील.

अशा फ्रिक्वेन्सी सिलेक्टिव्ह फेडिंगमुळे एएम (AM) सिग्नल खूप वाईटरित्या विकृत (badly distorted) झाला आहे. एसएसबी (SSB)सिग्नल इतक्या प्रमाणात प्रभावित होत नाही.
लुप्त होण्याच्या समस्येचा सामना करण्याचा एक मार्ग म्हणजे जागा किंवा वारंवारता विविधता (frequency diversity) रिसेप्शन सिस्टम वापरणे. दुसरा मार्ग म्हणजे प्राप्तकर्त्यासाठी स्वयंचलित लाभ नियंत्रण (Automatic Gain Control i.e.,AGC) वापरणे.

4.4 अंतराळ लहर प्रसार (Space Wave Propagation/Line of Sight Propagation) :

30 मेगाहर्ट्झच्या फ्रिक्वेन्सीच्या वर आकाश लहरींचा प्रसार होऊ शकत नाही कारण आयनोस्फियर अशा उच्च फ्रिक्वेन्सी परत परावर्तित करू शकत नाही आणि वेव्हफ्रंट टिल्टिंगमुळे, ट्रान्समिटिंग अँटेनाजवळच ग्राउंड वेव्ह नष्ट होते (dies out).



आकृती क्र.4.9 अंतराळ लहर प्रसार

आकृती ४.६ मध्ये दाखवल्याप्रमाणे अंतराळ लहरींचा प्रसार स्पेस वेव्ह किंवा थेट लहरींद्वारे होतो.

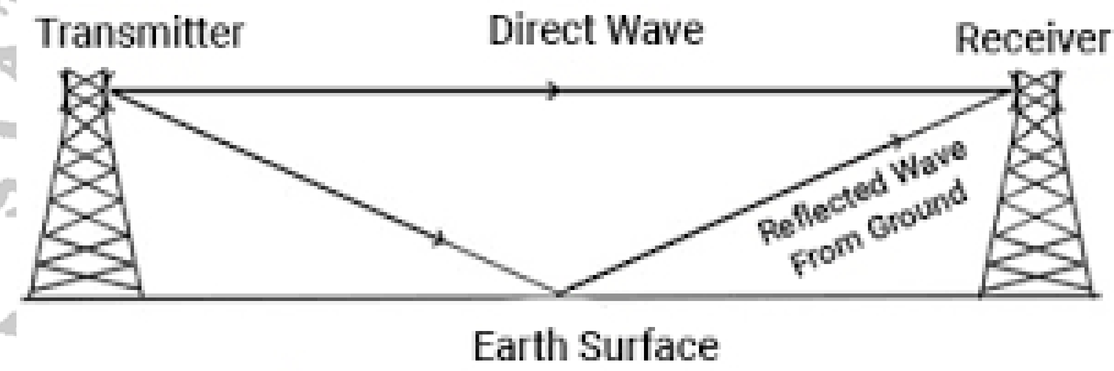
4.4.1 दृष्टीचा प्रसार (Line of Sight Propagation):-

या लहरी ट्रान्समिटिंग अँटेनापासून थेट प्राप्त करणाऱ्या अँटेनापर्यंत एका सरळ रेषेत प्रवास करतात म्हणूनच स्पेस वेव्ह प्रोपगेशनला लाइन ऑफ साइट प्रोपगेशन असे म्हणतात.

थेट किंवा अंतराळ लहरी आकाशाच्या लाटांप्रमाणे अपवर्तित होत नाहीत किंवा जमिनीच्या लाटांप्रमाणे पृथ्वीच्या वक्रतेचे अनुसरण करत नाहीत.
अंतराळ लहरींच्या सरळ रेषेमुळे ते कधीतरी पृथ्वीच्या वक्रतेमुळे (Curvature) अवरोधित होतील.
जर सिग्नल क्षितिजाच्या पलीकडे प्राप्त करायचा असेल तर प्राप्त करणारा अँटेना आकृती ४.६ नुसार पुरेसा उंच असणे आवश्यक आहे.
अंतराळ लहरी या सहसा क्षैतिज ध्रुवीकृत (horizontally polarized) इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक लाटा(EM waves) असतात.

4.4.2 बहुपथ अंतरिक्ष तरंग प्रसार (Multipath Space Wave Propagation) :-

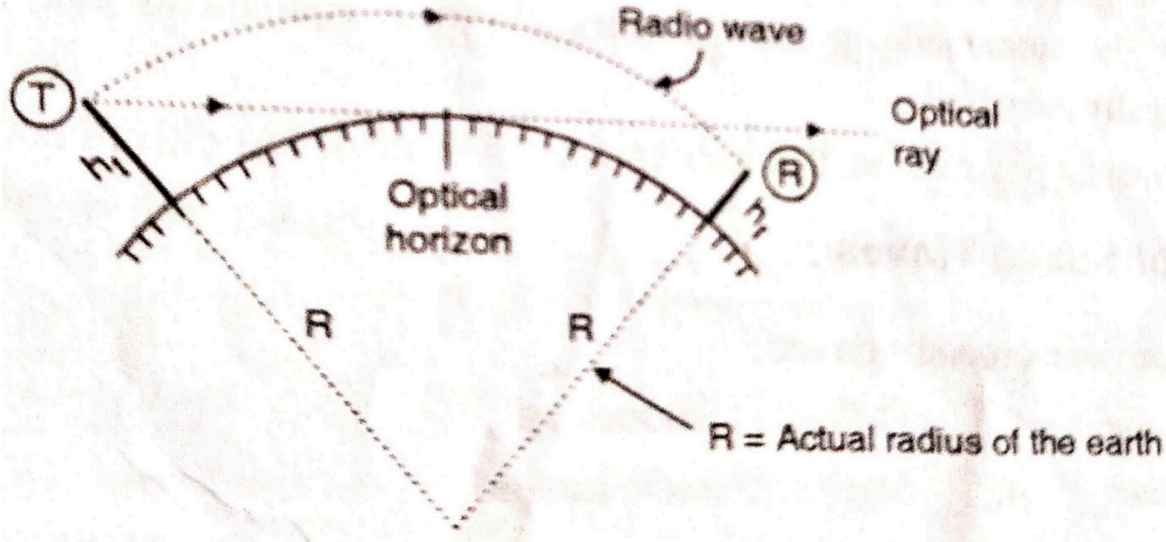
व्यवहारात रिसिव्हिंग अँटेनाला मिळणारा सिग्नल हा केवळ ट्रान्समिटिंग अँटेनामधून येणा-या डायरेक्ट किरणांमुळे नाही तर आकृती ४.१० नुसार भूमी-प्रतिबिंबित (Reflected) किरण देखील असतो.
थेट आणि परावर्तित लहरींच्या वेगवेगळ्या मार्ग लांबीमुळे ते वेगवेगळ्या टप्पा बदल (Phase shift) मधून जातात. परिणामी प्राप्त करणाऱ्या अँटेनावरील सिग्नल सामर्थ्य (strength) हे रिसीव्हरवरील सर्व किरणांमुळे सामर्थ्याच्या (strength) सदिश बेरीज (vector sum) मुळे असते.



आकृती क्र.4.10 बहुपथ अंतरिक्ष तरंग प्रसार

4.4.3 रेडिओ क्षितिज (Radio Horizon) :-

आकृती ४.११ नुसार स्पेस वेव्हसाठी रेडिओ क्षितिज ऑप्टिकल क्षितिजापेक्षा (Optical Horizon) किंचित मोठे आहे वातावरणाच्या वेगवेगळ्या घनतेमुळे (Density) आणि पृथ्वीच्या वक्रतेभोवती विवर्तन (Diffraction) झाल्यामुळे रेडिओ क्षितिजाची श्रेणी ऑप्टिकल क्षितिजापेक्षा मोठी आहे.
आकृती ४.११ नुसार वातावरणातील घनतेच्या बदलांमुळे लाटा वाकतात ज्यामुळे रेडिओ क्षितिज ऑप्टिकल क्षितिजाच्या पलीकडे असतो.



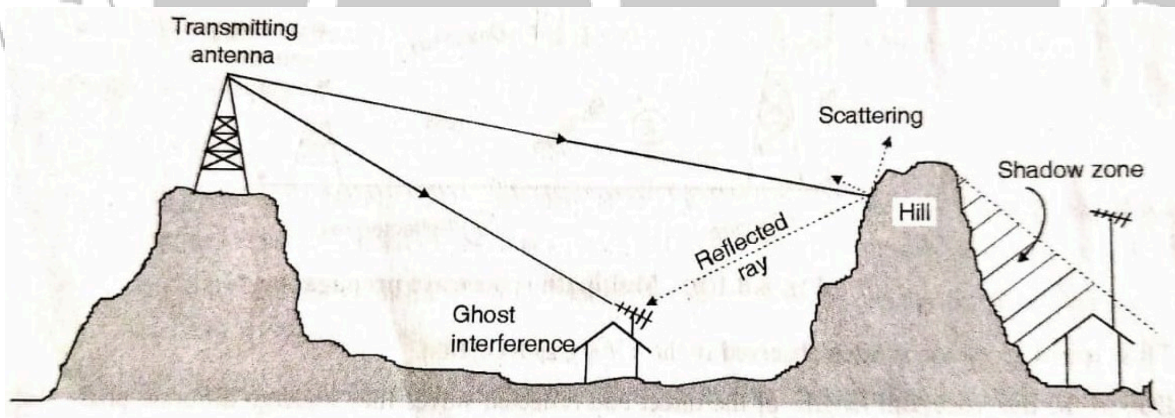
आकृती क्र.4.11 रेडिओ क्षितिज

4.4.4 छायाक्षेत्रे (Shadow Zones) :-

अंतराळ लहरी जमिनीच्या अगदी जवळ जात असल्याने, टेकड्या, इमारती, झाडे इत्यादी कोणत्याही उंच किंवा मोठ्या (Massive) वस्तू अवकाश लहरींना अडथळा (Obstruct) निर्माण करतात. या वस्तू ऊर्जा शोषून (Absorb) घेतील आणि विखुरतील (Scatter) त्यामुळे आकृती ४.१२ त दाखवल्याप्रमाणे छाया क्षेत्र (Shadow Zone)तयार होतात.

सावली झोनमध्ये सिग्नलची ताकद खूपच कमी असते त्यामुळे सिग्नल पुरेशा प्रमाणात प्राप्त करण्यासाठी प्राप्त करणारे अँटेना उंच असणे आवश्यक आहे.

दुसरीकडे इमारती किंवा झाडांसारख्या वस्तूंमधून पडणाऱ्या प्रतिबिंबांमुळे (Reflections) टीव्ही स्क्रीनवर 'भूत' (ghost) प्रतिमा दिसतात. "भूत"(ghost)) हस्तक्षेप (Interference) थेट आणि परावर्तित किरणांमधील मार्ग लांबी (आणि म्हणून टप्प्यात) मधील फरकामुळे होतो.



आकृती क्र.4.12 छायाक्षेत्र

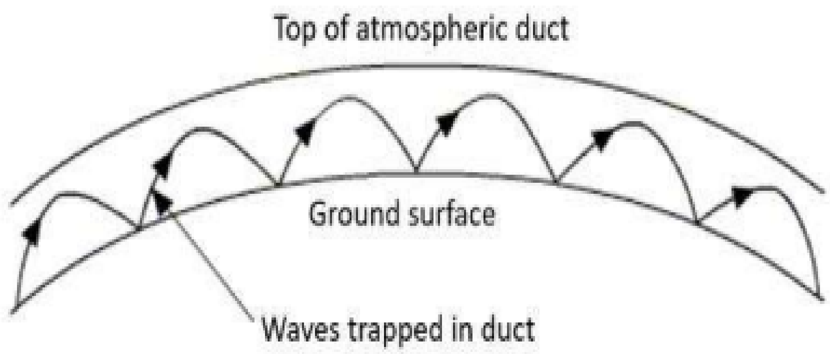
4.4.5 अंतराळ लहर प्रसाराचे अनुप्रयोग:

1. एफएम रेडिओ प्रसारण (FM radio broadcasting)
2. उपग्रह संप्रेषण (Satellite communication)
3. टीव्ही प्रसारण (TV broadcasting)
4. मायक्रोवेव्ह दुवे (Microwave links).

4.5. वाहिनी प्रसार (DUCT PROPAGATION)

वाहिनी प्रसार ((Duct Propagation) हा एक विशेष प्रकार आहे आणि अतिशय उच्च मायक्रोवेव्ह फ्रिक्वेन्सीसाठी वापरला जातो. वस्तुस्थिती किंवा घटना जी सुपरफ्रॅक्शनमध्ये(super refraction) उद्भवते, ज्याला डक्टिंग (Ducting) देखील म्हणतात.

जसजशी पृथ्वीवरील उंची वाढते तसतशी हवेची घनता(air density) कमी होते आणि अपवर्तक निर्देशांक(refractive index)वाढतो. काही विशिष्ट वातावरणीय परिस्थितीत, उबदार हवेचा थर थंड हवेच्या वर, अनेकदा पाण्याच्या पृष्ठभागावर अडकलेला असू शकतो. त्यामुळे अपवर्तक निर्देशांक नेहमीपेक्षा उंचीसह खूप वेगाने कमी होईल.



आकृती क्र.4.13 डक्ट प्रसार

- जमिनीपासून ३० मीटर अंतरावर हे घडते.
- अपवर्तक निर्देशांकाच्या या झपाट्याने घट झाल्यामुळे, आकृती ४.१३ नुसार मायक्रोवेव्ह पूर्णपणे पृथ्वीच्या पृष्ठभागाकडे परत वाकतात.
- अशा प्रकारे मायक्रोवेव्ह सतत वाहिनीमध्ये अपवर्तित (refracted)होतात आणि जमिनीवरून परत परावर्तित होतात(reflected), ज्यामुळे ते पृथ्वीच्या वक्रतेभोवती(curvature) अनेक वेळा 1000 किमीपेक्षा जास्त अंतरापर्यंत पसरतात.

  वायुमंडलीय नलिका तयार करण्याची मुख्य आवश्यकता म्हणजे तथाकथित तापमान उलथापालथ (temperature inversion). तापमान उलथापालथ म्हणजे मानक वातावरणात 6.5°C/किमी तापमानात नेहमीच्या घट होण्याऐवजी उंचीसह हवेच्या तापमानात वाढ होते.

  वाहिनी प्रसार (Duct Propagation) GHz श्रेणीतील खूप उच्च फ्रिक्वेन्सीसाठी वापरला जातो.

ट्रॉपोस्फेरिक स्कॅटर प्रसार (Tropospheric Scatter Propagation)

याला ट्रोपोस्कॅटर किंवा फॉरवर्ड स्कॅटर प्रपोगेशन असेही म्हणतात आणि ते UHF सिग्नलसाठी क्षितिजाच्या (horizon)पलीकडे प्रसाराचे साधन आहे.

हे ट्रॉपोस्फियरच्या गुणधर्मांचा(properties) वापर करते जे जमिनीपासून सुमारे 15 किमी अंतरावरील वातावरणाचा सर्वात जवळचा भाग आहे.

(i) दोन दिशात्मक अँटेना टोकदार असतात जेणेकरून त्यांचे बीम क्षितिजाच्या वरच्या मध्यभागी एकमेकांना छेदतात.

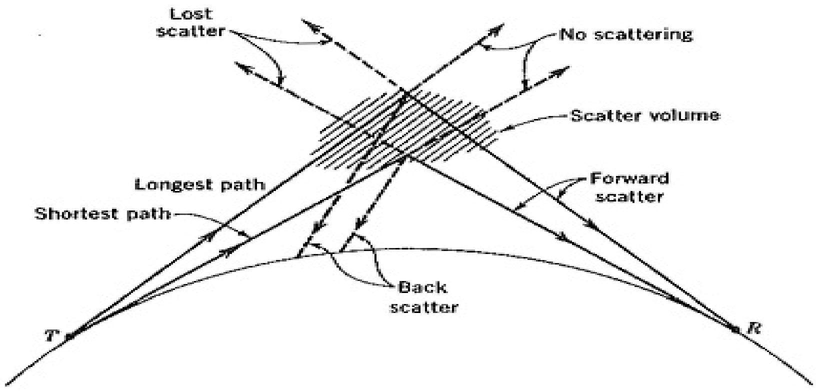
(ii) यापैकी एक अँटेना UHF प्रसारित(transmitting) करणारा अँटेना आहे आणि दुसरा UHF प्राप्त (receiving)करणारा आहे,

जेथे पुरेशी रेडिओ उर्जा प्राप्त करणाऱ्या अँटेनाकडे निर्देशित केली जाईल ही एक उपयुक्त संप्रेषण प्रणाली आहे.

(iii) विखुरण्याची (scattering) कारणे पूर्णपणे समजलेली नाहीत, परंतु यामागे दोन सिद्धांत (theories) आहेत. पहिला सिद्धांत असा सुचवतो की, हे वातावरणातील 'ब्लॉब्स' (blobs) मधून प्रतिबिंबे (reflection) होतात, जसे वाहिनीच्या कणांद्वारे सर्च लाइट बीमच्या (searchlight beam) विखुरण्यासारखे. दुसरा सिद्धांत असा आहे की, हे वातावरणीय स्तरांवरून परावर्तन (reflection) झाल्यामुळे घडते.

(iv)ही घटना कायमस्वरूपी आहे आणि तुरळक (sporadic) नाही. सर्वात सामान्यपणे 900 MHz, 2000 आणि 5000 MHz वापरले जातात.

(v) फॉरवर्ड स्कॅटरची उर्जा सामग्री जी प्राप्तकर्त्याद्वारे प्राप्त होते ती घटना शक्तीच्या खूपच लहान असते. घटना शक्तीच्या दशलक्षव्या भागाप्रमाणे ते फारच लहान आहे. म्हणून, खूप उच्च प्रसारित शक्ती आवश्यक आहे.



आकृती क्र.4.14 ट्रॉपोस्फेरिक स्कॅटर प्रसार

ट्रोपोस्कॅटरचा प्रभाव-

क्षितिजावरील संप्रेषणासाठी व्यावहारिकदृष्ट्या ट्रोपोस्कॅटर विश्वसनीय पद्धत नाही. हे लांब पल्ल्याच्या टेलिफोन लिंक्ससाठी मायक्रोवेव्ह लिंक्सचा पर्याय म्हणून काम करू शकते.

ट्रोपोस्कॅटरवर दोन प्रकारच्या फेडिंगचा परिणाम होतो:-

1. बहुपथ प्रसारामुळे रेलेचे लुप्त (Rayleigh fading) होणे. हे प्रति मिनिट अनेक वेळा उद्भवते ते वेगवान आहे.

2. पथ वापरून वातावरणातील बदलांमुळे होणारे लुप्त होणे. ते मंद आहे. जर आपण अँटेना उंच करून क्षितिजाकडे निर्देशित केले तर ट्रोपोस्कॅटर प्रसार अधिक चांगली कामगिरी देते. लुप्त होणारी समस्या टाळण्यासाठी विविधता(diversity) प्रणाली वापरली जाते.

फायदे:-

ट्रोपोस्कॅटरच्या प्रसारावर सामान्य घटनांचा परिणाम होत नाही ज्यामुळे आकाश लहरींच्या प्रसारावर परिणाम होतो. म्हणून एक अतिशय विश्वासार्ह प्रकारची संप्रेषण प्रणाली आहे. हे मायक्रोवेव्ह लिंक्स किंवा को-एक्सियल केबल्सचा पर्याय आहे.

अनुप्रयोग:

ट्रोपोस्कॅटर प्रसार (Troposcatter propagation) लांब पल्ल्याच्या दूरध्वनी आणि इतर संप्रेषण दुव्यांमध्ये प्रवेश करण्यायोग्य क्षेत्र मध्ये वापरले जाते.

भू लहर प्रसार (Ground Wave Propagation), आकाश लहर प्रसार (Sky Wave Propagation) आणि अंतराळ लहर प्रसार Space wave Propagation यांच्यातील तुलना करा.

Sr. No.	**Parameter (पॅरामीटर)**	**भू लहर प्रसार Ground Wave Propagation**	**आकाश लहर प्रसार Sky Wave Propagation**	**अंतराळ लहर प्रसार Space wave Propagation**
1.	वारंवारता श्रेणी (Frequency Range)	30 kHz to 3 MHz	3 MHz to 30 MHz	above 30 MHz
2.	ध्रुवीकरण (Polarization)	अनुलंब ध्रुवीकरण) Vertical Polarization	अनुलंब ध्रुवीकरण vertical Polarization	(क्षैतिज ध्रुवीकरण) Horizontal Polarization
3.	अनुप्रयोग (Applications)	रेडिओ प्रसारण (MW श्रेणी)	रेडिओ प्रसारण (SW श्रेणी)	सॅटेलाईट संचार, टीव्ही, आणि फ्रिक्वेंसी मॉड्युलेशन प्रसार, रडार प्रणाली, इत्यादी
4.	संपर्काचा अंतर क्षमता (Range of Communication)	कमी (किंवा) काहीशे किलोमीटर	जास्त (किंवा) काही हजार किलोमीटर	जास्त (किंवा) काही हजार किलोमीटर
5.	मर्यादा (Limit)	मर्यादित आवाका, उंच अँटेना आवश्यक, उच्च प्रसारण शक्ती	स्कीप डीस्टॅन्स , वायुमंडलाच्या थरांमध्ये ऊर्जा शोषणामुळे सिग्नलची शक्ती कमी होते.	ह्या तरंगांचे पृथ्वीच्या वक्रतेमुळे मर्यादित अंतर क्षमता आहे,
6.	क्षीणता समस्या attenuation problem	कमी	कठीण	कमी

Micro project((लघु प्रकल्प)

वेगवेगळ्या प्रकारच्या लहरींच्या प्रसाराचा (wave propagation) त्यांच्या वारंवारता श्रेणी (frequency ranges) आणि अनुप्रयोगाच्या (applications) आधारावर तक्ता तयार करा.

(Prepare a chart of different types of wave propagation based on their frequency ranges and applications.)

नेमलेले किंवा दिलेले काम (Assignment)

1. If the critical frequency is 9.25 MHz and the angle of incidence is 30^0 find the maximum usable frequency.
2. Find the Radio Horizon of a transmitting antenna if the height of the transmitting antenna is16 meter above ground.

सुचविलेले शिक्षण साहित्य/पुस्तके (Suggested Learning materials/Books)

Sr.No.	Author	Title	Publisher with ISBN Number
1.	GEORGE KENNEDY BERNARD DEVIS	ELECTRONICS COMMUNICATION SYSTEM	TATA Mc-Graw Hill, New Delhi, ISBN: 9780071077828
2.	Tomasi W.	ELECTRONIC COMMUNICATION SYSTEM	Pearson Education India, New Delhi, ISBN: 9780130221254
3.	Frenzel George: Dravid Bernard:Prasanna SRM	Electronic Communication Systems	Mc-Graw Hill, New Delhi, ISBN: 9780071077828
4.	L. Yadava	Antenna and Wave Propagation	EEE, PHI, ISBN: 9788120342910

संकेत स्थल:

Sr.No.	Link/Portal	Description
1.	https://www.researchgate.net/publication/368175583_Fundamental_to_Electromagnetic_Waves	Concept of electromagnetic waves
2.	https://www.electronicsforu.com/technology-trends/learn-electronics/ground-wave-propagation	Ground Wave Propagation

3.	https://collegedunia.com/exams/sky-wave-propagation-physics-articleid-6291	Sky Wave Propagation: Skip Distance, Critical Frequency & Applications
4.	https://byjus.com/physics/sky-wave-propagation/	Sky Wave Propagation. MUF, Critical, Frequency, Skip distance
5.	https://unacademy.com/content/jee/study-material/physics/space-wave-propagation/	Space wave propagation
6.	https://electronicsdesk.com/duct-propagation.html	Duct propagation
7.	https://www.eeeguide.com/tropospheric-scatter-propagation/	Tropospheric Scatter Propagation

युनिट ५:

अँटेना

(Antenna)

विषय निष्पत्ती (Course Outcome):-
दिलेल्या वारंवारता श्रेणी/अनुप्रयोगासाठी संबंधित प्रकारचा अँटेना ओळखणे.
(Identify relevant types of antenna for given frequency range/application.)

घटक निष्पत्ती (Unit Outcome):-
5a. दिलेल्या अँटेनाच्या कार्य तत्त्वाचे आकृतीसह वर्णन करणे.
(Describe with sketches the working principle of the given type of antenna.)
5b. रेझोनंट आणि नॉन-रेझोनंट अँटेनाच्या रेडिएशन पॅटर्नची आकृती काढणे.
(Sketch the radiation pattern of resonant and non- resonant antenna.)
5c. पॅरामीटर्सच्या आधारावर दिलेल्या अँटेनाच्या प्रकाराची तुलना करणे.
(Compare the given type of antenna on the basis of parameters.)
5d. दिलेल्या फ्रिक्वेन्सी बँडच्या प्रसारणासाठी आणि स्वीकारासाठी अँटेनाचा प्रकार निवडणे.
(Select type of antenna for transmission and reception of given frequency band.)

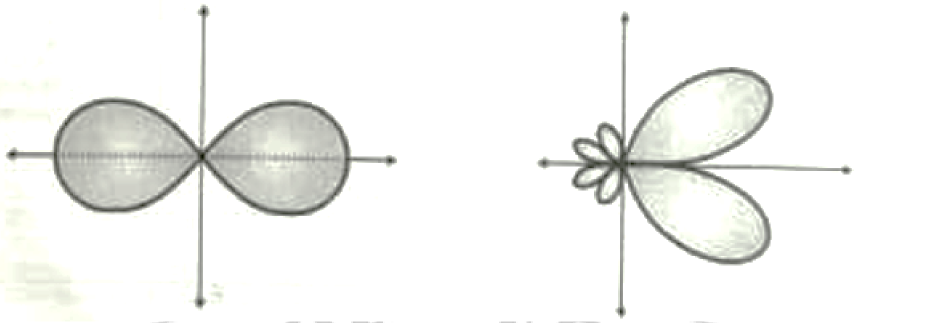
5.1. अँटेनाच्या मूलभूत गोष्टी:

ऍन्टेना हे धातूच्या संरचनेच्या स्वरूपात एक विशेष ट्रान्सड्यूसर आहे जे रेडिओ फ्रिक्वेन्सी (RF) क्षेत्राचे AC विद्युतप्रवाहामध्ये किंवा AC विद्युतप्रवाहाचे RF क्षेत्रामध्ये रूपांतरित करते.
अँटेनाचे मूलभूत दोन प्रकार आहेत
१. स्वीकार करणारा अँटेना (Receiving Antenna).
२. प्रसारण करणारा अँटेना (Transmitting Antenna).

अँटेना ही एक धातूची वस्तू आहे. हे वायर किंवा वायरचे संकलन आहे जे खालील कार्ये करण्यासाठी वापरले जाते:
१. ते ट्रान्समीटरच्या आउटपुटला मोकळ्या जागेत (प्रसारण करणारा अँटेना), किंवा प्राप्त इनपुट रिसीव्हरला (स्वीकार करणारा अँटेना) जोडते.
२ ते विद्युत चुंबकीय लहरींचे रेडिएशन (Radiation) करण्यास किंवा प्राप्त करण्यास सक्षम असणे आवश्यक आहे.
३. हे उच्च वारंवारता विद्युत् प्रवाहाचे विद्युत् चुंबकीय लहरींमध्ये तसेच विद्युत् चुंबकीय लहरींचे उच्च वारंवारता विद्युत् प्रवाहामध्ये रूपांतरित करते. जरी कार्ये वेगळी पार पाडायची असली तरी, प्रसारण करणारा आणि स्वीकार करणारा अँटेना मुळात समान तत्त्व सामायिक करतात आणि एकसारखे असतात.

5.1.1 रेझोनंट अँटेना:

रेझोनंट अँटेना ही एक ट्रान्समिशन लाइन आहे ज्याची लांबी अर्ध्या तरंगलांबीच्या ($\lambda/2$) गुणाकाराच्या बरोबर असते आणि ट्रान्समिशन लाइन दोन्ही टोकांना सुरु असते. तर रेझोनंट अँटेनाची लांबी $\lambda/2$, λ ,$3\lambda/2$ इ. असू शकते. $\lambda/2$ डायपोल रेझोनंट अँटेनाचा रेडिएशन पॅटर्न साधारणत: आकृती क्र. ५.१(a) मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे इंग्रजी आठ या अंकाच्या आडव्या आकारासारखा दिसतो

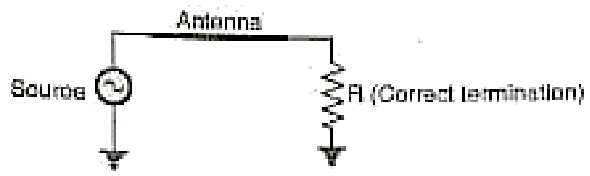


(a) λ/2 डायपोल रेझोनंट अँटेना (b) नॉन रेझोनंट अँटेना

आकृती क्र. 5.1: रेझोनंट पॅटर्न

5.1.2 नॉन रेझोनंट अँटेना:

या अँटेनाची लांबी λ /2 च्या गुणाकाराएवढी समान नसते. नॉन रेझोनंट अँटेना म्हणजे ज्यावर उभी वेव्ह(Wave) नसते. वेव्ह्ज फक्त पुढच्या दिशेने प्रवास करतात. आकृती क्र. ५.२ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे उभ्या वेव्ह्ज अनुपस्थित आहेत कारण हे अँटेना योग्य इम्पेडन्स (Impedance)मध्ये संपुष्टात (Terminate) आले आहेत जे प्रतिबिंब टाळतात. नॉन रेझोनंट अँटेनाचा रेडिएशन पॅटर्न आकृती क्र. ५.१ (b) मध्ये दर्शविला आहे. हे दर्शविते की नॉन रेझोनंट अँटेना एकदिशीय अँटेना आहे (म्हणजे ते बहुतेक उर्जा फक्त एका दिशेने (Unidirectional) / एका दिशेकडून प्राप्त करतात).



आकृती क्र. 5.2: नॉन रेझोनंट अँटेनाचे टर्मिनेशन

नॉन रेझोनंट अँटेनाचे तोटे:

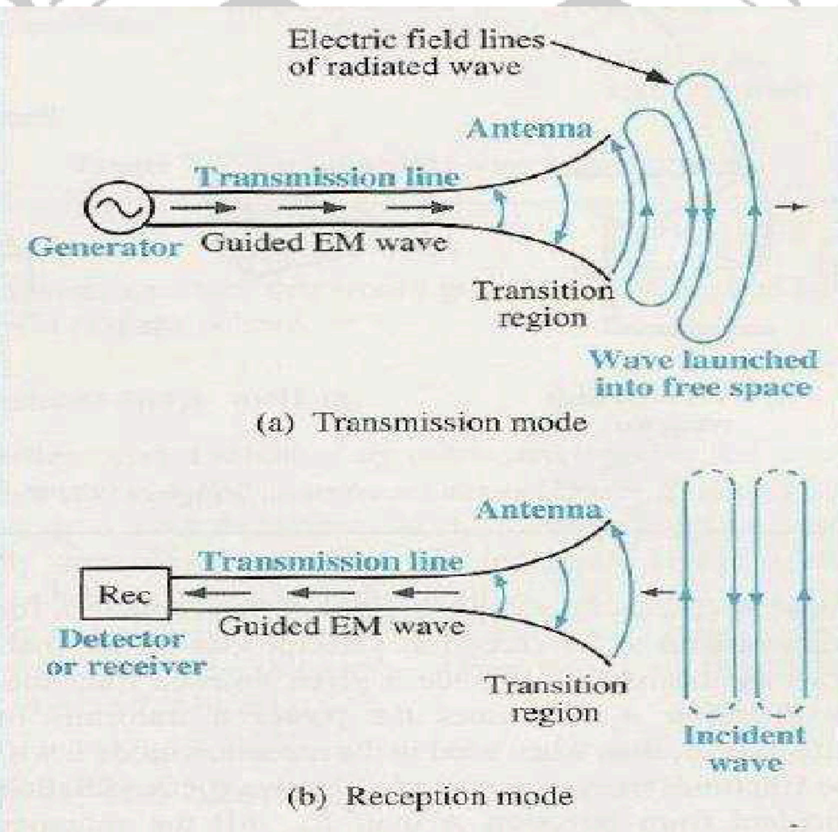
1. कमी लाभ होतो.
2. टर्मिनेशनमध्ये उर्जा नष्ट झाल्यामुळे कमी कार्यक्षमता असते.
3. ते अधिक जागा व्यापतात.

5.1.3 प्रसारण करणाऱ्या अँटेनाचे तत्त्व (Principle of transmitting antenna):

येथे ट्रान्समिशन लाइन हि एका टोकाला स्त्रोत किंवा जनरेटरशी जोडलेली आहे. रेषेच्या उर्जेच्या एकसमान भागावर थोड्या तोट्यासह प्लेन TEM वेव्ह म्हणून कार्य करते. रेषेतील अंतर हा λ चा एक लहान अंश आहे. जशी लाईन उघडली जाते आणि दोन लाइनमधले अंतर हे λ शी तुलना करता येण्याजोग्या होतात, तसे ते अँटेनासारखे कार्य करते आणि मोकळी जागा वेव्ह लाँच करते कारण ट्रान्समिशन लाईनवरील विद्युत प्रवाह अँटेनावर वाहतात परंतु त्यांच्याशी संबंधित फील्ड पुढे जात रहते. सर्किटच्या दृष्टिकोनातून अँटेनाच्या ट्रान्समिशन लाइनला लाइन रेझिस्टन्स (Line resistance) Rr किंवा रेडिएशन रेझिस्टन्स म्हणतात.

5.1.4 स्वीकार करणाऱ्या अँटेनाचे तत्व (Principle of receiving antenna) :

इतर अँटेनाद्वारे सक्रिय रेडिएशन किंवा दूरवरून वस्तूंचे निष्क्रीय रेडिएशन Rr चे स्पष्ट तापमान वाढवतात .याचा अँटेनांच्या भौतिक तापमानाशी काहीही संबंध नाही परंतु ज्यांना अँटेना पहात आहे अश्या दूरच्या वस्तूंच्या तापमानाशी संबंधित आहे. Rr हा आभासी प्रतिकार म्हणून विचार केला जाऊ शकतो जो भौतिकरित्या अस्तित्वात नाही परंतु व्हर्च्युअल ट्रान्समिशन लाइनद्वारे अंतराळाच्या दूरच्या प्रदेशात अँटेना जोडणारे प्रमाण आहे .

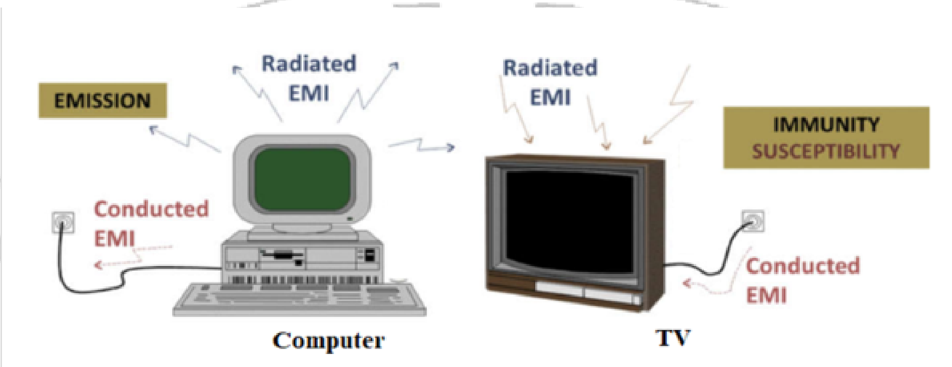


आकृती क्र. 5.3: ट्रान्समिशन आणि रिसेप्शन मोड

5.1.5 इलेक्ट्रोमॅग्नेटिझम इंटरफेरन्सची संकल्पना (EMI):

इलेक्ट्रोमॅग्नेटिझम इंटरफेरन्स (EMI) म्हणजे बाह्य स्त्रोतांकडून नको असलेल्या इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक ऊर्जेच्या उत्सर्जनामुळे विद्युत आणि इलेक्ट्रॉनिक उपकरणामधील व्यत्यय.बाह्य स्रोत हा मानवनिर्मित स्रोत (उदा. इलेक्ट्रॉनिक उपकरण) किंवा नैसर्गिक स्रोत (उदा. विज) असू शकतो. इलेक्ट्रिकल आणि इलेक्ट्रॉनिक उपकरणे कार्यरत असताना नको असलेली इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक ऊर्जा उत्सर्जित करतात. हि नको असलेली

इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक ऊर्जा कार्यक्षमतेवर परिणाम करू शकते आणि इतर जवळपासची कनेक्ट केलेली इलेक्ट्रॉनिक उपकरणे किंवा प्रणालींना देखील नुकसान करू शकते. त्याला इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंटरफेरन्स (EMI) म्हणतात. स्रोतातून उत्सर्जित होणारा EMI (उदा. इलेक्ट्रॉनिक उपकरण) इतर उपकरणांचे नुकसान करते जसे की प्रवाहकीय मार्गाने (म्हणजे, वायर/केबलद्वारे), रेडिएशनचा मार्ग (हवेद्वारे), इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक इंडक्शन कपलिंग, आणि इलेक्ट्रोस्टॅटिक कपलिंग.



आकृती क्र. 5.4: इलेक्ट्रोमॅग्नेटिझम इंटरफेरन्सची संकल्पना (EMI)

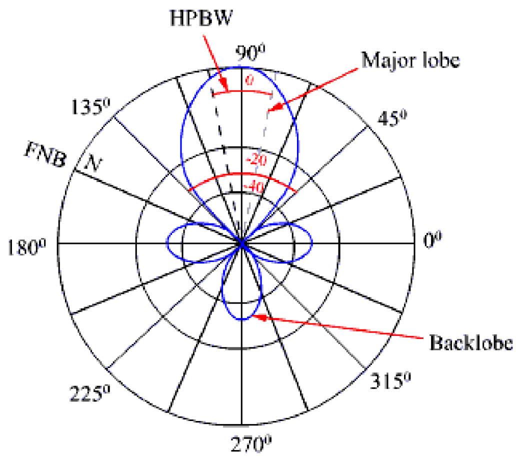
५.१.६ इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक कॉम्पॅटिबिलिटी (EMC) ची संकल्पना:

इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक कंपॅटिबिलिटी (EMC) ही विद्युत उपकरणे आणि सिस्टीमची त्यांच्या इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक वातावरणात स्वीकार्यपणे कार्य करण्याची क्षमता आहे, जी इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक उर्जेची अनावधानाने निर्मिती, प्रसार आणि रिसेप्शन यांना मर्यादित ठेवते ज्यामुळे इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक हस्तक्षेप (EMI) किंवा अगदी ऑपरेशनल उपकरणांचे नुकसान देखील होऊ शकते. सामान्य इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक वातावरणात विविध उपकरणांचे योग्य ऑपरेशन हे EMC चे ध्येय आहे.

5.2 अँटेनाचे पॅरामीटर्स:

5.2.1 रेडिएशन पॅटर्न(Radiation Pattern):

प्रात्यक्षिक अँटेनामधून रेडिएशन पॉवर काही विशिष्ट दिशेने जास्त असते आणि इतर काही दिशांमध्ये कमी किंवा शून्य असते. एका विशिष्ट दिशेने रेडिएट होणारी उर्जा फील्ड स्ट्रेंथ (Field strength) किंवा फ्लक्स (Flux) घनतेच्या संदर्भात मोजली जाते जी अँटेनाच्या केंद्रापासून रेडियल अंतरावर असते. अँटेना ज्या पद्धतीने विविध दिशांना उर्जा रेडिएट करतो त्याला अँटेनाचा रेडिएशन पॅटर्न म्हणून ओळखले जाते. स्वीकार करणाऱ्या अँटेनासाठी हि आकृती अँटेनाचा दिशात्मक नमुना म्हणून ओळखली जाते.



आकृती क्र. 5.5: रेडिएशन पॅटर्न

5.2.2पोलरायझेशन (Polarization):

पोलरायझेशनची व्याख्या अँटेनामधून निघणाऱ्या इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक वेव्हमधील इलेक्ट्रिक वेक्टरची दिशा म्हणून केली जाते. पोलरायझेशन महत्वाचे आहे कारण प्राप्त शक्ती वाढवण्यासाठी प्राप्त करणाऱ्या अँटेनामध्ये प्रसारण करणाऱ्या अँटेनासारखेच पोलरायझेशन असावे. अँटेना पोलरायझेशनचे प्रकार हॉरीझॉन्टल पोलरायझेशन (Horizontal polarization), व्हर्टिकल पोलरायझेशन (Vertical Polarization), सर्क्युलर पोलरायझेशन (Circular Polarization) असे आहेत.

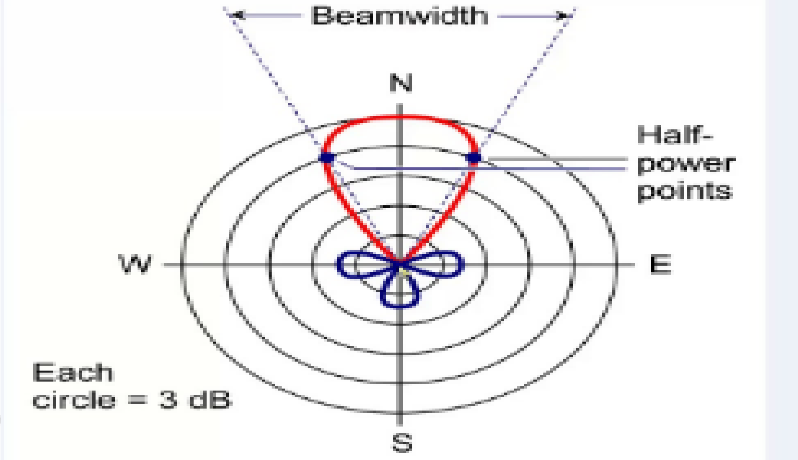
5.2.3 बँडविड्थ (Bandwidth):

अँटेनाची बँडविड्थ ही वापरण्यायोग्य फ्रिक्वेन्सीची श्रेणी म्हणून परिभाषित केली जाते ज्यामध्ये काही वैशिष्ट्यांच्या संदर्भात अँटेनाचे कार्यप्रदर्शन निर्दिष्ट मानकांशी जुळते. बँडविड्थचे दोन प्रकार आहेत. एक रेडिएशन पॅटर्नशी संबंधित आहे आणि दुसरा त्याच्या इनपुट इम्पेडन्सशी संबंधित आहे. पॅटर्न बँडविड्थ ही फ्रिक्वेन्सीमधील फरकाच्या बरोबरीची आहे ज्यामध्ये प्राप्त शक्ती कमाल किरणोत्सर्गाच्या दिशेने अर्ध्यापर्यंत येते.

5.2.4 बिमविड्थ (Beamwidth):

पॉवर डेन्सिटी रेडिएशन पॅटर्नवर टू हाफ पॉवर (Two half power) पॉइंटमधील कोनीय पृथक्करण म्हणून त्याची व्याख्या केली जाते.

आकृती क्र. ५.६ मध्ये दर्शविलेल्या ॲन्टीनाच्या रेडिएशन पॅटर्नच्या फील्ड मजबुतीवर दोन 3dB डाउन बिंदूंमधील कोनीय पृथक्करण म्हणून त्याची व्याख्या केली जाते.



आकृती क्र. 5.6: अँटेनाचे बिमविड्थ

5.2.5 अँटेना रेझिस्टन्स (Antenna Resistance):

ऍन्टीनाच्या रेझिस्टन्समध्ये दोन घटक आहेत

१. रेडिएशन रेझिस्टन्स

२. अँटेनामधील वास्तविक नुकसानीमुळे होणारे रेझिस्टन्स

रेडिएशन रेझिस्टन्स हे दिलेल्या अँटेनाद्वारे रेडिएशन केलेल्या शक्तीचे आणि अॅन्टीनाच्या इनपुटवर (फीडपॉईंटवर) विद्युत् प्रवाहाच्या वर्गाचे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले जाते.

$$Rr = \frac{P_t}{I^2}$$

P_t = अँटेनाद्वारे रेडिएशन केलेली शक्ती

I = फीडपॉईंटवरील विद्युतप्रवाह .

रेडिएशन रेझिस्टन्स हा AC (Alternating current) रेझिस्टन्स आहे. हा असा रेझिस्टन्स आहे जो अँटेनासाठी बदलल्यास अँटेना जेवढ्या प्रमाणात उत्सर्जित होतो तेवढीच शक्ती नष्ट होईल.

5.2.6 डायरेक्टिव्हिटी (Directivity):

डायरेक्टिव्हिटी म्हणजे प्रसारित करताना एखाद्या विशिष्ट दिशेने ऊर्जा केंद्रित करण्याची किंवा प्राप्त करताना विशिष्ट दिशेने ऊर्जा अधिक चांगल्या प्रकारे प्राप्त करण्याची अँटेनाची क्षमता.

5.2.7 पॉवर गेन (Power gain):

ऍन्टीनाच्या पॉवर गेनची व्याख्या ही आयसोट्रॉपिक ऍन्टीनाला दिलेली पॉवर आणि डायरेक्शनल ऍन्टीनाला दिलेली पॉवर यांचे गुणोत्तर आहे जे समान अंतरावर, जास्तीत जास्त रेडिएशनच्या दिशेने समान फील्ड स्ट्रेंग्थ (Field strength) विकसित करण्यासाठी म्हणून केली जाते.

5.2.8 अँटेना गेन (Antenna Gain):

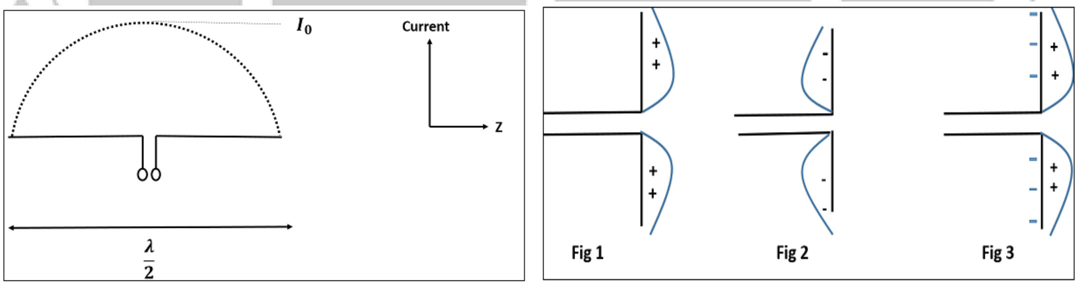
इलेक्ट्रो-म्यॅगनेटीक उर्जेवर लक्ष केंद्रित करण्यासाठी अँटेनाची क्षमता त्याच्या गेनद्वारे परिभाषित केली जाते. अँटेना गेन हे प्रभावी रेडिएटेड आउटपुट पॉवर (Pout) ते इनपुट पॉवर (Pin) चे गुणोत्तर आहे.

5.3 डायपोल अँटेना (Dipole Antenna):

5.3.1 हाफ डायपोल अँटेना (रेझोनंट अँटेना) [Half Dipole Antenna]:

डायपोल अँटेना प्रभावी रेडिएशनसाठी कट केलेला आणि वाकलेला आहे. डायपोल म्हणून वापरल्या जाणाऱ्या एकूण वायरची लांबी तरंगलांबीच्या अर्ध्या (म्हणजे $l = \lambda/2$) इतकी आहे. अशा अँटेनाला हाफ डायपोल अँटेना म्हणतात. त्याच्या फायद्यांमुळे हा सर्वात जास्त वापरला जाणारा अँटेना आहे. हे हर्ट्झ अँटेना (Hertz antenna) म्हणूनही ओळखले जाते. हाफ डायपोल कार्यरत असलेल्या वारंवारतेची श्रेणी सुमारे 3 KHz ते 300 GHz आहे. हे मुख्यतः रेडिओ रिसीव्हरमध्ये वापरले जाते.

हा एक सामान्य डायपोल अँटेना आहे, जिथे त्याच्या ऑपरेशनची वारंवारता त्याच्या तरंगलांबीच्या निम्मी असते. म्हणून, त्याला हाफ -वेव्ह डायपोल अँटेना(Half wave dipole antenna)म्हणतात. डायपोलच्या एजवर जास्तीत जास्त व्होल्टेज असते. हे व्होल्टेज पर्यायी (AC) स्वरूपाचे असते. व्होल्टेजच्या पॉसिटीव्ह पीकवर (Positive peak), इलेक्ट्रॉन एका दिशेने जातात आणि नेगेटिव्ह पीकवर (Negative peak), इलेक्ट्रॉन दुसऱ्या दिशेने जातात. हे आकृती क्र. ५.७.b द्वारे स्पष्ट केले आहे.



(a) (b)

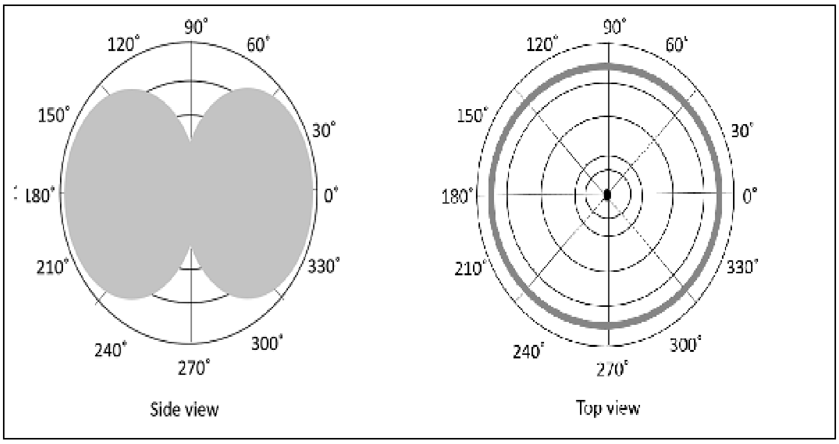
आकृती क्र. 5.7: हाफ डायपोल अँटेना

आकृती क्र. ५.७.b हाफ डायपोलचे कार्य दर्शवते. आकृती क्र. १ (Fig.1) डायपोल दर्शविते जेव्हा प्रेरित शुल्क सकारात्मक अर्धचक्रात असते. आता इलेक्ट्रॉन्स चार्जकडे वळतात. आकृती क्र. २ (Fig. 2) प्रेरित ऋण शुल्कासह डायपोल दर्शविते. येथील इलेक्ट्रॉन डायपोलपासून दूर जातात. आकृती क्र. ३ (Fig. 3) पुढील सकारात्मक अर्धचक्रासह डायपोल दर्शविते. म्हणून, इलेक्ट्रॉन पुन्हा चार्जकडे जातात. याचा एकत्रित परिणाम विविध क्षेत्रीय प्रभाव निर्माण करतो जो त्यावर तयार केलेल्या समान नमुन्यात रेडिएशन करतो. म्हणून,

आउटपुट व्होल्टेज पॅटर्नच्या चक्रानंतर आउटपुट प्रभावी रेडिएशन असेल अशा प्रकारे हाफ डायपोल प्रभावीपणे रेडिएशन करतात.

हाफ -वेव्ह डायपोलचे रेडिएशन पॅटर्न (Radiation pattern of half wave dipole):

आकृती क्र. ५.८ एच-प्लेन आणि व्ही-प्लेन या दोन्हीमध्ये हाफ-वेव्ह डायपोलचा रेडिएशन पॅटर्न दर्शवते. डायपोलची त्रिज्या ही हाफ-वेव्ह डायपोलच्या इनपुट इम्पेडन्सवर परिणाम करत नाही, कारण या डायपोलची लांबी हाफ वेव्ह आहे आणि ती प्रथम रेझोनंट लांबी आहे. अँटेना त्याच्या रेझोनंट वारंवारतेवर प्रभावीपणे कार्य करते, जी त्याच्या रेझोनंट लांबीवर येते.



आकृती क्र. 5.8 : हाफ -वेव्ह डायपोलचे रेडिएशन पॅटर्न

हाफ डायपोल अँटेनाचे फायदे (Advantages):

- वातावरणातील बदलांचा इनपुट इम्पेडन्सवर (Impedance) परिणाम होत नाही.
- अँटेनाची लांबी ही आकार आणि डायरेक्टिव्हिटीच्या सामान असते.

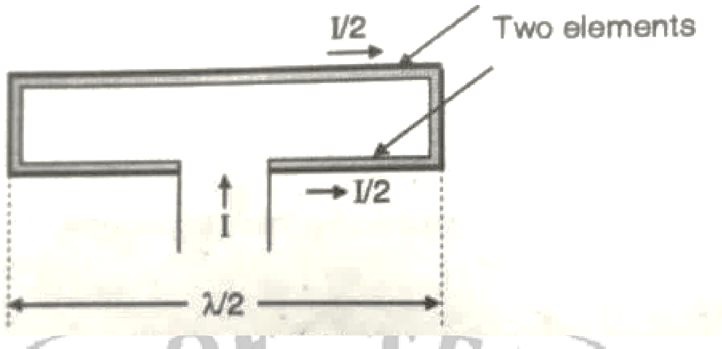
हाफ डायपोल अँटेनाचे तोटे (Disadvantages):

- एकाच घटकामुळे फारसे प्रभावी नाही.
- हे केवळ संयोजनाने (Combination) चांगले कार्य करू शकते.

हाफ डायपोल अँटेनाचे अनुप्रयोग (Applications):

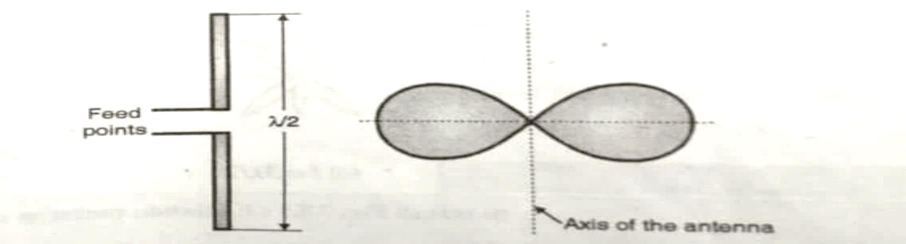
- रेडिओ रिसीव्हर
- टेलिव्हिजन रिसीव्हर

5.3.2 फोल्डेड डायपोल अँटेना (Folded dipole antenna):



आकृती क्र. 5.9: फोल्डेड डायपोल अँटेना

यागी उडा (Yagi Uda)अँटेनामध्ये फोल्डेड डायपोल अँटेना वापरला जातो . फोल्डेड डायपोल हा एकच अँटेना आहे परंतु त्यात आकृती क्र. ५.६ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे 2 घटक (Two elements)असतात. पहिला घटक थेट जोडला (Direct connected)जातो तर दुसरा घटक त्याच्या टोकाशी प्रेरकपणे(Inductively) जोडला जातो. फोल्डेड डायपोल अँटेनाचा रेडिएशन पॅटर्न (आकृती क्र. ५.१०) सरळ डायपोल म्हणजेच 8 या आकाराचा आहे. फोल्डेड डायपोल अँटेनाच्या इनपुटचे इम्पेडन्स स्ट्रेट डायपोलपेक्षा (Straight dipole) 4 पट जास्त आहे. फोल्डेड डायपोल अँटेनाची BW (Bandwidth) स्ट्रेट डायपोलपेक्षा जास्त असते. λ/2 फोल्डेड डायपोलच्या इनपुटचे इम्पेडन्स 288Ω आहे.



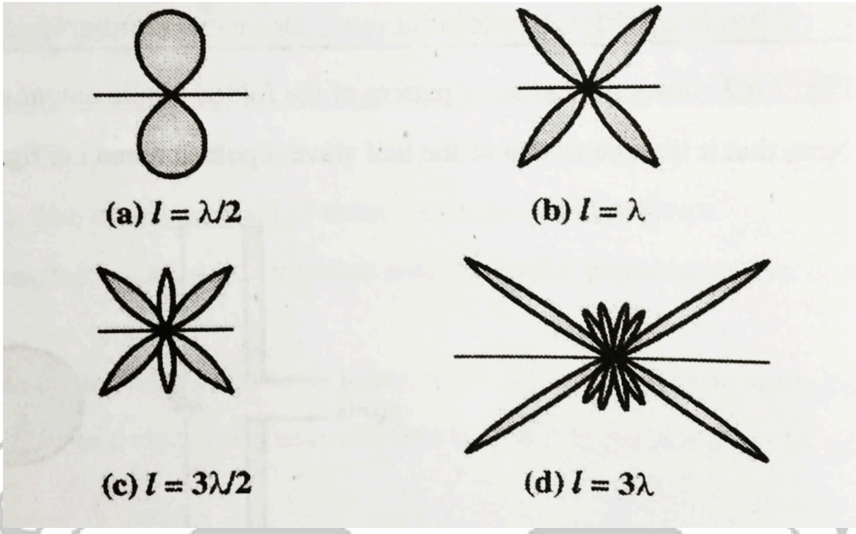
आकृती क्र. 5.10: फोल्डेड डायपोल अँटेनाचा रेडिएशन पॅटर्न

फोल्डेड डायपोल अँटेनाचे फायदे:

- उच्च इनपुट इम्पेडन्स (Impedance)
- उच्च बँडविड्थ
- कार्यक्षम खर्च
- सोपी उभारणी (Construction)

5.3.3 वेगवेगळ्या लांबीसाठी डायपोल अँटेनाचे रेडिएशन पॅटर्न:

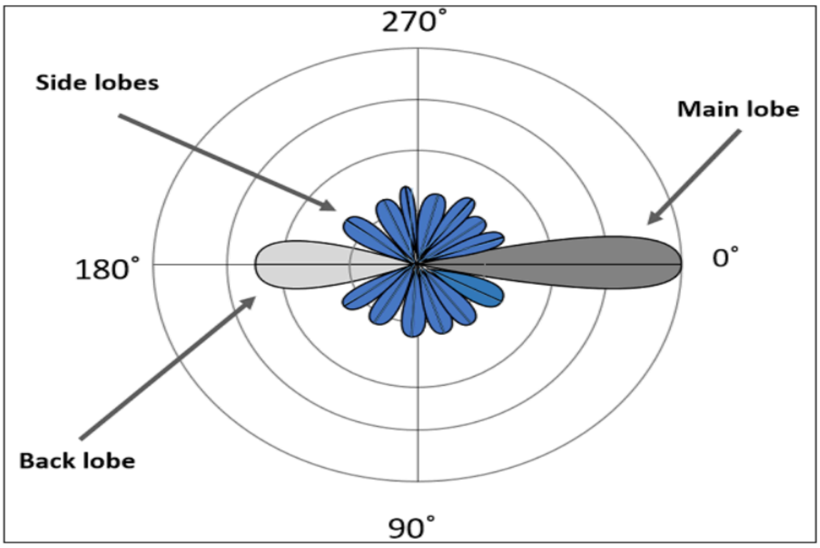
डायपोल अँटेना वेगवेगळ्या लांबीचे असू शकतात परंतु लांबी नेहमी (λ/2) च्या अविभाज्य (Integral) गुणाकाराइतकी असते. रेडिएशन पॅटर्न डायपोल अँटेनाच्या लांबीवर अवलंबून असतो. आकृती क्र. ५.११ मध्ये विविध लांबीच्या डायपोल अँटेनाचे रेडिएशन पॅटर्न दर्शवले आहेत.



आकृती क्र. 5.11: वेगवेगळ्या लांबीसाठी डायपोल अँटेनाचे रेडिएशन पॅटर्न

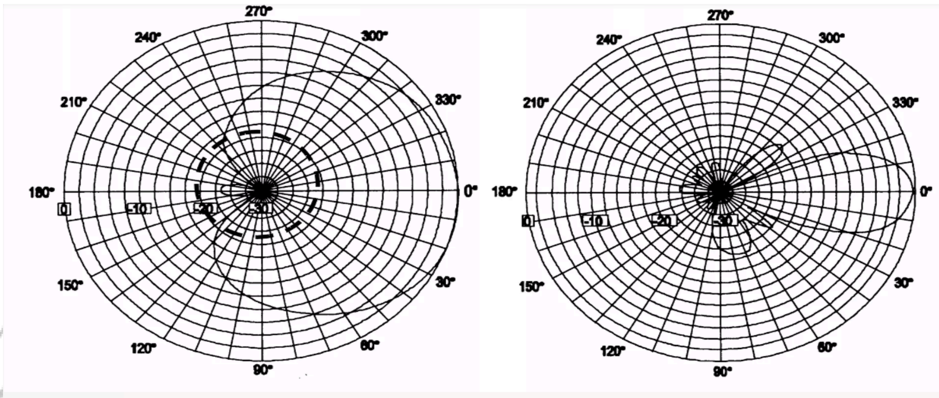
5.3.4 प्रमुख लोब (Major lobe),मायनर लोब (Minor lobe)आणि बॅक लोब (Back lobe):

- रेडिएटेड फील्डचा मोठा भाग, जो मोठ्या क्षेत्राला व्यापतो, त्याला मुख्य लोब किंवा प्रमुख लोब (Major lobe) म्हणतात. हा तो भाग आहे जिथे जास्तीत जास्त रेडिएटेड ऊर्जा अस्तित्वात आहे. या लोबची दिशा अँटेनाची दिशा दर्शवते.
- पॅटर्नचे इतर भाग जेथे बाजूला रेडिएशन होते त्यांना साइड लोब किंवा मायनर लोब (Minor lobe) म्हणून ओळखले जाते. हे असे क्षेत्र आहेत जेथे ऊर्जा वाया जाते.
- जे मुख्य लोबच्या दिशेच्या अगदी विरुद्ध आहे त्यांना बॅक लोब (Back lobe) म्हणून ओळखले जाते, जे एक मायनर लोब देखील आहे. इथेही मोठ्या प्रमाणात ऊर्जा वाया जाते.



आकृती क्र. 5.12: प्रमुख लोब, मायनर लोब आणि बॅक लोब

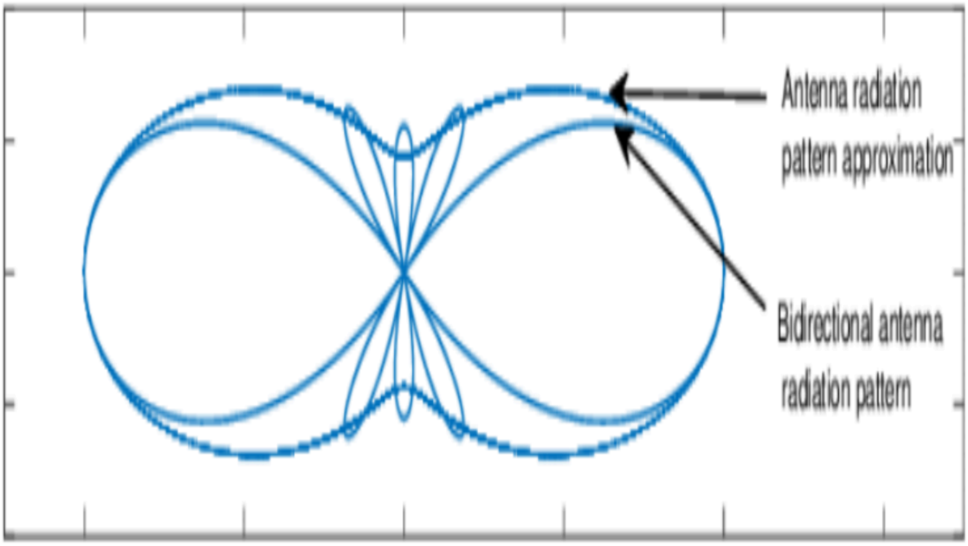
5.3.5 युनिडायरेक्शनल अँटेनासाठी रेडिएशन पॅटर्न (Radiation pattern for unidirectional antenna):



(a) हॉरीझॉन्टल (b) व्हर्टिकल

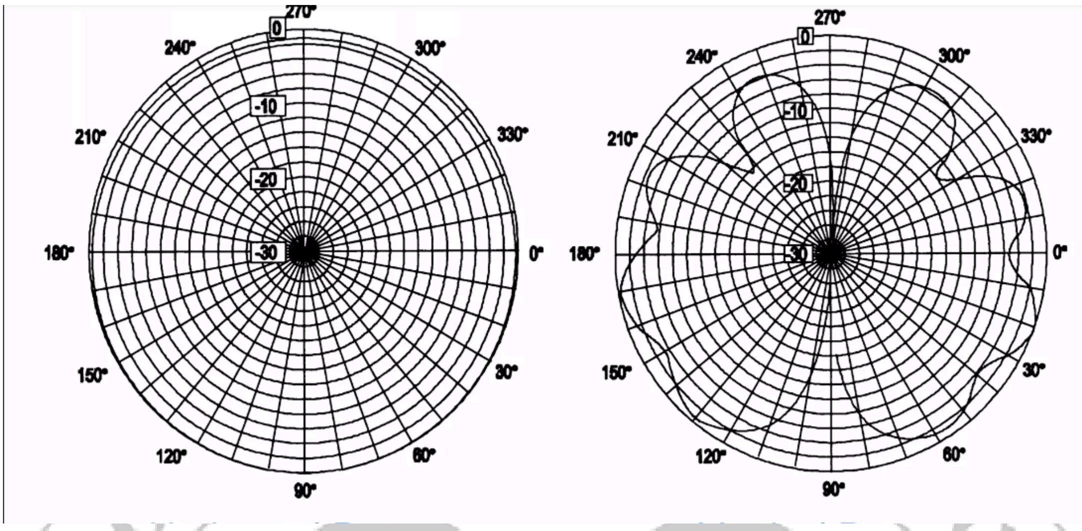
आकृती क्र. 5.13: युनिडायरेक्शनल (unidirectional) अँटेनासाठी रेडिएशन पॅटर्न

5.3.6 द्विदिशात्मक अँटेनासाठी रेडिएशन पॅटर्न (Radiation pattern for bidirectional antenna):



आकृती क्र. 5.14: द्विदिशात्मक (Bidirectional) अँटेनासाठी रेडिएशन पॅटर्न

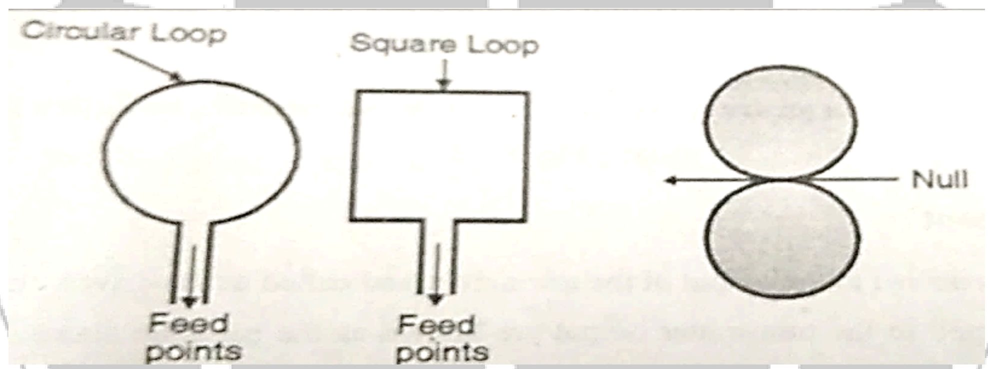
5.3.7 सर्व दिशात्मक अँटेनासाठी रेडिएशन पॅटर्न (Radiation pattern for omnidirectional antenna):



(a) **हॉरीझॉन्टल** **(b) व्हर्टिकल**

आकृती क्र. 5.15: सर्व दिशात्मक (Omnidirectional) अँटेनासाठी रेडिएशन पॅटर्न

5.4.1 लूप अँटेना (Loop antenna):



आकृती क्र. ५.१६ : लूप अँटेना आणि डायरेक्शनल पॅटर्न

ही एक सिंगल टर्न कॉइल आहे ज्याद्वारे RF विद्युतप्रवाह वाहून नेला जातो. कॉइलची डायमेंशन्स तरंगलांबीपेक्षा लहान आहेत म्हणून त्यातून वाहणारा विद्युतप्रवाह त्याच फेजमध्ये(Phase) असतो. जेव्हा विद्युतप्रवाह कॉइलमधून वाहत असतो, तेव्हा चुंबकीय क्षेत्र लूपला(Loop) लंब(Perpendicular) असतो. लूप अँटेनाचा रेडिएशन पॅटर्न डोनट (Doughnut) पॅटर्न सारखा आहे.

फायदे (Advantages):

- ते अत्यंत दिशादर्शक आहेत.
- ते आकाराने लहान असतात.

तोटे (Disadvantages):

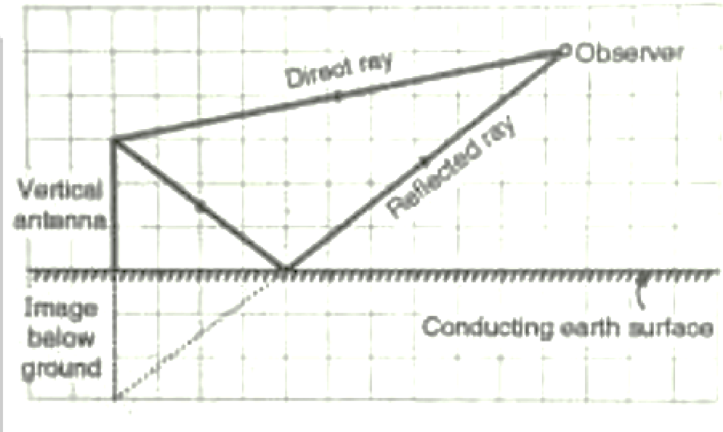
- अत्यंत कमी रेडिएशन कार्यक्षमता असते.

अनुप्रयोग (Applications) :

- दिशात्मक शोध अँप्लिकेशनसाठी .
- पोर्टेबल रिसीव्हर्समध्ये.
- नेव्हिगेशन ऍप्लिकेशन्समध्ये.

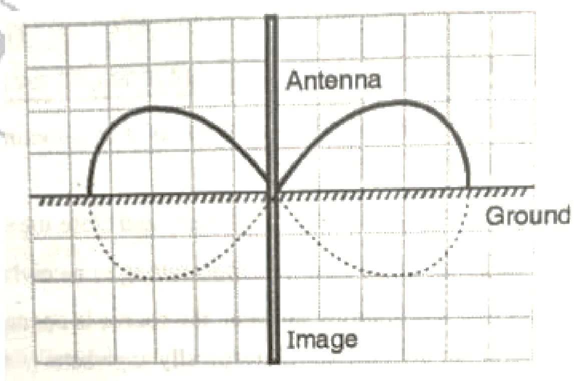
5.4.2 टेलिस्कोपिक अँटेना(Telescopic antenna):

टेलिस्कोपिक अँटेना व्हर्टिकल मास्ट पोल (Mast pole) किंवा रॉडने बनलेला असतो जो मुख्य रेडिएटिंग कंडक्टर असतो. अँटेनाचा दुसरा कंडक्टर विद्युतरीतीने(Electrically) विद्युतवाहक पृथ्वीशी जोडलेला असतो. आकृती क्र. ५.१७ मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे ग्राउंड केलेल्या व्हर्टिकल अँटेनामध्ये अगदी त्याच उंचीची मिरर इमेज असेल. मिरर इमेज प्रत्यक्षात अस्तित्वात नाही परंतु ती प्रवाहकीय जमिनीद्वारे परावर्तित होणारी ऊर्जा दर्शवते. जर व्हर्टिकल अँटेनाची उंची ($\lambda/4$) मीटर असेल, तर त्याच्या मिरर इमेजसह ते ($\lambda/2$) रेझोनंट अँटेनासारखेच परिणाम देऊ लागते.



आकृती क्र. 5.17: टेलिस्कोपिक अँटेना

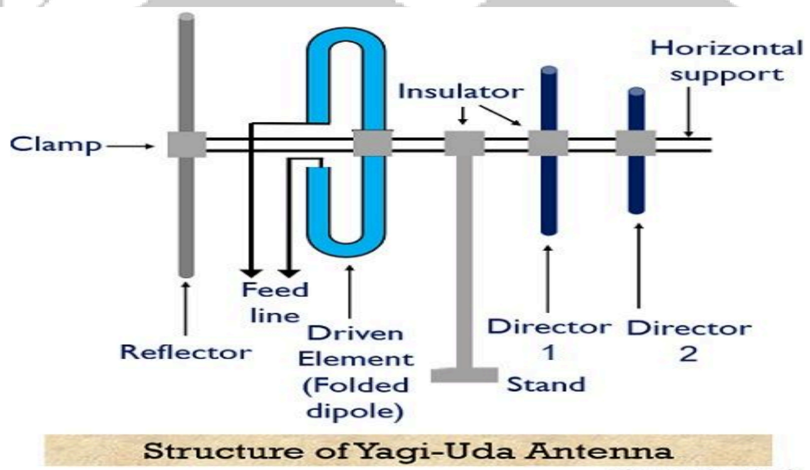
टेलेस्कोपिक अँटेनाचा रेडिएशन पॅटर्न:



आकृती क्र. 5.18: टेलेस्कोपिक अँटेनाचा रेडिएशन पॅटर्न

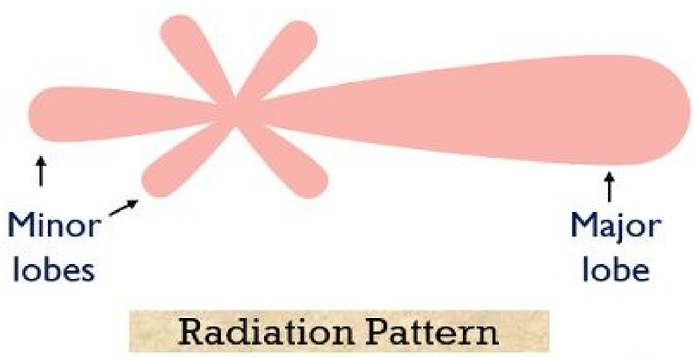
5.4.3 यागी-उडा (Yagi-Uda) अँटेना :

यागी-उडा अँटेना हा एक अँटेना आहे जो त्याच्या हाय गेन आणि डिरेक्टिव्हिटीसाठी प्रसिद्ध आहे. यागी-उडा अँटेना हा चलित घटक (Driven element), परावर्तक (Reflector) आणि निर्देशक (Director) या 3 प्रमुख घटकांच्या संयोगाने तयार होतो. यागी -उडा अँटेनामध्ये 3 मुख्य घटक असतात जे एकत्रितपणे त्याची रचना बनवतात. हे 3 प्रमुख घटक हाफ-वेव्ह फोल्डेड डायपोल, परावर्तक आणि निर्देशक असे चलित घटक आहेत.संरचनेत एक चलित घटक आणि एक परावर्तक असतो तर निर्देशक एकापेक्षा जास्त असू शकतात. परावर्तक हा फोल्डेड डायपोल अँटेनाच्या मागील बाजूस असतो जो नको असलेले सिग्नल प्रतिबिंबित करतो. निर्देशक फोल्डेड डायपोलच्या समोर असतो जो इच्छित सिग्नल गोळा करतो. एक किंवा दोन निर्देशक आणि परावर्तक असलेले फोल्ड केलेले डायपोल अँटेना हे उच्च लाभ आणि बीम विड्थ देतात.



आकृती क्र. 5.19: यागी-उडा (Yagi-Uda) अँटेना

यागी-उडा अँटेनाचा रेडिएशन पॅटर्न:



आकृती क्र. 5.20: यागी-उडा अँटेनाचा रेडिएशन पॅटर्न

यागी-उडा अँटेनाचे फायदे(Advantages):

- यागी-उडा अँटेना खूप उच्च लाभ देतो.
- निर्देशांकाच्या वापरामुळे त्यात एक उच्च दिशात्मक वैशिष्ट्य आहे.

- हा कमी किमतीचा अँटेना आहे.
- यागी-उडा अँटेना उच्च-फ्रिक्वेंसी ऑपरेशन्ससाठी उपयुक्तता दर्शवितो.
- हे वजनाने हलके आहे.

यागी-उडा अँटेनाचे तोटे (Disadvantages):

- यागी-उडा अँटेना वातावरणातील परिस्थितीमुळे खूप प्रभावित होतात.
- अँटेनाच्या एकूण कार्यक्षमतेत अडथळा आणणारा आवाज हा प्रमुख घटक आहे.

यागी-उडा अँटेनाचे अनुप्रयोग (Applications):

- यागी-उडा अँटेना टीव्ही सिग्नल रिसेप्शनच्या क्षेत्रात मोठ्या प्रमाणावर वापरले जातात.
- सुपर गेन अँटेना म्हणून वापरले जातात.
- खगोलशास्त्रीय आणि संरक्षण संबंधित अनुप्रयोगामध्ये देखील यागी-उडा अँटेना वापरतात.

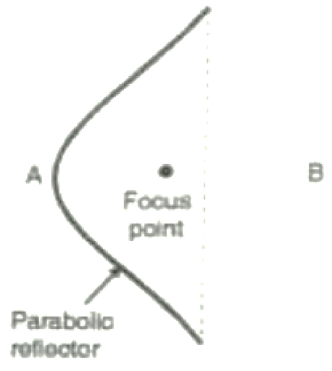
5.4.4 मायक्रोवेव्ह अँटेना (Microwave antenna):

दोन प्रकारचे मायक्रोवेव्ह अँटेना आहेत

1. डिश अँटेना (Dish antenna)
2. हॉर्न अँटेना (Horn antenna)

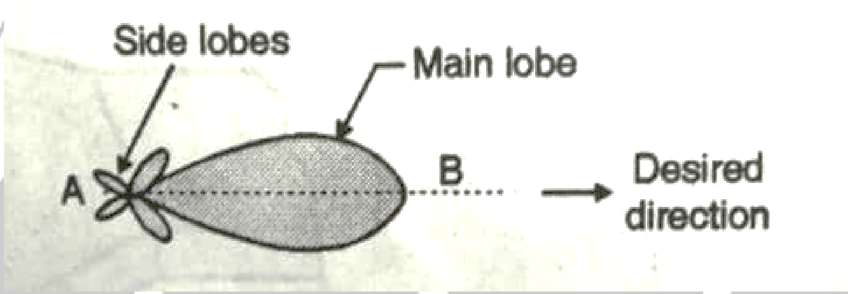
1. डिश अँटेना (Dish antenna):

डिश अँटेना हे मायक्रोवेव्ह अँटेना आहेत जे पॅराबॉलिक रिफ्लेक्टर वापरतात. अँटेना प्रत्यक्षात पॅराबॉलिक रिफ्लेक्टरच्या फोकलपॉइंटवर ठेवला जातो. आकृती क्र. ५.२१ मध्ये दर्शिवलेला डिश अँटेना ट्रान्समिटिंग अँटेना किंवा रिसीविंग अँटेना असू शकतो. जर तो ट्रान्समिटिंग अँटेना असेल, तर स्त्रोतातून बाहेर पडणाऱ्या सर्व वेव्हज (जे केंद्रबिंदूवर आहे) प्रत्येक बिंदूपासून रिफ्लेक्टरद्वारे समान रीतीने परावर्तित होतात. त्यामुळे ते एकमेकांना मदत करतात आणि AB अक्षाच्या बाजूने स्ट्रॉंग रेडिएशन देण्यासाठी जोडले जातात. डिश अँटेना रिसीव्हिंग अँटेना म्हणून देखील वापरू शकतो, रचना (Construction)समान राहते परंतु केंद्रबिंदूवर सोर्स ऐवजी रिसीव्हर वापरण्याची आवश्यकता असते. पॅराबॉलिक रिफ्लेक्टर फक्त तेच किरण एकत्र आणेल जे BA दिशेने येत आहेत. हे किरण केंद्रबिंदूवर एकत्र आणले जातात. इतर कोणत्याही दिशेतून येणारे किरण बाहेर पडतात. रिफ्लेक्टर मोठ्या क्षेत्रातून रेडिएशन गोळा करण्यासाठी आरशाप्रमाणे काम करतो.



आकृती क्र. 5.21: डिश अँटेना

डिश अँटेनाचा रेडिएशन पॅटर्न:



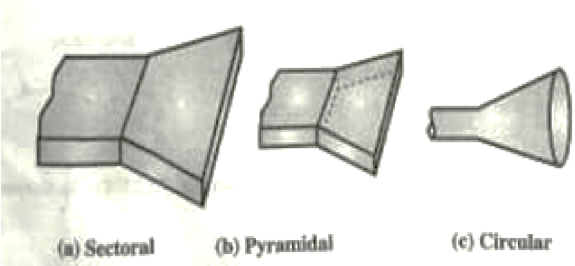
आकृती क्र. 5.22: डिशनारेडिएशन पॅटर्न

डिश अँटेनाचे अनुप्रयोग(Applications):

- स्याटेलाईट(Satellite) टीव्ही रिसेप्शन
- पॉइंट टू पॉइंट मायक्रोवेव्ह लिंक्स

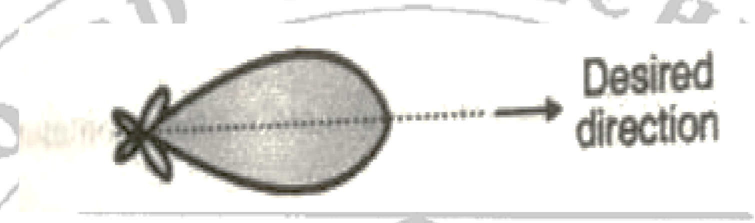
3. हॉर्न अँटेना (Horn antenna):

जर वेव्हगाइड एका टोकापासून उत्तेजित (Excite) केले आणि त्याचे दुसरे टोक मोकळे (Open) सोडले तर वेव्हगाइड ऊर्जा (म्हणजे अँटेनाप्रमाणे कार्य करते) अवकाशात रॅडिएट करू शकते. टू वायर (Two wire) ट्रान्समिशन लाइनद्वारे रॅडिएट केलेल्या उर्जेच्या तुलनेत वेव्हगाइड मोठ्या प्रमाणात ऊर्जा रॅडिएट करते. परंतु वेव्हगाइड्सची समस्या ही आहे कि एकूण ऊर्जेपैकी खूप कमी उर्जा प्रत्यक्षात रॅडिएट होते आणि उर्जेचा एक मोठा भाग ओपन सर्किटजवळ परत ट्रान्स्मिट होतो. रेडिएशन सुधारण्यासाठी, आपल्याला वेव्हगाइडचे तोंड(Mouth) उघडावे लागेल. जेव्हा ट्रान्समिशन लाइन उघडली जाते तेव्हा ती डायपोल सारखी कार्य करते परंतु जेव्हा वेव्हगाइड उघडला जातो तेंव्हा तो हॉर्न सारखे कार्य करतो.



आकृती क्र. 5.23: हॉर्न अँटेना

हॉर्न अँटेनाचा रेडिएशन पॅटर्न:



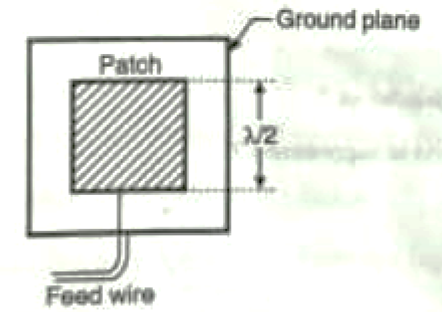
आकृती क्र. 5.24 :हॉर्न अँटेनाचा रेडिएशन पॅटर्न

हॉर्न अँटेनाचे अनुप्रयोग (Applications):

- फीड अँटेना म्हणून वापर होतो.
- उपग्रह अँटेना.
- स्पेस क्राफ्टवर अँटेना म्हणून वापर होतो.

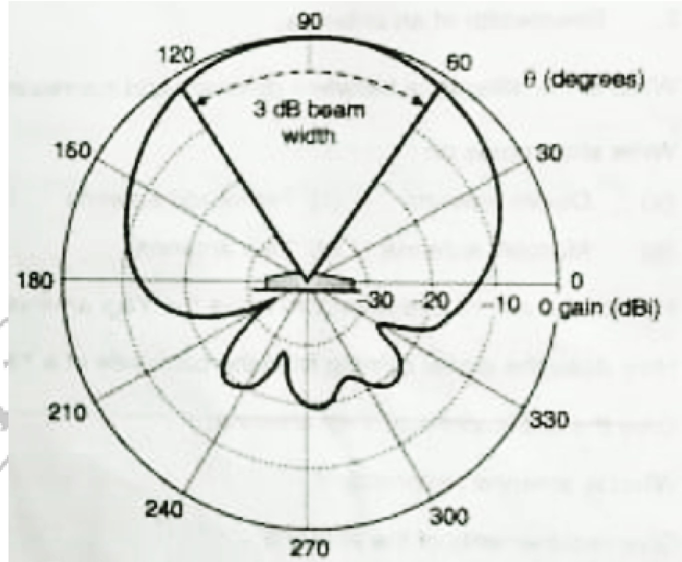
5.4.5 मायक्रो-स्ट्रिप पॅच अँटेना (Microsrip patch antenna):

पॅच अँटेना आयताकृती मायक्रोस्ट्रिप अँटेना म्हणून देखील ओळखला जातो. या प्रकारचा अँटेना सपाट पृष्ठभागावर सहजपणे बसवता येतो. पॅच अँटेनामध्ये एक सपाट आयताकृती धातूची शीट असते ज्याला पॅच असेही म्हणतात, डायलेक्ट्रिक स्पेसरच्या मदतीने ग्राउंड प्लेन नावाच्या मोठ्या धातूच्या शीटवर हे बसवले जाते.पॅच दीड तरंगलांबी ($\lambda /2$) इतके लांब आहे. संरचनेचे नुकसान होण्यापासून संरक्षण करण्यासाठी ही संपूर्ण असेंब्ली प्लास्टिकच्या रेडोममध्ये ठेवली जाते. पॅच अँटेना सामान्यतः डायलेक्ट्रिक सब्सट्रेटवर समान सामग्री आणि प्रिंटेड सर्किट बोर्ड तयार करण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या प्रक्रियेचा वापर करून बांधले जातात.



आकृती क्र. 5.25: मायक्रो-स्ट्रिप पॅच अँटेना

मायक्रो-स्ट्रिप पॅच अँटेनाचा रेडिएशन पॅटर्न :



आकृती क्र. 5.26: मायक्रो-स्ट्रिप पॅच अँटेनाचा रेडिएशन पॅटर्न

5.4.6 प्रिंटेड अँटेना (Printed antenna):

प्रिंटेड अँटेनाला मायक्रोस्ट्रिप अँटेना देखील म्हणतात, हे प्रिंटेड सर्किट बोर्ड (PCB) सारख्या तंत्राचा वापर करून तयार केलेले अँटेना प्रकार आहेत. ते पारंपारिक अँटेनापेक्षा अनेक फायदे देतात, ज्यामुळे त्यांचा विविध अनुप्रयोगांमध्ये (Applications) वापर केला जातो.

इलेक्ट्रोमॅग्नेटिझमच्या मूलभूत तत्त्वांचा वापर करून प्रिंटेड अँटेना कार्य करतात. धातूचा एक पॅच (सामान्यतः तांबे) डायलेक्ट्रिक सब्सट्रेटवर (PCB सारखा) तयार केलेला असतो आणि त्याच्या विरुद्ध बाजूस ग्राउंड प्लेन असतो. जेव्हा फीड लाइनद्वारे ऍन्टीनाला सिग्नल दिले जाते तेव्हा ते मेटल पॅचवर विद्युत प्रवाह तयार करते. हा विद्युत् प्रवाह ऑसिलेटिंग (Oscillating) विद्युत आणि चुंबकीय क्षेत्र निर्माण करतो, जे विद्युत चुंबकीय लहरींच्या रूपात बाहेरून प्रसारित होतात आणि माहिती असलेली सिग्नल घेऊन जातात.विशिष्ट रेडिएशन पॅटर्न आणि ऍन्टीनाची ऑपरेटिंग वारंवारता ही पॅच, सब्सट्रेटचा आकार आणि भौतिक गुणधर्मांवर अवलंबून असते.

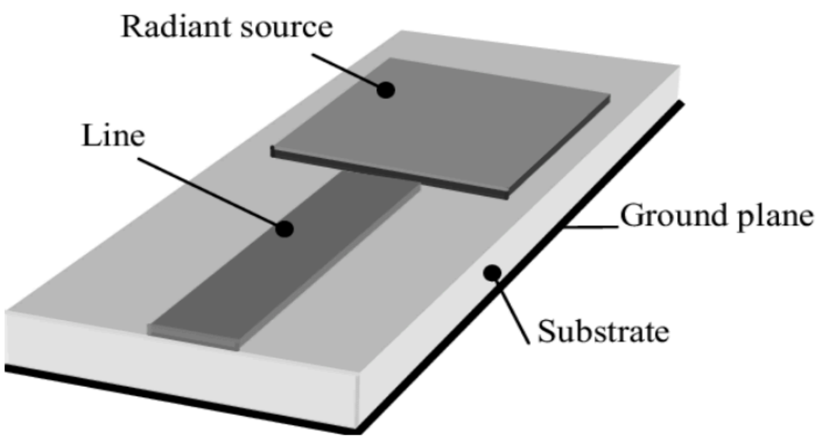
प्रिंटेड अँटेनाचे मुख्य घटक पुढीलप्रमाणे आहेत:

● मेटल पॅच: मेटल पॅच हे रेडिएटिंग एलिमेंट आहे जे सामान्यत: डायलेक्ट्रिक सब्सट्रेटवर तांब्याच्या फॉइलपासून बनवले जाते.

● डायलेक्ट्रिक सब्सट्रेट: डायलेक्ट्रिक सब्सट्रेट हे नॉन कंडक्टिंग मटेरियल आहे जे संरचनात्मक आधार प्रदान करते आणि अँटेनाच्या विद्युत गुणधर्मांवर प्रभाव पाडते. सामान्य सामग्रीमध्ये FR-4 (एक ग्लास-प्रबलित इपॉक्सी लॅमिनेट) आणि सिरॅमिक सामग्री समाविष्ट आहे.

● ग्राउंड प्लेन: पॅचपासून सब्सट्रेटच्या विरुद्ध बाजूस एक धातूचा थर असतो. हे रेफेरन्स प्लेन म्हणून कार्य करते आणि इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक सर्किट पूर्ण करते.

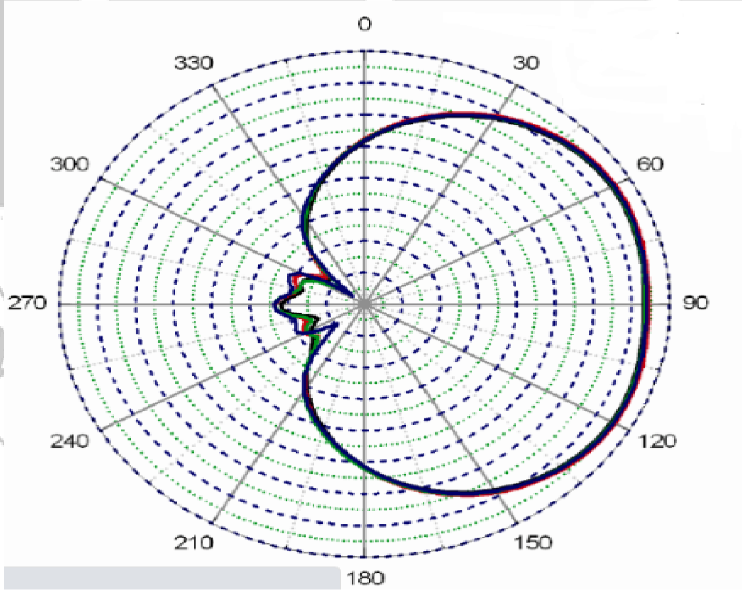
● फीड लाइन: फीड लाइन हा कंडक्टर आहे जो पॅचवर सिग्नल करंट वितरीत करतो. मायक्रोस्ट्रिप लाइन्स, कोएक्सियल फीड्स आणि कोप्लॅनर वेव्हगाइड्स सारख्या विविध फीड लाइन डिझाइन केलेल्या आहेत.



आकृती क्र. 5.27 : प्रिंटेड अँटेना

प्रिंटेड अँटेनाचा रेडिएशन पॅटर्न:

प्रिंटेड अँटेनाचा रेडिएशन पॅटर्न तो उत्सर्जित होणाऱ्या इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक पॉवरच्या अवकाशीय वितरणाचा संदर्भ देतो. पॅटर्न अँटेनाच्या डिझाईनवर अवलंबून असतो.



आकृती क्र. 5.28 : प्रिंटेड अँटेनाचा रेडिएशन पॅटर्न

प्रिंटेड अँटेनाचे अनुप्रयोग (Applications):

- मोबाईल फोन आणि वायरलेस उपकरणे
- वायरलेस लोकल एरिया नेटवर्क (WLAN)
- रेडिओ फ्रिक्वेन्सी आयडेंटिफिकेशन (RFID)
- सॅटेलाइट संचार

- इंटरनेट ऑफ थिंग्ज (IoT)

5.4.7 फ्लेक्सिबल अँटेना (Flexible antenna):

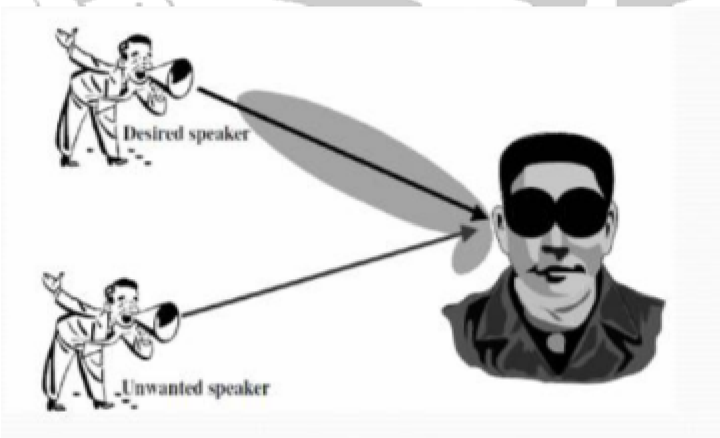
फ्लेक्सिबल अँटेना हे वायरलेस संचार च्या क्षेत्रात एक क्रांतिकारक विकास आहे, जे पारंपारिक रिजिड अँटेनापेक्षा अद्वितीय फायदे देतात. पारंपारिक अँटेना प्रमाणेच, फ्लेक्सिबल अँटेना विद्युत चुंबकीय लहरी प्रसारित आणि प्राप्त करतात. ते विशिष्ट फ्रिक्वेन्सीवर प्रतिध्वनी प्राप्त करण्यासाठी डिझाइन केलेले आहेत. फ्लेक्सिबल अँटेना हे अल्टरनेटिंग करंट तयार करतात जे प्रसारणासाठी इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक लहरी निर्माण करतात किंवा ते या उलट क्रिया करण्यासाठी सुद्धा योग्य आहे . फ्लेक्सिबल अँटेना तयार करण्यासाठी धातूसारख्या कठोर पदार्थांऐवजी प्लास्टिक फिल्म किंवा फॅब्रिकसारख्या सब्सट्रेटचा वापर करण्यात येतो. फ्लेक्सिबल अँटेनाचा रेडिएशन पॅटर्न हा अँटेनाच्या डिझाईनवर अवलंबून असतो.

फ्लेक्सिबल अँटेनाचे अनुप्रयोग (Applications of flexible antenna):

- स्मार्टवॉच, फिटनेस ट्रॅकर्स.
- वैद्यकीय देखरेख उपकरणे.
- इंटरनेट ऑफ थिंग्ज (IoT).
- रेडिओ फ्रिक्वेन्सी आयडेंटिफिकेशन (RFID).

5.4.8 स्मार्ट अँटेना (Smart antenna):

एक स्मार्ट अँटेना, ज्याला ॲडॉप्टिव्ह अँरे अँटेना किंवा डिजिटल अँटेना अँरे असे म्हणूनही ओळखले जाते, ही एक प्रगत अँटेना प्रणाली आहे, जी वायरलेस संचार ऑप्टिमाइझ करण्यासाठी एकाधिक अँटेना घटक आणि बुद्धिमान सिग्नल प्रोसेसिंग अल्गोरिदम वापरते. हे पारंपारिक सर्वदिशात्मक अँटेनाच्या तुलनेत लक्षणीय सुधारणा देते.



आकृती क्र. 5.29 : स्मार्ट अँटेनाची संकल्पना

बीमफॉर्मिंग: प्रत्येक अँटेना घटकाद्वारे प्रसारित किंवा प्राप्त झालेल्या सिग्नलचे टप्पे आणि मोठेपणा हाताळून, स्मार्ट अँटेना इच्छित वापरकर्त्याच्या दिशेने एक केंद्रित बीम तयार करू शकतात. हे इच्छित सिग्नल प्रभावीपणे मजबूत करते आणि हस्तक्षेप करणारे सिग्नल कमकुवत करते.

बीम फॉर्मिंगवर आधारित स्मार्ट अँटेनाचे खालीलप्रमाणे दोन प्रकार आहेत.

1. स्विचड बीम अँटेना प्रणाली (Switched beam antenna system)
2. अड्यापटीव्ह अॅरे अँटेना प्रणाली (Adaptive array antenna system)

स्मार्ट अँटेनाचे अनुप्रयोग (Applications):

- सेल्युलर नेटवर्क
- वाय-फाय नेटवर्क
- सॅटेलाइट कम्युनिकेशन्स
- रडार प्रणाली
- मिलिटरी कम्युनिकेशन्स

स्वाध्याय(Self learning):

1. रेडिएशन पॅटर्नसह लूप अँटेनाचे स्केच काढा.
2. स्केचसह अँटेनाशी संबंधित बीम विड्थ ही संज्ञा स्पष्ट करा.
3. यागी-उडा अँटेनाची रचना (Construction) काढा. त्याचा रेडिएशन पॅटर्न काढा आणि दोन अॅप्लिकेशन्स लिहा.
4. अँटेनाशी संबंधित खालील संज्ञा थोडक्यात स्पष्ट करा
   a. अँटेना रेसिस्टन्स
   b. डायरेक्टिव्हिटी
   c. अँटेना गेन
   d. पॉवर गेन
   e. रेडिएशन पॅटर्न
   f. पोलराइझेशन
5. हाफ वेव्ह डायपोल अँटेना आणि त्याच्या रेडिएशन पॅटर्नचे स्केच काढा.
6. खालील अँटेनाचे अनुप्रयोग लिहा
   a. डिश अँटेना
   b. हॉर्न अँटेना
   c. लूप अँटेना
   d. यागी-उडा अँटेना
7. डिश अँटेनाच्या ऑपरेटिंग तत्त्वाचे वर्णन करा. त्याची रचना (Construction) आणि रेडिएशन पॅटर्न काढा.
8. मायक्रोस्ट्रिप पॅच अँटेनाची रचना त्याच्या रेडिएशन पॅटर्नसह स्पष्ट करा.
9. फोल्डेड डायपोल अँटेनाचे कोणतेही दोन फायदे लिहा.

१०. खालील रेझोनंट डायपोल अँटेनाचे रेडिएशन पॅटर्न काढा.

(१) $l = \lambda/2$ (२) $l = \lambda$ (३) $l = 3\lambda/2$ (४) $l = 3\lambda$

जेथे l डायपोल अँटेनाची लांबी आहे.

लघु प्रकल्प (Micro project):

1. स्मार्ट अँटेना आणि फ्लेक्सिबल अँटेनाची रचना, कार्याचे तत्त्व तसेच रेडिएशन पॅटर्नवर आधारित अहवाल तयार करा.
2. अँटेनाची रचना (हाफ डायपोल अँटेना, लूप अँटेना, हॉर्न अँटेना , फोल्डेड डायपोल अँटेना , यागी उडा अँटेना)आणि त्यांच्या रेडिएशन पॅटर्नवर आधारित चार्ट तयार करा.

संदर्भ:

Sr.No	Author	Title	Publisher with ISBN Number
1	Dennis Roddy John Coolen	Electronic Communication	Pearson Education India, New Delhi , ISBN: 978-817758-558-2
2	George Kennedy Bernard Devis	Electronics Communication System	TATA Mc- Graw Hill, New Delhi, ISBN: 9780071077828
3	Ravi Kumar Jatoth , T. Kishore Kumar , V .V. Mani	Electronics and Communications Engineering	Apple Academic Press ISBN: ISBN- 13 978-1774633892
4	Tomasi W.	Electronic Communication System	Pearson Education India, New Delhi, ISBN: 9780130221254
5	Constantine A. Balanis	Antenna Theory: Analysis and Design	Wiley-Student edition India, New Delhi, ISBN: 9788126524228

संकेत स्थल:

1 https://www.ahsystems.com/articles/Understanding-antenna-gai n-beamwidth-directivity.php

2 https://www.geeksforgeeks.org/yagi-uda-antenna/

3 https://www.intechopen.com/chapters/38450

4 https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/dipole-antenna