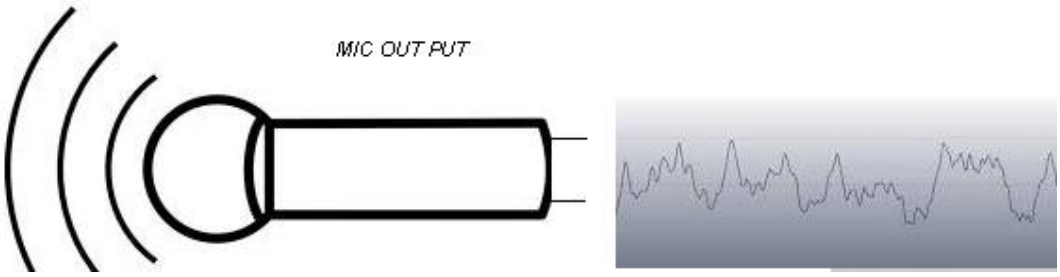
चैप्टर – 10
मोडूलेशन/डिमोडूलेसन

जब हमें किसी सूचना जैसे कि आवाज, संगीत, फोटोग्राफ, वीडियो आदि को इलेक्ट्रोमैग्नेटिक तरंगों के माध्यम से किसी सुदूर स्थान पर स्थित receiver को भेजना होता है, तो सबसे पहले हम उपलब्ध सूचना को विद्युत सिग्नल में बदलते हैं।

दूसरे शब्दों में साउण्ड ऊर्जा या प्रकाश ऊर्जा को विद्युत ऊर्जा में बदलते हैं। यह कार्य transducer जैसे कि माइक,स्केनर कैमरा आदि से होता है।

इस प्रकार से प्राप्त विद्युत सिग्नल को मोडूलेटिंग सिग्नल कहते हैं। यह सिग्नल अल्टरनेटिंग प्रकृति के होते हैं जैसा कि निम्न चित्र में दिखाया गया है–

चित्र



इस प्रकार प्राप्त होने वाले सिग्नल का एम्प्लीट्यूड बहुत कम होता है तथा इनकी फ्रिक्वेन्सी फिक्स फ्रिक्वेन्सी न होकर सूचना की प्रकृति एवं प्रकार के आधार पर बदलती रहती है। माडूलेटिंग सिग्नल में एक साथ एक से अधिक फ्रिक्वेन्सी भी हो सकती है।

Need of modulation

यदि इन माडूलेटिंग सिग्नल को एम्प्लीफाइड करके सीधे एण्टेना को ट्रांसमिशन हेतु दे दिया जाय तो ट्रांसमिशन में निम्न व्यवहारिक परेशानियां आती हैं :–

(1) चूँकि एण्टेना की लम्बाई फ्रिक्वेन्सी पर निर्भर करती है और माडूलेटिंग सिग्नल कुछ hertz से लेकर MHz फ्रिक्वेन्सी तक का हो सकता है। अतः एण्टेना किस फ्रिक्वेन्सी के लिये Design किया जाय यह परेशानी आयेगी। क्यों कि साउन्ड फ्रिक्वेन्सी ही 300 Hz से 20 KHZ तक की हो सकती है।

(2) यदि यह मान भी लिया जाय कि माडूलेटिंग सिग्नल की फ्रिक्वेन्सी स्थिर है, तो भी लो फ्रिक्वेन्सी पर एण्टेना की लम्बाई इतनी अधिक होगी कि व्यवहारिक रुप से इतनी लम्बाई का एण्टेना बनाना संभव नहीं होगा। जैसे कि 5khz के साउन्ड माडूलेटिंग सिग्नल के लिए तरंगधैर्य $\lambda = 60,000$ मीटर होता है। इस फ्रिक्वेन्सी के लिए एण्टेना की लम्बाई $\lambda/2 = 30000$ मीटर यानी कि 30 किलोमीटर होगी। 30 किलोमीटर लम्बाई का एण्टेना बनाना और स्थापित करना व्यवहारिक रुप से संभव नहीं है।

(3) कुछ देर के लिए यह भी मान लें कि इतनी अधिक लम्बाई का एण्टेना बनाया जा सकता है। परन्तु माडूलेटिंग सिग्नल की फ्रिक्वेन्सी विश्व में सभी के लिये एक समान होगी। और सभी स्टेशन इस माडूलेटिंग फ्रिक्वेन्सी पर ट्रांसमिशन करने लगें तो संचार के दौरान इस फ्रिक्वेन्सी के हजारों सिग्नल प्राप्त होगें। जिसमें से अपने काम का माडूलेटिंग सिग्नल का चयन कठिन होगा। अर्थात Interference की समस्या आवेगी।

(4) एण्टेना से निकलने वाली इलेक्ट्रोमैग्नेटिक वेव की तीव्रता फ्रिक्वेन्सी के समानुपाती होती है। अर्थात फ्रिक्वैन्सी जितनी अधिक होगी एण्टेना उतना ही अच्छा रेडियेशन करता है।

चूँकि माडूलेटिंग सिग्नल की फ्रिक्वैन्सी कम होती है अतः एण्टेना कम पावर रेडियेट करेगा। इससे पर्याप्त रेडियेशन हेतु ट्रॉसमीटर कई किलोवाट का बनाना पड़ेगा। जिस हेतु अधिक ऊर्जा की जरुरत होगी।

(5) हाई फ्रिक्वेन्सी की तुलना में निम्न आबृत्ति पर हमारी पृथ्वी के वातावरण में इलेक्ट्रोमेग्नेटिक बेव का अवशोषण काफी अधिक होता है। अतः यदि माडूलेटिंग सिग्नल को ट्रांसमिट कर भी दिया जाय तो कुछ किलो मीटर से ज्यादा संचार नहीं होगा।

माडूलेटिंग सिग्नल को सीधे प्रसारित करने में आने वाली उक्त सभी समस्याओं का एक ही निदान है, वह है माडूलेशन करके ट्रांसमिशन करना।

माडूलेशन क्या है

माडूलेशन वह प्रक्रिया है जिसमें low फ्रिक्वेन्सी electric signal या (modulating signal) जो सामान्यतः कुछ 100 Hz से कुछ MHz तक हो सकते है इनको high फ्रिक्वेन्सी signal (सामान्यतः 550 KHz से 500GHz) के ऊपर प्रत्यारोपित करना, और इसके परिणाम स्वरुप जो मोडूलेटिड वेव प्राप्त होती हैं उसे ट्रांसमिट करना। दूसरे शब्दों में माडूलेशन वह प्रक्रिया है जिसमें हाई फ्रिक्वेन्सी की तरंग (जिसकी फ्रिक्वेन्सी स्थिर है) की कोई एक characteristic, low फ्रिक्वेन्सी (modulating signal) के amplitude के अनुसार change होती है। कैरियर बेव की यह characteristic उसका amplitude हो सकता है या फ्रिक्वेन्सी या फिर phase angle हो सकता है।

माडूलेशन की प्रक्रिया में जिस सिग्नल को माडूलेट किया जाता है उसे माडूलेटिंग सिग्नल कहते हैं। जिस फिक्स फ्रिक्वेन्सी के सिग्नल पर माडूलेशन किया जाता है उसे कैरियर फ्रिक्वेन्सी (सामान्यतः माडूलेटिंग की तुलना में high) कहते हैं।

माडूलेशन के परिणाम स्वरुप जो वेव प्राप्त होती है, उसे माडूलेटेड वेव कहते हैं।
माडूलेटेड वेव ही एण्टेना से ट्रांसमिट की जाती है। माडूलेशन के दौरान कैरियर वेव का कौन सा पैरामीटर माडूलेटिंग सिग्नल से प्रभावित होता है। इस आधार पर माडूलेशन निम्न प्रकार के होते हैं।

1. amplitude
2. frequency
3. phase Angle

रेडियो तरंगों के माध्यम से सूचना के transmission एवं reception को सफलतापूर्वक सम्पन्न करने हेतु माडूलेशन एवं डिमाडूलेशन आवश्यक होता है। रेडियो तरंगों से music, speech आदि को हजारों किलोमीटर तक भेजना संभव है। रेडियो प्रसारण में रेडियो wave carrier wave कहलाती है। तथा music, video आदि modulating wave कहलाती है।

माडूलेशन (MODULATION) की परिभाषा :–

माडूलेशन वह प्रक्रिया है, जिसमें low फ्रिक्वेन्सी signal (speech,music etc) को high फ्रिक्वेन्सी (radio wave) के साथ combine किया जाता है। दूसरे शब्दों में low फ्रिक्वेन्सी signal (speech, music etc) को high फ्रिक्वेन्सी (radio wave) के ऊपर प्रत्यारोपित किया जाता है।

माडूलेशन के बाद जो resultant wave प्राप्त होती है। उसे माडूलेटेड बेव (modulated carrier wave) कहते हैं। माडूलेशन (modulation) की प्रक्रिया transmitting station पर होती है।

CARRIER WAVE को GENERATE करना :–

carrier wave एक high फ्रिक्वेन्सी undamped electric oscillation है। जो कि R.F oscillator से लगातार पैदा होती रहती है। oscillator के इस output को RF amplifier से amplified किया जाता है। उसके बाद माडूलेषन कर coaxil cable के माध्यम से ऐन्टिना को फीड करते हैं। antenna इन high फ्रिक्वेन्सी oscillation को space में प्रसारित कर

देता है I ये space में light की speed ($3x10^8$ M/s) से travel करती हैं I space में इन तरंगों को electromagnatic wave कहते हैं I

FREQUENCY SPECTRUM :--

विभिन्न रेडियो संचार माध्यमों द्वारा very low फ्रिक्वेन्सी से लेकर extra high फ्रिक्वेन्सी तक विभिन्न रेडियो आवृत्ति का उपयोग किया जाता है। इन फ्रिक्वेन्सी को निम्नानुसार वर्गीकृत किया गया है :--

FREQUENCY SPECTRUM

FREQUENCY	DESCRIPTION
30 GHz - 300 GHz	Extremely high frequency (EHF)
3 GHz - 30 GHz	Super high frequency (SHF)
300 MHz - 3 GHz	Ultrahigh frequency (UHF)
30 MHz - 300 MHz	Very high frequency (VHF)
3 MHz - 30 MHz	High frequency (HF)
300 kHz - 3 MHz	Medium frequency (MF)
30 kHz - 300 kHz	Low frequency (LF)
3 kHz - 30 kHz	Very low frequency (VLF)
300 Hz - 3 kHz	Voice frequency
up to 300 Hz	Extremely low frequency (ELF)

TYPE OF MODULATION:--

किसी भी A.C. voltage या carrent जो sinewave में होता है उसको निम्न समीकरण से प्रदर्शित करते हैं–

$$e = E_c \text{ Sin } (\acute{\omega}_c t + \varnothing)$$

$$e = E_c \text{ Sin } (2\pi f t + \varnothing)$$

यहॉ E_c =maximum Amplitude of wave

f = frequency of R.F. wave

Ø = phase

t= time

इस प्रकार किसी sinusoidal.wave में निम्न तीन पैरामीटर होते हैं।

1.Amplitude

2. frequency

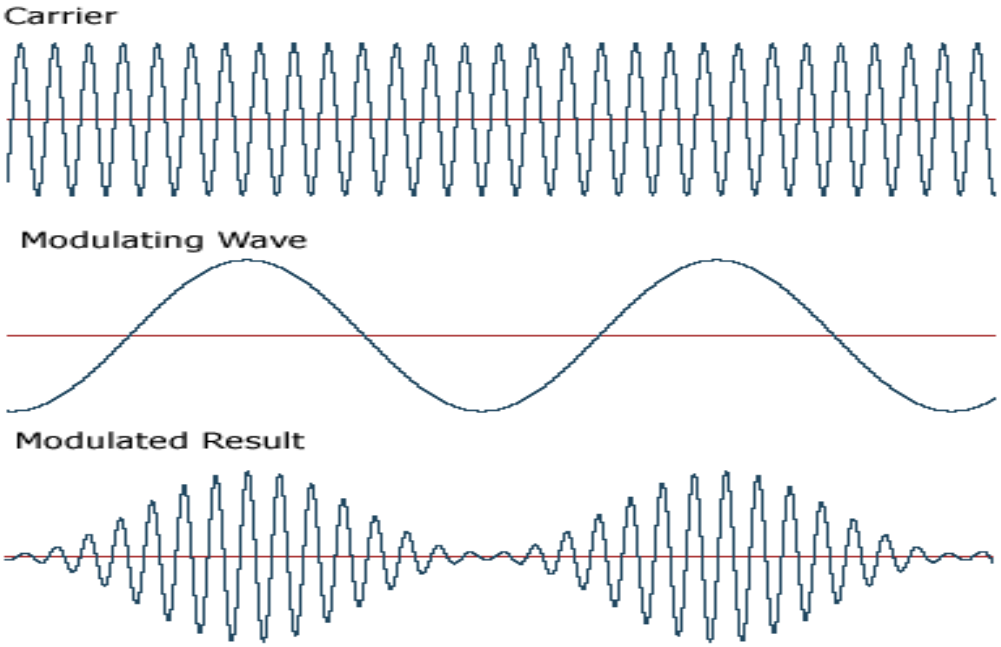
3.phase Angle

इस आधार पर माडूलेशन भी तीन प्रकार के होते है। जिसका बिस्तृत वर्णन आगे किया गया है –

Amplitude modulation(A.M.)

इस प्रकार के modulation में carrier wave का Amplitude, modulating signal के Amplitude की Instantaneous value के अनुसार बदलता है।

इस modulation में carrier wave की सिर्फ Intensity ही बदलती है। परंतु फ्रिक्वेंसी स्थिर रहती है। जैसा कि निम्न चित्र में दिखाया गया है:-



AM modulation में modulated wave का amplitude modulating signal के amplitude पर निर्भर करता है। एवं amplitude में प्रति सेकण्ड परिवर्तन का rate modulating signal की frequency को प्रदर्शित करता हैं।

MODULATION-INDEX

signal wave एवं carrier wave के maximum amplitude के अनुपात को Modulation index कहते हैं।

MODULATION-INDEX M.I.=B/A

B= AMPLITUDE OF MODULATING WAVE
A= AMPLITUDE OF CARRIER WAVE

MODULATION-INDEX से Percentage of Modulation भी ज्ञात कर सकते हैं।

Percentage of Modulation :— percentage of modulation से हम यह ज्ञात कर सकते हैं। कि modulating signal carrier wave पर कितने गहराई तक modulate हुआ।

percentage of modulation (M) को निम्न फार्मूले से ज्ञात किया जाता है।

% OF MODULATION=M.I.X100

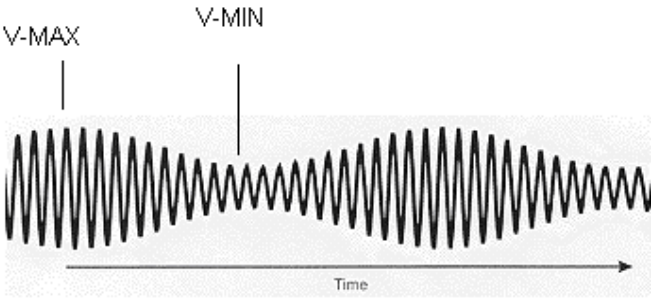
$$M = \frac{\text{MAXIMUM VALUE OF SIGNAL WAVE}}{\text{MAXIMUM VALUE CARRIER WAVE}} X100$$

$$\frac{B}{A} X100$$

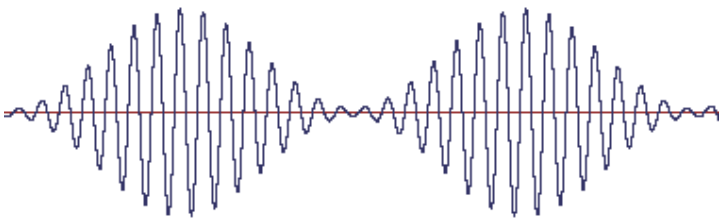
B= Amplitude of modulating signal
A= Amplitude of carrier wave
Percentage of Modulation को modulated wave की सहायता से निम्न formula से ज्ञात करते हैं।

$$M = \frac{Ec(MAX)- Ec(MIN)}{Ec(MAX)+ Ec(MIN)} X 100$$

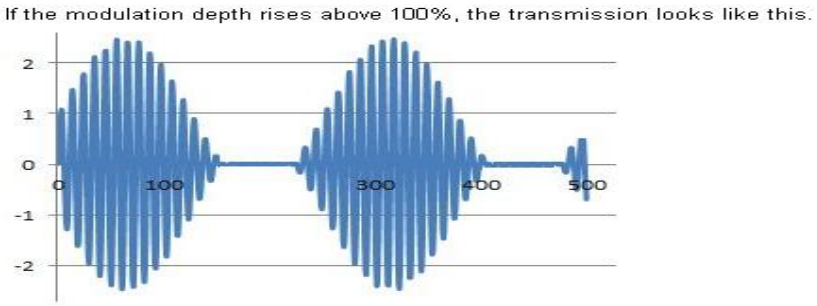
1.यदि modulating signal का maximum amplitude carrier wave का आधा है तो Percentage of Modulation 50 % होगा।



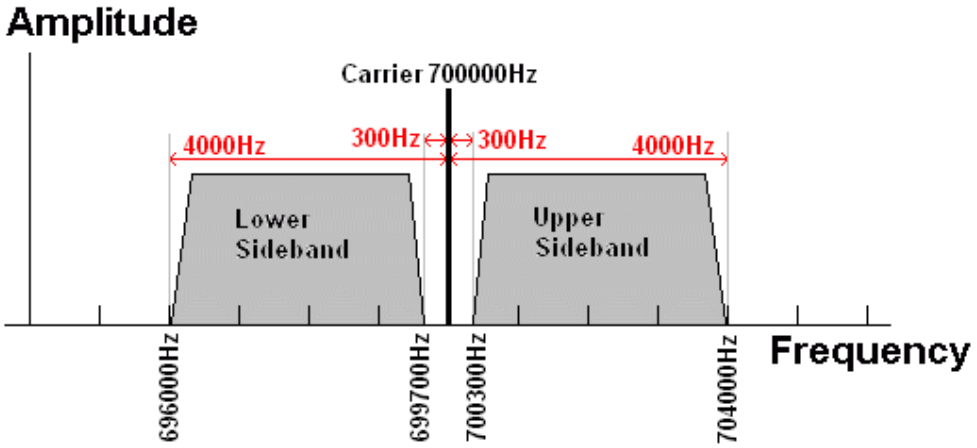
2– यदि carrier wave एवं modulating wave के amplitude समान है तो percentage of modulation 100 % होगा।



3–यदि modulating signal का amplitude carrier wave, amplitude का 1.5 गुना है तो percentage of modulation 150% होगा। इसे over modulation कहते हैं।
over modulation में modulating signal बिकृत/currupt हो जाता हैं।



UPPER & LOWER SIDE FREQUENCY :-- unmodulated carrier wave में सिर्फ एक फ्रिक्वेंसी f_c होती है। जब इसे modulating signal के साथ modulate/ mix/ Hetrodine/combine किया जाता है। तो इसके परिणाम स्वरुप और भी फ्रिक्वेंसी प्राप्त होती है। जिन्हें side frequency कहा जाता है।



इस प्रकार A M माडूलेषन में निम्न तीन फ्रिक्वेंसी पैदा होती है –

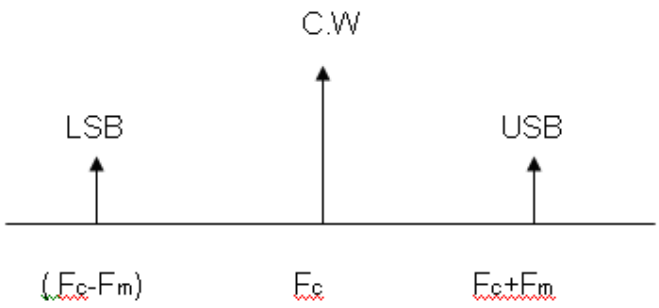
1--ORIGINAL CARRIER फ्रिक्वेंसी -- **F_c**

2-- HIGHER फ्रिक्वेंसी -- **F_c+F_m**

3-- LOWER फ्रिक्वेंसी -- **$F_c - F_m$**

दो नई फ्रिक्वेंसी को upper side band (USB) एवं lower side band (LSB) कहते हैं। जो carrier फ्रिक्वेंसी के आगे एवं पीछे स्थित रहती हैं। (USB) एवं (LSB) फ्रिक्वेंसी का amplitude percentage of modulation पर निर्भर करता है। जो 100 percent modulation पर side band फ्रिक्वेंसी का amplitude carreier फ्रिक्वेंसी के amplitued का 1/2 होता है।

fig



CHANNEL WIDTH :--

अभी तक हम यह मानते आये हैं कि, माडूलेटिंग फ्रिक्वेंसी एक सिंगल फ्रिक्वेंसी होती है। जबकि प्रेक्टिकली ऐसा नहीं होता। modulating फ्रिक्वेंसी human voice के लिये 300 Hz से 5 KHz के बीच की कई फ्रिक्वेंसी होती हैं। इस कारण से upper एवं lower side band एक fix फ्रिक्वेंसी न होकर फ्रिक्वेंसी का band या समूह होता है। जिसकी width modulating signal में उपलब्ध कुल फ्रिक्वेंसीज पर निर्भर करती है।

अतः चैनल की width (band width) modulating फ्रिक्वेंसी की width पर निर्भर करती है। जो modulating signal की maximum फ्रिक्वेंसी की दो गुनी होती है। अर्थात्

channal width = 2 x max फ्रिक्वेंसी of modulating signal

C.W. = 2 x f_m(max)

modulating wave का mathmatical विश्लेषण :–

जैसा कि हम जानते हैं कि unmodulated carrier wave का equation निम्न होता है –

$e_c = E_c \sin 2\pi f_c t$ या

$e_c = A \sin wt$ ----------(I)

यहॉ A = unmodulated carrier wave का maximum Amplitude

$W = 2\pi f_c$

इसी प्रकार modulating signal का equation निम्न प्रकार होता है –

$e_m = E_m \sin 2\pi f_m t$ या

$= B \sin pt$ ----------(II)

यहॉ B = modulating signal का maximum Amplitude

$P = 2\pi f_m$

जैसा कि हम जानते है कि modulated carrier wave का maximum Amplitude unmodulated carrier wave एवं modulating signal के maximum amplitude के सदिष योग के बराबर होता है।

अतः modulated wave की Instantaneous value निम्न फार्मूले से ज्ञात होगी –

$e = (A + B \sin pt) \sin wt$

$e = A \sin wt + B \sin pt . \sin wt$ या

$e = A \sin wt + B/2X2 \sin pt . \sin wt$

त्रिकोंणमिती से हम जानते हैं कि,

2sin Asin B =COS (A-B) -COS(A+B) अतः

$e = A \sin wt + B/2[\cos(wt-pt) - \cos(wt+pt)]$ या

$= A \sin wt + B/2[\cos(w-p)t - \cos(w+p)t]$ या

$= A \sin wt + B/2\cos(w-p)t - B/2\cos(w+p)t$ या

$= A \sin 2\pi f_c t + B/2 \cos(2\pi f_m - 2\pi f_c)t - B/2 \cos(2\pi f_m + 2\pi f_c)t$

$= A \sin 2\pi f_c t + B/2 \cos 2\pi (f_c - f_m)t - B/2 \cos 2\pi (f_c + f_m)t$

जैसा कि हम जानते हैं कि modulation index =

m=B/A अर्थात B=mA

B की value उक्त equation में रखने पर –

$= A \sin 2\pi f_c t + mA/2 \cos 2\pi (f_c - f_m)t - mA/2 \cos 2\pi (f_c + f_m)t$

उक्त समीकरण को देखने से पता चलता है कि इसमें निम्न तीन फ्रिक्वेंसी componant है –

1-- ORIGINAL CARRIER= $A \sin 2\pi f_c t$

2--UPPER SIDE BAND = $mA/2 \cos 2\pi (f_c + f_m)t$

3-- LOWER SIDE BAND= $mA/2 \cos 2\pi (f_c - f_m)t$

यदि modulation index 1 है तो side band फ्रिक्वेंसी का amplitued carrier फ्रिक्वेंसी के amplitued का आधा होगा।

AM modulated carrier wave की power :--

जैसा कि अभी तक हमने पढ़ा कि AM modulatedd carrier wave में निम्न तीन फ्रिक्वेंसी componant रहते हैं :-

1--ORIGINAL CARRIER AMPLITUDE "A"
2--UPPER SIDE FREQ. AMPLITUDE mA/2
3--LOWER SIDE FREQ. AMPLITUDE mA/2

किसी ऐन्टिना से कुल rediated power और उससे प्रसारित कुल फ्रिक्वेंसी के amplitude में निम्न सम्बंध होता है:–

TRANSMITTED POWER=(MAXIMUM AMPLITUDE OF RF WAVE)^2

$$P_T = P_C + P_{USB} + P_{LSB}$$

POWER OF CARRIER WAVE $P_c = (A)^2$
POWER OF UPPER SIDE FREQ $P_{USB} = (A/2)^2$
POWER OF LOWER SIDE FREQ $P_{LSB} = (A/2)^2$

एन्टेना से radiated कुल पावर :- $= A^2 + A^2/4 + A^2/4$

$$P_T = P_C + P_{SB}$$

100% modulation में m की value 1 होने पर

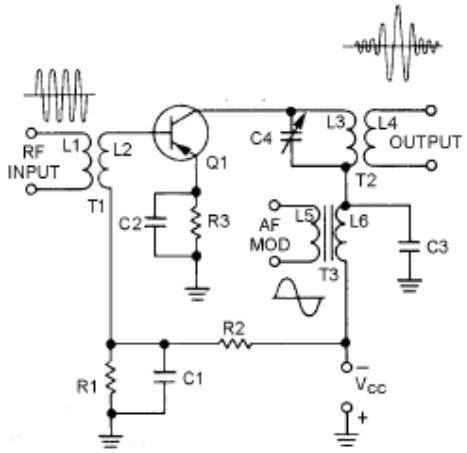
$$P_{USB} = P_{LSB} = ¼ \text{ OF } P_C = 25\% \text{ of } P_C$$

$$P_T = P_C + P_{SB} = 1.5P_C$$

इसका मतलब यह हुआ कि single side band में carrier की 1/4 पावर रहती है, जो टोटल पावर की 1/6 होती है। अतः SSB Tranmitter DSB-FC से ज्यादा पावर efficient होते हैं।

AMPITUDE MODULATION GENERATE करने का सर्किट :–

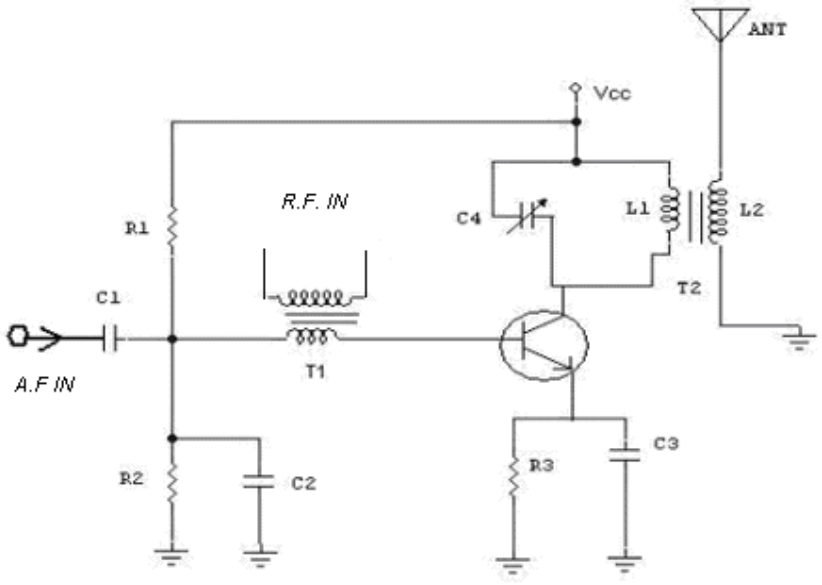
यदि हम एक ऐसा Class-**A,** R.F. amplifier design करें जिसका कलेक्टर लोड L-C TANK सर्किट हो, और यह टेंक सर्किट कैरियर फ्रिक्वेन्सी पर ट्यून्ड हो तथा इस RF amplifier की कलेक्टर supply माडूलेटिंग सिग्नल के amplitude के अनुसार चेन्ज हो रही हो अब यदि carrier signal ट्रांजिस्टर के base baising के सीरिज मे फीड किया जाय तो इस amplifer के out put से amplitude modulated wave प्राप्त होगी। जैसा कि निम्न चित्र में दिखाया गया है –



HIGH LEVEL AM MODULATOR

इसे amplitude modulation generate करने का high level method कहते है।

इसी प्रकार low level amplitude modulation generate करने का सर्किट निम्नानुसार हैः–



LOW LEVEL AM MODULATOR

WORKING OF LOW LEVEL AM GENERATOR:-

transistor CLASS-A RF amplifier की तरह कार्य करता है। जिसके वेस पर carrier frequency feed की गई है। यह RF signal, transistor द्वारा amplified किया जाता है।

चूँकि ट्रांजिस्टर की base biasing माडूलेटिंग सिग्नल द्वारा परिवर्तित होती है। अतः ट्रांजिस्टर के collector पर आउटपुट जो कि RF होता है FIX AMPLITUDE का न होकर माडूलेटिंग सिग्नल के अनुसार variable amplitude का प्राप्त होता है। RF के amplitude में यही वैरियेशन A.M. modulation होता है। AM modulator का यह output RF Amplifire से amplifide करके transmission हेतु एण्टेना को भेज दिया जाता हैं।

DSB- SC GENERATION :-

जैसा कि हमने देखा AM modulation के दौरान कैरियर एवं दो side band generate होते हैं। इस प्रकार का transmission DSB-FC कहलाता है।
हैं। इस प्रकार के transmission को रिसीब करने हेतु सामान्य व सस्ता ए.एम.रिसीबर ही पर्याप्त होता है।

यदि transmitter की पावर बचाना है तो यह आवश्यक नहीं है कि दोनों side band frequency एवं carrier frequency transmit की जाय। हम कम्यूनिकेशन को प्रभावित किये बिना कैरियर और एक साइड बैन्ड फ्रिक्वेंसी को हटा सकते हैं। और receiver पर original modulating signal regenerate कर सकते हैं। परंतु इस हेतु हमें विशेष प्रकार के मॅहगे SSB Receiver की जरुरत पड़ेगी।

जैसा कि हमने देखा carrier और उसके दोनों साईड की फ्रिक्वेंसी को एक साथ transmitte करना जरुरी नहीं है। हम चाहें तो transmission के पूर्व carrier को अटेनूएट कर सकते हैं, या carrier को पूरी तरह हटा सकते हैं। और दोनों में से किसी एक साइड

बैंड को भी हटाकर transmission कर सकते हैं, एवं receiver पर information को पुनः generate कर सकते हैं। ऐसा करने के दो फायदे हैं :–

1. Transmission में कम पावर की खपत होगी।
2. Frequency spectrum भी कम use होगा।

इस आधार पर निम्न प्रकार से transmission कर सकते है।

1. Double side band with supressed carrier DSB-SC :- इस प्रकार के transmission में हम carrier को हटा देते है एवं दोंनों साइड बैण्डों को tranmitt करते है। जैसा कि हम जानते है carrier में total power की 66.7% power होती है जिसकी बचत हो जाती है और इस प्रकार हम DSB-SC में टोटल पाबर के 33.3% पर communication कर सकते है।

2. Single side band with transmitted carrier SSB -TC :- इस प्रकार के transmission में हम किसी एक side band को filter कर देते है तथा टोटल पावर की 1/6 पावर बचाते है।

3. Single side band with suppresed carrier SSB -SC :- इस प्रकार के transmission एक साइड band एव carrier को अलग कर देते है। पावर efficiency के आधार पर यह transmission सबसे अच्छा है। इस trsansmission में total power का मात्र 1/6 भाग ही खर्च होता है। और एक साइड बैण्ड पर सम्पूर्ण माडूलेटिंग सिग्नल received हो जाता है।

SSB transmission के निम्न फायदे हैः–

1 –total transmission power की 83.3 प्रतिशत तक बचत होती है।
2 –50% Band width की बचत होती है।
3 – Band width कम होने से channel noise कम हो जाता है।

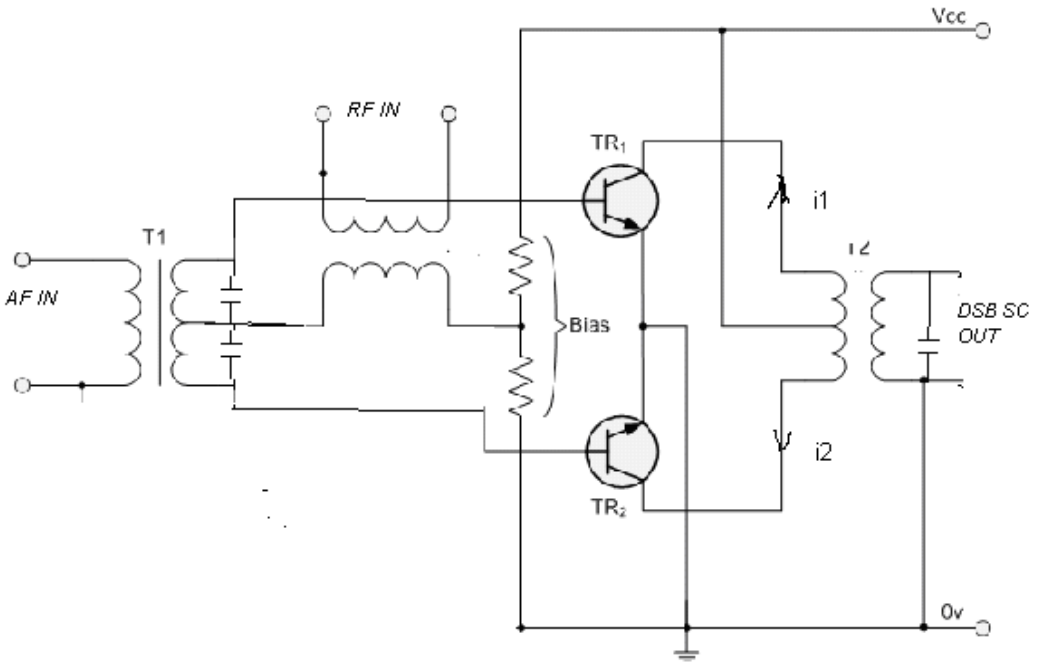
इस सिस्टम का DSB- FC की तुलना में मुख्य drawback यह है कि information को reproduce करने हेतु विशेष प्रकार के मॅहगे receiver की जरुरत पड़ती है।

उक्त सभी मैथड में कैरियर को समाप्त करने हेतु balanced modulater का उपयोग किया जाता है। balanced modulater हमें suppress-carrier DSB output देता है। जिसे DSB-SC GENERATION भी कहते हैं।

DSB-SC GENERATOR

Balanced modulator– balanced modulator में हम nonlinear resistance componant का उपयोग करते हैं। nonlinear से आशय है कि जब हम voltage बढ़ाते हैं तो एक सीमा तक current voltage के अनुसार बढ़ता है। इसके बाद करेन्ट ज्यादा या कम होने लगता है। यह square नियम से कम या ज्यादा होने लगता है। device के इसी गुण का उपयोग कर transistor आधारित balanced modulater बनाया गया है।

निम्न balanced modulater में modulating signal को push full form में feed किया गया है, जबकि R.F carrier को दोंनों transistor के parallel में दिया गया है।



दोंनों transistor समान पैरामीटर के रहते हैं एवं class-A amp. के रुप में कार्य करते हैं। R.F. carrier दोंनों transistor के base पर समान phase में apply किया जाता है। जबकि modulating signal को 180 out of phase apply किया गया है। transistors के दोंनों collector centre tape transformer से जुड़े होते हैं, और transistors के modulated o/p current transformer की primery coil में मिलते हैं। current की दिशा विपरीत होने एवं magnitude समान होने से carrier cancel हो जाता है। चूंकि दोंनों transistor कभी आदर्श रुप से समान नहीं हो सकते अतः current i_1 and i_2 कभी समान नहीं होगे कुछ अंतर अवष्य रहेगा। जिससे carrier completely remove न होकर बहुत ज्यादा अटेनुएट हो जाता है। (45 db तक) और आउटपुट पर सिर्फ दोंनों साइड बैन्ड प्राप्त होते हैं।

MATHMATICALLY OUT PUT पर निम्न frequency voltage प्राप्त होते हैं। v_o=B sin w_mt+ A cos (w_c-w_m)t+A cos (w_c+w_m)t modulating signal की frequency काफी कम होने से फिल्टर से सरलता से अलग किया जा सकता है। इसके बाद बचे दोंनों साईड बेन्ड में से unwanted side band को filter method, phage shift method या third method से अलग कर SSB(UPPER OR LOWER) जनरेट करते हैं।

Generation of SSB :--

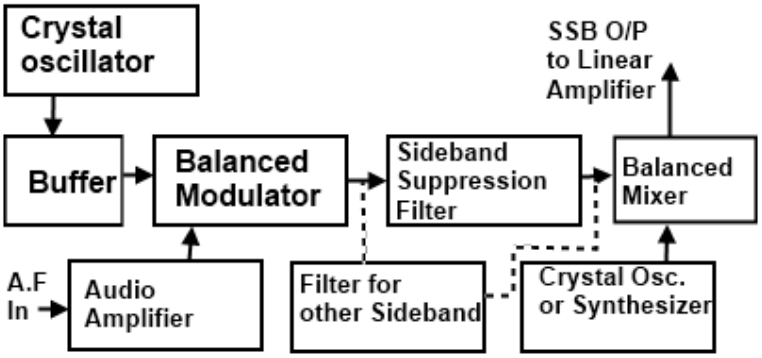
SSB के Generation हेतु पहले Balanced modulator से DSB-SC जनरेट करते है फिर निम्न किसी एक मेथड से SSB जनरेट किया जाता है –

1-Filter Method
2-Phase cancellation method
3-Third Method

FILTER METHOD SSB GENERATION –

फिल्टर मैथड से SSB जनरेषन को निम्न ब्लाक डायग्राम में दिखाया गया है –

BLOCK DIAGRAM



WORKING:- क्रिस्टल ऑक्सीलेटर से प्राप्त आर.एफ. कैरियर, वफर एम्प्लीफायर के माध्यम से वेलैंसड माडूलेटर को देते हैं। वैलेंस माडूलेटर के दूसरे इनपुट पर आडियो एम्प्लीफायर से एम्प्लीफाईड करके आडियो फ्रिक्वैन्सी सिग्नल देते हैं।

वैलेंस माडूलेटर से प्राप्त DSB-SC आउटपुट को षार्प कटआफ बैंड पास फिल्टर जैसे कि सिरामिक फिल्टर को देते हैं, जो एक साईड बैन्ड को रोक देता है तथा दूसरे को पास होने देता हैं। इस प्रकार फिल्टर के आउटपुट पर SSB -SC प्राप्त होता है। जिसे ट्रांसमिशन के पहले वैलेन्स मिक्चर में देते हैं जो SSB-SC को अप कन्वर्ट कर देता है।

A.M DEMODULATION OR DETECTION (A.M डिमाडुलेशन या डिटेक्सन) :–

मोडूलेटिड बेव से मोडूलेटिंग सिग्नल को regenerate करने की प्रक्रिया डिमोडूलेषन कहलाती है।

जब AM माडूलेटेड वेव किसी रिसीविंग एण्टेना पर टकराती है तो रिसीविंग एण्टेना में बहुत ही कम मात्रा में RF current induced करती है। इस RF current को यदि एम्प्लीफाईड करके सीधे हेडफोन या स्पीकर को दिया जाय तो कोई भी आवाज प्राप्त नहीं होगी क्योंकि यह high फ्रिक्वेंसी का variable amplitude का करेन्ट रहता है। और स्पीकर इसके लिये respond नहीं करता।

अतः माडूलेटिड वेव से माडूलेटिंग इन्फॉर्मेशन (low फ्रिक्वेंसी.) को अलग–अलग करना जरुरी होता है।

माडूलेटिड वेव से माडूलेटिंग इन्फार्मेशन को रिकवर करना डिमाडुलेशन या डिटेक्सन कहलाता है।

यदि हम माडूलेटिड वेव के पॉजीटिव या निगेटिव आधे सायकिल को गौर से देखें तो पायेंगे कि माडूलेटिंग इन्फॉर्मेशन माडूलेटेड RF wave के दोंनों half cycle में amplitude variation के रुप में रहती है। इस RF wave वेव की एवरेज वेल्यू जीरो होने से सीधे स्पीकर को देने आउटपुट नहीं मिलता।

अतः AM MODULATED WAVE के किसी हाफ सायकिल को डायोड से कट कर दिया जाय तो AM DEMODULATION संभव है।

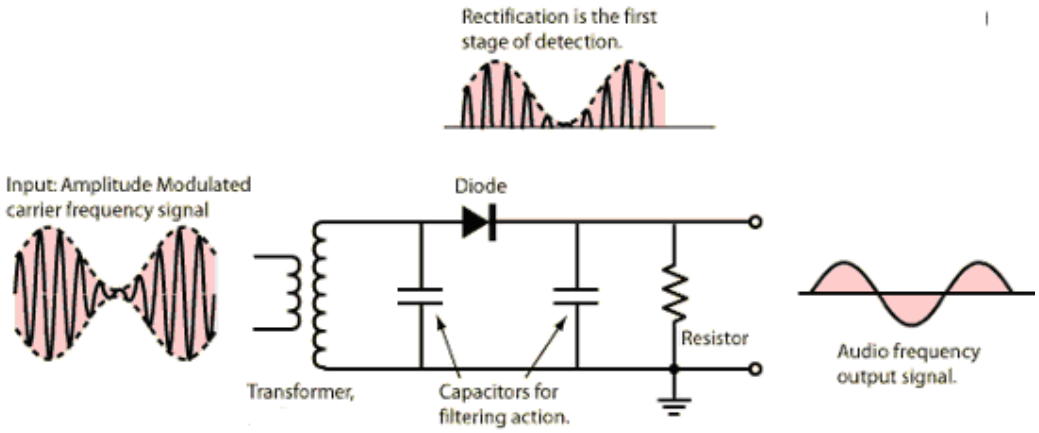
यह प्रक्रिया बिलकुल वैसी ही है जैसी कि AC supply को rectifide करके DC बनाते हैं।

ऐसा करने के बाद MODULATED A.C WAVE की एवरेज वेल्यू जीरो न होकर पाजीटिव वेल्यू के रुप में प्राप्त होती है।

rectification तथा a.m demodulation या डिटेक्सन में मात्र यह अन्तर है कि rectifier वहुत low फ्रिक्वेन्सी amplitude को रेक्टीफायड करता है जबकि AM डिटेक्टर हाई फ्रिक्वेन्सी (455 किलोहर्टज से ऊपर) रेक्टीफायड करता है। जिसका amplitude वेरियेवल होता है।

A.M. डिटेक्टर सर्किट :– A.M. डिटेक्टर सर्किट में निम्न चित्र में दर्शाये अनुसार सिर्फ एक डायोड एवं कैपेसिटर होता है।

चित्र



इस सर्किट को envelope detector सर्किट भी कहते हैं।

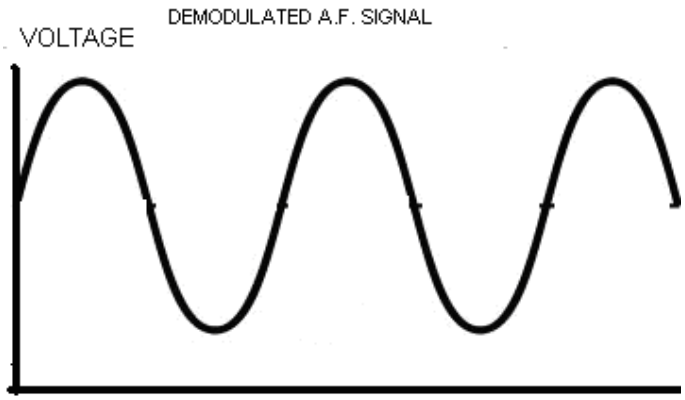
WORKING :- एण्टेना पर हजारों A.M MODULATED WAVE RECEIVED हो सकती है। अतः R.F. FILTERS मिलकर किसी एक फ्रिक्वेन्सी को चयन कर डायोड के इनपुट पर जाने देता है।

यह A.M modulated wave, डायोड द्वारा rectifide कर दी जाती है। और डायोड के आउटपुट पर A.M modulated wave का सिर्फ positive half cycle ही appear होता है।

इस प्रकार प्राप्त PULSATING R.F. के मध्य में खाली गेप को कैपेसिटर भर देता है।

जब पहली pulse प्राप्त होती है तो यह आउटपुट पर जाने के साथ–साथ capacitor को चार्ज कर देता है। दूसरी पल्स आने के पहले तक इस गेप को कैपेसिटर भर देता है। और जब दूसरी पल्स आती है तो कैपेसिटर इस पल्स के वोल्टेज अनुसार पुनः चार्ज हो जाता है और इस प्रकार कैपेसिटर के बाद निम्नानुसार ए.एफ. बेव प्राप्त हो जाती है :–

चित्र



जो कि लगभग माडूलेटिंग सिग्नल के मूल रुप जैसी ही होती है।

यह AF SIGNAL load resistor के across develope होता है जिसे कपलिंग कैपेसिटर द्वारा Amplification हेतु भेज दिया जाता है।

DIODE DITECTOR के फायदे :–

1–यह डिटेक्टर तुलनात्मक रुप से large input signal डिटेक्ट कर सकता है।
2–यह एक linear power detector है। अतः माडूलेटिंग सिग्नल के स्वरुप में बदलाव नहीं करता।

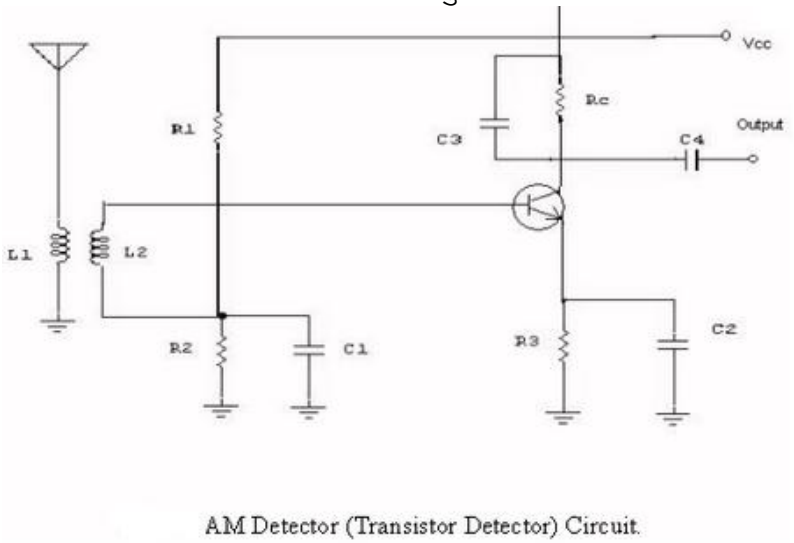
इस डिटेक्टर की कमी यह है कि यह signal को amplified नहीं करता।

(2) A.M. माडूलेशन का ट्रॉजिस्टर डिटेक्टरः–

एण्टेना द्वारा रिसीबड AM modulated signal को class-B, RF tuned amplifier के द्वारा भी डिटेक्ट किया जा सकता है।

चूँकि एम्प्लीफायर में ट्रॉजिस्टर का उपयोग किया जाता है अतः इसे ट्रॉजिस्टर डिटेक्टर भी कहते हैं।

इस प्रकार के डिटेक्टर का सर्किट डायग्राम निम्नानुसार है –



AM Detector (Transistor Detector) Circuit.

WORKING :- उपरोक्त सर्किट एक Class-B RFamplifier है। अतः यह एम्प्लीफायर माडूलेटिड इनपुट के सिर्फ positive Half cycle को एम्प्लीफाईड करता है। Class-B

baised होने से रेक्टीफिकेशन या डिटेक्शन स्वतः ही हो जाता है। क्योंकि ट्रॉजिस्टर माडूलेटेड सिग्नल के निगेटिव हाफ सायकिल के दौरान कट आफ रहता है। अतः इस दौरान कोई आउटपुट प्राप्त नहीं होता।

capacitor C_2 RF को पास होने देता है। जिससे R_3 के माध्यम से प्राप्त हो रही एमीटर फीडबेक bias RF के कारण डिस्टर्ब नहीं होती। capasitor C_4 coupling capacitor का कार्य करता है। जिससे अगली स्टेज को सिर्फ DETECTED R.F ही पास होती है। और D.C VOLTAGE BLOCK हो जाते हैं।

SSB RECEPTION :-

सिंगल साइड बैंड संचार का उपयोग मनोरंजन के उद्देश्य से नहीं किया जाता क्योंकि SSB रिसीवर सामान्य ए.एम. रिसीवर से काफी मॅहगे होते हैं। अतः इनका उपयोग व्यवसायिक या two way संचार में किया जाता है।

SSB receiver में निम्न गुण होना चाहिये।

1–उच्च विश्वसनीयता। क्योंकि 24 घन्टे चालू रहता है।

2–उच्च adjacent channel रिजेक्षन।

3– SSB सिग्नल को डिमाडूलेट करने की क्षमता।

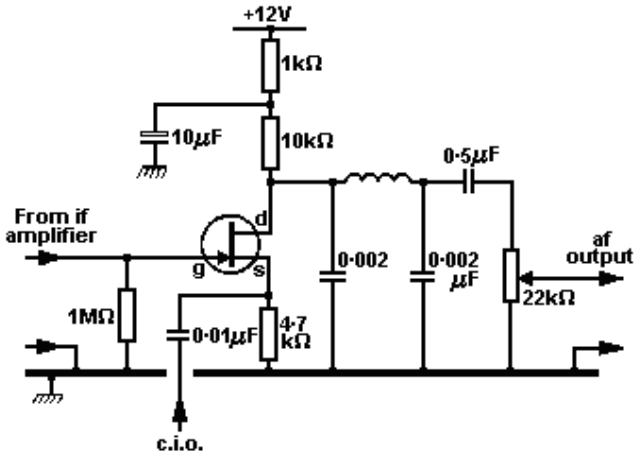
4– उच्च signal to Noise Ratio।

5–अपर एवं लोवर साइड बैन्ड को अलग करने की क्षमता।

DEMODULATION OF SSB:-

SSB का डिमाडूलेशन ए.एम. डिटेक्शन से अलग होता है। SSB के डिमाडूलेशन हेतु high stable carrier frequency (fc) की जरुरत पड़ती है। इस फ्रिक्वेन्सी को एन्टेना से प्राप्त सिंगल साईड बैन्ड सिग्नल के साथ मिक्स कराया जाता है। सिंगल साईड बैन्ड डिमाडूलेटर वास्तव में एक मिक्सर की तरह कार्य करता है।
प्रोडक्ट डिमाडूलेटर SSB डिमाडूलेशन हेतु सबसे वेसिक सर्किट है।

प्रोडक्ट डिमाडूलेटर – इस डिमाडूलेटर का सर्किट निम्नानुसार दर्शाया गया है –



प्रोडक्ट डिमाडूलेटर एक ऐसा मिक्सर है जिसमें मिक्स कराई जाने वाली फ्रिक्वेन्सी का अन्तर आडियो रेन्ज (माडूलेटिंग) में आता है।

प्रोडक्ट डिमाडूलेटर के दो इनपुट होते हैं तथा एक आउटपुट होता है।

FET एक non linear amplifire है। जिसके gate पर SSB signal (fc+fm) जो कि रिसीविंग एन्टेना से प्राप्त होता है, फीड किया जाता है। तथा FET के sourse पर लोकल क्रिस्टल ऑक्सीलेटर से प्राप्त फिक्स फ्रिक्वेन्सी fc फीड की जाती है।

f_c Ground न हो अतः वायपास कैपेसिटर नहीं रहता। फ्रिक्वेन्सी f_c सप्रेसड कैरियर से सिक्रोनाइज्ड ऑक्सीलेटर से प्राप्त की जाती है जिससे कि यह मूल f_c के बराबर रहे।

उक्त दोंनों फ्रिक्वेन्सी की मिक्सिंग से डिमाडूलेटर के आउटपुट पर अनेक फ्रिक्वेन्सीज प्राप्त होती हैं। जिसमें चाही गई फ्रिक्वेन्सी 300Hz से 3kHz की आडियो फ्रिक्वेन्सी भी रहती है। लो पास फिल्टर सिर्फ आडियो फ्रिक्वेन्सी (300Hz से 3kHz) को आगे पास होने देता है। शेष अन्य फ्रिक्वेन्सी को रोक देता है। और इस प्रकार प्रोडक्ट डिमाडूलेटर के आउटपुट पर चाहे गये माडूलेटिंग सिग्नल प्राप्त हो जाते हैं। जिसे एम्प्लीफाइड करके स्पीकर पर सुना जा सकता है।

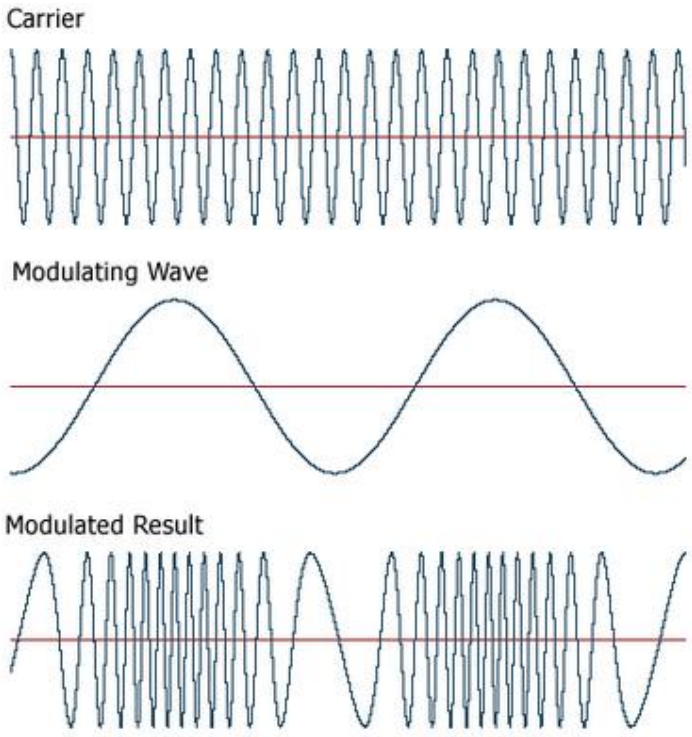
0000

FREQUENCY MODULATION

परिभाषा :– जब किसी कैरियर वेव f_c की फ्रिक्वेन्सी माडूलेटिंग सिग्नल (AF) के एम्प्लीट्यूड के अनुसार चेन्ज होती है तथा कैरियर वेव का एम्प्लीट्यूड अप्रभावित रहता है तो इसे हम फ्रिक्वेन्सी माडूलेशन कहते हैं।

FM में कैरियर फ्रिक्वेन्सी f_c माडूलेटिंग सिग्नल के एम्प्लीट्यूड के अनुसार सेन्टर फ्रिक्वेन्सी के ऊपर और नीचे वैरी होती है। इसे ग्राफिकली निम्न चित्र से समझा जा सकता है।

चित्र



उपरोक्त चित्र से स्पष्ट है कि FM माडूलेशन के दौरान कैरियर फ्रिक्वेन्सी में सेन्टर फ्रिक्वेन्सी से deviation, modulating signal के एम्प्लीट्यूड के समानुपाती होता है। modulating signal का एम्प्लीट्यूड बढ़ने पर कैरियर फ्रिक्वेन्सी ऊपर की तरफ जाती है। तथा modulating signal का एम्प्लीट्यूड negative की ओर जाने पर कैरियर फ्रिक्वेन्सी नीचे की तरफ जाती है। और जब modulating signal 0-volt पर रहता है तब कैरियर फ्रिक्वेन्सी अप्रभावित रहती है।

FM माडूलेटिड बेव में होने वाली कैरियर की बंचिंग की आवृत्ति माडूलेटिंग सिग्नल की आवृत्ति के बराबर होती है। थ्योरिटीकली कैरियर फ्रिक्वेन्सी के डेवियेशन की कोई सीमा नहीं है। माडूलेटिंग सिग्नल का एम्प्लीट्यूड जितना बढ़ायेंगे डेवियेशन उतना ही अधिक होता जायेगा। परंतु व्यवहारिक रुप से FM पब्लिक ब्राडकास्ट हेतु यह सीमा +\-75 KHz एवं FM कम्यूनिकेशन में यह सीमा 5 KHz निर्धारित गई है।

डेवियेशन कम रखने से चैनल width कम रहती है। जिससे स्पेक्ट्रम की बचत होती है। परंतु फैडलिटी कम हो जाती है।

डेवियेशन ज्यादा रखने पर फैडलिटी अच्छी मिलती है। परंतु चैनल width बढ़ जाती है। +/-75 KHz डिवियेशन के लिए 25 KHz के दो गार्ड बैन्ड सहित चैनल width 200 KHz रहती है।

फ्रिक्वेन्सी डेवियेसन :—किसी कैरियर फ्रिक्बैन्सी पर जब कोई लो फ्रिक्वेन्सी (AF) बेव FM माडूलेट की जाती है तो कैरियर फ्रिक्वेन्सी AF signal के एम्प्लीट्यूड के कारण ऊपर या नीचे चली जाती है। इसे ही सेन्टर फ्रिक्वेन्सी से deviate होना कहते हैं। इसे Δf से प्रदर्शित करते हैं।

सेन्टर फ्रिक्वेन्सी से दोनों साइड होने वाले कुल डेवीयेशन को कैरियर स्वींग कहते हैं। कैरियर स्वींग $CS=2X\Delta f$ होती है।

कैरियर स्वींग से ही चैनल विड्थ निर्धारित होती है।

FM माडूलेशन इंडेक्स :— फ्रिक्वेन्सी माडूलेशन में माडूलेशन इंडेक्स (M.I.) माडूलेटिंग सिग्नल एवं कैरियर सिग्नल के एम्प्लीट्यूड पर डिपेण्ड नहीं करता वल्कि FM माडूलेशन इंडेक्स कैरियर के फ्रिक्वेन्सी डिवियेशन Δf से एवं माडूलेटिंग फ्रिक्वेन्सी के अनुपात से निर्धारित होता है।

$$M_f = \text{modulation index} = \frac{\text{FREQ.DEVIATION}}{\text{MODULATING FREQ}} = \frac{\Delta f}{f_m}$$

FM में माडूलेशन इंडेक्स एक से ज्यादा होने पर भी माडूलेटिंग सिग्नल डिस्ट्राय नहीं होता।

माडूलेशन इंडेक्स की वेल्यू पता होने पर सिग्नीफिकेन्ट साइड बैन्ड एवं चैनल की विड्थ पता कर सकते हैं।

DAVIATION RATIO :- अधिकतम परमिटिड फ्रिक्वेन्सी डेवियेशन एवं अधिकतम परमिटिड माडूलेटिंग फ्रिक्वेन्सी का अनुपात डेवीयेशन रेषियो कहलाता है।

$$\text{DAVIATION RATIO} = \frac{\text{maximum permited daviation}}{\text{max.permited modulation freq.}} = \frac{(\Delta f)_{max.}}{(f_m)_{max.}}$$

उदाहरण के लिये एफ.एम. ब्राडकास्ट के लिए Δf=75 khz एवं अधिकतम माडूलेटिंग फ्रिक्वेन्सी 15 khz तक permitted है। अतः डेवियेशन रेशियो निम्नानुसार होगा—

$$D.R. = \frac{75\ khz}{15\ khz} = 5$$

FM % OF MODULATION:- FM में % OF MODULATION का आशय AM में % OF MODULATION से थोड़ा अलग है। FM में % OF MODULATION वास्तविक फ्रिक्वेन्सी डिवियेशन एवं अधिकतम परमिटिड फ्रिक्वेन्सी डिवियेशन का अनुपात होता है।

$$\%OF\ m = \frac{\Delta f_{ACTUAL}}{\Delta f_{MAX}} X100$$

यदि हम माडूलेटिंग सिग्नल का एम्प्लीट्यूड डबल कर देते हैं तो कैरियर में फ्रिक्वेन्सी डेवियेशन भी डबल हो जायेगा। जिससे माडूलेशन प्रतिशत बढ़ जायेगा।

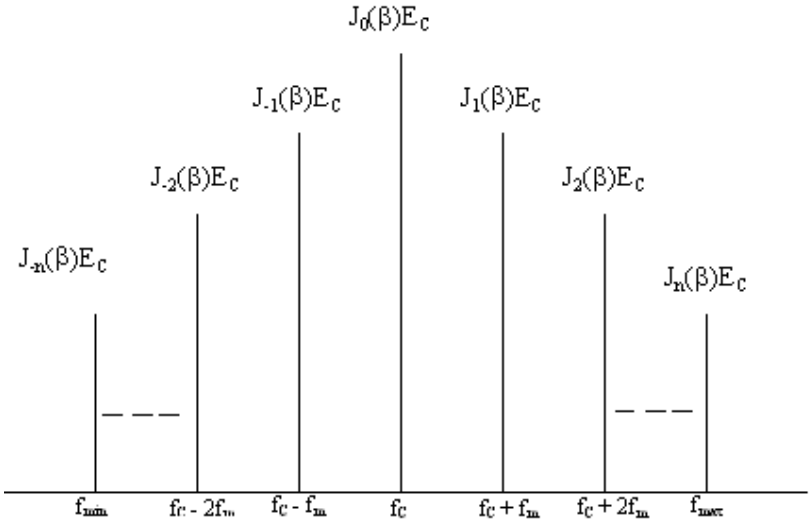
FM side band :- फ्रिक्वेन्सी माडूलेशन के दौरान जब माडूलेटिंग वेव को कैरियर वेव पर फ्रिक्वेन्सी माडूलेट किया जाता है तो अनंत साइड फ्रिक्वेन्सी पैदा होती हैं। ये साइड फ्रिक्वेन्सी सेन्टर फ्रिक्वेन्सी के दोनों ओर स्थित होती हैं। अलग–अलग माडूलेशन इण्डेक्स के लिये इनका एम्प्लीट्यूड अलग–अलग होता है।

दोंनों साइड की साइड फ्रिक्वेन्सी का एम्प्लीट्यूड समान होता है तथा कैरियर फ्रिक्वेन्सी f_c से समान दूरी पर स्थित होते हैं।

यदि सेन्टर फ्रिक्वेन्सी f_c है एवं माडूलेटिंग फ्रिक्वेन्सी f_m तो FM के दौरान निम्नानुसार साईड फ्रिक्वेन्सी पैदा होगी।

1- fc +/-1 fm
2- fc +/-2 fm
3- fc +/-3 fm
4- fc +/-4 fm
.....

माडूलेशन इन्डेक्स –1 के लिये ग्राफिकली साइड फ्रिक्वेन्सी निम्नानुसार होगी :–



FM में साइड फ्रिक्वेन्सी की संख्या अधिक होने से चैनल की बैन्ड विड्थ भी अधिक होती है जिसे निम्न फार्मूला से ज्ञात करते हैं।

B.W. = 2 n f_m

यहॉ n = significant side band की संख्या।

significant side फ्रिक्वेन्सी वे फ्रिक्वेन्सी कहलाती हैं जिनका एम्प्लीट्यूड कैरियर के एम्प्लीट्यूड के 2 प्रतिशत से अधिक होता है। 2 प्रतिशत से कम एम्प्लीट्यूड वाली साइड फ्रिक्वैन्सी को छोड़ दिया जाता है।

MATHMATICAL EXPRESSION OF FM WAVE :--

जैसा कि हम जानते हैं कि अनमोडूलेटिड कैरियर वेव एवं मोडूलेटिंग वेव दोनों ही A.C sinewave होती हैं। जिनकी instantaneous value निम्न समीकरण से ज्ञात जाती है :–

1.unmodulated carrier $e_c = E_c \sin w_c t$

$= E_c \sin 2\pi f_c t$

2-modulating wave $e_m = E_m \sin w_m t$

$= E_m \sin 2\pi f_m t$

FM माडूलेटिड वेव की फ्रिक्वेन्सी मोडूलेटिंग वेव की instantaneus वेल्यू पर निर्भर करती है। अतः FM माडूलेटिड वेव का mathmatical expression निम्नानुसार होगाः–

$e = E_c \sin 2\pi(f_c + \Delta f \sin 2\pi f_m t)t$

चूँकि E_m समानुपाती Δf अतः

$= E_c \sin 2\pi f_c t + \Delta f / f_m \cos 2\pi f_m t$

$= E_c \sin 2\pi f_c t + m_f \cos 2\pi f_m t$

FM माडूलेशन के दौरान साइड फ्रिक्वेन्सी की संख्या माडूलेटिंग सिग्नल का एम्प्लीट्यूट बढ़ाने पर बढ़ती जाती है। तथा माडूलेटिंग सिग्नल की फ्रिक्वेन्सी बढ़ाने पर साइड फ्रिक्वेन्सी की संख्या कम होती जाती है।

माडूलेशन इन्डेक्स, सिग्नीफिकेन्ट साइड बैन्ड एवं चैनल बैन्ड विड्थ का संबंध निम्न टेबिल में दर्शाया गया है –

माडूलेशन इन्डेक्स fm	सिग्नीफिकेन्ट साइड बैन्ड संख्या n	चैनल बैन्ड विड्थ B.W=2 n fm
0-5	2	4 fm
1	3	6 fm
2	4	8 fm
3	6	12 fm
4	7	14 fm
5	8	16 fm
6	9	18 fm
7	11	22 fm
8	12	24 fm
9	13	26 fm
10	14	28 fm
11	15	30 fm
12	16	32 fm

FM माडूलेशन के दौरान बैन्ड विड्थ ज्ञात करने का एक अन्य फार्मूला निम्नानुसार है :–

$$B.W.=2(1+m_f)f_m$$

चूँकि $m_f = \Delta f / f_m$

अतः $B.W.=2(f_m + f_m \Delta f / f_m)$

या $B.W.=2(f_m + \Delta f)$

यह फार्मूला निकालते समय वे साइड फ्रिक्वेन्सी जिनका एम्प्लीट्यूड कैरियर वेव के एम्प्लीट्यूड के 2 प्रतिशत से कम है उन्हें छोड़ दिया गया है।

FM माडूलेटर सर्किट :– FM माडूलेटर वास्तव में एक ऐसा ऑसीलेटर (R.F जनरेटर) होता है। जिसके R.F output का एम्प्लीट्यूड तो कान्सटेन्ट रहता है, परन्तु ऑसीलेटर की फ्रिक्वेन्सी स्थिर न होकर माडूलेटर के इनपुट पर दिये जा रहे माडूलेटिंग सिग्नल के वोल्टेज पर निर्भर करती है। इस प्रकार का FM माडूलेटर सर्किट बनाने के लिये यह आवश्यक है कि ऑसीलेटर के टेंक सर्किट में जुडे कैपेसिटर का कैपेसिटेन्स इस पर निर्भर हो कि जब माडूलेटिंग सिग्नल का वोल्टेज बढे तब कैपेसिटर का कैपेसिटेन्स कम हो जाय और जब माडूलेटिंग सिग्नल का वोल्टेज कम हो कैपेसिटर का कैपेसिटेन्स बढ़ जाय।

ऐसा होने से ऑसीलेटर के टेन्क सर्किट की रेजोनेन्स फ्रिक्वेन्सी भी माडूलेटिंग सिग्नल के वोल्टेज के अनुसार बदलने लगेगी।

वेरेक्टर डायोड एक ऐसा डिवाइस है,जिसका जंक्षन कैपेसिटेन्स इसके रिबर्स में लगाये गये वोल्टेज के व्युत्क्रमानुपाती होता है।

इस प्रकार ऑसीलेटर के टेन्क सर्किट में जुड़े कैपेसिटर के पैरेलल में वेरेक्टर डायोड जोड़कर FM माडूलेटर बनाया जा सकता है।

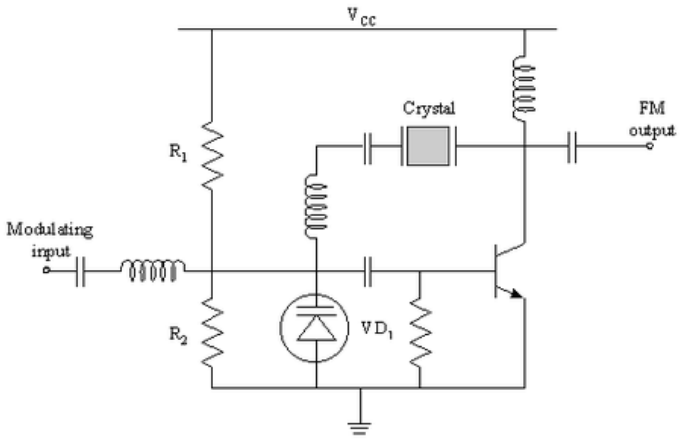


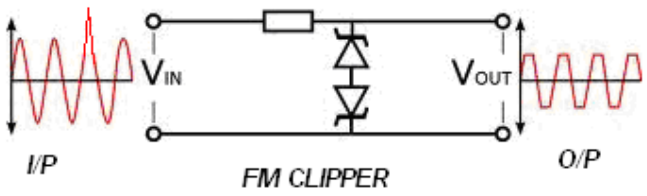
Figure 1 Varactor Diode Frequency Modulator

चित्र में दर्शाये ट्यून्ड कलेक्टर ऑसीलेटर के टेन्क सर्किट के पैरेलल में रिवर्स वायस्ड वेरेक्टर डायोड जोड़ा गया है।

डायोड के across reverse voltage A.F. signal पर डिपेंड होने से डायोड का जंक्शन कैपेसिटेन्स A.F. signal के वोल्टेज पर निर्भर है। A.F सिग्नल का एम्प्लीट्यूड vary होने से टैन्क सर्किट की रैजोनेन्स फ्रिक्वेन्सी vary होती है।

इस कारण से ऑसीलेटर का आउट पुट FM modulated out put होता है।

FM का डिमाडूलेशन :– जब FM transmitter से तरंग रिसीवर पर पहुॅचती हैं तो सबसे पहले इस फ्रिक्वेन्सी माडूलेटेड वेव को एम्प्लीफाइड करके इसके एम्प्लीट्यूड के ऊपरी तथा निचले हिस्से को क्लिपर सर्किट की सहायता से क्लिप कर देते हैं। जैसा कि चित्र में दिखाया गया हैं :–

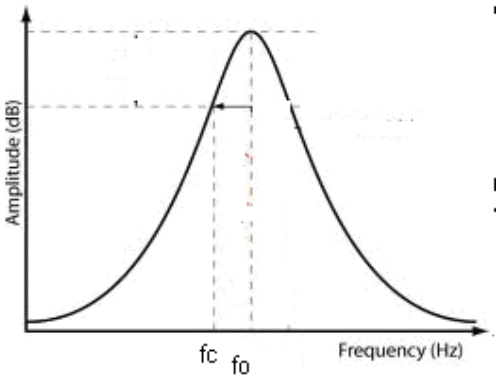


ऐसा करने से noise के कारण FM वेव के एम्प्लीट्यूड में जो वेरियेशन आ जाते हैं वे कट हो जाते हैं। इससे रिसीव्ड वेव noise मुक्त हो जाती है। अर्थात सिग्नल से noise अलग हो जाता है। यही FM का AM की तुलना में सबसे बड़ा फायदा है।

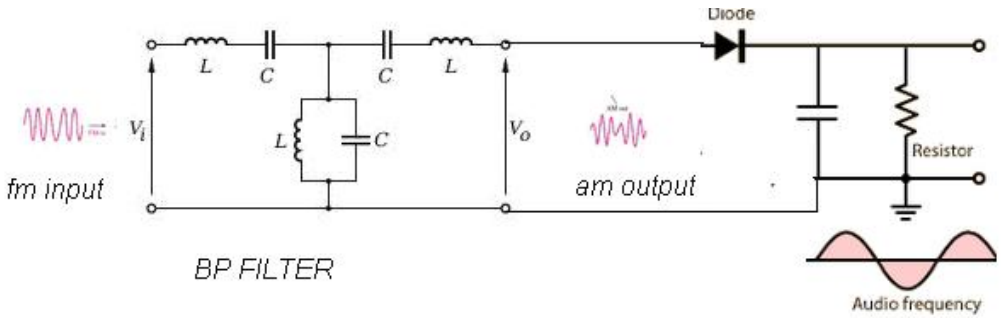
चूँकि clipper सर्किट FM wave के सिर्फ एम्प्लीट्यूड को ही क्लिप करता है। FM वेव की फ्रिक्वेन्सी अप्रभावित रहती है। अतः माडूलेटिंग सूचना पर इसका कोई प्रभाव नहीं पड़ता। क्योंकि माडूलेटिंग सूचना FM wave के फ्रिक्वेन्सी वेरियेशन में ही छुपी रहती है।

क्लिपिंग के बाद FM माडूलेटिड wave को पुनः पर्याप्त लेवल तक एम्प्लीफाइड कर लिया जाता है। इसके बाद अगला कार्य होता है FM माडूलेटेड wave के फ्रिक्वेन्सी वेरियेशन में छुपी माडूलेटिंग सूचना को एम्प्लीट्यूड वेरियेशन में बदलना। चूँकि माडूलेटिंग सिग्नल वास्तव में समय के साथ एम्प्लीट्यूड वेरियेशन ही होता है। अतः इस कार्य हेतु हमें ऐसे इलेक्ट्रॉनिक सर्किट की आवश्यकता होती है जिसका आउटपुट वोल्टेज इनपुट के फ्रिक्वेन्सी वैरियेशन के प्रति संवेदनशील हो अर्थात जब इनपुट पर फ्रिक्वेन्सी low side को swing करे तब इसके आउटपुट वोल्टेज गिर जाय और जब इनपुट फ्रिक्वेन्सी up साइड को स्वींग करे तब इसका आउट पुट वोल्टेज सेन्टर फ्रिक्वेन्सी की तुलना में बढ़ जाय।

उक्त कार्य एक ऐसे बैन्ड पास फिल्टर से किया जा सकता है जिस बैन्ड पास फिल्टर की सेन्टर फ्रिक्वेन्सी f_o FM माडूलेटिड वेव की सेन्टर फ्रिक्वेन्सी f_c प्लस Δf (maximum deviation) से थोड़ी ज्यादा हो। अर्थात चैनल फ्रिक्वेन्सी band pass filter के rising slope पर मध्य में आये। जैसा कि BP filter के निम्न V-F ग्राफ में दर्शाया गया है:—



ऐसा होने से जब फ्रिक्वेन्सी up साइड में daviate होगी। तब इनपुट सिग्नल का फिल्टर से आउटपुट बढ़ा हुआ वोल्टेज प्राप्त होगा और जब deviation down side में होगा तब बैन्डपास फिल्टर का आउटपुट आर.एफ. वोल्टेज का लेविल सेन्टर फ्रिक्वेन्सी से और कम हो जायेगा। और इस प्रकार हमें बैन्डपास फिल्टर के आउटपुट पर ऐसी आर.एफ. वेव प्राप्त होगी जिसमें फ्रिक्वेन्सी वेरियेशन के साथ माडूलेटिंग सिग्नल के अनुसार एम्पलीट्यूड वेरियेशन भी रहेंगे। जैसा कि निम्न चित्र में दिखाया गया है:—



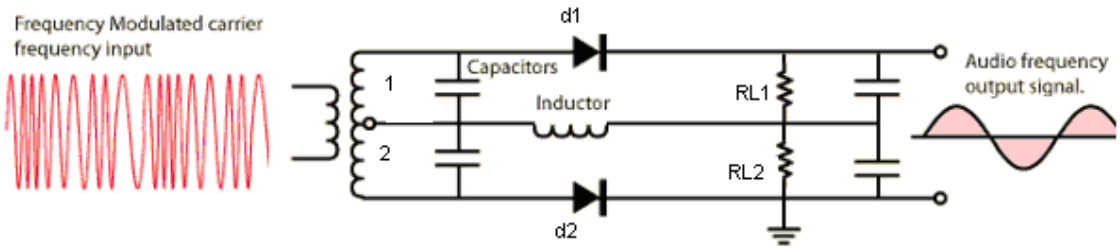
RF के उक्त वोल्टेज वेरियेशन को डायोड से रेक्टीफाई करके वेरियेबल डी.सी प्राप्त की जा सकती है। डी.सी. के यह वेरियेशन ही माडूलेटिंग सूचना होती है।।

FM के उक्त डिमाडूलेशन को slope detection कहते हैं तथा उक्त सर्किट slope detector कहलाता है।

BALANCED FM SLOPE DETECTOR :-- SLOPE FM DETECTOR के साथ यह समस्या होती है जब कैरियर में कोई डेवियेशन नहीं होता उस समय भी फिल्टर के आउटपुट पर फिक्स वोल्टेज का RF carrier होता प्राप्त होता है। तथा कैरियर वेव का डेवियेशन अधिक होने पर सिग्नल बैन्ड पास फिल्टर की nonlinear resign में चला जाता है। जिससे माडूलेटिंग सिग्नल की फैडलिटी खराब हो जाती है। वैलेन्स स्लोप डिटेक्टर में यह समस्या नहीं रहती।

इस डिटेक्टर का कार्य करने का सिद्धान्त स्लोप डिटेक्टर की तरह ही होता है। इसमें एक के वजाय दो बैन्ड पास फिल्टर का उपयोग किया जाता है। जिसमें एक सर्किट $f_c+\Delta f$ के ऊपर ट्यून्ड रहता है तथा दूसरा $f_c-\Delta f$ के नीचे ट्यून्ड रहता है। ये दोंनों ट्यून्ड सर्किट पुशपुल में कार्य करते हैं। सर्किट का पहला हिस्सा पाजीटिव डेवीयेशन को डिमाडूलेट करता है जबकि दूसरा हिस्सा निगेटिव डेवीयेशन के लिये कार्य करता है। जैसा कि निम्न चित्र में दिखाया गया है –

चित्र



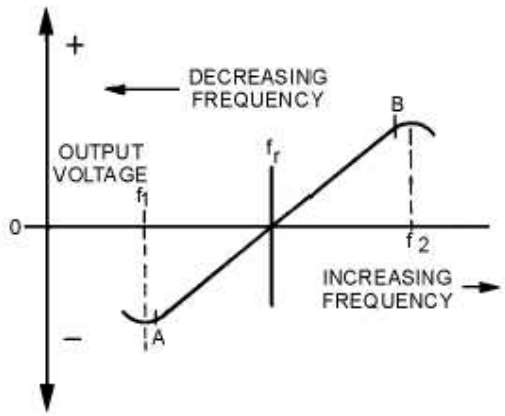
सर्किट में दो ट्यून्ड सर्किट तथा दो प्रथक–प्रथक डायोड डिटेक्टर लगे होते है। माडुलेटिंग आउटपुट दो रजिस्टर R_{L1}एवं R_{L2} के कांबिनेशन से लिया जाता है जो दोंनों का योग होता है।

WORKING-

जब कैरियर वेव पर कोई माडूलेशन नहीं होता तब दोंनों ट्यून्ड सर्किट समान रुप से कैरियर को पास करते हैं और चूँकि दोनों 180 के फेज अंतर पर हैं अतः दोंनों डायोड का आउटपुट समान वोल्ट पर रहता है अतः ए.एफ. आउटपुट शून्य प्राप्त होता है।

और जब इनपुट पर FM माडूलेटिड वेव आती हे तब पाजीटिव डेवीयेशन ($f_c+\Delta f$) के दौरान ट्यून्ड सर्किट–1 का वोल्टेज ट्यून्ड सर्किट–2 से ज्यादा होगा। क्योंकि पाजीटिव डेवियेशन के दौरान FM वेव ट्यून्ड सर्किट–1 की सेन्टर फ्रिक्वेन्सी के ज्यादा नजदीक पहुँच जाती है एवं ट्यून्ड सर्किट–2 से दूर हट जाती है।

अतः दोंनों डायोड के कन्डक्ट होने से R_{L1}एवं R_{L2} के एक्रास डवलप वोल्टेज में अन्तर आ जाता है और यह अन्तर एक पाजीटिव वेल्यू होता है। इस प्रकार आउटपुट पर माडूलेटिंग सिग्नल का पाजीटिव हाफ सायकिल प्राप्त हो जाता है।



जब FM वेव सेन्टर से मायनस $f_c-\Delta f$ की ओर डेवियेट होती है तो ट्यून्ड सर्किट–2 का आउटपुट ट्यून्ड सर्किट–1 से ज्यादा होगा अर्थत आउटपुट निगेटिव की ओर बढ़ता है। जिससे माडूलेटिंग सिग्नल का निगेटिव हाल्फ सायकिल प्राप्त होता है।

इस प्रकार दोनों सर्किट के कारण आउटपुट पर सम्पूर्ण माडूलेटिंग सिग्नल प्राप्त हो जाता है।

यहॉ पर डायोड D_1 पाजीटिव हाल्फ सायकिल एवं डायोड D_2 निगेटिव हाल्फ सायकिल के लिए ए.एम. डिटेक्टर की तरह कार्य करते हैं।

PHASE MODULATION (फेज माडूलेशन)

फ्रिक्वेन्सी माडूलेशन एवं फेज माडूलेशन वास्तव में एंगिल माडूलेशन के दो प्रकार हैं। दोनों एक दूसरे से क्लोजली जुड़े हुए हैं।

फेज माडूलेशन से फ्रिक्वेन्सी माडूलेशन आसानी से प्राप्त किया जा सकता है। जैसा कि हम जानते हैं कि किसी भी कैरियर वेव का समीकरण निम्नानुसार होता है :–

$$e_c=E_c \sin (w_c t+Ø)$$

जब किसी कैरियर वेव का एंगल माडूलेटिंग सिग्नल के एम्प्लीट्यूड के अनुसार बदलता है तो इसे फेज माडूलेशन कहते हैं। और इसके परिणाम स्वरुप जो माडूलेटिड वेव प्राप्त होती है वह फेज माडूलेटिड वेव कहलाती है। फेज माडूलेटिड वेव का समीकरण निम्नानुसार है।

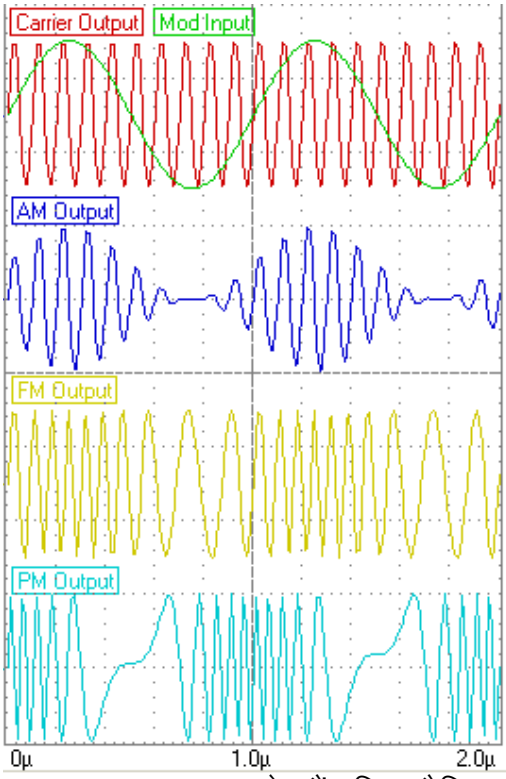
$$e=E_c \sin (W_c t+Ø_m \sin\ w_m t)$$

.चूॅकि E_m समानुपाती Ø

$Ø_m$ = फेज चैन्ज की अधिकतम वेल्यू।

किसी सिंगल माडूलेटिंग फ्रिक्वेन्सी का कैरियर पर फेज एवं फ्रिक्वेन्सी माडूलेशन समान होता है। परन्तु एफ.एम में कैरीयर का अधिकतम डेबियेसन मोडूलेटिंग सिग्नल की पीक वैल्यू के दौरान होता है जबकि पी.एम. में कैरीयर का अधिकतम डेबियेसन मोडूलेटिंग

सिग्नल के जीरो बोल्टेज क्रासिंग के दौरान होता है जैसा कि निम्न ग्राफ में दिखाया गया है:—



FM में हम यह मानकर चलते हैं कि कैरियर फ्रिक्वेन्सी में डेवियेशन माडूलेटिंग सिग्नल के एम्पलीट्यूड के समानुपाती होता है माडूलेटिंग सिग्नल की आवृत्ति का इस पर कोई प्रभाव नहीं पड़ता। जबकि एफ.एम. में माडूलेटिंग सिग्नल की फ्रिक्वेन्सी बढ़ने पर डेवियेशन कम होता जाता है। अर्थात कैरियर का डेवियेशन माडूलेटिंग सिग्नल की फ्रिक्वेन्सी के व्युत्क्रमानुपाती होता है।

$$\Delta f = \frac{1}{f_m}$$

इसका मतलब यह हुआ कि माडूलेटिंग सिग्नल के लिए PM एवं FM एक ही है। लेकिन जब माडूलेटिंग फ्रिक्वेन्सी चेन्ज होती है तब PM में माडूलेशन इण्डेक्स स्थिर रहता है जब कि FM माडूलेशन इण्डेक्स घटेगा या बढ़ेगा।

FM में इस कमी को पूरा करने के लिए हाई माडूलेटिंग आबृत्ती को बूस्टअप pre emphasis करते हैं।

AM एवं FM की तुलना

सक.	AM	FM
1	AM में टोटल ट्रांसमीटेड पावर की 1/6 पावर उपयोगी हाती है, शेष पावर बर्वाद जाती है।	1-FM में टोटल ट्रांसमीटेड पावर उपयोग होती है।
2	noise को अलग करना कठिन है।	2.सिगनल noise ratio अच्छा होता है।
3	चैनल बैन्ड विडथ कम होती है।	3.चैनल बैन्ड विडथ अधिक होती है।
4	माडूलेशन हेतु ए.एफ. सिगनल की पावर ज्यादा होना चाहिए।	4.ए.एफ सिग्नल के कम पावर से 100 प्रतिशत माडूलेशन प्राप्त कर सकते हैं।
5	AM जनरेट करना आसान होता है।	5.एफ.एम जनरेट करना कठिन है।
6	ए.एम एचएफ या इससे नीचे उपयोग करते है।	6.ए.एफ व्ही.एच.एफ या इससे ऊपर उपयोग करते हैं।
7	ए.एम लांग डिस्टेन्स में उपयोग होता है।	7.शार्ट डिस्टेन्स में उपयोग होता है।
8	दो साईड बैन्ड बनते हैं।	8.साईड बैन्ड अनन्त हो सकते हैं।
9	कम सिगनल स्ट्रेन्थ पर रिसेप्शन संभव है।	9.रिसेप्शन हेतु सिगनल स्ट्रेन्थ अच्छी होना चाहिए।
10	ट्रांसरिसीवर मॅहगा होता है।	10.ट्रांसरिसीवर सस्ता होता है।

पल्स कोड माडूलेषन

पल्स कोड माडूलेषन (PCM) ए.एम. या एफ.एम. की तरह माडूलेषन करना नहीं है। बल्कि यह किसी एनॉलाग सिग्नल को उसके समतुल्य डिजिटल सिग्नल में बदलने की प्रकिया है। पल्स कोड माडूलेषन में एनॉलाग सिग्नल/मोडूलेटिंग सिग्नल की कोडिंग करके इसको fix length एवं fix amplitude के डिजिटल सिग्नल में बदला जाता है। जो कि चौकोर वेब के रुप में प्राप्त होता है।

पी.सी.एम. तकनीक का आविष्कार सन् 1937 में ALEX H. REEVES ने किया था। जिसका व्यवहारिक उपयोग सन् 1960 में सालिड स्टेट इलेक्ट्रॉनिक्स आने के बाद संभव हुआ।

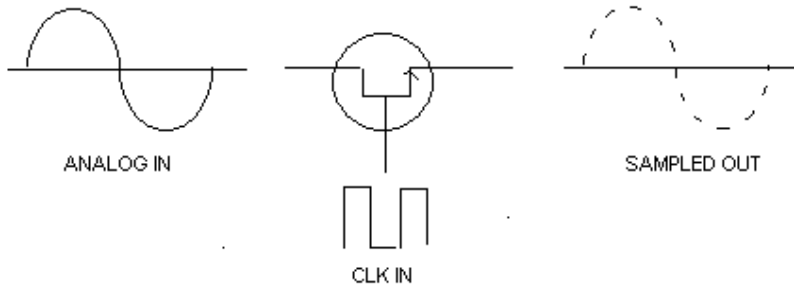
पी.सी.एम. तकनीक का सबसे बडा फायदा यह है कि, हम दो या अधिक मोडूलेटिंग सिग्नल को पी.सी.एम. तकनीक से डिजिटल में बदलकर इसको आसानी से कम्बाइन करके एक ही हाई बैण्डबिड्थ चैनल से भेज सकते है। एवं रिसीविंग स्टेषन पर मोडूलेटिंग सिग्नलस् को आसानी से पृथक पृथक कर सकते है।

इसका दूसरा फायदा यह है कि पी.सी.एम. सिग्नल के सिर्फ दो लेबिल होते हैं **लो** एवं **हाई** जिससे रीजनरेषन तकनीक अपनाकर सिग्नल को noise free करना आसान है।

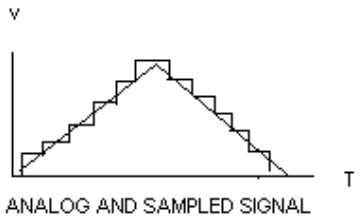
पी.सी.एम. तकनीक का तीसरा फायदा यह है कि लांग डिस्टेंस संचार में पी.सी.एम. सिग्नल को बार बार रिपीटर से रिपीट करने पर भी सिग्नल में noise नहीं जुडता जबकि एनॉलाग संचार में तीन या चार रिपीटर के बाद सिग्नल में noise काफी अधिक हो जाता है।

किसी एनॉलाग सिग्नल को पी.सी.एम. सिग्नल में बदलने के निम्न स्टेप होते हैः–

1. **सेम्पलिंग एण्ड होल्डः–** जब कोई एनॉलाग सिग्नल पी.सी.एम. कन्बर्टर के इनपुट पर आता है तो इस बैरियेबिल सिग्नल में अनंत instantaneous value होती है। चुँकि इन सभी instantaneous वोल्टेज को पी.सी.एम. में बदलना संभव नहीं है अतः एनॉलाग सिग्नल के थोडे थोडे समय अंतराल पर सैम्पल प्राप्त किये जाते है।



सैम्पल में जो भी वोल्टेज लेवल प्राप्त होता है उसे hold सर्किट अगला सैम्पल प्राप्त होने तक स्टोर रखता है। पहले सैम्पल का प्रौसेस होने तक दूसरा सैम्पल नहीं लिया जाता। इसके बाद दूसरा सैम्पल लेते है और यह प्रक्रिया लगातार चलती रहती है। सैम्पलिंग के बाद एनॉलाग सिग्नल का स्वरुप निम्नानुसार हो जाता हैः–



एनॉलाग सिग्नल से प्रति सेकण्ड लिए गये सैम्पल की संख्या sampling rate कहलाती है। सेम्पलिंग एण्ड होल्ड के बाद एनॉलाग सिग्नल के आरीजिनल जैसा तो नहीं रहता,परन्तु आरीजिनल एनॉलाग सिग्नल के काफी नजदीक होता है। sampling rate जितना अधिक होगा sampled signal उतना ही अधिक आरीजिनल सिग्नल जैसा लगेगा परन्तु sampling rate बढाने पर पी.सी.एम. कन्बर्टर का बिट रेट आउट पुट भी बढ जायेगा।

sampling rate का निर्धारणः– sampling rate जितना अधिक होगा रिप्रोडक्षन पर सिग्नल की फैडलिटी उतनी ही अच्छी होगी परन्तु पी.सी.एम.कन्बर्टर एक सेकण्ड अधिकतम जितने सैम्पल डिजिटल में कंबर्ट कर सकता sampling frequency (f_s) उससे ज्यादा नही. हो सकती ।
पी.सी.एम. कन्बर्टर मे प्रयुक्त एनालाग टू डिजिटल कन्बर्टर की स्पीड से, sampling rate की सीमा निर्धारित होती है। न्यूनतम sampling rate निर्धारण इस बात पर निर्भर करता है कि एनॉलाग सिग्नल की फ्रिक्वैन्सी क्या है।

इस सम्बन्ध में nyquist sampling थ्योरिम कहती है कि पी.सी.एम. रिसीबर आउटपुट पर सिग्नल को रिप्रोडयूज करने के लिये यह आवष्यक है कि पी.सी.एम. कन्बर्टर पर इनपुट एनॉलाग सिग्नल को उसकी फ्रिक्वेन्सी से कम से कम दोगुना रेट पर सैम्पलिंग करना आवष्यक है। इससे कम सैम्पलिंग रेट हाने पर पी.सी.एम. रिसीवर पर रिप्रोडक्षन के दौरान foldover distortion आ जायेगा।

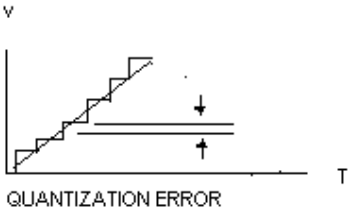
minimum sampling rate (f_s) ≥ 2Xf_a

f_a= frequency of analog signal
f_s= frequency of sampling

QUANTIZATION- कोई भी quantity जिनकी संख्या अनंत हो उनको एक सीमित कण्डीषन की संख्या में बदलना क्वान्टाईजेषन कहलाता है। जैसे कोई एनॉलाग वोल्टेज एक सेकण्ड के समय में 0 वोल्ट से 1 वोल्ट पर पहुॅचता है तो 0 से 1 सेकण्ड के समय के मध्य इस सिग्नल में 0 से 1 वोल्ट की अनंत instantaneous value होंगी।
इन अनंत वैल्यू को क्वान्टाईज करते हुए निम्न चार लेवल में सीमित किया सकता है।

1-0 to 0.25v =0.25v
2-0.25v to 0.50v =0.50v
3-0.50v to0.75v =0.75v
4-0.75v to1.0v = 1v
यही प्रकिया क्वान्टाईजेषन है।

QUANTIZATION ERROR - जब हम किसी एनॉलाग सिग्नल की सैम्पलिंग करते है तो हमेषा ऐसा नहीं होता कि प्राप्त सैम्पल QUANTIZATION हेतु निर्धारित लेवल के बराबर ही हो। सैम्पल का लेवल किन्ही दो निर्धारित लेवल के मध्य की कोई भी बैल्यू हो सकता है।

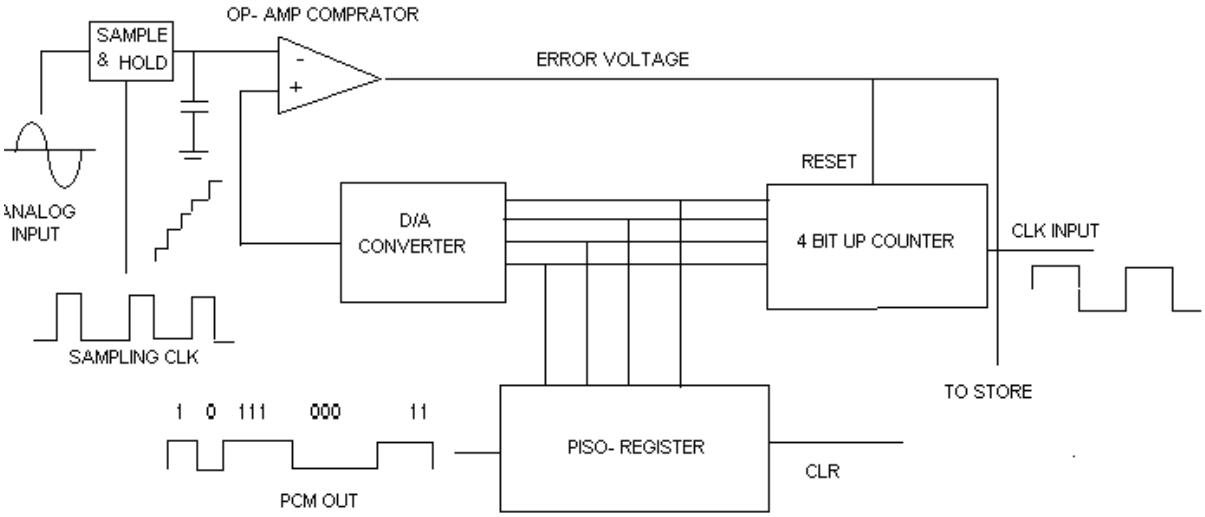


QUANTIZATION ERROR

अतः सैम्पल की वैल्यू को नजदीक बाले निर्धारित लेवल के बराबर मानकर राउण्डआफ कर लेते हैं। यह राउण्डआफ का अंतर ही QUANTIZATION ERROR कहलाता है। सीमित निर्धारित लेवल की संख्यायें बढाने पर QUANTIZATION ERROR कम होती जाती है।

पी.सी.एम. कन्बर्टर

पी.सी.एम. कन्बर्टर में एक सैम्पल एण्ड होल्ड सर्किट एक कम्परेटर एक डिजिटल टू एनॉलाग कन्वर्टर एवं एक अप काउंटर होता है जो चित्र अनसार जुडे रहते है।



वर्किंग:–एनॉलाग सिग्नल की सैम्पलिंग के बाद इस सिग्नल को कम्परेटर में भेजते है जिसके दूसरे इनपुट पर डिजिटल टू एनॉलाग कन्वर्टर से प्राप्त होने बाले सीढी नुमा वोल्टेज दिये जाते है। कम्परेटर इन दोंनों वाल्टेज की तुलना करता है। दोंनों बोल्टेज समान होने पर कम्परेटर का आउटपुट जीरो हो जाता है। इस जीरो बोल्टेज से अप काउण्टर रीसैट हो जाता है। एवं अप काउण्टर की अंतिम रीडिंग PISO रजिस्टर मे स्टोर हो जाती है। पीसो रजिस्टर का सीरियल आउटपुट पी.सी.एम. सिग्नल होता है। यह प्रकिया लगातार प्रत्येक सैम्पल के लिए चलती रहती है। अप काउण्टर इसके इनपुट पर प्राप्त होने वाली क्लाक पल्स को काउण्ट करता है। अप काउण्टर जितना फास्ट होगा पी.सी.एम. कंवर्टर उतना ही फास्ट कार्य करेगा। सेंम्पलिंग की स्पीड एक सेम्पल के प्रोसेस में लगने वाले समय से कम होना चाहिए।

000

लेखक – नि. रे. देवेन्द्र सिंह परिहार

बिषय सामग्री का संदर्भ –

1.electnic communications systems – george kennedy
2. wikipidia