महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ, मुंबई

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

अभियांत्रिकी आणि तंत्रज्ञान पदविका

शिक्षण पुस्तिका

(Learning Material)

Digital Communication Systems

314326

K-Scheme

डिजिटल कम्युनिकेशन सिस्टिम्स

अणुविद्‌युत व दूरसंचार अभियांत्रिकी गट

(के स्कीम)

मराठी-इंग्रजी (द्विभाषिक माध्यम)

अणुविद्‌युत व दूरसंचार अभियांत्रिकी चतुर्थ सत्र पदविका (K स्किम)

शिक्षण पुस्तिका
(Learning Material)

डिजिटल कम्युनिकेशन सिस्टिम्स
Digital Communication Systems

(314326)

अणुविद्युत व दूरसंचार अभियांत्रिकी गट

(के-स्कीम)

K-Scheme

मराठी-इंग्रजी (द्विभाषिक) माध्यम

(अणुविद्युत व दूरसंचार अभियांत्रिकी चतुर्थ सत्र पदविका (K स्किम))

महाराष्ट्र राज्य तंत्रशिक्षण मंडळ, मुंबई

(स्वायत्त)(ISO9001:2015)(ISO/IEC27001:2013)

डिजिटल कम्युनिकेशन सिस्टिम्स
Digital Communication Systems
(314326)

मार्गदर्शक

किशोर प्रल्हाद अकोले
विभागप्रमुख अणुविद्युत आणि दूरसंचार अभियांत्रिकी

प्रमुख समन्वयक

गजानन रेवणसिद्ध धरणे
प्राचार्य

प्रकल्प समन्वयक

प्रमोद प्रकाश शिवगुंडे
विभागप्रमुख अणुविद्युत आणि दूरसंचार अभियांत्रिकी

संकलक

प्रतीक तावडे
आधिव्याख्याता अणुविद्युत आणि दूरसंचार अभियांत्रिकी

पूनम भोपळे
आधिव्याख्याता अणुविद्युत आणि दूरसंचार अभियांत्रिकी

पूनम कोळी
आधिव्याख्याता अणुविद्युत आणि दूरसंचार अभियांत्रिकी

अंजली धानुरे
आधिव्याख्याता अणुविद्युत आणि दूरसंचार अभियांत्रिकी

तृप्ती कुलकर्णी
आधिव्याख्याता अणुविद्युत आणि दूरसंचार 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.

अनुक्रमणिका

अ. क्र.	युनिटचे नाव	पान क्र.
1	**डिजिटल कम्युनिकेशन सिस्टिम अँड कोडींग मेथोड्स** **Digital Communication System and Coding Methods**	1
2	**पल्स कोड मोड्यूलेशन टेकनिक** **Pulse Code Modulation Techniques**	55
3	**डिजिटल मोड्यूलेशन टेकनिक** **Digital Modulation techniques**	99
4	**मल्टीप्लेक्सिंग आणि मल्टीपल ऍक्सेस तंत्र** **Multiplexing and Multiple access technique**	127
5	**स्प्रेड स्पेक्ट्रम मोड्यूलेशन** **Spread Spectrum Modulation**	153

युनिट 1 - डिजिटल संचारण सिस्टम आणि कोडिंग पद्धती

Unit 1 - Digital Communication System and Coding Methods

विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

CO1 - डिजिटल संचारण सिस्टमसाठी विविध त्रुटी नियंत्रण कोडिंग योजना लागू करणे

घटक निष्पत्ती: (Theory Learning Outcome):

TLO 1.1 डिजीटल संचारण सिस्टीमच्या घटकांचे त्याच्या ब्लॉक डायग्रामसह वर्णन करणे

TLO 1.2 एन्ट्रॉपीची संकल्पना वापरून दिलेल्या डेटासाठी एन्ट्रॉपीची गणना करणे.

TLO 1.3 दिलेल्या 'एन' बिट डेटासाठी हफमन कोड तयार करणे.

TLO 1.4 डेटा तयार करण्यासाठी डेटा बिटच्या दिलेल्या लांबीसाठी त्रुटी शोधणे आणि सुधारण्याचे तंत्र लागू करणे.

TLO 1.5 दिलेल्या लाइन कोडची तुलना करणे.

परिचय:

नैसर्गिकरीत्या उपलब्ध असलेले सर्व सिग्नल्स निसर्गात ॲनालॉग असतात, तर फक्त दोन विद्युतदाब पातळी असलेले सिग्नल (बायनरी अंक) डिजिटल सिग्नल म्हणून ओळखले जातात. म्हणून, डिजिटल मध्ये संप्रेषण, पहिली पायरी म्हणजे ॲनालॉग सिग्नलला डिजिटलमध्ये रूपांतरित करणे. त्यामुळे, ते असे म्हटले जाऊ शकते की, ॲनालॉग सिग्नल ट्रान्समिशनसाठी डिजिटल तंत्रांचा वापर केला जातो.

आजकाल, आधुनिक संचारण प्रणालींमध्ये वापरले जाणारे बरेच सिग्नल डिजिटल आहेत
उदा., अल्फान्यूमेरिक वर्ण, संगणक प्रोग्राम्समध्ये वापरलेला बायनरी डेटा इ.

1.1 Elements of basic digital communication system

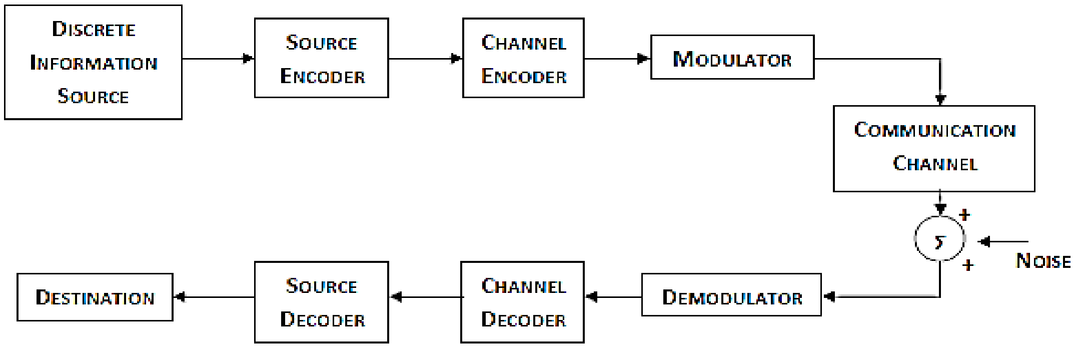


Figure 1.1 Elements of basic digital communication system

माहितीचा स्रोत (Source of information)- माहितीचा स्रोत ॲनालॉग असू शकतो: ऑडिओ किंवा व्हिडिओ सिग्नल किंवा डिजिटल: टेलिटाइप सिग्नलसारखे. डिजिटल कम्युनिकेशनमध्ये, या स्त्रोताद्वारे तयार केलेले सिग्नल डिजिटल सिग्नलमध्ये रूपांतरित केले जातात, ज्यामध्ये 1's आणि 0's असतात. यासाठी, स्त्रोत एन्कोडरची (Source Encoder) आवश्यकता आहे.

स्त्रोत एन्कोडर (Source encoder)- स्त्रोत एन्कोडर माहिती स्त्रोताद्वारे उत्पादित सिग्नलला डेटास्ट्रीममध्ये रूपांतरित करतो. जर इनपुट सिग्नल एनालॉग असेल तर ते A ते D कनवर्टर वापरून डिजिटल स्वरूपात रूपांतरित केले जाऊ शकते. जर इनपुटटू सोर्स एन्कोडर हा प्रतीकांचा प्रवाह असेल, तर काही कोडिंग यंत्रणा वापरून ते 1s आणि 0s च्या प्रवाहात रूपांतरित केले जाऊ शकते.

चॅनल एन्कोडर (Channel Encoder) - चॅनल एन्कोडरचा उद्देश बायनरी माहितीच्या क्रमवारीत काही रिडंडंसी (अतिरिक्त बिट्स) समाविष्ट करणे हा आहे की चॅनेलद्वारे सिग्नलवर प्रसारित करताना येणारा आवाज आणि हस्तक्षेप यांच्या परिणामांवर मात करण्यासाठी रिसीव्हरवर वापरल्या जाणाऱ्या त्रुटी शोधणे आणि त्या दुरुस्त करणे.

मॉड्युलेटर (Modulator) - बायनरी अनुक्रम डिजिटल मॉड्युलेटरकडे पाठविला जातो, जो क्रम विद्युत सिग्नलमध्ये रूपांतरित करतो जेणेकरून आपण ते चॅनेलवर प्रसारित करू शकू. डिजिटल मॉड्युलेटर बायनरी अनुक्रमांना सिग्नल वेव्हफॉर्ममध्ये मॅप करतो.

चॅनेल (Channel) - संप्रेषण चॅनेल हे भौतिक माध्यम आहे जे ट्रान्समीटरपासून रिसीव्हरकडे सिग्नल प्रसारित करण्यासाठी वापरले जाते. चॅनेल वायर्ड किंवा वायरलेस असू शकतात. वायरलेस प्रणालीमध्ये, हे चॅनेल वातावरण असू शकते; वायर्ड चॅनेल कोएक्सियल केबल्स, ऑप्टिकल केबल्स इत्यादी असू शकतात.

डिमोड्युलेटर (Demodulator) - हे मॉड्युलेटरच्या तुलनेत उलटे ऑपरेशन करते. डिजिटल डिमॉड्युलेटर दूषित प्रसारित वेव्हफॉर्मवर प्रक्रिया करतो आणि वेव्हफॉर्मला संख्यांच्या क्रमामध्ये रूपांतरित करतो जे प्रसारित डेटा चिन्हे दर्शवते.

चॅनल डीकोडर (Channel decoder) - चॅनल एन्कोडरद्वारे सादर केलेला अतिरिक्त डेटा वापरून ते प्राप्त बिट्स तपासते, मूळ माहिती क्रमाची पुनर्रचना करते आणि त्रुटी शोधते आणि दुरुस्त करते.

डिजिटल संचारण चे फायदे आणि तोटे:

फायदे:

a. प्रसारित सिग्नल हे डिजिटल स्वरूपाचे असते जेणेकरून आवाज जोडल्यास कोणतीही त्रुटी येत नाही, त्यामुळे आवाजाची प्रतिकारशक्ती चांगली असते.

b. डिजिटल सिग्नल पुन्हा निर्माण करण्यासाठी ट्रान्समीटर आणि रिसीव्हर दरम्यान रिपीटर्सचा वापर केला जाऊ शकतो, ज्यामुळे आवाज प्रतिकारशक्ती सुधारते.

c. हे चॅनल कोडिंग तंत्र वापरते जेणेकरून डेटा ट्रान्समिशन दरम्यान त्रुटी शोधणे आणि दुरुस्त करणे शक्य होईल.

d. विस्तृत बँड चॅनेलची उपलब्धता भूस्थिर उपग्रह ऑप्टिकल फायबर आणि सह-अक्षीय केबलद्वारे प्रदान केले जाते

e. TDM तंत्राचा वापर एकाच सामान्य प्रसारण वाहिनीवर अनेक व्हॉइस चॅनेल प्रसारित करण्यासाठी केला जाऊ शकतो.

f. हे सुधारित विश्वासार्हता देते

g. हे परिवर्तनशीलता आणि अनुरूपता देते

h. डिजिटल कम्युनिकेशन सिस्टीम एनालॉग कम्युनिकेशन सिस्टीमपेक्षा सोपी आणि स्वस्त आहे.

i. डेटा कॉम्प्रेशन आणि विस्तारण यासारख्या तंत्रांचा वापर केला जाऊ शकतो.

j. विस्तृत गतिमान श्रेणी

तोटे:

a. डिजिटल सिग्नल मूळ सिग्नलचे सतत प्रतिनिधित्व देऊ शकत नाही.

b. ट्रान्समीटर आणि रिसीव्हर यांच्यात सिंक्रोनाइझेशन आवश्यक आहे.

c. साधारणपणे बँडविड्थची आवश्यकता जास्त असते.

d. डिजिटल संचारण सिस्टम जास्त शक्ती वापरते.

e. यामध्ये सॅम्पलिंग त्रुटी असू शकतात.

f. कॉम्प्लेक्स हार्डवेअर.

Comparison between Analog and Digital communication:

Table 1.1 Comparison between Analog and Digital Communication

क्र.	पॅरामीटर	ॲनालॉग संचारण	डिजिटल संचारण
1.	प्रसारित सिग्नलचे स्वरूप	ॲनालॉग (Analog)	डिजिटल (Digital)
2.	प्रसारणाची गती	डिजिटल संचारण पेक्षा हळू	ॲनालॉग संचारण पेक्षा वेगवान

क्र.	पॅरामीटर	ॲनालॉग संचारण	डिजिटल संचारण
3.	मोड्यूलेशन पद्ध	वाहक पॅरामीटर्स जसे की ॲम्प्लीट्यूड, वारंवारता किंवा फेज अनुक्रमे AM, FM किंवा PM प्राप्त करण्यासाठी बदलले जातात.	संदेश डिजिटल कोडवर्डच्या संदर्भात प्रसारित केला जातो.
4.	ध्वनी प्रतिकारशक्ती (Noise immunity)	*कमी*	उत्कृष्ट
5.	कामगिरी उपाय	SNR, ट्रान्समीटर आणि रिसीव्हरमधील चौरस त्रुटी, टक्के विकृती	त्रुटीची शक्यता
6.	बँडविड्थ आवश्यकता	कमी	अधिक
7.	सर्किटचा आकार आणि वजन	मोठे आणि अधिक मोठे	ॲनालॉग सर्किट्सच्या तुलनेत लहान आणि वजनानेही हलके
8.	कोडिंग आणि एन्क्रिप्शनची शक्यता	शक्य नाही	शक्य
9.	माहिती सिग्नलची सुरक्षा	कमी	अधिक
10.	मल्टिप्लेक्सिंगची पद्धत	FDM	TDM, CDM
11.	रिपीटर्सचा वापर	शक्य नाही, कारण सिग्नल आणि आवाज वेगळे करणे शक्य नाही.	शक्य
12.	विश्वसनीयता	कमी विश्वासार्ह	अधिक विश्वासार्ह

1.2 Communication channel characteristics:

वाहिनी: ज्या माध्यमाद्वारे सिग्नल प्रसारित केला जातो त्याला चॅनेल म्हणतात.

उदा: सिंपल कंडक्टर, कोएक्सियलकेबल, ऑप्टिकल फायबर केबल आणि मोकळी जागा.

बिट रेट किंवा डेटा रेट: प्रति सेकंद प्रसारित केलेल्या बिट्सची संख्या बिट रेट म्हणून ओळखली जाते. बिट दराचे एकक बिट प्रति सेकंद (bps) आहे. $R = k/T = \log_2 M$ ($M = 2^k$ पासून)

जेथे k = चिन्ह संचातील बिट्सची संख्या T = k बिट चिन्हाचा कालावधी

बँडविड्थ: माध्यम (किंवा चॅनेल) पार करू शकणाऱ्या फ्रिक्वेन्सीच्या श्रेणीला चॅनल बँडविड्थ म्हणतात.

चिन्ह किंवा डिजिटल: हा k बिट्सचा समूह आहे ज्याला माहिती एकक मानले जाते. वर्णमाला किंवा चिन्ह संचाचा आकार, $M = 2^k$ आहे जेथे k = वर्णमालेतील बिट्सची संख्या

बॉड दर किंवा चिन्ह दर: ज्या दराने चिन्हे प्रसारित केली जातात त्याला बॉड दर म्हणतात. बॉड हे प्रतीकाशिवाय दुसरे काही नाही.

$$\text{Baud rate} = \frac{\text{Bit rate}}{\text{Number of bits per signal unit}}$$

रिपीटर अंतर: चॅनेलच्या अंतराने सिग्नलचा मूळ आकार तयार करणे आवश्यक आहे. हे सिग्नलवरील आवाजाच्या प्रभावामुळे होते. यासाठी रिपीटर्सचा वापर केला जातो. त्यामुळे संवादाची व्याप्ती वाढते.

Table 1.2 Communication channel characteristics

चॅनेल	बिट रेट (BITRATE)/ बँडविड्थ	रिपीटर अंतर	अनुप्रयोग
अनशिल्डेड ट्विस्टेड पेअर केबल (Unshielded twisted pair)	64 kbps – 1 Gbps	काही किलोमीटर (Few km)	छोटे अंतर (Short haul) PSTN, LAN
कोएक्सियल केबल (Co-axial cable)	काही शंभर एमबीपीएस (Few hundred Mbps)	काही किलोमीटर (Few km)	केबल टीव्ही, लॅन (Cable TV, LAN)
ऑप्टिकल फायबर (Optical fiber)	काही Gbps (Few Gbps)	काही दहा किमी (Few tens of km)	लांब अंतर (Long haul) PSTN,LAN
विनामूल्य स्पेस ब्रॉडकास्ट (Free space broadcast)	काही शंभर KHZ ते काही शंभर MHZ (Few hundred KHZ to few hundred MHZ)	रिपीटर नाही (No repeater)	रेडिओ/टीव्ही **प्रसारण** (Broadcast radio /TV)
मोकळी जागा सेल्युलर (Free space cellular)	1 – 2 GHZ	बेस स्टेशनपर्यंत रिपीटर नाही (No repeater up to base station)	मोबाईल टेलिफोनी, एसएमएस (Mobile telephony, SMS)

चॅनेल	**बिट रेट (BITRATE)/ बँडविड्थ**	**रिपीटर अंतर**	**अनुप्रयोग**
वायरलेस LAN (Wireless LAN)	11 एमबीपीएस पर्यंत (Up to 11 Mbps)	प्रवेश बिंदू पर्यंत कोणतेही पुनरावर्तक नाही (No repeater up to access point)	वायफाय, ब्लूटूथ (Wi-Fi, bluetooth)
स्थलीय मायक्रोवेव्ह लिंक (Terrestrial microwave link)	2 – 40 GHZ	प्रत्येक 10-100 किमी (Every 10 – 100 km)	लांब अंतर PSTN, लाइव्ह टेलिकास्टमध्ये खेळाच्या मैदानापासून स्टुडिओपर्यंत व्हिडिओ ट्रान्समिशन (Long haul PSTN, video transmission from playground to studio in a live telecast)
उपग्रह (Satellite)	4/6 GHZ ,12/14 GHZ	काही हजार किमी (Several thousand km)	ट्रान्सकॉन्टिनेंटल टेलिफोनी, केबल टीव्ही ब्रॉडकास्ट, डीटीएच, जीपीएस (Transcontinental telephony, cable TV broadcast, DTH,GPS)
इन्फ्रारेड(Infrared)	काही THZ (Few THZ)	रिपीटर नाही (No repeater)	टीव्ही रिमोट सारखे लहान अंतर LOS. (Short distance LOS like TV remote.)
पाण्याखालील ध्वनिक (Under Water Acoustic)	काही KHZ (Few KHZ)	काही किमी (Few km)	SONARS आणि इतर सर्व जलसंचार अंतर्गत (SONARS and all other underwater communication)

1.3 एन्ट्रॉपीची (Entropy) संकल्पना आणि माहिती दर, चॅनेल क्षमता:

माहिती:

संभाव्यता (Probability) = (n_A/N)

माहितीचे प्रमाण (Amount of information) $I_K = \log_2 (1/P_k)$

जेथे I_K = k^{th} चिन्हाद्वारे माहितीची रक्कम

P_K = k^{th} चिन्हाची संभाव्यता

उदा:

I) बायनरी स्रोत विचारात घ्या, P1 = 1 आणि P2 = 0 निर्माण करण्याची संभाव्यता द्या

$I_1 = \log_2 1 = 0$ and $I_2 = \log_2 0 = 0$

II) समजा P1 = 0.3 आणि P0 = 0.7

$I_1 = \log_2 (1/0.3) = 1.73$ बिट

$I_0 = \log_2 (1/0.7) = 0.51$ बिट

$\log_{10}$ = युनिट डेसिट आहे

$\log_2$ = युनिट बिट आहे

$\log_e$ = युनिट म्हणजे नेट

माहितीचे गुणधर्म (Properties of information):

a) $0 \le P_K \le 1$ साठी $I_K \ge 0$

b) $I_m > I_K$ जर $P_m < P_k$

जेथे I_m = 'm' चिन्हाद्वारे माहितीची रक्कम

I_K = 'k' चिन्हाद्वारे कळवलेल्या माहितीचे प्रमाण

1.3.1 एन्ट्रॉपी (सरासरी माहिती):

एन्ट्रॉपीची व्याख्या प्रति संदेश सरासरी माहिती म्हणून केली जाते. हे H द्वारे दर्शविले जाते आणि त्याचे एकक बिट/संदेश आहे.

$H = P_k \log_2$bits/symbol

एन्ट्रॉपीवरील उदाहरणे:

उदा.

I) अत्यंत संभाव्य आणि अत्यंत संभव नसलेल्या संदेशाची एन्ट्रॉपी शून्य आहे हे सिद्ध करा.

उत्तर:

अत्यंत संभाव्य संदेश (Extremely likely message):

संदेश m_k असू द्या आणि त्याची संभाव्यता P_k असू द्या. संदेश अत्यंत संभाव्य आहे म्हणून, $P_k = 1$

Entropy = H $= P_k \log_2$

$= 1 \log_2 1 = = 0$

H = 0

अत्यंत संभव नाही (Extremely unlikely):

P_k tends to zero $P_k = 0$

Entropy $= H = P_k \log_2$

H = 0

II) एक स्वतंत्र स्मृतीविरहित स्त्रोत तीन भिन्न चिन्हे m_0, m_1 आणि m_2 प्रसारित करण्यास सक्षम आहे. त्यांची संभाव्यता अनुक्रमे 1/2, 1/4 आणि 1/4 आहे. स्त्रोत एन्ट्रॉपीची गणना करा.

उत्तर:

दिले: 1.$P_1 = 1/2$, 2.$P_2 = 1/4$, 3.$P_3 = 1/4$

$$H = \sum_{k=1}^{3} P_k \log_2(1/P_k)$$

$$= P_1 \log_2(1/P_1) + P_2 \log_2(1/P_2) + P_3 \log_2(1/P_3)$$

$$H = 1/2 * \log_2(1/2) + 1/4 * \log_2(1/4) + 1/4 * \log_2(1/4)$$

$$= 1/2*(1) + 1/4*(2) + 1/4*(2)$$

H=3/2 bits / symbol

Source entropy =3/2 bits / symbol

1.3.2 माहिती दर (Information rate):

जर संदेशाचा स्रोत प्रति सेकंद संदेशांची संख्या 'r' निर्माण करतो तर माहिती दर R = r X H असा दिला जातो

जेथे r = संदेशांची संख्या/ सेकंद

H = सरासरी माहिती/संदेश

माहिती दराचे एकक बिट/सेकंद आहे

1.3.3 चॅनेल क्षमता (Channel Capacity):

व्याख्या:

डिस्क्रिट मेमरीलेस चॅनेलची क्षमता कमाल म्हणून परिभाषित केली जाऊ शकते

चॅनेल त्रुटींचा परिचय न करता समर्थन करू शकणारे बिट दर.

चॅनल क्षमता जास्तीत जास्त दर दर्शवते ज्या दरम्यान डेटा हस्तांतरित केला जाऊ शकतो

त्रुटीच्या अनियंत्रितपणे लहान संभाव्यतेसह सिस्टममधील दोन बिंदू.

$$C = R_{max} \text{ bits/sec}$$

$$C = 2B \log_2 N$$

1.3.4 हार्टलेचा नियम (Hartley's Law) :

हार्टलेचा कायदा असे सांगतो की "कम्युनिकेशन चॅनेलवर प्रसारित करता येणारा जास्तीत जास्त डेटा दर R हा चॅनेल बँडविड्थ B च्या थेट प्रमाणात असतो आणि विशिष्ट सिग्नल पातळी L च्या संख्येचा लॉगरिथम असतो. हे गणितीय पद्धतीने व्यक्त केले जाते.

$$R = 2B \log_2 L$$

विधान:

चॅनेलची बँडविड्थ जितकी जास्त असेल तितकी जास्त माहिती आपण दिलेल्या वेळेत प्रसारित करू शकतो. आम्ही अद्याप एका अरुंद चॅनेलवर थोड्या प्रमाणात माहिती प्रसारित करू शकतो, परंतु यास जास्त वेळ लागेल. ही सामान्य संकल्पना हार्टलेचा नियम म्हणून ओळखली जाते.

1.3.5 चॅनल क्षमतेसाठी शॅनन हार्टलीचे प्रमेय

(Shannon Hartley's theorem for Channel capacity):

पांढऱ्या, बँड मर्यादित गॉसियन चॅनेलची चॅनेल क्षमता द्वारे दिली जाते,

$$C = B \log_2 \left(1 + \frac{S}{N}\right) \quad \text{bits/sec}$$

B = चॅनल बँडविड्थ

S = सिग्नल पॉवर

N = चॅनेल बँडविड्थमधील आवाज

1.3.6 स्त्रोत कोडिंग प्रमेये (Source coding Theorems):

शॅननचे पहिले प्रमेय (Shannon's first Theorem):

एंट्रॉपी H चे स्वतंत्र मेमरीलेस स्त्रोत दिल्यास, दिलेल्या स्त्रोतासाठी सरासरी कोडवर्ड लांबी 'L' स्त्रोत एन्कोडिंग नेहमी L>H म्हणून बंधनकारक असते.

शॅननचे दुसरे प्रमेय (Shannon's second Theorem):

M>>1 सह "M' समान संभाव्य संदेशांचा स्त्रोत दिलेला आहे जो R दराने माहिती निर्माण करत आहे. चॅनेलची क्षमता 'C' अस्तित्त्वात असल्यास, R≤ C असल्यास, स्त्रोताचे आउटपुट प्राप्त झालेल्या संदेशात अगदी लहान त्रुटी संभाव्यतेसह चॅनेलवर प्रसारित केले जाऊ शकते अशी कोडिंग योजना अस्तित्वात आहे. जर R> C, त्रुटी संभाव्यता एकता असेल.

तात्पर्य शॅनन हार्टले प्रमेय (Implications Shannon Hartley Theorem):

शॅनन हार्टले प्रमेयचे परिणाम खालीलप्रमाणे आहेत,

a. हे उच्च मर्यादा देते जी गॉसियन चॅनेलवर विश्वासार्ह डेटा ट्रान्समिशन रेटच्या मार्गाने गाठली जाऊ शकते. अशाप्रकारे, सिस्टीम डिझायनर नेहमी त्याच्या सिस्टमला स्वीकार्य त्रुटी दरासह, समीकरणात दिलेल्या चॅनेल क्षमतेच्या C च्या जवळ डेटा रेट ठेवण्याचा प्रयत्न करतो.

b. शॅनन-हार्टले प्रमेयाचा दुसरा अर्थ बँडविड्थसाठी सिग्नल-टू-नॉइज रेशो (S/N) च्या एक्सचेंजशी आहे.

चॅनल क्षमतेवरील उदाहरणे:

उदा. 1 KHz बँडविड्थ असलेल्या अत्यंत गोंगाटयुक्त चॅनेलचा विचार करा. चॅनेलची क्षमता काय असू शकते?

उत्तर:

Given: B = 1 KHz.

As the channel is extremely noisy, = 0.

Channel capacity C $= B \log_2[1+S/N]$

$= 1 \cdot 10^3 \log_2 [1 + 0] = 1 \cdot 10^3 \log_2 [1]$

C = 0 bits/second

a. चॅनल आउटपुटवर 3000Hz आणि SN = 103 च्या वापरण्यायोग्य बँडविड्थसह कमी पास चॅनेलच्या क्षमतेची गणना करा. चॅनेलचा आवाज गौसियन आणि पांढरा असल्याचे गृहीत धरा.

उत्तर: Given: B = 3000 Hz

Channel capacity C= B $\log_2$

= 3000 $\log_2$ [1 + 1000] **= 30000 bits/ second**

1.3.7 हफमन कोडिंग (Huffman Coding):

हा प्रिफिक्स कोडिंगचा प्रकार आहे जो शॅनन-फॅनो कोडिंगपेक्षा चांगले कार्य करतो.

हफमनचा कोड इष्टतम कोड म्हणून का ओळखला जातो?

हे शॅनन-फॅनो कोडच्या तुलनेत चांगले परिणाम देते. दिलेल्या एन्ट्रॉपीच्या स्त्रोतासाठी,

हे किमान सरासरी शब्द लांबी प्रदान करते. म्हणून, त्याला 'इष्टतम कोड' म्हणून ओळखले जाते.

हफमन कोडिंग अल्गोरिदम [चरणानुसार प्रक्रिया]

पायरी 1: दिलेल्या संदेशांच्या संभाव्यता कमी होत असलेल्या क्रमाने लावा.

पायरी 2: सर्वात कमी संभाव्यतेसह दोन स्त्रोत चिन्हे [अंतिम 2 संभाव्यता] बिट 0 आणि 1 नियुक्त केले आहेत.

पायरी 3: नवीन संभाव्यता मूल्य प्राप्त करण्यासाठी या (सर्वात कमी) संभाव्यता एकत्र करा.

पायरी 4 : नंतर नवीन संभाव्यता मूल्य सूचीमध्ये अशा प्रकारे ठेवले जाते की कमी होणारा क्रम राखला जातो [जर नवीन संभाव्यता मूल्य आधीपासून अस्तित्वात असलेल्या संभाव्यतेच्या बरोबरीचे असेल, तर सोयीसाठी, नवीन मूल्य त्या गटामध्ये सर्वोच्च प्राधान्यावर ठेवले जाते] आणि चरण 4 पुन्हा करा.

पायरी 5: फक्त दोन मूल्ये शिल्लक होईपर्यंत चरण 3 आणि 4 ची पुनरावृत्ती करा.

प्रत्येक संदेशासाठी कोडवर्ड कसा शोधायचा?

पायरी 1: अंतिम टप्प्यात, बिट '0' आणि बिट 1 अनुक्रमे वरच्या आणि खालच्या संभाव्यतेसाठी नियुक्त केले जातात.

पायरी 2: शेवटच्या टप्प्यापासून पहिल्या टप्प्यापर्यंतच्या मार्गाचे अनुसरण करा आणि संभाव्यतेसाठी नियुक्त केलेले बिट शोधा. यासाठी, त्या विशिष्ट संदेशाचे योगदान असलेल्या सर्व संभाव्यता मूल्यांचा विचार करा.

पायरी 3: कोडवर्ड लिहा की शेवटच्या टप्प्यात असलेला बिट MSB आहे आणि कोडवर्डमध्ये पहिल्या टप्प्याचा LSB आहे.

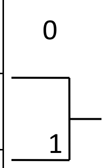
उदा.

आम्ही त्याच उदाहरणाचा विचार करू ज्यासाठी शॅनन फॅनो कोड व्युत्पन्न केला आहे

पायरी 1: संदेशाच्या संभाव्यता कमी होत असलेल्या क्रमाने व्यवस्थित करा.

पायरी 2: सर्वात कमी संभाव्यता चिन्हांना बिट '0' आणि '1' नियुक्त करा.

चिन्ह	संभाव्यता
m_1	1/2
m_2	1/8
m_3	1/8
m_4	1/16
m_5	1/16
m_6	1/16
m_7	1/32
m_8	1/32



पायरी 3: नवीन संभाव्यता मूल्य प्राप्त करण्यासाठी सर्वात कमी संभाव्यता एकत्र करा आणि

पायरी 4: कमी होणारा क्रम राखून सूचीवर नवीन संभाव्यता मूल्य ठेवा.

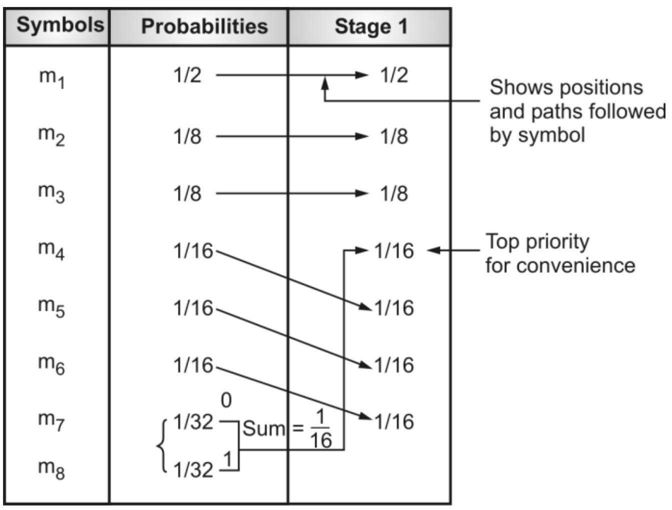


Figure 1.2

त्याचप्रमाणे चरण 5 चालते आणि सर्व टप्पे खालीलप्रमाणे निर्धारित केले जातात.

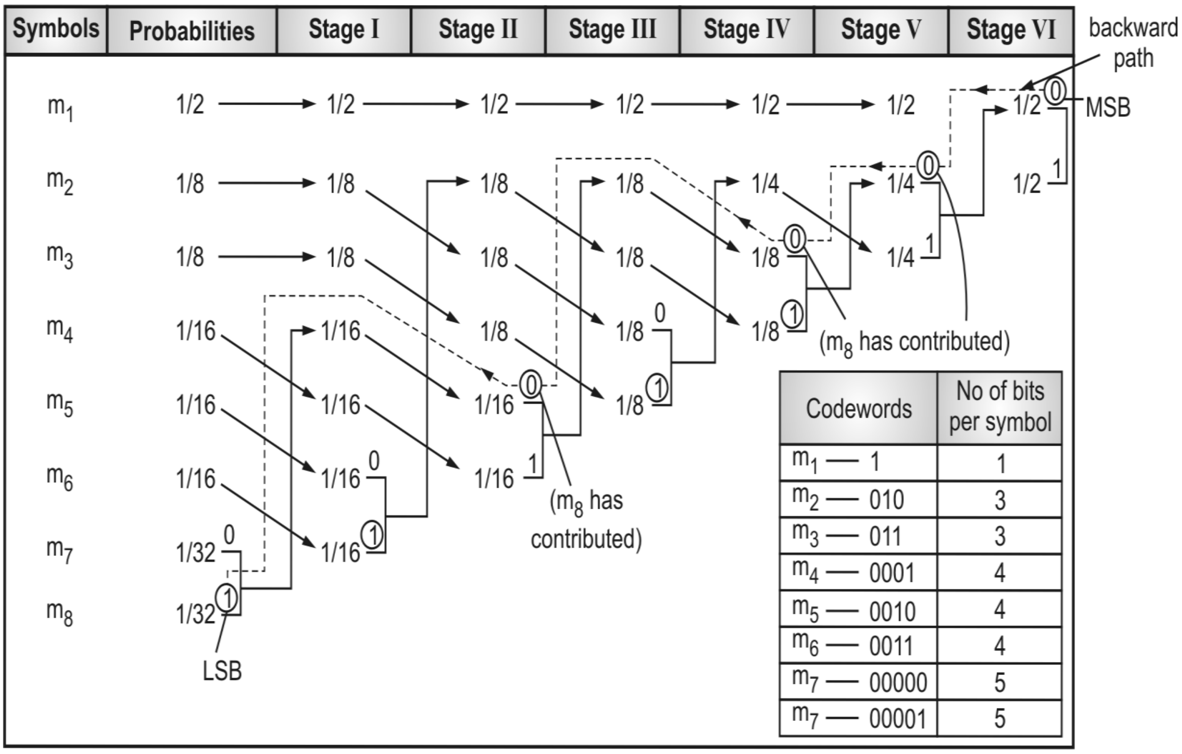


Figure 1.3

Codewords	**No. of bits per symbol**
m_1 – 1	1
m_2 – 010	3
m_3 – 011	3
m_4 – 0001	4
m_5 – 0010	4
m_6 – 0011	4
m_7 – 00000	5
m_8 – 00001	5

सरासरी कोड शब्द लांबी (Average codeword length):

$$L = \sum_{k=1}^{M} P_k \times \text{(Number of bits per message)}$$

$$\therefore \; L = \left[\frac{1}{2}\times 1\right] + \left[\frac{1}{8}\times 3\right] + \left[\frac{1}{8}\times 3\right] + \left[\frac{1}{16}\times 4\right] + \left[\frac{1}{16}\times 4\right] + \left[\frac{1}{16}\times 4\right] + \left[\frac{1}{32}\times 5\right] + \left[\frac{1}{32}\times 5\right]$$

=2.3125 bits/ message

Similarly, H= 2.3125 bits/ message = Entropy, and hence code efficiency | = = 1

म्हणून, प्रत्येक बायनरी अंकामध्ये सरासरी 1 बिट माहिती असते आणि 100% कार्यक्षमता असते.

हफमन कोडवरील (Huffman's Code) उदाहरणे:

उदा.

तक्त्यामध्ये दर्शविल्याप्रमाणे स्वतंत्र स्मृतीविरहित स्त्रोताची पाच स्त्रोत चिन्हे आणि त्यांच्या संभाव्यतेचा विचार करा. प्रत्येक संदेशासाठी कोड शब्द शोधण्यासाठी Huffman च्या अल्गोरिदमचे अनुसरण करा. तसेच, सरासरी कोड शब्द लांबी आणि प्रति संदेश सरासरी माहिती शोधा.

Message	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
Probability	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1

उत्तर:

हफमनच्या कोडच्या प्रक्रियेद्वारे आम्हाला मिळते,

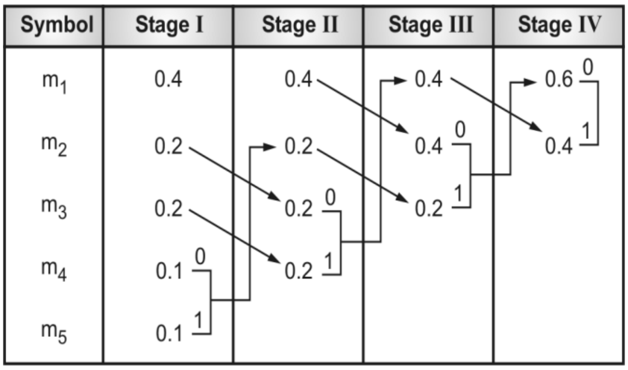


Figure 1.4

संदेश	m_1	m_2	m_3	m_4	m_5
संभाव्यता	0.4	0.2	0.2	0.1	0.1
कोडवर्ड	00	10	11	010	011

Average codeword length

$L = \sum P_k \cdot$ (number of bits in codeword)

$= (0.4 \cdot 2) + (0.2 \cdot 2) + (0.2 \cdot 2) + (0.1 \cdot 3) + (0.1 \cdot 3)$

= 2.2 bits/message

Entropy of the source

$H = \sum P_k \log_2$

$H = P_1 \log_2 + P_1 \log_2 + P_3 \log_2 + P_4 \log_2 + P_5 \log_2$

$= 0.4 \log_2 + 0.2 \log_2 + 0.2 \log_2 + 0.1 \log_2 + 0.1 \log_2$

$= 0.5287 + 0.4643 + 0.4643 + 0.3321 + 0.3321$

H = 2.1215 bits/message

Comparison of Source Coding and Channel Coding:

Table 1.3 Comparison of Source Coding and Channel Coding

क्र.	पॅरामीटर	स्त्रोत कोडिंग (Source coding)	चॅनेल कोडिंग (Channel coding)
1.	व्याख्या	स्टोरेज स्पेस आणि ट्रान्समिशन चॅनेलचा कार्यक्षम वापर करण्यासाठी अनावश्यकता दूर करण्याची ही एक प्रक्रिया आहे.	ही प्रक्रिया आहे ज्याद्वारे त्रुटी सुधारणे शक्य करण्यासाठी डिजिटल सिग्नलवर प्रीट्रांसमिशन मॅपिंग लागू केले जाते.
2.	अतिरेक (Redundancy)	काढले	जोडले
3.	डेटा ब्लॉकचा	लहान आणि संकुचित	मोठे आणि विस्तारित

क्र.	पॅरामीटर	स्त्रोत कोडिंग (Source coding)	चॅनेल कोडिंग (Channel coding)
	आकार (Size of data block)	(Small and compressed)	(Large and expanded)
4.	एन्कोडरची जटिलता (Complexity of encoder)	कॉम्प्लेक्स (Complex)	साधे (Simple)
5.	डीकोडरची जटिलता (Complexity of decoder)	साधे (Simple)	कॉम्प्लेक्स (Complex)
6.	डेटा दरम्यान सहसंबंध (Correlation between data)	ते डेटाशी संबंधित नाही. It decorrelates the data.	ते डेटाशी संबंधित आहे. It correlates the data.
7.	संप्रेषण प्रणालीतील टप्पा (Stage in communication system)	सुरुवातीला सोर्स कोडिंग केले जाते. Initially source coding is carried out.	चॅनल एन्कोडर स्त्रोत एन्कोडर नंतर आहे. Channel encoder is after the source encoder.
8.	उपयोग (Use)	बेसबँड सिग्नलचे स्वरूपन (Formatting of baseband signal)	त्रुटी दुरुस्ती कोडचा वापर. (Application of error correction codes.)
9.	उदाहरण (Example)	हफमन कोडिंग (Huffman coding)	हॅमिंग कोड.(Hamming codes.)

1.4 त्रुटी शोध कोड (Error detection code):

त्रुटी:

स्त्रोत कोडिंग तंत्रात, सर्व अनावश्यक किंवा अतिरिक्त बिट कमी केले जातात. हे केले आहे

विविध माहिती सिद्धांत संकल्पनांचा वापर करून.

एकदा सोर्स कोडिंग पूर्ण झाल्यावर, सिग्नल चॅनेलवर प्रसारित करण्यासाठी तयार आहे. पण

वाहिनीवरून प्रवास करताना, ते दूषित होऊ शकते. हा गोंगाट करणारा सिग्नल प्राप्तकर्त्यावर.

हाताळला जातो

डिटेक्टरची कार्यक्षमता यावर अवलंबून असते:

(i) ट्रान्समीटर सिग्नल पॉवर.

(ii) बिट ट्रान्समिशन रेट

(iii) नॉइज स्पेक्ट्रल प्रॉपर्टी

हे पॅरामीटर्स त्रुटी संभाव्यतेचे मूल्य मर्यादित करतात .

यासाठी 'चॅनल कोडिंग' लागू करणे हा एकमेव व्यावहारिक उपाय उपलब्ध आहे.

व्याख्या: चॅनेल कोडिंग हे कोडिंगचे एक तंत्र आहे ज्यामध्ये गोंगाट करणाऱ्या चॅनेलमुळे झालेल्या त्रुटींचा परिणाम सुधारण्यासाठी सिग्नलमध्ये रिडंडंसी सादर केल्या जातात.

चॅनेल कोडिंग सामान्यतः त्रुटी नियंत्रण कोडिंगद्वारे लागू केले जाते.

अतिरिक्त रिडंडंसीचा प्रभाव (Effect of added redundancy):

हे त्रुटी शोधण्यात आणि सुधारण्यात मदत करते.

हे वाढीव ट्रान्समिशन बँडविड्थची आवश्यकता सूचित करते.

चार फायदे किंवा ट्रेड ऑफ जे चॅनल कोडिंग किंवा एरर कंट्रोल कोडिंग मेकॅनिझम वापरून मिळवता येतात.

a. बँडविड्थ विरुद्ध कार्यप्रदर्शन त्रुटी (Error performance versus bandwidth)

b. पॉवर विरुद्ध बँडविड्थ (Power versus bandwidth)

c. डेटा दर विरुद्ध बँडविड्थ (Data rate versus bandwidth)

d. क्षमता विरुद्ध बँडविड्थ (Capacity versus bandwidth)

त्रुटी ही अशी स्थिती आहे जेव्हा प्राप्तकर्त्याचे आउटपुट इनपुटशी जुळत नाही. डिजिटल डेटा ट्रान्समिशनमध्ये जेव्हा ट्रान्समिशन आणि रिसेप्शनमध्ये थोडासा बदल केला जातो तेव्हा त्रुटी येते. याचा अर्थ बायनरी 1 प्रसारित केला जातो आणि बायनरी 0 प्राप्त होतो.

त्यांच्या प्रसारणादरम्यान डेटा बिट्समध्ये त्रुटी आढळतात. या त्रुटी म्हणून वर्गीकृत आहेत

a. सामग्री त्रुटी (Content Errors)

b. प्रवाह अखंडता त्रुटी (Flow Inttegrity Errors)

(a) सामग्री त्रुटी

या त्रुटी संदेशाच्या सामग्रीमधील त्रुटी आहेत उदा. बायनरी '1' प्राप्त होऊ शकते बायनरी '0' म्हणून.

या त्रुटी चॅनेलद्वारे प्रसारित करताना आवाज परिचयामुळे उद्भवतात.

(b) प्रवाह अखंडता त्रुटी

या त्रुटी डेटा युनिट्सच्या गहाळ ब्लॉक्सचा संदर्भ देतात. फ्रेम ट्रान्समिशनच्या बाबतीत,
या त्रुटी हरवलेल्या किंवा डुप्लिकेट डेटा फ्रेम्स आणि पावती म्हणून संदर्भित केल्या जाऊ शकतात.
उदा. नेटवर्कमधील डेटा ब्लॉक चुकीच्या पत्त्यावर वितरित केल्यामुळे तो हरवला जाऊ शकतो.
प्रवाह एकात्मता त्रुटी पुढील म्हणून वर्गीकृत आहेत

(i) सिंगल बिट त्रुटी (Single bit errors)

(ii) बर्स्ट त्रुटी (Burst errors)

i.सिंगल बिट त्रुटी (Single Bit Error):

जेव्हा डेटा युनिटचा फक्त एक बिट 1 ते 0 किंवा त्याउलट बदलला जातो तेव्हा त्याला **सिंगल बिट त्रुटी** म्हणतात.

उदा.

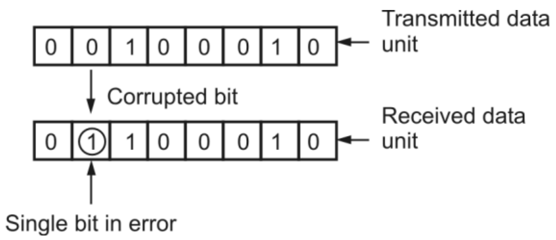


Figure 1.5

ii.बर्स्ट त्रुटी(Burst Error):

जेव्हा डेटा युनिटमधील 2 किंवा 2 पेक्षा जास्त बिट बदलले जातात तेव्हा त्याला **बर्स्ट त्रुटी** म्हणतात.

उदा.

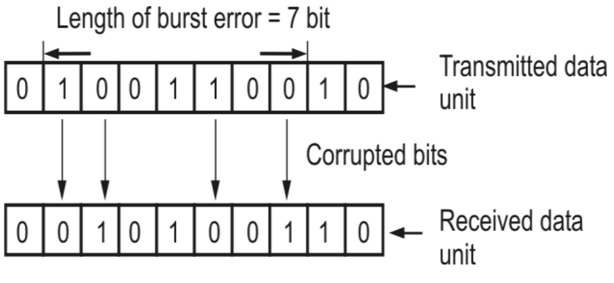


Figure 1.6

बर्स्ट एरर येण्याची शक्यता सिंगल बिट एररपेक्षा जास्त आहे. हे कारण आहे
ध्वनी सिग्नलचा कालावधी साधारणपणे 1 बिटच्या कालावधीपेक्षा जास्त असतो. अशा प्रकारे,
जेव्हा आवाज डेटावर परिणाम करतो, तेव्हा तो बिट्सच्या सेटवर परिणाम करतो.

त्रुटीची कारणे:

व्यापक स्तरावर, असे म्हटले जाऊ शकते की ट्रान्समिशन दरम्यान डेटामध्ये जोडलेल्या आवाजामुळे त्रुटी उद्भवतात. तथापि, सामग्री त्रुटींची अनेक कारणे आहेत.

सामग्री त्रुटींची कारणे आणि परिणाम (Causes and effects of content errors):

a.सिग्नल कमजोरी (Signal impairment)
b.सिंक्रोनाइझेशनचे नुकसान (Loss of synchronization)
c.स्क्रॅम्बलर (Scramblers)
d.ट्रान्समिशन चॅनेल स्विचिंग (Transmission channel switching)

a.सिग्नल कमजोरी (Signal impairment):

सामग्रीतील त्रुटी मुख्यतः विद्युत सिग्नल आणि आवाजाच्या विकृतीमुळे उद्भवतात. थर्मल आवाजामुळे तुरळक बिट त्रुटी निर्माण होतात. आवेग कालावधी अनेक बिट्स दूषित करण्यासाठी पुरेसा लांब असू शकतो. स्फोट त्रुटी निर्माण करणे.

b.सिंक्रोनाइझेशनचे नुकसान (Loss of synchronization)

प्राप्तकर्ता डिजिटल माहिती काढण्यासाठी प्राप्त सिग्नलचे नमुने घेतो सॅम्पलिंग घड्याळाची मदत.
हे सॅम्पलिंग घड्याळ ट्रान्समीटरच्या सॅम्पलिंग घड्याळासोबत सिंक्रोनाइझ केले जाते.
सिंक्रोनाइझेशन गमावल्यास, सॅम्पलिंग चुकीच्या क्षणी होते. त्यामुळे चुका होतात स्फोटांच्या स्वरूपात सादर केले.

c.स्क्रॅम्बलर (Scramblers)

ट्रान्समीटर आणि रिसीव्हर घड्याळांचे सिंक्रोनाइझेशन सुनिश्चित करण्यासाठी स्क्रॅम्बलरचा वापर केला जातो.
हे डिव्हाइस ट्रान्समिशन करण्यापूर्वी डेटा यादृच्छिक करते.
स्क्रॅम्बलर त्रुटींचा गुणाकार करतात कारण त्यात शिफ्ट रजिस्टर असतात.

d.ट्रान्समिशन चॅनेल स्विचिंग (Transmission channel switching)

सामान्यत: संप्रेषण चॅनेल संप्रेषण प्रणाली संरक्षित असतात. जर मुख्य चॅनेल अयशस्वी झाले, सिस्टम स्टँड बाय वनवर स्विच केले आहे. हे स्विचिंग लागू शकते 10- 50ms कालावधी डिजिटल डेटाचे तात्पुरते नुकसान करते. डेटाच्या या तात्पुरत्या नुकसानामुळे बर्स्ट एरर होतात.

प्रवाह अखंडता त्रुटीची कारणे आणि परिणाम:

(Causes and effects of flow integrity error)

सामान्यतः, संदेश ब्लॉक गमावल्यामुळे प्रवाह अखंडता त्रुटी उद्भवतात. याची अनेक कारणे आहेत.
(i) डेटा युनिट अनुक्रमे वितरित केले जाऊ शकते.
(ii) डेटा युनिटला सामग्री त्रुटींचा सामना करावा लागला असेल आणि त्यामुळे गंतव्यस्थानावर पोहोचण्यापूर्वी नेटवर्कमधील नोडद्वारे नाकारण्यात आले.
(iii) डेटा युनिट चुकीच्या पत्त्यावर वितरित केले जाऊ शकते.
(iv) नेटवर्कमधील गर्दीत नोडद्वारे डेटा युनिट टाकून दिले जाऊ शकते.
(v) पोचपावती गमावल्यामुळे, प्रेषक डुप्लिकेट डेटा युनिट पाठवू शकतो

पॅरिटी वापरून त्रुटी शोधणे (Error detection using parity):

पॅरिटी पद्धत ही त्रुटी शोधण्याची सर्वात सोपी पद्धत आहे. या पद्धतीमध्ये प्रत्येक शब्दाच्या शेवटी एक अतिरिक्त बिट जोडला जातो.

हा अतिरिक्त बिट पॅरिटी चेक बिट म्हणून ओळखला जातो.

समानता दोन प्रकारची असू शकते.

a. सम पैरिटी (Even Parity):

b.विषम पैरिटी (Odd Parity)

a. **सम पॅरिटी (Even Parity):** समता बिट अशा प्रकारे जोडले जाते की एकूण संख्या सम होतात.

उदाहरणार्थ:

1	0	0	1	1	0

डेटा स्ट्रीम असेल तर पॅरिटी बिट '1' जोडून एकूण संख्या अगदी 4 केली जाते. त्यामुळे नवीन शब्द बनतो.

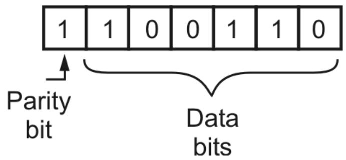


Figure 1.7

b. **विषम पॅरिटी (Odd Parity):** समता बिट अशा प्रकारे जोडला जातो की एकूण संख्या विषम होतात.

उदाहरणार्थ

1	0	0	1	1	0

डेटा प्रवाह असेल तर पॅरिटी बिट '0' जोडला जातो कारण एकूण संख्या विषम आहे म्हणजे 3. त्यामुळे नवीन शब्द बनतो.

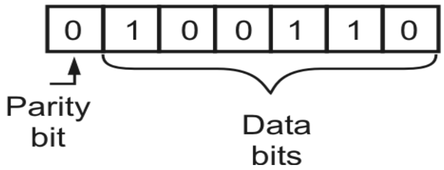


Figure 1.8

रिडंडंसी पॅरिटी बिट जोडून सादर केली जाते. परंतु हा चेक बिट प्रभावी असेल तर बिटमधील त्रुटीची शक्यता पुरेशी कमी आहे. अशा प्रकारे सिंगल बिट पेक्षा जास्त होण्याची शक्यता शब्दातील त्रुटी दुर्लक्षित केल्या जाऊ शकतात.

तोटे

a. रिडंडंट पॅरिटी बिट्स जोडून, ओव्हरहेड बिट्स वाढवले जातात. याचा ट्रान्समिशन बँडविड्थवर परिणाम होतो.

b. पॅरिटी चेक पद्धत बर्स्ट त्रुटी शोधू शकत नाही.

c. (३) ही पद्धत कोणता बिट त्रुटीमध्ये आहे हे शोधण्यात अक्षम आहे.

समता बिट्स वापरून प्राप्तकर्त्यावर त्रुटी शोधणे.

प्राप्तकर्ता प्राप्त झालेल्या शब्दांची एकूण संख्या तपासतो. एकूण संख्या असल्यास प्रसारित समानतेशी जुळत नाही तर त्रुटी आढळली.

उदा.

अशा प्रकारे प्राप्त केलेला शब्द चुकीचा असल्याचे आढळून येते आणि म्हणून प्राप्तकर्ता त्या शब्दाकडे दुर्लक्ष करतो. तो तो शब्द टाकून देतो आणि पुन्हा प्रसारित करण्याची विनंती जारी करतो.

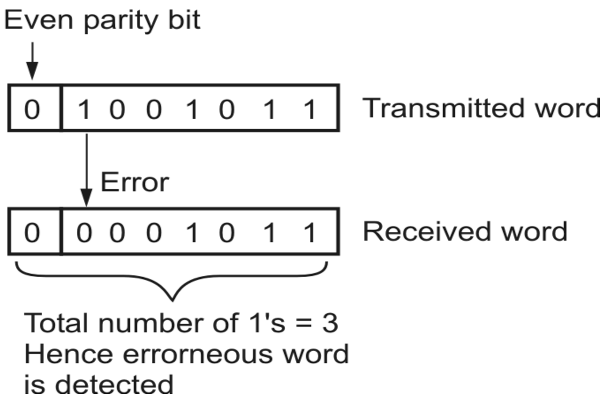


Figure 1.9

1.4.1 VRC - अनुलंब रिडंडंसी चेक (VRC - Vertical Redundancy Check):

त्रुटी शोधण्याची ही सर्वात सामान्य आणि कमी खर्चिक पद्धत आहे.

व्हीसीआर पद्धतीमध्ये, डेटा ब्लॉक एलआरसी प्रमाणे सारणी स्वरूपात लिहिला जातो. आता LRC मधील स्तंभांचा विचार करण्याऐवजी पॅरिटी बिट्सची पंक्तीनुसार गणना केली जाते. खालील उदाहरण दाखवले आहे.

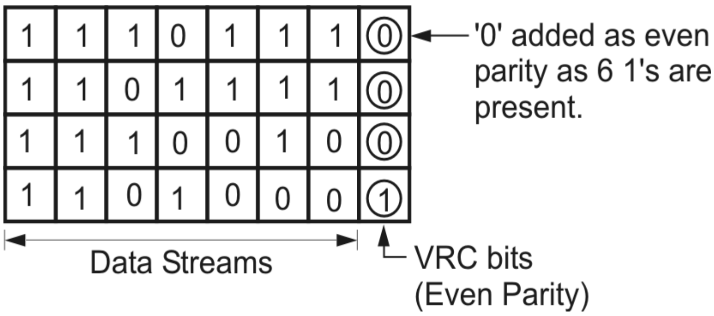


Figure 1.10

आता समजा ट्रान्समिशन दरम्यान डेटा स्ट्रीम करप्ट झाला आहे. मग रिसीव्हर प्रत्येक डेटा प्रवाहात 1 ची संख्या मोजा. मग ते सम समानतेसाठी VRC बिट्स तपासते.

अशा प्रकारे रिसीव्हर त्रुटी ओळखतो. एकापेक्षा जास्त बिट त्रुटी असल्यास, प्राप्तकर्ता पुनर्प्रेषण विनंती जारी करते.

VRC ची कामगिरी

a. VRC सर्व सिंगल बिट त्रुटी शोधू शकते.

b. जोपर्यंत बदललेल्या बिट्सची एकूण संख्या विषम आहे तोपर्यंत VRC बर्स्ट त्रुटी शोधण्यात सक्षम आहे.

b. 2 बिट्समध्ये त्रुटी असल्यास, VRC, पद्धत त्रुटी शोधण्यात अक्षम आहे.

1.4.2 LRC- अनुदैर्ध्य रिडंडंसी चेक (LRC- Longitudinal Redundancy Check):

हे पॅरिटी पद्धतीचा विस्तार आहे, ज्याचा वापर त्रुटी सुधारणे आणि शोधण्यासाठी केला जाऊ शकतो

LRC मध्ये, बिट्सचा ब्लॉक टेबलमध्ये म्हणजे पंक्ती आणि स्तंभांमध्ये आयोजित केला जातो.

उदाहरणार्थ,

जर डेटाच्या ब्लॉकमध्ये 32 बिट्स असतील तर ते 4 पंक्तींमध्ये दर्शवले जाईल आणि 8 स्तंभ

(i) डेटा ब्लॉक

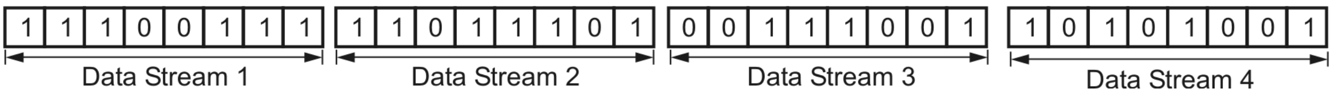


Figure 1.11

(ii) LRC बिट्ससह सारणी स्वरूपातील डेटाचा ब्लॉक

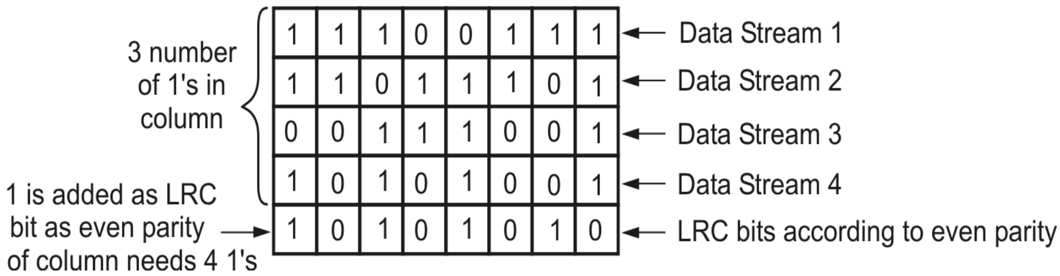


Figure 1.12

Figure1.12 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे, दिलेला डेटा प्रवाह टॅब्युलर फॉरमॅटमध्ये आणि नंतर LRC मध्ये लिहिलेला आहे.उल्लेख केलेल्या समता (एकतर सम किंवा विषम) विचारात घेऊन बिट्सची गणना केली जाते. अशा प्रकारे नवीन पंक्ती आठ बिट तयार केले आहेत.

नंतर LRC चे हे 8 पॅरिटी बिट्स मूळ डेटाशी संलग्न केले जातात आणि प्राप्तकर्त्याला पाठवले जातात.

LRC ची कामगिरी

a. LRC मुळे बर्स्ट त्रुटी शोधण्याची शक्यता वाढते.

b. n बिट्सची LRC n बिट्सची बर्स्ट त्रुटी सहजपणे शोधू शकते.

c. जर दोन डेटा स्ट्रीममधील दोन बिट्स चुकीचे असतील आणि दोन्ही डेटा स्ट्रीममधील बिट्सची बिट्सची स्थिती समान असेल, तर LRC त्रुटी शोधण्यात अयशस्वी ठरते.

त्रुटी शोधण्यासाठी LRC

LRC बिट्सच्या रूपात शेवटच्या पंक्तीसह 4 डेटा प्रवाह खालीलप्रमाणे आहेत.

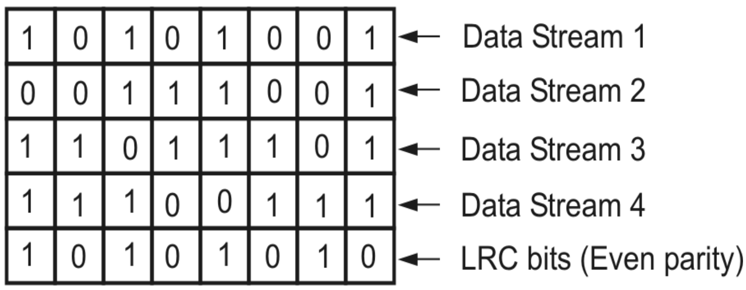


Figure 1.13

परंतु, असे गृहीत धरा की हे डेटा प्रवाह आता आठ लांबीच्या बर्स्ट त्रुटींमुळे प्रभावित झाले आहेत.त्यामुळे काही बिट्स खराब झाले आहेत.

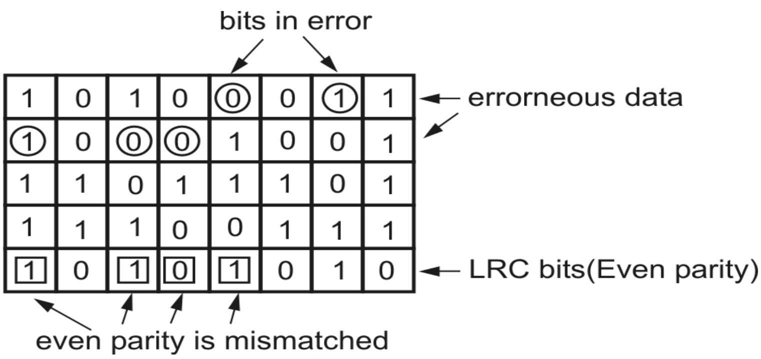


Figure 1.14

कारण, काही बिट्स LRC बिट्सच्या तपासणीद्वारे त्रुटीचे पालन करत नाहीत.

अशा प्रकारे, डेटाचा संपूर्ण ब्लॉक टाकून दिला जातो.

सिस्टमची अनावश्यकता आणि शक्ती ब्लॉकच्या लांबीवर अवलंबून असते.

याचा अर्थ, लांब ब्लॉक्स कमी रिडंडंसी प्रदान करतात परंतु खराब त्रुटी सुधारणे. हे आहे

कारण संपूर्ण विश्वासार्हतेसह प्रति ब्लॉक फक्त एक बिट दुरुस्त केला जाऊ शकतो

जेव्हा प्रत्येक ब्लॉकमध्ये एकापेक्षा जास्त त्रुटी असतात, तेव्हा डेटा ब्लॉक टाकून दिला जातो आणि विनंती केली जाते रीट्रांसमिशनसाठी रिसीव्हरद्वारे जारी केले जाते.

इष्टतम ब्लॉक लांबी चॅनेलच्या त्रुटी दरावर अवलंबून असते. एक लांब ब्लॉक होईल

काही त्रुटी असल्यास अनावश्यक माहितीचे प्रमाण कमी करा. उच्च चॅनेल दर.

त्याचीही गरज आहे

तसेच लांब ब्लॉकला अनेक रीट्रांसमिशन विनंत्या आवश्यक आहेत ज्यामुळे डेटा दर कमी होतो

उदा.खालील ब्लॉकमध्ये एक त्रुटी आहे- ब्लॉकमधील त्रुटी शोधा ऑड पॅरिटी वापरली जाते. VRC आणि LRC पद्धत वापरा.

0	1	1	1	1	0	1
0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	1	1
0	0	0	0	0	0	1
0	0	0	1	1	1	0
1	1	0	0	0	1	0
0	0	1	1	0	1	0
0	1	0	0	0	1	1

Figure 1.15

उत्तर:

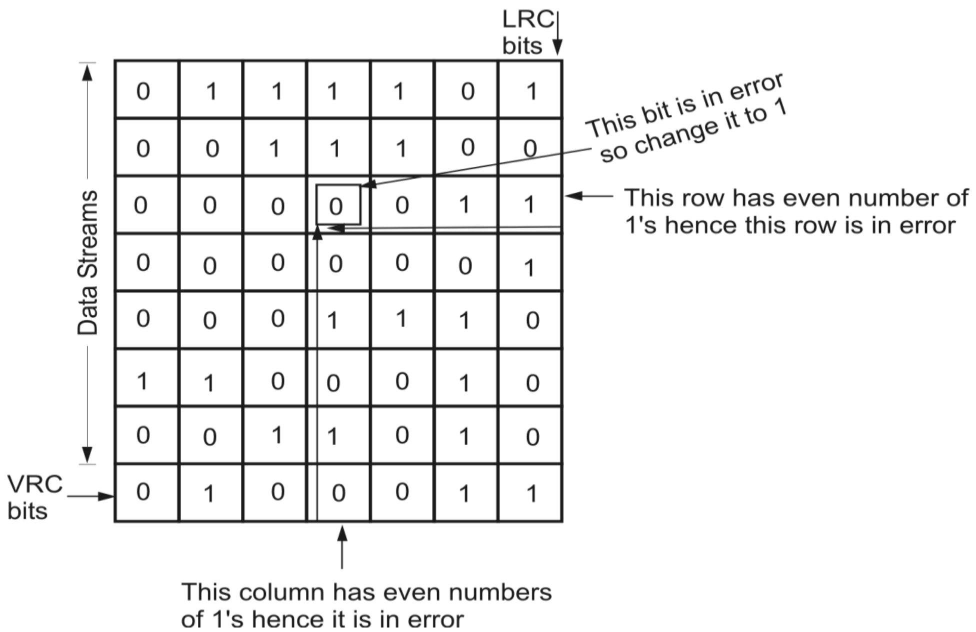


Figure 1.16

अशा प्रकारे तिसरी पंक्ती 000 **1** 0 11 असेल

1.4.3 चक्रीय रिडंडन्सी चेक (CRC) कोड (Cyclic Redundancy Check (CRC) code):

चक्रीय कोड रेखीय ब्लॉक कोडचा उपवर्ग बनवतात.

चक्रीय कोडचे फायदे आहेत:

(i) ते एन्कोड करणे सोपे आहे.

(ii) त्यांच्याकडे सु-परिभाषित गणितीय रचना आहेत.

(iii) चक्रीय कोडसाठी चांगल्या कार्यक्षम डिकोडिंग योजना उपलब्ध आहेत.

व्याख्या

बायनरी कोडमध्ये दोन गुणधर्म असल्यास त्याला चक्रीय कोड म्हटले जाते:

(i) रेखीय गुणधर्म: कोडमधील कोणत्याही दोन कोडवर्ड्सची बेरीज देखील एक कोडवर्ड आहे.

(ii) चक्रीय गुणधर्म: कोडमधील कोडवर्डचे कोणतेही चक्रीय शिफ्ट देखील एक कोडवर्ड आहे

CRC कोडची वैशिष्ट्ये/फायदे

1. या बिट प्रवाहामध्ये केवळ 0 आणि 1 सह गुणांक असलेल्या बहुपदी द्वारे दर्शविले जाते.

2. Modulo 2 अंकगणित वापरले जाते.

3. हे तंत्र पॅरिटी चेक आणि चेकसम त्रुटी शोधण्याच्या पद्धतींपेक्षा अधिक शक्तिशाली आहे.

4. CRC शेष जोडल्यानंतर परिणामी डेटा युनिट दुसऱ्या पूर्वनिर्धारित बायनरी संख्येद्वारे तंतोतंत विभाज्य बनते.

5. सीआरसी कोडमध्ये, प्रेषक आणि प्राप्तकर्ता समान जनरेटर बहुपदी g(x) वर सहमत आहेत. दिलेल्या डेटा शब्द बहुपदीवरून कोडवर्डचे मूल्यमापन करण्यासाठी साध्या लांब भागाकार पद्धतीचा वापर केला जातो.

CRC कोड निर्मिती: Figure 1.17 पहा. हे CRC कोडची निर्मिती आणि शोध दर्शवते

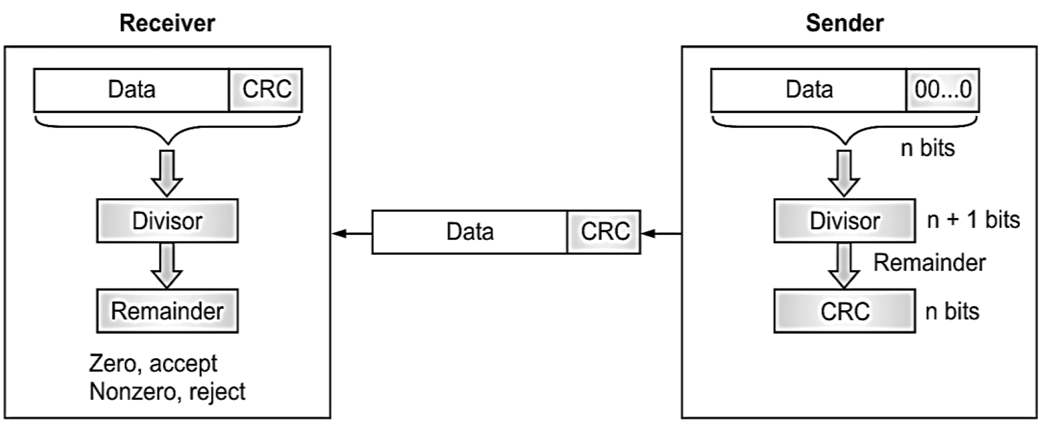


Figure 1.17: सीआरसी कोडची निर्मिती आणि शोध

सीआरसी निर्मितीसाठी चरणबद्ध प्रक्रिया

1. डेटा युनिटमध्ये शून्याच्या n संख्येची स्ट्रिंग जोडा. (n= पूर्वनिर्धारित विभाजकातील बिट्सच्या संख्येपेक्षा 1 कमी)

2. विभाजकाने नव्याने तयार केलेल्या डेटा युनिटचे बायनरी विभाजन करा.

3. चरण 2 मध्ये मिळालेली उरलेली रक्कम सीआरसीशिवाय काही नाही.

4. हा CRC स्टेप 1 मध्ये डेटा युनिटमध्ये जोडलेल्या 0s च्या n क्रमांकाची जागा घेतो आणि कोडवर्ड प्राप्त होतो.

सीआरसी रिसीव्हर / सीआरसी तपासकांसाठी चरणबद्ध प्रक्रिया

1. प्राप्त कोडवर्ड डेटा आणि CRC चे संयोजन आहे.

2. हे एक पूर्ण युनिट मानले जाते आणि जनरेटरच्या समान विभाजकाने विभाजित केले जाते.

3. उर्वरित तपासा

4. उर्वरित शून्य असल्यास डेटा युनिटला त्रुटी मुक्त म्हटले जाते. जर उर्वरित शून्य नसेल तर याचा अर्थ प्राप्त डेटा युनिटमध्ये त्रुटी आहे. अशा प्रकारे, प्राप्त डेटा युनिट नाकारले जाते.

हे कोड बर्स्ट ऑफ एरर शोधण्यासाठी योग्य आहेत.

'n' बिट प्राप्त झालेल्या शब्दात एरर बर्स्टची लांबी 'b' असू द्या. त्रुटी फोडणे आहे

बी बिट्सचा सलग क्रम, ज्यामध्ये मध्यवर्ती कोणत्याही संख्येचे पहिले आणि शेवटचे बिट

बिट्स चुकून प्राप्त होतात.

सामान्यतः (n, k) CRC कोड खालील त्रुटी नमुने शोधू शकतो:

(a) सर्व त्रुटी (n – k) किंवा त्याहून कमी लांबीच्या फुटतात.

(b) n – k + 1 च्या लांबीच्या एरर बर्स्टचा अपूर्णांक. अपूर्णांक $1 - 2^{-(n-k-1)}$ च्या बरोबरीचा आहे.

(c) त्रुटीचा एक अंश (n – k + 1) पेक्षा जास्त लांबीचा फुटतो. अपूर्णांक $1 - 2^{-(n-k-1)}$ च्या बरोबरीचा आहे.

(d) dmin चे सर्व संयोजन – 1 (किंवा कमी) त्रुटी.

(e) कोडसाठी जनरेटर बहुपदी g(x) मध्ये शून्य नसलेल्या गुणांकांची सम संख्या असल्यास त्रुटींच्या विषम संख्येसह सर्व त्रुटी नमुने.

Figure 1.4 हे आंतरराष्ट्रीय स्तरावर स्वीकारलेले मानक CRC कोड दाखवते.

Table 1.4: CRC codes (International standards)

Sr. No.	Code	Generator polynomial g(x)	n – k
1.	CRC – 12 code	$1 + x + x^2 + x^3 + x^{11} + x^{12}$	12
2.	CRC – 16 code	$1 + x^2 + x^{15} + x^{16}$	16
3.	CRC – CCITT code	$1 + x^5 + x^{12} + x^{16}$	16

सीआरसी कोडचे उपयोग

इथरनेट प्रोटोकॉल सीआरसी कोड वापरतात. वापरलेले CRC कोड 32 रिडंडन्सी बिट्स जोडतात आणि हे जनरेटर बहुपदी म्हणून दिले आहे

$$g(x)= x^{32} + x^{26} + x^{23} + x^{22} + x^{16} + x^{12} + x^{11} + x^{10} + x^8 + x^7 + x^5 + x^4 + x^2 + x + 1$$

मानक इथरनेट प्रोटोकॉल k = 512 ते 12144 बिट वापरतो. त्यानंतर n – k = 32 अनावश्यक बिट्स.

चक्रीय कोडवरील उदाहरणे

उदा.

I) डेटा शब्द 110101011 साठी CRC कोड व्युत्पन्न करा हा भाजक 01011 आहे

उत्तर:

दिलेले: (i) डेटावर्ड: 110101011

(ii) भाजक: 1011

डेटा बिट्सची संख्या = m = 9.

कोडवर्डमधील बिट्सची संख्या = N.

लाभांश = डेटा शब्द + शून्यांची संख्या

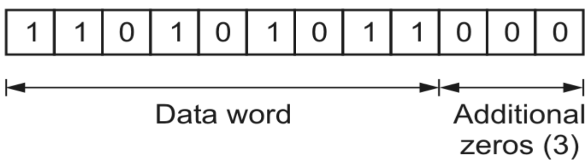


Figure 1.18

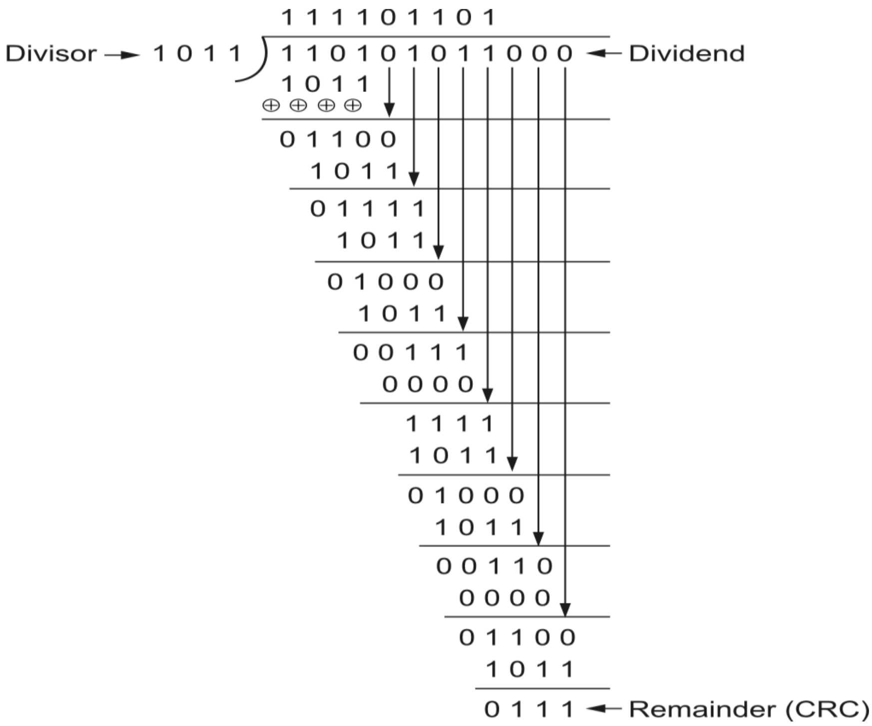


Figure 1.19

अंतिम कोडेड डेटावर्ड आहे

1 1 0 1 0 1 0 1 1	1 1 1

1.4.4 चेकसम (Checksum):

या पद्धतीमध्ये, 1 चे पूरक अंकगणित किंवा बुलियन जोडणी वर केली जाते डेटा प्रसारित करणे.

ट्रान्समीटरवर चेकसमसाठी चरणांचे अनुसरण केले.

(I) ट्रान्समीटरवर, डेटा युनिट n बिट्सच्या समान विभागांमध्ये विभागलेले आहे.

(II) हे विभाग नंतर 1 चे पूरक अंकगणित वापरून एकत्र जोडले जातात. चेकसम एकूण n बिट्स राखण्यासाठी शेवटच्या कॅरीकडे दुर्लक्ष केले जाते.

(III) एकूण नंतर पूरक केले जाते आणि मूळ डेटा युनिटच्या शेवटी जोडले जाते. ते रिडंडंट बिट म्हणून मानले जाईल. अशा प्रकारे, हा विस्तारित डेटा ब्लॉक नंतर प्रसारित केला जातो. प्राप्तकर्त्यावर चेकसम चेकसाठी चरणांचे अनुसरण केले.

(I) प्राप्तकर्ता डेटा युनिटचे उपविभाजन करतो आणि डेटा युनिटचे सर्व विभाग जोडतो आणि परिणामांना पूरक असतो.

(II) विस्तारित डेटा युनिटमध्ये कोणतीही त्रुटी नसल्यास डेटा युनिट्स आणि चेकसमचे एकूण मूल्य शून्य आहे. अन्यथा, डेटा युनिटमध्ये त्रुटी आहेत.

उदा.

खालील संदेश क्रमांसाठी चेकसम पूर्ण करा.

m_1 = 10101001, m_2 = 00111001

m_3 = 00110011, m_4 = 10101010

उत्तर:

Ignore the final carry

Carry → (1)	1	(10)	(1)	(1)		(1)	(1)	
m_1 →	1	0	1	0	1	0	0	1
m_2 →	0	0	1	1	1	0	0	1
m_3 →	0	0	1	1	0	0	1	1
m_4 →	1	0	1	0	1	0	1	0
Sum →	1	0	1	1	1	1	1	1
1's Complement → Check-Sum	0	1	0	0	0	0	0	0

Figure 1.20

1.5 त्रुटी सुधारणे कोड (Error correction codes):

दोन प्रकारच्या त्रुटी नियंत्रण पद्धती

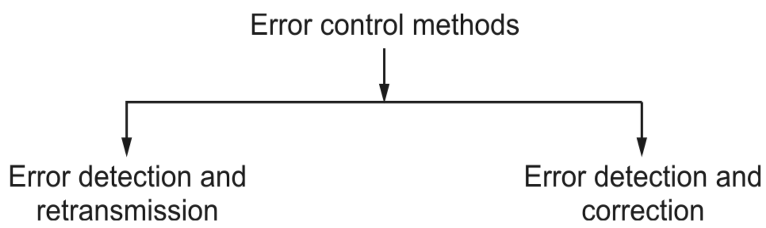


Figure 1.21

(a) एरर डिटेक्शन आणि रीट्रांसमिशन ARQ (स्वयंचलित पुनरावृत्ती विनंती) दृष्टीकोन

प्राप्तकर्त्यास त्रुटी आढळते. ते नंतर ट्रान्समिटरला पुन्हा ट्रान्समिशनसाठी विनंती करते.

म्हणून, प्राप्तकर्ता आढळलेली त्रुटी सुधारत नाही.

पॉइंट-टू-पॉइंट कम्युनिकेशन लिंक्समध्ये ही पद्धत उपयुक्त आहे.

तथापि, ते रिअल टाइम ऍप्लिकेशन्समध्ये योग्य नाही, कारण एकूणच विलंब होत आहे

पुनर्प्रसारण अधिक आहे. याव्यतिरिक्त, ते प्रसारण हेतूंसाठी योग्य नाही.

बहुतेक, ते संगणक संप्रेषणांमध्ये वापरले जाते. याचे कारण म्हणजे संगणक संवाद असिंक्रोनस आहे.

(b) त्रुटी शोधणे आणि दुरुस्त करणे

या पद्धतीमध्ये, FEC (फॉरवर्ड एरर करेक्शन) कोड वापरले जातात. हे कोड बनवतात

प्राप्तकर्ता त्रुटी शोधतो आणि दुरुस्त करतो.

हे मुख्यतः पॉइंट-टू-मल्टीपॉइंट कम्युनिकेशन लिंक्समध्ये वापरले जाते.

तोटे

a. दुरुस्त करण्याच्या हेतूने, कोडमध्ये अधिक रिडंडंसी किंवा अतिरिक्त बिट आवश्यक आहेत.

b. हे अतिरिक्त बिट्स रीट्रांसमिशन पद्धतींच्या तुलनेत ओव्हरहेड अधिक वाढवतात.

त्रुटी सुधार कोडचे वर्गीकरण

(a) ब्लॉक कोड

(b) कंव्होल्युशनल कोड.

हे वर्गीकरण एन्कोडरमधील मेमरीची उपस्थिती आणि अनुपस्थितीवर अवलंबून आहे.

1.5.1 रेखीय ब्लॉक कोड (Linear Block Codes):

रेखीय कोडमध्ये, पॅरिटी बिट्स संदेश बिट्सच्या रेखीय संयोजनाच्या रूपात व्युत्पन्न केले जातात.

ब्लॉक कोडमध्ये एन्कोडर के-बिट संदेश ब्लॉक स्वीकारतो आणि एन-बिट कोडवर्ड तयार करतो. अशा प्रकारे, कोडवर्ड ब्लॉक आधारावर ब्लॉकवर तयार केले जातात.

कोणत्याही 2 कोडवर्डची बेरीज (+, मोड्युलो - 2 अंकगणित) वैध कोडवर्ड असल्यास ब्लॉक कोडला लिनियर ब्लॉक कोड म्हटले जाते. Modulo-2 adder वापरून लिनियर ब्लॉक कोड सहज तयार किंवा लागू केला जाऊ शकतो. आम्ही असे गृहीत धरतो की माहिती स्त्रोताचे आउटपुट हे बायनरी अंक "0" किंवा "1" चा एक क्रम आहे. ब्लॉक कोडिंगमध्ये, हा बायनरी माहिती क्रम निश्चित लांबीच्या संदेश ब्लॉक्समध्ये विभागला जातो; प्रत्येक संदेश ब्लॉक, u द्वारे दर्शविलेल्या, k माहिती अंकांचा समावेश आहे. 2k वेगळे संदेश आहेत. एन्कोडर, काही नियमांनुसार, प्रत्येक इनपुट संदेश u ला n> k सह बायनरी n-tuple v मध्ये रूपांतरित करतो. या बायनरी n-ट्यूपल v ला यू संदेशाचा कोड शब्द (किंवा कोड वेक्टर) म्हणून संबोधले जाते.

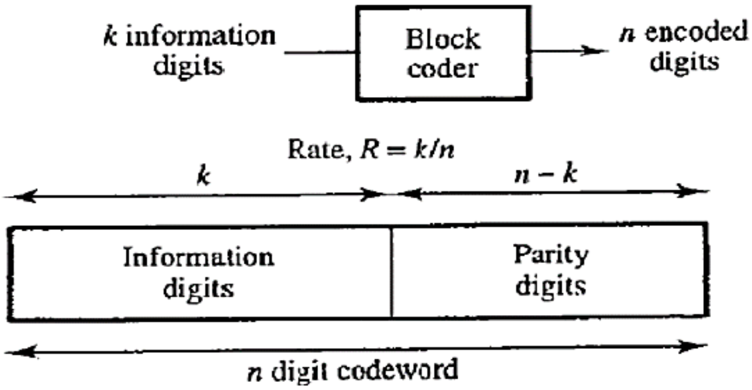


Figure 1.22

म्हणून, 2k संभाव्य संदेशांशी संबंधित, 2k कोड शब्द आहेत. 2k कोड शब्दांच्या या संचाला ब्लॉक कोड म्हणतात. ब्लॉक कोड उपयोगी होण्यासाठी, 2k कोड शब्द वेगळे असणे आवश्यक आहे. म्हणून, संदेश u आणि त्याचा सांकेतिक शब्द v यांच्यात वन-टू-वन पत्रव्यवहार असावा.

व्याख्या : n आणि 2k कोड शब्दांच्या लांबीच्या ब्लॉक कोडला रेखीय (n, k) कोड असे म्हणतात जर आणि फक्त जर त्याचे 2k कोड शब्द GF(2) फील्डवरील सर्व n-ट्यूपल्सच्या वेक्टर स्पेसचे k-आयामी उपस्थान बनवतात. खरं तर, बायनरी ब्लॉक कोड रेखीय असतो जर आणि फक्त जर दोन कोड शब्दांची मोड्युलो-2 बेरीज देखील कोड शब्द असेल.

या कोडमधील कोणत्याही दोन सांकेतिक शब्दांची बेरीज ही एक सांकेतिक शब्द आहे हे सहज तपासता येते.

(n,k) ब्लॉक कोडसाठी;

n – k = समता बिट्सची संख्या

k = डेटा बिट्सची संख्या

n = कोडवर्डमधील बिट्सची संख्या

अशा प्रकारे, कोड रेट = k/n

कोड कार्यक्षमता = k/n x 100%

रेखीय ब्लॉक कोडसाठी अंजीर मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे कोड शब्दांची पद्धतशीर रचना आहे

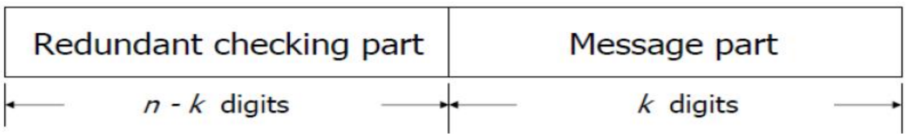


Figure 1.23

जिथे एक सांकेतिक शब्द दोन भागात विभागलेला असतो; संदेशाच्या भागामध्ये k माहिती अंक असतात. रिडंडंट चेकिंग भागामध्ये n – k पॅरिटी-चेक अंक असतात.

या संरचनेसह रेखीय ब्लॉक कोडला रेखीय पद्धतशीर ब्लॉक कोड म्हणून संबोधले जाते

1.5.2 ब्लॉक कोडमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या संज्ञा

1. कोडवर्ड

माहिती डेटाच्या प्रत्येक ब्लॉकमध्ये 'k' बिट असू द्या. एन्कोडर एकूण 'एन' बिट्सचा ब्लॉक तयार करतो

n = r + k ... [n > k]

n = ब्लॉकमधील बिट्सची एकूण संख्या

k = माहिती बिट्सची संख्या

r = अनावश्यक बिट्स

म्हणून, एन्कोडर k मेसेज बिट्समध्ये 'r' रिडंडंट बिट्स जोडतो. हे त्रुटी सुधारण्याच्या उद्देशाने आहे.

म्हणून कोडवर्ड n = r + k सह डेटाचा 'n' बिट ब्लॉक म्हणून परिभाषित केला आहे

Figure 1.23 पहा

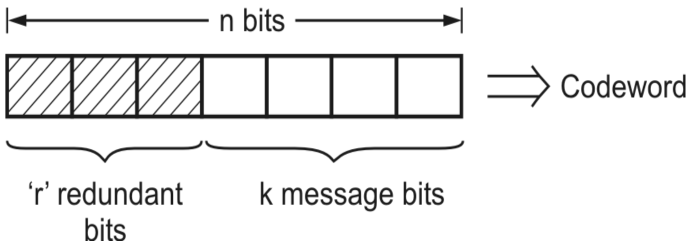


Figure 1.24

येथे, एन्कोडरने (n, k) ब्लॉक कोड व्युत्पन्न केल्याचे म्हटले आहे.

2. ब्लॉक लांबी

कोडवर्ड (n) मधील एकूण बिट्सला 'कोडची ब्लॉक लांबी' असे म्हणतात.

3. कोड दर

कोड रेट हे कोडवर्डमधील एकूण बिट्सच्या संदेशाच्या बिट्सच्या संख्येचे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले आहे.

$r = k/n, 0 < r < 1$

कोड कार्यक्षमता = k/n

कोड रेट जितका लहान असेल तितका रिडंडंसी जास्त. हे कोड कार्यक्षमता म्हणून देखील ओळखले जाते

4. हॅमिंग वजन

कोडवर्डचे हॅमिंग वेट हे त्यातील शून्य नसलेल्या घटकांच्या संख्येइतके असते.

उदा.

जर C कोडवर्ड दर्शवत असेल, तर हॅमिंग वेट W(C) म्हणून दर्शविले जाते.

Table 1.5: Examples of Hamming Weight

Sr. No.	Codeword (C)	Hamming weight W(C)
1	0010	1

2	0110100	3
3	000000	0

5. हॅमिंग अंतर

दोन कोडवर्ड्समधील हॅमिंग अंतर म्हणजे कोडवर्ड्समध्ये भिन्न असलेल्या ठिकाणांची संख्या.

C1 आणि C2 या दोन कोडवर्ड्समधील हॅमिंग अंतर d (C1, C2) म्हणून दर्शविले जाते.

उदा.

1. C_1 = 1010,

C_2 = 0101

d (C_1, C_2) = 4. Because,

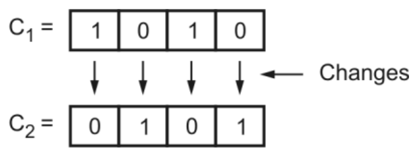


Figure 1.25

2. C_1 = 0110,

C_2 = 0101

d (C_1, C_2) = 2. Because,

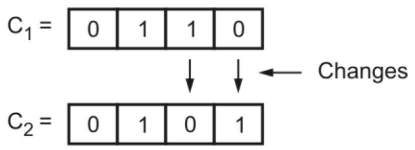


Figure 1.26

6. ब्लॉक कोड

हा निश्चित लांबीच्या कोडवर्डचा (n, k) संच आहे.

7. किमान अंतर

कोडचे किमान अंतर हे कोणत्याही जोडीमधील सर्वात लहान हॅमिंग अंतर आहे कोडमधील कोडवर्ड्सचे.

हॅमिंगने किमान अंतर आणि त्रुटी यांच्यातील संबंध दर्शविला कोडची नियंत्रण क्षमता.

(1) (d_{min} -1)/2 , d_{min} विषम असल्यास चुका दुरुस्त केल्या जाऊ शकतात.

(2) (d_{min} -2)/2 त्रुटी दुरुस्त केल्या जाऊ शकतात आणि d_{min} सम असल्यास dmin ≥ त्रुटी शोधल्या जाऊ शकतात.

1.5.3 हॅमिंग कोड :

हॅमिंग कोड त्रुटी सुधारण्याच्या उद्देशाने वापरले जातात.

हे कोड प्रत्यक्षात किमान अंतर d_{min} = 3 साठी विकसित केले गेले होते. म्हणून,

हॅमिंग कोडच्या मदतीने जास्तीत जास्त त्रुटी शोधल्या जाऊ शकतात 2 आणि दुरुस्त करता येणाऱ्या त्रुटींची संख्या 1 आहे.

हॅमिंग कोड (n, k) कोड असा आहे की,

(1) $n = 2^m - 1$ जेथे m पूर्णांक आहे आणि m > = 3

(2) $k = n - m$

जर m = 3, $n = 2^3 - 1 = 8 - 1 = 7$ आणि $k = n - m = 7 - 3 = 4$

(n, k) = (7, 4)

हॅमिंग कोडमध्ये, हॅमिंग बिट्स म्हणून ओळखले जाणारे अतिरिक्त चेक बिट्स संदेश ब्लॉकमध्ये जोडले जातात.जोडण्यासाठी चेक बिट्सची संख्या ब्लॉकच्या लांबीवर अवलंबून असते.हॅमिंग बिट्सची किमान संख्या द्वारे दिली जाते,

$$2^n \geq m + n + 1$$

जेथे n = हॅमिंग बिट्सची संख्या; m = संदेश ब्लॉकमधील बिट्सची संख्या

अशा प्रकारे, डेटा ब्लॉक जितका जास्त असेल तितके चेक बिट्सची संख्या कमी असेल

हॅमिंग बिट्स आवश्यक आहेत.

संदेश ब्लॉक एन्कोडिंगसाठी हॅमिंग अल्गोरिदम

पायरी **1:** $2^n \geq m + n + 1$ साठी आवश्यक असलेल्या अनावश्यक बिट्स किंवा चेक बिट्स किंवा हॅमिंग बिट्सची संख्या मोजा

पायरी **2:** अनावश्यक बिट्सची स्थिती निश्चित करा.

पायरी **3:** पॅरिटी बिट्सच्या मूल्यांची गणना करा

हॅमिंग कोडचे उदाहरण

सम समानता गृहीत धरून हॅमिंग कोड वापरून डेटा ब्लॉक 1011 एन्कोड करा.

उत्तर: पायरी **1:** आवश्यक पॅरिटी बिट्सची संख्या याप्रमाणे दिली आहे

$$2^n \geq m + n + 1 \ldots (m = 4)$$

For n = 3, $2^3 \geq 4 + 3 + 1$

$8 \geq 8$, $8 = 8$

त्यामुळे समीकरण समाधानी आहे. अशा प्रकारे, असा निष्कर्ष काढला जाऊ शकतो की 3 पॅरिटी

बिट्स आवश्यक आहेत. [जर n = 2 घेतले तर, समीकरण समाधानी नाही म्हणून n= 3 बरोबर असावे]

पायरी **2:** समता बिट्सची स्थिती निश्चित करणे.

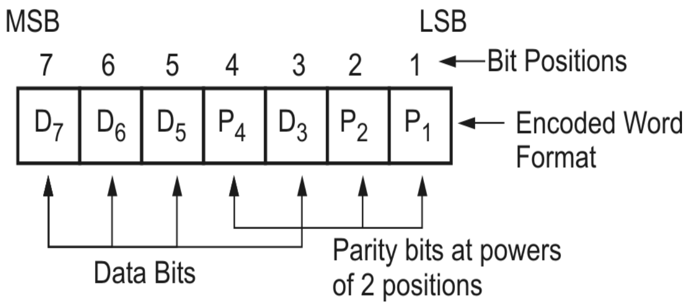


Figure 1.27

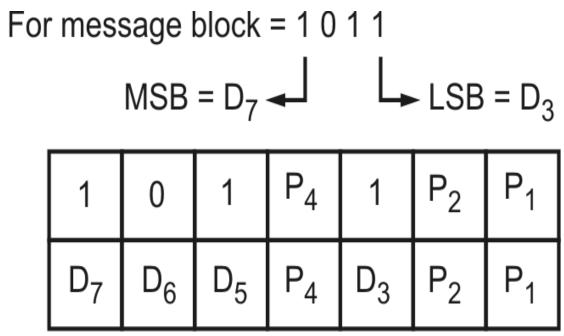


Figure 1.28

पायरी **3:** पॅरिटी बिट्सची गणना.

(i) P1 साठी

नियम - 1 बिट तपासा, 1 बिट वगळा

म्हणून, P1 साठी, सम समतेसाठी बिट्स (P1, D3, D5, D7) तपासावे लागतील आणि बिट्स (P2, P4, D6) वगळले जातील.

P_1	D_3	D_5	D_7
?	1	1	1

4 P_1 = 1 for even parity setting

(ii) P2 साठी

नियम - 2 तपासा, 2 बिट वगळा

P_1	D_3	6	D_7

4 P_2 = 0 for even parity setting

?	1	0	1

(iii) P4 साठी

नियम - 4 बिट तपासा, 4 बिट्स वगळा

P_4	D_5	D_6	D_7
?	1	0	1

4 P_4 = 0 for even parity setting

गणना केलेली पॅरिटी बिट मूल्ये त्याच्या संबंधित स्थानांवर एन्कोड केलेल्या शब्द स्वरूपात ठेवणे

4

D_7	D_6	D_5	P_5	D_3	P_2	P_1
1	0	1	0	1	0	1

म्हणून, एन्कोड केलेला शब्द [1010101] आहे

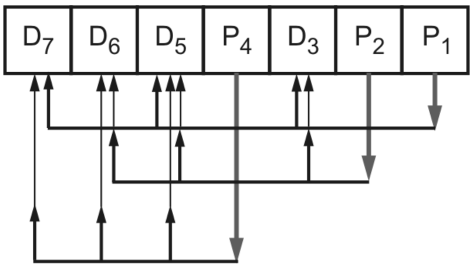


Figure 1.29

1.6 लाइन कोडिंग **(Line Coding):**

1.6.1 लाइन कोडिंगची आवश्यकता**:**

लाइन कोडिंग बिट्सच्या क्रमाला डिजिटल सिग्नलमध्ये रूपांतरित करते

1.6.2 लाइन कोडचे गुणधर्म**:**

1. ट्रान्समिशन बँडविड्थ (Transmission bandwidth)

2. पॉवर कार्यक्षमता (Power efficiency)

3. त्रुटी शोधणे आणि सुधारण्याची क्षमता (Error detection and correction capability)

4. अनुकूल शक्ती वर्णक्रमीय घनता (Favourable power spectral density)

5. स्वयं-घड्याळ (Self-clocking)

6. आवाज प्रतिकारशक्ती (Noise immunity)

1. ट्रान्समिशन बँडविड्थ

ते शक्य तितके लहान असावे.

काही बहुस्तरीय कोड परवानगी देऊन बँडविड्थ वापराची कार्यक्षमता वाढवतात

दिलेल्या डेटा दरासाठी आवश्यक बँडविड्थमध्ये घट. म्हणून, अधिक माहिती प्रति युनिट बँडविड्थ प्रसारित केले जाते.

2. पॉवर कार्यक्षमता

दिलेल्या बँडविड्थ आणि निर्दिष्ट शोध त्रुटी संभाव्यतेसाठी, प्रसारित शक्ती लहान असावी.

3. त्रुटी शोधणे आणि सुधारण्याची क्षमता

दिलेल्या डेटा फॉरमॅटसह त्रुटी शोधणे आणि दुरुस्त करणे शक्य झाले पाहिजे.

उदा. बायपोलर कोडिंग (Bipolar Coding)

4. अनुकूल शक्ती वर्णक्रमीय घनता

w = 0(DC) वर शून्य PSD असणे इष्ट आहे. अशा प्रकारे, डीसी घटक काढून टाकणे

सिग्नल्समधून पॉवर स्पेक्ट्रम प्रणालीला एसी जोडण्यास सक्षम करते.

म्हणून, ते एसी कपलिंग आणि ट्रान्सफॉर्मरमध्ये वापरले जाऊ शकते, जे मध्ये वापरले जाते

रिपीटर्स याव्यतिरिक्त, AC कपलिंग आवश्यक आहे कारण प्रदान केलेले DC पथ

पॉवर म्हणून वापरले जातात

कमी फ्रिक्वेंसी घटकांमध्ये जास्त शक्ती माहितीचे नुकसान होऊ शकते.

5. सेल्फ क्लॉकिंग

कोणत्याही डिजिटल कम्युनिकेशन सिस्टमसाठी बिट सिंक्रोनाइझेशन

आवश्यक आहे. काही लाइन कोडमध्ये सिंक्रोनाइझ आणि क्लॉकिंग वैशिष्ट्ये

अंतर्निहित क्षमता आहेत.

यामुळे, क्लॉकिंग ची पुनर्प्राप्ती केली जाऊ शकते. उदा., विभाजित टप्प्यात मँचेस्टर,

प्रत्येक बिट मध्यांतराच्या मध्यभागी संक्रमण होते. हे हमी दिलेले संक्रमण

क्लॉकिंग सिग्नल प्रदान करते

6. आवाज प्रतिकारशक्ती

काही लाइन कोड इतरांपेक्षा आवाजापासून सुरक्षित असतात. उदाहरणार्थ, NRZ स्वरूप RZ स्वरूपापेक्षा चांगली आवाज प्रतिकारशक्ती आहे.

तथापि, वापरलेल्या डेटा फॉरमॅटकडे दुर्लक्ष करून डिजिटल डेटा योग्यरित्या पाठविण्याचे आश्वासन असले पाहिजे. म्हणून, लाइन कोड पारदर्शक असावेत.

1.6.3 व्याख्या:

ट्रान्समिशन चॅनेलद्वारे बायनरी अंकांचे प्रसारण करण्यासाठी वापरल्या जाणाऱ्या व्होल्टेज किंवा करंटच्या वेव्हफॉर्म पॅटर्नला 'डेटा फॉरमॅट' म्हणतात.

PCM वापरून, ॲनालॉग वेव्हफॉर्म बायनरी अंकांमध्ये रूपांतरित केले जातात. हे अंक संदेश माहितीचे वर्णन करण्याचा फक्त एक मार्ग आहेत.

प्रक्रियेत त्यात काहीही भौतिक नाही. म्हणून, आपल्याला असे काहीतरी भौतिक विकसित करण्याची आवश्यकता आहे जे या अंकांचे प्रतिनिधित्व करेल.

रेषा कोड हे फक्त अंकांचे ग्राफिकल प्रतिनिधित्व आहेत. माहितीमध्ये कोणताही बदल होणार नाही. हे माहिती न बदलता शब्द दस्तऐवजाचे स्वरूपन करण्यासारखे आहे.

लाइन कोडचे प्रकार:

लाइन कोडचे प्रकार आहेत:

a. युनिपोलर:(i) युनिपोलर RZ (ii) युनिपोलर NRZ
b. पोलर (Polar):(i) पोलरRZ (ii) पोलर NRZ
c. स्प्लिट फेज मँचेस्टर (Split phase Manchester)
d. बायपोलर NRZ/अल्टरनेटिव्ह मार्क इनव्हर्शन (AMI)/ स्यूडो-टर्नरी

Bipolar NRZ/Alternate Mark Inversion (AMI)/ Pseudo-ternary.

डेटा फॉरमॅटचे तपशील Table 1.6 मध्ये दिले आहेत

Table 1.6 Summary of Line Codes

Sr. no.	Name of the data format	Representation of logic 0	Representation of logic 1	Graphical representation	Advantages	Disadvantages	Application
1.	Unipolar RZ (simple ON OFF structure	OFF pulse zero amplitude	ON pulse with amplitude +V	Refer Fig. 1.30	1) Simple 2) The presence of	1) No error	Baseband data transmission,

Sr. no.	Name of the data format	Representation of logic 0	Representation of logic 1	Graphical representation	Advantages	Disadvantages	Application
	with half bit period)		with duration = $T_b/2$		spectral line can be treated as clock	correction done 2) Requires double bandwidth as that of unipolar NRZ format 3) Signal drop may occur	Magnetic data recording
2.	Unipolar NRZ (simple ON-OFF structure with half bit period)	OFF pulse with zero amplitude	ON pulse with amplitude +V of duration= T_b	Refer Fig. 1.31	1) Simple 2) Less bandwidth is required	1) No error correction done)No clock is present 3) Loss of synchronization may occur Presence of low frequency components may cause signal droop	Internal computer waveforms, Many digital logic circuits.

Sr. no.	Name of the data format	Representation of logic 0	Representation of logic 1	Graphical representation	Advantages	Disadvantages	Application
3.	Polar RZ	Negative pulse with amplitude – and duration =	Positive pulse with amplitude + with duration =	Refer Fig. 1.32	1) Simple 2) No low frequency components present	1) No error correction 2) No clock present 3) Double bandwidth as that of polar NRZ 4) Signal droop may occur	
4.	Polar NRZ	Negative pulse with amplitude – and duration = T_b	Positive pulse with amplitude + with duration = T_b	Refer Fig. 1.33	1) Simple 2) No low frequency components present	1) No error correction 2) No clock present) Signal drop may occur	RS232 based protocols
5.	Split phase Manchester	Pulse from – to + with duration = T_b	Pulse from + to – with duration = T_b	Refer Fig. 1.34	) It does not have any DC components 2) Built in synchronization capability as it crosses zero at regular intervals	1)Bandwidth required is twice the unipolar NRZ, Bipolar NRZ format	Magnetic recording systems, optical communications, some satellite telemetry links, LAN networking

<table>
<tr><th>Sr. no.</th><th>Name of the data format</th><th>Representation of logic 0</th><th>Representation of logic 1</th><th>Graphical representation</th><th>Advantages</th><th>Disadvantages</th><th>Application</th></tr>
<tr><td>6.</td><td>Bipolar NRZ /Alternative mark inversion (Mark means logic 1)</td><td>Off pulse of duration = T_b</td><td>Successive 1's are represented by alternating polarity. E.g. first 1 with + V and second 1 with – V polarity</td><td>Refer Fig. 1.35</td><td>1) Simple
2) No low frequency components present
3) Error detection capability is present
4) No signal drooping
5) Requires less bandwidth</td><td>1) No clock present
2) Long strings of data may cause loss of synchronization</td><td>Many digital continuous wave modulation techniques</td></tr>
<tr><td>7.</td><td>Polar Quaternary</td><td colspan="2">It is derived by grouping the data bits in two bits per group. Hence four possible combinations available as shown.
<table>
<tr><th>Data bits combinations</th><th>Voltage levels used for representation</th></tr>
<tr><td>00</td><td>-3V/2</td></tr>
<tr><td>01</td><td>-V/2</td></tr>
<tr><td>10</td><td>V/2</td></tr>
<tr><td>11</td><td>3V/2</td></tr>
</table></td><td>Refer Fig. 1.36</td><td>No DC component present</td><td>Quiet complicated as compared to other line coding techniques</td><td>Used in ISDN and HDSL digital subscriber lines</td></tr>
</table>

Sr. no.	Name of the data format	Representation of logic 0	Representation of logic 1	Graphical representation	Advantages	Disadvantages	Application
8.	NRZ L	OFF pulse for 0	ON pulse for 1	Refer Fig. 1.37	Simple	Presence of DC component	Digital communicate applications
9.	NRZ I	No change in pulse level	Change in pulse level	Refer Fig. 1.38	Simple	Presence of DC component	Digital communicate applications
10.	Manchester	Pulse from + v/2 to – v/2	Pulse from – v/2 to v/2	Refer Fig. 1.39	No DC component	High Bandwidth needed	Optical communications
11.	Differential manchester	–	–	Refer Fig. 1.40	No DC Component	High Bandwidth needed	Optical communications

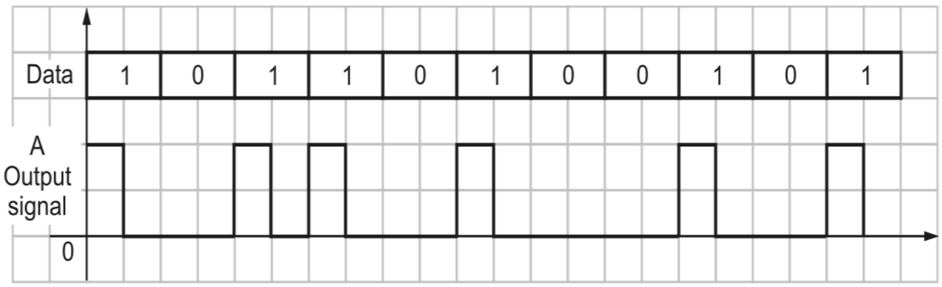


Figure 1.30 Unipolar RZ format

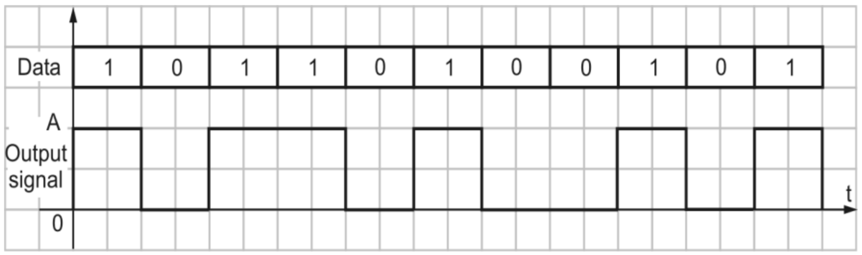


Figure 1.31 Unipolar NRZ format

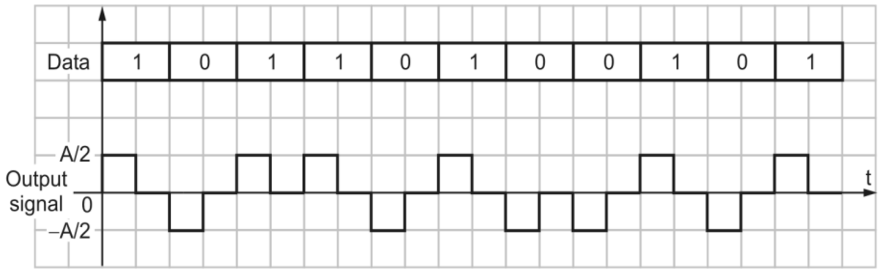


Figure 1.32 Polar RZ format

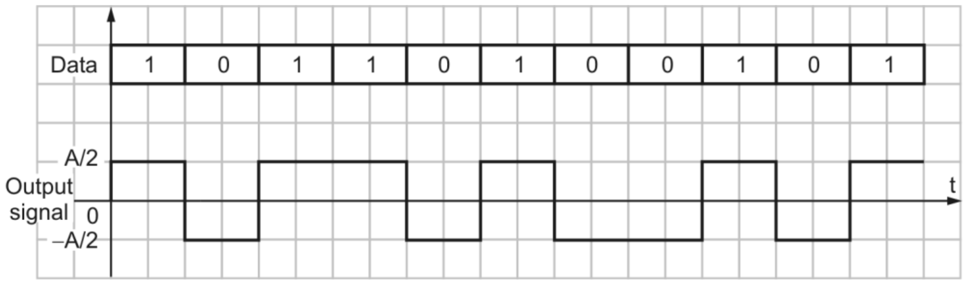


Figure 1.33 Polar NRZ format

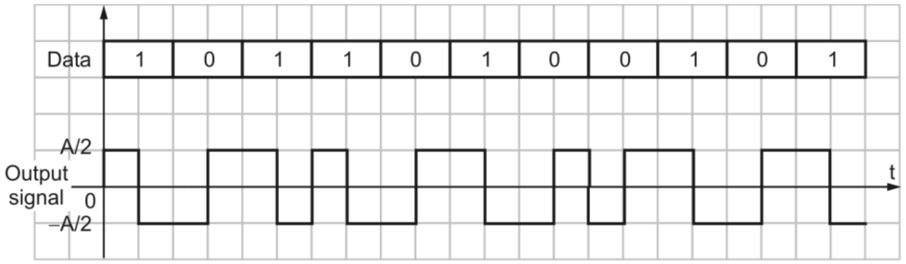


Figure 1.34 Split phase Manchester

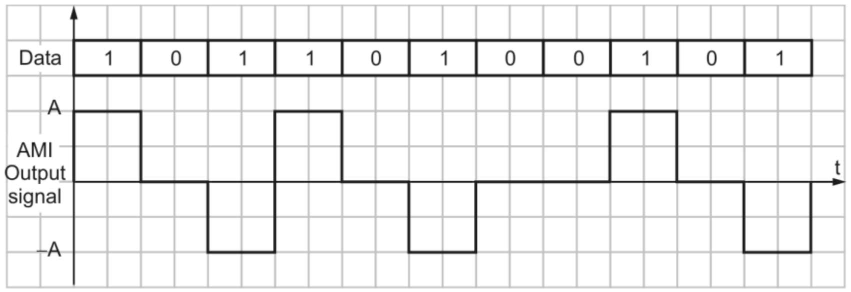


Figure 1.35 AMI

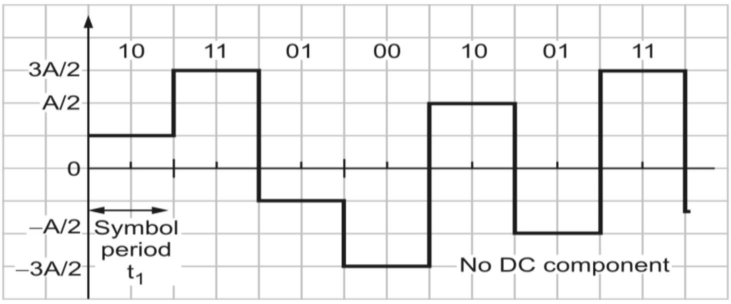


Figure 1.36 Polar quaternary

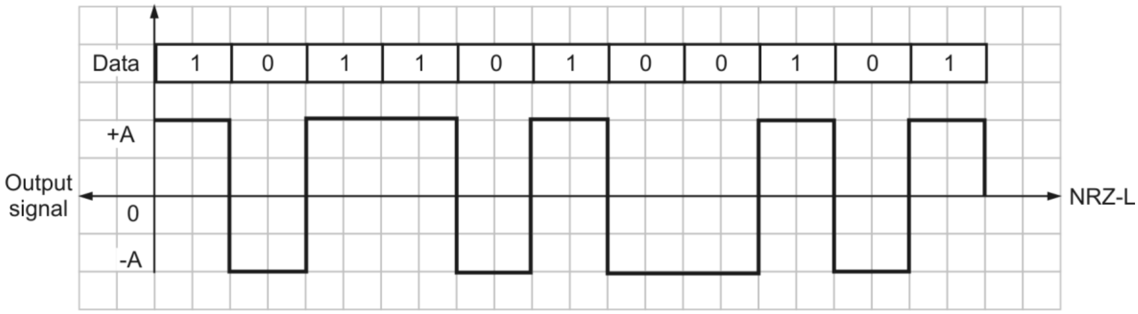


Figure 1.37

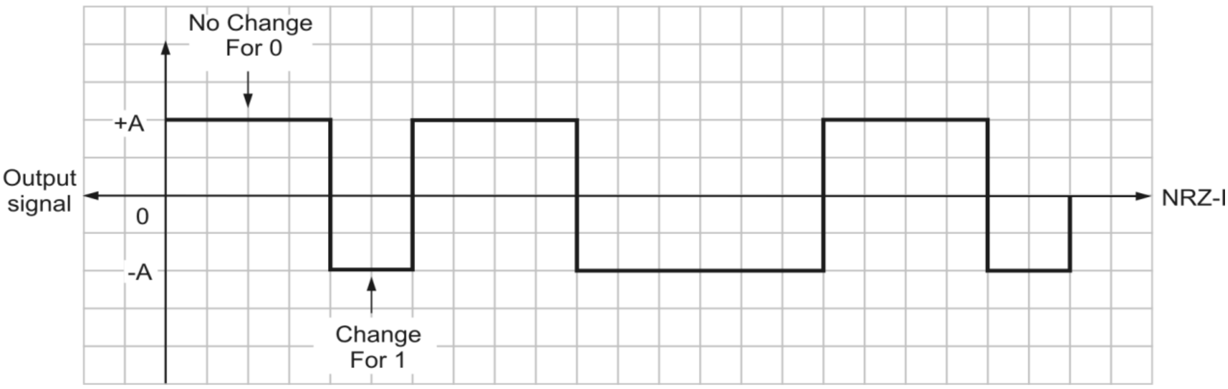


Figure 1.38

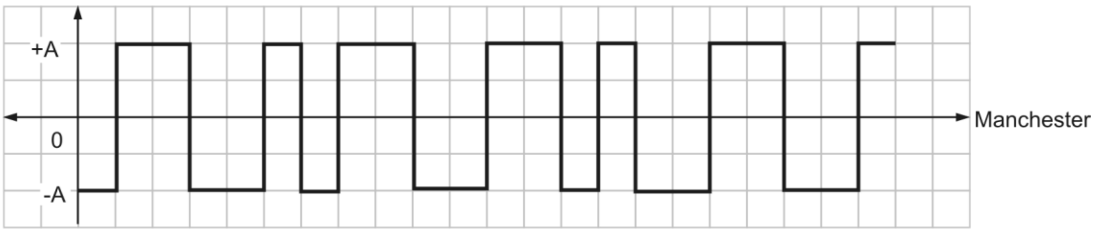


Figure 1.39

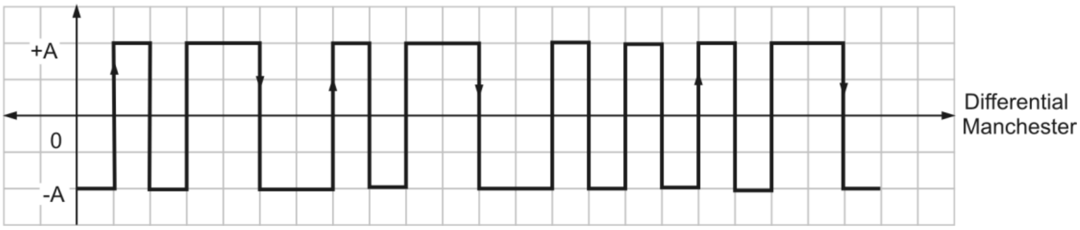


Figure 1.40

उदा

I) बिट स्ट्रीम 10110100101 (i) Unipolar RZ (ii) Unipolar NRZ (iii) Polar RZ (iv) Polar NRZ (v) AMI (vi) स्प्लिट फेज मँचेस्टरसाठी खालील डेटा फॉरमॅट काढा.

उत्तर:

Figure 1.41 पहा

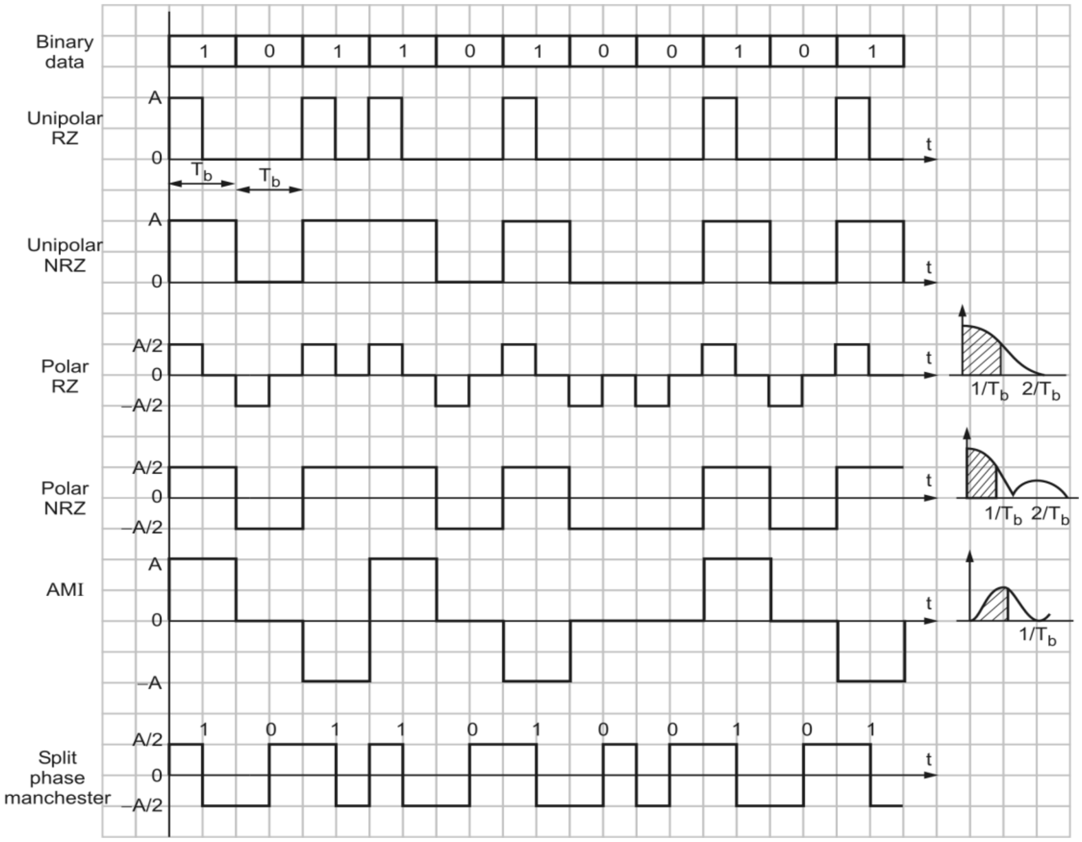


Figure 1.41

सारांश:

a. माहिती संप्रेषण प्रणालीद्वारे चिन्हांच्या स्वरूपात प्रसारित केली जाते जी ॲनालॉग आणि डिजिटल असू शकते

b. डिजिटल कम्युनिकेशन सिस्टीममध्ये तुलनेने उच्च फ्रिक्वेन्सी ॲनालॉग कॅरियर्स तुलनेने कमी फ्रिक्वेन्सी डिजिटल माहिती सिग्नल आणि डिजिटल पल्सचे ट्रान्समिशन असलेल्या सिस्टमद्वारे मॉड्युलेट केले जातात

c. डिजिटल ट्रान्समिशन म्हणजे संचारण सिस्टममधील दोन किंवा अधिक डिजिटल पल्सचे प्रसारण

d. ॲनालॉग कम्युनिकेशनमध्ये, मूळ माहिती ॲनालॉग सिग्नलमध्ये रूपांतरित केली जाते

e. डिजिटल संचारण मध्ये, मूळ माहिती समतुल्य डिजिटल सिग्नलमध्ये रूपांतरित केली जाते

f. चॅनल एन्कोडिंग संदेश बिट्समध्ये चेक बिट्स जोडत आहे

g. ट्रान्समिशनचे प्रकार बेसबँड आणि बँडपास ट्रान्समिशन

h. डिजिटल संचारण ची ऐतिहासिक संभाव्यता बायनरी कोड, टेलिग्राफी, टेलिफोनी, रेडिओ, सॅटेलाइट कम्युनिकेशन, ऑप्टिकल कम्युनिकेशन, कॉम्प्युटर कम्युनिकेशन्स आणि थिअरी पासून आहे

i. चॅनेलचे प्रकार म्हणजे टेलिफोन चॅनेल, कोएक्सियल केबल्स, मायक्रोवेव्ह रेडिओ, ऑप्टिकल फायबर, उपग्रह चॅनेल

j. आवाजाचे प्रमाण जितके जास्त तितकी चॅनेल क्षमता कमी

k. ॲनालॉग संचारण च्या तुलनेत डिजिटल कम्युनिकेशनमध्ये आवाज कमी असतो

l. डिजिटल संचारण मध्ये डिजिटल ट्रान्समिशन आणि डिजिटल रेडिओ यांचा समावेश होतो

m. संचारण चॅनेल हे ट्रान्समीटर आणि रिसीव्हरमधील शारीरिक माध्यम आहे

n. चॅनेलची वैशिष्ट्ये विचारात घ्या: प्रकार, बिटरेट, बँडविड्थ, रिपीटर अंतर आणि उपयोग

o. सिग्नल अन्वॉन्टिड इलेक्ट्रिकल सिग्नलमुळे दूषित होतो याला आवाज म्हणतात

p. शॅनन-हार्टले प्रमेय सूचित करते की नीरव वाहिनीची क्षमता अमर्याद असते

q. ॲनालॉग संप्रेषणापेक्षा डिजिटल संचारण अधिक विश्वासार्ह आणि सुरक्षित आहे

r. डिजीटल सिग्नल हा एक स्वतंत्र टाइम सिग्नल आहे ज्यामध्ये परिमाणांची मर्यादित संख्या असते

s. बिट रेट म्हणजे प्रति सेकंद बिट्सची संख्या

t. बॉड रेट म्हणजे प्रति सेकंद सिग्नल युनिट्सची संख्या

u. चॅनल क्षमता म्हणजे चॅनेलची क्षमता किंवा प्रति सेकंद बिटमध्ये लिंक

v. चॅनल क्षमतेची व्याख्या चॅनेलवर माहिती प्रसारित करण्याचा जास्तीत जास्त संभाव्य दर म्हणून केली जाते

w. चॅनेलची बँडविड्थ जितकी जास्त असेल तितकी आपण दिलेल्या वेळेत जास्त माहिती प्रसारित करू शकतो. आम्ही अद्याप एका अरुंद चॅनेलवर थोड्या प्रमाणात माहिती प्रसारित करू शकतो, परंतु यास जास्त वेळ लागेल. ही सामान्य संकल्पना हार्टलेचा नियम म्हणून ओळखली जाते

x. माहिती सिद्धांत म्हणजे माहिती प्रसारित करण्याच्या सर्वात कार्यक्षम मार्गांचा अभ्यास.

y. चॅनेलची क्षमता, बँडविड्थ आणि आवाज यांच्यातील नातेसंबंध सारांशित केले जातात, हे शॅनन हार्टले प्रमेय म्हणून ओळखले जाते

$C = B \log_2 (1 + \frac{S}{N})$ bit/sec

z. चॅनल क्षमता समीकरण $C = 2B\log_2 N$ आहे

aa. प्रत्येक अवस्थेतून उत्सर्जित होणाऱ्या चिन्हांच्या एन्ट्रॉपीची भारित सरासरी म्हणून स्त्रोताची एन्ट्रॉपी

bb. युनिपोलर एन्कोडिंग (Unipolar Encoding) केवळ एक स्तर मूल्य वापरते

cc. पोलर एन्कोडिंगमध्ये (Polar Encoding) ॲम्प्लीट्यूड चे दोन विद्युतदाब स्तर वापरले जातात एक सकारात्मक आणि एक नकारात्मक

dd. NRZ एन्कोडिंगमध्ये, सिग्नलची पातळी नेहमी प्रत्येक राज्यातून उत्सर्जित होणारी सकारात्मक किंवा नकारात्मक चिन्हे असते.

ee. त्रुटींचे प्रकार: सिंगल बिट एरर आणि बर्स्ट एरर

ff. RZ एन्कोडिंगमध्ये पॉझिटिव्ह, निगेटिव्ह आणि शून्य ही मूल्ये वापरली जातात.

gg. AMI म्हणजे अल्टरनेट मार्क इन्वर्शन

सूत्र:

i) Bit rate or data rate:

$R = k/T = \log_2 M$ (since $M = 2^k$)

Where k = number of bits in symbol set, T = duration of k bit symbol

ii) Baud rate or symbol rate:

Baud rate = Bit rate/No. of bits per signal unit

iii) Probability:

Probability = (n_A/N)

iv) Amount of information:

Amount of information $I_K = \log_2 (1/P_k)$

Where I_K= amount of information conveyed by k^{th} symbol

P_K = probability of k^{th} symbol

v) Entropy (Average information):

$H = P_k \log_2$ bits/symbol

vi) Information rate:

R = r X H

Where r = number of messages/sec

H = Average information/message

vii) Channel capacity equation:

$C = B \log_2 (1 + \frac{S}{N})$ bit/sec

Where, B = Channel Bandwidth

S = Signal Power

N = Noise within the channel bandwidth

viii) Average codeword length (L):

$L = \sum P_k \cdot$ (Number of bits per message)

ix) Code efficiency (η)

$\eta = (H/L) X 100$

x) Codeword:

$n = r + k \ldots [n > k]$

Where, n=Total number of bits in block

k=Number of information bits

r=Redundant bits

xi) Code rate:

r=, $0 < r < 1$

Code efficiency =

xii) Hamming codes:

$2^n \geq m + n + 1$

Where, n=Number of hamming bits ;

m =number of bits in the message block

xiii) Check bits of Hamming Code:

C_1=XOR of bits (1, 3, 5, 7)

C_2=XOR of bits (2, 3, 6, 7)

C_4=XOR of bits (4, 5, 6, 7)

स्वाध्याय (R/U/A स्तर प्रश्न):

- **i)** डिजिटल संचारण चे फायदे आणि तोटे सांगा. Give advantages and disadvantages of digital communication.
- **ii)** व्याख्या लिहा bit rate,Bit interval, Baud rate. Define bit rate,Bit interval, Baud rate.
- **iii)** शॅननचे प्रमेय किंवा स्त्रोत कोडिंग प्रमेय लिहा iii) StateShannon's Theorem or source coding Theorems.
- **iv)** शॅनन हार्टले प्रमेय आणि चॅनेल क्षमता समीकरण. लिहा iv) State Shannon Hartley Theorem and channel capacity equation.
- **v)** व्याख्या लिहा Entropy, Information rate. v) Define Entropy, Information rate.
- **vi)** व्याख्या लिहा code rate,Hamming distance,minimum distance,weight of codeword,code efficiency,Redundancy,codeword. Define code rate, Hammingdistance, minimumdistance,weight of codeword, codeefficiency, Redundancy, codeword
- **vii)** डिजिटल संचारण सिस्टम Figure सह वर्णन करा. Draw and explain block diagram of Digital communication system

viii) संचारण चॅनेलच्या वैशिष्ट्य लिहा- बिट दर, बीडब्ल्यू, रिपीटर अंतर आणि अनुप्रयोग. Discuss characteristics of communication channel w.r.t bit rate, B.W, repeater distance & amp, applications.

ix) ॲनालॉग संचारण आणि डिजिटल संचारण ची तुलना करा. Compare analog communication and digital communication.

x) सोर्स कोडिंग, हफमॅनकोडिंगवर छोटी टीप Write short note on source coding,Huffmancoding

xi) व्हीआरसी, एचआरसी, द्विमितीय कोड, चेकसमकोड, सीआरसी कोड स्पष्ट करा. Explain VRC,HRC,Two dimensional code,checksumcode,CRC code.

xii) चॅनेल कोडिंग तंत्र किंवा त्रुटी सुधारण्याचे तंत्र विविध प्रकारचे काय आहेत? What are different types of channel coding techniques or error correction techniques?

xiii) विविध प्रकारच्या त्रुटी आणि त्यांची कारणे उदाहरणासह लिहा State different types of error & their causes with example

xiv) सीआरसी जनरेशनचे कार्य स्पष्ट करा. Explain working of CRC Generation.

xv) डिस्क्रिट मेमरीलेस स्त्रोताच्या द्वितीय क्रमाच्या विस्तारित स्त्रोताची एन्ट्रॉपी शोधा.
हा स्रोत m0, m1 आणि m2 3 भिन्न चिन्हे प्रसारित करण्यास सक्षम आहे. त्यांच्या संभाव्यता 1/2, 1/4 आणि 1/4 आहेत. Find the entropy of second order extended source of the discrete memoryless source.

xvi) शॅनन हार्टले प्रमेय वापरून, 15 kHz च्या BW आणि 20 dB चे सिग्नल ते आवाज गुणोत्तर असलेल्या चॅनेलसाठी चॅनेल क्षमतेची गणना करा. Using Shannon Hartley theorem, calculate channel capacity for a channel having BW of 15 kHz and signal to noise ratio of 20 dB.

xvii) एका स्वतंत्र स्मृतीविरहित स्त्रोतामध्ये वर्णन केल्याप्रमाणे त्याच्या आउटपुटसाठी संभाव्यतेसह सात चिन्हांची वर्णमाला असते

हफमन कोडची गणना करा. गणना केलेल्या स्त्रोत कोडची कार्यक्षमता 100 टक्के आहे हे दर्शवा..

Symbol	S_0	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6
Probabilit	0.2	0.2	0.12	0.12	0.12	0.062	0.062

y	5	5	5	5	5	5	5

xviii) खालील संदेशाच्या संभाव्यतेसह DMS, S = (S1, S2, S3, …….S7) विचारात घ्या..

S_i	S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	S_7
Probability	0.40	0.25	0.15	0.10	0.05	0.0 3	0.02

हफमन अल्गोरिदम वापरून स्त्रोत एन्कोड करा. कोडची सरासरी लांबी आणि कार्यक्षमता शोधा

xix) भाजक 10101 वापरून डेटा शब्द 110010101 साठी चक्रीय रिडंडन्सी चेक (CRC) व्युत्पन्न करा. Generate the Cyclic Redundancy check (CRC) for the data word 110010101 using divisor 10101.

xx) डेटा शब्द 100100 साठी CRC कोडची गणना करा आणि विभाजक 1101 आहे. Calculate CRC code for data word 100100 to be transmitted and divisor is 1101.

xxi) 101010 आणि 010101 मधील हॅमिंग अंतर शोधा. जर a (n,k) रेखीय ब्लॉकचे किमान हॅमिंग अंतर 3 असेल तर हॅमिंगचे किमान वजन किती आहे? Calculate CRC code for data word 100100 to be transmitted and divisor is 1101.

xxii) विषम पैरिटी वापरली असल्यास (7, 4) हॅमिंग कोड वापरून 1100 एन्कोड करा.

xxiii) सम पॅरिटी हॅमिंग कोड शब्दांमधील त्रुटी शोधा आणि दुरुस्त करा आणि योग्य कोड लिहा

(a) 1100110 (b) 0011101. Detect and correct errors is any in the even parity hamming code words and write the correct code (a) 1100110 (b) 0011101

xxiv) लाइन कोड काढा- युनिपोलर आरझेड, ध्रुवीय एनआरझेड, एएमआय, मँचेस्टर, ध्रुवीय आरझेड आणि बिट प्रवाहासाठी चतुर्थांश ध्रुवीय 10110100. Detect and correct errors is any in the even parity hamming code words and write the correct code (a) 1100110 (b) 0011101

xxv) खालील बायनरी डेटा स्ट्रीम युनिपोलर RZ, युनिपोलर NRZ, पोलर रिटर्न झिरो (RZ), पोलर NRZ, AMI आणि स्प्लिट फेज मँचेस्टर कोड डेटा स्ट्रीममध्ये एन्कोड करा: 10110100101. Detect and correct errors is any in the even parity hamming code words and write the correct code (a) 1100110 (b) 0011101

विद्यार्थ्यांशी संबंधित उपक्रम (Student Learning Activity):

i) हॅमिंग कोड तयार करण्यासाठी सर्किट तयार करा

ii) रिअल-टाइम एआय ऍप्लिकेशनमध्ये कमी-विलंब संप्रेषणाचे महत्त्व मूल्यांकन करण्यासाठी अहवाल तयार करा

iii) टेलिमेडिसिन आणि रिमोट पेशंट मॉनिटरिंगसह हेल्थकेअरमधील डिजिटल कम्युनिकेशनच्या अनुप्रयोगांची तपासणी करा

संदर्भ पुस्तके:

Sr	Reference Book Titles	Author/s	Publisher
1	Digital Communications	Simon Haykin	John Wiley and Sons,ISBN-9788126508242
2	Digital Communications: Fundamentals and Applications	Bernard Sklar	Pearson 2021, ISBN-9780134588568
3	Modern Digital and Communication Systems	B. P. Lathi	Oxford university press,ISBN-9780198073802

लर्निंग वेबसाइट्स आणि पोर्टल्स:

Sr. No.	Link / Portal	Description
1	https://nptel.ac.in/courses/117101051	Introduction to Digital Communication by NPTEL
2	https://www.etti.unibw.de/labalive/experiment/qpsksignalgeneration/	virtual communication lab for practicals
3	https://nptel.ac.in/courses/106105082	Data Communication

युनिट 2- पल्स मॉड्युलेशन तंत्रे

Unit 2-Pulse Modulation Techniques

विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

CO2 - विविध पल्स मॉड्युलेशन तंत्रांचा वापर करणे.

घटक निष्पत्ती: (Theory Learning Outcome):

TLO 2.1 नॅचरल आणि फ्लॅट टॉप सॅम्पलिंग वरच्या नमुन्यांची (सॅम्पलिंगची) तुलना करणे.

TLO 2.2 दिलेल्या सिग्नलसाठी सॅम्पलिंग वारंवारता मोजणे.

TLO 2.3 दिलेल्या प्रकारच्या पल्स मॉड्युलेशन तंत्राच्या कामगिरीची तुलना करणे.

TLO 2.4 पल्स कोड मॉड्युलेशन ट्रान्समीटर आणि रिसीव्हरच्या कार्याचे वर्णन करणे .

परिचय:

पल्स कोड मॉड्युलेशन (PCM) ही एक पद्धत आहे जी ॲनालॉग सिग्नल, जसे की आवाज किंवा संगीत, डिजिटल स्वरूपात रूपांतरित करते. ही पद्धत अनेक आधुनिक संप्रेषण (कम्युनिकेशन) प्रणालींमध्ये महत्त्वाची भूमिका बजावते, जसे की टेलिफोन, ऑडिओ सीडी, आणि डिजिटल रेडिओ. PCM कार्य करते ॲनालॉग सिग्नलचे नियमित अंतरावर नमुने (सॅम्पल्स) घेऊन, या नमुन्यांना संख्यांमध्ये (बायनरी स्वरूपात) रूपांतरित करून, आणि नंतर त्यांचे प्रसारण किंवा संचयन करून. डिजिटल संप्रेषणाच्या मूलभूत तत्त्वांना समजून घेण्यासाठी PCM समजणे आवश्यक आहे, आणि त्याच्या तत्त्वांमुळे माध्यम आणि संप्रेषण (कम्युनिकेशन) क्षेत्रातील अनेक नवकल्पनांना मार्गदर्शन मिळाले आहे.

2.1 सॅम्पलिंग (नमुना) आणि क्वांटायझेशन प्रक्रिया (SAMPLING & QUANTIZATION PROCESS):

2.1.1 सॅम्पलिंग घेण्याची प्रक्रिया (SAMPLING PROCESS):

सिग्नल प्रोसेसिंगमध्ये, सॅम्पलिंग प्रक्रिया म्हणजे सतत वेळ सिग्नलला समतुल्य डिस्क्रिट वेळ सिग्नलमध्ये रूपांतरित करण्याची प्रक्रिया.

ही प्रक्रिया अनेक प्रकारे राबवता येते, त्यापैकी सर्वात लोकप्रिय म्हणजे सॅम्पल अँड होल्ड ऑपरेशन.

a) सॅम्पलिंग प्रमेय (Sampling Theorem) :

विधान (Statement) : एक **सतत-वेळ सिग्नल (Continuous-time signal)** त्याच्या सॅम्पलिंग मध्ये दर्शविला जाऊ शकतो आणि जेव्हा **सॅम्पलिंग** वारंवारता (frequency) fs संदेश सिग्नलच्या दुप्पट सर्वोच्च वारंवारता (frequency) घटकापेक्षा जास्त किंवा समान असते तेव्हा तो परत मिळवता येतो.

विधानानुसार सॅम्पलिंग घेण्याची वारंवारता (frequency) **आहे**

$f_s \geq 2f_m$

fs = **सॅम्पलिंग फ्रिक्वेन्सी**

fm = सतत-वेळ सिग्नलची सर्वाधिक फ्रिक्वेन्सी.

b) : नायक्विस्ट दर (Nyquist Rate):

हा किमान सॅम्पलिंग दर आहे ज्यावर सिग्नलचे नमुन्यांमध्ये रूपांतर करता येते आणि विकृतीशिवाय परत मिळवता येते.

नायक्विस्ट दर

$f_s=2f_m$ किंवा $f_s=2W$

स्पष्टीकरण:

एका सतत-वेळ (continuous signal) सिग्नल x(t) चा विचार करूया. जर x(t) चा स्पेक्ट्रम fm Hz पर्यंत बँड-लिमिटेड असेल, म्हणजेच x(t) चा स्पेक्ट्रम $|\omega|>\omega m$ साठी शून्य असेल, तर योग्य सॅम्पलिंगसाठी $f_s \geq 2f_m$ ही अट पाळावी लागते.

सतत-वेळ सिग्नल (continuous signal) x(t) चे सॅम्पलिंग, x(t) ला एका निश्चित कालावधीच्या Ts असलेल्या इम्पल्स ट्रेन $\delta(t)$ सोबत गुणाकार करून केले जाते. या प्रक्रियेत मिळणारे आउटपुट वियुक्त सिग्नल (Discrete Signal) असते, ज्याला सॅम्पल केलेला सिग्नल (Sampled Signal) म्हणतात आणि तो y(t) द्वारा दर्शविला जातो. जे खालील आकृत्यांमध्ये दर्शविले आहे.

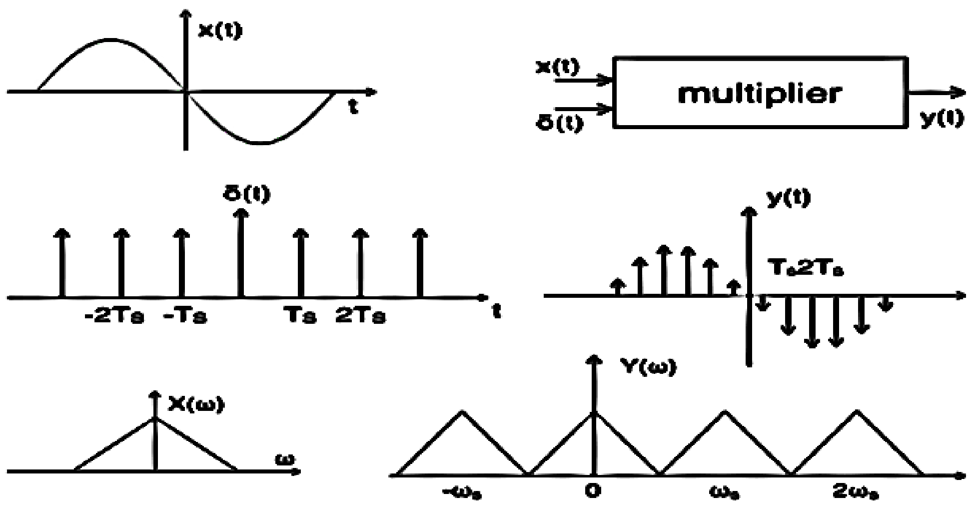


Figure 2.1 Process of sampling

- **सॅम्पलिंगचे फायदे (Advantages of Sampling):**

a. सामान्यतः खर्च कमी असतो.

b. सॅम्पलिंग प्रक्रियेस कमी वेळ लागतो.

c. सॅम्पलिंगचा व्याप्ती (scope) जास्त आहे

d. डेटाची अचूकता जास्त असते.

- **सॅम्पलिंगचे तोटे (Disadvantages of Sampling):**

a. True representative सॅम्पल निवडणे कठीण असते.

b. विषय विशिष्ट ज्ञानाची आवश्यकता असते

c. सॅम्पलिंग युनिट्समध्ये बदल होण्याची शक्यता असते.

d. काही प्रसंगी सॅम्पलिंग करणे अशक्य असते.

2.1.2 सॅम्पलिंग तंत्रांचे प्रकार (TYPES OF SAMPLING TECHNIQUES) :

सॅम्पलिंगचे तीन प्रकार आहेत:

a. **इम्पल्स सॅम्पलिंग** (Impulse Sampling)

b. **नॅचरल सॅम्पलिंग** (Natural Sampling)

c. **फ्लॅट टॉप सॅम्पलिंग** (Flat Top Sampling)

a) इम्पल्स सॅम्पलिंग (Impulse Sampling):

'T' कालावधीच्या इम्पल्स ट्रेनसह इनपुट सिग्नल x(t) चा गुणाकार करून इम्पल्स सॅम्पलिंग घेता येतो. येथे, इम्पल्स चा अँप्लिट्युड इनपुट सिग्नल x(t) च्या अँप्लिट्युडच्या संदर्भात बदलते. सॅम्पलरचे आउटपुट खालीलप्रमाणे दिले जाते:

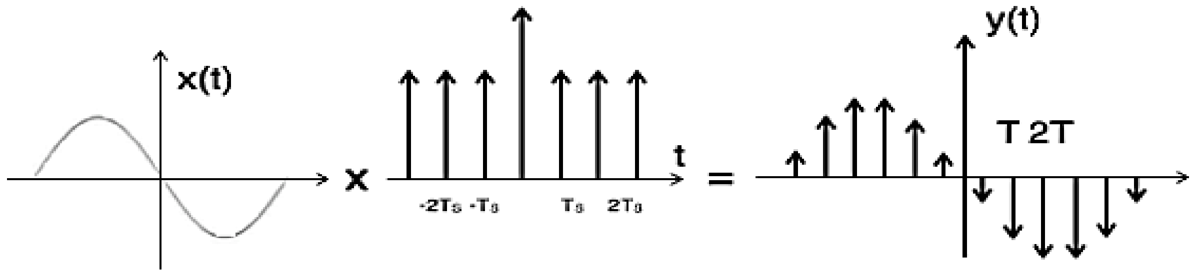


Figure 2.2 Impulse Sampling

याला आदर्श सॅम्पलिंग किंवा इम्पल्स सॅम्पलिंग असे म्हणतात. तुम्ही हे व्यावहारिकरित्या वापरू शकत नाही कारण पल्स विड्थ शून्य असू शकत नाही आणि इम्पल्स ट्रेनची निर्मिती व्यावहारिकरित्या शक्य नाही.

b) नॅचरल सॅम्पलिंग (Natural Sampling):

नॅचरल सॅम्पलिंग घेण्याला व्यावहारिक सॅम्पलिंग असेही म्हणतात. या सॅम्पलिंग घेण्याच्या तंत्रात, सॅम्पलिंग सिग्नल हा एक पल्स ट्रेन (Pulse Train) स्वरूपात असतो. नॅचरल सॅम्पलिंग प्रक्रियेत, प्रत्येक सॅम्पलचा टॉप (Top) इनपुट सिग्नल x(t) च्या आकारानुसार राहतो, म्हणजेच पल्स अंतर दरम्यान सिग्नलचा मूळ आकार कायम राहतो. सॅम्पलिंगचा दर नायक्विस्ट दर (Nyquist Rate) पेक्षा जास्त किंवा किमान त्याइतका असतो.

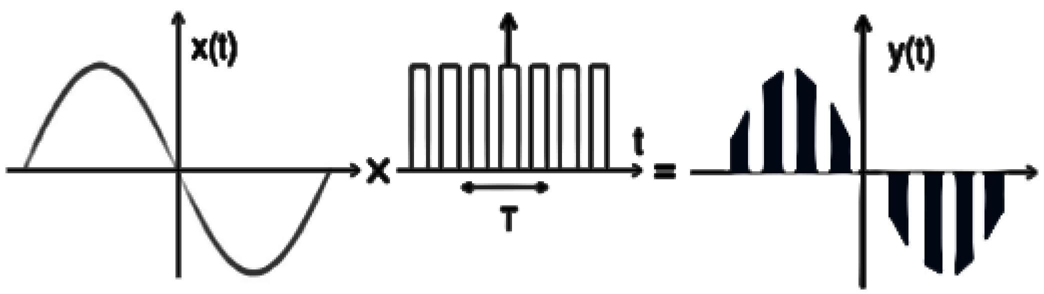


Figure 2.3. Natural Sampling

c) फ्लॅट टॉप सॅम्पलिंग (Flat Top Sampling):

फ्लॅट टॉप सॅम्पलिंग हे देखील एक व्यवहार्य (Practical) सॅम्पलिंग तंत्र आहे. या पद्धतीमध्ये सॅम्पलिंग सिग्नल हा पल्स ट्रेन (Pulse Train) स्वरूपात असतो. फ्लॅट टॉप सॅम्पलिंगमध्ये प्रत्येक सॅम्पलचा टॉप स्थिर (Constant) राहतो आणि सॅम्पलिंगच्या सुरुवातीस इनपुट सिग्नल x(t) च्या तात्काळ (Instantaneous) मूल्याच्या बरोबरीचा असतो. फ्लॅट टॉप पल्सेस हे सॅम्पल आणि होल्ड सर्किट (Sample and Hold Circuit) चा वापर करून प्राप्त केले जाऊ शकतात.

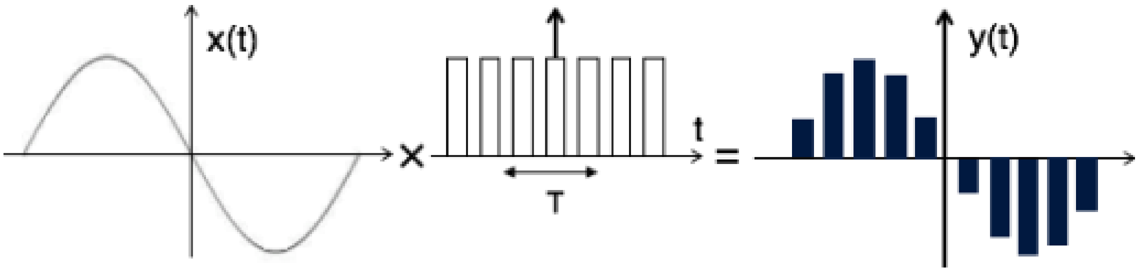


Figure 2.4 Flat Top Sampling

2.1.3 ऍलियासिंग प्रभाव (Aliasing Effect):

जर सिग्नल c(t) पूर्णपणे बँड-लिमिटेड नसेल किंवा सॅम्पलिंग फ्रिक्वेन्सी fs ही 2fm पेक्षा कमी असेल, तर ऍलियासिंग (Aliasing) नावाची त्रुटी (Error) उद्भवते.

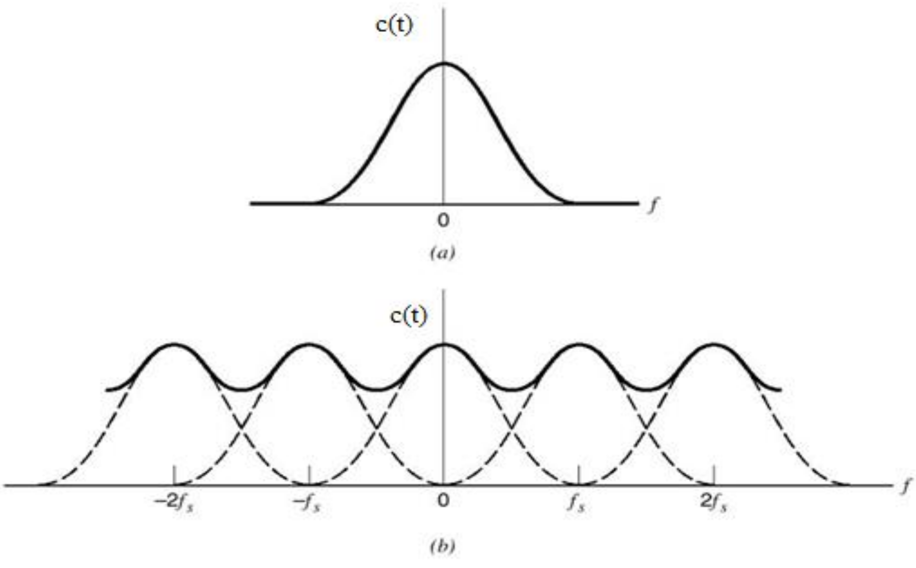


Figure 2.5 Spectrum of sample version of c(t) with fs<2fm

अलियासिंगचा (Aliasing Effect) प्रभाव कमी केला जाऊ शकतो:

i) पूर्व-ऍलियास फिल्टर (Pre-alias filter) चा वापर करावा, ज्यामुळे आवश्यक सिग्नलचा बँड fm Hz पर्यंत मर्यादित राहील.

ii) सॅम्पलिंग फ्रिक्वेन्सी fs अशी निवडली पाहिजे की ती fs>2fm या अटीचे पालन करत असेल.

2.1.4 क्वांटिझेशन प्रक्रिया (QUANTIZATION PROCESS):

a. ॲनालॉग ते डिजिटल (A ते D) रूपांतरण प्रक्रियेत, पहिला ब्लॉक सॅम्पलर आहे आणि पुढचा ब्लॉक क्वांटायझर आहे. या विभागात आपण क्वांटायझेशन प्रक्रियेची तपशीलवार चर्चा करू.

b. क्वांटायझेशन ही सॅम्पलिंग घेतलेल्या मूल्याचे जवळच्या पूर्वनिर्धारित पातळीवर अंदाजे किंवा पूर्णांकन करण्याची प्रक्रिया आहे ज्याला क्वांटायझेशन पातळी म्हणतात.

c. पीसीएम ट्रान्समीटरमधील सॅम्पलिंग घेतलेला सिग्नल क्वांटायझर ब्लॉकवर लागू केला जातो.

d. क्वांटायझर सॅम्पलिंग घेतलेल्या सिग्नलला अंदाजे क्वांटाइज्ड सिग्नलमध्ये रूपांतरित करतो ज्यामध्ये केवळ मर्यादित संख्येने पूर्वनिर्धारित व्होल्टेज पातळी असतात.

e. क्वांटायझरच्या इनपुटवरील प्रत्येक सॅम्पलिंग मूल्य अंदाजे किंवा जवळच्या मानक पूर्वनिर्धारित व्होल्टेज पातळीपर्यंत पूर्ण केले जाते.

या मानक पातळींना "क्वांटायझेशन पातळी" म्हणून ओळखले जाते. Figure 2.6 पहा.

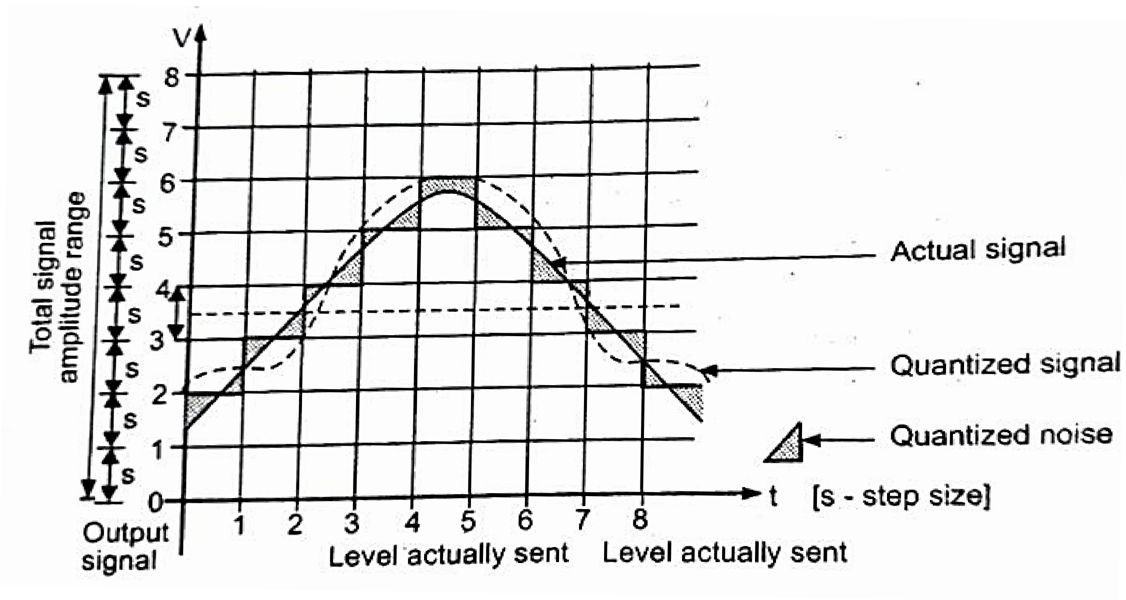


Figure 2.6 Quantization of signal

2.1.5 क्वांटायझेशन त्रुटी (QUANTIZATION ERROR):

क्वांटायझेशन एरर म्हणजे प्रत्यक्ष ॲनालॉग सिग्नल मूल्य आणि त्याच्या जवळच्या क्वांटाइज्ड (वियुक्त) मूल्यातील फरक. ही त्रुटी निर्माण होते कारण सतत बदलणारे सिग्नल मर्यादित वियुक्त स्तरांवर (Discrete Levels) मॅप केले जातात, ज्यामुळे accuracy (अचूकता) मध्ये थोडीशी हानी होते.

क्वांटायझेशन त्रुटीचा सूत्र (Formula for Quantization Error):

परिमाणीकरण त्रुटी = प्रत्यक्ष मूल्य - परिमाणित मूल्य

(Quantization Error=Actual Value−Quantized Value)

डिजिटल प्रणालींमध्ये, मूल्ये सर्वात जवळच्या क्वांटायझेशन स्तरावर गोल (round) किंवा छाटली (truncate) जातात, त्यामुळे ही त्रुटी पूर्णतः कधीही नाहीशी करता येत नाही.

2.1.6 क्वांटिझेशनचे प्रकार (TYPES OF QUANTIZATION):

क्वांटायझेशन प्रक्रिया मध्ये मूल्ये सर्वात जवळच्या क्वांटायझेशन स्तरावर गोल (rounding) पद्धतीनुसार आणि क्वांटायझेशन स्तरांच्या वितरणानुसार (distribution) वेगवेगळ्या प्रकारांत विभागली जाते.

मुख्य दोन प्रकार:

i) सुसंगत क्वांटायझेशन (Uniform Quantization):

या प्रकारात प्रत्येक क्वांटायझेशन स्तरामधील स्टेपचा (Step Size) आकार समान राहतो. याची रचना सोपी असते आणि समान वितरण असलेल्या सिग्नलसाठी उत्तम कार्य करते.मात्र, ज्या सिग्नलचे एम्प्लिट्यूड श्रेणी (Amplitude Range) बदलते, त्यासाठी अधिक क्वांटायझेशन त्रुटी निर्माण होऊ शकते.

उदाहरण: पल्स कोड मॉड्युलेशन (PCM) मध्ये डिजिटल ऑडिओ आणि इमेज प्रोसेसिंगसाठी याचा वापर केला जातो.

ii) असुसंगत क्वांटायझेशन (Non-Uniform Quantization):

या पद्धतीत स्टेपचा आकार (Step Size) समान नसतो, तो सहसा लघुगणकीय (Logarithmic) प्रमाणात बदलतो. मानवी आवाजासारख्या सिग्नलसाठी उपयुक्त, कारण कमी अम्प्लिट्यूड असलेल्या सिग्नलसाठी अधिक अचूकता मिळते.

उदाहरण: μ-law आणि A-law क्वांटायझेशन टेलिकम्युनिकेशन आणि ऑडिओ कॉम्प्रेशनमध्ये वापरले जातात, जे ध्वनी गुणवत्ता सुधारतात आणि डेटा आकार कमी करतात.

2.1.7 कंपँडिंग (COMPANDING):

कंपँडिंग ही एक सिग्नल प्रोसेसिंग तंत्र आहे, जी कंप्रेशन (**Compression**) आणि एक्सपँशन (Expansion) यांचा एकत्रित वापर करून डिजिटल सिग्नलची गुणवत्ता सुधारते. हे तंत्र विशेषतः ऑडिओ आणि दूरसंचार प्रणालींमध्ये (Telecommunications) वापरले जाते. क्वांटायझेशनपूर्वी, सिग्नल एका नॉन-लिनियर फंक्शनद्वारे (Nonlinear Function) कंप्रेस (Compress) केला जातो, ज्यामुळे डायनॅमिक रेंज कमी होते आणि कमी अम्प्लिट्यूड असलेले सिग्नल अधिक ठळक होतात. यामुळे विशेषतः कमी अम्प्लिट्यूडच्या सिग्नलमध्ये क्वांटायझेशन नॉइज कमी होतो. प्रसारण (Transmission) किंवा संचयन (Storage) नंतर, सिग्नल पुन्हा मूळ स्वरूपात एक्सपँड (Expand) केला जातो, ज्यामुळे डायनॅमिक रेंज पुनर्संचयित (Restore) होते आणि सिग्नलची गुणवत्ता टिकून राहते.

मुख्य कंपँडिंग तंत्रे:

दोन सर्वाधिक प्रचलित कंपँडिंग तंत्रे खालीलप्रमाणे आहेत:

μ-law कंपँडिंग: उत्तर अमेरिका आणि जपानमध्ये वापरले जाते.

A-law कंपँडिंग: युरोप आणि ITU मानकांमध्ये वापरले जाते.

हे दोन्ही तंत्र टेलिफोन प्रणालींमध्ये आवाजाची स्पष्टता वाढवण्यासाठी वापरले जातात. कंपँडिंगमुळे सिग्नलमधील नॉइज कमी होतो आणि कार्यक्षमता सुधारते, त्यामुळे ध्वनी प्रसारण (Audio Transmission) आणि डेटा कॉम्प्रेशन अधिक प्रभावीरीत्या करता येते, तेही सिग्नलच्या गुणवत्तेवर फारसा परिणाम न करता.

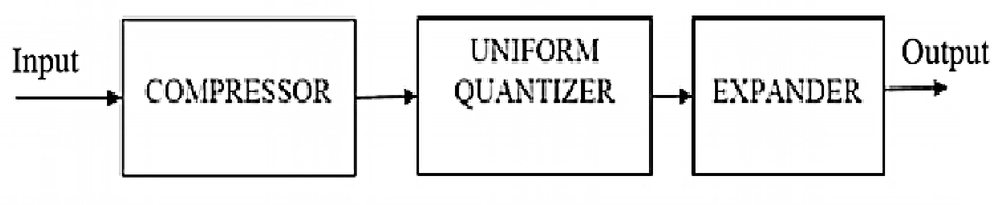


Figure 2.7 Companding model

कंपँडरचे वैशिष्ट्ये (Compander Characteristics):

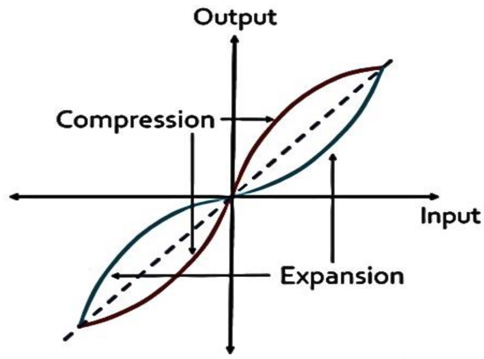


Figure 2.8 Compounding curve

कंपँडरची वैशिष्ट्ये (Compander Characteristics) Figure 2.8 मध्ये दर्शवलेली आहेत, जी कंप्रेसर (Compressor) आणि एक्सपँडर (Expander) यांच्या वैशिष्ट्यांचे संयोग (Combination) आहे. कंप्रेसर आणि एक्सपँडर यांची वैशिष्ट्ये परस्पर विरुद्ध (Inverse) असल्यामुळे, संपूर्ण कंपँडरची वैशिष्ट्यरेषा सरळ रेषा (Straight Line) असते. याचा अर्थ असा की सर्व वाढवलेले (Boosted) सिग्नल त्यांच्या मूळ अम्प्लिट्यूडवर परत आणले जातात.

2.2 पल्स मॉड्युलेशन (PULSE MODULATION):

पल्स मॉड्युलेशन ही डिजिटल संचार प्रणालींमध्ये (Digital Communication Systems) वापरली जाणारी तंत्रज्ञान प्रक्रिया आहे, जिथे ॲनालॉग सिग्नलला पल्सच्या मालिकेत (Series of Pulses) रूपांतरित करून प्रसारित केले जाते. पल्स मॉड्युलेशनचे वेगवेगळे प्रकार असतात, आणि प्रत्येक प्रकाराची स्वतःची वैशिष्ट्ये व उपयोग असतात.

मुख्य प्रकारांचे वर्गीकरण खालीलप्रमाणे आहे (CLASSIFICATION OF PULSE MODULATION):

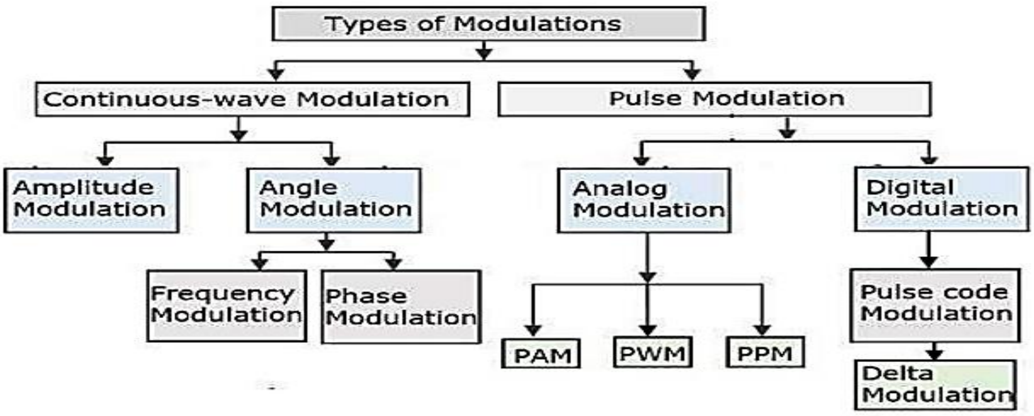


Figure 2.9 Classification of Pulse Modulation

ॲनालॉग पल्स मॉड्युलेशन (Analog Pulse Modulation) ला सतत-तरंगलहरी मॉड्युलेशन (Continuous Wave Modulation) असेही म्हणतात, जिथे साइन वेव्ह (Sine Wave) वाहक तरंगलहरी (Carrier Wave) म्हणून वापरली जाते. पल्स संचार प्रणालीत (Pulse Communication System), पल्सच्या मालिकेचा (Train of Pulses) वाहक तरंगलहरी म्हणून वापर केला जातो. साइनसोईडल (Sinusoidal) सिग्नल सुपरइम्पोज (Superimpose) केल्यावर, सिग्नलच्या संदर्भात पल्सच्या एका पॅरामीटरमध्ये बदल केला जाऊ शकतो.

सामान्य ॲनालॉग पल्स मॉड्युलेशन तंत्रांमध्ये खालील प्रकार समाविष्ट होतात:

a. पल्स अम्प्लिट्यूड मॉड्युलेशन (PAM - Pulse Amplitude Modulation)
b. पल्स विड्थ मॉड्युलेशन (PWM - Pulse Width Modulation)
c. पल्स पोझिशन मॉड्युलेशन (PPM - Pulse Position Modulation)

डिजिटल पल्स मॉड्युलेशन (Digital Pulse Modulation) हे एक तंत्र आहे, जेथे परिमाणित (Quantized) पल्सचा वापर करून वाहक सिग्नल (Carrier Signal) मॉड्युलेट केला जातो किंवा डिजिटल डेटासाठी पल्स ट्रेन वाहक म्हणून वापरला जातो.

सामान्य डिजिटल पल्स मॉड्युलेशन प्रकार खालीलप्रमाणे आहेत:

a. पल्स कोड मॉड्युलेशन (PCM - Pulse Code Modulation)
b. डेल्टा मॉड्युलेशन (DM - Delta Modulation)
c. अडॅप्टिव्ह डेल्टा मॉड्युलेशन (ADM - Adaptive Delta Modulation)

2.2.1 पल्स अम्प्लिट्यूड मॉड्युलेशन (PAM - PULSE AMPLITUDE MODULATION):

सिद्धांत (Principle):

PAM प्रणालीत (PAM System), पल्स वाहकाची (Pulsed Carrier) अम्प्लिट्यूड मॉड्युलेटिंग सिग्नल x(t) च्या तत्क्षणीच्या (Instantaneous) अम्प्लिट्यूडच्या प्रमाणात बदलते. त्यामुळे PAM सिग्नलमध्ये माहिती ही अम्प्लिट्यूडच्या बदलांमध्ये (Amplitude Variation) असते. वाहक (Carrier) हा अरुंद पल्सच्या मालिकेच्या (Train of Narrow Pulses) स्वरूपात असतो, जो Figure 2.10 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे आहे. जर PAM प्रणालीची नमुना प्रक्रियेसोबत (Sampling Process) तुलना केली, तर हे दोन्ही प्रकार तंतोतंत समान असल्याचे आढळते.PAM सिग्नल वायर किंवा केबलद्वारे पाठवला जातो किंवा तो वाहक सिग्नल मॉड्युलेट करण्यासाठी वापरला जातो.

a) नैसर्गिक PAM निर्मिती (Generation of Natural PAM):

ब्लॉक डायग्राम (Block Diagram):

नैसर्गिक PAM निर्मिती समजण्यासाठी Figure 2.10 ला पहा.

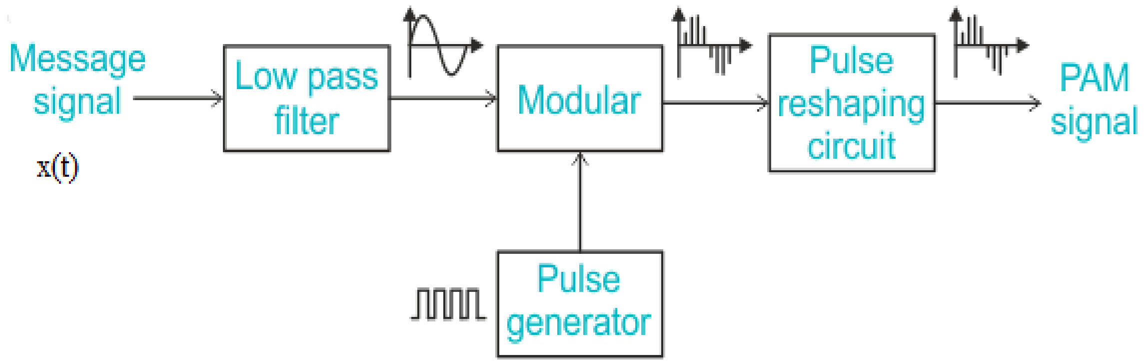


Figure 2.10 Generation of PAM

सतत बदलणारा मॉड्युलेटिंग सिग्नल x(t) प्रथम लो-पास फिल्टर (LPF - Low Pass Filter) मधून पास केला जातो. LPF या सिग्नलला fm पर्यंत बँड-लिमिट (Bandlimit) करतो, म्हणजेच fm पेक्षा जास्त वारंवारतेचे (Frequency) घटक काढून टाकले जातात.नमुना प्रक्रियेमध्ये (Sampling Process) "अलायसिंग" (Aliasing) परिणाम टाळण्यासाठी बँड-लिमिटिंग आवश्यक आहे. पल्स ट्रेन जनरेटर (Pulse Train Generator) अशा वारंवारतेवर (fs) पल्स ट्रेन जनरेट करतो, जिथे $f_s \geq 2f_m$ असेल, जेणेकरून नायक्विस्ट निकष (Nyquist Criteria) पूर्ण होईल.

वेव्हफॉर्म्स:

पल्स ट्रेन जनरेटरद्वारे जनरेट केलेले आयताकृती (Rectangular) अरुंद वाहक पल्स (Narrow Carrier Pulses), गुणक ब्लॉकमध्ये (Multiplier Block) एकसंध "नमुना प्रक्रिया" (Uniform Sampling) पार पाडतात, आणि त्यामुळे Figure 2.11 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे PAM सिग्नल निर्माण होतो.

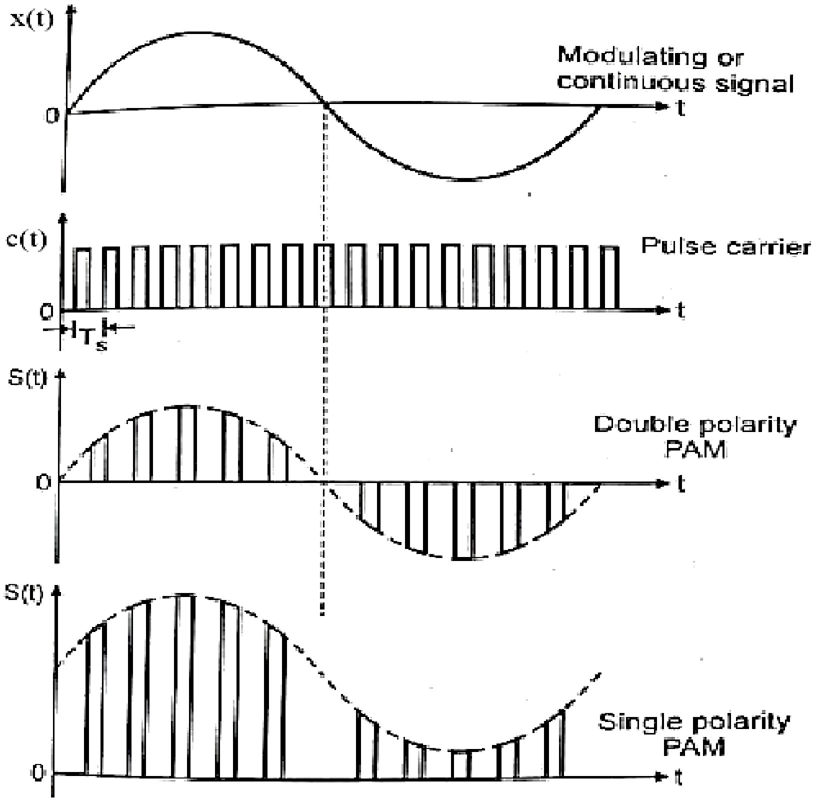


Figure 2.11 Waveform of natural PAM

नमुने (Samples) एकमेकांपासून Ts सेकंद अंतरावर ठेवले जातात. मॉड्युलेटिंग सिग्नलमधील "माहिती" ही पल्सड वाहकाच्या (Pulsed Carrier) "अम्प्लिट्यूड बदलांमध्ये" (Amplitude Variations) असते. म्हणूनच ही प्रणाली (System) पूर्वी चर्चिलेल्या AM प्रणालीसारखीच आहे. नैसर्गिक PAM ला कधी कधी "चॉपर सॅम्पल्ड PAM" (Chopper Sampled PAM) असेही म्हटले जाते, कारण नमुना घेतलेल्या सिग्नलचा वेव्हफॉर्म्स (Waveform) सतत बदलणाऱ्या सिग्नल x(t) पासून कापलेला (Chopped Off) दिसतो.

b) नैसर्गिक PAM चे शोध घेणे (Detection of Natural PAM):

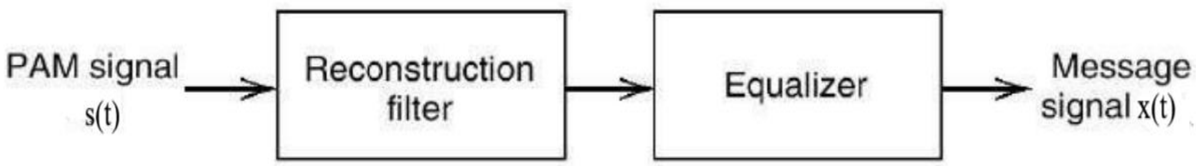


Figure 2.12 Detection of Natural PAM

पल्स ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेशन (PAM) चे डिमॉड्युलेशन मोड्युलेटेड सिग्नलमधून मूळ डेटा बाहेर काढण्याच्या प्रक्रियेला डिमॉड्युलेशन म्हणतात. पल्स ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेशन (PAM) च्य डिमॉड्युलेशनसाठी खालील काही सामान्य पद्धती वापरल्या जातात:

मॅच्ड फिल्टरिंग: प्राप्त झालेल्या सिग्नलची संदर्भित पल्स शेपशी तुलना करते.

एन्व्हलप डिटेक्शन: सिग्नलच्या एन्व्हलपला काढण्यासाठी लो-पास फिल्टर वापरतो.

सँपल एक्स्प्रेशन: सिग्नलचे सिंबॉल रेटवर सँपलिंग करून, त्याची विशिष्ट थ्रेशोल्ड व्हॅल्यूजशी तुलना करतो.

डिसिजन फीडबॅक: मागील सिंबॉलच्या निरीक्षणावर आधारित सँपलिंग आणि फीडबॅक यांचे संयोजन करते.

PAM प्रणालीचे फायदे आणि तोटे (Advantages and Disadvantages of PAM):

- **PAM चे फायदे (Advantages):**

PAM प्रणालीचा मुख्य फायदा म्हणजे त्याची साधी निर्मिती आणि शोधण्याची प्रक्रिया.

- **PAM चे तोटे (Disadvantages):**

a. PAM प्रणालीमध्ये अनेक मर्यादा आहेत

b. सिग्नलचा ॲम्प्लिट्यूड बदलतो: PAM सिग्नलचा ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेटिंग सिग्नलच्या ॲम्प्लिट्यूडनुसार बदलतो. त्यामुळे AM प्रमाणेच ॲडिटीव्ह नॉईजचा प्रभाव जास्त असतो. हा नॉईज सहज काढून टाकता येत नाही.

c. प्रसारणासाठी मोठी बँडविड्थ लागतो: PAM सिग्नलसाठी आवश्यक बँडविड्थ हा x(t) च्या जास्तीत जास्त फ्रिक्वेन्सी कंटेंटपेक्षा खूप मोठी असते.

d. ट्रान्समिटेड पॉवर स्थिर राहत नाही: PAM पल्सच्या ॲम्प्लिट्यूडमधील बदलांमुळे ट्रान्समिट केलेली पॉवर सतत बदलत राहते.

- **PAM चे अनुप्रयोग (Applications of PAM):**

PAM तंत्रज्ञानाचे काही महत्त्वाचे उपयोग पुढीलप्रमाणे आहेत:

a. इथरनेट: काही इथरनेट संप्रेषण (communication) standard PAM वापरले जाते.

b. फोटोबायोलॉजी: PAM तंत्रज्ञानाचा फोटोसिंथेसिसच्या अभ्यासासाठी उपयोग केला जातो..

c. LED लायटिंगसाठी इलेक्ट्रॉनिक ड्रायव्हर्स: LED लाइटिंग नियंत्रित करण्यासाठी PAM तंत्रज्ञानाचा वापर केला जातो.

d. डिजिटल टेलिव्हिजन: उत्तर अमेरिकेतील ॲडव्हान्स्ड टीव्ही स्टँडर्ड (ATSC) डिजिटल टीव्हीसाठी PAM चा वापर केला जातो.

e. PAM-TDM (टाइम डिव्हिजन मल्टिप्लेक्सिंग) प्रणालीत वापरले जाते

f. PAM-FM प्रणालीत वापरले जाते.

2.2.2 पल्स विड्थ मॉड्युलेशन किंवा पल्स ड्युरेशन मॉड्युलेशन (PWM- PULSE WIDTH MODULATION OR PDM- PULSE DURATION MODULATION):

पल्स ऍनालॉग मॉड्युलेशनचा आणखी एक प्रकार म्हणजे पल्स विड्थ मॉड्युलेशन (PWM).

पीडब्ल्यूएममध्ये, वाहक पल्सची विड्थ मॉड्युलेटिंग सिग्नलच्या अँप्लिट्युडच्या प्रमाणात बदलते.

a) पीडब्ल्यूएम सिग्नलची निर्मिती (Generation of PWM Signal):

ब्लॉक डायग्राम:

a. Figure 2.13 मधील ब्लॉक डायग्राम PWM तसेच PPM निर्मितीसाठी वापरली जाऊ शकते.

b. सॉटूथ जनरेटर f फ्रिक्वेन्सीचा सिग्नल निर्माण करतो म्हणून या प्रकरणात सॉटूथ जनरेटर सिग्नल हा एक सॅम्पलिंग सिग्नल असतो. तो तुलनाकर्त्याच्या उलट्या टर्मिनलवर लावला जातो.

c. मॉड्युलेटिंग सिग्नल x (t) त्याच कंपॅरेटरच्या नॉन-इनव्हर्टिंग टर्मिनलवर लागू केला जातो.

d. जोपर्यंत x (t) चे तात्काळ अँप्लिट्युड रॅम्प सिग्नलपेक्षा जास्त असेल तोपर्यंत कम्पेरेटर आउटपुट जास्त राहील.

e. यामुळे Figure 2.13 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे तुलनात्मक आउटपुटवर PWM सिग्नल निर्माण होतो.

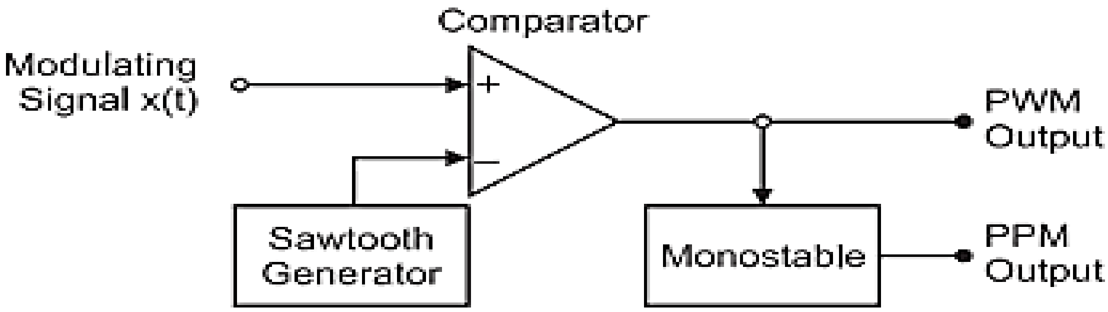


Figure 2.13 PWM and PPM generator

वेव्हफॉर्म्स:

PWM जनरेटरसाठी वेव्हफॉर्म्स Figure 2.14 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे आहेत.

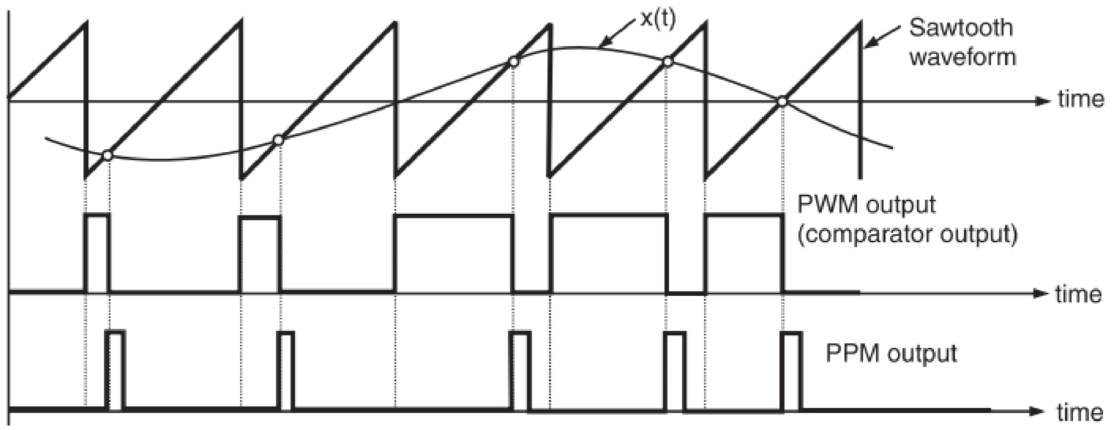


Figure 2.14 PWM and PPM Waveforms

पल्स विड्थ मॉड्युलेशन (PWM) किंवा पल्स ड्युरेशन मॉड्युलेशन (PDM)

महत्वाच्या नोंदी:

PWM वेव्हफॉर्मची लीडिंग एजेस (समोरच्या कडा) रॅम्प सिग्नलच्या फॉलिंग एजेसशी जुळतात. त्यामुळे PWM सिग्नलच्या लीडिंग एजेस ठराविक वेळेच्या क्षणी (Fixed Time Instants) तयार होतात.परंतु, ट्रेलिंग एजेस (मागील कडा) x(t) च्या तात्काळ (इन्स्टंटेनिअस) ॲम्प्लिट्यूडवर अवलंबून असतात. म्हणून या PWM सिग्नलला "ट्रेल एज मॉड्युलेटेड PWM" असे म्हणतात.

(b) PWM सिग्नलचे डिटेक्शन (संधान) (Detection of PWM Signal):

ब्लॉक डायग्राम:

PWM डिटेक्टरचा ब्लॉक डायग्राम Figure 2.15 मध्ये दाखविल्याप्रमाणे आहे.

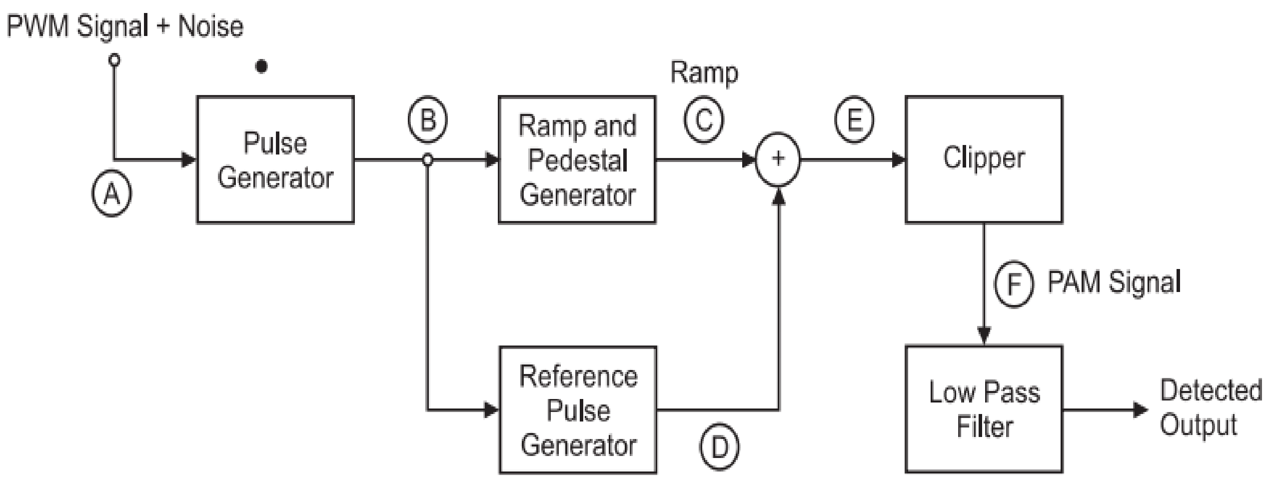


Figure 2.15 PWM detector circuit

कार्यप्रणाली:

a. डिटेक्शन सर्किटच्या इनपुटला मिळणारा PWM सिग्नल नॉईजने दूषित झालेला असतो. हा सिग्नल पल्स जनरेटर सर्किटला दिला जातो, जे PWM सिग्नलला पुन्हा निर्माण करते.

b. यामुळे काही प्रमाणात नॉईज काढून टाकला जातो आणि पल्सेस व्यवस्थित squared up होतात. पुन्हा निर्माण केलेले (Regenerated) पल्सेस रेफरन्स पल्स जनरेटरला दिले जातात.

c. हे जनरेटर स्थिर ऍम्प्लिट्यूड आणि स्थिर रुंदी (width) असलेल्या पल्सेसचे ट्रेन (मालिका) तयार करते.

d. हे पल्सेस पुन्हा निर्माण केलेल्या PWM पल्सच्या लीडिंग एजेसशी सिंक्रोनाइझ असतात पण एका ठराविक वेळेने विलंबित (Delayed) असतात.

e. हेच पुन्हा निर्माण केलेले PWM पल्सेस रॅम्प जनरेटरला दिले जातात.यातून पल्सच्या कालावधीसाठी स्थिर उताराचा (Constant Slope) रॅम्प सिग्नल मिळतो.

f. रॅम्पची उंची PWM पल्सच्या रुंदीच्या प्रमाणात बदलते. पल्सच्या शेवटी, सॅम्पल आणि होल्ड अँम्प्लिफायर अंतिम रॅम्प व्होल्टेज कायम ठेवतो, जो पुढच्या पल्सच्या शेवटी रीसेट केला जातो.

g. रेफरन्स पल्स जनरेटरच्या आउटपुटमधील स्थिर ऍम्प्लिट्यूड पल्सेस, रॅम्प सिग्नलमध्ये ॲडरच्या (Adder) सहाय्याने जोडले जातात. ॲडरच्या आउटपुटला ठराविक थ्रेशोल्ड लेव्हलवर क्लिप केले जाते, ज्यामुळे आउटपुटवर PAM (Pulse Amplitude Modulation) सिग्नल मिळतो.

h. त्यानंतर, लो-पास फिल्टरच्या मदतीने PAM सिग्नलमधून मूळ मॉड्युलेटिंग सिग्नल पुनर्प्राप्त केला जातो. या सर्किटसाठी आवश्यक वेव्हफॉर्म्स Figure: 2.16 मध्ये दर्शविले आहेत.

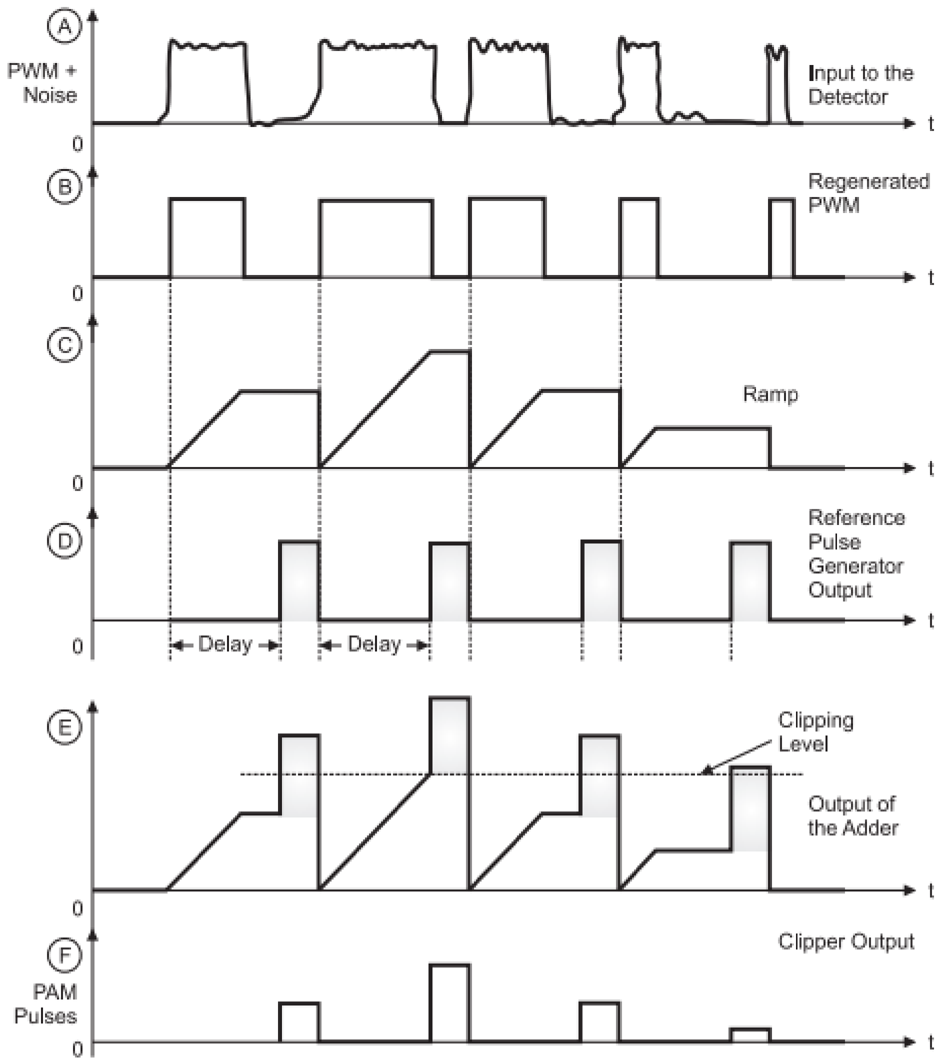


Fig: 2.16 waveforms for PWM detector circuit

- **PWM चे फायदे (Advantages of PWM):**

a. PWM प्रणालीचे खालील फायदे आहेत:

b. नॉईजचा कमी प्रभाव: PWM ला खूप चांगली नॉईज इम्युनिटी असते, त्यामुळे सिग्नलवरील नॉईजचा प्रभाव कमी होतो.

c. ट्रान्समीटर आणि रिसीव्हरमध्ये सिंक्रोनायझेशन आवश्यक नाही: PPM मध्ये जसे सिंक्रोनायझेशन आवश्यक असते, तसे PWM मध्ये गरज नसते.

d. नॉईजयुक्त PWM सिग्नल पुन्हा तयार करता येतो: डिटेक्शन सर्किटच्या मदतीने PWM सिग्नल नॉईजपासून वेगळा करता येतो, जे PAM मध्ये शक्य नाही.

- **PWM चे तोटे (Disadvantages of PWM):**

PWM प्रणालीच्या काही मर्यादा खालीलप्रमाणे आहेत:

a. व्हेरिएबल पल्स विड्थमुळे पॉवर व्हेरिएशन:

b. पल्सची विड्थ बदलत असल्यामुळे त्याच्या पॉवर कंटेंटमध्येही फरक पडतो.

c. ट्रान्समीटरने सर्वाधिक रुंदीच्या (width) पल्ससाठी पुरेशी शक्ती (Power) हाताळण्यास सक्षम असणे आवश्यक असते.

d. एकूण प्रसारित होणारी सरासरी पॉवर ही जास्तीत जास्त पॉवरच्या सुमारे ५०% पर्यंत कमी असू शकते.

e. PWM साठी मोठी बँडविड्थ लागतो:

f. वेव्हफॉर्ममध्ये विकृती (Distortion) येऊ नये यासाठी, PWM कम्युनिकेशनसाठी आवश्यक बँडविड्थ PAM पेक्षा अधिक असतो.

- **PWM चे अनुप्रयोग (Applications of PWM):**

PWM तंत्रज्ञानाचे खालील महत्त्वाचे उपयोग आहेत:

a. ऑप्टिकल फायबर कम्युनिकेशनमध्ये.

b. काही लष्करी संप्रेषण (Military Communication) प्रणालींमध्ये.

c. स्विचिंग मोड पॉवर सप्लाय (SMPS) च्या डिझाइनसाठी.

d. मोटर नियंत्रण (Motor Control) आणि रोबोटिक्समध्ये.

e. PWM सेर्वोमेकॅनिझममध्ये (Servomechanisms) वापरले जाते.

f. PWM चा वापर संगीत संकलन (Sound/Music Synthesis) मध्ये देखील केला जातो.

2.2.3 पल्स पोझिशन मॉड्युलेशन (PPM- PULSE POSITION MODULATION) :

सिद्धांत (Principle):

PPM मध्ये, पल्स कॅरिअरचा ॲम्प्लिट्यूड आणि रुंदी (width) स्थिर राहते, पण प्रत्येक पल्सची स्थिती (Position) मॉड्युलेटिंग सिग्नलच्या सॅम्पल केलेल्या मूल्याच्या ॲम्प्लिट्यूडच्या प्रमाणात बदलते. पल्सची पोझिशन संदर्भ (Reference) पल्सच्या तुलनेत बदलते. PPM पल्सेस हे PWM पल्सेसपासून निर्माण करता येतात, जे Figure 2.17 मध्ये दर्शविले आहे

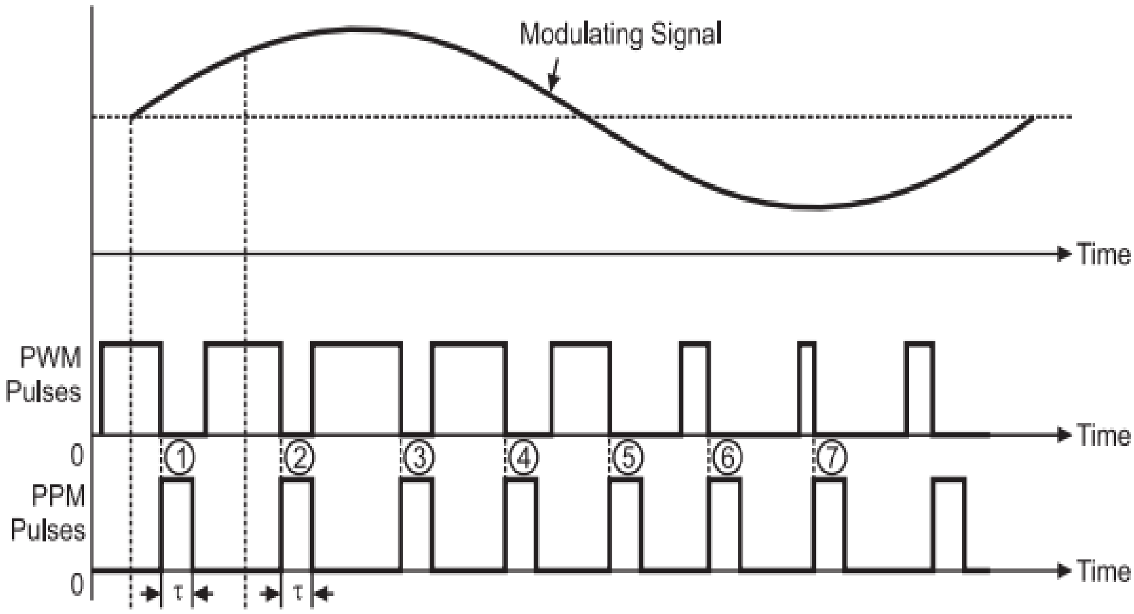


Figure 2.17 Pulses generated from PWM Signal

मॉड्युलेटिंग व्होल्टेज वाढल्यास, PPM पल्सेस संदर्भाच्या तुलनेत अधिक पुढे सरकतात.

Figure 2.17 मध्ये दाखवलेल्या उभ्या ठिपक्यांच्या रेषा संदर्भ रेषा मानल्या जातात, ज्या PPM पल्सेसच्या पोझिशनतील बदल मोजण्यासाठी वापरल्या जातात.

प्रत्येक PPM पल्सची लीडिंग एज (समोरची कडा) PWM पल्सच्या ट्रेलिंग एजशी (मागील कडा) जुळते.

Figure 2.17 मध्ये 1, 2, 3 असे क्रमांकित PPM पल्सेस त्यांच्या संबंधित संदर्भ रेषांपासून (reference line) दूर जातात.

हे मॉड्युलेटिंग सिग्नलच्या ॲम्प्लिट्यूडच्या वाढीशी संबंधित आहे.

मॉड्युलेटिंग व्होल्टेज कमी झाल्यास, PPM पल्सेस (4, 5, 6, 7) हळूहळू त्यांच्या संबंधित संदर्भ रेषांजवळ येतात.

a) PPM सिग्नलची निर्मिती (Generation of PPM Signal):

ब्लॉक डायग्राम:

PPM सिग्नल PWM सिग्नलपासून तयार केला जाऊ शकतो, जसे Figure 2.17 मध्ये दाखवले आहे. समान ब्लॉक डायग्राम Figure 2.18 मध्ये पुन्हा दर्शविला आहे.

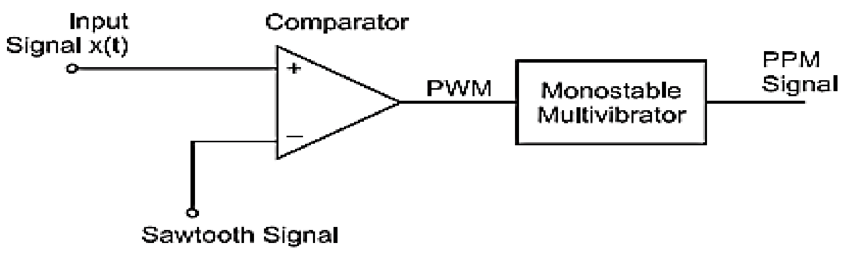


Figure 2.18 Generation of PPM signal

कार्यप्रणाली (Operation):

कम्पेरेटरच्या आउटपुटवरून मिळालेले PWM पल्सेस मोनोस्टेबल मल्टीव्हायब्रेटरला दिले जातात. हा मोनोस्टेबल निगेटिव्ह एज ट्रिगर केलेला असतो. म्हणून, प्रत्येक PWM सिग्नलच्या ट्रेलिंग एज (मागील कडा) साठी मोनोस्टेबलचा आउटपुट हाय होतो. हा आउटपुट ठराविक वेळेसाठी हाय राहतो, जो त्याच्या स्वतःच्या RC घटकांद्वारे (Components) ठरविला जातो. म्हणूनच, PWM सिग्नलच्या ट्रेलिंग एजेस मॉड्युलेटिंग सिग्नल x(t) च्या प्रमाणात हलत राहतात, तसेच PPM पल्सेस देखील हलत राहतात, जसे Figure 2.17 मध्ये दर्शविले आहे. सर्व PPM पल्सेसची रुंदी (Width) आणि ॲम्प्लिट्यूड समान असते. माहिती (Information) पल्सेसच्या बदलत्या स्थानाद्वारे (Position) प्रसारित केली जाते.

b) PPM चे डिमॉड्युलेशन (Demodulation of PPM):

ब्लॉक डायग्राम:

PPM डिमॉड्युलेटरचा ब्लॉक डायग्राम Figure 2.19 मध्ये दाखवला आहे.

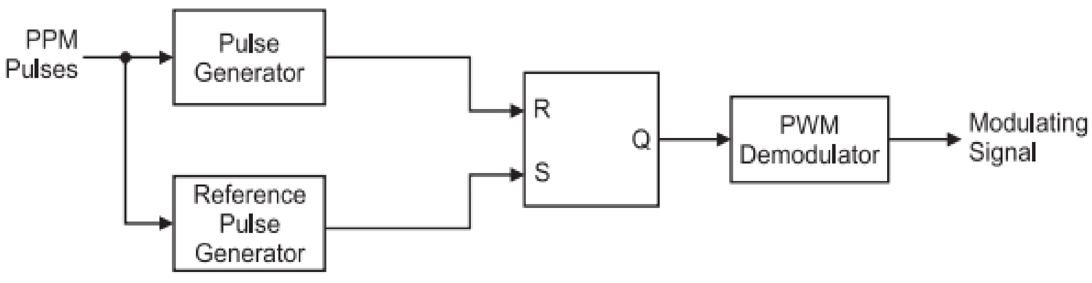


Figure 2.19 PPM demodulator block diagram

कार्यप्रणाली (Operation):

PPM डिमॉड्युलेटर सर्किटची कार्यप्रणाली पुढीलप्रमाणे स्पष्ट केली जाते:

नॉईजमुळे दूषित (Corrupted) झालेला PPM वेव्हफॉर्म PPM डिमॉड्युलेटर सर्किटद्वारे प्राप्त केला जातो.पल्स जनरेटर आपल्या आउटपुटवर ठराविक कालावधीचा (Fixed Duration) पल्स वेव्हफॉर्म विकसित करतो आणि

हे पल्स SR फ्लिप-फ्लॉपच्या रीसेट (R) पिनला लागू केले जातात. इनकमिंग PPM वेव्हफॉर्ममधून एक स्थिर कालावधीचा (Fixed Period) संदर्भ (Reference) पल्स जनरेट केला जातो आणि SR फ्लिप-फ्लॉप हे संदर्भ पल्सेसद्वारे सेट केले जाते.फ्लिप-फ्लॉपला दिल्या जाणाऱ्या सेट आणि रीसेट सिग्नल्समुळे, त्याच्या आउटपुटवर PWM सिग्नल मिळतो.हा PWM सिग्नल PWM डिमॉड्युलेटरचा वापर करून डिमॉड्युलेट केला जाऊ शकतो.

PPM चे फायदे (Advantages of PPM):

a. PPM पल्सेसचा ॲम्प्लिट्यूड स्थिर असल्यामुळे, माहिती (Information) ॲम्प्लिट्यूडमध्ये नसते.

b. परिणामी, PPM सिग्नलमध्ये जोडलेला नॉईज माहितीला विकृत (Distort) करू शकत नाही.

c. त्यामुळे PPM ला उत्तम नॉईज इम्युनिटी मिळते.

d. नॉईजयुक्त PPM सिग्नलमधून मूळ PPM सिग्नल पुन्हा तयार करणे शक्य आहे.

e. हे PWM मध्ये शक्य आहे, पण PAM मध्ये शक्य नाही.

f. पल्सेसचा ॲम्प्लिट्यूड स्थिर असल्यामुळे, प्रसारित (Transmitted) पॉवर नेहमी स्थिर राहते.

g. PWM प्रमाणे पॉवरमध्ये बदल होत नाही.

PPM चे तोटे (Disadvantages of PPM):

a. PPM पल्सेसची पोझिशन संदर्भ पल्सच्या तुलनेत बदलत असल्याने, ट्रान्समीटरला रिसीव्हरच्या टायमिंग सर्किट्ससाठी समक्रमण (Synchronizing) पल्सेस पाठवावे लागतात.

b. हे पल्सेस नसतील तर डिमॉड्युलेशन करणे शक्य होणार नाही.

c. अविकृत (Undistorted) पल्सेस प्रसारित करण्यासाठी मोठ्या बँडविड्थची आवश्यकता असते.

PPM चे अनुप्रयोग (Applications of PPM):

a. PPM चा वापर रेडिओ फ्रिक्वेंसी (RF) ट्रान्समीटरमध्ये केला जातो, जो रिमोट कंट्रोल्ड विमानं, कार्स, बोट्स इत्यादींसाठी वापरला जातो.

b. PPM ला PWM पेक्षा प्राधान्य दिले जाते, जेव्हा प्रसारण कमी पॉवर आणि कमी फ्रिक्वेन्सीच्या अरुंद बँड RF चॅनेलद्वारे (Narrow Band RF Channel) होणार असते.

c. PPM चा काही लष्करी संप्रेषण (Military Communication) प्रणालींमध्ये वापर केला जातो.

पीएएम, पीडब्ल्यूएम आणि पीपीएमची तुलना (PAM, PWM and PPM comparison)

Table 2.1: PAM, PWM आणि PPM ची तुलना

अ. क्र.	पॅरामीटर	पीएएम	पीडब्ल्यूएम	पीपीएम
1	वाहकाचा प्रकार	पल्सची ट्रेन	पल्सची ट्रेन	पल्सची ट्रेन
2	पल्स वाहकाचे परिवर्तनीय वैशिष्ट्य	अम्प्लिट्यूड	विड्थ	पोसिशन
3	बँडविड्थची आवश्यकता	कमी	जास्त	जास्त
4	आवाज (noise) सहनशक्ती	कमी	जास्त	जास्त
5	माहिती कुठे असते	अम्प्लिट्यूड बदलांमध्ये	विड्थ बदलांमध्ये	पोसिशन बदलांमध्ये
6	प्रसारित शक्ती	पल्सच्या अम्प्लिट्यूडनुसार बदलते	रुंदीच्या बदलांनुसार बदलते	कायम स्थिर राहते
7	समक्रमण (synchronization) पल्स प्रसारित करण्याची आवश्यकता	नाही	नाही	आवश्यक
8	निर्मिती आणि शोधण्याची कठीणता	अवघड	सोपी	अवघड
9	इतर मॉड्युलेशन प्रणालींशी समानता	AM (ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेशन) शी समानता	FM (फ्रिक्वेन्सी मॉड्युलेशन) शी समानता	PM (फेज मॉड्युलेशन) शी समानता

2.3 पल्स कोड मॉड्युलेशन (PCM- PULSE CODE MODULATION):

PCM हा पल्स मॉड्युलेशनचा एक प्रकार आहे जसे की PAM, PWM किंवा PPM, परंतु त्यांच्यात एक महत्त्वाचा फरक आहे. PAM, PWM आणि PPM हे "ॲनालॉग" पल्स मॉड्युलेशन प्रणाली आहेत, तर PCM ही "डिजिटल" पल्स मॉड्युलेशन प्रणाली आहे. याचा अर्थ PCM आउटपुट हे संहिताबद्ध डिजिटल स्वरूपात असते.

हे निश्चित अम्प्लिट्यूड, विड्थ आणि पोझिशन असलेल्या डिजिटल पल्सच्या स्वरूपात असते.

व्याख्या:

पल्स कोड मॉड्युलेशन (PCM) ही ॲनालॉग डेटा प्रसारित करण्यासाठी वापरण्यात येणारी एक डिजिटल योजना आहे. माहिती "कोड शब्दांच्या" स्वरूपात प्रसारित केली जाते. PCM प्रणालीमध्ये PCM एनकोडर (ट्रान्समीटर)

आणि PCM डिकोडर (ग्राहक) असतो. PCM प्रेषकातील आवश्यक प्रक्रिया म्हणजे सॅम्पलिंग, क्वांटायझिंग आणि एनकोडिंग.

2.3.1 PCM ट्रान्समीटर (PCM TRANSMITTER):

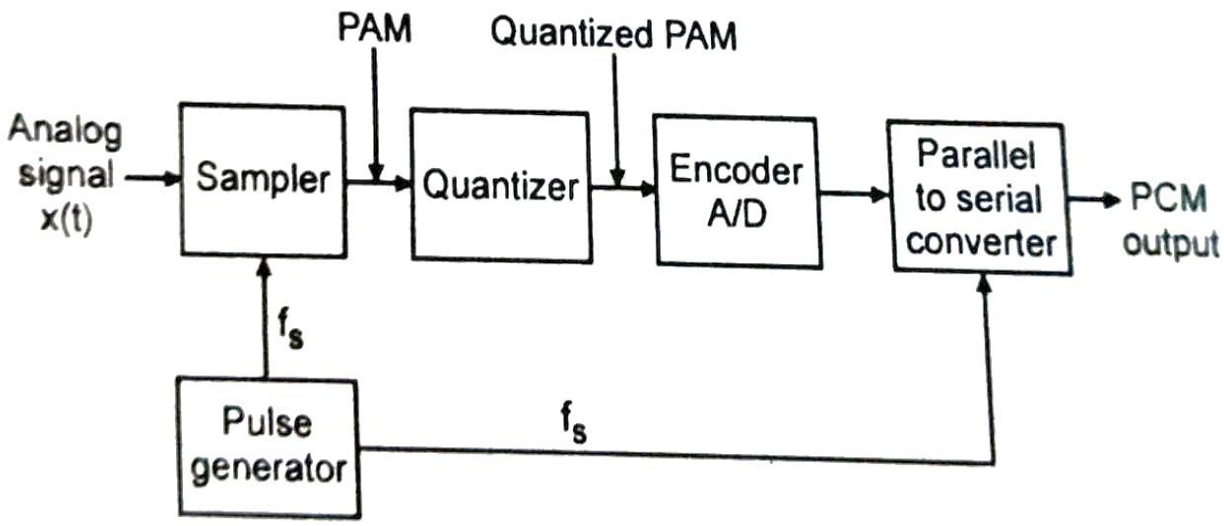


Figure 2.20 PCM Transmitter (Encoder)

PCM प्रेषकाचे कार्य (Operation of PCM Transmitter):

PCM प्रेषकाचे कार्य खालीलप्रमाणे आहे:

a. ॲनालॉग सिग्नल प्रक्रिया: ॲनालॉग सिग्नल x(t) एका बँड मर्यादित लो-पास फिल्टर मधून पाठवले जाते, ज्याची कट-ऑफ फ्रिक्वेन्सी fc =W Hz असते. यामुळे x(t) मध्ये W हून जास्त फ्रिक्वेन्सी असणारे घटक राहणार नाहीत. यामुळे एलियसिंग (Aliasing) होण्याची शक्यता टाळली जाते.

b. नंतर हा बँड मर्यादित ॲनालॉग सिग्नल सँपल आणि होल्ड सर्किट ला पुरवला जातो, जिथे तो पुरेशा उच्च सँपलिंग दराने सँपल केला जातो.

c. सँपल आणि होल्ड ब्लॉकचे आउटपुट: सँपल आणि होल्ड ब्लॉकमधून फ्लॅट-टॉप PAM सिग्नल प्राप्त होतो.

d. क्वांटायझेशन (Quantization) प्रक्रिया: या सिग्नलला पुढे क्वांटायझर (Quantizer) मध्ये पाठवले जाते, जिथे क्वांटायझेशन प्रक्रिया केली जाते. क्वांटायझेशन ही अंदाजे मोजणी (Approximation) प्रक्रिया आहे, जी नंतर समजावली जाईल.यामुळे गोंगाटाचा (Noise) प्रभाव कमी केला जातो.

e. सँपलिंग आणि क्वांटायझेशनच्या एकत्रित परिणामामुळे क्वांटायझड PAM सिग्नल मिळतो.

f. एनकोडिंग (Encoding) प्रक्रिया: क्वांटायझड PAM पल्सेस एका एनकोडर (Encoder) कडे पाठवले जातात, जो प्रत्यक्षात A to D कन्व्हर्टर (Analog to Digital Converter) असतो.

g. डिजिटल शब्दात रूपांतरण: A to D कन्व्हर्टर प्रत्येक क्वांटायझड स्तर (Quantized Level) ला N बिट डिजिटल शब्दात (N-bit Digital Word) रूपांतरित करतो. N च्या संभाव्य किंमती 8, 16, 32, 64 इत्यादी असू शकतात.

h. एनकोडर आउटपुट पॅरलल-टू-सिरियल कन्व्हर्टर मध्ये पाठवले जाते, जिथे तो डिजिटल पल्सच्या प्रवाहात (Stream of Digital Pulses) रूपांतरित होतो.

i. पल्स जनरेशन:पल्स जनरेटर (Pulse Generator) आयताकृती पल्सची एक मालिका निर्माण करतो, जिथे प्रत्येक पल्सचा कालावधी "t" सेकंद असतो.

j. सँपलिंग फ्रिक्वेन्सी आणि क्लॉक सिग्नल: या सिग्नलची फ्रिक्वेन्सी "fs" Hz असते आणि तो सँपल आणि होल्ड सर्किटचा सँपलिंग सिग्नल म्हणून कार्य करतो. हा सिग्नल पॅरलल-टू-सिरियल कन्व्हर्टरसाठी "क्लॉक" सिग्नल म्हणूनही वापरला जातो.

k. Nyquist निकष (Nyquist Criteria) पूर्ण करण्यासाठी "fs" फ्रिक्वेन्सी योग्यरित्या समायोजित केली जाते.

वेव्हफॉर्म्स (Waveforms):

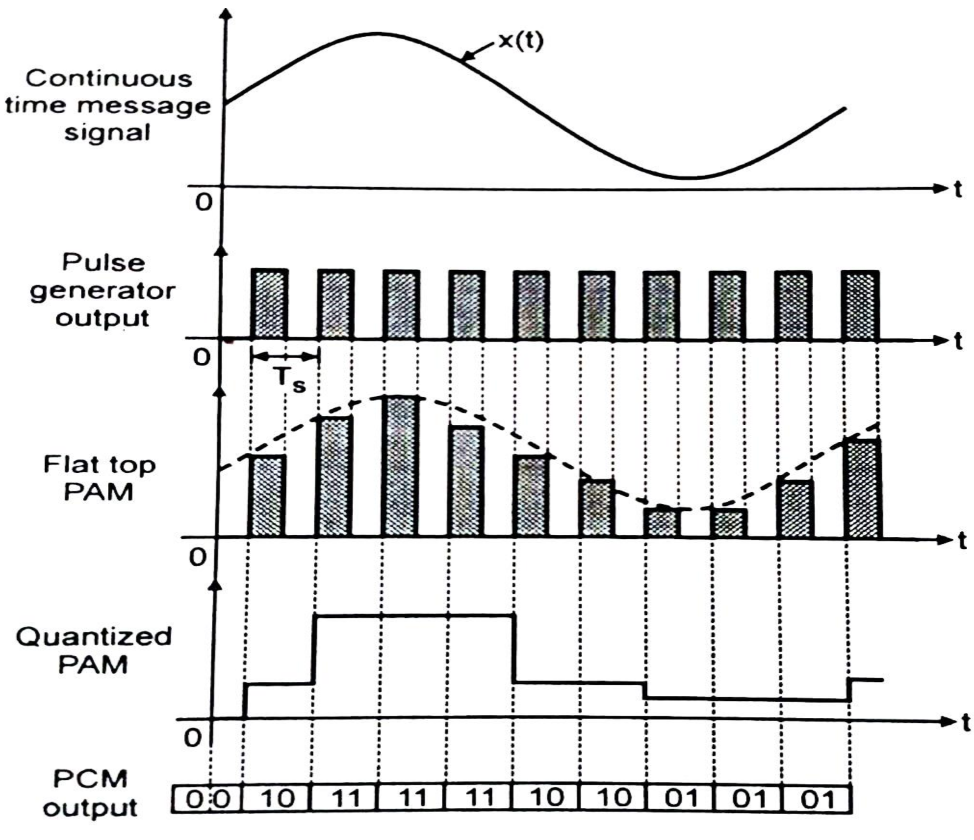


Figure 2.21 Waveforms at different points in PCM transmitter

2.3.2 पीसीएम रिसीव्हर (PCM RECEIVER):

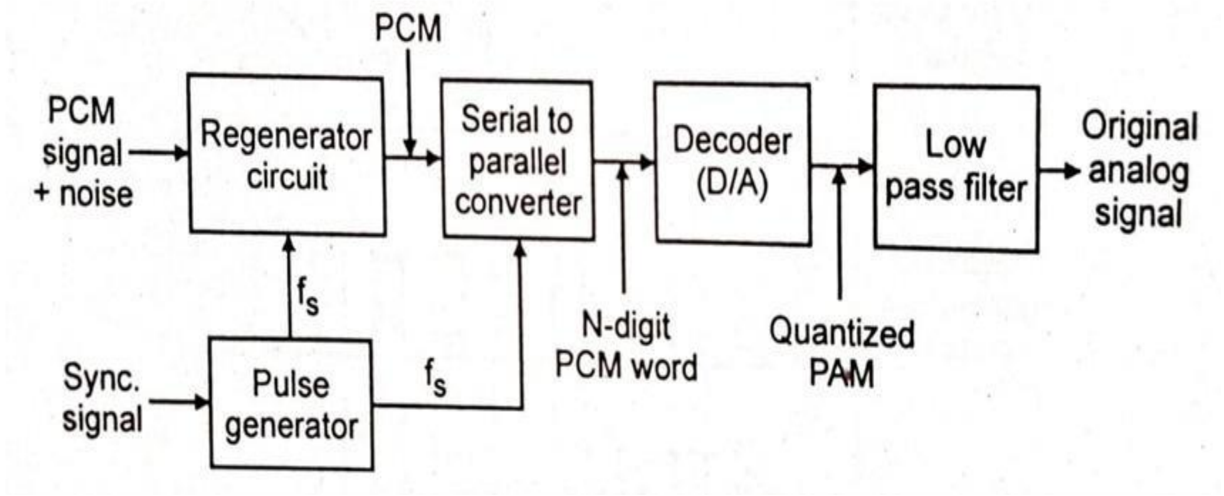


Figure 2.22 PCM receiver

PCM रिसीव्हरचे कार्य (Operation of PCM Receiver):

a. PCM सिग्नल आणि गोंगाट (Noise):-PCM रिसीव्हरच्या इनपुटला गोंगाटमिश्रित (Noise Contaminated) PCM सिग्नल प्राप्त होतो.

b. रीजनरेशन सर्किट (Regeneration Circuit):- रिसीव्हरमधील रीजनरेशन सर्किट PCM पल्सेसला गोंगाटापासून वेगळे करते आणि मूळ PCM सिग्नलची पुनर्रचना (Reconstruction) करते.

c. सिंक्रोनाइझेशन (Synchronization): पल्स जनरेटर ट्रान्समीटर (Transmitter) सोबत सिंक्रोनाइझ (Synchronize) असणे आवश्यक आहे.त्यामुळे रीजनरेशन सर्किटच्या आउटपुटवर "शुद्ध" PCM सिग्नल मिळतो.

d. सीरियल-टू-पॅरलल कन्व्हर्टर:-पुनर्रचित PCM सिग्नल सीरियल-टू-पॅरलल कन्व्हर्टर मधून जातो आणि त्याचा आउटपुट डिकोडर कडे पाठवला जातो.

e. डिकोडर (D to A कन्व्हर्टर):डिकोडर हा D to A कन्व्हर्टर (Digital to Analog Converter) असतो, जो एनकोडरच्या उलट प्रक्रिया करतो. डिकोडर आउटपुट क्वांटायझड मल्टीलेव्हल पल्सेस असतो.

f. क्वांटायझड PAM सिग्नल:डिकोडरच्या आउटपुटवर क्वांटायझड PAM सिग्नल प्राप्त होतो.

g. हा सिग्नल लो-पास फिल्टर (Reconstruction Filter) मधून पाठवला जातो, ज्यामुळे मूळ ॲनालॉग सिग्नल x(t) पुनर्प्राप्त केला जातो.

h. या फिल्टरची कट-ऑफ फ्रिक्वेन्सी "W" Hz असते, जी संदेशाचा बँडविड्थ दर्शवते.

PCM चे फायदे (Advantages of PCM):

a. उच्च सिग्नल गुणवत्ता – PCM मध्ये आवाज आणि विकृती (distortion) कमी असते, त्यामुळे सिग्नलची गुणवत्ता चांगली राहते.

b. वाढीव सिग्नल-टू-नॉईज रेशियो (SNR) – डिजिटल स्वरूपात सिग्नल प्रसारित केल्यामुळे SNR जास्त राहते.

c. डेटा साठवण्याची आणि पुनर्प्राप्ती करण्याची सोय – PCM सिग्नल सहज साठवता आणि पुनर्प्राप्त करता येतो.

d. त्रुटी सुधारणा (Error Correction) – डिजिटल स्वरूप असल्यामुळे त्रुटी ओळखणे आणि सुधारणा करणे सोपे होते.

e. संकेतांचा दीर्घ पल्ल्यावर प्रसार – डिजिटल सिग्नल लांब अंतरावर पाठवताना गुणवत्ता खराब होत नाही.

f. सुरक्षितता आणि गुप्तता – डिजिटल सिग्नल एनक्रिप्शनद्वारे सुरक्षित करता येतो.

PCM चे तोटे (Disadvantages of PCM):

a. उच्च बँडविड्थची गरज – PCM मध्ये मोठ्या प्रमाणात बँडविड्थ लागते, कारण डेटा मोठ्या प्रमाणात वाढतो.

b. साधनसामग्रीचा जास्त खर्च – PCM प्रणालीसाठी जास्त गुंतागुंत असलेल्या हार्डवेअर आणि सर्किट्स लागतात.

c. क्वांटायझेशन त्रुटी (Quantization Error) – डिजिटल स्वरूपात रूपांतर करताना काही माहिती हरवू शकते.

d. संपर्क विलंब (Latency) – डिजिटल प्रक्रियेमुळे सिग्नल ट्रान्समिशनमध्ये विलंब (delay) होऊ शकतो.

e. अधिक ऊर्जा वापर – PCM प्रणालीसाठी जास्त ऊर्जा लागते, विशेषतः उच्च डेटा दरांवर (high data rates).

PCM चे अनुप्रयोग (Applications of PCM):

a. टेलिकम्युनिकेशन (Telecommunication) –टेलिफोन नेटवर्कमध्ये आवाजाचे डिजिटल प्रसारण करण्यासाठी PCM वापरले जाते.

b. मोबाइल कम्युनिकेशन आणि व्हॉइस ओव्हर IP (VoIP) सेवांमध्ये वापर.

c. ऑडिओ आणि संगीत प्रणाली (Audio & Music Systems) –

d. ऑडिओ CD, डिजिटल संगीत रेकॉर्डिंग, आणि स्टुडिओ मास्टरिंगसाठी PCM वापरले जाते.

e. डिजिटल रेडिओ आणि प्रसारण प्रणालींमध्ये वापर.

f. व्हिडिओ ट्रान्समिशन (Video Transmission) –

g. डिजिटल टेलिव्हिजन आणि व्हिडिओ कॉन्फरन्सिंगमध्ये उच्च दर्जाच्या व्हिडिओ आणि ऑडिओसाठी PCM तंत्रज्ञान वापरले जाते.

h. रेडार आणि संरक्षण प्रणाली (Radar & Defense Systems) –

i. PCM प्रणाली संरक्षण क्षेत्रात सिग्नल प्रोसेसिंग आणि रडार कम्युनिकेशनसाठी वापरली जाते.

j. मेडिकल इमेजिंग (Medical Imaging) –MRI (Magnetic Resonance Imaging) आणि CT स्कॅन सारख्या वैद्यकीय प्रतिमा प्रणालींमध्ये PCM वापरले जाते.

k. स्पेस आणि उपग्रह संप्रेषण (Space & Satellite Communication) –अंतराळ मोहिमा आणि उपग्रह संप्रेषणामध्ये, डिजिटल सिग्नल पाठवण्यासाठी PCM आवश्यक आहे.

l. औद्योगिक स्वयंचलित प्रणाली (Industrial Automation) –औद्योगिक कंट्रोल सिस्टीम आणि सेन्सर डेटा ट्रान्समिशनसाठी PCM तंत्रज्ञानाचा उपयोग केला जातो.

m. डेटा स्टोरेज आणि ट्रान्समिशन (Data Storage & Transmission) –संगणकीय नेटवर्क्स आणि डिजिटल संगणक प्रणालींमध्ये डेटा स्टोरेज आणि संप्रेषणासाठी PCM वापरले जाते.

2.3.2 D-PCM (Differential Pulse Code Modulation):

DPCM (Differential Pulse Code Modulation) ही एक सिग्नल एन्कोडिंग पद्धत आहे, जी प्रामुख्याने ऑडिओ, भाषण (Speech) आणि व्हिडिओ सिग्नलचे संकुचन (Compression) करण्यासाठी वापरली जाते.

DPCM हा PCM चा एक विस्तार (Extension) आहे, जो ॲनालॉग सिग्नलला डिजिटल स्वरूपात एन्कोड करण्यासाठी वापरला जातो.

DPCM मध्ये डेटा प्रमाण कमी करण्यासाठी प्रत्येक सँपलचा अक्षरश: मूल्य (Absolute Value) एन्कोड करण्याऐवजी, सालस (Consecutive) सँपल्समधील फरक (Difference) एन्कोड केला जातो.

DPCM ट्रान्समीटर (DPCM Transmitter)

ब्लॉक डायग्राम:

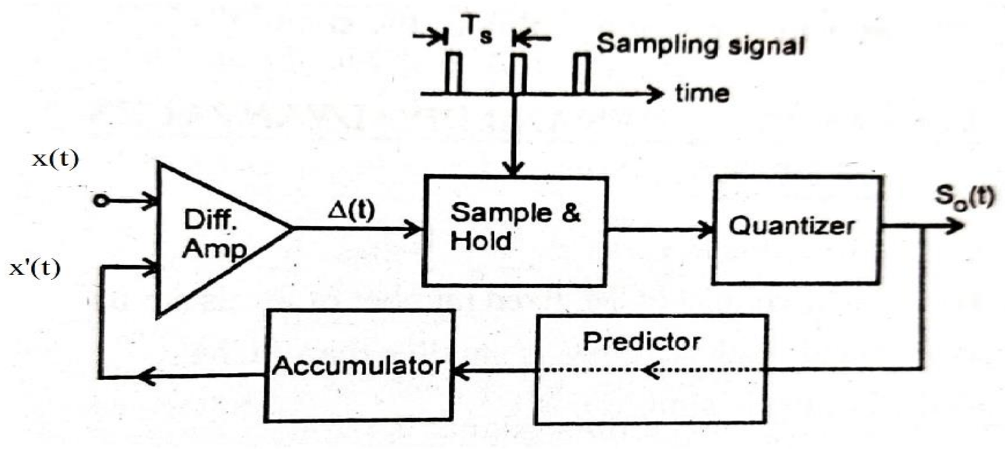


Figure 2.23 DPCM transmitter

DPCM ट्रान्समीटर आणि रिसीव्हर (DPCM Transmitter and Receiver)

DPCM ट्रान्समीटर आणि रिसीव्हरचे ब्लॉक डायग्राम Figure 2.23 मध्ये दर्शवलेले आहेत.

DPCM योजनेत, प्रत्येक क्वांटायझड सँपलचे डिजिटल समकक्ष (Digital Equivalent) थेट प्रसारित केले जात नाही.यामुळे DPCM, PCM पेक्षा वेगळे आहे.त्याऐवजी, वर्तमान सँपल मूल्य आणि मागील सँपल मूल्य यामधील "फरक" प्रसारित केला जातो.

DPCM प्रेषकाचे कार्य (Operation of DPCM Transmitter):

a. Figure 2.23 मध्ये DPCM प्रेषकाचा ब्लॉक डायग्राम दर्शवलेला आहे. x(t) हा ॲनालॉग इनपुट सिग्नल आहे, तर x'(t) हा त्याचा अंदाजे (Approximated) सिग्नल आहे.

b. मुख्य संकल्पना:येथे महत्त्वाचे म्हणजे,x(t) मोठा आहे की लहान, आणि x(t) आणि x'(t) यामधील फरक किती आहे, हे समजून घेणे.

c. फरक गणना: प्रत्येक सँपलिंग क्षणी, डिफरन्स अँप्लिफायर (Difference Amplifier) x(t) आणि x'(t) यांची तुलना करतो.सँपल आणि होल्ड सर्किट हा फरक धारण (Hold) करते.

d. क्वांटायझेशन प्रक्रिया: सँपल आणि होल्ड सर्किटच्या आउटपुटमधील फरक सिग्नल क्वांटायझर (Quantizer) मध्ये पाठवला जातो.

e. एन्कोडिंग आणि ट्रान्समिशन: क्वांटायझर आउटपुट So(t) थेट प्रसारित केला जातो किंवा तो PCM प्रणालीप्रमाणे बिट स्ट्रीममध्ये एन्कोड केला जातो.

f. अंदाजे सिग्नल निर्मिती:क्वांटायझर आउटपुट "प्रेडिक्टर (Predictor) आणि ॲक्युम्युलेटर (Accumulator)" मधून पाठवला जातो, ज्यामुळे x (t) तयार होते.

g. DPCM प्रणालीतील प्रेडिक्टरचे कार्य (Role of a Predictor):

h. उच्च सँपलिंग दराचा परिणाम:

i. जर सँपलिंग दर Nyquist दरापेक्षा जास्त असेल, तर सिग्नल x(t) चे अनुक्रमिक (Successive) सँपल्स परस्पर संबंधित (Correlated) असतात.

j. भविष्यातील सँपल्सचा अंदाज:यामुळे, मागील सँपल मूल्य किंवा फरक माहीत असल्यास, प्रेडिक्टरच्या आउटपुटवर पुढील आवश्यक वाढ किंवा घट (Increment/Decrement) अंदाजित करता येतो.

k. त्रुटी (Error) कमी करणे: यामुळे x(t) आणि x'(t) मधील फरक कमी होतो.

l. बिट दर कमी करणे: DPCM प्रणालीमध्ये लहान मूल्याची त्रुटी (Error) एन्कोड करण्यासाठी कमी बिट्स लागतात.परिणामी बिट दर (Bit Rate) कमी होतो.यासाठीच DPCM प्रणालीमध्ये प्रेडिक्टरचा वापर केला जातो.

b) DPCM रिसीव्हर (DPCM Receiver):

ब्लॉक डायग्राम:

DPCM रिसीव्हरचा ब्लॉक डायग्राम Figure 2.24 मध्ये दाखवला आहे

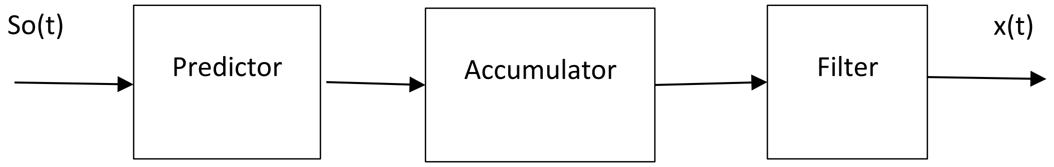


Figure 2.24 Block diagram of DPCM receiver

DPCM रिसीव्हरचे कार्य (Operation of DPCM Receiver):

a. प्राप्त सिग्नलमध्ये (Received Signal) माहिती प्राप्त झालेल्या सिग्नलमध्ये x(t) आणि x'(t) यामधील फरकाची माहिती असते. प्रेडिक्टरद्वारे पुढील मूल्याचा अंदाज (Prediction of Next Signal) प्रेडिक्टर (Predictor) या सिग्नलवर प्रक्रिया करून पुढील सिग्नलचे अंदाजित मूल्य निर्माण करतो.

b. ॲक्युम्युलेटरची भूमिका (Accumulator's Function):

ॲक्युम्युलेटर (Accumulator) या सर्व फरकांना जमा करतो, ज्यामुळे मूळ सिग्नल पुनर्रचित (Reconstruct) होतो.

c. फिल्टरमधून गुळगुळीत सिग्नल (Filtering Process)

फिल्टर (Filter) क्वांटायझेशन गोंगाट (Quantization Noise) कमी करून गुळगुळीत (Smooth) सिग्नल तयार करतो.

DPCM चे फायदे (Advantages of DPCM):

a. कमी क्वांटायझेशन पातळी (Less Quantization Levels):

b. PCM तंत्राने x(nTs) आणि x (t(nT s)) मधील फरक एन्कोड व प्रसारित केला जातो.त्यामुळे लहान फरक व्होल्टेजचे (Difference Voltage) क्वांटायझेशन आणि एन्कोडिंग करावे लागते.

c. कमी बिट्स आवश्यक (Reduced Bit Requirement):यामुळे कमी क्वांटायझेशन स्तर (Levels) आवश्यक होतात.परिणामी त्यांना दर्शवण्यासाठी कमी बिट्स लागतात.

d. सिग्नलिंग दर आणि बँडविड्थ कमी (Reduced Signaling Rate and Bandwidth):

e. DPCM प्रणालीमध्ये PCM पेक्षा कमी सिग्नलिंग दर (Signaling Rate)आणि कमी बँडविड्थ लागते.

DPCM चे तोटे (Disadvantages of DPCM):

a. उच्च बिट दर (High Bit Rate): काही परिस्थितींमध्ये बिट दर जास्त होऊ शकतो.

b. जटिल प्रेडिक्टर सर्किट (Complex Predictor Circuit):प्रेडिक्टर सर्किट वापरणे आवश्यक आहे, जे फार गुंतागुंतीचे (Complex) असते.

c. मर्यादित व्यावहारिक उपयोग (Limited Practical Usage): DPCM ची व्यावहारिक अंमलबजावणी काही मर्यादांमुळे कठीण असते.

2.4 डेल्टा मॉड्युलेशन (D.M.- Delta Modulation)

PCM प्रणालीमध्ये N संख्या बायनरी अंके (Binary Digits) प्रत्येक क्वांटायझड सँपलसाठी प्रसारित केले जातात.त्यामुळे PCM प्रणालीचा सिग्नलिंग दर (Signaling Rate) आणि ट्रान्समिशन चॅनेल बँडविड्थ (Bandwidth) खूप मोठे असते.या मर्यादा दूर करण्यासाठी डेल्टा मॉड्युलेशन (Delta Modulation - DM) वापरले जाते.

डेल्टा मॉड्युलेशनचे वैशिष्ट्ये (Features of Delta Modulation):

PCM मध्ये N बिट्सच्या जागी, डेल्टा मॉड्युलेशनमध्ये प्रति सँपल फक्त "1 बिट" प्रसारित केला जातो. त्यामुळे सिग्नलिंग दर आणि बँडविड्थ मोठ्या प्रमाणावर कमी होते.

a) डेल्टा मॉड्युलेटर ट्रान्समीटर (DELTA MODULATOR TRANSMITTER - GENERATION)

ब्लॉक डायग्राम (Block Diagram):

डेल्टा मॉड्युलेटर प्रेषकाचा ब्लॉक डायग्राम Figure 2.25 मध्ये दाखवलेला आहे.

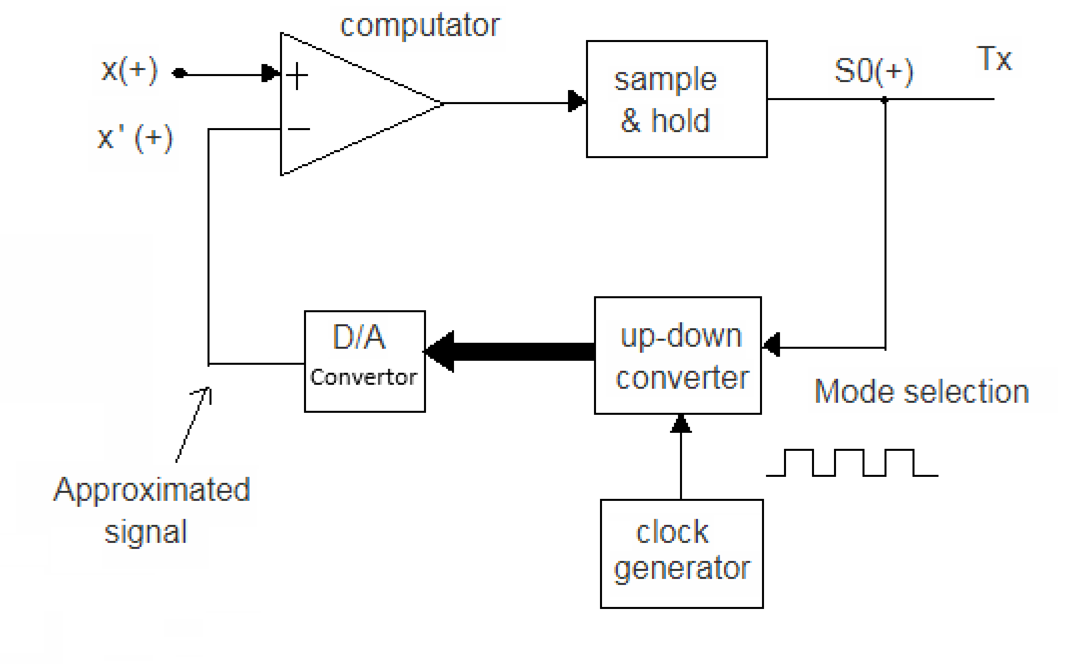


Figure 2.25 Delta modulator transmitter

ऑपरेशन:

डेल्टा मॉड्युलेटर प्रेषकाचे कार्य (Operation of Delta Modulator Transmitter)

डेल्टा मॉड्युलेटर प्रेषकाची कार्यपद्धती पुढीलप्रमाणे आहे:

x(t) हा ॲनालॉग इनपुट सिग्नल आहे, आणि x (t) हा त्याचा क्वांटायझड (Approximated) किंवा अंदाजे सिग्नल आहे. हे दोन्ही सिग्नल तुलनाकार (Comparator) कडे पाठवले जातात.

a. तुलनाकाराचे कार्य (Comparator Operation):

जर x(t)>x(t) असेल, तर तुलनाकार आउटपुट "उच्च (High)" म्हणजे 1 होतो.

जर x(t)<x(t) असेल, तर तुलनाकार आउटपुट "कमी (Low)" म्हणजे 0 होतो.

b. सँपल आणि होल्ड सर्किट (Sample and Hold Circuit):

तुलनाकाराचा आउटपुट (0 किंवा 1) संपूर्ण क्लॉक सायकल (Clock Cycle) दरम्यान धरून ठेवला जातो.

सँपल आणि होल्ड सर्किटचा आउटपुट हा डेल्टा मॉड्युलेशन (DM) प्रणालीचा अंतिम आउटपुट म्हणून प्रसारित केला जातो.

c. डेल्टा मॉड्युलेशनमध्ये (DM) प्रसारित होणारी माहिती:

DM प्रणालीमध्ये प्रसारित होणारी माहिती फक्त एवढीच असते की, x(t) हा x (t) पेक्षा मोठा आहे की लहान.प्रत्येक क्लॉक सायकलला केवळ 1 बिट पाठवला जातो.यामुळे बिट दर (Bit Rate) आणि बँडविड्थ (Bandwidth) मोठ्या प्रमाणावर कमी होते.

d. अप/डाऊन काउंटरचे कार्य (Up/Down Counter Operation):

प्रसारित सिग्नलचा वापर अप/डाऊन काउंटरच्या (Up/Down Counter) ऑपरेशनसाठी केला जातो.

जर =1So(t)=1 असेल, तर काउंटरचा आउटपुट "1 ने वाढतो (Increment by 1)".

जर =0 So(t)=0 असेल, तर काउंटरचा आउटपुट "1 ने कमी होतो (Decrement by 1)".

e. प्रत्येक क्लॉक पल्सच्या "फॉलिंग एज" (Falling Edge) वर हा बदल होतो.

f. तरंगलहरीतील दर्शवलेला बदल (Waveform Representation):

ही प्रक्रिया तरंगलहरींमध्ये (Waveform) Figure 2.26 मध्ये दाखवली आहे.

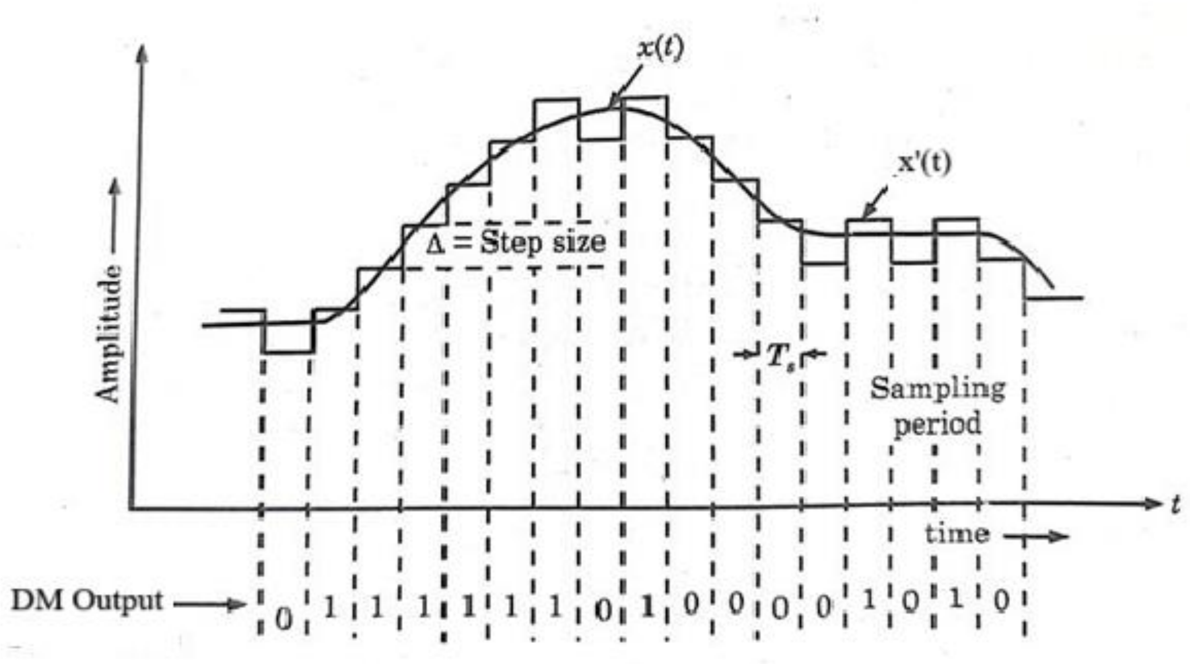


Figure 2.26 Delta modulator waveforms

D ते A कन्व्हर्टरद्वारे काउंटर आउटपुट ॲनालॉग सिग्नलमध्ये रूपांतरित केले जाते. अशा प्रकारे आपल्याला D ते A कन्व्हर्टरच्या आउटपुटवर अंदाजे सिग्नल x' (t) मिळतो.

b) डेल्टा मॉड्युलेटर रिसीव्हर (DELTA MODULATOR RECEIVER) :

ब्लॉक डायग्राम

डीएम रिसीव्हरचा ब्लॉक डायग्राम Figure 2.27 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे आहे.

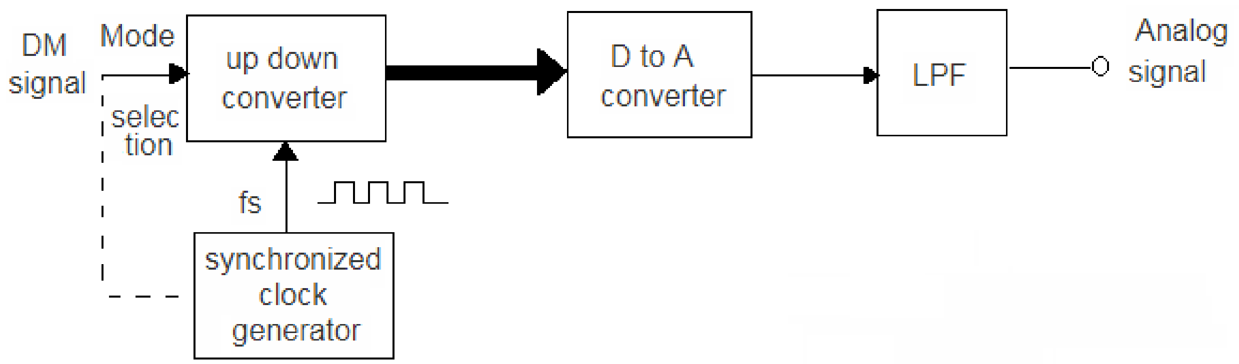


Figure 2.27 Delta modulator receiver

डेल्टा मॉड्युलेशन (डीएम) आणि डिफरेंशियल पल्स-कोड मॉड्युलेशन (डीपीसीएम) प्रणालींची तुलना केल्यास, आउटपुट लो-पास फिल्टर वगळता, त्या एकसारख्या आहेत. त्यामुळे, डीएम हे डीपीसीएमचे एक विशेष प्रकरण आहे.

- **डीएमची वैशिष्ट्ये (Features of D.M):**

आउटपुट कोडवर्ड फक्त एक बिटचा असतो, त्यामुळे फ्रेमिंगची गरज नाही.ट्रान्समीटर आणि रिसीव्हरचे डिझाइन सोपे आहे.कमी बिट रेट आणि कमी बँडविड्थची आवश्यकता आहे.

- **डीएमचे उपयोग (Applications of D.M)**:

काही प्रकारच्या डिजिटल कम्युनिकेशनसाठी.

डिजिटल व्हॉइस स्टोरेजसाठी.

- **डीएम प्रणालीतील विकृती (Distortions in the DM System):**

डीएम प्रणाली क्वांटायझेशन त्रुटी किंवा विकृतींना सामोरे जाते:

a. स्लोप ओव्हरलोड विकृती (Slope overload distortion)

b. ग्रॅन्युलर नॉईज (Granular noise)

a. स्लोप ओव्हरलोड विकृती (Slope overload distortion): स्टेप साईज लहान असेल, तर अंदाजित सिग्नल x'(t) चा स्लोप लहान होईल, ज्यामुळे स्लोप ओव्हरलोड विकृती (distortion) उद्भवू शकते.

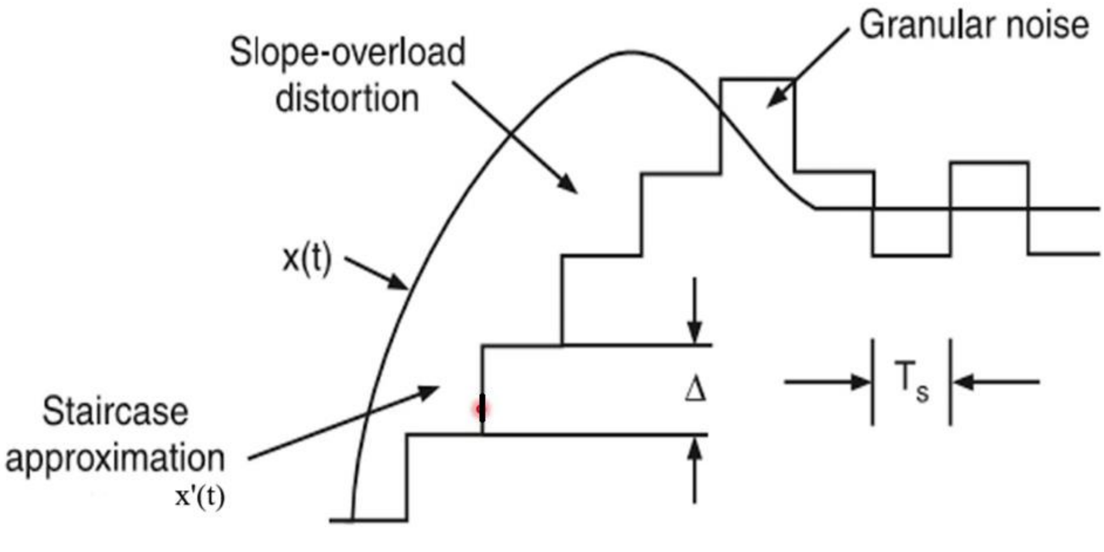


Figure 2.28 Distortion in delta modulation

x'(t) चा स्लोप = δ/Ts = δ fs किंवा Δfs जर इनपुट ॲनालॉग सिग्नल x(t) चा स्लोप x'(t) पेक्षा जास्त असेल आणि ते दीर्घकाळ टिकले, तर x'(t) x(t) मधील बदलांचे अनुसरण करू शकणार नाही. x(t) आणि x'(t) मधील फरकाला स्लोप ओव्हरलोड विकृती (distortion) म्हणतात.स्लोप ओव्हरलोड त्रुटी तेव्हा होते जेव्हा x(t) चा स्लोप x'(t) च्या

स्लोपपेक्षा खूप मोठा असतो.स्लोप ओव्हरलोड त्रुटी कमी करण्यासाठी x'(t) चा स्लोप वाढवावा लागतो.x'(t) चा स्लोप वाढवण्यासाठी, स्टेप साईज "δ" किंवा सॅम्पलिंग फ्रिक्वेन्सी fs वाढवावी.मात्र, δ वाढवल्यास ग्रॅन्युलर नॉईज वाढते आणि fs वाढवल्यास सिग्नलिंग रेट आणि बँडविड्थची गरज वाढते. म्हणून, स्लोप ओव्हरलोड त्रुटी कमी करणे सोपे नाही.

b. ग्रॅन्युलर नॉईज (Granular noise):

जेव्हा इनपुट सिग्नल x(t) च्या अम्प्लिट्यूडमध्ये कमी बदल होतो, तेव्हा अंदाजित सिग्नल x'(t) x(t) च्या वर आणि खाली दोलायमान होतो. x(t) आणि x'(t) मधील या फरकाला ग्रॅन्युलर नॉईज म्हणतात. ग्रॅन्युलर नॉईज PCM प्रणालीतील क्वांटायझेशन नॉईजसारखेच आहे. स्टेप साईज δ वाढवल्यास ग्रॅन्युलर नॉईज वाढते. ग्रॅन्युलर नॉईज कमी करण्यासाठी, स्टेप साईज शक्य तितकी लहान ठेवावी. मात्र, यामुळे स्लोप ओव्हरलोड विकृती (distortion) वाढू शकते. रेषीय डेल्टा मॉड्युलेटरमध्ये स्टेप साईज δ निश्चित असते. जर ते वेरियेबल केले, तर स्लोप ओव्हरलोड विकृती (distortion) आणि ग्रॅन्युलर नॉईज दोन्ही नियंत्रित करता येऊ शकतात. परिवर्तनीय स्टेप साईज असलेल्या प्रणालीला अडॅप्टिव्ह डेल्टा मॉड्युलेटर (ADM) म्हणतात.

- **डेल्टा मॉड्युलेशनचे फायदे (Advantages of Delta Modulation):**

a. कमी सिग्नलिंग रेट आणि कमी ट्रान्समिशन चॅनेल बँडविड्थ, कारण डेल्टा मॉड्युलेशनमध्ये प्रति सॅम्पल फक्त एक बिट प्रसारित केला जातो.

b. डेल्टा मॉड्युलेटर ट्रान्समीटर आणि रिसीव्हरची अंमलबजावणी PCM पेक्षा सोपी आहे.

- **डेल्टा मॉड्युलेशनची तोटे (Disadvantages of Delta Modulation):**

a. पूर्वी चर्चा केलेल्या दोन विकृती (distortion) म्हणजे स्लोप ओव्हरलोड त्रुटी (distortion) आणि ग्रॅन्युलर नॉईज उपस्थित असतात.

b. व्यवहारात, स्लोप ओव्हरलोड त्रुटी टाळण्यासाठी सिग्नलिंग रेट PCM पेक्षा खूप जास्त असतो.

c. स्लोप ओव्हरलोड त्रुटी कमी करण्यासाठी अडॅप्टिव्ह डेल्टा मॉड्युलेशन (ADM) वापरले जाऊ शकते.

2.5 अडॅप्टिव्ह डेल्टा मॉड्युलेशन (ADM- ADAPTIVE DELTA MODULATION):

अडॅप्टिव्ह डेल्टा मॉड्युलेशन (ADM) ही डेल्टा मॉड्युलेशन (DM) प्रणाली आहे ज्यामध्ये स्टेप साईज अनुकूलनीय असते. ADM प्रणालीमध्ये, स्टेप साईज निश्चित नसते. जेव्हा स्लोप ओव्हरलोड होते, तेव्हा स्टेप साईज प्रगतिशीलपणे मोठे होते, त्यामुळे x'(t) x(t) ला अधिक वेगाने अनुसरते. जेव्हा इनपुट सिग्नलचा स्लोप मोठा असतो, तेव्हा स्टेप साईज आपोआप वाढते.दुसरीकडे, जेव्हा इनपुट सिग्नल हळूहळू बदलतो, तेव्हा स्टेप साईज कमी होते. म्हणून, स्टेप साईज इनपुट सिग्नलच्या पातळीप्रमाणे अनुकूलित होते.

ADM ची गरज:

ADM मध्ये वापरलेली अनुकूलनीय स्टेप साईज तंत्रज्ञान DM प्रणालीमध्ये येणारी स्लोप ओव्हरलोड विकृती (distortion) कमी करते.

a) ADM ट्रान्समीटर (ADAPTIVE DELTA MODULATION TRANSMITTER):

ADM ट्रान्समीटरचे ब्लॉक डायग्राम Figure 2.29 मध्ये दर्शविले आहे.

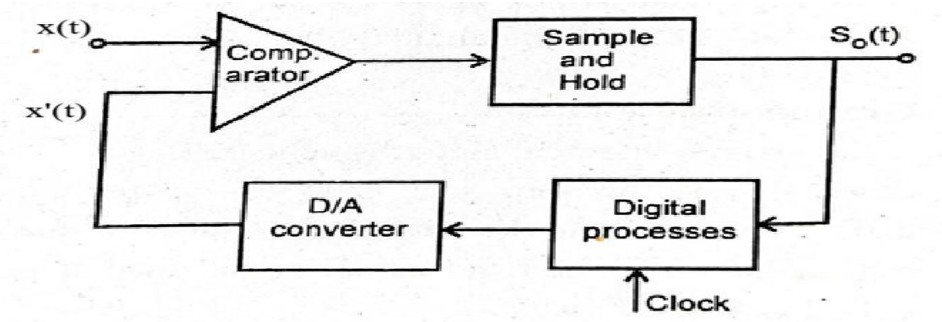


Figure 2.29 ADM transmitter

जर तुम्ही या ब्लॉक डायग्रामची तुलना रेखीय डेल्टा मॉड्युलेटरच्या ब्लॉक डायग्रामशी केली, तर तुम्हालादिसेल की काउंटरच्या जागी डिजिटल प्रोसेसर वापरल्याशिवाय इतर सर्व ब्लॉक्स एकसारखे आहेत. डिजिटल प्रोसेसरच्या कार्यप्रणाली समजून घेण्यासाठी,कृपया चित्र Figure 2.30 मधील वेव्हफॉर्म्स काळजीपूर्वपाहा.

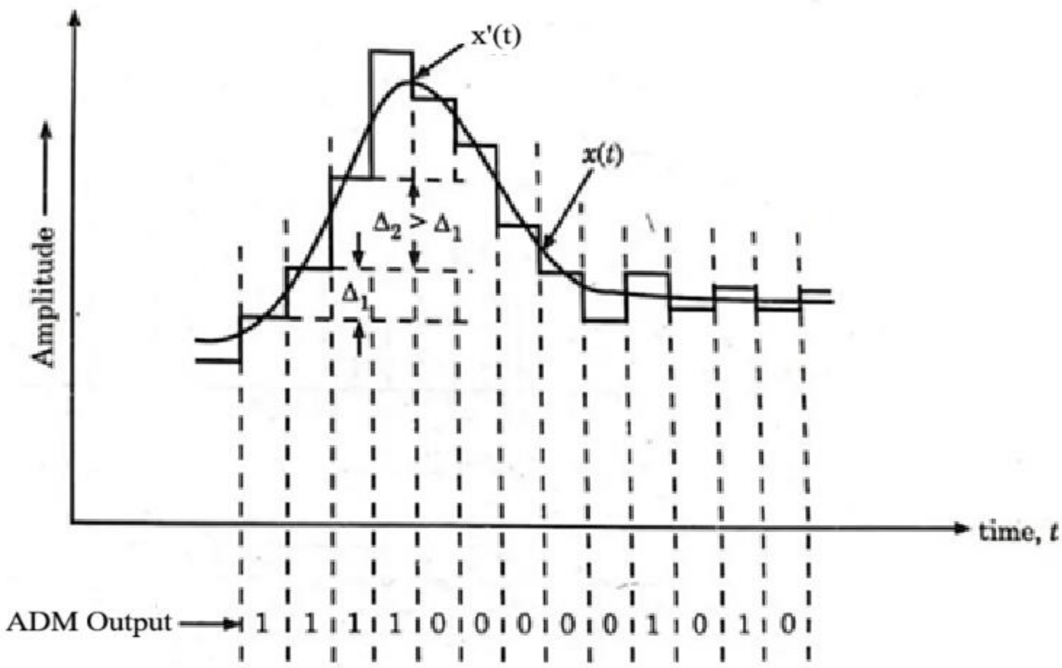


Figure 2.30 Waveforms of ADM

कार्यप्रणाली:

k^(th) क्लॉक पल्सच्या ट्रेलिंग एजला, प्रोसेसर मागील (k - 1)^(th) क्लॉक एजला तयार झालेल्या स्टेपच्या समान परिमाणाचा स्टेप तयार करतो.जर दोन्ही स्टेप्सची दिशा समान असेल, तर प्रोसेसर वर्तमान स्टेपचे परिमाण "δ" ने वाढवतो.जर दिशानिर्देश विरुद्ध असतील, तर प्रोसेसर वर्तमान स्टेपचे परिमाण "δ" ने कमी करतो. त्यामुळे, Figure २.२९ मध्ये, ADM प्रणालीचे आउटपुट So(t) असेल:

So(t) = 1, जर x(t) > x'(t) k^(th) क्लॉक एजच्या आधी असेल.

So(t) = -1, जर x(t) < x'(t) k^(th) क्लॉक एजच्या आधी असेल.

Figure मध्ये दाखवल्याप्रमाणे, चल स्टेप साईजमुळे स्लोप ओव्हरलोड त्रुटी कमी होते, परंतु क्वांटायझेशन त्रुटी वाढते.समायोज्य स्टेप साईजमुळे, स्लोप ओव्हरलोड समस्या सोडवली जाते. म्हणूनच, ADM प्रणालीचा बिट रेट PCM प्रणालीपेक्षा कमी आहे. त्यामुळे, आवश्यक बँडविड्थ तुलनात्मक PCM प्रणालीपेक्षा कमी आहे.

b) अडॅप्टिव डेल्टा मॉड्युलेशन रिसीव्हर(ADAPTIVE DELTA MODULATION RECEIVER)

ब्लॉक डायग्राम:

ADM रिसीव्हरचा ब्लॉक डायग्राम Figure 2.31 मध्ये दाखवला आहे.

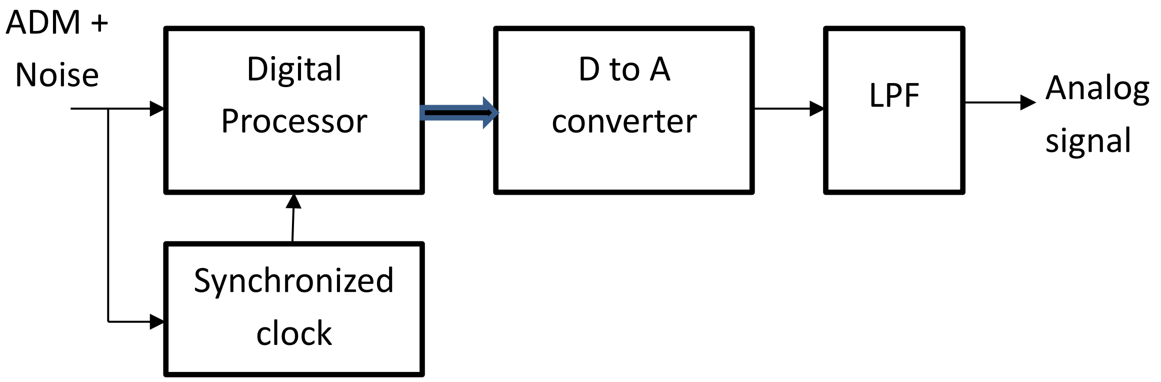


Figure 2.31 ADM receiver

कार्यप्रणाली:

प्राप्त झालेला ADM सिग्नल डिजिटल प्रोसेसर आणि समकालिक क्लॉक(CLOCK) जनरेटरला दिला जातो.

क्लॉक(CLOCK) जनरेटर ट्रान्समीटरशी समकालित घड्याळाच्या पल्स तयार करतो.डिजिटल प्रोसेसर एक डिजिटल सिग्नल तयार करतो, जो D ते A कन्व्हर्टरद्वारे ॲनालॉग सिग्नलमध्ये रूपांतरित केला जातो. DAC चे आउटपुट क्वांटाइज्ड PAM स्वरूपात असते, ज्याला लो-पास फिल्टरमधून पास करून ॲनालॉग सिग्नल प्राप्त केला जातो.

अडॅप्टिव डेल्टा मॉड्युलेशनचे फायदे (Advantages of Adaptive Delta Modulation):

a. स्लोप ओव्हरलोड विकृती (distortion) आणि ग्रॅन्युलर नॉईजमध्ये घट.

b. सिग्नल-टू-नॉईज रेशियोमध्ये सुधारणा.

c. चल स्टेप साईजमुळे विस्तृत डायनामिक रेंज.

d. डेल्टा मॉड्युलेशनच्या तुलनेत बॅंडविड्थचा चांगला वापर.

या फायद्यांव्यतिरिक्त, डेल्टा मॉड्युलेशनचे कमी सिग्नलिंग रेट आणि साधी अंमलबजावणीचे फायदे देखील ADM मध्ये मिळतात.

अडॅप्टिव डेल्टा मॉड्युलेशनची तोटे (Disadvantages of ADM):

जर इनपुट सिग्नल x(t) चा परिमाण तुलनेने स्थिर असेल, तर ADM प्रणाली उच्च ग्रॅन्युलर नॉईज निर्माण करू शकते.

2.6.1 डिजिटल पल्स मॉड्युलेशन सिस्टीमची (Digital Pulse Modulation System) तुलना:

Table 2.2: डिजिटल पल्स मॉड्युलेशन सिस्टीमची (Digital Pulse Modulation System) तुलना

अ.क्र	पॅरामीटर	पीसीएम (PCM)	डीएम (DM)	एडीएम (ADM)	डीपीसीएम (DPCM)
1	प्रति सॅम्पलिंग बिट्सची संख्या	N हे ४,८, १६, ३२,६४ इत्यादी असू शकते.	N = १	N = १	N हे 1 पेक्षा जास्त पण PCM पेक्षा कमी असते
2	स्टेप साइज (पायरी आकार)	Q पातळ्यांच्या संख्येवर अवलंबून	निश्चित स्टेप साइज	परिवर्तनीय (variable) स्टेप साइज	निश्चित स्टेप साइज
3	विकृती(distortion)/ चुका	क्वांटायझेशन त्रुटी	स्लोप ओव्हरलोड आणि ग्रॅन्युलर नॉईज	ग्रॅन्युलर नॉईज	स्लोप ओव्हरलोड आणि ग्रॅन्युलर नॉईज
अ.क्र	पॅरामीटर	पीसीएम (PCM)	डीएम (DM)	एडीएम (ADM)	डीपीसीएम (DPCM)

4	सिग्नलिंग दर आणि बँडविड्थ	सर्वाधिक	कमी, जर इनपुट हळू बदलणारे असेल	सर्वात कमी	PCM पेक्षा कमी
5	प्रणालीची क्लिष्टता	क्लिष्ट	सोपी	सोपी	सोपी
6	आउटपुटमधून फीडबॅक	नाही	फीडबॅक असतो	फीडबॅक असतो	फीडबॅक असतो
7	नॉईज प्रतिकारशक्ती	खूप चांगली	खूप चांगली	खूप चांगली	खूप चांगली
8	रिपीटर्सचा वापर	शक्य	शक्य	शक्य	शक्य

2.6.2 ॲनालॉग पल्स मॉड्युलेशन (Analog Pulse Modulation) आणि डिजिटल पल्स मॉड्युलेशनची (Digital Pulse Modulation) तुलना:

Table 2.3: ॲनालॉग पल्स मॉड्युलेशन (Analog Pulse Modulation) आणि डिजिटल पल्स मॉड्युलेशनची (Digital Pulse Modulation) तुलना

अ. क्र.	वैशिष्ट्ये/ पॅरामीटर	ॲनालॉग पल्स मॉड्युलेशन	डिजिटल पल्स मॉड्युलेशन
1	ऑपरेशनचे तत्व	स्पंदित वाहकाचे ॲम्प्लिट्युड, विड्थ किंवा स्थान संदेश सिग्नलच्या तात्काळ मूल्याच्या प्रमाणात बदलते.	संदेश सिग्नलचे सॅम्पलिंग घेतले जाते, त्याचे परिमाण केले जाते आणि कोडवर्डमध्ये रूपांतरित केले. ॲम्प्लिट्युड, विड्थ किंवा स्थान बदलत नाही.
2	ट्रान्समीटरचे आउटपुट	ॲनालॉग स्पंदनांचा एक संच.	कोडवर्ड तयार करणाऱ्या डिजिटल बिट्सचा एक समूह
3	उदाहरणे	पीएएम, पीडब्ल्यूएम, पीपीएम सिस्टम.	पीसीएम, डीएम, एडीएम आणि डीपीसीएम प्रणाली.
4	आवाजाच्या उपस्थितीत कामगिरी	PAM - वाईट PWM आणि PPM - चांगले	सर्व प्रणाली उत्कृष्ट कामगिरी दाखवतात.
अ. क्र.	वैशिष्ट्ये/ पॅरामीटर	ॲनालॉग पल्स मॉड्युलेशन	डिजिटल पल्स मॉड्युलेशन

5	बँडविड्थ आवश्यकता	स्पंदित स्वरूपामुळे मोठ्या प्रमाणात बीडब्ल्यू आवश्यक आहे.	PCM चा BW खूप मोठा आहे परंतु DM आणि ADM चा BW अगदी वाजवी आहे.
6	साधेपणा आणि खर्च	साधे आणि कमी खर्चाचे	गुंतागुंतीचे आणि महागडे
7	रिपीटर	वापरता येत नाही.	वापरता येईल
8	अर्ज	जास्त नाही	डिजिटल व्हॉइस ट्रान्समिशन, रेकॉर्डिंग.

2.6.3 सतत तरंग मॉड्युलेशन (Continuous wave Modulation) आणि पल्स मॉड्युलेशन (Pulse Modulation) यांची तुलना:

Table 2.4 सतत तरंग मॉड्युलेशन (Continuous wave Modulation) आणि पल्स मॉड्युलेशन (Pulse Modulation) यांची तुलना:

अ. क्र.	पॅरामीटर	सतत तरंग मॉड्युलेशन (CW मॉड्युलेशन)	पल्स मॉड्युलेशन
1	वाहक	सायनसॉइडल	आयताकृती डाळींची रेलचेल.
2	प्रकार मॉड्युलेशन प्रणाली	सकाळी, एफएम, दुपारी	पीएएम, पीडब्ल्यूएम , पीपीएम, पीसीएम, डीएम
3	डिजिटल मॉड्युलेशन	शक्य नाही	शक्य नाही
4	ऑपरेशनचे तत्व	अँप्लिट्युड, वारंवारता टप्पा च्या सायनसॉइडल वाहक या प्रमाणात बदलला आहे तात्काळ संदेश सिग्नल.	अँप्लिट्युड, विड्थ किंवा पोझिशन स्पंदित वाहक म्हणजे विविध च्या बरोबरीने तात्काळ संदेश सिग्नल.
5	कामगिरी उपस्थितीत आवाजाचे.	एफएम आणि पीएम चांगली कामगिरी करा पण AM करतो नाही.	पीडब्ल्यूएम आणि पीपीएम चांगली कामगिरी करा पण PAM करत नाही पीसीएम आणि डीएम तसेच चांगले करा.

अ. क्र.	पॅरामीटर	सतत तरंग मॉड्युलेशन (CW मॉड्युलेशन)	पल्स मॉड्युलेशन
6	अर्ज	प्रसारण (रेडिओ आणि टीव्ही)	उपग्रह संवाद, संवाद दरम्यान अंतराळयानां आणि पृथ्वी स्थानके.
7	बँडविड्थ आवश्यकता	सकाळी गरजेचा लहान BW FM ची गरज आहे मोठा BW	वाहकाच्या स्पंदित स्वरूपामुळे मोठ्या प्रमाणात बीडब्ल्यू आवश्यक आहे.
8	खर्च आणि साधेपणा.	सोपे आणि कमी खर्चिक	महाग आणि गुंतागुंतीचे.

सारांश :

a) पल्स मॉड्युलेशन ही एक प्रणाली आहे ज्यामध्ये सतत तरंगरूपांचे नियमित अंतराने सॅम्पलिंग घेतले जाते.

b) पल्स मॉड्युलेशनमध्ये वाहक हा साइनवेव्हऐवजी पल्सचा संच असतो.

c) फक्त दोन पातळ्या (उच्च आणि निम्न) असलेला सतत खंडित सिग्नल डिजिटल सिग्नल म्हणून ओळखला जातो.

d) सॅम्पलिंग प्रक्रिया म्हणजे सतत वेळेच्या सिग्नलला समतुल्य स्वतंत्र वेळेच्या सिग्नलमध्ये रूपांतरित करण्याची प्रक्रिया.

e) सॅम्पलिंग प्रमेय सांगते की, कोणत्याही पल्स मॉड्युलेशन प्रणालीमध्ये सॅम्पलिंग दर सिग्नल फ्रिक्वेन्सीच्या दुप्पटपेक्षा जास्त असल्यास, मूळ सिग्नल कमी विकृतीसह (distortion) रिसीव्हरमध्ये पुनर्बांधणी केला जाऊ शकतो.

f) नायक्विस्ट दर हा सतत सिग्नल c(t) त्याच्या सॅम्पलिंग स्वरूपात दर्शवण्यासाठी आवश्यक असलेला किमान सॅम्पलिंग दर आहे. fs = २fm

g) पीसीएम (PCM - Pulse Code Modulation) हे पल्स डिजिटल मॉड्युलेशन असून त्यात संख्या आणि अंकांची मालिका तयार होते, जिथे प्रत्येक अंक बायनरी कोडमध्ये असतो.

h) परिमाणीकरण (Quantization) म्हणजे अंदाजे मूल्यांकन करण्याची प्रक्रिया.

i) क्वांटायझेशन नॉइज म्हणजे इनपुट सिग्नल आणि क्वांटायझ्ड सिग्नलच्या तात्काळ मूल्यांमधील फरक.

j) कमकुवत सिग्नलच्या SNR सुधारण्यासाठी "कंपँडिंग" नावाचे तंत्र वापरले जाते.

k) कंपँडिंग म्हणजे ट्रान्समीटरवर सिग्नलचे कॉम्प्रेशन आणि रिसीव्हरवर त्याच सिग्नलचा विस्तार करणे.

l) जेव्हा परिमाणीकरण पातळी समान अंतराने वितरित केल्या जातात तेव्हा त्याला समान परिमाणीकरण (Uniform Quantization) म्हणतात.

m)जेव्हा परिमाणीकरण पातळी व्हेरिएबल स्टेप-साईजसह वितरित केल्या जातात तेव्हा त्याला असमान परिमाणीकरण (Non-Uniform Quantization) म्हणतात.

n) डेल्टा मॉड्युलेशन (Delta Modulation - DM) प्रति सॅम्पलिंग फक्त एक बिट प्रसारित करते, त्यामुळे त्याचा सिग्नलिंग दर आणि बँडविड्थची आवश्यकता कमी होते.

स्वाध्याय (R/U/A स्तर प्रश्न):

1. नायक्विस्ट दर स्पष्ट करा. (Explain Nyquist rate.)
2. डिजिटल मॉड्युलेशनचे वर्गीकरण द्या. (Give classification of digital modulation.)
3. परिमाणीकरण आणि परिमाणीकरण नॉइज स्पष्ट करा. (Explain quantization and quantization noise.)
4. समान आणि असमान परिमाणीकरण स्पष्ट करा. (Explain uniform and non-uniform quantization)
5. PCM ट्रान्समीटर आणि रिसीव्हरचे तरंगरूपासह चित्र काढा आणि समजावा. (Draw PCM transmitter and receiver with waveform and explain.)
6. DPCM ट्रान्समीटर आणि रिसीव्हरचे चित्र काढा आणि समजावा. (Draw DPCM transmitter and receiver and explain the same.)
7. DM ट्रान्समीटरचा ब्लॉक डायग्राम काढा आणि प्रत्येक घटक स्पष्ट करा. (Draw the block diagram of DM transmitter. Explain each block.)
8. DM चे तोटे लिहा. (List the drawbacks of DM.)
9. ADM ट्रान्समीटरच्या कार्याचे Figureसह वर्णन करा आणि त्याचे फायदे लिहा. (Describe working of an ADM transmitter with diagram. List its advantages.)

विद्यार्थ्यांशी संबंधित उपक्रम (Student Learning Activity):

a. "IoT डिजिटल कम्युनिकेशनवर कसा अवलंबून आहे?" यावर चर्चासत्र तयार करा.
b. हॅमिंग कोड जनरेट करण्यासाठी सर्किट तयार करा.
c. सॅम्पलिंग सर्किट तयार करा.

d. PPM सिग्नल जनरेट करण्यासाठी सर्किट तयार करा.

e. ASK सिग्नल जनरेट करण्यासाठी सर्किट तयार करा.

f. PWM सिग्नल जनरेट करण्यासाठी सर्किट तयार करा.

g. "कमी-विलंबता संवादामध्ये रिअल-टाइम AI अर्जांचे महत्त्व" या विषयावर अहवाल तयार करा.

h. "टेलिमेडिसिन आणि रिमोट पेशंट मॉनिटरिंगसह आरोग्यसेवेमध्ये डिजिटल कम्युनिकेशनचे अनुप्रयोग" तपासा.

i. "5G आणि त्याचे डिजिटल संवादावर होणारे परिणाम" यावर सादरीकरण तयार करा.

संक्षेप (शॉर्ट फॉर्म्स)

a. PAM - Pulse Amplitude Modulation (पल्स ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेशन)

b. PWM - Pulse Width Modulation (पल्स विड्थ मॉड्युलेशन)

c. PPM - Pulse Position Modulation (पल्स पोझिशन मॉड्युलेशन)

d. PCM - Pulse Code Modulation (पल्स कोड मॉड्युलेशन)

e. DPCM - Differential Pulse Code Modulation (डिफरेंशियल पल्स कोड मॉड्युलेशन)

f. DM - Delta Modulation (डेल्टा मॉड्युलेशन)

g. ADM - Adaptive Delta Modulation (ॲडॅप्टिव्ह डेल्टा मॉड्युलेशन)

संदर्भ पुस्तके:

S.N.	Reference Book Titles	Author/s	Publisher
1	Digital Communications	Simon Haykin	John Wiley and Sons,ISBN-9788126508242
2	Digital Communications: Fundamentals and Applications	Bernard Sklar	Pearson 2021, ISBN-9780134588568
3	Modern Digital and Communication Systems	B. P. Lathi	Oxford university press,ISBN-9780198073802

LEARNING WEBSITES & PORTALS

Sr. No	Link / Portal	Description
1	https://nptel.ac.in/courses/117101051	Introduction to Digital Communication by NPTEL
2	https://www.etti.unibw.de/labalive/experiment/qpsksignalgene ration/	virtual communication lab for practicals
3	https://nptel.ac.in/courses/106105082	Data Communication
4	http://www.digimat.in/nptel/courses/video/117105136/L13.html	Spread spectrum techniques

युनिट 3-डिजिटल मॉड्युलेशनचे तंत्र

Unit 3- Digital Modulation Techniques

विषय निष्पत्ती (Course Outcome):-

CO3- विविध डिजिटल मॉड्युलेशन तंत्रांच्या कामगिरीचे विश्लेषण करणे.

घटक निष्पत्ती: (Theory Learning Outcome):

TLO 3.1 कोहेरंट आणि नॉन-कोहेरंट शोध तंत्राची तुलना करणे.

TLO 3.2 शिफ्ट कीइंग सिग्नलच्या दिलेल्या प्रकाराच्या निर्मितीचे वर्णन करणे.

TLO 3.3 M-ary FSK आणि M-ary PSK वापरून मल्टीपल डेटा ट्रान्सफरची प्रक्रिया लिहणे.

TLO 3.4 दिलेल्या कीइंग सिग्नलसाठी काँस्टेलेशन डायग्राम काढणे.

TLO 3.5 डिजिटल मॉड्युलेशन तंत्रांच्या दिलेल्या प्रकारांचे ठळक वैशिष्ट्यांसह तुलना करणे.

परिचय (Introduction):

डिजिटल मॉड्युलेशन हे एक तंत्र आहे जे डेटा प्रसारित करण्यासाठी कॅरीअर सिग्नल(Carrier signal) सुधारित करते तसेच आधुनिक कम्युनिकेशनमध्ये महत्त्वपूर्ण भूमिका बजावते. हे मोबाईल फोन, वाय-फाय आणि सॅटेलाइट कम्युनिकेशनसारख्या तंत्रज्ञानांना सामर्थ्य देते. डिजिटल मॉड्युलेशन उच्च माहिती क्षमता, एन्हान्सड डेटा सिक्युरिटी, फास्टर सिस्टिम ऍक्सेस आणि सुपेरीअर कम्युनिकेशन कॉलिटि यासह अनेक फायदे देते. परिणामी, पारंपारिक ॲनालॉग मॉड्युलेशन पद्धतींच्या तुलनेत मोठ्या डेटा व्हॉल्यूम वितरीत करण्याच्या क्षमतेमुळे डिजिटल मॉड्युलेशन तंत्रांना मागणी वाढत आहे.

पासबँड डेटा ट्रान्समिशनमध्ये तीन मूलभूत प्रकारचे सिग्नलिंग वापरले जातात:

1. ॲम्प्लिट्यूड शिफ्ट कीइंग (ASK)
2. फेज शिफ्ट कीइंग (PSK)
3. फ्रिक्वेन्सी शिफ्ट कीइंग (FSK)

हे अनुक्रमे ॲम्प्लिट्यूड मॉड्युलेशन (AM), फेज मॉड्युलेशन (PM) आणि फ्रिक्वेन्सी मॉड्युलेशन (FM) सारखे आहेत.

3.1.1 डिजिटल मॉड्युलेशन तंत्राचे फायदे (Advantages):

a. **डेटा क्षमता:** डिजिटल मॉड्युलेशन हे ॲनालॉग कम्युनिकेशनपेक्षा अधिक डेटा प्रसारित करू शकते.

b. **बँडविड्थ कार्यक्षमता:** डिजिटल मॉड्यूलेशन मर्यादित बँडविड्थमध्ये मोठ्या प्रमाणात डेटा सामावून घेऊ शकते.

c. **सिग्नल स्ट्रेंग्थ:** डिजिटल मॉड्युलेशनने सिग्नलचे स्ट्रेंग्थ वाढविले आहे, जे नको असलेल्या सिग्नलचे इन्ट्रुजन(Intrusion) आणि कम्युनिकेशन नॉइज यांना प्रिव्हेंट करते.

d. **डेटा सुरक्षा:** डिजिटल मॉड्युलेशन अधिक सुरक्षित आहे कारण डिजिटल माहिती सहजपणे एन्क्रिप्ट(Encrypted) आणि कॉम्प्रेसड (Compressed) केली जाऊ शकते.

e. **लोअर कॉम्पोनन्ट कॉस्ट्स:** डिजिटल मॉड्युलेशनमध्ये एनालॉग मॉड्युलेशनपेक्षा कॉम्पोनन्ट कॉस्ट्स कमी असते.

f. **ट्रान्समिशन विश्वसनीयता:** डिजिटल मॉड्युलेशन एनालॉग मॉड्यूलेशनपेक्षा डेटा अधिक विश्वासार्हपणे पाठविण्याची परवानगी देते.

g. **ऑडिओ गुणवत्ता:** डिजिटल मॉड्यूलेशन ॲनालॉग मॉड्युलेशनपेक्षा उच्च ऑडिओ गुणवत्ता देते.

h. **डेटा कॉम्प्रेशन:** डिजिटल मॉड्युलेशन डेटा कॉम्प्रेशन वापरू शकते.

i. **कम्युनिकेशन गुणवत्ता:** डिजिटल मॉड्युलेशनमध्ये ॲनालॉग मॉड्युलेशनपेक्षा कम्युनिकेशनची चांगली गुणवत्ता असते.

3.2 शिफ्ट कीइंगचे तंत्र (Shift keying techniques):

3.2.1 ॲम्प्लिट्यूड शिफ्ट कीइंग (Amplitude Shift Keying / ASK):

i) व्याख्या (Definition):

ASK हे डिजिटल कॅरियर मॉड्युलेशन आहे ज्यामध्ये साईनुसाइडल कॅरीअरचे(Sinusoidal carrier) अँप्लिट्युड ,डिजिटल इनपुट सिग्नलच्या 0 किंवा 1 व्हॅल्यूजच्या रिस्पॉन्ससाठी दोन पूर्वनिर्धारित व्हॅल्यूजपैकी एक इनपुट घेईल.

ii) ASK जनरेशन आणि वेव्हफॉर्म्स (ASK Generation and waveforms):

ॲम्प्लिट्यूड शिफ्ट कीइंग (ASK) हा डिजिटल CW (Continuous Wave) मॉड्युलेशनचा सर्वात सोपा प्रकार आहे. येथे कॅरीअर हा एक साइनवेव्ह असून ज्याची फ्रिक्वेन्सी f_c आहे. कॅरीअर सिग्नल हा गणितीयदृष्ट्या

$e = \sin(2\pi ft)$ ने दर्शवितात.

संगणकावरील डिजिटल सिग्नल युनिपोलर (Unipolar)NRZ सिग्नल आहे जो मॉड्युलेटिंग सिग्नल म्हणून कार्य करतो. ASK मॉड्युलेटर हे Figure 3.1 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे बँड पास फिल्टर नंतरचा एक मल्टीप्लायर आहे. गुणाकारामुळे, जेव्हा बायनरी "1" प्रसारित करायची असेल तेव्हाच ASK आउटपुट उपस्थित असेल.

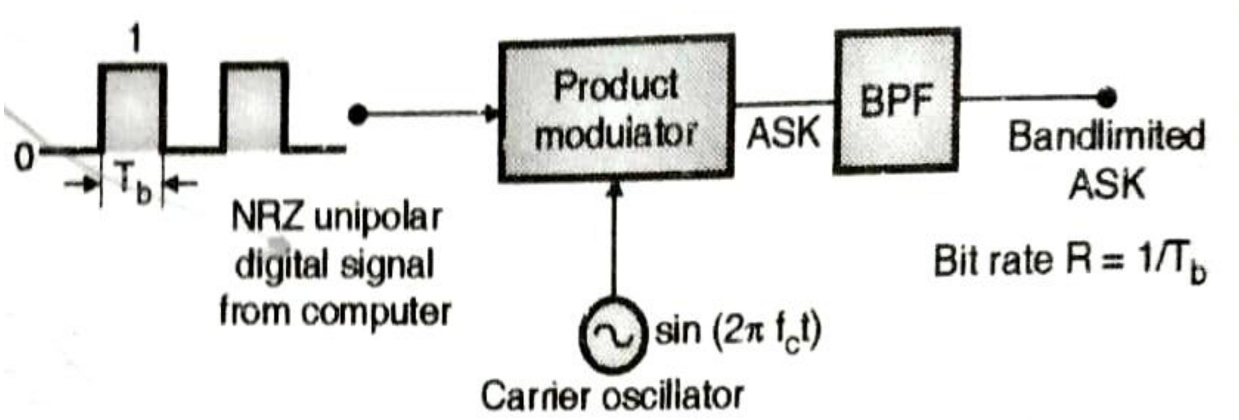


Figure 3.1: ASK जनरेटर

Figure 3.2 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे बायनरी "0" शी संबंधित ASK आउटपुट शून्य आहे.

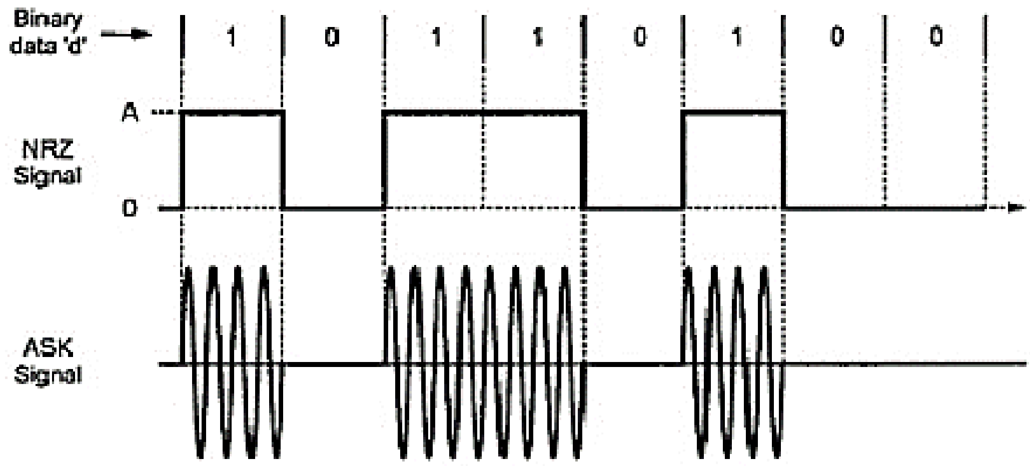


Figure 3.2.: ASK वेव्हफॉर्म्स

Figure 3.2 च्या वेव्हफॉर्म्समधून असा निष्कर्ष निघतो की जेव्हा बायनरी 1 पाठवायचा असेल तेव्हा कॅरीअर ट्रान्स्मिट (Transmitted)केला जातो आणि बायनरी 0 पाठवायचा असेल तेव्हा कोणताही कॅरीअर ट्रान्स्मिट केला जात नाही. ASK सिग्नल खालीलप्रमाणे गणितीय पद्धतीने दाखवला जातो:

$V_{ASK}(t) = d \sin(2\pi f c t)$

जेव्हा d = डेटा बिट , जे मूल्य 1 किंवा 0 घेऊ शकते.

म्हणून $V_{ASK}(t) = \sin(2\pi f c t)$ जेव्हा d =1

आणि $V_{ASK}(t) = 0$ जेव्हा d =0

iii) बॉड रेट (Baud Rate / Nb):

ASK एका बिट (0 किंवा 1) साठी एक सिम्बॉल दर्शवते. तर सिम्बॉल ट्रान्समिशनचा रेट म्हणजेच बॉड रेट हा बिट रेट एवढा असेल. Figure 3.2 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे N_b बिट रेट R प्रमाणेच असेल.

म्हणून बॉड रेट= बिट रेट.

$$N_b = F_b$$

iv) ASK सिग्नलची ट्रान्समिशन बँडविड्थ:

ASK सिग्नलची बँडविड्थ बिट रेट f_b वर अवलंबून असते. Figure 3.3 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे बिट रेट f_b= 1/Tb आहे . "f_b" बिट/सेकंद या बिट रेटसाठी, ASK सिग्नलची आवश्यक असलेली कमाल बँडविड्थ हि 2*f_b Hz इतकी आहे,. ASK सिग्नलचा फ्रिक्वेंसी स्पेक्ट्रम Figure 3.3 मध्ये दर्शविला आहे त्यानुसार स्पेक्ट्रममध्ये वरच्या आणि खालच्या साइडबँडसह कॅरीअरची फ्रीक्वेंसि f_c इतकी असते. ASK सिग्नलची ट्रान्समिशन बँडविड्थ BW बँडपास फिल्टर (Figure 3.3) वापरून प्रतिबंधित केली जाऊ शकते. बँडविड्थचे प्रतिबंधित मूल्य पुढीलप्रमाणे आहे :

$BW = (1 + r) f_b$

येथे "r" हा फिल्टर वैशिष्ट्यांशी संबंधित घटक आहे आणि त्याची व्हॅल्यू 0 आणि 1 च्या दरम्यान आहे. r = 1 साठी कमाल बँडविड्थ 2*f_b च्या बरोबरीने मिळते.

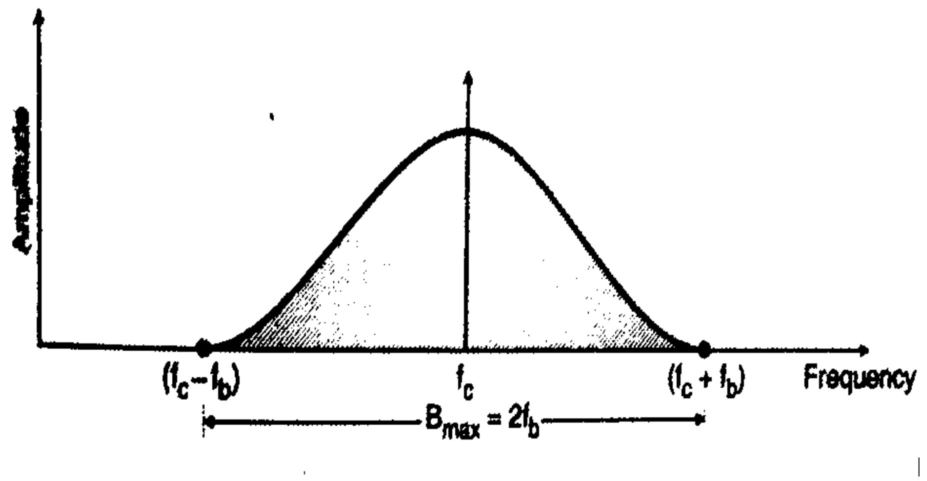


Figure 3.3 : ASK सिग्नलचा फ्रिक्वेंसी स्पेक्ट्रम

v) ASK रिसिव्हर (ASK Receiver):

ASK सिग्नलसाठी सुसंगत रिसीव्हर Figure 3.4 मध्ये दाखिवला आहे ज्यामध्ये लोकली प्रोड्युसड व सिंक्रोनाइझ केलेला कॅरीअर हा मल्टीप्लायर वर लागू केला जातो.

ऑपरेशन (Operation):

ASK सिग्नल मल्टीप्लायरवर () नॉइजसह देखील लागू केला जातो. मल्टीप्लायर हे आउटपुट नंतर एका इंटिग्रेटरवर(Integrator) लागू केले जाते जे एका बिट कालावधीच्या (T_b) वर एकत्रित केले जाते. इंटिग्रेटर आउटपुट हे आउटपुटच्या जास्तीत जास्त संभाव्य व्हॅल्यूशी संबंधित एका विशिष्ट क्षणी सॅम्पल(Sample) केले जाते आणि सॅम्पल व्हॅल्यू, सॅम्पल आणि होल्ड(Sample and Hold) सर्किट द्वारे होल्ड केले जाते. सॅम्पल आणि होल्ड सर्किटच्या आउटपुटची तुलना कंप्यारेटरद्वारे(Comparator) रेफेरंस व्होल्टेज V शी केली जाते.जर S/H आउटपुट V पेक्षा कमी असेल, तर कंप्यारेटर आउटपुट कमी असते जे असे दर्शविते की प्राप्त झालेले ASK सिग्नल 0 आहे . जर S/H आउटपुट V पेक्षा मोठे असेल, तर कंप्यारेटर आउटपुट जास्त असेल जे प्राप्त ASK सिग्नल 1 असल्याचे दर्शवते.अशा प्रकारे रिसीव्हर आउटपुटवर मूळ बायनरी सिग्नल पुनर्प्राप्त कले जाते.

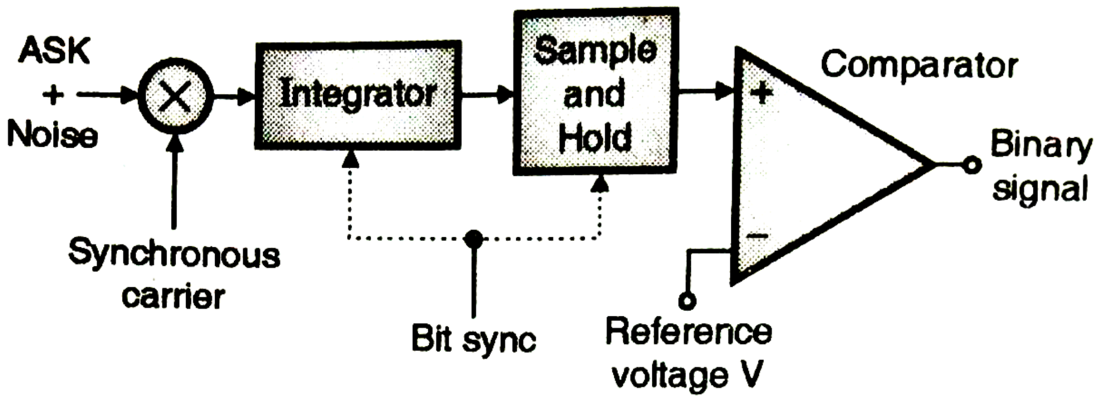


Figure 3.4: ASK रिसिव्हर

vi)कॉँस्टेलेशन डायग्राम(Constellation Diagram):

व्याख्या:

कॉँस्टेलेशन डायग्राम ही आपल्याला दिलेल्या प्रणालीतील (ASK, FSK, PSK, ... इ.) प्रत्येक सिम्बॉल किंवा सिग्नल घटकाचे अँप्लिटयूड आणि फेज परिभाषित करण्यात मदत करते . जेव्हा दोन कॅरीअर असतात (एक फेजमधें आणि दुसरा कॉडरेचर (Quadrature) मधें) किंवा जेव्हा आपण मल्टीलेव्हल ASK, PSK किंवा QAM चा अभ्यास करत असतो तेव्हा हे विशेषतः उपयुक्त आहे.

या Figureमध्ये प्रत्येक सिग्नल घटक (म्हणजे सिम्बॉल) Figure 3.5 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे डॉटने दर्शविला जातो. या Figureमध्ये दोन ऍक्सिस(Axes) आहेत म्हणजेच हे चिन्हाचे टु डायमेन्शनल ग्राफिकल प्रतिनिधित्व आहे. X- ऍक्सिसवर फेज कॅरीअर आहे तर Y- ऍक्सिसवर कॉडरेचर (90° फेज शिफ्ट केलेले) कॅरीअर आहे. कॉँस्टेलेशन डायग्रामची संकल्पना Figure 3.5 मध्ये स्पष्ट केली आहे.

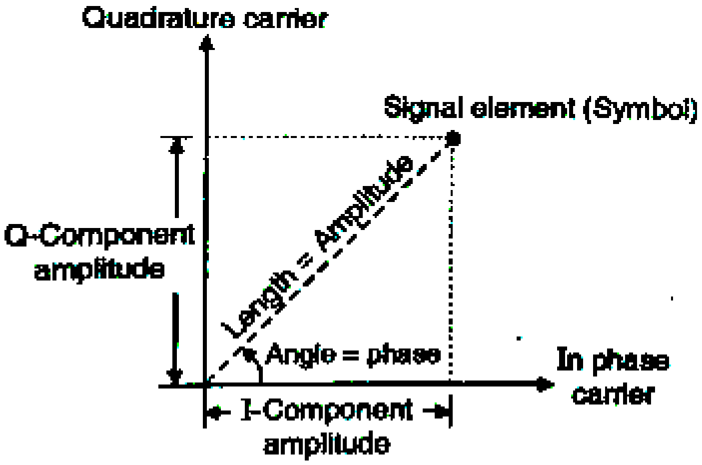


Figure 3.5 :कॉंस्टेलेशन डायग्रामची संकल्पना (Constellation Diagram)

vii) ASK ची कॉंस्टेलेशन डायग्राम :

Figure 3.6 मध्ये ASK ची कॉंस्टेलेशन डायग्राम दाखवली आहे. ASK साठी फक्त एक इन-फेज कॅरियर वापरला जातो. त्यामुळे दोन्ही सिग्नल पॉइंट X- ॲक्सिसवर दिसतात. ASK मध्ये 0 आणि 1 अशी दोन सिम्बॉल (सिग्नल घटक) आहेत. बायनरी 0 चे ॲंप्लितुड शून्य आहे म्हणून ते मूळ स्थानावर आहे. बायनरी 1 चे ॲंप्लितुड A व्होल्ट आहे आणि त्यात शून्य फेज शिफ्ट आहे. तर बायनरी 1 Figure 3.6 मध्ये बिंदू (A, 0) वर दिसते.

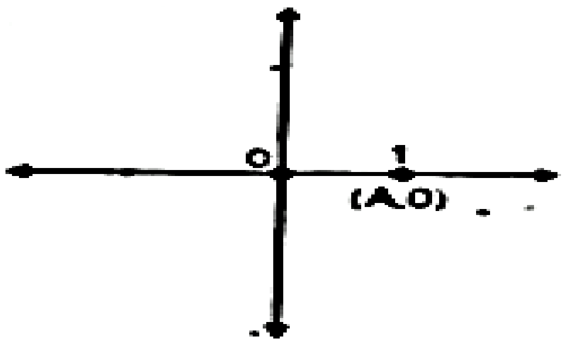


Figure 3.6: ASKची कॉंस्टेलेशन डायग्राम

3.2.2 फ्रिक्वेन्सी शिफ्ट कीइंग (FSK):

i) व्याख्या (Definition):

FSK ही एक डिजिटल मॉड्युलेशन प्रणाली आहे ज्यामध्ये, डिजिटल इनपुट सिग्नलच्या (0 किंवा 1) व्हॅल्यूच्या प्रतिसादात दोन स्वतंत्र व्हॅल्यूजमध्ये सायनूसॉइडल कॅरियरची फ्रिक्वेन्सी बदलली जाते. या फ्रिक्वेन्सीपैकी एक (f_1) बायनरी "1" दर्शवते आणि दुसरे मूल्य (f_o) बायनरी "0" दर्शवते.

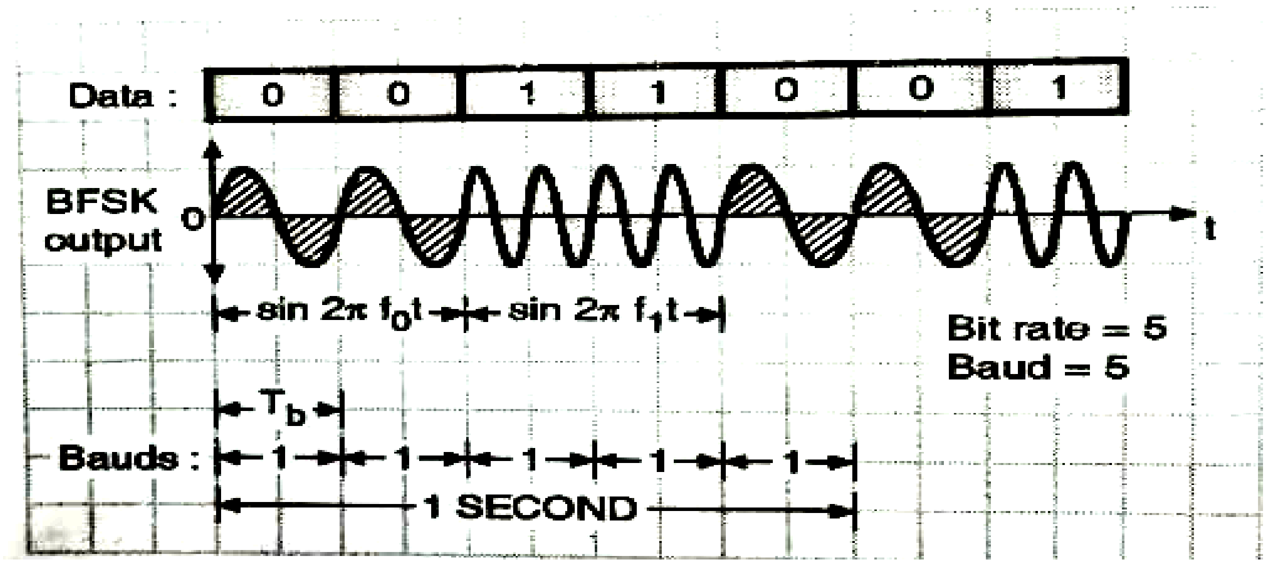


Figure 3.7 : FSK चे वेव्हफॉर्म

ii) FSK जनरेशन (Generation) :

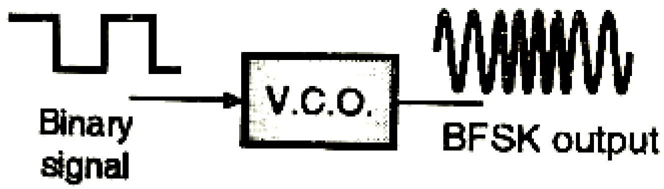


Figure 3.8: FSK जनरेशन

Figure 3.8 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे, हे व्होल्टेज नियंत्रित ऑसीलेटर (Voltage controlled oscillator / VCO) आहे जे अनुक्रमे f_1 आणि f_0 फ्रिक्वेन्सीवर साइनवेव्ह तयार करते. बायनरी 0 इनपुटशी संबंधित, VCO फ्रिक्वेन्सी f_0 ची साइनवेव्ह तयार करते तर बायनरी 1 इनपुटशी संबंधित, VCO f_1 फ्रिक्वेन्सीची सायनवेव्ह तयार करते.($f_1 > f_0$).

गणितीयसमीकरण (Mathematical expression):

FSK खालीलप्रमाणे गणितीयरित्या व्यक्त केले जाते:

$V_{FSK}(t) = \sin 2\pi f_0 t$ 0 इनपुटसाठी

$= \sin 2\pi f_1 t$ 1 इनपुटसाठी

iii) बायनरी FSK सिग्नलचे फ्रिक्वेन्सी स्पेक्ट्रम:

FSK सिग्नलमध्ये दोन ASK सिग्नल आहेत असे मानले जाते, ज्यामध्ये कॅरीअर फ्रिक्वेन्सी f_1 आणि f_0 आहेत.

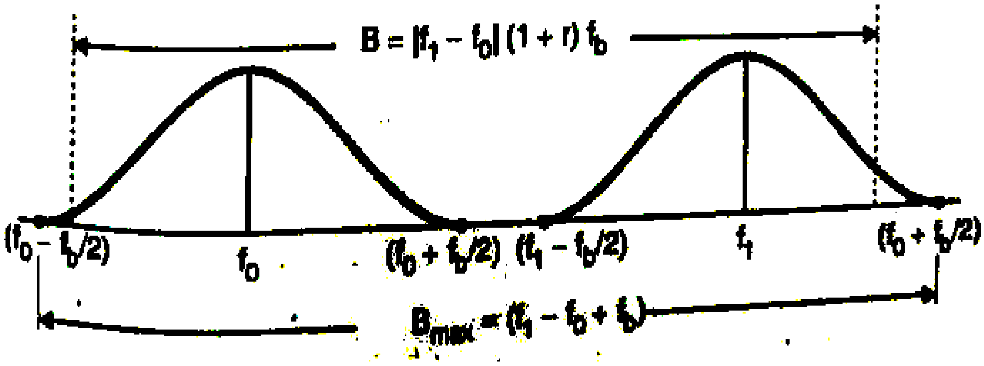


Figure 3.9 : बायनरी FSK सिग्नलचे फ्रिक्वेन्सी स्पेक्ट्रम

v) FSK सिग्नलची बँडविड्थ:

FSK सिग्नलची बँडविड्थ पल्स (Pulse)रुंदी T_b किंवा बिट रेट $f_b = 1 / T_b$ आणि Figure 3.9 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे f_0 आणि f_1 फ्रिक्वेन्सीमधील सेपरेशनवर(Separation) अवलंबून आहे.

FSK प्रणालीची कमाल बँडविड्थ खालीलप्रमाणे,

$B\ max = (f_1 + \frac{fb}{2}) - (f_0 - \frac{fb}{2})$

$= (f_1 – f_0 + f_b)$

FSK जनरेटरमध्ये VCO नंतर बँडपास फिल्टर वापरून बँडविड्थ प्रतिबंधित(Restricted) केली जाऊ शकते. प्रतिबंधित बँडविड्थ खालीलप्रमाणे दिली आहे:

$B = |f_1 – f_0| + (1 + r) \frac{fb}{2}$

जेथे "r" हा फिल्टर वैशिष्ट्यांशी संबंधित घटक आहे आणि त्याची व्हॅल्यू 0 आणि 1 दरम्यान आहे. f_1 आणि f_0 मधील सेपरेशन कमीत कमी 2 fb / 3 ठेवले आहे.

$B\ max = \frac{2}{3}f_b + f_b = 5\frac{fb}{3}$

हे दर्शविते की FSK ला ASK आणि PSK पेक्षा मोठ्या बँडविड्थची आवश्यकता आहे.

v) FSK रिसिव्हर (FSK Receiver):

ब्लॉक डायग्राम (Block diagram):

FSK रिसीव्हरची Figure 3.10 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे आहे. त्याच्या इनपुटवर FSK सिग्नल देऊन मूळ डिजिटल डेटा सिग्नल पुन्हा निर्माण केला जातो.

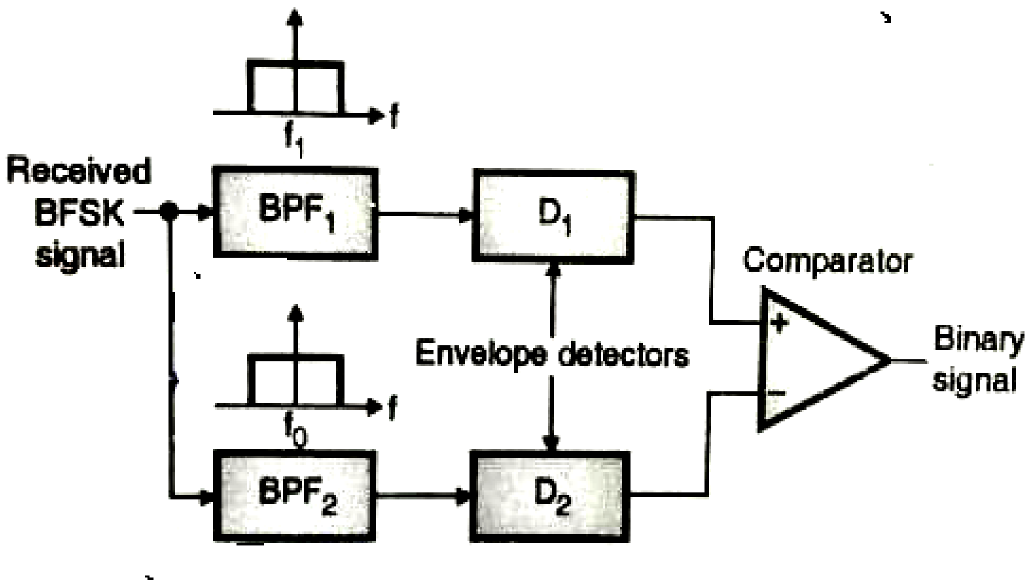


Figure 3.10: FSK रिसिव्हर

कार्य (Working):

रिसीव्हरमध्ये मध्यवर्ती फ्रिक्वेन्सी "f_0" आणि "f_1" असलेले दोन बँड पास फिल्टर असतात. ऐनवेलप डिटेक्टर (Envelope detectors) हे साधे डायोड डिटेक्टर आहेत जे AC इनपुटच्या प्रमाणात डीसी व्होल्टेज तयार करण्यासाठी त्यांचे इनपुट सुधारतात आणि फिल्टर करतात. समजा बायनरी "1" प्राप्त झाला आहे. म्हणजे प्राप्त झालेला सिग्नल खालीलप्रमाणे असेल.

$V_{BFSK}(t) = Sin(2\pi f_1 t)$

अशा प्रकारे BPF1, हा सिग्नल D1 ला पास करेल. BPF2 चे आउटपुट 0 असेल, त्यामुळे D2 चे आउटपुट शून्य आहे. म्हणून कंप्यारेटरचे आउटपुट "1" असेल. त्याचप्रमाणे बायनरी "0" प्राप्त झाल्यास, प्राप्त झालेल्या FSK सिग्नलची वारंवारता "fo" असेल. BPF1 चे आउटपुट शून्य असेल. BPF2, प्रमाणबद्ध DC व्होल्टेज तयार करण्यासाठी हा सिग्नल D2 ला पास करेल. D1 चे आउटपुट शून्य आहे. म्हणून कंप्यारेटरचे आउटपुट शून्य असेल जे लॉजिक "0" दर्शवते. अशा प्रकारे मूळ डेटा प्राप्तकर्त्याद्वारे पुनर्प्राप्त केला जातो.

3.2.3 फेज शिफ्ट कीइंग (Phase Shift Keying / PSK):

i) व्याख्या (Definition):

बायनरी फेज शिफ्ट कीइंग ही डिजिटल मॉड्युलेशन सिस्टीम आहे ज्यामध्ये डिजिटल इनपुट सिग्नलच्या (0 किंवा 1) व्हॅल्यूजच्या प्रतिसादात सायनुसॉइडल कॅरियरचे फेज शिफ्ट दोन व्हॅल्यू जमध्ये (0° आणि 180°) बदलले जाते.

ii) वेव्हफॉर्म्स (Waveforms):

Figure 3.11 मध्ये PSK चे सर्वात सोपे रूप दाखवले आहे ज्याला बायनरी PSK (BPSK) म्हणतात. बायपोलर (Bipolar) डिजिटल सिग्नलद्वारे कॅरियर फेज 0° आणि 180° दरम्यान बदलली जाते. इनपुटवर डिजिटल डेटाचे प्रतिनिधित्व करण्यासाठी बायपोलर NRZ सिग्नल वापरला जातो.

गणितीयसमीकरण (Mathematical expression):

BPSK सिग्नल गणितीय पद्धतीने खालीलप्रमाणे दाखवला जातो:

$V_{BPSK}(t) = \sin(2\pi fct)$ जेव्हा बायनरी "0" दर्शवायचे असते.

$V_{BPSK}(t) = -\sin(2\pi fct)$

$= \sin(2\pi fct + \pi)$ जेव्हा बायनरी "1" दर्शवायचे असते.

दोन अटी एकत्र करून खालीलप्रमाणे सिग्नल मिळतो.

$V_{BPSK}(t) = d \sin(2\pi fct)$ जेव्हा $d = \pm 1$

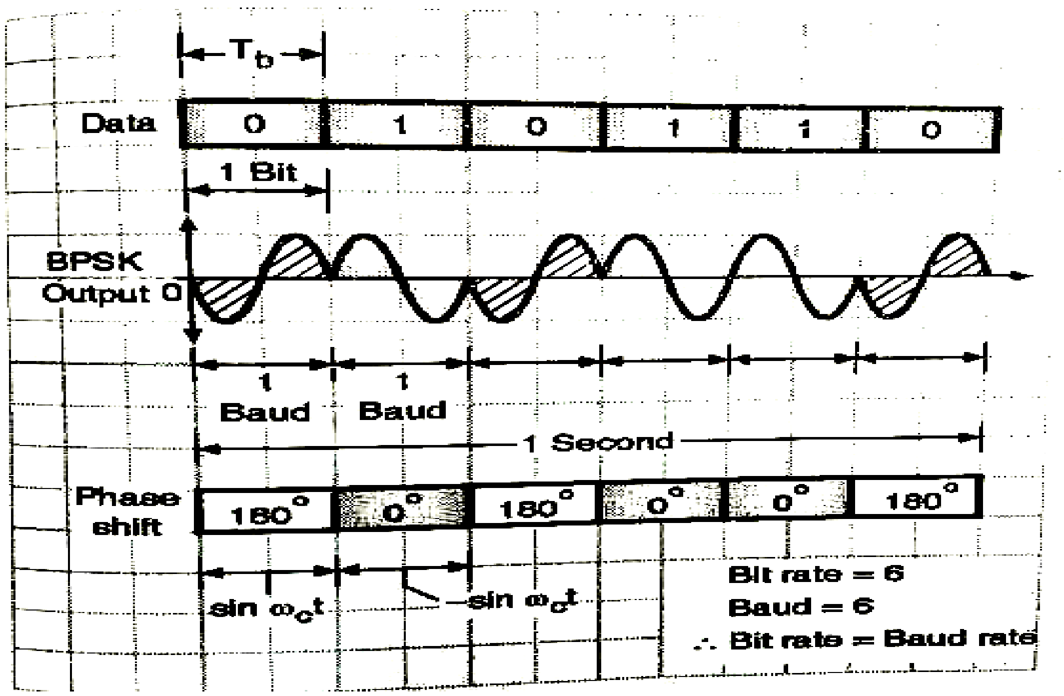


Figure 3.11: बायनरी फेज शिफ्ट कीइंग(BPSK)

iii) BPSK ट्रान्समीटर (BPSK Transmitter):

ब्लॉक डायग्राम (Block diagram):

BPSK जनरेशन Figure 3.12 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे होते.

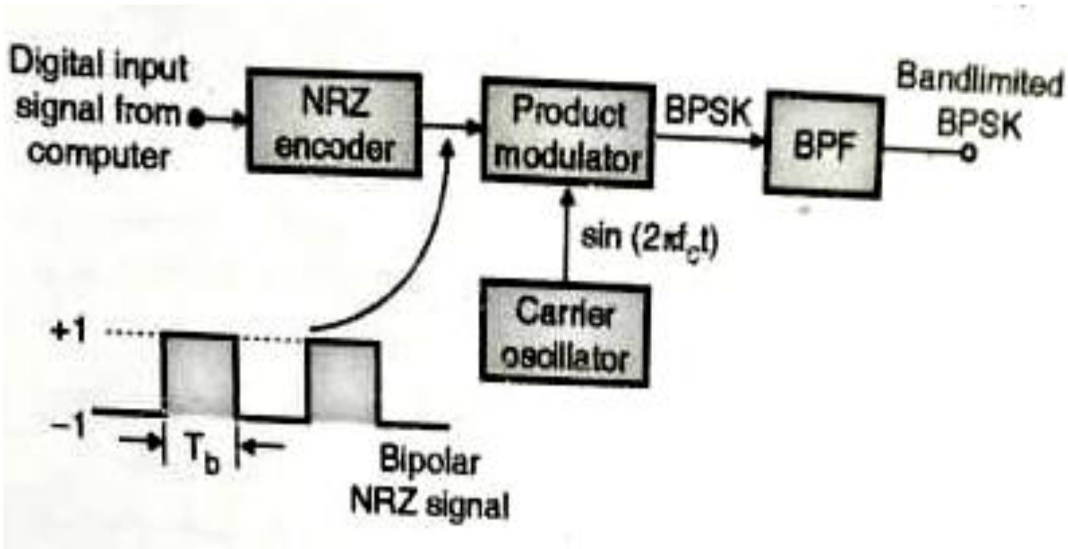


Figure 3.12: BPSK जनरेशन

ऑपरेशन (Operation):

बायनरी डेटा सिग्नल (0s आणि 1s) हे NRZ एन्कोडरद्वारे NRZ बायपोलर (Bipolar) सिग्नलमध्ये रूपांतरित केले जाते, जे नंतर मल्टीप्लायर (बॅलन्सड मॉड्युलेटर) वर लागू केले जाते. मल्टीप्लायरमधील इतर इनपुट म्हणजे कॅरियर सिग्नल (2πfct) आहे. खालील तक्ता 3.1 मध्ये दर्शविल्याप्रमाणे डेटा बिट 0s आणि 1s बायपोलर NRZ सिग्नल "d" मध्ये रूपांतरित केले आहेत.

तक्ता 3.1: बायपोलर NRZ सिग्नल आणि BPSK आउटपुट

डिजिटल सिग्नल	बायपोलर NRZ सिग्नल	BPSK आउटपुट
बायनरी 0	d =1	$V_{BPSK}(t) = \sin(2\pi fct)$
बायनरी 1	d = -1	$V_{BPSK}(t) = -\sin(2\pi fct)$

0" बायनरी इनपुटशी संबंधित BPSK आउटपुट म्हणजे sin (2πfct) मध्ये फेज शिफ्ट 0° आहे, आणि BPSK आउटपुट (- 2πfct) हे "1" बायनरी इनपुटशी संबंधित आहे ज्यामध्ये 180° चे फेज शिफ्ट आहे.

iv) BPSK रिसिव्हर (BPSK Receiver):

ब्लॉक डायग्राम:

BPSK रिसीव्हर Figure 3.13 मध्ये दर्शवला आहे. इनपुट BPSK सिग्नल हा अनुक्रमे लॉजिक 1 किंवा 0 चे प्रतिनिधित्व करणारा + sin wct किंवा -sin wct असू शकतो.

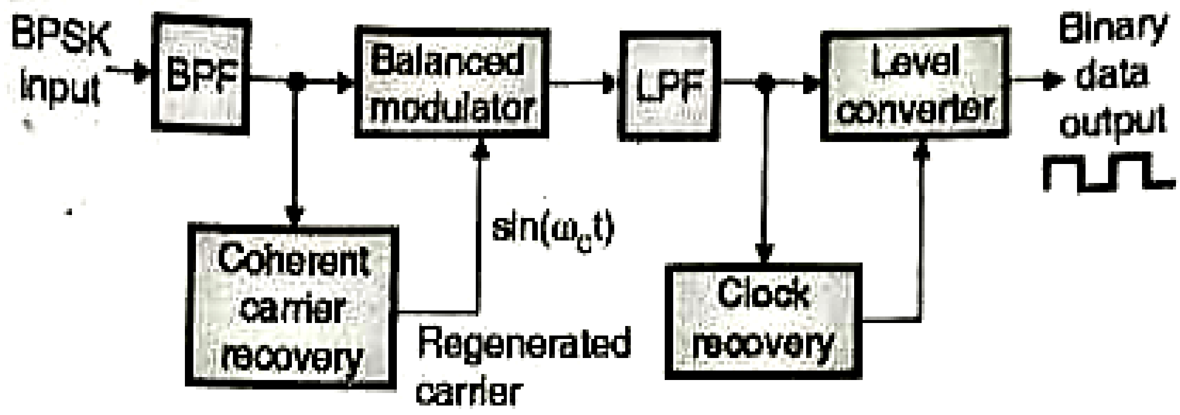


Figure 3.13: BPSK रिसीव्हर

ऑपरेशन (Operation):

कोहेरंट कॅरियर पुनर्प्राप्ती सर्किट कॅरियर सिग्नल sinwct शोधते आणि पुन्हा निर्माण करते .या पुनर्निर्मित कॅरियरमध्ये ट्रान्समीटरवर वापरल्या जाणाऱ्या कॅरियर प्रमाणेच फ्रिक्वेन्सी आणि फेज असते . म्हणून पुनर्निर्मित कॅरियर हे कोहेरंट कॅरियर म्हणून ओळखले जाते, जे फेज आणि फ्रिक्वेन्सी ट्रान्समीटरसह समक्रमित (Synchronized) होते. पुनर्निर्मित कॅरियरसह फिल्टर केलेले BPSK सिग्नल बॅलन्सड मॉड्युलेटरवर लागू केले जाते जे प्रोडक्ट डिटेक्टर (Product detector) म्हणून कार्य करते.

B.M. आउटपुट = BPSK × पुनर्निर्मित कॅरियर

=(sin wc t * sin wc t = $\sin^2$ wc t)

पण $\sin^2$ theta = 1/2 - 1/2 * cos 2theta

B.M. आउटपुट= 1 /2- 1/2 * cos 2 wc t

=-1/2 +1/2 cos 2 wc t

BM आउटपुटमध्ये DC टर्म आणि कॅरियर फ्रिक्वेन्सीच्या दुप्पट फ्रिक्वेन्सी असणारी टर्म असते (दुसरी हार्मोनिक टर्म). BM आउटपुट LPF(Low pass filter) द्वारे पास केले जाते जे फक्त दुसरी हार्मोनिक टर्म पास करू देते आणि DC घटक ब्लॉक करते.

LPF आउटपुट = -1/2 * cos 2 wc t and + 1/2 * cos 2 wc t

LPF आउटपुट लेव्हल डिटेक्टर आणि क्लॉक रिकव्हरी सर्किटवर लागू केले जाते. लेव्हल डिटेक्टरच्या आउटपुटवर खालील आउटपुट मिळते.

- 1/ 2 cos wc t= 1/ 2 V(logic 1)

+1/ 2 cos wc t= -1/ 2 V(logic 0)

अशा प्रकारे आउटपुटवर बायनरी सिग्नल प्राप्त होतो.

v) BPSK (Binary Phase Shift Keying) चा फ्रिक्वेन्सी स्पेक्ट्रम:

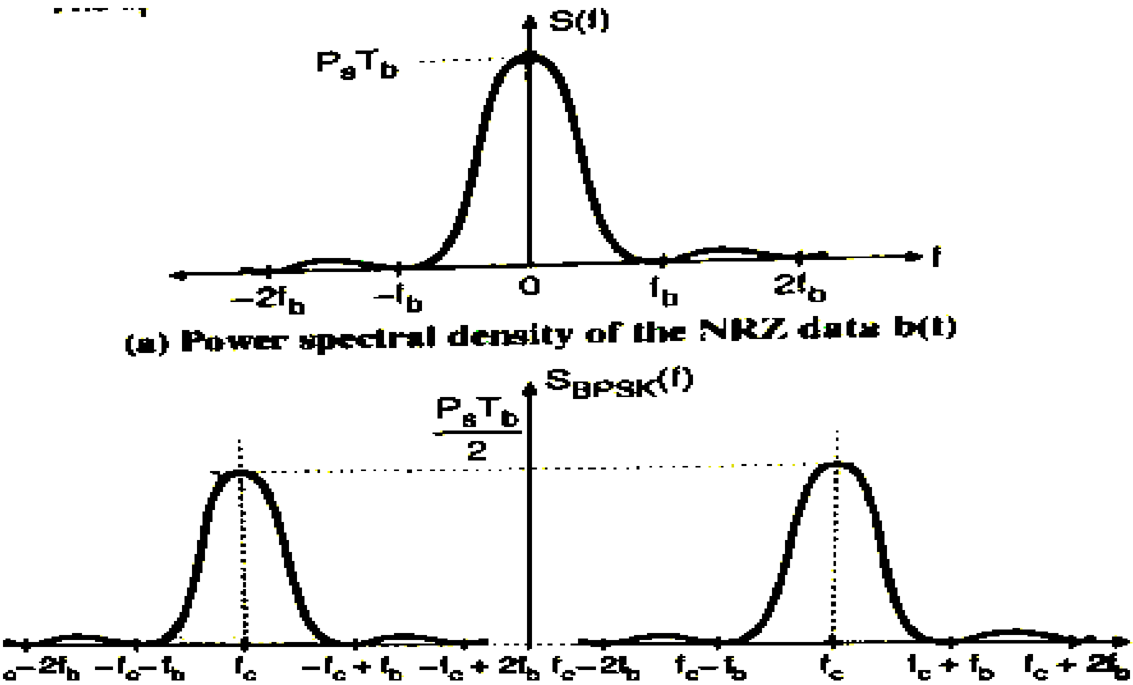


Figure 3.14: BPSK चा फ्रिक्वेन्सी स्पेक्ट्रम

vi) BPSK ची कॉंस्टेलेशन डायग्राम :

PSK फक्त एकच इन-फेज कॅरियर वापरतो. BPSK प्रणालीतील दोन चिन्हे खालीलप्रमाणे दर्शविली जातात:

बायनरी 1: ॲम्प्लिट्यूड A, फेज 0

बायनरी 0: ॲम्प्लिट्यूड A, फेज 180°

म्हणजेच, हे दोन सिग्नल पॉइंट्स अनुक्रमे (A, 0) आणि (-A, 0) या ठिकाणी स्थित असतात, जसे की Figure 3.15 मध्ये दाखवले आहे. त्यामुळे BPSK दोन सिग्नल घटक तयार करतो. एक जिथे ॲम्प्लिट्यूड A आहे आणि इन-फेज आहे, आणि दुसरा जिथे ॲम्प्लिट्यूड A आहे आणि आउट ऑफ फेज आहे.

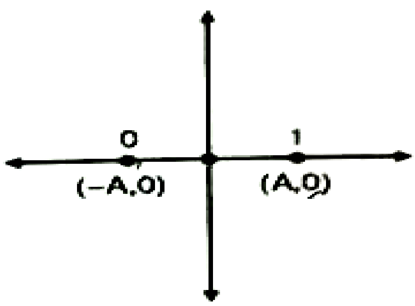


Figure 3.15: BPSK ची कॉंस्टेलेशन Figure

3.2.4. डिफरेंशियल फेज शिफ्ट कीइंग (Differential Phase Shift Keying /DPSK):

i) DPSK ट्रान्समीटर(DPSK Transmitter):

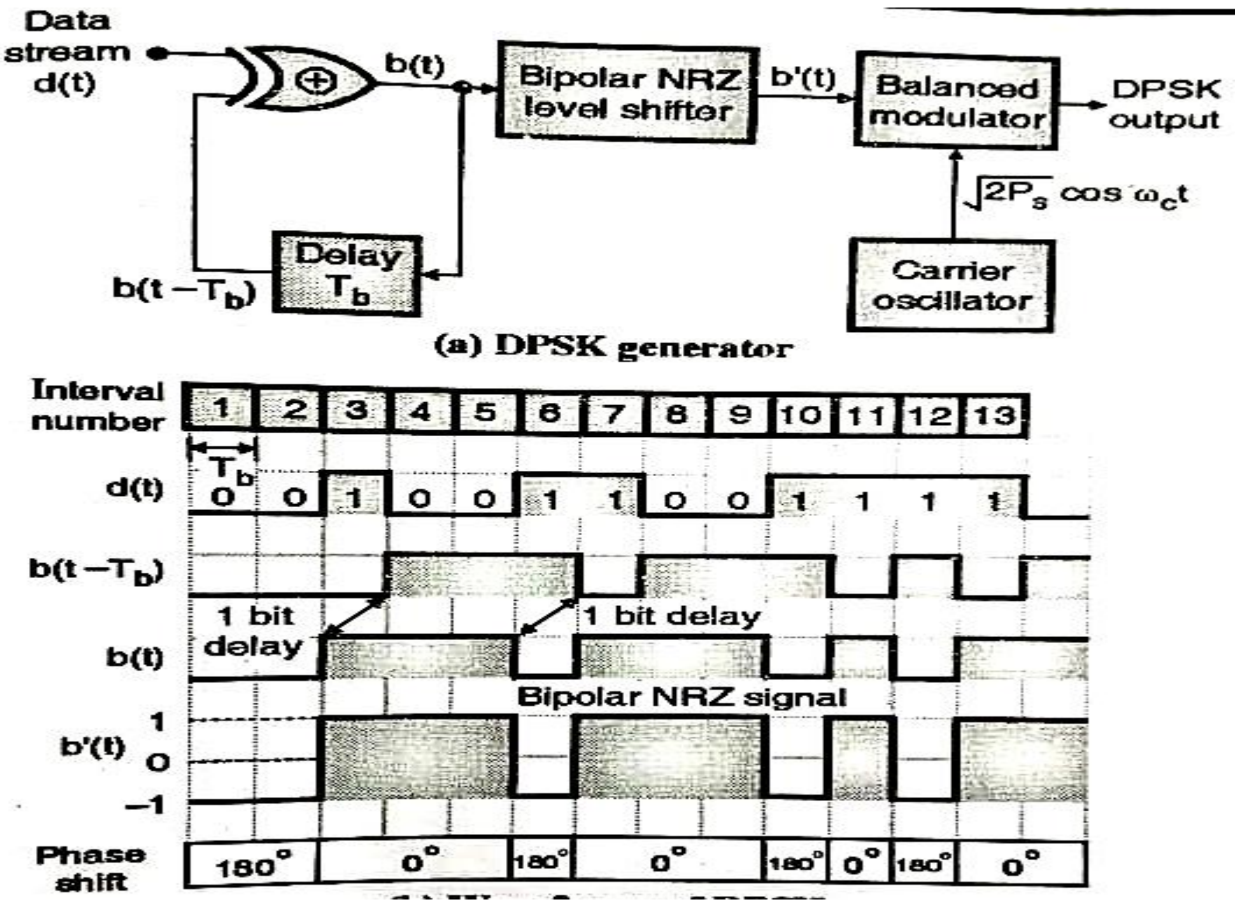


Figure 3.16: DPSK जनरेटर आणि वेव्हफॉर्म

DPSK जनरेटरचे ऑपरेशन:

d(t) हा डिजिटल सोर्सपासून मिळालेल्या डेटा स्ट्रीमचे प्रतिनिधित्व करतो. हा डेटा EX-OR लॉजिक गेटच्या एका इनपुटला लागू केला जातो. EX-OR गेटचा आऊटपुट "b(t)" एक बिट पिरियड(Period) T_b ने विलंबित केला जातो आणि EX-OR गेटच्या दुसऱ्या इनपुटला लागू केला जातो. विलंबित EX-OR गेट आऊटपुट "b(t-Tb)" म्हणून दर्शविले जाते. "d(t)" आणि "b(t-Tb)" यांचे व्हॅल्यूज काय असतील यावर अवलंबून EX-OR गेट आउटपुट सिक्रेन्स "b(t)" तयार करते. DPSK जनरेटरसाठीच्या वेव्हफॉर्म्स खालीलप्रमाणे दाखविल्या आहेत, ज्या Figure 3.16(a) मध्ये दाखवल्या आहेत. या वेव्हफॉर्म्सला काढताना, पहिल्या इंटर्वलमधें असे गृहीत धरले आहे की b(0) = 0. EX-OR गेटचा आऊटपुट नंतर एक बायपोलर NRZ लेव्हल शिफ्टरला लागू केला जातो, जो "b(t)" ला बायपोलर लेव्हल सिग्नल b'(t) मध्ये रूपांतरित करतो, हे Figure 3.16(b) मध्ये दाखवले आहे.

तक्ता 3.2: बायपोलर NRZ लेव्हल

b(t)	b'(t)
0	-1
1	+1

हे बायपोलर NRZ सिग्नल b'(t) नंतर कॅरिअर सिग्नलसोबत गुणले जाते जेणेकरून DPSK सिग्नल तयार होतो. DPSK आऊटपुट सिग्नल गणितीदृष्ट्या खालीलप्रमाणे दर्शवला जातो:

V_{DPSK} (t) = b'(t) * $\sqrt{2Ps}$cos wc t

तर जेव्हा b(t) = 1, तेव्हा b'(t) = 1, म्हणून

V DPSK (t) = $\sqrt{2Ps}$cos wc t

हे असे दर्शवते की कोणताही फेज शिफ्ट दाखल केलेला नाही. पण जेव्हा

b(t) = 0,

b'(t) = -1, म्हणून

V_{DPSK} (t) = -$\sqrt{2Ps}$cos wc t

हे दर्शविते की 180 अंश फेज शिफ्ट दाखल केला जातो जे b(t) = 0 दर्शविते.

ii) DPSK रिसीव्हर(DPSK Receiver):

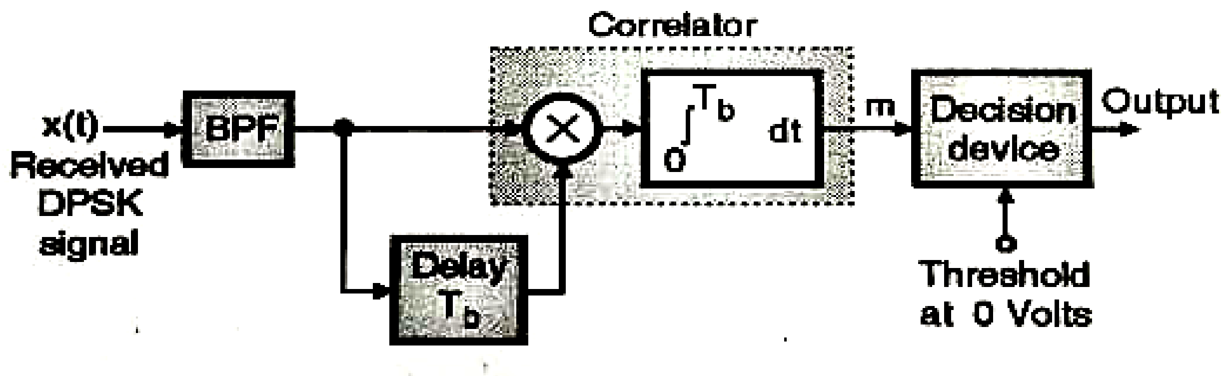


Figure 3.17: DPSK रिसीव्हर

ऑपरेशन (Operation):

प्राप्त DPSK सिग्नलला x(t) म्हणून दर्शविले जाते आणि तो एक बँडपास फिल्टरमधून एक कोरेलेटरसाठी लागू केला जातो. कोरेलेटर दुसरे इनपुट डिले युनिटमधून घेतो, ज्यामुळे एक बिट पिरियडचा (Tb) डिले येतो. कोरिलेटर आऊटपुट (m) निर्णय यंत्रणेस (Decision device)लागू केला जातो, जे त्याची तुलना 0 व्होल्ट्सच्या थ्रेशोल्ड

लेव्हलसोबत करते. जर m > 0 असेल, तर रिसीव्हर निर्णय घेतो की 1 ट्रान्समिट झाला होता आणि जर m < 0 असेल, तर निर्णय 0 च्या बाजूने घेतला जातो.

3.2.4. क्वाडरेचर फेज शिफ्ट कीइंग (Quadrature Phase Shift Keying /QPSK):

i)व्याख्या(Definition):

QPSK हा PSK प्रकार आहे ज्यामध्ये एनालॉग कॅरियरचा फेज शिफ्ट चार वेगवेगळ्या व्हॅल्यूज पैकी एक घेतो, जसे 90°, 180°, 270° आणि 360°, जे चार वेगवेगळ्या इनपुट सिम्बॉल चे प्रतिनिधित्व करतात. प्रत्येक इनपुट सिम्बॉल दोन बिट्सचे बनलेले असते (00, 01, 10 किंवा 11).

i) QPSK ट्रान्समीटर(Transmitter):

ब्लॉक डायग्राम:

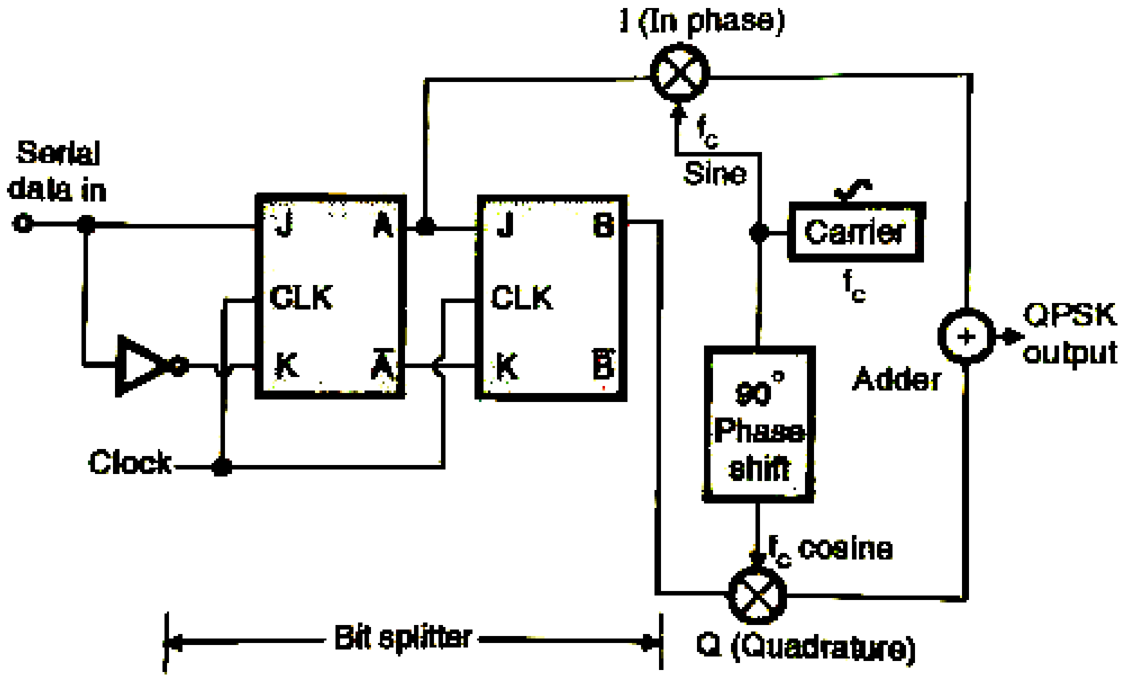


Figure3.18: QPSK ट्रान्समीटर

कार्यरत: **(Operation):**

इनपुट सिग्नल डेटा स्ट्रीमला 2-बिट शिफ्ट रेजिस्टरद्वारे संपूर्ण कॅरेक्टर म्हणून सॅम्पल केले जाते आणि क्लॉक पल्सद्वारे एक समांतर आउटपुट सिग्नलमध्ये रूपांतरित केले जाते. या शिफ्ट रेजिस्टर सर्किटला बिट स्प्लिटर म्हटले जाते. बिट स्प्लिटरच्या सर्वात महत्त्वाच्या बिट (MSB) रेजिस्टरचा आऊटपुट I मॉड्युलेटरकडे पाठवला जातो. कोणत्याही कॅरिअर फेज शिफ्ट न असलेला मॉड्युलेटर I मॉड्युलेटर म्हणून ओळखला जातो कारण तो कॅरिअर ऑस्सीलेटरसह 'इन' फेजमध्ये असतो. रेजिस्टरचा कमीत कमी महत्त्वाचा बिट (LSB) Q-मॉड्युलेटरकडे

पाठवला जातो. हा मॉड्युलेटर 90° फेज शिफ्ट केलेल्या कॅरिअरसह असतो, म्हणजेच कॅरिअर ऑस्सीलेटरपासून एक चतुर्थांश वेव्ह बाहेर असलेला कॅरिअर (Q मॉड्युलेटर) असतो . प्रत्येक बॅलन्स मॉड्युलेटर (I आणि Q मॉड्युलेटर)चा आऊटपुट BPSK सिग्नल असतो, म्हणजेच '0' इनपुट बिटसाठी कोणताही फेज शिफ्ट नसतो आणि बिट 1 साठी 180° फेज शिफ्ट असतो. Q मॉड्युलेटरसाठी 90° चा अतिरिक्त फेज शिफ्ट असतो. बॅलन्स मॉड्युलेटरचे आउटपुट लिनियरलि (linearly) एकत्र केले जातात, ज्यामुळे QPSK सिग्नल तयार होतो.

iii) QPSK रिसीव्हर (QPSK Receiver):

ब्लॉक डायग्राम:

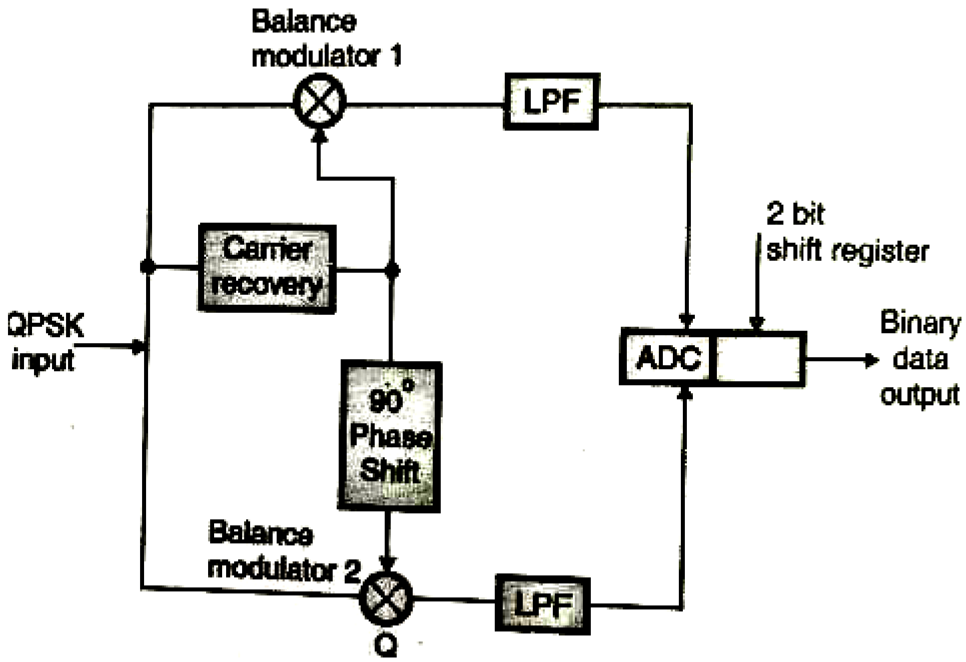


Figure 3.19: QPSK रिसीव्हर

कार्यरत: **(Operation):**

यामध्ये कॅरिअर रिकव्हरी सर्किट असते जे कॅरिअर फ्रिक्वेन्सीचा शोध घेते आणि ती कॅरिअर मॉड्युलेटर I ला संतुलित करते तसेच 90° फेज शिफ्ट करून दुसऱ्या बॅलन्स मॉड्युलेटरकडे पाठवते . दोन्ही मॉड्युलेटरचा आऊटपुट फिल्टर केला जातो आणि नंतर एनालॉग माहिती डिजिटल दोन-बिट डेटा, म्हणजेच डिबिट्समध्ये (Dibits) रूपांतरित केली जाते. या डिबिट्सना एक शिफ्ट रेजिस्टरमध्ये एकत्र केले जाते आणि शिफ्ट करून मूळ डेटा तयार करण्यासाठी बाहेर पडते.

iv) QPSK ची कॉन्स्टेलेशन डायग्राम (Constellation diagram of QPSK):

Symbol	Phase
00 (S_1)	0
01 (S_2)	90
10 (S_3)	180
11 (S_4)	270

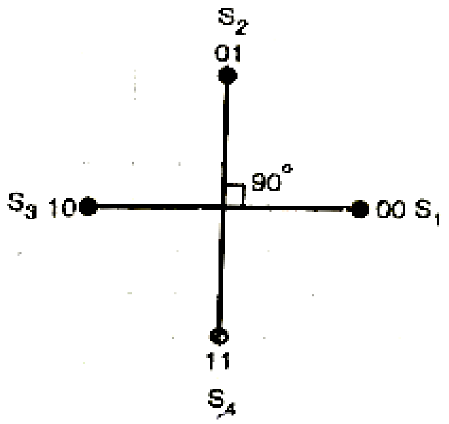


Figure 3.20: QPSK ची कॉन्स्टेलेशन डायग्राम

Figure 3.20 मध्ये QPSK ची कॉन्स्टेलेशन डायग्राम दर्शविली आहे. QPSK दोन कॅरिअर्स वापरतो, एक इन-फेज आणि दुसरा क्वाडरेचर कॅरिअर. 00 आणि 10 शी संबंधित सिग्नल पॉइंट्सचे ॲम्प्लिट्यूड A आहे आणि फेज शिफ्ट अनुक्रमे 0° आणि 180° आहेत. त्यामुळे ते X- ऍक्सेसवर दिसतात, जसे Figure मध्ये दाखवले आहे. 01 आणि 11 शी संबंधित इतर दोन सिग्नल पॉइंट्सचे ॲम्प्लिट्यूड A आहे आणि फेज शिफ्ट अनुक्रमे 90° आणि 270° आहेत. म्हणून ते Figure मध्ये Y- ऍक्सेसवर दिसतात.

3.3. M-ary एनकोडिंग (Encoding):

व्याख्या:

M-ary मॉड्युलेशन हे एक डिजिटल मॉड्युलेशन आहे ज्यामध्ये एकाच वेळी एक बिट पाठवण्याऐवजी दोन किंवा अधिक बिट्स एकत्र पाठवले जातात.

3.3.1. M-ary PSK:

i) M-ary PSK ट्रान्समीटर (Transmitter):

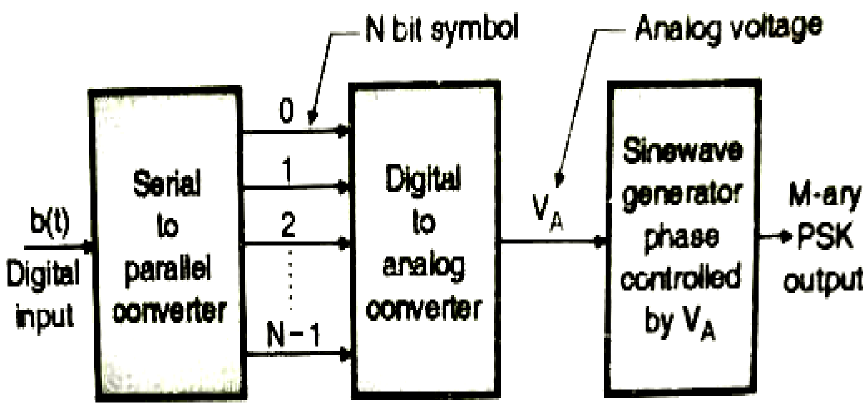


Figure 3.21: M-ary PSK ट्रान्समीटर

कार्यरत: **(Operation):**

बिट स्ट्रीम b(t) ला एक सिरियल ते पॅरलल कन्वर्टरला लागू केला जातो. हा ब्लॉक एक सिम्बॉलचे N बिट्स स्टोअर करू शकतो. सिम्बॉलसाठी N बिट्स एकत्र सीरियल स्वरूपात एकापाठोपाठ एक येतात. सिम्बॉलसाठी N बिट्स आधी सिरियल ते पॅरलल कन्वर्टर ब्लॉकद्वारे एकत्र केले जातात. नंतर सर्व हे बिट्स एकाच वेळी (पॅरलल स्वरूपात) कन्वर्टरच्या N आउटपुट लाईनवर प्रस्तुत केले जातात. यामुळे N-बिट संदेश सिरियल ते पॅरलल कन्वर्टरच्या आउटपुटवर पॅरलल स्वरूपात दिसतो. सिरियल ते पॅरलल कन्वर्टरचा आऊटपुट सिम्बॉलच्या N*Tb कालावधीपर्यंत अपरिवर्तित (Unchanged) राहतो. हा कालावधी कन्वर्टरला N बिट्सचा नवीन गट एकत्र करण्यासाठी वापरला जातो.

प्रत्येक N*Tb सेकंदांनंतर, कन्वर्टरचा आऊटपुट नवीन N-बिट सिम्बॉलमध्ये बदलतो. कन्वर्टरचा N-बिट आऊटपुट नंतर D/A कन्वर्टरला लागू केला जातो. N-बिट डिजिटल इनपुटला एनालॉग आऊटपुट V_A मध्ये रूपांतरित केले जाते. N-बिट डिजिटल इनपुटमध्ये $2^N = M$ इतक्या कॉम्बिनेशन असू शकतात. त्यामुळे M सिम्बॉलशी संबंधित, D/A कन्वर्टरचा आऊटपुट V_A मध्ये M वेगवेगळ्या मूल्यांचा समावेश होतो.

शेवटी, हा एनालॉग व्होल्टेज एक सायनूसोईडल(Sinusoidal) सिग्नल जनरेटरला लागू केला जातो, जो एक स्थिर ॲम्प्लिट्यूड सायनूसोईडल आऊटपुट व्होल्टेज तयार करतो, ज्याचा फेज Φ{m} D/A कन्वर्टरच्या आऊटपुट V_A शी प्रमाणित असतो. त्यामुळे ट्रान्समिटरच्या आऊटपुटवर, आपल्याला एक निश्चित ॲम्प्लिट्यूड असलेली सायनूसोईडल वेव्हफॉर्म मिळते, ज्याचा फेज N-बिट सिम्बॉलसोबत एक-ते-एक संबंध(correspondence) ठेवतो. फेज फक्त एका सिम्बॉलच्या वेळेत म्हणजेच Ts = N*टब मध्ये एकदाच बदलणार आहे,. अशा प्रकारे, M-ary PSK तयार होतो.

ii) M-ary PSK रिसीव्हर (Receiver):

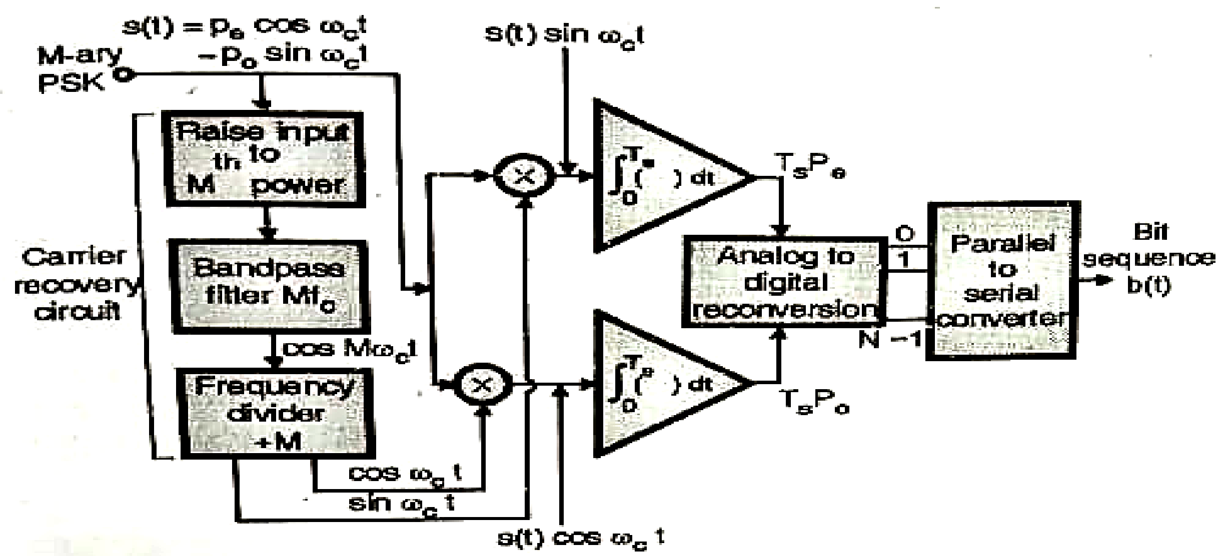


Figure 3.22: M-ary PSK रिसीव्हर

कार्यरत: **(Operation):**

M-ary रिसीव्हर सिंक्रोनस डिमॉड्युलेशनच्या तत्त्वावर कार्य करतो. कॅरिअर रिकव्हरी सिस्टीमला एक उपकरणाची आवश्यकता असते , जे प्राप्त सिग्नलला M व्या पॉवरपर्यंत वाढवू शकेल. हा सिग्नल नंतर एक बँडपास फिल्टरला लागू केला जातो, ज्याचे डिझाइन असे केले गेले आहे की त्याचा केंद्र फ्रिक्वेन्सी(Center frequency) M^*f_c इतका असावा.

फिल्टरच्या आऊटपुटवर आपल्याला M*fc फ्रिक्वेन्सीवर सायनूसोईडल सिग्नल मिळते, जी कॅरिअर फ्रिक्वेन्सी fc चा M वा हार्मोनिक आहे . नंतर ही फ्रिक्वेन्सी M ने विभागली जाते, ज्यामुळे कॅरिअर फ्रिक्वेन्सी fc मिळते. फिल्टरच्या आऊटपुटवर cos wct आणि sin wct या तयार झालेल्या दोन कॅरिअर्स आहेत . हे रिकव्हर केलेले कॅरिअर्स नंतर दोन मल्टिप्लायर्स (बॅलन्स्ड मॉड्युलेटर) ला लागू केले जातात. प्रत्येक मल्टिप्लायर ब्लॉकचा दुसरा इनपुट प्राप्त M-ary PSK सिग्नलशी जोडलेला असतो.

बॅलन्स्ड मॉड्युलेटरचे आऊटपुट इंटिग्रेटर्सला लागू केले जातात. कारण M-ary PSK प्रणाली एक नॉन-ऑफसेट किंवा नॉन-स्टॅगरड प्रकाराची प्रणाली आहे, इंटिग्रेटर्स त्यांच्या इंटिग्रेशनला त्याच वेळेच्या इंटर्वलवर एक्सटेन्ड करतात. हे इंटिग्रेटर्स बिट सिंक्रोनायझरसोबत कार्य करतात.

इंटिग्रेटर्सचे आऊटपुट अनुक्रमे Ts Pe आणि Ts Po प्रमाणे असतात आणि ते (आऊटपुट्स) सिम्बॉल रेटवर बदलतात. हे आऊटपुट्स नंतर A ते D कन्वर्टरला लागू केले जातात, जो N-बिट ट्रान्समिटेड सिग्नल प्रदान करतो. हा सिग्नल एक पॅरलल ते सिरियल कन्वर्टर वापरून b(t) मध्ये रूपांतरित केला जातो.

आता N = 4 बिट्स आणि $M = 2^4 = 16$ असलेल्या ऑपरेटिंग सिस्टीम्स सामान्य आहेत. अशा प्रणालीचा बँडविड्थ खालीलप्रमाणे आहे.

$$BW = \frac{2fb}{N} = \frac{2fb}{4} = \frac{fb}{2}$$

3.3.2. M-ary FSK:

Figure 3.23 मध्ये M-ary FSK ची कम्युनिकेशन प्रणाली दर्शविलेली आहे.

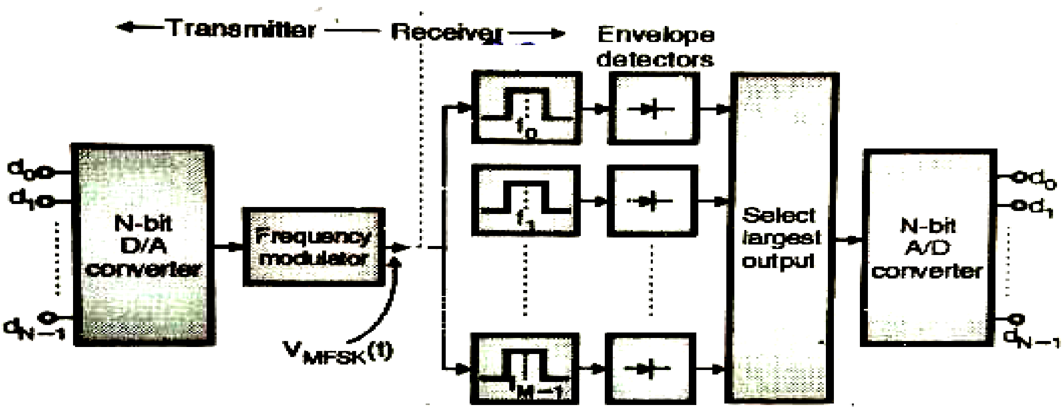


Figure 3.23: M-ary FSK ची कम्युनिकेशन प्रणाली

कार्यरत: **(Operation):**

ट्रान्समिटरमध्ये, एक N-बिट सिम्बॉल T_s कालावधीनंतर N-बिट D/A कन्वर्टरला प्रदान केला जातो. D/A कन्वर्टरचा आऊटपुट एक फ्रिक्वेन्सी मॉड्युलेटरला लागू केला जातो. फ्रिक्वेन्सी मॉड्युलेटर कॅरिअर वेव्हफॉर्म तयार करतो, ज्याची फ्रिक्वेन्सी D/A कन्वर्टरच्या आऊटपुटवरील एनालॉग मॉड्युलेटिंग सिग्नलवर अवलंबून असते. ट्रान्समिट केलेला सिग्नल, f_0, f_1 किंवा f_{m-1} फ्रिक्वेन्सीच्या समतुल्य असेल, जो सिम्बॉल कालावधी N*Tb इतका असेल. उदाहरणार्थ, जर N = 2 असेल तर M = 2^2 = 4 असेल, तर चार वेगवेगळ्या फ्रिक्वेन्सी असतील, जे चार वेगवेगळ्या पॉसिबल मेसेजेसचे(Possible messages) प्रतिनिधित्व करतात, म्हणजे 00, 01, 11 आणि 10.

M-ary FSK सिग्नलला एंव्हलोप डिटेक्टर्सचा वापर करून डिमॉड्युलेट केले जाते, जे Figure 3.23 मध्ये दर्शविले आहे. रिसीव्हरवर, प्राप्त सिग्नल M पॅरेलल कनेक्ट केलेल्या बँडपास फिल्टर्सना लागू केला जातो, प्रत्येकाच्या मागे एक ऐनवेलप(Envelope) डिटेक्टर असतो.

हे बँडपास फिल्टर्स केंद्र फ्रिक्वेन्सी (Center frequencies)fo, f_1, ..., fM-1 यांचा वापर करतात. त्यामुळे हे फिल्टर्स फक्त तेच सिग्नल पास करतील, ज्यांची फ्रिक्वेन्सी त्यांच्या केंद्र फ्रिक्वेन्सीशी समरुप असेल. बँडपास फिल्टर्सचे आऊटपुट नंतर एंव्हलोप डिटेक्टर्सला लागू केले जातात. हे एंव्हलोप डिटेक्टर्स त्यांच्या AC इनपुट व्होल्टेजच्या प्रमाणानुसार DC व्होल्टेजेस तयार करतात. सर्व एंव्हलोप डिटेक्टर्सच्या आऊटपुट्सना "सिलेक्ट लार्जेस्ट आउटपुट(Select largest output) " नावाच्या ब्लॉकला लागू केले जाते, जो ठरवतो की कोणत्या डिटेक्टरचा आऊटपुट दिलेल्या वेळेस सर्वात मोठा आहे. या उपकरणाचा आऊटपुट एक N-बिट A ते D कन्वर्टरला लागू केला जातो, जो मूळ ट्रान्समिट केलेला N-बिट संदेश पुन्हा तयार करतो.

3.4.क्वाडरेचर ॲम्प्लिट्यूड शिफ्ट कीइंग **(QASK)** किंवा **QAM:**

i) QASK ट्रान्समिटर(Transmitter):

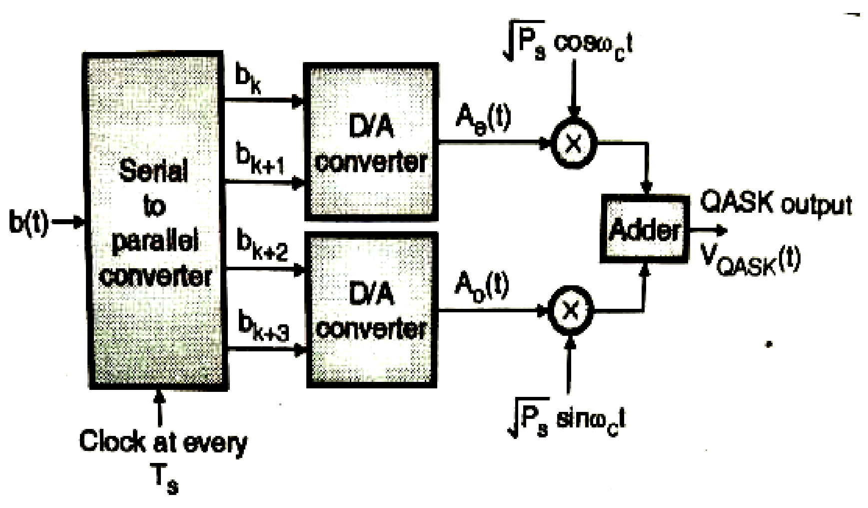


Figure 3.24 : QASK ट्रान्समिटर

कार्यरत: **(Operation):**

QASK जनरेटर Figure 3.24 मध्ये दर्शवले आहे. बिट स्ट्रीम b(t) ला एक सिरियल ते पॅरलल कन्वर्टरला लागू केला जातो, जो एक क्लॉकवर कार्य करतो, ज्याचा कालावधी T_s सेकंद असतो, जो सिम्बॉल कालावधीच्या समतुल्य असतो. बिट्स b(t) कन्वर्टरने स्टोअर केले जातात आणि नंतर पॅरलल स्वरूपात रूपांतरित केले जातात. चार-बिट सिम्बॉल $b_{k+3}\, b_{k+2}\, b_{k+1}\, b_k$ असे आहेत . या चार बिट्सपैकी पहिले दोन बिट्स पहिल्या D to A कन्वर्टरला लागू केले जातात आणि बाकीचे दोन बिट्स दुसऱ्या D to A कन्वर्टरला लागू केले जातात.

बॅलन्स्ड मॉड्युलेटरच्या मदतीने पहिल्या D/A कन्वर्टरचा आऊटपुट Ae(t) आहे, जो कॅरिअर $\sqrt{Ps}$cos wct ला मॉड्युलेट करण्यासाठी वापरला जातो, तर दुसऱ्या D/A कन्वर्टरचा आऊटपुट, म्हणजे A_0(t), कॅरिअर $\sqrt{Ps}$sin wct ला मॉड्युलेट करण्यासाठी वापरला जातो. बॅलन्स्ड मॉड्युलेटरचे आऊटपुट एकत्र जोडले जातात, ज्यामुळे QASK आऊटपुट सिग्नल प्राप्त होतो, जो D/A कन्वर्टरच्या इनपुटवर आधारित असतो.

ii) QASK रिसीव्हर (Receiver):

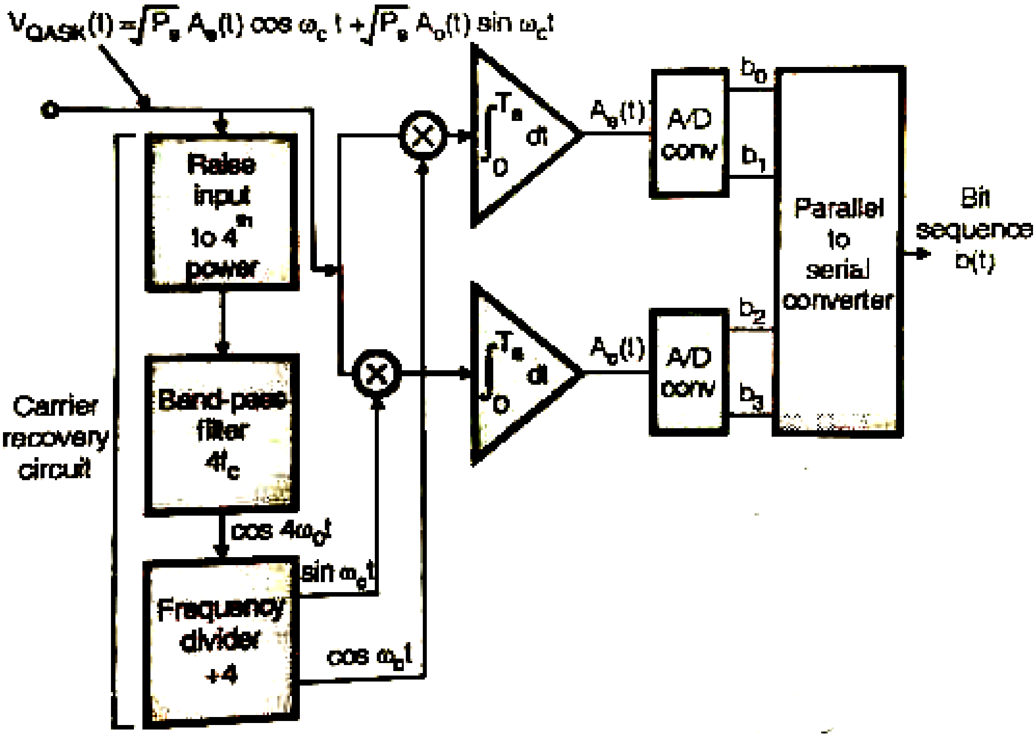


Figure 3.25: QASK रिसीव्हर

कार्यरत: **(Operation):**

QPSK प्रमाणे, हे देखील सिंक्रोनस डिमॉड्युलेशन आहे, ज्यासाठी लोकली(Locally) जनरेट केलेल्या क्वाडरेचर (90° फेज शिफ्ट केलेले) कॅरिअर सेटची म्हणजेच cos wct आणि sin wct ची आवश्यकता असते,. हे क्वाडरेचर कॅरिअर्स प्राप्त QASK सिग्नलमधून रिकव्हर केले जातात. इनपुट QASK सिग्नल प्रथम चौथ्या पॉवरपर्यंत वाढवला

जातो आणि बँडपास फिल्टर वापरून, ज्याची सेन्टर फ्रिक्वेन्सी 4 fc असते, तसेच एक फ्रिक्वेन्सी डिवायडर (÷ 4) सह, हे क्वाड्रच्योर कॅरिअर्स रिकव्हर केले जाऊ शकतात.

QASK प्रणालीमध्ये Ae आणि A_0 च्या व्हाल्यूज स्थिर आणि समान नसतात. म्हणून, हे निश्चित नाही की क्वाडरेचर कॅरिअर्स खरेच रिकव्हर होतील की नाही. त्यामुळे, आपल्याला तपासावे लागेल की कॅरिअर्स खरेच योग्य प्रकारे रिकव्हर होतात की नाही. इनपुट सिग्नल $V_{QASK}(t)$ ला चौथ्या पॉवरपर्यंत वाढवले जाते, जे खालीलप्रमाणे आहे:

$V^4 QASK\ (t) = P^2 s\ [A\ e\ (t)\cos wc\ t + A\ o\ (t)\sin wc\ t]^4$

वरील समीकरणात, cos 4 wc t च्या गुणांकाची (Coefficient) सरासरी व्हॅल्यू शून्य नाही, पण sin 4 wc t च्या गुणांकाची सरासरी व्हॅल्यू शून्य असेल. त्यामुळे, बँडपास फिल्टर आणि फ्रिक्वेन्सी डिवायडरच्या संयोजनाच्या(Combination) आऊटपुटवर आपल्याला क्वाडरेचर कॅरिअर घटक cos wc t आणि sin wc t प्राप्त होतात.

त्यानंतर, Ae(t) आणि Ao(t) सिग्नल्स रिकव्हर करण्यासाठी दोन बॅलन्स्ड मॉड्युलेटर (मल्टिप्लायर्स) दोन इंटिग्रेटर्ससोबत वापरले जातात. दोन्ही इंटिग्रेटर्स एक सिम्बॉल कालावधी म्हणजेच T_sवर,इंटिग्रेट करतात. अखेरीस, Ae(t) आणि Ao(t) कडून मूळ बिट्स दोन A to D कन्वर्टर्सचा वापर करून प्राप्त केले जातात. या दोन A to D कन्वर्टर्सचे आऊटपुट नंतर एक सिरियल ते पॅरलल कन्वर्टरला लागू केले जातात, ज्यामुळे b(t) सिक्वेन्स मिळवले जाते.

iii) QAM ची कॉन्स्टेलेशन डायग्राम:

4 QAM (सिम्बॉलसाठी 2 बिट्स) प्रणालीची कॉन्स्टेलेशन डायग्राम 3.26 मध्ये दाखवली आहे. सर्व सिम्बॉलची ॲम्प्लिट्यूड समान आहे, पण त्यांचे फेजेस वेगवेगळे आहेत. 8 QAM (सिम्बॉलसाठी 3 बिट्स) प्रणालीच्या कॉन्स्टेलेशनमध्ये दोन ॲम्प्लिट्यूड स्तर (Levels)आणि चार फेजेस वापरले जातात.

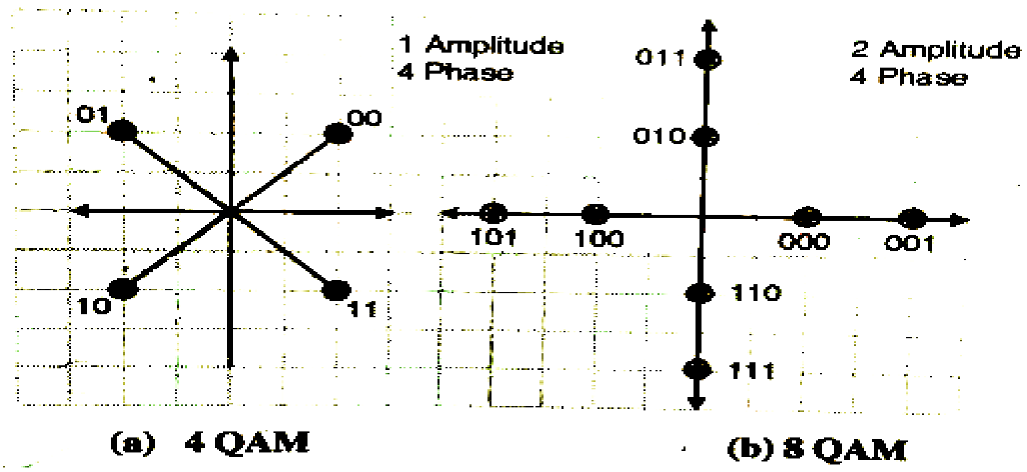


Figure 3.26: QAM ची कॉन्स्टेलेशन डायग्राम

3.5 FSK आणि DPSK ची तुलना:

Table 3.3: FSK आणि DPSK ची तुलना

अ.क्र.	पॅरामिटर्स (Parameters)	BFSK	DPSK
1	परिवर्तनीय वैशिष्ट्ये (Variable characteristics)	फ्रिक्वेन्सी	फेज
2	बँडविड्थ	2 f_b	f_b
3	त्रुटीची शक्यता (Error Probability)	मध्यम	BFSK पेक्षा जास्त
4	जटिलता (Complexity)	DPSK पेक्षा कमी	BFSK पेक्षा जास्त
5	डिटेक्शनची पद्धत	कोहेरंट, नॉन-कोहेरंट (Coherent, noncoherent)	सिंक्रोनस (Synchronous)
6	आवाजाचा प्रभाव (Effect of noise)	मध्यम	जास्त
7	सिंक्रोनस कॅरिअरची आवश्यकता	कोहेरंट डिटेक्शनसाठी आवश्यक	आवश्यक नाही

3.6 M-ary PSK आणि M-ary FSK ची तुलना:

Table 3.4: M-ary PSK आणि M-ary FSK ची तुलना

अ.क्र.	पॅरामिटर्स (Parameters)	M-ary PSK	M-ary FSK
1	सिम्बॉलसाठी बिट्सची संख्या	N ($M=2^N$)	N ($M=2^N$)
2	सिम्बॉल कालावधी (Symbol duration)	$Ts= NT_b$	$Ts = NT_b$
3	माहिती प्रसारित करण्याची पद्धत	कॅरिअरचा फेज बदलून	कॅरिअरची फ्रिक्वेन्सी बदलून
4	डिमॉड्युलेशनची पद्धत	कोहेरंट (सिंक्रोनस)	नॉनकोहेरंट
5	बँडविड्थ (BW)	$2f_b/N$	$2^{N+1} f_b/N$
6	त्रुटीची शक्यता	M-ary FSK पेक्षा जास्त	M-ary PSK पेक्षा कमी

3.7 ASK, PSK आणि FSK ची तुलना:

Table 3.5: ASK, PSK आणि FSK ची तुलना

अ.क्र.	पॅरामिटर्स (Parameters)	ASK	PSK	FSK
1	माहिती प्रसारित करण्याची पद्धत	ॲम्प्लिट्यूडमध्ये बदल करून	फेजमध्ये बदल करून	फ्रिक्वेन्सीमध्ये बदल करून
2	सिम्बॉलसाठी बिट्सची संख्या	N = 1	N = 1	N = 1
3	सिम्बॉलच्या संख्याची शक्यता (No. of possible symbols) (M)	2	2	2
4	सिम्बॉलचा कालावधी	T_b	T_b	T_b
5	बँडविड्थ	$2f_b$	$2f_b$	$4f_b$
6	डिटेक्शनची पद्धत	कोहेरंट	कोहेरंट	नॉनकोहेरंट
7	बँडविड्थची कार्यक्षमता (BW efficiency)	कमी	कमी	कमी

सारांश (**Summary**):

a. **ASK:** साधे परंतु नॉइजसाठी संवेदनशील; कमी डेटा रेट.

b. **FSK:** ASK पेक्षा अधिक मजबूत; नॉइज इम्युनिटीसाठी उपयुक्त.

c. **PSK:** बँडविड्थ कार्यक्षम आणि नॉइजची चांगली प्रतिकारक क्षमता.

d. **DPSK:** डेटा फेज मध्ये बदल करून एन्कोड करते, PSK पेक्षा अधिक मजबूत, उपग्रह आणि ब्लूटूथमध्ये वापरले जाते.

e. **QPSK:** 4 फेजेस वापरून प्रतीकासाठी 2 बिट्स ट्रांसमिट करते, उच्च गतीच्या कम्युनिकेशन साठी (communication)कार्यक्षम.

f. **M-ary FSK:** उच्च डेटा दरांसाठी अनेक फ्रिक्वेन्सी वापरते, ASK पेक्षा अधिक नॉइज रेसिस्टन्ट(Noise-resistant), रेडिओ आणि वायरलेस डेटा सिस्टिममध्ये वापरले जाते.

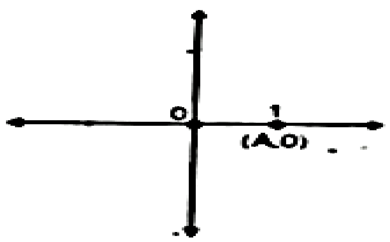
g. **M-ary PSK:** उच्च डेटा रेटसाठी अनेक फेज शिफ्ट वापरते, परंतु M वाढल्यास अधिक नॉइज सेन्सिटिव्ह होते.

h. स्वयं शिक्षण (Self Learning):

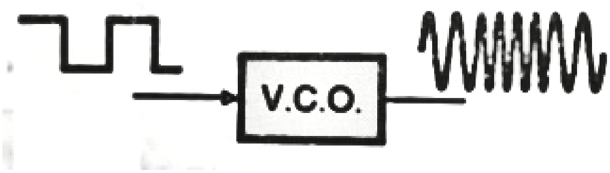
i. प्रत्येक डिजिटल मॉड्युलेशन तंत्रज्ञानासाठी चार्ट तयार करा, जसे की ब्लॉक डायग्राम, वेव्हफॉर्म, कॉन्स्टेलेशन डायग्राम इत्यादी.

स्वाध्याय (R/U/A स्तर प्रश्न):

a. QPSK च्या जनरेटर आणि वेव्हफॉर्म यांचे वर्णन करा.
b. QAM च्या ट्रान्समिटर आणि रिसिव्हरची Figure काढा आणि वर्णन करा.
c. 4 QAM ची कॉँस्टेलेशन डायग्राम काढा.
d. PSK ट्रान्समिटरची ब्लॉक डायग्राम काढा आणि त्याचे वर्णन करा.
e. PSK रिसिव्हरची ब्लॉक डायग्राम काढा आणि त्याचे वर्णन करा.
f. QAM आणि QPSK यामध्ये तुलना करा.
g. कॉँस्टेलेशन डायग्रामची व्याख्या लिहा आणि QPSK ची कॉँस्टेलेशन डायग्राम काढा.
h. FSK आणि DPSK मॉड्युलेशन यामध्ये तुलना करा.
i. डिजिटल मॉड्युलेशन तंत्रज्ञानाचे फायदे लिहा.
j. कोहेरंट आणि नॉन-कोहेरंट डिटेक्शनची संकल्पना स्पष्ट करा.
k. ASK ट्रान्समिटरची ब्लॉक डायग्राम काढा आणि त्याचे वर्णन करा.
l. FSK रिसिव्हर ब्लॉक डायग्राम काढा आणि त्याचे वर्णन करा.
m. खालील Figure पहा आणि डिजिटल मॉड्युलेशन तंत्रासाठी कॉँस्टेलेशन डायग्राम ओळखा.



n. डिजिटल मॉड्युलेशन तंत्रासाठी खालील ब्लॉक डायग्राम ओळखा.



विद्यार्थ्यांशी संबंधित उपक्रम (Student Learning Activity):

- FSK सिग्नल जनरेट करण्यासाठी सर्किट तयार करा.
- ASK सिग्नल जनरेट करण्यासाठी सर्किट तयार करा.

वर्चुअल लॅब लिंक (Virtual Lab Link) :

- ॲम्प्लिट्यूड शिफ्ट कीइंग मॉड्युलेशन आणि डिमोड्युलेशन

https://kcgcollege.ac.in/Virtual-Lab/Electronics-and-Communication-Engineering/Exp-3/procedure.html

- ॲम्प्लिट्यूड शिफ्ट कीइंग, फ्रिक्वेन्सी शिफ्ट कीइंग, बायनरी फेज शिफ्ट कीइंग: जनरेशन आणि डिटेक्शन

https://virtual-labs.github.io/exp-amplitude-shift-keying-iitd/simulation.html

संदर्भ पुस्तके (Reference Books):

अ.क्र.	लेखक	पुस्तकाचे नाव	प्रकाशक आणि ISBN नंबर
1	K.SamShanmugam	Digital and Analog CommunicationSystems	WileyIndiaPvtLtd,ISBN-9788126509140
2	Rao.RamkrishnaP.	Digital communication	McGrawHillEducation (1July2017),ISBN-9780070707764
3	SimonHaykin	Digital Communications	JohnWileyandSons, ISBN-9788126508242
4	B.P.Lathi	Modern Digitaland Communication Systems	Oxforduniversitypress,ISBN-9780198073802
5	BernardSklar	Digital Communications: Fundamentalsand Applications	Pearson2021,ISBN-9780134588568

वेबसाइट्स आणि पोर्टल्स (Websites &Portals):

अ. क्र.	लिंक/पोर्टल (Link/Portal)	वर्णन (Description)
1	https://nptel.ac.in/courses/117101051	NPTEL द्वारे डिजिटल कम्युनिकेशनचा परिचय
2	https://www.etti.unibw.de/labalive/experiment/qpsksignalgeneration/	प्रॅक्टिकलसाठी वर्चुअल कम्युनिकेशन लॅब
3	https://nptel.ac.in/courses/106105082	डेटा कम्युनिकेशन
4	http://www.digimat.in/nptel/courses/video/117105136/L13.html	स्प्रेड स्पेक्ट्रम तंत्रज्ञान

युनिट 4 -मल्टीप्लेक्सिंग आणि मल्टीपल ऍक्सेस तंत्र

Unit 4 - Multiplexing and Multiple Access Technique

विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

विद्यार्थी कोर्स-आधारित शिक्षण पूर्ण केल्यानंतर पुढील COs साध्य करण्यास आणि दाखवण्यास सक्षम होतील.

CO 4 - मल्टीप्लेक्सिंग आणि मल्टीपल ॲक्सेस टेकनिकची संकल्पना समजून स्पष्ट करा.

घटक निष्पत्ती: (Theory Learning Outcome):

TLO 4.1 - दिलेल्या प्रकारच्या मल्टीप्लेक्सिंग टेकनिकचा कार्यसिद्धांत वर्णन करा.

TLO 4.2 - दिलेल्या सिग्नल्सची संख्या मल्टीप्लेक्स करण्यासाठी योग्य मल्टीप्लेक्सिंग टेकनिक निवडा.

TLO 4.3 - कार्यक्षेत्राच्या आधारे दिलेल्या मल्टीपल ऍक्सेस टेकनिकचे योग्य स्पष्टीकरणासह वर्गीकरण करा.

TLO 4.4 - दिलेल्या परिमाणांच्या आधारे CDMA, TDMA, FDMA यांची तुलना करा.

4.1 परिचय (Introduction)

मल्टीप्लेक्सिंग ही एक प्रक्रिया आहे ज्याद्वारे दोन किंवा अधिक स्वतंत्र सिग्नल्स एकाच सिग्नल चॅनेलवर एकाच वेळी प्रसारित केली जातात. सिग्नलमध्ये अनेक असे प्रसंग असतात जिथे एकापेक्षा जास्त आवाज किंवा डेटा सिग्नल प्रसारित करणे आवश्यक किंवा इच्छित असते. काही वेळा स्वतः अनुप्रयोगालाच एकाधिक संकेत आवश्यक असतात, तसेच एकाच कम्युनिकेशन चॅनेलद्वारे अनेक माहिती संकेत पाठवून खर्च वाचवता येतो. टेलीमेट्री आणि टेलिफोन मल्टीप्लेक्सिंग ही प्रणाली व्यवहार्य करण्यासाठी आणि त्याच्या खर्चाचे औचित्य सिद्ध करण्यासाठी अत्यंत महत्त्वाची असते.

या युनिटमध्ये , आपण मल्टीप्लेक्सिंग तंत्र आणि मल्टीपल ॲक्सेस तंत्र पाहणार आहोत.

4.2 मल्टीप्लेक्सिंग तंत्र (MULTIPLEXING TECHNIQUES)

मल्टीप्लेक्सिंग ही एक प्रक्रिया आहे ज्याद्वारे दोन किंवा अधिक स्वतंत्र सिग्नल्स एकाच सिग्नल चॅनेलवर एकाच वेळी प्रसारित केली जातात. मल्टीप्लेक्सिंगमुळे सिग्नल चॅनेल्सची संख्या वाढवता येते, ज्यामुळे अधिक माहिती प्रसारित केली जाऊ शकते.

A. परिभाषा (Definition):

मल्टीप्लेक्सिंग ही अशी तंत्रांची एक प्रणाली आहे जी एकाच डेटा लिंकवर एकाच वेळी अनेक सिग्नल प्रसारित करण्यास सक्षम बनवते. जसा डेटा आणि दूरसंचारचा वापर वाढतो, तशीच कम्युनिकेशन ची ट्रॅफिक देखील वाढते. यावर उपाय म्हणून आपण उच्च बँडविड्थ लिंक स्थापित करू शकतो आणि त्याद्वारे एकाच वेळी अनेक सिग्नल वाहून नेऊ शकतो.

जर एखाद्या लिंकची बँडविड्थ तिच्याशी जोडलेल्या उपकरणांच्या गरजेपेक्षा जास्त असेल, तर ती बँडविड्थ वाया जाते. कोणतीही कार्यक्षम प्रणाली कि जी संसाधनांचा जास्तीत जास्त उपयोग करण्यावर भर देते त्यामध्ये बँडविड्थ हे सर्वात मौल्यवान संसाधनांपैकी एक आहे.

मल्टीप्लेक्सिंग प्रणालीमध्ये n वेगवेगळ्या लाईन्स एका लिंकच्या बँडविड्थची विभागणी करून वापरतात. Figure 4.1 मध्ये मल्टीप्लेक्सिंग प्रणालीचा मूलभूत स्वरूप दाखवले आहे.

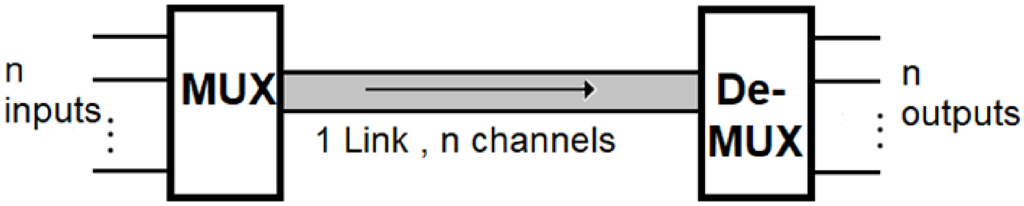


Figure 4.1 चॅनेलमध्ये लिंकचे चे विभाजन करणे

मल्टीप्लेक्सर n इनपुट लाईन ला एकत्र करून एक करते (अनेक ते एक). रिसीव्हर साईडला, डीमल्टीप्लेक्सर प्रवाहाला n आउटपुट लाईन मध्ये वेगळे करतो. (एक ते अनेक).

B. मल्टीप्लेक्सिंगची आवश्यकता (Need of Multiplexing)

टेलिफोनीसारख्या अनुप्रयोगांमध्ये मोठ्या संख्येने वापरकर्ते सहभागी असतात. प्रत्येक ग्राहकासाठी स्वतंत्र तारजोड सर्व इतर ग्राहकांपर्यंत नेणे शक्य नाही, कारण हे अत्यंत खर्चिक आणि प्रत्यक्षात अमलात आणणे कठीण आहे.

याऐवजी, जर आपण मल्टीप्लेक्सिंग तत्त्व वापरले, तर कोअक्सियल केबल किंवा ऑप्टिकल फायबर केबल सारख्या सामाईक सिग्नल चॅनेलद्वारे अनेक ग्राहकांकडून येणारे टेलिफोन सिग्नल वाहून नेऊ शकतो.

हेच तत्त्व अशा सर्व अनुप्रयोगांसाठी लागू होते, जिथे विविध स्रोतांमधून निर्माण झालेले अनेक संकेत एका संप्रेषण माध्यमाद्वारे पाठवले जातात.

C. मल्टीप्लेक्सिंगचे प्रकार: (Types of Multiplexing)

i. ऍनालॉग मल्टीप्लेक्सिंग (Analog Multiplexing)
a. FDM (Frequency Division Multiplexing) – फ्रीक्वेंसी डिव्हिजन मल्टीप्लेक्सिंग
b. WDM (Wavelength Division Multiplexing) – वेवलेन्थ डिव्हिजन मल्टीप्लेक्सिंग
ii. डिजिटल मल्टीप्लेक्सिंग (Digital Multiplexing)
a. TDM (Time Division Multiplexing) – टाईम डिव्हिजन मल्टीप्लेक्सिंग
b. सिंक्रोनस TDM (Synchronous TDM) .
c. असिंक्रोनस TDM (Asynchronous TDM) .

Figure 4.2 मध्ये मल्टीप्लेक्सिंग तंत्रांचे वर्गीकरण दाखविले आहे.

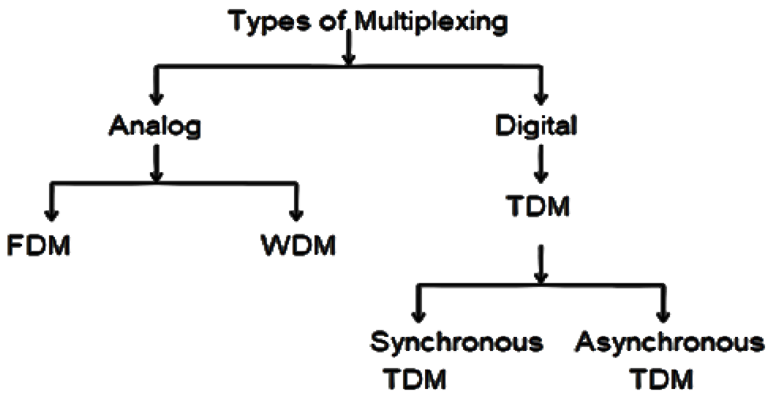


Figure 4.2. मल्टीप्लेक्सिंगचे प्रकार

4.3 फ्रीक्वेंसी डिव्हिजन मल्टीप्लेक्सिंग (FDM)

a. FDM (फ्रीक्वेंसी डिव्हिजन मल्टीप्लेक्सिंग) हे एक मल्टीप्लेक्सिंग तंत्र आहे ज्यात अनेक सिग्नल्स एकाच वेळी (सामान्यतः वेळेच्या डोमेनमध्ये) पाठवले जातात, परंतु ते फ्रीक्वेंसी डोमेनमध्ये एकमेकांपासून वेगवेगळे असतात (याचा अर्थ, प्रत्येक सिग्नलला फ्रीक्वेंसी स्पेक्ट्रममध्ये वेगवेगळी स्लॉट्स दिली जातात). figure 4.3 मध्ये FDM चा संकल्पना स्पष्ट केली आहे.
b. FDM हे एक सामान्य कम्युनिकेशन चॅनेलचा बँडविड्थ शेअर करण्याच्या संकल्पनेवर आधारित आहे. जे सिग्नल्स एकाच वेळी प्रसारित करायचे आहेत, त्यांना प्रत्येकाला एक वेगळी कॅरिअर मॉड्युलेट करायची असते.
c. फ्रीक्वेंसी डिव्हिजन मल्टीप्लेक्सिंग एक एनालॉग तंत्र आहे. फ्रीक्वेंसी डिव्हिजन मल्टीप्लेक्सिंग म्हणजे एकूण फ्रीक्वेंसी रेंजला अनेक फ्रीक्वेंसी स्लॉट्समध्ये विभागले जाते, आणि प्रत्येक फ्रीक्वेंसी स्लॉटला एका चॅनेलला दिले जाते.
d. विविध चॅनेल्स जे वेगवेगळ्या फ्रीक्वेंसीवर असतात, एकत्र करून एका सिंगल वायरद्वारे प्रसारित केले जातात आणि रिसीव्हरवर डीमल्टीप्लेक्सरच्या मदतीने त्यांना वेगळे केले जाते.
e. FDM त्यावेळी लागू करता येते जेव्हा लिंकचा बँडविड्थ प्रसारित करण्यासाठी आवश्यक असलेल्या सिग्नल्सच्या एकत्र बँडविड्थ्सपेक्षा जास्त असतो. हे मॉड्युलेटेड सिग्नल्स नंतर एकाच संयोजित सिग्नलमध्ये एकत्र केले जातात, ज्याला लिंकद्वारे वाहून नेले जाऊ शकते.

f. कॅरिअर फ्रीक्वेन्सीज वेगळ्या फ्रीक्वेंसी बँडविड्थद्वारे विभाजित केल्या जातात, जे मॉड्युलेटेड सिग्नलला सामावून घेण्यासाठी आवश्यक आहे. चॅनेल्सना ओव्हरलॅप होण्यापासून रोखण्यासाठी त्यांना गार्ड बँड्सने वेगळे केले पाहिजे.

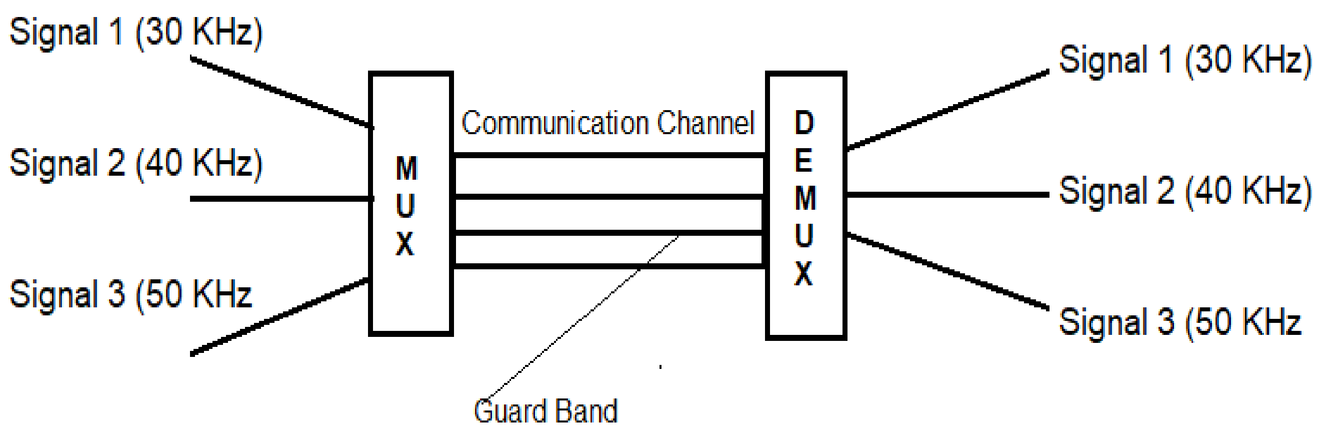


Figure 4.3:- FDM सिस्टीम

A. FDM ट्रांसमीटर (FDM Transmitter)

Figure 4.4 मध्ये FDM ट्रांसमीटरची ब्लॉक डायग्राम दाखवली आहे. ट्रांसमीटरवर मल्टीप्लेक्सिंग प्रक्रिया केली जाते. प्रत्येक सिग्नल स्वतंत्र कॅरिअरला मॉड्युलेट करतो. मॉड्युलेटर आउटपुटमध्ये संबंधित सिग्नल्सच्या साइडबँड्सचा समावेश असतो. मॉड्युलेटर आउटपुट्स एक लिनियर मिक्सर किंवा ॲडरमध्ये एकत्र जोडले जातात.

ॲडर हा एक लिनियर मिक्सर आहे जो सर्व मॉड्युलेटेड सिग्नल्सचा गणितीय योग देतो. त्यामुळे तयार होणारे मॉड्युलेटेड सिग्नल्स नंतर एका सिग्नलमध्ये एकत्र केले जातात, आणि ते एकाच लिंकवरून पाठवले जातात.त्या लिंकमध्ये त्याला सामावून घेण्यासाठी पुरेशी बँडविड्थ असते.

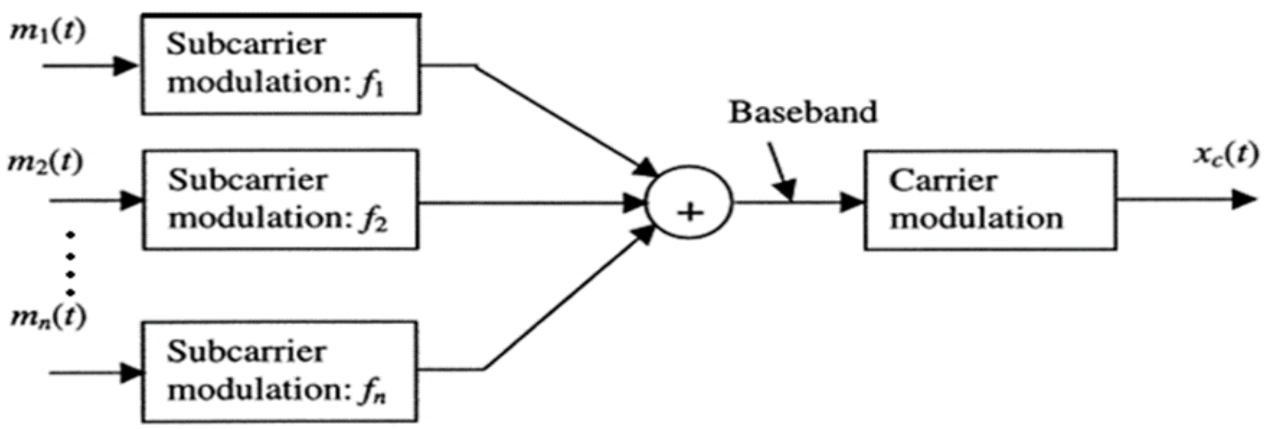


Figure 4.4:- FDM ट्रांसमीटर

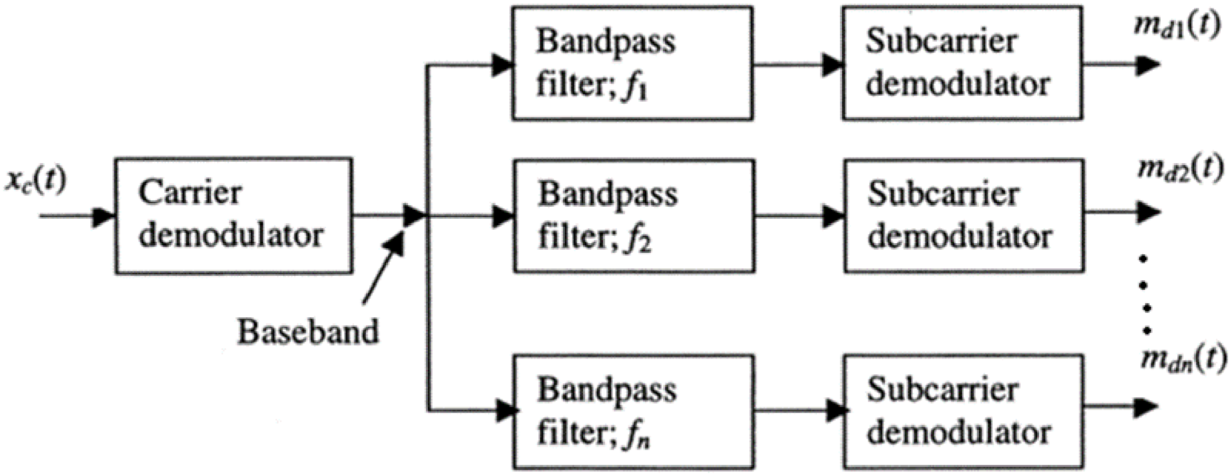


Figure 4.5:- FDM रिसीव्हर

B. FDM रिसीव्हर (FDM Receiver)

Figure 4.5 मध्ये FDM रिसीव्हरचा ब्लॉक डायग्राम दाखवली आहे. रिसीव्हरवर डीमल्टीप्लेक्सिंग प्रक्रिया केली जाते. संयोजित सिग्नल एका बँडपास फिल्टर्स (BPF) च्या गटावर लागू केला जातो. प्रत्येक BPF ला एक केंद्र फ्रीक्वेन्सी असते, जी एका कॅरिअरशी संबंधित असते. BPFs च्या बँडविड्थमध्ये पुरेशी क्षमता असते जेणेकरून ते सर्व चॅनेल माहितीला कोणत्याही विकृती शिवाय पास करू शकतात.

प्रत्येक फिल्टर फक्त त्याच्या संबंधित चॅनेलला पास करेल आणि इतर सर्व चॅनेल्सला नाकारेल. चॅनेल डीमोड्युलेटर नंतर कॅरिअरला काढून मूळ सिग्नल पुनर्प्राप्त करतो.

C. FDM चे फायदे, तोटे आणि उपयोग

फायदे : (Advantages)

a. FDM ची डिमोड्युलेशन प्रक्रिया साधी आणि सोपी आहे.
b. हे ऍनालॉग सिग्नल्ससाठी वापरले जाते.
c. याला ट्रांसमीटर आणि रिसीव्हर यामधील सिन्क्रोनायझेशन (Synchronization)ची आवश्यकता नाही.
d. स्लो आणि अरुंद बँड फेडिंगमुळे फक्त एकच चॅनेल प्रभावित होतो.
e. FDM द्वारे एकाच वेळी अनेक सिग्नल्स प्रसारित केले जाऊ शकतात.
f. फ्रीक्वेंसी डिव्हिजन मल्टीप्लेक्सिंगमध्ये डिमोड्युलेशन प्रक्रिया सोपी असते.

तोटे (Disadvantages)

a. याचा वापर फक्त जेव्हा काही कमी वेगाच्या चॅनेल्सची आवश्यकता असते.
b. कम्युनिकेशन चॅनेलला मोठ्या बँडविड्थची आवश्यकता असते.
c. इंटरमॉड्युलेशन डीसटोर्शन (Distortion) होऊ शकते.
d. FDM ला क्रॉसटॉकच्या समस्येचा सामना करावा लागतो.

उपयोग (Applications):

a. टेलीफोन प्रणाली.
b. AM आणि FM रेडिओ प्रसारण.
c. टी.व्ही. प्रसारण.
d. पहिल्या पिढीतील (1st Generation) सेलुलर फोन.

4.4 टाईम डिव्हिजन मल्टिप्लेक्सिंग (TDM)

A. TDM म्हणजे काय?

TDM (Time Division Multiplexing) ही एक मल्टिप्लेक्सिंग तंत्रज्ञान आहे, ज्यामध्ये सिग्नल एकाच वेळी पाठवण्याऐवजी एकामागून एक (Sequentially) पाठवले जातात.

FDM (Frequency Division Multiplexing) मध्ये सिग्नल वेगवेगळ्या फ्रिक्वेन्सी बँडमध्ये पाठवले जातात, पण TDM मध्ये प्रत्येक सिग्नलसाठी एक ठराविक वेळ स्लॉट असतो.

B. TDM ची कार्यप्रणाली:

प्रत्येक सिग्नलला एक विशिष्ट वेळ स्लॉट दिला जातो. सर्व सिग्नल अनुक्रमाने प्रसारित होतात, एकावेळी फक्त एक सिग्नल पाठवला जातो. सर्व सिग्नल एकदा पाठवल्यानंतर एक फ्रेम पूर्ण होते. ही प्रक्रिया वारंवार चालू राहते, त्यामुळे प्रत्येक सिग्नलला परत परत प्रसारित करण्याची संधी मिळते.

TDM चा मूलभूत तत्त्व स्पष्ट करणारी Figure 4.6 मध्ये दाखवली आहे

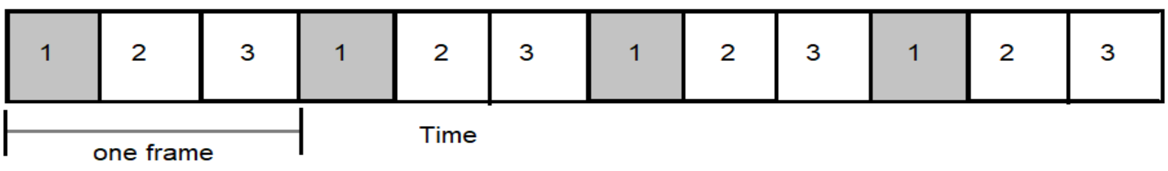


Figure 4.6:- TDM चे तत्व

Figure 4.6 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे, प्रत्येक चॅनेलच्या एका प्रसारणाने एक ऑपरेशन सायकल पूर्ण होते, ज्याला "Frame" म्हणतात.

TDM प्रणालीमध्ये ॲनालॉग किंवा डिजिटल सिग्नल मल्टिप्लेक्स केले जाऊ शकतात, परंतु हे डिजिटल सिग्नल मल्टिप्लेक्सिंगसाठी अधिक उपयुक्त आहे.

C. तत्त्व (Principle):

वेगवेगळ्या चॅनेल्सना स्वतंत्र वेळ स्लॉट दिले जातात आणि हे सर्व सिग्नल एका सिंगल वायरमध्ये एकत्र करून पाठवले जातात.

रिसीव्हर साईडला, डिमल्टिप्लेक्सरच्या (Demultiplexer) मदतीने हे सिग्नल वेगळे केले जातात आणि योग्य रिसीव्हरकडे पाठवले जातात.

ही प्रक्रिया Figure 4.7 मध्ये संकल्पनात्मक रूपात स्पष्ट केली आहे.

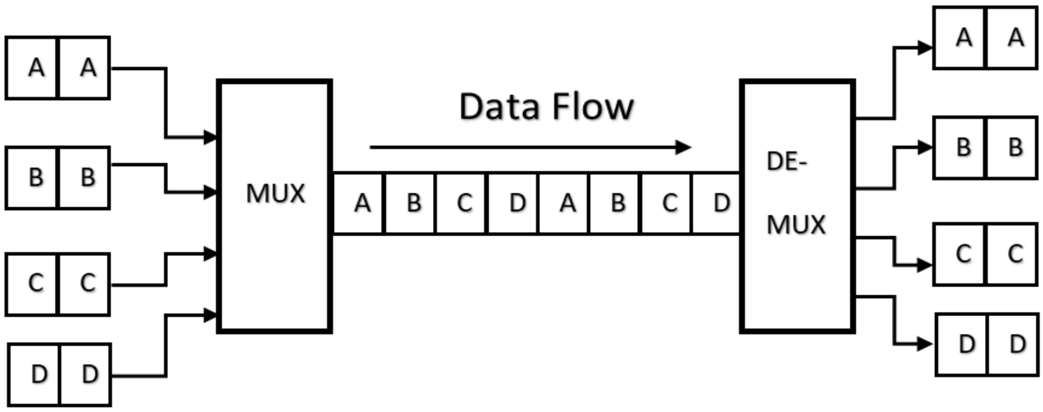


Figure. 4.7:- TDM सिस्टीम

TDM मध्ये लिंक (Link) वेळेवर आधारित असतो, कारण हे "Time Division Multiplexer" आहे. Figure 4.7 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे, सिग्नल A, B, C आणि D चे भाग अनुक्रमाने (Sequentially) लिंकवर कब्जा करतात. संपूर्ण ट्रान्समिशन वेळ हि वेगवेगळ्या "Time Slices" मध्ये विभागली जाते. प्रत्येक Time Slice विशिष्ट स्रोत नोड ला (Source Node) दिली जाते, ज्यामध्ये तो आपला डेटा पाठवू शकतो. ही प्रक्रिया सतत चालू राहते, त्यामुळे सर्व स्रोत नोड्स आपला डेटा वेळोवेळी पाठवू शकतात.

ही प्रक्रिया Figure 4.7 मध्ये स्पष्ट केली आहे

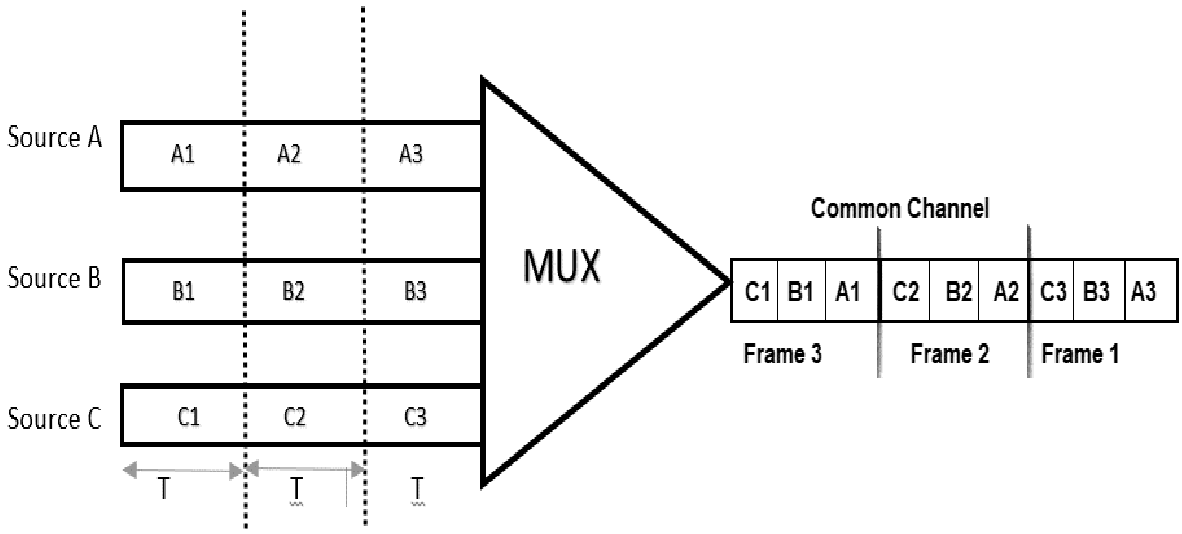


Figure. 4.8 TDM ची ब्लॉक डायग्राम

Figure 4.8 मध्ये दाखवल्याप्रमाणे, लिंकचा (Link) डेटा रेट कनेक्शनच्या डेटा रेटच्या 3 पट असतो. त्यामुळे कनेक्शनवरील प्रत्येक युनिटचा कालावधी, टाइम स्लॉटच्या कालावधीच्या 3 पट जास्त असतो. मल्टिप्लेक्सिंगपूर्वीचा डेटा हा मल्टिप्लेक्सिंगनंतरच्या डेटाच्या 3 पट असतो. याचा अर्थ असा की, मल्टिप्लेक्सिंगपूर्वी प्रत्येक युनिटची कालमर्यादा जास्त असते, परंतु मल्टिप्लेक्सिंगनंतर ती कमी होते.

टाइम स्लॉट हे फ्रेममध्ये गटबद्ध (Grouped) केले जातात. एक फ्रेम म्हणजे टाइम स्लॉट्सचा एक पूर्ण चक्रक्रम, जिथे प्रत्येक स्लॉट एका विशिष्ट पाठवणाऱ्या (Sending) डिव्हाइससाठी राखीव असतो.

वेगवेगळ्या स्रोत नोड्सना वेगवेगळ्या प्रमाणात डेटा पाठवायचा असतो, त्यामुळे वेळ स्लॉटचे वाटप वेगवेगळ्या प्रमाणात होते. यामुळे काही स्रोत नोड्सना डेटा ठेवण्यासाठी मोठ्या बफरची गरज भासते, कारण दुसरे नोड्स प्रसारण करत असतात. काही स्रोत नोड्सला प्रसारणासाठी जास्त वेळ मिळतो, तर काहींना वाट पाहावी लागते, ज्यामुळे हा पद्धत काही स्रोत नोड्ससाठी अयोग्य ठरू शकते. ही समस्या सोडवण्यासाठी, वेळेचे तुकडे समान कालावधीच्या टाइम स्लॉट्समध्ये विभागले जातात, जेणेकरून सर्व नोड्सना समान संधी मिळेल.

TDM (Time Division Multiplexing) ची दोन प्रकारे अंमलबजावणी केली जाते.

i. Synchronous TDM (सिंक्रोनस TDM)

ii. Asynchronous TDM (असिंक्रोनस TDM) किंवा Statistical TDM

D. सिंक्रोनस TDM (Synchronous TDM)

a. Multiplexing (मल्टिप्लेक्सिंग प्रक्रिया)

मल्टिप्लेक्सरसाठी एक सिंगल-पोल फिरणारा स्विच (Rotating Switch) किंवा कम्युटेटर (Commutator) वापरला जातो. हा स्विच यांत्रिक (Mechanical) किंवा इलेक्ट्रॉनिक(Electronic) असू शकतो. स्विच एका सेकंदाला "fs" वेळा फिरतो. स्विच फिरत असताना, तो A, B, आणि C या तीन वेगवेगळ्या सिग्नल स्त्रोतांशी अल्प काळासाठी संपर्क साधतो. हे तीन ॲनालॉग सिग्नल्स एका मागोमाग एक संप्रेषण चॅनेलला जोडले जातात आणि पाठवले जातात

b. Demultiplexing (डिमल्टिप्लेक्सिंग प्रक्रिया)

रिसीव्हर साईड ला (Receiver), मल्टिप्लेक्स केलेले सिग्नल वेगळे करण्यासाठी एक फिरणारा स्विच किंवा कम्युटेटर असतो. हा स्विच पाठवणाऱ्या स्विचइतक्याच गतीने फिरला पाहिजे आणि त्याच्याशी समक्रमित (Synchronized) राहिला पाहिजे. योग्य समक्रमण (Synchronization) असेल, तर प्रत्येक सिग्नल त्याच्या मूळ सोर्स नोडला योग्य प्रकारे पोहोचतो.

ह्याच तत्त्वाचा वापर करून एकापेक्षा अधिक सिग्नल्स मल्टिप्लेक्स करता येतात.

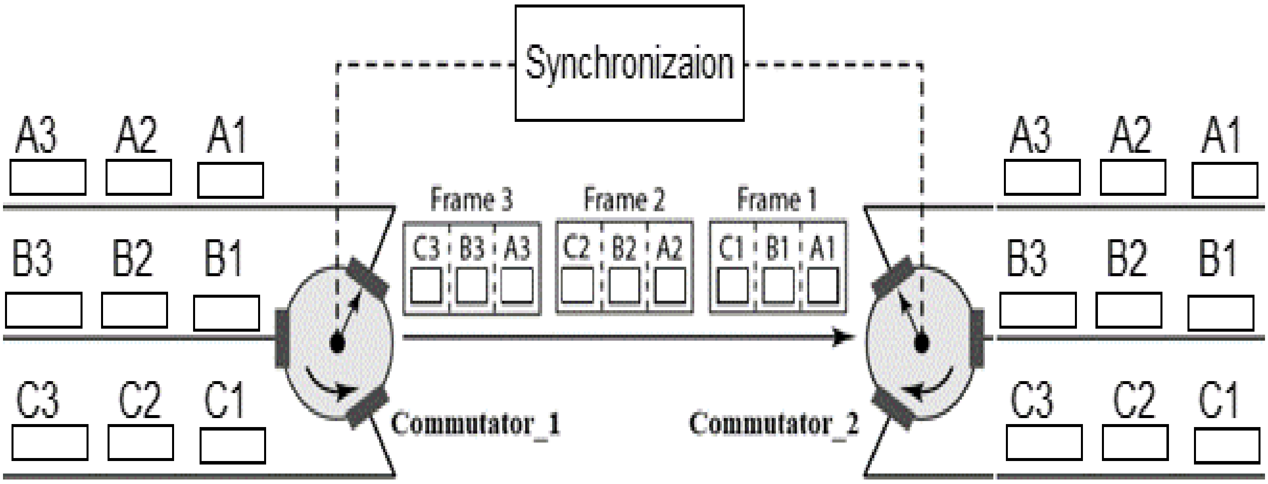


Figure .4.9:- सिंक्रोनस TDM

c. इंटरलिव्हिंग (Interleaving)

मल्टीप्लेक्सिंगच्या वेळी, स्विच जेव्हा एका कनेक्शनसमोर उघडतो, तेव्हा त्या कनेक्शनला त्याचा डेटा ट्रान्समिशन पथावर पाठवण्याची संधी मिळते.या प्रक्रियेला Interleaving म्हणतात.

d. Empty स्लॉटस (Empty Slots)

Synchronous TDM तितकेसे कार्यक्षम नाही कारण प्रत्येक सोर्स नोडसाठी एक ठराविक टाइम स्लॉट दिला जातो, जरी त्या नोडकडे पाठवण्यासाठी डेटा नसेल तरीही. जर कोणत्याही सोर्स नोडकडे डेटा नसेल, तर त्या नोडसाठी राखीव असलेला स्लॉट रिकामा राहतो. यामुळे बँडविड्थ वाया जाते आणि प्रणालीची कार्यक्षमता कमी होते.

Figure 4.10 मध्ये असे दाखवले आहे की, एका इनपुट लाइनकडे डेटा नसल्याने त्याचा स्लॉट रिकामा आहे. इतर एका इनपुट लाइनमध्ये, काही स्लॉट्स सतत नाहीत (Discontinuous Data), ज्यामुळे ट्रान्समिशन अनियमित होते.

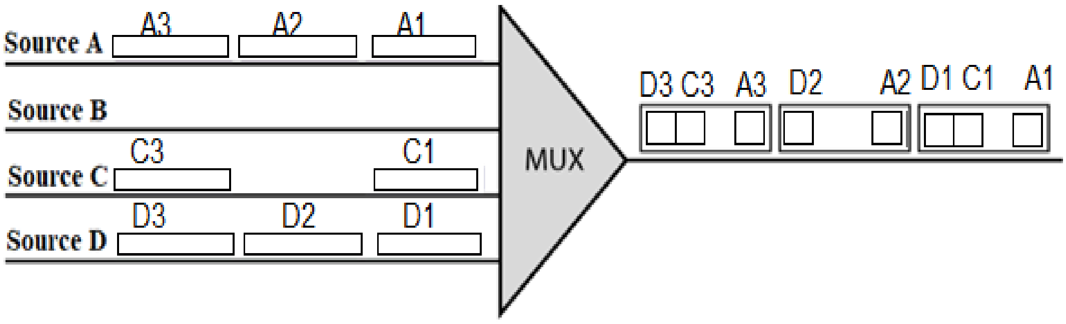


Figure 4.10:- Empty Slots

e.TDM मध्ये समक्रमण (Synchronization) का आवश्यक आहे?

TDM ची अंमलबजावणी FDM पेक्षा जास्त क्लिष्ट आहे, कारण मल्टीप्लेक्झर आणि डीमल्टीप्लेक्झर समक्रमित (Synchronized) असणे आवश्यक आहे. जर हे समक्रमण बिघडले, तर एका चॅनेलमधील बिट चुकीच्या चॅनेलमध्ये पोहोचू शकतो, ज्यामुळे डेटा गोंधळात जाऊ शकतो. यापासून बचाव करण्यासाठी, प्रत्येक फ्रेमच्या सुरुवातीला समक्रमण बिट्स (Synchronization Bits) जोडल्या जातात.

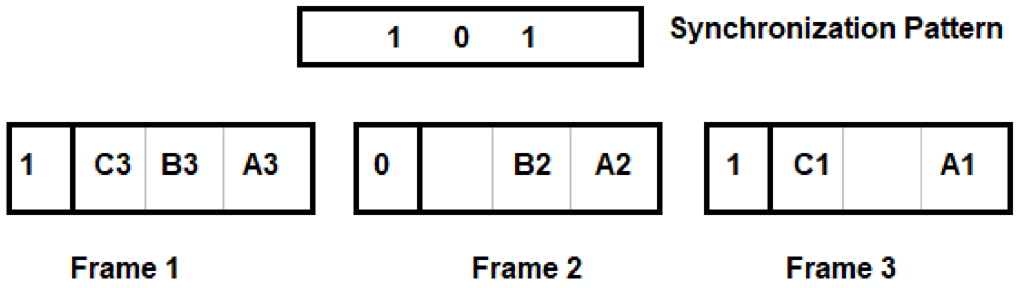


Figure 4.11:- फ्रेमिंग बिट्स

f. असिंक्रोनस (Asynchronous) TDM

असिंक्रोनस TDM ला "Statistical TDM" असेही म्हणतात. या पद्धतीमध्ये टाइम स्लॉट्स पूर्वनिर्धारित नसतात, तर ते डायनॅमिकली (Dynamic) वाटप केले जातात. फक्त डेटा असलेल्या स्ट्रिमला (Data Stream) टाइम स्लॉट दिला जातो, त्यामुळे रिकामे स्लॉट्स वाया जात नाहीत. ही पद्धत अधिक लवचिक आणि कार्यक्षम (Efficient) असते.

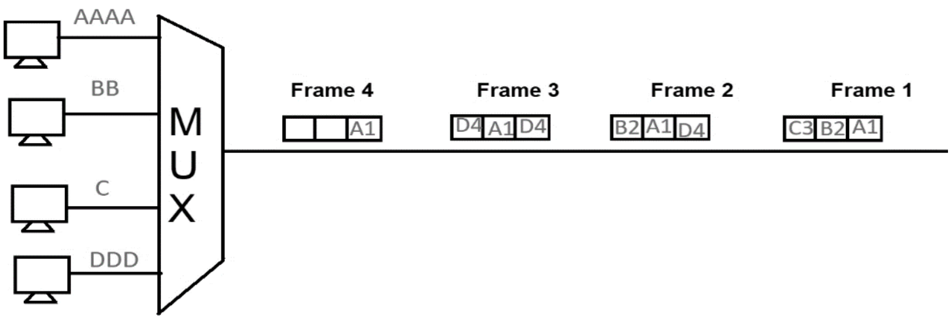


Figure 4.12:- असिंक्रोनस TDM

g. TDM (Time Division Multiplexing) चे फायदे, तोटे आणि उपयोग

फायदे (Advantages):

a. FDM पेक्षा अधिक लवचिक (Flexible) प्रणाली.

b. इंटरमॉड्युलेशन डिस्टॉर्शन (Intermodulation Distortion) होत नाही.

c. क्रॉस टॉकची (Crosstalk) समस्या गंभीर नसते.
d. प्रत्येक चॅनेलसाठी संपूर्ण उपलब्ध बँडविड्थचा उपयोग करता येतो.

तोटे (Disadvantages):

a. TDM प्रणाली राबविणे तुलनेने अधिक जटिल (Complex) आहे.
b. Multiplexer आणि Demultiplexer चा योग्य समक्रमण (Synchronization) आवश्यक असतो.

उपयोग (Applications):

a. ISDN (Integrated Services Digital Network) टेलिफोन लाईन्समध्ये.
b. Wireline टेलिफोन सिस्टममध्ये.
c. काही विशिष्ट टेलिफोन प्रणालींमध्ये.
d. PSTN (Public Switched Telephone Network) मध्ये मोठ्या प्रमाणावर वापर.

4.5:- वेव्हलेंथ डिव्हिजन मल्टिप्लेक्सिंग (WDM)

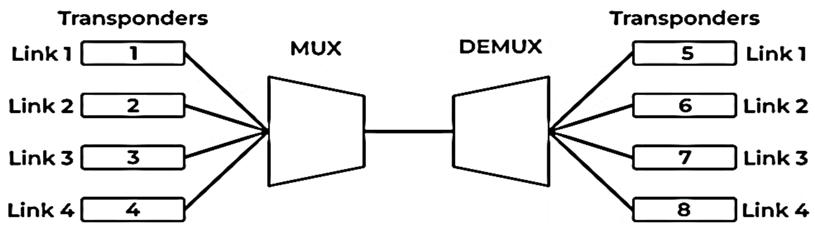


Figure 4.13:- WDM सिस्टीम

A. परिभाषा (Definition)

WDM ही ॲनालॉग मल्टिप्लेक्सिंग तंत्रज्ञान आहे, जे ऑप्टिकल सिग्नल्स एकत्र करण्यासाठी वापरली जाते. यामध्ये वेगवेगळ्या स्रोतांकडून मिळणाऱ्या अत्यंत अरुंद प्रकाश पट्ट्या (Narrow Bands of Light) एकत्र करून विस्तृत प्रकाश पट्टी तयार केली जाते. रिसीव्हरकडे डिमल्टिप्लेक्सर (Demultiplexer) च्या मदतीने हे सिग्नल वेगळे केले जातात.

B. WDM चे वैशिष्ट्ये:

● हे फायबर ऑप्टिक केबलच्या उच्च डेटा गती क्षमतेचा (High Data Rate Capacity) उपयोग करण्यासाठी तयार केले गेले आहे.

● संकल्पनात्मकदृष्ट्या, WDM हे FDM (Frequency Division Multiplexing) प्रमाणेच आहे, फक्त फायबर ऑप्टिक केबलद्वारे ऑप्टिकल सिग्नल्स प्रसारित केले जातात.

Figure 4.13 मध्ये मल्टिप्लेक्सर आणि डिमल्टिप्लेक्सरचा संकल्पनात्मक दृष्टीकोन दाखवला आहे.

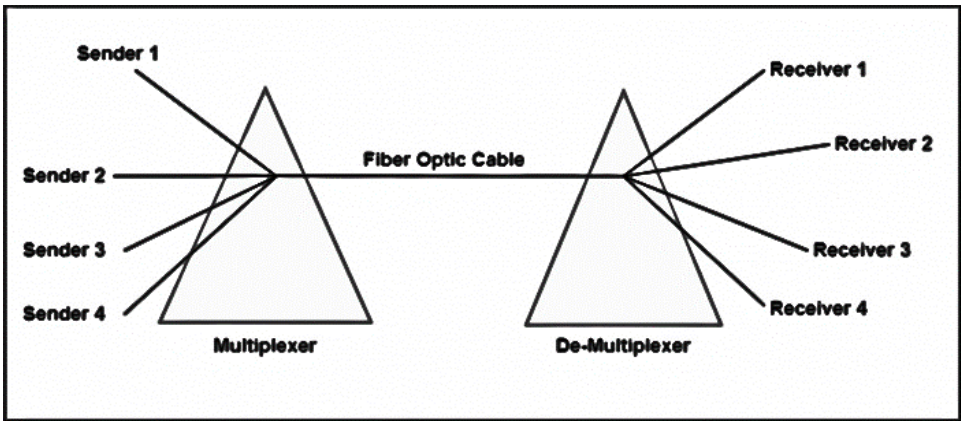


Figure.4.14:- WDM प्रिझम

WDM फक्त फायबर ऑप्टिक चॅनेलमध्येच वापरले जाते.या तंत्रज्ञानात, अनेक स्रोतांकडून आलेल्या प्रकाश तरंगलहरी (Light Waves) प्रिझमच्या (Prism) मदतीने एकत्र करून संमिश्र प्रकाश सिग्नल तयार केला जातो आणि तो प्रसारण माध्यमातून पाठवला जातो.

रिसीव्हर साईडला, हायब्रिड प्रकाश वेगवेगळ्या तरंगलहरींमध्ये विभागला जातो. नंतर, हे स्वतंत्र सिग्नल त्याच्या योग्य रिसीव्हरकडे पोहोचवले जातात. ही प्रक्रिया Figure 4.14 मध्ये स्पष्ट केली आहे.

WDM आणि Frequency-Division Multiplexing (FDM) या दोन्ही तंत्रज्ञानांच्या संकल्पना सारख्याच आहेत. फरक इतकाच आहे की FDM मध्ये फ्रिक्वेन्सी बँड्स वापरले जातात, तर WDM मध्ये ऑप्टिकल तरंगलहरी वापरल्या जातात.

WDM चा वापर प्रामुख्याने SONET (Synchronous Optical Network) मध्ये केला जातो, जिथे विविध फायबर ऑप्टिक लाईन्स मल्टिप्लेक्स आणि डिमल्टिप्लेक्स केल्या जातात.

DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) ही WDM ची अधिक प्रगत आवृत्ती आहे. DWDM तंत्रज्ञानामध्ये, तरंगलहरी एकमेकांच्या अधिक जवळ आणून, एका चॅनेलमध्ये मोठ्या प्रमाणात माहिती पाठवली जाऊ शकते. त्यामुळे मोठ्या संगणकीय प्रणालींमध्ये (High-Performance Computing) हे तंत्रज्ञान खूप उपयुक्त ठरते.

C. WDM (Wavelength Division Multiplexing) चे फायदे, तोटे आणि उपयोग

फायदे (Advantages):

a. कमी बँडविड्थमध्ये अधिक चॅनेल समाविष्ट करता येतात.
b. वेळेच्या सामायिकरणाची (Time Sharing) आवश्यकता नाही.
c. डेटा ट्रान्समिशन स्पीड जास्त असतो.
d. उच्च गती.

तोटे (Disadvantages):

a. फक्त फायबर ऑप्टिक केबलद्वारेच शक्य, जी महागडी आहे.
b. मर्यादित वेव लेंग्थ (Wavelengths)
c. अलायनमेंट (Alignment) आणि ट्युनिंग (Tuning) कठीण असते.

उपयोग(Applications):

a. WDM, SONET मध्ये वापरले जाते, जिथे SONET हे फायबर ऑप्टिक केबलसाठी उच्च गतीचे नेटवर्क आहे.
b. Wavelength Multiplexers मध्ये वापरले जाते.
c. WDM Filters मध्ये उपयोग केला जातो.
d. Add/Drop Multiplexers साठी महत्त्वाचे आहे.

4.6. कोड डिव्हिजन मल्टिप्लेक्सिंग (CODE DIVISION MULTIPLEXING-CDM)

A. परिभाषा (Definition):

कोड डिव्हिजन मल्टिप्लेक्सिंग (CDM) ही एक अशी प्रणाली आहे कि,ज्यामध्ये स्वायत्त स्रोतांकडून (independent sources) येणारे सिग्नल एकाच वेळी, त्याच फ्रिक्वेन्सी बँडमध्ये प्रसारित करता येतात.

याचा अर्थ असा की संपूर्ण बँडविड्थ ही सर्व सिग्नलसाठी सतत उपलब्ध असते. ओर्थोगोनल (orthogonal) कोड्स वापरून प्रत्येक सिग्नलला मोठ्या, सामान्य फ्रिक्वेन्सी बँडवर प्रसारित करून साध्य केले जाते.

B. ब्लॉक डायग्राम (Block Diagram):

रिसीव्हरकडे (Receiver) योग्य ऑर्थोगोनल कोड (Orthogonal Code) पुन्हा वापरला जातो, ज्यामुळे विशिष्ट वापरकर्त्यासाठी (User) निर्धारित सिग्नल पुनर्प्राप्त (Recover) करता येतो.

CDM तंत्रज्ञानाचा सर्वात महत्त्वाचा सिद्धांत म्हणजे ते स्प्रेड स्पेक्ट्रम तंत्राचा (Spread Spectrum Technique) वापर करतात .Figure 4.15 मध्ये CDM प्रणालीची ब्लॉक डायग्राम दाखवली आहे.

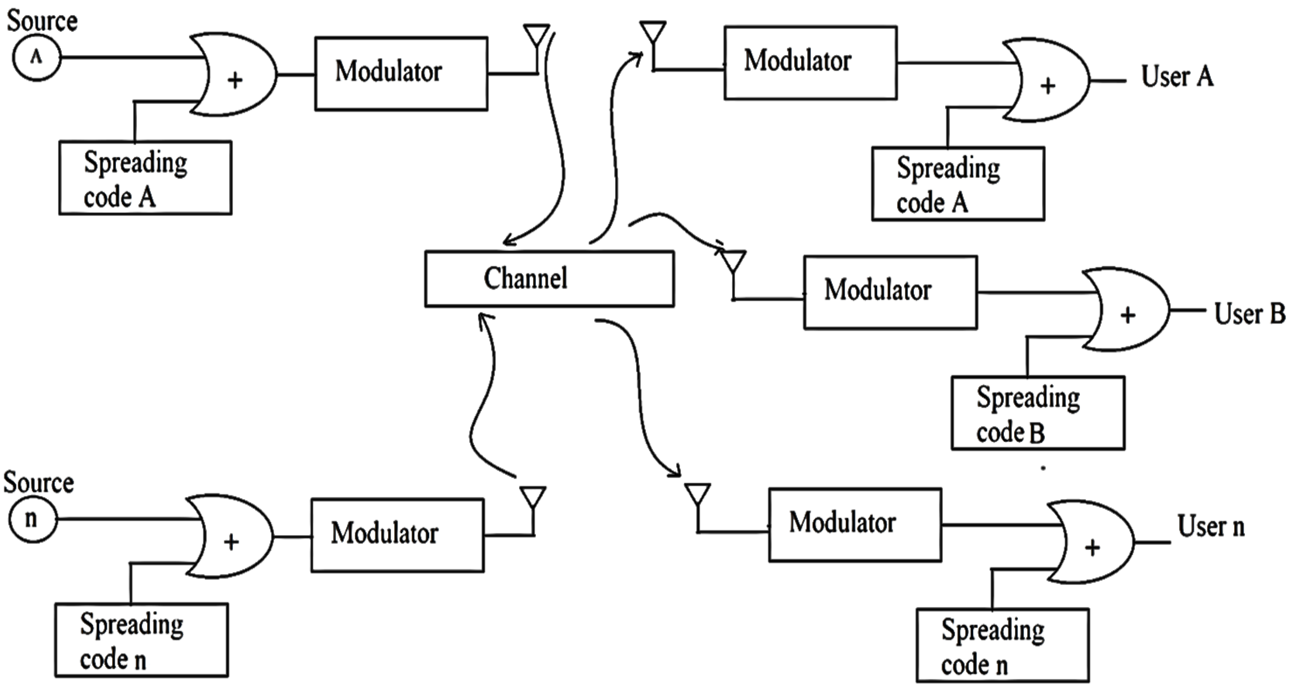


Figure. 4.15 कोड डिव्हिजन मल्टिप्लेक्सिंग

C. कार्यपद्धत (Operation):

Figure 4.15 मध्ये N संख्या असलेले स्रोत (Sources) किंवा वापरकर्ते (Users) आहेत, जे सिग्नल तयार करतात आणि त्यांना N वापरकर्त्यांपर्यंत पोहोचवायचे असतात. कम्युनिकेशन (Communication) फक्त संबंधित वापरकर्त्यांच्या जोड्यांमध्ये (intended pair) च होणे आवश्यक आहे. कोणत्याही अनावश्यक वापरकर्त्याला (Unintended User) पाठवलेल्या माहितीचा अक्सेस दिला जात नाही .

ट्रान्समीटर (Sending) बाजूस प्रत्येक वापरकर्ता विशिष्ट स्प्रेडिंग कोड(Spreading Code) वापरतो आणि आपला स्वतःचा स्प्रेड स्पेक्ट्रम सिग्नल तयार करतो. हे सर्व N स्प्रेडिंग कोड ऑर्थोगोनल (Orthogonal Codes) असतात.

N-वापरकर्त्यांनी प्रसारित केलेले स्प्रेड स्पेक्ट्रम सिग्नल सामान्य कम्युनिकेशन माध्यमातून (Common Communication Medium) प्रवास करतात. हे मल्टिप्लेक्स्ड (Multiplexed) सिग्नल वाइडबँड (Wideband Signal) सिग्नल असतात आणि ज्याला स्प्रेडिंग कोड माहीत नाही त्याला ते केवळ नॉईस (Noise) सारखे वाटतात , ज्यामध्ये कोणतीही माहिती दिसून येत नाही.

रिसीव्हिंग (Receiving) बाजूस उदाहरणार्थ, वापरकर्ता "B" दुसरा ऑर्थोगोनल स्प्रेडिंग कोड (Spreading Code B) वापरतो आणि संपूर्ण (Multiplexed) सिग्नलवर लागू करतो. यामुळे Source B ने पाठवलेली माहिती पुनर्प्राप्त (Recover) केली जाते. त्याचप्रमाणे, वापरकर्ता A फक्त Source A द्वारे प्रसारित केलेली माहिती प्राप्त करतो, आणि हेच तत्त्व इतर वापरकर्त्यांसाठी लागू होते.

D. CDM (Code Division Multiplexing) चे फायदे, तोटे आणि उपयोग

फायदे (Advantages):

a. सिग्नलची गुणवत्ता चांगली राहते.
b. पाठवणारा आणि प्राप्त करणारा यांनाच स्प्रेडिंग कोड माहीत असल्याने हस्तक्षेप आणि टॅपिंगपासून संरक्षण होते.
c. हॅकर्सपासून अधिक सुरक्षित.
d. नवीन वापरकर्ते सहजपणे जोडता येतात आणि वापरकर्त्यांची कोणतीही मर्यादा नाही.
e. मोठ्या सिग्नल बँडविड्थमुळे मल्टीपाथ फेडिंग कमी होते.
f. विशिष्ट फ्रिक्वेन्सी स्पेक्ट्रमचा अधिक कार्यक्षम वापर करता येतो.
g. संसाधनांचे वाटप लवचिकतेने करता येते.
h. अत्यंत कार्यक्षम तंत्रज्ञान.

तोटे (Disadvantages):

a. वापरकर्त्यांची संख्या वाढल्यास सेवेच्या गुणवत्तेमध्ये घट होऊ शकते.
b. Near-Far problem चा त्रास होतो.
c. वेळेचे समक्रमण (Time Synchronization) आवश्यक असते.
d. CDM मध्ये, प्रत्येक वापरकर्त्याच्या डिजिटल डेटा गतीच्या तुलनेत प्रसारित बँडविड्थ मोठी असते.
e. डेटा ट्रान्समिशनचा वेग तुलनेने कमी असतो.
f. CDM प्रणाली जटिल असते.

उपयोग (Applications):

a. संकुचित बँड जॅमिंगसाठी विशेषतः Anti-jamming क्षमता.
b. Interference rejection म्हणजेच हस्तक्षेप टाळण्याची क्षमता.
c. Multiple access protection म्हणजे एकाधिक वापरकर्त्यांसाठी सुरक्षित प्रवेश.
d. Secure communication साठी उपयोग केला जातो.

4.7 TDM, FDM आणि CDM मधील फरक

टेबल 4.1 TDM, FDM आणि CDM मधील फरक

परिमाण Parameter	TDM (Time Division Multiplexing)	FDM (Frequency Division Multiplexing)	CDM (Code Division Multiplexing)
पूर्ण स्वरूप	टाइम डिव्हिजन मल्टिप्लेक्सिंग	फ्रिक्वेन्सी डिव्हिजन मल्टिप्लेक्सिंग	कोड डिव्हिजन मल्टिप्लेक्सिंग

मूलभूत संकल्पना	उपलब्ध सिग्नलसाठी वेळ विभाजित केला जातो.	उपलब्ध सिग्नलसाठी फ्रिक्वेन्सी विभाजित केली जाते.	उपलब्ध सिग्नलसाठी वेळ आणि फ्रिक्वेन्सी दोन्ही विभाजित केल्या जातात.
सिग्नल प्रकार	डिजिटल आणि ऍनालॉग दोन्ही प्रकारच्या सिग्नलसाठी कार्य करते.	फक्त ऍनालॉग सिग्नलसाठी कार्य करते.	डिजिटल आणि ॲनालॉग दोन्ही प्रकारच्या सिग्नलसाठी कार्य करते.
सर्किटरी	साधी सर्किटरी	तुलनेने अधिक जटिल	अत्यंत जटिल
क्रॉसटॉक समस्या	नाही	होय	सुरक्षित संप्रेषण
कोड वर्ड	आवश्यक नाही	आवश्यक नाही	आवश्यक

4.8 मल्टीपल ऍक्सेस टेकनिक (Multiple Access Technique)

कधी कधी उपग्रहाची सेवा पृथ्वीवरील विशिष्ट स्थानावर उपलब्ध असते आणि कधी कधी ती उपलब्ध नसते. याचा अर्थ असा की, उपग्रहाचे पृथ्वीवरील वेगवेगळ्या ठिकाणी वेगवेगळे सर्विस स्टेशन्स असू शकतात. ही सर्विस स्टेशन्स उपग्रहासाठी वाहक सिग्नल (Carrier Signal) पाठवतात.

या परिस्थितीत, वेगवेगळ्या सर्विस स्टेशन्स मधील हस्तक्षेप टाळण्यासाठी आणि उपग्रहाला एकाच वेळी अनेक स्थानांवरून सिग्नल पाठवण्यासाठी किंवा प्राप्त करण्यासाठी मल्टीपल अक्सेस टेकनिक (Multiple Access Technique) वापरली जाते.

निम्नलिखित तीन प्रकारच्या मल्टीपल अक्सेस टेकनिक्स (Multiple Access Techniques) वापरल्या जातात:

i. फ्रिक्वेन्सी डिव्हिजन मल्टिपल ऍक्सेस टेकनिक (FDMA)
ii. टाइम डिव्हिजन मल्टिपल ऍक्सेस टेकनिक (TDMA)
iii. कोड डिव्हिजन मल्टिपल ऍक्सेस टेकनिक (CDMA)
iv. स्पेस डिव्हिजन मल्टिपल ऍक्सेस टेकनिक (SDMA)

4.9 फ्रिक्वेन्सी डिव्हिजन मल्टिपल ऍक्सेस टेकनिक (FREQUENCY DIVISION MULTIPLE ACCESS TECHNIQUE-FDMA)

FDMA मध्ये सगळे युझर्स दिलेल्या फ्रीक्वेन्सी स्लोट मधून एकाच वेळी वेगवेगळ्या फ्रीक्वेन्सी ला सिग्नल प्रसारित (Transmit) करतात.

FDMA अनालॉग आणि डिजिटल दोन्ही सिग्नल साठी वापरले जाऊ शकते, परंतु ते प्रामुख्याने अनालॉग सिग्नलसाठी वापरले जाते.

TDMA आणि CDMA च्या तुलनेत, FDMA साठी उच्च-गुणवत्तेचे रेडिओ हार्डवेअर फिल्टर्स आवश्यक असतात. TDMA मध्ये असलेल्या टायमिंग समस्यांचा FDMA वर परिणाम होत नाही. संपूर्ण संवादाच्या कालावधीसाठी एक विशिष्ट वारंवारता उपलब्ध असल्याने, सतत डेटा प्रवाह (Stream Data) सहजगत्या FDMA सह वापरला जाऊ शकतो, जो पॅकेट स्वरूपात नसू शकतो.

फ्रिकवेन्सी फिल्टरिंगमुळे (Frequency Filtering) FDMA ला Near-Far समस्येचा प्रभाव होत नाही, जो विशेषतः CDMA साठी महत्त्वाचा असतो. प्रत्येक वापरकर्ता (Users) वेगवेगळ्या वारंवारतेवर फ्रिक्वेन्सीवर सिग्नल ट्रान्समिट आणि रिसीव्ह करतो, कारण प्रत्येक वापरकर्त्यासाठी एक अद्वितीय वारंवारता स्लॉट (Unique Frequency Slot) असतो.

A. FDMA आणि FDD (Frequency Division Duplexing) यामध्ये फरक:

- **FDMA:** FDMA एकाच वेळी अनेक वापरकर्त्यांना ट्रान्समिशन सिस्टममध्ये प्रवेश करण्याची परवानगी देतो
- **FDD:** रेडीओ वाहिनी (Channel)अपलिंक आणि डाउनलिंक दरम्यान विभागली जाते उदाहरणार्थ, मोबाइल-फोन आणि मोबाइल फोन बेस स्टेशन दरम्यान पुढे-मागे जाणारा ट्रॅफिक प्रवाह

B. FDMA आणि FDM मधील फरक

FDM आणि FDMA वेगवेगळे तंत्र आहेत. FDM हे एक असे भौतिक स्तर (Physical Layer) तंत्र आहे, जे कमी-बँडविड्थ असलेल्या अनेक वाहिन्या एकत्र करून उच्च-बँडविड्थ वाहिनीद्वारे प्रसारित करतो. उदा. कार रेडिओमध्ये विविध स्टेशनचे प्रसारण.FDMA हे असे डेटा लिंक स्तर (Data Link Layer) मध्ये वापरले जाणारे प्रवेश तंत्र (Access Method) आहे, जे अनेक वापरकर्त्यांना विशिष्ट वारंवारता स्लॉट प्रदान करते.

थोडक्यात:
FDM: एकाच वाहिनीमध्ये अनेक सिग्नल एकत्र करून पाठवण्याची पद्धत.
FDMA: प्रत्येक वापरकर्त्यासाठी वेगळी वारंवारता स्लॉट राखून ठेवणारी पद्धत.

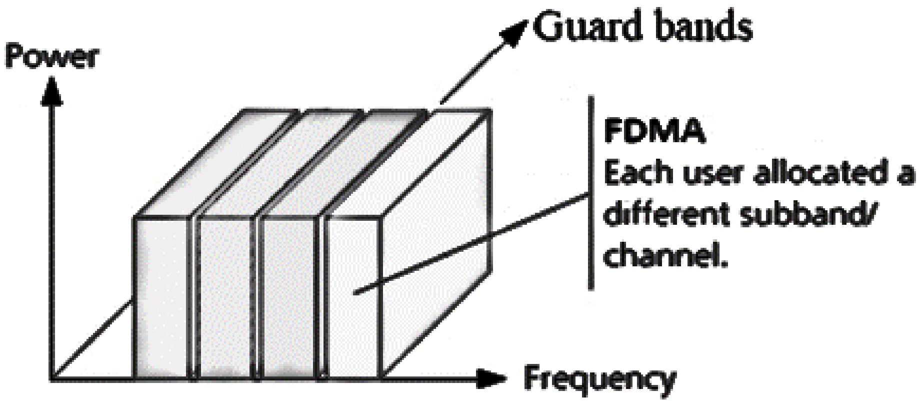


Figure 4.16 FDMA सिस्टम

C. FDMA चे फायदे, तोटे आणि उपयोग:

फायदे:

a. FDMA सोपे हार्डवेअर वापरून डीझाईन केले जाते आणि ते सेट करणे सोपे आहे.
b. ते वापरकर्त्यांच्या (users) लहान गटांना कार्यक्षमतेने हाताळते.
c. ही प्रणाली जास्त क्लिष्ट नाही.
d. सर्व स्टेशन त्यांच्या वेळेची वाट न पाहता सतत प्रसारित करू शकतात.
e. ते चिन्हांमधील हस्तक्षेप कमी करते, तसेच कम्युनिकेशनची गुणवत्ता सुधारते.

तोटे:

a. FDMA फक्त ऍनालॉग सिग्नलसह कार्य करते.
b. त्यात लवचिकता नसते, म्हणून विद्यमान रहदारीचे नमुने हळूहळू बदलले पाहिजेत.
c. ट्रान्सपॉन्डर्सना व्यापक बँडविड्थची आवश्यकता असते.
d. ते उच्च रहदारी क्षमतेला समर्थन देत नाही.

उपयोग:

a. मोबाइल कम्युनिकेशन.
b. रेडिओ कम्युनिकेशन

4.10 टाइम डिव्हिजन मल्टिपल ऍक्सेस टेकनिक (TIME DIVISION MULTIPLE ACCESS TECHNIQUE -TDMA)

TDMA (टाइम डिव्हिजन मल्टिपल ऍक्सेस) एका कम्युनिकेशन चॅनेलला अनेक टाइम स्लॉटमध्ये विभागून काम करते. प्रत्येक वापरकर्ता किंवा डिव्हाइसला एक विशिष्ट टाइम स्लॉट दिला जातो ज्यामध्ये ते डेटा ट्रान्समिट किंवा प्राप्त करू शकतात, यामुळे वापरकर्त्यांमध्ये कोणतीही ओव्हरलॅप किंवा हस्तक्षेप होत नाही.

TDMA मध्ये संपूर्ण बँडविड्थ टाईम स्लॉट्समध्ये विभागली जाते. प्रत्येक टाइम स्लॉट हा चॅनेल उपलब्ध असलेल्या कालावधीचा एक छोटासा भाग असतो. प्रत्येक वापरकर्त्यास विशिष्ट टाईम स्लॉट दिला जातो, ज्यामुळे एकाच वेळी अनेक वापरकर्ते एकाच वाहिनीत डेटा प्रसारित करू शकतात, परंतु ते स्वतंत्र टाईम स्लॉटमध्ये असल्याने हस्तक्षेप होत नाही.

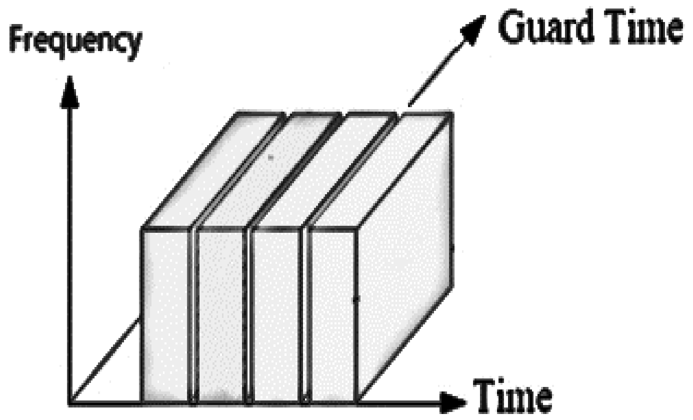


Figure 4.17 TDMA सिस्टम

प्रत्येक वापरकर्ता किंवा उपकरणाला एक विशिष्ट वेळ स्लॉट नियुक्त केला जातो. जेव्हा त्यांची वेळ येते तेव्हा ते त्यांच्या नियुक्त वेळेच्या स्लॉटमध्ये डेटा ट्रान्समिट किंवा प्राप्त करतात.

सर्व उपकरणे किंवा वापरकर्ते समक्रमित (synchronized) असणे आवश्यक असते, जेणेकरून प्रत्येकजण आपापल्या दिलेल्या वेळ स्लॉटमध्येच डेटा प्रसारित करू शकेल. ही समक्रमण प्रक्रिया बेस स्टेशन किंवा मध्यवर्ती नियंत्रकाद्वारे पाठवलेल्या टाइमिंग सिग्नलच्या मदतीने केली जाते.

प्रत्येक वापरकर्ता आपल्या नियोजित वेळ स्लॉटची वाट पाहतो आणि योग्य वेळी डेटा प्रसारित(Transmit) किंवा रिसीव्ह (Receive)करतो. जर एकापेक्षा अधिक वापरकर्ते असतील, तर हा प्रक्रिया राउंड-रॉबिन पद्धतीने

(Round-Robin manner) केली जाते, ज्यामध्ये प्रत्येक वापरकर्त्यास त्यांच्या वेळ स्लॉटमध्ये डेटा प्रसारित करण्याची संधी मिळते.

फक्त एकाच वेळी एकच वापरकर्ता प्रसारण करतो, त्यामुळे TDMA हस्तक्षेप (interference) टाळण्यास मदत करतो .

यामुळे अनेक वापरकर्ते एकाच फ्रिक्वेन्सी बँड शेअर करू शकतात, ज्यामुळे उपलब्ध स्पेक्ट्रमचा अधिकतम उपयोग करता येतो.

A.TDMA चा प्रत्यक्ष वापर – : उदाहरण

कल्पना करा की 4 वापरकर्ते एकाच फ्रिक्वेन्सी चॅनेल सामायिक करत आहेत. हा चॅनेल 4 टाईम स्लॉट्समध्ये विभागलेला आहे आणि प्रत्येक वापरकर्त्यास एक विशिष्ट स्लॉट दिला जातो.

- वापरकर्ता 1 → वेळ स्लॉट 1 मध्ये प्रसारण करतो.
- वापरकर्ता 2 → वेळ स्लॉट 2 मध्ये प्रसारण करतो.
- वापरकर्ता 3 → वेळ स्लॉट 3 मध्ये प्रसारण करतो.
- वापरकर्ता 4 → वेळ स्लॉट 4 मध्ये प्रसारण करतो.

सर्व वापरकर्त्यांनी डेटा प्रसारित केल्यानंतर, हा चक्र पुन्हा सुरू होते, आणि प्रत्येक वापरकर्त्यास त्यांचा ठरलेला वेळ स्लॉट पुन्हा मिळतो.

TDMA फायदे, तोटे आणि उपयोग

फायदे(Advantages):

- परस्पर हस्तक्षेप होत नाही – प्रत्येक वापरकर्ता स्वतःच्या वेळ स्लॉटमध्येच डेटा प्रसारित करतो, त्यामुळे हस्तक्षेप होत नाही.
- अपलिंक पॉवर कंट्रोलची आवश्यकता नाही – TDMA मध्ये प्रत्येक वापरकर्त्यास एक ठराविक वेळ स्लॉट दिला जातो, त्यामुळे सिग्नल पॉवर समायोजनाची (power control) गरज लागत नाही.
- सॅटलाईट ट्रान्सपॉंडरची जास्तीत जास्त कार्यक्षमता – उपलब्ध संसाधनांचा पूर्ण क्षमतेने वापर करता येतो, त्यामुळे TDMA हा अत्यंत कार्यक्षम (efficient) प्रणाली आहे.

तोटे (Disadvantages):

- नेटवर्क सेटअपसाठी वेळ लागतो – प्रत्येक वापरकर्त्याला वेळ स्लॉट देण्यासाठी आणि समक्रमणासाठी वेळ लागतो.
- डिजिटल स्वरूपामुळे ऍनालॉग प्रणालींसोबत खर्चिक हस्तक्षेप – TDMA हा डिजिटल प्रणालीवर आधारित असल्यामुळे ऍनालॉग प्रणालींसोबत सुसंगतता राखणे महाग आणि जटिल असते.

- वापरकर्त्याला सतत डेटा पाठवता येत नाही – प्रत्येक वापरकर्ता केवळ दिलेल्या वेळ स्लॉटमध्येच डेटा पाठवू शकतो, त्यामुळे सतत (continuous) डेटा ट्रान्समिशन शक्य नाही.

उपयोग (Applications):

- मोबाईल रेडिओ कम्युनिकेशनमध्ये – GSM (Global System for Mobile Communications) सारख्या मोबाईल नेटवर्क्समध्ये TDMA वापरला जातो.
- संगणक नेटवर्क्समध्ये – डेटा ट्रान्सफर आणि नेटवर्क कम्युनिकेशनमध्ये TDMA चा उपयोग केला जातो.
- वाहतूक व्यवस्थापनात (Traffic Applications).

4.11 कोड डिव्हिजन मल्टिपल ॲक्सेस टेकनिक (CODE DIVISION MULTIPLE ACCESS TECHNIQUE-CDMA)

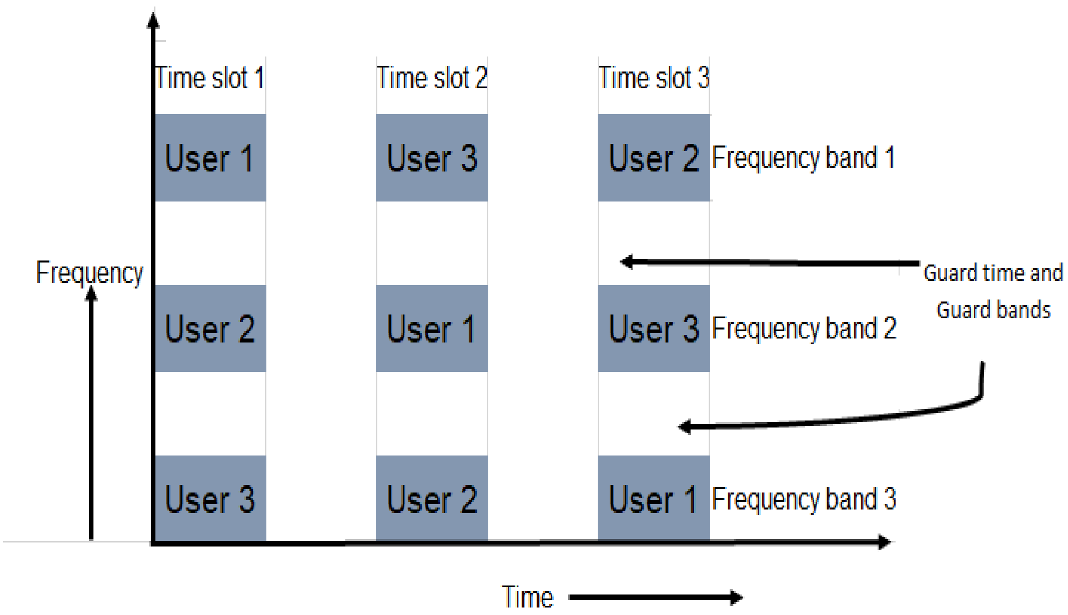


Figure 4.19 CDMA सिस्टम

CDMA, किंवा कोड डिव्हिजन मल्टिपल ॲक्सेस, ही एक चॅनेल ॲक्सेस पद्धत आहे जी कम्युनिकेशन सिस्टममध्ये वापरली जाते. हे प्रामुख्याने सेल्युलर नेटवर्कमध्ये अनेक वापरकर्त्यांना समान फ्रिक्वेन्सी बॅंड शेअर करण्याची परवानगी देण्यासाठी वापरले जाते

CDMA मध्ये प्रत्येक कॉलला एक विशिष्ट कोड (किंवा की) दिली जाते. हा कोड एकाच फ्रिक्वेन्सीवर प्रसारित होणाऱ्या अनेक वापरकर्त्यांमधील सिग्नल वेगळे करण्यासाठी वापरला जातो.

डेटा (आवाज, मजकूर इत्यादी) एक विशिष्ट कोडने गुणाकार करून विस्तृत फ्रिक्वेन्सी श्रेणीत पसरवला जातो. या प्रक्रियेला स्प्रेड स्पेक्ट्रम म्हणतात. ही प्रक्रिया असे सुनिश्चित करते की सिग्नल सामान्यपेक्षा अधिक विस्तृत बॅंडविड्थ व्यापतो. यामुळे सिग्नल सुरक्षा, हस्तक्षेप प्रतिरोध आणि डेटा कम्युनिकेशन कार्यक्षमता वाढते.

एकाच वेळी अनेक सिग्नल समान फ्रिक्वेन्सीवर प्रसारित केले जाऊ शकतात. प्राप्तकर्ता (रिसीव्हर) त्या प्रसारणासाठी नियुक्त केलेला विशिष्ट कोड ओळखत असल्यामुळे, तो इच्छित सिग्नल इतर सिग्नल्सपासून वेगळा करून मिळवू शकतो. ही प्रक्रिया गर्दीने भरलेल्या खोलीतील संभाषणासारखी आहे, जिथे प्रत्येक संभाषण वेगळी "भाषा" (अद्वितीय कोड) वापरत आहे. त्यामुळे रिसीव्हरला इच्छित संभाषण ऐकणे सोपे होते

TDMA (Time Division Multiple Access) चे फायदे, तोटे आणि उपयोग

फायदे (Advantages):

a. सिंक्रोनायझेशनची (समक्रमण) गरज नसते.
b. अधिक वापरकर्ते समान बँडविड्थ शेअर करू शकतात.
c. बँडविड्थ आणि वेळेचे वाटप शक्य होते.
d. प्रत्येक वापरकर्त्यास विशिष्ट कोड वर्ड दिल्यामुळे हस्तक्षेप (क्रॉसटॉक) कमी होतो.

तोटे (Disadvantages):

a. प्रणाली अधिक गुंतागुंतीची असते.
b. गार्ड बँड आणि गार्ड टाइम आवश्यक असतो.

उपयोग (Applications):

a. लष्करी आणि काही व्यावसायिक उपयोग .
b. मोबाईल कम्युनिकेशन (Mobile Communication).
c. रडार आणि नेव्हिगेशन प्रणाली.

4.11. स्पेस डिव्हिजन मल्टिपल ॲक्सेस टेकनिक (SPACE DIVISION MULTIPLE ACCESS TECHNIQUE -SDMA)

SDMA ही एक तंत्रज्ञान पद्धती आहे, जी वायरलेस संप्रेषणामध्ये वापरली जाते. यात एका फ्रिक्वेन्सी चॅनेलवर अनेक वापरकर्त्यांना एकाच वेळी डेटा प्रसारित आणि प्राप्त करण्याची सुविधा मिळते.

SDMA मध्ये कव्हरेज क्षेत्र लहान विभागांमध्ये विभाजित केले जाते. विविध वापरकर्ते भौगोलिकदृष्ट्या विभक्त असल्यामुळे, ते समान फ्रिक्वेन्सीचा वापर करूनही एकमेकांच्या संप्रेषणात हस्तक्षेप करत नाहीत. हे तंत्रज्ञान स्पेसियल सेपरेशन (भौगोलिक विभाजन) वापरून कार्य करते.

SDMA (Space Division Multiple Access) च्या मुख्य संकल्पनेनुसार, अनेक वापरकर्ते समान फ्रिक्वेन्सी चॅनेल वापरू शकतात. मात्र, ते भौगोलिकदृष्ट्या वेगवेगळ्या ठिकाणी असल्यामुळे त्यांच्या सिग्नल्समध्ये हस्तक्षेप होत नाही.

SDMA ची कार्यपद्धती

a. वापरकर्त्यांना त्यांचे भौगोलिक स्थान लक्षात घेऊन संसाधने दिली जातात.

b. प्रत्येक वापरकर्त्याचा डेटा स्वतंत्र दिशात्मक अँटेना किंवा बीमफॉर्मिंग तंत्रज्ञानाच्या मदतीने पाठवला आणि प्राप्त केला जातो.

c. यामुळे, समान फ्रिक्वेन्सीचा पुनर्वापर करूनही संप्रेषण कार्यक्षम आणि हस्तक्षेपमुक्त होते.

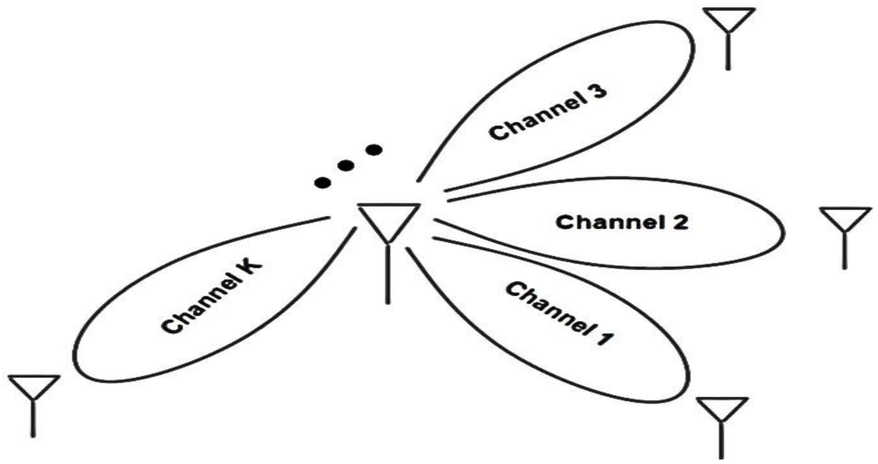


Figure 4.20:- SDMA सिस्टम

बीमफॉर्मिंग कसे कार्य करते?

a. अँटेना स्पॅशियल डायव्हर्सिटी (Spatial Diversity) वापरून वेगवेगळ्या दिशांना स्वतंत्र सिग्नल बीम तयार करतात.

b. प्रत्येक बीम भिन्न वापरकर्त्यांवर केंद्रित केला जातो, ज्यामुळे एकाच फ्रिक्वेन्सी बँडचा प्रभावी वापर करता येतो.

सेलुलर नेटवर्क्समध्ये SDMA चा उपयोग

- बेस स्टेशनच्या कव्हरेज क्षेत्राला वेगवेगळ्या सेक्टर्समध्ये विभागले जाते.
- प्रत्येक सेक्टरमध्ये भिन्न वापरकर्त्यांना सेवा देता येते, जरी ते समान फ्रिक्वेन्सी बँड वापरत असले तरीही.
- महत्त्वाचे म्हणजे, हे केवळ ते भौगोलिकदृष्ट्या वेगळ्या ठिकाणी असल्यास शक्य होते.

SDMA (Space Division Multiple Access) चा उपयोग केल्याने प्रणालीला उपलब्ध स्पेक्ट्रम अधिक कार्यक्षमतेने वापरता येतो.

SDMA हे तंत्रज्ञान विशेषतः गर्दीच्या ठिकाणी फायदेशीर ठरते, जसे की शहरे, स्टेडियम्स आणि व्यस्त सार्वजनिक क्षेत्र. अधिक वापरकर्त्यांना सेवा देण्यासाठी नवीन फ्रिक्वेन्सी बँड आवश्यक नसतात.त्याच फ्रिक्वेन्सी बँडचा पुनर्वापर करून अनेक वापरकर्त्यांना एकाच वेळी सेवा दिली जाऊ शकते

SDMA प्रणाली का प्रभावी आहे?

a. स्पेक्ट्रमची क्षमता वाढवते.

b. नेटवर्कमध्ये अधिक वापरकर्त्यांना सामावून घेते.

c. हस्तक्षेप (Interference) कमी करून चांगली सेवा प्रदान करते.

d. मोबाईल नेटवर्क्स, सॅटेलाइट कम्युनिकेशन आणि वाय-फाय सिस्टीममध्ये याचा मोठ्या प्रमाणावर उपयोग केला जातो.

SDMA चे फायदे, तोटे आणि उपयोग

फायदे (Advantages):

a. ही प्रणाली अत्यंत साधी आणि दिशात्मक (Directional) आहे.

b. सिस्टमची क्षमता लक्षणीयरीत्या वाढवते.

तोटे (Disadvantages):

a. SDMA हे लवचिक नाही (Inflexible).

b. इंट्रासेल हँडऑफ्स टाळण्यासाठी नेटवर्क मॉनिटरिंग आवश्यक असते.

उपयोग (Applications):

a. सेक्टर अँटेना (Sector Antenna).

b. ॲडॅप्टिव्ह अँटेना (Adaptive Antennas).

c. स्विच्ड बीम अँटेना (Switched Beam Antennas).

4.12. FDMA, TDMA, CDMA आणि SDMA यांची तुलना

टेबल 4.2. FDMA, TDMA, CDMA आणि SDMA ची तुलना

पॅरामीटर	FDMA	TDMA	CDMA	SDMA
मुख्य कल्पना (Idea)	फ्रिक्वेन्सी बँडला उपबँडमध्ये विभागणे.	टाईम स्लॉट्समध्ये डेटा ट्रान्समिशन विभाजित करणे.	प्रत्येक वापरकर्त्यास वेगळा कोड देऊन स्पेक्ट्रम सामायिक करणे.	जागेला (स्पेस) आधारित विभागणी करून सेल्स किंवा सेक्टर्समध्ये डेटा पाठवणे.
टर्मिनल्स (Terminals)	प्रत्येक टर्मिनलला स्वतःची विशिष्ट फ्रिक्वेन्सी मिळते आणि ती सतत सक्रिय राहते.	सर्व टर्मिनल्स समान फ्रिक्वेन्सी शेअर करतात, पण अल्पकाळासाठी सक्रिय होतात.	सर्व टर्मिनल्स एकाच वेळी, एकाच ठिकाणी, आणि सतत सक्रिय राहू शकतात.	एका सेल किंवा सेक्टरमध्ये एकावेळी फक्त एक टर्मिनल सक्रिय राहते.

पॅरामीटर	FDMA	TDMA	CDMA	SDMA
सिग्नल विभाजन (Signal Separation)	फ्रिक्वेन्सी डोमेनमध्ये फिल्टरिंग वापरून विभाजन.	टाइम डोमेनमध्ये समक्रमण (synchronization) करून विभाजन.	कोड आणि विशेष रिसीव्हर्स चा वापर.	सेल स्ट्रक्चर आणि दिशात्मक अँटेना वापरून विभाजन.
ट्रान्समिशन स्कीम (Transmission Scheme)	सतत (Continuous)	खंडित (Discontinuous)	सतत (Continuous)	सतत (Continuous)
सेल क्षमता (Cell Capacity)	मर्यादित (Limited)	मर्यादित (Limited)	कोणतीही ठरलेली मर्यादा नाही, पण हस्तक्षेपामुळे मर्यादा येऊ शकते.	सेलच्या क्षेत्रफळावर अवलंबून (Depends on cell area)
स्पेक्ट्रम कार्यक्षमता (Spectrum Efficiency)	कमी कार्यक्षम	मध्यम कार्यक्षम	उच्च कार्यक्षम	अत्यंत उच्च कार्यक्षम
हस्तक्षेप (Interference)	शेजारील फ्रिक्वेन्सीमुळे हस्तक्षेप संभवतो.	वेळ स्लॉट्समधील अचूक समक्रमण आवश्यक.	कमी हस्तक्षेप, परंतु जास्त संगणनशक्ती आवश्यक.	कमी हस्तक्षेप, परंतु जटिल नेटवर्क व्यवस्थापन आवश्यक.
सिस्टम गुंतागुंत (System Complexity)	सोपी	मध्यम	जास्त	अत्यंत जटिल
मुख्य उपयोग (Main Applications)	AMPS (Analog Mobile Phone System), रेडिओ ब्रॉडकास्टिंग.	GSM (Global System for Mobile Communications).	3G, 4G, Wi-Fi, GPS.	स्मार्ट अँटेना, 5G, सॅटेलाइट कम्युनिकेशन.

सारांश (Summary):

a. मल्टिप्लेक्सिंग (Multiplexing) म्हणजे अनेक सिग्नल्स एका सिंगल स्ट्रीममध्ये एकत्र करणे (उदा. TDM, FDM, CDM, WDM) जेणेकरून बँडविड्थचा अधिक प्रभावी वापर होऊ शकेल.

b. मल्टिपल ॲक्सेस (Multiple Access) तंत्रज्ञानामुळे अनेक वापरकर्त्यांना समान संसाधने सामायिक करता येतात, आणि हस्तक्षेप (Interference) टाळता येतो. (उदा. TDMA, FDMA, CDMA, SDMA).

c. ही दोन्ही तंत्रे (Multiplexing आणि Multiple Access) संप्रेषण प्रणालींची कार्यक्षमता सुधारण्यास मदत करतात आणि मल्टी-यूजर किंवा मल्टी-डेटा स्ट्रीम असलेल्या सिस्टम्समध्ये संसाधनांचा योग्य वापर सुनिश्चित करतात.

स्वाध्याय (R/U/A स्तर प्रश्न):

a. Explain the primary function of multiplexing in digital communication. (डिजिटल कम्युनिकेशन मधील मल्टीप्लेक्सिंगचे प्राथमिक कार्य स्पष्ट करा.)

b. List the three main types of multiplexing techniques used in digital communication and briefly describe how each works.(डिजिटल कम्युनिकेशनमध्ये वापरल्या जाणाऱ्या तीन प्रमुख मल्टीप्लेक्सिंग तंत्रांची सूची द्या आणि प्रत्येक कसे कार्य करते याचे संक्षिप्त वर्णन करा.)

c. What is the key difference between FDM and TDM in terms of how they allocate bandwidth for multiple signals? (एकाधिक सिग्नलसाठी बॅण्ड विड्थ वाटप करण्याच्या पद्धतीच्या दृष्टीने FDM आणि TDM मधील मुख्य फरक काय आहे?)

d. How does a multiplexer device function in a digital communication system? (डिजिटल कम्युनिकेशनमध्ये मल्टीप्लेक्सर उपकरण कसे कार्य करते?)

e. Describe the concept of time slots in TDM and explain how they are assigned to different data streams.(TDM मधील टाइम स्लॉट संकल्पना वर्णन करा आणि ते वेगवेगळ्या डेटा प्रवाहांना कसे वाटप केले जातात याचे स्पष्टीकरण द्या.)

f. What are the potential drawbacks of using FDM (FDM वापरण्याचे संभाव्य तोटे कोणते आहेत?)

g. Which multiple access technique divides the available bandwidth into distinct frequency bands for different users? (कोणते मल्टीपल ऍक्सेस तंत्र उपलब्ध बॅण्ड विड्थ वेगवेगळ्या वापरकर्त्यांसाठी स्वतंत्र फ्रीक्वेंसी बॅण्डमध्ये विभाजित करते?)

h. In Time Division Multiple Access (TDMA), how do users share the channel?(टाइम डिव्हिजन मल्टीपल ऍक्सेस (TDMA) मध्ये वापरकर्ते चॅनेल कसे सामायिक करतात?)

i. What is the key principle behind Code Division Multiple Access (CDMA)?(कोड डिव्हिजन मल्टीपल ऍक्सेस (CDMA) मागील मूलभूत तत्त्व काय आहे?)

विद्यार्थ्यांशी संबंधित उपक्रम (Student Learning Activity):

a. FDM सर्किट तयार करा.

b. TDM या विषयावर अहवाल तयार करा.

c. प्रत्येक मल्टिप्लेक्सिंग आणि मल्टीपल ऍक्सेस तंत्रज्ञानासाठी चार्ट तयार करा, जसे की ब्लॉक डायग्राम, वेव्हफॉर्म इत्यादी.

संदर्भ पुस्तके (Reference Books):

Sr	Reference Book Titles	Author/s	Publisher
1	Digital Communications	Simon Haykin	John Wiley and Sons,ISBN-9788126508242
2	Digital Communications: Fundamentals and Applications	Bernard Sklar	Pearson 2021, ISBN-9780134588568
3	Modern Digital and Communication Systems	B. P. Lathi	Oxford university press,ISBN-9780198073802

युनिट 5- स्प्रेड स्पेक्ट्रम मॉड्यूलेशन
Unit 5- Spread Spectrum Modulation

विषय निष्पत्ती (Course Outcome):

CO5 - विविध स्प्रेड स्पेक्ट्रमतंत्रांच्या संकल्पनेचा स्पष्टीकरण करणे.

घटक निष्पत्ती: (Theory Learning Outcome):

TLO 5.1 दिलेल्या अनुप्रयोगासाठी स्प्रेड स्पेक्ट्रम (एसएस) मॉड्यूलेशनच्या पैलूचे स्पष्टीकरण करणे.

TLO 5.2 डेटा बिट्सच्या दिलेल्या लांबीसाठी पीएन अनुक्रम तयार करणे.

TLO 5.3 जॅमिंग मार्जिन, प्रोसेसिंग गेन आणि ईबी / नो गुणोत्तर स्पष्ट करणे.

TLO 5.4 दिलेल्या पॅरामीटरच्या आधारे वेगवान आणि धीम्या फ्रिक्वेन्सी होपिंगच्या कामगिरीची तुलना करणे.

5.1 स्प्रेड स्पेक्ट्रम मॉड्युलेशनचा परिचय:

5.1.1. स्प्रेड स्पेक्ट्रमची व्याख्या:

रेडिओ फ्रिक्वेन्सी कम्युनिकेशन सिस्टीम ज्यामध्ये बेसबँड सिग्नल बँडविड्थ जाणूनबुजून मोठ्या बँडविड्थवर जास्त फ्रिक्वेन्सी सिग्नल इंजेक्ट करून मोठ्या बँडविड्थवर पसरवले जाते, त्याला स्प्रेड स्पेक्ट्रम म्हणतात.

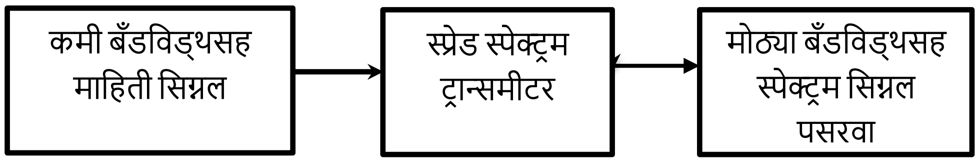


Figure no. ५.१ स्प्रेड स्पेक्ट्रम तंत्राचे तत्त्व

5.1.2. SS सिग्नल सामान्य सिग्नलपेक्षा कसा वेगळा आहे :

a. बँडविड्थ : SS सिग्नल पारंपारिक नॅरोबँड सिग्नलपेक्षा जास्त बँडविड्थ वापरतात.

b. सिग्नल पॉवर : SS सिग्नल मूळ सिग्नल प्रमाणेच सिग्नल पॉवर राखतात, परंतु ते मोठ्या बँडविड्थवर पसरवतात.

c. स्पेक्ट्रम : SS सिग्नल्सना स्पेक्ट्रममध्ये स्पष्ट नसते, ज्यामुळे त्यांना आवाजापासून वेगळे करणे कठीण होते.

d. हस्तक्षेप : SS सिग्नल बाह्य हस्तक्षेपाला अधिक प्रतिरोधक असतात कारण विस्तृत बँडविड्थ हस्तक्षेपाचा सापेक्ष प्रभाव कमी करते.

e. गोपनीयता : कोड आणि त्याची वेळ जाणून घेतल्याशिवाय SS सिग्नलचे डीमोड्युलेट करणे कठीण असते, जे गोपनीयतेची पातळी प्रदान करते.

5.1.3. एसएस मॉड्युलेशनचे फायदे :

a. अँटी-जॅमिंग : स्प्रेड स्पेक्ट्रम सिग्नल जाम करणे कठीण आहे कारण ते शोधणे आणि अडवणे कठीण आहे.
b. सुरक्षित संप्रेषण : स्प्रेड स्पेक्ट्रम सिग्नल ऐकणे कठीण असते कारण फक्त प्रेषक आणि प्राप्तकर्त्यालाच सिग्नल मॉड्युलेट करण्यासाठी वापरला जाणारा स्यूडो-रँडम बातमी माहित असतो.
c. हस्तक्षेपाचा प्रतिकार : स्प्रेड स्पेक्ट्रम सिग्नल इलेक्ट्रोमॅग्नेटिक हस्तक्षेप आणि आवाजापासून मुक्त असतात.
d. सहअस्तित्व : एकाच वातावरणात अनेक स्प्रेड स्पेक्ट्रम सिस्टीम एकमेकांमध्ये व्यत्यय न आणता कार्य करू शकतात.
e. वारंवारता विविधता : स्प्रेड स्पेक्ट्रम सिग्नल मल्टीपाथ फेडिंगपासून मुक्त असतात.
f. कमी स्पेक्ट्रल पॉवर घनता : स्प्रेड स्पेक्ट्रम सिग्नल नॅरोबँड सिग्नलपेक्षा कमी स्पेक्ट्रल पॉवर घनतेने प्रसारित होतात.

5.1.4.स्प्रेड स्पेक्ट्रम मॉड्युलेशनचा वापर :

स्प्रेड स्पेक्ट्रम मॉड्युलेशनचा वापर वायरलेस कम्युनिकेशन, मिलिटरी कम्युनिकेशन आणि जीपीएस यासह अनेक अनुप्रयोगांमध्ये केला जातो.

A. वायरलेस कम्युनिकेशन

I. वाय-फाय: वाय-फायसाठी IEEE 802.11b मानकात डायरेक्ट सिक्वेन्स स्प्रेड स्पेक्ट्रम (DSSS) वापरला जातो.

II. वायरलेस लॅन: वायरलेस लोकल एरिया नेटवर्कमध्ये स्प्रेड स्पेक्ट्रम तंत्रज्ञान वापरले जाते.

III. बार कोड स्कॅनर: बार कोड स्कॅनरमध्ये स्प्रेड स्पेक्ट्रम तंत्रज्ञान वापरले जाते.

IV. मायक्रोफोन: मायक्रोफोनमध्ये स्प्रेड स्पेक्ट्रम तंत्रज्ञान वापरले जाते.

B. लष्करी संप्रेषण

I. फ्रिक्वेन्सी हॉपिंग स्प्रेड स्पेक्ट्रम (FHSS): अत्यंत सुरक्षित डेटा ट्रान्समिशनसाठी जेस लष्करी संप्रेषणांमध्ये FHSS चा वापर केला जातो.

II. मानवरहित हवाई वाहने (UAV): FHSS चा वापर UAV नियंत्रण आणि डेटा सिग्नलसाठी केला जातो.

C. GPS

I. डायरेक्ट सिक्वेन्स स्प्रेड स्पेक्ट्रम (DSSS): DSSS हा GPS सिग्नल ट्रान्समिशनचा आधार आहे.

5.1.5. पसरलेल्या स्पेक्ट्रम मॉड्युलेशन तंत्राची वर्गीकरण :

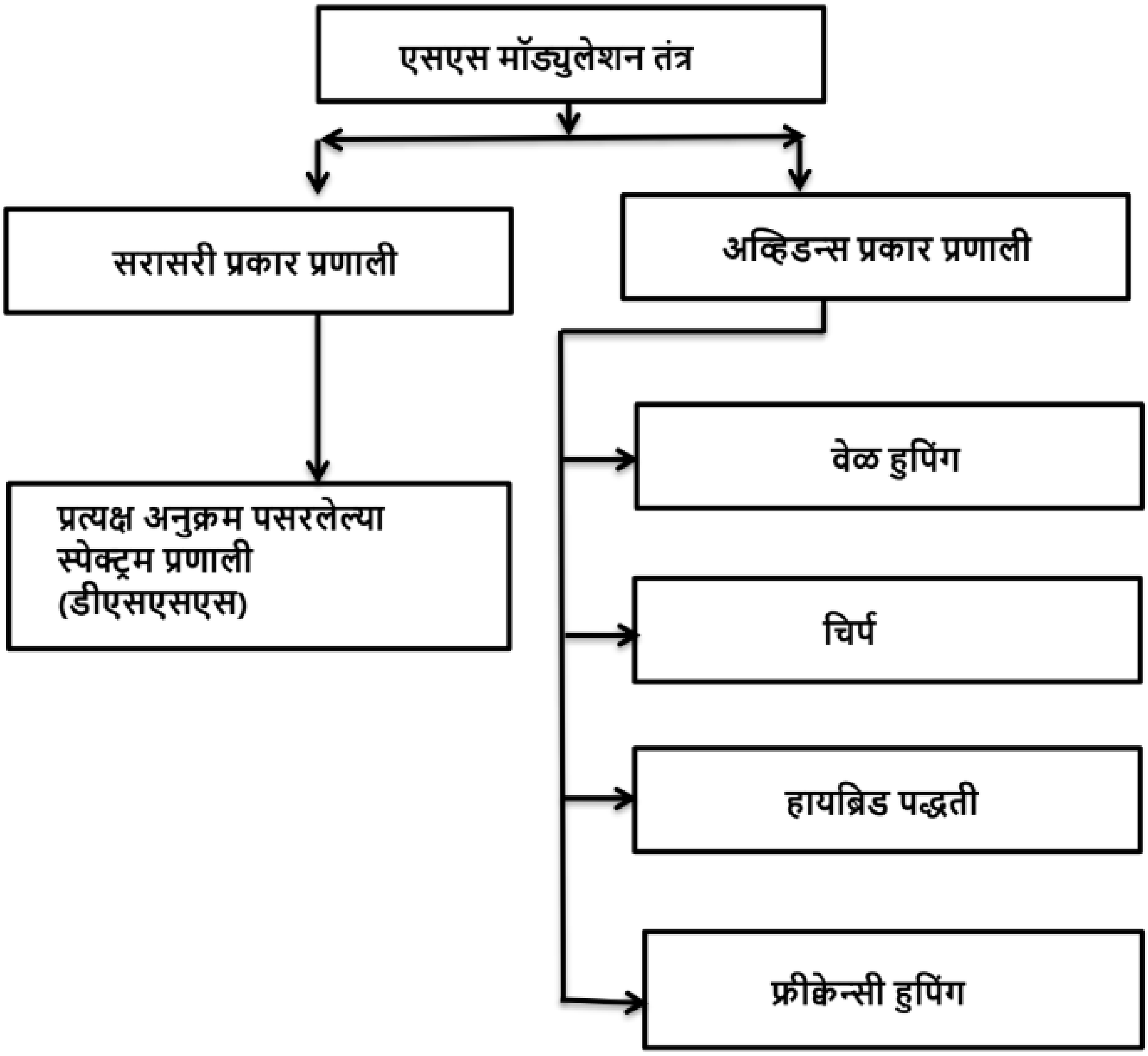


Figure no. 5.2 पसरलेल्या स्पेक्ट्रम मॉड्युलेशन तंत्राची वर्गीकरण

5.2. पीएन क्रम :

5.2.1. PN अनुक्रमाची व्याख्या :

सुडो आवाजअनुक्रम म्हणजे स्वयंचलित सहसंबंध गुणधर्मांसह 1s आणि 0s चा कोडेड अनुक्रम म्हणून परिभाषित केले जाते.

5.2.2.स्यूडो नॉइज सीक्वेन्स जनरेशन :

पीएन सीक्वेन्स जनरेटर आकृतीमध्ये दाखवल्याप्रमाणे आहे.

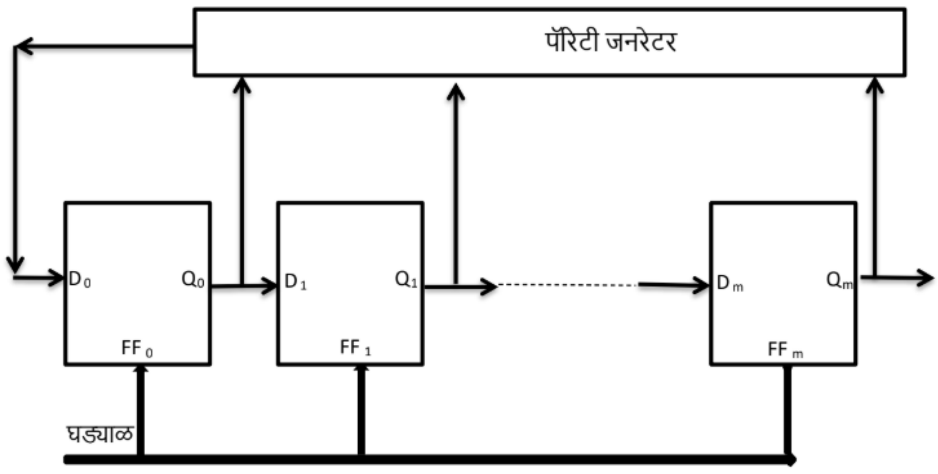


Figure no. 5.3 पीएि सीक्वे न्स जिरेटर अिुक्रमांची निनमिती

हे मुळात एक शिफ्ट रजिस्टर आहे. डी टाइप फ्लिप फ्लॉप अशा प्रकारे जोडले जात आहेत की फ्लिप फ्लॉपमधील डी इनपुट मागील फ्लिप फ्लॉपच्या Q आउटपुटशी जोडलेले आहे. पहिल्या डी फ्लिप फ्लॉपचा इनपुट D0 पॅरिटी जनरेटरच्या आउटपुटशी जोडलेला आहे. पॅरिटी जनरेटरमध्ये सामान्यतः एक्सक्लुझिव्ह OR गेट्स असतात. म्हणून पॅरिटी जनरेटरचे आउटपुट शून्य असते जेव्हा त्याच्या इनपुटची सम संख्या $Q_0, Q_1, ...$ शून्य पातळीवर असते. आणि जेव्हा त्याच्या इनपुटची विषम संख्या लॉजिक 1 पातळीवर असते तेव्हा त्याचे आउटपुट 1 असते. पॅरिटी जनरेटरचे इनपुट फ्लिप फ्लॉपमधील आउटपुट असतात म्हणजेच $Q_0, Q_1, ...Q_m$. तथापि, सर्व Q आउटपुट पॅरिटी जनरेटरच्या इनपुटशी जोडणे आवश्यक नाही.

पीएन सिक्वेन्स जनरेटर $(Q_0, Q_1, ...Q_m)$ द्वारे निर्माण होणारे कॅरेक्टर वापरलेल्या फ्लिप फ्लॉपच्या संख्येवर (m) आणि पॅरिटी जनरेटरच्या इनपुटशी कोणते फ्लिप फ्लॉप आउटपुट जोडलेले आहेत याची निवड यावर अवलंबून असते.

प्रत्येक फ्लिप फ्लॉपची स्थिती बदलते आणि घड्याळाच्या प्रत्येक पल्सशी संबंधित पुढील फ्लिप फ्लॉपवर शिफ्ट होते. एम फ्लिप फ्लॉपच्या शिफ्ट रजिस्टरमध्ये 2m संख्या असलेल्या अवस्था असतील म्हणजेच Q_0, Q_1, Q_{m-1}= 00...0 ते $Q_0, Q_1, ...Q_{m-1}$= 11...1.

अशा प्रकारे आउटपुट क्रम प्रत्येक 2m बिट्सनंतर स्वतःची पुनरावृत्ती करेल.

Table no, 1 पॅरिटी जनरेटरची आउटपुट स्थिती

परिटी जनरेटरचे आउटपुट	**इनपुटची स्थिती**

लॉजिक 0	इनपुट्सपैकी सम संख्या लॉजिक 0 आहेत
लॉजिक1	इनपुट्सपैकी विषम संख्या लॉजिक 1 आहेत

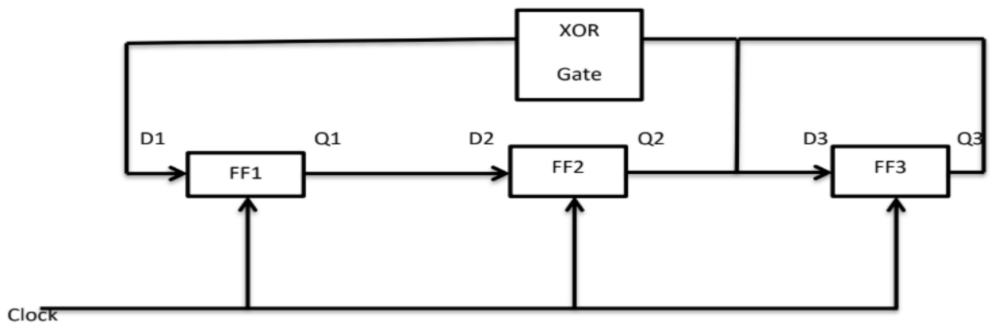
.

5.2.3.कमाल-लांबी क्रम (MLS) मध्ये खालील गुणधर्म आहेत:

a. समतोल गुणधर्म: MLS मधील एककांची संख्या नेहमीच शून्यांपेक्षा एक जास्त असते.
b. रन गुणधर्म: प्रत्येक लांबीच्या रनची संख्या MLS मध्ये विशिष्ट पद्धतीने वितरित केली जाते. प्रत्येक कालावधीत १ आणि ० च्या रनमध्ये, हे इच्छित आहे की प्रत्येक प्रकारच्या रनपैकी साधारणतः अर्धे रन लांबी १ चे असावेत, एक-चतुर्थांश लांबी २ चे असावेत, एक-आठवट लांबी ३ चे असावेत आणि असेच पुढे.
c. सहसंबंध गुणधर्म: MLS चा स्वयंसहसंबंध क्रम नियतकालिक असतो आणि त्यात दोन संभाव्य मूल्ये असतात
d. कालावधीत १ आणि ० च्या रनमध्ये, हे इच्छित आहे की प्रत्येक प्रकारच्या रनपैकी साधारणतः अर्धे रन लांबी १ चे असावेत, एक-चतुर्थांश लांबी २ चे असावेत, एक-आठवट लांबी ३ चे असावेत आणि असेच पुढे.
e. सहसंबंध गुणधर्म: MLS चा स्वयंसहसंबंध क्रम नियतकालिक असतो आणि त्यात दोन संभाव्य मूल्ये असतात.

पीएन अनुक्रमावर संख्यात्मक:

प्रश्न 1. खालील आकृतीतील PN अनुक्रम जनरेटरसाठी PN अनुक्रम मिळवा आणि काढा.



Solution:

Assume that the initial state of shift register is,

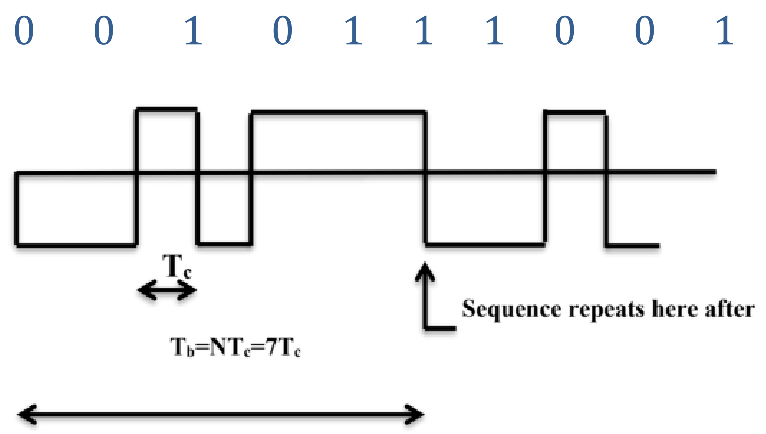
$Q_3Q_2Q_1 = 001$

Output Q_2 & Q_3 are connected to XOR gate

Clock pulse Number	Shift register outputs Q_3	Q_2	Q_1	Xor gate output $Q_3 \oplus Q_2$	PN sequence Q3
0	0	0	1	$0\oplus0=0$	0
1	0	1	0	$0\oplus1=1$	0
2	1	0	1	$1\oplus0=1$	1
3	0	1	1	$0\oplus1=1$	0
4	1	1	1	$1\oplus1=0$	1
5	1	1	0	$1\oplus1=0$	1
6	1	0	0	$1\oplus0=1$	1
7	0	0	1	$0\oplus0=0$	0
8	0	1	0	$0\oplus1=1$	0
9	1	0	1	$1\oplus0=1$	1
10	0	1	1	$0\oplus1=1$	0

The Sequence repeats after

The PN sequence obtained at Q_3 output is as shown in figure



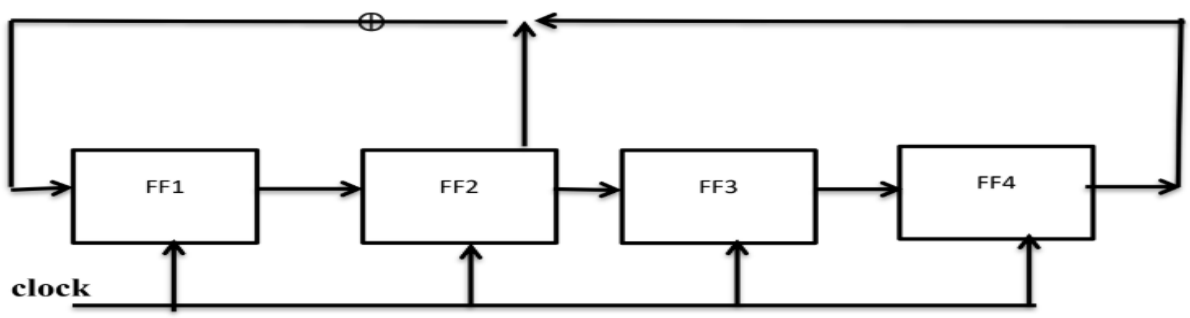
प्रश्न 2. 15लांबीचा पीएन सीक्वेन्स जनरेट करण्यासाठी पीएन सीक्वेन्स जनरेटरचा सर्किट डायग्राम काढा.

Solution: Sequence length =15. Initial contents =1111

1.PN sequence generator circuit.

2.Output sequence.

1. PN sequence generator circuit diagram:One of the possible circuit diagram of PN generator is as shown in figure



Clock pulse	Shift register output Q_3	Q_2	Q_1	Q_0	Xor gate output $Q_3 \oplus Q_1$	PN sequence Q_3
0	1	1	1	1	0	1
1	1	1	1	0	1	1
2	1	1	0	1	1	1
3	1	0	1	1	0	1
4	0	1	1	0	1	0
5	1	1	0	1	1	1
6	1	0	1	1	0	1
7	0	1	1	0	1	0
8	1	1	0	1	1	1
9	1	0	1	1	0	1
10	0	1	1	0	1	0
11	1	1	0	1	1	1
12	1	0	1	1	0	1
13	0	1	1	0	1	0
14	1	1	0	1	1	1
15	1	0	1	1	0	1

2. PN sequence :Sequence repeats after this

5.3 एसएस मॉड्युलेशनचे प्रकार :

5.3.1. स्प्रेड स्पेक्ट्रम मॉड्युलेशन सिस्टमचे मॉडेल :

स्प्रेड स्पेक्ट्रम डिजिटल कम्युनिकेशनचा ब्लॉक आकृती वरील आकृतीमध्ये दाखवला आहे.

त्यात एक ट्रान्समीटर, एक संप्रेषण चॅनेल आणि एक रिसीव्हर असतो.

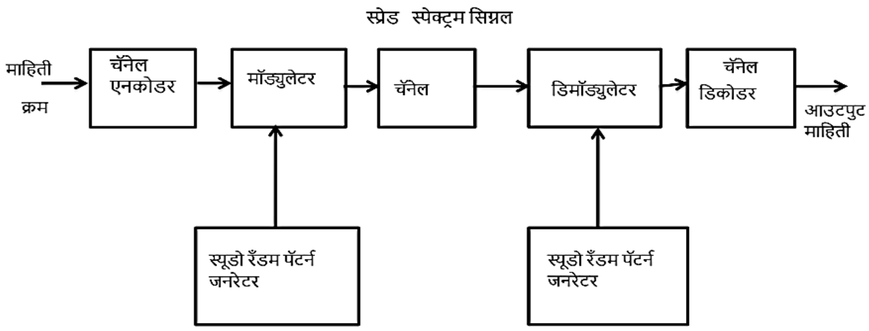


Figure no. 5.4 स्प्रेड स्पेक्ट्रम मॉड्युलेशन सिस्टम

ट्रान्समीटर :

a. सिस्टमच्या इनपुटवरील माहिती क्रम हा बायनरी माहिती क्रम आहे.
b. सिस्टमच्या आउटपुटवर आउटपुट डेटा सिग्नल सारखाच सिग्नल पुनर्प्राप्त केला जातो.
c. चॅनेल एन्कोडर त्रुटी शोधण्यासाठी अतिरिक्त बिट जोडतो आणि चॅनेलद्वारे सिग्नल प्रसारित करण्यापूर्वी फेज शिफ्ट कीइंग, फ्रिक्वेन्सी शिफ्ट कीइंग सारख्या कोणत्याही मॉड्युलेशन तंत्रांचा वापर केला जातो. जर PSK वापरला गेला तर मॉड्युलेटर आउटपुटवर परिणामी सिग्नलला डायरेक्ट सिक्वेन्स स्प्रेड स्पेक्ट्रम सिग्नल म्हणतात. आणि जर FSK वापरला गेला तर मॉड्युलेटर आउटपुटवर परिणामी सिग्नलला फ्रिक्वेन्सी हॉप्ड स्प्रेड स्पेक्ट्रम सिग्नल म्हणतात.
d. दोन स्यूडो रँडम पॅटर्न जनरेटर वापरले जातात, एक ट्रान्समीटरच्या बाजूला मॉड्युलेटरशी जोडलेला असतो तर दुसरा रिसीव्हिंगच्या बाजूला डिमॉड्युलेटरशी जोडलेला असतो. हे दोन्ही जनरेटर एकमेकांशी एकसारखे असतात.
e. हा क्रम सिग्नलला विस्तृत फ्रिक्वेन्सी बँडवर यादृच्छिकपणे पसरवतो. अशा प्रकारे मॉड्युलेटेड सिग्नलचे आउटपुट स्प्रेड स्पेक्ट्रम सिग्नल असते.

रिसीव्हर :

a. रिसीव्हरवर कार्यरत असलेल्या दुसऱ्या स्यूडो रँडम जनरेटरद्वारे प्राप्त झालेल्या सिग्नलमधून स्यूडो रँडम सीक्वेन्स काढून टाकला जातो.
b. अशा प्रकारे स्यूडो रँडम पॅटर्न जनरेटर एकमेकांशी सिंक्रोनाइझेशनमध्ये काम करतात.

c. अशा प्रकारे स्प्रेड स्पेक्ट्रम रिसीव्हरमध्ये, जर आणि फक्त जर माहिती सिग्नलसह ज्ञात स्यूडो नॉइज सीक्वेन्स ट्रान्समिट केला गेला असेल तर रिसीव्हर ट्रान्समिट केलेले सिग्नल डीमॉड्युलेट करू शकतो. अनावश्यक बिट्स काढून टाकण्यासाठी चॅनेल डीकोडर वापरला जातो. आणि शेवटी मूळ माहिती सिग्नल प्राप्त होतो.

जॅमिंग सिग्नल :

a. बाह्यरीत्या तयार केलेला हस्तक्षेप करणारा सिग्नल जॅमिंग सिग्नल म्हणून ओळखला जातो आणि असा उद्देशाने केलेला हस्तक्षेप जॅमिंग म्हणून ओळखला जातो.
b. स्प्रेड स्पेक्ट्रम मॉड्युलेशनचा वापर करून जॅमिंग टाळता येते.

5.3.2.डायरेक्ट सिक्वेन्स स्प्रेड स्पेक्ट्रम सिस्टम :

a. एक महत्त्वाच्या स्प्रेड स्पेक्ट्रम तंत्राला "डायरेक्ट सिक्वेन्स स्प्रेड" असे म्हणतात.
b. DSSS तंत्राचा वापर सॅटेलाइट चॅनेलसारख्या बँड पास चॅनेलवर सिग्नल प्रसारित करण्यासाठी व्यवहारात केला जाऊ शकतो.
c. अशा ॲप्लिकेशनसाठी ट्रान्समीटर आणि रिसीव्हरमध्ये सुसंगत बायनरी फेज शिफ्ट कीइंग मॉड्युलेशन स्कीम म्हणून वापरली जाते.

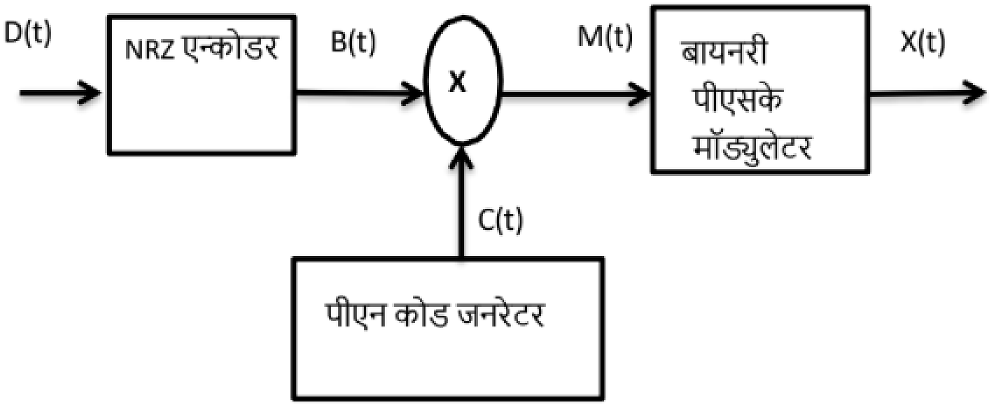


Figure no. 5.5 DSSS ट्रान्समीटर

d. DSSS ट्रान्समीटर आकृतीमध्ये दर्शविले आहे.
e. बायनरी अनुक्रम D(t) ला NRZ सिग्नल B(t) मध्ये रूपांतरित केले जाते, जेव्हा D(t) ला NRZ एन्कोडरला लागू केले जाते. NRZ एन्कोडरच्या आउटपुटवरील NRZ सिग्नल B(t) नंतर PN कोड जनरेटरने तयार केलेला PN अनुक्रम C(t) मॉड्युलेट करण्यासाठी वापरला जातो.
f. ट्रान्समिटर दोन मॉड्युलेशन स्तरांचा वापर करतो. पहिला स्तर एक प्रॉडक्ट मॉड्युलेटर किंवा मल्टीप्लायर वापरतो ज्याचे इनपुट B(t) आणि C(t) असतात, आणि दुसरा स्तर एक मॉड्युलेटर असतो.
g. प्रॉडक्ट मॉड्युलेटरच्या आउटपुटवरील मॉड्युलेटेड सिग्नल म्हणजे M(t), जो मूळ इनपुटचा स्प्रेड आवृत्ती असतो आणि त्याचा वापर BPSK मॉड्युलेशनसाठी कॅरिअर मॉड्युलेट करण्यासाठी केला जातो.
h. म्हणून, BPSK मॉड्युलेटर स्प्रेड सिग्नलला मॉड्युलेट करेल आणि DSSS BPSK सिग्नल तयार करेल.

i. ट्रान्समिटेड सिग्नल X(t) म्हणजे थेट सिक्वेन्स स्प्रेड BPSK, म्हणजेच DS-BPSK सिग्नल.

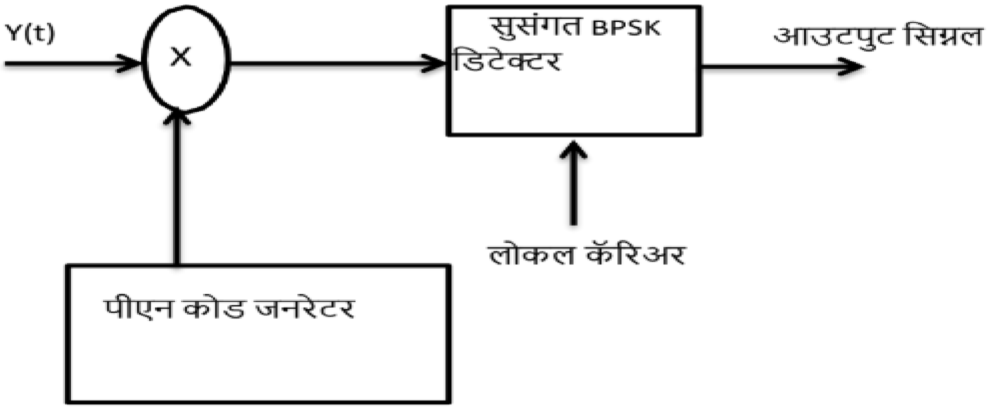


Figure no. 5.6 DSSS रिसीव्हर

j. रिसीव्हरवर आपल्याला ट्रान्समीटरवर वापरल्या जाणाऱ्या मूळ पीएन अनुक्रमाची प्रतिकृती निर्माण करावी लागते.

k. प्राप्त झालेला सिग्नल Y(t) आणि स्थानिक पातळीवर तयार झालेला पीएन अनुक्रमाची प्रतिकृती गुणकावर लागू केली जाते.

l. हा गुणाकाराचा पहिला टप्पा आहे.

m. गुणक डी स्प्रेडिंग ऑपरेशन करतो. नंतर गुणकाचे आउटपुट स्थानिकरित्या तयार केलेल्या सिंक्रोनस कॅरियरसह सुसंगत BPSK डिटेक्टरवर लागू केले जाते.

n. सुसंगत BPSK डिटेक्टरच्या आउटपुटवर आपल्याला मूळ डेटा क्रम परत मिळतो म्हणजेच D(t).

o. योग्य ऑपरेशनसाठी स्प्रेड स्पेक्ट्रम सिस्टमला ट्रान्समीटरवरील PN क्रमाशी सिंक्रोनाइझ करण्यासाठी रिसीव्हरवर स्थानिक PN क्रम आवश्यक असतो.

5.3.3. DSSS सिस्टीमचे परफॉर्मन्स पॅरामीटर:

a. प्रोसेसिंग गेन (PG):

हे स्प्रेड स्पेक्ट्रम सिग्नलच्या बँडविड्थ आणि अनस्प्रेड सिग्नलच्या बँडविड्थचे गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले जाते.

$PG=T_b/T_c$

b. जॅमिंग मार्जिन:

J/Ps गुणोत्तराला जॅमिंग मार्जिन म्हणतात. म्हणून जॅमिंग मार्जिन सरासरी इंटरफेरन्स पॉवर J आणि सिग्नल पॉवर Ps च्या गुणोत्तर म्हणून परिभाषित केले जाते.

5.3.4. DSSS प्रणालीचे फायदे :

a. या प्रणालीमध्ये मल्टीपाथ सिग्नल्स विरुद्ध खूप उच्च प्रमाणात भेदभाव आहे. त्यामुळे मल्टीपाथ रिसेप्शनमुळे होणारा हस्तक्षेप यशस्वीरित्या कमी केला जातो.

b. आवाजाच्या उपस्थितीत DSSS प्रणालीची कार्यक्षमता FHSS प्रणालीसारख्या इतर प्रणालींपेक्षा श्रेष्ठ आहे.

c. ही प्रणाली हेतुपुरस्सर हस्तक्षेपाचा सर्वात प्रभावीपणे सामना करते.

5.3.5. DSSS प्रणालीचे तोटे :

a. सिरीयल सर्च प्रणालीसह अधिग्रहण वेळ खूप जास्त असतो. यामुळे DSSS प्रणाली मंदावते.

b. पीएन कोड जनरेटर आउटपुटवर निर्माण होणाऱ्या क्रमाचा दर उच्च असणे आवश्यक आहे. अशा क्रमाची लांबी ही क्रम खरोखरच यादृच्छिक बनविण्यासाठी पुरेशी लांब असणे आवश्यक आहे.

c. आवश्यक चॅनेल बँडविड्थ खूप मोठी आहे.

d. ट्रान्समीटर आणि रिसीव्हरमधील परिवर्तनीय अंतरामुळे सिंक्रोनाइझेशनवर परिणाम होतो.

5.3.6. DSSS प्रणालीचा वापर:

a. वाय-फाय: वाय-फाय नेटवर्कमध्ये DSSS चा वापर अनेक उपकरणांना एकाच वेळी कोणत्याही व्यत्ययाशिवाय संवाद साधण्याची परवानगी देण्यासाठी केला जातो. हे विशेषतः ८०२.११b वाय-फाय मानकांमध्ये सामान्य आहे.

b. GPS: स्थान डेटा आणि सिग्नल अखंडतेची अचूकता सुनिश्चित करण्यासाठी GPS मध्ये DSSS चा वापर केला जातो.

c. लष्करी संप्रेषण: सिग्नल सुरक्षा आणि विश्वासार्हता वाढविण्यासाठी लष्करी संप्रेषणांमध्ये DSSS चा वापर केला जातो.

d. उपग्रह संप्रेषण: सिग्नल सुरक्षा आणि विश्वासार्हता वाढविण्यासाठी उपग्रह संप्रेषणांमध्ये DSSS चा वापर केला जातो.

e. ब्लूटूथ: सिग्नल सुरक्षा आणि विश्वासार्हता वाढविण्यासाठी ब्लूटूथमध्ये DSSS चा वापर केला जातो.

f. सेल्युलर नेटवर्क: सिग्नल सुरक्षा आणि विश्वासार्हता वाढविण्यासाठी सेल्युलर नेटवर्कमध्ये DSSS चा वापर केला जातो.

5.4. फ्रिक्वेन्सी हॉप स्प्रेड स्पेक्ट्रम सिग्नल :

DSSS सिस्टमची हेतुपुरस्सर जॅमिंग नाकारण्याची क्षमता "प्रोसेसिंग गेन" वर अवलंबून असते. DSSS मध्ये PG जॅमिंगचा सामना करण्यासाठी पुरेसे जास्त नसते. अशा परिस्थितीत फ्रिक्वेन्सी हॉप स्प्रेड स्पेक्ट्रम नावाची पर्यायी प्रणाली.

5.4.1.FHSS ची व्याख्या :

FHSS ही ट्रान्समीटर आणि रिसीव्हर दोघांनाही ज्ञात असलेल्या PN अनुक्रमाचा वापर करून अनेक फ्रिक्वेन्सी चॅनेलमध्ये वाहक जलद स्विच करून रेडिओ सिग्नल प्रसारित करण्याची एक पद्धत आहे.

5.4.2.फ्रिक्वेन्सी हॉपिंगचे प्रकार:

1. स्लो फ्रिक्वेन्सी हॉपिंग
2. फास्ट फ्रिक्वेन्सी हॉपिंग

1. स्लो फ्रिक्वेन्सी हॉपिंग :

स्लो फ्रिक्वेन्सी हॉपिंग हा FHSS चा प्रकार आहे ज्यामध्ये MFSK सिग्नलचा सिम्बॉल रेट Rs हा हॉप रेट Rh चा पूर्णांक गुणक आहे.

याचा अर्थ प्रत्येक फ्रिक्वेन्सी हॉपशी संबंधित अनेक चिन्हे प्रसारित केली जातात. म्हणजेच फ्रिक्वेन्सी हॉपिंग हळूहळू होते.

2. फास्ट फ्रिक्वेन्सी हॉपिंग:

हा FHSS चा प्रकार आहे ज्यामध्ये हॉप रेट Rh हा MFSK सिम्बॉल रेट Rs चा पूर्णांक गुणक आहे.

याचा अर्थ एका सिम्बॉलच्या ट्रान्समिशन दरम्यान कॅरियर फ्रिक्वेन्सी अनेक वेळा हॉप करेल. म्हणजेच फ्रिक्वेन्सी हॉपिंग वेगाने होते.

1.स्लो फ्रिक्वेन्सी हॉपिंग ब्लॉक डायग्राम :

Transmitter:

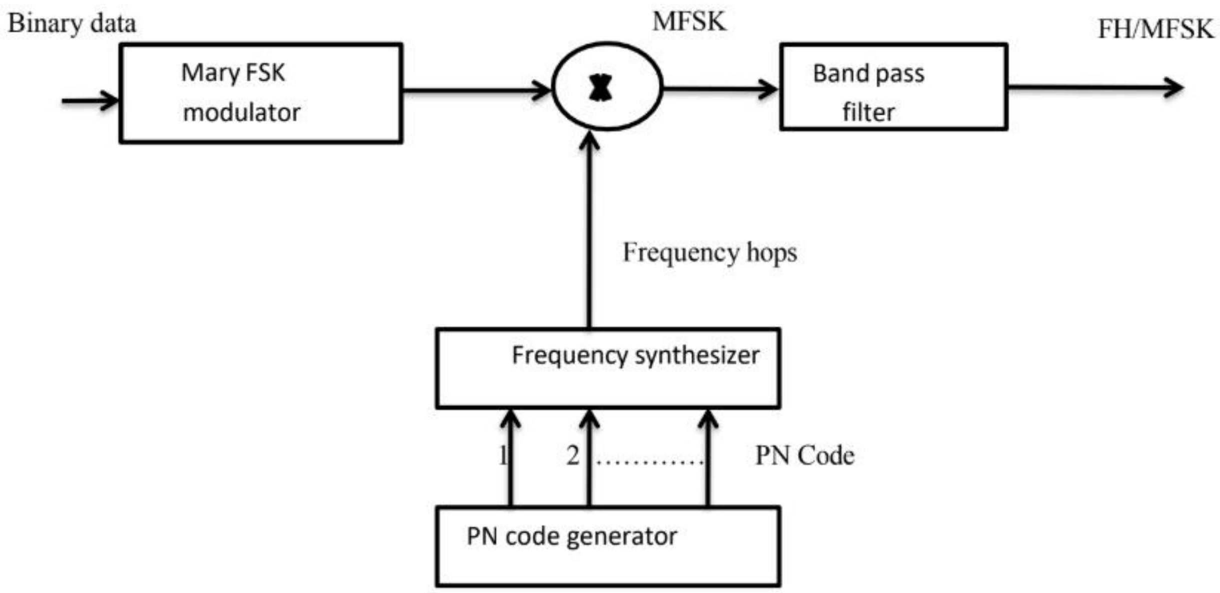


Figure no. 5.7 स्लो फ्रिक्वेन्सी हॉपिंग ट्रान्समीटर

रिसीव्हर:

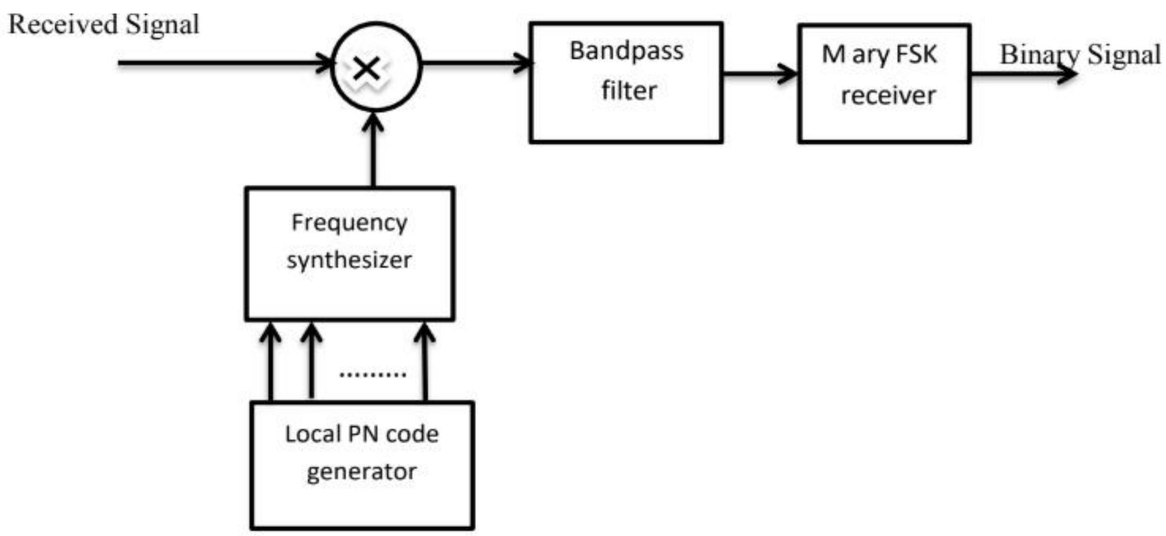


Figure no. 5.8 स्लो फ्रिक्वेन्सी हॉपिंग रिसीव्हर

कार्य: :

बायनरी डेटा सीक्वेन्स b (t) हा M-ary FSK मॉड्युलेटरवर लागू केला जातो ज्याचे आउटपुट मिक्सरच्या इनपुटवर जाते. मिक्सर ब्लॉकला मिळणारा दुसरा इनपुट डिजिटल फ्रिक्वेन्सी सिंथेसायझरमधून मिळवला जातो.

a. मिक्सरमध्ये एक गुणक असतो आणि त्यानंतर बँड पास फिल्टर येतो.

b. गुणक आउटपुटवर आपल्याला दोन इनपुट फ्रिक्वेन्सी, त्यांची बेरीज आणि त्यांचे फरक फ्रिक्वेन्सी घटक मिळतात. बँडपास फिल्टर फक्त इतर सर्व घटकांना नाकारणारा बेरीज फ्रिक्वेन्सी घटक निवडण्यासाठी डिझाइन केला आहे. फ्रिक्वेन्सीचा हा बेरीज घटक नंतर प्रसारित केला जातो.

c. इनपुट बायनरी डेटा सीक्वेन्सचे सलग K-बिट्स एक चिन्ह तयार करतील. M असे चिन्ह M-ary FSK सिस्टम वापरून M = 2k सह प्रसारित केले जाऊ शकतात.

d. M-ary FSK मॉड्युलेटर या प्रत्येक M चिन्हासाठी एक वेगळी वारंवारता नियुक्त करेल.

e. अशा प्रकारे MFSK मॉड्युलेटरमधून मिळवलेल्या मिक्सर इनपुटची वारंवारता सतत बदलत असते.

f. मिक्सरला मिळणारा दुसरा इनपुट डिजिटल फ्रिक्वेन्सी सिंथेसायझरमधून मिळवला जातो. दिलेल्या वेळेच्या क्षणी सिंथेसायझर आउटपुट म्हणजे "फ्रिक्वेन्सी हॉप".

g. प्रत्येक फ्रिक्वेन्सी हॉप MFSK सिग्नलमध्ये मिसळला जातो जेणेकरून आधी सांगितल्याप्रमाणे ट्रान्समिटेड सिग्नल तयार होईल. सिंथेसायझरच्या आउटपुटवरील फ्रिक्वेन्सी हॉप्स पीएन कोड जनरेटरच्या आउटपुटवरील सलग बिट्सद्वारे नियंत्रित केले जातात.

h. पीएन जनरेटरचे आउटपुट बिट्स यादृच्छिकपणे बदलतात. म्हणून सिंथेसायझर आउटपुट वारंवारता देखील यादृच्छिकपणे बदलेल.

i. म्हणून उत्पादित फ्रिक्वेन्सी हॉप्स यादृच्छिकपणे बदलतील. जर पीएन जनरेटरच्या आउटपुटवरील सलग बिट्सची संख्या "n" असेल, तर फ्रिक्वेन्सी हॉप्सची एकूण संख्या 2n असेल".

j. ट्रान्समिटेड FH/MFSK सिग्नलची एकूण बँडविड्थ सर्व फ्रिक्वेन्सी हॉप्सच्या बेरजेइतकी असते.

k. म्हणून प्रसारित केलेल्या FH/MFSK सिग्नलची बँडविड्थ खूप मोठी आहे, काही GHz च्या क्रमाने.

l. FH/MFSK सिग्नलने व्यापलेल्या मोठ्या बँडविड्थमुळे, प्रत्येक हॉपमध्ये या सिग्नलचे सुसंगत शोधणे शक्य आहे. कारण सुसंगत शोधासाठी, स्थानिकरित्या तयार केलेल्या वाहकाचे प्रसारित वाहकासह फेज सिंक्रोनाइझेशन आवश्यक आहे.

m. परंतु FH/MFSK रिसीव्हरमध्ये वापरलेले फ्रिक्वेन्सी सिंथेसायझर सलग हॉप्सवर हे फेज सुसंगतता राखण्यास असमर्थ आहेत. म्हणून बहुतेक फ्रिक्वेन्सी हॉप स्प्रेड स्पेक्ट्रम सिस्टम नॉन-कोहेरंट मेरी मॉड्युलेशन स्कीम वापरतात.

n. हे डिजिटल सिंथेसायझर पीएन कोड जनरेटरद्वारे चालविले जाते जे ट्रान्समीटरवरील पीएन कोड जनरेटरशी सिंक्रोनाइझ केले जाते आणि समान कोड क्रम तयार करते.

o. म्हणून सिंथेसायझर आउटपुटवर उत्पादित होणारे फ्रिक्वेन्सी हॉप्स ट्रान्समीटरवरील सिंथेसायझर आउटपुटवर असलेल्यांसारखेच असतील.

p. गुणकाच्या आउटपुटवर आपल्याला इनपुट सिग्नल, त्यांची बेरीज आणि फरक (फ्रिक्वेन्सीचा प्रश्न आहे) मिळतो.

q. या फ्रिक्वेन्सी घटकांपैकी, गुणकाला अनुसरून येणाऱ्या बँडपास फिल्टरद्वारे फरक वारंवारता घटक निवडला जातो.

r. हा फरक सिग्नल म्हणजे MFSK सिग्नल. अशा प्रकारे मिक्सर फ्रिक्वेन्सी हॉपिंग काढून टाकतो.

s. मिक्सर आउटपुटवरील MFSK सिग्नल नंतर नॉन-कोहेरंट MFSK डिमोड्युलेटरवर लागू केला जातो. MFSK डिटेक्टरच्या आउटपुटवर आपल्याला डिजिटल मॉड्युलेटिंग सिग्नल b (t) मिळतो.

t. नॉन-कोहेरंट M-ary FSK डिटेक्टर M, नॉन-कोहेरंट मॅच्ड फिल्टर्सच्या बँक वापरून अंमलात आणता येतो.

u. प्रत्येक जुळणारा फिल्टर MFSK सिग्नलच्या एका टोनशी जुळतो.

v. डिजिटल मॉड्युलेटिंग सिग्नल मिळविण्यासाठी फिल्टरच्या M उपलब्ध आउटपुटपैकी सर्वात मोठा आउटपुट निवडला जातो.

FH/MFSK सिस्टीमचा चिप रेट (Rc):

a. कमीत कमी कालावधीचा प्रत्येक वेगळा टोन (फ्रिक्वेन्सी). FH/MFSK सिस्टीममध्ये "चिप" म्हणून परिभाषित केला जातो.हे DS/BPSK सिस्टीममधील चिपच्या व्याख्येपेक्षा पूर्णपणे वेगळे आहे.

b. FH/MFSK सिस्टीमसाठी "चिप रेट" Rc अशी परिभाषित केला जातो.

c. चिप रेट, Rc = कमाल(Rh, Rs)

d. जिथे Rh = हॉप रेट आणि Rs = प्रतीक दर.

e. अशा प्रकारे चिप रेट Rc हा स्लो हॉपिंग FH/MFSK सिग्नलसाठी Rh किंवा Rs यापैकी जे जास्त असेल त्याच्या बरोबरीचा असतो.

प्रोसेस गेन (PG) :

a. PG = BW (स्प्रेड स्पेक्ट्रम सिग्नल) /BW (अनस्प्रेड सिग्नल)

b. ही व्याख्या DH-SS सिस्टीमसाठी सारखीच आहे.

स्प्रेड सिग्नलची बँडविड्थ :

a. PN कोड जनरेटरच्या आउटपुटवरील बिट्सची संख्या "n" असू द्या.

b. म्हणून संयोजनांची संख्या 2n असेल म्हणून वारंवारता हॉप्सची संख्या " 2n" प्राइमच्या बरोबरीची असेल.

c. फ्रिक्वेन्सी हॉप्सची संख्या = 2n

d. चिन्ह वारंवारता fs ने दिली जाऊ द्या. म्हणून FH/MFSK सिग्नलची बँडविड्थ,

e. BW (स्प्रेड स्पेक्ट्रम सिग्नल) = 2n x fs

अनस्प्रेड सिग्नलची BW:

a. अनस्प्रेड सिग्नलची बँडविड्थ ही प्रतीक वारंवारता fs च्या बरोबरीची आहे. बँडविड्थला समीकरणात बदलून आपल्याला मिळते,

b. प्रक्रिया लाभ = 2n fs = 2n.

c. पीएन कोड जनरेटरच्या आउटपुटवर "n" बिट्सची संख्या वाढवून आपण पी.जी. वाढवू शकतो.

2. फास्ट वारंवारता हॉपिंग :

a. कारण जलद FH/MFSK प्रणालीमध्ये प्रत्येक मॅरी चिन्हासाठी अनेक हॉप्स असतात.

b. म्हणून प्रत्येक हॉप एक "चिप" आहे.

c. Rc = Rh

d. ट्रान्समिशनमध्ये व्यत्यय आणण्याचा प्रयत्न करणाऱ्या स्मार्ट जॅमरला पराभूत करण्यासाठी जलद वारंवारता हॉपिंगचा वापर केला जातो.

e. ट्रान्समीटरद्वारे वापरल्या जाणाऱ्या फ्रिक्वेन्सी बँडला जॅमर समजण्यापूर्वीच प्रसारित सिग्नल नवीन कॅरियर फ्रिक्वेन्सीवर हॉप केला जातो.

f. जलद हॉपिंगसाठी वापरलेला डेटा क्रम स्लो हॉपिंगसाठी वापरल्या जाणाऱ्या क्रमासारखाच असतो.

g. प्रति MFSK चिन्ह K = 2 म्हणून MFSK टोनची संख्या = 2^k = 4.

h. प्रति हॉप PN सेगमेंटची लांबी म्हणजे. n = 3 म्हणून एकूण वारंवारता हॉप्सची संख्या = 2^3 = 8

i. PN क्रम हॉपिंग वारंवारता ठरवतो. दोन सलग इनपुट बायनरी बिट्स 0 1 हे पहिले चिन्ह बनवतात.

j. या चिन्हाच्या कालावधी दरम्यान PN अनुक्रम (३ अंकी) मध्ये दोन भिन्न मूल्ये आहेत 001 आणि 110.

k. म्हणून एक चिन्ह कालावधी दोन फ्रिक्वेन्सी हॉप्सशी संबंधित आहे. चिन्ह 01 साठी MFSK मॉड्युलेटरची वारंवारता f2 आहे आणि PN अनुक्रम जनरेटरच्या 001 आणि 110 आउटपुटशी संबंधित सिंथेसायझरचे आउटपुट FH1 आणि FH6 आहेत.

l. म्हणून प्रसारित फ्रिक्वेन्सी (FH1 + f2) आणि (FH6 + f2) आहेत. पहिल्या चिन्ह 01 साठी ऑपरेशन खाली सारांशित केले आहे.

Frequency of MFSK modulator = f_2

Table no. 5.2 पहिल्या चिन्हाच्या कालावधीतील ऑपरेशनचा सारांश

Output of PN code generator	Frequency of synthesizer (hop)
001	FH_1
110	FH_8

Transmitted frequencies (f_2+FH_1) & (f_2+FH_6)

जलद हॉपिंगसाठी वापरलेला रिसीव्हर:

a. डेटा पुनर्प्राप्तीसाठी, रिसीव्हरवर, नॉन-कॉहेरंट डिटेक्शन वापरला जातो.

b. परंतु डिटेक्शन प्रक्रिया स्लो FH/MFSK सिस्टीमसाठी वापरल्या जाणाऱ्यापेक्षा खूपच वेगळी आहे.

c. व्यवहारात खालील दोन प्रक्रियांचा विचार केला जातो:

d. या प्रक्रियेत, प्राप्त झालेल्या K फ्रिक्वेन्सी-हॉप चिप्सवर स्वतंत्र निर्णय घेतला जातो. नंतर बहुमताच्या मतावर आधारित साध्या नियमाच्या आधारे डिहॉप केलेल्या MFSK चिन्हाचा अंदाज लावला जातो.

e. दुसऱ्या प्रक्रियेत, प्रत्येक FH/MFSK चिन्हासाठी संभाव्यता फंक्शन्सची गणना केली जाते, कारण X चिप्सवर प्राप्त झालेल्या एकूण सिग्नलचे फंक्शन आणि त्यापैकी सर्वात मोठे निवडले जाते.

f. दुसऱ्या प्रक्रियेवर आधारित रिसीव्हर त्रुटीची सरासरी संभाव्यता कमी करतो. म्हणून व्यावहारिकदृष्ट्या ते पसंत केले जाते.

5.4.3. FHSS सिस्टीमचे खालील फायदे आहेत:

a. सिंक्रोनाइझेशन अंतरावर फारसे अवलंबून नाही.

b. FH-SS असलेल्या सिरीयल सर्च सिस्टीमला संपादनासाठी कमी वेळ लागतो.

c. प्रोसेसिंग गेन PG DS-SS सिस्टीमपेक्षा जास्त आहे.

5.4.4. FHSS प्रणालीचे खालील तोटे आहेत:

a. FHSS प्रणालीची बँडविड्थ खूप मोठी आहे.
b. जटिल आणि महागडे डिजिटल फ्रिक्वेन्सी सिंथेसायझर वापरणे आवश्यक आहे.

5.4.5. FHSS चे अनुप्रयोग:

a. वायरलेस लोकल एरिया नेटवर्क
b. ब्लूटूथचे वायरलेस पर्सनल एरिया नेटवर्क मानक.

स्लो फ्रिक्वेन्सी हॉपिंग आणि फास्ट फ्रिक्वेन्सी हॉपिंगमधील फरक:

Table no. 5.3 स्लो फ्रिक्वेन्सी हॉपिंग आणि फास्ट फ्रिक्वेन्सी हॉपिंग

स्लो फ्रिक्वेन्सी हॉपिंग	फास्ट फ्रिक्वेन्सी हॉपिंग
I. स्लो फ्रिक्वेन्सी हॉपिंगमध्ये, एका फ्रिक्वेन्सी हॉपमध्ये अनेक चिन्हे प्रसारित केली जातात.	I. जलद वारंवारता हॉपिंगमध्ये, एक चिन्ह प्रसारित करण्यासाठी अनेक हॉप्सची आवश्यकता असते.
II. एक किंवा अधिक चिन्हे समान वाहक वारंवारतेवर प्रसारित केली जातात.	II. एक चिन्ह वेगवेगळ्या हॉप्समध्ये अनेक वाहकांवर प्रसारित केले जाते.
III. हॉप रेट प्रतीक दरापेक्षा कमी आहे.	III. हॉप रेट प्रतीक दरापेक्षा जास्त आहे.
IV. एका हॉपमधील वाहक वारंवारता ज्ञात असल्यास जॅमर हा सिग्नल शोधू शकतो.	IV. जॅमर हा सिग्नल शोधू शकत नाही कारण एक चिन्ह एकापेक्षा जास्त वाहक फ्रिक्वेन्सी वापरून प्रसारित केले जाते.

FHSS आणि DSSS मधील फरक:

Table no. 5.5 एफएचएसएस आणि डीएसएसएस

FHSS	DSSS
I. FHSS फ्रिक्वेंसी बदलते, आणि फ्रिक्वेन्सी हॉपिंग पाठवणाऱ्या आणि प्राप्तकर्त्याला ज्ञात असलेल्या पॅटर्नचे अनुसरण करते	a. DSSS फेज बदलते, आणि वाहक वारंवारता निश्चित वारंवारता बँडमध्ये राहते
I. लोअर सिग्नल ट्रान्समिशन रेट (3Mbps पर्यंत)	b. उच्च सिग्नल ट्रान्समिशन रेट (11 Mbps पर्यंत)
I. FHSS हे एक मजबूत स्प्रेड स्पेक्ट्रम तंत्र आहे जे कठोर वातावरणात वापरण्यास योग्य आहे	c. DSSS हे एक संवेदनशील स्प्रेड स्पेक्ट्रम तंत्र आहे जे कठोर पर्यावरणीय परिस्थितीमुळे प्रभावित होते

FHSS	DSSS
/. FHSS सिंगल पॉइंट तसेच मल्टीपॉइंट कम्युनिकेशनसाठी योग्य आहे	d. DSSS पॉइंट टू पॉइंट कम्युनिकेशनसाठी योग्य आहे
/. FHSS मध्ये डीकोडिंग प्रक्रिया सोपी आहे	e. DSSS मध्ये डीकोड करण्यासाठी, ट्रान्समीटर आणि रिसीव्हर दरम्यान कनेक्शन करण्यासाठी विशिष्ट अल्गोरिदम आवश्यक आहे
I. FHSS कमी विश्वसनीय आहे	f. DSSS अधिक विश्वासार्ह आहे
I. FHSS मधील ॲनालॉग ते डिजिटल रूपांतरण कमी वेळ घेते	g. ॲनालॉग सिग्नलला डिजिटलमध्ये रूपांतरित करण्यासाठी लागणारा वेळ जास्त आहे
I. कमी ट्रांसमिशन दराने, FHSS स्वस्त आहे	h. उच्च प्रसारण दरासह रेडिओ फ्रिक्वेन्सीवर DSSS ची अंमलबजावणी स्वस्त आहे
<. FHSS सिग्नल ट्रान्समिशनच्या अंतरावर अवलंबून नाही	i. DSSS मध्ये अंतर हा एक प्रभावशाली घटक आहे
<. दिलेल्या ट्रान्समिटिंग पॉवरवर, FHSS उच्च पॉवर स्पेक्ट्रल घनता देते	j. फक्त ट्रान्समिटिंग पॉवर, DSSS चा व्यापक शब्द स्पेक्ट्रम कमी पॉवर स्पेक्ट्रल घनता प्रदान करतो
I. FHSS मध्ये वाहक वारंवारता भिन्न असल्याने, यामुळे वारंवारता-निवडक फेडिंग होते, जेथे त्रुटी निसर्गात फुटते.	k. DSSS मध्ये, मेसेज बिट्स फ्रिक्वेन्सी आणि टाइम स्प्रेड DSSS दोन्ही असतात. या प्रकारचा प्रसार हस्तक्षेप आणि लुप्त होण्याचा प्रभाव कमी करतो. DSSS मधील टक्केवारी त्रुटी FHSS पेक्षा कमी आहे

सारांश (Summary):

a. स्प्रेड-स्पेक्ट्रम सिस्टीम म्हणजे ज्यामध्ये ट्रान्समिटेड सिग्नल एका विस्तृत फ्रिक्वेन्सी बँडवर पसरलेला असतो, जो संदेश ट्रान्समिट करण्यासाठी आवश्यक असलेल्या बँडविड्थपेक्षा खूपच जास्त असतो.

b. स्प्रेड स्पेक्ट्रम मॉड्युलेशन मूळतः लष्करी अनुप्रयोगांसाठी विकसित केले गेले होते. आता ते नागरी अनुप्रयोगांसाठी, विशेषतः मोबाइल संप्रेषणांसाठी देखील वापरले जाते.

c. स्प्रेड स्पेक्ट्रम सिस्टीम एका विस्तृत फ्रिक्वेन्सी बँडवर सिग्नल पसरवते, ज्यामुळे ते शोधणे, इंटरसेप्ट करणे किंवा डिमॉड्युलेट करणे कठीण होते. सिग्नल मॉड्युलेट करण्यासाठी सिस्टम स्प्रेडिंग कोड वापरते, ज्यामुळे स्प्रेडिंगचा वेग वाढतो आणि मूळ सिग्नलपेक्षा जास्त असतो.

d. **DSSS** आणि **FHSS** मानकांमध्ये दोन स्प्रेड स्पेक्ट्रम मॉड्युलेशन तंत्रे वापरली जातात.

सूत्र:

a. $PG = T_b/T_c$

XII. स्वाध्याय (R/U/A स्तर प्रश्न):

a. पीएन सीक्वेन्स परिभाषित करा. Define PN sequence

b. प्रोसेसिंग गेन परिभाषित करा. Define Processing Gain

c. बॅलन्स प्रॉपर्टी सांगा. State the balance property

d. डीएसएसएस तंत्राचे वर्णन करा. Describe DSSS technique

e. एफएचएसएस सिस्टमसाठी ब्लॉक डायग्राम काढा आणि त्याचे कार्य स्पष्ट करा. स्लो आणि फास्ट फ्रिक्वेन्सी हॉपिंगमध्ये फरक करा. Draw the block diagram for FHSS system & explain the working. Differentiate between slow & fast frequency

f. पीएन सीक्वेन्स जनरेटरचे स्पष्टीकरण द्या. Explain PN sequence generator

g. डीएसएसएस आणि एफएचएसएसमधील तुलना करा. Compare between DSSS & FHSS

h. एसएसएमचे वर्गीकरण सांगा. State the classification of SSM

i. एसएसएमचा वापर लिहा. Write the application of SSM

विद्यार्थ्यांशी संबंधित उपक्रम (Student Learning Activity):

1. स्प्रेड स्पेक्ट्रम मॉड्युलेशनवर सेमिनार तयार करा. Prepare seminar on Spread Spectrum Modulation.

2. DSSS आणि FHSS वर PPT तयार करा. Prepare PPT on DSSS & FHSS.

संदर्भ पुस्तके (Reference Books):

Title	Author
Digital communication	Rao Ramkrishna P.
Digital Communications: Fundamentals and Applications	Bernard Sklar