इकाई 8 बहुसंकेतन

इकाई की रूपरेखा

8.1 प्रस्तावना
उद्देश्य
8.2 बहुसंकेतन और बहुअभिगम
8.3 आकाशीय विभाजन बहुसंकेतन (SDM)
8.4 काल विभाजन बहुसंकेतन (TDM)
8.5 आवृत्ति विभाजन बहुसंकेतन (FDM)
8.6 तरंगदैर्घ्य विभाजन बहुसंकेतन (WDM)
8.7 कोड विभाजन बहुअभिगम (CDMA)
8.8 सारांश
8.9 अंत में कुछ प्रश्न
8.10 हल और उत्तर

8.1 प्रस्तावना

संचार के क्षेत्र में काफी तेजी से वृद्धि हो रही है और साथ ही टेलीफोन और इंटरनेट अभिगम (access) का प्रयोग करने वाले उपभोक्ताओं की संख्या भी बढ़ती जा रही है। इन सभी उपभोक्ताओं को वैयक्तिक रूप से माध्यम या चैनल उपलब्ध कराना संभव नहीं है। इस समस्या से बचने के लिए सबसे पहले एक्सचेंजों का विचार आगे आया। परंतु, किसी भी एक्सचेंज में एक एक्सचेंज से दूसरे एक्सचेंज तक सिग्नल ले जाने के लिए सीमित संख्या में चैनल होते हैं। अतः यह आवश्यक हो जाता है कि इन चैनलों का प्रयोग दक्षता के साथ किया जाए। कोई भी उपभोक्ता लाइन का प्रयोग लगातार नहीं करता है। उदाहरण के लिए, जब टेलीफोन पर कोई बात कर रहा होता है तो दूसरे सिरे पर उपभोक्ता बात को केवल सुन रहा होता है। इस बात को ध्यान में रखकर इसकी कोई आवश्यकता नहीं रहती कि दो लाइनों अर्थात् प्रेषण और अभिग्रहण लाइनों को सदा ही व्यस्त रखा जाए। क्योंकि लाइन काफी समय तक अक्रिय बनी रहती है, अतः यह सोचा गया कि, एक ही लाइन का प्रयोग अनेक उपभोक्ताओं के लिए सिग्नल प्रेषण और अभिग्रहण करने के लिए किया जा सकता है। इस विचार की निष्पत्ति *बहुसंकेतन (multiplexing)* प्रक्रम से की जाती है।

विभिन्न विधियों से बहुसंकेतन किया जाता है। संचार सिग्नल के बहुसंकेतन में प्रयुक्त तीन मुख्य प्रांत हैं : (i) आकाशीय (दिक्); (ii) समय और (iii) आवृत्ति। प्रकाशिक संचार में सिग्नल का तरंगदैर्घ्य बहुसंकेतिक किया जाता है। इन बहुसंकेतन विधियों के और व्युत्पन्न विस्तारित स्पेक्ट्रम (spread spectrum) और कोड विभाजन बहुसंकेतन (code division multiplexing) हैं। अंतिम व्युत्पन्न, जिसे प्रायः कोड विभाजन बहुअभिगम (CDMA: Code Division Multiple Access) कहते हैं, अति लोकप्रिय प्रौद्योगिकी है जिसका प्रयोग सैलुलर मोबाइल टेलीफोन में किया जाता है।

इस इकाई में आप सामान्यतः प्रयुक्त बहुसंकेतन विधियों के आधारभूत नियमों, इनके कार्यान्वयन और अनुप्रयोग के बारे में अध्ययन करेंगे। भाग 8.2 में आधुनिक संचार प्रौद्योगिकी के संदर्भ में बहुसंकेतन (multiplexing) और बहुअभिगम (multiple access) की आधारभूत संकल्पना पर चर्चा करेंगे। पिछली इकाई में आकाशीय (दिक्) विभाजन बहुसंकेतन (SDM : Space Division Multiplexing) के बारे में हम उल्लेख कर चुके हैं। भाग 8.3 में आप SDM के बारे में विस्तार से पढ़ेंगे। काल विभाजन बहुसंकेतन (TDM : Time Division Multiplexing) में हम एक ही चैनेल का प्रयोग भिन्न समयों पर उपभोक्ताओं के लिए कर सकते हैं। भाग 8.4 में हम TDM के बारे में विस्तार से चर्चा करेंगे। आवृत्ति विभाजन बहुसंकेतन (FDM : Frequency Division Multiplexing) में विभिन्न उपभोक्ताओं को भिन्न-भिन्न आवृत्ति बैंड नियत किए जाते हैं। भिन्न-भिन्न आवृत्तियों वाले सिग्नलों को एक ही संचार चैनल पर भेजा जाता है और अभिग्राही सिरे पर सिग्नलों को पृथक करने के लिए उचित फिल्टरों का प्रयोग किया जाता है। भाग 8.5 में आप FDM तकनीक के बारे में विस्तार से

अध्ययन करेंगे। एकल प्रकाशिक तंतु के द्वारा विभिन्न सिग्नलों को ले जाने के लिए विभिन्न प्रकाशिक तरंगदैर्घ्यों के प्रयोग को तरंगदैर्घ्य विभाजन बहुसंकेतन (WDM : Wavelength Division Multiplexing) कहा जाता है। भाग 8.6 में आप WDM के बारे में अध्ययन करेंगे। भाग 8.7 में हम कोड विभाजन बहुअभिगम (CDMA : Code Division Multiple Access) प्रौद्योगिकी पर चर्चा करेंगे जिसका हाल ही में सैलुलर टेलीफोनों में अनुप्रयोग के कारण काफी महत्त्व बढ़ गया है।

उद्देश्य

इस इकाई का अध्ययन कर लेने के बाद आप :

- बहुसंकेतन की आवश्यकता बता सकेंगे;
- SDM के कार्यान्वयन की व्याख्या कर सकेंगे;
- TDM का सिद्धांत और इसके कार्यान्वयन की व्याख्या कर सकेंगे;
- FDM तकनीक की व्याख्या कर सकेंगे;
- ITU मानकों के अनुसार विभिन्न FDM मॉडुलन योजनाएं बना सकेंगे;
- WMD के कार्यान्वयन की व्याख्या कर सकेंगे;
- स्पेक्ट्रम विस्तार की संकल्पना का विवेचन कर सकेंगे;
- CDMA तकनीक की व्याख्या कर सकेंगे; और
- संचार में विभिन्न बहुसंकेतन तकनीकों के अनुप्रयोग बता सकेंगे।

8.2 बहुसंकेतन और बहुअभिगम

जब एक एकल चैनल का प्रयोग करके एक से अधिक आधार बैंड सिग्नल भेजे जाते हैं, तब इस प्रक्रम को *बहुसंकेतन (multiplexing)* कहा जाता है। बहुसंकेतन से चैनल के दक्ष प्रयोग में सुविधा हो जाती है। यह निम्नलिखित रूप का हो सकता है :

i) एक स्विच के द्वारा भौतिक संपर्क स्थापित करके संदेश भेजने वाले और अभिग्रहण करने वालों के बीच संबंधन हो। इसे **आकाशीय (दिक्) विभाजन बहुसंकेतन (SDM)** कहा जाता है।

ii) अलग-अलग समय पर समान चैनल पर विभिन्न सिग्नल भेजना। इसे **काल विभाजन बहुसंकेतन (TDM)** कहा जाता है।

iii) विभिन्न आवृत्ति बैंडों पर आरूढ़ विभिन्न आधार बैंड सिग्नल एकल चैनल पर भेजना। यह **आवृत्ति विभाजन बहुसंकेतन (FDM)** है।

आवृत्ति विभाजन बहुसंकेतन के परिवर्त (variant) को रेडियो संचरण में भी देखा जा सकता है, जहां विभिन्न आवृत्ति वाहक तरंगों पर मॉडुलित करके विभिन्न रेडियो स्टेशनों से समान आधार बैंड सिग्नल (20 kHz, श्रव्य सिग्नल) प्रेषित किए जाते हैं। इससे नियत की गई वाहक आवृत्तियों के अनुसार विभिन्न रेडियो स्टेशनों के बीच भेद किया जा सकता है। स्थानीय दोलित्र की समस्वरण आवृत्ति में परिवर्तन करके हम विभिन्न आवृत्तियां पकड़ सकते हैं और भिन्न-भिन्न रेडियो स्टेशन सुन सकते हैं।

हाल में संचार माध्यम के रूप में प्रकाशिक तंतु का व्यापक प्रयोग किया जाने लगा है। यहां आधार बैंड सिग्नल को प्रकाशिक (दृश्य या IR) तरंग के रूप में रूपांतरित (या मॉडुलित) किया जाता है और प्रकाशिक तंतु के माध्यम से प्रेषित किया जाता है। इस स्थिति में एक विशिष्ट प्रकार की बहुसंकेतन तकनीक का प्रयोग किया जाता है। इसे **तरंगदैर्घ्य विभाजन बहुसंकेतन (WDM)** कहा जाता है। यहां विभिन्न उपभोक्ताओं से प्राप्त सिग्नलों को विभिन्न तरंगदैर्घ्यों वाले प्रकाशिक सिग्नलों पर मॉडुलित किया जाता है। ये सिग्नल एक-दूसरे के बीच कोई बाधा डाले बिना एकल प्रकाशिक तंतु में एक साथ चल सकते हैं। अभिग्राही सिरे पर प्रकाशिक फिल्टरों का प्रयोग विभिन्न तरंगदैर्घ्य सिग्नलों को पृथक करने के लिए किया जाता है और तब मूल आधार बैड सिग्नलों को प्राप्त करने के लिए इसे विमॉडुलित किया जाता है।

इस बात की ओर आपने अवश्य ध्यान दिया होगा कि तरंगदैर्घ्य और आवृत्ति एक-दूसरे के पूरक होते हैं और दोनों को समान बहुसंकेतन तकनीक माना जा सकता है। परंतु, जैसा आप इकाई 1 में पढ़ चुके हैं, प्रकाशिक सिग्नलों के संदर्भ में तरंगदैर्घ्य के पदों का प्रयोग किया

जाता है, जबकि अवरक्त तरंगदैर्घ्य से अधिक तरंगदैर्घ्य वाले वैद्युत या विकिरण प्रकार के सिग्नलों को उनकी आवृत्तियों के पदो में निर्देशित किया जाता है। WDM और FDM के कार्यान्वयन में प्रयुक्त तकनीक, परिपथ स्रोत और संसूचक की दृष्टि से बिलकुल भिन्न-भिन्न है। अतः इन्हें दो अलग-अलग बहुसंकेतन विधियां माना जाता है। इन सभी बहुसंकेतन तकनीकों का प्रयोग संचार चैनलों को अधिक दक्ष रूप से उपयोग में लाने में किया जाता है। संचार तंत्र का व्यापारिक प्रयोग उसकी दक्षता पर निर्भर करता है। जब एक ही संचार चैनल अधिक उपभोक्ताओं के लिए हो, तो आर्थिक दृष्टि से वह लाभकारी होता है, अतः अधिक से अधिक दक्ष बहुसंकेतन तकनीक के विकास के लिए अत्यधिक अनुसंधान कार्य किया जा रहा है।

जब इन बहु-संकेतन तकनीकों का प्रयोग एक से अधिक उपभोक्ताओं को अभिगम कराने में किया जाता है, तब इन्हें **बहुअभिगम तंत्र (multiple access system)** कहा जाता है। बहुअभिगम तंत्र मुख्यतः निम्नलिखित तीन वर्ग के होते हैं:

i) काल विभाजन बहुअभिगम (TDMA);

ii) आवृत्ति विभाजन बहुअभिगम (FDMA); और

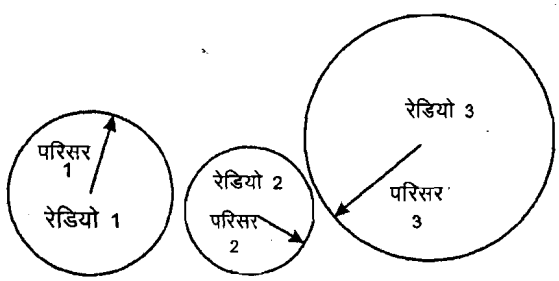
iii) कोड विभाजन बहुअभिगम (CDMA)।

अगले भागों में हम इन विभिन्न बहुसंकेतन और बहुअभिगम तंत्रों पर चर्चा करेंगे। अगले भाग में आप *आकाशीय (दिक्) विभाजन बहुसंकेतन* के बारे में अध्ययन करेंगे।

8.3 आकाशीय (दिक्) विभाजन बहुसंकेतन (SDM)

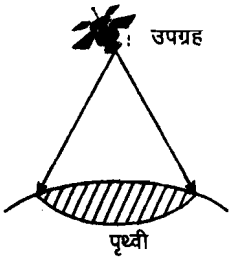
क्रॉस-बार एक्सचेंजों में उपभोक्ताओं की टेलीफोन लाइनें पंक्तियों और स्तंभ वाले मैट्रिक्स के रूप में संबंधित होती हैं। पंक्ति और स्तंभ के बीच लगे स्विच को सक्रिय करके किसी भी पंक्ति को किसी भी स्तंभ से जोड़ा जा सकता है। यह संबंधन की एक योजना है जहां सिग्नल ले जाने के लिए आकाश (दिक्) में एक भौतिक पथ बनाया जाता है। पहले टेलीफोन एक्सचेंजों में इस प्रकार के बहुसंकेतन का व्यापक प्रयोग होता था। क्योंकि यहां प्रत्येक उपभोक्ता को एक अलग चैनल नियत करना होता है; इसलिए यह विधि दक्ष नहीं होती। अतः आकाशीय (दिक्) विभाजन बहुसंकेतन के स्थान पर काल और (दिक्) विभाजन बहुसंकेतन के संयोजन का, जिसे S-T (space-time) स्विचन कहा जाता है, प्रयोग किया जाता है। यहां बहुआकाशीय (दिक्) स्विचों को एकल काल चैनल से जोड़ दिया जाता है अर्थात् एकल चैनल पर भिन्न-भिन्न समयांतरालों पर भिन्न-भिन्न SDM सिग्नल भेजे जाते हैं।

SDM का एक अन्य व्यापक अनुप्रयोग रेडियो और उपग्रह संचार में होता है। अलग-अलग नगरों में स्थित रेडियो स्टेशन एक-दूसरे से अनेक किलोमीटर दूर होते हैं। अब, एक स्टेशन से प्रेषित किए सिग्नल जैसे-जैसे स्टेशन से दूर जाते हैं, वैसे-वैसे उनका क्षीणन होता जाता है, और प्रेषित्र के परिसर से परे होते ही ये काफी दुर्बल हो जाते हैं। अतः इस परिसर से परे समान वाहक आवृत्ति का प्रयोग किसी अन्य स्टेशन के लिए किया जा सकता है जिसके प्रेषित्र का परिसर पहले स्टेशन के परिसर से बाहर हो। इसे चित्र 8.1 में दिखाया गया है। यहां आकाशीय (दिक्) प्रांत में प्रेषित्रों के भौतिक पृथक्करण का प्रयोग समान वाहक आवृत्ति सिग्नलों को लागू करने के लिए किया जाता है। यह प्रदेश विशिष्ट प्रेषण आकाशीय (दिक्) विभाजन बहुसंकेतन का एक रूप ही होता है। आपको याद होगा कि इसी प्रकार की विधि का प्रयोग सैलुलर मोबाइल टेलीफोनी में आवृत्ति के पुनः प्रयोग में किया जाता है।



चित्र 8.1: रेडियो संचरण में SDM

यही बात उपग्रह संचार में भी लागू होती है। एक-दूसरे के सिग्नल में कोई बाधा पहुंचाए बिना भिन्न-भिन्न पाद मुद्रण (foot print) प्रदेश वाले दो उपग्रह समान आवृत्ति का प्रयोग कर सकते हैं। उपग्रह का *पाद मुद्रण* पृथ्वी की सतह पर वह प्रदेश है जहां उपग्रह से आ रहे सिग्नल का प्रग्रहण (capture) किया जा सकता है। इसे चित्र 8.2 में दिखाया गया है।

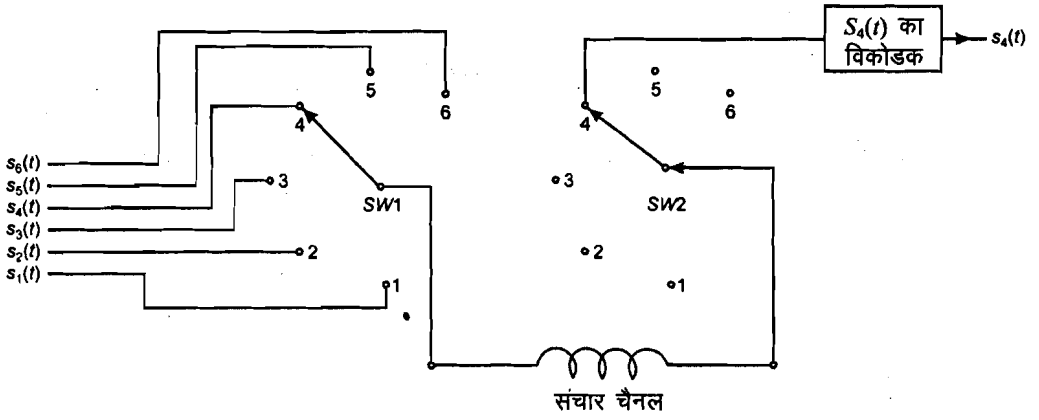


चित्र 8.2: एक उपग्रह का पाद मुद्रण

आकाशीय (दिक्) विभाजन बहुसंकेतन के बारे में अध्ययन कर लेने के बाद आइए, अब हम एक अन्य महत्त्वपूर्ण बहुसंकेतन विधि अर्थात् *काल विभाजन बहुसंकेतन* (TDM) पर चर्चा करें।

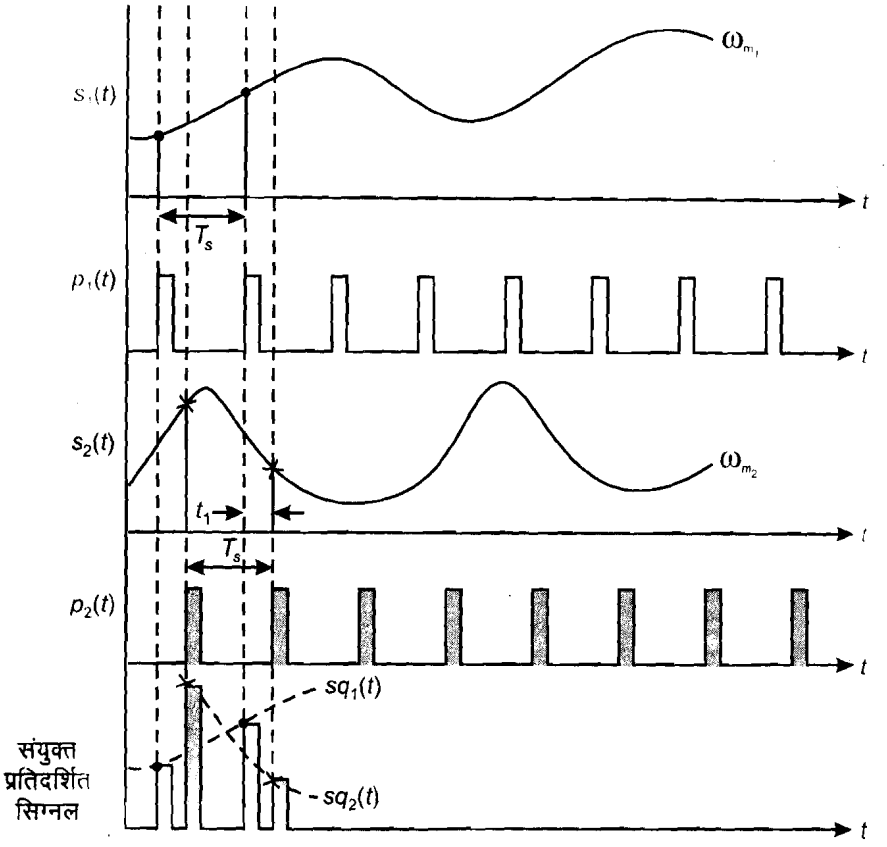
8.4 काल विभाजन बहुसंकेतन (TDM)

काल विभाजन बहुसंकेतन में प्रतिचयन-सिद्धांत (principle of sampling) का प्रयोग किया जाता है। चित्र 8.3 में SW_1 और SW_2 घूर्णी स्विच हैं जिनके संपर्क बिन्दु 1, 2, 3,.....आदि हैं। स्विच SW_1, प्रेषित सिरे पर होता है और SW_2 अभिग्राही सिरे पर होता है।



चित्र 8.3: TDM में प्रतिचयन का प्रयोग

दोनों ही स्विच तुल्यकालिक काम करते हैं अर्थात् समान क्रमांक के संपर्क बिन्दुओं पर ये एक साथ संपर्क स्थापित करते हैं। विभिन्न स्रोतों से आ रहे सिग्नलों को घूर्णी स्विच के भिन्न-भिन्न संपर्क बिन्दुओं से जोड़ दिया जाता है। जब स्विच SW_1 का घूर्णी भुज घूमता है, तब यह एक-एक करके प्रत्येक सिग्नल को प्रतिचयित करता है। मान लीजिए कि SW_1 संपर्क बिन्दु-4 पर है और $S_4(t)$ सिग्नल का प्रतिचयन करता है। क्योंकि SW_2, SW_1 के साथ तुल्यकालिक गतिमान होता है इसलिए बिन्दु-4 पर प्रतिचयित सिग्नल SW_2 के संपर्क बिन्दु-4 पर एक-साथ उपलब्ध हो जाता है। स्विच के प्रत्येक परिक्रमण पर प्रत्येक निवेश सिग्नल का एक प्रतिदर्श (sample) लिया जाता है और अभिग्राही सिरे के स्विच के संगत क्रमांक के संपर्क बिन्दु पर प्रस्तुत किया जाता है। अभिग्राही के प्रत्येक टर्मिनल पर प्रस्तुत प्रतिदर्शावलि (sample train) निम्न पारक फिल्टर से होकर जाती है। निम्न पारक फिल्टर का निर्गम मूल सिग्नल होता है। यदि किसी निवेश सिग्नल में ω_M उच्चतम आवृत्ति घटक हो तो प्रतिचयन प्रमेय को संतुष्ट करने के लिए स्विचों को प्रति सेकंड कम से कम $2\omega_M$ परिक्रमाएं अवश्य करनी चाहिए। जब अपेक्षित स्विचन चाल यांत्रिक स्विचों के परिसर से बाहर होती है, तब इलेक्ट्रॉनिक स्विचन का प्रयोग किया जाता है। चित्र 8.4 में विभिन्न चैनलों से प्राप्त प्रतिदर्शों का अंतर्ग्रथन (interlacing) दिखाया गया है। इस अंतर्ग्रथन के कारण सिग्नलों का बहुसंकेतन किया जा सकता है। सरलता के लिए यहां केवल दो सिग्नल $S_1(t)$ और $S_2(t)$ का बहुसंकेतन दिखाया गया है। दोनों सिग्नलों का प्रतिचयन T_s के अंतराल पर किया गया है, परन्तु इन प्रतिदर्शों को t_1 से पृथक्कृत अलग-अलग समयों पर लिया गया है। आपने $S_2(t)$ के पहले प्रतिदर्श और $S_1(t)$ के दूसरे प्रतिदर्श के बीच के रिक्त समय अंतराल की ओर अवश्य ध्यान दिया होगा। इस समय अंतराल $(T_S - t_1)$ का उपयोग अनेक अन्य सिग्नलों को समाविष्ट करने के लिए किया जा सकता है। यह काल पैमाने पर किया गया बहुसंकेतन है और इसे **काल-विभाजन बहुसंकेतन** कहा जाता है।



चित्र 8.4: विभिन्न चैनलों से प्राप्त प्रतिदर्शों का अंतर्ग्रथन

समय
3 मिनट

बोध प्रश्न 1

यदि 2 ms की अवधि वाले स्पंदों का प्रयोग प्रत्येक सिग्नल का प्रतिचयन करने में किया जाता हो और दो क्रमागत सिग्नलों के बीच 2 ms अंतराल छोड़ दिया गया हो, तो एक TDM तंत्र द्वारा 10 Hz की प्रतिचयन दर से कितने सिग्नल चैनलों का प्रबंधन किया जा सकता है?

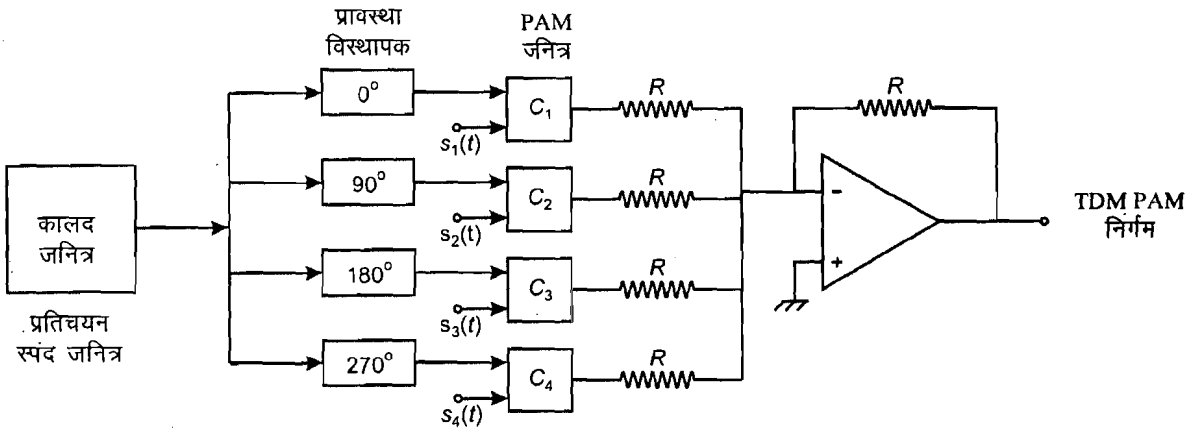
TDM में स्पंद आयाम मॉडुलन का प्रयोग

आप इकाई 6 में स्पंद आयाम मॉडुलन (PAM) के बारे में पढ़ चुके हैं। PAM का मुख्य उद्देश्य निम्न आवृत्ति प्रवर्धकों में शक्ति क्षय का संरक्षण करना है। इसकी व्याख्या करने के लिए यदि हम यह मान लें कि PAM में उपयोगिता अनुपान (duty cycle) 10% हो, तो प्रवर्धक केवल 10% समय तक कार्य करता है और शेष 90% समय तक तंत्र का प्रवर्धक निष्क्रिय बना रहता है। इस अक्रियाशील समय में काल विभाजन बहुसंकेतन का प्रयोग करके तंत्र का प्रयोग अन्य चैनलों से आने वाले सिग्नलों का प्रक्रमण करने में किया जा सकता है।

चित्र 8.5 में चार PAM सिग्नलों का TDM दिखाया गया है। इसका अर्थ यह है कि कोई बाधा डाले बिना और आधार बैंड आवृत्ति अनुक्रिया में वृद्धि किए बिना तंत्र चार सिग्नलों को एकल तार-युग्म पर परिवहन करने की सुविधा दे सकता है। इस तंत्र में चार स्पंद आयाम मॉडुलक C_1, C_1, C_3 और C_4 हैं। प्रत्येक संदेश में 300 Hz से लेकर 4 kHz (वाक् चैनल परिसर) के बीच की आवृत्तियां होती हैं। कालद स्पंद जनित्र (clock pulse generator) 20% उपयोगिता अनुपात के साथ 8 kHz पर एक वर्ग तरंग होता है। इसका प्रयोग परिपथ C_1 का नियंत्रण करने के लिए किया जाता है, जो चित्र 6.7 में दिखाए गए परिपथ के समान है। इसी द्वार स्पंद (gating pulse) में 90° का विलंब करके इसका प्रयोग C_2 को 'ON' करने के लिए किया जाता है। इसमें 90° का और (कुल 180° का) विलंब करके यह C_3 को 'ON' करने में प्रयुक्त किया जाता है। 90° के और (कुल 270° का) विलंब के साथ इसे C_4 को भरण कर दिया जाता है।

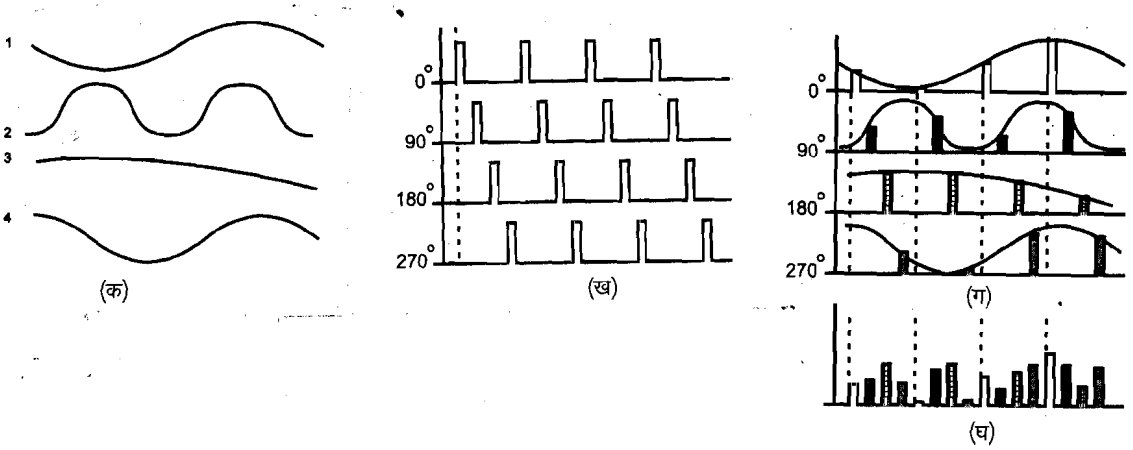
प्रत्येक प्रवर्धक 20% समय तक ON रहता है। एक प्रवर्धक के OFF होने और अगले प्रवर्धक के ON होने के बीच 5% समय-अंतराल (शांत काल) होता है। इससे एक ही क्षण पर दो

प्रवर्धकों के साथ ON होने से बचा जा सकता है। C_1, C_2, C_3 और C_4 के निर्गम PAM सिग्नल होते हैं। प्रत्येक का निर्गम एक-दूसरे से 90° से विस्थापित होता है अतः निर्गम पर एक समय पर केवल एक ही सिग्नल दिया जाता है। एक संयोजक प्रवर्धक का प्रयोग करके इन निर्गमों को जोड़ा जाता है। यह एक स्पंदावलि का रूप ले लेता है जिसमें जिसमें क्रमागत स्पंद विभिन्न सिग्नलों को निरूपित करते हैं। 4 PAM चैनलों का प्रबंधन करने वाले TDM तंत्र के विभिन्न चरणों पर तरंग आकार चित्र 8.6 में दिखाए गए हैं।



चित्र 8.5: 4 PAM सिग्नलों का TDM

निर्गम में 300 Hz से लेकर 4 kHz तक के बीच की कोई और सारी आवृत्तियों के अतिरिक्त 8 kHz की द्वार सिग्नल आवृत्ति होती है।



चित्र 8.6 : 4 PAM चैनलों वाले TDM तंत्र के तरंग आकार : क) संदेश निवेश; ख) कालद स्पंद; ग) मॉडुलित स्पंद; और घ) चार प्रतिदर्शित सिग्नलों का योग

काल-विभाजन बहुसंकेतन के नियम और कार्य-प्रणाली समझ लेने के बाद अब आइये आवृत्ति विभाजन बहुसंकेतन (FDM) के बारे में अध्ययन करें।

8.5 आवृत्ति विभाजन बहुसंकेतन (FDM)

किसी भी प्रेषण के लिए कुछ विशिष्ट आवृत्ति बैंड आरक्षित रखे जाते हैं। प्रायः इन बैंडों की चौड़ाई प्रेषित किए जाने वाले सिग्नल की आधार बैंड आवृत्ति (श्रव्य के लिए 20 kHz, वीडियो के लिए 4.2 MHz, आदि) से काफी अधिक होती है। अतः नियत की गई बैंड चौड़ाई का इष्टतम प्रयोग करने के लिए समान बैंड पर अनेक सिग्नलों का उचित ढंग से मॉडुलन किया जाता है और तब भेजा जाता है। आवृत्ति विभाजन बहुसंकेतन में प्रेषण के लिए अनुमत पूरे बैंड को छोटे-छोटे स्लॉटों (या चैनलों) में विभाजित कर दिया जाता है जिनकी बैंड चौड़ाई इतनी होती है कि वह एक ही सिग्नल का प्रबंधन कर सकें। इनमें से प्रत्येक चैनल की एक विशिष्ट

वाहक आवृत्ति होती है। विशिष्ट चैनल को नियत किया गया सिग्नल उस चैनल से संबंधित वाहक आवृत्ति पर मॉडुलित किया जाता है और प्रेषित किया जाता है। अभिग्राही सिरे पर इस वाहक आवृत्ति को घटाकर सिग्नल पुनः प्राप्त कर लिया जाता है।

टेलीफोनी में, आधार बैंड वाक् सिग्नल 0.3 kHz से 3.4 kHz के परिसर में होता है। टेलीफोनी में प्रयुक्त सरलतम तंत्र 3-चैनल तंत्र है। इस तंत्र में, तीन वाक् चैनलों से सिग्नल का प्रेषण करने के लिए 7 kHz से 17 kHz तक के बैंड का प्रयोग किया जाता है। इस स्थिति में, चैनल 1 को 7 kHz वाहक से मॉडुलित किया जाता है; चैनल 2 को 10.5 kHz से मॉडुलित किया जाता है और चैनल 3 को 14.0 kHz से मॉडुलित किया जाता है।

मॉडुलन के बाद इसमें निम्न पार्श्व बैंड (LSB: Lower Side Band) वाहक और उच्च या उपरि पार्श्व बैंड (USB: Upper Side Band) वाहक होते हैं। परंतु, एक सु-अभिकल्पित मॉडुलक परिपथ में वाहक दमित होगा। क्योंकि दोनों पार्श्व बैंडों में सिग्नल सूचनाएं अंतर्विष्ट होंगी, इसलिए मितव्यय की दृष्टि से हम किसी एक पार्श्व बैंड का प्रयोग भी कर सकते हैं।

अतः पहले चैनल में 0.3 से 3.4 तक के वाक् बैंड को 7 kHz वाहकों से मॉडुलित किया जाता है और मॉडुलक का निर्गम है 7 kHz ± (0.3 से 3.4 kHz तक) अर्थात् 6.7 से 3.6 kHz तक और 7.3 से 10.4 kHz तक होता है। जब दूसरे चैनल को 10.5 kHz से मॉडुलित किया जाता है, तब इसके निम्न और उपरि पार्श्व बैंड क्रमशः 10.2 से 7.1 kHz तक और 10.8 से 13.9 kHz तक होते हैं। तीसरे चैनल को 14 kHz से मॉडुलित किया जाता है। अतः निम्न और उपरि पार्श्व बैंड क्रमशः 13.7 से 10.6 kHz तक और 14.3 से 17.4 kHz तक होते हैं।

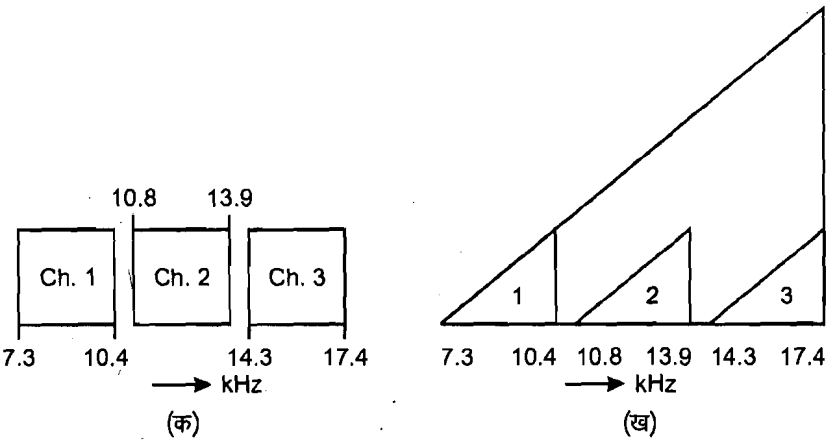
क्योंकि प्रेषण के लिए उपरि बैंडों का प्रयोग किया जाता है, इसलिए

चैनल 1 को 7.3 से 10.4 kHz तक के आवृत्ति-स्लॉट में रखा जाता है,

चैनल 2 को 10.8 से 13.9 kHz के आवृत्ति-स्लॉट में रखा जाता है, और

चैनल 3 को 14.3 से 17.3 kHz के आवृत्ति-स्लॉट में रखा जाता है।

चित्र 8.7क में ये चैनल दिखाए गए हैं। चित्र 8.7ख में 3-चैनल तंत्र के संयोजित पार्श्व बैंड दिखाए गए हैं।

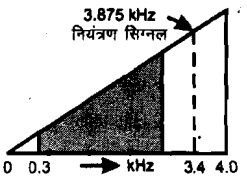


चित्र 8.7: क) 3-चैनल वाहक टेलीफोन तंत्र; और ख) 3-चैनल तंत्र के संयोजित पार्श्व बैंड

अतः चैनल मॉडुलन (वाहक) आवृत्तियां (3-चैनल तंत्र में 7 kHz, 10.5 kHz और 14 kHz) की सहायता से हम आवृत्तियों का एक **बैंड** बना सकते हैं जो लाइन पर या किसी अन्य संचरण माध्यम से प्रेषण के लिए तैयार होता है। इस प्रकार के **बैंड** को **लाइन आवृत्ति (line frequency)** कहा जाता है।

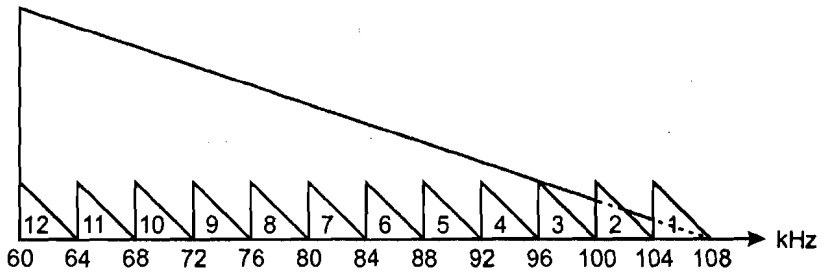
राष्ट्रीय और अंतर्राष्ट्रीय स्तर पर प्रेषित सिग्नलों में सुसंगति लाने के लिए जनेवा, स्विट्जरलैंड में स्थित अंतर्राष्ट्रीय दूरसंचार संघ (ITU: International Telecommunication Union) ने बहु-चैनल टेलीफोन तंत्र के लिए मॉडुलन योजनाओं का मानकीकरण किया है। ये मॉडुलन चैनलों का *ग्रुप, सुपरग्रुप, मास्टरग्रुप* और *सुपरमास्टर ग्रुप* बनाने के लिए किए जाते हैं।

इन मानकों के अनुसार वाक् सिग्नल 0.3 kHz से 3.4 kHz तक सीमित होता है और आवश्यक नियंत्रण सिग्नल (control signal) 3.825 kZ की आवृत्ति पर भेजा जाता है। चित्र 8.8 में प्रतिरूपी वाक् चैनल सिग्नल की आवृत्तियां दिखाई गई हैं जिसे 4 kHz बैंड चौड़ाई आबंटित की गयी है।



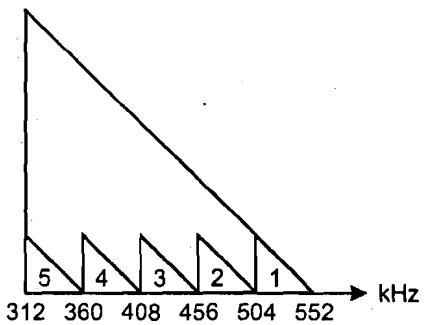
चित्र 8.8 : आधारभूत वाक् सिग्नल

ग्रुप (Group) 60 kHz से 108 kHz तक की आवृत्ति बैंड में मॉडुलित 12 वाक् चैनलों से परिभाषित होती है। प्रत्येक वाक् चैनल 4 kHz की बैंड चौड़ाई वाला होता है। 3-चैनल टेलीफोनी की भांति एक ग्रुप में 60 kHz से 108 kHz तक के परिसर की 12 आवृत्तियों का प्रयोग 4 kHz आवृत्ति बैंड के 12 वाक् सिग्नलों का मॉडुलन करने में किया जाता है। चित्र 8.9 में एक प्रतिरूपी ITU ग्रुप की संरचना दिखाई गई है। इस स्थिति में निम्न पार्श्व बैंडों का प्रयोग किया जाता है। अतः वाहक आवृत्तियां 64 kHz, 68 kHz, 72 kHz.....108 kHz हैं। उच्चतम आवृत्ति चैनल (104–108 kHz) पहला चैनल होता है जबकि न्यूनतम आवृत्ति चैनल (60–64 kHz) बारहवां चैनल होता है। यहां प्रत्येक ग्रुप की बैंड चौड़ाई 48 kHz है।



चित्र 8.9: 12 चैनलों वाला ITU ग्रुप

इस प्रकार के पांच 12 चैनल ग्रुपों को उच्च आवृत्ति पर मॉडुलित करने पर एक **सुपरग्रुप (Supergroup)** प्राप्त होता है। इन ग्रुपों को 312–552 kHz के परिसर में मॉडुलित किया जाता है और निम्न पार्श्व बैंडों का प्रयोग प्रेषण के लिए किया जाता है। अतः एक सुपरग्रुप 60 वाक् चैनलों का प्रबंधन कर सकता है। इस मॉडुलन प्लान को चित्र 8.10 दिखाया गया है।



चित्र 8.10: ITU सुपरग्रुप की संरचना

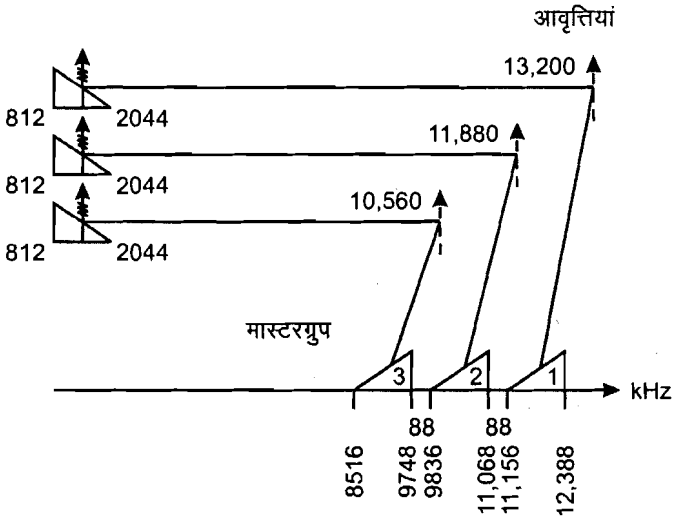
812–2044 kHz के मॉडुलन आवृत्ति परिसर में 5 सुपरग्रुपों का संयोजन करने पर **मास्टरग्रुप (Mastergroup)** बनता है। यह 300 वाक् चैनलों का प्रबंधन कर सकता है। इस स्थिति में प्रत्येक सुपरग्रुप चैनल के बीच 8 kHz बैंड मुक्त छोड़ दिया जाता है जिससे संलग्न सुपरग्रुपों के बीच कोई व्यतिकरण न हो। अतः मास्टरग्रुप की बैंड चौड़ाई, (5 × 240 kHz + 4 × 8 kHz) के संगत 1232 kHz होती है।

बोध प्रश्न 2

समय 5 मिनट

5 सुपर ग्रुपों को संयोजित करके एक मास्टरग्रुप बनाने के लिए मॉडुलन प्लान बनाइए।

8516–12388 kHz के आवृत्ति बैंड में तीन मास्टरग्रुपों को संयोजित करने पर एक **सुपरमास्टर ग्रुप** बनता है। अतः एक सुपरमास्टर ग्रुप 900 वाक् चैनलों का प्रबंधन कर सकता है। यहां पर प्रत्येक मास्टरग्रुप के बीच 88 kHz आवृत्ति बैंड मुक्त छोड़ दिया जाता है जैसा कि चित्र 8.11 में दिखाया गया है।



चित्र 8.11: 900 वाक् चैनलों का वाहन करने वाला सुपरमास्टर ग्रुप

इस प्रकार आवृत्ति बहुसंकेतन तकनीक लागू करके एक एकल प्रेषण माध्यम से अनेक टेलीफोन सिग्नलों का प्रबंधन किया जाता है। इस बात की ओर आपने अवश्य ध्यान दिया होगा कि इस आवृत्ति विभाजन बहुसंकेतन योजना में हमने धीरे-धीरे ग्रुप से सुपरग्रुप से मास्टरग्रुप से सुपरमास्टर ग्रुप तक वाहक आवृत्ति में वृद्धि की है। योजना के इलेक्ट्रॉनिक कार्यान्वयन की व्यावहारिकता को ध्यान में रखने के कारण यह किया जाता है। एक ऐसा परिपथ प्राप्त करना काफी कठिन होता है जो एक संकीर्ण बैंड वाक् सिग्नल (4 kHz) को 13 MHz वाहक तरंग (सुपरमास्टर ग्रुप वाहक आवृत्ति), जो आवृत्ति में लगभग 3000 गुना अधिक है पर सीधे मॉडुलित कर सकें। ऐसा इसलिए होता है, क्योंकि हमारे पास एक निम्न आवृत्ति सिग्नल है जो वाहक आवृत्ति का लगभग 0.01% है। अतः मॉडुलन परिपथ में युक्तियों की परिशुद्धता (precision) अत्यधिक उत्तम होनी चाहिए। यह बहुत अधिक व्यावहारिक नहीं है और साथ ही इसमें अधिक लागत भी आती है। इसके स्थान पर जब मॉडुलन चरणशः किया जाता है तो वाहक आवृत्ति में धीरे-धीरे वृद्धि होती है और व्यावहारिक रूप से उपलब्ध घटकों का प्रयोग परिपथ कार्यान्वयन के लिए किया जा सकता है।

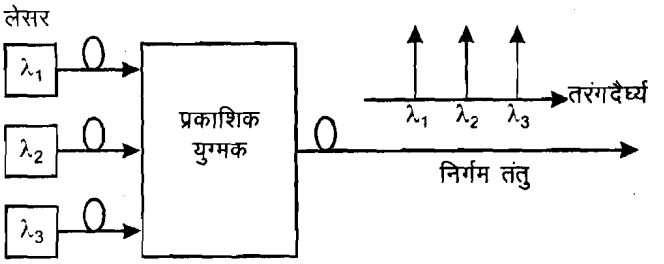
आइए, अब हम इस तकनीक के एक परिवर्त (variant), जो प्रकाशिक तंतु पर लागू किया जाता है, पर चर्चा करें।

8.6 तरंगदैर्घ्य विभाजन बहुसंकेतन (WDM)

पिछले भाग में हमने एकल विद्युत् पथ पर गतिमान विभिन्न आवृत्तियों के रूप में बहुसंकेतन के बारे में चर्चा की है। इसी योजना का प्रयोग एक प्रकाशिक तंतु के माध्यम से प्रकाशिक सिग्नल भेजने में किया जा सकता है। बहु-चैनल प्रकाशिक तंत्रों के प्रयोग को प्रेरणा देने वाला चालक बल प्रकाशिक तंतु में उपलब्ध विस्तृत बैंड चौड़ाई है। प्रतिरूपी प्रकाशिक तंतु 1.55 μm तरंगदैर्घ्य के आस-पास 25000 GHz (25 THz) तक की बैंड चौड़ाई का प्रबंधन कर सकता है। इस चौड़ाई के अंतर्गत प्रकाशिक तंतु की प्रेषण हानियां बहुत कम होती हैं। स्पष्ट है कि इस बिट-दर वाली प्रकाशिक युक्तियों को उपलब्ध करना आज तक संभव नहीं हुआ है, क्योंकि लेसर, बाह्य मॉडुलक, स्विच या संसूचक की बैंड चौड़ाई 100 GHz से कम होती है। इस तरह, एकल उच्च चाल (high speed) चैनल उपलब्ध तंतु बैंड चौड़ाई के अति लघु भाग का उपयोग करता है।

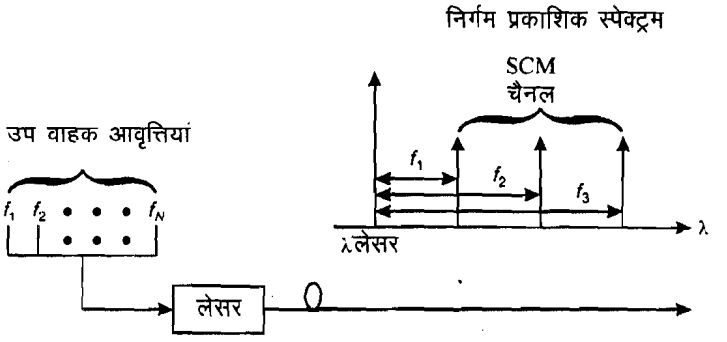
तंतु के टेराहर्ट्ज बैंड चौड़ाई के और अधिक उपयोग के लिए हम ऐसे हल प्राप्त करना चाहते हैं जिनमें अनेक आधार बैंड मॉडुलित चैनल एक एकल तंतु पर प्रेषित होते हैं, परन्तु प्रत्येक चैनल विभिन्न तरंगदैर्घ्य पर स्थित होता है, जैसा चित्र 8.12 में दिखाया गया है। N विभिन्न तरंगदैर्घ्य लेसर में से प्रत्येक लेसर धीमी चाल (गीगाबाइट प्रति सेकंड) से प्रचालित होता है परन्तु कुल तंत्र (aggregate system) प्रत्येक लेसर चाल की N गुनी चाल से प्रेषण करता है,

जिससे एक सार्थक क्षमता वृद्धि होती है। प्रतिवेशी चैनलों के बीच की अवांछित वार्ता (cross talk) से बचने के लिए WDM चैनलों को तरंगदैर्घ्य में पृथक किया जाता है। WDM की सहायता से हम अधिक तंतु बैंड चौड़ाई का प्रयोग कर सकते हैं यद्यपि विभिन्न युक्ति, तंत्र और नेटवर्क समस्याएं पूर्ण तंतु बैंड चौड़ाई का प्रयोग सीमित कर देती हैं।



चित्र 8.12 : एक एकल प्रकाशिक तंतु में संचरित अनेक WDM चैनल

WDM से संकल्पनात्मक रूप से संबंधित एक अन्य विधि उपवाहक बहुसंकेतन (SCM: Subcarrier Multiplexing) है। यहां ~10 Mbps (10^7) आधार बैंड आंकड़ों को एक ~ टेराहर्ट्ज (10^{12}) प्रकाशित वाहक तरंग पर सीधे मॉडुलित करने के स्थान पर आधार बैंड आंकड़ों को पहले एक ~ गीगा हर्ट्ज (10^9) उपवाहक तरंग पर मॉडुलित किया जाता है, और उसे आगे TH_Z प्रकाशिक वाहक पर मॉडुलित किया जाता है। चित्र 8.13 में वह स्थिति दिखाई गई है जिसमें प्रत्येक चैनल अलग-अलग उप-वाहक आवृत्ति पर स्थित है और इस तरह प्रकाशिक वाहक के परिवेश में स्पेक्ट्रम के विभिन्न भाग को अध्यासित कर लेता है। SCM चैनलों के बहुसंकेतन और वि-बहुसंकेतन (demultiplexing) के लिए इलेक्ट्रॉनिक परिपथों का प्रयोग किया जा सकता है और यह आवश्यक नहीं है कि प्रत्येक चैनल के लिए समर्पित प्रकाशिक घटकों का प्रयोग किया ही जाए। इसका स्पष्ट लाभ यह है कि एक ही महंगे प्रकाशिक घटकों का प्रयोग अनेक चैनल कर सकते हैं। वैद्युत घटक प्रारूपतः प्रकाशिक घटकों से कम कीमती होते हैं। SCM में वैद्युत और प्रकाशिक घटकों की उपलब्ध बैंड चौड़ाईयों के कारण अधिकतम उप-वाहक आवृत्ति और आंकड़ा दर सीमित होते हैं। अतः यदि हम तंतु की बैंड चौड़ाई के सार्थक भिन्न का उपयोग करना चाहते हैं तो SCM का उपयोग WDM के साथ करना होगा।



चित्र 8.13 : एकल लेसर से प्रेषित अनेक SCM चैनलों का आवृत्ति स्पेक्ट्रम

आपने आकाशीय (दिक्), काल, आवृत्ति और तरंगदैर्घ्य प्रांतों में बहुसंकेतन के बारे में पढ़ा। आइए, अब हम बहुअभिगम की एक अन्य योजना पर चर्चा करें, जो कि हाल ही में मोबाइल टेलीफोनी में व्यापक रूप से प्रयुक्त प्रौद्योगिकी है।

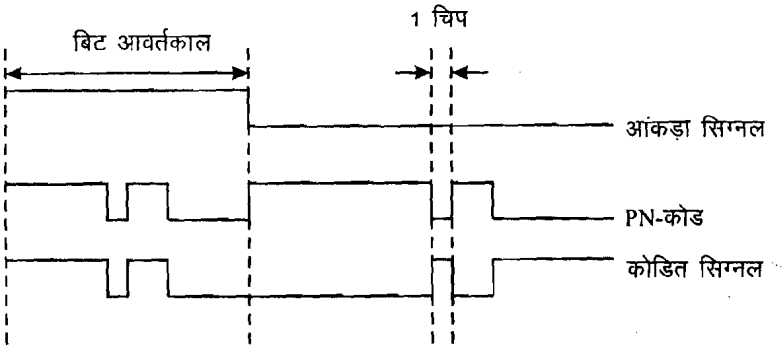
8.7 कोड विभाजन बहुअभिगम (CDMA)

आजकल मोबाइल टेलीफोन बहुत अधिक लोकप्रिय होते जा रहे हैं। इन मोबाइल फोनों द्वारा मुख्यतः दो संचार विधाओं का प्रयोग किया जाता है। ये विधाएं हैं: **कोड विभाजन बहुअभिगम (CDMA: Code Division Multiple Access)** और **सार्वत्रिक तंत्र मोबाइल (GSM: Global Systems Mobile)**। GSM एक अंकीय मोबाइल टेलीफोन तंत्र है जिसका व्यापक प्रयोग

यूरोप और विश्व के अन्य भागों में किया जाता है। इसमें TDMA के एक विचरण का प्रयोग होता है और यह व्यापक रूप से प्रयुक्त प्रौद्योगिकी है। GSM आंकड़ों को अंकरूपित (digitises) और संपीडित (compress) करता है और तब उपभोक्ता आंकड़ों (user data) की अन्य दो धाराओं के साथ, जिनमें से प्रत्येक अपने काल-स्लॉट में होती है, चैनल में भेज देता है। यह या तो 900 MHZ या 1800 MHz आवृत्ति बैंड पर प्रचालित होता है। यह प्रौद्योगिकी लघु संदेश प्रेषण सेवाएं (SMS : Short Messaging Services) जैसी सेवाएं प्रदान करती है। इस इकाई में हम GSM प्रौद्योगिकी पर विस्तार से चर्चा नहीं करेंगे; परन्तु अब हम CDMA पर चर्चा करेंगे।

कोड विभाजन बहुअभिगम (CDMA) एक तकनीक है जो मूल सिग्नल की अपेक्षा अधिक बैंड चौड़ाई पर एक विशेष सिग्नल में समाविष्ट सूचनाओं को फैला देता है। अर्थात् यह कहा जा सकता है कि CDMA एक **विस्तृत स्पेक्ट्रम प्रौद्योगिकी (wide spectrum technology)** है। विस्तृतीकरण प्रक्रम में एक सिग्नल के उन आंकड़ा बिटों पर अंकीय कोड लागू किया जाता जिन्हें चैनल पर प्रेषित किया जा रहा है। अभिग्राही सिरे पर कोड हटा दिया जाता है और अपेक्षित सिग्नल पुनः प्राप्त कर लिया जाता है।

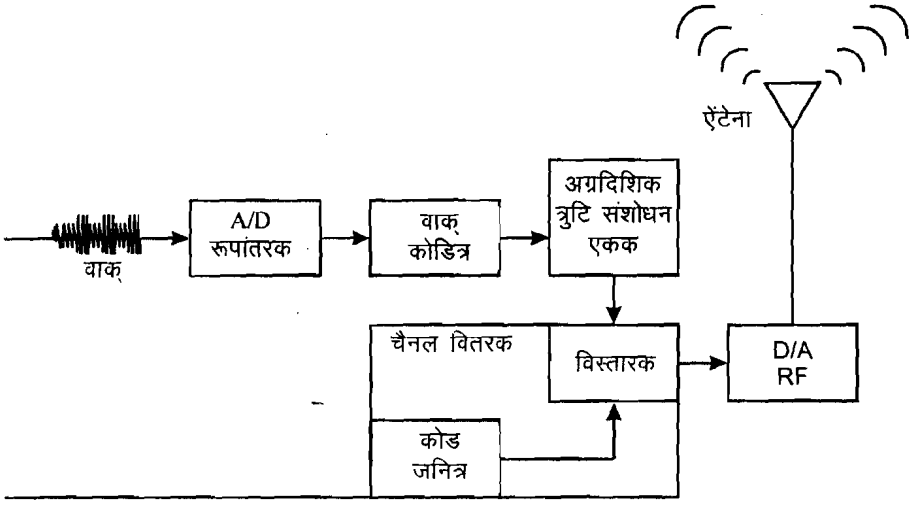
एक विस्तृतीकरण अनुक्रम (spread sequence) से रेडियो आवृत्ति का मॉडुलन करके CDMA विस्तृत स्पेक्ट्रम सिग्नल का सृजन किया जाता है। यह द्वि-आधारी स्पंदों की श्रेणी वाला एक कोड है जिसे **छद्म रव कोड (*PN*- कोड pesude-noise code)** कहा जाता है। *PN*- कोड अनिवार्यतः -1 से 1 तक (ध्रुवी) या 0 से 1 तक (अध्रुवी) के परिसर में उच्च आंकड़ा दर बिटों जिन्हें जिन्हें चिप (chip) कहा जाता है, का एक अनुक्रम होता है। RF सिग्नल की तुलना में *PN*- कोड अति उच्च दर से गतिमान होता है और वास्तविक प्रेषण की बैंड चौड़ाई निर्धारित करता है। *PN* कोड को मूल मॉडुलित सिग्नल से गुणा करने का प्रत्यक्ष परिणाम सिग्नल को छोटे-छोटे बिटों में विभाजित करना होता है। इस प्रक्रम को चित्र 8.14 में दिखाया गया है। प्रयुक्त चिपों की संख्या जितनी अधिक होगी, परिणामी बैंड-चौड़ाई उतनी ही अधिक होगी अर्थात् बैंड-चौड़ाई चिपों की संख्या के समानुपाती होती है।



चित्र 8.14: PN-कोड की चिप अवधि

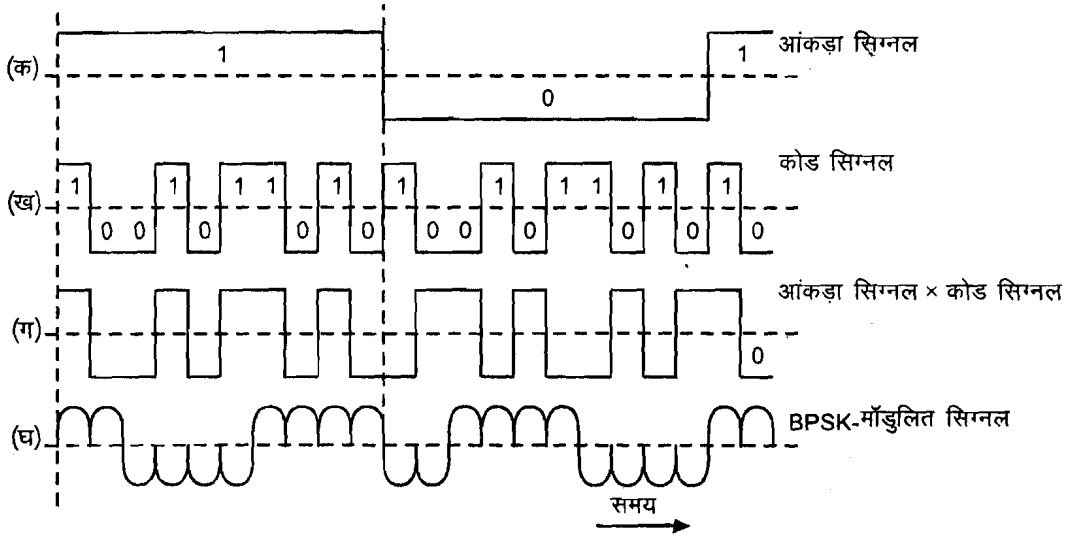
CDMA में उपभोक्ता एक सार्व आवृत्ति चैनल (common frequency channel) का सहभाजन (share) करते हैं। सभी उपभोक्ता एक ही आवृत्ति पर कार्य कर रहे होते हैं, परंतु प्रत्येक उपभोक्ता युग्म को एक विशिष्ट कोड दिया जाता है जो एक तो व्यतिकरण को कम कर देता है और साथ ही सुरक्षा में सुधार ला देता है। यह ठीक वैसा ही जैसा कि एक कमरे में बैठे अनेक लोग एक ही समय में अलग-अलग भाषाओं में बोल रहे हैं जिससे कि केवल वह व्यक्ति, जो आपको सुन रहा है, आपकी भाषा समझता है।

चित्र 8.15 में CDMA तंत्र की व्यवस्था दिखाई गई है। CDMA सिग्नल उत्पन्न करने का पहला चरण **अनुरूप से अंकीय** (A/D) **रूपांतरण** है जहां वाक् सिग्नल अंकीय रूप में रूपांतरित हो जाता है। तब **कोडित्र (encoder)** और **अंतरापत्रक (interleaver)** का प्रयोग करके अंकीय सिग्नल को कोडित किया जाता है। यह प्रक्रम प्रेषित सिग्नल में अतिरिक्तता लाने में सहायक होता है और आंकड़ों को पुनः प्राप्त करने में योगदान देता है, चाहे प्रेषण के दौरान कुछ त्रुटियां क्यों न आ जाती हों।



चित्र 8.15: CDMA जनित्र की व्यवस्था

तब प्रत्येक अलग संदेश के लिए वैयक्तिक कोडों का प्रयोग करके इन कोडित और अंतरापत्रित सिग्नलों को कोडित किया जाता है। इसे चित्र 8.15 के **चैनल वितरक (channeliser)** ब्लॉक में किया जाता है। इस ब्लॉक में एक **कोड जनित्र (code generator)** होता है जो विभिन्न (वाक्) स्रोतों से मिलने वाले संदेशों के अनुसार कोड उत्पन्न करता है। **विस्तारक (spreader)** ब्लॉक इस कोड को संदेश पर लागू करता है। चित्र 8.16 में एक प्रतिरूपी कोड विस्तृति तंत्र (spreading system) दिखाया गया है जहां आंकड़ा 10 (चित्र 8.16क) एक चिह्नक (signature) 1001011010 (चित्र 8.16ख) से कोडित किया गया है। इस कोड का प्रत्येक बिट एक **चिप** होता है। सिग्नल की बिट अवधि की तुलना में चिप की अवधि काफी कम होती है। अतः निम्न बैंड चौड़ाई वाला सिग्नल चिप दर द्वारा निर्धारित बड़ी बैंड चौड़ाई पर फैल जाता है। इस प्रक्रम का परिणाम चित्र 8.16ग में दिखाया गया है जिसे आगे BPSK- मॉडुलित किया जा सकता है, जैसा चित्र 8.16घ में दिखाया गया है।



चित्र 8.16: CDMA उत्पत्तिः क) मूल कॉल सिग्नल; ख) चिप रूप में कोड; ग) CDMA सिग्नल; और घ) मॉडुलित CDMA सिग्नल का BPSK

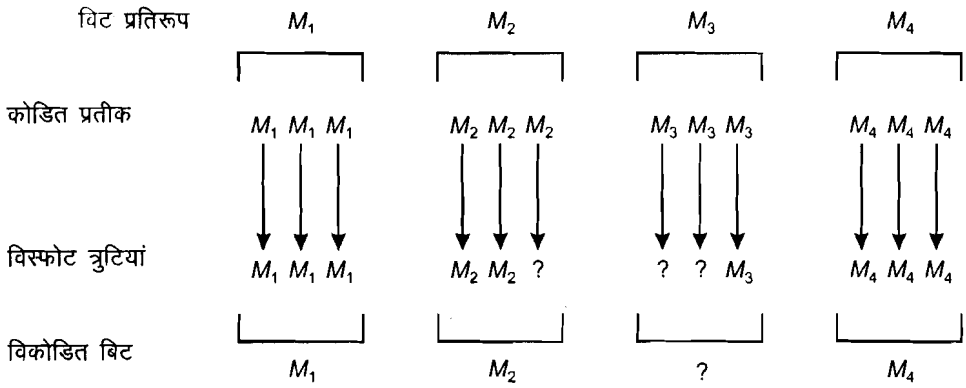
अब, अभिग्राही सिरे पर इस संदेश का विकोडन करने के लिए समान **कोड** का प्रयोग किया जाता है। विभिन्न उपभोक्ताओं से प्राप्त होने वाले सिग्नलों का कोडन विभिन्न कोडों का प्रयोग करके किया जाता है और संगत अभिग्रहण उपभोक्ता द्वारा वरणात्मकतः (selectively)

विकोडित किया जाता है। अतः यद्यपि अनेक सिग्नल समान संचार चैनल पर प्रवाहित होते रहते हैं, फिर भी इन सिग्नलों के बीच कोई व्यतिकरण विक्षोभ नहीं होता है।

कोडित विस्तारित स्पेक्ट्रम सिग्नल एक RF वाहक पर मॉडुलित किया जाता है और मुक्त अवकाश चैनल पर प्रेषित किया जाता है, जो अभिग्राही द्वारा अभिग्रहित होता है। अभिग्राही सिरे पर पहले RF मॉडुलित सिग्नल से RF वाहक हटाया जाता है; और तब सुसंगत कोडन सिग्नल से संदेश की विस्तृति हटायी जाती है। अभिग्राही सिरों पर विस्तृति हटाने के लिए केवल सिग्नल की विस्तृति के लिए प्रयुक्त किए गए कोड अनुक्रम को जानना पर्याप्त नहीं है, परंतु अभिग्रहण किए गए सिग्नलों के कोड और स्थानिकतः उत्पन्न कोड समय के साथ भी तुल्यकालित होने चाहिए। इस तुल्यकालन का प्रारंभन अभिग्रहण के प्रारंभ में किया जाता है और इसे तब तक तक बनाए रखा जाता है, जब तक कि पूरा सिग्नल प्राप्त नहीं हो जाता।

कोडन और विकोडन

प्रयुक्त की जाने वाली सरलतम कोडन विधि संवलनी (convolutional) कोडन हैं जहां प्रत्येक आंकड़े को त्रिगुणन (triplicate) में भेजा जाता है। चित्र 8.17 में संवलन का एक उदाहरण दिखाया गया है जहां चार संदेशों M_1, M_2, M_3 और M_4 को तीन बार दोहरा कर भेजा जाता है। अभिग्राही सिरे पर, विकोडक एक बहुसंख्यक तर्क सिद्धांत को लागू करके संदेश पहचानता है अर्थात् यदि कोई संदेश दो बार आता हो, तो इसे पहचान लिया जाता है।

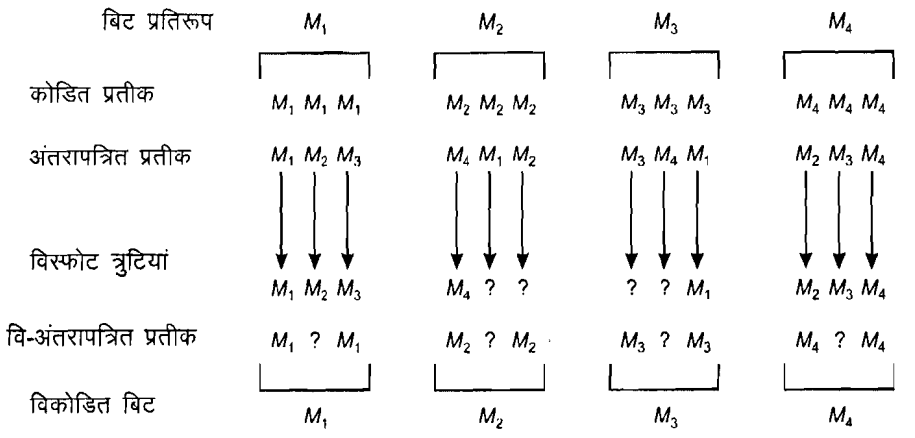


चित्र 8.17 : संवलनी कोडन

प्रेषण के दौरान संलग्न संदेशों में *विस्फोट त्रुटि (burst error)* आ सकती है। इस प्रकार की त्रुटि बहुतशः म्लानन (fading) या व्यतिकरण के कारण आ सकती है। चित्र 8.17 में संदेश M_2 और M_3 में विस्फोट त्रुटि आ गयी है। यहां क्योंकि केवल एक M_3 संदेश पहुंचा है, इसलिए अभिग्राही M_3 को पहचान नहीं सकता।

अंतरापत्रण लुप्त सूचना को पुनः प्राप्त करने में सहायक हो सकता है। अंतरापत्रण वह प्रक्रम है, जिसमें प्रेषण के पहले कोडित संदेशों को पुनः समूहित किया जाता है, जैसा कि चित्र 8.18 में दिखाया गया है। यहां M_1, M_2, M_3, M_4 संदेशों को क्रमागत भेजा जाता है और यह संपूर्ण अनुक्रम तीन बार दोहराया जाता है।

अभिग्राही सिरे पर अंतरापत्रित (interleaved) संदेशों को वि-अंतरापत्रित (de-interleaved) किया जाता है जिससे, तीन क्रमागत पुनरावृत्तियों (M_1, M_1, M_1, आदि) में भेजे गए संदेश मूल रूप में प्राप्त हो जाएं। इस प्रक्रम में यदि विस्फोट त्रुटियां आती हैं तो यह अंतरापत्रित सिग्नलों के भाग को प्रभावित करती हैं और वि-अंतरापत्रण के बाद सभी संदेशों में वितरित हो जाती हैं। जैसा कि चित्र से स्पष्ट है, सभी संदेशों का अभिग्रहण कम से कम दो बार होता है। इस तरह बहु-संख्यक तर्क से सभी संदेशों की पुनः प्राप्ति हो जाती है।



चित्र 8.18: संदेशों का अंतरापत्रण और वि-अंतरापत्रण

CDMA का वह प्रक्रम जिस पर हमने यहां चर्चा की है, **प्रत्यक्ष सिग्नल विस्तारित स्पेक्ट्रम (DS-SS : Direct Signal Spread Spectrum)** कहलाता है।

यदि अनेक उपभोक्ता एक ही समय पर विस्तारित-स्पेक्ट्रम सिग्नल प्रेषित करते हों, तो इस स्थिति में भी अभिग्राही उपभोक्ताओं के बीच भेद कर सकता है, अगर प्रत्येक उपभोक्ता का अपना एक अद्वितीय कोड हो जिसका अन्य कोडों के साथ काफी कम व्यति सह-संबंध (cross-correlation) हो। प्रेषित सिग्नल की विस्तृति को केवल तभी हटाया जा सकता है और आंकड़ा पुनः प्राप्त किया जा सकता है जब अभिग्राही को कोड ज्ञात हो। अतः इस प्रेषण की उत्तम गोपनीयता और सुरक्षा बनी रहती है।

इस इकाई में आपने जो कुछ पढ़ा है आइए उसका संक्षिप्त विवरण यहां हम दे दें।

8.8 सारांश

- बहुसंकेतन की सहायता से अनेक सिग्नलों को ले जाने के लिए एकल चैनल का प्रयोग किया जा सकता है।
- जब अनेक उपभोक्ता एकल चैनल का अभिगम कर सकते हों, तो तंत्र को बहुअभिगम तंत्र कहा जाता है।
- बहुसंकेतन से प्रेषण चैनल के प्रयोग की दक्षता बढ़ जाती है और प्रेषण प्रक्रम मितव्ययी होता है।
- बहुसंकेतन के लिए प्रयुक्त मुख्य प्रांत हैं : आकाशीय (दिक्), समय और आवृत्ति।
- प्रकाशिक तंतुओं में तरंगदैर्घ्य विभाजन बहु-संकेतन किया जाता है।
- आकाशीय विभाजन बहुसंकेतन (SDM) में प्रत्येक उपभोक्ता के लिए नियत भौतिक चैनल की आवश्यकता होती है। अतः विलगन में इसकी वरीयता नहीं दी जाती।
- रेडियो और उपग्रह संचार SDM का प्रयोग करते हैं।
- काल विभाजन बहुसंकेतन (TDM) एक ही चैनल पर भिन्न समय क्षणों पर भिन्न सिग्नल भेजता है।
- आवृत्ति विभाजन बहुसंकेतन (FDM) समान चैनल पर एक साथ अनेक सिग्नलों का प्रेषण करता है, परंतु प्रत्येक सिग्नल अलग-अलग वाहक आवृत्ति पर मॉडुलित होता है।
- टेलीफोन के ITU मानक, टेलीफोन सिग्नल प्रेषण के लिए ग्रुप, सुपरग्रुप, मास्टरग्रुप और सुपरमास्टर ग्रुप परिभाषित करते हैं।
- एक ग्रुप 12 वाक् चैनलों का प्रबंधन करता है, एक सुपरग्रुप में 5 ग्रुप होते हैं, एक मास्टरग्रुप में 5 सुपरग्रुप होते हैं और एक सुपरमास्टर ग्रुप में 3 मास्टरग्रुप होते हैं।

- तरंगदैर्घ्य विभाजन बहु-संकेतन से प्रकाशिक तंतु की पूरी बैंड चौड़ाई का उपयोग किया जा सकता है जो प्रकाशिक संचार तंत्र में प्रयुक्त प्रकाशीय इलेक्ट्रॉनिक (opto-electronic) घटकों की आवृत्ति अनुक्रिया से काफी अधिक होती है।
- चिप के रूप में छद्म रव (*PN*) कोड का प्रयोग करके CDMA सिग्नल बैंड चौड़ाई को विस्तारित कर देता है। आधार सिग्नल बैंड चौड़ाई की तुलना में चिपों की बिट दर काफी अधिक होती है। CDMA में प्रत्येक उपभोक्ता सिग्नल को अभिलक्षित करने के लिए एक अलग कोड का प्रयोग करता है और यह केवल अभिग्रहण करने वाले उपभोक्ता को ज्ञात होता है। अतः CDMA प्रेषण सुरक्षित संचरण होता है।

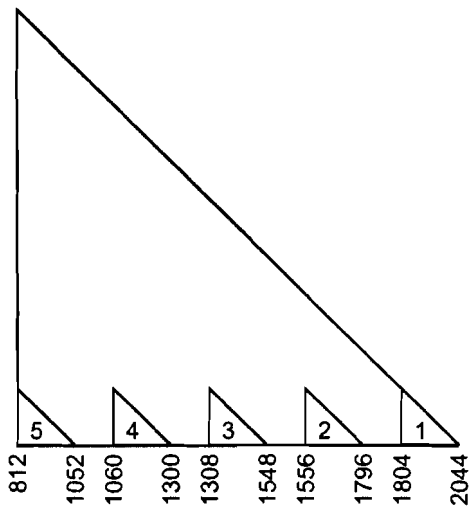
8.9 अंत में कुछ प्रश्न

समय 10 *मिनट*

1. आठ संदेश TDM तंत्र के लिए कितने उपयोगिता अनुपात के स्पंद सिग्नल का प्रयोग करना चाहिए? 8 kHz द्वारा सिग्नल आवृत्तियों के लिए स्पंदों के बीच शांत समय क्या होगा?
2. ITU मानक सुपरग्रुप की कुल बैंड चौड़ाई और विभिन्न वाहक आवृत्तियां क्या हैं?

8.10 हल और उत्तर

1. 10 Hz सिग्नल की अवधि 100 ms है। प्रत्येक प्रतिदर्श को 4 ms की आवश्यकता होती है। अतः 25 प्रतिदर्श रखे जा सकते हैं।
2. देखिए चित्र 8.19.



चित्र 8.19 : मास्टरग्रुप का मॉडुलन प्लान

अंत में कुछ प्रश्न

1. इस स्थिति में द्वार आवृत्ति 8 kHz होनी चाहिए अर्थात् अवधि है 125 μs। इस समय में यदि आठ चैनलों को रखना हो तो प्रत्येक चैनल को लगभग 15 μs समय अंतराल मिल सकता है। अतः 10% उपयोगिता अनुपात (12.5 μs अवधि) के स्पंद उपयुक्त होंगे। इस स्थिति में शांत समय लगभग 2.5 μs (15 μs– 12.5 μs) होगा।
2. सुपरग्रुप की विस्तृति 312 kHz और 552 kHz के बीच है। अतः संबंधित बैंड चौड़ाई 240 kHz होगी। क्योंकि निम्न पार्श्व बैंड लिए गए हैं इसलिए सुपरग्रुप की वाहक आवृत्तियां 360 kHz, 408 kHz, 456 kHz, 504 kHz और 552 kHz होंगी।

संदर्भ सामग्रीः

1. *Telecommunication Systems Engineering* by Freeman, Roger; (III Edition) (Wiley-Interscience Publication)
2. www.itu.int

शब्दावली

access	अभिगम
admittance	प्रवेश्यता
amplitude modulation (AM)	आयाम मॉडुलन
analog	अनुरूप
automatic exchange	स्वचालित एक्सचेंज
balanced modulator	संतुलित मॉडुलक
base station	आधार स्टेशन
binary phase shift keying	द्वि-आधारी प्रावस्था विस्थापन कुंजीयन
burst error	विस्फोट त्रुटि
call routing	कॉल अनुमार्गण
comparator	तुलनित्र
carrier wave	वाहक तरंग
cellular mobile phone	सैलुलर मोबाइल फोन
code division multiple access (CDMA)	कोड विभाजन बहुअभिगम
coil	कुंडली
cosine	कोटिज्या
demultiplexing	वि-बहुसंकेतन
differentiator	अवकलक
digital	अंकीय
disconnect	असंबंधन
dual tone multifrequency (DTMF) dialling	द्वैत-टोन बहु-आवृत्ति डायलन
encoder	कोडित्र
envelop	अन्वालोप
execution	निष्पादन
facsimile (fax)	प्रतिकृति
fading	म्लानन
frequency modulation (FM)	आवृत्ति मॉडुलन
fully connected network	पूर्णतः संबद्ध नेटवर्क
global system mobile (GSM)	सार्वत्रिक तंत्र मोबाइल
group selector	समूह वरित्र
intelligence	आसूचना
integrator	समाकलक
integrated services digital network (ISDN)	एकीकृत सेवा अंकीय नेटवर्क
interlacing	अंतर्ग्रथन
interleaver	अंतरापत्रक
interleaving	अंतरापत्रण
line hunter	लाइन अन्वेषी
manual switching	हस्त-प्रचालित स्विचन
modulation	मॉडुलन
modulation index	मॉडुलन सूचकांक
multiplexing	बहुसंकेतन
multiple access	बहुअभिगम

numbering plan	अंकन योजना
phase locked loop	प्रावस्था (कला) पाशित लूप
phase detector	प्रावस्था (कला) संसूचक
point-to-point communication	स्थल-से-स्थल संचार
preselector	पूर्व वरित्र
pseudo-noise (PN) code	छद्म रव कोड
pulse modulation	स्पंद मॉडुलन
pulse position modulation (PPM)	स्पंद स्थान (स्थिति) मॉडुलन
pulse dialling	स्पंद डायलन
quadrature phase shift keying (QPSK)	समकोणिक प्रावस्था विस्थापन कुंजीयन
reactance modulator	प्रतिघात मॉडुलक
redundancy	अतिरिक्तता
ring modulator	सेतु मॉडुलन
sampling	प्रतिचयन
sample	प्रतिदर्श
sample and hold	प्रतिचयन और धारण
selector	वरित्र
service provider	सेवा प्रदाता, सेवा दायक
shift keying	विस्थापन कुंजीयन
side band frequency	पार्श्व बैंड आवृत्ति
signalling	सिग्नलन
sine wave	ज्यावक्र
slope detector	प्रवणता संसूचक
space division switching	आकाशीय (दिक्) विभाजन स्विचन
spectrum allocation	स्पेक्ट्रम नियतन
spread sequence	विस्तृतिकरण अनुक्रम
step-by-step exchange	चरणशः एक्सचेंज
stored programme control (SPC)	भंडारित क्रमादेश नियंत्रण
subcarrier multiplexing (SCM)	उपवाहक बहुसंकेतन
timer	काल समंजक
time-slot interchanger	काल-स्लॉट अंतरापरिवर्तक
two-motion selector	द्वि-गति वरित्र
transconductance	अंतराचालकता
uni-selector	एक-वरित्र
voice signal	वाक् सिग्नल
wavelength division multiplexing (WDM)	तरंगदैर्घ्य बहुसंकेतन
wide spectrum technology	विस्तृत स्पेक्ट्रम प्रौद्योगिकी