अध्याय 15

संचार व्यवस्था

15.1 भूमिका

संचार सूचना के संप्रेषण की क्रिया है। इस संसार का प्रत्येक प्राणी, अपने चारों ओर के संसार के अन्य प्राणियों से, लगभग निरंतर ही सूचनाओं के आदान-प्रदान की आवश्यकता का अनुभव करता है। किसी सफल संचार के लिए यह आवश्यक है कि प्रेषक एवं ग्राही दोनों ही किसी सर्वसामान्य भाषा को समझते हों। मानव निरंतर ही यह प्रयत्न करता रहा है कि उसका मानव जाति से संचार गुणता में उन्नत हो। मानव प्रागैतिहासिक काल से आधुनिक काल तक, संचार में उपयोग होने वाली नयी-नयी भाषाओं एवं विधियों की खोज करने के लिए प्रयत्नशील रहा है, ताकि संचार की गति एवं जटिलताओं के पदों में बढ़ती आवश्यकताओं की पूर्ति हो सके। संचार प्रणाली के विकास को प्रोन्नत करने वाली घटनाओं एवं उपलब्धियों के विषय में जानकारी होना लाभप्रद है, जिसे सारणी 15.1 में प्रस्तुत किया गया है।

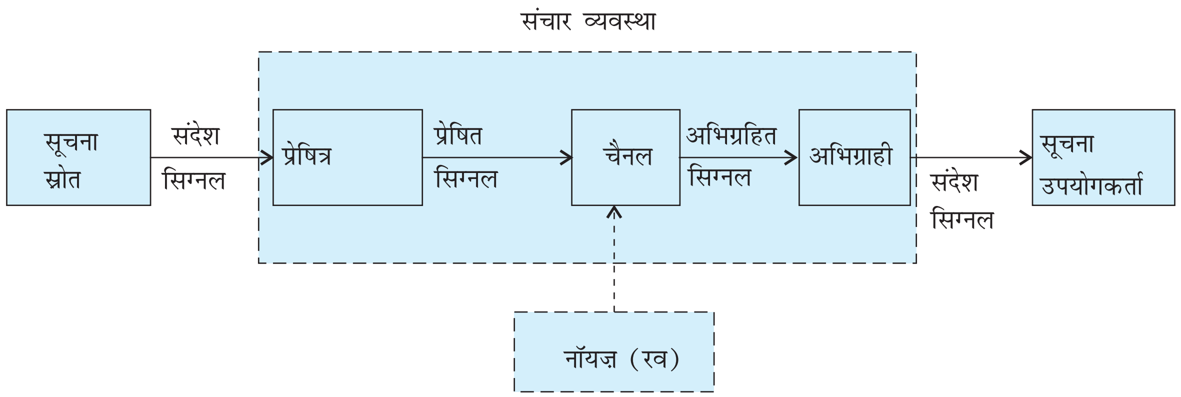
आधुनिक संचार की जड़ें 19वीं तथा 20वीं शताब्दियों में सर जगदीश चन्द्र बोस, एफ.बी. मोर्स, जी मार्कोनी तथा अलेक्जेंडर ग्राह्म बेल के कार्य द्वारा डाली गईं। 20 वीं शताब्दी के पहले पचास वर्षों के पश्चात इस क्षेत्र में विकास की गति नाटकीय रूप से बढ़ी प्रतीत होती है। आगामी दशकों में हम बहुत सी अन्य महत्वपूर्ण उपलब्धियाँ देख सकते हैं। इस अध्याय का उद्देश्य संचार की अभिकल्पना, अर्थात संचार के ढंग (Mode), मॉडुलन की आवश्यकता, और आयाम-मॉडुलन के निगमन तथा उत्पादन से परिचित होना है।

15.2 संचार व्यवस्था के अवयव

संचार सभी सजीव वस्तुओं के जीवन के प्रत्येक चरण में व्याप्त है। चाहे संचार की कोई भी प्रकृति हो, प्रत्येक संचार व्यवस्था के तीन आवश्यक तत्व होते हैं– प्रेषित्र, माध्यम/चैनल तथा अभिग्राही। चित्र 15.1 में किसी संचार व्यवस्था के व्यापक रूप को ब्लॉक आरेख द्वारा दर्शाया गया है।

सारणी 15.1 संचार के इतिहास की कुछ प्रमुख उपलब्धियाँ

वर्ष	घटना	टिप्पणी
1565 ई. (लगभग)	बादशाह अकबर को किसी दूरस्थ स्थान से बेगम द्वारा बच्चे को जन्म दिये जाने की सूचना ढोल बजाकर देना	यह माना जाता है कि वज़ीर बीरबल ने बादशाह और बेगम के विश्राम-स्थलों के बीच निश्चित संख्या में ढोल बजाने वालों की व्यवस्था का प्रयोग किया था
1835	सैम्यूल एफ. बी. मोर्स तथा सर चार्ल्स व्हीटस्टोन द्वारा टेलीग्राफ़ का आविष्कार	इसके परिणामस्वरूप डाकघरों द्वारा संदेश भेजने में आश्चर्यजनक वृद्धि हुई तथा संदेशवाहकों द्वारा स्वयं यात्रा कर संदेश पहुँचाने का कार्य काफ़ी कम हो गया
1876	अलेक्ज़ैंडर ग्राह्म बेल तथा एंटोनियो मेयूस्सी द्वारा टेलीफ़ोन का आविष्कार	कदाचित मानव जाति के इतिहास में सबसे व्यापक उपयोग होने वाला संचार का साधन
1895	सर जे.सी. बोस तथा जी. मार्कोनी द्वारा बेतार के तार का निदर्शन	यह तार द्वारा संचार के युग से बे-तार द्वारा संचार के युग में एक ऊँची उड़ान थी
1936	टेलीविज़न प्रसारण (जॉन लॉगी बेयर्ड)	BBC द्वारा प्रथम टेलीविज़न प्रसारण
1955	महाद्वीप के पार पहला रेडियो फ़ैक्स प्रेषित (अलेक्ज़ैंडर बेन)	अलेक्ज़ैंडर बेन ने फ़ैक्स की अवधारणा 1843 में पेटंट कराई
1968	ARPANET पहला इंटरनेट अस्तित्व में आया (J.C.R. लिक्लीडर)	ARPANET परियोजना अमेरिका के रक्षा विभाग द्वारा संचालित की गई। इसके अंतर्गत नेटवर्क से संयोजित एक कंप्यूटर से फ़ाइल दूसरे कंप्यूटर में स्थानांतरित की गयी
1975	बेल लेबोरेट्रीज़ पर तंतु प्रकाशिकी विकसित हुई	पारंपरिक संचार व्यवस्थाओं की तुलना में तंतु प्रकाशिक संचार व्यवस्था श्रेष्ठ तथा सस्ती हैं
1989-91	टिम बर्नर-ली ने **World Wide Web** का आविष्कार किया।	WWW को ऐसे विशालकाय विश्वकोष के सदृश माना जा सकता है जिसका ज्ञान सर्वसाधारण को हर समय सुलभ रहता है



चित्र 15.1 किसी व्यापक संचार व्यवस्था का ब्लॉक आरेख।

किसी संचार व्यवस्था में प्रेषित्र किसी एक स्थान पर अवस्थित होता है, अभिग्राही किसी अन्य स्थान पर (पास अथवा दूर) अवस्थित होता है तथा चैनल एक ऐसा भौतिक माध्यम है जो इन्हें एक दूसरे से संयोजित करता है। चैनल का प्रकार संचार व्यवस्था के प्रकार पर निर्भर करता है। यह प्रेषित्र तथा अभिग्राही को संयोजित करने वाले एक तार अथवा केबल के रूप में हो सकता है अथवा वह बेतार (वायरलैस) भी हो सकता है। प्रेषित्र का उद्देश्य सूचना स्रोत द्वारा उत्पन्न संदेश सिग्नल को चैनल द्वारा प्रेषण के लिए उपयुक्त रूप में परिवर्तित करना है। यदि किसी सूचना स्रोत का निर्गत वाक् सिग्नल की भाँति अविद्युतीय हो तो कोई ट्रांसड्यूसर, इस संदेश को प्रेषित्र में देने से पूर्व विद्युत सिग्नल में रूपांतरित कर देता है। जब कोई प्रेषित सिग्नल चैनल के अनुदिश संचारित होता है तो यह चैनल में अपूर्णता के कारण विरूपित हो सकता है। इसके अतिरिक्त प्रेषित सिग्नल में नॉयज (Noise, रव) मिल जाता है, फलस्वरूप अभिग्राही प्रेषित सिग्नल का विकृत रूप प्राप्त करता है। अभिग्राही का कार्य प्राप्त सिग्नल को प्रचालित करना होता है। यह इस सूचना-सिग्नल की पुनः संरचना करके इसे मूल संदेश-सिग्नल को पहचान सकने योग्य रूप में लाता है ताकि संदेश प्राप्तकर्ता को पहुँचाया जा सके।

संचार के दो मूल ढंग हैं: बिंदु से बिंदु तक संचार, तथा प्रसारण।

बिंदु से बिंदु तक संचार विधि में एक एकल प्रेषित्र तथा एक अभिग्राही के बीच के संयोजन (Linkage) से होकर संचार होता है। इस विधि के संचार का एक उदाहरण टेलीफ़ोन व्यवस्था है। इसके विपरीत, प्रसारण विधि में किसी एकल प्रेषित्र के तदनुरूपी बहुत से अभिग्राही होते हैं। प्रसारण विधि द्वारा संचार के उदाहरण रेडियो तथा टेलीविजन हैं।

15.3 इलेक्ट्रॉनिक संचार व्यवस्थाओं में उपयोग होने वाली मूल शब्दावली

अब तक हम कुछ पदों (शब्दों) जैसे सूचना स्रोत, प्रेषित्र, अभिग्राही, चैनल, नॉयज़ (रव), आदि से परिचित हो चुके हैं। यदि हम निम्नलिखित मूल शब्दावली से परिचित हो जाएँ तो हमें किसी भी संचार व्यवस्था को समझना आसान हो जाएगा।

(i) *ट्रान्सड्यूसर* : कोई युक्ति जो ऊर्जा के एक रूप को किसी दूसरे रूप में परिवर्तित कर देती है उसे ट्रांसड्यूसर कहते हैं। इलेक्ट्रॉनिक संचार व्यवस्थाओं में हमें प्रायः ऐसी युक्तियों से व्यवहार करना होता है जिनका या तो निवेश अथवा निर्गत विद्युतीय रूप में होता है। किसी विद्युतीय ट्रांसड्यूसर को इस प्रकार परिभाषित किया जाता है–ऐसी युक्ति जो कुछ भौतिक चरों (दाब, विस्थापन, बल,

जगदीश चंद्र बोस (1858 – 1937) उन्होंने परालघु वैद्युत-चुंबकीय तरंगों के जनन के लिए एक उपकरण बनाया और उसके अर्द्ध प्रकाशीय गुणों का अध्ययन किया। ऐसा कहा जाता है कि वे गैलेना जैसे अर्द्धचालक को वैद्युत-चुंबकीय तरंगों के स्वत: पुनर्प्राप्त संसूचक के रूप में उपयोग करने वाले पहले व्यक्ति थे। बोस ने ब्रिटिश पत्रिका *दि इलैक्ट्रीशियन* के 27 दिसंबर 1995 के अंक में तीन लेख प्रकाशित किए। 13 दिसंबर 1901 को मार्कोनी के पहले बेतार के संचार से दो वर्ष से भी अधिक पहले बोस के आविष्कार के बारे में 27 अप्रैल 1899 की *रॉयल सोसाइटी की कार्यवाही* में भी लेख प्रकाशित हो चुका था। बोस ने ऐसे अतिसंवेदी उपकरणों का आविष्कार किया जिनके द्वारा जीवित प्राणियों पर बाह्य उद्दीपकों की अतिसूक्ष्म प्रतिक्रिया को संसूचित किया जा सकता था। इनके द्वारा उन्होंने जंतु एवं वानस्पतिक ऊतकों में समांतरता स्थापित की।

ताप आदि) को अपने निर्गत पर तदनुरूपी विद्युतीय सिग्नल के चरों में रूपांतरित कर देते हैं।

(ii) *सिग्नल* : प्रेषण के लिए उपयुक्त वैद्युत रूप में रूपांतरित सूचना को सिग्नल या संकेत कहते हैं।

सिग्नल या तो *अनुरूप* (Analog) अथवा *अंकीय* (Digital) हो सकते हैं। अनुरूप सिग्नल वोल्टता अथवा धारा के सतत् विचरण होते हैं। *ये अनिवार्यत: समय के एकल मान वाले फलन होते हैं।* ज्या तरंग (Sine wave) एक मूल अनुरूप सिग्नल होती है। सभी अन्य अनुरूप सिग्नलों को इनके ज्या तरंग अवयवों के पदों में पूर्णत: समझा जा सकता है। टेलीविज़न के ध्वनि तथा दृश्य सिग्नल प्रकृति में अनुरूप सिग्नल होते हैं। अंकीय सिग्नल वे होते हैं जो क्रमवार विविक्त मान प्राप्त कर सकते हैं। अंकीय इलेक्ट्रॉनिकी में विस्तृत रूप में उपयोग होने वाली द्विआधारी पद्धति में किसी सिग्नल के केवल दो स्तर होते हैं। '0' निम्न वोल्टता धारा स्तर के तदनुरूपी है तो '1' उच्च वोल्टता-धारा स्तर के तदनुरूपी होता है। अंकीय संचार के लिए उपयोगी बहुत सी कोडन पद्धतियाँ हैं। इनमें संख्या प्रणालियों के उपयुक्त संयोजनों जैसे द्विआधारी कोडित दशमलव (Binary Coded Decimal या BCD)* का उपयोग किया जाता है। संख्याओं, अक्षरों तथा निश्चित लक्षणों को निरूपित करने वाला सार्वजनिक रूप से लोकप्रिय अंकीय कोड "American Standard Code for Information Interchange (ASCII)** है। (आजकल प्रकाशिक सिग्नल भी प्रयोग होते हैं)

(iii) *रव* : रव से हमारा तात्पर्य उन अवांछनीय सिग्नलों से है जो किसी संचार व्यवस्था में संदेश सिग्नलों के प्रेषण तथा संसाधन में विक्षोभ का प्रयास करते हैं। रव उत्पन्न करने का स्रोत व्यवस्था के बाहर अथवा भीतर स्थित हो सकता है।

(iv) *प्रेषित्र* : प्रेषित्र प्रवेशी संदेश सिग्नल को संसाधित करके चैनल से होकर प्रेषण तथा इसके पश्चात अभिग्रहण के लिए उपयुक्त बनाता है।

(v) *अभिग्राही* : कोई अभिग्राही चैनल के निर्गत पर प्राप्त सिग्नल से वांछनीय संदेश सिग्नलों को प्राप्त करता है।

(vi) *क्षीणता* : माध्यम से संचरण के समय सिग्नल की प्रबलता में क्षति को क्षीणता कहते हैं।

(vii) *प्रवर्धन* : यह किसी इलेक्ट्रॉनिक परिपथ जिसे प्रवर्धक (संदर्भ अध्याय 14) कहते हैं, के उपयोग से सिग्नल आयाम (और फलस्वरूप उसकी तीव्रता) में वृद्धि करने की प्रक्रिया है। संचार व्यवस्था में क्षीणता के कारण होने वाले क्षय की क्षतिपूर्ति के लिए प्रवर्धन आवश्यक है। अतिरिक्त सिग्नल प्रबलता के लिए आवश्यक ऊर्जा DC विद्युत स्रोत से प्राप्त सिग्नल है। प्रवर्धन, स्रोत तथा लक्ष्य के बीच उस स्थान पर किया जाता है जहाँ सिग्नल की प्रबलता, अपेक्षित प्रबलता से दुर्बल हो जाती है।

* BCD में किसी अंक को प्राय: चार द्विआधारी (0 या 1) बिटों द्वारा निरूपित किया जाता है। उदाहरण के लिए दशमलव प्रणाली में अंकों 0, 1, 2, 3, 4 को 0000, 0001, 0010, 0011 तथा 0100. 1000 के द्वारा निरूपित करते हैं। 1000 आठ को निरूपित करता है।

** चूँकि कंप्यूटर केवल अंकों को ही समझ सकता है, अत: अंकों के पदों में किया गया यह लक्षण कोडन है।

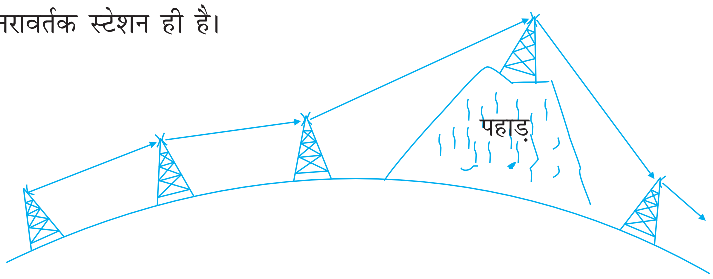
(viii) *परास* : यह स्रोत तथा लक्ष्य के बीच की वह अधिकतम दूरी है जहाँ तक सिग्नल को उसकी पर्याप्त प्रबलता से प्राप्त किया जाता है।

(ix) *बैंड चौड़ाई* : बैड चौड़ाई से हमारा तात्पर्य उस आवृत्ति परास से है जिस पर कोई उपकरण प्रचालित होता है अथवा स्पेक्ट्रम के उस भाग से होता है जिसमें सिग्नल की सभी आवृत्तियाँ विद्यमान हैं।

(x) *मॉडुलन* : अनुभाग 15.7 में दिए गए कारणों के अनुसार निम्न आवृत्ति के मूल सिग्नलों (संदेशों / सूचनाओं) को अधिक दूरियों तक प्रेषित नहीं किया जा सकता। इसीलिए प्रेषित्र पर, निम्न आवृत्ति के संदेश सिग्नलों की सूचनाओं को किसी उच्च आवृत्ति की तरंग पर अध्यारोपित कराया जाता है जो सूचना के वाहक की भाँति व्यवहार करती है। इस प्रक्रिया को *मॉडुलन* कहते हैं। जैसा कि आगे चर्चा की जाएगी मॉडुलन कई प्रकार के होते हैं जिन्हें संक्षेप में AM, FM तथा PM कहते हैं।

(xi) *विमॉडुलन* : इस प्रक्रिया को जिसमें अभिग्राही द्वारा वाहक तरंग से सूचना की पुन: प्राप्ति की जाती है, विमॉडुलन कहते हैं। यह मॉडुलन के विपरीत प्रक्रिया है।

(xii) *पुनरावर्तक* (Repeater) : पुनरावर्तक अभिग्राही तथा प्रेषित्र का संयोजन होता है। पुनरावर्तक प्रेषित्र से सिग्नल चयन करता है, उसे प्रवर्धित करता है तथा उसे अभिग्राही को पुन: प्रेषित कर देता है। कभी-कभी तो वाहक तरंगों की आवृत्ति में परिवर्तन भी कर देता है। पुनरावर्तकों का उपयोग चित्र 15.2 में दर्शाए अनुसार किसी संचार व्यवस्था का परास विस्तारित करने के लिए किया जाता है। कोई संचार उपग्रह वास्तव में अंतरिक्ष में एक पुनरावर्तक स्टेशन ही है।



चित्र 15.2 संचार के परास में वृद्धि के लिए परावर्तक स्टेशन का उपयोग।

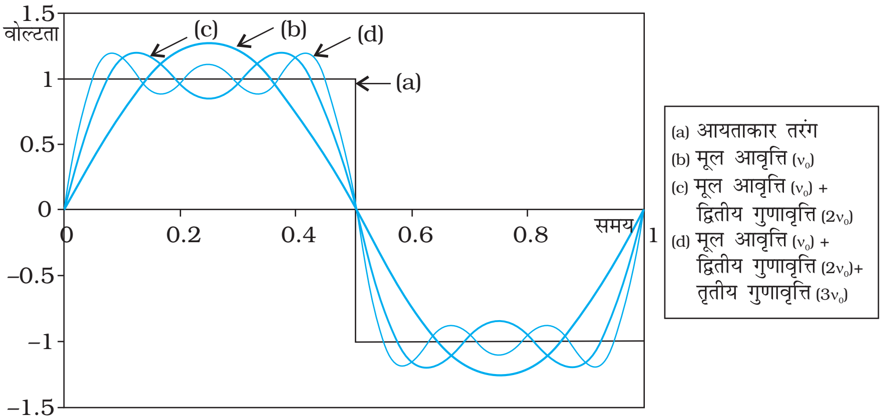
15.4 सिग्नलों की बैंड-चौड़ाई

किसी संचार व्यवस्था में संदेश सिग्नल कोई आवाज, संगीत, दृश्य अथवा कंप्यूटर आँकड़ा हो सकता है। उन सिग्नलों में प्रत्येक के आवृत्ति परास भिन्न होते हैं। किसी दिए गए सिग्नल की संचार प्रक्रिया को जिस प्रकार की संचार व्यवस्था चाहिए वह उस आवृत्ति बैंड पर निर्भर करती है जो उसके लिए आवश्यक माना जाता है।

वाक् सिग्नलों के लिए 300 Hz से 3100 Hz का आवृत्ति परास उपयुक्त माना जाता है। अत: वाक् सिग्नलों को व्यापारिक टेलीफ़ोन संचार के लिए 2800 Hz (3100 Hz – 300 Hz) बैंड चौड़ाई चाहिए। संगीत के प्रेषण के लिए वाद्य यंत्रों द्वारा उच्च आवृत्तियों के स्वर उत्पन्न करने के कारण, लगभग 20 kHz की बैंड चौड़ाई की आवश्यकता होती है। आवृत्ति का श्रव्य परिसर 20 Hz से 20 kHz तक है।

दृश्यों के प्रसारण (प्रेषण) के लिए वीडियो सिग्नलों को 4.2 MHz बैंड चौड़ाई की आवश्यकता होती है। TV सिग्नलों में दृश्य तथा श्रव्य दोनों अवयव होते हैं तथा उनके प्रेषण के लिए प्राय: 6 MHz बैंड चौड़ाई आवंटित की जाती है।

पिछले अनुच्छेद में हमने केवल अनुरूप सिग्नलों पर ही विचार किया है। अंकीय सिग्नल चित्र 15.3 में दर्शाए अनुसार आयताकार तरंग की आकृति के होते हैं। यह दर्शाया जा सकता है कि आयताकार तरंग का अपघटन (वियोजन) ν_0, $2\nu_0$, $3\nu_0$, $4\nu_0$ ... $n\nu_0$ आवृत्तियों की ज्यावक्रीय तरंगों के अध्यारोपण के रूप में किया जा सकता है। यहाँ n एक पूर्णांक है जिसे अनंत तक विस्तरित किया जा सकता है तथा $\nu_0 = 1/T_0$ है। इस तथ्य की व्याख्या के लिए एक ही आरेख में मूल आवृत्ति (ν_0); मूल आवृत्ति (ν_0) + द्वितीय गुणावृत्ति ($2\nu_0$), मूल आवृत्ति (ν_0) + द्वितीय गुणावृत्ति ($2\nu_0$) + तृतीय गुणावृत्ति ($3\nu_0$) दर्शायी गई हैं। इस आरेख से यह स्पष्ट है कि आयताकार तरंग को यथार्थ रूप में पुनरुत्पादन करने के लिए हमें सभी गुणावृत्तियों ν_0, $2\nu_0$, $3\nu_0$, $4\nu_0$..., आदि को अध्यारोपित करने की आवश्यकता होगी, जिससे यह ध्वनित होता है कि बैंड की चौड़ाई अनंत चाहिए। तथापि व्यावहारिक कार्यों के लिए उच्च गुणावृत्तियों के योगदान की उपेक्षा की जा सकती है जिससे बैंड चौड़ाई सीमित हो जाएगी। इसके परिणामस्वरूप अभिग्रहीत तरंगें प्रेषित तरंगों की तुलना में विरूपित होंगी। यदि बैंड चौड़ाई इतनी अधिक है कि इसमें कुछ गुणावृत्तियाँ समायोजित हो सकती हैं तो सूचना की कोई क्षति नहीं होती है तथा कुल मिलाकर आयताकार सिग्नल प्राप्त हो जाता है। इसका कारण यह है कि जितनी उच्च गुणावृत्ति होती है तरंग रूप के लिए इसका योगदान उतना ही कम होता है।



चित्र 15.3 मूल ज्या तरंग तथा इसकी गुणावृत्तियों के पदों में आयताकार तरंग का सन्निकटन।

15.5 प्रेषण माध्यम की बैंड-चौड़ाई

संदेश सिग्नलों की ही भाँति विभिन्न प्रकार के प्रेषण माध्यमों के लिए भिन्न-भिन्न बैंड-चौड़ाई की आवश्यकता होती है। प्रेषण में सामान्यतः उपयोग किए जाने वाले माध्यम-तार, मुक्त आकाश, तथा प्रकाशिक-तंतु केबल हैं। समाक्षी केबल व्यापक रूप से उपयोग होने वाला तार माध्यम है जो लगभग 750 MHz की बैंड-चौड़ाई प्रदान करता है। इस प्रकार का केबल सामान्यतः 18 GHz आवृत्ति से नीचे प्रचालित होता है। रेडियो तरंगों का उपयोग करके मुक्त आकाश से आवृत्तियों के एक विस्तृत परिसर (कुछ सहस्र kHz से कुछ GHz तक) में संचार होता है। इस आवृत्ति परिसर को तालिका 15.2 में दर्शाए अनुसार फिर से विभाजित कर विविध सेवाएँ प्रदान करने के लिए आवंटित किया जाता है। तंतुओं का प्रयोग करके प्रकाशिक संचार, आवृत्ति परिसर 1 THz से 1000 THz तक (सूक्ष्म तरंगों से पराबैंगनी तक), संपन्न किया जाता है। एक प्रकाशिक तंतु 100 GHz से अधिक की संचार बैंड-चौड़ाई प्रदान कर सकता है।

एक अंतर्राष्ट्रीय समझौते के परिणामस्वरूप, स्पेक्ट्रम की विभिन्न बैंड-चौड़ाइयों का आवंटन किया गया है। आवृत्ति आवंटन की वर्तमान व्यवस्था का संचालन अंतर्राष्ट्रीय दूरसंचार यूनियन (International Telecommunication Union या ITU) करती है।

सारणी 15.2 कुछ प्रमुख बेतार संचार आवृत्ति बैंड

सेवा	आवृत्ति बैंड	टिप्पणी
मानक AM प्रसारण	540-1600 kHz	
FM प्रसारण	88-108 MHz	
टेलीविज़न	54-72 MHz 76-88 MHz 174-216 MHz 420-890 MHz	VHF (अति उच्च आवृत्ति) TV UHF (परा उच्च आवृत्ति) TV
सेल्यूलर मोबाइल रेडियो	896-901 MHz 840-935 MHz	मोबाइल से आधार स्टेशन के लिए आधार स्टेशन से मोबाइल के लिए
उपग्रह संचार	5.925-6.425 GHz 3.7-4.2 GHz	उपरिलिंक अधोलिंक

15.6 वैद्युतचुंबकीय तरंगों का संचरण

रेडियो तरंगों का उपयोग करने वाले संचार में एक सिरे पर प्रेषित्र होता है जिसका ऐंटीना वैद्युत-चुंबकीय तरंगें विकिरित करता है, जो अंतरिक्ष में गमन करती हुई दूसरे सिरे पर स्थित अभिग्राही के ऐंटीना पर पहुँचती हैं। जैसे-जैसे वैद्युतचुंबकीय तरंगें प्रेषित्र से दूर होती जाती है वैसे-वैसे इनकी तीव्रता कम होती जाती है। वैद्युतचुंबकीय तरंगों के संचरण तथा गमनपथ को कई कारक प्रभावित करते हैं। यहाँ पर पृथ्वी के वातावरण की संरचना को समझना भी महत्त्वपूर्ण है क्योंकि वैद्युत-चुंबकीय तरंगों के संचरण में इसकी सक्रिय भूमिका है। सारणी 15.3 में वायुमंडल की कुछ उपयोगी सतहों का संक्षिप्त विवरण दिया गया है।

15.6.1 भू-तरंगें

सिग्नलों को उच्च दक्षता से विकिरित करने के लिए ऐंटीना का साइज़ सिग्नल की तरंगदैर्घ्य λ के तुलनीय (कम से कम $\sim \lambda/4$) होना चाहिए। लंबी तरंगदैर्घ्यों (अर्थात निम्न आवृत्तियों) के लिए ऐंटीना के भौतिक साइज़ बड़े होते हैं तथा उन्हें पृथ्वी के पृष्ठ पर अथवा इसके बहुत पास लगाया जाता है। मानक आयाम-मॉडुलित (AM) प्रसारण में भू-आधारित ऊर्ध्वाधर स्तंभों (टॉवर) का व्यापक उपयोग प्रेषण ऐंटीना की भाँति होता है। इस प्रकार के ऐंटीना से सिग्नल के प्रसारण पर भूमि का प्रबल प्रभाव होता है। संचरण की इस विधि को पृष्ठीय तरंग संचरण कहते हैं तथा यह तरंग पृथ्वी की पृष्ठ पर विसर्पण करती है। यह तरंग पृथ्वी के जिस भाग से गुजरती है उस पर धारा प्रेरित करती है तथा पृथ्वी द्वारा ऊर्जा के अवशोषण के कारण तरंग क्षीण होती जाती है। आवृत्ति में वृद्धि के साथ पृष्ठीय तरंगों की क्षीणता में तीव्रता से वृद्धि होती है। अतः प्रेषित की जा सकने वाली आवृत्ति का अधिकतम परास प्रेषित शक्ति तथा इसकी आवृत्ति (कुछ MHz से कम) पर निर्भर करता है।

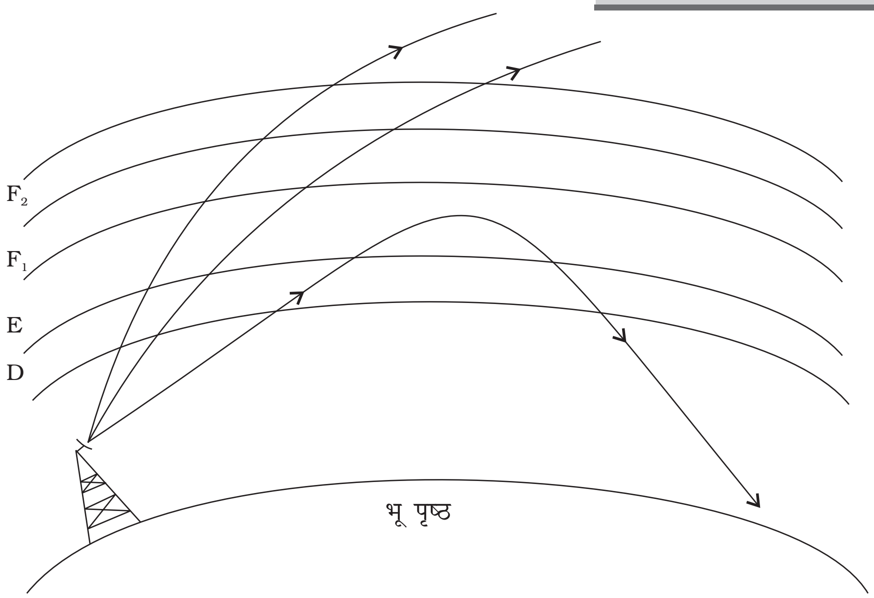
सारणी 15.3 वायुमंडल की विभिन्न सतहें तथा उनकी संचरित वैद्युतचुंबकीय तरंगों से अन्योन्य क्रिया

स्तर (सतह) का नाम		पृथ्वी के पृष्ठ से सन्निकट तुंगता	अस्तित्व की अवधि	सर्वाधिक प्रभावित आवृत्तियाँ
क्षोभ मंडल		10 km	दिन व रात	अति उच्च आवृत्ति (कई GHz तक)
D (समताप मंडल का भाग)	आयनमंडल के भाग	65-75 km	केवल दिन	निम्न आवृत्ति परावर्तित; कुछ अंश तक मध्य आवृत्ति तथा उच्च आवृत्तियाँ अवशोषित
E, (समताप मंडल का भाग)		100 km	केवल दिन	पृष्ठीय तरंगों का सहायक, उच्च आवृत्तियाँ परावर्तित
F_1 (मध्यमंडल का भाग)		170-190 km	दिन के समय, रात्रि में F_2 के साथ विलीन	उच्च आवृत्तियों का आंशिक अवशोषण करते हुए भी उन्हें F_2 तक पहुँचने देना
F_2 (थर्मोस्फीयर)		रात्रि में 300 km दिन के समय 250-400 km	दिन व रात	उच्च आवृत्ति तरंगों का दक्षतापूर्वक परावर्तन, विशेषकर रात्रि के समय

15.6.2 व्योम तरंगें

कुछ MHz से 30 से 40 MHz के आवृत्ति परिसर में अधिक दूरी का संचार, रेडियो तरंगों के आयनमंडली परावर्तन द्वारा पुनः पृथ्वी पर वापस लौटने के कारण संभव हो पाता है। इस प्रकार के संचरण को *व्योम तरंग संचरण* कहते हैं तथा इसका उपयोग लघुतरंग प्रसारण सेवाओं द्वारा किया जाता हैं। इसे आयनमंडल कहने का कारण यह है कि क्योंकि यहाँ आयन अथवा आवेशित कण अत्यधिक संख्या में होते हैं। यह आकाश में पृथ्वी के पृष्ठ से ~ 65 km से लगभग 400 km ऊँचाई तक फैला हुआ है। जब सूर्य से उच्च ऊर्जायुक्त विकिरण तथा पराबैंगनी किरणें वायु के संपर्क में आती हैं तो वायु के अणु आयनित हो जाते हैं। इसके अतिरिक्त आयनमंडल कई परतों में विभाजित होता है, जिसे विस्तार से सारणी 15.3 में दर्शाया गया है। आयनन की मात्रा तुंगता (ऊँचाई) पर निर्भर करती है। वायुमंडल का घनत्व ऊँचाई बढ़ने पर घटता है। अधिक ऊँचाइयों पर सौर विकिरण तीव्र होते हैं परंतु आयनित होने के लिए कुछ ही अणु उपलब्ध होते हैं। भू-पृष्ठ के समीप यद्यपि आण्विक सांद्रता (घनत्व) काफी अधिक होता है, परंतु विकिरणों की तीव्रता कम होने के कारण यहाँ आयनन कम होता है। तथापि, माध्य ऊँचाइयों की कुछ स्थितियों पर आयनन घनत्व के उच्च मान पाए जाते हैं। आयनमंडलीय परत, 3 MHz से 30 MHz परिसर की आवृत्तियों के लिए परावर्तक की भाँति कार्य करती है। 30 MHz से उच्च आवृत्ति की वैद्युतचुंबकीय तरंगें, आयनमंडल का भेदन करके पलायन कर जाती हैं। यह परिघटना चित्र 15.4 में दर्शायी गई है। वैद्युतचुंबकीय तरंगों के बंकन की परिघटना जिसके फलस्वरूप वे पृथ्वी के पृष्ठ की ओर मोड़ दी जाती है, प्रकाशिकी के पूर्ण आंतरिक परावर्तन के सदृश ही है।*

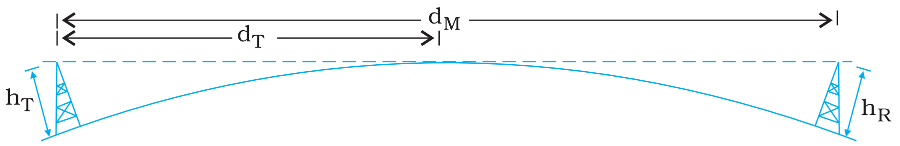
* मिराज की परिघटना से तुलना करें।



चित्र 15.4 व्योम तरंग संचरण। सारणी 15.3 में परतों का नामकरण दिया गया है।

15.6.3 आकाश तरंग

आकाश तरंगों द्वारा प्रसारण रेडियो तरंगों के प्रसारण का एक अन्य ढंग है। आकाश-तरंग, प्रेषण-ऐंटीना से अभिग्राही-ऐंटीना तक सरल रेखीय पथ पर गमन करती है। आकाश तरंगों का उपयोग दृष्टिरेखीय रेडियो संचरण [line-of-sight (LOS) radio communication] के साथ ही साथ उपग्रह संचार में भी किया जाता है। 40 MHz से अधिक आवृत्तियों पर संचार केवल दृष्टिरेखीय (LOS) रेडियो संचरण द्वारा ही संभव है। इन आवृत्तियों पर ऐंटीना का साइज़ अपेक्षाकृत छोटा होता है तथा इसे पृथ्वी के पृष्ठ से कई तरंगदैर्घ्यों की ऊँचाई पर स्थापित किया जा सकता है। LOS प्रकृति का संचार होने के कारण, चित्र 15.5 में दर्शाए अनुसार, पृथ्वी की वक्रता के कारण सीधी तरंगें किसी बिंदु पर अवरोधित हो जाती हैं। यदि सिग्नल को क्षितिज से परे प्राप्त करना है तो अभिग्राही ऐंटीना काफ़ी अधिक ऊँचाई पर स्थापित किया जाना चाहिए ताकि वह LOS तरंगों को बीच में रोक सके।



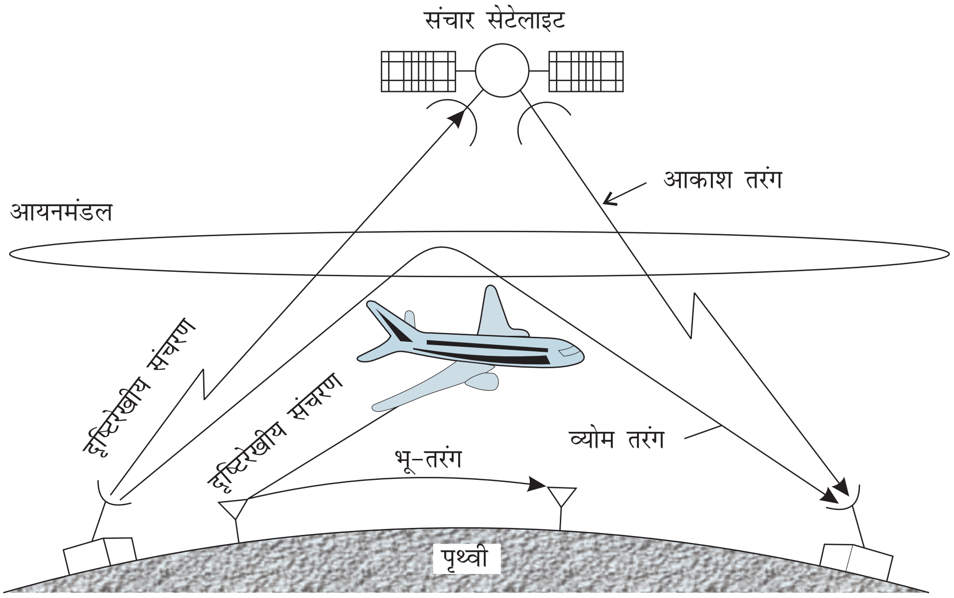
चित्र 15.5 आकाश तरंगों द्वारा दृष्टिरेखीय संचार।

यदि प्रेषक ऐंटीना h_T ऊँचाई पर है, तो आप यह दर्शा सकते हैं कि क्षितिज की दूरी d_T का मान $d_T = \sqrt{2Rh_T}$ होगा, यहाँ R पृथ्वी की वक्रता त्रिज्या (लगभग 6400 km) है। d_T को प्रेषक ऐंटीना का *रेडियो क्षितिज* भी कहते हैं। चित्र 15.5 के संदर्भ में, पृथ्वी के पृष्ठ से h_T तथा h_R ऊँचाई वाले दो ऐंटीना के बीच की अधिकतम दृष्टिरेखीय दूरी इस प्रकार व्यक्त की जा सकती है–

$$d_M = \sqrt{2Rh_T} + \sqrt{2Rh_R} \qquad (15.1)$$

यहाँ h_R अभिग्राही ऐंटीना की ऊँचाई है।

टेलीविज़न प्रसारण, माइक्रोवेव-लिंक तथा सेटेलाइट संचार उन संचार प्रणालियों के कुछ उदाहरण हैं जो आकाश तरंग प्रसारण ढंग का उपयोग करती है। चित्र 15.6 में अब तक तरंग संचरण की वर्णित विविध विधियों का सारांश दिया गया है।



चित्र 15.6 वैद्युतचुंबकीय तरंगों के संचरण की विविध विधियाँ।

उदाहरण 15.1

उदाहरण 15.1 किसी मीनार के शीर्ष पर स्थापित प्रेषक ऐंटीना की ऊँचाई 32 m तथा अभिग्राही ऐंटीना की ऊँचाई 50 m है। LOS विधा में संतोषजनक संचार के लिए दोनों ऐंटीना के बीच की अधिकतम दूरी क्या है? (पृथ्वी की त्रिज्या = 6400 km)

हल

$$d_m = \sqrt{2 \times 64 \times 10^5 \times 32} + \sqrt{2 \times 64 \times 10^5 \times 50} \text{ m}$$

$$= 64 \times 10^2 \times \sqrt{10} + 8 \times 10^3 \times \sqrt{10} \text{ m}$$

$$= 144 \times 10^2 \times \sqrt{10} \text{ m} = 45.5 \text{ km}$$

15.7 माडुलन तथा इसकी आवश्यकता

जैसा कि पहले वर्णन किया जा चुका है कि किसी संचार व्यवस्था का उद्देश्य सूचना अथवा संदेश सिग्नलों को प्रेषित करना है। संदेश सिग्नलों को *आधार बैंड सिग्नल* भी कहते हैं जो आवश्यक रूप से उस मूल सिग्नल द्वारा निरूपित आवृत्ति बैंड को निर्दिष्ट करता है, जिसे सूचना स्रोत द्वारा प्रदान किया गया है। व्यापक रूप से कोई भी सिग्नल एकल आवृत्ति का ज्यावक्र नहीं होता, वरन वह एक आवृत्ति परिसर, जिसे सिग्नल बैंड चौड़ाई कहते हैं, में फैला होता है। मान लीजिए हम श्रव्य आवृत्ति (Audio frequency या AF) के किसी इलेक्ट्रॉनिक सिग्नल (जिसकी आधार बैंड आवृत्ति 20 kHz से कम है।) को किसी लंबे परास की दूरी पर सीधे ही प्रेषित करना चाहते हैं। आइए, यह ज्ञात करें कि वे कौन-कौन से कारक हैं जो हमें ऐसा करने से रोकते हैं तथा हम उन पर कैसे पार पाते हैं।

15.7.1 ऐंटीना अथवा ऐरियल का साइज़

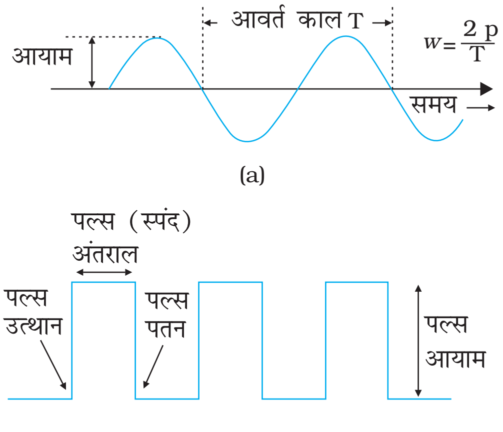
किसी सिग्नल को प्रेषित करने के लिए हमें किसी ऐंटीना या ऐरियल की आवश्यकता होती है। कोई ऐंटीना उस सिग्नल में समय के साथ होने वाले परिवर्तन उचित रूप से संवेदन कर सके, इसके लिए यह आवश्यक है कि उस ऐंटीना का साइज़ उस सिग्नल से संबद्ध तरंगदैर्घ्य (λ) के तुलनीय हो (साइज़ कम से कम $\lambda/4$ हो)। 20 kHz आवृत्ति की किसी वैद्युतचुंबकीय तरंग की तरंगदैर्घ्य λ =15 km होती है। स्पष्ट है कि इस लंबाई के तुलनीय साइज़ का ऐंटीना निर्मित करना तथा प्रचालित करना संभव नहीं है। अतः ऐसे आधार-बैंड सिग्नलों का सीधा प्रेषण व्यावहारिक नहीं है। यदि प्रेषण आवृत्ति उच्च (उदाहरणार्थ, यदि ν =1 MHz है तो λ = 300 m) हो, तो उपयुक्त लंबाई के ऐंटीना द्वारा प्रेषण संभव हो सकता है। अतः *हमारे न्यून आवृत्ति आधार बैंड सिग्नल में निहित सूचना को किसी उच्च रेडियो आवृत्तियों में प्रेषण से पूर्व रूपांतरित (translate) करने की आवश्यकता होती है।*

15.7.2 किसी ऐंटीना द्वारा प्रभावी शक्ति विकिरण

किसी रेखीय ऐंटीना (लंबाई = l) से होने वाले विकिरण का सैद्धांतिक अध्ययन यह दर्शाता है कि ऐंटीना द्वारा विकरित शक्ति $(l/\lambda)^2$ के अनुक्रमानुपाती होती है। इसका तात्पर्य यह है कि ऐंटीना की समान लंबाई के लिए, तरंगदैर्घ्य λ के घटने पर (अर्थात आवृत्ति में वृद्धि होने पर) विकिरित शक्ति में वृद्धि हो जाती है। अतः किसी लंबी तरंगदैर्घ्य के आधार-बैंड सिग्नल द्वारा प्रभावी शक्ति विकिरण कम होती है। अतः किसी अच्छे प्रेषण के लिए हमें उच्च शक्ति चाहिए और इसीलिए यह तथ्य हमें प्रेषण के लिए उच्च आवृत्ति के उपयोग की आवश्यकता दर्शाता है।

15.7.3 विभिन्न प्रेषित्रों से प्राप्त सिग्नलों का मिश्रण

आधार-बैंड संकेतों के सीधे प्रसारण (प्रेषण) के विरुद्ध एक अन्य महत्त्वपूर्ण तर्क अधिक व्यावहारिक है। मान लीजिए बहुत से व्यक्ति एक ही समय बातचीत कर रहे हैं अथवा एक ही क्षण कई प्रेषित्र आधार-बैंड सूचना सिग्नल प्रेषित कर रहे हैं। ये सभी सिग्नल एक-दूसरे के साथ मिल जाते हैं तथा इनमें विभेदन करने का कोई सरल उपाय नहीं हैं। यह संभावित हल के रूप में उच्च आवृत्तियों पर एक ऐसे संचार के उपयोग की ओर संकेत करता है, जिसमें प्रत्येक संदेश सिग्नल के प्रेषण के लिए आवृत्तियों का एक बैंड आवंटित किया जाता है।



चित्र 15.7 (a) ज्यावक्रीय तथा (b) स्पंद (पल्स) आकृति सिग्नल।

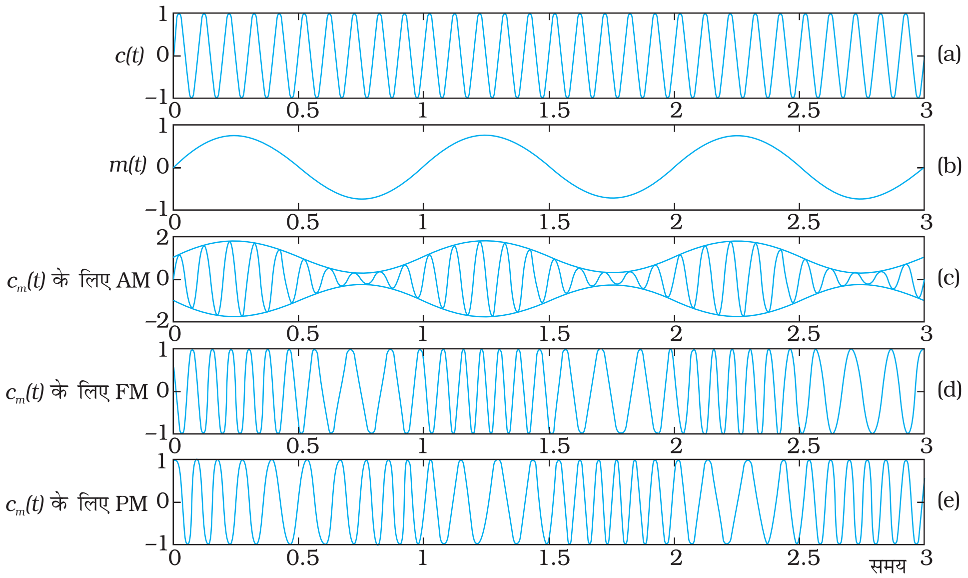
उपरोक्त तर्क यह सुझाता है कि *न्यून आवृत्ति के मूल आधार बैंड या सूचना सिग्नल का प्रेषण से पूर्व किसी उच्च आवृत्ति तरंग में रूपांतरण आवश्यक है। यह रूपांतरण प्रक्रिया इस प्रकार की होनी चाहिए कि रूपांतरित सिग्नल में उन सभी सूचनाओं का समावेश रहे जो मूल सिग्नल में समाहित थी।* ऐसा करने के लिए हम किसी उच्च आवृत्ति सिग्नल, जिसे *वाहक तरंग* कहते हैं, की सहायता लेते हैं। वह प्रक्रिया जिसके द्वारा वाहक तरंग के साथ सूचना को संलग्न किया जाता है *मॉडुलन* कहलाती है। वाहक तरंग सतत (ज्यावक्रीय) अथवा स्पंद के रूप में चित्र 15.7 में दर्शाए अनुसार हो सकती है।

किसी ज्यावक्रीय वाहक तरंग को इस प्रकार निरूपित किया जा सकता है।

$$c(t) = A_c \sin (\omega_c t + \phi) \qquad (15.2)$$

यहाँ $c(t)$ सिग्नल तीव्रता (वोल्टता अथवा धारा), A_c आयाम, ω_c (= $2\pi\nu_c$) कोणीय आवृत्ति तथा

ϕ वाहक तरंग की आरंभिक कला है। मॉडुलन की प्रक्रिया में इन तीनों प्राचलों में से वाहक तरंग के किसी भी एक प्राचल A_c , ω_c तथा ϕ को संदेश अथवा सूचना सिग्नल द्वारा नियंत्रित किया जा सकता है। इसके परिणामस्वरूप तीन प्रकार के मॉडुलन होते हैं: (i) आयाम मॉडुलन (AM); (ii) आवृत्ति मॉडुलन (FM); तथा (iii) कला मॉडुलन (PM) जैसा कि चित्र 15.8 में दर्शाया गया है।



चित्र 15.8 किसी वाहक तरंग का मॉडुलन: (a) ज्यावक्रीय वाहक तरंग, (b) मॉडुलक सिग्नल (c) आयाम मॉडुलन, (d) आवृत्ति मॉडुलन तथा (e) कला मॉडुलन

इसी प्रकार किसी स्पंद के तीन महत्वपूर्ण लक्षण होते हैं: स्पंद आयाम, स्पंद अवधि अथवा स्पंद चौड़ाई, तथा स्पंद स्थिति (जो स्पंद के आयाम में वृद्धि या गिरावट के काल को निर्दिष्ट करती है) जिन्हें चित्र15.7(b) में दर्शाया गया है। अत: स्पंद माडुलन के विभिन्न प्रकार है : (a) स्पंद आयाम माडुलन (PAM), (b) स्पंद अवधि माडुलन (PDM) अथवा स्पंद चौड़ाई माडुलन (PWM), तथा (c) स्पंद स्थिति माडुलन (PPM)। इस अध्याय के अंतर्गत हम अपनी चर्चा को आयाम माडुलन तक ही सीमित रखेंगे।

माडुलन और विमाडुलन
http://www.williamson-labs.com/480_mod.htm
http://iitg.vlab.co.in/?sub=59&brch=163&sim=259&cnt=358

15.8 आयाम माडुलन

आयाम माडुलन में वाहक तरंग के आयाम में सूचना सिग्नल के अनुसार परिवर्तन होता है। यहाँ पर किसी ज्यावक्रीय सिग्नल को माडुलक सिग्नल के रूप में उपयोग करके, हम आयाम माडुलन प्रक्रिया को स्पष्ट करेंगे।

मान लीजिए $c(t) = A_c \sin \omega_c t$ वाहक तरंग को निरूपित करती है, तथा $m(t) = A_m \sin \omega_m t$ माडुलक सिग्नल अथवा संदेश को निरूपित करती है जबकि, $\omega_m = 2\pi f_m$ संदेश सिग्नल की कोणीय आवृत्ति है। तब माडुलित सिग्नल $c_m(t)$ को इस प्रकार व्यक्त किया जा सकता है।

$$c_m(t) = (A_c + A_m \sin \omega_m t) \sin \omega_c t$$

$$= A_c \left(1 + \frac{A_m}{A_c} \sin \omega_m t\right) \sin \omega_c t \qquad (15.3)$$

ध्यान दीजिए, अब संदेश सिग्नल माडुलित सिग्नल में अंतर्विष्ट है। इसे चित्र 15.8(c) में भी देखा जा सकता है। समीकरण (15.3) से हम यह लिख सकते हैं,

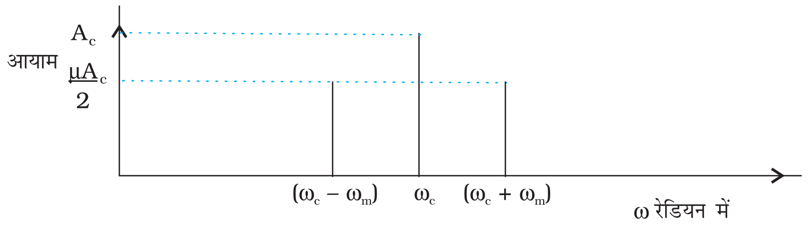
$$c_m(t)=A_c \sin W_c t+mA_c \sin W_m t \sin W_c t \qquad (15.4)$$

यहाँ $\mu = A_m/A_c$ माडुलन सूचकांक है। विरूपण से बचाव के लिए व्यवहार में $\mu \leq 1$ रखा जाता है।

त्रिकोणमितीय संबंध $\sin A \sin B = ½ [\cos(A - B) - \cos(A + B)]$ का उपयोग करके हम समीकरण 15.4 के $c_m(t)$ को इस प्रकार व्यक्त कर सकते हैं।

$$c_m(t) = A_c \sin \omega_c t + \frac{\mu A_c}{2} \cos(\omega_c - \omega_m)t - \frac{\mu A_c}{2} \cos(\omega_c + \omega_m)t \quad (15.5)$$

यहाँ पर $(\omega_c - \omega_m)$ तथा $(\omega_c + \omega_m)$ को क्रमशः *निम्न पार्श्व आवृत्ति* तथा *उच्च पार्श्व आवृत्ति* कहते हैं। इस प्रकार अब माडुलित सिग्नल में ω_c आवृत्ति की वाहक तरंग के साथ दो ज्यावक्रीय तरंगें, जिनकी आवृत्तियाँ से कुछ भिन्न होती हैं, और जिन्हें *पार्श्व बैंड* कहते हैं, अंतर्विष्ट होती हैं। चित्र 15.9 में माडुलित सिग्नल का आवृत्ति स्पेक्ट्रम दर्शाया गया है।



चित्र 15.9 किसी आयाम माडुलित सिग्नल का आयाम व ω के बीच ग्राफ़।

जब तक प्रसारित आवृत्तियाँ (वाहक तरंगें) पर्याप्त दूरियों पर रखी जाती हैं ताकि पार्श्व बैंड एक दूसरे पर अतिव्यापित न हों, विभिन्न स्टेशन एक दूसरे में बिना बाधा पहुँचाए प्रचालित हो सकते हैं।

उदाहरण 15.2 10 kHz आवृत्ति तथा 10 V शिखर वोल्टता के संदेश सिग्नल का उपयोग किसी 1 MHz आवृत्ति तथा 20 V शिखर वोल्टता की वाहक तरंग को माडुलित करने में किया गया है। (a) माडुलन सूचकांक तथा (b) उत्पन्न पार्श्व बैंड ज्ञात कीजिए।

हल

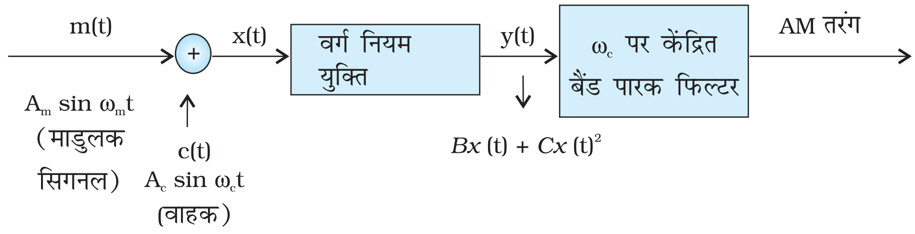
(a) माडुलन सूचकांक =10/20 = 0.5

(b) पार्श्व बैंड (1000+10) kHz =1010 kHz तथा (1000–10 kHz) = 990 kHz पर हैं।

उदाहरण 15.2

15.9 आयाम माडुलित तरंग को उत्पन्न करना

आयाम माडुलन उत्पन्न करने के विविध ढंग हो सकते हैं। चित्र 15.10 में ब्लॉक आरेख में इसकी एक सरल संकल्पनात्मक विधि दर्शायी गई है।



चित्र 15.10 AM सिग्नल प्राप्त करने के लिए सरल माडुलक का ब्लॉक आरेख।

यहाँ सिग्नल $x(t)$ को उत्पन्न करने के लिए माडुलक सिग्नल $A_m \sin \omega_m t$ को वाहक सिग्नल $A_c \sin \omega_c t$ में मिलाया जाता है। इस सिग्नल $x(t) = A_m \sin\omega_m t + A_c \sin \omega_c t$ को फिर वर्ग नियम युक्ति, जो कि एक अरैखिक युक्ति है, से गुज़ारते हैं। इस प्रकार उत्पन्न निर्गत है :

$$y(t) = B\,x(t) + Cx^2(t) \tag{15.6}$$

यहाँ B तथा C नियतांक हैं। इस प्रकार

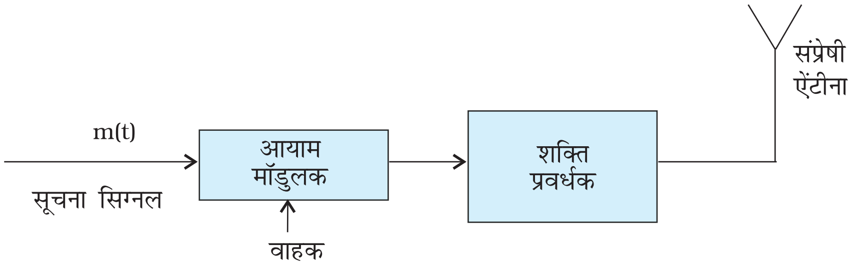
$$y(t) = BA_m \sin \omega_m t + BA_c \sin \omega_c t + C[A_m^2 \sin^2\omega_m t + A_c^2 \sin^2\omega_c t + 2A_m A_c \sin\omega_m t \sin\omega_c t] \tag{15.7}$$

$$= BA_m \sin \omega_m t + BA_c \sin \omega_c t + \frac{C A_m^2}{2} + \frac{C A_c^2}{2} - \frac{C A_m^2}{2}\cos 2\omega_m t - \frac{C A_c^2}{2}\cos 2\omega_c t + CA_m A_c \cos(\omega_c - \omega_m)\,t - CA_m A_c \cos(\omega_c + \omega_m)\,t \tag{15.8}$$

यहाँ पर, त्रिकोणमितीय संबंधों $\sin^2 A = (1 - \cos 2A)/2$ तथा $\sin A \sin B$ के लिए संबंध, जिसे पहले भी उपयोग किया जा चुका है, का उपयोग किया गया है।

समीकरण (15.8) एक dc पद $C/2\left(A_m^2 + A_c^2\right)$ तथा आवृत्तियों ω_m, $2\omega_m$, ω_c, $2\omega_c$, $\omega_c - \omega_m$, $\omega_c + \omega_m$ के ज्यावक्र हैं जैसा कि चित्र 15.10 में दर्शाया गया है। इस सिग्नल को बैंड पारक फिल्टर* से गुज़ारते हैं जो dc अवयव तथा आवृत्तियों ω_m , $2\omega_m$ तथा $2\omega_c$ के ज्यावक्रों का निराकरण करके ω_c, $\omega_c - \omega_m$, $\omega_c + \omega_m$ आवृत्तियों को प्रतिधारित कर लेता है। इस प्रकार बैंड पारक फिल्टर का निर्गत का समीकरण (15.5) के समान रूप होता है, अतः यह एक AM तरंग होती है।

यहाँ यह उल्लेख करना आवश्यक है कि माडुलित सिग्नल को ऐसे ही प्रेषित नहीं किया जा सकता। माडुलक का अनुगमन एक शक्ति प्रवर्धक करता है जो सिग्नल को आवश्यक शक्ति प्रदान करता है। इस प्रकार प्राप्त माडुलित सिग्नल का संभरण किसी उपयुक्त साइज़ के ऐंटीना को किया जाता है जो चित्र 15.11 में दर्शाए अनुसार सिग्नल को विकिरित कर देता है।



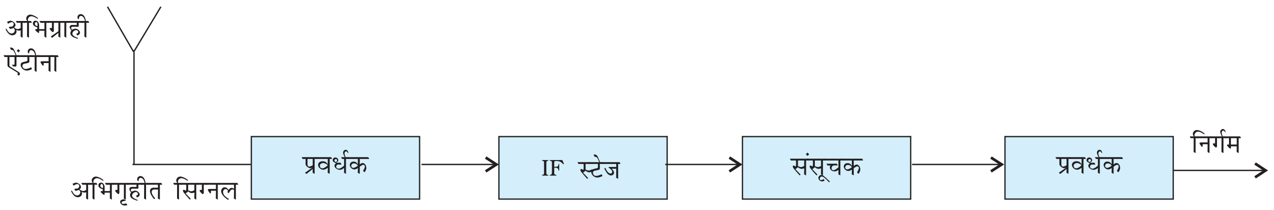
चित्र 15.11 प्रेषित्र का ब्लॉक-आरेख।

15.10 आयाम माडुलित तरंग का संसूचन

चैनल से प्रसारण में प्रेषित संदेश क्षीण हो जाता है। अतः अभिग्राही ऐंटीना किसी प्रवर्धक तथा संसूचक का अनुगमन करता है। साथ ही, संसाधन की सुविधा के लिए वाहक आवृत्ति को प्रायः किसी मध्य आवृत्ति *(IF)* चरण पर संसूचन से पूर्व निम्न आवृत्ति में परिवर्तित कर लेते हैं। संसूचित

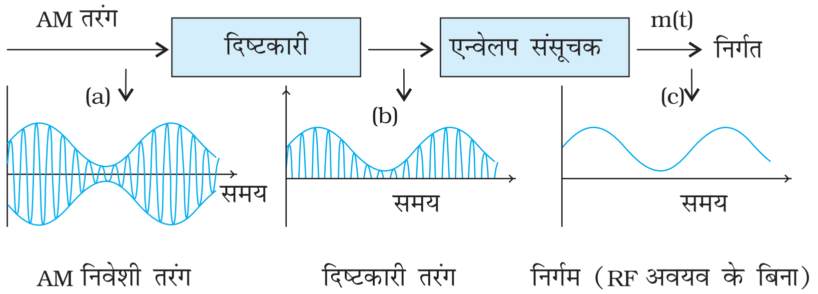
* बैंड पारक फिल्टर न्यून तथा उच्च आवृत्तियों का निराकरण कर देता है तथा आवृत्तियों के एक बैंड को गुज़रने देता है।

सिग्नल इतना प्रबल नहीं होता कि उसका उपयोग किया जा सके, अत: उसे प्रवर्धित करने की आवश्यकता होती है। चित्र 15.12 में किसी प्ररूपी अभिग्राही का ब्लॉक-आरेख दर्शाया गया है।



चित्र 15.12 अभिग्राही का ब्लॉक-आरेख।

संसूचन वह प्रक्रिया है जिसके द्वारा माडुलित वाहक तरंग से माडुलिक सिग्नल की पुन: प्राप्ति की जाती है। हमने अभी यह देखा था कि माडुलित वाहक तरंग में ω_c तथा $\omega_c \pm \omega_m$ आवृत्तियाँ होती हैं। इससे आवृत्ति ω_m वाले कोणीय मूल संदेश सिग्नल $m(t)$ को प्राप्त करने की एक सरल विधि चित्र 15.13 में ब्लॉक-आरेख के रूप में दर्शायी गई है।



चित्र 15.13 AM सिग्नल के संसूचक का ब्लॉक-आरेख। y-अक्ष के लिए भौतिक राशि वोल्टता अथवा धारा हो सकती है।

माडुलित सिग्नल, जिसका रूप चित्र 15.13(a) में दर्शाया गया है, दिष्टकारी से गुज़ारा जाता है जिसके फलस्वरूप (b) में दर्शाए अनुसार निर्गम प्राप्त होता है। सिग्नल (b) का यह एन्वेलप ही मूल सिग्नल है। सिग्नल $m(t)$ की पुन: प्राप्ति के लिए इस संदेश सिग्नल (b) को एन्वेलप संसूचक (जो एक सरल RC परिपथ होता है) से गुज़ारा जाता है।

इस अध्याय में हमने संचार तथा संचार व्यवस्थाओं की कुछ मूल संकल्पनाओं के विषय में चर्चा की है। इसमें हमने एक विशिष्ट प्रकार के अनुरूप माडुलन–आयाम माडुलन (AM) के विषय में भी चर्चा की है। माडुलन के अन्य प्रकारों तथा अंकीय संचार व्यवस्था की भी आधुनिक संचार में महत्वपूर्ण भूमिका है। इस क्षेत्र में प्रतिदिन अन्य उत्तेजनापूर्ण विकास कार्य हो रहे हैं।

अब तक हमने अपनी चर्चा को कुछ मूल संचार व्यवस्थाओं तक ही सीमित रखा है। इस अध्याय को समाप्त करने से पहले हम आपको आधुनिक समय की कुछ उन संचार व्यवस्थाओं की झलक दिखाना चाहते हैं जिनसे हमारे दैनिक जीवन में सूचनाओं के आदान-प्रदान के ढंग में आमूलचूल परिवर्तन उत्पन्न हो गया है।

अतिरिक्त जानकारी

इंटरनेट

इस व्यवस्था का सारे संसार में करोड़ों उपभोक्ता उपयोग कर रहे हैं। इस व्यवस्था के अंतर्गत किसी विशाल एवं जटिल नेटवर्क से संयोजित दो या अधिक कंप्यूटरों के बीच हर प्रकार की सूचनाओं का आदान-प्रदान एवं संचार का अवसर प्राप्त होता है। यह 1960 में आरंभ हुआ तथा सर्वसाधारण के लिए 1990 से सुलभ किया गया। समय के साथ उसमें विस्फोटक वृद्धि हुई है जो अपनी पहुँच का निरंतर विस्तार कर रही है। इसके निम्नलिखित अनुप्रयोग हैं:

(i) *ई-मेल* : यह ई-मेल सॉफ़्टवेयर का उपयोग करके पाठ्यसामग्री/आलेखी सामग्री के आदान-प्रदान की सुविधा प्रदान करता है। हम कोई पत्र लिखकर उसे ISP's (इंटरनेट सेवा प्रदानकर्ता) के द्वारा पत्र पाने वाले के पास भेज सकते हैं। यहाँ ISP डाकघर के रूप में पत्र भेजने और प्राप्त करने का कार्य करता है।

(ii) *फाइल ट्रांसफर* : फाइल स्थानांतर कार्यक्रम (FTP) इंटरनेट से जुड़े एक कंप्यूटर से दूसरे कंप्यूटर को फाइल/सॉफ़्टवेयर स्थानांतरित करने का अवसर प्रदान करता है।

(iii) *वर्ल्ड वाइड वेब (WWW)* : ऐसे कंप्यूटर जो दूसरे से बाँटने के लिए अपने भीतर कुछ विशिष्ट सूचना संग्रहित करते हैं या तो स्वयं ही अथवा वेब सेवा प्रदान करने वालों के द्वारा कोई वेबसाइट प्रदान करते हैं। शासकीय विभाग, कम्पनियाँ, अशासकीय संगठन (NGO) तथा कोई व्यक्ति भी अपने क्रियाकलापों के विषय में सीमित अथवा मुक्त उपयोग के लिए अपनी सूचना इसमें दे सकते हैं। यह जानकारी इसके उपभोक्ताओं के लिए सुलभ (पहुँच के भीतर) हो जाती है। बहुत से सर्च इंजन जैसे याहू, गूगल आदि संबंधित वेबसाइटों की सूची बनाकर जानकारी प्राप्त करने में हमारी सहायता करते हैं। वेब का एक अत्यंत शक्तिशाली लक्षण *हाइपर टैक्स्ट* है जो स्वत: ही हमें प्रासंगिक जानकारी देने के लिए जोड़ *HTML* (हाइपर टेक्स्ट मार्कअप लेंग्वेज) का उपयोग करके वेब के एक पृष्ठ को दूसरे पृष्ठ से जोड़ देता है।

(iv) *ई-कॉमर्स* : इलेक्ट्रॉनिक साधनों जैसे क्रेडिट कार्ड का उपयोग करके इंटरनेट के उपयोग द्वारा व्यापार को प्रोन्नत करना, ई-कॉमर्स कहलाता है। ग्राहक विविध उत्पादों एवं सेवाओं के प्रतिबिंबों को देखकर विभिन्न कंपनियों के वेबसाइट द्वारा उनके उत्पादों एवं सेवाओं के विषय में जानकारी प्राप्त कर लेते हैं। वे घर अथवा ऑफिस से वस्तुओं की ऑन लाइन खरीदारी कर सकते हैं। कंपनियाँ वस्तुएँ अथवा अपनी सेवाएँ डाक द्वारा अथवा कूरियर सेवा द्वारा प्रदान कर देती हैं।

(v) *बातचीत-गपशप* : समान रुचि के व्यक्तियों द्वारा टाइप किए हुए संदेशों द्वारा बातचीत को चैट (Chat) करना कहते हैं। चैट ग्रुप में सम्मिलित कोई भी व्यक्ति तात्कालिक संदेश प्राप्त करके तुरंत ही उत्तर दे सकता है।

अनुलिपि (FAX)

यह इलेक्ट्रॉनिक सिग्नल उत्पन्न करने के लिए किसी लिखित प्रमाण की विषय वस्तु का (प्रतिबिंब के रूप में विषय वस्तु की भाँति नहीं) क्रमवीक्षण करता है। ये सिग्नल फिर उसकी मंजिल (दूसरी FAX मशीन) तक सामान्य ढंग से टेलीफ़ोन की लाइन द्वारा भेजे जाते हैं। मंजिल पर पहुँचने के पश्चात सिग्नलों को FAX मशीन मूल लिखित प्रमाणों की प्रतिकृति में पुन: परिवर्तित कर देती है। ध्यान देने योग्य बात यह है कि FAX मशीन, किसी स्थिर लिखित प्रमाण का प्रतिबिंब प्रदान करती है, टेलीविज़न की भाँति गतिशील वस्तुओं के प्रतिबिंब प्रदान नहीं कर सकती।

मोबाइल टेलीफ़ोनी

मोबाइल टेलीफ़ोनी की परिकल्पना सर्वप्रथम 1970 के दशक में विकसित की गई और अगले दशक में इसे पूर्णत: लागू कर दिया गया। इस व्यवस्था की केंद्रीय अभिधारणा के अनुसार समस्त सेवा क्षेत्र को उचित संख्या के कक्षों में बाँट लेते हैं। ये कक्ष किसी ऑफिस जिसे *मोबाइल टेलीफ़ोन स्विचिंग ऑफिस* (MTSO) कहते हैं पर केंद्रित रखते हैं। प्रत्येक्ष कक्ष के पास एक निम्न शक्ति प्रेषित्र है जिसे *बेस स्टेशन* कहते हैं, तथा यह मोबाइल रिसीवरों (जिसे बोलचाल में सेल फ़ोन कहते हैं) की बड़ी संख्या को सेवा प्रदान करता है। प्रत्येक कक्ष के पास कुछ वर्ग किलोमीटर अथवा इससे भी कम क्षेत्र होता है जो उपभोक्ताओं की संख्या पर निर्भर करता है। जब कोई मोबाइल रिसीवर किसी एक बेस स्टेशन के क्षेत्र से बाहर किसी अन्य क्षेत्र में जाता है तो यह आवश्यक है कि उस मोबाइल उपभोक्ता को उसी बेस स्टेशन पर स्थानांतरित किया जाए। इस कार्यविधि को *हैंडओवर* या *हैंडऑफ़* कहते हैं। यह प्रक्रिया अत्यधिक तीव्रता से चलाई जाती है तथा उपभोक्ता इस पर ध्यान तक नहीं दे पाता। मोबाइल टेलीफ़ोन प्ररूपी ढंग से आवृत्तियों के UHF परिसर (लगभग 800-950 MHz) में प्रचालित किए जाते हैं।

सारांश

1. इलेक्ट्रॉनिक संचार का तात्पर्य सूचना अथवा संदेशों (जो वैद्युत वोल्टता या धारा के रूप में उपलब्ध होते हैं) को एक बिंदु से दूसरे बिंदु तक विश्वसनीय ढंग से स्थानांतरित करना है।
2. किसी संचार व्यवस्था के तीन मूल एकक–संप्रेषक, संप्रेषण-चैनल, तथा अभिग्राही होते हैं।
3. संचार व्यवस्था के दो महत्वपूर्ण प्रकार अनुरूप तथा अंकीय संचार हैं। अनुरूप संचार में प्रसारित की जाने वाली सूचना व्यापक रूप से संतत तरंगवत होती है, जबकि अंकीय संचार में मात्र विविक्त अथवा क्वांटित स्तर के होते हैं।
4. प्रत्येक संदेश सिग्नल का एक आवृत्ति परिसर होता है। किसी संदेश सिग्नल की बैंड-चौड़ाई का तात्पर्य उस आवृत्ति-बैंड से होता है जो उस संदेश सिग्नल में अंतर्विष्ट सूचना संतोषजनक प्रेषण के लिए आवश्यक होता है। इसी प्रकार कोई भी व्यावहारिक संचार-व्यवस्था आवृत्ति के केवल किसी परिसर को ही प्रेषण का अवसर प्रदान करती है और इसी को उस संचार व्यवस्था की बैंड-चौड़ाई कहा जाता है।
5. निम्न आवृत्तियों को लंबी दूरी तक संप्रेषित नहीं किया जा सकता है। अतः इसे एक विशेष प्रक्रिया जिसे माडुलन कहते हैं, के द्वारा किसी उच्च आवृत्ति के वाहक सिग्नल पर अध्यारोपित किया जाता है।
6. माडुलन में वाहक सिग्नल के कुछ लक्षण जैसे आयाम, आवृत्ति अथवा कला, माडुलक अथवा संदेश सिग्नल के अनुरूप परिवर्तित हो जाते हैं। तदनुसार विभिन्न माडुलित तरंगों को आयाम माडुलित (AM), आवृत्ति माडुलित (FM), अथवा कला माडुलित (PM) तरंग कहते हैं।
7. स्पंद माडुलन का वर्गीकरण इस प्रकार किया जाता है : स्पंद आयाम माडुलन (PAM), स्पंद अवधि माडुलन (PDM) अथवा स्पंद चौड़ाई माडुलन (PWM), तथा स्पंद स्थिति माडुलन (PPM)
8. लंबी दूरियों तक संप्रेषण के लिए सिग्नलों को आकाश में कुछ युक्तियों के द्वारा विकिरित किया जाता है जिन्हें ऐंटीना कहते हैं। ये विकिरित सिग्नल वैद्युतचुंबकीय तरंगों के रूप में प्रसारित होते हैं तथा उनके प्रसारण की विधा को पृथ्वी तथा इसका वायुमंडल प्रभावित करता है। पृथ्वी के पृष्ठ के निकट वैद्युतचुंबकीय तरंगें पृष्ठीय तरंगों के रूप में प्रसारित होती हैं। पृष्ठीय प्रसारण कुछ MHz आवृत्तियों तक ही उपयोगी होता है।
9. पृथ्वी के किन्हीं दो बिंदुओं के बीच लंबी दूरी का संचार आयनमंडल द्वारा वैद्युतचुंबकीय तरंगों के परावर्तन द्वारा संभव हो पाता है। इस प्रकार की तरंगों को व्योम तरंगें कहते हैं। व्योम तरंगों का प्रसारण लगभग 30 MHz आवृत्ति तक ही हो सकता हैं। इस आवृत्ति से अधिक आवृत्ति की वैद्युतचुंबकीय तरंगें अनिवार्य रूप से आकाश तरंगों के रूप में प्रसारित होती है। आकाश तरंगों का उपयोग दृष्टिरेखीय संचार तथा उपग्रह संचार में होता है।
10. यदि कोई ऐंटीना h_T ऊँचाई से वैद्युतचुंबकीय तरंगें विकिरित करता है, तो उसके परिसर d_T को $\sqrt{2Rh_T}$ द्वारा व्यक्त किया जाता है, यहाँ R पृथ्वी की त्रिज्या है।
11. आयाम माडुलित सिग्नल में $(\omega_c - \omega_m)$, ω_c तथा $(\omega_c + \omega_m)$. आवृत्तियाँ होती हैं।
12. संदेश सिग्नल तथा वाहक तरंग को किसी अरैखिक युक्ति पर अनुप्रयुक्त करके तथा फिर उसे बैंड पारक फिल्टर से गुजारकर, आयाम माडुलित सिग्नल प्राप्त किया जाता है।
13. AM संसूचन किसी AM तरंग रूप से माडुलक सिग्नल की पुनः प्राप्ति की वह प्रक्रिया है जिसके संचालन में किसी दिष्टकारी तथा एन्वेलप संसूचक का उपयोग किया जाता है।

विचारणीय विषय

1. संदेश/सूचना सिग्नल के संप्रेषण तथा अभिग्रहण की प्रक्रिया में सिग्नल के साथ नॉयज (रव) जुड़ जाता है। क्या आप इस नॉयज के कुछ स्रोत बता सकते हैं?
2. माडुलन की प्रक्रिया में नयी आवृत्तियाँ जिन्हें पार्श्वबैंड कहते हैं, वाहक तरंग आवृत्ति के दोनों ओर (वाहक आवृत्ति से अधिक तथा कम) उत्पन्न हो जाते हैं। इनका परिमाण अधिकतम माडुलक आवृत्ति के बराबर होता है। क्या (a) केवल पार्श्वबैंडों, (b) केवल एक पार्श्वबैंड को प्रेषित करके संदेश की पुन:प्राप्ति संभव हो सकती है?
3. आयाम माडुलन में माडुलन सूचकांक $\mu \leq 1$ का उपयोग किया जाता है। यदि $\mu > 1$ हो तो क्या होगा?

अभ्यास

15.1 व्योम तरंगों के उपयोग द्वारा क्षितिज के पार संचार के लिए निम्नलिखित आवृत्तियों में से कौन सी आवृत्ति उपयुक्त रहेगी?

(a) 10 kHz
(b) 10 MHz
(c) 1 GHz
(d) 1000 GHz

15.2 UHF परिसर की आवृत्तियों का प्रसारण प्राय: किसके द्वारा होता है?

(a) भू-तरंगें
(b) व्योम तरंगें
(c) पृष्ठीय तरंगें
(d) आकाश तरंगें

15.3 अंकीय सिग्नल :

(i) मानों का संतत समुच्चय प्रदान नहीं करते।
(ii) मानों को विविक्त चरणों के रूप में निरूपित करते हैं।
(iii) द्विआधारी पद्धति का उपयोग करते हैं।
(iv) दशमलव के साथ-साथ द्विआधारी पद्धति का भी उपयोग करते हैं।

उपरोक्त प्रकथनों में कौन से सत्य हैं?

(a) केवल (i) तथा (ii)
(b) केवल (ii) तथा (iii) ,
(c) (i), (ii) तथा (iii) परन्तु (iv) नहीं
(d) (i), (ii), (iii) तथा (iv) सभी

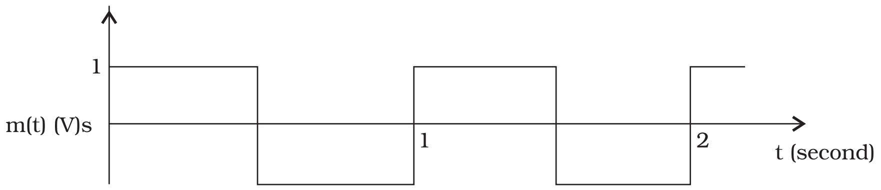
15.4 दृष्टिरेखीय संचार के लिए क्या यह आवश्यक है कि प्रेषक ऐंटीना की ऊँचाई अभिग्राही ऐंटीना की ऊँचाई के बराबर हो? कोई TV प्रेषक ऐंटीना 81 m ऊँचा है। यदि अभिग्राही ऐंटीना भूस्तर पर है तो यह कितने क्षेत्र में सेवाएँ प्रदान करेगा?

15.5 12 V शिखर वोल्टता की वाहक तरंग का उपयोग किसी संदेश सिग्नल के प्रेषण के लिए किया गया है। माडुलन सूचकांक 75% के लिए माडुलक सिग्नल की शिखर वोल्टता कितनी होनी चाहिए ?

15.6 किसी माडुलित तरंग का अधिकतम आयाम 10V तथा न्यूनतम आयाम 2V पाया जाता है। माडुलन सूचकांक μ का मान निश्चित कीजिए।
यदि न्यूनतम आयाम शून्य वोल्ट हो तो माडुलन सूचकांक क्या होगा?

15.7 आर्थिक कारणों से किसी AM तरंग का केवल ऊपरी पार्श्व बैंड ही प्रेषित किया जाता है, परंतु ग्राही स्टेशन पर वाहक तरंग उत्पन्न करने की सुविधा होती है। यह दर्शाइए कि यदि कोई ऐसी युक्ति उपलब्ध हो जो दो सिग्नलों की गुणा कर सके, तो ग्राही स्टेशन पर माडुलक सिग्नल की पुन:प्राप्ति संभव है।

15.8 चित्र 15.14 में दर्शाए अनुसार कोई माडुलक सिग्नल वर्ग तरंग है।



चित्र 15.14

दिया गया है कि वाहक तरंग $c(t) = 2\sin(8\pi t)$ V

(i) आयाम माडुलित तरंग रूप आलेखित कीजिए।

(ii) माडुलन सूचकांक क्या है?