

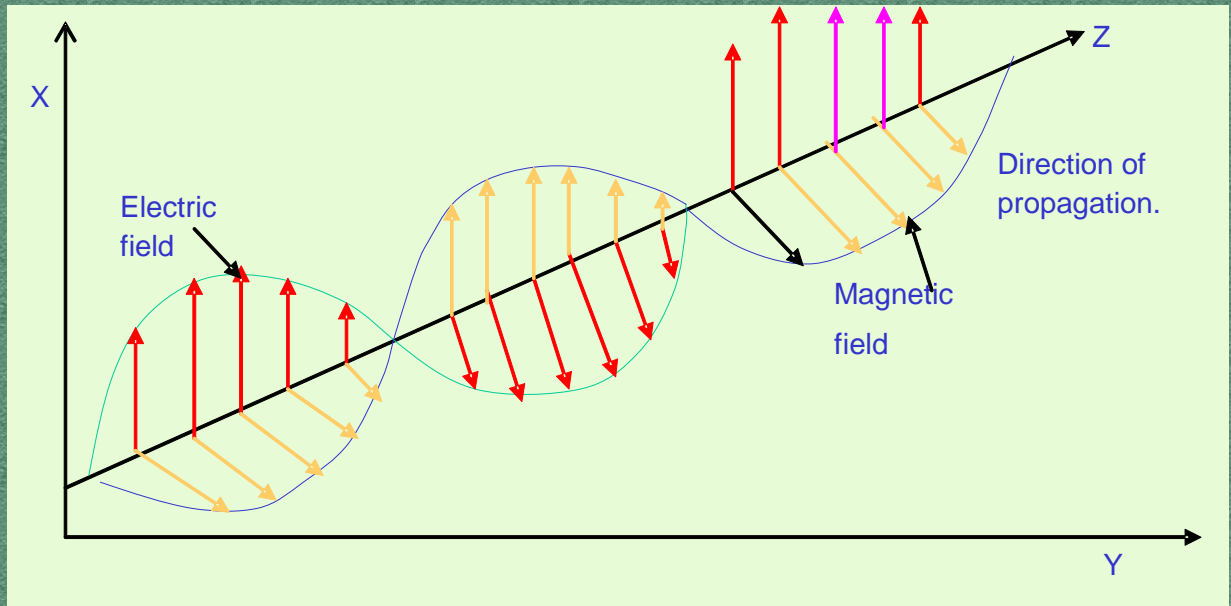
इरिसेट



IRISET

टी.बी.5

रेडियो प्रोपगेशन



भारतीय रेल सिग्नल इंजीनियरी और दूरसंचार संस्थान
सिकंदराबाद-500017

टी.बी.5

रेडियो प्रोपगेशन

दर्शन : इरिसेट को अंतर्राष्ट्रीय प्रसिद्धि का संस्थान बनाना, जो कि अपने मानक व निर्देशचिह्न स्वयं तय करे.

लक्ष्य : प्रशिक्षण के माध्यम से सिगनल एवं दूरसंचार कर्मियों की गुणवत्ता में सुधार तथा उनकी उत्पादक क्षमता में वृद्धि लाना.

इस इरिसेट नोट्स में उपलब्ध की गई सामग्री केवल मार्गदर्शन के लिए प्रस्तुत की गयी है. इस नियमावली या रेलवे बोर्ड के अनुदेशों में निहित प्रावधानों को निकालना या परिवर्तित करना मना है.



भारतीय रेल सिगनल इंजीनियरी और दूरसंचार संस्थान

सिकंदराबाद - 500 017

टी.बी.5 रेडियो प्रोपगेशन

विषय सूची

| <u>क्र.सं.</u> | <u>अध्याय</u> | <u>पृष्ठ सं.</u> |
|----------------|----------------------|------------------|
| 1 | रेडियो वेव प्रोपगेशन | 1 |
| 2 | एंटीना | 24 |
| 3 | अनुबंध | 41 |

1. पृष्ठों की संख्या - 28
2. जारी करने की तारीख - जुलाई - 2015
3. हिंदी और अंग्रेजी संस्करण में कोई विसंगति या विरोधाभास होने पर इस विषय का अंग्रेजी संस्करण ही मान्य होगा.

© IRISSET

“यह केवल भारतीय रेलों के प्रयोगार्थ बौद्धिक संपत्ति है. इस प्रकाशन के किसी भी भाग को इरिसेट, सिकंदराबाद, भारत के पूर्व करार और लिखित अनुमति के बिना न केवल फोटो कॉपी, फोटो ग्राफ, मैग्नेटिक, ऑप्टिकल या अन्य रिकार्ड तक सीमित नहीं, बल्कि पुनः प्राप्त की जाने वाली प्रणाली में संग्रहित, प्रसारित या प्रतिकृति तैयार नहीं किया जाए.”

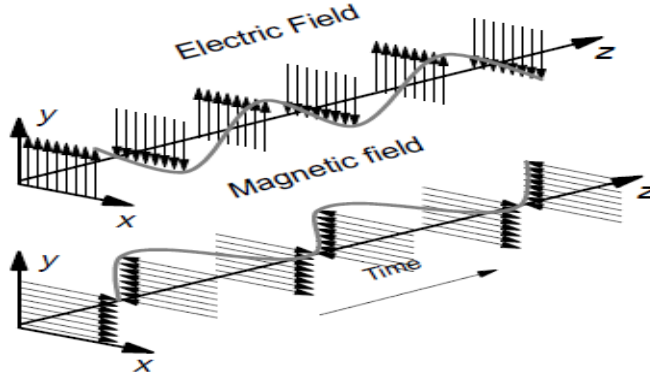
<http://www.iriset.indianrailways.gov.in>

अध्याय 1

रेडियो वेव प्रोपगेशन

1.0. परिचय: रेडियो प्रोपगेशन, रेडियो-वेव का वह बर्ताव है जो कि उनके ट्रांसमिशन के दौरान या फिर पृथ्वी पर एक स्थान से दूसरे स्थान पर उनके ट्रांसमिशन के दौरान या फिर वातावरण के अलग-अलग हिस्सों में प्रसारित करने के दौरान प्रतीत होता है। इलेक्ट्रो-मैग्नेटिक रेडिएशन द्वारा रेडियो फ्रीक्वेंसी स्तर पर उर्जा का अंतरिक्ष में अंतरण होता है।

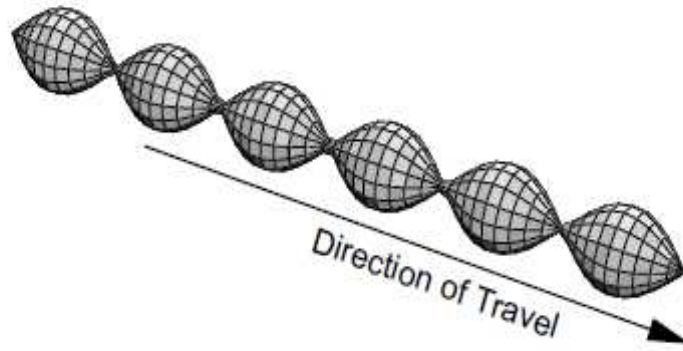
1.1. इलेक्ट्रो-मैग्नेटिक वेव्स: इलेक्ट्रो-मैग्नेटिक वेव में दो फ़ील्ड (क्षेत्र) होते हैं, जिन्हें इलेक्ट्रिक फ़ील्ड E और मैग्नेटिक फ़ील्ड M कहा जाता है। इन दोनों फ़ील्ड में एक दिशा और बल होती है (यानि एंग्लीट्यूड)। किसी भी इलेक्ट्रो-मैग्नेटिक वेव के अंदर, यह दोनों फ़ील्ड (इलेक्ट्रिक और मैग्नेटिक) एक दूसरे पर 90° कोण पर स्थित होते हैं। ये दोनों फ़ील्ड एक दूसरे के परस्पर 90° के कोण में आगे की दिशा में बढ़ते हैं (व्याख्या के आधार पर, प्रकाश की गति 3×10^8 m/sec. या 186,000 miles/sec के बराबर)। इन्हें ट्रांसवर्स वेव कहते हैं। (प्रोपगेशन की दिशा के लंब में ऑसिलेशन होते हैं) तीन आयामी चित्र के आधार पर अगर इलेक्ट्रिक फ़ील्ड की दिशा y अक्ष की ओर तथा मैग्नेटिक फ़ील्ड की दिशा x अक्ष की ओर होती है, तो इनका प्रवाह z अक्ष की दिशा में होता है।



चित्र 1 इलेक्ट्रो-मैग्नेटिक वेव की बनावट

वैसे तो इलेक्ट्रिक फ़ील्ड और मैग्नेटिक फ़ील्ड दोनों ही एक दूसरे पर सुपर-इम्पोज़ किये जाते हैं, पर उन्हें अलग-अलग करके दिखाया गया है ताकि समझने में आसानी हो। z दिशा को अंतरिक्ष में प्रतिनिधित्व माना जा सकता है। या फिर समय के साथ किसी एकल-बिंदु से समय का प्रवाहित होना माना जा सकता है।

जब इलेक्ट्रो-मैग्नेटिक तरंगें प्रवाहित होती हैं, तब उनके इलेक्ट्रिक फ़ील्ड और मैग्नेटिक फ़ील्ड दोनों के दिशा और बल भी दिशा में ऑसिलेट करते हैं। चित्र 1 में इलेक्ट्रिक फ़ील्ड और मैग्नेटिक फ़ील्ड दोनों अलग-अलग दिखाये गये हैं परंतु वे दोनों एक ही स्थान घेरते हैं। जबकि ये दोनों फ़ील्ड एक दूसरे पर सुपर-इम्पोज़ किये जाते हैं, लेकिन स्पष्ट समझने के लिये ऐसे चित्रित किया गया है। यहाँ हम यह मान सकते हैं कि z -दिशा में समय आगे बढ़ रहा है, या फिर किसी एक निश्चित समय में ये तरंगें अंतरिक्ष में आगे बढ़ रही हैं।



चित्र 2 - इलेक्ट्रो-मैग्नेटिक वेव के एंप्लीट्यूड में उतार-चढ़ाव

चित्र 1 के अनुसार, अगर हम इलेक्ट्रिक फ़ील्ड को देखें तो ये दिखाई देता है कि शुरूआत में इलेक्ट्रिक फ़ील्ड नीचे से ऊपर की ओर उन्मुख है (जिसमें y का मान बढ़ता हुआ). कुछ अंतराल के बाद इस फ़ील्ड की दिशा विपरीत हो जाती है तथा कुछ और अंतराल के बाद पुनः अपने पहले वाली दिशा में बढ़ता हुआ प्रतीत होता है.

इस चित्र में घुमावदार लाईनें इलेक्ट्रिक फ़ील्ड का बल दर्शाती हैं. यह फ़ील्ड आरंभ में अपने अधिकतम मान के साथ एक दिशा में रह कर धीरे-धीरे शून्य हो जाता है और फिर से अपने अधिकतम मान के साथ दूसरी दिशा में बढ़ता प्रतीत होता है. इस तरह यह फ़ील्ड अपनी दिशा बदलता रहता है. जिसका बल साइन-वेव आकार में बदलता रहता है.

यहाँ मुख्य बात यह है कि इसमें दो फ़ील्ड होते हैं और एक ही फेज में ऑसिलेट करते हैं. यानी कि इलेक्ट्रिक फ़ील्ड और मैग्नेटिक फ़ील्ड दोनों एक ही समय में अपने अधिकतम मान पर पहुँचते हैं तथा एक ही समय पर अपने न्यूनतम मान पर पहुँचते हैं, जो की चित्र 2 में दर्शाया गया है. इसी ऑसिलेशन की दर को ही उस वेव की फ्रीक्वेंसी कहते हैं. इसमें एक ऑसिलेशन के द्वारा तय की गयी दूरी को वेव-लेंथ कहते हैं. जब इलेक्ट्रो-मैग्नेटिक तरंगें किसी पॉइंट सोर्स से मुक्त वातावरण में निकलती हैं, तो वे समान रूप से सभी दिशाओं में फैलती जाती हैं.

इलेक्ट्रो-मैग्नेटिक रेडिएशन: जब इलेक्ट्रो-मैग्नेटिक पॉवर मुक्त वातावरण में फैलता है उसे हम रेडिएशन कहते हैं और पूरी तरह से मुक्त वातावरण के वैशिष्ट्यों के अधीन होती हैं.

1.2 फ्री-स्पेस (मुक्त वातावरण): वह वातावरण जो कि साधारण रेडिएशन और रेडियो-वेव प्रोपेगेशन को बाधा नहीं पहुँचाता हो, इसे फ्री-स्पेस या मुक्त-वातावरण कहते हैं. इस तरह के वातावरण में मैग्नेटिक या गुरुत्वाकर्षण फ़ील्ड, ठोस पदार्थ या आइअनाइज़्ड कण नहीं होते हैं.

फ्री-स्पेस (मुक्त-वातावरण) की वैशिष्ट्याएं:

- ✓ हर जगह एक समान होता है.
- ✓ इसमें कोई इलेक्ट्रिकल चार्ज नहीं होते हैं.
- ✓ किसी तरह का करंट प्रवाहित नहीं करता है.
- ✓ सभी दिशाओं में अनंत तक फैला होता है.

एंटीना

ऐसा अनुमानित है कि रेडियो-तरंगें, मुक्त-वातावरण में, इलेक्ट्रो-मैग्नेटिक सिद्धांत पर प्रवाहित होती हैं। ये, मैक्सवेल समीकरण का एक समाधान मानी जाती हैं।

E = इलेक्ट्रिक वेक्टर फील्ड, आवेश(चार्ज) आगे बढ़ने की दिशा दर्शाता है।

H = मैग्नेटिक वेक्टर फील्ड, मैग्नेट के अलाइन होने की दिशा दर्शाता है।

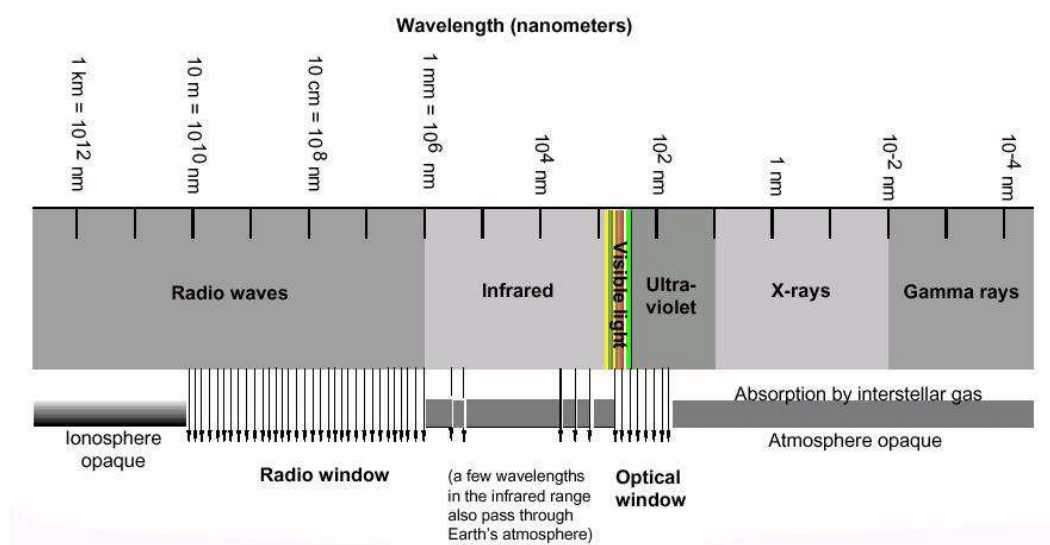
ρ = चार्ज; J = करंट डेंसिटी; μ = पर्मिअबिलिटी ϵ = परमिटिविटी;

∇ = डाइवर्जेंस, डॉट प्रॉडक्ट; $\nabla \times$ = कर्ल, वेक्टर प्रॉडक्ट; ∇ = वेक्टर ऑपरेटर (नाबला)

$$\begin{aligned}\nabla \cdot \epsilon E &= \rho \\ \nabla \cdot \mu H &= 0 \\ \nabla \times E &= -\mu \frac{\partial H}{\partial t} \\ \nabla \times H &= J + \epsilon \frac{\partial E}{\partial t}\end{aligned}$$

1.3. रेडियो फ्रीक्वेंसी स्पेक्ट्रम:

| | | |
|-----|---|-----------------|
| VLF | Very Low Frequencies (वेरी लो फ्रीक्वेंसियाँ) | 3- 30 KHz |
| LF | Low Frequencies (लो फ्रीक्वेंसियाँ) | 30-300 KHz |
| MF | Medium Frequencies (मीडियम फ्रीक्वेंसियाँ) | 300 - 3000 KHz. |
| HF | High Frequencies (हाई फ्रीक्वेंसियाँ) | 3MHz -30 MHz |
| VHF | Very High Frequencies (वेरी हाई फ्रीक्वेंसियाँ) | 30 MHz -300 MHz |
| UHF | Ultra High Frequencies (अल्ट्रा-हाई फ्रीक्वेंसियाँ) | 300 MHz -3 GHz |
| SHF | Super High Frequencies (सुपर-हाई फ्रीक्वेंसियाँ) | 3 GHz -30 GHz |
| EHF | Extra High Frequencies (एक्स्ट्रा हाई फ्रीक्वेंसियाँ) | 30 GHz -300 GHz |



चित्र 3 - इलेक्ट्रो-मैग्नेटिक रेडिएशन की वायुमंडलीय वातायन (विंडोज)

1.4. इलेक्ट्रो-मैग्नेटिक वेव के प्रोपॅगेशन गुण/लक्षण:

ट्रांसमीटर और रिसीवर के बीच वेव प्रोपॅगेशन गुण/लक्षण निम्न द्वारा नियंत्रित किए जाते हैं।

- ✓ ट्रांसमीटर और रिसीवर के एंटीना
- ✓ ऑपरेटिंग फ्रीक्वेंसी, जिस पर वे काम करती हैं
- ✓ ट्रांसमीटर और रिसीवर के बीच का मीडिया/ संचार माध्यम

ट्रांसमीटर से रिसीवर के एंटीना तक रेडियो वेव का संचारण/पहुँचाने के लिए कई तरह की तकनीकों का उपयोग किया जाता है। जिसमें, ग्राउंड वेव, स्काई वेव और स्पेस वेव (ट्रोपोस्फीयर) कुछ मुख्य तकनीक हैं।

ग्राउंड वेव (जिन्हे सरफेस वेव भी कहा जाता है), तब अस्तित्व में आती हैं जब ट्रांसमीटर और रिसीवर के एंटीना, जमीनी सतह के ज्यादा करीब/नजदीक होती हैं और वरटिकल पोलराइज्ड (लंबवत) होती हैं। इनका संचारण जमीनी सतह के नजदीक होता है इसिलिए इनका उपयोग लो-फ्रीक्वेंसी ब्रॉडकास्टिंग (मीडियम वेव) के लिए किया जाता है।

ग्राउंड वेव वरटिकल पोलराइज्ड होती हैं, क्योंकि इसमें उपस्थित इलेक्ट्रिक फ़ील्ड के हॉरिज़ान्टल घटक जब जमीन की सतह के संपर्क में आते हैं, तब शॉर्ट-सर्किट पैदा करते हैं। जब ग्राउंड-वेव जमीनी सतह के ऊपर से प्रवाहित होती हैं तब इन तरंगों की उर्जा, भू-अवरोध (अर्थ-रेजिस्टन्स) के कारण शोषित हो जाती है और ये ग्राउंड-वेव कमज़ोर पड़ जाती हैं। ग्राउंड-वेव की फ़ील्ड स्ट्रेन्थ (फ़ील्ड का बल), उसकी तय की गयी दूरी के चौगुना तथा उसकी फ्रीक्वेंसी के विपरीत समानुपाती (इन्वर्सली प्रोपोर्शनल) होता है। इसके परिणाम स्वरूप ग्राउंड-वेव की रेंज 3 MHz तक सीमित है।

आइनाइज्ड क्षेत्र में, संचारण पथ के घुमाव/मोड़ द्वारा परावर्तित हुई रेडियो वेव की ऊर्जा रिसीवर एंटीना तक पहुँचती है। इसे स्काई-वेव कहते हैं। यह आइनाइज्ड क्षेत्र जमीन की सतह के 50 कि.मी. ऊपर से शुरू होती है। इसके द्वारा वास्तव में ज्यादा दूरी के हाई पावर रेडियो-संचारण किए जाते हैं। 30 MHz से ऊपर की फ्रीक्वेंसी में यह क्षमता नहीं होती कि वे आइनाइज्ड क्षेत्र से परावर्तित हो पाएँ, चाहे कितने भी छोटे कोण से निकली हों और इसिलिये 30 MHz से नीचे की फ्रीक्वेंसी के लिए यह संचार तकनीक अत्यंत महत्वपूर्ण है।

लाइन-ऑफ-साइट (एल.ओ.एस./LOS): लाइन-ऑफ-साइट, प्रोपॅगेशन का एक सबसे सरल तरीका है। सभी तरह की फ़्रिक्वेन्सियाँ इसमें कार्य कर सकती हैं। सिगनल की फ्रीक्वेंसी और वेव-लेंथ पर ट्रांसमीटर और रिसीवर की दूरी निर्भर करती है। VHF और UHF फ्रीक्वेंसियों पर लाइन-ऑफ-साइट प्रोपॅगेशन बहुत ही उपयोगी है।

1.4.1 ग्राउंड-वेव प्रोपॅगेशन: रेडियो स्पेक्ट्रम के अनुसार, लो-फ्रीक्वेंसी और मीडियम फ्रीक्वेंसी के लिये ग्राउंड-वेव प्रोपॅगेशन विशेष रूप से महत्वपूर्ण है। स्थानीय रेडियो कम्यूनिकेशन प्रदान करने के लिए ग्राउंड-वेव प्रोपॅगेशन का उपयोग किया जाता है, विशेषतः उन रेडियो ब्रॉड-कास्ट स्टेशनों द्वारा जो किसी खास परिसर में अपना प्रसारण करना चाहते हैं। दिन के किसी भी समय, इन फ़्रिक्वेन्सियों का कम दूरी के प्रसारण के लिए, ग्राउंड-वेव प्रोपॅगेशन बहुत ही अनुकूल है। स्काई-वेव प्रोपॅगेशन दिन के समय असंभव है क्योंकि दिन के समय आइनाइज्ड क्षेत्र की D रीज़न में इन फ़्रिक्वेन्सियों के सिगनल क्षीण हो जाते हैं। इसिलिए रेडियो कम्यूनिकेशन स्टेशनों के लिए यह जरूरी हो जाता है कि वे ग्राउंड-वेव प्रोपॅगेशन का उपयोग करें या निर्भर करें, ताकि वे किसी विशेष परिसर को कवर कर सकें

ग्राउंड-वेव रेडियो सिगनल विभिन्न घटकों को मिलाकर बनाया गया है। अगर दोनों छोर के एंटीना एक दूसरे के द्रष्टीगत रेखा (लाइन-ऑफ-साइट) में हों तब रेडियो सिगनल सीधा एवं परावर्तित होकर पहुँचता है। जैसा की नाम जताता है, सीधा (डिरेक्ट) सिगनल वह होता है जो कि दोनों एंटीना के बीच सीधा संचारण करता है और आस-पास की चीज़ों का उसपर कोई प्रभाव नहीं पड़ता। लेकिन साथ ही परावर्तित

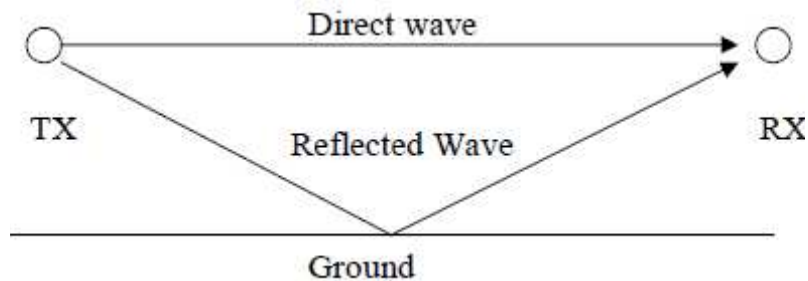
सिगनल, जो कि आस-पास की वस्तुएँ, जैसे जमीनी सतह, पहाड़ी या टेकड़ी, बड़ी इमारतें आदि से परावर्तित होकर इस डायरेक्ट सिगनल के साथ संचारण करता है।

इसके साथ ही सरफेस-वेव भी होती हैं। ये सर्फेस-वेव, पृथ्वी की वक्रता/घुमाव के आकार के साथ संचारण करती हैं और रेडियो सिगनल को क्षितिज से दूर या क्षितिज के पार तक कवरेज/प्रसारण योग्य बनाती हैं। इन सभी मिले-जुले घटकों के रूप को ग्राउंड-वेव कहते हैं।

क्षितिज के पार/दूर, सीधे रेडियो सिगनल और परावर्तित सिगनल दोनों ही पृथ्वी की वक्रता/घुमाव के कारण अवरुद्ध हो जाते हैं और ये सिगनल शुद्ध रूप से विवर्तित सरफेस-वेव सिगनल (डिफ्रैक्टेड सरफेस वेव सिगनल) होता है। इस कारण सरफेस-वेव को साधारणतया ग्राउंड-वेव प्रोपॅगेशन कहा जाता है।

1.4.1.1 ग्राउंड-वेव प्रोपॅगेशन पर फ्रीक्वेंसी का प्रभाव:

जब ग्राउंड-वेव का वेव-फ्रंट जमीनी सतह के साथ संचारित होता है तब वह कमज़ोर पड़ जाता है। इसके कमज़ोर होने का परिमाण, कई सारे घटकों पर निर्भर करता है। इसके कमज़ोर होने के परिमाण के लिए, रेडियो सिगनल की फ्रीक्वेंसी एक बड़ा घटक माना जाता है क्योंकि जैसे-जैसे फ्रीक्वेंसी बढ़ती है वैसे-वैसे यह सिगनल कमज़ोर पड़ता जाता है। इस कारणवश रेडियो स्पेक्ट्रम में स्थित हाई-फ्रीक्वेंसी के निचले स्तर की फ्रीक्वेंसियां यानी 3 MHz फ्रीक्वेंसी तक यह प्रोपॅगेशन अप्रयोगात्मक होता है। औसतन किसी क्षेत्र (रीज़ीयन) में रेडियो सिगनल, 3.0 MHz पर 20 से 60 dB तक कमज़ोर हो जाता है जो कि 0.5 MHz फ्रीक्वेंसी पर होने वाले सिगनल की क्षीणता से कहीं ज्यादा है और अन्य घटकों के साथ-साथ दूरी (एक एंटीना से दूसरी एंटीना तक की दूरी) पर भी निर्भर होता है। इस कारणवश हम यह देखते हैं कि हाई-पावर हाई फ्रीक्वेंसी (एच.एफ.) रेडियो ब्रॉड-कास्ट स्टेशनों के प्रसारण, ग्राउंड-वेव की मदद से कुछ मील (कि.मी.) तक ही सुने जा सकते हैं।



चित्र 4 - ग्राउंड-वेव

ग्राउंड-वेव = डायरेक्ट वेव+परावर्तित वेव+सरफेस वेव.

वेव-लेंथ के संदर्भ में देखा जाए तो मीडियम फ्रीक्वेंसी पर और लोअर हाई फ्रीक्वेंसी बैंड में, एरियल की उपस्थिति जमीनी सतह के नज़दीक होती है। इस कारण डायरेक्ट वेव और परावर्तित वेव दोनों एक दूसरे को निष्प्रभाव कर देती हैं (यहाँ पर परावर्तन में 180 डिग्री का फेज-शिफ्ट होता है)। इसका अर्थ यह हुआ कि सिर्फ सरफेस-वेव ही बची रह जाती हैं। सरफेस-वेव अपने अंदर के करंट को पृथ्वी में प्रवृत्त करती हैं और इसी गुण विशेष की वज़ह से सरफेस वेव जमीनी सतह के नज़दीक संचारण करती हैं। पृथ्वी, क्योंकि एक अपूर्ण संवाहक है इसलिये अपना कुछ प्रभाव दिखाती है। इसकी रेंज कई चीज़ों पर निर्भर करती है जैसे कि, फ्रीक्वेंसी, पोलाराइज़ेशन, स्थान और पृथ्वी की संवाहकता। जैसे-जैसे फ्रीक्वेंसी बढ़ती जाती है वैसे-वैसे ये सरफेस-वेव बहुत जल्दी समाप्त होती जाती हैं।

$$Range(km) = \frac{200}{\sqrt{f(MHz)}}$$

1.4.2. स्काई-वेव/आइनोंस्फेरिक वेव:

आइनोंस्फीयर हमारे वातावरण का ऊपरी हिस्सा है (पृथ्वी की सतह से 50 कि.मी. और 400 कि.मी. के बीच). इस क्षेत्र (रीज़ीयन) में उपस्थित गैस, अधिकाधिक मात्रा में रेडिएशन को सोख लेती हैं और आयनित हो जाती हैं, तथा अलग-अलग परतें बनाती हैं. जैसे-जैसे ऊँचाई बढ़ती जाती है वैसे-वैसे आइनीकरण बढ़ता जाता है. वैसे तो यह बदलाव एक समान नहीं होता, पर गैसों का आइनीकरण इस बात पर निर्भर करता है कि आयन किस दर से बन रहे हैं और उनके पुनर्संयोजन होने की दर क्या है. चूँकि कम ऊँचाई पर वातावरण का दबाव ज्यादा होता है इसिलिये आयन के पुनर्संयोजन होने की दर ज्यादा होती है और आइनीकरण कम होता है. इसके विपरीत, ज्यादा ऊँचाई पर वातावरण का दबाव कम होता है इसिलिये आयन्स की पुनर्संयोजन की दर कम होती है और आइनीकरण ज्यादा होता है.

1.4.2.1 आइनोंस्फेरिक प्रोपॅगेशन:

पृथ्वी के वातावरण के जिस ऊपरी भाग में, फ्री इलेक्ट्रॉन की उपस्थिती से पहुँचे हुए रेडियो सिगनल प्रभावित होते हैं और उस सिगनल का रूपांतर हो जाता है, उस भाग को आइनोंस्फीयर कहते हैं. इस रेडियो प्रोपॅगेशन का उपयोग उन स्टेशनों द्वारा किया जाता है, जो अपने प्रसारण पूरी पृथ्वी पर शॉर्ट-वेव बैंड पर प्रसारित करना चाहते हैं.

जब रेडियो सिगनल्स एक स्थान से दूसरे स्थान पर संचारित होते हैं, तब वे आस-पास की वस्तुएं और जिस मीडिया में वे संचारित हो रहे हैं, उनसे प्रभावित होती हैं. इस प्रक्रिया में सिगनल्स, परावर्तित, विवर्तित और आवर्तित हो जाते हैं. इनकी वज़ह से रेडियो सिगनल की दिशा बदल जाती है और सिगनल ऐसी जगह पर पहुँचते हैं जहाँ वे सीधी रेखा में नहीं पहुँच सकते.

विभिन्न प्रकार की उपयोगिताओं के लिए हाई-फ्रीक्वेंसी कम्यूनिकेशन को आइनोंस्फीयर पर निर्भर रहना पड़ता है. वातावरण का यह क्षेत्र, रेडियो कम्यूनिकेशन सिगनलों को परावर्तित होने में मदद करता है, या यूँ कहें कि ज्यादा सटीक तरह से पृथ्वी की ओर परावर्तित करता है ताकि वे पृथ्वी के चारों ओर लंबी दूरी तक फैल सकें. आइनोंस्फीयरिक प्रोपॅगेशन साधारणतया हाई-फ्रीक्वेंसी प्रोपॅगेशन ही है, लेकिन कुछ मौकों पर इसका उपयोग हाई-फ्रीक्वेंसी रीज़ीयन के उपरी और निचले हिस्से में भी किया जाता है

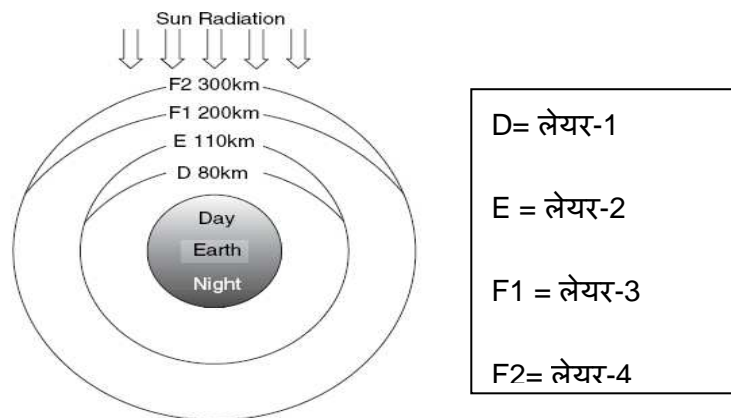
ये सत्य है कि रेडियो सिगनल, हाई-फ्रीक्वेंसी बैंड पर, पृथ्वी के चारों ओर संचारण कर सकते हैं, इनका व्यापक उपयोग रेडियो ब्रॉडकास्टिंग स्टेशनों, समाचार प्रसारण एजेंसियों, समुद्री जहाज़ों आदि द्वारा किया जाता है. कम पावर वाले रेडियो ट्रांसमीटरों का उपयोग पृथ्वी के दूसरे सिरे तक कम्यूनिकेशन पहुँचाने के लिए किया जा सकता है. हालाँकि आइनोंस्फीयर में होने वाले रेडियो प्रोपॅगेशन, सैटेलाइट कम्यूनिकेशन से ज्यादा विश्वसनीय नहीं हैं, फिर भी कम लागत और कार्यक्षम रेडियो कम्यूनिकेशन प्रदान करते हैं. आइनोंस्फेरिक प्रोपॅगेशन, उन रेडियो उपयोगकर्ताओं को सक्षम बनाता है जो हाई-फ्रीक्वेंसी प्रोपॅगेशन प्रोग्राम के द्वारा ये पता लगाते हैं कि पृथ्वी के किस हिस्से में इन रेडियो सिगनलों का संचारण कर सकते हैं, या फिर उस स्थान तक सिगनल पहुँचने की क्या संभावनाएं हैं.

मीडियम और शॉर्ट-वेव बैंड में संचारित होने वाले रेडियो कम्यूनिकेशन सिग्नल, मूलतः दो साध्यों के द्वारा संचारित होते हैं। जिसमें पहला है ग्राउंड-वेव कम्यूनिकेशन (जिसके बारे में इस अध्याय में अलग से बताया गया है) और दूसरा है स्काई-वेव कम्यूनिकेशन, जिसमें आइनोंस्फीयर का उपयोग किया जाता है।

अप्रत्यक्ष या अवरुद्ध प्रोपेगेशन

किसी कम्यूनिकेशन लिंक की तय सीमा में, अप्रत्यक्ष या अवरुद्ध प्रोपेगेशन की कार्यक्षमता उसके परावर्तित और विवर्तित सिग्नलों के 'बल' पर निर्भर करती है। अप्रत्यक्ष/अवरुद्ध प्रोपेगेशन की व्यवहारिकता पर उस फ्रीक्वेंसी का सार्थक असर पड़ता है जिसका उपयोग उस कम्यूनिकेशन के लिए किया गया है, खासकर लोअर फ्रीक्वेंसी पर कार्य कर रहे कम्यूनिकेशन सिस्टम।

1.5. आइनोंस्फीयर क्षेत्र: आइनोंस्फीयर का वह हिस्सा जो कि स्काई-वेव के अस्तित्व के लिए मुख्यतः जिम्मेदार होता है, 3-4 परतों में बना होता है। परतों का बनना इस बात पर निर्भर करता है, कि दिन के किस वक्त में ये परतें बनीं हैं। ये परतें विभिन्न ऊँचाईयों पर उपस्थित रहती हैं।



चित्र 5 - वातावरण के विभिन्न क्षेत्र

1.5.1. आइनोंस्फीयर के परतों का विवरण:

D परत: D परत, आइनोंस्फीयर की सबसे निचली परत है। यह परत, पृथ्वी की सतह से 60 कि.मी से 90 कि.मी. की ऊँचाई पर विद्यमान होती है। यह परत दिन के समय बनती है, जब सूर्य की किरणें प्राप्त होती हैं। इस ऊँचाई पर वायु का घनत्व ज्यादा होने के कारण से आयन तथा इलेक्ट्रॉन्स का पुनः-सम्मिश्रण बहुत जल्दी होता है। इसका अर्थ ये हुआ कि सूर्यास्त के बाद, इलेक्ट्रॉन्स का स्तर घट जाता है और यह परत प्रभावशाली रूप से समाप्त हो जाती है। यह परत, X-रे एवं कॉस्मिक किरणों के आइनीकरण के परिणाम स्वरूप पैदा होती हैं। जाँच द्वारा ये पता चला है कि जो रेडियो सिग्नल इस परत से संचारण करते हैं, उन्हें यह परत, क्षीणता प्रदान करती है।

E परत: D परत के ऊपरी परत को E परत कहा जाता है। यह परत पृथ्वी की सतह से 100 कि.मी. से 125 कि.मी. के बीच की ऊँचाई पर विद्यमान होती है। इसमें से संचारित रेडियो सिग्नल्स को पूर्ण क्षीणता प्रदान करने की वज़ाया, यह परत रेडियो सिग्नलों को परावर्तित करती है। हालाँकि कुछ सिग्नल्स फिर भी क्षीण/कमज़ोर हो ही जाते हैं।

इस परत की ऊँचाई और वायु के घनत्व के संदर्भ में, इलेक्ट्रॉन्स और धनात्मक आयन्स का पुनःसम्मिश्रण अपेक्षाकृत जल्दी होता है। यह प्रक्रिया अगली ऊँचाई पर स्थित F परत में चौगुनी दर से होती है, जहाँ पर वायु का घनत्व कम होता है। इसका अर्थ ये हुआ कि जब रात ढलती है, तब यह परत विलुप्त हो जाती है, हालाँकि कुछ आंशिक आइनीकरण होता रहता है।

F परत: लंबी दूरी के हाई-फ्रीक्वेंसी कम्यूनिकेशन के लिए यह F परत बहुत ही महत्वपूर्ण क्षेत्र है। दिन के समय यह परत दो अलग-अलग परतों में विभाजित हो जाती है। इन्हें F_1 और F_2 परतें कहा जाता है, जिसमें F_1 परत, F_2 से निचली परत है। रात्रि के समय ये दोनों परतें मिल जाती हैं और एक परत बनाती हैं जिसे F परत कहते हैं। इस परत की ऊँचाई, दिन के किसी समय में, मौसम और सूर्य की स्थिति के अनुसार बदलता रहता है। विशिष्ट रूप से गर्मी के मौसम में, F_1 परत पृथ्वी की सतह से 300 कि.मी. की ऊँचाई पर और साथ में F_2 परत करीब-करीब 400 कि.मी. या उससे भी ज्यादा की ऊँचाई पर विद्यमान होती हैं। शीतकाल में ये परतें घटकर 300 कि.मी. से 200 कि.मी. की ऊँचाई पर आ जाती हैं और रात्रि के समय ये परतें 250 से 300 कि.मी. की ऊँचाई पर विद्यमान होती हैं। जिस तरह रात्रि के समय D और E परतों में आयोनाइजेशन के स्तर कम/घट जाता है, परंतु F परत के संदर्भ में, आयन्स और इलेक्ट्रॉन्स के सम्मिश्रण की प्रक्रिया बहुत धीमी हो जाती है क्योंकि रात्रि के समय इस परत में वायु/हवा का घनत्व कम हो जाता है और यह परत थोड़ी कम क्षीण/कमजोर हो जाती है। इस तरह से यह परत रेडियो कम्यूनिकेशन में मदद/सहायता प्रदान करती है, हालाँकि आइनीकरण स्तर कम हो जाने की वजह से कुछ बदलाव जरूर महसूस किए जा सकते हैं। सभी परतों पर दिन के समय आइनीकरण ज्यादा और रात्रि के समय कम हो जाता है।

1.6. ट्रोपोस्फीयरिक प्रोपॅगेशन:

ट्रोपोस्फीयरिक प्रोपॅगेशन, परावर्तित और अपवर्तित रेडियो फ्रीक्वेंसी वेव्स द्वारा वातावरण में बनी परतों से होता है और इन परतों के तापमान तथा हवा में नमी के कारण यह प्रोपॅगेशन होता है। पृथ्वी से कुछ ही ऊँचाई पर स्थित, इस ट्रोपोस्फीयर के परत में होने वाले रिफ्रैक्टिव इन्डेक्स में बदलाव का प्रभाव, रेडियो सिगनलों पर पड़ता है। ज्यादा लंबी दूरी पर VHF (वेरी हाई फ्रीक्वेंसी) या उससे ऊपर की फ्रीक्वेंसी रेडियो सिगनलों को प्राप्त करने के लिए ट्रोपोस्फीयरिक रेडियो प्रोपॅगेशन एक अच्छा माध्यम है। यह भी देखा गया है कि 30 MHz के ऊपर की फ्रीक्वेंसी वाले रेडियो सिगनल्स और रेडियो सिस्टम्स पर ट्रोपोस्फीयर का प्रभाव बढ़ता जाता है। रेडियो सिगनल्स ज्यादा दूरी तक प्रवाहित/संचारित किये जा सकते हैं, जैसे कि लाइन-ऑफ-साइट मापन में सुझाया जाता है। कभी-कभी परिस्थितियों में बदलाव के कारण 500 से 1000 कि.मी. दूर या उससे भी आगे, रेडियो सिगनलों को प्राप्त किया जा सकता है। यह एक प्रक्रिया है जिसे ट्रोपोस्फीयर में पाया गया है और लघुरूप “ट्रोपो” के नाम से जानी जाती है।

कभी-कभी रेडियो सिगनल एक तरह की ऊँची डकट (नाली के आकार की) में फंस जाते हैं, इसे ट्रोपोस्फेरिक डकिटिंग भी कहा जाता है। यह कई सारी रेडियो कम्यूनिकेशन लिंकों में गड़बड़ी पैदा करती है (टू-वे कम्यूनिकेशन लिंक में भी), क्योंकि यह व्यवधान साधारणतया होता नहीं है जो कि दिखाई देता है। इसके परिणाम स्वरूप, जब किसी रेडियो कम्यूनिकेशन लिंक या नेटवर्क को डिजाइन किया जाये, तब इस तरह के व्यवधानों को पहचाना जाना चाहिए ताकि उसके प्रभावों को कम करने के लिए उचित कदम उठाए जा सकें।

जिस तरह से ये सिगनल, VHF या उससे ऊपर की फ्रीक्वेंसी पर प्रवाहित/संचारित होते हैं, यह उन लोगों के लिये बहुत महत्वपूर्ण है जो अपने रेडियो प्रसारण कवरेज को अधिकाधिक दूरी पर भेजना चाहते हैं, जैसे कि सेल्युलर टेली-कम्यूनिकेशन, मोबाइल रेडियो कम्यूनिकेशन और अन्य वायरलेस सिस्टम्स आदि।

1.7. हाई- फ्रीक्वेंसी बैंड में प्रोपेगेशन

सूर्य की उर्जा से वातावरण में आयनीकरण नहीं होने से, हाई फ्रीक्वेंसी प्रोपेगेशन को, लाइन-ऑफ-साइट ट्रांसमिशन के लिए सीमित कर देता है।

1.8 वी.एच.एफ. बैंड में प्रोपेगेशन

वी.एच.एफ. प्रोपेगेशन प्रधानतया लाइन-ऑफ-साइट प्रोपेगेशन है। परंतु वातावरण की E परत में होने वाले आइनीकरण की प्रक्रिया के कारण ही लंबी दूरी तक इस बैंड में प्रसारण किया जा सकता है। कभी कभी उल्कापात के पुनः प्रवेश के कारण भी लंबी दूरी पर वी.एच.एफ. प्रोपेगेशन की स्थितियाँ बन जाती हैं। अधिक ऊँचाई पर उड़ान भरने वाली हवाई कंपनियाँ भी अब एक नये प्रकार के लंबी दूरी वी.एच.एफ. कम्यूनिकेशन का उपयोग कर रही हैं।

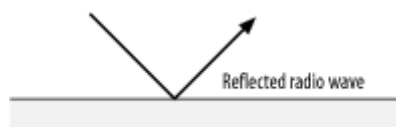
1.9. यू.एच.एफ.बैंड पर प्रोपेगेशन

यू.एच.एफ. प्रोपेगेशन भी लाइन-ऑफ-साइट का ही एक प्रकार है। इस प्रोपेगेशन में भी लंबी दूरी के प्रोपेगेशन, E परत में होने वाली घटनाओं के द्वारा होते हैं। यू.एच.एफ.का उपयोग कम दूरी के प्रसारणों/लोकल कम्यूनिकेशन प्रसारण के लिए किया जाता है। वाईड-एरिया रिपीटर सिस्टम द्वारा दो अलग-अलग राज्यों के मध्य कम्यूनिकेशन के प्रसारण के लिये भी यू.एच.एफ. का एक हिस्सा बन जाता है।

1.10. रेडियो वेव का व्यवहार

जब रेडियो वेव किसी वस्तु विशेष के संपर्क में आती हैं तब वे अपनी एक अलग विशेषता दिखाती हैं, ठीक वैसे ही जैसे प्रकाश किरणें दिखाती हैं। कुछ संभावित व्यवहारों का विवरण निम्न प्रकार है।

1.10.1.रिफ्लेक्शन/परावर्तन: जब कोई रेडियो वेव किसी ऐसी वस्तुओं से टकराती हैं जिसका कोई आयाम/आकार होता है तब परावर्तन की क्रिया होती है। इसमें रेडियो वेव उस वस्तु की सतह से परावर्तित होती हैं।

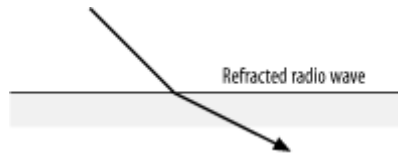


चित्र 6 रेडियो वेव का परावर्तन (रिफ्लेक्शन)

परावर्तन तभी होता है जब रेडियो सिगनल उस सतह से टकराए, जिसका सतही आकार रेडियो वेव की वेव-लेंथ से ज्यादा होता है। जब रेडियो वेव ट्रांसमीटर से रिसीवर के बीच संचारित होती है तब विभिन्न पदार्थ एवं वस्तुओं से परावर्तित होती है। रेडियो वेव के परावर्तन का परिमाण, परावर्तक पदार्थों पर निर्भर करता है। समतल धातु की सतह, जो कि विद्युत प्रवाही होती है, रेडियो सिगनल्स को परावर्तित करने में सक्षम होते हैं। पृथ्वी की सतह भी एक अच्छे परावर्तक का काम करती है। रेडियो वेव ना सिर्फ एक बिंदु से परावर्तित होती है, बल्कि उस सारे सतह के भाग से परावर्तित होती है, जिससे वह टकराती है। परावर्तन की सतह का क्षेत्रफल रेडियो वेव के परावर्तन के लिए जरूरी है साथ ही यह भी जरूरी है कि किस कोण

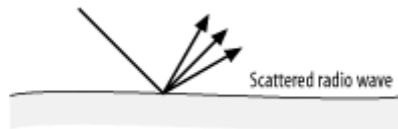
से वे इस परावर्तक सतह पर टकराती हैं। जब रेडियो वेव किसी सपाट सतह से परावर्तित होती हैं, तब इनमें एक फेज-शिफ्ट होता है। परावर्तित रेडियो वेव में होने वाले फेज-शिफ्ट ही 'फेडिंग' का बड़ा कारण है।

1.10.2. अपवर्तन/रिफ्रेक्शन: जब रेडियो वेव, कम घनत्व वाले माध्यम से किसी ज्यादा घनत्व वाले माध्यम से टकराती/संचारित होती हैं, तब अपवर्तन होता है। इस माध्यम में रेडियो वेव एक अलग कोण पर प्रवाहित/बढ़ती है। उदाहरण के लिए रेडियो वेव का बादलों में संचरण होना। रेडियो वेव का तिरछा/बेंड होना, दिशा बदल जाना, उसी मीडियम/माध्यम की तरफ होता है जिसकी प्रोपगेशन वेलासिटी न्यूनतम होती है।



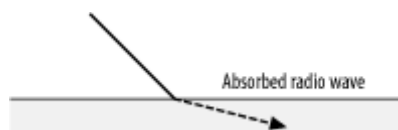
चित्र 7 - रेडियो वेव के अपवर्तन की प्रक्रिया

1.10.3 स्कैटरिंग/बिखराव: जब रेडियो वेव किसी खुरदरे आकार की वस्तुओं (जिसकी सतह खुरदरी हो) से टकराती हैं, तब वे उछल कर या परावर्तित होकर अलग-अलग दिशाओं में चली जाती हैं।



चित्र 8 - रेडियो वेव के बिखराव की प्रक्रिया

1.10.4 एब्जॉर्प्शन/अवशोषण: जब रेडियो वेव किसी वस्तु विशेष से टकराती हैं और परावर्तित, अपवर्तित या बिखरती नहीं हैं तब वे उस वस्तु विशेष द्वारा अवशोषित कर ली जाती हैं, इस प्रक्रिया को एब्जॉर्प्शन/अवशोषण कहते हैं। इस प्रक्रिया में सारी रेडियो वेव समाप्त हो जाती हैं।



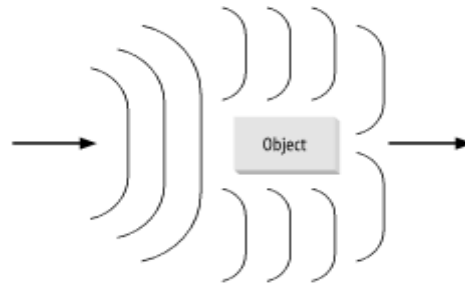
चित्र 9 - रेडियो वेव के अवशोषण की प्रक्रिया

खुले वातावरण में मौजूद वस्तुओं और अवरोधों के द्वारा व्यवधान पैदा होता है, जैसे सीमेंट की दीवारें, धातु की वस्तुएँ या बारिश की बूँदें आदि। साधारणतया हायर फ्रीक्वेंसी पर किए जाने वाले ट्रांसमिशन में अवरोधों द्वारा रेडियो वेव का अवशोषण होना तय है और हायर सिगनल्स नष्ट हो जाते हैं। हायर फ्रीक्वेंसी सिगनलों की वेव-लेंथ छोटी होती है इसलिये छोटी वेव-लेंथ वाली फ्रीक्वेंसी जब किसी वस्तु-विशेष से टकराती हैं तब वे अवशोषित हो जाती हैं। इस वजह से हाई फ्रीक्वेंसी पर कार्य करने वाले उपकरणों का वॉल्यूमिटर रेंज कम होता है।

जो उपकरण हाई फ्रीक्वेंसी पर डेटा संचरण करते हैं, उन्हें ज्यादा पावर की आवश्यकता पड़ती है, और लोअर फ्रीक्वेंसी पर डेटा ट्रांसमिट करने वाले उपकरणों को कम पावर की आवश्यकता पड़ती है, अगर दोनों प्रक्रियाओं में तय की जाने वाली दूरी समान है।

1.10.5. डिफ्रेक्शन/विवर्तन:

जब रेडियो वेव किसी वस्तु-विशेष की सतह से टकराती हैं और बिना किसी अवशोषण के अपने प्रोपगेशन की दिशा बदल देती हैं, इस प्रक्रिया को डिफ्रेक्शन/विवर्तन कहते हैं। इस प्रक्रिया में सिगनल्स का नष्ट होना इस बात पर निर्भर करता है कि वे अपने मार्ग में किस तरह के अवरोधक से टकराती हैं। कभी-कभी मार्ग में आए सीधे खड़ी वस्तु-विशेष से भी ये रेडियो वेव अवरुद्ध हो जाती हैं। इस तरह के मामलों में, रेडियो वेव उस वस्तु-विशेष के चारों ओर से मुड़कर प्रवाहित होती हैं, और इसी गुण की वजह से रेडियो वेव टूटकर बिना किसी लाइन-ऑफ-साइट के भी संचारित हो पाती हैं।



चित्र 10. रेडियो वेव के डिफ्रेक्शन/विवर्तन की प्रक्रिया

डिफ्रेक्शन एक ऐसी प्रक्रिया को नाम दिया गया है जिसके द्वारा रेडियो वेव उस वस्तु-विशेष अवरोध जिससे वे टकराती हैं उसकी छाया में प्रवेश कर जाती हैं। डिफ्रेक्शन तभी होता है जब रेडियो वेव किसी बड़े आकार की अगम्य/इंपेनिट्रेबल वस्तु से टकराती हैं और वस्तु-विशेष के आकार से रेडियो वेव की वेव-लेंथ कम होती है। रेडियो वेव का अपना एक प्राकृतिक गुण होता है कि जब वे किसी अवरोध से टकराती हैं तब उस अवरोध के चारों ओर से मुड़कर आगे निकल जाती हैं। इस मुड़ाव (जिसे हम डिफ्रेक्शन/विवर्तन कहते हैं) के परिणाम स्वरूप रेडियो वेव की दिशा में परिवर्तन होता है और कुछ भाग बिना लाइन-ऑफ-साइट के मार्ग में भी आगे बढ़ता है। इस तरह किसी अवरोध के चारों ओर किनारों पर भी रेडियो वेव (रेडियो-उर्जा) प्राप्त होना संभव है।

बिना अवरोध के और अवरोधों के साथ मिले सिगनलों के बल/स्ट्रेंथ के अनुपात को हम डिफ्रेक्शन लॉस या विवर्तन द्वारा हुई हानि कहते हैं। मार्ग की भूमिती (पाथ-ज़ीयामिटी) और कार्यरत फ्रीक्वेंसी (फ्रीक्वेन्सी ऑफ ऑपरेशन) से यह डिफ्रेक्शन-लॉस प्रभावित होता है। जब रेडियो सिगनल, छाया की सीमा में प्रवेश करते हैं तब उसका बल/स्ट्रेंथ, 6db तक कम हो जाता है परंतु तब नहीं जब ये सिगनल छाया क्षेत्र में प्रवेश करते हैं। अवरोधक वस्तु की छाया के अंदरूनी भाग में डिफ्रेक्शन-लॉस, 10*लॉग (फ्रीक्वेंसी) के साथ बढ़ जाता है। इस तरह, फ्रीक्वेंसी के दुगुना होने पर अवरोधक की छाया के अंदरूनी भाग में यह डिफ्रेक्शन-लॉस 3db तक बढ़ जाता है। इस तरह से ये सत्य प्रमाणित होता है कि लंबी वेव-लेंथ वाले रेडियो सिगनल्स, अवरोधक की छाया के ज्यादा अंदर तक प्रवेश/गम्य कर सकते हैं।

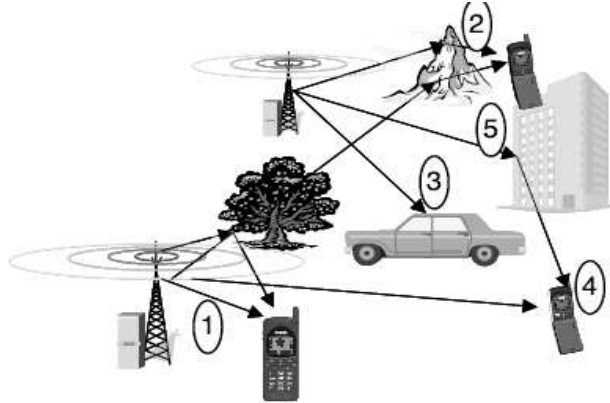
आज के दौर में, मोबाइल एंटीनाओं को, बेस-स्टेशन एंटीना की अपेक्षा कम ऊँचाई पर स्थापित किया जाता है और उनके बीच ऊँची ईमारतें या छोटी-छोटी टेकडियाँ हो सकती हैं। इसलिए मोबाइल एंटीना तक पहुँचने वाले सिगनल्स को डिफ्रेक्शन की प्रक्रिया से गुज़रना पड़ता है। इस प्रक्रिया को 'शेडोईंग' भी कहा जाता है, क्योंकि मोबाइल रिसीवर इन वस्तुओं/ ईमारतों की छाया में स्थित होते हैं।

1.10.6. रेडियो वेव का इमारतों और वाहनों में प्रवेश

एंटीना

जब रेडियो सिगनल्स किसी इमारत की सतहों से टकराती हैं तब या तो वे डिफ्रेक्ट होते हैं नहीं तो अवशोषित कर ली जाती हैं. अगर कुछ मात्रा में सिगनल अवशोषित होता है, तब सिगनल का बल/स्ट्रेंथ कम हो जाता है. 'अवशोषण' की मात्रा, उस इमारत के प्रकार और उसके परिवेश पर, उसके ठोस आकार पर और सतहों पर लगे काँच पर, इमारत के आस-पास प्रोपॅगेशन के गुण पर, इमारत के ओरिएंटेशन के संदर्भ में रिसीवर एंटीना का ओरिएंटेशन आदि पर निर्भर करती है. रेडियो नेटवर्क कवरेज योजना के लिये इस पर मुख्य रूप से विचार किया जाता है.

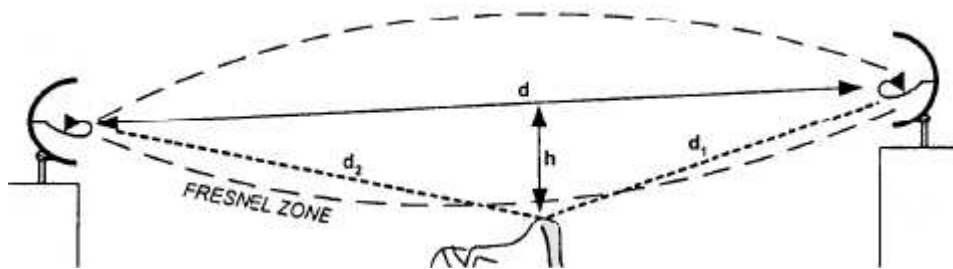
वाहनों में रेडियो सिगनल के प्रवेश से होने वाले सिगनल लॉस भी इसी तरह के होते हैं.



चित्र 11 वेव प्रोपॅगेशन को प्रभावित करने वाले घटक: (1) डायरेक्ट सिगनल (2) डिफ्रेक्शन (3) वाहनो के अंदर घुसना (4) इंटरफेरेंस (5) इमारतों के अंदर घुसना

1.11. फ्रेशनल ज़ोन:

अवरोधों द्वारा बाधित होकर रिसीवर पर प्राप्त होने वाले रेडियो वेव का सीधा असर उसके बल/स्ट्रेंथ पर पड़ता है. यह तब भी होता है जब अवरोधक सीधे दृष्टीगत मार्ग या लाइन-ऑफ-साइट पर ना हों. ऐसे क्षेत्र को "फ्रेशनल ज़ोन" कहते हैं और हर अवरोध से मुक्त रखनी चाहिए.



चित्र 12 फ्रेशनल ज़ोन

$$h = 17.3 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{f(d_1 + d_2)}}$$

यहां d_1 और d_2 = कि.मी. f = GHz, h = मीटर में.

पहली फ्रेशनल ज़ोन एक अंडाकार आकाशीय क्षेत्र है, जो कि रेडियो वेव के प्रक्षेप पथ में बनता है। इस क्षेत्र की रेडियो वेव रिसीवर तक कम दूरी तय करके पहुँचती हैं और जब अलग पाथ/मार्ग से पहुँचती हैं तब उनकी वेव-लेंथ $\lambda/2$ के लगभग होती है। विषम संख्या वाली फ्रेशनल ज़ोन की फ़ील्ड-स्ट्रेंथ अपेक्षाकृत तीव्र होती है और सम संख्या वाली फ्रेशनल ज़ोन की फ़ील्ड-स्ट्रेंथ लगभग शून्य होती है। जब रेडियो सिगनल्स साइट A से साइट B के बीच संचारित/प्रवाहित होते हैं और फ्रेशनल ज़ोन में अवरोधों को दूर ना किया गया हो तब ये रेडियो सिगनल डिफ़्रेक्ट/विवर्त हो जाते हैं और क्षीण/कमज़ोर हो जाते हैं। यदि पहली फ्रेशनल ज़ोन अवरोध मुक्त ना हो तब फ्री-स्पेस लॉस लागू नहीं होता। इसके लिए हमें कुछ अतिरिक्त समाधान टर्म जोड़ना पड़ेगा।

इससे बचने के लिये हमें नैरो-लॉब पैटर्न वाली एंटीना उपयोग करनी पड़ेगी, जो कि एक हायर गेन-एंटीना से ही प्राप्त किया जा सकता है और साइट A या साइट B पर एंटीना की ऊँचाई बढ़ानी पड़ेगी।

1.12 बहुमार्गी (मल्टीपाथ)

अलग-अलग मार्गों से ट्रांसमीटर और रिसीवर के बीच पहुँचने वाले रेडियो सिगनल्स के लिए “मल्टीपाथ” शब्द का प्रयोग किया गया है। इस तरह के प्रोपॅगेशन मार्गों/पाथ में ग्राउंड-वेव, आइनोंस्फ़ीयरिक रिफ़्लेक्शन, आइनोंस्फ़ीयरिक परतों द्वारा री-रेडिएशन, पृथ्वी की सतह से परावर्तन या एक से अधिक आइनोंस्फ़ीयरिक परतों द्वारा परावर्तन आदि सम्मिलित होते हैं। यदि, रिसीवर पर पहुँचने वाले दो सिगनल्स इन-फेज में आते हैं (यानि कि जब सिगनल्स रिसीवर पर पहुँचते हैं तब वे वेव-साइकिल के एक ही बिंदु पर हैं) तब ये सिगनल एम्प्लीफ़ाई हो जाते हैं। इसे “अप-फेज” कहते हैं। इसके विपरीत यदि सिगनल्स “आऊट-ऑफ-फेज” में आते हैं तब पूरा सिगनल कमज़ोर और क्षीण हो जाता है। यदि दो सिगनल एक दूसरे से 180 डिग्री “आऊट-ऑफ-फेज” में रिसीवर पर आते हैं तब एक दूसरे को रद्द कर देते हैं और रेडियो सिस्टम के रिसीवर में कोई सिगनल नहीं पहुँचता। वह स्थान, जहाँ पर मल्टीपाथ द्वारा पहुँचे दो सिगनल आपस में रद्द होते हैं उसे हम “डाउन-फेज” या “नल”(null) कहते हैं।

1.13. फेडिंग

जब सिगनल्स ट्रांसमीटर के एंटीना से रिसीवर के एंटीना की तरफ़ प्रवाहित होते हैं, तब वे अपनी शक्ति/बल खो देते हैं और कमज़ोर पड़ जाते हैं। यह प्रक्रिया पाथ-लॉस से या फिर “रेलि: इफ़ेक्ट” के कारण हो सकती है। जब सिगनल्स लाइन-ऑफ-साइट में नहीं होता और ट्रांसमीटर तथा रिसीवर एंटीना के बीच सिगनल लेवल में एम्प्लीट्यूड और फेज के संदर्भ में त्वरित बदलाव होते हैं, तब रेलि: फेडिंग होती है। इसे दो प्रकारों में बाँटा जा सकता है:

✓ मल्टीपाथ फेडिंग और फ्रीक्वेंसी सिलेक्टिव फेडिंग।

समयानुसार वायुमंडलीय बदलाव और अजातीय(असमान) गुणधर्मों के कारण रेडियो पाथ में होने वाले उतार-चढ़ाव से प्राप्त हुए सिगनल्स की शक्ति/बल में कमी आ जाती है, इसे हम फेडिंग कहते हैं। अलग-अलग मार्गों से, अलग-अलग समय पर एक ही सिगनल का रिसीवर पर प्राप्त होना और फिर सम्मिश्रण/संघटित होना, सिगनल के फेड होने का कारण बनता है। यह प्रक्रिया मल्टी-पाथ फेडिंग है और मल्टी-पाथ प्रोपॅगेशन का सीधा परिणाम है। मल्टी-पाथ फेडिंग द्वारा सिगनल लेवल (स्तर) में अति तीव्रता से उतार-चढ़ाव पैदा होते हैं। यदि दोनों दिशाओं के लिए बैंड-विथ अलग-अलग हो तो यह फेडिंग अप-लिंक और डाउन-लिंक के लिए स्वतंत्र होती है।

वायुमंडलीय परिस्थितियों में बदलाव के परिणाम स्वरूप फ्रीक्वेंसी-सिलेक्टिव फेडिंग होती है। वायुमंडलीय परिस्थितियाँ किसी खास फ्रीक्वेंसी सिगनल को फेड (क्षीण) कर सकती हैं। जब कोई मोबाइल उपकरण एक स्थान से दूसरे स्थान पर जाता है तब मोबाइल एंटीना पर पहुँचने वाले सिगनलों में विभिन्न घटकों के बीच फेज संबंधी बदलाव होते हैं और इसके परिणाम स्वरूप सिगनलों के लेवल/स्तर भी बदलते रहते हैं। मोबाइल उपकरण की गतिविधि के अनुसार प्राप्त होने वाली फ्रीक्वेंसी में बदलाव होता है जिसे “डॉपलर शिफ्ट” कहते हैं।

1.13.1. फेडिंग के प्रकार

1.13.1.1. तीव्र/फ़ास्ट फेडिंग- जब किसी चैनल का कोहरेस टाइम उस चैनल के डिले कॉन्स्ट्रेंट से कम होता है तब फ़ास्ट/तीव्र फेडिंग होती है। फ़ास्ट फेडिंग की वज़ह से, सिगनलों के फेज और एम्प्लीट्यूड में त्वरित उतार-चढ़ाव होते हैं यदि ट्रांसमीटर या रिसीवर अपना स्थान बदलते रहते हैं या फिर रेडियो वातावरण में बदलाव होते हैं (उदा. के लिये अगर कोई वाहन रेडियो क्षेत्र से गुज़र रहा हो)। यदि ट्रांसमीटर या रिसीवर स्थिर ना हों तब सिगनल्स में उतार-चढ़ाव कुछ एक वेव-लेंथ के अंदर सीमित होता है। क्योंकि यह कम दूरी पर होने वाली फ़ास्ट-फेडिंग है इसलिए इसे स्मॉल-स्केल फेडिंग भी कहते हैं।

कोहरेस टाइम: किसी इलेक्ट्रोमैग्नेटिक वेव के लिए, प्रोपगेशन में लगने वाले समय को कोहरेस टाइम कहते हैं यानि यह "समय" एक अनुकूल "समय" है जो कि प्रोपगेटिंग वेव के लिए लगता है जब वे एक स्थान से दूसरे स्थान पर संचारित होती हैं। लंबी दूरी के ट्रांसमिशन सिस्टम्स में, इस कोहरेस टाइम में, डिसपरसन, स्कैटरिंग तथा डिफ़्रैक्शन के कारण कमी आ जाती है।

1.13.1.2. स्लो (धीमी) फेडिंग- अगर किसी चैनल के डिले-कॉन्स्ट्रेंट की तुलना में उस चैनल का कोहरेस टाइम ज्यादा होता है तब स्लो-फेडिंग होती है। पाथ-प्रोफ़ाइल की जिआमिट्री के कारण स्लो-फेडिंग होती है। ये एक ऐसी परिस्थिती में पहुँचा देता है जिसमें सिगनल धीरे-धीरे कमज़ोर अथवा सशक्त होता जाता है।

1.13.1.3. फ्लैट-फेडिंग- अगर सिगनल की बैंड-विथ की तुलना में, चैनल की कोहरेस बैंड-विथ ज्यादा हो तब फ्लैट-फेडिंग होती है। वायरलेस चैनल की कोहरेस बैंड-विथ, उन फ्रीक्वेंसियों की रेंज है जिन्हें, चैनल में कोई व्यवधान पैदा किए बिना, गुजरने के लिए अनुमत किया गया है।

कोहरेस बैंड-विथ, फ्रीक्वेंसी रेंज का सांख्यिकीय मापन (स्टैटिस्टिकल मेज़रमेंट) है जिनपर (इन फ्रीक्वेंसियों पर) चैनल को, "फ्लैट" समझा जा सकता है या दूसरे शब्दों में अनुमानित अत्याधिक बैंडविड्थ या फिर फ्रीक्वेंसी-इंटरवल जिसपर सिगनल की दो फ्रीक्वेंसियों में तुलनात्मक या परस्पर संबंधित एम्प्लीट्यूड फेडिंग का अनुभव होता हो।

अगर, “मल्टी-पाथ टाइम डिले स्प्रेड” ‘D’ सेकंड हो तो अनुमानित कोहरेस बैंड-विथ W_{cin} rad/s को निम्नलिखित समीकरण द्वारा दर्शाया जाता है।

$$W_c \approx \frac{2\pi}{D}$$

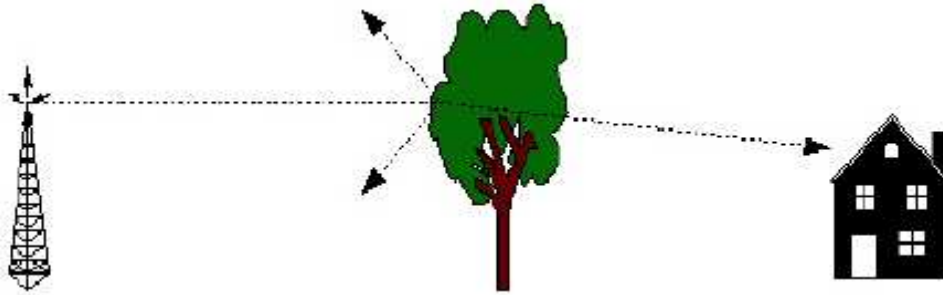
और कोहरेस बैंड-विथ B_c (Hz में) इस समीकरण द्वारा दर्शायी जाती है।

$$B_c \approx \frac{1}{D}$$

एंटीना

अगर कोहेरेंस बैंड-विथ, डॉटा सिगनल बैंडविड्थ से ज्यादा हो तब ये समिचित रूप से मान लिया जाये कि चैनल “फ्लैट” है. सेल्यूलर या पर्सनल कम्यूनिकेशन सर्विसेस के कम्यूनिकेशन पथों पर कोहेरेंस बैंड-विथ बदलते रहती है क्योंकि “मल्टी-पाथ स्प्रेड” ‘D’, पथ से पथ में बदलते रहता है.

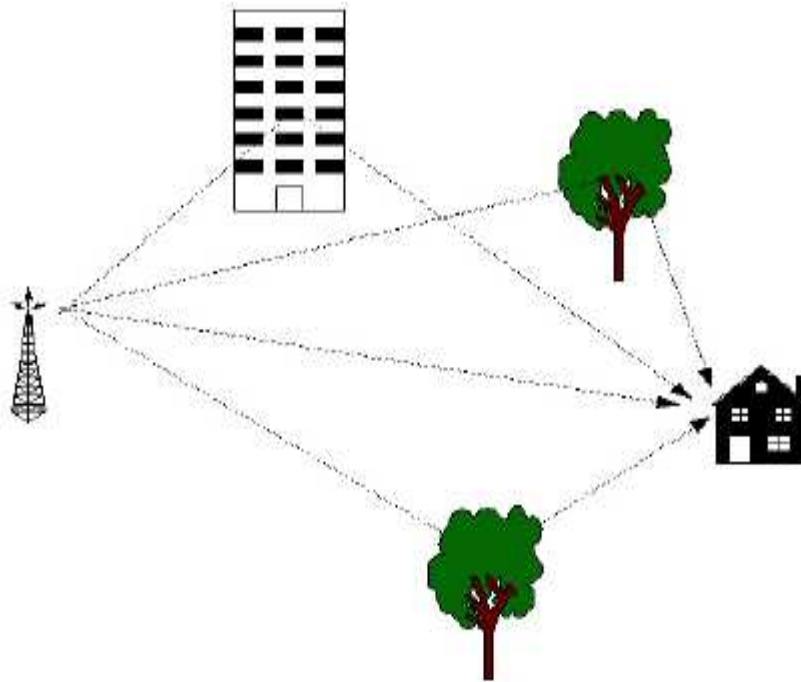
एक दूसरे के कोहेरेन्स बैंड-विथ के अंदर अगर अवृत्तियां हो, तो वे एक जैसे फेड होते हैं. स्प्रेड स्पेक्ट्रम (CDMA IS -95) के वेव-फॉर्म को 1.25 MHz बैंड-विथ के भीतर रखने का एक कारण यह है कि कई शहरी सिगनलिंग के वातावरण में, कोहेरेन्स बैंड-विथ $W_c, 1.25 \text{ MHz}$ से काफी कम होता है. इसलिए, जब फेडिंग होता है, तब पूरे CDMA सिगनल बैंड-विथ के सिर्फ कुछ ही भाग में होता है. सिगनल बैंड-विथ के जिस हिस्से में फेडिंग नहीं होती है, उन हिस्सों में इतनी पावर होती है कि विश्वसनीय संचार बना रहे. इस बैंड-विथ के अंदर, चैनल ट्रांसफर फंक्शन, लगभग समान/स्थिर रहता है.



चित्र 13 फ्लैट फेडिंग

दो एंटीना के बीच अवशोषण करने वाली वस्तुओं के कारण “फ्लैट फेडिंग” होती है और एंटीना के स्थापन और ट्रांसमिट पावर लेवल के द्वारा इससे बचा जा सकता है.

1.13.1.4. सिलेक्टिव फेडिंग- अगर सिगनल की बैंड-विथ के अनुपात में चैनल की कोहेरेंस बैंड-विथ कम हो तब सिलेक्टिव फेडिंग होती है.



चित्र 14 सिलेक्टिव फेडिंग

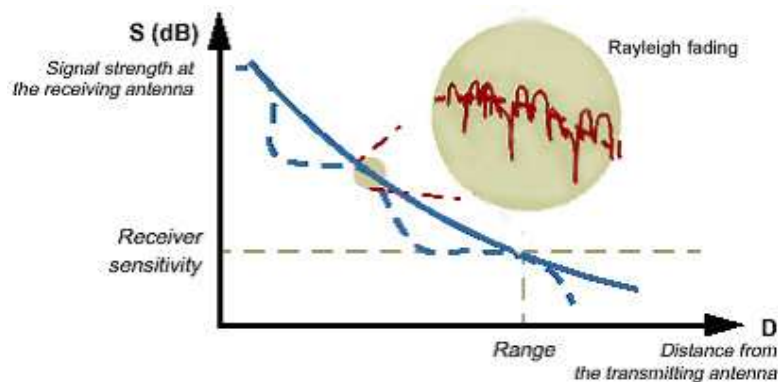
ट्रांसमीटर और रिसीवर के बीच रिफ्लेक्टरों द्वारा उत्पन्न हुए मल्टी-पाथ प्रभाव के कारण फ्रीक्वेंसी सिलेक्टिव फेडिंग होती है

फ्रीक्वेंसी सिलेक्टिव फेडिंग के प्रभाव:

- ✓ रिफ्लेक्शन के कारण, प्रतिक्रिया स्वरूप उत्पन्न हुए डिप्स या फेड्स, रिसीवर पर कुछ फ्रीक्वेंसियों को रद्द/निष्क्रिय कर देते हैं.
- ✓ जब सिगनल आस-पास की वस्तुओं जैसे जमीनी सतह, इमारतें, पेड़ आदि से परावर्तित होकर मल्टी-पाथ में चले जाते हैं तब उन सिगनलों की पावर, डायरेक्ट सिगनलों की पावर के बराबर ही होती है.
- ✓ डिस्ट्रक्टिव इंटरफेरेंस की वजह से, रिसीव होने वाले सिगनलों की पावर में 'डीप-नल्स' (गहरी शून्यता) परिणामित होती है.

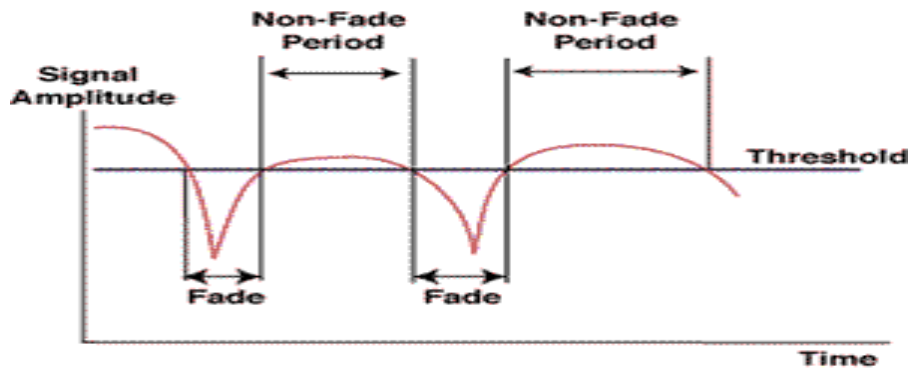
1.13.1.5. रेलेह: फेडिंग - वातावरण के जिस हिस्से में अधिक मात्रा में परावर्तन (रिफ्लेक्शन) होता है उस जगह एक तरह की फेडिंग का अनुभव होता है, जिसे रेलेह: फेडिंग का नाम दिया गया है. प्रोपॅगेशन के सांख्यिकीय विश्लेषण के लिये रेलेह: फेडिंग मॉडल का उपयोग किया जाता है और वातावरण के कई हिस्सों में उपयोग किया जाता है.

रेडियो वेव प्रोपॅगेशन के कार्य संपादन के विश्लेषण के लिये, रेलेह: फेडिंग मॉडल एक उपयुक्त साधन है, खासकर उन शहरी इलाकों के लिए जहाँ पर सेल्यूलर कम्यूनिकेशन स्थापित है और आस-पास की वस्तुओं जैसे, इमारतों, पेड़ों आदि से अधिक परावर्तन (रिफ्लेक्शन) होता है. हाई-फ्रीक्वेंसी आइनोंस्फीयरिक रेडियो वेव प्रोपॅगेशन में, आइनोंस्फीयरिक परत के भीतर ही अलग-अलग जगहों पर परावर्तन (रिफ्लेक्शन) होता है (दूसरे शब्दों में अवर्तन/रिफ्लेक्शन होता है), यहाँ भी विश्लेषण के लिये रेलेह: फेडिंग मॉडल का उपयोग होता है. ट्रोपोस्फीयरिक रेडियो प्रोपॅगेशन में भी इस मॉडल का उपयोग किया जाना उचित होगा क्योंकि यहाँ इस परत में भी कई जगहों पर परावर्तन (रिफ्लेक्शन) होता है और सिगनल्स अलग-अलग पथ/मार्ग अपनाते हैं. इस प्रक्रिया को नीचे दिखाए गये चित्र में दर्शाया गया है. यहाँ यह मान लें कि, कम्यूनिकेशन चैनल में प्रसारित किसी सिगनल का मॅग्नीट्यूड, असमान रूप (randomly) से बदलता रहता है.



चित्र 15 रेलेह: फेडिंग

1.13.1.6. मल्टी-पाथ (नाकागामी) फेडिंग: यह फेडिंग, मल्टी-पाथ स्कॅटरिंग के लिए उत्पन्न होती है जिसमें अपेक्षाकृत ज्यादा टाइम-डिले स्प्रेड्स और रिफ्लेक्टेड वेव के अलग अलग समूह होते हैं.



चित्र 16 मल्टी-पाथ फेडिंग

जब मल्टीपाथ सिगनल वेव आउट-ऑफ-फेज में रिसीवर पर पहुँचती हैं तब सिगनल्स क्षीण/कमज़ोर हो सकते हैं. मल्टीपाथ द्वारा, इंटर-सिंबल इंटरफेरेंस भी हो सकती है.

1.13.2. फेड मार्जिन

अन-फेडेड रिसीव सिगनल लेवल और रिसीवर सेंसिटिविटी थ्रेशहोल्ड लेवल के बीच के अंतर को फेड-मार्जिन कहते हैं. पाथ-फेडिंग की वज़ह से रेडियो सिगनल कमज़ोर/क्षीण हो जाते हैं, इससे बचने के लिए हर लिंक में समुचित फेड-मार्जिन होना चाहिए.

किसी भी रेडियो लिंक डिजाइन में, रेडियो लिंक बज़ट, अपेक्षित फेडिंग को समायोजित करने के लिए, समुचित सिस्टम गेन या सेंसिटिविटी प्रदान करता है ताकि ये सुनिश्चित किया जा सके कि सभी आवश्यक क्वालिटी सर्विसेस अनुरक्षित हैं. रिसीव सिगनल लेवल की वह मात्रा जिसे घटाया जा सके और सिस्टम की कार्यक्षमता को विस्तृत थ्रेशहोल्ड मान के नीचे ना पहुँचने दे. अगर किसी विशिष्ट चैनल का सिगनल-टू-नॉइज़ रेशियो, उसके विशिष्ट मान से नीचे जा रहा हो तब इस फेडिंग से बचने के लिए, विशिष्ट रेडियो-फ्रीक्वेंसी पाथ पर अटेन्यूएशन/क्षीणता की डेसिबल संख्या 'db' जोड़े जा सकते हैं.

नेटवर्क इंजीनियरों के लिए यह आवश्यक है कि वे वायरलेस नेटवर्क डिजाइन करते समय, लिंक की कार्य संपादन के घटकों को जान लें जो कि किसी भी पर्यावरण में अपेक्षित कार्यसंपादन को पूरा कर सकें. नेटवर्क एलिमेंट्स की स्थापना निश्चित करने के लिए लिंक बज़ट की गणना/आकलन उपयोग में लाई जाती है. ट्रांसमिट पावर और रिसीवर की सेंसिटिविटी के अंतर को लिंक बज़ट कहते हैं और यह सिगनल क्षीणता की मात्रा भी दर्शाता है जबकि कम्यूनिकेशन में मदद भी करता रहता है. 'फेड-मार्जिन एक डिजाइन है जो रिसीव सिगनल 'स्ट्रेंथ में होने वाले उतार-चढ़ाव की भरपाई के लिए बनाया गया है.

ये उतार-चढ़ाव निम्न कारणों से होते हैं.

1. ऑपरेटिंग बैंड में इंटरफेरेंस होने से.
2. ट्रांसमीटर या रिसीवर का स्थानांतरण होने से.
3. आस-पास की वस्तुओं से रेडियो वेव के परावर्तन या बिखराव से.

1.13.2.1. लिंक बज़ट को प्रभावित करने वाले घटक

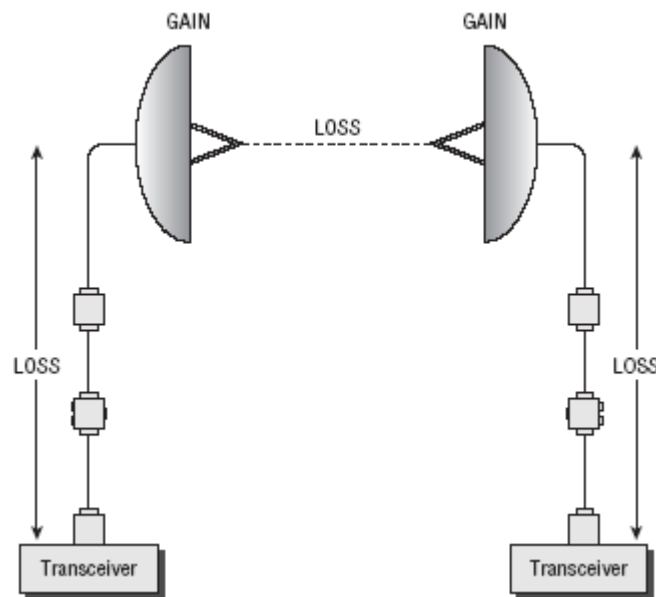
ट्रांसमीटर और रिसीवर के बीच नष्ट होने वाली उर्जा को पाथ-लॉस कहते हैं. कई तरह के घटक इन सिगनलों की उर्जा में कमी पैदा करते हैं. नेटवर्क आर्किटेक्ट को यह समझना भी जरूरी है कि ट्रांसमिशन लॉस के लिए निम्नलिखित उत्तरदायी हैं

एंटीना

- ✓ अवरोध, जैसे पेड़, इमारतें
- ✓ इमारतों से या पानी से परावर्तन.
- ✓ अपर्याप्त एंटीना उँचाई
- ✓ पर्यावरण संबंधी परिस्थितियाँ जैसे आद्रता, प्रीसिपिटेशन या बर्फ होना.

रेडियो फ्रीक्वेंसी लिंक की सदैव उपलब्धता सुनिश्चित करने के लिये समुचित फेड-मार्जिन रखना आवश्यक है. ज्यादा फेड मार्जिन अनुमत करने से लिंक की विश्वसनीयता तो बढ़ जाती है लेकिन नेटवर्क एलिमेंट के बीच की दूरी घट जाती है.

1.13.2.1. रेडियो लिंक



चित्र 17. रेडियो लिंक

निम्नलिखित सिद्धांत का उपयोग इस आकलन के लिए किया जा सकता है कि किसी रेडियो लिंक में स्वीकार्यात्मक फेड-मार्जिन है या अगर नहीं है, तो कितना एंटीना-गेन जोड़ने की जरूरत है या फिर रिपीटर उपयोग करने की जरूरत है.

प्रायः विदित घटक इस प्रकार हैं.

1. दो साइट के बीच की दूरी.
2. एंटीनाओं की उँचाई (संभावित)
3. रेडियो सिस्टम का ट्रांसमिट पावर
4. रेडियो रिसीवर की सेंसिटिविटी
5. एंटीना-गेन

यह आकलन, सभी संभावित सिस्टम लॉस में से लाइन-ऑफ-साइट में होने वाले लॉस को घटाकर किया जाता है जो हमारी उपयुक्त लिंक कार्यक्षमता का अनुमानित मान बताता है.

$$FM = S_{rx} + P_{tx} + G_{tx} - FSL + G_{rx} - CL$$

$$FM = \text{फेड-मार्जिन}$$

एंटीना

S_{rx} = रिसीवर की सेंसिटिविटी (dBm) (+dBm का उपयोग करके बजाय -dBm के)

P_{tx} = ट्रांसमीटर RF आउट-पुट पावर (dBm)

G_{tx} = ट्रांस TX एंटीना-गेन (dB)

FSL = फ्री-स्पेस लॉस (dB) = $32.4 + 20 \log f + 20 \log d$

G_{rx} = रिसीवर (RX) एंटीना-गेन (dB)

CL = केबल/कनेक्टर लॉस (dB)

फेड-मार्जिन का आकलन: एक उदाहरण

| | |
|-----------------------|--|
| दूरी | = 5 कि.मी. |
| एंटीना ऊँचाई 1 | = 20 मीटर |
| एंटीना ऊँचाई 2 | = 5 मीटर |
| रेडियो Tx पावर | = 33 dBm (2 W) |
| रेडियो Rx सेंसिटिविटी | = -110 dBm |
| फ्रीक्वेंसी | = 456.000 MHz |
| एंटीना-गेन 1 | = 3 dBd |
| एंटीना-गेन 2 | = 6 dBd |
| केबल/कनेक्टर लॉसेस | = 4 dB total |
| फेड-मार्जिन (FM) | = ? |
| फ्री स्पेस लॉस (FSL) | = 129 dB (फ्रीक्वेंसी और दूरी पर आधारित मान) |
| फ्री स्पेस लॉस (FSL) | = $32.44 + 20 \log F + 20 \log D$ |

यहाँ F(MHz) में और D (Kms) में

$$FM = S_{rx} + P_{tx} + G_{tx} - FSL + G_{rx} - CL$$

$$FM = 110 \text{ dBm} + 33 \text{ dBm} + 3 \text{ dBd} - 129 \text{ dB} + 6 \text{ dBd} - 4 \text{ dB} = 19 \text{ dB}$$

यहाँ फेड-मार्जिन 19 dB है जो कि स्वीकार्य है और रेडियो लिंक संभव है.

1.14. डाइवरसिटी तकनीकें

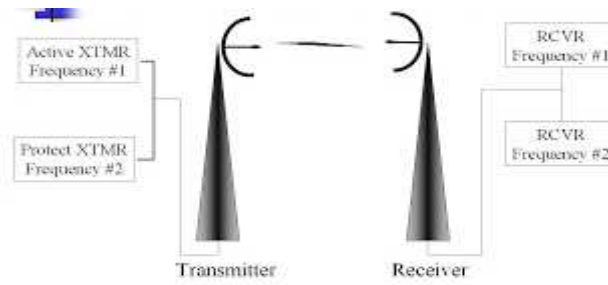
डाइवरसिटी: यह एक तकनीक है जो फेडिंग चैनल की क्षति/खराबी की क्षतिपूर्ति करती है. दो या उससे ज्यादा रिसीवर एंटीनाओं का उपयोग करके इस तकनीक को लागू किया जाता है. किसी रेडियो रिसीवर में फ्लैट फेडिंग चैनल पर होने वाले गहरे और अधिक देर तक फेडिंग को कम करने के लिए सामान्यतः डाइवरसिटी तकनीक प्रयुक्त की जाती है.

ट्रांसमीटरपाथ में फेड-मार्जिन कोई सार्थक/ सक्षम समाधान नहीं है और, एक पर्यायी समाधान हो जो फेडिंग चैनल के सांख्यिकीय व्यवहार का लाभ उठा सके. यह डाइवरसिटी की सामान्य धारणा है, जहाँ रिसीवर पर दो या अधिक इन-पुट का उपयोग करके परस्पर भिन्न सिगनल प्राप्त किए जा सकें.

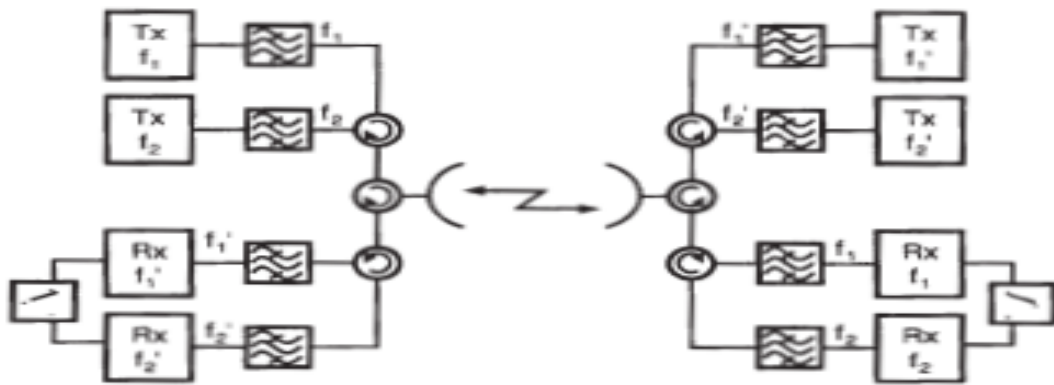
1.14.1 फ्रीक्वेंसी डाइवरसिटी: दो या अधिक स्वतंत्र फेडिंग कैरियर फ्रीक्वेंसीयों द्वारा एक ही सूचना सिगनल को ट्रांसमिट करना और रिसीव करना. भिन्न फ्रीक्वेंसी यानी भिन्न वेव-लेंथ. 'हॉप', जब

एंटीना

फ्रीक्वेंसी डाइवर्सिटी (कैरियर का पृथकीकरण) का उपयोग करते हैं। यह मान लिया जाता है कि एक ही फिज़िकल मल्टी-पाथ रूट, दो पृथक वेव-लेंथ के लिए एकसाथ गहरे फेड्स पैदा नहीं करते।



चित्र.18 फ्रीक्वेंसी डाइवर्सिटी



चित्र 19. फ्रीक्वेंसी डाइवर्सिटी का ब्लॉक आरेख

इसके लाभ

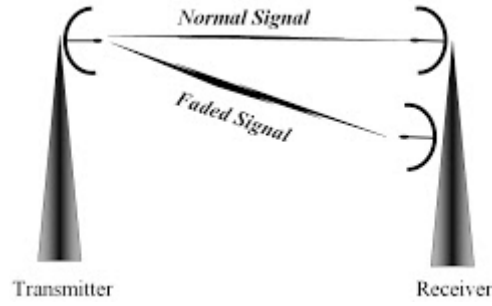
1. ज्यादा विश्वसनीयता
2. 100% हॉट-स्टैंड-बाय के बराबर, इसलिए स्टैंड-बाय ट्रांसमीटर और रिसीवर की आवश्यकता नहीं है.

इसकी हानियाँ

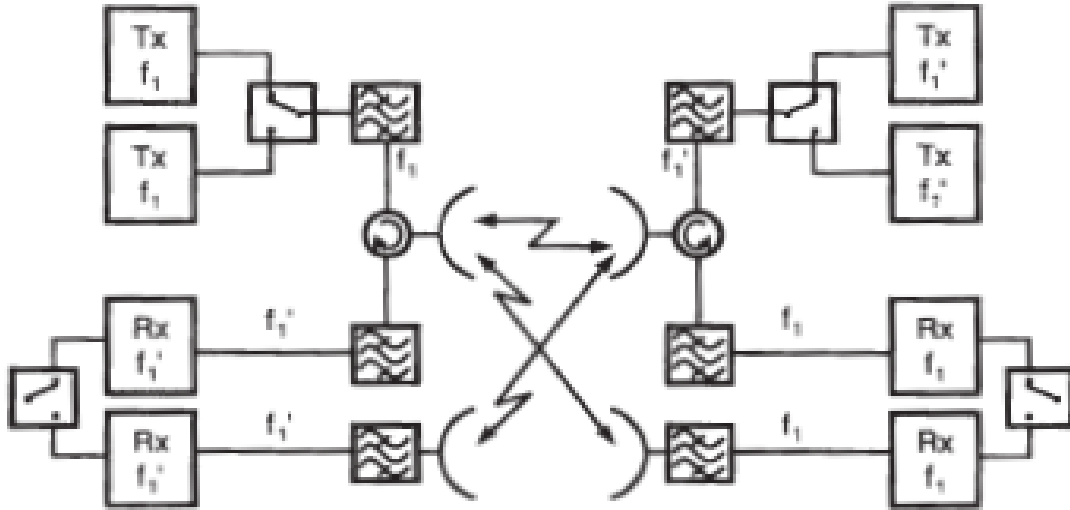
1. दो फ्रीक्वेंसियों की आवश्यकता होती है.
2. डाइवर्सिटी से कोई ज्यादा सुधार नहीं हो पाता क्योंकि, फ्रीक्वेंसियों के बीच 5% का विच्छेद बहुत कम बार प्राप्त हो पाता है.

1.14.2. स्पेस डाइवर्सिटी

ट्रांसमिशन या रिसेप्शन या दोनों विधियाँ, जिसमें फेडिंग के प्रभाव को कम करने के लिये एकसाथ दो या अधिक अलग-अलग स्थापित एंटीनाओं का उपयोग करके जिनमें आदर्शतः $\frac{1}{2}$ या अधिक की वेव-लेंथ का अंतर होता है. जब रिसीविंग एंटीना ठीक 'गलत' जगह पर स्थापित हो तब गहरे मल्टी-पाथ फेडिंग की घटना होना दुर्भाग्यपूर्ण ही है. इस दुर्भाग्यवश होने वाली मल्टी-पाथ फेडिंग को कम करने के लिए एक विधि है जिसके द्वारा रिसीव दिशा में दो अलग-अलग स्थापित एंटीनाओं का उपयोग किया जात है और एक स्विच के द्वारा अच्छे सशक्त सिगनल का चुनाव किया जाता है. चूँकि ये दोनों एंटीना अलग-अलग स्थापित हैं इसलिए दोनों एंटीनाओं पर एक साथ गहरी फेडिंग की संभावना कम हो जाती है.



चित्र 19- स्पेस डाइवर्सिटी



चित्र 20. स्पेस डाइवर्सिटी का ब्लॉक आरेख

इसके लाभ

- ✓ सिर्फ एक फ्रीक्वेंसी का उपयोग किया जाता है.
- ✓ प्रोपॅगेशन की उन्नत/सुधारित विश्वसनीयता.
- ✓ एंटीनाओं के बीच अधिक वर्टिकल दूरी (वर्टिकल सेपरेशन) से प्रोपॅगेशन में सुधार/उन्नति ज्यादा होती है.

इसकी हानियाँ

- ✓ दो अलग-अलग एंटीनाओं को एक ही टॉवर पर स्थापित किया जाता है. निचली वाली एंटीना को ट्रांसमिटिंग एंटीना की लाइन-ऑफ-साइट में होना आवश्यक है, इसलिए टॉवर की ऊँचाई 100 मीटर से ज्यादा हो सकती है.
- ✓ ज्यादा महंगा.
- ✓ टॉवर की नींव मज़बूत होनी चाहिए, क्योंकि हवा का दबाव ज्यादा होता है.
- ✓ उपकरणों की विश्वसनीयता घट/कम हो जाती है इसलिए स्टैंडबाइ उपकरणों की आवश्यकता पड़ती है.

1.14.3. एंगल डाइवर्सिटी

एंगल डाइवर्सिटी रेसेप्शन में बहुत सारी एंटीनाओं का उपयोग किया जाता है जिन्हें अलग-अलग दिशाओं में इंगित करके और सामान्यतः कम कोणीय विच्छेद (स्मॉल एंग्युलर सेपरेशन) पर स्थापित किया जाता है। इस विधि में, सारी एंटीनाएं एक ही जगह स्थापित होती हैं परंतु उनकी मूल दिशाएं भिन्न होती हैं।

1.14.4. पोलैराइजेशन डाइवर्सिटी

इस डाइवर्सिटी विधि में, ट्रांसमिटिंग और रिसिविंग दिशाओं पर एकसाथ दो ऑर्थोगोनल पोलैराइजेशन (उदा. हॉरिज़ॉन्टल और वर्टिकल) को प्रयुक्त किया जाता है। यह आशा की जाती है कि कोई एक पोलैराइजेशन, फेडिंग से कम प्रभावित होगा और दूसरे पोलैराइजेशन पर गहरी फेडिंग अनुभव की जा सकेगी।

1.14.5. टाइम डाइवर्सिटी

इस डाइवर्सिटी विधि में, वांछित सिगनल को समय के अलग-अलग अंतराल में ट्रांसमिट किया जाता है। एक ही सिंबल का ट्रांसमिशन अलग-अलग अंतराल में, उसके कोहरेस टाइम के बराबर होना चाहिए ताकि एक ही सिंबल की अलग-अलग कॉपियाँ स्वतंत्र रूप से फेड हों।

1.15. बारिश, हिमपात (स्नो), और कोहरे (फॉग) का प्रभाव

लाइन-ऑफ-साइट पाथ पर होने वाला लॉस, कभी-कभी मौसमी परिस्थितियों से प्रभावित होता है। जब सिगनल पूरी तरह से माइक्रोवेव रीजन (क्षेत्र) में पहुँच जाता है तब बारिश और कोहरे सिगनल की क्षीणता के मुख्य कारण बन जाते हैं। कोहरे के कारण सिगनल की क्षीणता को (जैसे कि 1dB या अधिक के क्रम में क्षीणता) 30 GHz से ज्यादा की फ्रीक्वेंसियों पर सुस्पष्ट रूप से देखा जा सकता है। हिमपात भी इसी श्रेणी में आता है। बारिश से होने वाली सिगनल की क्षीणता, लगभग 10GHz की फ्रीक्वेंसियों पर अर्थपूर्ण हो जाती है जहाँ भारी बारिश के कारण, 1db/km के क्रम में, अतिरिक्त पाथ-लॉस जुड़ जाता है। पानी की सतह के ऊपर प्रोपगेशन

रेडियो लिंक स्थापित करने वाले अभियंताओं के लिये, पानी की सतह पर प्रोपगेशन कर पाना एक चुनौती है। इसका कारण यह है कि रेडियो सिगनल्स अन्य सेल-फ्रीक्वेंसियों को बाधित कर सकते हैं। इसके अलावा, पानी की सतह, रेडियो वेव्स के लिये एक अच्छा रिफ्लेक्टर का काम करती है इसलिए संभव है कि सिगनल, अन्य सेलों के एंटीना रेडिएशन पैटर्न को बाधित कर सकता है।

1.15.1. रेन-स्कॅटर द्वारा प्राप्त हुए सिगनल की स्ट्रेंथ के आवश्यक वैशिष्ट्य

निम्नलिखित के समानुपाती होती है।

- ✓ ट्रांसमिटेड पावर (प्रत्यक्ष रूप से)
- ✓ कॉमन वॉल्यूम (यह एंटीना बीम इंटरसेक्शन है),
- ✓ कणों की घनता (पार्टिकल डेंसिटी) - (उदा. के लिए, बारिश कितनी तेज़ है)
- ✓ स्कॅटरिंग फंक्शन S_{02} (ये देखना कि पार्टिकल कितने अच्छे से बिखरे हैं)

और निम्नलिखित के प्रतीपानुपाती (इन्वर्सली प्रपोर्शनल) होते हैं।

- ✓ पावर रेंज़ का 4th पावर
- ✓ वेव-लेंथ का 4th पावर

निसंदेह, बारिश के कारण भी रेडियो वेव की ऊर्जा क्षीण होती है, इसिलिये रिसीवर पर स्कैटर्ड पावर भी घट जाती है.

1.16. हरियालियों से संचारित होने वाले सिगनल प्रोपॅगेशन (फ़ॉल्लिएज़ लॉस)

रेडियो प्रोपॅगेशन सिगनल जब हरियालियों (साधारणतया जंगलों) के ऊपर से संचारित होते हैं तब फ़ॉल्लिएज़ लॉस उत्पन्न करते हैं. सिगनल स्ट्रेंथ में होने वाले बदलाव कई घटकों पर, जैसे कि पेड़ों, तनों, पत्तियों, डालियों और उनके घनत्व तथा एंटीना की ऊँचाई के परस्पर संबंधी पेड़ों कि ऊँचाई आदि पर निर्भर करते हैं. फ़ॉल्लिएज़ लॉस, सिगनल की फ्रीक्वेंसी पर निर्भर करता है और मौसम के आधार पर बदलता रहता है.

पाथ-लॉस के लिये, पेड़-पौधे अर्थपूर्ण कारण हो सकते हैं साथ ही कई और कारण, जैसे कि खास तरह का कोई पेड़, गीला या सूखा, पतझड़ी पेड़ों के संदर्भ में कहें तो, पत्तियाँ हैं या नहीं. सूखे पेड़ साधारणतया अधिक नुकसान नहीं पहुँचाते, परंतु घने जंगलों के संदर्भ में कुछ और ही कहानी होती है.

सिगनलों की क्षीणता इस बात पर भी निर्भर करती है कि रेडियो सिगनल, जंगल के भीतर कितनी दूरी तक भेद सकता है और यह फ्रीक्वेंसी के साथ बढ़ते जाता है. सी.सी.आई.आर. (CCIR) की एक रिपोर्ट के अनुसार सिगनल की क्षीणता क्रमशः,

200 MHz पर 0.05 dB/m के क्रम में,

500 MHz पर 0.1 dB/m के क्रम में,

1 GHz पर 0.2 dB/m के क्रम में,

2 GHz पर 0.3 dB/m के क्रम में और 3 GHz पर 0.4 dB/m के क्रम में होती है.

वर्टिकल पोलैराइज़ेशन की अपेक्षा हॉरिज़ॉन्टल पोलैराइज़ेशन में, निचली फ्रीक्वेंसियों पर सिगनल क्षीणता कम होती है लेकिन यह अंतर 1GHz के ऊपर की फ्रीक्वेंसियों पर ही दिखाई देता है. अगर रेडियो सिगनल्स जंगलों में कुछेक सौ मीटर अधिक भीतर प्रवेश करते हैं तो ये पाथ-लॉस को और बढ़ा देते हैं. लेकिन अच्छा यह है कि एक और खास प्रोपॅगेशन है जो सिगनलों के डिफ्रेक्शन के कारण होता है. यह डिफ्रेक्शन, पेड़ों की सबसे ऊपर की सतहों से होता है. इसे प्राप्त करने के लिए एंटीना को पेड़ों की सतह के समांतर स्थापित करें या फिर जंगलों के किनारे, कुछ अनुकूल अंतर पर एंटीना स्थापित करें ताकि सारे के सारे सिगनल तो नष्ट नहीं होंगे.

अध्याय 2

एंटीना

2.0. परिचय

परिभाषा के अनुसार, एंटीना एक ऐसा उपकरण है जो, सुचालक तारों में प्रवाहित होने वाले रेडियो फ्रीक्वेंसी सिगनलों को इलेक्ट्रो-मैग्नेटिक वेव में बदलकर खुले वातावरण में फैला देती है। एंटीना अपना एक गुण विशेष प्रदर्शित करती हैं जिसे रेसीप्रोसिटी के नाम से जाना जाता है, इसका यह अर्थ होता है कि कोई भी एंटीना, चाहे वो सिगनल ट्रांसमिट कर रही हो या रिसीव कर रही हो, अपने वैशिष्ट्य बनाए रखती है। कुछ एंटीना रेज़ोनेंट उपकरण की तरह होती हैं जो अपेक्षाकृत छोटी फ्रीक्वेंसी बैंड पर ज्यादा कार्यक्षम होती हैं। एंटीना को उसी रेडियो सिस्टम के फ्रीक्वेंसी बैंड की तुलना में ट्यून किया जाना चाहिए जिसपर उसे जोड़ा जाना है, अन्यथा ट्रांसमिशन और रिसेप्शन दोनों ही बिगड़ जायेंगे। जब सिगनल को एंटीना में भेजा जाता है तब उसे एंटीना द्वारा खुले वातावरण एक खास प्रकार से रेडिएट किया जाता है। खुले वातावरण में रेडिएशन पॉवर के ग्राफ़िकल वर्णन को 'रेडिएशन' कहते हैं।

2.1. एंटीना शब्दावली: एंटीना के संदर्भ में सामान्यतया उपयोग में आने वाले कुछ शब्दों की परिभाषा एवं वर्णन निम्न प्रकार है।

2.1.1. इन-पुट इंपिडेंस: उर्ज़ा के कार्यक्षम संचारण के लिये, रेडियो सिस्टम का इंपिडेंस, एंटीना का इंपिडेंस तथा ट्रांसमिशन केबल का इंपिडेंस एक समान होना चाहिए। ट्रांस-रिसीवर तथा उनकी ट्रांसमिशन लाइनों को मुख्यतः 50 Ω इंपिडेंस के लिए बनाया गया है। अगर एंटीना का इंपिडेंस 50Ω से भिन्न है तब इनमें अनुपयुक्त (मिस-मैच) मेल होगा और इंपिडेंस मैचिंग सर्किट की आवश्यकता पड़ेगी।

2.1.2. रिटर्न लॉस: मिस-मैच को दर्शाने के लिए रिटर्न-लॉस भी एक तरीका है। एंटीना द्वारा रिफ्लेक्टेड पॉवर तथा ट्रांसमिशन लाइन द्वारा एंटीना को दिया गए पॉवर की, लॉगरिथमिक रेशो (dB में) का तुलनात्मक मान है। एस.डब्ल्यू.आर. और रिटर्न लॉस के बीच परस्पर संबंध निम्नलिखित सिद्धांत द्वारा दर्शाया गया है।

$$\text{Return Loss (in dB)} = 20 \log_{10} \frac{\text{SWR}}{\text{SWR} - 1}$$

2.1.3. बैंड-विड्थ: जिन फ्रीक्वेंसी रेंजों पर कोई एंटीना सटीक काम कर सकती है उसे उस एंटीना की बैंड-विड्थ कहते हैं। एंटीना की बैंड-विड्थ, हर्ट्ज़ (Hz) की संख्या है जिसके द्वारा एंटीना अपना SWR का अनुपात 2:1 से कम का दर्शाती है। एंटीना बैंड-विड्थ को, किसी फ्रीक्वेंसी बैंड की सेंटर फ्रीक्वेंसी के प्रतिशत में भी दर्शाया जा सकता है।

$$\text{BW} = 100 \times \frac{F_H - F_L}{F_C}$$

जहाँ, F_H उस फ्रीक्वेंसी बैंड की अधिकतम फ्रीक्वेंसी है, F_L उस फ्रीक्वेंसी बैंड की सबसे न्यूनतम फ्रीक्वेंसी है और F_C उस फ्रीक्वेंसी बैंड की सेंटर फ्रीक्वेंसी है। इस आधार पर, परस्पर संबंधी फ्रीक्वेंसी की बैंड-विड्थ स्थिर रहती है। अलग-अलग प्रकार की एंटीनाओं की अलग-अलग बैंड-विड्थ सीमाएं होती हैं।

2.1.4. डाइरेक्टिविटी और गेन

डाइरेक्टिविटी, एंटीना की वह क्षमता है जिसके द्वारा ट्रांसमिशन के दौरान उर्जा को (रेडियो वेव की उर्जा) एक खास दिशा में फोकस किया जाता है, या फिर रिसीवर पर प्राप्त करने के दौरान एक खास दिशा से अच्छी तरह प्राप्त किया जाता है। किन्हीं स्थिर परिस्थिति में, एंटीना डाइरेक्टिविटी का उपयोग, रेडियो वेव के बीम को किसी खास अपेक्षित दिशा में फोकस कर पाना भी संभव है। हालाँकि किसी सक्रिय सिस्टम में, जहाँ ट्रांस-रिसीवर एक जगह स्थिर ना हों तब एंटीना द्वारा उर्जा को सभी दिशाओं में रेडिएट किया जाता है, और इस प्रकार की एंटीना को 'ओम्नी-डाइरेक्शनल' एंटीना कहा जाता है।

'गेन' एक परिमाण है जो कि साधारण परिमाण जैसा नहीं है, जैसे वॉट या ओह्म (Watt or Ohm) होते हैं, बल्कि गेन एक परिमाण-रहित (डाइमेंशनलेस) अनुपात है। गेन को किसी मानक एंटीना (स्टैंडर्ड एंटीना) के संदर्भ में दर्शाया जाता है। आइसोट्रोपिक एंटीना और रेज़ोनेंट हाफ-वेव डायपोल एंटीना, इन दोनों एंटीनाओं का साधारणतया हवाला/ संदर्भ दिया जाता है। आइसोट्रोपिक एंटीना, सभी दिशाओं में एक समान रेडियो उर्जा को रेडिएट करती है। वैसे तो आइसोट्रोपिक एंटीना वास्तविकता में नहीं हैं परंतु वे, उपयोगी और साधारण सैद्धांतिक एंटीना प्रदान करती हैं जिसकी तुलना वास्तविक एंटीना से की जा सकती है। कोई भी वास्तविक एंटीना, अन्य दिशाओं की अपेक्षा किसी विशिष्ट दिशा में ज्यादा उर्जा रेडिएट करती है। चूँकि एंटीना खुद अपने-आप में उर्जा उत्पन्न नहीं करतीं इसलिए कुल रेडिएटेड पावर, आइसोट्रोपिक एंटीना के कुल रेडिएटेड पावर के समान होता है, इसीलिए इस एंटीना को अन्य दिशाओं में कम उर्जा रेडिएट करनी चाहिए।

किसी विशिष्ट दिशा में रेडियो वेव की उर्जा का संचारण, उस एंटीना का 'एंटीना गेन' दर्शाती है, जिसकी तुलना किसी आइसोट्रोपिक एंटीना से की जाती है जो ठीक उसी तरह रेडियो वेव की उर्जा को किसी विशिष्ट दिशा में, उसी इनपुट पावर के साथ रेडिएट करती है। सामान्यतया हम, अधिकतम एंटीना गेन प्राप्त करने की इच्छा रखते हैं, जो कि एंटीना द्वारा किसी विशिष्ट दिशा में, ज्यादा से ज्यादा उर्जा (पावर) को रेडिएट करने पर प्राप्त होता है। 3 dB एंटीना गेन को, आइसोट्रोपिक एंटीना की तुलना में 3dBi लिखा जाता है। जब किसी एक फ्रीक्वेंसी या छोटे फ्रीक्वेंसी बैंड पर कार्यरत साधारण एंटीना की तुलना की जानी हो तब, रेज़ोनेंट हाफ-वेव डायपोल एंटीना को एक मानक के रूप में उपयोग करके तुलना की जा सकती है। किसी विशिष्ट फ्रीक्वेंसी रेंज पर कार्यरत एंटीना और उसके डायपोल के बीच तुलना करनी हो तब भिन्न लंबाई वाले कई डायपोल्स की आवश्यकता पड़ती है। 3 dB एंटीना गेन, डायपोल एंटीना की तुलना में 3dBd लिखा जाता है।

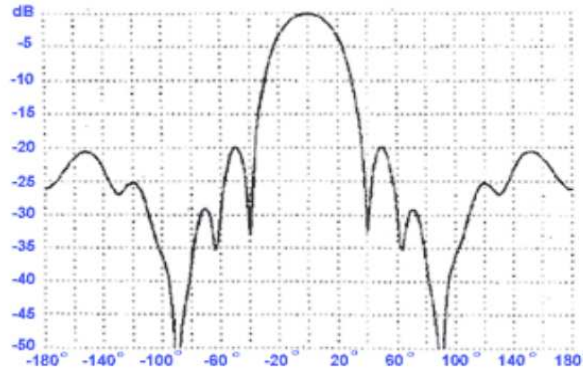
किसी विशिष्ट एंटीना जिसे जाँच के लिये रखा गया हो तथा एक मानक एंटीना जिसका गेन अंशशोधित (कैलिब्रेटेड) हो, के बीच तुलना करके मापन की गई एंटीना गेन की विधि को, तकनीकी आधार पर 'गेन ट्रांसफर तकनीक' कहा जाता है। एंटीना गेन मापने की एक और विधि है जिसे 3 एंटीना विधि कहते हैं जिसमें, एंटीना टर्मिनल से ट्रांसमिट और एंटीना पर प्राप्त हुई पावर को तीन अलग-अलग स्थानों पर तीन एंटीना स्थापित करके मापा जाता है।

2.1.5. रेडिएशन पैटर्न

किसी निश्चित दूरी पर स्थापित किसी एंटीना के अलग-अलग दिशाओं में फैले रेडिएशन फील्ड का बल (स्ट्रेंथ) का वर्णन रेडिएशन या एंटीना पैटर्न द्वारा किया जाता है। उसी तरह रेडिएशन पैटर्न, रिसीविंग पैटर्न भी है क्योंकि यह पैटर्न एंटीना के रिसीविंग गुणधर्मों का वर्णन करता है। रेडिएशन पैटर्न वैसे तो तीन

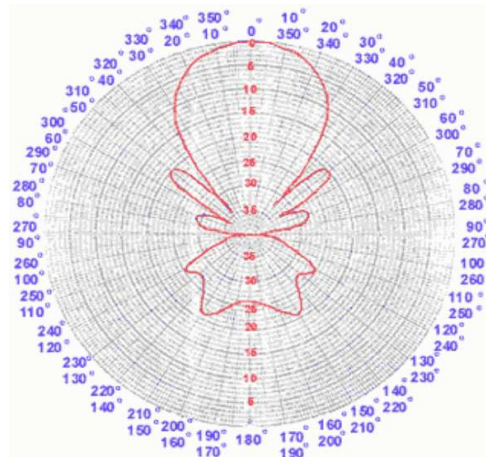
एंटीना

आयामी (थ्री डायमेंशनल) होता है, पर मापित रेडिएशन पैटर्न, तीन आयामी पैटर्न से लिया गया एक टुकड़ा होता है जो सिर्फ दो आयामी होता है, जिसे हॉरिजॉन्टल या वर्टिकल प्लेन से लिया जाता है. ये पैटर्न माप, आयताकार या पोलर संरूप (फॉर्मेट) में प्रस्तुत किए जाते हैं. निम्नलिखित चित्र में, 10 एलिमेंट वाले यागी एंटीना के आयताकार रेडिएशन पैटर्न प्रस्तुतिकरण को दिखाया गया है. इसका विवरण अच्छा तो होता है पर अलग-अलग दिशाओं में एंटीना का व्यवहारिक रूप समझ पाना मुश्किल होता है.



चित्र-1 रेडिएशन पैटर्न

लगभग सारे विश्व में पोलर निर्देशांक सिस्टम उपयोग में लाये जाते हैं. पोलर निर्देशांक ग्राफ में, बहुत सारे संकेद्रित वृत्तों का प्रतिच्छेदित व्यास या वृताकार क्षेत्र में प्रक्षेपण के द्वारा रेडिएशन बिंदुओं को स्थापित किया जाता है. निम्नलिखित चित्र में 10 एलिमेंट वाले यागी एंटीना का पोलर-प्लॉट दर्शाया गया है.

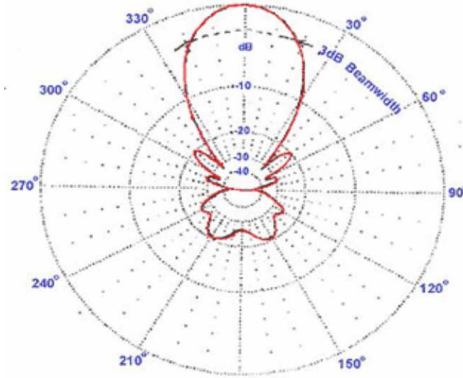


चित्र 2 - यागी एंटीना का पोलर-प्लॉट

पोलर निर्देशांक सिस्टम्स (पोलर कोऑर्डिनेट सिस्टम) को क्रमशः दो श्रेणियों में बाँटा जा सकता है, लीनियर और लॉगरिथमिक निर्देशांक सिस्टम. लीनियर निर्देशांक सिस्टम्स में, संकेद्रित वृत्तों के बीच की दूरी एक समान होती है तथा क्रम में होते हैं. इन वृत्त - श्रृंखलाओं का उपयोग, रेडियो सिग्नल में समाहित पावर के लीनियर निर्देशांक प्लॉट बनाने के लिये किया जाता है. आसान तुलना के लिए, समान दूरी पर स्थित संकेद्रित वृत्तों को उपयुक्त दूरी पर स्थापित वृत्तों में बदलकर उनके डेसीबल प्रतिक्रिया के आधार पर प्रदर्शित किया जाता है जिसे प्लॉट के बाहरी किनारे पर 0 dB के संदर्भ में दर्शाया जाता है. इस प्रकार के प्लॉट्स में छोटे 'लोब्स' दब जाते हैं. जिन 'लोब्स' के पीक 15dB से अधिक या मेन लोब के नीचे के लोब्स, अपने छोटे आकार के कारण लुप्त हो जाते हैं. संकेद्रित वृत्त, प्लॉट को और बढ़ा देते हैं

एंटीना

जिसमें एंटीना की डायरेक्टिविटी अच्छी होती है तथा छोटे सूक्ष्म लोब्स होते हैं। पॉवर की वज़ाय सिगनल के वोल्टेज़ को, लीनियर निर्देशांक सिस्टम के द्वारा प्लॉट किया जाता है। इस तरह की परिस्थितियों में भी एंटीना डायरेक्टिविटी को बढ़ाया जाता है और सूक्ष्म लोब्स दब जाते हैं, लेकिन उतनी मात्रा में नहीं जितनी मात्रा में लीनियर पॉवर ग्रिड में होता है।



चित्र 3 - बीम का आकार

एक संशोधित लॉगरिथमिक स्केल, बड़े आकार के बीम को ज्यादा महत्व देता है जिस समय पैटर्न के केंद्र की ओर के आस-पास के लो-लेवल (>30dB) लोब्स को संपीड़ित (कंप्रेस) किया जाता है। दो तरह के रेडिएशन पैटर्न देखे गये हैं: एब्सोल्यूट पैटर्न और रिलेटिव पैटर्न। एब्सोल्यूट रेडिएशन पैटर्न, फील्ड स्ट्रेंथ या पॉवर को एब्सोल्यूट यूनिट के रूप में प्रदर्शित करते हैं तथा रिलेटिव रेडिएशन पैटर्न, फील्ड स्ट्रेंथ या पॉवर को रिलेटिव यूनिट में प्रदर्शित करते हैं। ज्यादातर रेडिएशन पैटर्न मापन (मेज़रमेंट), आइसोट्रोपिक एंटीना से परस्पर संबंधित होते हैं, और तब 'गेन ट्रांसफर' विधी के द्वारा एंटीना का 'एब्सोल्यूट गेन' निर्धारित किया जाता है।

एंटीना के नजदीकी रेडिएशन पैटर्न और लंबी दूरी के पैटर्न एक समान नहीं होते। 'नियर-फील्ड' शब्द का उल्लेख उस फील्ड पैटर्न के लिए किया जाता है जो एंटीना के ज्यादा नजदीक होता है जबकि 'फार-फील्ड' शब्द का उल्लेख लंबी दूरी के फील्ड पैटर्न के लिए किया जाता है। इस 'फार-फील्ड' को रेडिएशन फील्ड भी कहा जाता है जिसका साधारणतया ज्यादा महत्व है और यही रेडिएशन पॉवर ज्यादा महत्वपूर्ण है इसलिए एंटीना पैटर्न का मापन भी इसी 'फार-फील्ड' रीज़न में किया जाता है। पैटर्न मापन के लिए यह महत्वपूर्ण है कि 'फार-फील्ड' में ज्यादा लंबी दूरी का चुनाव किया जाये जो कि 'नियर-फील्ड' क्षेत्र से बाहर हो। न्यूनतम अनुमत दूरी, एंटीना के परिमाण और परस्पर वेव-लेंगथ पर निर्भर करती है। इस दूरी के इस सूत्र को अपनाया गया है।

$$r_{\min} = 2d^2/\lambda$$

जहाँ, r_{\min} एंटीना से न्यूनतम दूरी है, d एंटीना का अधिकतम परिमाण तथा λ वेव-लेंगथ है।

2.1.6. बीम-विड्थ

किसी एंटीना के बीम-विड्थ को समझने के लिए सामान्यतया उसकी हाफ-पॉवर बीम-विड्थ को समझा जाता है। उसके लिए, एंटीना की 'पीक रेडिएशन इंटेंसिटी' निकाली जाती है और फिर उस 'पीक' के दोनों ओर के बिंदुओं, जो कि इस 'पीक-इंटेंसिटी' का हाफ-पॉवर दर्शाते हैं, को निर्धारित किया जाता है। 'हाफ-पॉवर' के बीच की कोणीय दूरी को बीम-विड्थ कहते हैं। हाफ-पॉवर को डेसिबल में दर्शाते हैं जोकि -3dB

होता है, इसीलिए कभी-कभी 'हाफ-पावर बीम-विड्थ' को 3dB बीम-विड्थ भी निर्दिष्ट किया जाता है। सामान्यतया, हॉरिजॉन्टल और वर्टिकल बीम-विड्थ दोनों पर विचार किया जाता है। अगर ये मान लें कि रेडिएट होने वाला ज्यादातर पावर, **साइड**-लॉब्स में विभाजित नहीं हुआ है तब डायरेक्टिव गेन, बीम-विड्थ के विपरीत अनुपात में होता है। जैसे-जैसे बीम-विड्थ घटती है वैसे वैसे डायरेक्टिव गेन बढ़ता जाता है।

2.1.7. नल्स (जहाँ प्रभावी रेडिएशन पावर शून्य के बराबर होता है)

किसी एंटीना पैटर्न में, 'नल्स' एक क्षेत्र या घेरा है जिसमें प्रभावी **रेडिएटेड** पावर न्यूनतम होता है। मेन-बीम की तुलना में 'नल्स' का 'डायरेक्टिविटी एंगल' बहुत ही संकरा (छोटा) होता है। इसीलिए कई कारणों से, नल्स उपयोगी होते हैं जैसे, किसी दिशा में जाने वाले मुख्य सिगनल्स में दूसरे बाधा पहुँचाने वाले सिगनलों को दबाना आदि।

2.1.8. पोलराइजेशन

इलेक्ट्रो-मैग्नेटिक वेव के इलेक्ट्रिक-फील्ड का किसी अनुकूलन दिशा में संचारण को '**पोलराइजेशन**' कहा जाता है। पोलराइजेशन का वर्णन साधारणतया अंडाकार(इलिप्टिकल) वृत्तों के रूप में किया जाता है। इलिप्टिकल पोलराइजेशन के दो मुख्य अवस्थाएं हैं जैसे, लीनियर पोलराइजेशन तथा सर्क्यूलर पोलराइजेशन। एंटीना द्वारा, रेडियो वेव का आरंभिक पोलराइजेशन निर्धारित किया जाता है।

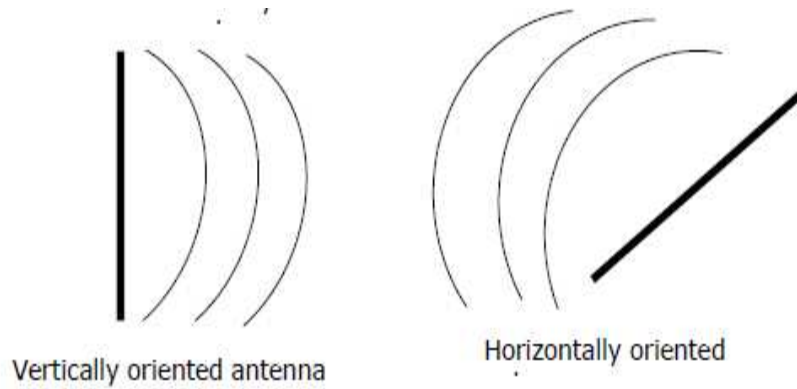
लीनियर **पोलराइजेशन** में, एलेक्ट्रिक फील्ड वेक्टर हमेशा एक ही प्लेन में रहता है। ट्रांसमिशन पाथ में, वर्टिकल पोलराइज्ड रेडिएशन पर परावर्तन का बहुत कम प्रभाव दिखाई देता है। ओम्नी डायरेक्शनल एंटीनाओं का **पोलराइजेशन** हमेशा वर्टिकल पोलराइजेशन ही होता है। हॉरिजॉन्टल पोलराइजेशन में यही परावर्तन, प्राप्त हुए सिगनलों की स्ट्रेंथ में बदलाव पैदा करते हैं। हॉरिजॉन्टल एंटीनाएं, मानव निर्मित अवरोधों से कम प्रभावित होती हैं जो कि वर्टिकली **पोलराइज्ड** होती हैं।

सर्क्यूलर पोलराइजेशन में, ऐसा प्रतीत होता है कि, इलेक्ट्रिक फील्ड वेक्टर एक चक्राकार चाल में प्रोपेगेशन की दिशा में घूमते हैं और प्रत्येक रेडियो फ्रीक्वेंसी साइकल के लिए एक पूरा गोल-चक्कर लगाते हैं। यह घुमाव दायीं या बायीं दिशा किसी में भी हो सकता है। पोलराइजेशन का चुनाव, रेडियो-फ्रीक्वेंसी सिस्टम डिज़ाइन करने वाले इंजिनियर अपनी इच्छा से कर सकते हैं।

2.1.9. पोलराइजेशन का अनुपयुक्त मेल (पोलराइजेशन मिस-मैच)

ट्रांस और रिसीव एंटीना के बीच अधिकतम पावर के संचारण के लिए दोनों एंटीनाओं का एक ही आकाशीय दिशा में तथा साथ ही एक ही पोलराइजेशन और एक जैसा अक्षीय अनुपात (एक्सियल रेशो) में होना आवश्यक है।

अगर दोनों एंटीना ठीक से अलाइन (लाइन-ऑफ-साइट) ना हों या फिर उनका पोलराइजेशन एक जैसा ना हो तो, दोनों एंटीनाओं के बीच पावर ट्रांसफर की मात्रा घट जाती है। इसकी वजह से पूरे सिस्टम की कार्य-क्षमता और कार्य-संपादन में भी कमी आ जाती है।



चित्र 4- अनुपयुक्त मेल की पोलराइजेशन

जब ट्रांसमिटिंग और रिसीविंग एंटीना दोनों, लीनियर पोलराइजेशन में होती हैं और वास्तविक एंटीना एक दूसरे के साथ अलाइन ना हों तो पोलराइजेशन मिस-मैच के परिणाम स्वरूप सिगनल लॉस होगा जिसे निम्नलिखित सिद्धांत द्वारा निर्धारित किया जाता है.

$$\text{पोलराइजेशन मिस-मैच लॉस (dB)} = 20 \log (\cos \theta)$$

यहाँ ' θ ', दो एंटीनाओं के बीच का अरेखीय कोण (मिस-अलाइनमेंट एंगल) है. 15° कोण के लिए 0.3dB लॉस, 30° कोण के लिए 1.25dB, 45° कोण के लिए 3dB और 90° कोण के लिए असीम लॉस होगा. सर्क्यूलरली पोलराइज्ड तथा लीनियरली पोलराइज्ड एंटीनाओं के बीच का वास्तविक मिस-मैच लॉस, सर्क्यूलर एंटीना के एक्सियल रेशो पर निर्भर करता है.

फील्ड और एंटीना के बीच कपलिंग मिस-मैच के कारण, अगर पोलराइजेशन समकालीन (कोइंसिडेंट) हों तो किसी प्रकार की सिगनल क्षीणता नहीं होती. लेकिन अगर समकालीन ना हों तो, कम्यूनिकेशन हो ही नहीं सकता.

2.1.10. फ्रंट-टु-बैक रेशो

एंटीना की अधिकतम डायरेक्टिविटी और एंटीना के पिछली तरफ की दिशा की ओर की डायरेक्टिविटी के अनुपात को फ्रंट-टु-बैक रेशो कहते हैं. उदाहरण के लिए, जब परस्पर संबंधी dB स्केल पर, प्रिंसीपल प्लेन-पैटर्न बनाया जाता है तब अधिकतम रेडिएशन लेवल और 180 डिग्री की दिशा में रेडिएशन लेवल के बीच फ्रंट-टु-बैक रेशो, dB में दर्शाया गया अंतर है.

2.2. एंटीनाओं के प्रकार

एंटीनाओं का वर्गीकरण निम्नलिखित पर आधारित होता है.

2.2.1. फ्रीक्वेंसी और आकार (साइज़)

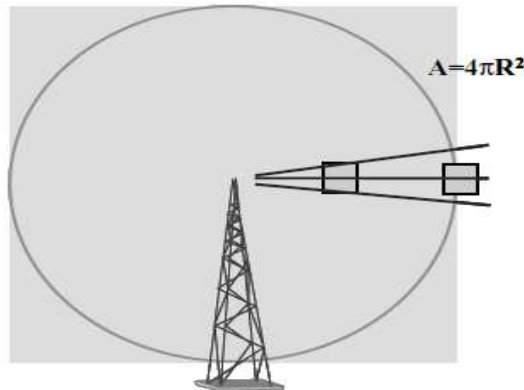
हाई-फ्रीक्वेंसी पर प्रयोग की जाने वाली एंटीना, वेरी-हाई फ्रीक्वेंसी एंटीनाओं से भिन्न होती हैं तथा ये दोनों एंटीना, माइक्रो-वेव में प्रयोग की जाने वाली एंटीना से अलग होती हैं. चूँकि अलग-अलग फ्रीक्वेंसियों पर अलग-अलग वेव-लेंथ होती है इसीलिए, एंटीनाओं का आकार (साइज़) भी अलग-अलग होना चाहिए ताकि सिगनलों का रेडिएशन उचित वेव-लेंथ पर हो सके.

2.2.2. डायरेक्टिविटी

एंटीना कई प्रकार की हो सकती हैं जैसे ओम्नी डायरेक्शनल, सेक्टरियल या डायरेक्टिव एंटीना. ओम्नी डायरेक्शनल एंटीना, पूरे 360 डिग्री पैटर्न में चारों ओर एक समान रेडिएशन पैटर्न फैलाती हैं. डायपोल एंटीना और ग्राउंड-प्लेन एंटीना सबसे ज्यादा प्रचलित ओम्नी डायरेक्शनल एंटीना हैं. सेक्टरियल एंटीना मुख्यतः किसी विशिष्ट क्षेत्र में सिगनल्स रेडिएट करती हैं. जिसका रेडिएशन बीम 180 डिग्री तक चौड़ा हो सकता है तथा 60 डिग्री तक संकरा हो सकता है. डायरेक्टिव एंटीनाओं की बीम-विड्थ, सेक्टरियल एंटीनाओं की अपेक्षा बहुत ही संकरी होती हैं. डायरेक्टिव एंटीनाओं का गेन अधिक होता है इसलिए इनका उपयोग लंबी दूरी तय करने वाली लिंक में किया जाता है. डायरेक्टिव एंटीनाओं के निम्नलिखित प्रकार जैसे, यागी, बाइ-क्वाड, हॉर्न, हेलिक्वाइडल, पैच एंटीना, पैराबोलिक डिश एंटीना आदि हैं.

2.3. आइसोट्रोपिक एंटीना

जब भी कोई सिगनल एंटीना से निकल कर खुले वायुमंडल में संचालित होता है उस दौरान क्षीणता से प्रभावित होता है. वायुमंडल में किसी भी देय बिंदु (पॉइंट) पर प्राप्त होने वाले सिगनल का पॉवर, उस सिगनल द्वारा तय की गई दूरी के प्रतिपानुपाति होता है. इसे समझने के लिए, आइसोट्रोपिक एंटीना की संधारणा का उपयोग किया जा सकता है. वैसे तो आइसोट्रोपिक एंटीना एक काल्पनिक एंटीना होती है जो सभी दिशाओं में एक समान सिगनल रेडिएशन फैलाती है. चूँकि, पॉवर रेडिएशन सभी दिशाओं में एक समान होता है इसलिए हम यह कल्पना कर सकते हैं कि रेडिएटेड पॉवर का एक वृत्त (गोला) निर्मित होता है, जैसा कि चित्र 5 में दर्शाया गया है.



चित्र 5- आइसोट्रोपिक एंटीना

पॉवर स्फीयर का सर्फेस एरिया :

$$A = 4\pi R^2$$

पॉवर डेंसिटी S, एंटीना से किसी देय-बिंदु की दूरी R पर, इस सिद्धांत से दर्शाया जाता है.

$$S = P \cdot G / A$$

यहाँ, एंटीना द्वारा ट्रांसमिटेड पॉवर P है, और G, उस एंटीना का गेन है. इसलिए, दूरी R पर प्राप्त पॉवर Pr को इस सिद्धांत द्वारा दर्शाया जात है.

$$P_r = P \cdot G_t \cdot G_r / (4\pi R)^2$$

यहाँ, G_t और G_r ट्रांसमिटिंग और रिसीविंग एंटीना के गेन हैं और 'λ' उनकी परस्पर वेव-लेंग्थ हैं. इसको डेसीबल में पर निम्नलिखित सिद्धांत मिलता है.

$$Pr(dB) = P(dB) + Gt(dB) + Gr(dB) + 20\log (1/4\pi) - 20\log d.$$

आखरी के दो पदों को खुले वायुमंडल में होने वाला पाथ-लॉस कहते हैं या फ्री-स्पेस लॉस कहते हैं. (FSL). पहले दो पदों (P and Gt) को प्रभावी आइसोट्रोपिक रेडिएटेड पावर (EIRP) कहते हैं.

इस प्रकार:

$$\text{फ्री-स्पेस लॉस (dB)} = \text{EIRP} + \text{Gr(dB)} - \text{Pr(dB)}.$$

और तब फ्री-स्पेस लॉस इस सिद्धांत के द्वारा दर्शाया जा सकता है.

$$L \text{ dB} = 32.4 + 20\log f + 20\log d$$

यहाँ, f फ्रीक्वेंसी है GHz में और d दूरी है किलोमीटर में.

फ्री-स्पेस लॉस

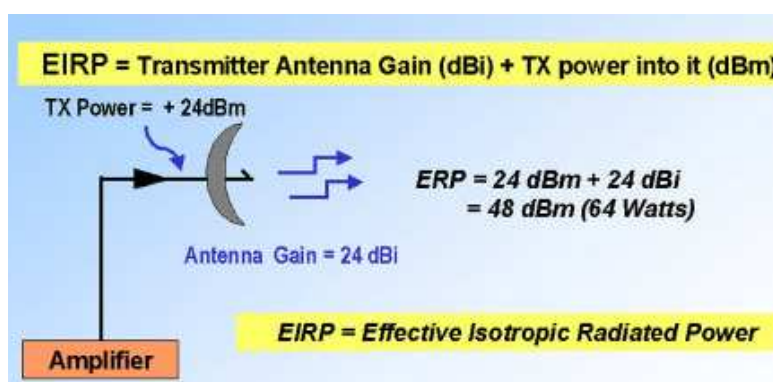
जब रेडियो सिगनल, रेडिएटिंग सोर्स से बाहर निकल कर फैलते हैं तब रेडियो सिगनल्स की उर्जा एक बड़े सतही क्षेत्र में फैलती है और उन सिगनल्स की स्ट्रेंथ कमज़ोर कर देती है. फ्री-स्पेस लॉस, जिसे हम dB में मापते हैं, यह स्पष्ट करता है कि एक तय दूरी पर सिगनलों में कितनी क्षीणता हुई है.



चित्र 6- रेडियो लिंक में फ्री-स्पेस लॉस

प्रभावी आइसोट्रोपिक रेडिएटेड पावर

वास्तविक रेडियो-फ्रीक्वेंसी पावर जिसे एंटीना के मेन-लॉब (फोकल पॉइंट) पर मापते हैं उसे, प्रभावी आइसोट्रोपिक रेडिएटेड पावर कहते हैं (EIRP). यह पावर, एंटीना में दिए गये ट्रांसमिट पावर (dBm में) तथा एंटीना गेन (dBi में) का योग होता है. चूँकि यह पावर लेवल है इसलिए इसका परिमाण dBm में मापते हैं.

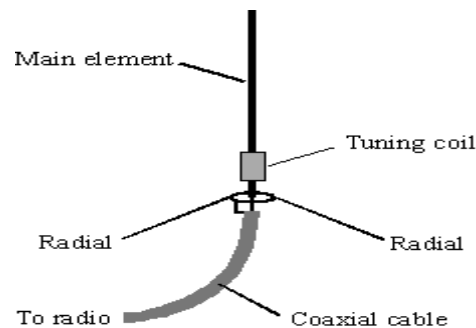


चित्र 6 रेडियो सिस्टम का प्रभावी (इफ़ेक्टिव) आइसोट्रोपिक रेडिएटेड पावर

2.4. ग्राउंड-प्लेन एंटीना

ग्राउंड-प्लेन एंटीना की डिज़ाइन, अन-बैलेंस्ड फीड लाइन जैसे को-एक्सियल केबल के साथ उपयोग करने योग्य बनाई गई है। इस एंटीना की डिज़ाइन, वर्टिकली पोलराइज्ड सिगनल्स को ट्रांसमिट करने के लिए बनाई गई है। इसमें एक $\frac{1}{4}$ वेव एलिमेंट, जो कि हाफ-डायपोल जैसा होता है तथा तीन या चार $\frac{1}{4}$ वेव-लेंगथ के ग्राउंड एलिमेंट होते हैं जो 30 से 40 डिग्री पर झुके या मुड़े होते हैं। इस एलिमेंट के सेट्स को रेडियल्स कहा जाता है तथा ग्राउंड-प्लेन के नाम से जाना जाता है। यह एक साधारण और प्रभावी एंटीना है जो सभी दिशाओं से सिगनल्स को प्राप्त करने में सक्षम है।

इसका 'मेन' एलिमेंट किसी भी लंबाई का हो सकता है, लेकिन इसे इस तरह स्थापित करना पड़ता है जिससे कि यह किसी खास फ्रीक्वेंसी या समकक्ष फ्रीक्वेंसी पर कार्य कर सके। यह समजस्य एक ट्यूनिंग कॉइल का उपयोग करके किया जाता है। रेडियल्स को केबल के बाहरी कंडक्टर या फीड-लाइन केबल की शील्ड के साथ जोड़ा जाता है और मेन एलिमेंट को फीड-लाइन केबल के मध्य वाले कंडक्टर से जोड़ा जाता है।



चित्र 6 - ग्राउंड प्लेन एंटीना

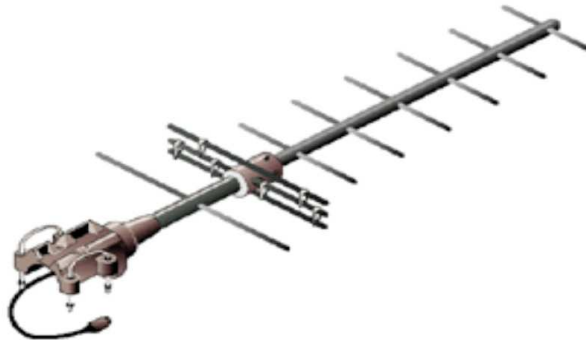
ग्राउंड-प्लेन एंटीना के मेन एलिमेंट का ओरिएंटेशन हमेशा वर्टिकली होता है। इसके परिणाम स्वरूप, वर्टिकली पोलराइज्ड वायरलेस सिगनलों का सर्वोत्कृष्ट ट्रांसमिशन किया जाता है। जब एंटीना का आधार, जमीनी सतह के $\frac{1}{4}$ वेव-लेंगथ ऊँचाई पर या किन्हीं अन्य कंडक्टिंग सतह पर स्थापित किया जाता है, तब रेडियल्स का व्यवहार, उस इलेक्ट्रो-मैग्नेटिक फील्ड में एक 'नियर-परफेक्ट ग्राउंड सिस्टम' के जैसा होता है और एंटीना अधिक कार्यक्षम होती है। हॉरिजॉन्टल दिशाओं में भी यह एंटीना उतनी ही कुशलता से कार्य करती है। ग्राउंड-प्लेन एंटीना, लगभग 10 MHz के ऊपर की फ्रीक्वेंसी पर उपयुक्त मानी जाती हैं। इस प्रकार की एंटीना का उपयोग बेस-रेडियो वी.एच.एफ. के लिए किया जाता है।

2.5. यागी एंटीना

किसी सामान्य यागी एंटीना में कुछ सीधे एलिमेंट लगे होते हैं जिनकी लंबाई लगभग हाफ-वेवलेंगथ होती है। इस एंटीना का ड्राइवर या एक्टिव एलिमेंट, हाफ-वेव डायपोल एंटीना के सेंटर-फीड के समान ही होता है। ड्राइवर एलिमेंट के समांतर ही, लगभग 0.2 से 0.5 वेव-लेंगथ की दूरियों पर, आगे और पीछे दोनों ओर, सीधी छड़ें या तार जिन्हें रिफ्लेक्टर और डायरेक्टर या सभी को पॅसिव एलिमेंट कहा जाता है, लगाये जाते हैं। रिफ्लेक्टरों को ड्राइवर एलिमेंट के पीछे की ओर लगाया जाता है और जिसकी लंबाई हाफ-वेव-लेंगथ से थोड़ी ज्यादा होती है। डायरेक्टरों को ड्राइवर एलिमेंट के आगे की ओर लगाया जाता है जिनकी लंबाई हाफ-वेवलेंगथ से थोड़ी कम होती है। एक विशिष्ट यागी एंटीना में एक रिफ्लेक्टर तथा एक से अधिक डायरेक्टर होते हैं। यागी एंटीना, इलेक्ट्रो-मैग्नेटिक फील्ड उर्जा को, ड्राइवर एलिमेंट से डायरेक्टरों की दिशा में प्रसारित करती हैं और इसी दिशा में आने वाली इलेक्ट्रो-मैग्नेटिक फील्ड उर्जा के

एंटीना

प्रति भी अत्यंत संवेदनशील होती है. यागी एंटीना में जितने ज्यादा डायरेक्टर होंगे उसका गेन भी उतना ही ज्यादा होगा, और जैसे-जैसे डायरेक्टरों की संख्या बढ़ती है एंटीना की लंबाई भी बढ़ जाती है. नीचे चित्र में, 6 डायरेक्टर और एक रिफ्लेक्टर के साथ यागी एंटीना को दर्शाया गया है.



चित्र 7- यागी एंटीना

साधारणतया, पॉइंट-टु-पॉइंट लिंक के लिए यागी एंटीना का उपयोग किया जाता है, इनका गेन 10 से 20 dBi होता है और हॉरिजॉन्टल बीम-विड्थ 10 से 20 डिग्री के बीच होती है.

2.6. हॉर्न एंटीना

अपने विशिष्ट चमकदार रूप की वजह से इस एंटीना को हॉर्न एंटीना नाम मिला है. यह चमकदार हिस्सा चौकोन, आयताकार, गोल-बेलनाकार या त्रिकोणी (कोनीकल) हो सकता है. अधिकतम रेडिएशन की दिशा इस एंटीना के हॉर्न की एक्सिस के अनुरूप होती है.



चित्र 8 - हॉर्न एंटीना

2.7. पैराबोलिक डिश

जब अधिक 'एंटीना गेन' की आवश्यकता होती है, सर्व साधारण प्रकार की डायरेक्टिव एंटीना जो कि पैराबोलिक रिफ्लेक्टर्स पर आधारित एंटीना होती हैं, का उपयोग किया जाता है. इसका लाभ यह है कि इन्हें अधिकाधिक गेन तथा अधिकाधिक डायरेक्टिविटी की आवश्यकतानुसार बनाया जा सकता है.

इनमें मुख्य असुविधा यही है कि इन्हें स्थापित करना कठिन होता है और इनकी हवा प्रतिरोधक क्षमता ज्यादा होनी चाहिये. एक सटीक पैराबोलिक रिफ्लेक्टर का आधारभूत गुण यह है कि किसी फोकस पर स्थापित पॉइंट सोर्स से निकले स्फेरिकल वेव रेडिएशन को प्लेन-वेव में बदल देते हैं. इसके विपरीत, किसी दूरस्थ सोर्स से डिश पर स्थापित फोकस पर प्राप्त रेडियो सिगनलों को एक सिंगल पॉइंट में बदल देती है.

फोकस की स्थिति या फोकल लेंगथ इस प्रकार दर्शाई जाती है.

$$f = \frac{D^2}{16 \times c}$$

यहाँ, D डिश का डायमीटर है, c उस एंटीना के पैराबोला के मध्य से गहराई है. डिश का आकार एक मुख्य घटक माना जाता है क्योंकि इसका आकार यह सुनिश्चित करता है कि तय फ्रीक्वेंसी पर अधिकतम गेन कितना प्राप्त हो सकेगा और परिणामित बीम-विड्थ भी सुनिश्चित करता है.

‘गेन’ और ‘बी-विड्थ’ निम्नलिखित सिद्धांत द्वारा दर्शायी जाती है:

$$G = \frac{(\pi \times D)^2}{\lambda^2} \times \eta$$

$$BW = \frac{70\lambda}{D}$$

यहाँ, D डिश डायमीटर है तथा η एफिसिएंसी (कार्य क्षमता) है. जब डिश पर सिगनल फीड किया जाता है तब, डिश की एफिसिएंसी का निर्धारण मुख्यतया उसके प्रभावी **इलुमिनेशन** द्वारा किया जाता है और साथ ही कई अन्य घटकों द्वारा किया जाता है. अगर डिश का डायमीटर दो-गुना किया जाता है तो उसका ‘गेन’ चार गुना, या 6 dB ज्यादा हो जाता है. अगर दोनों छोर के डिश का आकार दो-गुना कर दिया जाए तो सिगनल-स्ट्रेंथ 12 dB तक बढ़ जायेगी, जो कि एक संतोषजनक ‘गेन’ है. अगर डिश एंटीना को स्वतः बनाया जाये तब 50% कार्यक्षमता (एफिसिएंसी) अनुमानित की जा सकती है.

फोकल-लेंगथ और डिश के डायमीटर का अनुपात f/D , एक आधारभूत घटक है जिससे डिश एंटीना के ‘फीड’ को डिज़ाइन किया जाता है. यह अनुपात ‘फीड’ की बीम-विड्थ से सीधे संबंधित है क्योंकि यह बीम-विड्थ डिश को प्रभावशाली रूप से **इलुमिनेट** करने के लिए आवश्यक है. दो समान डायमीटर वाली डिश एंटीना जिनकी फोकल-लेंगथ अलग-अलग हो तब ‘फीड’ की डिज़ाइन में आवश्यक बदलाव किए जाते हैं ताकि दोनों डिश को प्रभावी रूप से **इलुमिनेट** किया जा सके. 0.25 का मान एक साधारण फोकल-प्लेन डिश के समकक्ष होता है जिसमें ‘फोकस’ उसी प्लेन में होता है जिस प्लेन में डिश की ‘रिम’ होती है.

एक मीटर तक डायमीटर वाली ‘डिश’ सामान्यतया ठोस धातु की बनी होती हैं. अल्यूमिनियम धातु का उपयोग बहुतायत में किया जाता है क्योंकि इस धातु का वज़न कम होता है, ज्यादा टिकाऊ और अच्छी इलेक्ट्रिकल विशेषताएं होती हैं. बड़े आकार की डिश पर हवा की मार का असर ज्यादा होता है और जल्द ही कठिन समस्या बन जाती हैं. ऐसी डिश एंटीना जिनकी रिफ्लेक्टिंग सतह खुली जाली की तरह होती है, उनका प्रयोग बहुतायत में किया जाता है. इनका **फ्रंट-टु-बैक** रेशो(अनुपात) अच्छा नहीं होता, लेकिन उपयोग **करने** में सुरक्षित तथा बनाने में आसान होती हैं. कॉपर, अल्यूमिनियम, ब्रास, **गैल्वनाइज्ड** स्टील और **लोहा** आदि जाली बनाने के लिए उपयुक्त धातु हैं.

2.8. अन्य एंटीनाएं

अन्य कई प्रकार की एंटीनाएं उपलब्ध हैं तथा जैसे-जैसे तकनीकी विकास हो रहा है, वैसे वैसे नई-नई एंटीनाओं का निर्माण हो रहा है.

एंटीना

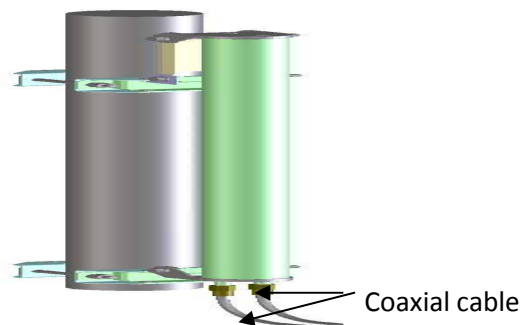
2.8.1 सेक्टर या सेक्टोरियल एंटीना: इन एंटीनाओं का प्रयोग सेल्यूलर **टेलीफोनी** व्यवस्थापन में व्यापक रूप से किया जाता है और सामान्यतया इन एंटीनाओं के निर्माण में एक रिफ्लेक्टिव प्लेट और एक या अधिक 'फेज्ड डायपोल्स' का उपयोग किया जाता है। इनकी **हॉरिजॉन्टल** बीम-विड्थ 180 डिग्री के लगभग चौड़ी हो सकती है या 60 डिग्री के लगभग संकरी हो सकती है जबकि वर्टिकल बी-विड्थ सामान्यतया हमेशा संकरी ही होती है। बहुत सारे सेक्टर को मिलाकर भी एक मिश्रित एंटीना भी बनाई जा सकती है जिससे कि बहुत बड़े हॉरिजॉन्टल क्षेत्र को कवर किया जा सके, इसको 'मल्टी-सेक्टोरियल' एंटीना कहा जाता है।

सेक्टर एंटीना एक प्रकार की डायरेक्शनल माइक्रोवेव एंटीना है जिसके रेडिएशन पैटर्न का आकार 'सेक्टर आकार' जैसा होता है। यहाँ 'सेक्टर' शब्द का उपयोग रेखागणितीय संदर्भ में किया गया है, जिसका अर्थ यह है कि किसी वृत्त की परिधि का कुछ भाग जिसे डिग्री में मापा जाता है। सेक्टर एंटीना की डिजाइन 60° , 90° , और 120° पर मुख्यतया की गई है और किसी विशिष्ट स्थिति में कुछ अतिरिक्त **कोण** बढ़ा कर की गई है ताकि दो सेक्टर के बीच ओवरलैप सुनिश्चित किया जा सके, इस तरह 'फुल सर्कल' कवरेज के लिए मल्टीपल सेक्टर एंटीनाओं को जोड़कर स्थापित किया जाता है।

60° सेक्टर एंटीना द्वारा एक पूरे 360° वृत्त का $1/6$ भाग कवर किया जा सकता है जबकि 90° सेक्टर एंटीना द्वारा उसी वृत्त का $1/4$ भाग कवर किया जा सकता है। रेडिएशन क्षेत्र, 60, 90 या 120 डिग्री पर एकदम से खत्म नहीं होता बल्कि कुछ अतिरिक्त डिग्री कोण ओवरलैप के लिए होता है। उदा. के लिए, इस तरह हम 120 डिग्री के तीन सेक्टोरियल एंटीना का उपयोग करके पूरे वृत्तीय क्षेत्र को कवर कर सकते हैं।

इस तरह की एंटीना, सेल-**फोन** बेस-स्टेशन साइट पर बड़े पैमाने पर उपयोग की जाती हैं। इनका उपयोग एक सीमित दूरी, लगभग 4 से 5 कि.मी. तक ही किया जाता है।

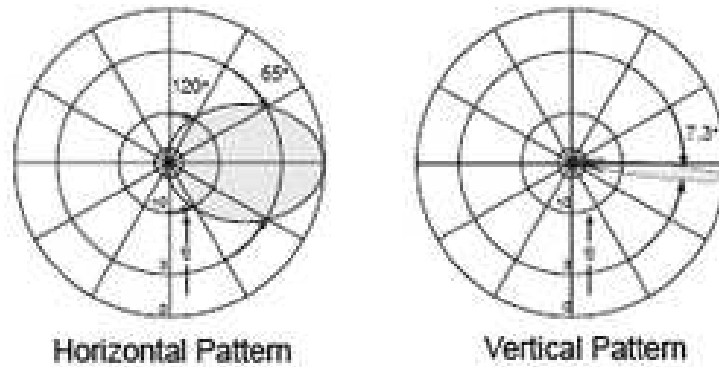
एक सेक्टर एंटीना को नीचे चित्र में दर्शाया गया है। एंटीना के निचले तले में को-एक्सियल केबल(फीड लाइन) जोड़ने के लिए RF कनेक्टर्स और '**एडजस्टमेंट मैकेनिज़्म**' प्रदान किए गये हैं। इस एंटीना को खुले स्थान पर स्थापित करने के लिए इसका 'मेन' रिफ्लेक्टिंग स्क्रीन, अल्यूमिनियम का बना होता है तथा अंदरूनी पुर्जों को एक 'फाइबर-ग्लास राडोम' में बंद **करके** रखा जाता है ताकि एंटीना का कार्यचालन किसी भी मौसम की परवाह किए बिना, ठीक तरह से हो सके।



चित्र 9 - सेक्टर एंटीना

एंटीना

इस एंटीना की लंबी संकरी बनावट, एक पंखे के आकार का रेडिएशन पैटर्न प्रदान करता है, जो कि **हॉरिजॉन्टल** दिशा में ज्यादा चौड़ा होता है और परस्पर वर्टिकल दिशा में ज्यादा संकरा होता है. रेडियो पैटर्न के चित्रित आधार पर, कुछ विशिष्ट एंटीना जिनका उपयोग थ्री-सेक्टर बेस-स्टेशन पर किया गया है, वे एंटीना 66° की हॉरिजॉन्टल बीम-विड्थ प्रदान करती हैं. इसका अर्थ यह है कि 0° पर अधिकतम गेन प्राप्त किया जा सकता है और $\pm 33^\circ$ दिशाओं में इसकी मात्रा थोड़ी कम हो जाती है. $\pm 60^\circ$ दिशाओं में एंटीना गेन बिल्कुल कम या न के बराबर होता है क्योंकि इस कोण को सेक्टर की बॉर्डर माना जाता है.



चित्र 10 - फील्ड-पैटर्न

वर्टिकल बीम-विड्थ 15° कोण से ज्यादा चौड़ी नहीं होती, यानि 0° कोण के दोनों ओर 7.5° कोण. इस तरह की बीम-विड्थ के लिए यह आवश्यक है कि वे लंबी दूरी तक लाइन-ऑफ-साईट बनाये रखें, वैसे तो यह बीम-विड्थ साधारणतया नीचे की ओर झुका होता है ताकि नज़दीक के क्षेत्र में स्थापित बेस-स्टेशनों को प्रभावी रूप से कवर किया जा सके और लंबी दूरी की कॉल्स के लिए RF व्यवधान भी पैदा न हो.

इस प्रकार की एंटीना का कवरेज क्षेत्र, जमीनी सतह पर उसके सेक्टर प्रोजेक्शन का चार गुना होता है और इसके 'इलेक्ट्रिकल या **मैकनिकल** डाउन-टिल्ट' (झुकी हुई अवस्था में) करके किया जा सकता है. इलेक्ट्रिकल टिल्ट को सेट करने के लिए, एंटीना के अंदर **मौजूद** विशेष कंट्रोल यूनिट के द्वारा किया जाता है और मैकनिकल डाउन टिल्ट को सेट करने के लिए, एंटीना को बांधे रखने वाले पुर्जों का समायोजन करके किया जाता है.

बाहर खुले में स्थापित किये जाने वाली एंटीनाओं को 'ग्राउंड' (अर्थिंग) करना अत्यंत महत्वपूर्ण है, इसिलिए सभी धातु के पुर्जों को 'ग्राउंड' करना चाहिए.

2.8.2. व्हिप एंटीना

एक व्हिप एंटीना, सिंगल सीधा फ़्लेक्सिबल तार या रॉड (छड़) से बना होता है. इस व्हिप का निचला तला रेडियो ट्रांसमीटर या रिसीवर से **जुड़ा** होता है. व्हिप एंटीना का डिज़ाइन फ़्लेक्सिबल होता है ताकि इन्हें टुटने से बचाया जा सके. इनकी 'व्हिप-मोशन' के कारण इनका नाम व्हिप रखा गया है, जो कि रेडियो **सिगनलों** के संचार की वजह से एक तरह का कंपन पैदा करते हैं, इस कंपन को ही 'व्हिप मोशन' कहते हैं. अक्सर, पोर्टेबल रेडियों के लिए व्हिप एंटीनाओं को 'टेलिस्कोपिक मेटल ट्यूब्स' की एक शृंखला में जोड़कर बनाया जाता है ताकि जब उपयोग में न हों तो उन्हें निकाल कर अलग किया जा सके. ज्यादा लंबाई वाली एंटीनाओं को वाहनों पर स्थायी रूप से स्थापित किए जाने के लिए बनाया जाता है या फिर 'वायर-कोर' के चारों ओर फ़्लेक्सिबल फाइबर-ग्लास से बनी रॉड (छड़) द्वारा बनाये गये स्ट्रक्चर पर लगाया जाता है जिसकी लंबाई 35 फीट (लगभग 10 मी.) तक हो सकती है. व्हिप एंटीना आमतौर

एंटीना

पर मोनोपोल एंटीना का प्रकार है। इन एंटीनाओं का उपयोग 'हस्त रेडियो' जैसे सेल फोन, **कॉर्ड-लेस** फोन, वॉकी-टॉकी, एफ.एम. रेडियो, बूम-बॉक्सेस, वाई-फ़ाई सक्षम उपकरणों, जी.पी.एस. रिसीवर, और वाहनों पर एंटीना की तरह स्थापित कार-रेडियो के लिए, पुलिस के लिए 'ट्रु-वे रेडियो', अग्निशामक और वायुयान आदि में किया जाता है।



चित्र 11- वी.एच.एफ. सेट में लगी व्हिप एंटीना

इन व्हिप एंटीनाओं द्वारा, जो कि एक कॉइल के आकार में बनी होती हैं, मल्टी-बैंड ऑपरेशन संभव है। ये एंटीना, 1/2 या 1/3 और 2/3 वेव-लेंग्थ पर कार्य करती हैं और लोअर फ्रीक्वेंसी बैंड पर एरियल को ज्यादा प्रभावित नहीं करती हैं, लेकिन हाइयर फ्रीक्वेंसी बैंड पर ढेर सारे डायपोल होने जैसा प्रभाव पैदा करती हैं (सामान्यतया $\times 2$ या $\times 3$ फ्रीक्वेंसी)।

2.9. स्मार्ट एंटीना

स्मार्ट एंटीना, एक डिजिटल वायरलेस कम्यूनिकेशन एंटीना सिस्टम है जो, सोर्स (ट्रांसमीटर) या गंतव्य (रिसीवर) या दोनों पर होने वाले डायवर्सिटी प्रभाव का सीधा लाभ उठाता है। डायवर्सिटी प्रभाव का सीधा संबंध, ट्रांसमीटर और रिसीवर पर आने वाली या जाने वाली मल्टीपल रेडियो फ्रीक्वेंसी वेव से है, जो डॉटा स्पीड बढ़ाते हैं तथा दोष-दर (एरर-रेट) घटाते हैं।

पारंपरिक वायरलेस कम्यूनिकेशन सिस्टम में, सोर्स (ट्रांसमीटर) पर एक सिंगल एंटीना और रिसीवर पर एक सिंगल एंटीना का उपयोग किया जाता है। इसे 'सिसो' यानि एस.आई.एस.ओ./ सिंगल इनपुट सिंगल आउटपुट) कहते हैं। मल्टीपथ प्रभाव से उत्पन्न होने वाली कठिनाईयों के प्रति ये **सिस्टम अति संवेदनशील** होते हैं। जब **इलेक्ट्रो-मैग्नेटिक** फील्ड किन्ही अवरोधों, जैसे छोटी पहाड़ियों, घाटियों, इमारतों, अन्य जनापयोगी तारों से टकराता है तब वेव-फ्रंट बिखर जाता है और परिणाम स्वरूप किन्ही अन्य मार्गों से गंतव्य (रिसीवर) तक पहुंचता है। बिखरे हुए सिगनल्स का हिस्सा जो कि देरी से पहुंचता है वह रिसीवर पर फेडिंग, कट-ऑफ (क्लिफ इफैक्ट) और अनिरंतर रिसेप्शन (पिकेत फेन्सिंग) आदि पैदा करता है। डिजिटल कम्यूनिकेशन सिस्टम जैसे इंटरनेट में, इसका परिणाम, डॉटा गति में घट और दोषों की संख्या में बढ़त के रूप में दिखाई देता है। स्मार्ट एंटीनाओं का उपयोग करने से, मल्टी-पथ प्रोपगेशन के द्वारा होने वाली कठिनाईयों को कम या दूर किया जा सकता है।

स्मार्ट एंटीना तीन प्रमुख श्रेणियों में मिलती हैं: एस.आई.एम.ओ.(सिंगल इन-पुट मल्टीपल आउट-पुट), एम.आई.एस.ओ.(मल्टीपल इन-पुट सिंगल आउट-पुट) और एम.आई.एम.ओ.(मल्टीपल इन-पुट मल्टीपल आउट-पुट)।

एस.आई.एम.ओ. तकनीक में, सोर्स (ट्रांसमीटर पर एक एंटीना और रिसीवर पर दो या अधिक एंटीनाओं का उपयोग किया जाता है। एम.आई.एस.ओ. तकनीक में, सोर्स (ट्रांसमीटर) पर दो या अधिक एंटीनाओं और रिसीवर पर एक एंटीना का उपयोग किया जाता है। एम.आई.एम.ओ. तकनीक में, दोनों ओर (ट्रांसमीटर और रिसीवर) में एक से अधिक संख्या में एंटीना प्रयुक्त की जाती हैं। एम.आई.एम.ओ. तकनीक ने आजकल **काफी** ध्यान आकर्षित किया है क्योंकि यह तकनीक न सिर्फ मल्टी-पाथ प्रोपगेशन के विपरीत प्रभावों को दूर करती है बल्कि किन्हीं मामलों में यह तकनीक लाभदायक भी **सिद्ध** होती है।

2.9.1 स्मार्ट एंटीना - फंक्शन

2.9.1.1 सिगनल प्राप्त होने वाली दिशा का अनुमान लगाना: (डी.ओ.ए.)

स्मार्ट एंटीनाओं में विभिन्न तकनीकियां जैसे, म्यूज़िक (MUSIC-मल्टीपल सिगनल क्लासीफिकेशन) और रैशनल इनवैरिएंस टेक्नीक्स अल्गोरिथ्म आधारित सिगनल्स पैरामीटर का अनुमान लगाना आदि का उपयोग, सिगनलों के प्राप्त होने की दिशा पता करने के लिए की जाती है। इस प्रक्रिया के लिए बहुत सारी संगणना और अल्गोरिथ्म की आवश्यकता होती है।

2.9.1. 2. 'बीम' बनाने की विधि:

जिन मोबाइल हैंड-सेट्स या अन्य उपकरणों, जिन पर सिगनल भेजे जाने होते हैं, पहले उन्हें ढूँढा जाता है। तत्पश्चात सभी सिगनलों के फ़ेज़ को जोड़कर एंटीना-**ऐरे** का एक रेडियो पैटर्न तैयार किया जाता है। इस दौरान जिन **मोबाइल** हैंड-सेट्स पर यह सिगनल्स नहीं भेजे जाने हैं वे इस पैटर्न के दायरे के बाहर रखे जाते हैं। वैसे तो यह प्रक्रिया ज्यादा जटिल दिखाई पड़ती है, परंतु 'एफ.आई.आर. (फ़ाईनाइट इंपल्स **रिसपॉन्स**) टैंड डिफ़े लाइन फिल्टर' की मदद से, इस प्रक्रिया को आसानी से किया जा सकता है। प्रयोग किए जाने वाले सिगनल के अनुसार ही एफ.आई.आर. **फिल्टर** का वज़न भी बदला जा सकता है। ऑप्टिकल बीम बनाने में भी यह **फिल्टरों** अपना योगदान देते हैं ताकि जो बीम पैटर्न बनाया जा रहा है उसमें, वर्तमान बीम और वांछित बीम के बीच एम.एम.एस.ई. (मिनिमम मीन स्क्वयर एरर) को कम किया जा सके।

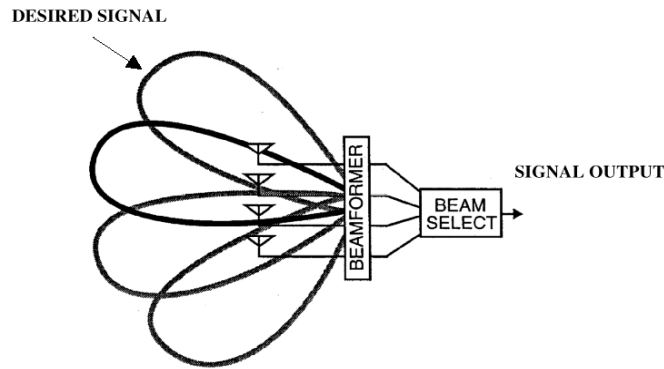
2.9.2. स्मार्ट एंटीनाओं के प्रकार

स्मार्ट एंटीनाओं का वर्गीकरण, किस प्रकार के वातावरण में तथा सिस्टम की आवश्यकता पर निर्भर करता है। स्मार्ट एंटीना के मुख्य दो प्रकार हैं जैसे,

- ✓ फेज्ड **ऐरे**/बीम स्मार्ट/मल्टीबीम एंटीना
- ✓ अडाप्टिव ऐरे एंटीना

2.9.2.1 फेज्ड ऐरे/बीम स्मार्ट/मल्टीबीम एंटीना

इस प्रकार की **फेज्ड** ऐरे एंटीना में, अनगिनत फ़िक्स्ड बीम होते हैं, उनमें से कोई एक बीम ही 'ऑन' हो पाता है या उस बीम को वांछित सिगनल की तरफ मोड़ा जाता है। इसे केवल **सिगनलों** के **फेज** में समंजन की मदद से ही किया जा सकता है।

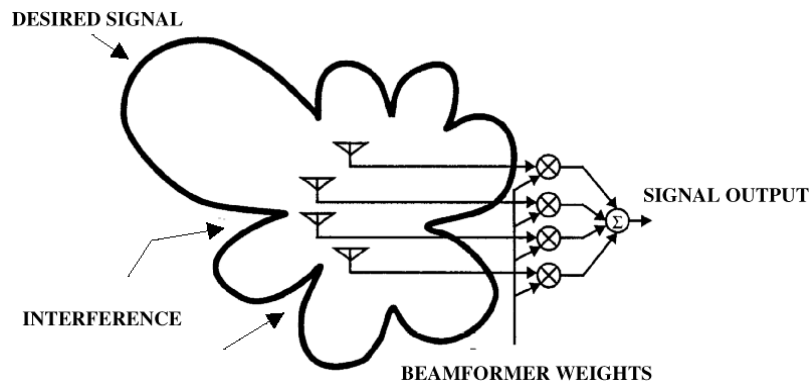


चित्र 12 - फेज्ड ऐं एंटीना

2.9.2.2 अडाप्टिव ऐं एंटीना

इस प्रकार की अडाप्टिव ऐं एंटीना में, इच्छित उपभोक्ता की गतिविधियों तथा व्यवधानों की गतिविधियों के अनुसार बीम-पैटर्न में बदलाव होता है। जो सिगनल्स प्राप्त होते हैं उन्हें जांचा जाता है और अनेक सिगनलों को जोड़कर वांछित सिगनल मिलने तक बढ़ाया जाता है, जो कि व्यवधानों से युक्त सिगनल से बेहतर होता है, साथ ही उस सिगनल का नॉइज़ रेशो तथा पॉवर रेशो (सिगनल टु नॉइज़ रेशो) भी ससंगत हो जाता है। इस प्रकार, व्याधित दिशाओं के सिगनलों और 'मेन बीम' की दिशा के वांछित सिगनलों के बीच संतुलन बना रहता है।

यह एंटीना 'मेन बीम' को किसी भी दिशा में मोड़ सकती है और साथ ही साथ व्यवधान पैदा करने वाले सिगनलों को शून्य कर देती है। 'मेन बीम' के दिशा की गणना डी.ओ.ए. (डायरेक्शन ऑफ अराइवल) नियम के द्वारा की जा सकती है। नीचे चित्र में अडाप्टिव ऐं एंटीना दर्शाई गई है।



चित्र - 13 अडाप्टिव ऐं एंटीना

2.9.2.3. लाभ

यह दोनों, बीम स्मार्ट और अडाप्टिव ऐं एंटीना, ज्यादा कार्यक्षमता प्रदान करती हैं और इच्छित सिगनल के लिए हाई-पॉवर भी प्रदान करती हैं। जब हाइयर फ्रीक्वेंसियों पर अधिक मात्रा में एंटीना एलिमेंटों का उपयोग किया जाता है तब, बीम स्मार्ट एंटीनाएं संकरी 'पेंसिल-बीम' का उपयोग करती हैं। इस प्रकार वांछित सिगनल की दिशा में अधिक कार्यक्षमता प्राप्त होती है। अगर एंटीना एलिमेंट की संख्या निर्धारित कर दी जाये तो एंटीना एलिमेंट की संख्या के अनुसार, अडाप्टिव ऐं एंटीना द्वारा 'पॉवर-गेन' पैदा किया जा सकता है। इनका एक और लाभ यह है कि व्यवधान की मात्रा को दबा दिया जाता है। बीम स्मार्ट एंटीना इस व्यवधान को नॅरो-बीम से दबाती हैं तथा अडाप्टिव ऐं एंटीना इस व्यवधान को बीम-पैटर्न के समंजन से दबाती हैं।

2.9.2.4 हानियाँ

मुख्य हानियाँ इस प्रकार हैं:

1. मूल्य: इस तरह के उपकरण का मूल्य ज्यादा होता है, न सिर्फ इलेक्ट्रॉनिक्स सेक्शन में बल्कि पॉवर सेक्शन में भी. अगर इनमें एम.आई.एम.ओ. नियम लागू किया गया हो तब ये उपकरण अधिक ही महंगे होते हैं और मोबाइल बैटरी की कार्यक्षमता भी कम हो जाती है. उपकरणों का मूल्य घटाने के लिए, रिसीवर पर लगी एंटीनाओं की संख्या भी घटाई जानी चाहिए. हर एंटीना के लिए RF इलेक्ट्रॉनिक्स और एनलॉग/डिजिटल कन्वर्टर का उपयोग करने से भी कीमत बढ़ जाती है.
2. आकार: अगर इस पद्धति को अधिक कार्यक्षम बनाना है तब बड़ी संख्या में बेस-स्टेशनों की आवश्यकता पड़ेगी. उनका आकार भी बड़ा होगा. इसके अलावा हर एक टर्मिनल के लिये मल्टीपल बाहरी एंटीना भी स्थापित करनी पड़ेगी जो कि प्रामाणिक रूप से संभव नहीं है. लेकिन कुछ कंपनियां इस दिशा में काम कर रही हैं ताकि इयूअल पोलराइजेशन पद्धति से इनका आकार घटाया जा सके.
3. डायवर्सिटी: जब बहुत सारी चीजों को एक साथ कम करने की जरूरत होती है तब डायवर्सिटी एक समस्या बन जाती है. इसके लिए टर्मिनलों और बेस-स्टेशनों पर मल्टीपल एंटीना स्थापित करनी पड़ती हैं. मुख्यतया तीन प्रकार की डायवर्सिटी होती हैं जैसे, स्पॅटियल, पोलराइजेशन और एंगल डायवर्सिटी.

मोबाइल फोन सिस्टम में इस डायवर्सिटी द्वारा दो एंटीनाओं के बीच स्पॅटियल सेपरेशन का उपयोग प्रामाणिक रूप से असंभव है. यह पद्धति उन पॉइंट टु पॉइंट सिस्टम्स में भी मुश्किल है जहाँ 'लाइन-ऑफ-साइट' नाम मात्र के लिए होता है. लेकिन पोलराइज्ड डायवर्सिटी का उपयोग करके उपरोक्त समस्या को कुछ हद तक दूर किया जा सकता है. बिना स्पॅटियल सेपरेशन के भी, इयूअल पोलराइजेशन का प्रारंभिक उपयोग बड़ी आसानी से किया जा सकता है.

आजकल एंग्यूलर डायवर्सिटी पद्धति का उपयोग आमतौर पर किया जाने लगा है. मल्टी-बीम से एक सिगनल का चुनाव किया जाता है, जिसकी सिगनल पॉवर अधिकतम होती है और उनका उपयोग डायवर्सिटी के अनुरक्षण के लिए किया जाता है. लेकिन सिगनल के एंग्यूलर बिखराव (एंग्यूलर स्प्रेड) पर एंटीना का गेन निर्भर होता है. जैसे कि, अगर यह बिखराव छोटा होगा तो डायवर्सिटी भी छोटी ही होगी.

अनुबंध

फ्रीक्वेंसी अलोकेशन और फ्रीक्वेंसी प्लान

भारतीय रेल के लिए 7125 MHz से 7425 MHz (4.21 सेंमी. - 4.04 सेंमी. वेव-लेंग्थ) का फ्रीक्वेंसी बैंड, Xc बैंड में आवंटित किया गया है. (7250 - 7300 MHz का फ्रीक्वेंसी बैंड उपग्रह से पृथ्वी के लिए प्रतिबंधित किया गया है. इस ऑपरेशनल बैंड में अनुमत स्पॉट फ्रीक्वेंसियां, जिनका उपयोग ट्रांसमीटर और रिसीवर पर किया जाना है, वे सी.सी.आई.आर. अनुशंसित 385-1 में निम्न प्रकार से हैं:

$$\begin{aligned} f_o &= \text{सेंट्रल फ्रीक्वेंसी} = 7275 \text{ MHz} \\ f_n &= \text{चैनल फ्रीक्वेंसी (MHz), 'लोअर हाफ बैंड' में} \\ f'_n &= \text{चैनल फ्रीक्वेंसी (MHz), 'अपर हाफ बैंड' में} \end{aligned}$$

इस प्रकार एक व्यक्तिगत चैनल की फ्रीक्वेंसियां निम्नलिखित नियम द्वारा दर्शायी जा सकती हैं.

$$\text{लोअर हाफ बैंड } f_n = f_o - 154 + 7n$$

$$\text{अपर हाफ बैंड } f'_n = f_o + 7 + 7n$$

यहाँ $n = 1, 2, 3, \dots, 20$ तक.

$$\begin{aligned} \text{e.g., } f_1 &= (7275 - 154 + 7 \times 1) = 7128 \text{ MHz} \text{ \& } f'_1 = (7275 + 7 + 7 \times 1) = 7289 \text{ MHz} \\ f_2 &= 7135 \text{ MHz} \text{ \& } f'_2 = 7296 \text{ MHz} \text{ ऐसे ही और आगे की फ्रीक्वेंसियां.} \end{aligned}$$

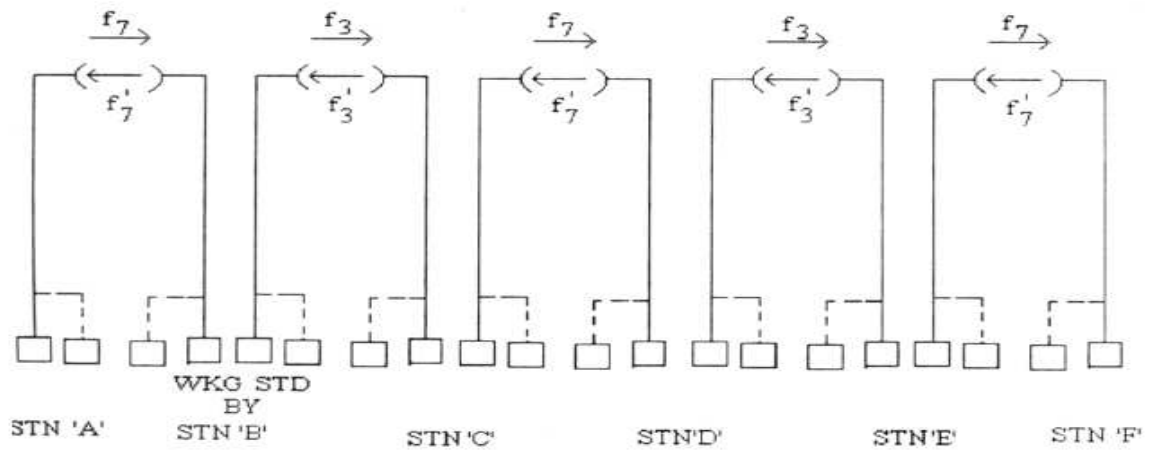
ऐसा संभाग, जिसे अंतर्राष्ट्रीय चालन के लिए योजित किया गया है, उसमें 'जाने' वाली सारी चैनल्स, फ्रीक्वेंसी बैंड के एक अर्ध (वन हाफ) में हों तथा 'आने' वाली सारी चैनलें, फ्रीक्वेंसी बैंड के दूसरे अर्ध (अदर हाफ) में हों.

अगर कोई सिस्टम, 300 टेलिफोन चैनलों के साथ रेडियो फ्रीक्वेंसी बैंड पर कार्यरत हो, उस समय चैनल कॉम्बिनेशन के परिणाम स्वरूप अगर दो चैनलों के बीच सिर्फ 14 Mhz का अंतर हो तो ऐसे सिस्टम को टालना चाहिए. लेकिन अगर उचित एंटीना अंतर उपलब्ध हो तो उपरोक्त सावधानी को नजर अंदाज़ किया जा सकता है.

फ्रीक्वेंसी प्लान

भारतीय रेल में, दो अलग फ्रीक्वेंसी प्लान के पैटर्न अपनाए गये हैं. जो कि '4 फ्रीक्वेंसी प्लान' और '2 फ्रीक्वेंसी प्लान' हैं.

4 फ्रीक्वेंसी प्लान की विशिष्टताएं: नीचे दिए चित्र में '4 फ्रीक्वेंसी प्लान' के लिए, फ्रीक्वेंसी आबंटन दर्शाया गया है.



चित्र 1 - 4 फ्रीक्वेंसी प्लान (100% स्टैंडबाय उपस्कर)

स्टेशन A से स्टेशन B की ओर तथा स्टेशन B से C की ओर की ट्रांसमिट होने वाली फ्रीक्वेंसियां अगल-अलग हैं इसिलिये स्टेशन A से B की ओर के रेडिएशन जो स्टेशन C तक पहुंचते हैं, किसी प्रकार का व्यवधान नहीं होता या इसके विपरीत दिशा यानि स्टेशन C से B की ओर तथा स्टेशन A तक पहुंचने वाले रेडियो सिगनल्स से भी किसी प्रकार का व्यवधान नहीं होता. स्टेशन A के रेडियो सिगनल्स जो कि स्टेशन B के लिए होते हैं और स्टेशन C तक पहुंचते हैं उन्हें स्टेशन C के रिसीवर में बैंड पास फिल्टर के द्वारा रोक दिया जाता है, इस तरह व्यवधान-शोर (इंटरफेरेंस नॉइज़) को प्रभावशाली रूप से काट या घटा दिया जाता है.

इसी तरह, स्टेशन B से स्टेशन C की ओर जाने वाले सिगनल (फ्रीक्वेंसी f3) कुछ मात्रा में पीछे की ओर यानि स्टेशन A की ओर भी जाते हैं जिन्हे स्टेशन A के रिसीवर पर बैंड-पास फिल्टर के द्वारा रोक लिया जाता है जो सिर्फ f7 फ्रीक्वेंसी को ही आगे रिसीवर के रेक्टिफायर सर्किट में जाने की अनुमति देता है. इससे यह संभव हो जाता है कि एक मानक कार्यक्षमता वाली एंटीना जिसका फ्रंट-टु-बैक रेशो (अनुपात) 45 dB के लगभग हो, को स्थापित किया जा सकता है. '4फ्रीक्वेंसी प्लान' एक श्रेष्ठ प्लान है क्योंकि इस प्लान में अलग-अलग उचित फ्रीक्वेंसियां उपयोग में लाई जाती हैं और किसी भी तरह के फ्रीक्वेंसी व्यवधान को प्रभावशाली रूप से नियंत्रित किया जा सकता है. अधिक फ्रीक्वेंसी-जोड़ियों के उपयोग से इसकी सुधारित कार्यकुशलता के लिये ही कीमत चुकानी पड़ती है. हालांकि तीसरे 'हॉप' में, (C से D की ओर ट्रांसमिशन) फ्रीक्वेंसी f7 की पुनरावर्ति होती है (फ्रीक्वेंसी स्पेक्ट्रम के उपयोग को बचाये रखने के लिए). अगर हम इसके 'रेडियो इक्विपमेंट स्टैंड-बाय' का संदर्भ ना दें और सिर्फ फ्रीक्वेंसी प्लान के बारे में ही चर्चा करें तो, 4फ्रीक्वेंसी प्लान पर चर्चा अधूरी ही होगी. समझने के लिए स्टेशन B से शुरू करें तो, ट्रांसमीटर B जो कि B-C की दिशा में फ्रीक्वेंसी f3 के लिए ट्यून किया गया है और B-A की दिशा में फ्रीक्वेंसी f7 के लिए ट्यून किया गया है. उनके परस्पर रिसीवर भी f3 और f7 के लिए ट्यून किए गये हैं और प्रत्येक स्टेशन पर 'स्टैंडबाय-इक्विपमेंट' प्रदान किए गये हैं, जिससे सिस्टम की सुधारित विश्वसनीयता मिलती है, ऐसे मामलों में भी जहाँ कॉम्पोनेंट की खराबी पूरे सिस्टम को (ट्रांसमीटर और रिसीवर) को नाकाम कर देती है. इस मामले में यह स्पष्ट है कि B-C की दिशा में एक ट्रांसमीटर जिसे फ्रीक्वेंसी f3 के लिए ट्यून किया जाए और B-A की दिशा में एक ट्रांसमीटर जिसे फ्रीक्वेंसी f7 के लिए ट्यून किया जाए जो कि 'स्टैंडबाय ट्रांसमीटर' के रूप में आवश्यक हैं. उसी तरह, अलग-अलग रिसीवर भी

अनुबंध

आवश्यक हैं जिन्हें f_3 और f_7 के लिए ट्यून किया जाए. इस प्रकार दो कार्यरत ट्रांस-रिसीवर के लिए दो 'स्टैंडबाय' ट्रांस-रिसीवर की आवश्यकता पड़ेगी. '4 फ्रीक्वेंसी प्लान' के लिए 100% 'स्टैंडबाय' रेडियो सिस्टम की आवश्यकता होती है. संक्षेप में कहें तो, '4 फ्रीक्वेंसी प्लान' कम व्यवधान पैदा करते हैं, मानक एंटीनाओं को अनुमत करते हैं, परंतु 100% 'स्टैंडबाय' रेडियो सिस्टम की आवश्यकता पड़ती है और साथ ही बहुत सारी फ्रीक्वेंसी-जोड़ियों की भी आवश्यकता पड़ती है.

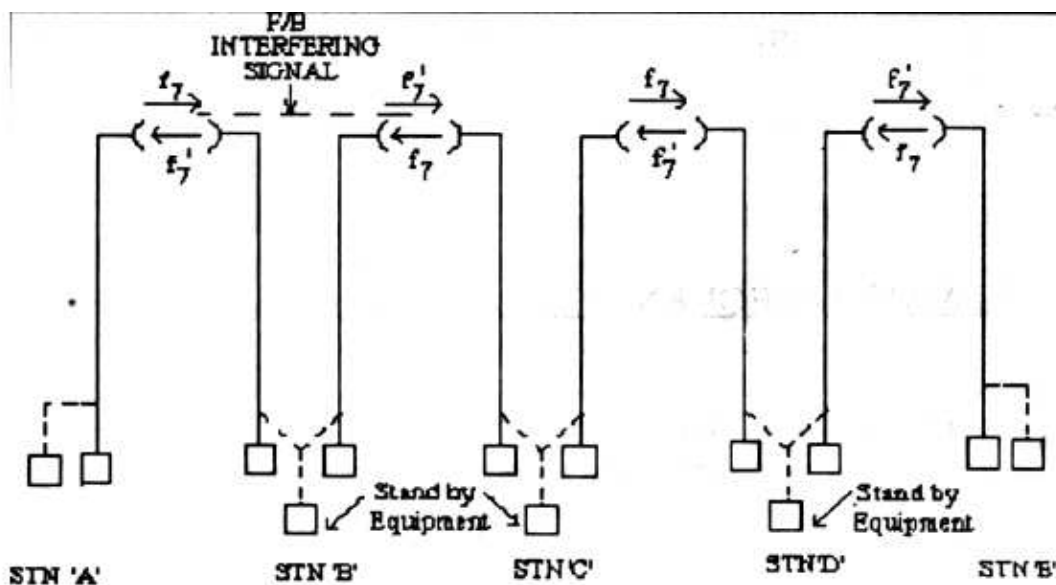
2-फ्रीक्वेंसी प्लान की विशेषताएं:

- अगर अच्छी फ्रंट-टु-बैक रेशो वाली एंटीना (हाई परफॉरमेंस एंटीना जिसका फ्रंट-टु-बैक रेशो 65dB हो) उपयोग ना की गई हो तो, फ्रंट-टु-बैक इंटरफेरेंस संभावित रूप से बढ़ सकता है. फ्रंट-टु-बैक इंटरफेरेंस का संदर्भ यह है कि स्टेशन B से स्टेशन C की ओर सिगनल ट्रांसमिशन के समय कुछ सिगनल्स विपरीत स्टेशन A की ओर भी अतिरिक्त नॉइज़ के रूप में जाते हैं.
- प्राप्त फ्रीक्वेंसियों का बेहतर उपयोग.
- 50% स्टैंड-बाय रेडियो इक्विपमेंट ही पर्याप्त है, इसका अर्थ यह है कि एक स्टैंड-बाय ट्रांस-रिसीवर का उपयोग, दो कार्यरत ट्रांस-रिसीवर्स के लिए किया जा सकता है, क्योंकि दोनों दिशाओं में ट्रांसमिट होने वाली फ्रीक्वेंसियां (उदा. B से C तथा B से A) एकसमान होती हैं. उसी प्रकार दोनों दिशाओं की रिसीव फ्रीक्वेंसियां (उदा. A से B तथा D से B) भी एकसमान होती हैं.

कार्यरत ट्रांस-रिसीवर के किन्हीं घटकों में खराबी होने की स्थिति में, **सुपरवाइजरी** इक्विपमेंट के द्वारा स्टैंड-बाय ट्रांस-रिसीवर को स्वयं ही स्विच-ओवर कर दिया जाता है, क्योंकि यह **सुपरवाइजरी** इक्विपमेंट, रेडियो इक्विपमेंट की कार्यप्रणाली की निरंतर निगरानी करता रहता है.

रेडियो इक्विपमेंट की कम लागत, सीमित फ्रीक्वेंसियों की संख्या के बेहतर उपयोग तथा महंगी किस्म की एंटीनाओं के बिना, '2- फ्रीक्वेंसी प्लान' बहुत ही किफायती होते हैं.

भारतीय रेलों पर, पहले '2-फ्रीक्वेंसी प्लान सिस्टम' बहुतायत में लगाए जाते थे, पर वर्तमान में '4-फ्रीक्वेंसी प्लान' को ज्यादा पसंद करने का चलन है.



चित्र 2 - '2-फ्रीक्वेंसी प्लान' (50% स्टैंड-बाय इक्विपमेंट)

अनुबंध

भारतीय रेलों पर उपयोग किया जाने वाला निम्नलिखित फ्रीक्वेंसी प्लान प्रस्तावित है. (RDSO's Lr.No.STT/MW/Inv. of 12-8-75).

| Frequency Combination | Normal (MHz) | | | |
|-----------------------|----------------|-----------------|--------------------|-------------------|
| | Transmit | Receive | Transmit | Receive |
| A | f_5 7156 (V) | f'_5 7315 (V) | f'_{12} 7366 (V) | f_{12} 7205 (V) |
| B | f_7 7170 (H) | f'_7 7331 (H) | f'_{14} 7380 (H) | f_{14} 7219 (H) |
| C | f_9 7184(H) | f'_9 7345 (H) | f'_{16} 7394 (H) | f_{16} 7233 (H) |
| D | f_3 7142 (V) | f'_3 7303 (V) | f'_{18} 7408 (V) | f_{18} 7247 (V) |

नोट: -

- 1) सभी फ्रीक्वेंसियां मेगा-हर्ट्ज में हैं तथा ब्रैकेट में लिखा अक्षर उसका पोलराइजेशन दर्शाता है. (जैसे वर्टिकल या हॉरिजॉन्टल).
- 2) B और D की फ्रीक्वेंसी कॉम्बिनेशन को 'मेन माइक्रोवेव रूट' के लिए उपयोग किया जाए.
- 3) फ्रीक्वेंसी कॉम्बिनेशन A का उपयोग पहली स्पर लिंक के लिए किया जाए जो कि 'मेन रूट' से निकाली गई हों.
- 4) फ्रीक्वेंसी कॉम्बिनेशन C का उपयोग दूसरी स्पर लिंक के लिए किया जाए जि कि 'मेन रूट' से निकाली गई हो.
- 5) CCIR's Recommendation No.385-1 (Refer Para 2.5) पैरा नं. 6 के संदर्भ में, जब रेडियो सिस्टम डिज़ाइन करना हो और इंटरफेरेंस अपेक्षित हो तब हाई परफॉर्मेंस एंटीना का उपयोग करना चाहिए. 6) उपरोक्त टेबल में, पोलराइजेशन H या V नमूने के तौर पर दर्शाया गया है, पर इसका निर्णय, हर स्थान के लिए, एंटीना की दिशा और दो एंटीनाओं के बीच की ऊंचाई के आधार पर किया जाना चाहिए.

जिन रेडियो इक्विपमेंट्स में फ्रीक्वेंसी डायवर्सिटी का उपयोग नहीं किया गया है उन रेडियो सिस्टमों के स्टैंड-बाय इक्विपमेंट भी उसी फ्रीक्वेंसी पर कार्य करेंगे जिसपर 'मेन-रेडियो इक्विपमेंट' कार्य करते हैं. जिन सिस्टमों में ओवर-रीच इंटरफेरेंस बहुत ज्यादा अपेक्षित हो, तब पोलराइजेशन प्लान को बदलना चाहिए. दो 'हॉप' के बीच पोलराइजेशन प्लान का बदलना निम्न प्रकार से दर्शाया गया है.

| हॉप: | AB | BC | CD | DE | EF |
|------------|----|----|----|----|----|
| पोलराइजेशन | V | V | H | H | V |

इस तरह की व्यवस्था, ओवर-रीच इंटरफेरेंस के विरुद्ध एक अतिरिक्त अंतर प्रदान करती है. जो कि एक मानक पैराबोलिक एंटीना द्वारा 25 dB के क्रॉस-पोलराइजेशन अंतर से होता है. हालांकि इस तरह के प्लान में फ्रंट-टु-बैक रेशो से सुरक्षा में कमी और आपसी चैनलों में भी सुरक्षितता नहीं है. इंटरफेरेंस को कम से कम रखने के लिए हाई-पावर एंटीना का उपयोग किया जाए.

‘के’ फैक्टर

माइक्रो-वेव बीम की मुड़ने की मात्रा और दिशा को दो तरह से परिभाषित किया जा सकता है, एक तो उसकी रिफ्रेक्टिव इंडेक्स ग्रेडिएंट dN/dh से या फिर ज्यादातर उसके इफेक्टिव अर्थ-रेडियस फैक्टर “k” से परिभाषित किया जा सकता है. इफेक्टिव अर्थ-रेडियस फैक्टर “K” एक ऐसा फैक्टर है, कि जब इस “k” फैक्टर का गुणा पृथ्वी के वास्तविक रेडियस से किया जाता है तो हमें एक संशोधित रेडियस मिलता है, जिसका उपयोग प्रोफाइल चार्ट बनाने के लिये किया जाता है ताकि माइक्रोवेव बीम को एक सीधी रेखा में बनाया जा सके. किसी रेडियो लिंक की फ्रेशनल ज़ोन्स की जांच में मदद के लिए बनाए गए प्रोफाइल चार्ट में “K” फैक्टर का उपयोग किया जाता है. वातावरण की परिस्थितियों के द्वारा उत्पन्न हुए रिफ्रेक्शन की मात्रा में बदलाव को हम “k” फैक्टर में बदलाव के रूप में दर्शाते हैं.

वायुमंडल

वायुमंडल में उत्पन्न होने वाली असाधारण गहरी निगेटिव एटमॉस्फ़ीयरिक डेंसिटी ग्रेडिएंट, आद्रता में गिरावट और ऊँचाई के साथ-साथ तापमान में बढ़ोतरी के परिणाम स्वरूप ब्लैक-आउट फेडिंग होती है. चूंकि माइक्रोवेव बीम इस ब्लैक-आउट वातावरण से गुजरता है, इसका निचला वेव-फ्रंट, हवा के अधिक घनत्व वाले हिस्से से होकर गुजर जाता है जबकि ऊपरी वेव-फ्रंट नहीं गुजर पाता, परिणाम स्वरूप, बीम थोड़ा जमीनी सतह या पानी की सतह की तरफ झुक जाता है. वैसे तो यह झुकाव बहुत कम होता है परंतु 20 मील की दूरी तक एकत्रित झुकाव, प्रोपगेटेड बीम को री-फ्रेक्ट करके ग्राउंड की ओर झुका देता है, इससे पहले कि यह बीम रिसीवर एंटीना तक पहुंचे. यह बीम या तो घनी झाड़ियों या फिर फसलों के द्वारा सोख लिया जाएगा, या फिर असमतल जमीनी सतह से टकराकर बिखर जायेगा. पर अधिकांश बार यह अंदाज़ा होता है कि यह ‘बीम’ चिकनी सतहों से या पानी की सतहों से टकराकर रिफ्लेक्ट हो जाता है. (इनमें से किसी मामले में यह बीम फिर से लंबी दूरी पर प्रकट होता है.)

पाथ-क्लीयरेंस स्थापित करने के लिए “k” फैक्टर की गणना में, एटमॉस्फ़ीयरिक डेंसिटी और रिफ्रेक्टिव इंडेक्स का बहुत महत्व होता है. वायुमंडल की डेंसिटी, उसकी रिफ्रेक्टिव गुणवत्ता के संदर्भ में, जो कि दबाव, तापमान और ह्यूमिडिटी का मिश्रित कार्य है, जिसे निम्नलिखित अंदाजन संबंध इस प्रकार है.

$$N = 77.6 / T (P + 48 \log_{10} e/T) \text{ Rec 453 CCIR.}$$

जहाँ N = एटमॉस्फ़ीयरिक रिफ्रेक्टिव इंडेक्स (N-Units)

P = प्रेसर, मिलिबार्स (Pressure, millibars)

T = तापमान, K (273 + C) 0

e = सैच्युरेशन व्हेपर प्रेसर, मिलिबार्स

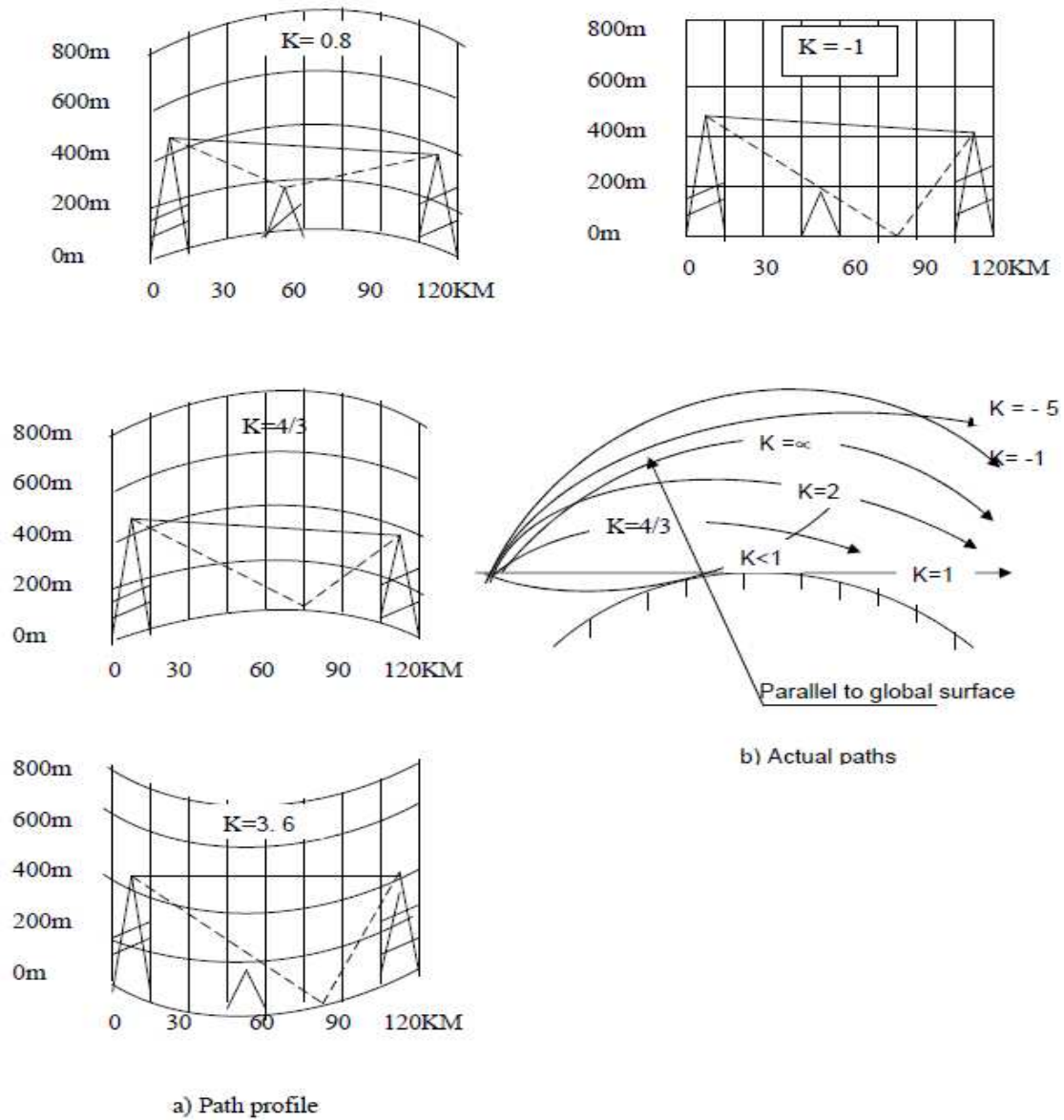
और $K = 157/(157 + dN/dh.)$

खास वातावरण परिस्थितियों में, ‘k’ की रेंज 1.2 सूखे ऊँचाई वाले क्षेत्रों में और 4/3 विशेष आंतरिक जमीनी क्षेत्रों में, से 2 या 3 के बीच, आद्रता वाले समुद्री किनारे के क्षेत्रों में होती है. इस ‘k’ के मान से ऐसा प्रतीत होता है कि पृथ्वी का आकार, ‘k’ के बढ़ते मान के साथ चपटा या सपाट होता जा रहा है. जब ‘k’ का मान अनंत हो जाता है तब माइक्रोवेव बीम का आकार, पृथ्वी के आकार के अनुरूप एकदम समतल प्रतीत होता है क्योंकि बीम का मुड़ाव भी ठीक उसी आकार में होता है जिस आकार में पृथ्वी का

अनुबंध

मुड़ाव होता है। अगर 'k' का मान 1 से कम हो जाता है तब माइक्रोवेव बीम, पृथ्वी के मुड़ाव के विपरीत दिशा में होता है और माइक्रोवेव बीम के संदर्भ में पृथ्वी "फूली" हुई दिखाई देती है। पृथ्वी के इस फूले हुए भाग का प्रभाव सीधे माइक्रोवेव बीम पर आंशिक रूप से ट्रांसमिशन पाथ में व्यवधान के रूप में और डिफ्रैक्शन के रूप में देखा जा सकता है।

| K, effective earth's radius factor | dN/dh Units/Km. | Atmospheric condition | Microwave Propagation |
|------------------------------------|-----------------|-----------------------|---------------------------------|
| 5/12 to 1 | +220 to 0 | Sub-refractive | Inverse bending (earth's bulge) |
| 1 to 1.6 | 0 to -58 | Dry-Standard | Moderate refraction |
| 1.6 to 3 | -58 to -157 | Super refractive | Flat Earth (at $k = \infty$) |
| ∞ to -0.5 | -157 to -470 | Extreme gradient | Black out and Duct Type. |



चित्र 3 - माइक्रो-वेव प्रोपगेशन और 'k' के बीच परस्पर संबंध

अनुबंध

पृथ्वी की वक्रता के गणन के लिए 'k' के विभिन्न मानों के साथ इस नियम के द्वारा किया जाता है.

$$h = d1^2 / 12.75 k.$$

यहाँ h = हॉरिज़ॉन्टल रिफ़रेंस लाइन से वर्टिकल रिफ़रेंस लाइन की दूरी में बदलाव (मीटर में).

d1 = पाथ के अंतिम छोर से किसी पॉइंट तक की दूरी (किमी में).

d2 = उपरोक्त दिये गये पॉइंट से, पाथ के दूसरे छोर तक की दूरी (किमी. में), और

k = पृथ्वी का प्रभावी रेडियस फैक्टर.

एक अच्छी तरह से इंजीनियरी की गई माइक्रोवेव पाथ में रिसीवर पर प्राप्त हुए सिगनल्स पर, 'k' के बदलते मान 1 से अनंत तक का प्रभाव, मल्टी-पाथ फेडिंग को छोड़कर (जिसे आसानी से डायवर्सिटी तकनीक के द्वारा दूर किया जा सकता है) बहुत ही न्यूनतम होता है. इस 'k' की सामान्य रेंज के बाहर अनियमित प्रोपगेशन होता है. 'k' का मान 1 से कम होने पर प्रोपगेशन व्याधित होगा और अत्याधिक मल्टीपाथ फेडिंग से असुरक्षित हो जाएगा. 'k' की निगेटिव मान के लिए प्रोपगेशन पाथ पूरी तरह से व्याधित हो जायेगा और ब्लैक-आउट फेडिंग की आशंका बढ़ जाती है.

सुपर स्टैंडर्ड रिफ़ेक्शन

सुपर स्टैंडर्ड रिफ़ेक्शन (जिन्हें सुपर रिफ़ेक्शन भी कहा जाता है), वायुमंडलीय प्रिस्थितियों में होने वाले बदलाव जैसे बढ़ती ऊँचाई के साथ तापमान में बढ़ोतरी (टेंपरेचर इनवर्जन) या बढ़ती ऊँचाई के साथ हवा में आद्रता की मात्रा में गिरावट आदि के परिणाम स्वरूप पैदा होते हैं. इन दोनों ही परिस्थितियों में, बढ़ती ऊँचाई के साथ वायुमंडलीय घनत्व में गिरावट पैदा होती है. इन परिस्थितियों के तहत, 'k' का मान बढ़ जाता है और परिणाम स्वरूप 'इफ़ेक्टिव अर्थ करवेचर' और भी समतल प्रतीत होता है.

इस असामान्य रिफ़ेक्शन के होने की एक परिस्थिति वह क्षेत्र भी होता है जहाँ गरम पानी की सतह पर थंडी हवा की परत होती है. पानी के वाष्पीकरण के कारण हवा में आद्रता बढ़ जाती है और सतह के पास वाली परत का तापमान कम हो जाता है, यह टेंपरेचर इनवर्जन का संकेत है. कम तापमान और अधिक आद्रता के कारण सतह के पास वाली परत में वायुमंडलीय घनत्व बढ़ जाता है, परिणाम स्वरूप वेव-फ्रंट में अत्याधिक मुड़ाव देखा जा सकता है. सुपर रिफ़ेक्शन की सामान्य अवस्थाओं में, 'k' का मान अनंत तक पहुँच जाता है और जो माइक्रोवेव बीम पृथ्वी के समांतर प्रोपगेट किया गया होता है वह निरंतर समांतर ही रहेगा जब तक कि व्याधित ना हो या फिर क्षीण ना हो जाए. सुपर रिफ़ेक्शन की चरमसीमा, वेव-फ्रंट को नीचे की ओर झुका देती है जिसकी वक्रता, पृथ्वी की वक्रता से बहुत ही कम होती है (निगेटिव 'k'), और परिणाम स्वरूप ब्लैक आउट फेडिंग होती है, यदि सिगनल रिसीवर उस पॉइंट से दूर हो जहाँ वेव-फ्रंट जमीनी सतह में रिफ़ेक्ट होता है (रेडियो हॉरिजोन).

सब-स्टैंडर्ड रिफ़ेक्शन

सब-स्टैंडर्ड या स्टैंडर्ड रिफ़ेक्शन से कम रिफ़ेक्शन, तब पैदा होते हैं जब किन्हीं वायुमंडलीय अवस्थाओं में, जो कि बढ़ती ऊँचाई के साथ, वायुमंडलीय घनत्व को बढ़ा देती हैं. एक अवस्था, जिसका वर्णन 'अर्थ बल्ज' या 'बेंडिंग' के विपरीत, पहले भी किया गया है, माइक्रोवेव बीम को ऊपर की तरफ वक्रता प्रदान करता है, यहाँ, $k = 1/2$. जब किसी गीली सतह या थंडी हवा की सतह के ऊपर गरम हवा की सतह बनना और 'फ़ॉग' का निर्माण एक सब स्टैंडर्ड एटमॉस्फीयरिक कंडीशन पैदा करता है. इसकी वजह से जमीन की सतह से ऊँचे क्षेत्र की अपेक्षा, जमीनी सतह के पास वायुमंडलीय घनत्व कम हो जाता है, और बीम का मुड़ाव ऊपर की तरफ हो जाता है.

एम प्रोफाइल (M Profiles)

वायुमंडलीय अनियमितताओं की चर्चा में एक और विशेषण या प्रतीक का उपयोग जुड़ जाता है, जिसे 'M' अक्षर से दर्शाते हैं और इसे मॉडिफाईड रिफ्रेक्शन इंडेक्स कहा जाता है। इसे, रेडियो रिफ्रेक्टिव इंडेक्स और 'मीन सी लेवल एलेवेशन' के द्वारा परिभाषित किया जाता है। निम्नलिखित सिद्धांत उपयुक्त है।

$$M = (n - 1) \times 106 + 15.75h \dots V.3$$

यहाँ n = रेडियो रिफ्रेक्टिव इंडेक्स.

h = समुद्र तल से ऊँचाई (प्रत्येक सौ मीटर में).

सामान्य वातावरण में (जहाँ $K = 4/3$), M का मान क्रमशः 11.8 यूनिट प्रति सौ मीटर ऊँचाई के आधार पर बढ़ता है. जब ऊँचाई और 'M' का ग्राफ बनाया जाता है उस ग्राफ को 'M' प्रोफाइल कहा जाता है. इस 'M' प्रोफाइल ग्राफ की 'स्लोप', पृथ्वी के परस्पर माइक्रोवेव बीम के मुड़ाव का कोण निर्धारित करती है. चर्चा के हेतु, यह ज्यादा आसान होगा कि हम 'M' के लिए एक सरल सिद्धांत अपनाएं. विशेषण 'N' जो कि रिफ्रेक्टिव इंडेक्स का परिवर्ती भाग है, तब एक मापदंड बन जाता है जिसका उपयोग, मॉडिफाईड इंडेक्स 'M' तथा उसकी प्रोफाइल की तुलना करने के लिए किया जाता है.

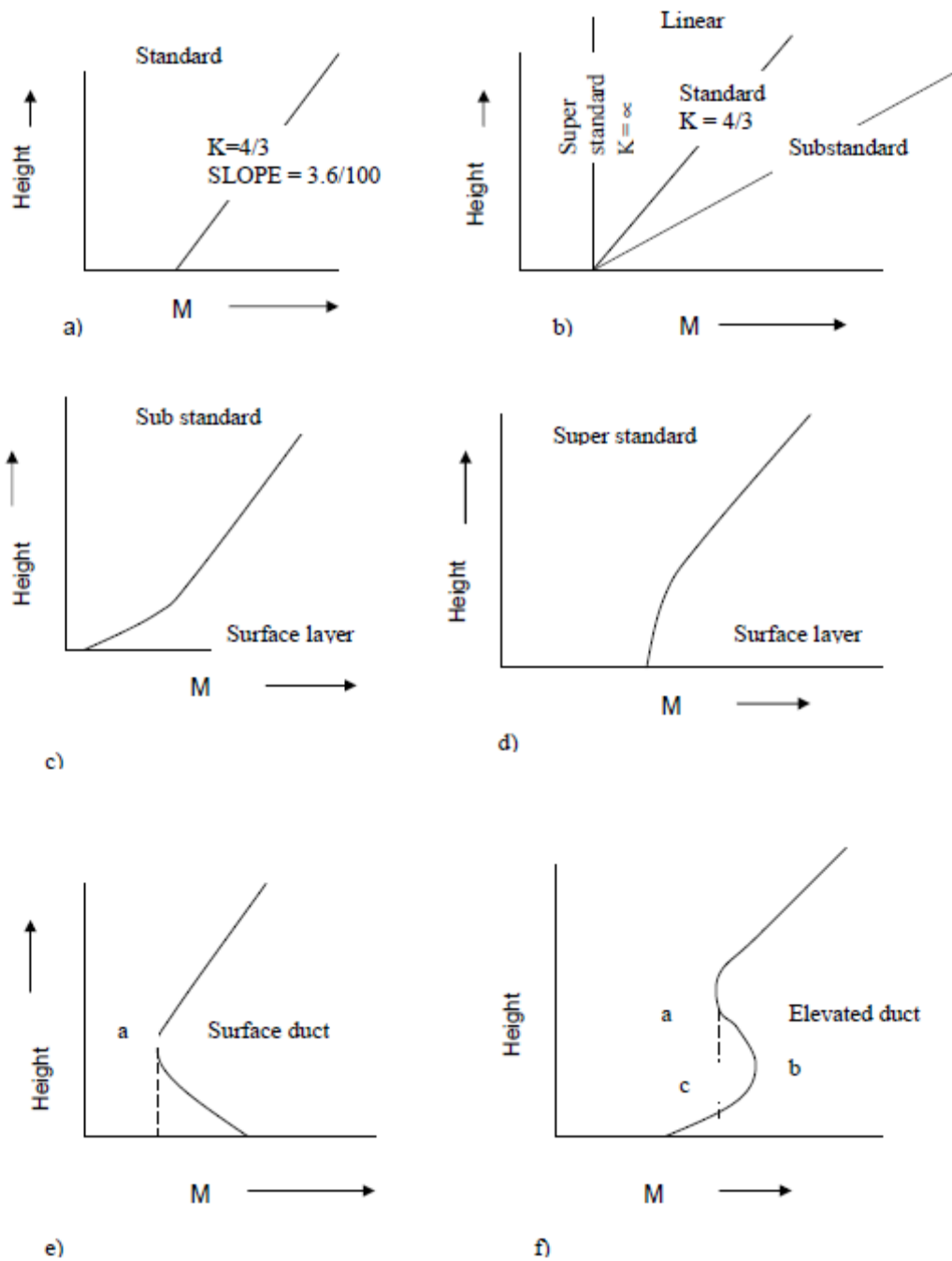
तब नया सिद्धांत इस प्रकार हो जाता है: $M = N + 15.75h \dots v.3$

'M' प्रोफाइल से संबंधित रिफ्रेक्शन का स्पष्टीकरण

चित्र - 4 यह स्पष्ट करता है कि, किन्हीं "मानक" परिस्थितियों के लिए 'M' प्रोफाइल प्रस्तुतिकरण, जहाँ, $K = 4/3$ और प्रोफाइल का स्लोप 3.6 यूनिट्स प्रति सौ मीटर पर, स्थिर रहता है.

चित्र 4, 'M' प्रोफाइल प्रस्तुतियों का एक समूह है जो किन्हीं विशेष परिस्थितियों में बनता है, उसकी चर्चा हम अगले पैराग्राफ में करेंगे.

सामान्य रूप से बढ़ती ऊँचाई की अपेक्षा यदि 'N', अधिक तेज़ी से घटता है तो 'M' कर्व का स्लोप बहुत ज्यादा खड़ी ढलान की तरह होगा, यदि 'M' का मान $4/3$ से ज्यादा हो तो माइक्रोवेव बीम का प्रोपगेशन, पृथ्वी के मुड़ाव के अनुरूप होता है और पृथ्वी की सतह के पास होता है. यदि 'M' का मान स्थिर हो जात है और ऊँचाई में बदलाव होता रहता है तब माइक्रोवेव बीम का मुड़ाव, पृथ्वी के मुड़ाव के एकरूप होता है और 'k' का मान इन्फिनिटी होता है.



चित्र 4 M प्रोफाइल्स

सुपर स्टैंडर्ड के लिए 'M' प्रोफाइल के द्वारा इस अवस्था का ग्राफ, चित्र 4 में प्रस्तुत किया गया है। इसको 'पाथ प्रोफाइल' के द्वारा एक सीधी रेखा में माइक्रोवेव बीम और सपाट पृथ्वी की सतह के रूप में प्रस्तुत किया जा सकता है। यदि परिस्थितियाँ और भी विपरीत हों तब परस्पर निगेटिव 'k' या 'कॉनकेव अर्थ' जैसे अवस्थाओं के लिए 'M' प्रोफाइल का स्लोप निगेटिव होगा। इस तरह के उदाहरण बहुत कम ही देखने को मिलते हैं, जब कोई इंटरफ़ेरेंस ओवर-रीच सिगनल, रेडियो सिस्टम द्वारा रिसीव कर लिया जाता है, बावजूद इसके कि वह बीम, सपाट-जमीन पर बनाए गये पाथ प्रोफाइल में कुछ सौ मीटर्स की दूरी पर व्याधित हुआ होता है।

जब 'M' प्रोफाइल का स्लोप सामान्य से ज्यादा होता है तब रिफ्रेक्टिव अवस्था को सुपर स्टैंडर्ड या पृथ्वी का सपाट होना माना जाता है, क्योंकि रेडियो हॉरिजोन की दूरी बढ़ जाती है। जब 'M' प्रोफाइल का स्लोप सामान्य से कम हो जाता है तब रिफ्रेक्टिव अवस्था को सब-स्टैंडर्ड या 'अर्थ बल्लिजंग' होना माना जाता है। इस अवस्था को चित्र 4(b) में दिखाया गया है।

व्यावहारिक रूप में, सामान्यतया, लीनियर प्रोफाइलें घटित नहीं होतीं बल्कि स्टैंडर्ड प्रोफाइल्स के पास ही लीनियर प्रोफाइलें तैयार होते हैं, क्योंकि मौसमी घटक सामान्यतया 'M' प्रोफाइल का आकार और स्लोप दोनों को बदल देते हैं।

असाधारण रूप से अत्याधिक सतही तापमान या बढ़ती ऊँचाई के साथ-साथ बढ़ती मात्रा में वाष्पीकरण के प्रभाव को चित्र 4(c) में दर्शाया गया है। इस तरह की सब-स्टैंडर्ड सतही अवस्था का परिणाम माइक्रोवेव बीम पर पड़ता है जिससे बीम का मुड़ाव पृथ्वी से दूर होता है जिसे इनवर्स बीम बेंडिंग या 'अर्थ-बल्लिजंग' कहा जाता है। यह प्रभाव लीनियर 'M' प्रोफाइल के समान ही होता है जिसका स्लोप सामान्य से कम होता है (अर्थ-बल्लिजंग), अलावा इसके कि यह प्रभाव पृथ्वी की सतह के पास ज्यादा केंद्रित होता है।

ऊँचाई में बढ़त के साथ-साथ तापमान में बढ़त या वाष्पीकरण में गिरावट या फिर दोनों ही अवस्थाओं में जो प्रभाव पैदा करेंगी उसे चित्र 4(d) में दर्शाया गया है। यह थोड़ी-थोड़ी सुपर-स्टैंडर्ड अवस्था होती है जो माइक्रोवेव बीम को पृथ्वी के मुड़ाव के अनुरूप, बहुत पास से मुड़ाव प्रदान करती है (अर्थ-फ्लैटरिंग)।

जब पृथ्वी की सतह के पास, रिफ्रेक्टिव इंडेक्स में अति तीव्रता से बदलाव होते हैं, उस अवस्था को चित्र 4(e) में दिखाया गया है। इस अवस्था को 'सरफेस-डक्ट' कहते हैं, क्योंकि इस अवस्था में बीम उसी सतह में रहेगा और सतह से ऊपर उठने की सीमाओं में भी रहेगा तथा सतह के पास बने 'M' प्रोफाइल के स्लोप पर निर्भर करेगा। जब बीम इस 'सरफेस-डक्ट' में छोटे कोण से प्रवेश करेगा, वह तब तक मुड़ेगा जब तक कि हॉरिजॉन्टल ना हो जाए और आखिर में पूरा बीम नीचे की ओर मुड़ जायेगा।

चित्र 4(f), उठी हुई 'डक्ट' का 'M' प्रोफाइल है, जिसकी उच्चतम सीमा का निर्माण, सुपर स्टैंडर्ड या इनवर्सन लेयर a से b की उच्चतम सीमा के द्वारा होता है और न्यूनतम सीमा का निर्माण, सब-स्टैंडर्ड सतह b से c के द्वारा होता है। इस परिस्थितियों के तहत, बीम अपनी स्थिति, 'डक्ट' सीमा a से c के बीच ही बनाए रखेगा, क्योंकि बीम की बेंडिंग 'डक्ट' के केन्द्र की तरफ होती है। जब ट्रांसमिटिंग और रिसीविंग एंटीनाएं, 'डक्ट' की सीमा में ही हों तब 'डक्ट' के अंदर रेडियो इनर्जी का जमाव होने से, रेडियो सिगनल्स की मात्रा बढ़ा देते हैं। स्पष्टतया, इस प्रभाव को संतोषप्रद प्रोपगेशन के लिए विश्वसनीय नहीं माना जा सकता, क्योंकि जिन परिस्थितियों में यह होता है वे परिस्थितियां बदलते रहती हैं। ट्रैपिंग, सुपर रिफ्रेक्शन और गाइडेड प्रोपगेशन आदि विशेषण, 'डक्ट' प्रक्रिया को वर्णित करने के लिए उपयोग किए जाते हैं।

'M' प्रोफाइल जो कि आवश्यक रूप से लीनियर होनी चाहिए, आधारभूत रूप से बहुत ही विशेष होती है क्योंकि ये पाथ-क्लीयरेंस पर प्रभाव डालती है। जबकि नॉन-लीनियर प्रोफाइल्स, पाथ-क्लीयरेंस पर प्रभाव डालने के साथ-साथ ऐसी परिस्थितियां भी बनाते हैं जो वायुमंडलीय मल्टी-पाथ प्रभाव को बढ़ा देते हैं।

चित्र 3, प्रोफाइल चार्ट के लिए 'K' के विभिन्न मान, $k = 0.8$, $k = 1.33$, $k = 3.6$ and $k = 1$ को दिखाता है। इन ग्राफ्स को देखने पर यह इंगित होता है कि स्टेशन A और स्टेशन B पर वांछित एंटीना की ऊँचाईयों के लिए, पाथ में मौजूद व्यवधान स्वाभाविक रूप से माईक्रो-वेव पाथ को व्याधित करेंगे, जब 'K' का मान कम होगा, यह अवस्था सब-रिफ्लेक्टिव जैसी प्रतीत होती है। यदि इस संदर्भ में देखें, तो यह महत्वपूर्ण हो जाता है कि पाथ-इंजीनियरी इस प्रकार से की जानी चाहिए ताकि 'K' के न्यूनतम मान जिस पर सिस्टम संतोषजनक कार्य कर सके, वह पाथ, पहली फ्रेशनल-ज़ोन का 2/3 भाग के लिए क्लीयर हो। भारतीय रेलों के लिए, Tc-10 स्पेसिफिकेशन में $k = 4/3$ निर्धारित किया गया है, न्यूनतम मान $k = 1$ के लिए संपूर्ण फ्रेशनल-ज़ोन क्लीयर होनी चाहिए, कम से कम 2/3 फ्रेशनल-ज़ोन क्लीयर होनी चाहिए। यह तब ही सार्थक होगा जब पाथ-इंजीनियरी के दौरान यह सुनिश्चित किया जाए कि 'K' की न्यूनतम मान के लिए टेरीन और प्रोफाइल चार्ट दोनों का परिक्षण व्यवधानों की दृष्टि से कर लिया गया है।

यह भी परखने योग्य होगा कि 'k' के उच्चतम मान के लिए, टेरीन ज़ोन के बीच-बीच में पड़ने वाले व्यवधानों को कम महत्व दिया जाये। प्रकरण की सत्यता के लिए, जैसे-जैसे 'k' का मान मैग्निट्यूड में बढ़ता है वैसे-वैसे पाथ के बीच-बीच के पॉइंट्स पर क्लीयरेंस की उपलब्धता ज्यादा होती है और रेडिएशन के लिए व्यवधान तथा फ्रेशनल-ज़ोन क्लीयरेंस की स्थिरता के लिए, किसी खास तरह के संज्ञान की आवश्यकता नहीं होती। 'k' के उच्चतम मान के लिए, यह संभावना बहुत अधिक होती है कि, रेडियो-पाथ के बीच-बीच के पॉइंट्स से रेडियो वेव रिफ्लेक्ट होकर एंटीना तक जरूर पहुँचेंगी। ऐसी घटना में जहाँ टेरीन के किसी रिफ्लेक्शन पॉइंट पर ज्यादा रिफ्लेक्शन होता हो जैसे, नदी, दलदल वाली जमीन, तलाव, खेती की जमीन आदि, वहाँ पर रिफ्लेक्टेड वेव ज्यादा शक्तिशाली होगी और रिसीविंग सिगनलों पर फेडिंग पैदा करेगा। 'k' के इस उच्चतम मान के लिए, सिस्टम इंजीनियर को चाहिए कि वह इस रिफ्लेक्शन पॉइंट का आकलन करे, रिफ्लेक्शन पॉइंट को उस फील्ड में ढूँढ़े तथा उस पॉइंट पर रिफ्लेक्शन 'को-एफिसिएंट' की जांच करे जो कि उस क्षेत्र में संभवतः व्याप्त हो सकता है। ऐसी घटनाओं में जहाँ, रिफ्लेक्टेड वेव ज्यादा शक्तिशाली हो सकती है, वहाँ एंटीनाओं की ऊँचाई को सुधारा जाए और सुनिश्चित किया जाए कि रिफ्लेक्टेड वेव रिसीवर एंटीना तक ना पहुँचें, चाहे 'k' के उच्चतम मान जिसपर हम पाथ-इंजीनियरी करना चाहते हैं। इस तरह की परिस्थिति को युक्तिपूर्ण, न्यायसंगत तरीके से चुनी गई एंटीना-ऊँचाई के द्वारा दूर किया जाए, ताकि ऐसी किसी घटना में जब कोई रेडियो वेव रिफ्लेक्ट हो तो उसे प्राकृतिक तरीके से सफलतापूर्वक व्याधित किया जा सके। इसलिए यह स्पष्ट होता है कि पाथ-इंजीनियरी में, यह जांच शामिल हो कि 'k' के न्यूनतम मान के लिए, किनपॉइंट्स पर व्यवधान होता है और पर्याप्त फ्रेशनल-ज़ोन क्लीयरेंस उपलब्ध है। उसी तरह, 'k' के उच्चतम मान के लिए, रिफ्लेक्शन की परिस्थितियों की जांच और उन्हें सफलतापूर्वक रोका जा सके, इसकी जांच भी शामिल करनी चाहिए।