

Lista de exercícios – Engenharia de Microondas

1- Quais são as principais aplicações de sistemas rádio micro-ondas e satélites?

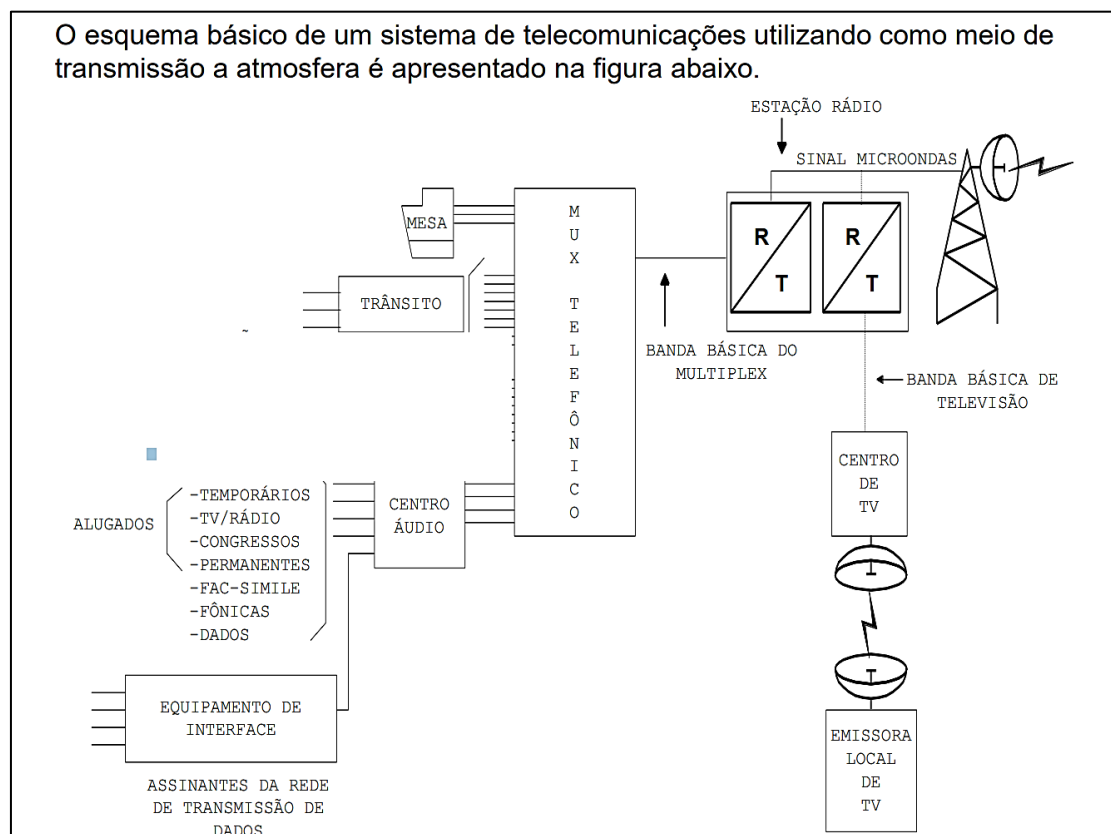
R.: Rádios de microondas e satélites, tem muitas aplicações em rotas de baixa capacidade (loais remotos: montanhas, oceano, deserto, ...), terrenos difíceis e em redes de comunicação privadas e militares onde vantagens como flexibilidade, segurança e velocidade de instalação são importantes.

2- Em qual faixa de frequência estão situados os sistemas micro-ondas?

R.: Correspondendo à faixa superior de UHF em conjunto com a de SHF. Assim, não existe uma frequência bem definida a partir da qual se considere a classificação dos sistemas de microondas. Pode-se entretanto afirmar que usualmente considera-se o início da faixa de microondas em torno de 900 MHz. Acima de 2GHz encontra-se os principais sistemas de microondas em visibilidade. Nesses sistemas o sinal irradiado por uma antena é captado por uma outra, a qual deve sempre ser visível a partir da primeira, ou seja, deve haver visada direta entre as antenas transmissora e receptora.

3- Apresente o esquema básico de um sistema de telecomunicações utilizando como meio de transmissão a atmosfera.

R.:



Na central, como pode ser observado, vários canais de voz contendo sinais telefônicos, transmissão de dados, etc..., são convenientemente agrupados por um equipamento multiplex telefônico, passando a ocupar uma faixa de frequência bem definida e formando o que se denomina de Banda Básica. O sinal de Banda Básica do multiplex telefônico é levado através de um cabo coaxial até a estação rádio, onde o sinal contendo as informações da Banda Básica passa por filtros para uma frequência intermediária **FI** e depois para a frequência final de transmissão, sendo então entregue a antena para ser transmitido. O sinal de microondas é então irradiado com destino a outra estação rádio, ou a uma estação repetidora. Na estação receptora ele é recebido e a Banda Básica de telefonia separada em canais de voz por um outro equipamento multiplex. Desse multiplex os canais de voz são encaminhados aos equipamentos convenientes, dependendo da informação que transportam.

4- Qual é o órgão responsável pela padronização das bandas de frequência de microondas e o espaçamento dos canais de Rádio nestas bandas?

R.: Organizações:

- ITU: International Telecommunications Union - The ITU Radiocommunication Sector (ITU-R is responsible for radio communication).
- CEPT: European Conference on Posts and Telecommunications.
- FCC: Federal Communication Commission \approx CEPT).

– As bandas de frequência de microondas e o espaçamento dos canais de Rádio nestas bandas, são padronizadas pelo ITU-R.

5- Explique o processo de modulação de sinal? Qual é a sua finalidade de uso?

R.: Modulação é um processo que consiste em se alterar uma característica de uma onda portadora, proporcionalmente ao sinal modulante; o processo de Modulação é o resultado da interferência de um sinal no outro que se denomina sinal modulado. Convencionalmente, o sinal de informação é dito **Sinal modulante** e o sinal de alta frequência é chamado **Onda Portadora**.

6- Quais são as principais características de uma antena? Explique o que é diagrama de radiação de uma antena.

R.: As características elétricas de uma Antena são:

Banda de Frequência

É a faixa de frequência na qual a performance da antena, em relação a algumas características, comporta-se de acordo com um padrão especificado. Pode ser considerada como a faixa de frequência, onde as características da antena (VSWR, diagrama, feixe de meia potência, polarização, nível de lóbulos laterais, ganho, direção do lóbulo principal) estão dentro de um valor aceitável, em relação àqueles da frequência central.

Coeficiente de Onda Estacionária (VSWR)

A impedância da antena deve ser a mais próxima possível da impedância do sistema de alimentação, minimizando a intermodulação e

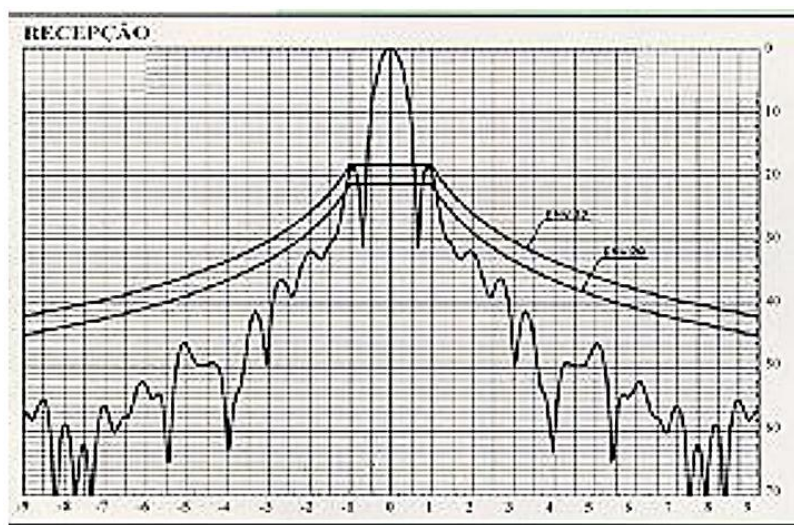
maximizando a transferência de potência. A diferença entre a impedância de uma antena e a linha de transmissão associada pode ser representada, nos terminais da antena, por um coeficiente de reflexão. Este descasamento resulta em uma onda estacionária na linha de transmissão.

Polarização da Antena

A polarização de uma antena, numa dada direção, é definida pela direção do campo elétrico. Pode ser classificada como linear, circular ou elíptica. A maioria das antenas é disponível em polarização linear, podendo ser usadas na polarização linear horizontal ou vertical mediante ajuste na posição do alimentador. Observe que a mesma antena pode transmitir e receber ambas as polarizações (horizontal e vertical) utilizando um duplexador antes do alimentador.

Diagrama de Radiação de uma Antena

O diagrama de irradiação de uma antena é a representação gráfica de suas propriedades de irradiação em função de coordenadas no espaço. Embora a melhor forma de representá-lo seja a distribuição espacial em três dimensões, na maioria das aplicações é suficiente o registro dos diagramas bidimensionais, em dois planos e duas polarizações.



7- O que é antena isotrópica?

R.: Antena isotrópica ou radiador isotrópico é uma entidade hipotética que assume a forma de uma fonte pontual de energia, irradiando ondas eletromagnéticas da mesma intensidade em todas as direções do espaço. Trata-se realmente de entidade hipotética uma vez que prática não é possível obter um dispositivo capaz de irradiar energia de forma absolutamente uniforme em todas as direções. Mas é usado para comparar antenas reais entre si.

8- Explique o que é refração, difração e reflexão?

R.: **Refração:** é a mudança na direção de uma onda ao atravessar a fronteira entre dois meios com diferentes índices de refração. A refração modifica a velocidade de propagação e o comprimento de onda.

Difração: é um fenômeno que acontece quando uma onda encontra um obstáculo. Em física clássica, o fenômeno da difração é descrito como uma aparente flexão das ondas em volta de pequenos obstáculos e também como o espalhamento, ou alargamento, das ondas após atravessar orifícios ou fendas.

Reflexão: consiste na mudança da direção de propagação da energia (desde que o ângulo de incidência não seja 0°).

9- O que é propagação em espaço livre?

R.: Define-se propagação em espaço livre como aquela realizada no vácuo ou numa atmosfera homogênea e isotrópica, na ausência de qualquer corpo capaz de alterar a recepção. A onda irradiada pela antena se propaga através do espaço transportando a energia necessária ao estabelecimento da ligação rádio. As condições de propagação dessa onda dependem apenas do meio de transmissão. Os principais desvios se devem às variações das características da atmosfera e à presença de possíveis obstáculos físicos no percurso de propagação das ondas eletromagnéticas tais como montanhas, árvores, prédios e o próprio solo.

10- O que é atenuação em espaço livre?

R.: A potência que chega à antena receptora corresponde apenas a uma parcela daquela irradiada pela antena transmissora, sendo a restante dispersa pelo espaço. Essa atenuação da energia recebida, devido exclusivamente à dispersão da potência, é chamada de atenuação em espaço livre.

11- A partir da faixa de VHF não é mais possível o uso da refração ionosférica qual o mecanismo de propagação utilizado?

R.: A partir da faixa de VHF Very High Frequency (Frequência Muito Alta) não é mais possível o uso da refração ionosférica como mecanismo de propagação, dado que nesta faixa as ondas refratadas não chegam a atingir o ângulo de refração suficiente para retornarem à superfície terrestre, denominado ângulo “zero”.

Acima de VHF, entretanto, já são usadas antenas que concentram a energia em feixes mais estreitos (antenas mais diretivas), estabelecendo as ligações através da onda espacial direta entre as antenas transmissora e receptora, formando **sistemas em visada direta**. Nas faixas de VHF e UHF Ultra-high Frequency (Frequência Ultra Alta) são também estabelecidas as **ligações por difração**. O efeito da difração nas ondas de rádio é mais sensível nas frequências mais baixas (maior comprimento de onda).

12- O que deve ser feito ao se trabalhar com frequências acima de 2GHz para minimizar os efeitos da difração? Por quê?

R.: Conclui-se portanto que a presença de obstáculos próximos a linha de visada entre as antenas, como morros, árvores ou prédios, acarreta uma diminuição da energia recebida, sendo que parte da onda é bloqueada e parte contorna o obstáculo. Ainda quanto maior a frequência, mais pronunciado é o envolvimento do obstáculo. Devido a esta característica são aceitas perdas por difração até a faixa de 2GHz.

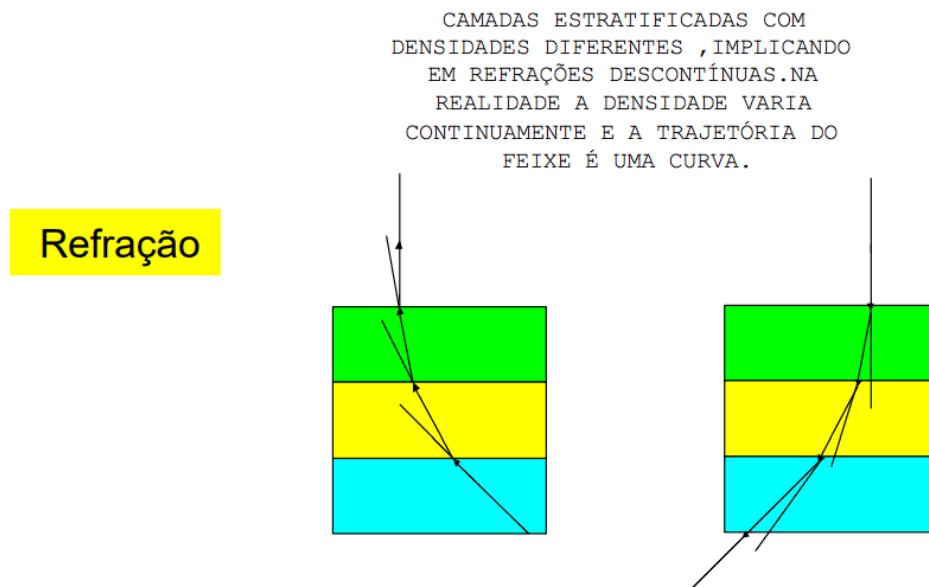
Para frequências acima de 2GHz deve-se procurar trabalhar sempre sem obstruções, seja posicionando as estações em locais mais elevados ou aumentando a altura das torres e antenas.

13- Quais são os fatores que influenciam no índice de refração do ar com altura?

R.: As antenas utilizadas em microondas não irradiam ou captam uniformemente energia da frente de onda. Estas antenas apresentam a propriedade de concentrar a energia irradiada em torno da linha de visada, de modo a aumentar a densidade de potência nessa região, resultando numa maior potência recebida em relação àquela que seria captada numa ligação empregando antenas isotrópicas. Quando a onda se propaga através da atmosfera real e se considera a influência do terreno, ocorrem os mesmos fenômenos verificados na ótica com a luz, que é também uma onda eletromagnética. Assim, observa-se a ocorrência de refrações, reflexões e absorções das ondas de rádio

14- Quais são as principais consequências do encurvamento do feixe?

R.: A Refração Atmosférica: Na propagação através da atmosfera real observa-se uma curvatura do feixe de microondas no plano vertical devido à sucessivas refrações que o mesmo sofre. Essas refrações se traduzem por uma tendência ao encurvamento do feixe quando o mesmo atravessa camadas atmosféricas de densidades diferentes.



A refração atmosférica observada na propagação das ondas de rádio é devida às variações do índice de refração do ar com a altura, e consequentemente, varia continuamente devido às alterações nas condições de temperatura, pressão e umidade, fatores estes que influenciam no índice de refração. Sob condições normais, o índice de refração da atmosfera decresce com a altura, causando o encurvamento para baixo das ondas de rádio, de modo que estas podem ser recebidas em pontos além da linha ótica de visada.

Como resultado do encurvamento do feixe temos como principais consequências:

- Obstrução parcial das ondas por obstáculos (morros, por exemplo);
- Desvio da energia irradiada da antena receptora;

- Anomalias de propagação, citando-se os casos de percursos múltiplos e formação de dutos;
- Modificação nas condições de reflexão da onda.

15- Quais são os efeitos do terreno na propagação?

R.: Sob condições usuais da atmosfera o terreno tem dois efeitos principais na propagação em microondas:

- 1- Árvores, prédios, morros ou a própria superfície da terra podem bloquear parcial ou totalmente o feixe de microondas, causando uma atenuação por obstrução;
- 2- Uma região com terreno razoavelmente regular ou mares e lagos pode provocar a reflexão de um segundo sinal para a antena receptora. O sinal refletido pode chegar a esta antena em oposição de fase no sinal direto, resultando em cancelamento total do campo recebido, ou então pode chegar defasado do sinal direto, resultando em interferência.

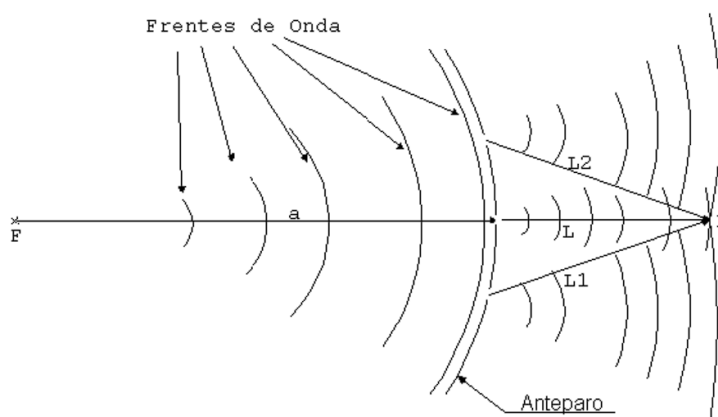
16- Em que são baseados critérios práticos que permitem definir as alturas das torres?

R.: Pelo estudo desenvolvido com a antena transmissora e pela antena receptora pode-se concluir que a potência recebida pela antena será função da geometria do terreno no enlace em questão. Nas ligações reais, onde as torres estão limitadas em altura, por motivos práticos e econômicos, deve-se então aplicar critérios de desobstrução que permitam garantir a recepção de um sinal suficientemente forte com torres em alturas adequadas.

Os critérios práticos que permitem definir as alturas das torres são baseados numa análise da variação da energia recebida com o grau de obstrução existente. Convém ainda lembrar que a análise da desobstrução deve ser realizada levando-se em conta o fenômeno da refração, o que é feito através da utilização do conceito de terra equivalente considerada para o valor ou faixa de variação prevista do parâmetro K (O valor de $K=4/3$, decorre de uma certa taxa de decréscimo do índice de refração da atmosfera com a altitude, e define-se o que se chama de “atmosfera padrão”. Este valor de $K=4/3$ é conhecido como valor $M_{\text{édio}}$ da terra, sendo adotado em todo o mundo como um valor padrão de referência).

17- O que é Elipsoide de Fresnel?

R.:

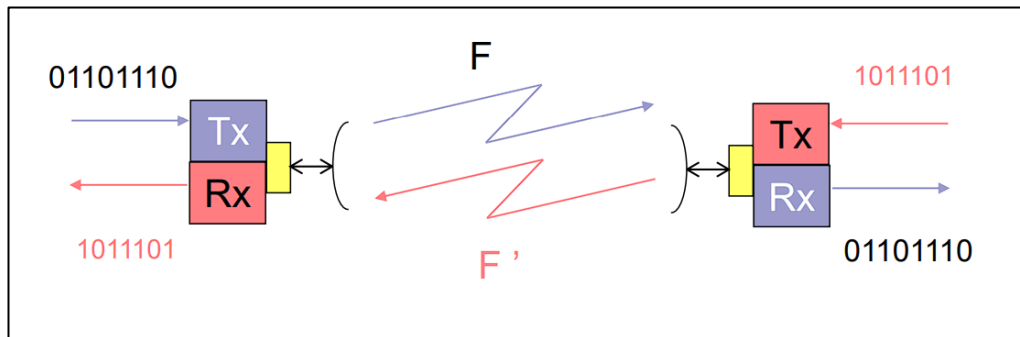


Composição de três irradiadores elementares

Considere-se uma fonte ideal F , gerando ondas numa certa frequência f , a uma certa distância “a” da fonte coloca-se um anteparo, construído de tal modo que a frente de onda se “encaixe” perfeitamente no mesmo. Suponhamos que nesse anteparo existam 3 pequenos orifícios. Cada um desses orifícios pode ser considerado como sendo um novo irradiador, de modo que um campo resultante no ponto P será a composição dos efeitos correspondentes aos 3 irradiadores elementares. A contribuição de cada um dos irradiadores elementares para o campo resultante em P irá variar de acordo com a distância do irradiador a esse ponto. Esta distância influi tanto na intensidade de cada componente como na sua fase.

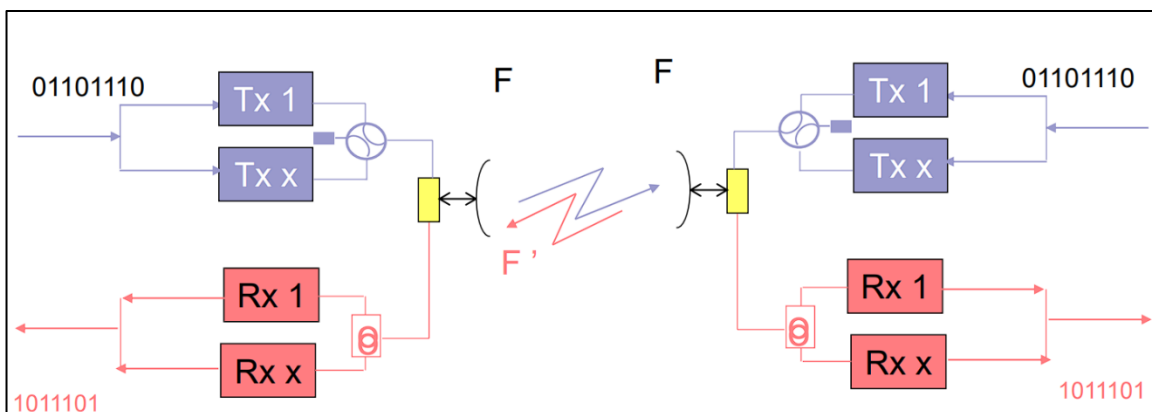
18- Quais são os tipos de configuração de hardware para enlaces microondas. Explique.

R.: 1+0



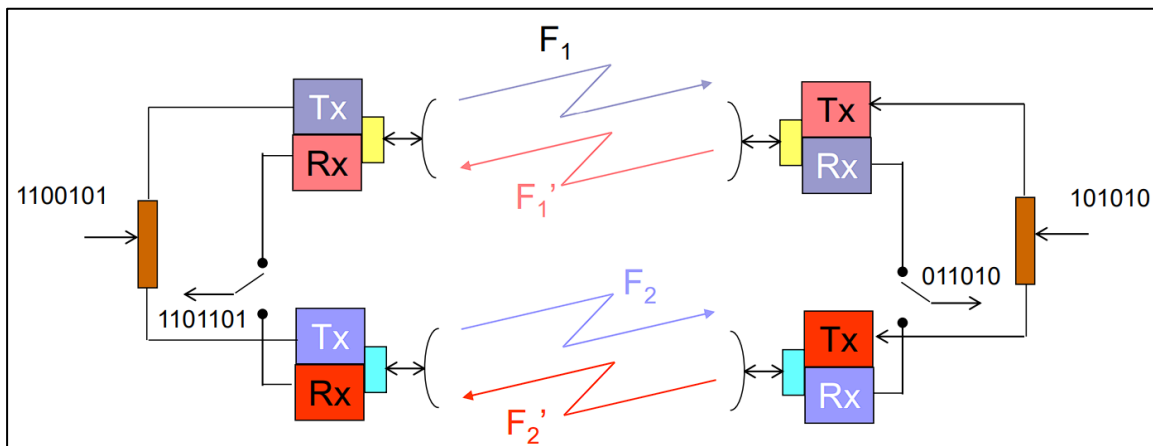
Configuração mais comum utiliza apenas um transmissor e receptor em cada ponta, o sinal enviado por um lado é recepcionado pelo outro. Não havendo um sistema para prevenir erros ou paralelamente verificar o sinal recepcionado e transmitido, não conta com antena auxiliar para se utilizar do conceito de diversidade quanto o sinal propagado.

1+1 HSB (Hot Stand by)



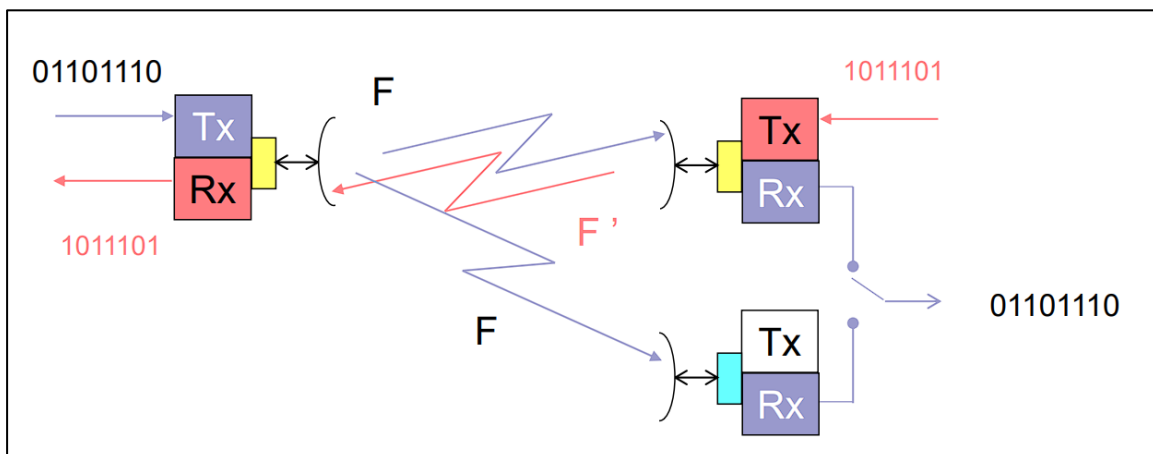
Na configuração HSB, o equipamento reserva transmite no mesmo tempo que o equipamento ativo. Essa configuração é necessária para proteger o equipamento de transmissão. Um circuito lógico gerencia a detecção de falhas. Esse tipo de comutação é chamada com erro. Na recepção, os dois receptores recebem o mesmo sinal e o processam em paralelo. O circuito lógico usa o sinal digital na comutação. Esse tipo de comutação é sem erro (Opera com chaveamento). A informação está contida em ambos os receptores e transmissores.

Configuração com Diversidade de Frequência



A diversidade de frequência fornece a propagação do sinal. O sistema é caro em termos de banda de frequência e equipamento. O sinal próximo da rede terrestre é escolhido da mesma forma que a configuração HSB (Há mais de uma antena por torre). O mesmo sinal é propagado em diferentes frequências podendo contar com o mesmo sinal no destino proveniente de antenas operando em frequências diferentes, havendo garantias ou segurança do sinal recepcionado.

Configuração com Diversidade de Espaço



A diversidade de espaço protege contra desvanecimentos na propagação. O diagrama mostra a diversidade de espaço em uma direção de transmissão, mas pode ser simétrica. O receptor do topo é chamado receptor principal, e o outro é o receptor de diversidade. Se o transmissor de diversidade estiver instalado, deve ser desligado. Garante que o sinal do Transmissor seja reconhecido pelo Receptor ao usar o receptor principal e o receptor de diversidade para identificar o sinal transmitido em configurações específicas.

19- Quais são duas principais ações utilizadas para desobstrução do sinal irradiado?

R.: Normas para desobstrução

F < 3 GHz:

1 - 60% do primeiro elipsóide de Fresnel deve ser desobstruído por:
 $k_{max} = 4/3$ (sem atenuação para 50% do tempo).

2 - Obstáculo de ponta de faca: 0% dos raios do primeiro elipsóide devem ser desobstruído (atenuação = 6 dB para 0.1% do tempo);
 Um número de obstáculos de ponta de faca ou obstáculo esférico: 30% dos raios do primeiro elipsóide devem ser desobstruídos (atenuação = 6 dB para

0.1% do tempo).

F > 3 GHz:

1 - 100% do primeiro elipsóide de Fresnel deve ser desobstruído por:

$k_{max} = 4/3$ (sem atenuação para 50% do tempo).

2 - Obstáculos de ponta de faca: 0% dos raios do primeiro elipsóide devem ser desobstruídos (atenuação = 6 dB para 0.1% do tempo);

Um número de obstáculos de ponta de faca ou um obstáculo esférico : 30% dos raios do primeiro elipsóide devem ser desobstruídos (atenuação = 6 dB para 0.1% do tempo).

20- Qual é a diferença entre estação repetidora e estação regeneradora?

R.: Repetidora

Estação intermediária que propaga o sinal advindo de uma dada distância ou localização proveniente de uma estação transmissora a outra estação receptora localizada em outro ponto. Ela possibilita replicar o sinal a outra estação, devido as distâncias, ou características do relevo do terreno ou devido circunstâncias para que o sinal seja preservado. Nesta estação está presente mais antenas juntamente com outros equipamentos responsáveis por receber e transmitir o mesmo sinal a ser propagado ao seu destino.

Regeneradora

Estação intermediária ou estação receptora que reconstitui as características do sinal advindo de uma estação transmissora para ser reenviado ou recebido. O sinal é reconstituído a partir da coleta de dados do sinal recebido pela própria estação. Possui um bloco Regenerador para reconstituir ou regenerar o sinal proveniente de outra estação transmissora.