

Introdução às Telecomunicações

Prof. Wilson Carvalho de Araújo

Ministério das Comunicações

O Ministério das Comunicações é um órgão do poder Executivo brasileiro encarregado das políticas de radiodifusão, serviços postais e telecomunicações. O patrono do Ministério das Comunicações é o Marechal Rondon que chefiou a construção das linhas telegráficas nas regiões Centro-Oeste e Norte. Foi criado pelo decreto-lei nº 236/1967 de 28 de fevereiro de 1967 do presidente Castello Branco.

Acesso pela Internet: www.mc.gov.br

Agência reguladora

Agência reguladora é uma pessoa jurídica de Direito público interno, geralmente constituída sob a forma de autarquia especial ou outro ente da administração indireta, cuja finalidade é regular e/ou fiscalizar a atividade de determinado setor da economia de um país, a exemplo dos setores de energia elétrica, telecomunicações, produção e comercialização de petróleo, recursos hídricos, mercado audiovisual, planos e seguros de saúde suplementar, mercado de fármacos e vigilância sanitária, aviação civil, transportes terrestres ou aquaviários etc.

Cumprir tarefa de grande relevância, pois sua função é essencialmente técnica e sua estrutura é constituída de tal forma a se evitar ingerências políticas na sua direção.

Suas atribuições principais são:

- levantamento de dados, análise e realização de estudos sobre o mercado objeto da regulação.
- elaboração de normas disciplinadoras do setor regulado e execução da política setorial determinada pelo Poder Executivo, de acordo com os condicionamentos legislativos (frutos da construção normativa no seio do Poder Legislativo).
- fiscalização do cumprimento, pelos agentes do mercado, das normas reguladoras.
- defesa dos direitos do consumidor.
- incentivo à concorrência, minimizando os efeitos dos monopólios naturais, objetivando à eliminação de barreiras de entrada e o desenvolvimento de mecanismos de suporte à concorrência.
- gestão de contratos de concessão e termos de autorização e permissão de serviços públicos delegados, principalmente fiscalizando o cumprimento dos deveres inerentes à outorga, à aplicação da política tarifária etc.
- arbitragem entre os agentes do mercado, sempre que prevista na lei de instituição.

Na esfera federal brasileira, são exemplos de agências reguladoras a ANATEL, ANEEL, ANCINE, ANAC, ANTAQ, ANTT, ANP, ANVISA, ANS e ANA.

No Brasil, a agência de telecomunicações é a **Anatel** (Agência Nacional de Telecomunicações) e além das agências reguladoras federais, existem agências reguladoras estaduais, em nosso caso, a **Anatel-SP**. Acesso pela Internet: www.anatel.gov.br

Bel e decibel

O bel (símbolo **B**), representa a proporção entre dois sinais de mesma grandeza. Foi criado por engenheiros da *Bell Labs* para quantificar a redução do nível acústico sobre um cabo telefônico padrão. Com 1 milha de comprimento.

Originalmente era chamado de **Unidade de Transmissão** ou **TU** (*Transmission Unit*), mas foi renomeado entre 1923 e 1924 em homenagem a Alexander Graham Bell.

Aplicada à prática, a unidade bel mostrou-se muito grande e foi dividida por dez, dando origem ao **décimo de bel**, ou **decibel**, símbolo **dB**. Note que o “B” é sempre representado em maiúsculo por tratar-se de uma abreviatura e não uma abreviação, enquanto o “d” é em minúsculo (abreviação).

Quadripolo

Quando uma informação é enviada de um ponto a outro, os sinais elétricos passam através de diversos elementos que compõem o sistema de transmissão. Pode-se considerar um sistema de transmissão como sendo um **quadripolo** para simplificar o seu estudo.

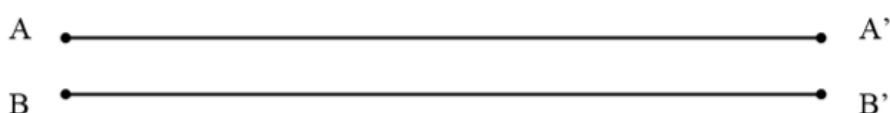
Um **quadripolo** é uma “caixa preta” (pois, a princípio não nos interessa o que há dentro) com dois terminais de entrada e dois terminais de saída.



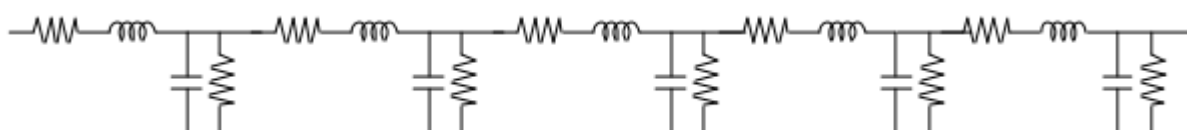
Para melhor explicar a natureza do quadripolo mostrado vamos definir, como exemplo, dois tipos de parâmetros das linhas físicas de comunicação:

- Parâmetros primários;
- Parâmetros secundários.

A figura a seguir é uma linha de transmissão física.



Tomando esta linha, podemos verificar que ela é composta de elementos, tais como: resistência, indutância, capacitância e condutância por unidade de comprimento. A figura a seguir ilustra o modelo elétrico equivalente de uma linha de transmissão.



São então considerados:

R: resistência por unidade de comprimento $\rightarrow \Omega/m$

L: indutância por unidade de comprimento $\rightarrow H/m$

C: capacidade por unidade de comprimento $\rightarrow F/m$

G: condutância por unidade de comprimento $\rightarrow S/m$

Estes elementos fazem parte da composição de uma linha de transmissão, e são denominadas de **Parâmetros Primários** das linhas.

Os **Parâmetros Secundários** da linha de transmissão são denominados de **Impedância Característica** e **Fator de Propagação**. No estudo das unidades de medidas para sistemas de transmissão esses dois parâmetros ocupam um papel de destaque.

A **Impedância Característica** é aquela vista em qualquer ponto da linha e é dada pela expressão matemática:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R + j\omega C}{G + j\omega L}}$$

O **Fator de Propagação** é dado pela seguinte expressão:

$$Y = \sqrt{(R + j\omega L).(G + j\omega C)} = a + jb$$

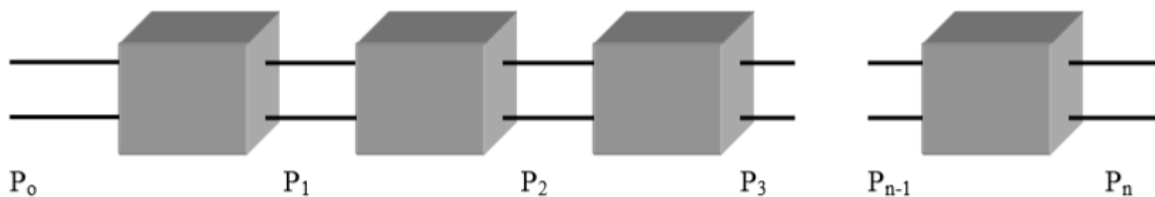
- O valor de “a” é dado em *Neper por Km* e representa à atenuação do circuito. Um Neper equivale a 8,686 dB, sendo denominado de constante de atenuação.
- O valor “b” é denominado de constante de fase e seu valor é dado em radianos por segundo.

Logo, considerando-se que na entrada do quadripolo tem-se uma potência P_{in} e na saída tem-se uma potência P_{out} , chamamos de relação linear de potência do quadripolo a relação direta entre a potência de saída e a potência de entrada.

$$\text{Relação de Potência} = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

$$RP = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

Com **N** quadripolos ligados em série, teremos:



Neste caso, a relação de potência total do circuito será:

$$RP_{total} = \frac{P_n}{P_0} = \frac{P_1}{P_0} \times \frac{P_2}{P_1} \times \frac{P_3}{P_2} \times \dots \times \frac{P_n}{P_{n-1}}$$

Portanto, para N quadripolos em série, a relação de potência total é igual ao produto das relações de potências individuais dos N quadripolos.

Ganho e Atenuação

Em muitos circuitos envolvendo sistemas de telecomunicações, nós podemos encontrar sistemas que elevam a intensidade dos sinais (**ganho**) e os que reduzem a intensidade dos sinais (**atenuação**). Tanto o ganho como a atenuação são números adimensionais, pois os dois níveis são expressos na mesma unidade.

Nos sistemas podemos ter basicamente três situações no que diz respeito à relação de potências.

- Potência de saída maior que a potência de entrada ($P_{out} > P_{in}$). Nesta situação o sinal sofreu uma elevação (ganho) e, portanto, o sistema ou circuitos envolvidos no processo recebe o nome de **amplificador**.
- Potência de saída menor que potência de entrada ($P_{out} < P_{in}$). Nesta situação o sinal sofreu uma redução (atenuação) e, portanto, o sistema ou circuito envolvido no processo recebe o nome de **atenuador**.
- Potência de saída igual a potência de entrada ($P_{out} = P_{in}$). Nesta situação não temos um amplificador e nem mesmo um atenuador e, portanto, o sistema ou circuito envolvido no processo recebe o nome de **isolador** ou **buffer**.

Se os resultados da relação linear de potências abranger uma faixa muito extensa de valores decimais, fica inviável a construção de medidores para esta faixa de variação. Contudo, se usarmos a escala logarítmica consegue-se comprimir a escala.

O **dB** é uma unidade logarítmica muito usada em telecomunicações porque:

- O ouvido humano tem resposta logarítmica (sensação auditiva versus potência acústica);
- Em telecomunicações, se usam números extremamente grandes ou pequenos. O uso de logaritmos torna estes números pequenos e fáceis de manipular, e transforma produtos em somas e divisões em subtrações.

A relação logarítmica entre as potências de um sinal (entrada e saída) em um circuito em bel é dada por:

$$\text{amplificação} = \log \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (\text{B})$$

Para o cálculo em decibel, temos:

$$\text{amplificação} = 10 \log \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \quad (\text{dB})$$

Onde valores positivos de amplificação representam **ganho** e valores negativos de amplificação representam **atenuação**.

Aplicações do decibel:

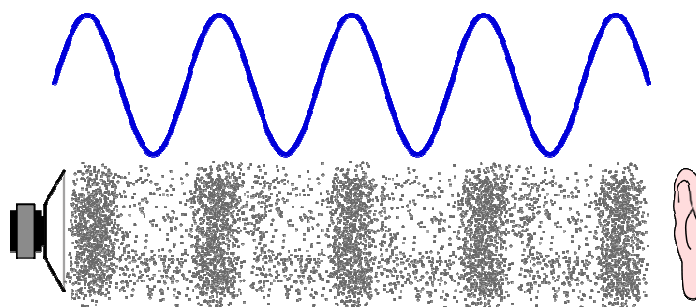
O uso de uma escala logarítmica nos permite simplificar operações que envolvam multiplicação e divisão, por exemplo. Isto, graças às propriedades matemáticas dos logaritmos:

- $\text{Log} (X \cdot Y) = \text{Log} (X) + \text{Log} (Y)$
- $\text{Log} (X / Y) = \text{Log} (X) - \text{Log} (Y)$

A multiplicação é reduzida a uma simples adição e a divisão a uma simples subtração.

Intensidade sonora

A intensidade do som é a quantidade de energia contida no movimento vibratório da onda sonora.



Essa intensidade se traduz numa maior ou menor amplitude na vibração ou na onda sonora e pode ser quantificada através de dois parâmetros:

- A **energia contida** no movimento vibratório (W/cm^2);
- A **pressão do ar** causada pela onda sonora ($\text{BAR} = 1 \text{ dina}/\text{cm}^2$)

Como valor de referência, fixou-se a menor intensidade sonora audível. Esse valor, obtido por média de amostragem da população foi de:

- Para energia: $10^{-16} \text{ W}/\text{cm}^2$
- Para pressão: $2 \times 10^{-4} \text{ BAR}$

Da mesma forma, foi fixado o valor de $2 \times 10^{-4} \text{ W}/\text{cm}^2$ como o limiar da dor (*threshold of pain*) da audição humana.

- **Nota:** esses valores, de limiar de audição e limiar da dor, são obtidos a 1KHz e variam com a frequência, pois o ouvido humano tem sensibilidade diferente para diferentes frequências.

Nota-se que nosso ouvido tem a capacidade de perceber sons cuja diferença de intensidade é de dois trilhões de vezes (2.000.000.000.000) em uma escala linear.

O limiar de audição é considerado como 0dB (zero decibel). Com isso, podemos refazer o mesmo cálculo na escala logarítmica:

$$\text{proporção (dB)} = 10 \log \frac{2 \times 10^{-4}}{10^{-16}} \text{ (dB)} = 123 \text{ dB}$$

Assim, podemos dizer que o limiar da dor para audição é de 123dB (subentendida referência ao limiar de audição de 0dB).

Outro exemplo que podemos citar é que foi estabelecido, através de medições, que a faixa dinâmica (proporção entre as passagens mais fortes e as mais fracas) de uma orquestra sinfônica é de aproximadamente 110dB. Em uma escala linear isto representa uma proporção de 100.000.000.000.

Exercícios:

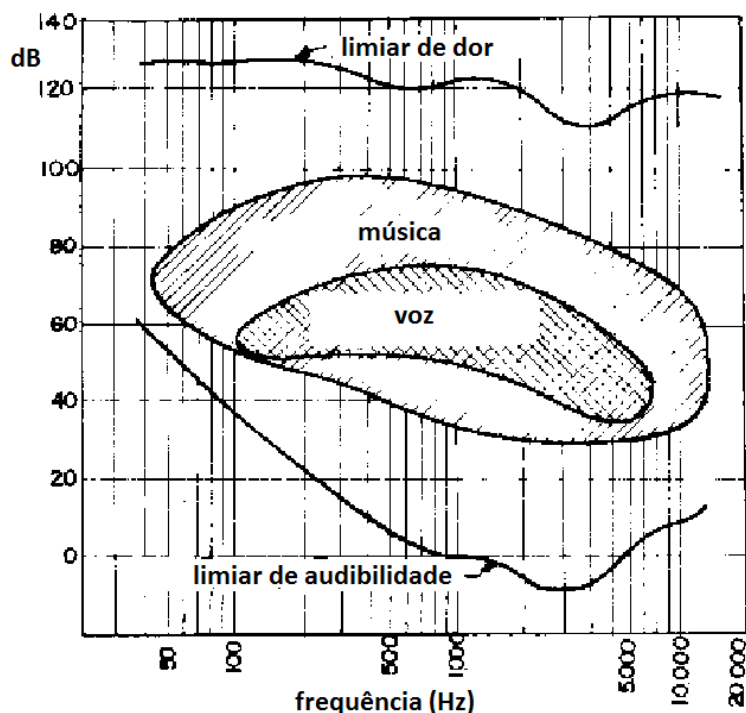
1. Um circuito amplificador libera uma potência de 1W na saída quando são aplicados 10mW na entrada. Qual o ganho em dB deste amplificador ?
2. Uma linha de transmissão recebe 500mW e libera 5mW no extremo oposto. Calcule a perda (atenuação) da linha em dB.
3. Um amplificador de potência recebe 500mW em sua entrada e entrega 50W a uma linha de transmissão que leva o sinal até uma antena. Qual o ganho do amplificador, em dB? Supondo que a linha de transmissão atenua o sinal em 6dB, qual será a potência do sinal elétrico entregue à antena?
4. Qual a potência de entrada de um circuito amplificador, para que entregue 10mW em sua saída, sabendo que o mesmo tem um ganho de 10dB?
5. Qual a potência de entrada de um circuito amplificador, para que entregue 20mW em sua saída, sabendo que o mesmo tem um ganho de 13dB?

Devemos observar que é comum associarmos quadripolos representando amplificadores, linhas de transmissão, filtros, etc. Nestas condições costuma-se representar a atenuação com sinal negativo e o ganho com sinal positivo.

Intensidade sonora

A intensidade sonora medida em decibels é definida como **Nível de Intensidade Sonora (NIS)** ou **Sound Intensity Level (SIL)**, em inglês.

A figura seguinte ilustra a sensibilidade do ouvido humano e limiares em função da frequência, numa escala logarítmica (decibels).



Porém, devemos lembrar que:

- A unidade de medida de intensidade sonora é W/cm^2 .
- O decibel **não é uma unidade de medida**, mas apenas uma escala.

Sinais elétricos

Quando da análise de sinais elétrico ou **OEM** (onda eletromagnética), é comum o uso da figura de quadripolos como auxílio. Nestes casos, é comum também a adoção de níveis de referência, o que permite a representação de unidades logarítmicas baseadas no decibel.

dBm

O **dBm** é utilizado para indicar nível de potência de sinal elétrico em relação a 1mW (0,775V em 600Ω). Teremos então:

$$10.\log \frac{P}{1\text{mW}}$$

Uma vez que é subentendida a referência a 1mW, podemos escrever:

$$10.\log P$$

*** Deve-se prestar muita atenção à unidade que se está trabalhando, pois é muito comum confundirem dB com dBm. Para não cometer este erro basta lembrar que o dBm representa um determinado valor de potência, enquanto que o dB representa o ganho (ou atenuação) ou seja, a relação entre as potências.

Exercícios:

1. Converta 300mW em dBm.
2. Converta 20mW em dBm.
3. Converta -9dBm em mW.
4. Calcule a soma de potências: 20dBm + 20dBm.
5. Calcule a potência de saída: 20dBm + 20dB

dBw

Da mesma forma, tendo como referência 1W (um watt), podemos fazer o mesmo cálculo, porém o resultado agora será em dBw.

dBv

Podemos também fazer um cálculo semelhante tendo **tensão** como referência. Porém, neste caso, precisamos lembrar a relação entre potência e tensão:

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (1)$$

Retornando à equação que define o decibel,

$$10 \cdot \log \frac{P}{P_0} \quad (\text{dB}) \quad (2)$$

Substituindo (1) em (2), obtemos (3):

$$10 \cdot \log \frac{\frac{V^2}{R}}{\frac{V_0^2}{R_0}} \quad (\text{dB}) \quad (3)$$

Considerando as impedâncias (R) como iguais para os circuitos de entrada e saída, matematicamente elas se cancelam, resultando em:

$$10 \cdot \log \frac{\frac{V^2}{R}}{\frac{V_o^2}{R_o}} \text{ (dB)} = 10 \cdot \log \frac{V^2}{V_o^2} \text{ (dB)} = 10 \cdot \log \left(\frac{V}{V_o} \right)^2 \text{ (dB)} = 20 \cdot \log \frac{V}{V_o} \text{ (dB)}$$

Assim, sempre que nos referenciarmos à relação entre tensões em dB, teremos: $20 \cdot \log \frac{V}{V_o} \text{ (dB)}$

O dBv considera como referência 1V (um volt), portanto $0\text{dBV} = 1\text{V}$.

Exercícios:

1. Em um circuito atenuador, no qual as impedâncias de entrada e saída são iguais, temos um nível de 1V na sua entrada enquanto que na saída temos 100mV. Qual a atenuação em dB ?
2. Em um circuito amplificador temos um sinal de entrada de 500mV sobre uma impedância de 10 KΩ. Em sua saída obtém-se 8V sobre uma impedância de 4Ω. Qual é o ganho linear (G) e em dB deste amplificador ?
3. Em uma linha de transmissão temos uma atenuação de -3dB. Sabendo que a linha possui impedância constante de 75Ω e na sua entrada são injetados 4V, qual a intensidade (V) do sinal na saída ?
4. Um circuito recebe um sinal de 300mV e apresenta uma impedância de entrada de 180Ω. Em sua saída obtém-se 547,8mV sobre uma impedância de 600Ω. Qual o ganho em dB deste circuito ?

dBu

Lembrando que o dBm representa um valor de potência de 1mW sobre uma impedância padronizada de 600Ω podemos determinar o valor de tensão para essa condição padrão:

$$P = \frac{U^2}{Z} \quad \text{ou seja:} \quad U^2 = (1\text{mW}) \cdot (600\Omega) \quad \text{resultando em } U = 775\text{mV}.$$

Retornando a equação já vista : $N(\text{dB}) = 20 \cdot \log \frac{U_2}{U_1} + 10 \cdot \log \frac{Z_1}{Z_2}$

Se considerarmos os valores padronizados de tensão e impedância temos:

$$N(\text{dBm}) = \underbrace{20 \cdot \log \frac{U_2}{0,775}}_{n \text{ (dBu)}} + \underbrace{10 \cdot \log \frac{600}{Z_2}}_{\text{FC (dB)}}$$

Na equação temos a impedância Z_1 dada pelo instrumento de medição (impedância em que a escala do instrumento foi calibrada, padronizado em 600Ω) e Z_2 representando a impedância característica no ponto de medida.

Tal expressão representa quantos dB uma determinada tensão está acima ou abaixo de 0,775V. O parâmetro FC é um fator de correção (dado também em dB) para o caso de a impedância Z_2 ser diferente de 600Ω .

Exercícios:

1. Um nível de -35dBu é medido em um ponto de 150Ω de impedância. Qual é o nível em dBm ?
2. Em um determinado ponto de um circuito cuja impedância é 75Ω , temos uma potência de +5dBm. Qual é o nível dBu neste ponto ?
3. Num ponto de 300Ω é medido um nível de -27dBu. Qual é o nível em dBm ?
4. Num ponto de 600Ω é medido um nível de -53dBm. Qual é o nível em dBu ?

dB_{SPL}

Representa a medição de pressão sonora (**SPL** = *Sound Pressure Level*) e é dado por:

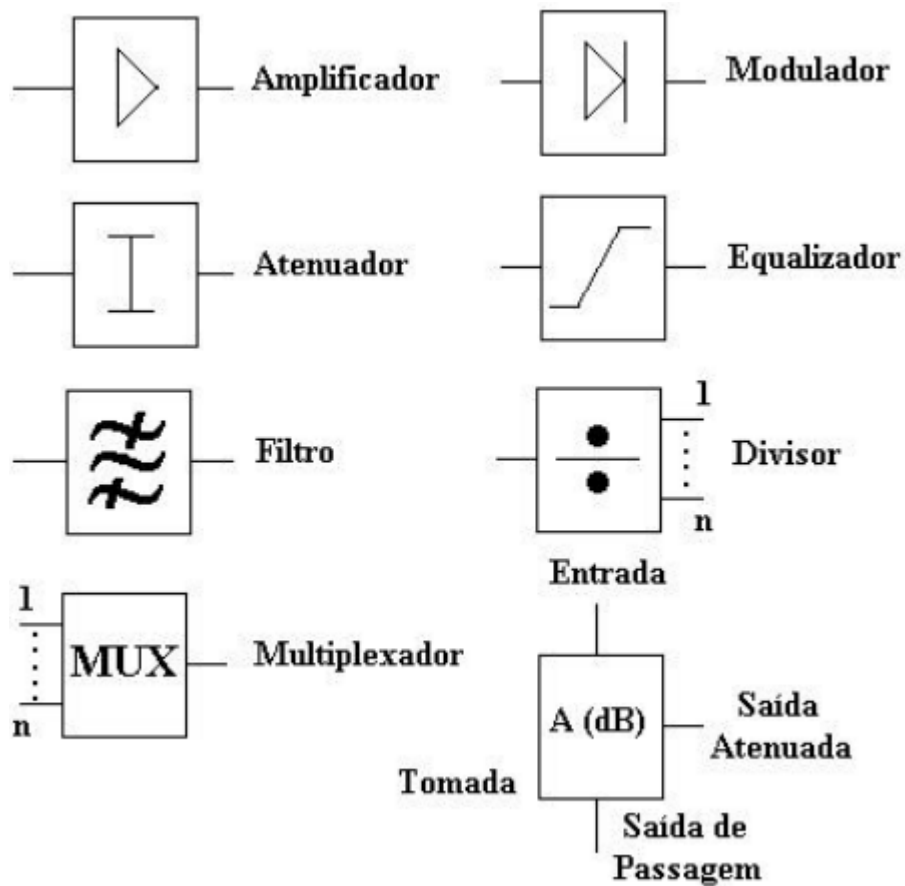
$$= 20 \cdot \log \frac{Pr}{2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2} \text{ (dB}_{\text{SPL}}\text{)}$$

(onde **Pr** é a pressão sonora medida)

Resumindo: O uso do multiplicador 20 na fórmula para achar o nível em dB de tensões, correntes e pressão sonora, está ligado ao fato que a potência elétrica ou a intensidade acústica (potência/área) ser proporcional ao quadrado das tensões, correntes ou pressão sonora, e a propriedade dos logaritmos que diz: $\log(x^2) = 2\log(x)$. De fato, quando calculamos o valor em dB de uma razão de tensões estamos transformando esta razão em uma razão de potências. Isto nos permite dizer, sem nos preocuparmos com a impedância em cada ponto, que quando aumentamos em 6dB a pressão sonora aplicada a um microfone, sua tensão de saída aumentara de 6dB, a tensão e a potência do amplificador também terão uma variação de 6dB e a pressão sonora gerada pelo falante terá os mesmos 6dB de acréscimo, se todos estiverem funcionando linearmente. Outro motivo para esta transformação é que normalmente será mais fácil medir tensão, corrente ou pressão sonora que a potência diretamente.

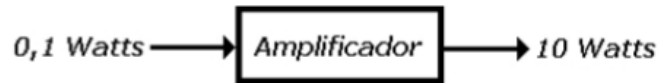
Símbolos usados em diagramas em blocos

Em telecomunicações é fundamental conhecer e relacionar os níveis de sinais transmitidos e recebidos como um dos quesitos básicos para saber a qualidade da comunicação. A figura seguinte representa a simbologia usada para quadripolos e sua função característica.



Exercícios:

- 1) Determine o ganho em dB de um amplificador abaixo. Determine também as potências de entrada e saída em dBm.



- 2) A potência irradiada pela antena de um transmissor é de 200W e a potência recebida no receptor é de 100mW? Expresse essas potências em dBm. Qual a atenuação do sinal entre transmissor e receptor?
- 3) Determine a potência P1 em Watts se P2 é 100 Watts e a relação entre elas é de 23dB (P2 é maior que P1).
- 4) Considere que uma estação rádio base de telefonia celular (ERB) esteja irradiando, efetivamente (incluindo ganho da antena), 80 watts de potência. Considere também que um telefone (estação) móvel (EM), a uma determinada distância dessa ERB, receba um sinal de aproximadamente 2 nanowatts. Determine a atenuação do sinal entre ERB e EM.
- 5) Considerando o exercício anterior, determine a potência em dBm da ERB e a recebida pela EM.
- 6) Uma estação móvel (aparelho celular) tem sua potência limitada em 27,8dBm. Quanto representa este valor em mW?
- 7) Qual o valor em dBm para -3dBW?
- 8) Um power meter apresenta uma potência de ruído de -70 dBm. Quando um sinal "P" é aplicado esse valor aumenta para -65 dBm. Qual a potência do sinal "P" em dBm?
- 9) Determine o ganho total do diagrama dado, bem como a potência de saída (P2).



- 10) A potência de saída de um atenuador é 20% menor do que potência de entrada. Qual é a atenuação em dB?
- 11) Um medidor apresenta uma leitura de 0dBV. Quanto representa esta tensão?
- 12) Qual o nível de tensão de um sinal de -6dBV?
- 13) Um sinal elétrico tem 5mVrms. Qual será o nível em dBu?
- 14) -10dBu é encontrado nas entradas e saídas balanceadas em nível de linha de inúmeros equipamentos, sendo uma referência antiga. Qual é o nível de tensão em V (ou mV)?
- 15) Uma antena tem um ganho de 13dB em relação a um dipolo padrão (antena padrão de referência). Quantas vezes o sinal, em sua saída, se apresenta maior em relação ao dipolo padrão?