

Sistemas de Telecomunicações

Prof. Arlei Barcelos

Conteúdo do curso de Sistemas de Telecomunicações

- **Introdução aos Sistemas de Telecomunicações:** Comunicação, Sistemas de comunicação, Evolução dos sistemas de telecomunicações
- **Unidades de medidas logarítmicas em telecomunicações:** uso do decibel para razões de potência; medida absoluta de potência em db (dbm); medida absoluta de tensão em db (dbu); operações com db; operações com dbm; decibel relativo (dbr); potência absoluta do ponto de referência (dbm0); uso de dbu para medir dbm; outras unidades de medidas em db; prefixos para múltiplos decimais para unidades
- **Uso do Espectro Eletromagnético:** nome das faixas do espectro eletromagnético; atribuição de faixas de frequências; quadro de atribuição de faixas de frequências no brasil; introdução a propagação das ondas de radio; diferentes modos de propagação na atmosfera
- **Espectros de frequências:** análise de sinais no domínio da frequência; sinais periódicos e aperiódicos; teorema de fourier; representação de sinais através do espectro de frequências; analisador de espectros; análise da resposta de um circuito a sinais complexos utilizando o espectro de amplitudes e o diagrama de bode
- **Filtros:** resposta em frequência de circuitos; levantamento prático da resposta em frequência; filtro passa baixas; filtro passa altas; filtro passa faixa; filtro rejeita faixa
- **Conversão de Sinais para Transmissão:** o processo de modulação am dsb; modulação em fase e frequência; modulação digital; codificação de linha; modulação digital por pulsos;
- **Multiplexação:** FDM, TDM; WDM; CDM
- **Telefonia celular:**

Unidades de medidas logarítmicas em telecomunicações

O decibel (dB) é uma medida da razão entre duas quantidades, sendo usado para uma grande variedade de medições em acústica, física, eletrônica e telecomunicações.

O dB usa o logaritmo decimal (\log_{10}) para realizar a compressão de escala. Um exemplo típico de uso do dB é na medição do ganho/perda de potência em um sistema.

Vantagens do uso do decibel

- É mais conveniente somar os ganhos em decibéis em estágios sucessivos de um sistema do que multiplicar os seus ganhos lineares.
- Faixas muito grandes de razões de valores podem ser expressas em decibéis em uma faixa mais moderada possibilitando uma melhor visualização dos valores grandes e pequenos.
- Na acústica o decibel usado como uma escala logarítmica da razão de intensidade sonora se ajusta melhor a intensidade percebida pelo ouvido humano

Uso do decibel para razões de potência

O cálculo da relação de potência em dB

$$G_{dB} = 10 \log \left(\frac{P_1}{P_0} \right)$$

ou vice-versa

$$\frac{P_1}{P_0} = 10^{(G_{dB} / 10)}$$

G_{dB} é a razão entre as potências (ganho) expressa em dB. A relação entre 2 potências é conhecida como ganho linear é dado por

$$G_{w/w} = \frac{P_1}{P_0}$$

De acordo com a equação de G_{dB} pode-se observar que G_{dB} positivos representam ganhos e G_{dB} negativos atenuações

Uso do decibel para razões de voltagens

A razão entre tensões também pode ser expressas em decibéis através da equação

$$G_{dB} = 10 \log \frac{(V_1^2 / Z_0)}{(V_0^2 / Z_0)} = 20 \log \left| \frac{V_1}{V_0} \right|$$

ou vice-versa

$$\left| \frac{V_1}{V_0} \right| = 10^{(G_{dB} / 20)}$$

Medida absoluta de potência em dB (dBm)

O dBm ou dBmW é o nível absoluto de potência em dB, em relação à potência de 1mW.

$$P_{dBm} = 10 \log \frac{P_w}{1mW}$$

e vice-versa

$$P_{mW} = (1mW)10^{(P_{dBm}/10)}$$

Nível	Potência	Potência	Situação prática em que ocorre
80 dBm	100000 W	100 kilowatt	Potência típica de uma transmissora de radio FM
60 dBm	1000 W	1 kilowatt	Potência de RF dentro de um forno microondas.
27 dBm	500 mW	½ kilowatt	Potência típica de transmissão do telefone celular
20 dBm	100 mW		
10 dBm	10 mW		
0 dBm	1.0 mW	1 miliwatt	
-10 dBm	0.1 mW		
-20 dBm	0.01 mW	10 microwatt	
-55 dBm	0,00000316 mW	3,16 nanowatt	Potência típica de recepção do telefone celular
-80 dBm	0,00000001 mW	10 picowatt	
-127.5 dBm	0,000000000000018 mW	0,18 femtowatt	Potência de recepção do aparelho GPS

Medida absoluta de tensão em dB (dBu)

Se na equação de definição do ganho em dB

$$G_{dB} = 20 \log \left| \frac{V_1}{V_0} \right|$$

substituímos a tensão V_0 pelo valor 0.775 V que equivale a potência de 1 mW (0 dBm) quando aplicado a uma impedância de 600Ω , teremos uma forma de expressar em valores absolutos a tensão de um ponto do sistema. A impedância de 600Ω é o valor padronizado para a maioria dos circuitos de voz em telefonia pelo ITU-T. A unidade obtida é

$$G_{dB} = 20 \log \frac{V_1}{0,775}$$

e vice-versa

$$|V_1| = (0,775\text{ V}) 10^{(V_{dBu}/20)}$$

Operações com dB:

As únicas operações possíveis entre dois valores expressos em dB são a soma e a subtração, sendo o resultado também expresso em dB.

$$G3_{dB} = G1_{dB} + G2_{dB} \Rightarrow G1_{\frac{w}{w}} \times G2_{\frac{w}{w}}$$

$$G3_{dB} = G1_{dB} - G2_{dB} \Rightarrow \frac{G1_{\frac{w}{w}}}{G2_{\frac{w}{w}}}$$

ESCALA LOGARÍTMICA Parcela a somar (ou subtrair)	ESCALA LINEAR Fator a multiplicar (ou dividir)
0dB	=1
1dB	~1,25
2dB	~1,6
3dB	~2
4dB	~2,5
5dB (3dB + 2dB)	~3,2 (2 x 1,6)
6dB (3dB + 3dB)	~4 (2 x 2)
7dB (10dB - 3dB)	~5 (10 ÷ 2)
10dB	=10
- 3dB	~0,5 (1 ÷ 2)
-10dB	=0,1 (1 ÷ 10)
20dB (10dB + 10dB)	=100 (10 x 10)
23dB (20dB + 3dB)	~200 (100 x 2)
27dB (30dB - 3dB)	~500 (1000 ÷ 2)
30dB (10dB + 10dB + 10dB)	=1000 (10 x 10 x 10)

Operações com dBm:

$$P2_{dBm} = P1_{dBm} + G_{dB} \Rightarrow P2_w = P1_w \times G_{\frac{w}{w}}$$

Assim, se dobramos uma potência teremos em dB

$$P2_{dBm} = P1_{dBm} + 3dB \Rightarrow P2_w = P1_w \times 2_{\frac{w}{w}}$$

Se reduzimos a potência a metade então

$$P2_{dBm} = P1_{dBm} - 3dB \Rightarrow P2_w = \frac{P1_w}{2_{\frac{w}{w}}}$$

Ou seja, somar 3dB equivale a dobrar a potência enquanto diminuir 3dB corresponde reduzir-la à metade.

A comparação de dois valores expressos em dBm pode ser feita subtraindo os valores

$$G_{dB} = 10 \log \left(\frac{P_2}{P_1} \right) = P2_{dBm} - P1_{dBm}$$

Note que neste caso o resultado é em dB, pois se trata de uma razão entre potências e não é uma potência absoluta.

Algumas regras operacionais com dB e dBm:

Regras:

- dB pode somar com todos
- dBW só pode somar com dB
- dBm só pode somar com dB
- Watt pode somar com Watt
- Subtração pode com todos

Regras:

Dbm + dBM = Não pode!!!

Converte para potência: mW + mW = mW

Resultado converte para dBm

Resultados:

- dBm +/- dB = dBm
- dBW +/- dB = dBW
- dBm – dBm = dB
- dBW – dBW = dB
- dBm – dBm = dB
- dB – dB = dB

$0 \text{ dBm} + 0 \text{ dBm} = 3 \text{ dBm}$ (e não 0 dBm !)

$0 \text{ dBm} + 3 \text{ dBm} = 4,76 \text{ dBm}$ (e não 3 dBm !)

$-2 \text{ dBm} + 2 \text{ dBm} = 3,45 \text{ dBm}$ (e não 0 dBm !)

Exemplo de conversões úteis:

Linear	dB	dB
	Potência	Tensão
x2	+3	+6
/2	-3	-6
x10	+10	+20
/10	-10	-20

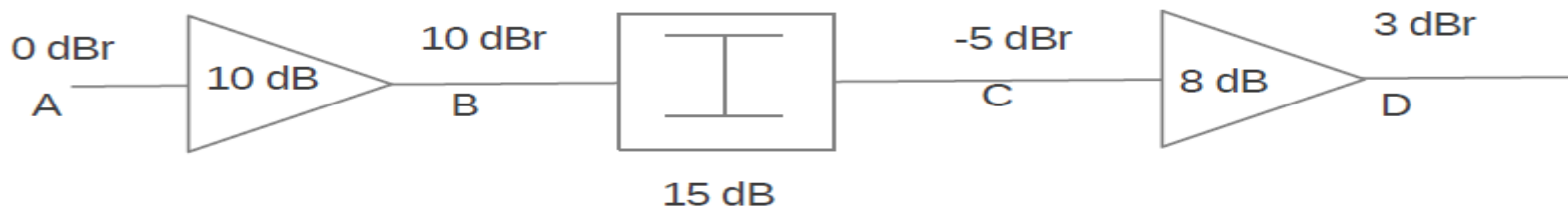
	dB	Linear	
-3	-3dB	0.5	/2
+10	0	1	x10
+10	10	10	x10
	20	100	

	dBm	Linear	
-3	-3dBm	0.0005W = 0.5mW	/2
+10	0 dBm	0.001W = 1mW	x10
+10	10 dBm	0.01W = 10mW	x10
	20 dBm	0.1W=100mW	

	dBW	Linear	
-3	-3dBW	0.5W = 500mW	/2
+10	0 dBW	1W	x10
+10	10 dBW	10W	x10
	20 dBW	100W	

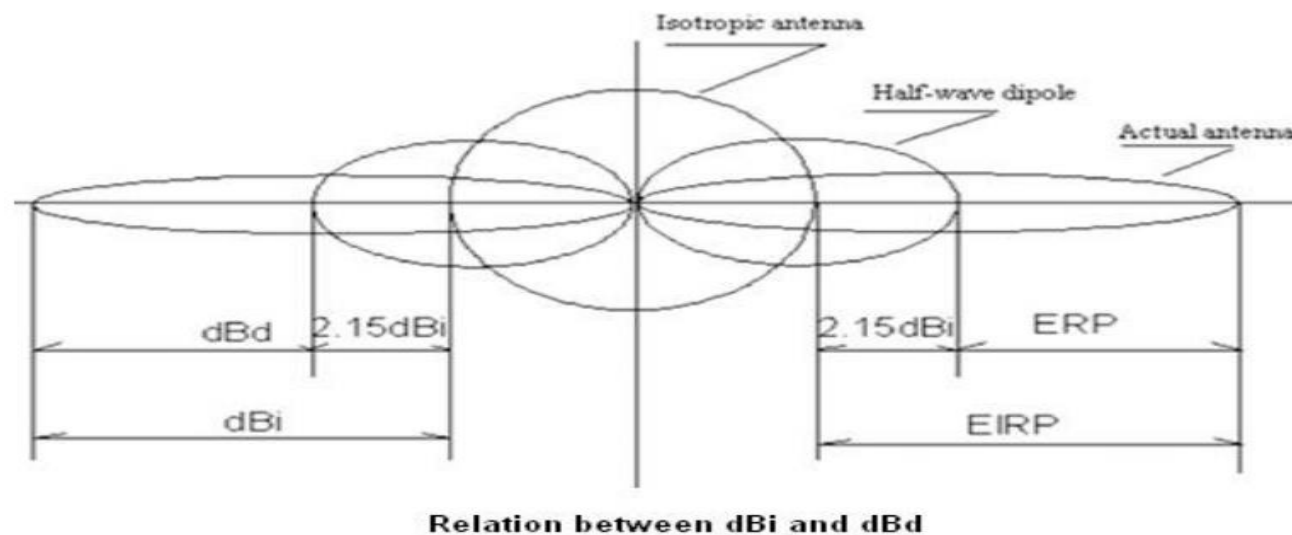
Decibel relativo (dBr)

Esta unidade, denominada dB relativo, é utilizada para indicar a atenuação ou o ganho em um ponto qualquer de um sistema, em relação a um ponto de referência do sistema.



O nível relativo no ponto D, igual a 3dBr, indica que neste ponto o nível é 3dB acima do ponto de referencia (A). Por exemplo, se um sinal de 10mW (10dBm) for aplicado em A (0dBr), o nível no ponto D (3dBr) estará valor 3dB acima, ou seja, $10\text{dBm} + 3\text{dB} = 13\text{dBm}$ (20mW).

Por outro lado se o sinal aplicado em A for de 1mW (0dBm), então em D teremos 3dBm (2mW).
Exemplo db relativo: Antena isotrópica e antena dipolo



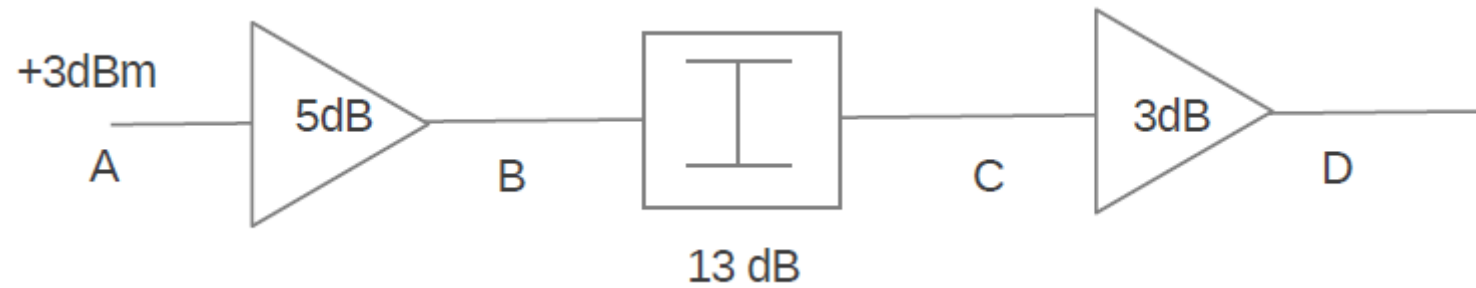
Exercícios:

1. Calcule, em dB, a relação entre as potências:
 - A. 100mW e 10mW
 - B. 10pW e 1mW
 - C. 2fW e 10kW
2. A potência de saída transmitida pelo telefone celular é de +30dBm. No receptor o sinal recebido está com apenas 5pW. Qual é a atenuação em dB do sinal entre o transmissor e receptor?
3. Num ponto A de um sistema foi determinada que a potência do sinal é de 1mW, e a potência do ruído de 1pW. Qual é a SNR em dB?
4. Determine qual a razão de potências $P1/P0$ que equivale a -55dB, -10dB, 0dB, 1dB, 6dB, 10dB, 50dB, 56dB e 100dB.
5. Determine qual a razão de tensões $V1/V0$ que equivale a -55dB, -10dB, 0dB, 1dB, 6dB, 10dB, 50dB, 56dB e 100dB.
6. Um sistema com 0,3mV na entrada, fornecer 3V na saída. Calcule o seu ganho em dB.
7. Aumentando-se em 6dB uma potência $P = 10\text{mW}$, quanto vale a nova potência obtida?
8. Dada uma potência $P = 10\text{mW}$, calcule os valores de potência que estão 5dB acima e 7dB abaixo.
9. Dada uma potência $P = 7\text{pW}$, calcule o valor da potência 62 dB acima.
10. Determine em dBm as potências
 - A. 3500pW
 - B. 250mW
 - C. 12fW
 - D. 6,12pW
 - E. 0,000000000023W

11. Determine -18dBm em potência absoluta (Watts).
12. Qual é o valor em dBm (e em mW)
 - A. do dobro de uma potência igual a 32dBm?
 - B. da metade de uma potência a 32dBm?
 - C. de uma potência 8 vezes maior que 32dBm?
 - de uma potência 8 vezes menor que 32dBm?
13. Qual é o resultado da soma de dois sinais descorrelacionados com potência de -40dBm e -45dBm?
14. Qual é o resultado da soma de dois sinais descorrelacionados com potência de -40dBm e 95dBm?
15. Qual o resultado da soma de duas potências iguais a 32 dBm?
16. Qual a razão entre a potência 23dBm e a potência 10dBm?
17. Quantas vezes a potência de 10dBm é superior a -30 dBm?
18. Um nível de -35dBu é medido num ponto de 600ohms de impedância. Qual é o nível em dBm?
19. Qual é o nível medido em dBu de ponto do sistema, cuja impedância é 75ohms, e potência de 5dBm?
20. Um sinal de teste senoidal é medido em um ponto com impedância de 600ohms de um sistema. O valor medido com voltímetro é de 130mVRMS. Qual é o valor da tensão de pico, o valor pico a pico e os valores equivalentes em dBu, dBV, dBm? Qual é a potência equivalente em Watts?
21. Quais seriam os valores se a impedância no ponto fosse 60ohms e o valor medido com voltímetro é de 130mVRMS?

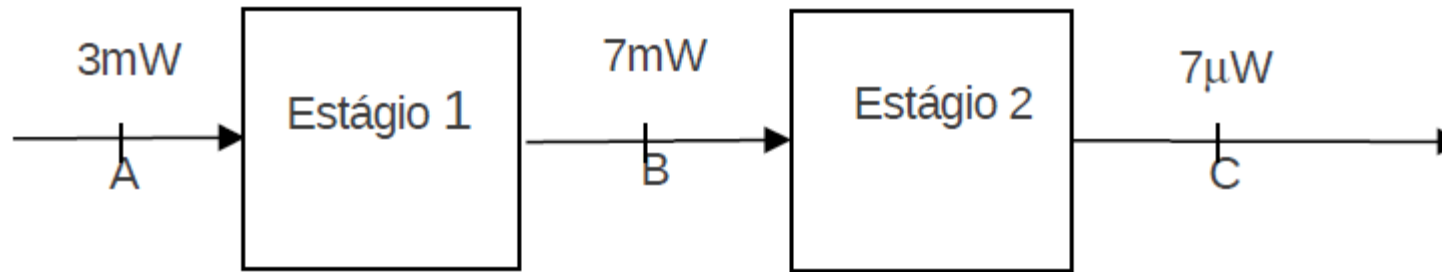
22. Dado o sistema abaixo com os pontos de medição A, B, C e D:

- A. Determine as potências para cada ponto em dBm.
- B. Determine as potências para cada ponto em Watts.
- C. Considerando que a impedância nesses pontos é de 600ohms, determine a tensão produzida para cada ponto pela potência calculada em (B).
- D. Determine para cada ponto o nível em dBu.
- E. Considere o ponto C como sendo o ponto de referência. Qual seria o nível dBr de cada ponto.



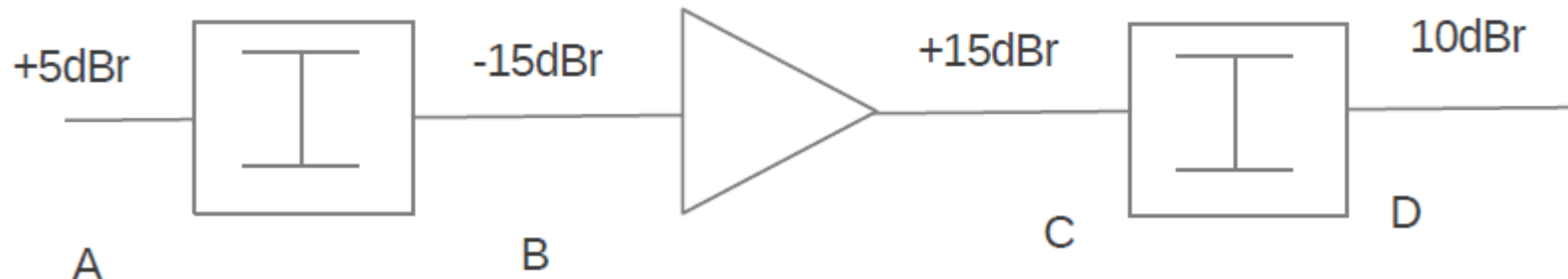
23. Dado o sistema abaixo e as potências nos pontos de medição A, B, e C:

- A. Determine as potências em dBm de cada ponto.
- B. Determine o ganho (perda) em cada estágio em (dB) e em razão de potências.
- C. Considerando que a impedância é de 75ohms em todos os pontos, qual seria o nível medido em dBu nestes pontos.



24. Dado o sistema abaixo:

- A. Aplicando-se um sinal de nível igual a 12dBm no ponto A, qual será o nível em dBm desse sinal nos pontos C, B e D?
- B. Qual é o nível em dBr no ponto de referência do sistema?
- C. Qual seria a potência em dBm, nos pontos A, B, C e D, de um sinal de teste de -30dBm0?



25. Um amplificador tem uma entrada de 10mV e saída de 2V. Qual é o ganho de tensão em dB?

26. O menor sinal que uma pessoa jovem consegue ouvir em condições de silêncio é um sinal de 0dB SPL. O nível mais alto que a mesma pessoa pode ouvir sem que tenha danos no seu sistema auditivo é de 110 dB SPL. Qual é o aumento de potência que deve ser dado ao Altofalante para que a potência passe do mínimo audível para o máximo suportável sem prejuízo para o ouvido?

dB _{SPL}	Fonte (distância)
194	Limite teórico da intensidade de uma onda sonora a pressão atmosférica de 1 atm.
180	Motor de foguete a 30 m; Explosão do Krakatoa a 160 km
150	Motor a jato a 30 m
140	Disparo de um rifle a 1 m
130	Limiar da dor do ouvido humano; apito de trem a 10 m
120	Concerto de Rock; avião a jato na decolagem a 100 m
110	Motocicleta acelerando 5 m; Motosserra a 1 m
100	Dentro de uma discoteca
90	Fabrica barulhenta, caminhão pesado a 1 m
80	Aspirador de pó a 1 m, calçada em uma rua engarrafada
70	Trafego pesado a 5 m
60	Dentro de escritórios e restaurantes
50	Dentro de um restaurante silencioso
40	Área Residencial a noite
30	Dentro de um teatro, com ninguém falando
10	Respiração de uma pessoa a 3 m
0	Limiar de audição do ser humano