Tutorial sobre dB: O decibel

Logo que os sistemas de comunicação utilizando sinais elétricos começaram a desenvolver-se, surgiu a necessidade de se calcular e expressar a atenuação introduzida pelo meio de transmissão. Otimizar a transferência de potência para as cargas, identificar a potência mínima de sinal capaz de vencer o ruído presente no receptor e quantificar a perda de potência entre o transmissor e o receptor eram pontos cruciais no projeto dos sistemas.

Amplificação era algo difícil e caro, daí a preocupação com o fluxo de potência através das redes que trabalhavam sempre com a impedância da carga casada com a do amplificador para máxima transferência de potência.

Trabalhando desta forma, era fácil relacionar os níveis de tensão medidos com os de potência:

$W = V^2/R$

Caso os níveis de tensão fossem medidos em pontos com impedâncias diferentes, seria necessário introduzir um fator de correção igual à relação entre as impedâncias para comparar as potências:

$W_1/W_2 = (V_1^2 /V_2^2) . (R_2/R_1)$

Como há uma enorme variação nos níveis de potência, tensão, corrente e pressão sonora encontrados nos sistemas de comunicação e de áudio e nossos sentidos comportam-se de forma aproximadamente logarítmica, isto é, nossa percepção da variação da intensidade de um estímulo é proporcional ao estímulo já existente, definiu-se uma unidade logarítmica para formar-se uma escala de níveis de sinal, aplicada a níveis de potência ou grandezas cujo quadrado seja proporcional à potência. Esta unidade foi denominada bel (B), cujo plural é bels, em homenagem a Alexander Graham Bell (o inventor do telefone, 1847-1922), e apareceu por volta de 1920[1][2][4].

bel = $\log(W_1/W_0)$, aqui log é o logaritmo na base 10

Como cada variação de 1 bel em nossa escala eqüivale a uma multiplicação por 10 do valor da potência, logo ficou claro que precisaríamos de um submúltiplo para mostrar com clareza variações menores. Foi definido então o decibel (dB), cujo plural pode ser decibéis ou decibels (segundo o dicionário Aurélio), de tal forma que teríamos uma variação de 10 dB para cada variação de 1 bel no nível de potência:

x decibéis = $10.\log(W_1/W_0)$

1 dB => $10.\log (W/W_0) = 1$

$\log (W/W_0) = 0,1$ ou seja 0,1 Bel = 1 dB

$W/W_0 = 10^{0,1} = 1,26$

Esta também era aproximadamente a perda observada em uma milha de comprimento do cabo padrão usado em telefonia e coincidia com a chamada Unidade de transmissão (TU) definida em 1923 por W. H. Martin, dos laboratórios Bell, para unificar a menor variação acústica de sinal percebida nos receptores telefônicos, determinada por Harvey Fletcher e chamada de Unidade de Sensação (SU), com a perda elétrica medida em uma milha de cabo padrão. O nome decibel foi sacramentado com a publicação, em 1929, do artigo "Decibel, The Name for the Transmission Unit", pelo mesmo W.H. Martin, no Bell System Technical Journal [1].

É interessante notar que o argumento da função log é adimensional e o dB é uma unidade relativa, o que torna necessário especificar sempre a grandeza de referência.

Posteriormente, a escala em decibéis foi aplicada a diversas grandezas associadas à acústica e ao movimento vibratório, mas sempre mantendo sua ligação com a potência e energia dos sinais e sistemas, sendo o bel abandonado [2][3].

SISTEMA	Grandezas	Impedância / Admitância	Potência
Mecânico	Força f (Newtons)/ Velocidade v (m/s)	Z = f/v Y = v/f (mobilidade)	$W = f.v = f^2.Y = v^2.Z$
Elétrico	Tensão V (volts)/ Corrente i (ampères)	Z= V/i Y= i/V	$W = V.i = V^2/Z = V^2.Y = i^2/Y = i^2.Z$ (para Z resistiva Z = R, ohms)
Acústico	Pressão p (N/m^2) / Velocidade Volumétrica U (m^3/s)	Z = p/U Y = U/p	$W = p.U = p^2/Z$

Resumindo:

dB - usado para comparação entre potências. Eqüivale a 10.log (W / W_0), onde W_0 é a potência de referência especificada. Quando $W = W_0$, temos o nível 0 dB.

Alguns níveis de referencia muito usados:

dBm - nível de potência de sinal elétrico : 10.log (W / W_0), 0dBm = W_0 =1mW ou 0,775V em 600 ohms

dBW - nível de potência de sinal elétrico : 10.log (W / W_0), 0dBW = W_0 = 1W

dB PWL ou L_w - nível de potência acústica: 10.log (W / W_0), 0 dB PWL = $W_0 = 10^{-12}$ W

dB IL ou L_I - nível de intensidade acústica: 10.log (I / I_0), 0 dB IL = $I_0 = 10^{-12}$ W/m^2 (ANSI S1.8)

L_D - nível de densidade de energia: 10.log (D / D_0), 0 dB = $D_0 = 10^{-12}$ J/m^3 (ANSI S1.8)

L_E - nível de energia: 10.log (E / E_0), 0 dB = $E_0 = 10^{-12}$ J (ANSI S1.8)

Para grandezas cujo quadrado seja proporcional à potência (tensão e corrente elétrica, pressão sonora e força ou velocidade):

x dB = 20.log (V/V_0), 20.log (i/i_0), ou 20.log (p/p_0).

Por exemplo:

dB SPL = Sound Pressure Level (L_p) = 20.log (p/p_0), p_0 = 20 μN/m² = 20 x 10^{-6} N/m^2 = 2 x 10^{-5} N/m^2 = 0,00002 N/m^2 (ANSI S1.8)

dB(A) ou (L_A) nível de pressão sonora (SPL), ponderada pela curva A, que simula a resposta do ouvido humano a 40dB-SPL

Nível de aceleração vibratória: L_a = 20.log (a/a_0), a_0 = 10^{-5} m/s^2 (ANSI S1.8)

Nível de velocidade vibratória: L_v = 20.log (v/v_0), v_0 = 10^{-8} m/s (ANSI S1.8)

Nível de deslocamento vibratório: L_a = 20.log (d/d_0), d_0 = 10^{-11} m (ANSI S1.8)

Nível de força: L_a = 20.log (F/F_0), F_0 = 10^{-6} N (ANSI S1.8)

dBu - nível de tensão de sinal: 0dBu = 0,775V em qualquer impedância. Eqüivale a

20.log (V/0,775V).

dBV - nível de tensão de sinal. 0dBV = 1 V em qualquer impedância. Eqüivale a 20.log (V/1V).

Observações:

1 - Se uma massa mecânica m está realizando um movimento vibratório harmônico simples

$X(t) = A \cdot \text{sen}(\omega.t)$

A velocidade será: $v(t) = dX(t)/dt = \omega A \cdot \cos(\omega.t)$

A aceleração será: $a(t)= d^2X(t)/dt^2 = - \omega^2 \cdot A \cdot \text{sen}(\omega.t)$

A força atuando sobre a massa será: $f(t) = m.a(t) = - m.\omega^2 \cdot A \cdot \text{sen}(\omega.t)$

Se multiplicarmos f por v para achar a potência, obteremos:

$W(t) = - m.\omega^3 \cdot A^2 \cdot \text{sen}(\omega.t) .\cos(\omega.t)$

Cujo valor médio é zero, o que é coerente com a situação apresentada, já que a massa mecânica apenas armazena energia sob forma cinética ($E_c = mv^2/2$).

O importante aqui é observar a relação da potência mecânica com o quadrado da amplitude de deslocamento A , o que justifica o uso para níveis de amplitude de deslocamento de sistemas vibrantes através da relação 20.log(d/d_0), onde d_0 é uma amplitude de referência (ver quadro acima).

Num sistema real, a existência de perdas mecânicas (resistência) levará ao aparecimento de uma defasagem entre força e velocidade, a qual tornará a potência média diferente de zero e levará ao aparecimento de um fator de potência multiplicando o termo ($- m.\omega^3 \cdot A^2$).

2 - O uso do multiplicador 20 na fórmula para achar o nível em dB de tensões, correntes e pressão sonora esta ligado ao fato da potência elétrica ou a intensidade acústica (potência/área) serem proporcionais 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 6 dB a pressão sonora aplicada a um microfone, sua tensão de saída aumentara de 6 dB, a tensão e a potência do amplificador também terão uma variação de 6 dB e a pressão sonora gerada pelo falante terá os mesmos 6 dB 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 potência diretamente.

Combinando dB

A combinação de sinais em dB se forma sempre com base em sua potência ou energia. Se você tem uma caixa cuja sensibilidade é de 103 dB SPL e outra com sensibilidade de 100 dB SPL isto significa que a primeira é capaz de gerar 3 dB a mais de potência acústica, ou o dobro, que a segunda, já que a potência elétrica aplicada a ambas foi a mesma: 1 W e medimos o SPL à mesma distância: 1m.

Para somarmos os sinais de duas fontes devemos considerar suas relações de fase.

Para sinais sem nenhuma correlação, tais como fontes de ruído independentes, somam-se as potências de ambos os sinais:

$$L_t = 10.\log[\ 10^{(L1/10)} + 10^{(L2/10)}\ ]$$

Para sinais senoidais com uma relação de fase conhecida teremos:

$$L_t = 10.\log\{\ 10^{(L_1/10)} + 10^{(L_2/10)} + 2*[10^{(L_1/20)}.10^{(L_2/20)}]\cos(a_1-a_2)\}$$

Onde

L_t = nível total em dB

L_1 = nível em dB do sinal 1

L_2 = nível em dB do sinal 2

a_1 = fase do sinal 1

a_2 = fase do sinal 2

Com os valores mencionados, obteremos cerca de 105 dB no primeiro caso e 108 dB no segundo, se $a_1=a_2$.

Para sinais como ruído ou música, o nível total deve se aproximar do observado para sinais não correlacionados já que conseguir diferença de fase zero será uma grande coincidência no espaço e tempo.

Referências:

1. Davis, Don; Davis, Carolyn; Sound System Engineering; Howard W. Sams & Co, 2nd ed. 3rd print, 1989

2. Kinsler, Lawrence E.; Frey, Austin R.; Coppens, Alan B.; Sanders, James V.; Fundamentals of Acoustics; John Wiley & Sons, Inc. 3rd ed.; 1982

3. Beranek, L.L.; Noise and Vibration Control, McGraw-Hill, 1971

4. Crocker, Malcolm J., Price, A. J.; Noise and Noise Control; CRC Press, 1975