

放大电路 波特图的读图方法

2024.11.11

波特图的定义

4.1.3 波特图

在研究放大电路的频率响应时,输入信号(即加在放大电路输入端的测试信号)的频率范围常常设置在几赫到上百兆赫,甚至更宽;而放大电路的放大倍数可从几倍到上百万倍;为了在同一坐标系中表示如此宽的变化范围,在画频率特性曲线时常采用对数坐标,称为**波特图**^①。

波特图由对数幅频特性和对数相频特性两部分组成,它们的横轴采用对数刻度 $\lg f$,幅频特性的纵轴采用 $20\lg |\dot{A}_u|$ 表示,单位是分贝(dB);相频特性的纵轴仍用 φ 表示。这样不但开阔了视野,而且将放大倍数的乘除运算转换成加减运算。

单级放大电路的全频段 A_{us} 表达式

$$\dot{A}_{us} = \dot{A}_{us\text{ m}} \cdot \frac{j \frac{f}{f_L}}{\left(1 + j \frac{f}{f_L}\right) \left(1 + j \frac{f}{f_H}\right)}$$

如何理解：单级放大电路的全频段放大倍数可以理解为中频段的放大倍数乘上低通电路系数和高通电路系数（分别是上式圈出的三个部分）

单管共射放大电路的波特图

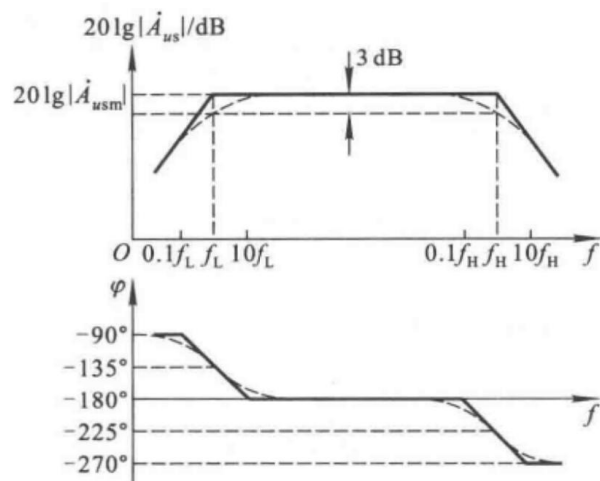


图 4.4.5 单管共射放大电路的波特图

幅频特性曲线：

- 1.斜率：对于单管放大电路，低频段和高频段的斜率绝对值都应为20dB/十倍频（这也是判断多级放大电路中有多少级的重要依据）；
- 2.拐点：对于幅频曲线，低频段和高频段的拐点分别对应该管的 f_L 和 f_H (在多级放大电路中，不同的拐点代表的是不同的低通或高通频率)；

相频特性曲线：

- 1.斜率：对于单管放大电路，低频段和高频段的斜率应都为-45°/10倍频；
- 2.拐点：低频和高频段的两个拐点分别为 $0.1f_L$ 、 $10f_L$ 和 $0.1f_H$ 、 $10f_H$
- 3.需要注意的是，相频特性曲线中的斜线部分并不是和幅频特性曲线一样的射线，而为线段；即相位的延迟是有限度的，最多为-90°，这一点在多级电路的波特图中有所体现。

多级放大电路的全频段响应——波特图的识图

- 波特图要看哪些东西？
- （一）幅频特性曲线：
 - 1.峰值：对应的是中频段电压放大倍数 A_{us}
 - 2.看斜率
 - 低频段斜率取决于有多少高通电容（如阻容耦合的电容、旁路电容等）对电路有影响；
 - 高频段斜率取决于有多少集间电容（低通电容，且一个晶体管有一个）对电路有影响，因为它的数量与晶体管个数一一对应，往往用于判断有多少级放大电路；
 - 3.看拐点
 - 幅频特性曲线中可能会存在多个拐点（这是因为不同的电容对应的 $f_{(L/H)}$ 不同，叠加时会产生不同的拐点和斜率，具体的叠加过程可看 [放大电路的频率响应（手写版）.pdf](#)），对于多级放大电路的 $f_{(L/H)}$ ，可以使用以下公式；当然，当有某一个频率特别显著时，可以近似用它代替总体的 $f_{(L/H)}$ ；

$$f_L \approx 1.1 \sqrt{\sum_{k=1}^N f_{Lk}^2} \quad \frac{1}{f_H} \approx 1.1 \sqrt{\sum_{k=1}^N \frac{1}{f_{Hk}^2}}$$

多级放大电路的全频段响应——波特图的识图

- (二) 相频特性曲线：
 - 1.斜率：与幅频特性曲线一样，斜率取决于低频段和高频段分别有多少高通和低通电容对电路有影响。但需要注意的是，因为相频特性的曲线有线段部分，所以在叠加时会有斜率绝对值先变大后变小的过程（具体的叠加过程可看 [放大电路的频率响应（手写版）.pdf](#)）
 - 2.拐点：相频特性曲线的拐点取决于每一级叠加的放大电路的拐点，具体分析方法与幅频特性曲线一致；

多级放大电路的全频段响应——波特图的识图（例1）

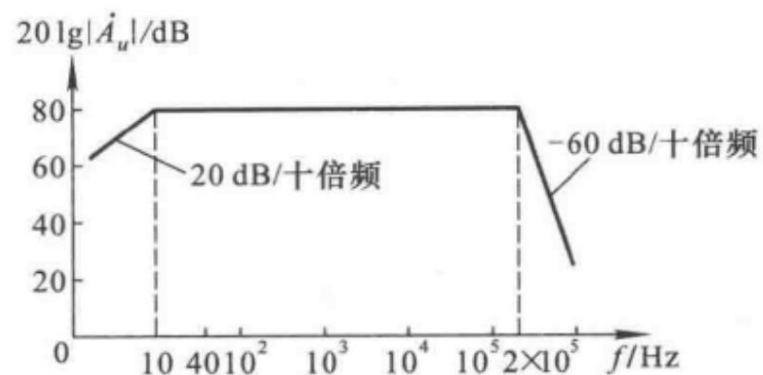


图 4.5.2 例 4.5.1 图

- 1.从高频段的曲线斜率可知： $-60\text{dB}=-20\text{dB} \times 3$ ，故该多级放大电路应为三级放大电路；又从低频段的斜率可知，这三级放大电路中只有一级为阻容耦合，另外两个均为直接耦合；
- 2.由曲线峰值可知，该电路的电压放大倍数应为 $\pm 10^4$ （没有给相频特性曲线，无法判断正负）
- 3.由拐点可知：该电路的 $f_{(L/H)}$ 分别为 10Hz 和 200kHz

多级放大电路的全频段响应——波特图的识图（例2）

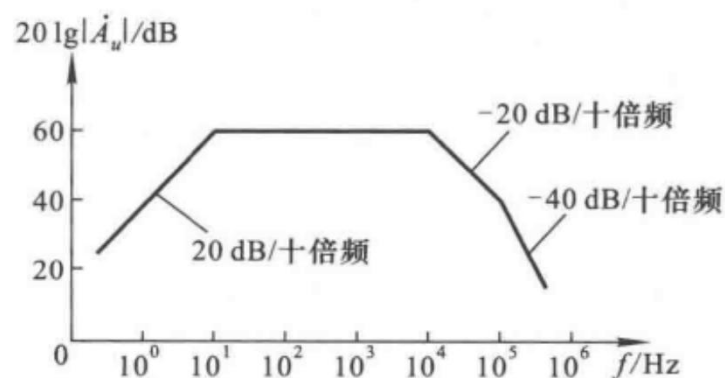


图 T4.3

$$\frac{1}{f_H} \approx 1.1 \sqrt{\sum_{k=1}^N \frac{1}{f_{Hk}^2}}$$

- 1.从高频段的曲线斜率可知： $-40\text{dB}=-20\text{dB}\times 2$ ，故该多级放大电路应为两级放大电路，高频段斜率为 -20dB 那段曲线是因为在该频率范围内有一级电路仍处于中频段（及幅频特性为水平线），叠加后斜率仍为 -20dB ；又从低频段的斜率可知，这两级放大电路中有一级为阻容耦合，另外一个均为直接耦合；
- 2.由曲线峰值可知，该电路的电压放大倍数应为 $\pm 10^3$ （没有给相频特性曲线，无法判断正负）
- 3.由拐点可知：该电路的 f_L 分别为 10Hz ；两个单管的 f_H 分别为 10^4 和 10^5 ，此时可以根据左边的公式计算，但因为 10^4Hz 比 10^5Hz 大10倍，占主导，所以也可以估算为 10^4Hz