

核心知识点

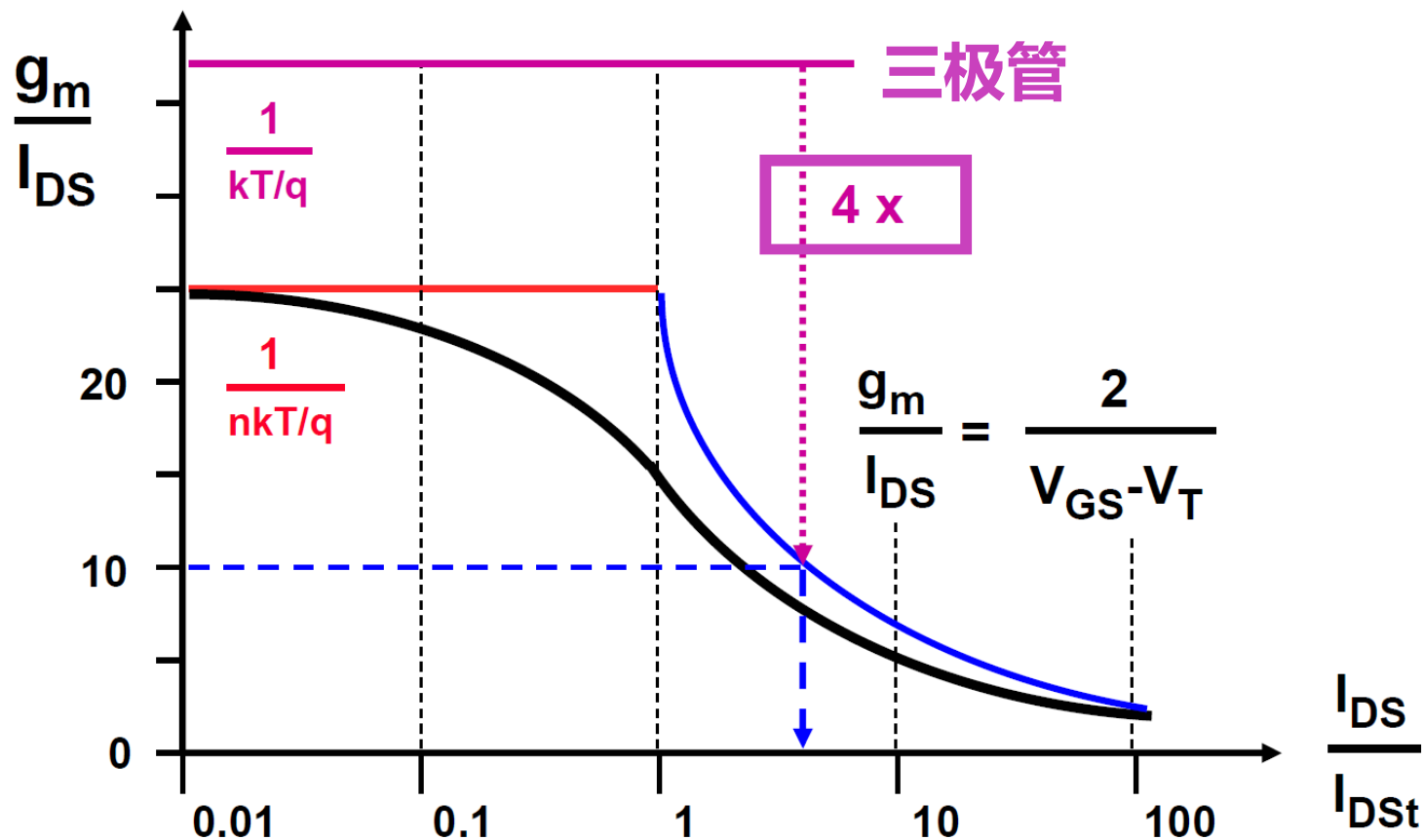
>>> 第一章: 晶体管

• 晶体管饱和状态下的基本公式

	弱反型区	强反型区	速度饱和区
电流ID	$I_{D0} \frac{W}{L} e^{\frac{V_{GS}}{n k T / q}}$	$\frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH})^2$	$W C_{OX} v_{sat} (V_{GS} - V_{TH})$
跨导gm	$\frac{I_{D,wi}}{n k T / q}$	$\begin{aligned} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (V_{GS} - V_{TH}) &= \\ \sqrt{2 \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} I_{DS}} &= \frac{2 I_{DS}}{V_{GS} - V_{TH}} \end{aligned}$	$W C_{OX} v_{sat}$

>>> 第一章: 晶体管

- g_m/I_D 在所有区间内大约在【25, 1】的范围内变动, 是设计的首要出发点。比如正常偏置下, $V_{GST}=0.2V$, 则 $g_m/I_D=10$



>>> 第一章: 晶体管

- 特征频率由晶体管跨导 g_m 和寄生电容 C_{GS} 决定

$$f_T = \frac{g_m}{2\pi C_{GS}}$$

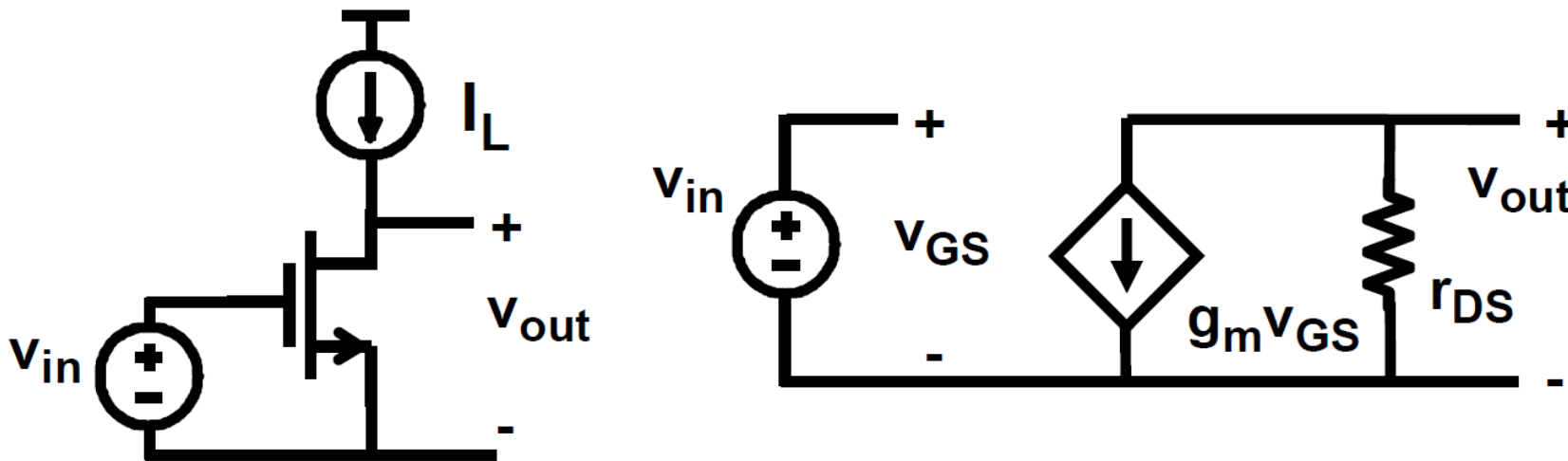
- 特征尺寸下:

反型区 \rightarrow
$$= \frac{1}{2\pi} \frac{3}{2n} \frac{\mu}{L^2} (V_{GS} - V_T)$$
 or
$$\approx \frac{V_{sat}}{2\pi L}$$
 \leftarrow 速度饱和区

- 在0.18um工艺下, 0.5V以下的 V_{GST} 可以认为没有进入速度饱和区

第二章：模拟电路的基本构成

• 单晶体管放大器

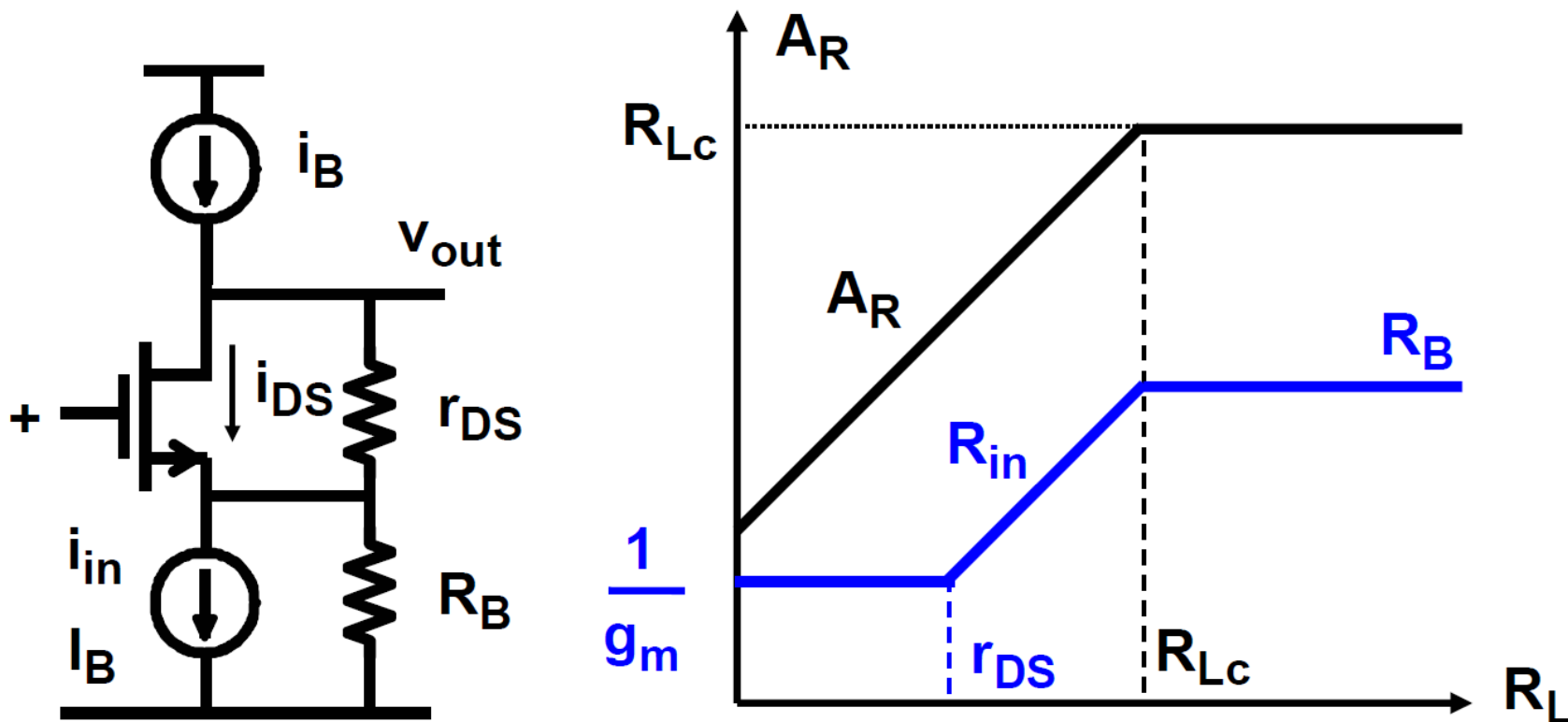


$$A_v = g_m r_{DS} = \frac{2 I_{DS}}{V_{GS} - V_T} \frac{V_E L}{I_{DS}} = \frac{2 V_E L}{V_{GS} - V_T}$$

• V_E 大约为 $40\text{V}/\mu\text{m}$

第二章：模拟电路的基本构成

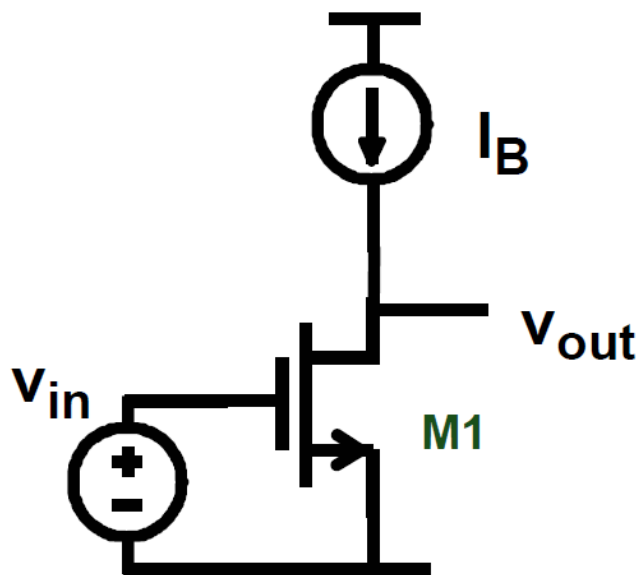
- Cascode（共源共栅极）



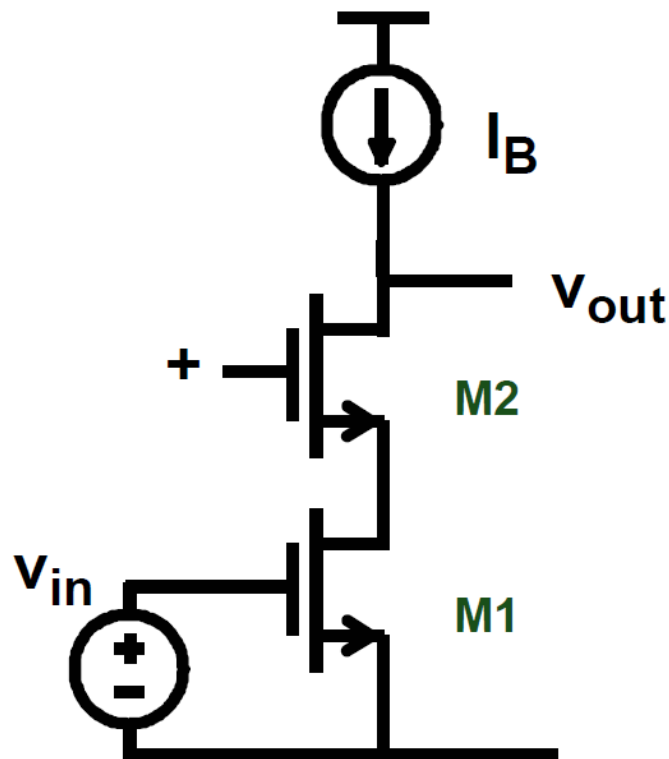
- 从源极看将漏极阻抗缩小A倍，最小至自身跨导倒数 $1/g_m$

第二章：模拟电路的基本构成

- Cascode（共源共栅极）



$$A_v = (g_m r_{DS})_1$$

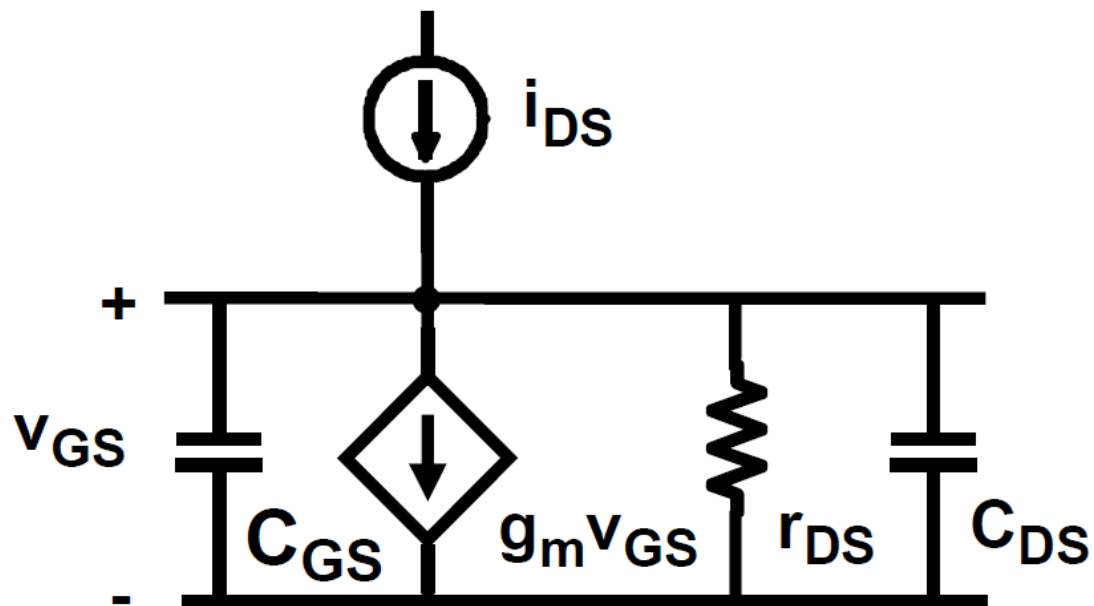
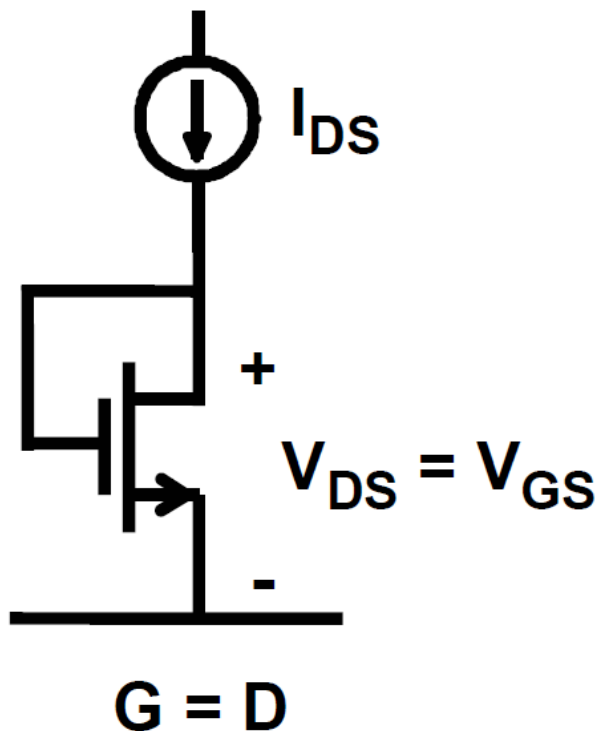


$$A_v = (g_m r_{DS})_1 (g_m r_{DS})_2$$

- 从漏极看将源极阻抗放大A倍

第二章：模拟电路的基本构成

• 二极管连接的晶体管

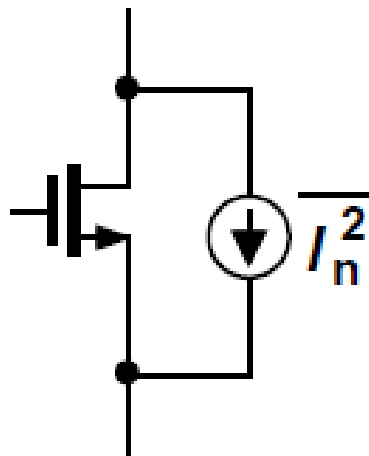


输入电阻 $r_{ds} = 1/g_m // r_{DS} \approx 1/g_m$



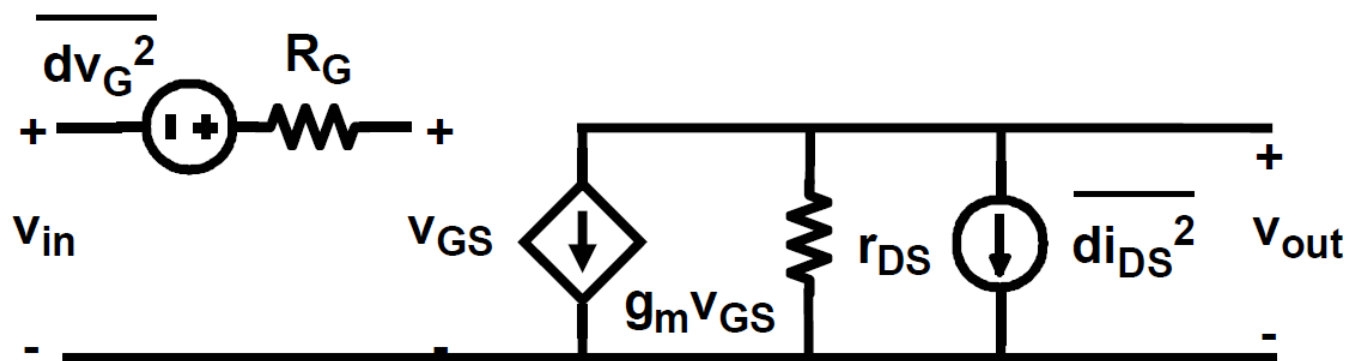
第三章：噪声

• 晶体管的热噪声



$$\overline{di_n^2} = 4kT/R = 4kT\gamma g_m$$

• 通道电流等效



$$\overline{dv_{ieqn}^2} = 4kT\gamma/g_m$$

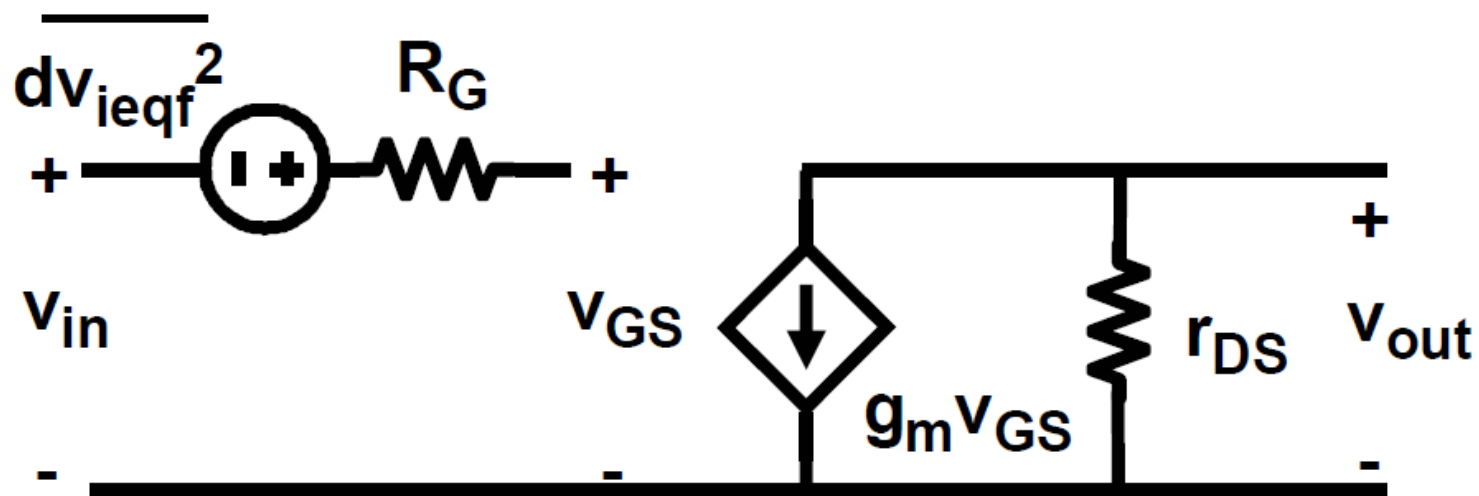
• 输入电压等效

• 热噪声由晶体管跨导 g_m 决定



第三章：噪声

• 晶体管的闪烁噪声



$$\overline{dv_{ieqf}^2} = \frac{KF_F}{WLC_{OX}^2} \frac{\delta f}{f}$$

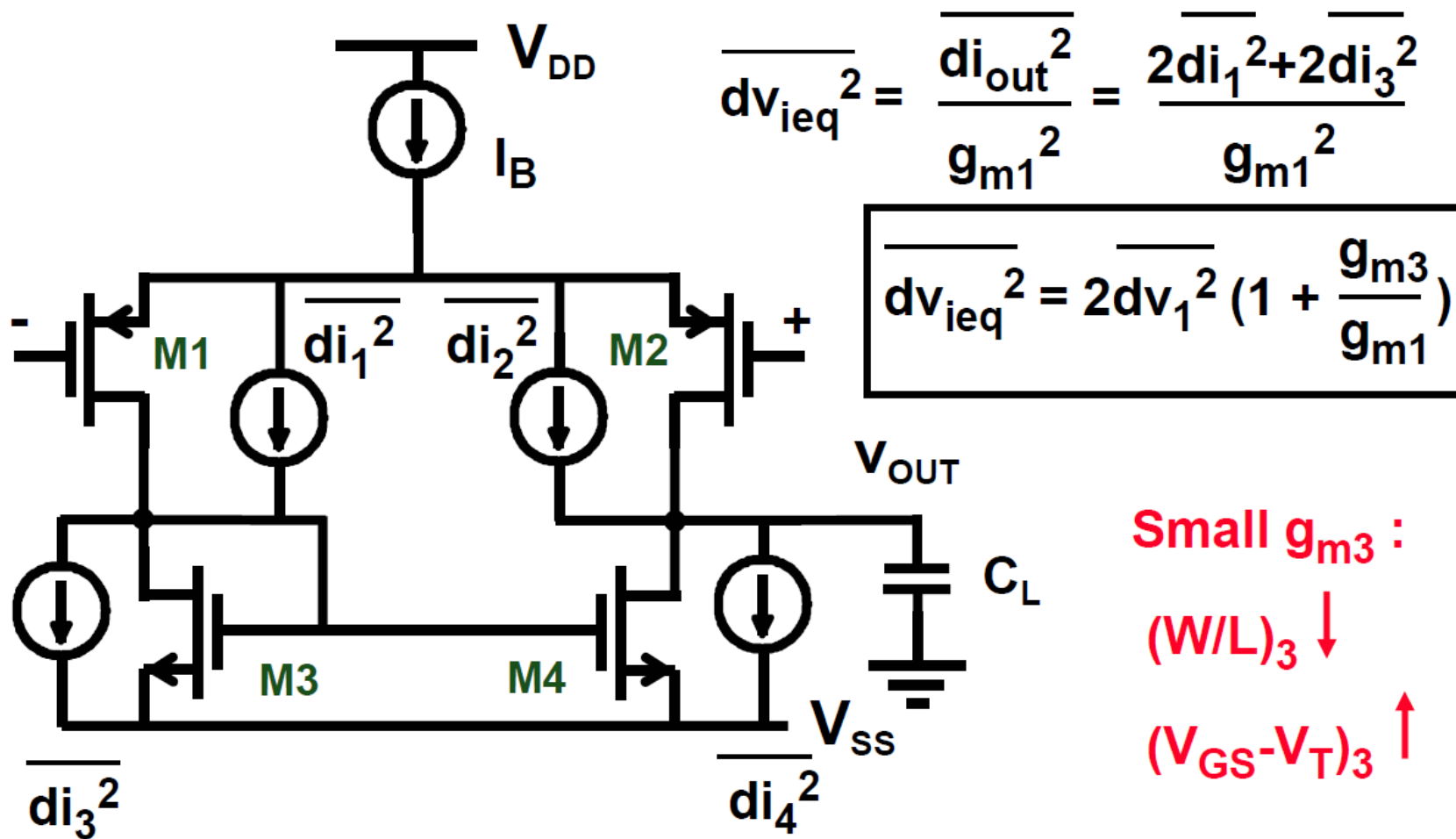
• 输入电压等效

• 闪烁噪声由晶体管面积决定



第三章：噪声

- 输入等效噪声的换算：所有噪声在**输出**出累加，然后根据**放大倍数**转换到输入



第四章：失调

• 随机失调由三部分组成：

1. 阈值电压 V_{TH} 的偏差
2. 晶体管尺寸的偏差
3. 半导体参数的偏差，基本可以忽略

$$I_{DS} = K' W/L (V_{GS} - V_T)^2$$

$$\sigma_{\Delta V_T} = \frac{A_{V_T}}{\sqrt{WL}} \quad (1)$$

$$A_{V_T} \sim t_{ox} \sqrt[4]{N_B}$$

$$\frac{\Delta W/L}{W/L} = A_{WL} \sqrt{\frac{1}{W^2} + \frac{1}{L^2}} \quad (2)$$

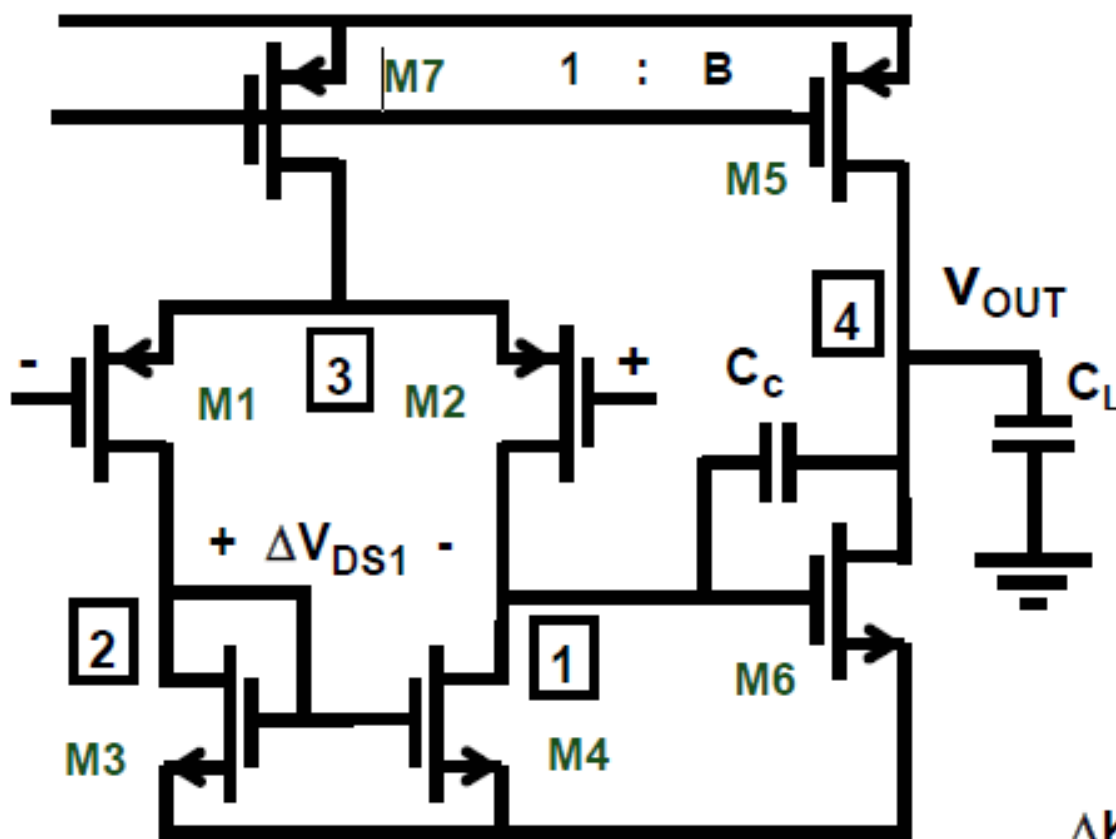
$$A_{WL} \approx 0.02 \text{ mV } \mu\text{m}$$

$$\frac{\Delta K'}{K'} = \frac{A_{K'}}{\sqrt{WL}} \quad (3)$$

$$A_{K'} \approx 0.0056 \text{ } \mu\text{m}$$

第四章：失调

- 等效输入随机失调的主要构成：



$$A_{v1} = g_{m1} r_{o2} // r_{o4}$$

$$v_{OS} = \frac{\Delta V_{DS1}}{A_{v1}} + \boxed{\Delta V_{T1}} + \boxed{\frac{g_{m3}}{g_{m1}} \Delta V_{T3}} +$$

$$\boxed{+ \frac{V_{GS1} - V_T}{2} S}$$

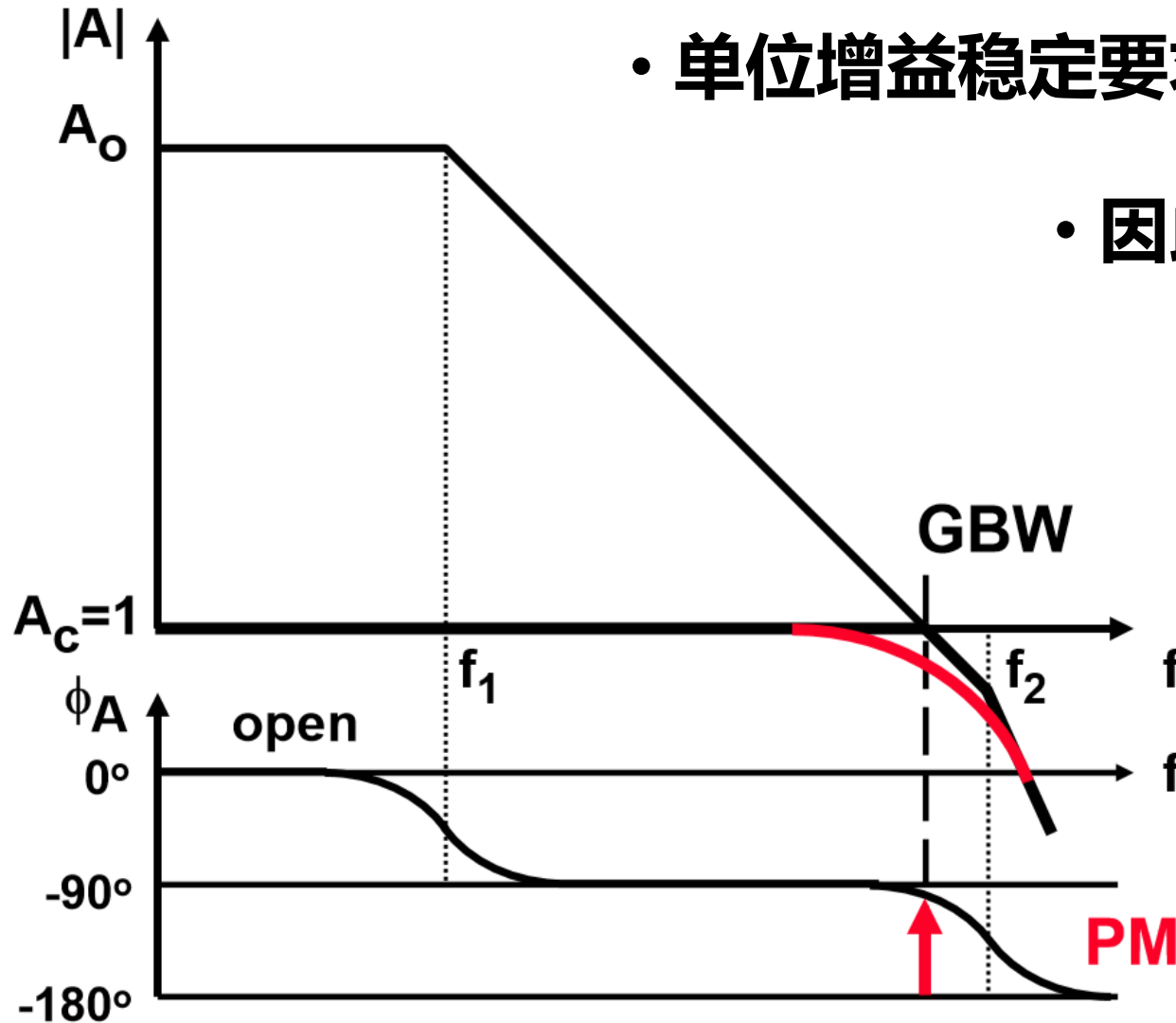
$$S = \frac{\Delta K'_n}{K'_n} + \frac{\Delta K'_p}{K'_p} + \frac{\Delta W/L_1}{W/L_1} + \frac{\Delta W/L_3}{W/L_3}$$

1. 差分对的阈值电压失调

2. 电流镜的阈值电压失调，经过跨导比例转换

3. 所有尺寸的因素，经过差分对过驱动电压转换

第五章：运放的稳定性与系统性设计



- 单位增益稳定要求：次极点在**开环增益降到1之后**

- 因此，**开环增益降到1**的频率就等于**增益带宽积GBW**

$$f_2 \approx 3 \text{ GBW}$$

$$\text{PM} \approx 70^\circ$$

第五章：运放的稳定性与系统性设计

- 次极点的选择取决于系统的要求

$\frac{f_2}{GBW}$	PM (°)	$\zeta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{f_2}{GBW}}$	P_f (dB)	P_t (dB)
0.5	27	0.35	3.6	2.3
1	45	0.5	1.25	1.3
1.5	56	0.61	0.28	0.73
2	63	0.71	0	0.37
3	72	0.87	0	0.04

第五章：运放的稳定性与系统性设计

- 两级运放的GBW由第一级跨导 g_{m1} 和补偿电容 C_c 决定
- 次极点由第二级跨导 g_{m2} 和负载电容 C_L 决定

$$\text{GBW} = \frac{g_{m1}}{2\pi C_c} \quad f_{nd} = 3 \text{ GBW} = \frac{g_{m2}}{2\pi C_L} \frac{1}{1 + \underbrace{\frac{C_{n1}}{C_c}}_{\approx 0.3}}$$

$$\frac{g_{m2}}{g_{m1}} \approx 4 \frac{C_L}{C_c}$$

Larger current in 2nd stage !

第五章：运放的稳定性与系统性设计

$$GBW = \frac{g_{m1}}{2\pi C_c} \quad f_{nd} = 3 GBW = \frac{g_{m2}}{2\pi C_L} \frac{1}{1 + \frac{C_{n1}}{C_c}}$$

- 为什么 C_c 不能太大？

- C_c 太大会使 g_{m1} 的要求过大，导致功耗激增

- 为什么 C_c 不能太小？

- C_c 太小会 f_{nd} 中的系数 $(1 + C_{n1}/C_c)$ 快速上升，导致 f_{nd} 下降

第五章：运放的稳定性与系统性设计

$$GBW = \frac{g_{m1}}{2\pi C_c}$$

C_c 的选择=>

$$C_L = \alpha C_c \quad \alpha \approx 2$$

$$C_c = \beta C_{n1} = \beta C_{GS6} \quad \beta \approx 3$$

$$f_{nd} = \frac{g_{m6}}{2\pi C_L} \frac{1}{1 + C_{n1}/C_c}$$





$$f_{nd} = \gamma GBW \quad \gamma \approx 2$$

$$C_{GS} = kW \quad k = 2fF/\mu m, \text{ for minL}$$

$$GBW = \frac{f_{nd}}{\gamma} = \frac{g_{m6}}{2\pi C_L} \frac{1}{\gamma (1 + 1/\beta)}$$

$$C_L = \alpha C_c = \alpha \beta C_{n1} = \alpha \beta C_{GS6} = \alpha \beta kW_6 \quad W_6 \uparrow \uparrow \text{ if } C_L \uparrow \uparrow$$

第五章：运放的稳定性与系统性设计

1. 选择 α β γ  根据运放应用的具体要求确定
2. 找到满足GBW最小的 f_T
3. 根据增益要求选择 L_6
 - 得到 f_{TH6} 如果没有增益要求，可以使用最小长度。根据所选择长度计算晶体管可以支持的频率。
4. 根据 C_L 和 L_6 计算 W_6  如若没有面积限制，宽度越宽越好，直至 $C_{GS}(C_{n1})$ 的限制
5. 根据 I_{DSH6} 和反型系数 i 计算 I_{DS6}
 - $K_n' = 280\mu A/V^2$ 根据计算所得长宽比，得到该尺寸强反型区的跨导 g_m ；根据该跨导和所需跨导的比例，计算偏置电流。
6. 通过选择的 α 和 C_L 计算 C_C
7. 通过 C_C 计算 g_{m1} 和 I_{DS1}