

---

# Компаратори

---

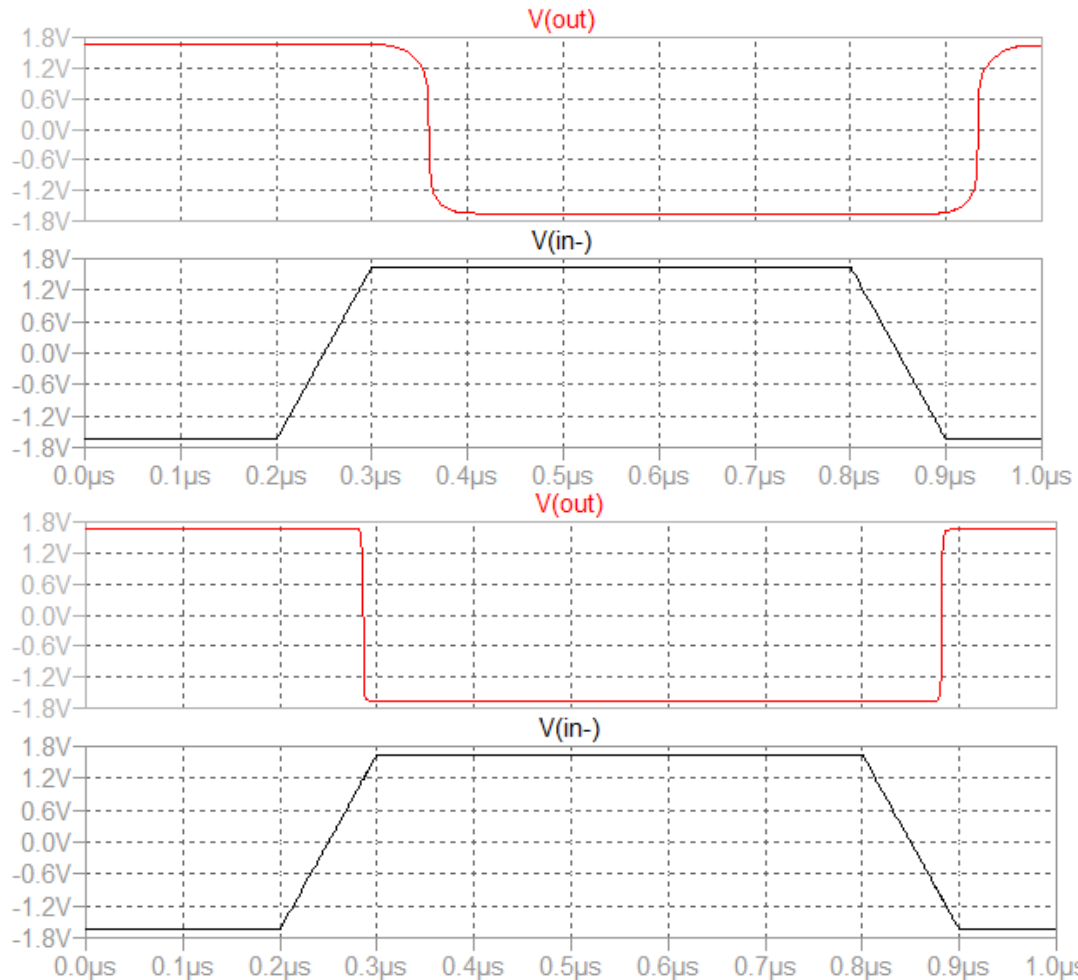
**Проектиране на аналогови интегрални схеми**

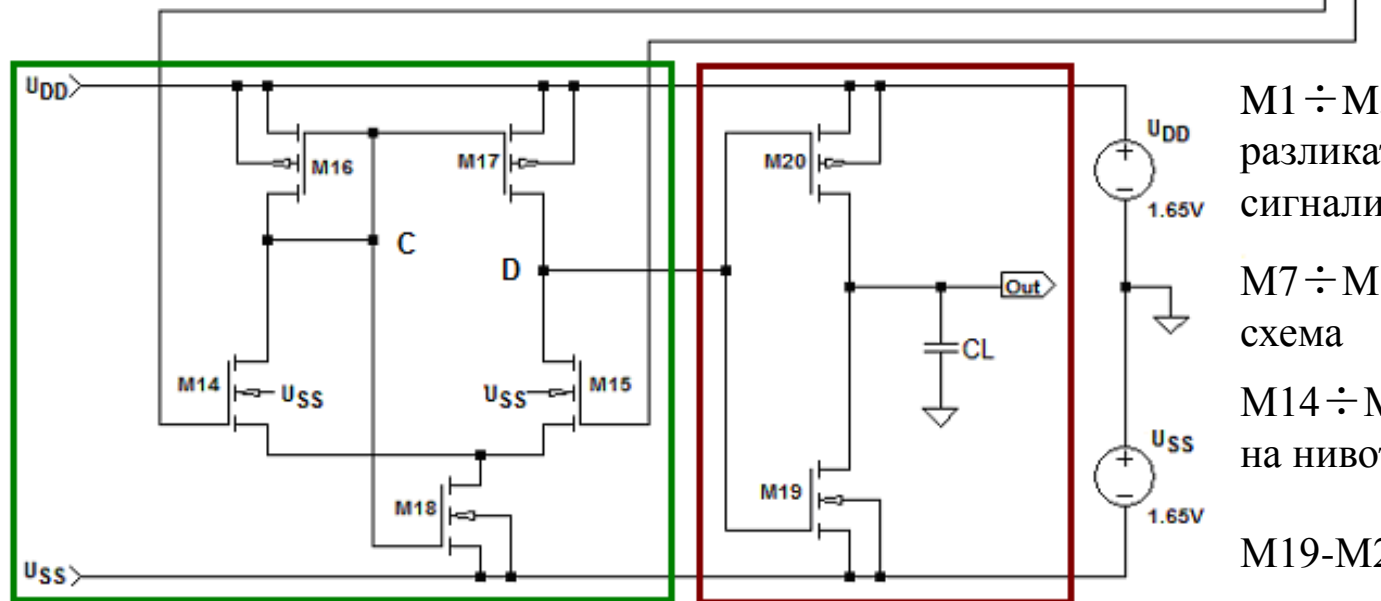
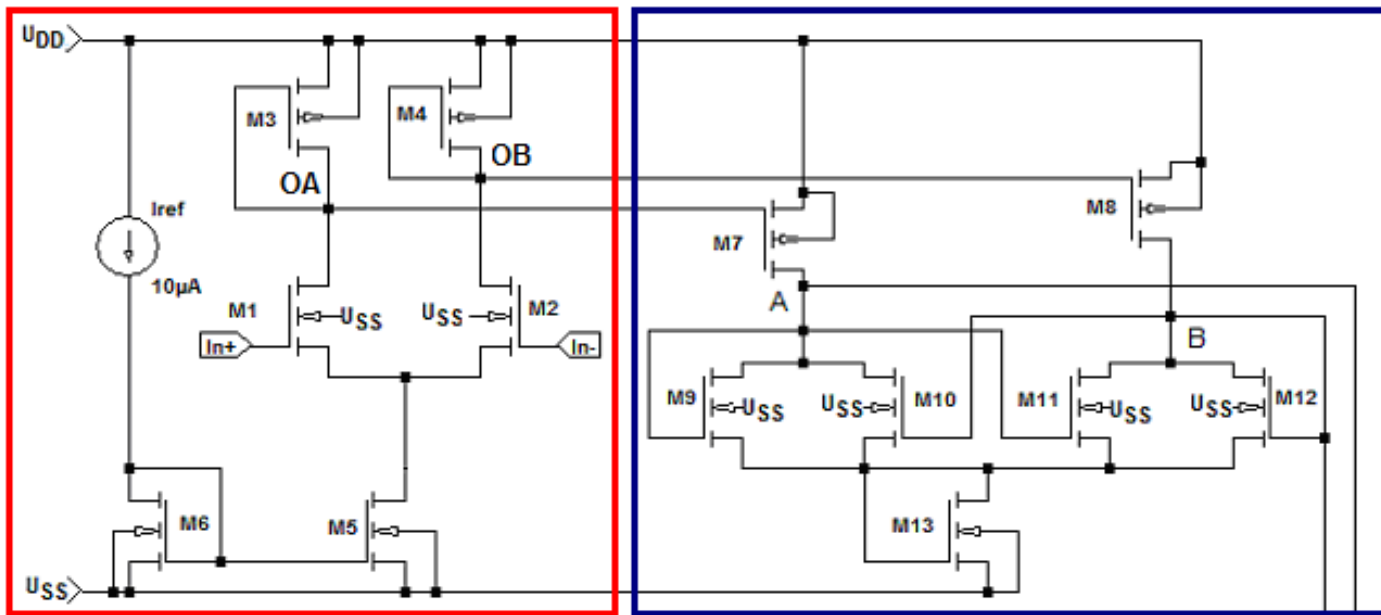
**Емил Д. Манолов, [edm@tu-sofia.bg](mailto:edm@tu-sofia.bg)**

**кат. “Електронна техника”, Технически университет - София**

# ОСНОВНИ ИЗИСКВАНИЯ

- Висока скорост на нарастване на изходния сигнал;
- Минимално закъснение на изходния сигнал



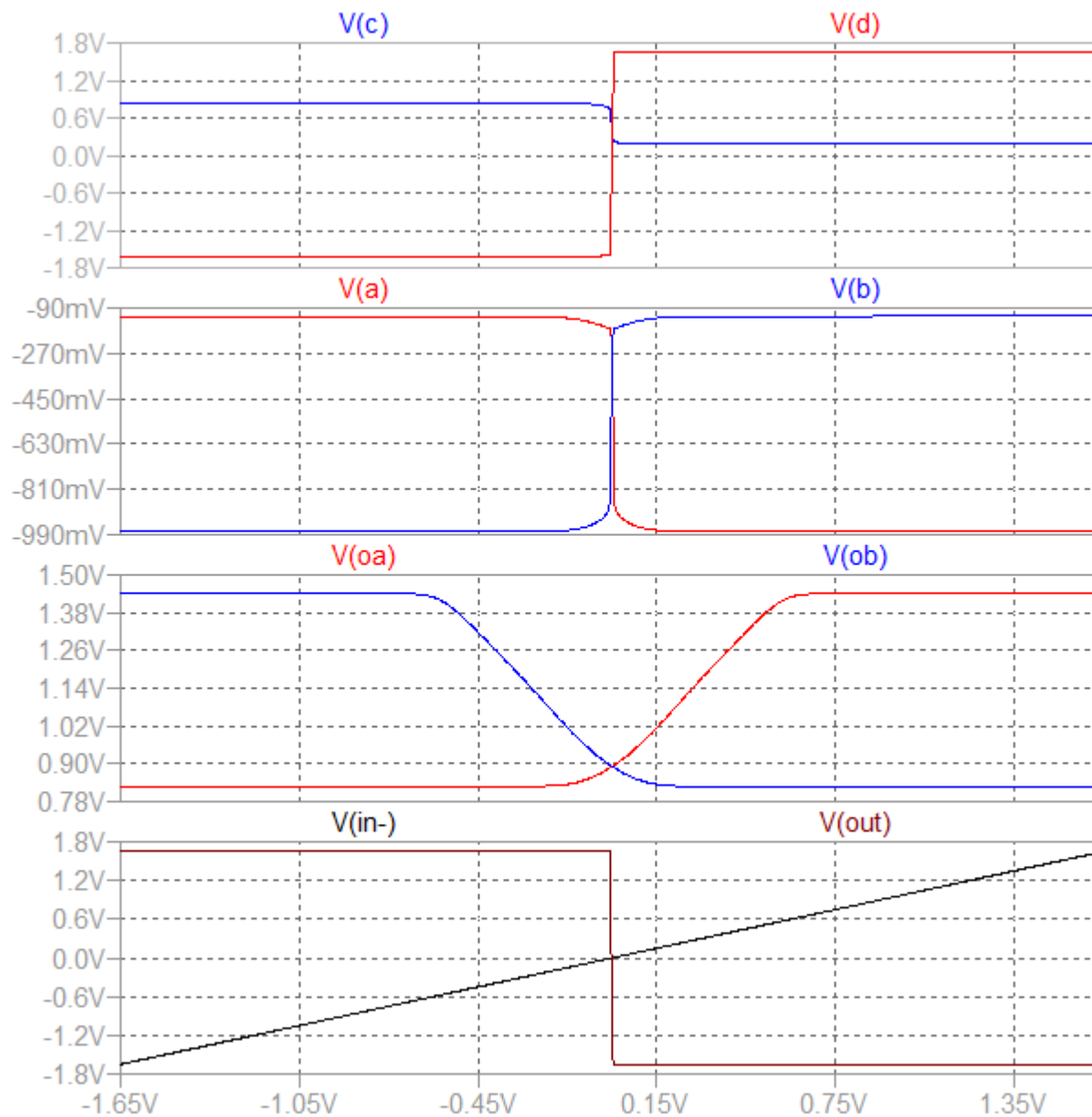


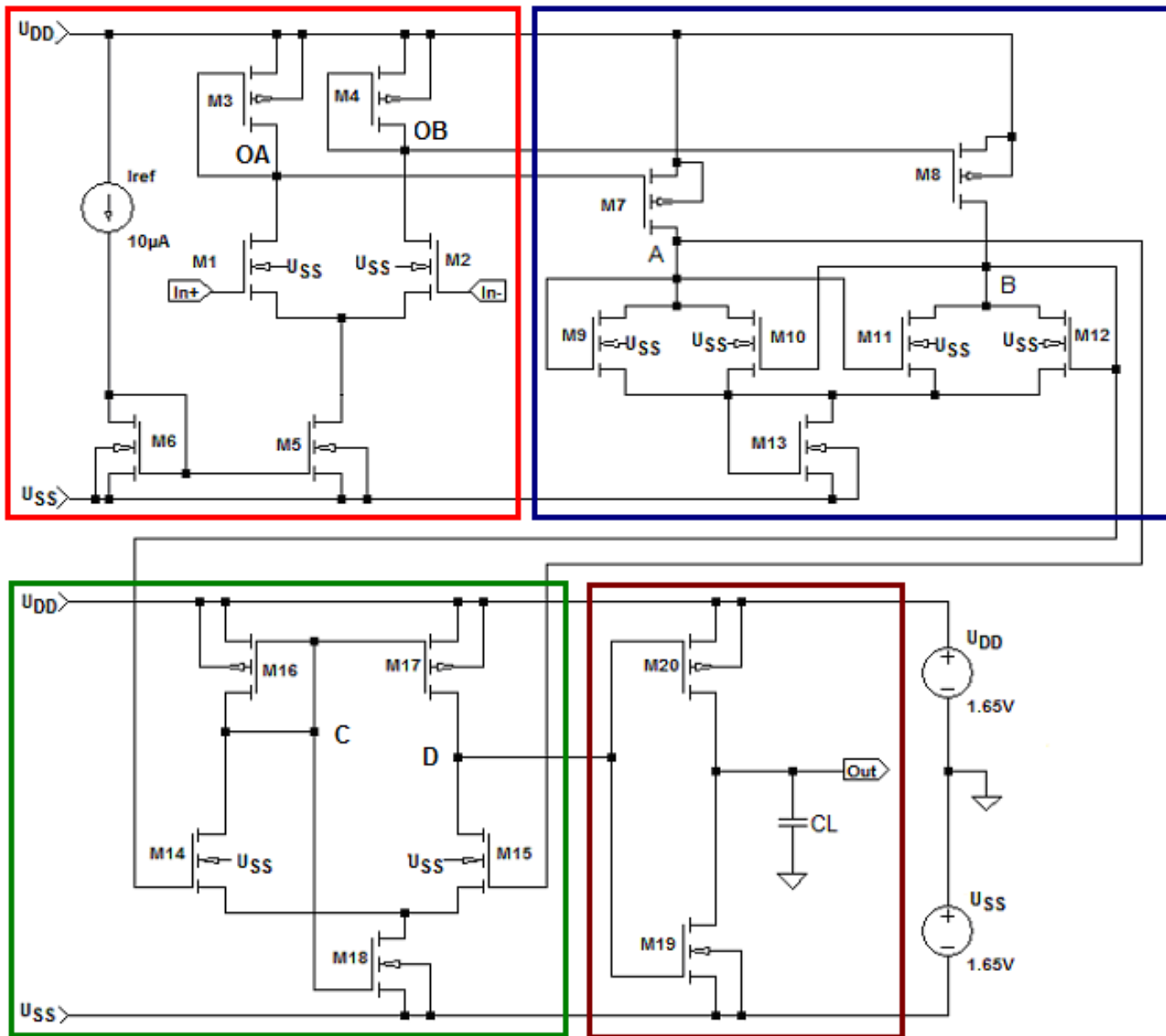
M1 ÷ M5 – предусилвател на разликата между входните сигнали

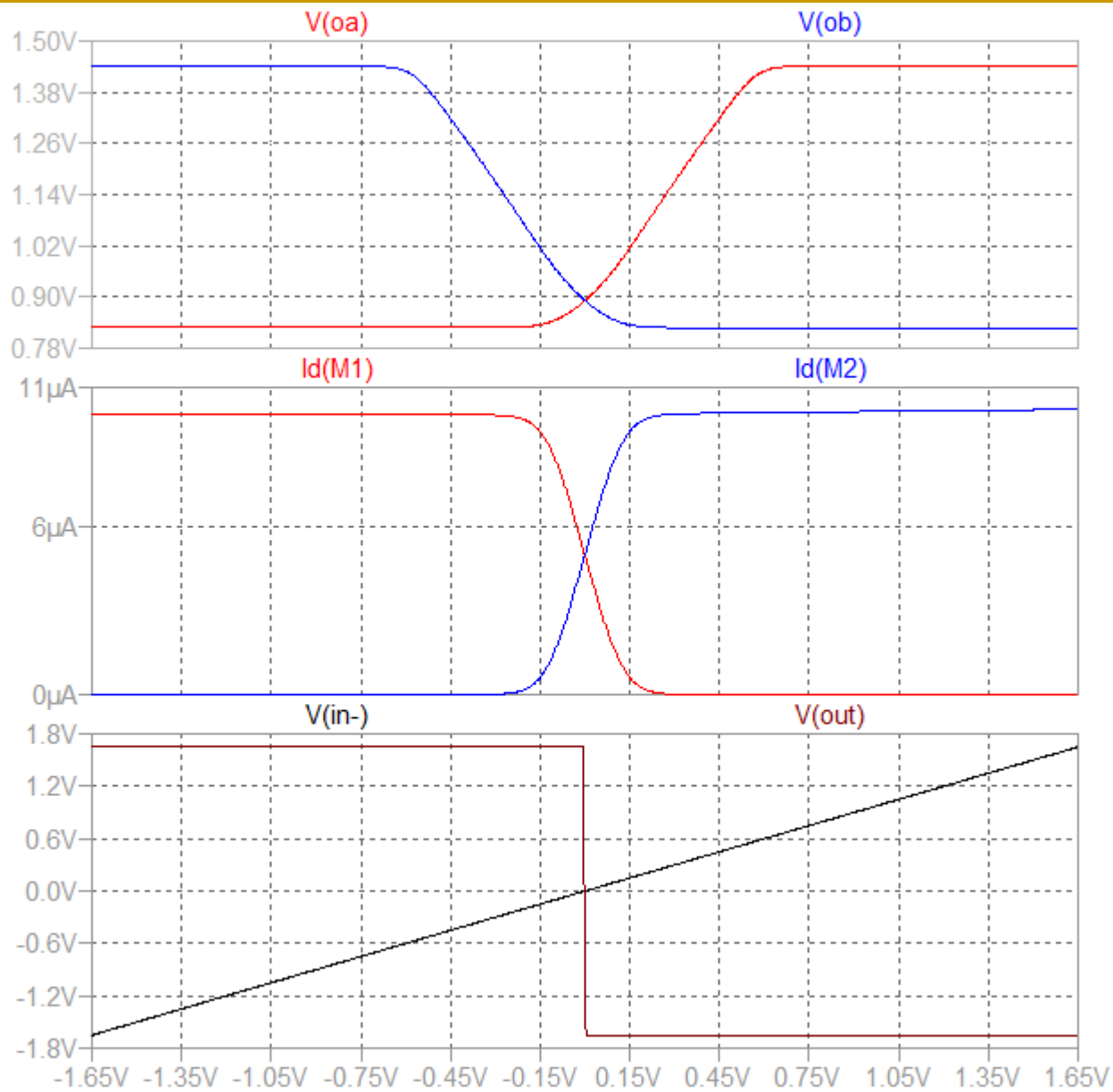
M7 ÷ M13 - превключваща схема

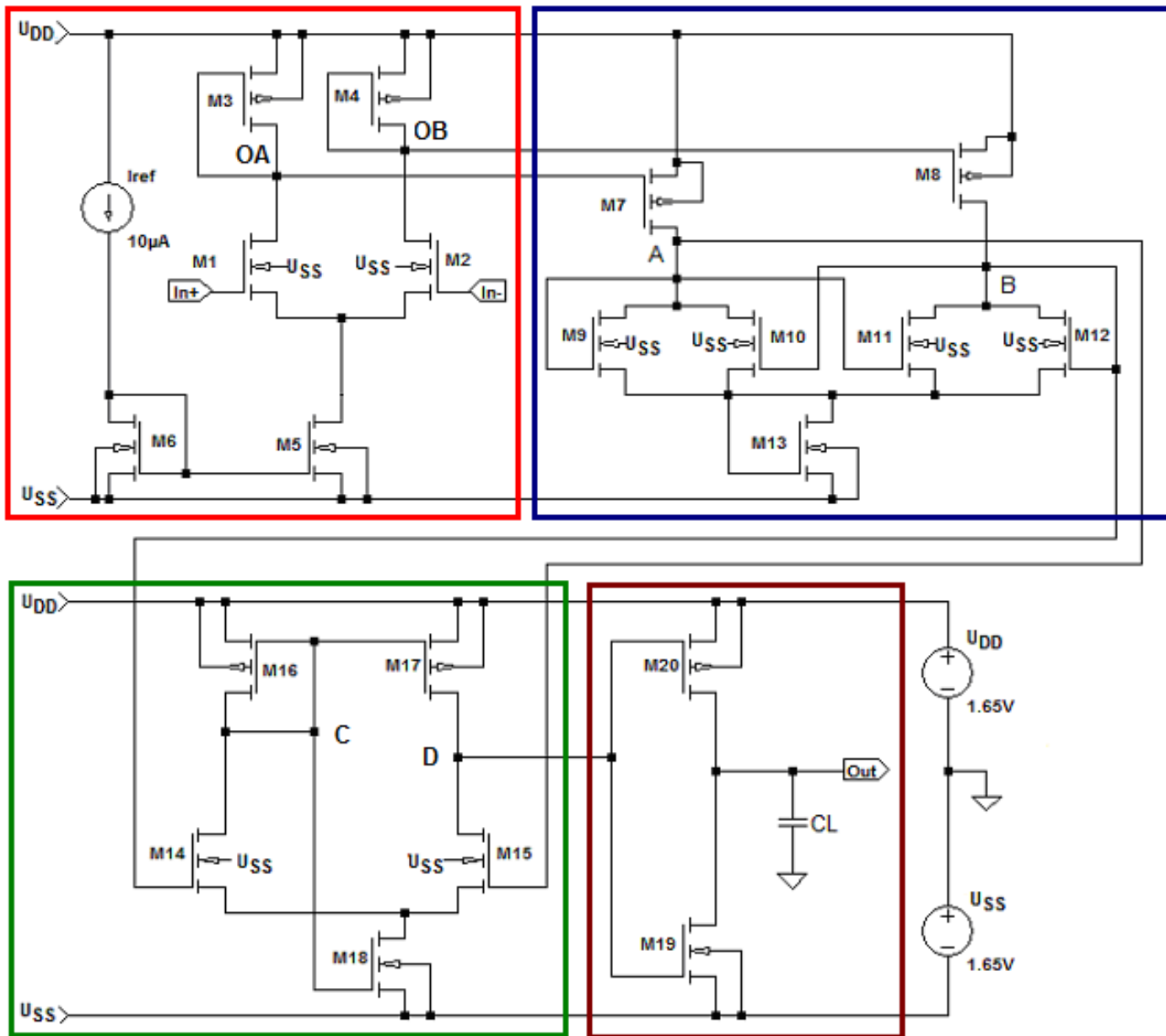
M14 ÷ M18 – преобразувател на нивото на сигнала

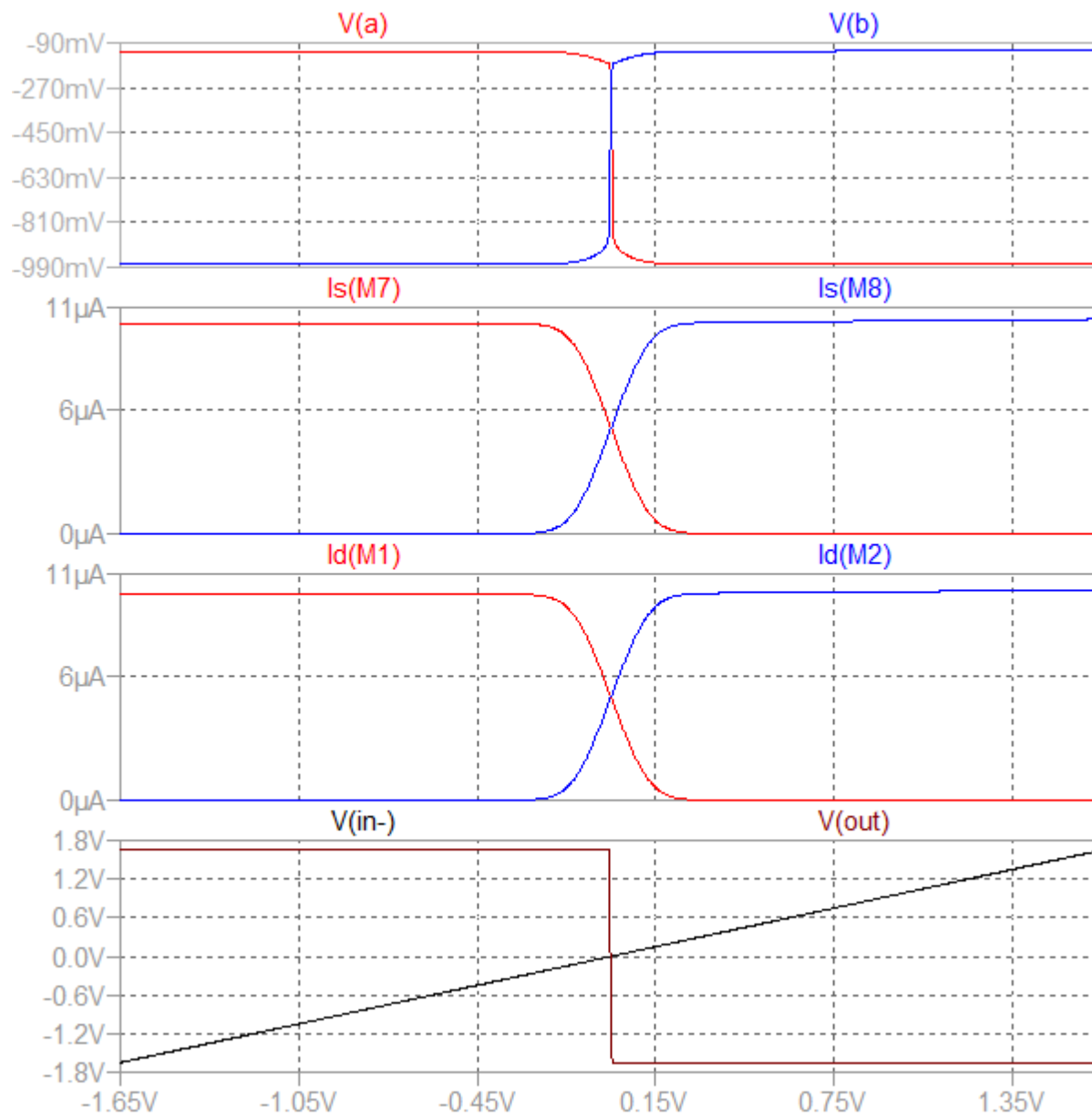
M19-M20 – изходен буфер



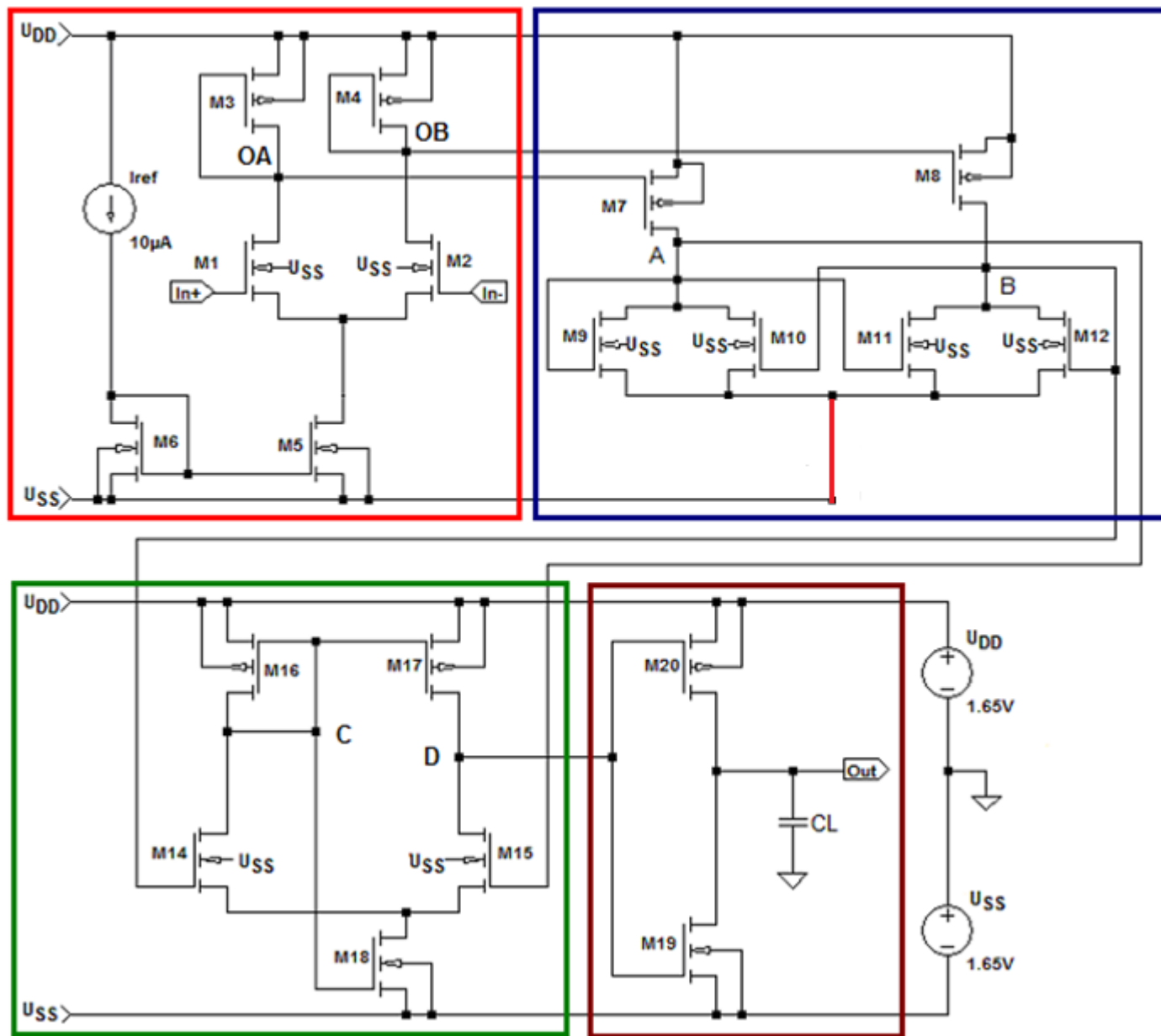


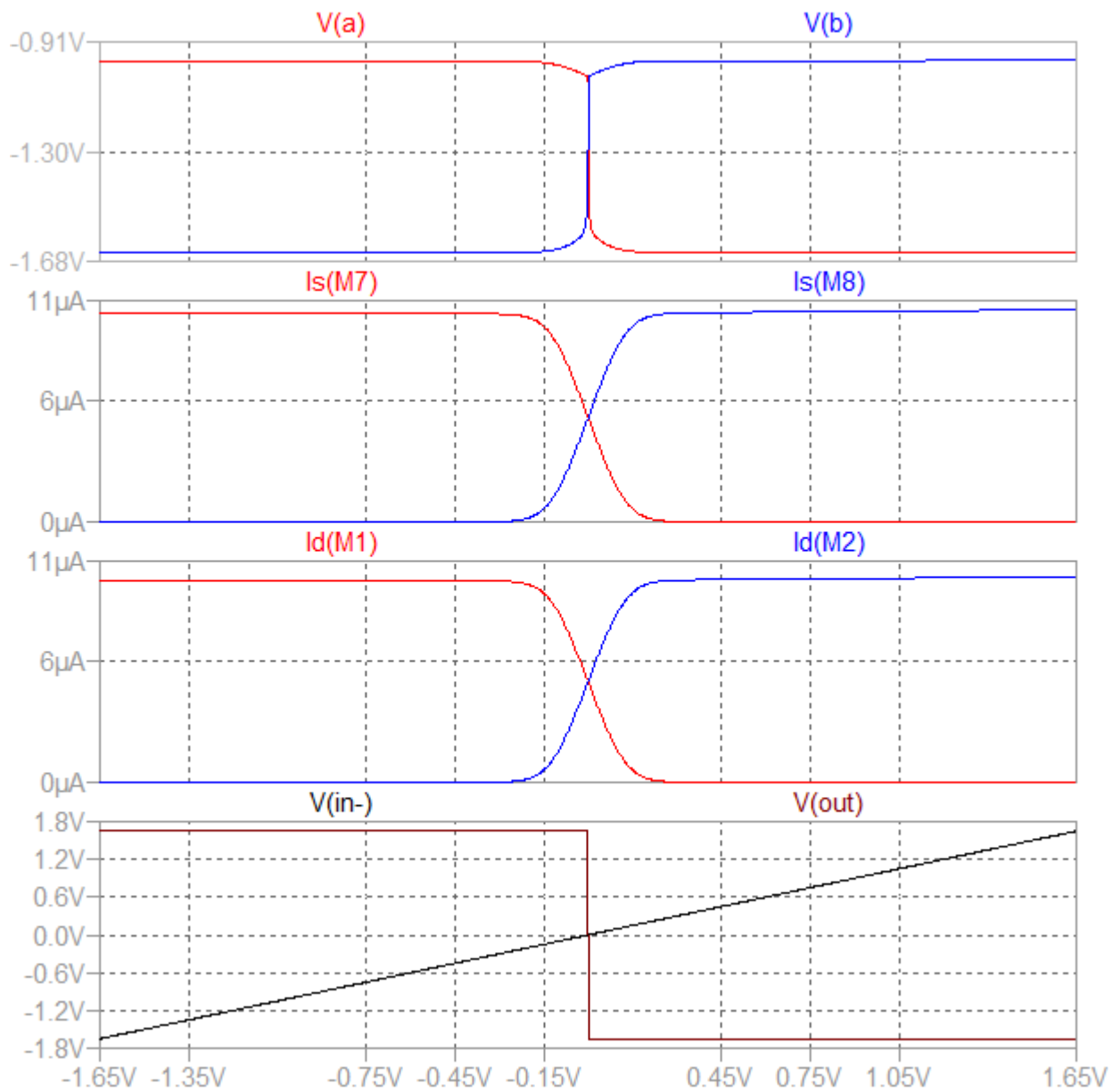


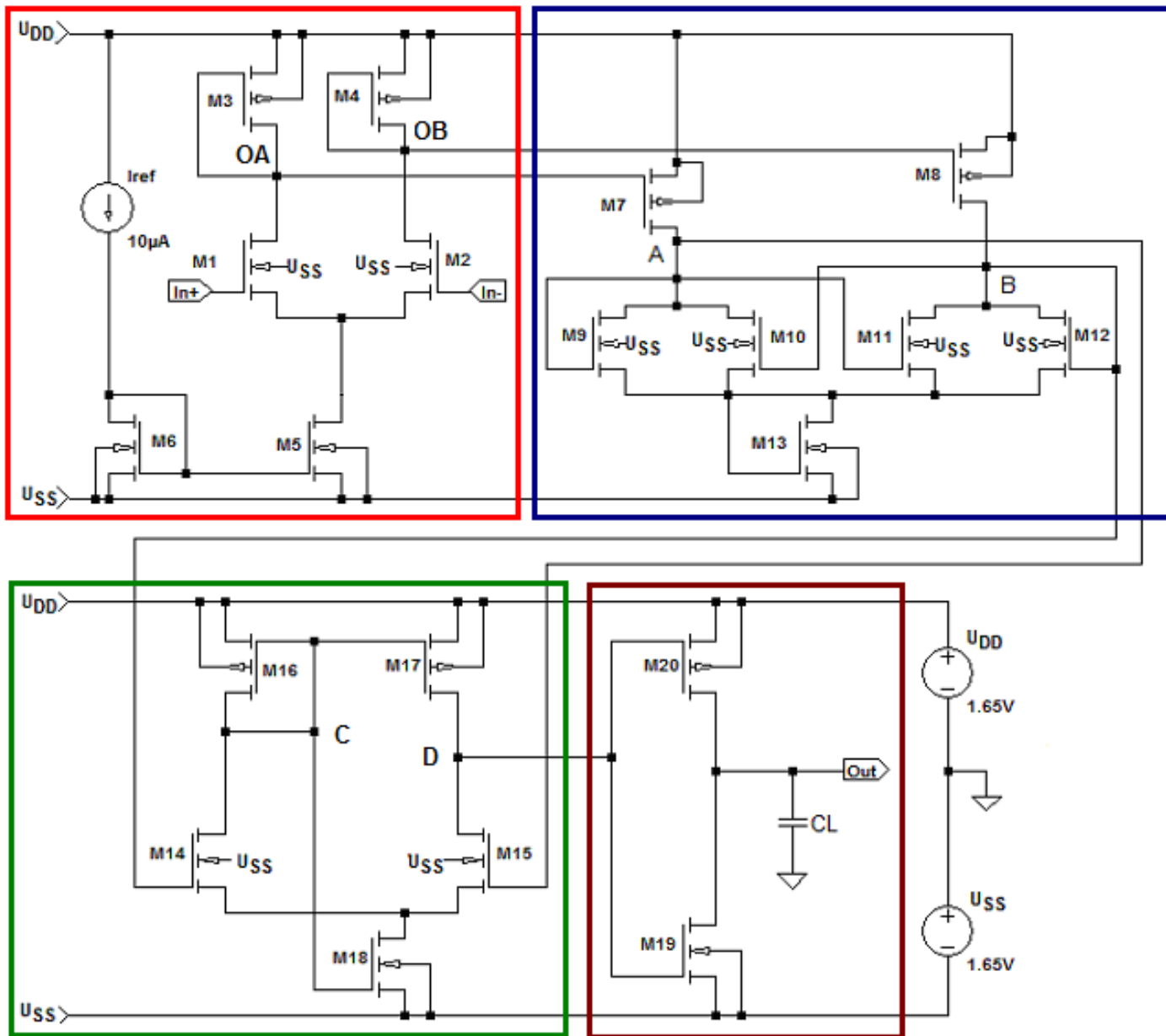


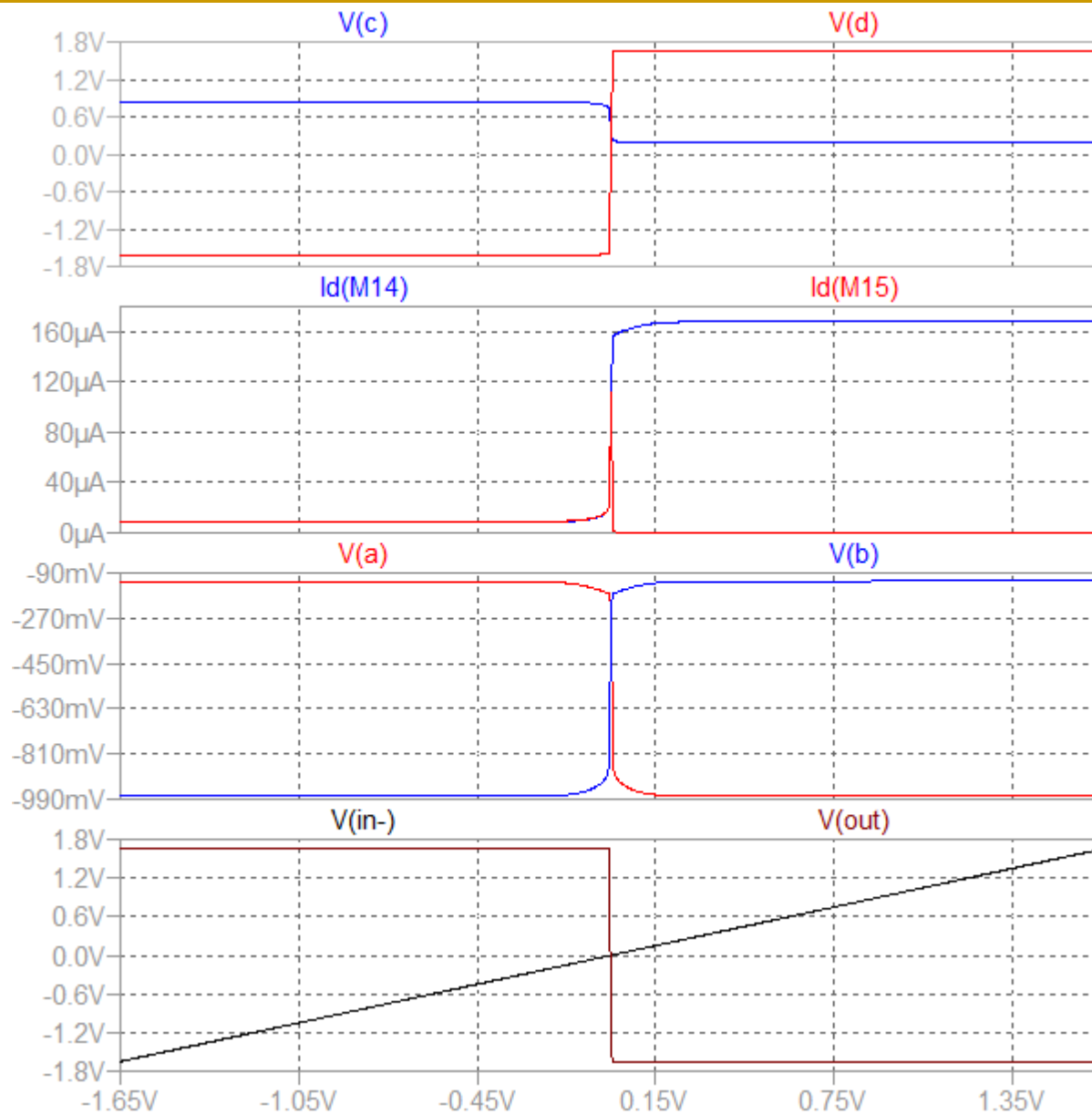


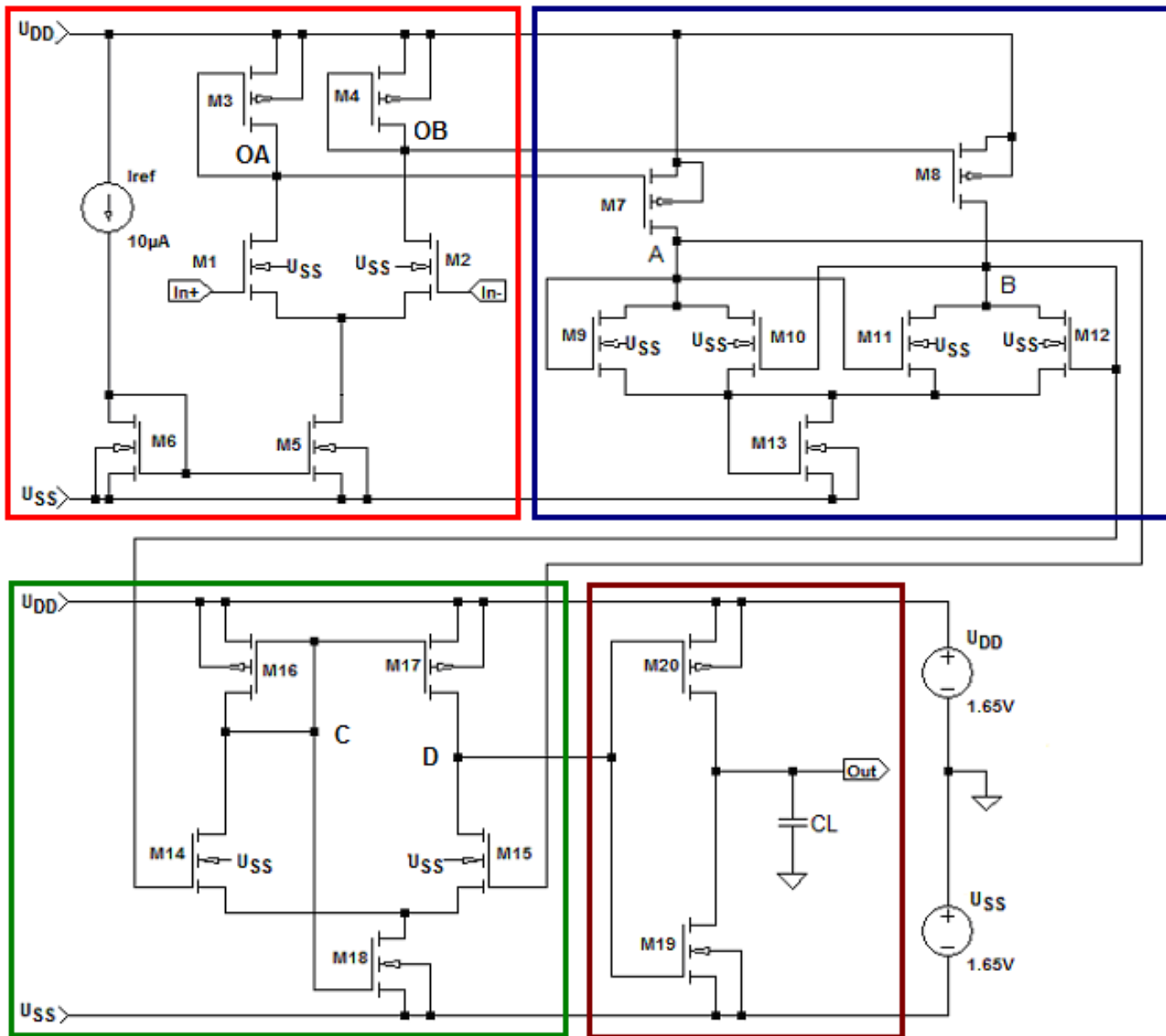


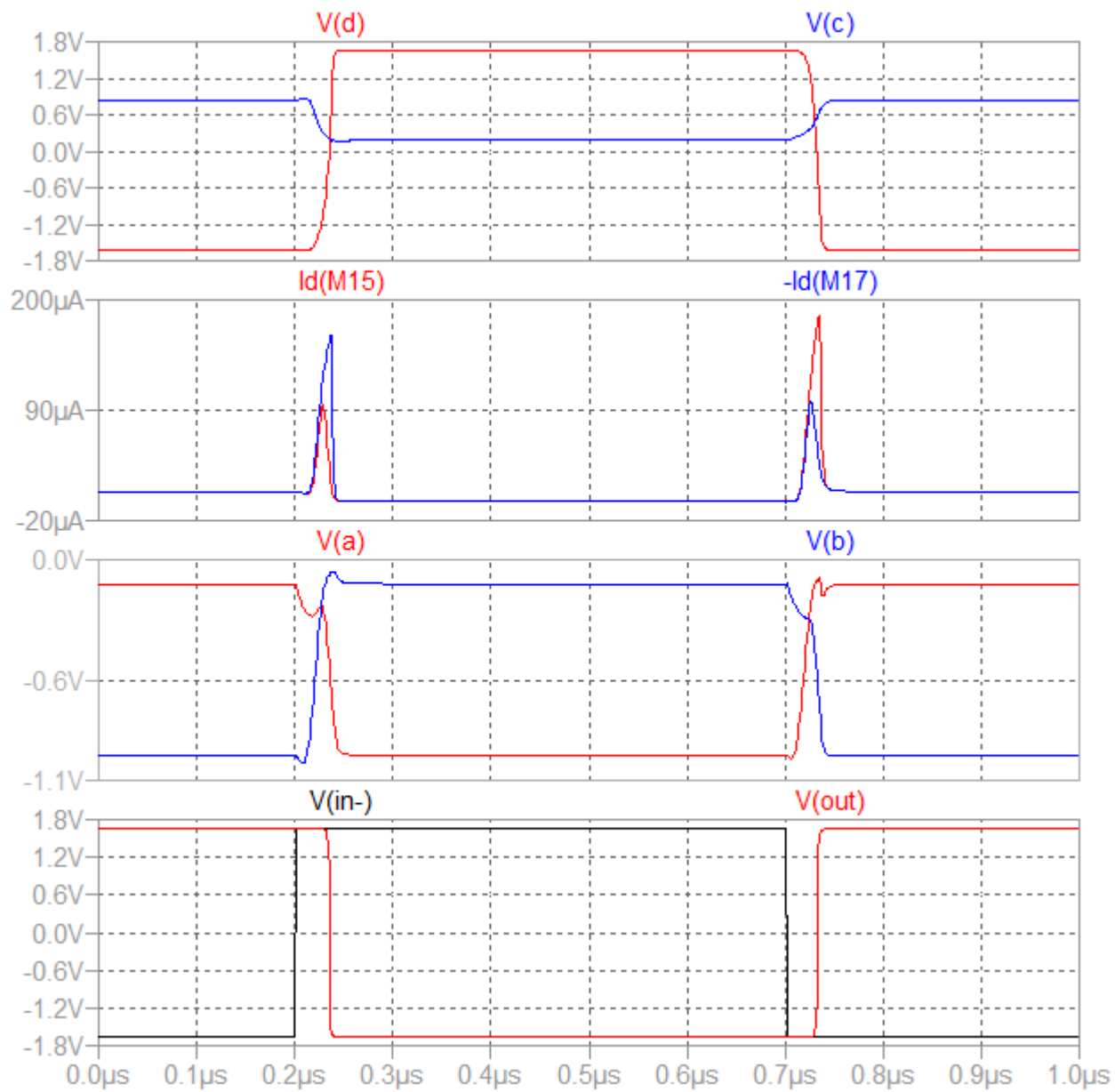


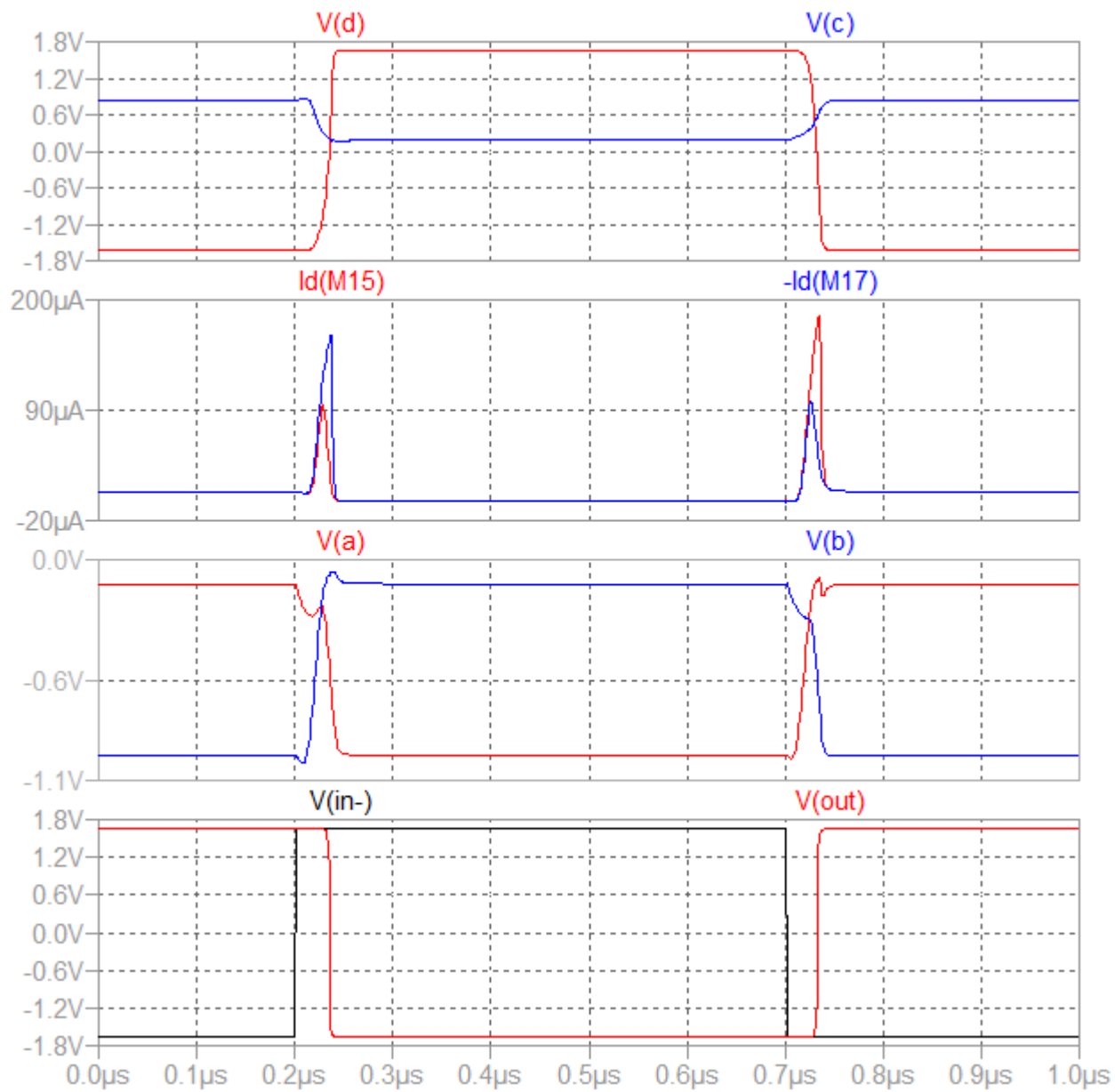


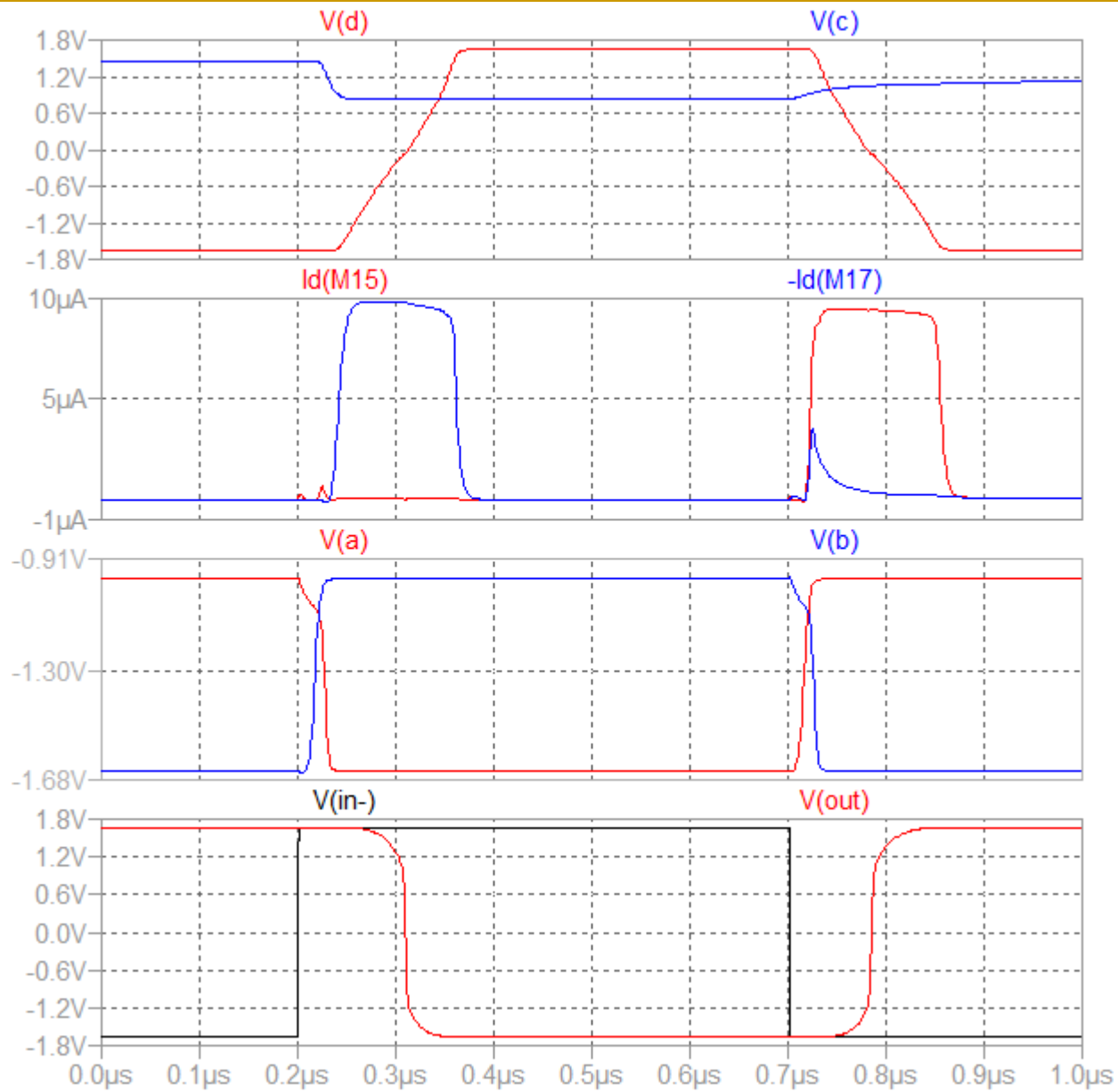






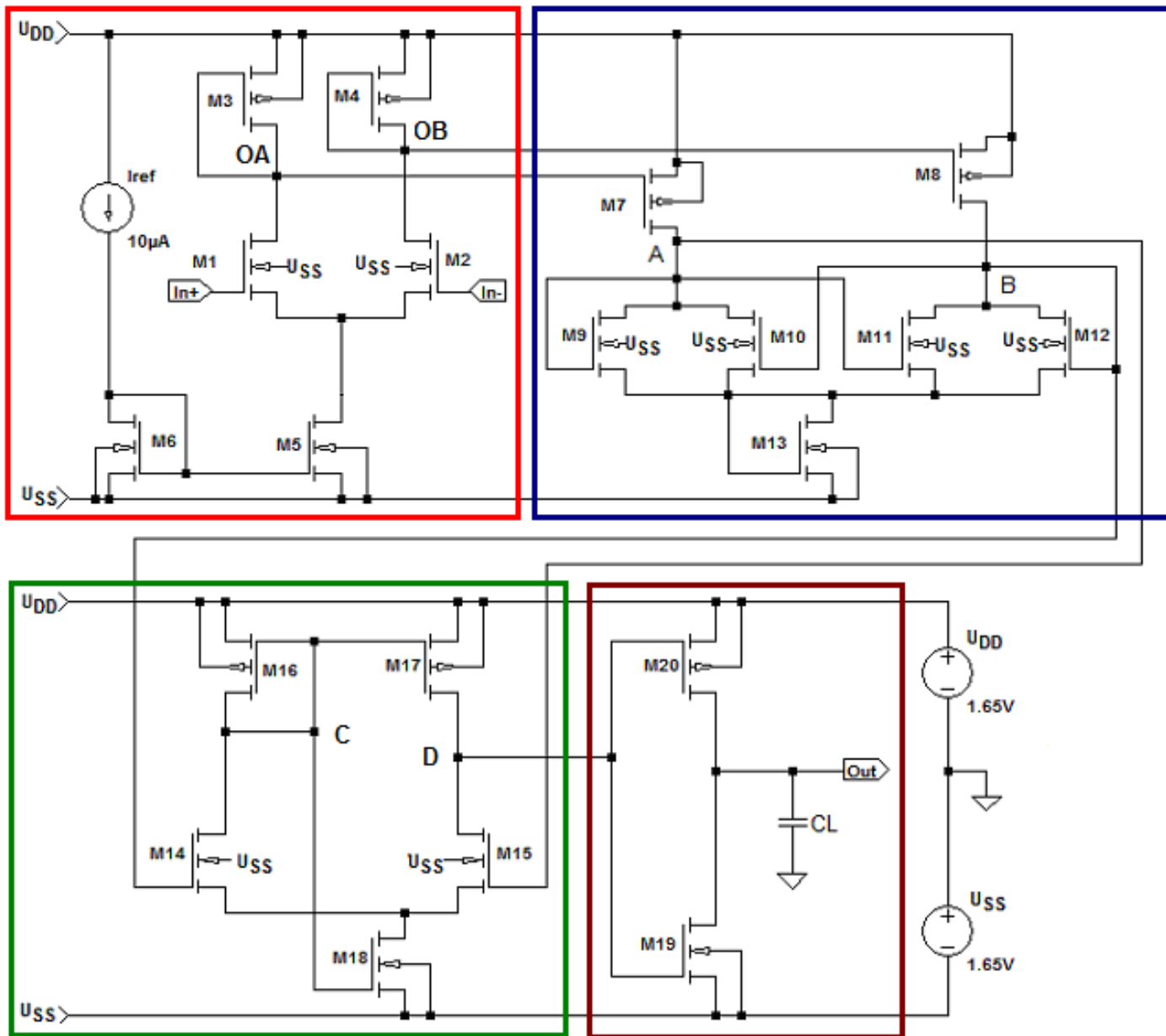


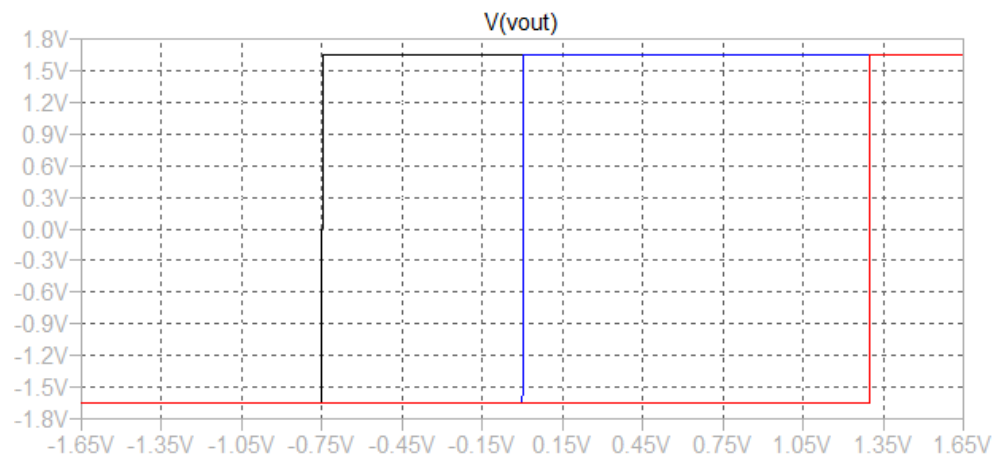
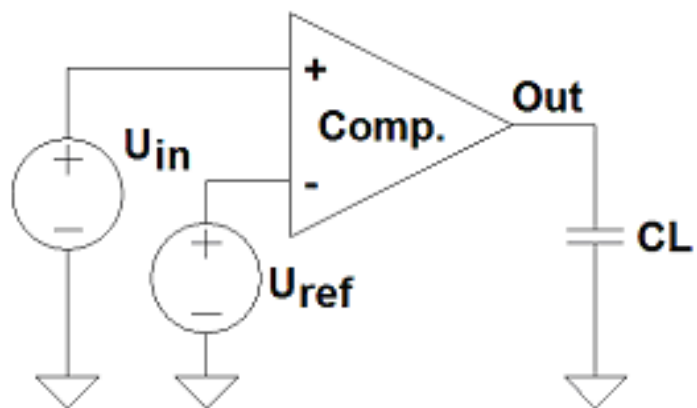
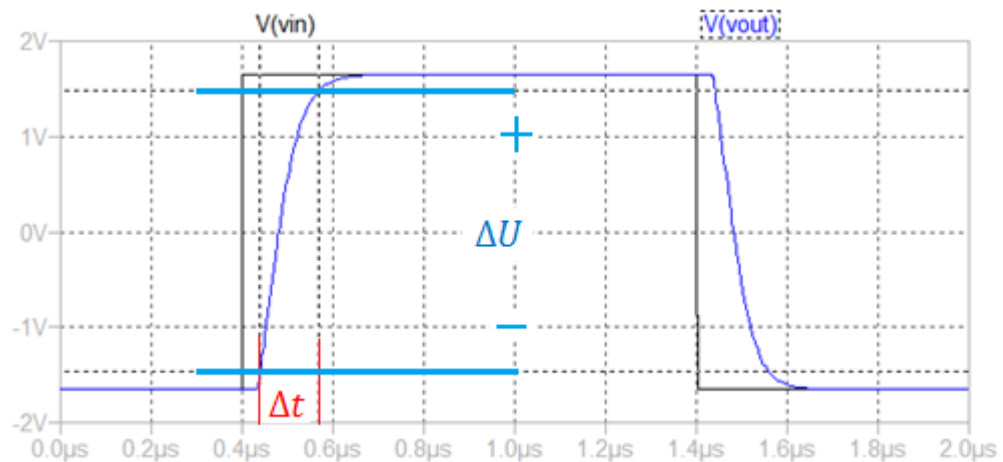
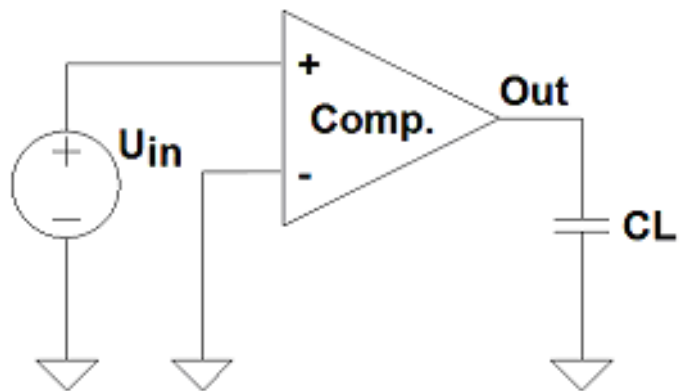




M13 - НАКЪСО







---

# Интегрални датчици на температура

---

Проектиране на аналогови интегрални схеми

Емил Д. Манолов, [edm@tu-sofia.bg](mailto:edm@tu-sofia.bg)  
кат. “Електронна техника”, Технически университет - София

# Температурни зависимости в полупроводниковите материали

**Експоненциално нарастване на обратния ток на полупроводников  $p$ - $n$  преход при повишаване на температурата.**

Напр. при Si:

$$I_s(T_2) \approx I_s(T_1) \cdot 2^{(T_2 - T_1)/10^\circ}$$

Недостатъци:

- Поради вариациите на технологичния процес стойността на тока при дадена температура и скоростта на изменението му при промяна на температурата се различават значително при различните екземпляри;

- Изменението на обратния ток от температурата е силно нелинейно, което води до трудности при преобразуването.

Напр., ако Si диод има  $I_s(20^\circ\text{C})=1\text{nA}$ , то при:  $I_s(50^\circ\text{C})\approx 8\text{nA}$ ;  $I_s(80^\circ\text{C})\approx 32\text{nA}$ ;  $I_s(110^\circ\text{C})\approx 256\text{nA}$ ;  $I_s(140^\circ\text{C})\approx 4\mu\text{A}$ .

- Стойностите на тока са много малки, което усложнява схемите за измерването им.

# Температурни зависимости в полупроводниковите материали

**Намаляване на напрежение то върху отпушения *p-n* преход, при повишаване на температурата.**

Напр. при Si, ако токът през прехода не се променя:

$$TKU_F = \frac{dU_F}{dT} \approx - \left( \frac{1205mV - U_F}{T} + 0,26mV \right)$$

Недостатъци:

- Поради вариациите на технологичния процес има съществена разлика между напрежението на отпушения *p-n* преход, при различните екземпляри, което изисква прецизно калибриране схемите за преобразуването на напрежението в температура;
- Стойността на температурния коефициент зависи от температурата.

# Температурни зависимости в полупроводниковите материали

Линейно нарастване на разликата между напрежението  $U_{BE}$  на два съседни интегрални транзистора.

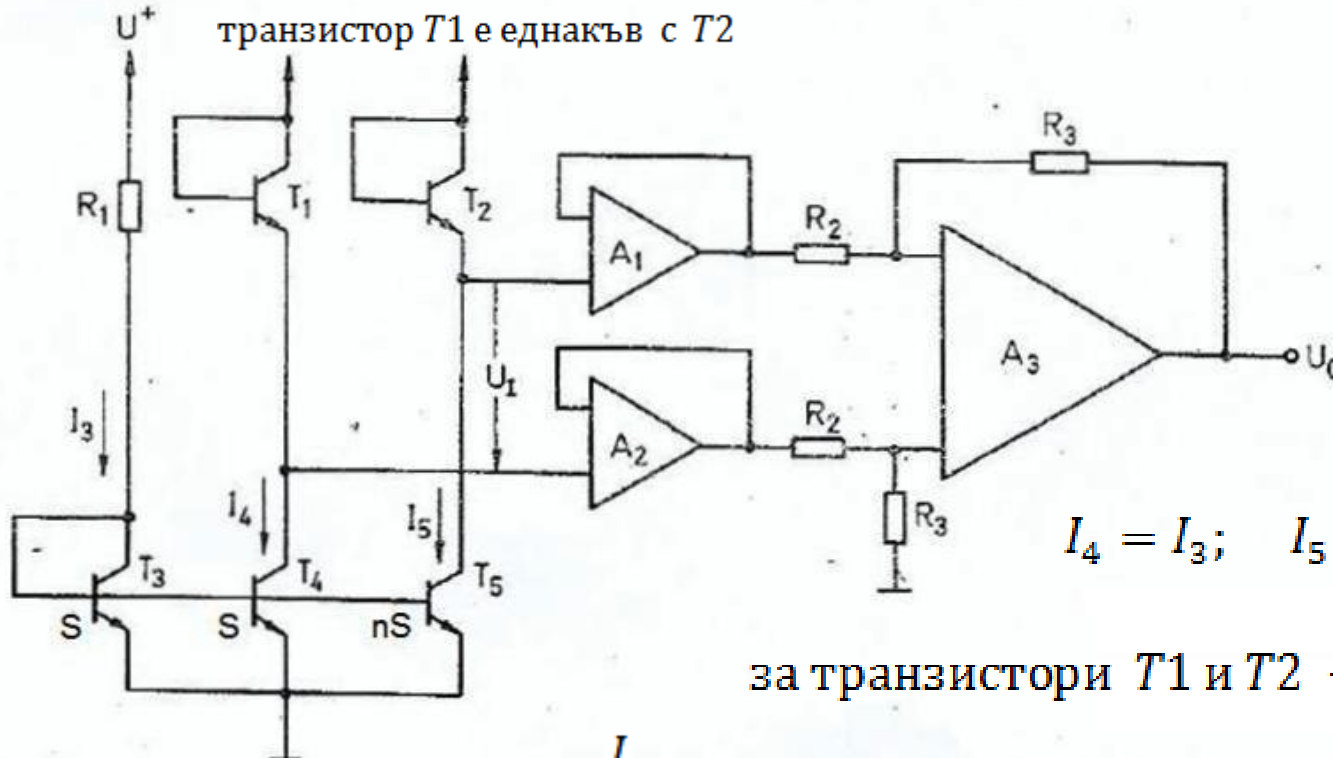
$$U_{BE1} = m\varphi_T \ln \frac{I_{E1}}{I_{S1}} = m\varphi_T \ln \frac{I_{E1}}{J \cdot S_1} \quad U_{BE2} = m\varphi_T \ln \frac{I_{E2}}{I_{S2}} = m\varphi_T \ln \frac{I_{E2}}{J \cdot S_2}$$

$m$  – емпиричен коефициент;  $S_1, S_2$  – площи на емитерните преходи

$J$  – плътност на тока;  $\varphi_T = \frac{kT}{q}$  – топлинен потенциал

$$\Delta U_{BE} = U_{BE1} - U_{BE2} = m\varphi_T \ln \left( \frac{I_{E1} S_2}{I_{E2} S_1} \right) = \left\{ m \frac{k}{q} \ln \left( \frac{I_{E1} S_2}{I_{E2} S_1} \right) \right\} \cdot T = A \cdot T$$

# Триизводен датчик с напрежение, пропорционално на абсолютната температура

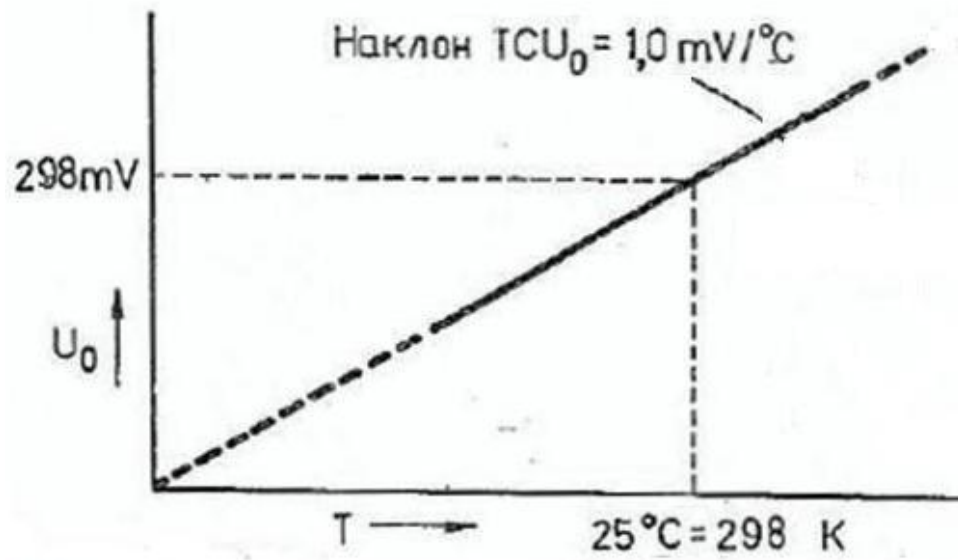


$$U^+ - U_{BE1} = U^+ - m\varphi_T \ln \frac{I_4}{J \cdot S_E}$$

$$U^+ - U_{BE2} = U^+ - m\varphi_T \ln \frac{nI_4}{J \cdot S_E}$$

$$U_I = (U^+ - U_{BE1}) - (U^+ - U_{BE2}) = m\varphi_T \ln \frac{nI_4}{J \cdot S_E} - m\varphi_T \ln \frac{I_4}{J \cdot S_E} = m\varphi_T \ln (n)$$

# Триизводен датчик с напрежение, пропорционално на абсолютната температура

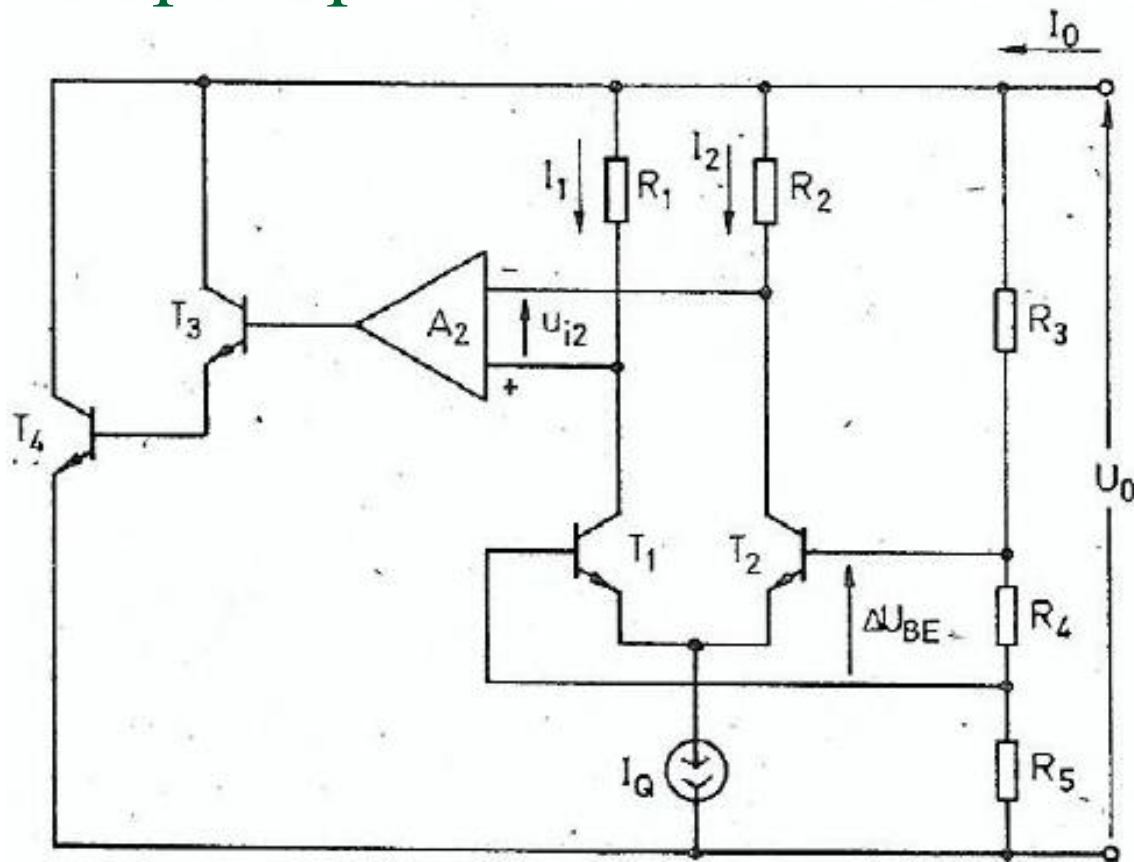


$$U_o = \frac{R_3}{R_2} U_1 = m \frac{R_3 k}{R_2 q} \ln(n) \cdot T = TCU_o \cdot T$$

$$TCU_o = \frac{dU_o}{dT} = m \frac{R_3 k}{R_2 q} \ln(n) \quad \frac{k}{q} = \frac{\varphi_T}{T} = \frac{25,8 \text{ mV}}{298} = 0,08658 \text{ mV}/^\circ\text{C}$$



# Двуполюсен датчик с напрежение, пропорционално на абсолютната температура



$$A_2 \rightarrow \infty; \quad u_{i2} = 0$$

$$I_1 R_1 = I_2 R_2; \quad \frac{I_2}{I_1} = \frac{R_1}{R_2}$$

$$I_2 = I_{SE2} \exp\left(\frac{U_{BE2}}{m\varphi_T}\right)$$

$$I_1 = I_{SE1} \exp\left(\frac{U_{BE1}}{m\varphi_T}\right)$$

$$\frac{I_2}{I_1} = \exp\left(\frac{U_{BE2} - U_{BE1}}{m\varphi_T}\right) = \frac{R_1}{R_2}$$

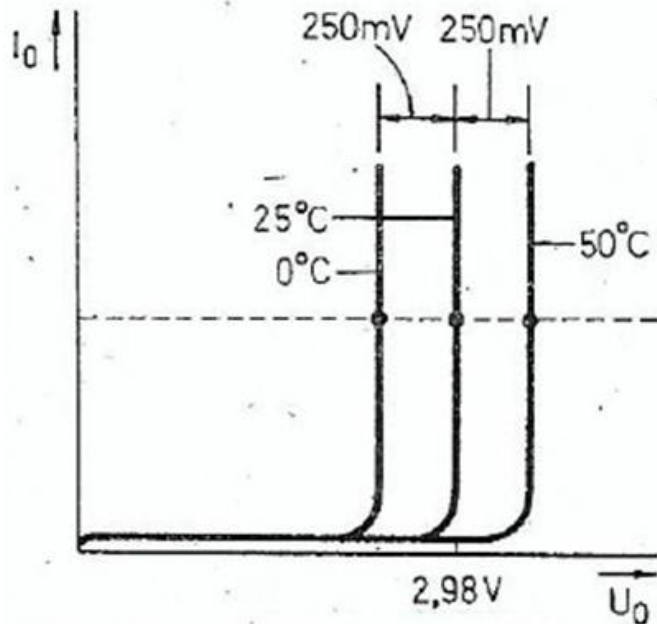
$$\Delta U_{BE} = m\varphi_T \ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right)$$

$$\Delta U_{BE} = \frac{R_4}{R_3 + R_4 + R_5} U_o$$

$$U_o = m \frac{R_3 + R_4 + R_5}{R_4} \ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right) \varphi_T = TCU_o \cdot T$$

$$TCU_o = m \frac{k R_3 + R_4 + R_5}{q R_4} \ln\left(\frac{R_1}{R_2}\right)$$

# Двуполюсен датчик с напрежение, пропорционално на абсолютната температура



LM 135/235/335:  $TCU_o = +10\text{mV}/^\circ\text{C}$ ;  
 $U_o(25^\circ\text{C}) = 2,98\text{V}$ ;  $r_o < 1\Omega$  при  $I_o = (0,4 \div 5)\text{mA}$

$$I_o = I_{R4} + I_1 + I_2 + I_3 + I_4 \approx I_4$$

$$r_o = \frac{dU_o}{dI_o} = \frac{1}{g_o} = \frac{1}{dI_o/dU_o}$$

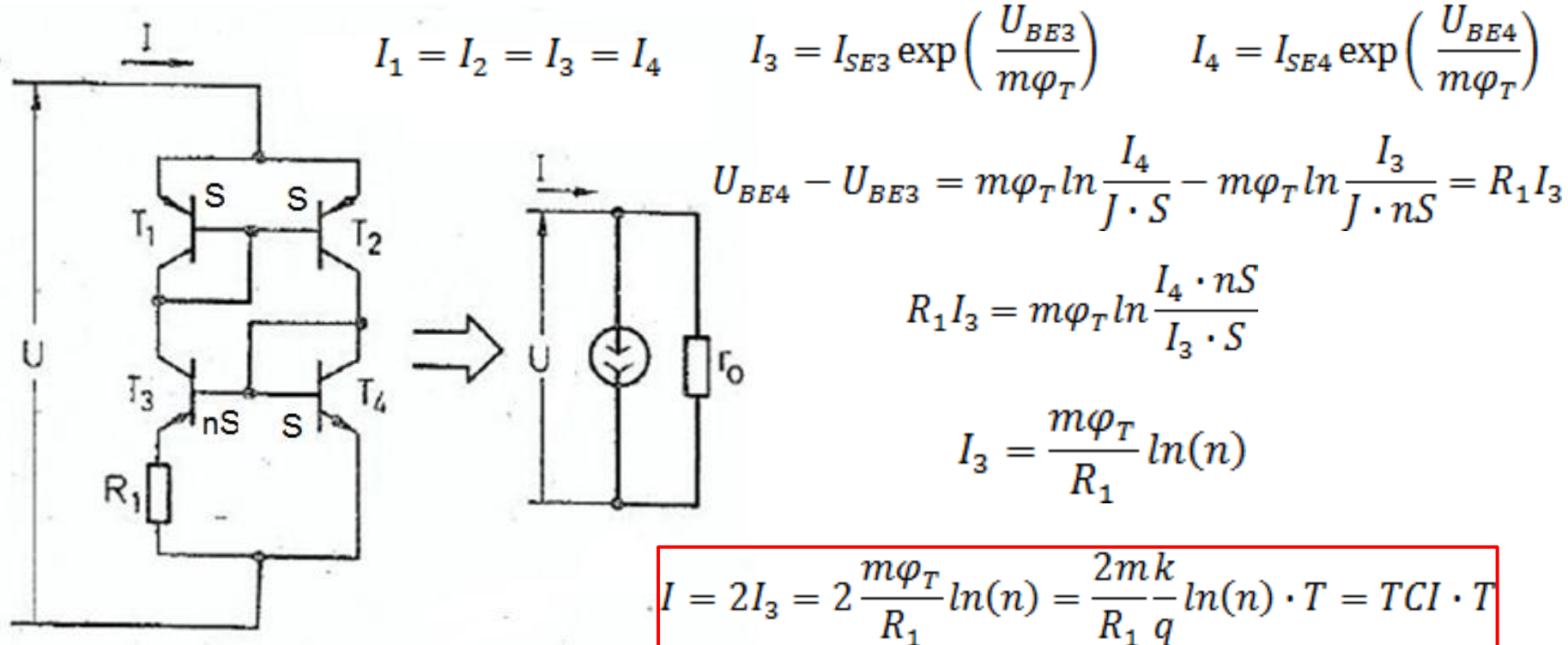
$$U_{BE3,4} = A_2 A_1 \frac{R_4}{R_3 + R_4 + R_5} U_o \approx 2U_{BE4}$$

$$U_o = 2U_{BE4} \frac{R_3 + R_4 + R_5}{R_4} \frac{1}{A_2 A_1}$$

$$\frac{dI_o}{dU_o} = A_2 A_1 \frac{R_4}{2(R_3 + R_4 + R_5)} \frac{dI_4}{dU_{BE4}} = \frac{A_2 A_1 R_4}{2(R_3 + R_4 + R_5)} \frac{I_4}{\varphi_T}$$

$$r_o \approx 2 \frac{R_3 + R_4 + R_5}{A_2 A_1 R_4} \frac{\varphi_T}{I_o}$$

# Двуполусен датчик с ток, пропорционален на абсолютната температура

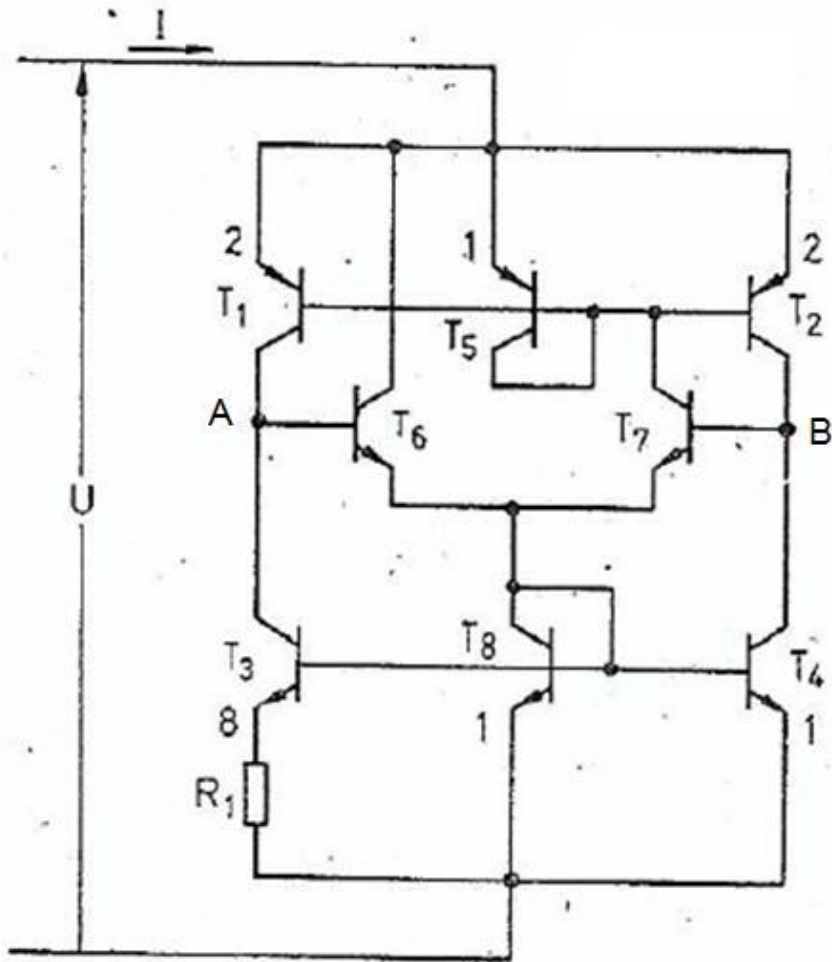


AD590 –  $TCI=1\mu A/K$ ;  $r_o > 10M\Omega$   
 Напр., при  $T=298K$ ,  $I=298\mu A$

$$TCI = \frac{2mk}{R_1 q} \ln(n)$$

$$r_o \approx r_{ce2} = \frac{V_{AF2}}{I/2} = \frac{2V_{AF2}}{I}$$

# Двуполюсен датчик с ток, пропорционален на абсолютната температура



Основна цел:

Изравняване на напрежението в т.А и т.В за да се избегне влиянието на ефекта на Ерли.

$$I'_c = I_c \left( 1 + \frac{U_{CE}}{V_{AF}} \right)$$

Постига се чрез добавянето на ДУ Т6-Т7-Т8.

$$I_1 = I_2 = I_3 = I_4; \quad I_3 = \frac{m\varphi_T}{R_1} \ln 8$$

$$I = I_1 + I_2 + I_8 = 3I_3$$

$$I = \frac{3mk}{R_1 q} \ln 8 \cdot T = TCI \cdot T$$

$$TCI = \frac{3mk}{R_1 q} \ln 8$$

---

БЛАГОДАРЯ!