

Национальный технический университет Украины «КПИ»

УНК «Институт прикладного системного анализа»

Кафедра системноо проектирования

**Исследование  
методов коррекции кривизны  
температурно стабильных источников  
опорного напряжения**

Автор: Костюченко А.А.

Научный руководитель: Стиканов В. Е.

# Задание



Анализ существующих методов коррекции кривизны



Анализ современных схемотехнических решений



Исследование возможности построения температурно стабильных источников опорного напряжения на субмикронных нормах проектирования



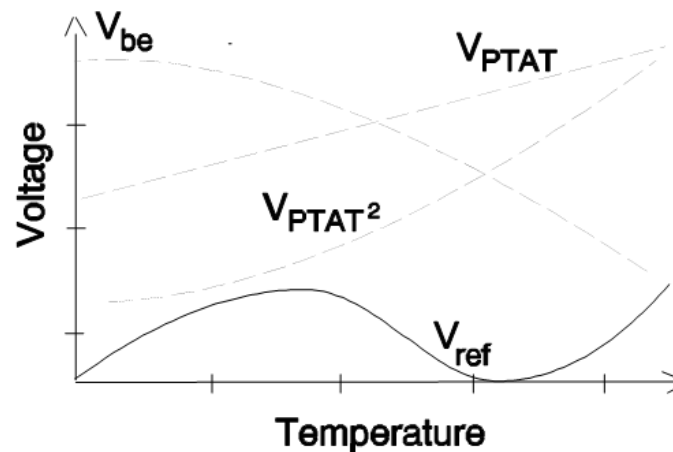
Анализ и сравнение результатов расчета схем

# Коррекция кривизны (curvature-correction)

**Цель:** исключить нелинейную составляющую напряжения база-эмиттер

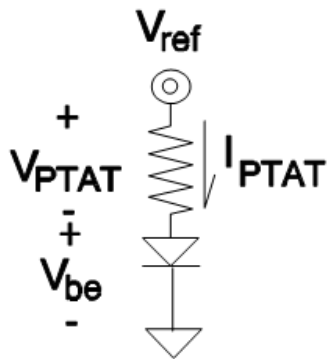
$$V_{BE} = V_{G0} + \frac{T}{T_r} \cdot [V_{BE}(T_r) - V_G(T_r)] + (\eta - \beta) \frac{kT}{q} \ln \left( \frac{T_r}{T} \right)$$

**Идея :** компенсировать логарифмическую составляющую напряжения база-эмиттер  $V_{be}$  (имеющую отрицательную температурную зависимость) положительной параболической составляющей



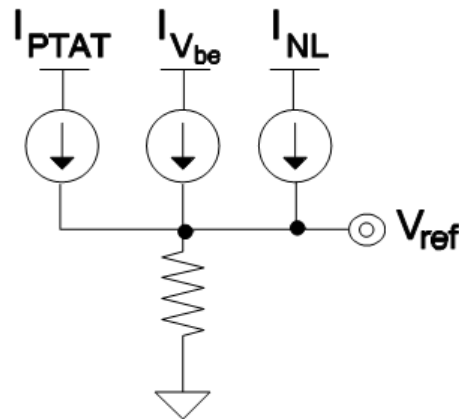
$$V_{ref} = V_{be} + V_{PTAT} + V_{PTAT}^2$$

# Выходные структуры



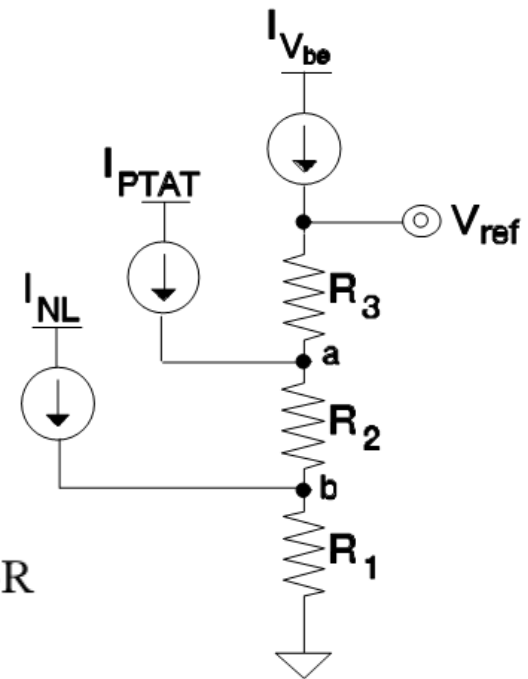
I – режим

$$V_{\text{ref}} = V_{\text{be}} + V_{\text{PTAT}}$$



V - режим

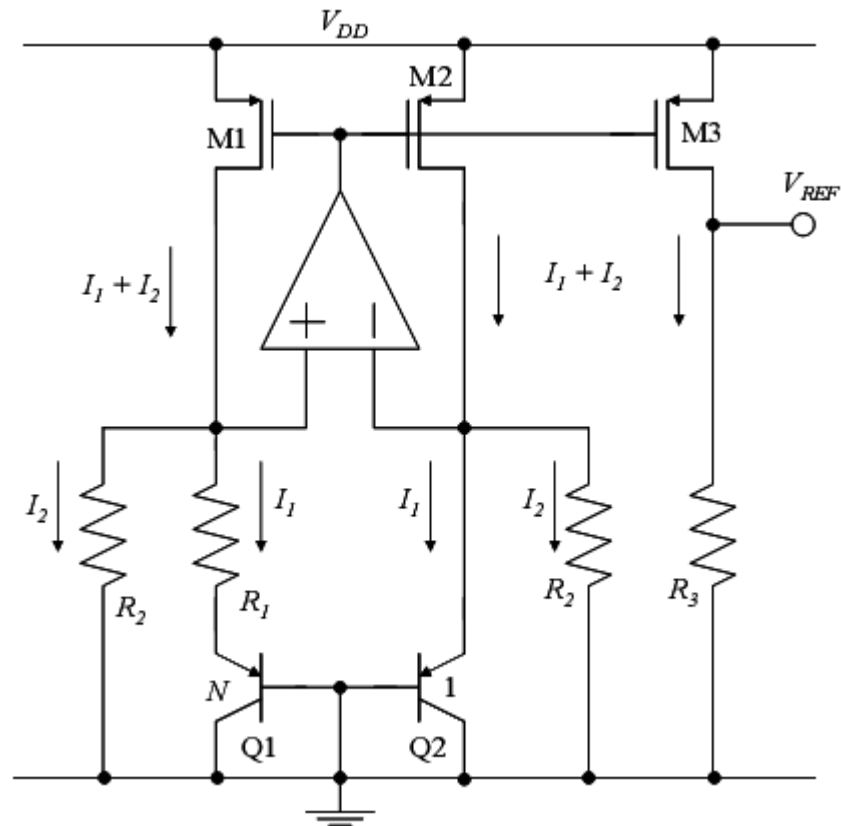
$$V_{\text{ref}} = (I_{V_{\text{be}}} + I_{\text{PTAT}} + I_{\text{NL}})R$$



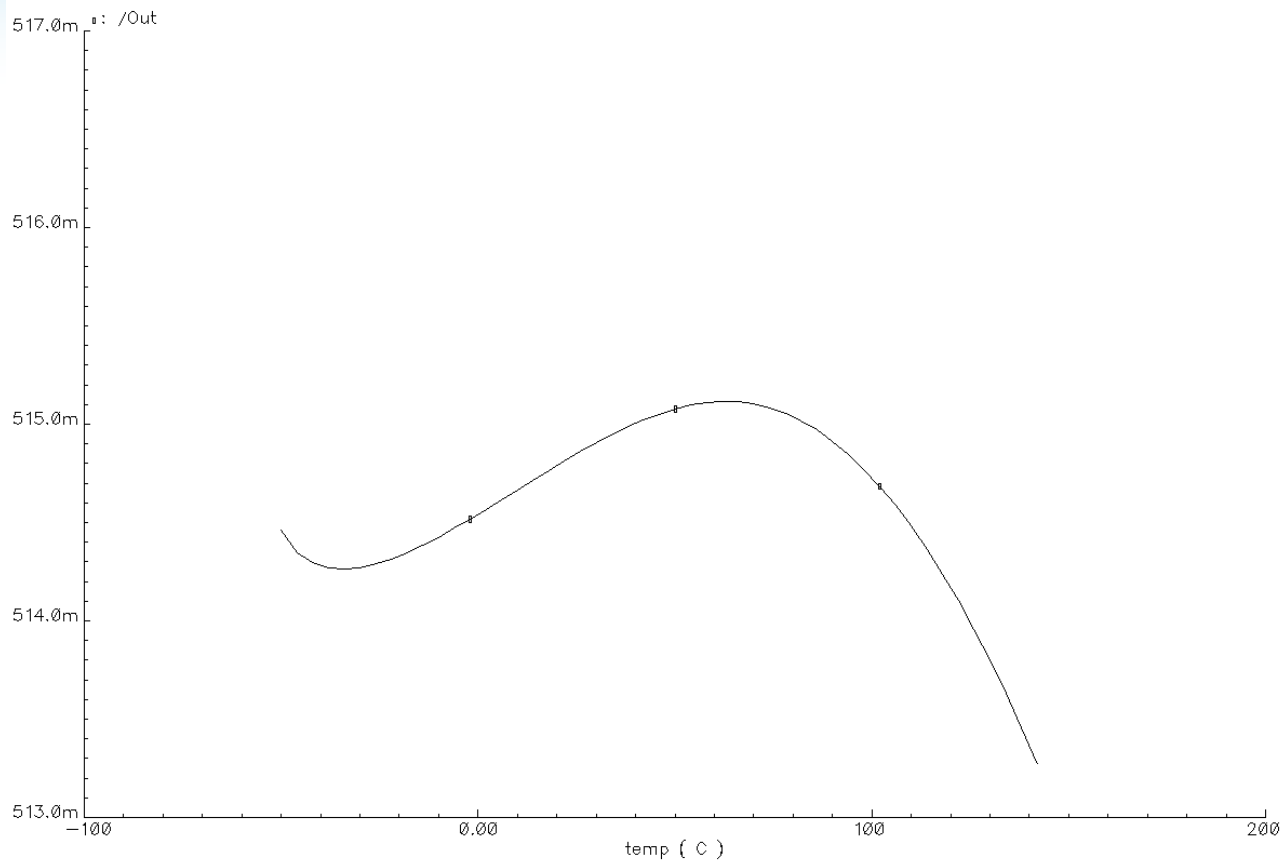
I-V - режим

$$V_{\text{ref}} = I_{V_{\text{be}}}[R_1 + R_2 + R_3] + I_{\text{PTAT}}[R_1 + R_2] + I_{\text{NL}}R_1$$

# Схемотехническое решение



# Результаты расчета



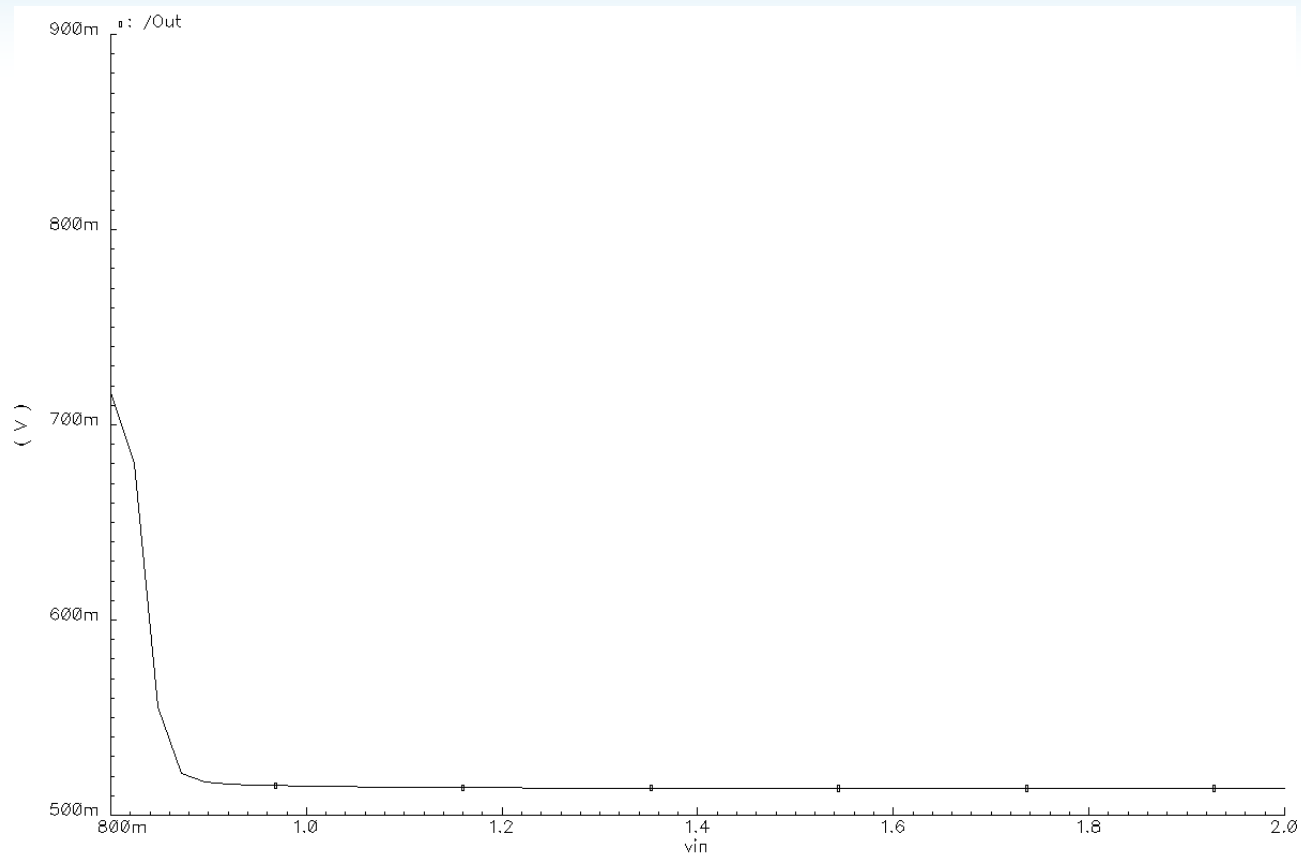
**Температурный коэффициент**

**TC =  
18 ppm/°C**

**Выходное напряжение  
 $V_{ref} = 0.515 \text{ V}$**

**Зависимость выходного напряжения от температуры**

# Результаты расчета



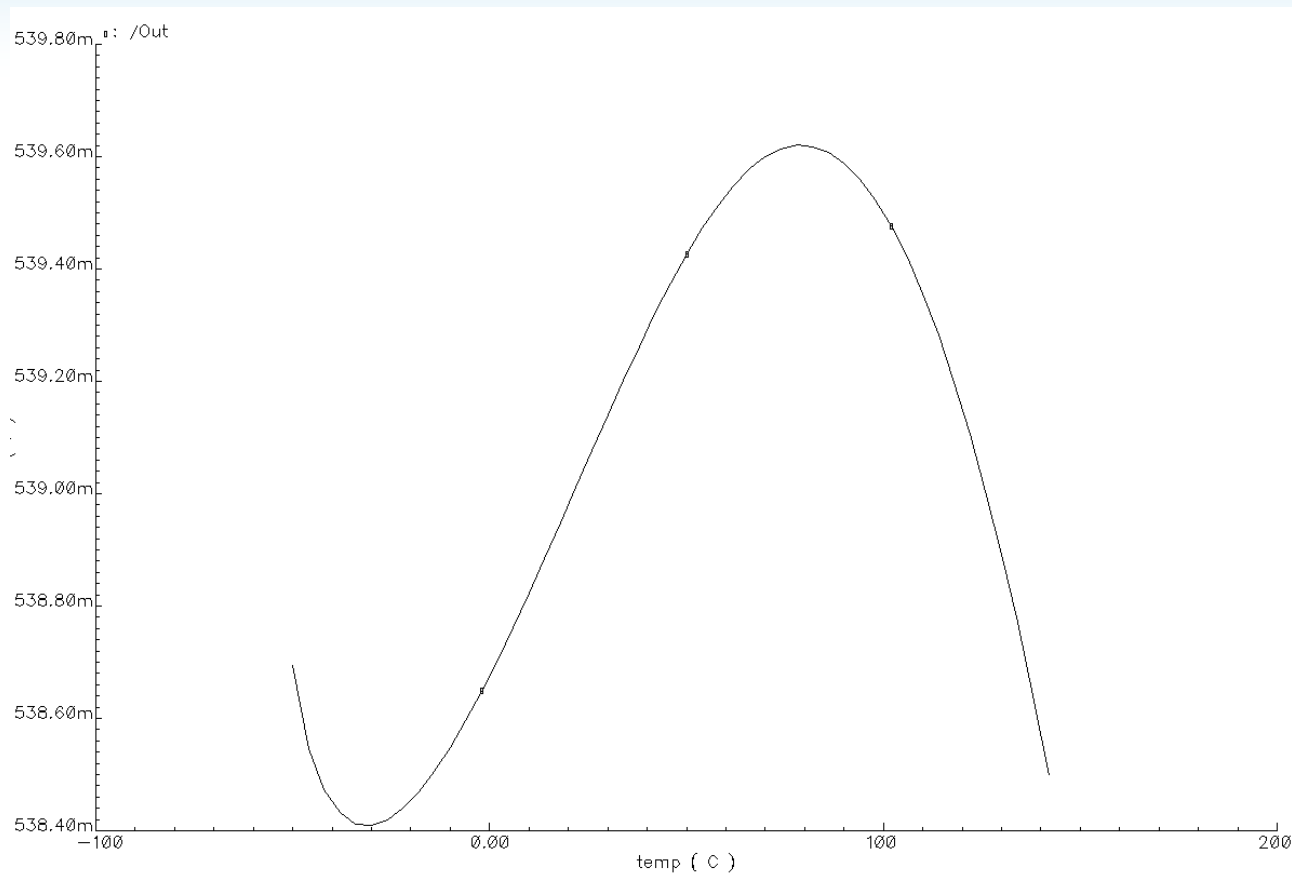
**Минимальное  
напряжение питания -  
0.9 В**

Зависимость выходного напряжения от напряжения питания





# Результаты расчета



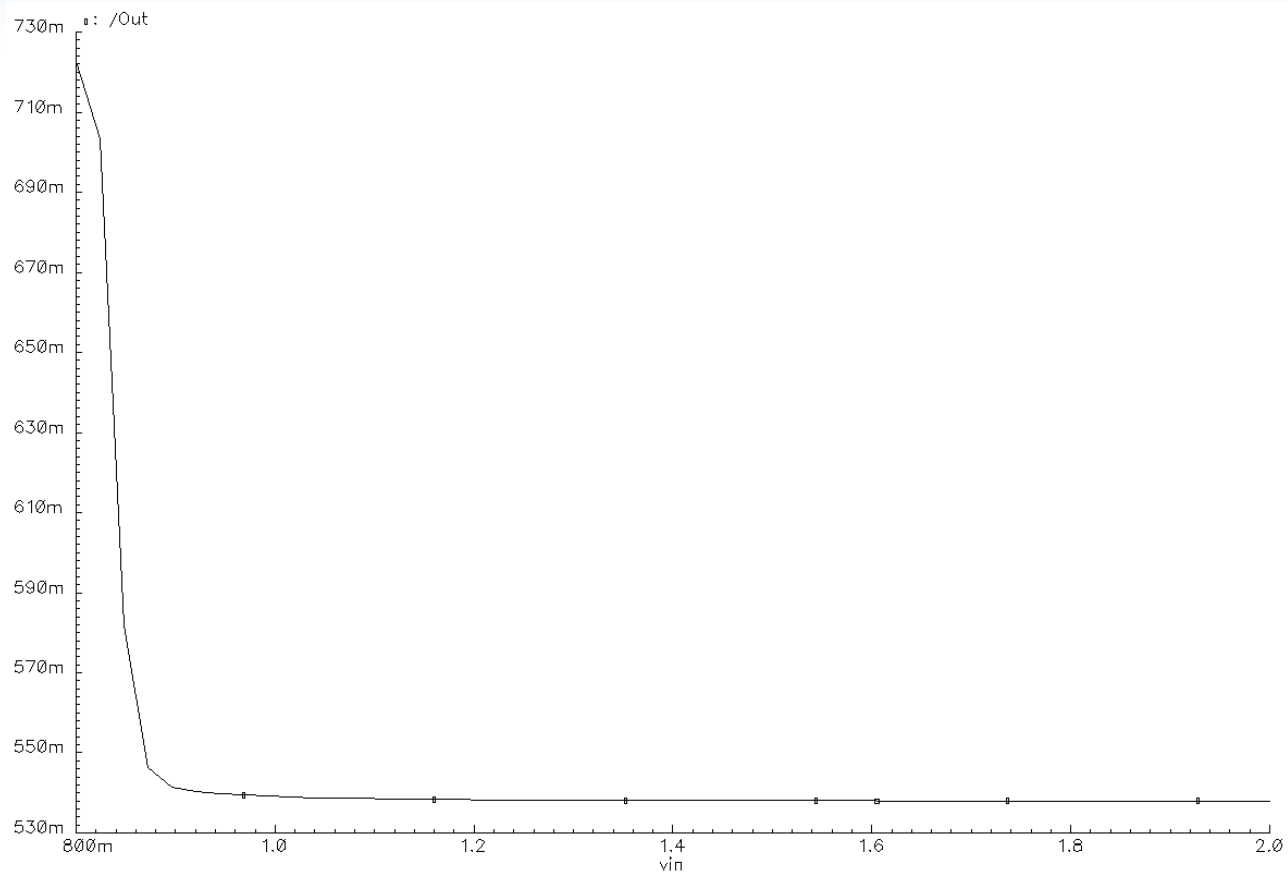
**Температурный коэффициент**

**TC =  
11 ppm/°C**

**Выходное напряжение  
 $V_{ref} = 0.539\text{ V}$**

**Зависимость выходного напряжения от температуры**

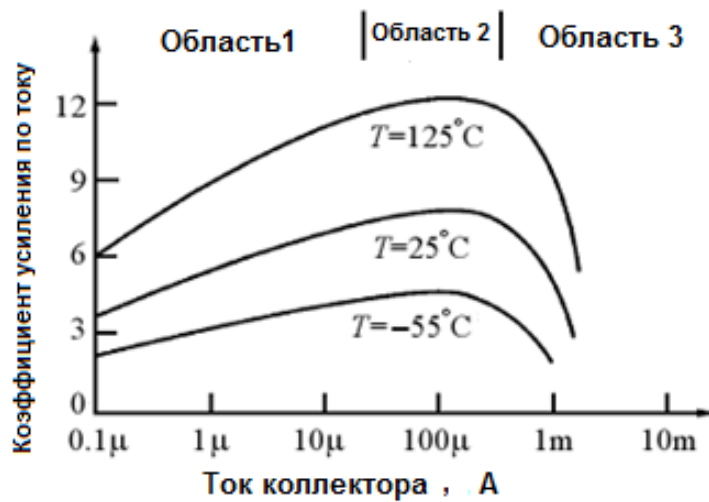
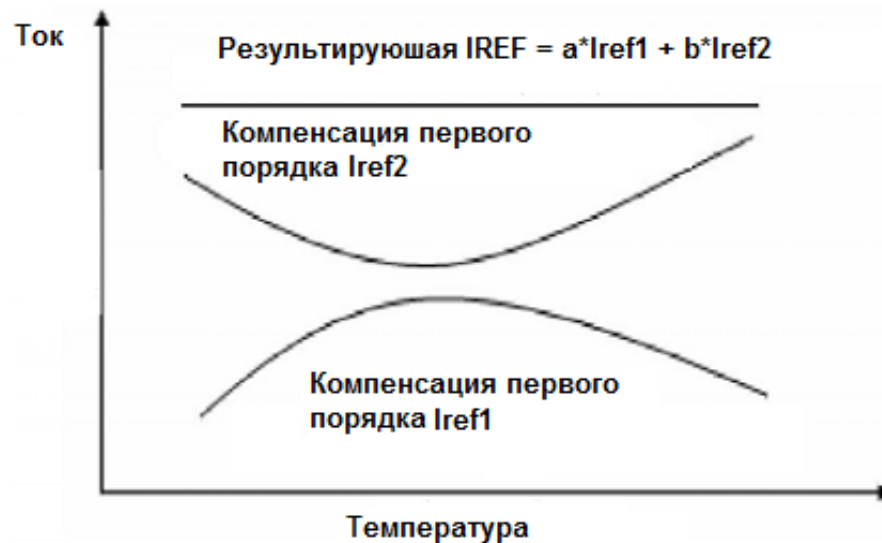
# Результаты расчета



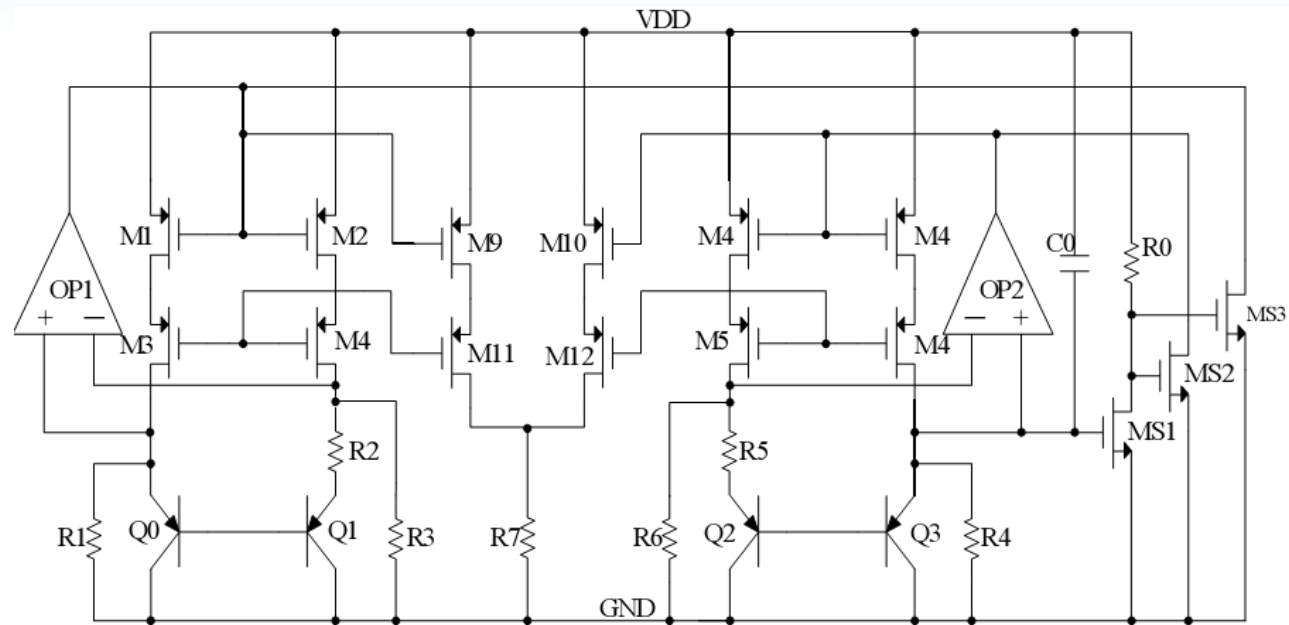
**Минимальное  
напряжение питания -  
0.9 В**

Зависимость выходного напряжения от напряжения питания

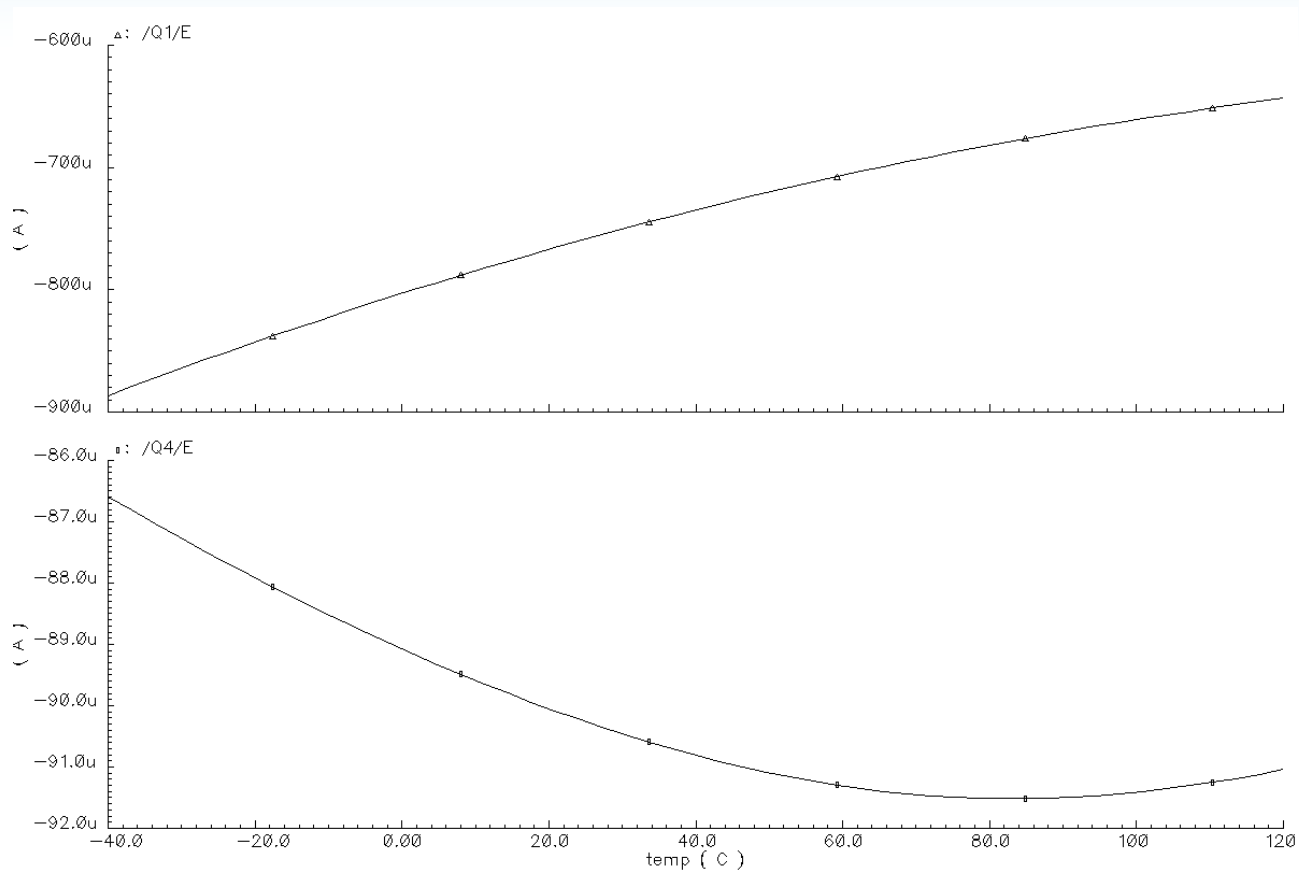
# Объяснение идеи $\beta$ -компенсации



# Схмотехническое решение

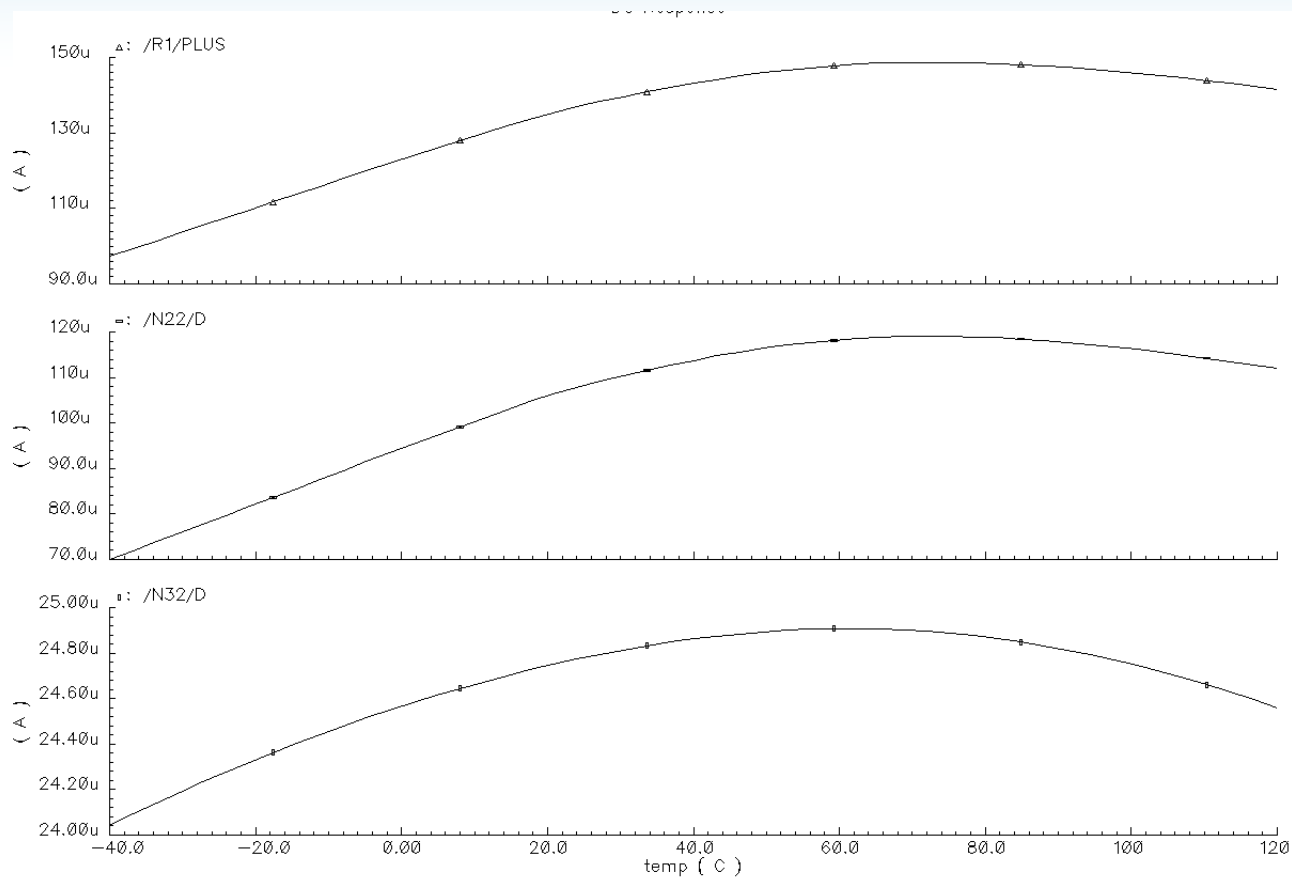


# Результаты расчета



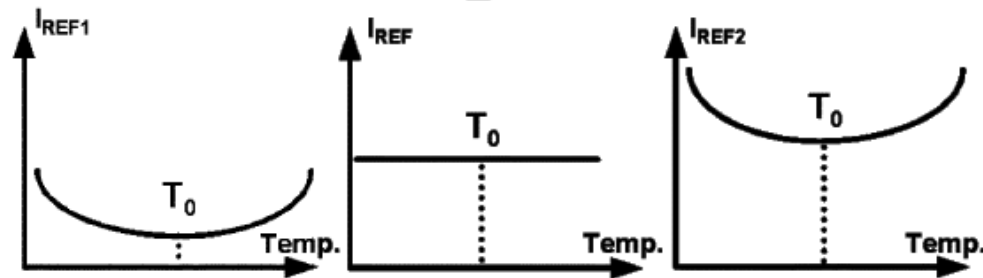
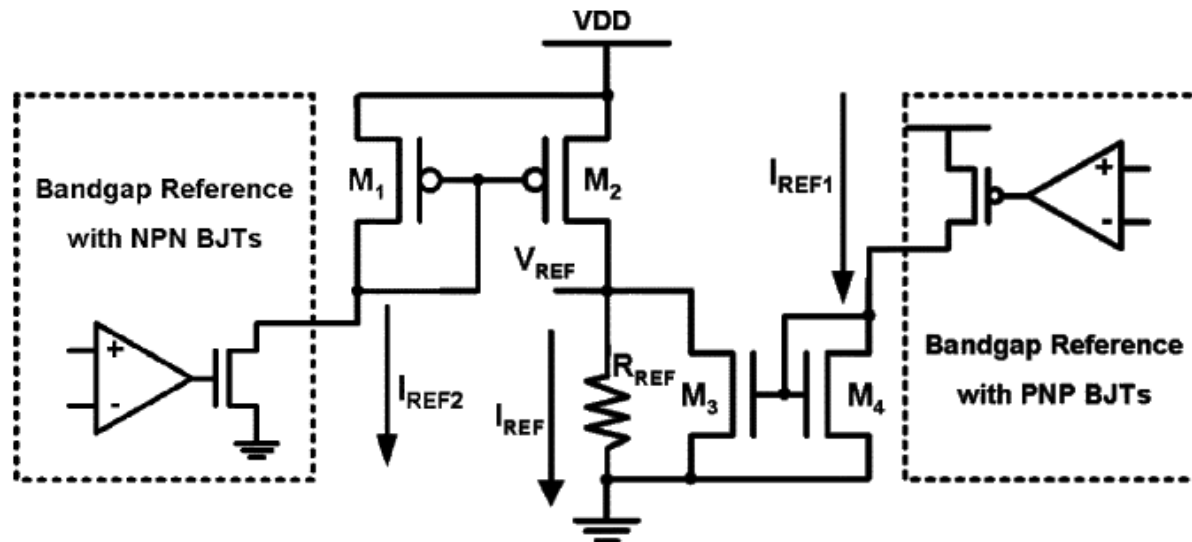
Зависимость токов эмиттеров транзисторов от температуры

# Результаты расчета

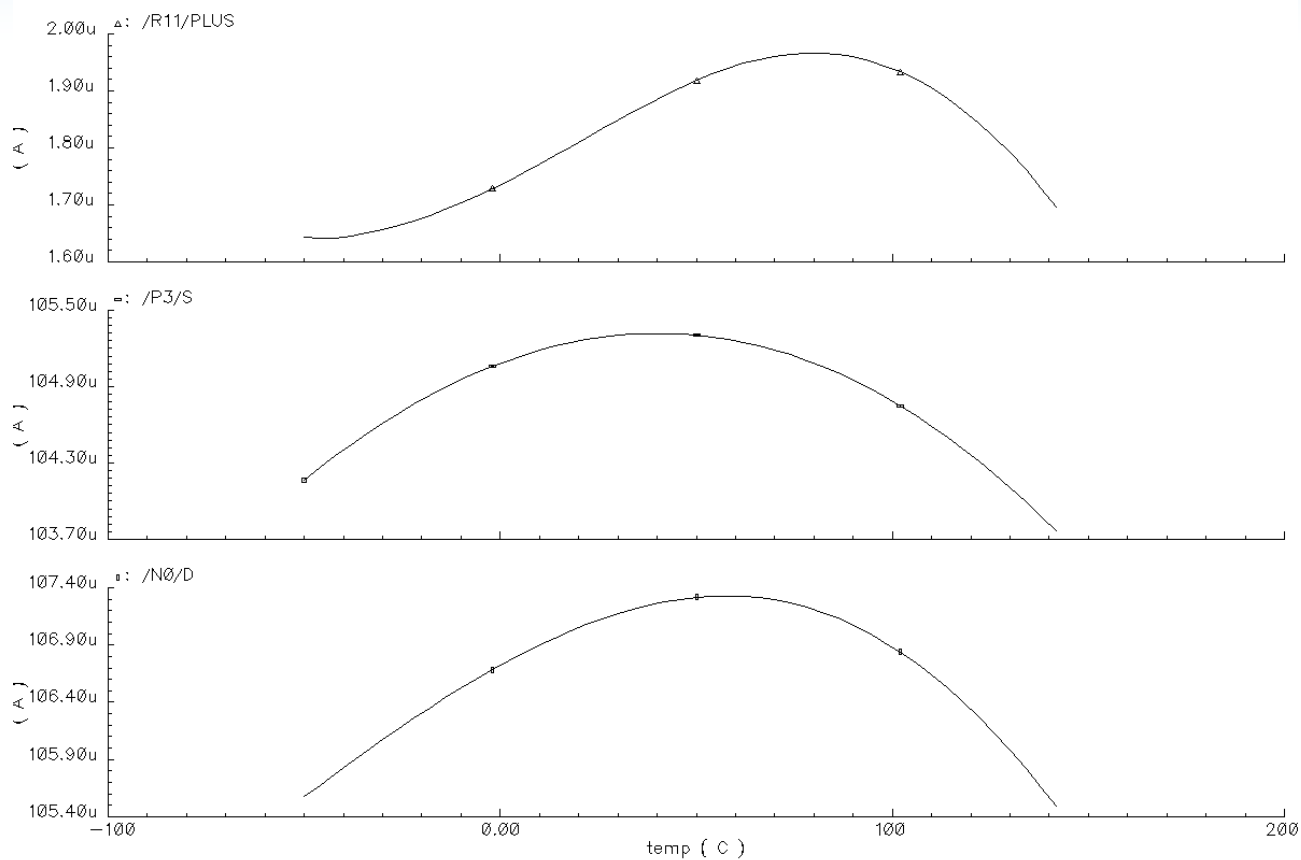


Зависимость выходных токов двух подсхем и всей схемы от температуры

# Объяснение идеи вычитания токов



# Результаты расчета



Зависимость выходных токов двух подсхем и всей схемы от температуры



# Выводы

- Проведен анализ более 20 научных источников в сфере методов коррекции кривизны температурно стабильных источников опорного напряжения до 2010 года.
- Проанализированы основные технологические и схемотехнические решения температурно стабильных источников с коррекцией кривизны.
- Проведены расчеты и сравнение наиболее перспективных схемотехнических решений.
- Указаны возможные проблемы, возникающие в процессе проектирования температурно стабильных источников опорного напряжения с коррекцией кривизны.
- Даны рекомендации о выборе наиболее перспективных направлений среди методов коррекции кривизны.



**Благодарю  
за внимание**