



ĐẠI HỌC QUỐC GIA THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH  
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KHOA HỌC TỰ NHIÊN  
KHOA ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG

---

ĐỒ ÁN CUỐI KÌ  
THIẾT KẾ MẠCH KHUẾCH ĐẠI FOLDED CASCODE OP AMP

---

Ca: 02    Nhóm: 01

Nguyễn Dương Thành	–	21207221
Phạm Minh Nhật	–	21207187
Nguyễn Phương Nhật Hiền	–	21207152

# MỤC LỤC

<b>I. Tổng quan về Cascode và bộ khuếch đại Folded Cascode.....</b>	<b>3</b>
1. Cascode .....	3
2. Mạch Folded Cascode.....	3
<b>II. Tính chất mạch Folded Cascode .....</b>	<b>4</b>
1. Tăng cường biên độ tín hiệu đầu ra .....	4
2. Cải thiện độ tuyến tính.....	4
3. Dải tần rộng.....	5
4. Tăng trở kháng đầu ra.....	5
5. Thiết kế nhỏ gọn và hiệu quả .....	5
6. Khả năng hoạt động ở điện áp thấp .....	5
<b>III. Thiết kế mạch Foded Cascode Opamp trên MobaXterm .....</b>	<b>6</b>
1.Symbol.....	6
2.Schematic.....	7
3.Simulation.....	7
4.Layout.....	9
5.Check LVS.....	10
<b>IV. Nguyên lý hoạt động .....</b>	<b>10</b>
1. Cấu Trúc Cơ Bản .....	10
2. Chuyển Đổi Điện Áp .....	11
3. Tăng Cường Tỷ Lệ Khuếch Đại.....	11
4. Điện Áp Đầu Vào và Đầu Ra .....	11
<b>V. Sơ đồ nguyên lý.....</b>	<b>11</b>
<b>VI. Phân tích dòng điện và điện áp .....</b>	<b>12</b>
1. Công thức khuếch đại dòng điện trong NMOS .....	12
2. Phân Tích Điện Áp Đầu Ra trong Mạch Folded Cascode .....	12
3. Điều Kiện Hoạt Động của Transistor NMOS và PMOS .....	13
4. Tương Quan Giữa Dòng Điện và Điện Áp Đầu Ra.....	13
<b>VII. Ứng dụng.....</b>	<b>13</b>
1. Mạch khuếch đại chính xác cao .....	13
2. Mạch tích hợp (ICs) .....	14
3. Bộ lọc tần số cao .....	14
4. Mạch truyền thông RF .....	14
5. Mạch khuếch đại công suất thấp .....	14
6. Bộ chuyển đổi dữ liệu (Data Converters).....	14
<b>VIII. Ưu điểm và nhược điểm của mạch Folded Cascode OpAmp.....</b>	<b>14</b>
1. Ưu điểm.....	15
2. Nhược điểm.....	15

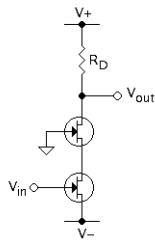
**Đường dẫn đến bài làm nhóm:**

/home/Workspace/VLSI\_LAB\_2024/SESS\_02\_2021-2025/test\_1/ca2\_nhom1/ Folded#2dcascode

## I. Tổng quan về Cascode và bộ khuếch đại Folded Cascode:

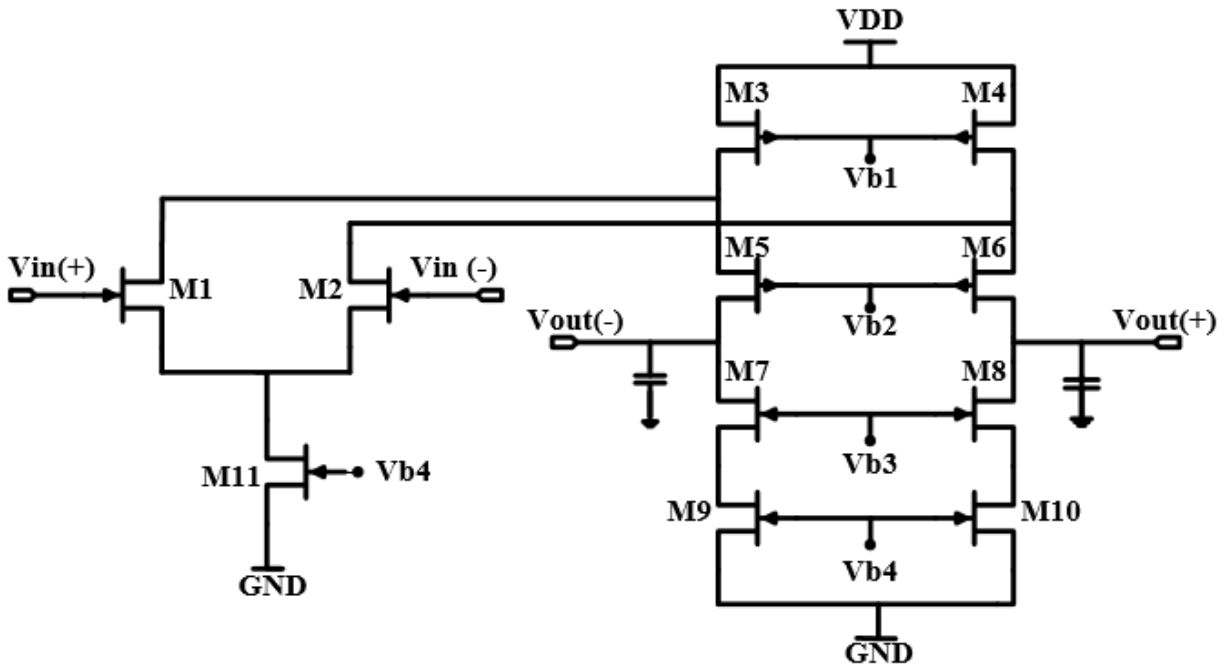
### 1. Cascode:

Cascode là một cấu trúc mạch khuếch đại được sử dụng rộng rãi trong các mạch điện tử. Nó kết hợp hai transistor, trong đó một transistor đóng vai trò khuếch đại dòng, và transistor kia chịu trách nhiệm khuếch đại điện áp. Cấu trúc này giúp cải thiện độ tuyến tính, tăng trở kháng đầu vào và giảm hiệu ứng Miller, từ đó nâng cao hiệu suất hoạt động của mạch khuếch đại.



### 2. Mạch Folded Cascode:

Mạch Folded Cascode là một biến thể của cấu trúc Cascode truyền thống. Trong mạch này, dòng điện được "gấp lại" (folded) để chuyển từ tầng khuếch đại vi sai đến tầng cascode, giúp tạo ra một thiết kế nhỏ gọn hơn với hiệu suất cao. Cấu trúc này thường được sử dụng trong các mạch khuếch đại có yêu cầu cao về độ tuyến tính, dải tần rộng, và biên độ tín hiệu lớn, đặc biệt là trong các ứng dụng mạch tích hợp.



## II. Tính chất mạch Folded Cascode:

### Tại sao lại sử dụng cấu trúc Folded Cascode?

Cấu trúc Folded Cascode được sử dụng rộng rãi trong thiết kế mạch khuếch đại vì nó mang lại nhiều lợi ích vượt trội so với các cấu trúc khuếch đại truyền thống. Dưới đây là các lý do chính để sử dụng cấu trúc này:

#### 1. Tăng cường biên độ tín hiệu đầu ra:

Cấu trúc Folded Cascode cho phép xử lý các tín hiệu có biên độ lớn hơn mà không làm giảm độ tuyến tính của mạch. Điều này là do sự kết hợp giữa tầng khuếch đại vi sai và tầng cascode, giúp nâng cao khả năng xử lý của mạch mà không cần tăng điện áp nguồn quá cao.

#### 2. Cải thiện độ tuyến tính:

Độ tuyến tính là một yếu tố quan trọng trong các mạch khuếch đại, đặc biệt trong các ứng dụng yêu cầu độ chính xác cao. Mạch Folded Cascode

giúp giảm thiểu các biến dạng phi tuyến, đảm bảo tín hiệu đầu ra chính xác và trung thực hơn.

### **3. Dải tần rộng:**

Cấu trúc Folded Cascode cung cấp một dải tần hoạt động rộng, cho phép mạch hoạt động hiệu quả ở các tần số cao mà không bị suy giảm hiệu suất. Đây là đặc điểm quan trọng trong các ứng dụng như truyền thông tốc độ cao hoặc xử lý tín hiệu.

### **4. Tăng trở kháng đầu ra:**

Mạch Folded Cascode có trở kháng đầu ra cao, giúp cải thiện khả năng tương tác với các tải khác mà không gây ảnh hưởng lớn đến hiệu suất của mạch.

### **5. Thiết kế nhỏ gọn và hiệu quả:**

Cấu trúc "gấp lại" của mạch giúp giảm không gian chiếm dụng trên chip, làm cho nó phù hợp với các ứng dụng tích hợp trong các mạch tích hợp (ICs) hiện đại, nơi mà không gian và hiệu suất luôn là ưu tiên hàng đầu.

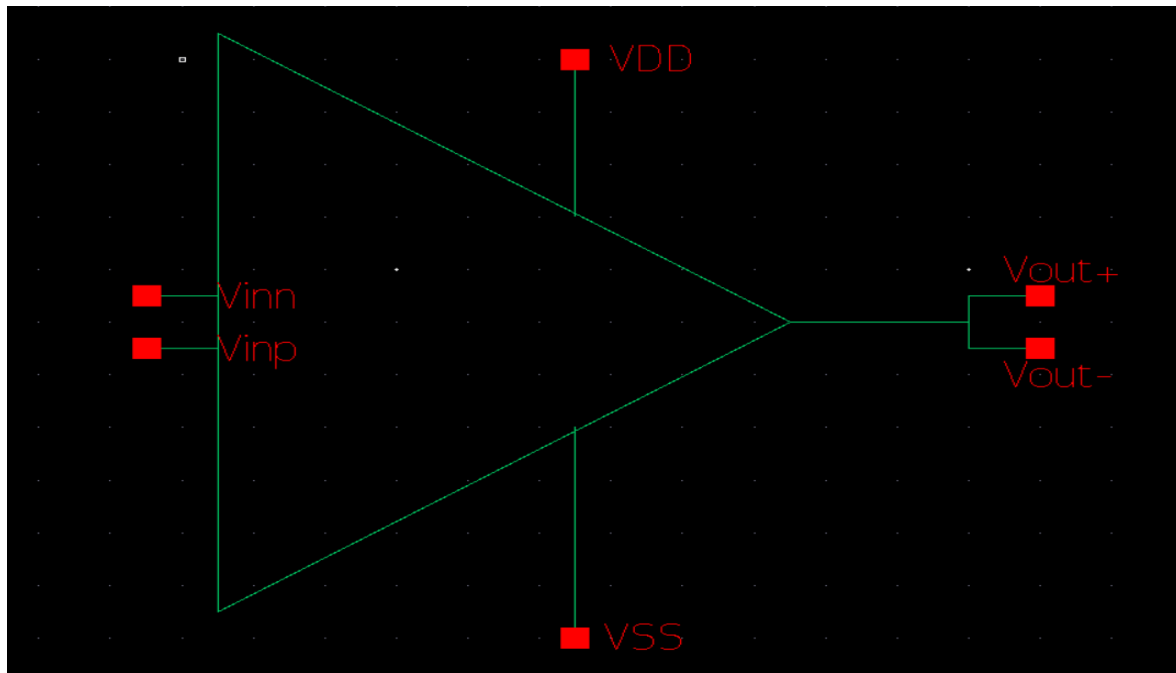
### **6. Khả năng hoạt động ở điện áp thấp:**

Mạch Folded Cascode có thể hoạt động tốt ở các mức điện áp thấp hơn, điều này rất quan trọng trong các ứng dụng di động và tiêu thụ năng lượng thấp.

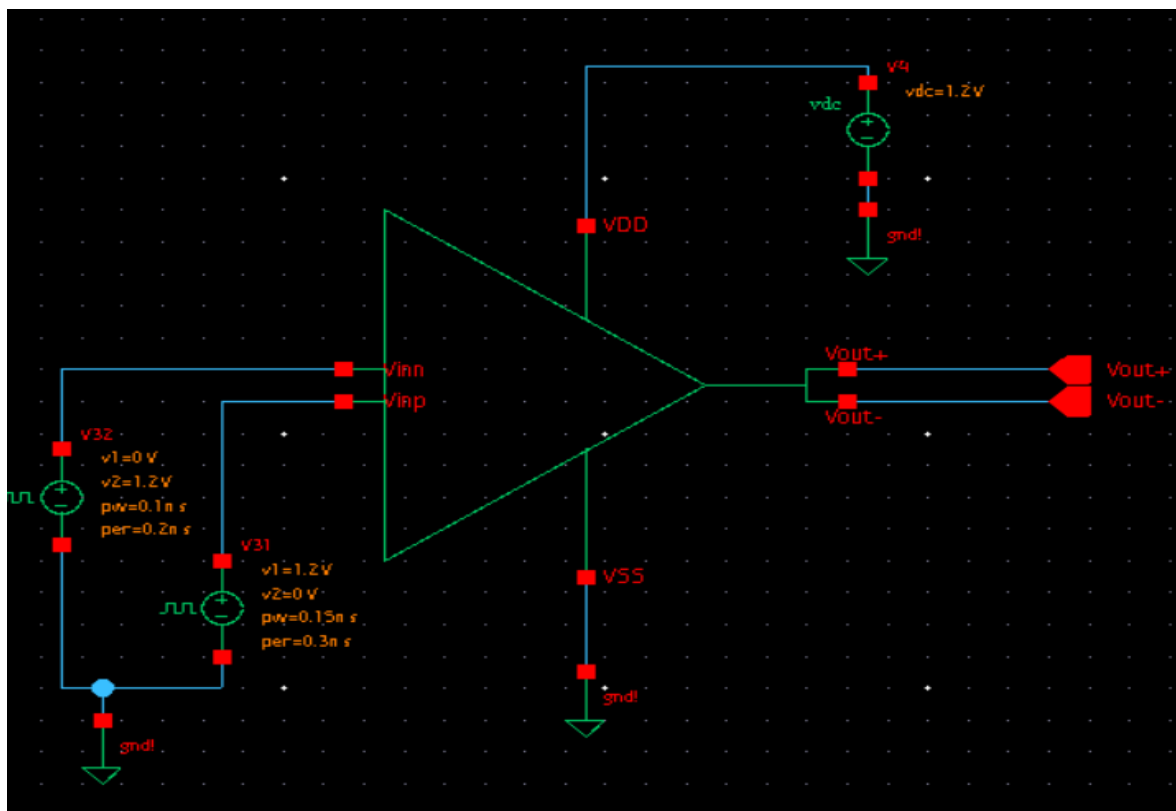
Nhờ những ưu điểm này, cấu trúc Folded Cascode được ưu tiên trong nhiều thiết kế mạch khuếch đại hiện đại, đặc biệt là trong các hệ thống yêu cầu hiệu suất cao và khả năng tích hợp tốt.

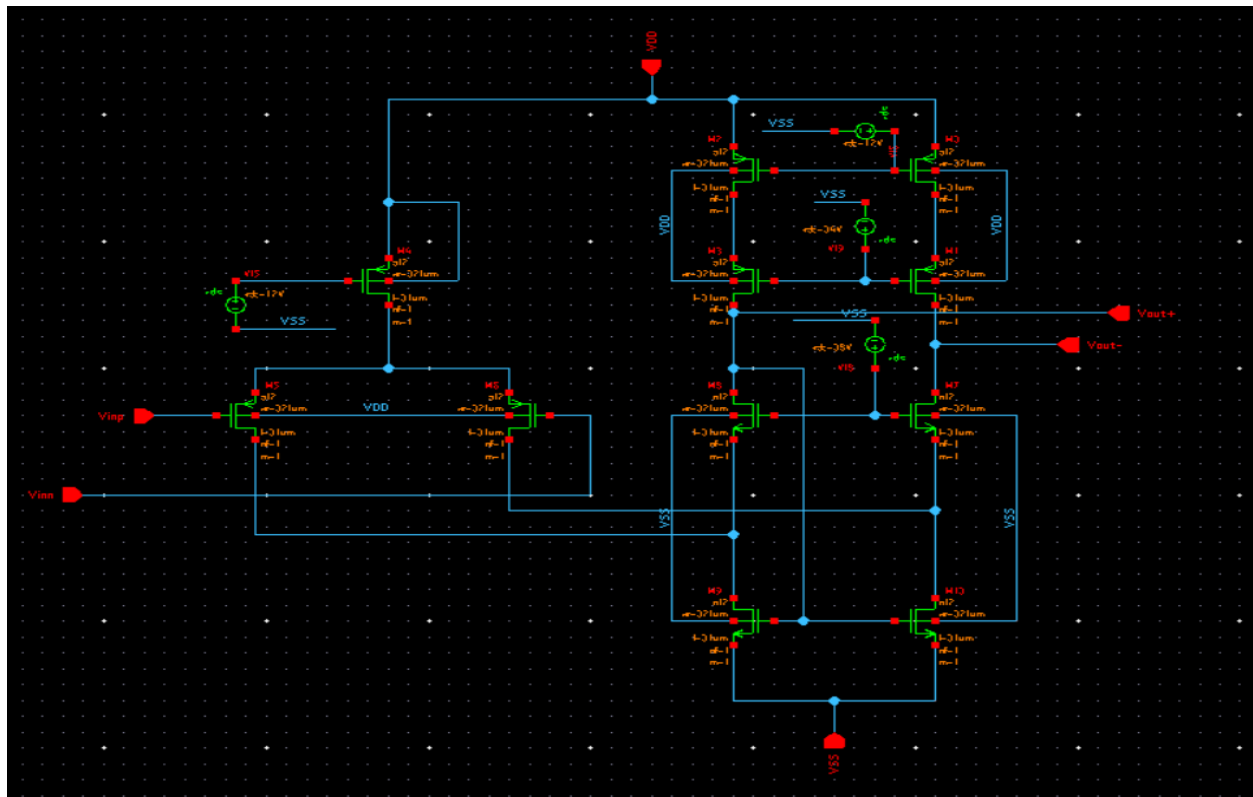
### III. Thiết kế mạch Foded Cascode Opamp trên MobaXterm:

#### 1.Symbol:

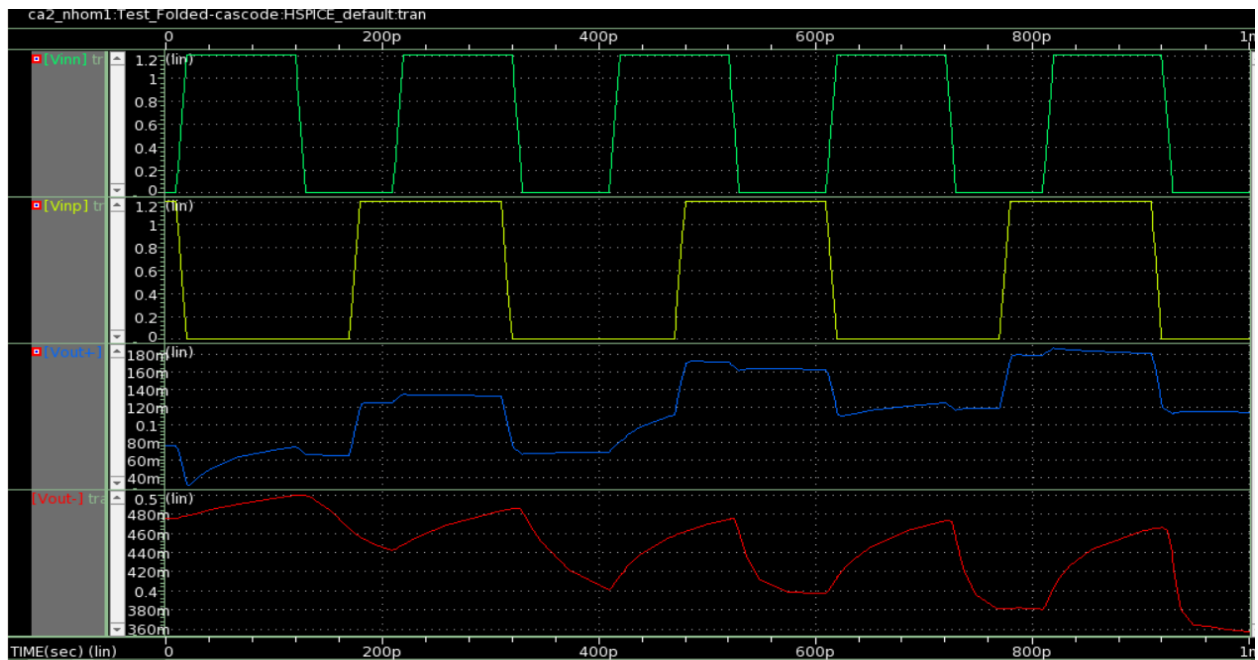


#### 2.Schematic:





### 3.Simulation:

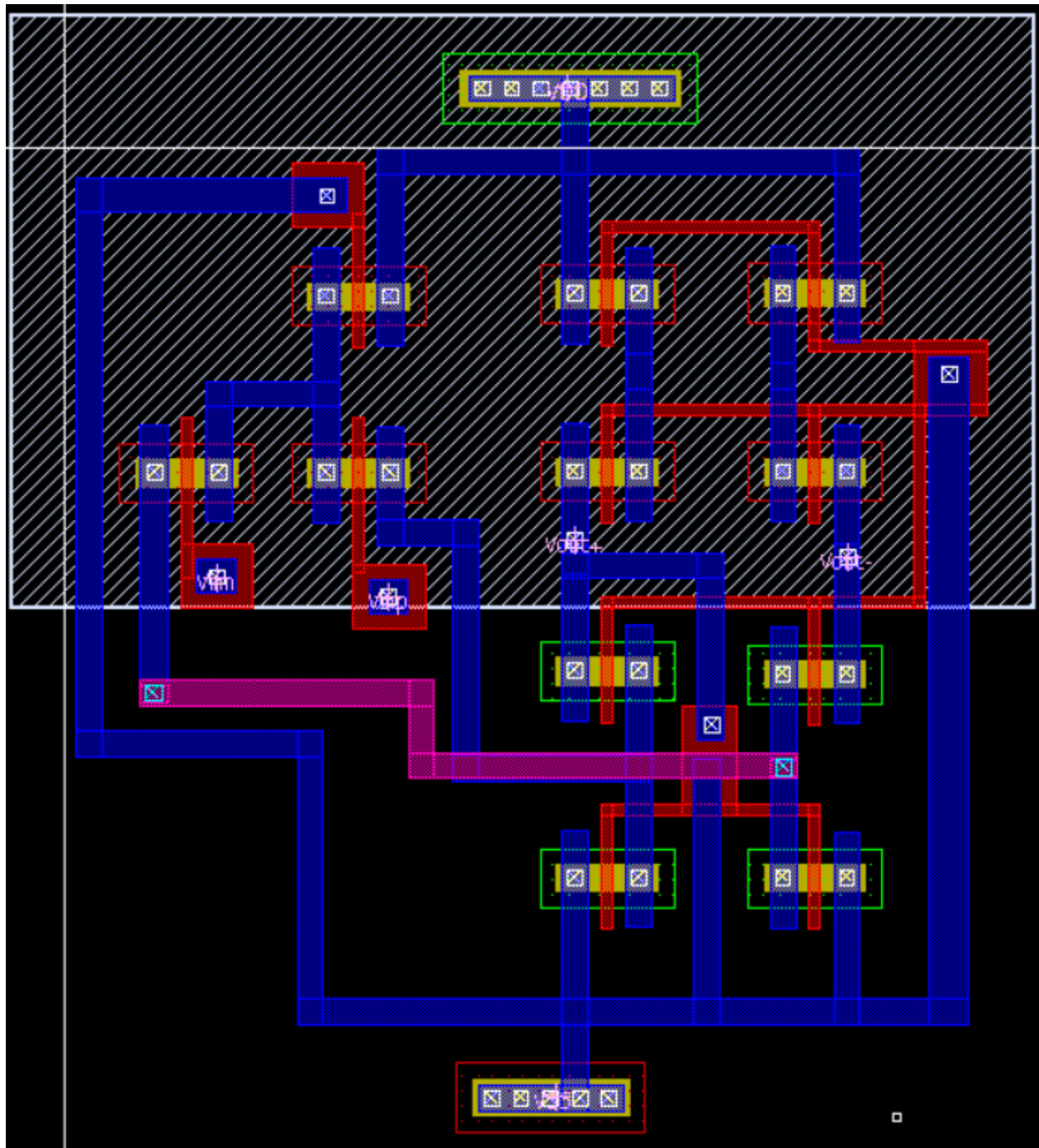


## Thông số mô phỏng:

vpulse		vpulse	
Attributes		Attributes	
Prompt	Value	Prompt	Value
Library Cell View	analogLib vpulse symbol	Library Cell View	analogLib vpulse symbol
Name	V5	Name	V24
Origin	(0.1875,2.0625)	Origin	(0.6875,1.5)
Orientation	R0	Orientation	R0
Usage	Normal	Usage	Normal
Physical Only	<input type="checkbox"/>	Physical Only	<input type="checkbox"/>
Placement Status	none	Placement Status	none
Parameters		Parameters	
Prompt	Value	Prompt	Value
DC Voltage		DC Voltage	
Voltage1	0 V	Voltage1	1.2 V
Voltage2	1.2 V	Voltage2	0 V
Delay Time	10p s	Delay Time	10p s
Rise Time	10p s	Rise Time	10p s
Fall Time	10p s	Fall Time	10p s
Pulse Width	0.1n s	Pulse Width	0.15n s
Period	0.2n s	Period	0.3n s
Period Jitter		Period Jitter	
Seed		Seed	
AC Magnitude	1u V	AC Magnitude	1u V
AC Phase	180	AC Phase	0
# HB Tones	0	# HB Tones	0
DC Resistance		DC Resistance	



#### 4.Layout:



## 5.Check LVS:



## IV.Nguyên lý hoạt động:

### 1. Cấu Trúc Cơ Bản:

Folded cascode amplifier bao gồm hai phần chính: mạch khuếch đại vi sai và mạch cascode. Mạch khuếch đại vi sai (differential pair) nhận tín hiệu đầu vào và khuếch đại tín hiệu này, trong khi mạch cascode giúp ổn định và nâng cao hiệu suất khuếch đại.

## 2. Chuyển Đổi Điện Áp:

Một điểm khác biệt quan trọng của folded cascode so với cascode truyền thống là việc "gấp lại" một phần của mạch cascode, giúp bộ khuếch đại có thể hoạt động ở điện áp thấp hơn. Điều này được thực hiện bằng cách thay đổi cách nối nguồn của transistor trong mạch cascode.

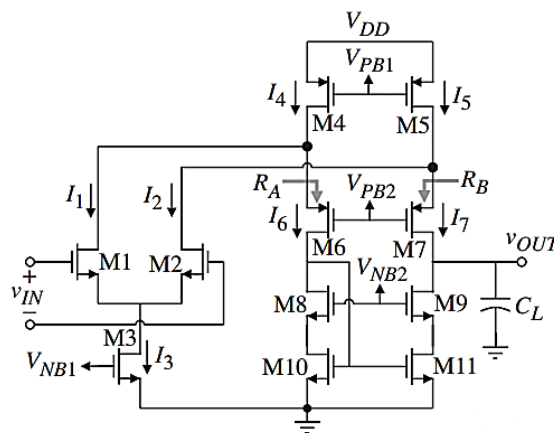
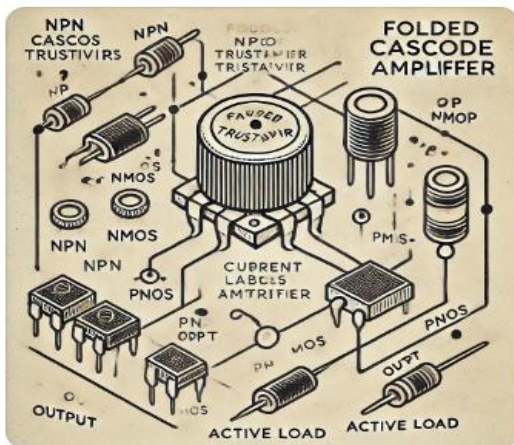
## 3. Tăng Cường Tỷ Lệ Khuếch Đại:

Folded cascode amplifier sử dụng transistor cascode để giảm thiểu ảnh hưởng của sự thay đổi điện áp đầu ra lên tỷ lệ khuếch đại. Cấu trúc này cải thiện độ ổn định và giảm thiểu méo tín hiệu, đồng thời cho phép khuếch đại ở tần số cao hơn.

## 4. Điện Áp Đầu Vào và Đầu Ra:

Mạch folded cascode cho phép khuếch đại tín hiệu đầu vào với điện áp thấp và vẫn giữ được hiệu suất tốt. Đặc điểm này là rất quan trọng trong các thiết kế vi mạch, nơi việc tiết kiệm năng lượng và tối ưu hóa không gian là rất quan trọng.

## V.Sơ đồ nguyên lý:



- Tín hiệu đầu vào  $V_{in}$  được áp dụng vào cổng của transistor NMOS. Khi thay đổi, dòng điện qua transistor này thay đổi tương ứng.
- Transistor cascode PMOS tiếp nhận dòng điện này và khuếch đại nó thêm một lần nữa, chuyển đổi dòng điện nhỏ thành một mức điện áp lớn hơn.
- Nguồn dòng đảm bảo rằng cả hai transistor luôn hoạt động ổn định, với dòng điện ổn định chạy qua chúng.
- Tín hiệu đầu ra  $V_{out}$  là kết quả của quá trình khuếch đại này, được lấy từ điểm giữa của transistor cascode và tải chủ động.

## VI. Phân tích dòng điện và điện áp:

### 1. Công thức khuếch đại dòng điện trong NMOS:

$$I_{in} = k_n \cdot (V_{GS} - V_{th})^2$$

Trong đó:

$$k_n = \frac{1}{2} \cdot \mu_n \cdot C_{ox} \cdot \frac{W}{L} \text{ là hệ số khuếch đại của NMOS}$$

$V_{GS}$  là điện áp giữa cổng và nguồn

$V_{th}$  là điện áp ngưỡng của NMOS

#### Ý nghĩa của công thức:

-  $I_{in}$  là dòng điện qua transistor khi nó hoạt động trong vùng bão hòa. Điều này rất quan trọng trong mạch folded cascode vì nó ảnh hưởng đến độ lợi, dải tần số và hoạt động ổn định của mạch.

-  $V_{GS}$ : Điện áp cổng nguồn cần được điều chỉnh để duy trì transistor trong vùng bão hòa và đạt được hiệu suất mong muốn.

### 2. Phân Tích Điện Áp Đầu Ra trong Mạch Folded Cascode:

$V_{out}$  là điện áp tại điểm ra, được lấy từ điểm nối giữa PMOS và tải chủ động. Điện áp này có thể tính toán dựa trên điện áp  $V_{DS}$  của NMOS và  $V_{GS}$  của PMOS:

$$V_{out} = VDD - I_{cascode} \cdot R_{load}$$

Trong đó  $R_{load}$  là điện trở tải hoặc tải chủ động

$V_{out}$  sẽ thay đổi theo  $V_{in}$  do sự thay đổi của dòng  $I_{in}$  và  $I_{cascode}$

### 3. Điều Kiện Hoạt Động của Transistor NMOS và PMOS trong Mạch Folded Cascode:

Transistor NMOS:

NMOS cần hoạt động trong vùng bão hòa để khuếch đại tín hiệu đầu vào hiệu quả.

Điều kiện bão hòa:  $V_{DS} > V_{GS} - V_{th}$

Transistor PMOS:

PMOS cũng cần hoạt động trong vùng bão hòa để đảm bảo hiệu quả của mạch

Điều kiện bão hòa:  $V_{SG} > |V_{th}|$  và  $V_{SD} > V_{SG} - |V_{th}|$

### 4. Tương Quan Giữa Dòng Điện và Điện Áp Đầu Ra trong Mạch Folded Cascode:

Dòng điện  $I_{in}$  qua NMOS được điều khiển bởi điện áp  $V_{in}$ , từ đó ảnh hưởng tới dòng điện qua toàn bộ mạch.

Điện áp  $V_{out}$  phụ thuộc vào dòng điện qua PMOS và tải, là tín hiệu đầu ra đã được khuếch đại.

Để mạch hoạt động tốt, cả NMOS và PMOS cần ở trong vùng bão hòa, đảm bảo độ tuyến tính và hiệu suất của mạch

## VII. Ứng dụng:

### 1. Mạch khuếch đại chính xác cao:

Folded Cascode Op-Amp được sử dụng trong các mạch khuếch đại chính xác cao như bộ khuếch đại tín hiệu nhỏ (small-signal amplifiers), nơi yêu cầu độ tuyến tính cao và độ méo thấp.

## **2. Mạch tích hợp (ICs):**

Cấu trúc nhỏ gọn và hiệu quả của Folded Cascode Op-Amp làm cho nó lý tưởng cho các mạch tích hợp, đặc biệt là trong các thiết kế vi mạch analog, nơi không gian và hiệu suất là yếu tố quan trọng.

## **3. Bộ lọc tần số cao:**

Nhờ vào dải tần rộng, Folded Cascode Op-Amp được ứng dụng trong các bộ lọc thông dải (bandpass filters) và các mạch lọc khác hoạt động ở tần số cao.

## **4. Mạch truyền thông RF:**

Trong các hệ thống truyền thông RF (Radio Frequency), Folded Cascode Op-Amp được sử dụng để khuếch đại tín hiệu RF nhờ khả năng hoạt động hiệu quả ở tần số cao và điện áp thấp.

## **5. Mạch khuếch đại công suất thấp:**

Do khả năng hoạt động ở điện áp thấp, Folded Cascode Op-Amp thường được sử dụng trong các mạch khuếch đại công suất thấp như trong các thiết bị di động và các hệ thống tiêu thụ năng lượng thấp.

## **6. Bộ chuyển đổi dữ liệu (Data Converters):**

Folded Cascode Op-Amp được sử dụng trong các bộ chuyển đổi tương tự-số (ADC) và số-tương tự (DAC), nơi cần hiệu suất cao và độ chính xác để đảm bảo tín hiệu chuyển đổi chính xác.

## **VIII. Ưu điểm và nhược điểm của mạch Folded Cascode OpAmp:**

## **1.Ưu điểm:**

### **a. Độ tuyến tính cao:**

Cấu trúc Folded Cascode giúp giảm thiểu biến dạng phi tuyến, đảm bảo tín hiệu đầu ra chính xác và trung thực, đặc biệt quan trọng trong các ứng dụng yêu cầu độ chính xác cao.

### **b. Dải tần rộng:**

Mạch có khả năng hoạt động hiệu quả ở các tần số cao, làm cho nó phù hợp với các ứng dụng như truyền thông RF và các bộ lọc tần số cao.

### **c. Biên độ tín hiệu lớn:**

Folded Cascode Op-Amp có thể xử lý các tín hiệu có biên độ lớn mà vẫn duy trì độ tuyến tính, nhờ vào cấu trúc cascode giúp nâng cao khả năng khuếch đại tín hiệu.

### **d. Hoạt động ở điện áp thấp:**

Mạch có thể hoạt động hiệu quả ở các mức điện áp thấp, điều này rất hữu ích trong các thiết kế tiết kiệm năng lượng và các thiết bị di động.

### **e. Trở kháng đầu ra cao:**

Mạch có trở kháng đầu ra cao, giúp duy trì ổn định tín hiệu khi kết nối với các tải khác mà không làm suy giảm hiệu suất.

### **g. Thiết kế nhỏ gọn:**

Cấu trúc "gấp lại" giúp tiết kiệm không gian trên chip, phù hợp với các mạch tích hợp trong các thiết kế vi mạch phức tạp.

## **2.Nhược điểm:**

### **a. Thiết kế phức tạp:**

Mạch Folded Cascode có cấu trúc phức tạp hơn so với các cấu trúc khuếch đại truyền thống, đòi hỏi sự cẩn thận trong thiết kế và phân tích.

**b. Tiêu thụ công suất cao hơn:**

Mặc dù hoạt động ở điện áp thấp, mạch này có thể tiêu thụ nhiều công suất hơn do sự phức tạp của các tầng khuếch đại và cascode, đặc biệt trong các ứng dụng yêu cầu hiệu suất cao.

**c. Độ nhạy với sai số trong thiết kế:**

Vì là một mạch phức tạp, Folded Cascode Op-Amp có thể nhạy cảm với các sai số trong thiết kế hoặc biến đổi của các thông số linh kiện, điều này có thể ảnh hưởng đến hiệu suất hoạt động.

**e. Độ khuếch đại thấp hơn so với một số cấu trúc khác:**

Mặc dù Folded Cascode Op-Amp có nhiều ưu điểm về dải tần và độ tuyến tính, nhưng độ khuếch đại (gain) tĩnh của nó có thể thấp hơn so với các cấu trúc khuếch đại khác như telescopic cascode.

***Tài liệu tham khảo:***

+*Design of Analog CMOS Integrated Circuits- Behzad Razavi*

+C. Enz and G. Temes, "Circuit Techniques for Low-Voltage Low-Power Analog and Mixed-Signal Design," Proceedings of the IEEE, vol. 89, no. 4, pp. 550-576, April 2001.

+ P. Gray, P. Hurst, S. Lewis, and R. Meyer, "Analysis and Design of Analog Integrated Circuits," 5th edition, Wiley, 2009.

+B. Razavi, "Design of Analog CMOS Integrated Circuits," McGraw-Hill Education, 2016.