วงจรหาค่าสูงสุดแบบหลายอินพุตชนิดแรงดันต่ำ

- อ. ธวัชชัย คำศรี
- รศ.ดร. วันชัย ริ้วรุจา
- อ. เกียรติวรรณ ทรงสัตย์
- ผศ. อัมพวัน ใจกล้า (ผู้บรรยาย)

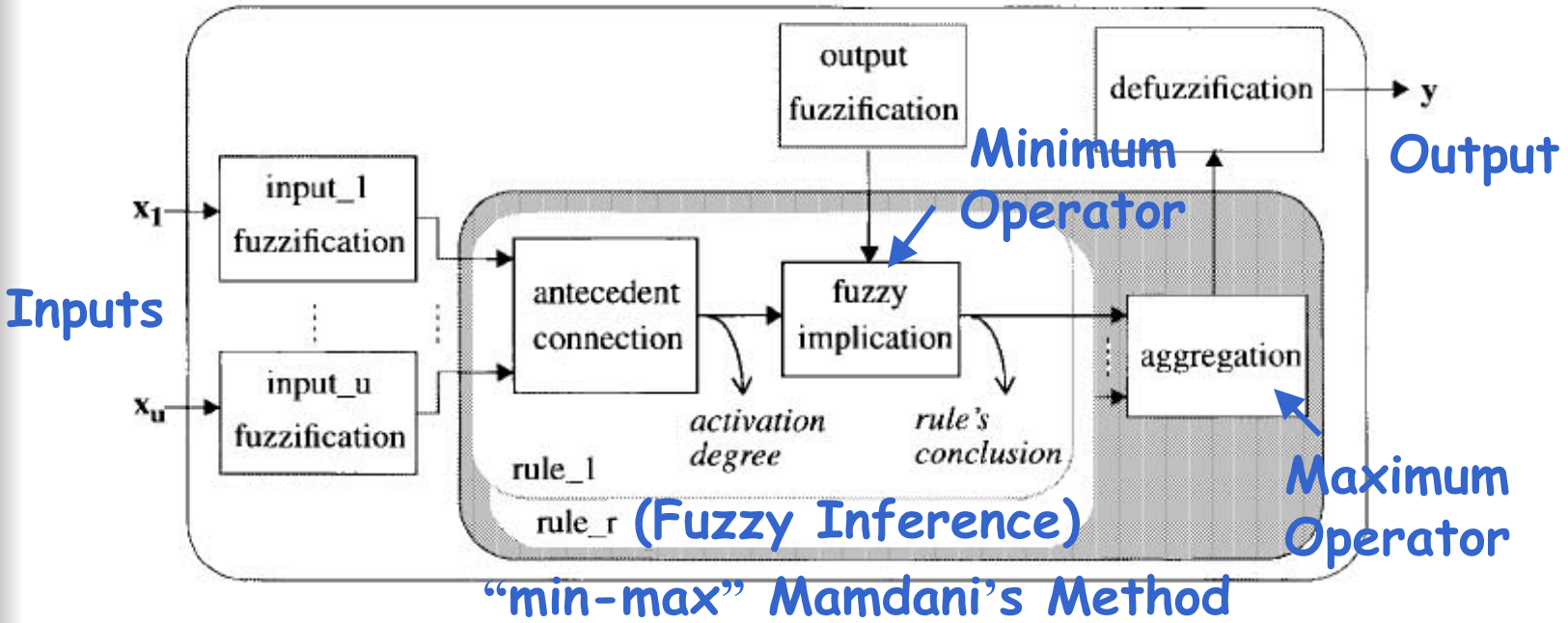
คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อในการบรรยาย

- ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานวงจรหาค่าสูงสุด
- วัตถุประสงค์ของงานวิจัย
- คุณสมบัติของมอสเฟต
- วงจรหาค่าสูงสุดแบบหลายอินพุตที่มีการทำงานในขั้นตอนเดียว
- วงจรหาค่าสูงสุดที่นำเสนอ
- ผลการเลียนแบบการทำงานด้วย Cadence Spectre
- บทสรุป

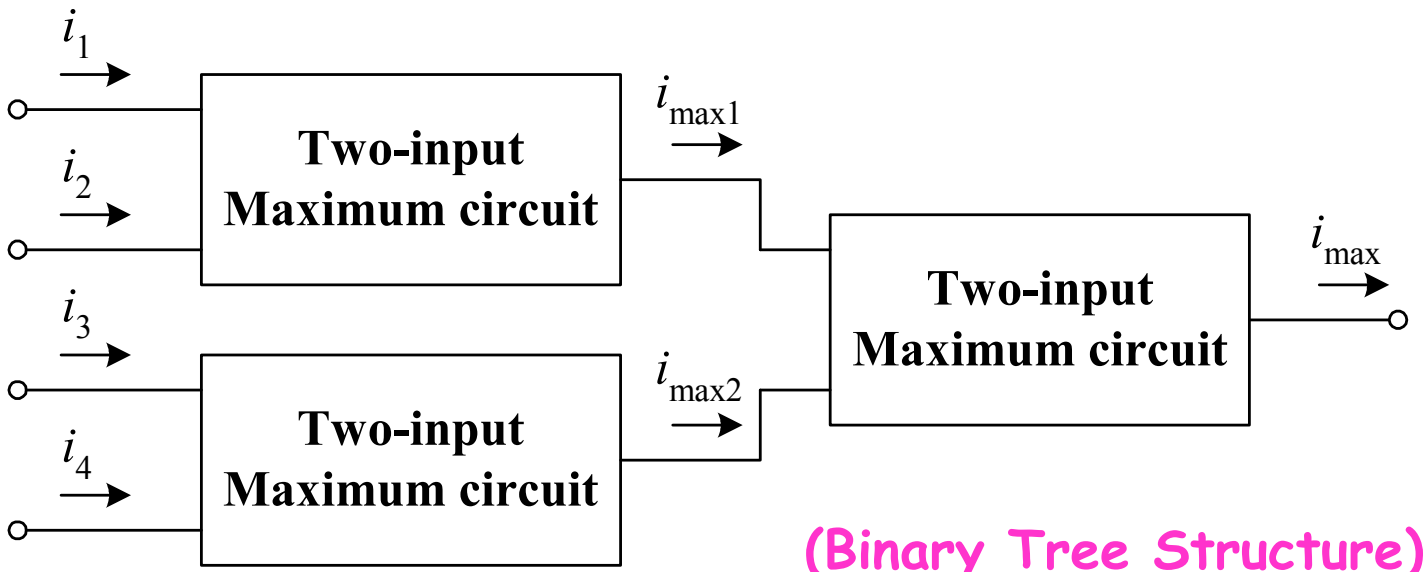
ตัวอย่างการประยุกต์ใช้งานวงจรหาค่าสูงสุด



โครงสร้างพื้นฐานของตัวควบคุมฟัซซี

ที่มา Baturone *et al*: **Implement of CMOS Fuzzy Controllers as Mixed-Signal Integrated Circuits**, IEEE Trans. On Fuzzy Systems, Vol. 5, No. 1, 1997

การหาค่าสูงสุดแบบหลายอินพุตโดยใช้วงจรหาค่าสูงสุดชนิดสองอินพุต



(Binary Tree Structure)

จุดด้อย - มีความซับซ้อนเมื่อจำนวนอินพุตเพิ่มมากขึ้น

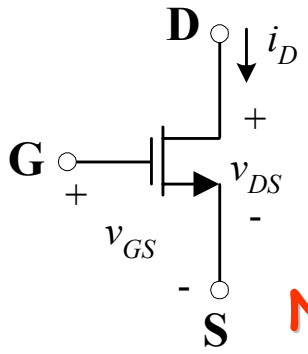
- มีความเร็วในการทำงานต่ำ

- เกิดความผิดพลาดสะสมในการทำงานสูง

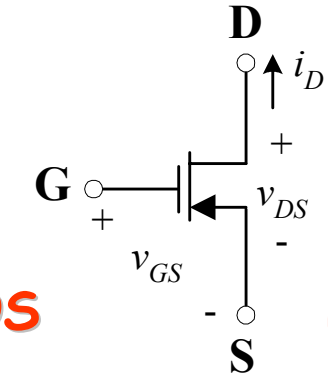
วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- นำเสนอวงจรหาค่าสูงสุดแบบหลายอินพุตที่มีการทำงานในขั้นตอนเดียว
- โดยใช้เทคโนโลยีการออกแบบวงจรรวมแบบ CMOS
- เป็นวงจรที่สามารถใช้กับแหล่งจ่ายไฟต่ำ (1.5V)
- มีการออกแบบโดยใช้การไบอัสทรานซิสเตอร์ที่ขอบของการนำกระแส เพื่อให้ได้สัญญาณเอาต์พุตที่มีความผิดเพี้ยนน้อยและมีความเร็วในการทำงานสูง

MOS Transistors



NMOS



PMOS

$$i_D = K\left[\left(v_{GS} - V_T\right)v_{DS} - \frac{v_{DS}^2}{2}\right]$$

Non-saturation region

$v_{DS} < v_{GS} - V_T$

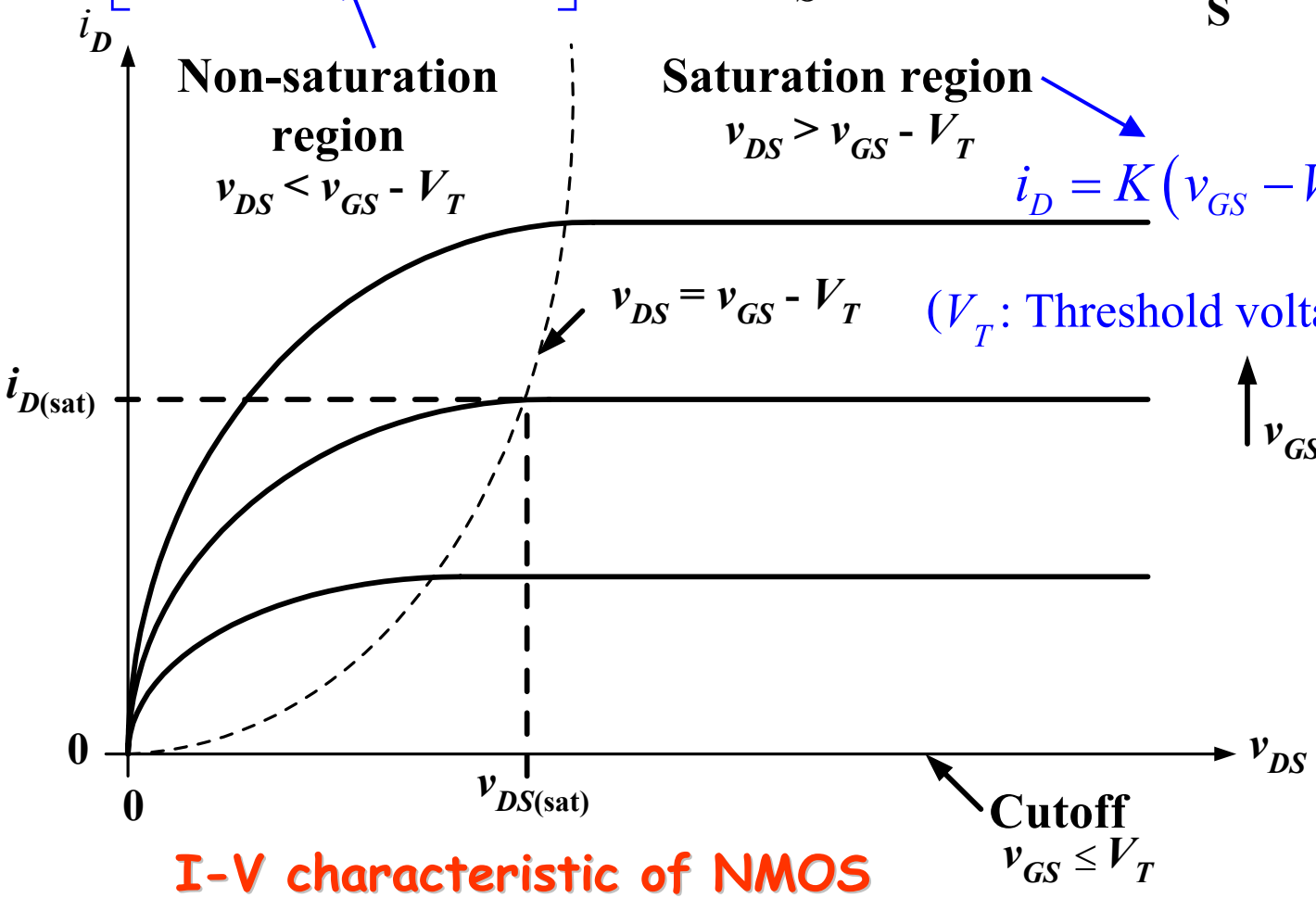
Saturation region

$v_{DS} > v_{GS} - V_T$

$$i_D = K\left(v_{GS} - V_T\right)^2$$

$v_{DS} = v_{GS} - V_T$

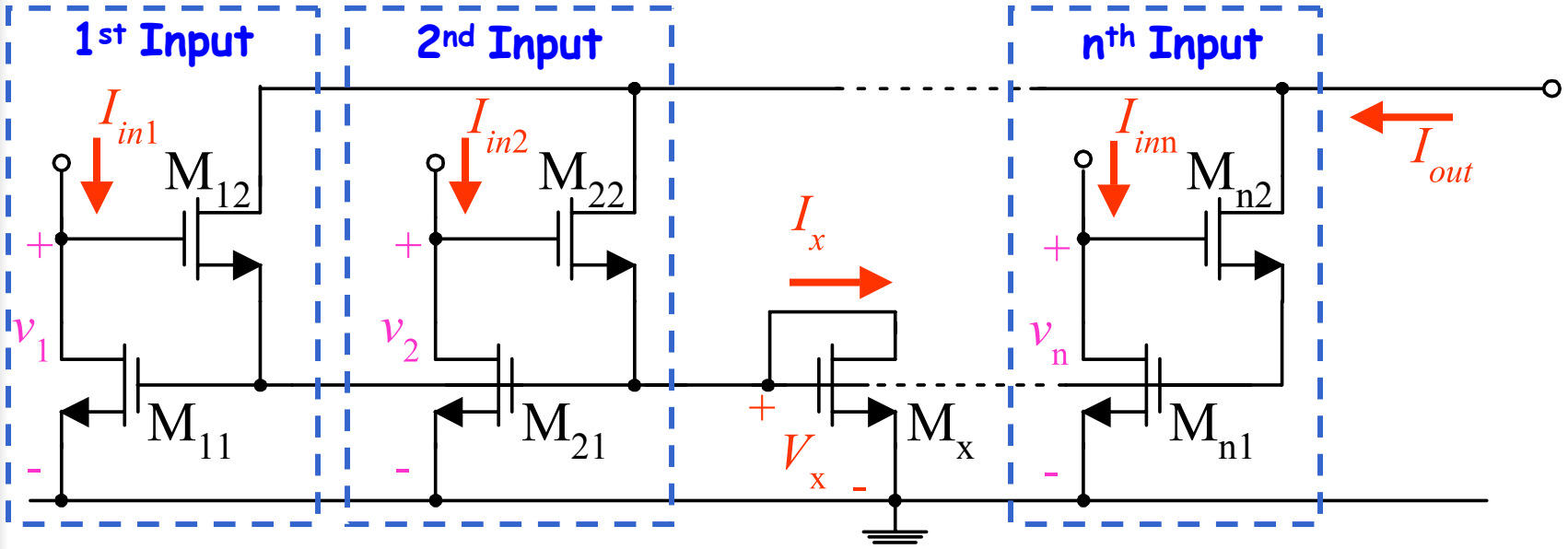
(V_T: Threshold voltage)



I-V characteristic of NMOS

การหาค่าสูงสุดแบบหลายอินพุตที่มีการทำงานในขั้นตอนเดียว

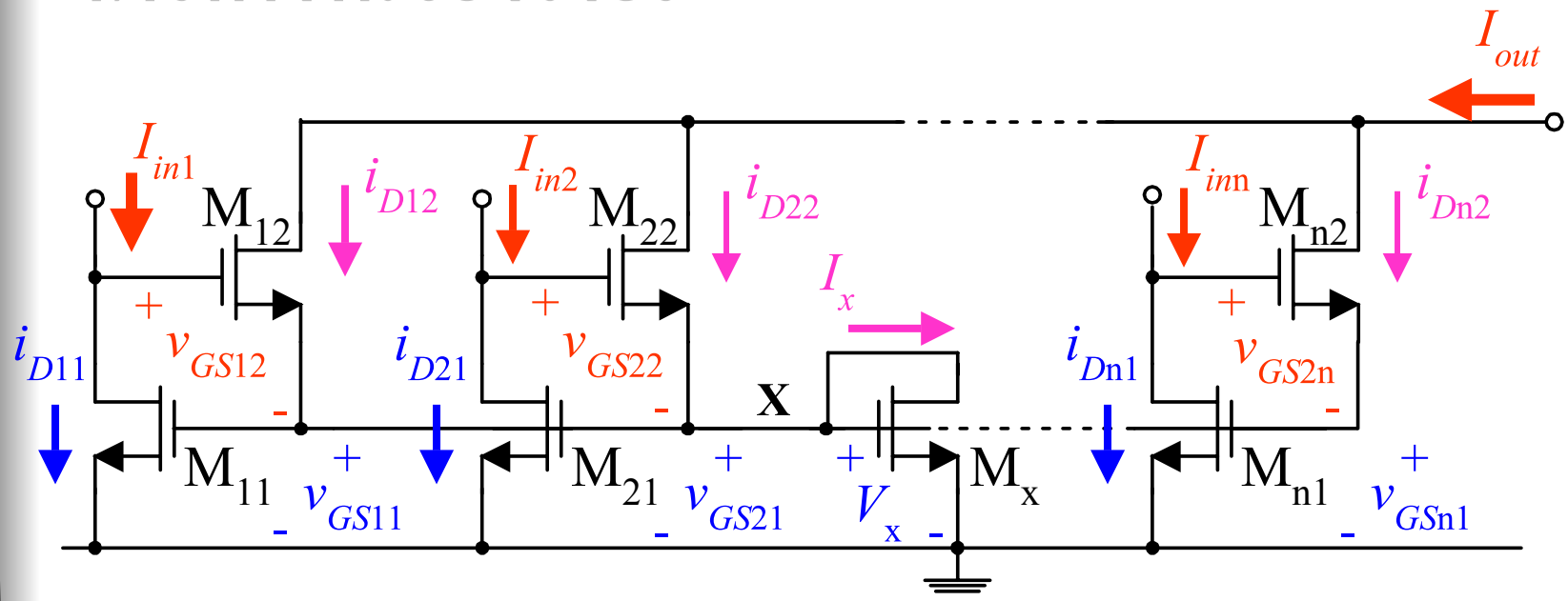
$$I_{out} = \max\left(I_{in1}, I_{in2}, \ldots, I_{inn}\right) \quad (1)$$



จำนวนทรานซิสเตอร์ = $2n+1$ (n คือ จำนวนกระแสอินพุต)

ที่มา C.Y. Huang and B.D. Liu: **Current-mode Multiple-input Maximum circuit for Fuzzy Logic Controllers**, Electron. Lett., vol. 30, No. 23, Nov.1994.

การทำงานของวงจร

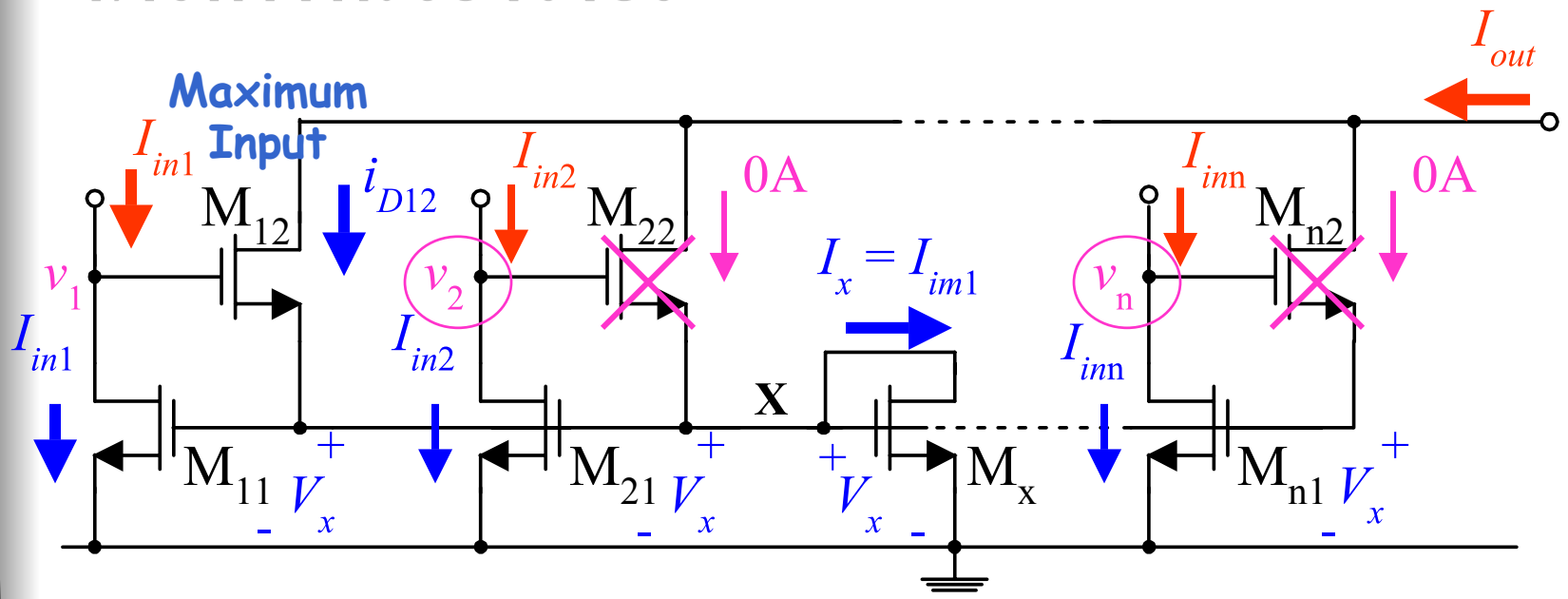


ถ้ากำหนดให้ $$I_{in1} = \max\left(I_{in1}, I_{in2}, \ldots, I_{inn}\right) \quad (2)$$

ที่โนด X : $$i_{D12} + i_{D22} + \ldots + i_{Dn2} = I_x \quad (3)$$

$$v_{GS11} = v_{GS21} = \ldots = v_{GSn1} = V_x \quad (4)$$

การทำงานของวงจร

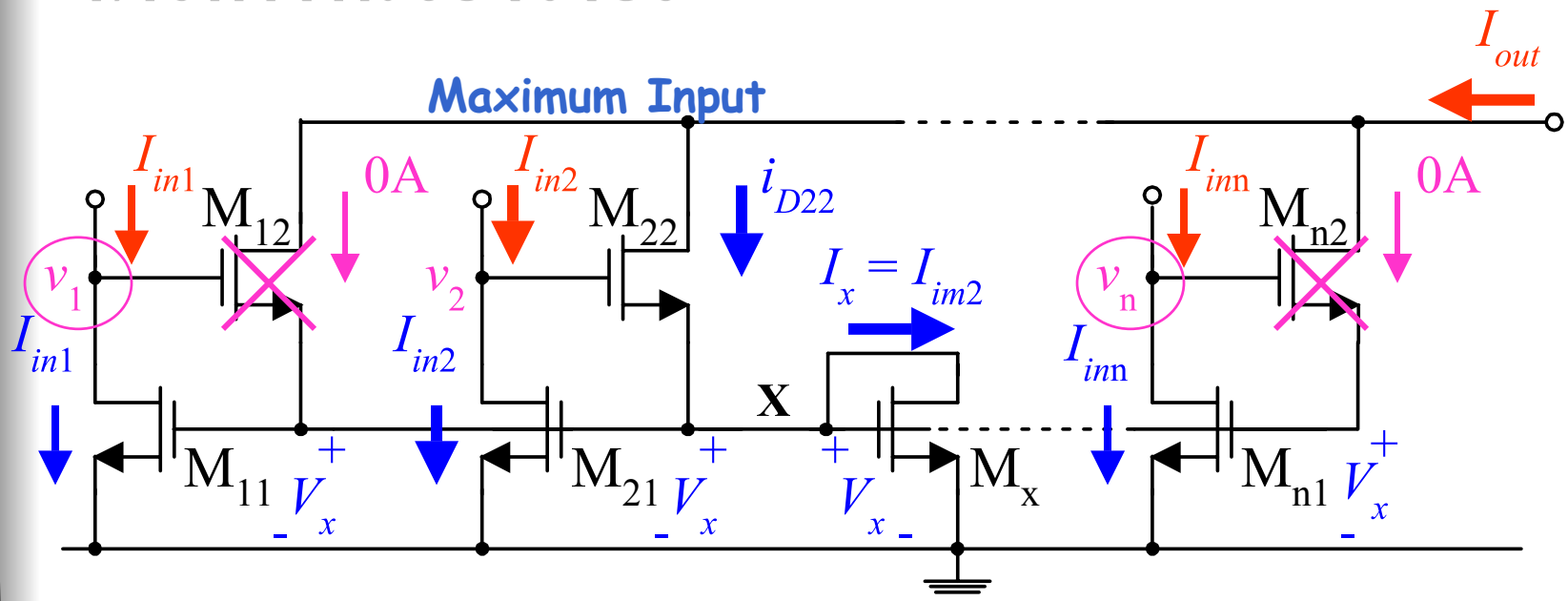


$M_{21}, M_{31}, \ldots, M_{n1}$: Non-saturation

$M_{22}, M_{32}, \ldots, M_{n2}$: Cutoff $\rightarrow$ $i_{D22} = i_{D32} = \ldots = i_{Dn2} = 0$

M_{11}, M_X: Saturation $\rightarrow$ $I_{out} = i_{D12} = I_x = I_{in1}$ (5)

การทำงานของวงจร



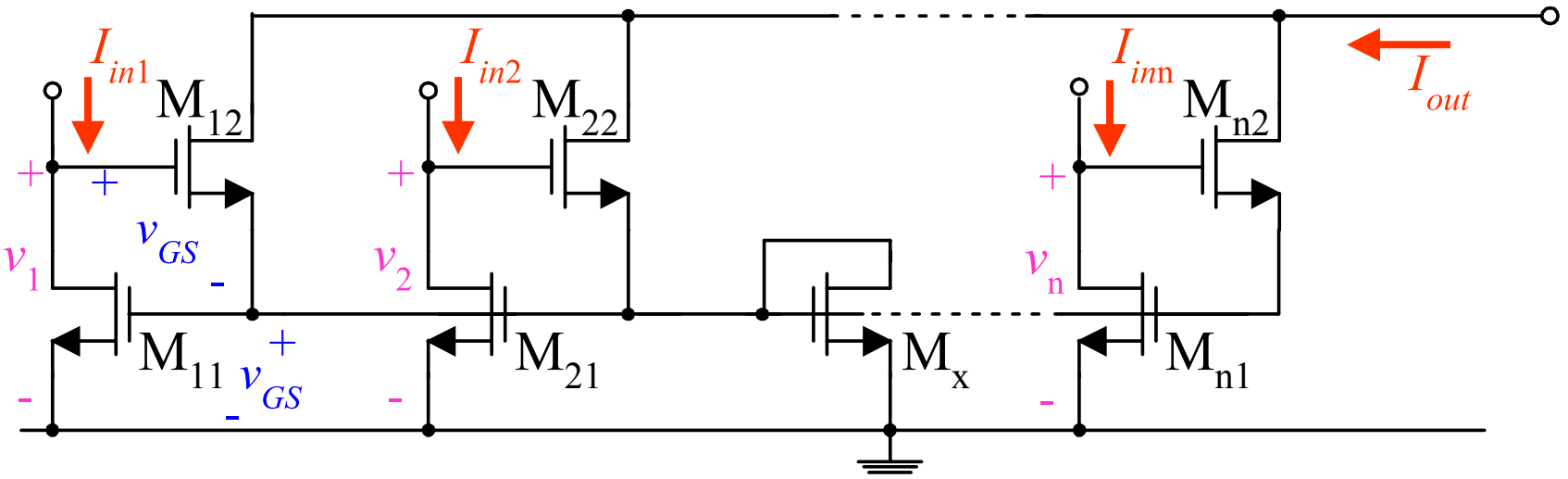
$M_{11}, M_{31}, \ldots, M_{n1}$: Non-saturation

$M_{12}, M_{32}, \ldots, M_{n2}$: Cutoff $\rightarrow$ $i_{D12} = i_{D32} = \ldots = i_{Dn2} = 0$

M_{21}, M_X: Saturation $\rightarrow$ $I_{out} = i_{D22} = I_x = I_{in2}$

ข้อจำกัดของวงจร

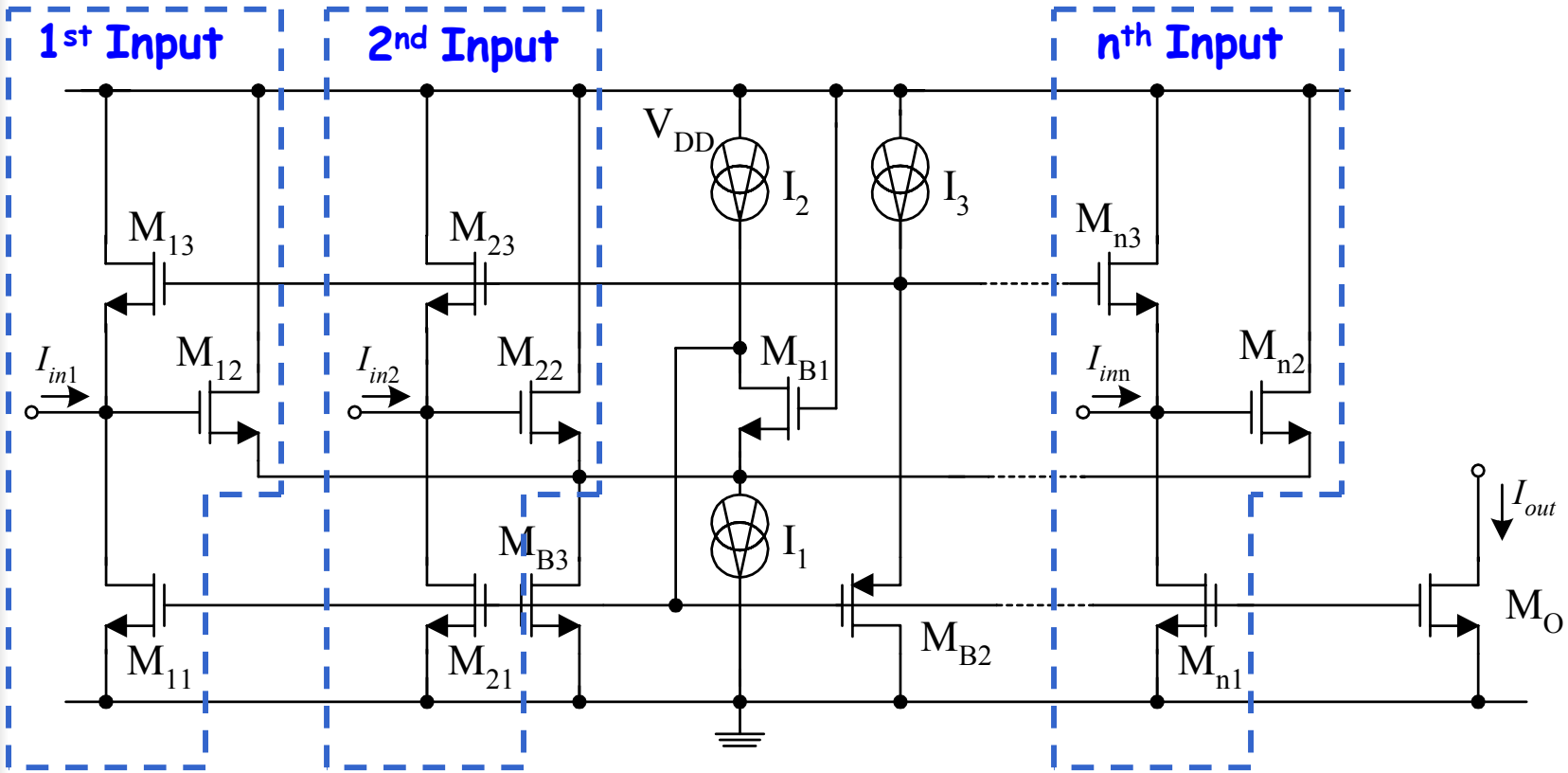
$$I_{out} = \max\left(I_{in1}, I_{in2}, \ldots, I_{inn}\right)$$



- ค่าแรงดันอินพุตต่ำสุดที่วงจรสามารถทำงานได้ คือ $2v_{GS}$
- วงจรทำงานช้าและมีความผิดเพี้ยนของสัญญาณเอาต์พุตสูง เนื่องจากการเปลี่ยนสภาวะไม่ทันของมอสเฟตระหว่างสภาวะนำกระแสและไม่นำกระแส

วงจรหาค่าสูงสุดที่นำเสนอ

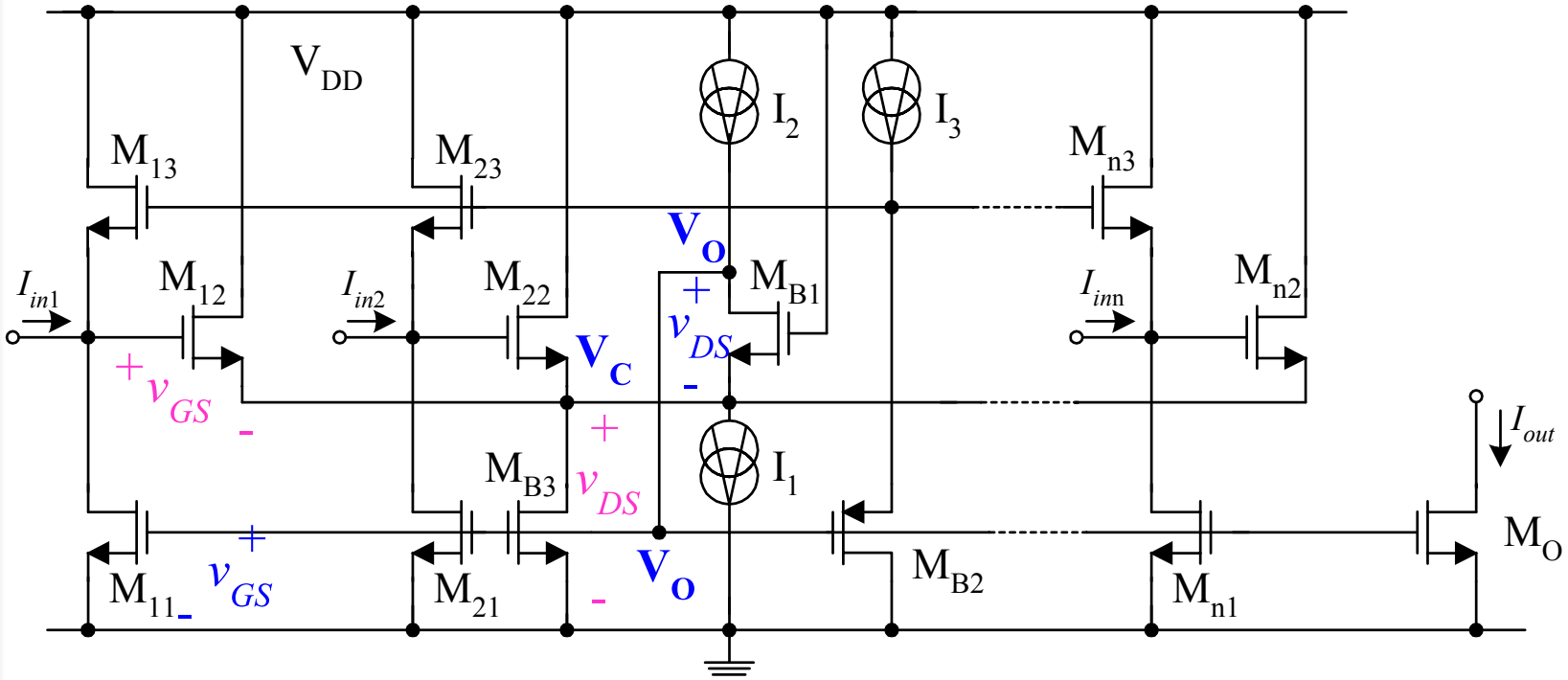
$$I_{out} = \max\left(I_{in1}, I_{in2}, \ldots, I_{inn}\right)$$



จำนวนทรานซิสเตอร์ = $3n + 4$ (n คือ จำนวนกระแสอินพุต)

วงจรหาค่าสูงสุดที่นำเสนอ

- ลดค่าแรงดันอินพุตต่ำสุดที่วงจรสามารถทำงานได้ $(V_{in(min)} < 2v_{GS})$

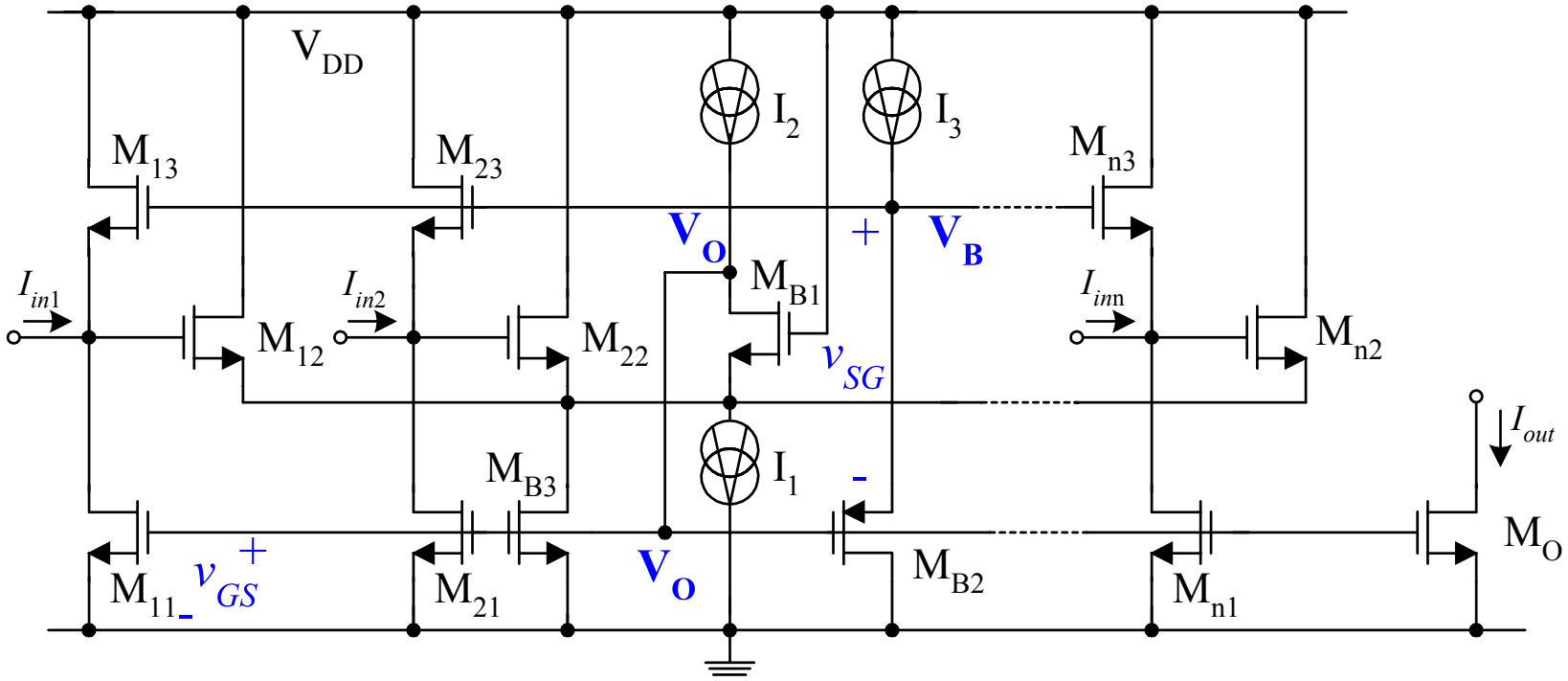


$$V_O = V_C + v_{DS} = v_{GS} \qquad (6)$$

$$V_{in(min)} = v_{GS} + v_{DS} = v_{GS} + V_C = 2v_{GS} - v_{DS} \qquad (7)$$

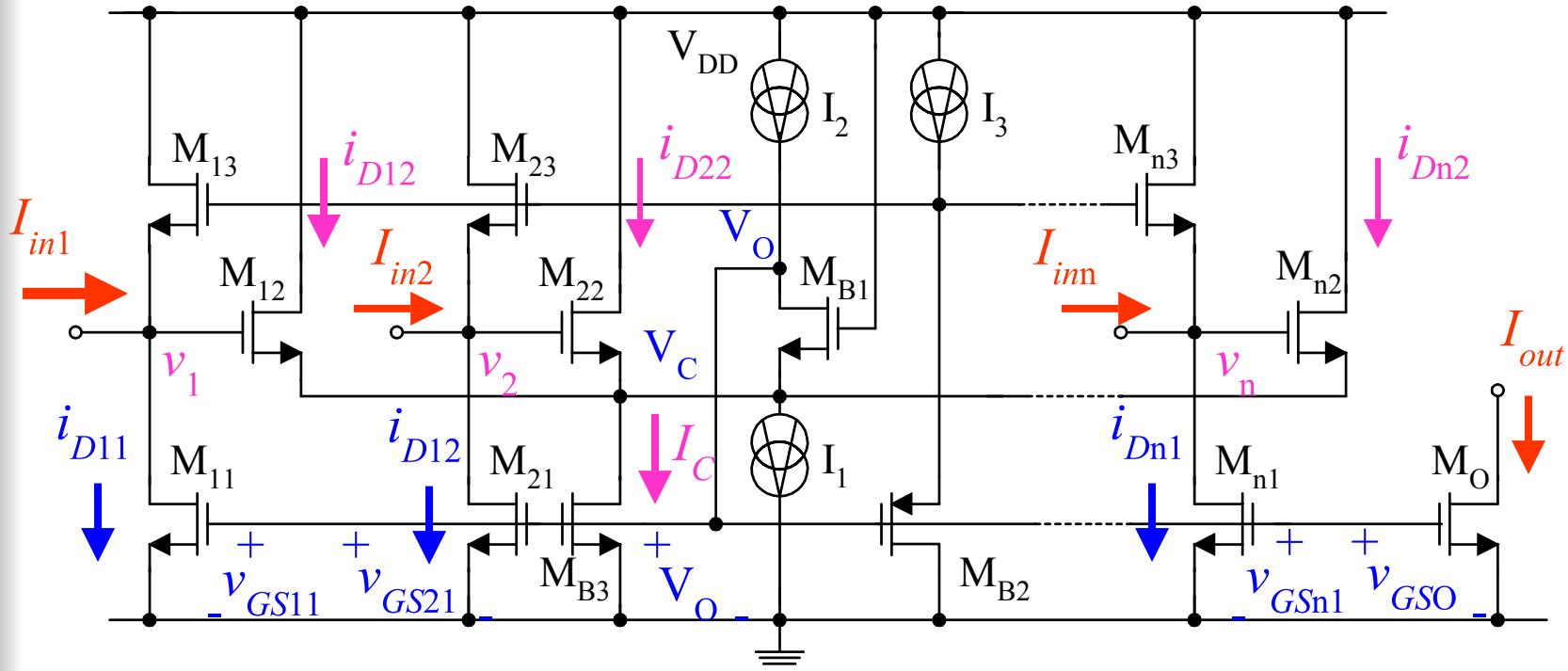
วงจรหาค่าสูงสุดที่นำเสนอ

- ใช้หลักการไบอัสมอสเฟตที่ขอบของการนำกระแส เพื่อเพิ่มความเร็วในการเปลี่ยนสภาวะของมอสเฟตและลดความผิดเพี้ยนของเอาต์พุต



(Pre-Bias Voltage) $$V_B = V_O + v_{SG} \approx 2v_{GS} \qquad (8)$$

การทำงานของวงจรที่นำเสนอ

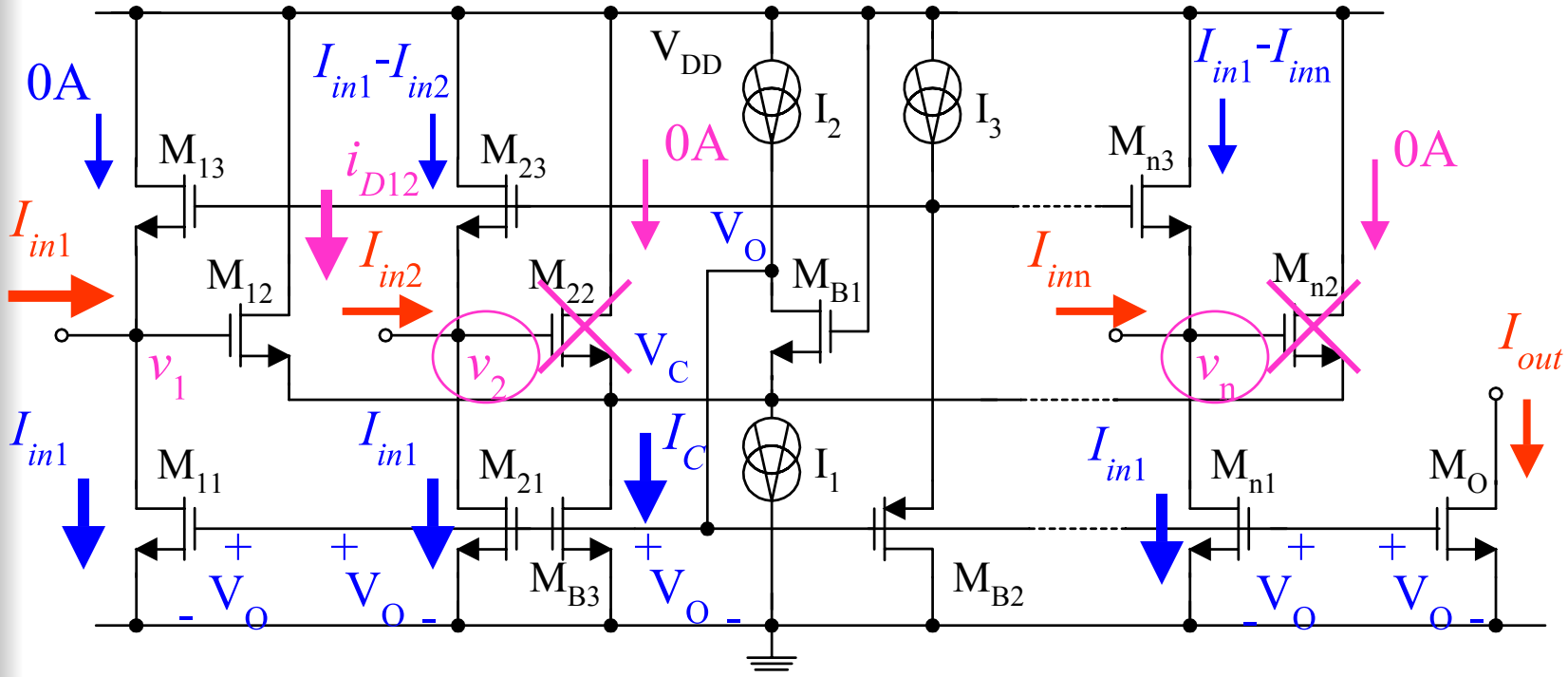


ถ้ากำหนดให้ $$I_{in1} = \max\left(I_{in1}, I_{in2}, \ldots, I_{inn}\right) \qquad (9)$$

ที่โนด V_C : $$i_{D12} + i_{D22} + \ldots + i_{Dn2} + \cancel{I_2} - \cancel{I_1} = I_C \qquad (10)$$

$$v_{GS11} = v_{GS21} = \ldots = v_{GSn1} = v_{GSO} = V_o \qquad (11)$$

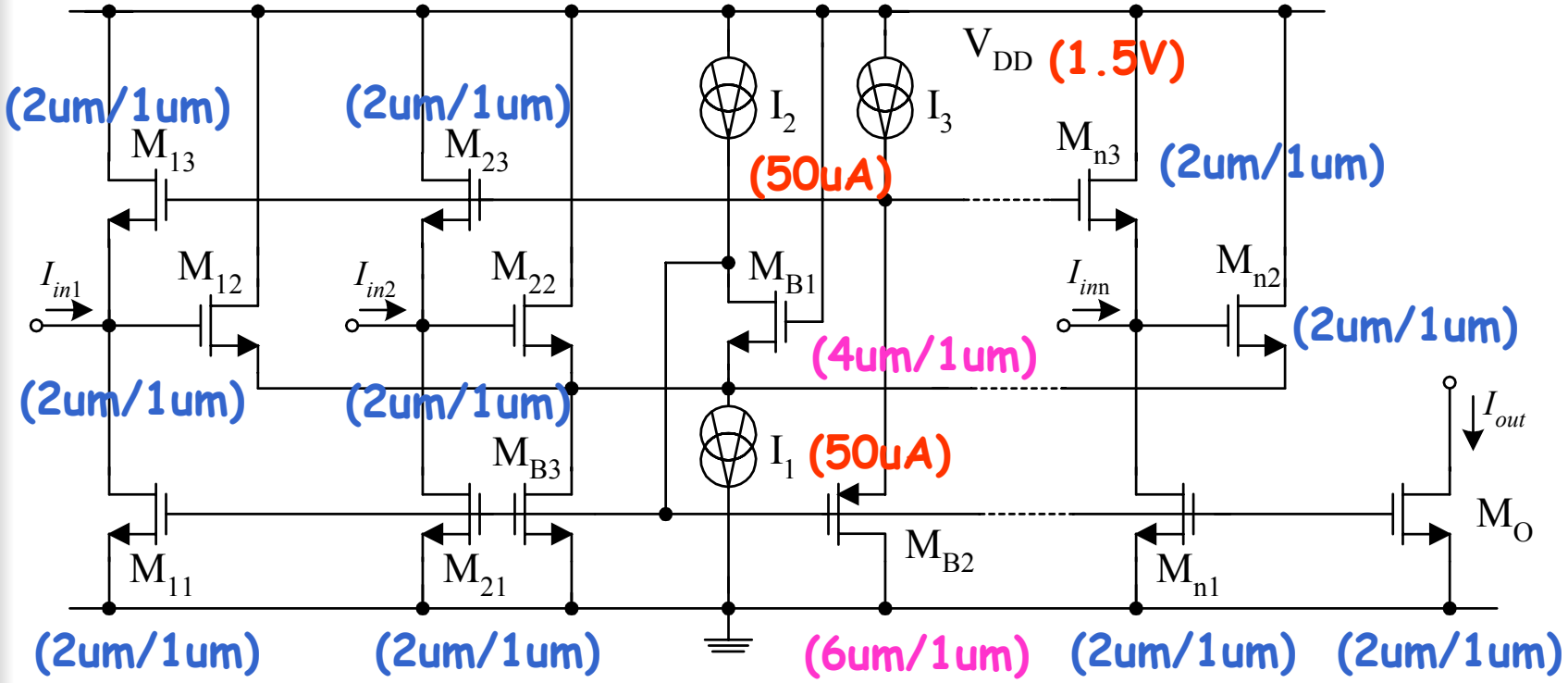
การทำงานของวงจรที่นำเสนอ



$$i_{D11} = i_{D21} = \ldots = i_{Dn1} = I_C = I_{out} = I_{in1}$$

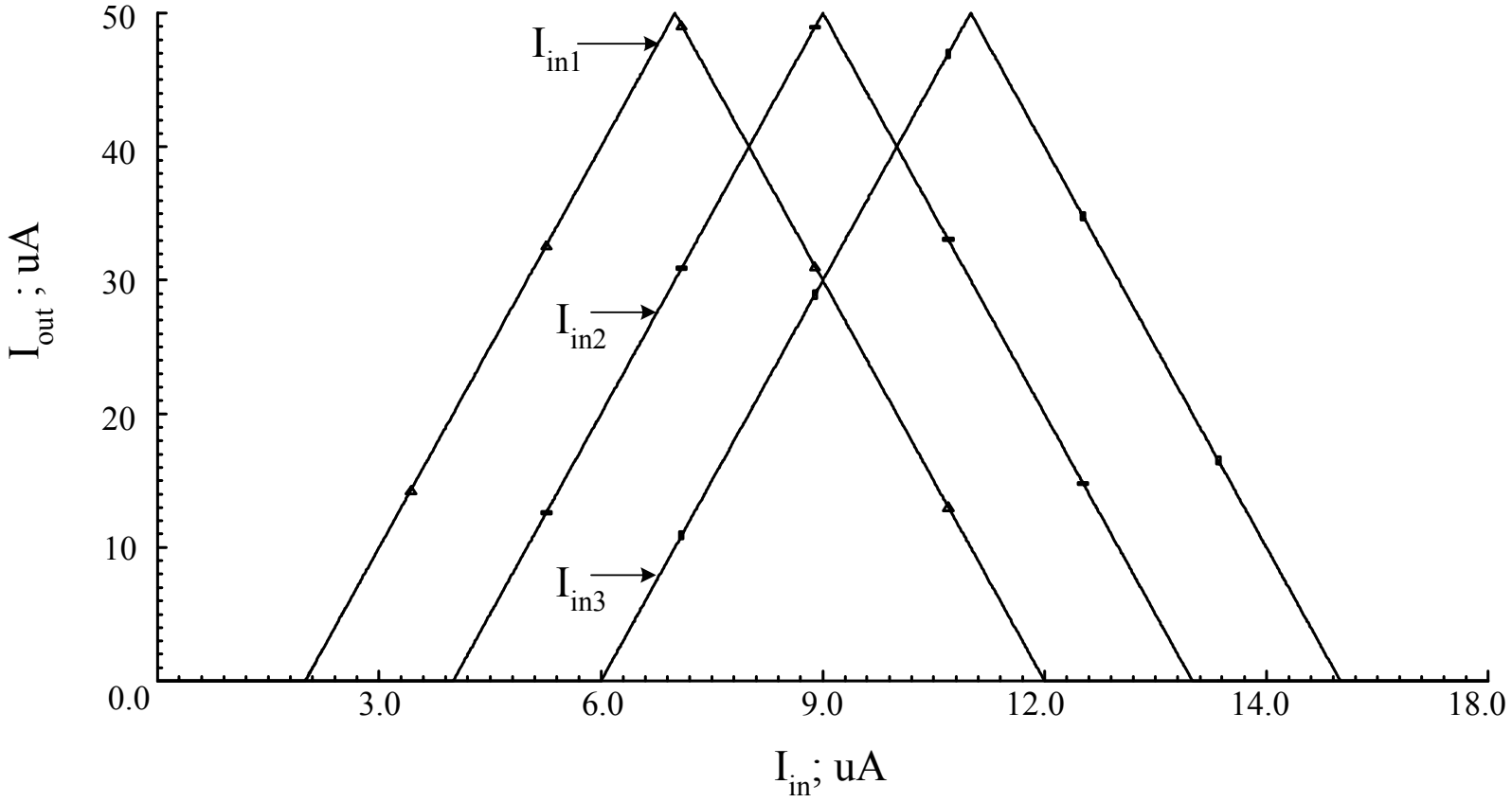
$$I_{out} = \max\left(I_{in1}, I_{in2}, \ldots, I_{inn}\right) = I_{in1} \qquad (12)$$

ผลการเลียนแบบการทำงานด้วย Cadence Spectre



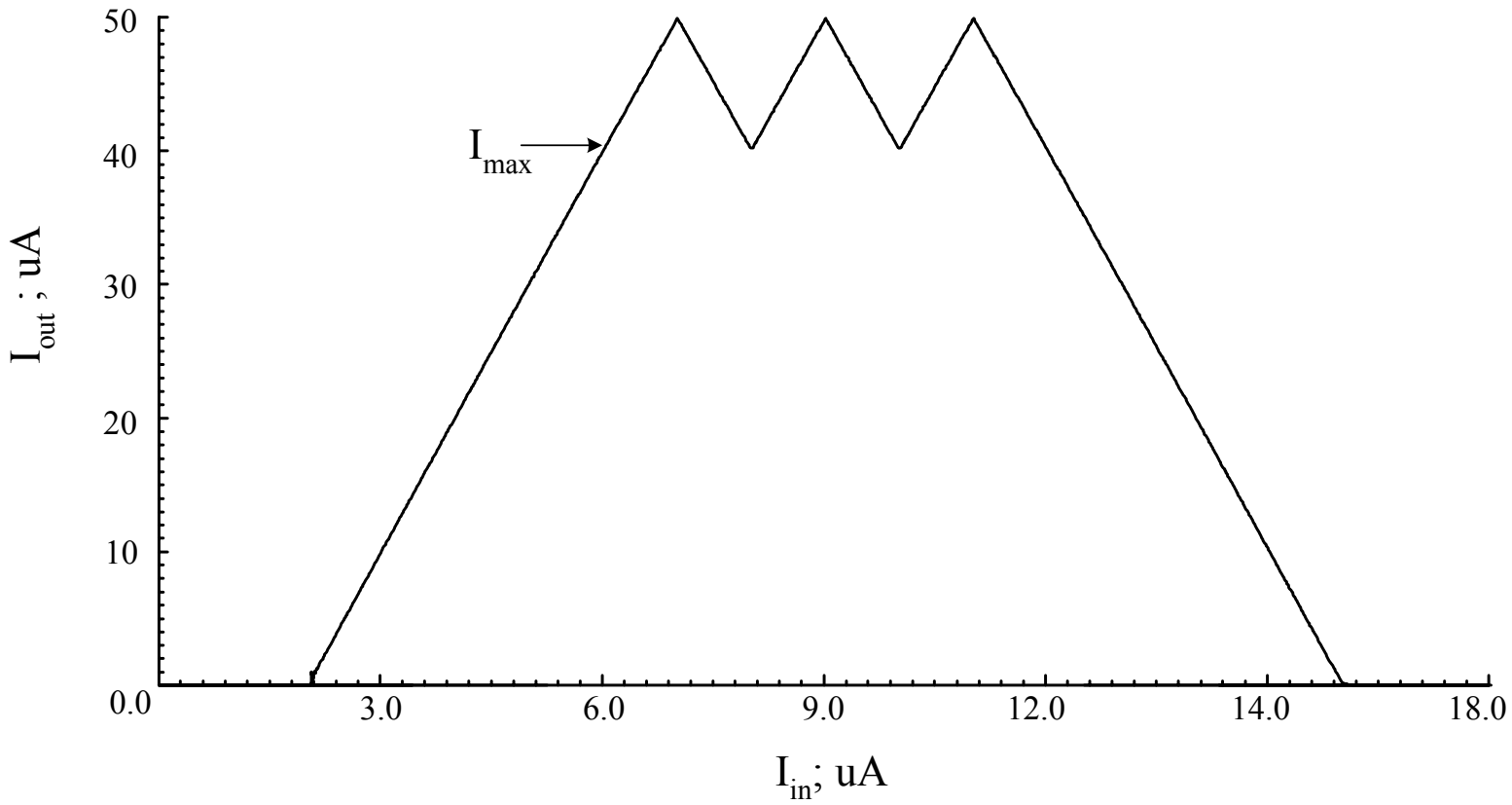
เลียนแบบการทำงานโดยใช้แบบจำลอง AMIS 0.5 um

ผลการเลียนแบบการทำงานด้วย Cadence Spectre



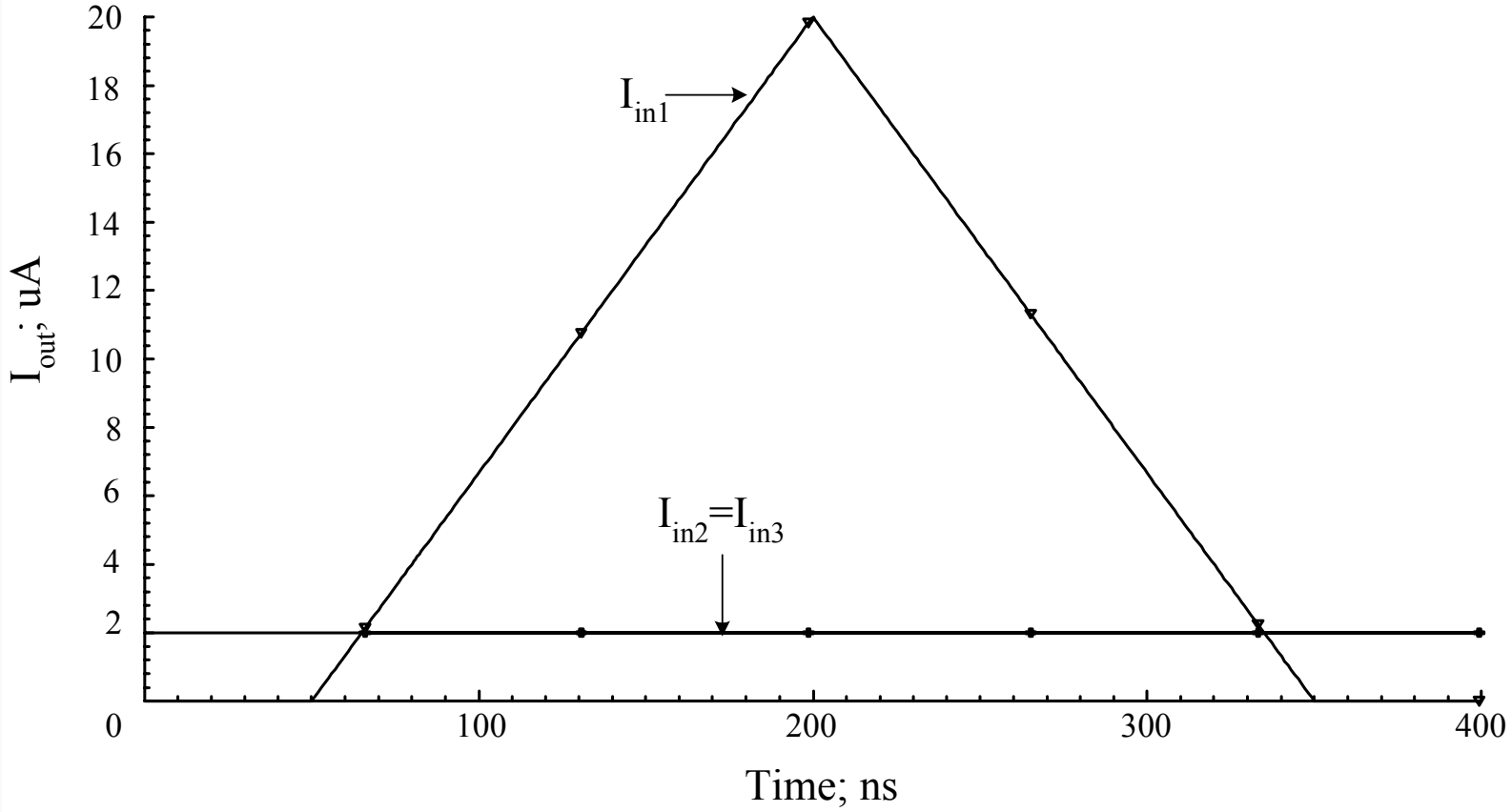
เมื่อป้อนกระแสอินพุตทั้งสามเป็นสัญญาณรูปสามเหลี่ยมขนาด 50uA

ผลการเลียนแบบการทำงานด้วย Cadence Spectre



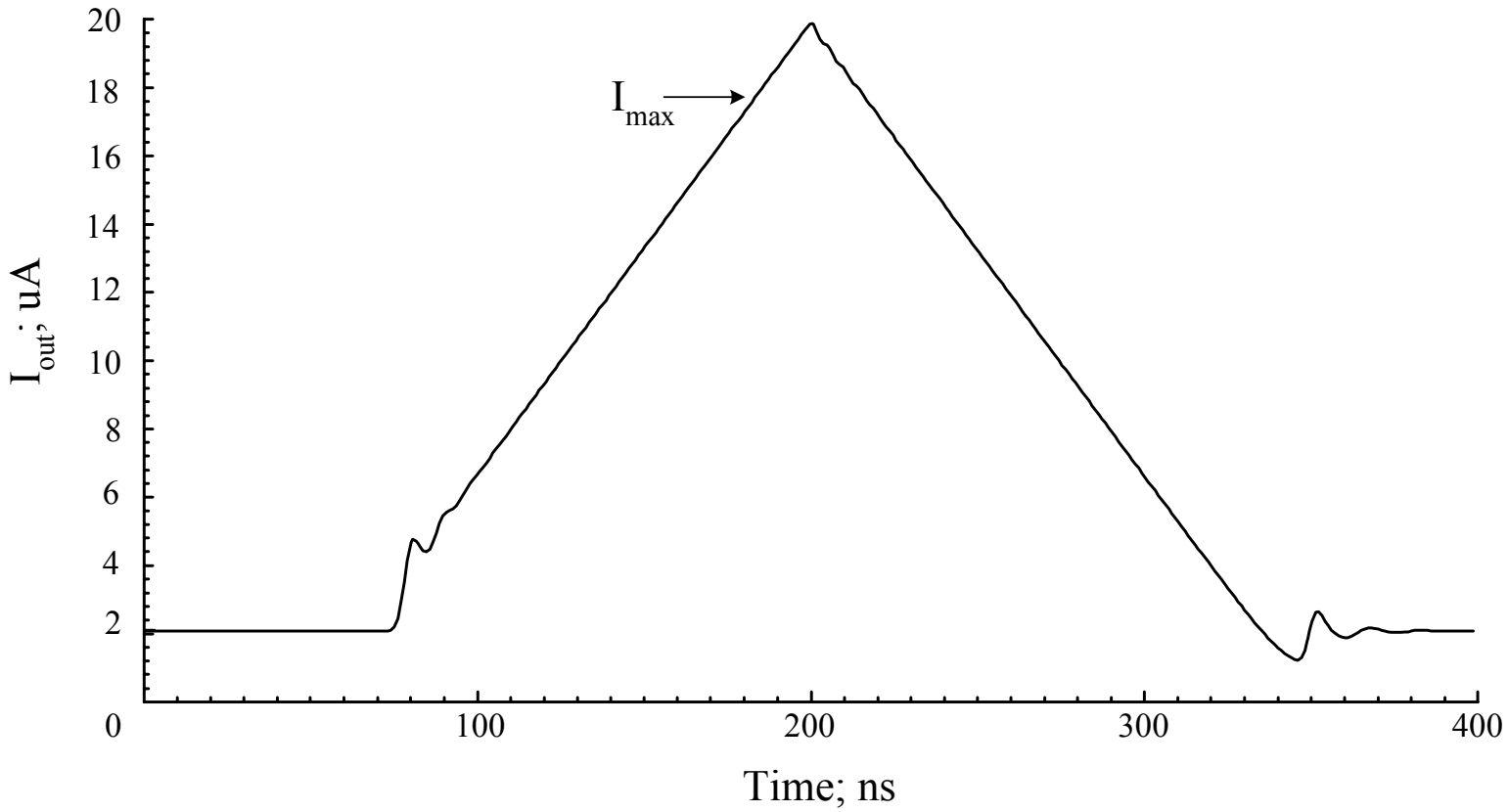
ผลการทำงานสำหรับ 3 อินพุต

ผลการเลียนแบบการทำงานด้วย Cadence Spectre



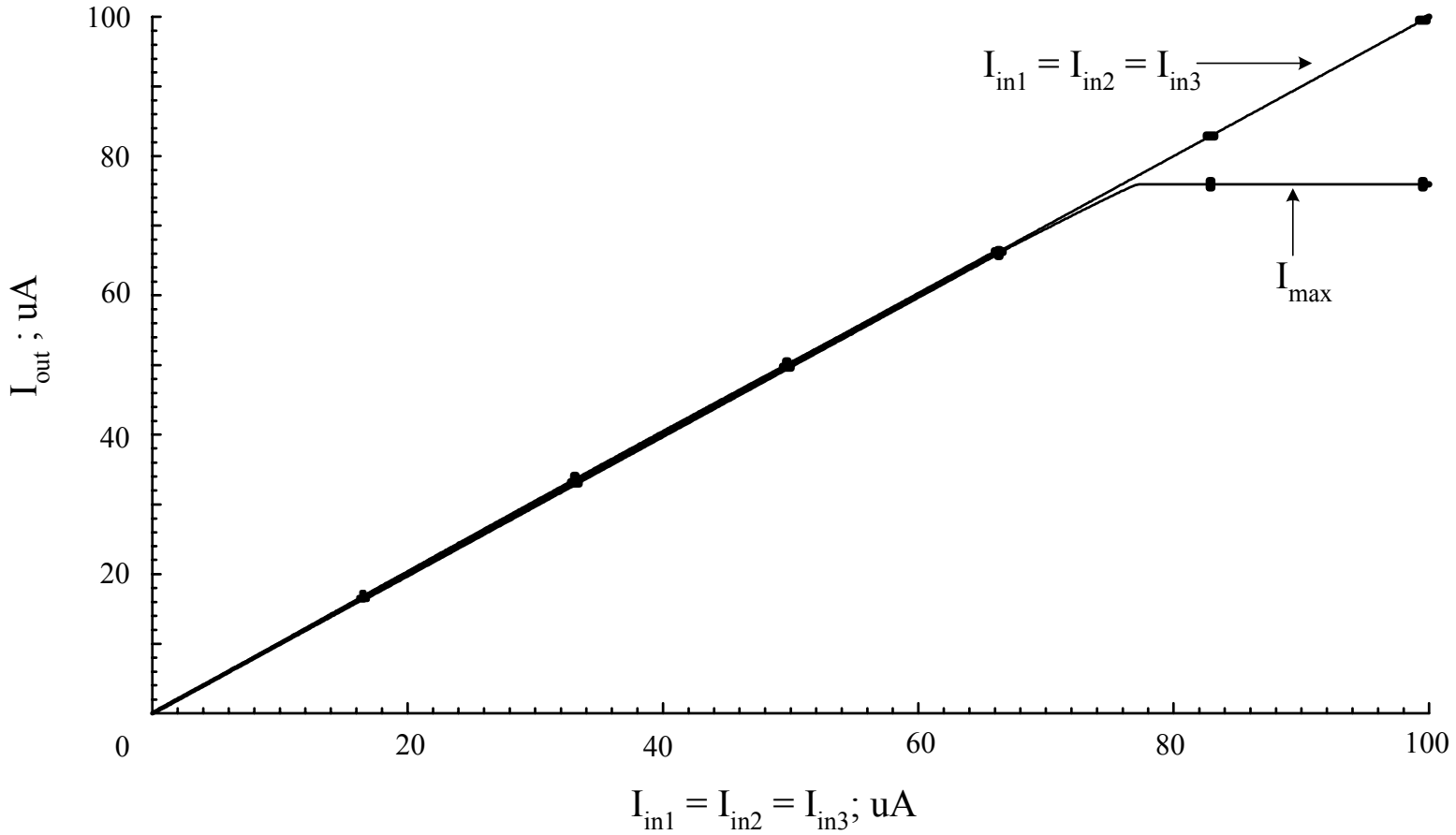
เมื่อป้อนกระแสอินพุตที่หนึ่งเป็นสัญญาณรูปสามเหลี่ยมขนาด 20 uA และกระแสอินพุตที่สองและสามเป็นสัญญาณคงที่ 2 uA

ผลการเลียนแบบการทำงานด้วย Cadence Spectre



ผลการทดสอบหาค่าเวลาหน่วง (Delay Time) ซึ่งมีค่าประมาณ 35ns

ผลการเลียนแบบการทำงานด้วย Cadence Spectre



เมื่อแปรค่ากระแสอินพุตทั้งสามจาก 0uA ถึง 100uA เพื่อทดสอบหาช่วงปฏิบัติการทางขนาดของวงจรที่นำเสนอ ซึ่งมีค่าประมาณ 76uA

บทสรุป

- วงจรหาค่าสูงสุดแบบหลายอินพุตที่มีการทำงานในขั้นตอนเดียว
- วงจรประกอบด้วยมอสเฟต 3n + 4 ตัว(n = จำนวนอินพุต)
- วงจรมีการออกแบบเพื่อใช้งานได้กับแหล่งจ่ายแรงดันต่ำ
- วงจรมีการออกแบบเพื่อให้มีความเร็วในการทำงานที่สูง และลดความผิดเพี้ยนของสัญญาณเอาต์พุต
- ผลการเลียนแบบการทำงานด้วย Cadence Spectre สามารถยืนยันได้ถึงสมรรถนะที่ดีของวงจรที่นำเสนอ