

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

ชลียา ลิ้มปิยากร. เทคโนโลยีการศึกษา. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ส่งเสริมวิชาการสถาบัน
ราชภัฏธนบุรี, 2540.

ชัยยงค์ พรหมวงศ์. เทคโนโลยีและสื่อทางการศึกษา หน่วยที่ 1-5. พิมพ์ครั้งที่ 2.
กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ยูไนเตคโปรดัคชั่น, 2526.

ชัยยงค์ พรหมวงศ์, นิคม ทาแดง และสมเชาว์ เนตรประเสริฐ. เทคโนโลยีและสื่อทางการศึกษา.
กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช, 2540.

ชัยวัฒน์ สากุล. วงจรกำลังสองและวงจรอดรากลที่สองโดยใช้แหล่งจ่ายไฟเลี้ยงต่ำ วิทยานิพนธ์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2546.

ชูศรี วงศ์รัตน์. เทคนิคการใช้สถิติเพื่อการวิจัย. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์เจริญผล, 2544.

ธีระชัย ปุณณโชติ. การสร้างบทเรียนสำเร็จรูป...เส้นทางสู่อาจารย์ 3. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2532.

ธีรสิทธิ์ มลทวีไพศาล. วงจรสายพานกระแสที่ควบคุมด้วยกระแสแบบซิมอส. วิทยานิพนธ์
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544.

บุญเกื้อ คอรวาเวช. นวัตกรรมการศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร : ศูนย์หนังสือ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

เบญจวรรณ ธรรมวุฒิ. วงจรขยายความนำพิสัยพลวัตกว้างที่มีเสถียรภาพต่ออุณหภูมิ และการ
ประยุกต์ใช้งาน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2544.

มนตรี ศิริปรัชญานันท์. การศึกษาวงจรกำเนิดสัญญาณและวงจรอนุพันธ์ PWM ที่สามารถควบคุม
ด้วยกระแสอย่างเป็นอิสระต่อกัน โดยอาศัยหลักการวงจรรวม. วิทยานิพนธ์วิศวกรรม
ศาสตรดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอม
เกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2547.

รุ่งทิวา จักรกร. วิธีสอนทั่วไป. กรุงเทพมหานคร : คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทร
วิโรฒ, 2527.

วรพงศ์ ตั้งศรีรัตน. ออปแอมป์และการประมวลผลสัญญาณอนาล็อก กรุงเทพมหานคร :
โรงพิมพ์ว. เพ็ชรสกุล, 2545.

วินัย ใจกล้า. การสังเคราะห์และออกแบบวงจรขยายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแสที่สามารถ
ควบคุมด้วยกระแสและการประยุกต์ใช้งานกับการศึกษาด้านการออกแบบและวิเคราะห์
วงจรอิเล็กทรอนิกส์ วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้าศึกษา ภาควิชา
ครุศาสตร์ไฟฟ้า บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ,
2552.

ลัดดา สุขปรีดี. เทคโนโลยีการสอน. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์พิมพ์เนศ, 2523.

ล้วน สายยศและอังคณา สายยศ. เทคนิคการวิจัยทางการศึกษา. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร :
สุวีริยาสาส์น, 2538.

วาสนา ชาวหา. เทคโนโลยีทางการศึกษา. กรุงเทพมหานคร : กราฟฟิคอาร์ต, 2525.

สมปอง มากแจ้ง. เทคโนโลยีการศึกษา. กรุงเทพมหานคร : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ, 2543.

สมหญิง กลั่นศิริ. เทคโนโลยีการศึกษาเบื้องต้น. นครปฐม : ภาควิชาเทคโนโลยีการศึกษา คณะ
ศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2532.

เสกสรร ศรีจันทร์. วงจรมัลติไวเบรเตอร์. แผนกวิชาช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคสตึก
[ออนไลน์] 2553. [สืบค้นวันที่ 14 พฤษภาคม 2553] จาก

http://www.tatc.ac.th/files/09011219194805_09063013133656.doc

เสาวณีย์ สิกขาบัณฑิต. หน่วยการเรียนรู้การสอน. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์สถาบันเทคโนโลยี
พระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2526.

อมร จิรเสรีอมรกุล. การออกแบบและประยุกต์ใช้งานวงจรมูลเลอร์สี่ขั้วแบบลอยตัวที่มีโครงสร้าง
แบบทรานส์ลิเนียร์. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2543.

ภาษาอังกฤษ

Almashary B. and Alhokail H. "Current-mode Triangular-wave Generator Using CCIIIs." Microelectronics Journal. 31 (2000) : 239-243.

- Bhaskar D. R., Sharma V. K., Monis M. and Rizvi S. M. I. "New current-mode Universal Biquad Filter." Microelectronics Journal. 30 (1999) : 837–839.
- Biolek D., and Biokova V. "Current-mode CDTA-Based Comparators." 13th Electronic Devices and Systems 2006 IMAPS CS/SK International Conference. (2006) : 6-10.
- Biolek D. "CDTA – Building Block for Current-Mode Analog Signal Processing." Proceedings of the European Conference on Circuit theory and Design 2003. (2003) : 397-400.
- Bresch H., Streitenberger M. and Mathis W. "About the Demodulation of PWM-signals With Application to Audio Amplifiers." Proc. Circuits and Systems. 1 (1998) : 205–208.
- Choudhury D. R. and Jain S. Linear Integrated Circuits. Wiley Eastern, Inc., 1994.
- Chung W. -S. , Cha H. -W. and Kim H. -J. "Current-controllable Monostable Multivibrator Using OTAs." IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications. 49 (2002) : 703-705.
- Chung W.-S., Kim H., Cha H.-W., and Kim H.-J. "Triangular/square-wave Generator with Independently Controllable Frequency and Amplitude." IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 54 (2005) : 105-109.
- Couch L. W. Digital and Analog Communication Systems. New York : Prentice - Hall, Inc., 1997.
- Coughlin R. G. and Driscoll, F. F. Operational Amplifier & Linear Integrated Circuits. 5th Ed., New York, Prentice-Hall, Inc., 1998.
- Dejhan K., Tooprakai P., Rerkmaneeewan, T., and Soonyeeekan C. "A High-speed Direct Bootstrapped CMOS Schmitt Trigger Circuit." IEEE International Conference on Semiconductor Electronics 2004. (2005) : 4.
- Gayakwad R. A. Op-Amps and Linear Integrated Circuits. 3rd Ed., New York, Prentice-Hall, Inc., 1993.
- Goldberg J. M. and Sandler M. B. "New High Accuracy Pulse Width Modulation Based Digital-to-analogue Convertor/Power amplifier." IEE Proc. Circuits Devices and Systems. 141 (1994) : 315-324.
- Halper C. , Heiss M. and Brasseur G. "Digital-to-analog Conversion by Pulse-count Modulation Methods." IEEE Trans. on Instrumentation and Measurement. 45 (1996) : 805-814.

- Holtz J. "Pulsewidth Modulation – A Survey." IEEE trans. on Industrial Electronics. 39 (1992) : 410-420.
- Hou C. L., Chien H. C. and Lo Y. K. "Square-wave Generators Employing OTRAs." IEEE Proceedings Circuits, Devices and Systems. (2005) : 718 - 722.
- Jaikla W. and Siripruchyanun M. "Current-controlled Current Differencing Transconductance Amplifier and Applications in Continuous-time Signal Processing Circuit." Analog Integrated Circuits and Signal Processing. 61 (2009) : 247-257.
- Kazerani M., Ziogas P. D. and Joos G. "A Novel Active Current Waveshaping Technique for Solid-state Input Power Factor Conditioners." IEEE Trans. on Industrial Electronics. 38 (1991) : 72-78.
- Khucharoensin, S. and Kasemsuwan V. "High Performance CMOS Current-mode Precision Full-wave Rectifier." Proceedings of the 2003 International Symposium on Circuits and Systems. 1 (2003) : I-41-I-44.
- Kim K., Cha H. W. and Chung W. S. "OTA-R Schmitt Trigger with Independently Controllable Threshold and Output Voltage Levels." Electronics Letters. 33 (1997) : 1103-1105.
- Kukrer O. and Komurcugil H. "Variable Sampling Frequency PWM Waveforms." IEEE Power Electronics Letters. 1 (2003) : 14-16.
- Lo Y. -K. and Chien H. -C. "Current-mode Monostable Multivibrators Using OTRAs." IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs. 53 (2006) : 1274-1278.
- Mellor P. H., Leigh S. P. and Cheetham B. M. G. "Reduction of Spectral Distortion in Class D Amplifiers by An Enhanced Pulse Width Modulation Sampling Process." IEE Proc.-G. 138 (1991) : 441-448.
- Ramalho E. and Dias J. A. S. "A Differential Digital to Analog Converter Using A CMOS Digital PWM." Proc. International Conference on Microelectronics. (2000) : 699-702.
- Roden M. S. Analog and Digital Communication Systems. New York : Prentice - Hall, Inc., 1996.
- Rossetto L. and Buso S. "Digitally-controlled Single-phase Single-stage AC/DC PWM Converter." IEEE Trans. on Power Electronics. 18 (2003) : 326-333.
- Sandler M. B. "Digital-to-analogue Conversion Using Pulse Width Modulation." Electronics & Communication Engineering Journal. (1993) : 339-348.

Schmid H. "Why the terms 'current mode' and 'voltage mode' neither Divide nor qualify circuits."

IEEE International Symposium on Circuits and Systems, 2002. 2 (2002) : II-29-II-32.

Schoenbeck R. J. Electronic Communications Modulation and Transmission. New York : Max. Macmillan, Inc, 1992.

Siripruchyanun M. and Wardkein P. "A Temperature-insensitive VCO and Derivative PWM Signal Generator." Proceedings. 4th International Conference on ASIC, 2001. (2001) : 224-227.

Stremmer F. G. Introduction to Communication Systems. New York : Addison-Wesley, Inc, 1982.

Suh S. Y. "Pulse Width Modulation for Analog Fiber-Optic Communications." Journal of Lightwave Technology. LT-5 (1987) : 102-112.

Toumazou C. Lidger F. J. and Haigh D. G. Analogue IC design: the Current-mode Approach, London: Peter Peregrinus, 1990.

Wang Z. "CMOS Adjustable Schmitt triggers." IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 40 (1991) : 601-605.

Wang Z., and Guggenbuhl W. "CMOS Current Schmitt Trigger with Fully Adjustable hysteresis." Electron.Letters. 25 (1989) : 397-398.

Zhang J. G. and Keawnin M. "Digital Two-level PAM and Analogue PWM Hybrid Optical Fiber Transmission Systems for TV and Data Applications." IEEE Trans. on Consumer Electronics. 42 (1996) : 362-370.

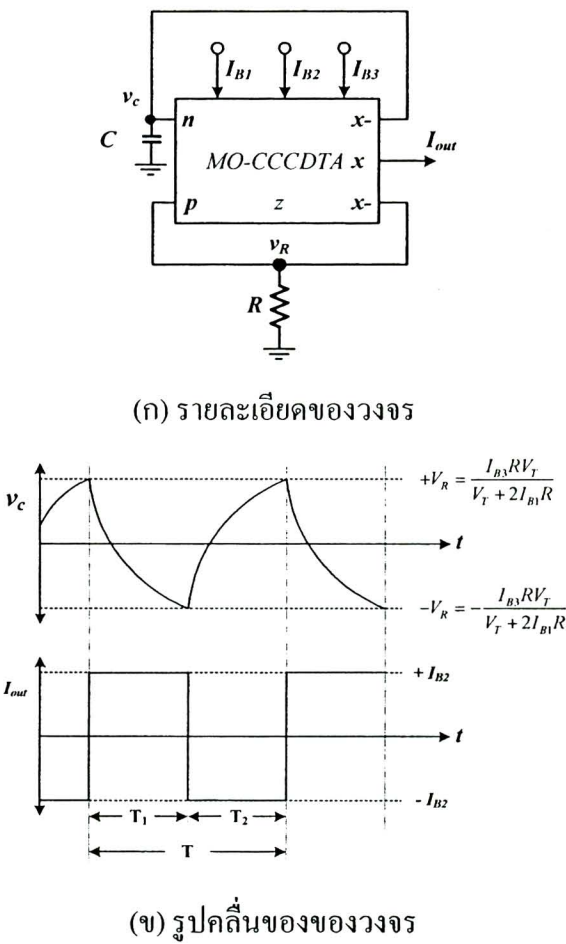
Zhang J. G. and Keawnin M. "Performance of Two-level PAM and Analogue PWM Hybrid Optical Fiber Transmission Systems." IEEE Trans. on Consumer Electronics. 42 (1996) : 371-378.

Zheren L. and Smedley K. "A General Constant-frequency Pulsewidth Modulator and Its Applications." IEEE Trans. on Circuit and System-I. 45 (1998) : 386-396.

ภาคผนวก ก

- การวิเคราะห์หาขนาดของสัญญาณเอาต์พุต คาบเวลาและความถี่ของวงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมโหมดกระแส
- การวิเคราะห์หาขนาดของสัญญาณเอาต์พุต คาบเวลาและความถี่ของวงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมโหมดกระแส
- การวิเคราะห์หาการประมาณค่าอันดับที่สามของค่าความถี่ที่แท้จริงของวงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์โหมดกระแส
- การวิเคราะห์หาขนาดของสัญญาณเอาต์พุต คาบเวลาของวงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์โหมดกระแส

ก-1 การวิเคราะห์หาขนาดของสัญญาณเอาต์พุต คาบเวลาและความถี่ของวงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมโหมดกระแส



ภาพที่ ก-1 วงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมโหมดกระแส

วงจรใช้คุณสมบัติของ MO-CCCDTA ที่ทำงานในสถานะอิ่มตัว ดังนั้นจะได้ขนาดของสัญญาณกระแสเอาต์พุตดังนี้

$$I_{out(p-p)} = 2I_{B2} \tag{ก-1}$$

เมื่อพิจารณาวงจรแล้ว กระแสที่โนด v_c จะได้ดังนี้

$$I_{B3} = I_n + i_c = \frac{v_c}{R_n} + C \frac{dv_c}{dt} \quad (\text{ก-2})$$

พิจารณาคาบเวลาทางซีกลบของสัญญาณสี่เหลี่ยม (T_1)

$$\begin{aligned} I_{B3} &= \frac{v_c}{R_n} + C \frac{dv_c}{dt} \\ \frac{R_n I_{B3} - v_c}{R_n C} &= \frac{d}{dt} v_c \\ dt &= \frac{R_n C}{R_n I_{B3} - v_c} dv_c \\ \int_0^{T_1} dt &= \int_{-V_R}^{+V_R} \frac{R_n C}{R_n I_{B3} - v_c} dv_c \end{aligned}$$

$$T_1 = R_n C \int_{-V_R}^{+V_R} \frac{1}{R_n I_{B3} - v_c} dv_c \quad (\text{ก-3})$$

แทนค่า $R_n = \frac{V_T}{2I_{B1}}$, $-V_R = -\frac{I_{B3} R V_T}{V_T + 2I_{B1} R}$ และ $+V_R = \frac{I_{B3} R V_T}{V_T + 2I_{B1} R}$ ลงในสมการ (3.3) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} T_1 &= \frac{V_T C}{2I_{B1}} \int_{\frac{I_{B3} R V_T}{V_T + 2I_{B1} R}}^{\frac{I_{B3} R V_T}{V_T + 2I_{B1} R}} \frac{2I_{B1}}{V_T I_{B3} - 2I_{B1} v_c} dv_c = -\frac{V_T C}{2I_{B1}} \ln \left(V_T I_{B3} - 2I_{B1} v_c \right) \Big|_{\frac{I_{B3} R V_T}{V_T + 2I_{B1} R}}^{\frac{I_{B3} R V_T}{V_T + 2I_{B1} R}} \\ &= -\frac{V_T C}{2I_{B1}} \ln \left(V_T I_{B3} - \frac{2I_{B1} I_{B3} R V_T}{V_T + 2I_{B1} R} \right) + \frac{V_T C}{2I_{B1}} \ln \left(V_T I_{B3} + \frac{2I_{B1} I_{B3} R V_T}{V_T + 2I_{B1} R} \right) \\ &= \frac{V_T C}{2I_{B1}} \ln \frac{V_T I_{B3} (V_T + 2I_{B1} R) + 2I_{B1} I_{B3} R V_T}{V_T I_{B3} (V_T + 2I_{B1} R) - 2I_{B1} I_{B3} R V_T} \end{aligned}$$

$$T_1 = \frac{V_T C}{2I_{B1}} \ln \frac{V_T + 4I_{B1} R}{V_T} \quad (\text{ก-4})$$

ในทางอุดมคติแล้วคาบเวลาทางซีกลบ (T_1) ของสัญญาณสี่เหลี่ยมเท่ากับซีกบวก (T_2) ดังนั้นคาบเวลาและความถี่ของสัญญาณสี่เหลี่ยมหาค่าได้จาก

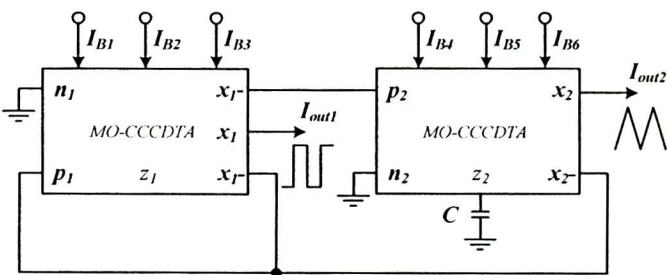
$$T = 2T_1 = \frac{V_T C}{I_{B1}} \ln \frac{V_T + 4I_{B1} R}{V_T} \quad (\text{ก-5})$$

และ

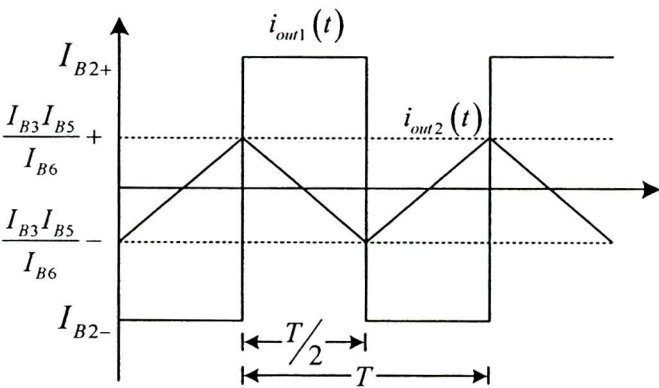
$$f = \frac{1}{T} = \frac{I_{B1}}{C V_T \ln \left(\frac{V_T + 4 I_{B1} R}{V_T} \right)}$$

(ก-6)

ก-2 การวิเคราะห์หาขนาดของสัญญาณเอาต์พุต คาบเวลาและความถี่ของวงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมโหมดกระแส



(ก) รายละเอียดของวงจร



(ข) รูปคลื่นของวงจร

ภาพที่ ก-2 วงจรกำเนิดสัญญาณสามเหลี่ยมและสี่เหลี่ยมโหมดกระแส

วงจรและใช้คุณสมบัติของ MO-CCCDTA ที่ทำงานในสภาวะอิ่มตัว ดังนั้นจะได้ขนาดของสัญญาณสี่เหลี่ยมหาค่าจาก

$$I_{out1} = I_{B2} \tag{ก-7}$$

เมื่อพิจารณาหาแรงดันที่ขั้ว z ค่าได้จาก

$$v_z = \frac{I_{B3}}{g_{m4}} \tag{ก-7}$$

ขนาดของสัญญาณเหนี่ยวนำค่าจาก

$$I_{out2} = g_{m3} v_z = \frac{g_{m3} I_{B3}}{g_{m4}} = \frac{I_{B3} I_{B5}}{I_{B6}} \tag{ก-8}$$

พิจารณาคาบเวลาทางสัญญาณเอาต์พุต

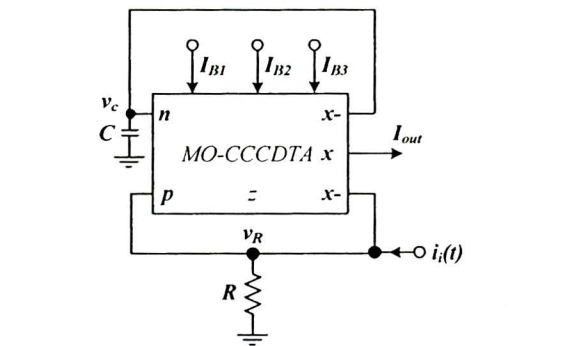
$$\begin{aligned} T &= 2 \int_{-I_{B3}/g_{m4}}^{I_{B3}/g_{m4}} \frac{C}{I_{B3}} dv_c = \frac{2v_c C}{I_{B3}} \Big|_{-I_{B3}/g_{m4}}^{I_{B3}/g_{m4}} \\ &= \frac{2I_{B3}C}{g_{m4}I_{B3}} + \frac{2I_{B3}C}{g_{m4}I_{B3}} = \frac{4C}{g_{m4}} \end{aligned}$$

$$T = \frac{8CV_T}{I_{B6}} \tag{ก-9}$$

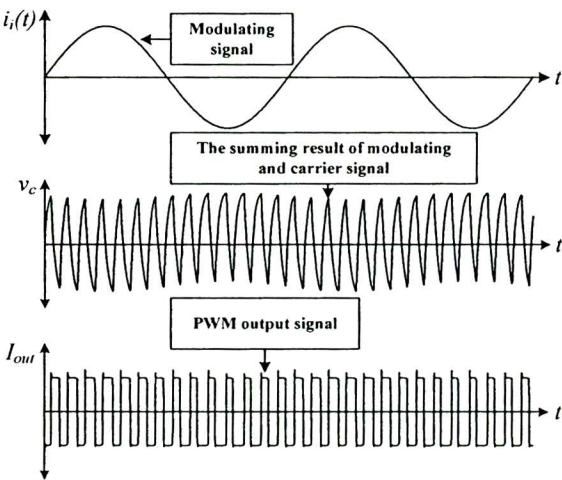
ความถี่ของวงจรหาค่าได้ดังนี้

$$f = \frac{1}{T} = \frac{I_{B6}}{8CV_T} \tag{ก-10}$$

ก-3 การวิเคราะห์หาการประมาณค่าอันดับที่สามของค่าตัวที่ใช้เกิดของวงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์โหมดกระแส



(ก) รายละเอียดของวงจร



(ข) รูปคลื่นของวงจร

ภาพที่ ก-3 วงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์โหมดกระแส

วงจรและใช้คุณสมบัติของ MO-CCCDTA ที่ทำงานในสภาวะอิมิตัว ดังนั้นจะได้ขนาดของสัญญาณกระแสเอาต์พุตดังนี้

$$I_{out(p-p)} = 2I_{B2} \tag{ก-11}$$

เมื่อพิจารณาวงจรแล้ว กระแสที่โหนด v_c จะได้ดังนี้

$$I_{B3} = I_n + i_c = \frac{v_c}{R_n} + C \frac{dv_c}{dt} \quad (\text{ก-12})$$

พิจารณาคาบเวลาทางซีกลบของสัญญาณสี่เหลี่ยม (T_1)

$$\begin{aligned} I_{B3} &= \frac{v_c}{R_n} + C \frac{d}{dt} v_c \\ \frac{R_n I_{B3} - v_c}{R_n C} &= C \frac{d}{dt} v_c \\ dt &= \frac{R_n C}{R_n I_{B3} - v_c} dv_c \\ \int_0^{T_1} dt &= \int_{-V_R}^{+V_R} \frac{R_n C}{R_n I_{B3} - v_c} dv_c \end{aligned}$$

$$T_1 = R_n C \int_{-V_R}^{+V_R} \frac{1}{R_n I_{B3} - v_c} dv_c \quad (\text{ก-13})$$

แทนค่า $-V_R = \frac{RR_p [i_i(t) - I_{B3}]}{R_p + R}$ และ $+V_R = \frac{RR_p [i_i(t) + I_{B3}]}{R_p + R}$ ลงในสมการ (ก-3) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} R_n C \int_{\frac{RR_p [i_i(t) - I_{B3}]}{R_p + R}}^{\frac{RR_p [i_i(t) + I_{B3}]}{R_p + R}} \frac{1}{R_n I_{B3} - v_c} dv_c \\ u = R_n I_{B3} - v_c \\ du = d(R_n I_{B3} - v_c) = -dv_c \\ -du = dv_c \\ -R_n C \int_{\frac{RR_p [i_i(t) - I_{B3}]}{R_p + R}}^{\frac{RR_p [i_i(t) + I_{B3}]}{R_p + R}} \frac{1}{R_n I_{B3} - v_c} d(R_n I_{B3} - v_c) \\ = -R_n C \ln(R_n I_{B3} - v_c) \Big|_{\frac{RR_p [i_i(t) - I_{B3}]}{R_p + R}}^{\frac{RR_p [i_i(t) + I_{B3}]}{R_p + R}} \\ = -R_n C \ln \left\{ R_n I_{B3} - \frac{RR_p [i_i(t) + I_{B3}]}{R_p + R} \right\} + R_n C \ln \left\{ R_n I_{B3} - \frac{RR_p [i_i(t) - I_{B3}]}{R_p + R} \right\} \\ = R_n C \left\{ \ln \frac{R_n I_{B3} (R_p + R) - RR_p [i_i(t) - I_{B3}]}{R_p + R} - \ln \frac{R_n I_{B3} (R_p + R) - RR_p [i_i(t) + I_{B3}]}{R_p + R} \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= R_n C \ln \frac{R_n I_{B3} (R_p + R) - R R_p [i_i(t) - I_{B3}]}{R_n I_{B3} (R_p + R) - R R_p [i_i(t) + I_{B3}]} \\
&= R_n C \ln \frac{I_{B3} (R_p + R) - R [i_i(t) - I_{B3}]}{I_{B3} (R_p + R) - R [i_i(t) + I_{B3}]} \\
R_n C \ln \frac{I_{B3} R_p + 2 I_{B3} R - R i_i(t)}{I_{B3} R_p - R i_i(t)} &= R_n C \ln \left[\frac{2 I_{B3} R}{I_{B3} R_p - R i_i(t)} + 1 \right] \\
\text{แทนค่า } R_n \text{ และ } R_p \text{ ด้วย } \frac{V_T}{2 I_{B1}} & \\
T_1 = \frac{V_T C}{2 I_{B1}} \ln \left[\frac{2 I_{B3} R}{\frac{I_{B3} V_T}{2 I_{B1}} - R i_i(t)} + 1 \right] & \\
T_1 = \frac{V_T C}{2 I_{B1}} \ln \left[\frac{4 I_{B1} I_{B3} R}{I_{B3} V_T - 2 I_{B1} R i_i(t)} + 1 \right] & \quad (ก-14)
\end{aligned}$$

พิจารณาเวลาทางซีกบวกของสัญญาณสี่เหลี่ยม (T_2)

$$\begin{aligned}
-I_{B3} &= \frac{v_c}{R_n} + C \frac{d}{dt} v_c \\
\frac{-R_n I_{B3} - v_c}{R_n C} &= \frac{d}{dt} v_c \\
dt &= \frac{R_n C}{-R_n I_{B3} - v_c} dv_c \\
\int_0^{T_2} dt &= - \int_{+V_R}^{-V_R} \frac{R_n C}{R_n I_{B3} + v_c} dv_c
\end{aligned}$$

$$T_2 = -R_n C \int_{+V_R}^{-V_R} \frac{1}{R_n I_{B3} + v_c} dv_c \quad (ก-15)$$

แทนค่า $-V_R = \frac{R V_T [I_{B3} - i_i(t)]}{V_T + 2 I_{B1} R}$ และ $+V_R = \frac{R V_T [I_{B3} + i_i(t)]}{V_T + 2 I_{B1} R}$ ลงในสมการ (3.5) ได้ดังนี้

$$-R_n C \int_{\frac{R R_p [i_i(t) + I_{B3}]}{R_p + R}}^{\frac{R R_p [i_i(t) - I_{B3}]}{R_p + R}} \frac{1}{R_n I_{B3} + v_c} dv_c$$

$$u = R_n I_{B3} + v_c$$

$$\begin{aligned}
 du &= d(R_n I_{B3} + v_c) = -dv_c \\
 du &= dv_c \\
 &= -R_n C \int_{\frac{RR_p [i_i(t) + I_{B3}]}{R_p + R}}^{\frac{RR_p [i_i(t) - I_{B3}]}{R_p + R}} \frac{1}{R_n I_{B3} + v_c} d(R_n I_{B3} + v_c) \\
 &= -R_n C \ln(R_n I_{B3} + v_c) \Big|_{\frac{RR_p [i_i(t) + I_{B3}]}{R_p + R}}^{\frac{RR_p [i_i(t) - I_{B3}]}{R_p + R}} \\
 &= -R_n C \ln \left\{ R_n I_{B3} + \frac{RR_p [i_i(t) - I_{B3}]}{R_p + R} \right\} + R_n C \ln \left\{ R_n I_{B3} + \frac{RR_p [i_i(t) + I_{B3}]}{R_p + R} \right\} \\
 &= R_n C \left\{ \ln \frac{R_n I_{B3} (R_p + R) + RR_p [i_i(t) + I_{B3}]}{R_p + R} - \ln \frac{R_n I_{B3} (R_p + R) + RR_p [i_i(t) - I_{B3}]}{R_p + R} \right\} \\
 &= R_n C \ln \frac{R_n I_{B3} (R_p + R) + RR_p [i_i(t) + I_{B3}]}{R_n I_{B3} (R_p + R) + RR_p [i_i(t) - I_{B3}]} \\
 &= R_n C \ln \frac{I_{B3} (R_p + R) + R [i_i(t) + I_{B3}]}{I_{B3} (R_p + R) + R [i_i(t) - I_{B3}]} = R_n C \ln \frac{I_{B3} R_p + 2I_{B3} R + Ri_i(t)}{I_{B3} R_p + Ri_i(t)} \\
 &= R_n C \ln \left[\frac{2I_{B3} R}{I_{B3} R_p + Ri_i(t)} + 1 \right]
 \end{aligned}$$

แทนค่า R_n และ R_p ด้วย $\frac{V_T}{2I_{B1}}$

$$T_2 = \frac{V_T C}{2I_{B1}} \ln \left[\frac{2I_{B3} R}{\frac{I_{B3} V_T}{2I_{B1}} + Ri_i(t)} + 1 \right]$$

$$T_2 = \frac{V_T C}{2I_{B1}} \ln \left[\frac{4I_{B1} I_{B3} R}{I_{B3} V_T + 2I_{B1} Ri_i(t)} + 1 \right] \tag{ก-16}$$

จาก $\ln(x+1) = x - \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} + \dots$ และใช้การประมาณค่าอันดับที่ 3

$$\begin{aligned}
 T_1 &= \frac{V_T C}{2I_{B1}} \ln \left[\frac{4I_{B1} I_{B3} R}{I_{B3} V_T - 2I_{B1} Ri_i(t)} + 1 \right] \\
 &= \frac{V_T C}{2I_{B1}} \left\{ \frac{4R I_{B1} I_{B3}}{I_{B3} V_T - 2I_{B1} Ri_i(t)} - \frac{(4R I_{B1} I_{B3})^2}{2[I_{B3} V_T - 2I_{B1} Ri_i(t)]^2} + \frac{(4R I_{B1} I_{B3})^3}{3[I_{B3} V_T - 2I_{B1} Ri_i(t)]^3} \right\}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= \frac{2RCV_T I_{B3}}{[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]} \left\{ 1 - \frac{4RI_{B1}I_{B3}}{2[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]} + \frac{(4RI_{B1}I_{B3})^2}{3[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]^2} \right\} \\
&= \frac{2RCV_T I_{B3}}{[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]} \left\{ 1 - \frac{4RI_{B1}I_{B3}}{[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]} \left\{ \frac{1}{2} + \frac{1(4RI_{B1}I_{B3})}{3[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]} \right\} \right\} \\
&= \frac{2RCV_T I_{B3}}{[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]} \left\{ 1 - \frac{4RI_{B1}I_{B3}}{[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]} \left\{ \frac{3[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]}{6[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]} + \frac{2(4RI_{B1}I_{B3})}{6[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]} \right\} \right\} \\
&= \frac{2RCV_T I_{B3}}{[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]} \left\{ 1 - \frac{4RI_{B1}I_{B3}}{[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]} \left\{ \frac{3I_{B3}V_T - 6I_{B1}Ri_i(t) + 8RI_{B1}I_{B3}}{6[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]} \right\} \right\} \\
\\
T_1 &= \frac{2RCV_T I_{B1}I_{B3}}{[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]} \left\{ 1 - \frac{6RI_{B1}I_{B3}^2V_T - 12R^2I_{B1}^2I_{B3}i_i(t) + 32R^2I_{B1}^2I_{B3}^2}{3[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]^2} \right\} \quad (ก-17)
\end{aligned}$$

และ T_2 มีค่าดังนี้

$$\begin{aligned}
T_2 &= \frac{V_T C}{2I_{B1}} \ln \left[\frac{4I_{B1}I_{B3}R}{I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)} + 1 \right] \\
&= \frac{V_T C}{2I_{B1}} \left\{ \frac{4I_{B1}I_{B3}R}{I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)} - \frac{(4I_{B1}I_{B3}R)^2}{2[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]^2} + \frac{(4I_{B1}I_{B3}R)^3}{3[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]^3} \right\} \\
&= \frac{2V_T RC I_{B3}}{I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)} \left\{ 1 - \frac{4I_{B1}I_{B3}R}{2[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]} + \frac{(4I_{B1}I_{B3}R)^2}{3[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]^2} \right\} \\
&= \frac{2RCV_T I_{B3}}{[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]} \left\{ 1 - \frac{4RI_{B1}I_{B3}}{[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]} \left\{ \frac{3[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]}{6[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]} + \frac{2(4RI_{B1}I_{B3})}{6[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]} \right\} \right\} \\
&= \frac{2RCV_T I_{B3}}{[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]} \left\{ 1 - \frac{4RI_{B1}I_{B3}}{[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]} \left\{ \frac{3I_{B3}V_T + 6I_{B1}Ri_i(t) + 8RI_{B1}I_{B3}}{6[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]} \right\} \right\} \\
\\
T_2 &= \frac{2RCV_T I_{B1}I_{B3}}{[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]} \left\{ 1 - \frac{6RI_{B1}I_{B3}^2V_T + 12R^2I_{B1}^2I_{B3}i_i(t) + 32R^2I_{B1}^2I_{B3}^2}{3[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]^2} \right\} \quad (ก-18)
\end{aligned}$$

ดังนั้นค่าคาบเวลาหาค่าได้จาก

$$T = T_1 + T_2 = \frac{2RCV_T I_{B3}}{[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]} \left\{ 1 - \frac{4RI_{B1}I_{B3}}{2[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]} + \frac{(4RI_{B1}I_{B3})^2}{3[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]^2} \right\} \\ + \frac{2V_T RC I_{B3}}{I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)} \left\{ 1 - \frac{(4I_{B1}I_{B3}R)}{2[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]} + \frac{(4I_{B1}I_{B3}R)^2}{3[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]^2} \right\} \quad (\text{ก-19})$$

ค่าตัวชี้ไข้เกิดหาค่าได้จาก

$$D = \frac{T_1}{T} \times 100$$

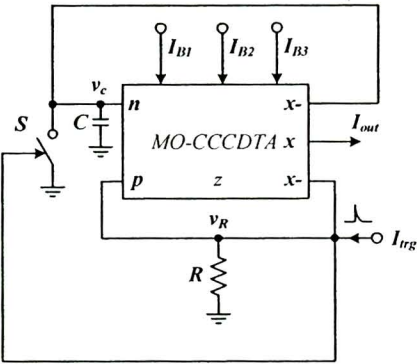
$$D = \frac{\frac{2RCV_T I_{B3}}{[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]} \left\{ 1 - \frac{4RI_{B1}I_{B3}}{2[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]} + \frac{(4RI_{B1}I_{B3})^2}{3[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]^2} \right\}}{\left[\frac{2RCV_T I_{B3}}{[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]} \left\{ 1 - \frac{4RI_{B1}I_{B3}}{2[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]} + \frac{(4RI_{B1}I_{B3})^2}{3[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]^2} \right\} \right.} \\ \left. + \frac{2V_T RC I_{B3}}{I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)} \left\{ 1 - \frac{(4I_{B1}I_{B3}R)}{2[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]} + \frac{(4I_{B1}I_{B3}R)^2}{3[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]^2} \right\} \right]} \\ = \frac{[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)] \left\{ 1 - \frac{4RI_{B1}I_{B3}}{2[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]} + \frac{(4RI_{B1}I_{B3})^2}{3[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]^2} \right\}}{\left[[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)] \left\{ 1 - \frac{4RI_{B1}I_{B3}}{2[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]} + \frac{(4RI_{B1}I_{B3})^2}{3[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]^2} \right\} \right.} \\ \left. + [I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)] \left\{ \frac{[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]}{[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]} - \frac{(4I_{B1}I_{B3}R)[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]}{2[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]^2} \right\} \right.} \\ \left. + \frac{(4I_{B1}I_{B3}R)^2[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]}{3[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]^3} \right\]} \\ = \frac{\left\{ \frac{6[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]^2}{6[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]^2} - \frac{3(4RI_{B1}I_{B3})}{6[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]^2} + \frac{2(4RI_{B1}I_{B3})^2}{6[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]^2} \right\}}{\left[\frac{6[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]^2}{6[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]^2} - \frac{3(4RI_{B1}I_{B3})}{6[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]^2} + \frac{2(4RI_{B1}I_{B3})^2}{6[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]^2} \right.} \\ \left. + [I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)] \left\{ \frac{1}{[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]} - \frac{(4I_{B1}I_{B3}R)}{2[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]^2} \right\} \right.} \\ \left. + \frac{(4I_{B1}I_{B3}R)^2}{3[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]^3} \right\]}$$

$$D = \frac{6[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]\{I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t) - 2RI_{B1}I_{B3}\} + 32(RI_{B1}I_{B3})^2}{\left\{ 6[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]\{I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t) - 2RI_{B1}I_{B3}\} + 32(RI_{B1}I_{B3})^2 \right.}$$

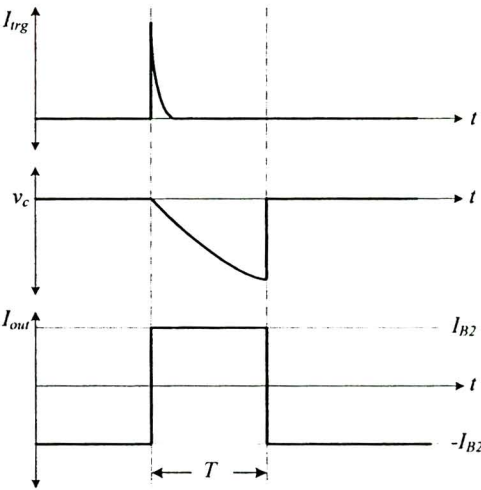
$$\left. + \frac{6[I_{B3}V_T - 2I_{B1}Ri_i(t)]^3}{[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]} \left\{ 1 - \frac{2I_{B1}I_{B3}R}{[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]} + \frac{(4I_{B1}I_{B3}R)^2}{3[I_{B3}V_T + 2I_{B1}Ri_i(t)]^2} \right\} \right\}$$

(ก-20)

ก-4 การวิเคราะห์หาขนาดของสัญญาณเอาต์พุต คาบเวลาของวงจรโมนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์
โหมดกระแส



(ก) รายละเอียดของวงจร



(ข) รูปคลื่นของวงจร

ภาพที่ ก-4 วงจร โมนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์โหมดกระแส

วงจรใช้คุณสมบัติของ MO-CCCDTA ที่ทำงานในสถานะอิ่มตัว ดังนั้นจะได้ขนาดของสัญญาณกระแสเอาต์พุตดังนี้

$$I_{out(p-p)} = 2I_{B2} \quad (\text{ก-21})$$

จากวงจรในภาพที่ 5.1 พิจารณาที่โหนด v_c สามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$I_{B3} = I_n + i_c = \frac{v_c}{R_n} + C \frac{dv_c}{dt} \quad (\text{ก-22})$$

พิจารณาคาบเวลาทางซีกบวกของสัญญาณสี่เหลี่ยม (T)

$$\begin{aligned} I_{B3} &= \frac{v_c}{R_n} + C \frac{dv_c}{dt} \\ \frac{R_n I_{B3} - v_c}{R_n C} &= \frac{d}{dt} v_c \\ dt &= \frac{R_n C}{R_n I_{B3} - v_c} dv_c \\ \int_0^T dt &= \int_{-V_R}^0 \frac{R_n C}{R_n I_{B3} - v_c} dv_c \end{aligned}$$

$$T = R_n C \int_{-V_R}^0 \frac{1}{R_n I_{B3} - v_c} dv_c \quad (\text{ก-23})$$

แทนค่า $R_n = \frac{V_T}{2I_{B1}}$ และ $-V_R = \frac{-I_{B3}RV_T}{V_T + 2I_{B1}R}$ ลงในสมการ (5.3) ได้ดังนี้

$$\begin{aligned} T &= \frac{V_T C}{2I_{B1}} \int_{\frac{-I_{B3}RV_T}{V_T + 2I_{B1}R}}^0 \frac{2I_{B1}}{V_T I_{B3} - 2I_{B1}v_c} dv_c = -\frac{V_T C}{2I_{B1}} \ln(V_T I_{B3} - 2I_{B1}v_c) \Big|_{\frac{-I_{B3}RV_T}{V_T + 2I_{B1}R}}^0 \\ &= -\frac{V_T C}{2I_{B1}} \ln(V_T I_{B3}) + \frac{V_T C}{2I_{B1}} \ln\left(V_T I_{B3} + \frac{I_{B1}I_{B3}RV_T}{V_T + 2I_{B1}R}\right) \end{aligned}$$

$$T = \frac{V_T C}{2I_{B1}} \ln\left(\frac{4I_{B1}R + V_T}{2I_{B1}R + V_T}\right) \quad (\text{ก-24})$$

ภาคผนวก ข

- ค่าพารามิเตอร์ของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ PSpice

ข.1 ค่าพารามิเตอร์ของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ NPN เบอร์ NR 200N

```
.MODEL NR200N NPN(RB=262.5 IRB=0 RBM=12.5 RC=25 RE=0.5
+IS=242E-18 EG=1.206 XTI=2 XTB=1.538 BF=137.5
+IKF=13.94E-3 NF=1 VAF=159.4 ISE=72E-16 NE=1.713
+BR=0.7258 IKR=4.396E-3 NR=1 VAR=10.73 ISC=0 NC=2
+TF=0.425E-9 TR=0.425E-8 CJE=0.428E-12 VJE=0.5
+MJE=0.28 CJC=1.97E-13 VJC=0.5 MJC=0.3 XCJC=0.065
+CJS=1.17E-12 VJS=0.64 MJS=0.4 FC=0.5)
```

ข.2 ค่าพารามิเตอร์ของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ PNP เบอร์ PR 200N

```
.MODEL PR200N PNP(RB=163.5 IRB=0 RBM=12.27 RC=25 RE=1.5
+IS=147E-18 EG=1.206 XTI=1.7 XTB=1.866 BF=110
+IKF=4.718E-3 NF=1 VAF=51.8 ISE=50.2E-16 NE=1.650
+BR=0.4745 IKR=12.96E-3 NR=1 VAR=9.96 ISC=0 NC=2
+TF=0.610E-9 TR=0.610E-8 CJE=0.36E-12 VJE=0.5
+MJE=0.28 CJC=0.328E-12 VJC=0.8 MJC=0.4 XCJC=0.074
+CJS=1.39E-12 VJS=0.55 MJS=0.35 FC=0.5)
```

ภาคผนวก ก

- การกำหนดความสำคัญของหัวข้อเรื่อง
- การกำหนดความสำคัญวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม
- การวิเคราะห์วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมเพื่อออกข้อสอบ
- การวิเคราะห์สื่อการสอน

ตารางที่ ค-1 การประเมินความสำคัญของหัวข้อเรื่อง
เรื่อง : วงจรขยายความนำถ่ายโชนผลต่างกระแสที่สามารถควบคุมด้วยกระแสที่ทำงานในช่วง
อิมิตัวและการประกยูกต้งใช้งาน

หัวข้อเรื่อง	จุดประเมิน		
	1	2	3
เรื่องที่ 1 คุณสมบัติเบื้องต้นของ CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้นและอิมิตัว	X	O	O
เรื่องที่ 2 วงจรขมิตต้ทริกเกอร์โหมดกระแส	X	O	O
เรื่องที่ 3 วงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมโหมดกระแส	X	O	O
เรื่องที่ 4 วงจรมอดูลเลตควมกว้างพัลส์โหมดกระแส	X	O	O
เรื่องที่ 5 วงจรโมนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์โหมดกระแส	X	O	O

หมายเหตุ :

ความสำคัญ

1 : ช่วยส่งเสริมความสามารถในการแก้ปัญหาในการเรียน X : มาก

2 : ช่วยส่งเสริมทักษะการทำงานให้ถูกต้อง I : ปานกลาง

3 : ช่วยส่งเสริมผู้เรียนมีเจตคติที่ดี O : น้อย

ตารางที่ ค-2 การประเมินความสำคัญของวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

เรื่อง : วจรขยายความนำถ้ายโอนผลต่างกระแสที่สามารถควบคุมด้วยกระแสที่ทำงานในช่วง
อิมตัวและการประยุกต์ใช้งาน

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	LS		
	R	A	T
1. คุณสมบัติเบื้องต้นของ CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้นและอิมตัว บอกสัญลักษณ์และวงจรสมมูลของ CC-CDTA แบบต่างๆ ได้ บอกสมการคุณลักษณะของ CC-CDTA แบบต่างๆ ได้ อธิบายคุณลักษณะของ CC-CDTA แบบต่างๆ ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้นได้ คำนวณค่าความต้านทานแฝงชั่วอินพุตของ CC-CDTA ได้ คำนวณค่าความนำถ้ายโอนของ CC-CDTA ได้ บอกสมการคุณลักษณะของ CC-CDTA แบบต่างๆ ที่ทำงานในช่วงอิมตัว ได้ คุณลักษณะของ CC-CDTA แบบต่างๆ ที่ทำงานในช่วงอิมตัวได้ บอกความแตกต่างลักษณะสมบัติของ CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น กับที่ทำงานในสภาวะอิมตัวได้	I I I I	 I I I	X
2. วงจรमितต์ทริกเกอร์โหมดกระแส หาสมการกระแสเอาต์พุตของวงจรमितต์ทริกเกอร์โหมดกระแสแบบ ต่างๆ ได้ หาสมการกระแสขีดเริ่มต้นสูงและต่ำกระแสเอาต์พุตของวงจรमितต์ทริก เกอร์โหมดกระแสแบบต่างๆ ได้ คำนวณขนาดของกระแสเอาต์พุตของวงจรमितต์ทริกเกอร์โหมดกระแส แบบต่างๆ คำนวณค่ากระแสขีดเริ่มต้นสูงและต่ำกระแสเอาต์พุตของวงจรमितต์ ทริกเกอร์โหมดกระแสแบบต่างๆ ได้ อธิบายลักษณะสมบัติของวงจรमितต์ทริกเกอร์โหมดกระแสได้		 I I I	X X
3. วงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมโหมดกระแส หาสมการขนาดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมโหมค กระแสได้			X

ตารางที่ ก-2 (ต่อ)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	LS		
	R	A	T
กำหนดหาความถี่ของวงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมโหมดกระแสได้ กำหนดหาขนาดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมโหมดกระแสได้		I I	
4. วงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์โหมดกระแส หาสมการขนาดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์โหมดกระแสได้ กำหนดหาความถี่ของวงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์โหมดกระแสได้ กำหนดหาขนาดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์โหมดกระแสได้ กำหนดหาค่าตัวที่ใช้เกิ้ลของวงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์โหมดกระแสได้		 I I I	X
5. วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์โหมดกระแส หาสมการขนาดสัญญาณเอาต์พุตของวงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์โหมดกระแสได้ กำหนดหาความกว้างของสัญญาณพัลส์ของวงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์โหมดกระแสได้ กำหนดหาขนาดสัญญาณเอาต์พุตของวงจร โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์โหมดกระแสได้		 I I	X

หมายเหตุ

ระดับความรู้ และทักษะทางด้านสติปัญญา (Levels Of Intellectual Skill : LS)
R : การฟื้นคืน (Recalled Knowledge)
A : การประยุกต์ (Applied Knowledge)
T : การส่งถ่ายความรู้ (Transfer Knowledge)

ความสำคัญ
X: มาก
I: ปานกลาง
O: น้อย

ตารางที่ ค-3 การวิเคราะห์วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมเพื่อออกข้อสอบ

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	LS			รวม คะแนน	จำนวน ข้อสอบ	รวม ข้อสอบ
	R	A	T			
คุณสมบัติเบื้องต้นของ CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้นและอิมิตัว				17		16
1. บอกสัญลักษณ์และวงจรสมมูลของ CC-CDTA แบบต่างๆ ได้	I(2)				2	
2. บอกสมการคุณลักษณะของ CC-CDTA แบบต่างๆ ได้	I(2)				2	
3. อธิบายคุณลักษณะของ CC-CDTA แบบต่างๆ ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้นได้			X(3)		2	
4. คำนวณค่าความต้านทานแฝงขั้วอินพุตของ CC-CDTA ได้		I(2)			2	
5. คำนวณค่าความนำถ่ายโอนของ CC-CDTA ได้		I(2)			2	
6. บอกสมการคุณลักษณะของ CC-CDTA แบบต่างๆ ที่ทำงานในช่วงอิมิตัวได้	I(2)				2	
7. คุณลักษณะของ CC-CDTA แบบต่างๆ ที่ทำงานในช่วงอิมิตัวได้	I(2)				2	
8. บอกความแตกต่างลักษณะสมบัติของ CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้นกับที่ทำงานในสภาวะอิมิตัวได้		I(2)			2	
6. คำนวณค่าความนำถ่ายโอนของ CCCDTA ได้						
วงจรมิตต์ทริกเกอร์โหมดกระแส				12		12
9. หาสมการกระแสเอาต์พุตของวงจรมิตต์ทริกเกอร์โหมดกระแสแบบต่างๆ ได้			X(3)		2	
10. หาสมการกระแสขีดเริ่มต้นด้านสูงและต่ำกระแสเอาต์พุตของวงจรมิตต์ทริกเกอร์โหมดกระแสแบบต่างๆ ได้			X(3)		2	

ตารางที่ ค-3 (ต่อ)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	LS			รวม คะแนน	จำนวน ข้อสอบ	รวม ข้อสอบ
	R	A	T			
11. กำหนดขนาดของกระแสเอาต์พุตของ วงจรมิตต์ทริกเกอร์โหมดกระแสแบบต่างๆ		I(2)			4	
12. กำหนดค่ากระแสขีดเริ่มต้นด้านสูงและต่ำ กระแสเอาต์พุตของวงจรมิตต์ทริกเกอร์โหมด กระแสแบบต่างๆ ได้		I(2)			2	
13. อธิบายลักษณะสมบัติของวงจรมิตต์ทริก เกอร์โหมดกระแสได้		I(2)			2	
วงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมโหมดกระแส				7		5
14. หาสมการขนาดสัญญาณเอาต์พุตของวงจร กำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมโหมดกระแสได้			X(3)		1	
15. กำหนดหาความถี่ของวงจรกำเนิดสัญญาณ สี่เหลี่ยมโหมดกระแสได้		I(2)			2	
16. กำหนดหาขนาดสัญญาณเอาต์พุตของวงจร กำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมโหมดกระแสได้		I(2)			2	

หมายเหตุ

ระดับความรู้ และทักษะทางด้านสติปัญญา (Levels Of Intellectual Skill : LS)

ความสำคัญ

R : การฟื้นคืน (Recalled Knowledge)

A : การประยุกต์ (Applied Knowledge)

T : การส่งถ่ายความรู้ (Transfer Knowledge)

X: มาก

I: ปานกลาง

O: น้อย

ตารางที่ ก-3 (ต่อ)

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	LS			รวม คะแนน	จำนวน ข้อสอบ	รวม ข้อสอบ
	R	A	T			
วงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์โหมดกระแส				9		7
17. หาสมการขนาดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์โหมดกระแสได้			X(3)		1	
18. กำหนดหาความถี่ของวงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์โหมดกระแสได้		I(2)			2	
19. กำหนดหาขนาดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์โหมดกระแสได้		I(2)			2	
20. กำหนดหาค่าตัวที่ใช้เกิ้ลของวงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์โหมดกระแสได้		I(2)			2	
วงจรมอนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์โหมดกระแส				7		4
21. หาสมการขนาดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรมอนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์โหมดกระแสได้		I(2)	X(3)		1	
22. กำหนดหาความกว้างของสัญญาณพัลส์ของวงจรมอนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์โหมดกระแสได้		I(2)			2	
23. กำหนดหาขนาดสัญญาณเอาต์พุตของวงจรมอนอสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์โหมดกระแสได้					1	

หมายเหตุ

ระดับความรู้ และทักษะทางด้านสติปัญญา (Levels Of Intellectual Skill : LS)

ความสำคัญ

R : การฟื้นคืน (Recalled Knowledge)

A : การประยุกต์ (Applied Knowledge)

T : การส่งถ่ายความรู้ (Transfer Knowledge)

X: มาก

I: ปานกลาง

O: น้อย

ตารางที่ค-4 (ต่อ)

วัตถุประสงค์	ภาพนิ่ง			ภาพเคลื่อนไหว		ชุด สาริต	P Spice	กระดาน ดำ	สื่อที่เลือก	เหตุผลที่เลือก
	เพาเวอร์ พอยต์	แผ่น ภาพ	แผ่นใส	ภาพ 3 มิติ	CAI					
คำนวณค่าความต้านทานแบ่งขั้ว อินพุตของ CC-CDTA ได้	X	I	I	O	O	O	O	X	เพาเวอร์พอยต์ P Spice กระดานดำ	แสดงขั้นตอนได้ ละเอียด เสริม จินตนาการ ประหยัด ค่าใช้จ่าย
คำนวณค่าความนำค่าโง่ของ CC- CDTA ได้	X	I	I	O	O	I	X	X	เพาเวอร์พอยต์ P Spice กระดานดำ	แสดงขั้นตอนได้ ละเอียด เสริม จินตนาการ ประหยัด แก๊ง ได้ข

X : สื่อที่สำคัญมากที่สุด

I : สื่อที่มีความสำคัญปานกลาง

O : สื่อที่มีความสำคัญน้อยที่สุด

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

วัตถุประสงค์	ภาพนิ่ง			ภาพเคลื่อนไหว		ชุด สาธิต	PSpice	กระดาน คำ	สื่อที่เลือก	เหตุผลที่เลือก
	เพาเวอร์ พอยต์	แผ่น ภาพ	แผ่นใส	ภาพ วีดิ โอ	CAI					
หาสมการกระแสเอาต์พุตของวงจร บิตทริกเกอร์โหมดกระแสแบบ ต่างๆ ได้	X	I	I	O	O	O	O	X	เพาเวอร์พอยต์ กระดานคำ	แสดงขั้นตอนได้ ละเอียด ประหยัด ค่าใช้จ่าย
หาสมการกระแสที่วัดเริ่มต้นสูงและ ต่ำกระแสเอาต์พุตของวงจรบิต ทริกเกอร์โหมดกระแสแบบต่างๆ ได้	X	I	I	O	O	O	O	X	เพาเวอร์พอยต์ กระดานคำ	แสดงขั้นตอนได้ ละเอียด ประหยัด ค่าใช้จ่าย
คำนวณขนาดของกระแสเอาต์พุตของ วงจรบิตทริกเกอร์โหมดกระแส แบบต่างๆ	X	I	I	O	O	I	X	X	เพาเวอร์พอยต์ PSpice กระดานคำ	แสดงขั้นตอนได้ ละเอียด เสริม จินตนาการ ประหยัด ค่าใช้จ่าย

X : สื่อที่สำคัญมากที่สุด

I : สื่อที่มีความสำคัญปานกลาง

O : สื่อที่มีความสำคัญน้อยที่สุด

ตารางที่ค-4 (ต่อ)

วัตถุประสงค์	ภาพนิ่ง			ภาพเคลื่อนไหว		ชุด สไลด์	P Spice	กระดาน ดำ	สื่อที่เลือก	เหตุผลที่เลือก
	เพาเวอร์ พอยต์	แผ่น ภาพ	แผ่นใส	ภาพ 3 มิติ	CAI					
คำนวณหาความถี่ของวงจรกำเนิด สัญญาณสี่เหลี่ยม โหมดกระแสได้	X	I	I	O	O	I	X	X	เพาเวอร์พอยต์ P Spice กระดานดำ	แสดงขั้นตอนได้ ละเอียด เสริม จินตนาการ ประหยัด ค่าใช้จ่าย
คำนวณหาขนาดสัญญาณเอาต์พุตของ วงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม โหมด กระแสได้	X	I	I	O	O	I	X	X	เพาเวอร์พอยต์ P Spice กระดานดำ	แสดงขั้นตอนได้ ละเอียด เสริม จินตนาการ ประหยัด ค่าใช้จ่าย

X : สื่อที่สำคัญมากที่สุด

I : สื่อที่มีความสำคัญปานกลาง

O : สื่อที่มีความสำคัญน้อยที่สุด

ตารางที่ ค-4 (ต่อ)

วัตถุประสงค์	ภาพนิ่ง			ภาพเคลื่อนไหว		ชุด สไลด์	P Spice	กระดาน ดำ	สื่อที่เลือก	เหตุผลที่เลือก
	เพาเวอร์ พอยต์	แผ่น ภาพ	แผ่นใส	ภาพ 3 มิติ	CAI					
คำนวณหาขนาดสัญญาณเอาต์พุตของ วงจรไบโอสเตเบิลลิตไวแบริเตอร์ โหมดกระแสได้	X	I	I	O	O	I	X	X	เพาเวอร์พอยต์ P Spice กระดานดำ	แสดงขั้นตอนได้ ละเอียด เสริม จินตนาการ ประหยัด ค่าใช้จ่าย

X : สื่อที่สำคัญมากที่สุด

I : สื่อที่มีความสำคัญปานกลาง

O : สื่อที่มีความสำคัญน้อยที่สุด

ภาคผนวก ง

- แบบประเมินผลความเหมาะสมชุดการสอน
- แบบสอบถามความพึงพอใจของผู้เรียน
- แบบสอบถามอาจารย์ผู้สอน

แบบประเมินชุดการสอน

เรื่อง วจรชขายความนำถ่ายโชนผลต่างกระแสที่สามารควคุมด้วยกระแสที่ทำงานในช่วงอิมตัว
และการประกยุคใใช้งาน

คำชี้แจง

- 1. แบบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 3 ตอน
 - ตอนที่ 1 สถานภาพของผู้ตอบแบบประเมิน
 - ตอนที่ 2 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดการสอน
 - ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะ
- 2. แบบประเมินนี้ใช้สำหรับหาข้อมูลเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่มีผลกระทบต่อกรปฏิบัติหน้าที่ และสถานภาพทางราชการแต่ประการใด คำตอบของท่านจะเป็นประโยชน์ในการทำวิจัยในครั้งนี้เป็นอย่างมาก ทางผู้วิจัยต้องขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย
- 3. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ประกอบด้วย
 - 3.1 แผนการสอนตามรูปแบบการเรียนรู้ MIAP
 - 3.2 ใบเนื้อหา
 - 3.3 ใบงาน
 - 3.4 สื่อการสอน
 - 3.5 แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ตอนที่ 1 สถานภาพของผู้ตอบแบบประเมิน

กรุณาเขียนเครื่องหมาย ✓ ลงใน □ หน้าตัวเลือกที่ตรงกับสภาพความเป็นจริง

- 1. ระดับการศึกษา
 - ☐ปริญญาตรีหรือเทียบเท่า
 - ☐ปริญญาโทหรือเทียบเท่า
 - ☐ปริญญาเอกหรือเทียบเท่า
 - ☐อื่นๆ.....
- 2. ประสบการณ์ด้านการสอนและการทำวิจัย
 - ☐ต่ำกว่า 5 ปี
 - ☐6-10 ปี
 - ☐มากกว่า 10 ปี
 - ☐อื่นๆ.....

3. ทำหน้าที่การสอนเกี่ยวกับ

- ☐ วิชาที่เกี่ยวกับไฟฟ้าสื่อสารและอิเล็กทรอนิกส์
- ☐ วิชาทางด้านไฟฟ้ากำลัง
- ☐ อื่นๆ.....

ตอนที่ 2 ความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่มีต่อชุดการสอน

โปรดพิจารณาข้อถามต่อไปนี้แล้วทำเครื่องหมาย ☐ ล้อมรอบตัวเลขในช่องระดับความเห็นด้วย ที่ตรงกับความคิดเห็นของท่านมากที่สุด เพียงข้อละ 1 ตัวเลือกโดยมีระดับความคิดเห็นดังนี้

- 5 หมายถึง เห็นด้วยมากที่สุด
- 4 หมายถึง เห็นด้วยมาก
- 3 หมายถึง ปานกลางหรือไม่แน่ใจ
- 2 หมายถึง เห็นด้วยน้อย
- 1 หมายถึง เห็นด้วยน้อยที่สุด

ตัวอย่างการตอบแบบประเมิน

ข้อความคำถาม	ระดับความคิดเห็น				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
วัตถุประสงค์ครอบคลุมเนื้อหา	5	4	3	2	1
จำนวนข้อของวัตถุประสงค์เหมาะสมกับหัวเรื่อง	5	4	3	2	1

ผู้ที่ตอบข้อ 1 หมายความว่า ผู้ตอบ ประเมินวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมว่า ครอบคลุมเนื้อหาทุกหัวเรื่อง ในระดับ “เห็นด้วยมากที่สุด”
ผู้ที่ตอบข้อ 2 หมายความว่า ผู้ตอบ ประเมินจำนวนข้อของวัตถุประสงค์เหมาะสมกับหัวเรื่องในระดับ “เห็นด้วยน้อย”

ข้อความคำถาม	ระดับความคิดเห็น				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
แผนการสอน					
1. แผนการสอนชัดเจน อ่านเข้าใจง่าย	5	4	3	2	1
2. มีรายละเอียดของการดำเนินการสอนที่สอดคล้องกับรูปแบบการเรียนรู้ MIAP	5	4	3	2	1
3. มีการแสดงเวลาที่ใช้กิจกรรมการเรียนการสอนตามรูปแบบการเรียนรู้ในแต่ละขั้นอย่างเหมาะสม	5	4	3	2	1
4. มีการเลือกใช้วิธีการสอนในแต่ละกิจกรรมของการเรียนรู้ อย่างเหมาะสม	5	4	3	2	1
5. เป็นแนวทางในการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนได้จริง	5	4	3	2	1
6. วัตถุประสงค์ครอบคลุมเนื้อหา	5	4	3	2	1
7. จำนวนข้อของวัตถุประสงค์เหมาะสมกับหัวเรื่อง	5	4	3	2	1
8. ข้อความที่ใช้แสดงพฤติกรรมมีความชัดเจน เข้าใจง่าย	5	4	3	2	1
9. ประเมินผลการเรียนตามวัตถุประสงค์ได้จริง	5	4	3	2	1
10. ผู้สอนสามารถนำแผนการสอนนี้ ไปใช้เป็นแนวทางในการจัดการเรียนการสอนตามรูปแบบการเรียนรู้ MIAP ได้จริง	5	4	3	2	1
ด้านใบเนื้อหาประกอบการสอน					
11. เนื้อหาครอบคลุมวัตถุประสงค์	5	4	3	2	1
12. เนื้อหามีความถูกต้อง	5	4	3	2	1
13. มีรายละเอียดของเนื้อหาเพียงพอ	5	4	3	2	1
14. เนื้อหาเรียงลำดับได้อย่างเหมาะสม	5	4	3	2	1
15. รูปภาพสัมพันธ์กับคำอธิบาย	5	4	3	2	1
16. คำอธิบายละเอียดและชัดเจน	5	4	3	2	1
17. ภาษาที่ใช้มีความเหมาะสม และอ่านทำความเข้าใจได้ง่าย	5	4	3	2	1
ด้านใบงานประกอบการสอน					
18. มีความถูกต้องตามเนื้อหา	5	4	3	2	1

ข้อความคำถาม	ระดับความคิดเห็น				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
19. คำสั่งในการดำเนินงานแต่ละขั้นตอนชัดเจนและรัดกุม	5	4	3	2	1
20. ขั้นตอนการทดลองมีความต่อเนื่องเป็นลำดับ	5	4	3	2	1
21. ผู้เรียนสามารถปฏิบัติได้โดยตรง	5	4	3	2	1
22. กระบวนการทดลองเอื้อต่อการพัฒนาความรู้ตามวัตถุประสงค์	5	4	3	2	1
23. จำนวนภาพที่ใช้บันทึกผลการทดลองมีความสอดคล้องกับกระบวนการอย่างครบถ้วน	5	4	3	2	1
24. ภาพที่ใช้บันทึกผลการทดลองใช้ง่าย ไม่สร้างความสับสนให้กับผู้เรียน	5	4	3	2	1
ด้านสื่อการเรียนการสอน(งานนำเสนอเพาเวอร์พอยต์)					
25. รูปภาพมองเห็นได้ชัดเจน	5	4	3	2	1
26. ตัวหนังสือมองเห็นได้ชัดเจน	5	4	3	2	1
27. การใช้สีสันทันเหมาะสม	5	4	3	2	1
28. เหมาะสมกับเนื้อหา และวัตถุประสงค์การสอน	5	4	3	2	1
29. สามารถส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้ได้ดี	5	4	3	2	1
ด้านการประเมินผล (แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน)					
30. คำถามตรงตามวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	5	4	3	2	1
31. จำนวนข้อสอบเหมาะสมกับวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม	5	4	3	2	1
32. คำถามและคำตอบมีเป้าหมายที่ชัดเจน	5	4	3	2	1
33. คำถามชัดเจนไม่คลุมเครือ	5	4	3	2	1
34. คำถามมีความยากง่ายเหมาะสม	5	4	3	2	1

ตอนที่ 3 ข้อเสนอแนะ

ด้านแผนการสอน

.....

.....

.....

.....

ด้านเนื้อหา

.....

.....

.....

.....

ด้านใบงาน

.....

.....

.....

.....

ด้านสื่อการเรียนการสอน

.....

.....

.....

.....

ด้วยความเคารพอย่างสูง
ภมร ศิลาพันธ์

แบบสอบถาม

เรื่อง ความพึงพอใจของผู้เรียนที่ผ่านการเรียนการสอนเรื่องวงจรขยายความนำถ่ายโอนผลต่าง
กระแสที่สามารถควบคุมด้วยกระแสที่ทำงานในช่วงอิมิตัวและการประยุกต์ใช้งาน

คำชี้แจง โปรดพิจารณาข้อถามต่อไปนี้แล้วทำเครื่องหมาย ✓ ในช่องระดับความพึงพอใจที่ตรงกับ
ความคิดเห็นของท่านมากที่สุด เพียงข้อละ 1 ตัวเลือก

ข้อที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับของความพึงพอใจ				
		มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
ด้านการเรียนการสอน						
1.	ปริมาณเนื้อหาที่ใช้ในการเรียนการสอนมีจำนวนเหมาะสม					
2.	การจัดลำดับเนื้อหามีความต่อเนื่องและสัมพันธ์กัน					
3.	เนื้อหาที่ใช้สอนมีความน่าสนใจ					
4.	ใบเนื้อหาอ่านเข้าใจง่ายไม่สับสน โดยขนาดตัวอักษรเหมาะสม และมีภาพที่ชัดเจน					
5.	เวลาที่ใช้สอนมีระยะเวลาที่เหมาะสม					
6.	แบบฝึกหัดและแบบทดสอบมีความความยากง่ายเหมาะสม					
7.	หลังจากจบบทเรียนท่านได้รับความรู้เพิ่มขึ้นจากเดิม					
8.	หลังจากจบบทเรียนท่านสามารถนำความรู้ที่ได้รับไปใช้กับรายวิชาอื่น ๆ ได้					
9.	การวิเคราะห์วงจรในโหมดกระแสจ่ายกว่าโหมดแรงดัน					
ด้านสื่อการสอน (ชุดนำเสนอด้วยเพาเวอร์พอยต์)						
10.	ส่งเสริมให้เข้าใจเนื้อหาได้ง่ายและรวดเร็ว					
11.	การเรียงลำดับของกรอบภาพมีความสัมพันธ์กับเนื้อหาที่ได้รับ					

ข้อที่	ข้อคำถามความคิดเห็น	ระดับของความพึงพอใจ				
		มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
12.	ภาพมีความสัมพันธ์กับการบรรยาย					
13.	ภาพวงจรและตัวอักษรมีขนาดและสีสังเกตเห็นได้ชัดเจน					
14.	สีสันทึที่ใช้มีความเด่นชัดและเหมาะสมน่าสนใจ					
ด้านใบงานประกอบการสอน						
15.	ช่วยส่งเสริม และกระตุ้นให้เกิดจินตนาการในการเข้าใจเนื้อหามากขึ้น					
16.	ช่วยให้ผู้เรียนสนใจ และมีส่วนร่วมในกระบวนการเรียนการสอนมากขึ้น					
17.	การใช้งานของใบงานมีความสะดวก ใช้งานง่าย มีขั้นตอนชัดเจนและรัดกุม					
18.	สามารถนำใบงานไปจำลองเพื่อเรียนรู้ นอกเหนือจากการเรียนในชั้นเรียนได้ตลอดเวลา					

แบบสอบถามอาจารย์ผู้สอน

ชื่อเรื่อง การศึกษาสภาพ ปัญหาและความต้องการทางการเรียนการสอน วิชาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือวิชาที่เกี่ยวข้อง เรื่อง การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในช่วงการทำงานอัตโนมัติโดยเทคนิคโหมดกระแส

วัตถุประสงค์

- 1. เพื่อศึกษาสภาพการเรียนการสอนวิชาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือวิชาที่เกี่ยวข้อง
- 2. เพื่อกำหนดแนวทางในการพัฒนา การสร้างชุดการสอนวิชาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือวิชาที่เกี่ยวข้อง เรื่องการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในช่วงการทำงานอัตโนมัติโดยเทคนิคโหมดกระแส

คำชี้แจง

- 1. แบบสอบถามมีทั้งหมด 3 ตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับตัวผู้ตอบแบบสอบถาม

ตอนที่ 2 สภาพการเรียนการสอนวิชาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือวิชาที่เกี่ยวข้อง

ตอนที่ 3 ปัญหาและความต้องการการเรียนการสอนวิชาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือวิชาที่เกี่ยวข้อง เรื่องการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในช่วงการทำงานอัตโนมัติโดยเทคนิคโหมดกระแส

ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

ตอนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม

คำชี้แจง โปรดใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง ☐ หน้าตัวเลือกที่ตรงกับสภาพความเป็นจริง

1. อายุ

- ☐ 15-25 ปี ☐ 25-45 ปี
- ☐ 45-60 ปี ☐ มากกว่า 60 ปี

2. ระดับการศึกษา

- ☐ ปริญญาตรี ☐ ปริญญาโท ☐ ปริญญาเอก

3. ประสบการณ์ด้านการสอน

- ☐ ต่ำกว่า 5 ปี ☐ มากกว่า 5 ปี

4. ด้านการสอนทำหน้าที่การสอนเกี่ยวกับ

☐ อิเล็กทรอนิกส์ ☐ โทรคมนาคม ☐ อื่นๆ.....

5. สถานที่ทำงาน

โปรดระบุ.....

สภาพการเรียนรู้การสอนวิชาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือวิชาที่เกี่ยวข้อง

ตอนที่ 2 สภาพการเรียนรู้การสอนวิชาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือวิชาที่เกี่ยวข้อง

คำชี้แจง โปรดใส่เครื่องหมาย ✓ ลงในช่อง ☐ หน้าตัวเลือกที่ตรงกับสภาพความเป็นจริง

6. ท่านคิดว่าลักษณะเนื้อหาของวิชาการออกแบบวิชาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือวิชาที่เกี่ยวข้องจะมุ่งเน้นถึงสิ่งใดบ้าง (เลือกตอบได้มากกว่า 1 ตัวเลือก)

- | | | |
|--|---|---|
| ☐ 1. การคำนวณ | ☐ 2. การออกแบบวงจร | ☐ 3. การวิเคราะห์วงจร |
| ☐ 4. การสร้างวงจร | ☐ 5. การทดสอบวงจร | ☐ 6. การประยุกต์ใช้งาน |
| ☐ 7. อื่นๆ. | | |

7. ท่านใช้กิจกรรมการเรียนรู้การสอนแบบใดเพื่อให้ผู้เรียนบรรลุถึงวัตถุประสงค์ที่วางไว้ (เลือกตอบได้มากกว่า 1 ตัวเลือก)

- | | | |
|-------------------------------------|---|---------------------------------------|
| ☐ 1. บรรยาย | ☐ 2. กิจกรรมกลุ่ม | ☐ 3. ถาม - ตอบ |
| ☐ 4. โครงงาน | ☐ 5. เรียนรู้ด้วยตนเอง | |
| ☐ 6. อื่นๆ. | | |

8. ท่านใช้สื่ออะไรบ้างประกอบการเรียนรู้การสอนวิชาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (เลือกตอบได้มากกว่า 1 ตัวเลือก)

- | | | |
|--|------------------------------------|---|
| ☐ 1. กระดานดำ | ☐ 2. แผ่นใส | ☐ 3. เพาเวอร์พอยต์ |
| ☐ 4. ใบเนื้อหา | ☐ 5. ใบงาน | ☐ 6. บทเรียน CAI |
| ☐ 7. โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับออกแบบและวิเคราะห์วงจร ☐ 8. บทเรียน | | |

ออนไลน์

☐ 9. อื่นๆ.

9. ท่านทราบเรื่องการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้เทคนิคโมดกระแสหรือไม่

- | | | |
|-------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|
| ☐ ทราบ | ☐ พอทราบบ้าง | ☐ ไม่ทราบ |
|-------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|

10. ท่านทราบเรื่องการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในช่วงการทำงานอิมตัวโดยใช้เทคนิค
โหมดกระแสหรือไม่.....

☐ ทราบ ☐ พอทราบบ้าง ☐ ไม่ทราบ

11. ท่านมีแผนการสอนเรื่องการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในช่วงการทำงานอิมตัวโดยใช้
เทคนิคโหมดกระแสหรือไม่.....

☐ มีทุกหัวข้อ ☐ มีบางหัวข้อ ☐ ไม่มี

สภาพการเรียนรู้การสอนวิชาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือวิชาที่เกี่ยวข้อง

12. ท่านมีใบเนื้อหาประกอบการสอนเรื่องการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในช่วงการทำงาน
อิมตัวโดยใช้เทคนิคโหมดกระแสหรือไม่.....

☐ มีทุกหัวข้อ ☐ มีบางหัวข้อ ☐ ไม่มี

13. ใบเรื่องการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในช่วงการทำงานอิมตัวโดยใช้เทคนิคโหมดกระแส
ที่ท่านใช้อยู่เหมาะสมหรือไม่ (ถ้ามี)

☐ เหมาะสม
☐ ไม่เหมาะสม คือ

14. ท่านต้องการพัฒนาใบเนื้อหาในเรื่อง

ความสอดคล้องระหว่างเนื้อหากับวัตถุประสงค์.....

☐ มากที่สุด ☐ มาก ☐ ปานกลาง ☐ น้อย

การเรียงลำดับขั้นของเนื้อหา.....

☐ มากที่สุด ☐ มาก ☐ ปานกลาง ☐ น้อย

ความถูกต้องของเนื้อหา.....

☐ มากที่สุด ☐ มาก ☐ ปานกลาง ☐ น้อย

รูปภาพสัมพันธ์กับคำอธิบาย.....

☐ มากที่สุด ☐ มาก ☐ ปานกลาง ☐ น้อย

15. สื่อการสอนที่ท่านใช้อยู่เหมาะสมหรือไม่

☐ เหมาะสม
☐ ไม่เหมาะสม คือ

16. ท่านใช้การวัดผลและประเมินผลแบบใด ในการเรียนการสอนวิชาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือวิชาที่เกี่ยวข้อง

- ☐ 1. แบบเลือกตอบ (ปรนัย)
- ☐ 2. แบบเขียนคำตอบ (อัตนัย)
- ☐ 3. แบบส่งเป็นชิ้นงาน
- ☐ 4. อื่นๆ

สภาพการเรียนการสอนวิชาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์หรือวิชาที่เกี่ยวข้อง

17. ท่านต้องการพัฒนาสื่อการสอนในเรื่อง.....

ความเหมาะสมของเนื้อหาและวัตถุประสงค์การสอน.....

- ☐ มากที่สุด
- ☐ มาก
- ☐ ปานกลาง
- ☐ น้อย

ช่วยส่งเสริมให้ผู้เรียนเกิดการเรียนรู้.....

- ☐ มากที่สุด
- ☐ มาก
- ☐ ปานกลาง
- ☐ น้อย

ช่วยทำให้ผู้เรียนเกิดจินตนาการ เข้าใจง่าย.....

- ☐ มากที่สุด
- ☐ มาก
- ☐ ปานกลาง
- ☐ น้อย

ความชัดเจน ดึงดูดความสนใจ.....

- ☐ มากที่สุด
- ☐ มาก
- ☐ ปานกลาง
- ☐ น้อย

18. ท่านมีแบบฝึกหัดหลังการเรียนแต่ละหัวข้อหรือไม่.....

- ☐ มีทุกหัวข้อ
- ☐ มีบางหัวข้อ
- ☐ ไม่มี

19. แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนที่ท่านใช้ผู้มีมาตรฐานหรือไม่.....

- ☐ มาตรฐาน
- ☐ ไม่มาตรฐาน คือ

20. ท่านเห็นว่าระดับความตั้งใจเรียนของผู้เรียน อยู่ในระดับใด.....

- ☐ มาก
- ☐ ปานกลาง
- ☐ น้อย

21. จากการทดสอบที่ผ่านมา คะแนนเฉลี่ยของผู้เรียน อยู่ในระดับใด.....

- ☐ มาก
- ☐ ปานกลาง
- ☐ น้อย

ความคิดเห็น/ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ตอนที่ 3 ความต้องการเกี่ยวกับการเรียนการสอนของรายวิชาวิชาการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ หรือวิชาที่เกี่ยวข้อง เรื่องการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในช่วงการทำงานอิมตัวโดยใช้เทคนิค โหมดกระแส

คำชี้แจง โปรดพิจารณาข้อถามต่อไปนี้แล้วทำเครื่องหมาย ☐ ล้อมรอบตัวเลือกในช่องระดับของ ความต้องการที่ตรงกับความคิดเห็นของท่าน**มากที่สุด** เพียงข้อละ 1 ตัวเลือก

ข้อคำถามเกี่ยวกับความต้องการทางด้านการเรียน การสอนการเรียนการสอนวิชาการออกแบบวงจร อิเล็กทรอนิกส์หรือวิชาที่เกี่ยวข้อง เรื่องการ ออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในช่วงการทำงาน อิมตัวโดยใช้เทคนิคโหมดกระแส	ระดับของความต้อการ					สำหรับ ผู้วิจัย
	มาก ที่สุด	มาก	ปาน กลาง	น้อย	น้อย ที่สุด	
27. รูปแบบการจัดกิจกรรมการเรียนการสอนที่ เน้นผู้เรียนเป็นสำคัญ	5	4	3	2	1	
28. เอกสารประกอบการเรียนการสอนที่ ครอบคลุมเนื้อหา และสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ เชิงพฤติกรรม	5	4	3	2	1	
29. ใบงานประกอบการปฏิบัติการออกแบบวงจร อิเล็กทรอนิกส์ที่มีขั้นตอนไม่ซับซ้อน	5	4	3	2	1	
30. สื่อการสอนประเภทแผ่นใส และงานนำเสนอ เพาเวอร์พอยด์ ที่สวยงาม สะดวกกับการใช้งาน	5	4	3	2	1	
31. โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการออกแบบ และวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่มีคุณภาพดีใช้ งานง่าย	5	4	3	2	1	
32. ข้อสอบที่มีคุณภาพ และมีความหลากหลาย	5	4	3	2	1	

ข้อเสนอแนะ/เสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ภาคผนวก จ

- รายชื่อผู้เชี่ยวชาญประเมินเครื่องมือการวิจัย
- หนังสือเรียนเชิญผู้เชี่ยวชาญ

รายชื่อผู้เชี่ยวชาญประเมินเครื่องมือการวิจัย

- | | |
|-------------------------------------|---|
| 1. ผศ.ดร. เสริมศักดิ์ เอื้อตรงจิตต์ | คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ |
| 2. ผศ.ดร. ปรัชญนันท์ นิลสุข | คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ |
| 3. ผศ.ดร. ประจวบ ปวรังกูร | คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร |
| 4. ดร. อมร จิรเสรีอมรกุล | คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร |
| 5. ดร. มนต์รี คำเงิน | คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง |
| 6. ดร. สมมาตร ขำเกลี้ยง | คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น |



ที่ ศธ 0525 3(2)/ 141

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถ.พูนผลสงคราม บางซื่อ กทม. 10800

13 ธันวาคม 2553

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญประเมินวิทยานิพนธ์

เรียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสริมศักดิ์ เอื้อตรงจิตต์

ด้วยนายภมร ศิลพันธ์ นักศึกษาหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้าศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้รับอนุมัติหัวข้อและโครงการวิทยานิพนธ์ เรื่อง การสังเคราะห์และประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในโหมดกระแสที่ทำงานในช่วงอิมพัลส์สำหรับการเรียนการสอน ด้านการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ : กรณีศึกษากับ CC - CDTA โดยมีกรรมการที่ปรึกษาดังนี้

1. รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ใคร่ขอความอนุเคราะห์จากท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญประเมินวิทยานิพนธ์ เพื่อประกอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ในเรื่องดังกล่าวข้างต้น ทั้งนี้เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวิพัตร์ ทวนทอง)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า
โทรศัพท์/โทรสาร 02-5878255



ที่ ศษ 0525.3(2)/ 1Δ1

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถ.พิบูลสงคราม บางซื่อ กทม. 10800

๑๑ ธันวาคม 2553

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญประเมินวิทยานิพนธ์

เรียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปรัชญนันท์ นิลสุข

ด้วยนายภมร ศิลาพันธ์ นักศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้าศึกษา คณะ
วิศวกรรมศาสตร์อุตสาหกรรม ได้รับอนุมัติหัวข้อและโครงการวิทยานิพนธ์ เรื่อง การสังเคราะห์และประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์
อิเล็กทรอนิกส์ในโหมดกระแสที่ทำงานในช่วงอิมิตัวสำหรับใช้งานในการเรียนการสอน ด้านการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ :
กรณีศึกษา กับ CC - CDTA โดยมีกรรมการที่ปรึกษา ดังนี้

- 1. รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ศิริปรัชญนันท์

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ใคร่ขอความอนุเคราะห์จากท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญประเมินวิทยานิพนธ์ เพื่อ
ประกอบการจัดทําวิทยานิพนธ์ในเรื่องดังกล่าวข้างต้น ทั้งนี้เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปัทม์ ทวนทอง)
หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า
โทรศัพท์/โทรสาร 02-5878255



ที่ ศธ 0525.3(2)/ 141

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถ.พิบูลสงคราม บางซื่อ กทม. 10800

13 ธันวาคม 2553

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญประเมินวิทยานิพนธ์

เรียน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประจวบ ปวรางกูร

ด้วยนายภมร คีลาพันธ์ นักศึกษาหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้าศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้รับอนุมัติหัวข้อและโครงการวิทยานิพนธ์ เรื่อง การสังเคราะห์และประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในโหมดกระแสที่ทำงานในช่วงอิมิตัวสำหรับใช้งานในการเรียนการสอน ด้านการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ : กรณีศึกษากับ CC-CDTA โดยมีกรรมการที่ปรึกษาดังนี้

1. รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ใคร่ขอความอนุเคราะห์จากท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญประเมินวิทยานิพนธ์ เพื่อประกอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ในเรื่องดังกล่าวข้างต้น ทั้งนี้เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฏิพัทธ์ ทวนทอง)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า
โทรศัพท์/โทรสาร 02-5878255



ที่ ศธ 0525.3(2)/ 141

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถ.พิบูลสงคราม บางซื่อ กทม. 10800

1๑ ธันวาคม 2553

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญประเมินวิทยานิพนธ์
เรียน ดร.อมร จิรเสรีอมรกุล

ด้วยนายอมร ศิลาพันธ์ นักศึกษาหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้าศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้รับอนุมัติหัวข้อและโครงการวิทยานิพนธ์ เรื่อง การสังเคราะห์และประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในโหมดกระแสที่ทำงานในช่วงอิมิตัวสำหรับใช้งานในการเรียนการสอน ด้านการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ : การฝึกศึกษา กับ CC -CDTA โดยมีกรรมการที่ปรึกษาดังนี้

- 1. รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ขอความอนุเคราะห์จากท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญประเมินวิทยานิพนธ์ เพื่อประกอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ในเรื่องดังกล่าวข้างต้น ทั้งนี้เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปวิพท์ ทวนทอง)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า
โทรศัพท์/โทรสาร 02-5878255



ที่ ศธ 0525 3(2)/ 111

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถ.พิบูลสงคราม บางซื่อ กทม. 10800

13 ธันวาคม 2553

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญประเมินวิทยานิพนธ์

เรียน ดร.มนตรี คำเงิน

ด้วยนายภมร ศิลพันธ์ นักศึกษาหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้าศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้รับอนุมัติหัวข้อและโครงการวิทยานิพนธ์ เรื่อง การสังเคราะห์และประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในโหมดกระแสที่ทำงานในช่วงอิมิตัวสำหรับใช้งานในการเรียนการสอน ด้านการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ : กรณีศึกษากับ CC - CDTA โดยมีกรรมการที่ปรึกษาดังนี้

1. รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ขอความอนุเคราะห์จากท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญประเมินวิทยานิพนธ์ เพื่อประกอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ในเรื่องดังกล่าวข้างต้น ทั้งนี้เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฏิพัทธ์ ทวนทอง)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า



ที่ ศธ 0525.3(2)/ 141

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถ.พูนผลสงคราม บางซื่อ กทม. 10800

13 ธันวาคม 2553

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญประเมินวิทยานิพนธ์
เรียน ดร.สมมาตร ช่างเลี้ยง

ด้วยนายภมร ศิลาพันธ์ นักศึกษาหลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาไฟฟ้าศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ได้รับอนุมัติหัวข้อและโครงการวิทยานิพนธ์ เรื่อง การสังเคราะห์และประยุกต์ใช้งานอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในโหมดกระแสที่ทำงานในช่วงอิมิตัวสำหรับใช้งานในการเรียนการสอน ด้านการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ : กรณีศึกษากับ CC-CDTA โดยมีกรรมการที่ปรึกษาดังนี้

1. รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์

ในการนี้ นักศึกษามีความประสงค์ใคร่ขอความอนุเคราะห์จากท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญประเมินวิทยานิพนธ์ เพื่อประกอบการจัดทำวิทยานิพนธ์ในเรื่องดังกล่าวข้างต้น ทั้งนี้เพื่อประโยชน์สูงสุดทางการศึกษาต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ด้วย จักเป็นพระคุณยิ่ง

ขอแสดงความนับถือ


(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปฐิทธิ์ ทวนทอง)
หัวหน้าภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า
โทรศัพท์/โทรสาร 02-5878255

ภาคผนวก ฉ

- ผลการประเมินดัชนีความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมกับ
แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์
- การวิเคราะห์เพื่อหาคุณภาพของข้อสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน

ตารางที่ ฉ-1 ผลการประเมินดัชนีความสอดคล้องระหว่างวัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรมกับ
แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์

วัตถุประสงค์ ข้อที่	ข้อสอบ ข้อที่							$\sum R$	IOC
		คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	คนที่ 6		
1	1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
	2	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
2	3	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
	4	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
3	5	0	+1	+1	+1	+1	+1	5	0.83
	6	0	+1	+1	+1	+1	+1	5	0.83
4	7	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
	8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
5	9	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
	10	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
6	11	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
	12	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
7	13	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
	14	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
8	15	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
	16	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
9	17	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
	23	+1	+1	0	+1	+1	+1	5	0.83
10	18	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
	24	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
11	19	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
	20	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
	25	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
	26	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1

ตารางที่ น-1 (ต่อ)

วัตถุประสงค์ ข้อที่	ข้อสอบ ข้อที่							$\sum R$	IOC
		คนที่ 1	คนที่ 2	คนที่ 3	คนที่ 4	คนที่ 5	คนที่ 6		
12	21	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
	27	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
13	22	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
	28	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
14	29	+1	+1	0	+1	+1	+1	5	0.83
15	32	0	+1	+1	+1	+1	+1	5	0.83
	33	0	+1	+1	+1	+1	+1	5	0.83
16	30	0	+1	+1	+1	+1	+1	5	0.83
	31	0	+1	+1	+1	+1	+1	5	0.83
17	34	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
18	37	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
	38	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
19	35	+1	+1	0	+1	+1	+1	5	0.83
	36	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
20	39	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
	40	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
21	41	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
22	42	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
	43	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
23	44	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1
	45	+1	+1	+1	+1	+1	+1	6	1

ตารางที่ ฉ-2 ผลคะแนนจากการทำแบบทดสอบของกลุ่มทดลอง

ข้อที่ คนที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
3	1	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	0	1
5	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0
6	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1
7	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1
8	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1
9	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1
10	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1	0	1	0	0	1	0
11	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0
12	0	1	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1
13	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
15	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0	0
16	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0
18	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
19	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
20	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
21	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
22	1	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	1
23	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	0	1	1

ตารางที่ จ-2 (ต่อ)

ข้อที่ คนที่	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32
1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1
4	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	0
5	0	0	1	1	1	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0
6	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1
7	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
9	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
10	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0
11	0	0	0	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1
12	1	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1
13	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1	1	1	1
15	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	0	1	1
16	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
17	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
18	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1
19	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0
20	1	0	1	1	1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	0
21	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0
22	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1
23	1	0	1	0	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1

ตารางที่ ฅ-3 การหาค่าความยากง่าย (p) ค่าอำนาจจำแนก (d)

ข้อที่	P _U	P _L	$p = \frac{P_U + P_L}{N}$	$d = \frac{P_U - P_L}{N / 2}$	q	pq
1	8	4	0.522	0.348	0.478	0.250
2	10	6	0.696	0.348	0.304	0.212
3	12	6	0.783	0.522	0.217	0.170
4	10	4	0.609	0.522	0.391	0.238
5	9	4	0.565	0.435	0.435	0.246
6	11	6	0.739	0.435	0.261	0.193
7	8	5	0.565	0.261	0.435	0.246
8	11	4	0.652	0.609	0.348	0.227
9	11	2	0.565	0.783	0.435	0.246
10	11	5	0.696	0.522	0.304	0.212
11	9	3	0.522	0.522	0.478	0.250
12	9	6	0.652	0.261	0.348	0.227
13	9	4	0.565	0.435	0.435	0.246
14	11	6	0.739	0.435	0.261	0.193
15	9	5	0.609	0.348	0.391	0.238
16	10	5	0.652	0.435	0.348	0.227
17	10	6	0.696	0.348	0.304	0.212
18	11	2	0.565	0.783	0.435	0.246
19	11	6	0.739	0.435	0.261	0.193
20	10	5	0.652	0.435	0.348	0.227
21	12	4	0.696	0.348	0.304	0.212
22	12	6	0.783	0.522	0.217	0.170
23	10	6	0.696	0.348	0.304	0.212
24	10	6	0.696	0.348	0.304	0.212
25	10	4	0.609	0.522	0.391	0.238
26	8	4	0.522	0.348	0.478	0.250

ตารางที่ จ-3 (ต่อ)

ข้อที่	P_U	P_L	p $p = \frac{P_U + P_L}{N}$	d $d = \frac{P_U - P_L}{N / 2}$	q	pq
27	10	6	0.696	0.348	0.304	0.212
28	8	5	0.565	0.261	0.435	0.246
29	9	5	0.609	0.348	0.391	0.238
30	11	4	0.652	0.609	0.348	0.227
31	10	5	0.652	0.435	0.348	0.227
32	9	6	0.652	0.261	0.348	0.227
33	9	3	0.522	0.522	0.478	0.250
34	8	4	0.522	0.348	0.478	0.250
35	10	6	0.696	0.348	0.304	0.212
36	9	6	0.652	0.261	0.348	0.227
37	10	6	0.696	0.348	0.304	0.212
38	8	4	0.522	0.348	0.478	0.250
39	8	5	0.565	0.261	0.435	0.246
40	11	5	0.696	0.522	0.304	0.212
41	11	7	0.783	0.348	0.217	0.170
42	10	5	0.652	0.435	0.348	0.227
43	9	6	0.652	0.261	0.348	0.227
44	10	4	0.609	0.522	0.391	0.238
45	11	6	0.739	0.435	0.261	0.193
รวม					16.083	10.084

หาความเชื่อมั่นแบบทดสอบทั้งฉบับโดยใช้สูตรของคูเคอร์ริชาร์ดสันจากสมการที่ (5-6)

$$r_u = \frac{n}{n-1} \left\{ 1 - \frac{\sum pq}{S^2} \right\}$$

- เมื่อ r_u คือ ค่าความเชื่อมั่นของแบบทดสอบ
 n คือ จำนวนข้อสอบของแบบทดสอบ
 p คือ สัดส่วนของผู้เรียนที่ตอบถูก
 q คือ สัดส่วนของผู้เรียนที่ตอบผิด
 S^2 คือ ความแปรปรวนของคะแนนทั้งหมด

โดยที่ความแปรปรวนของคะแนนทั้งหมดหาได้จาก

$$\begin{aligned} S^2 &= \frac{N \sum X^2 - (\sum X)^2}{N(N-1)} \\ &= \frac{23(20848) - (662)^2}{23(22)} \\ &= 81.542 \end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ความเชื่อมั่นแบบทดสอบทั้งฉบับดังนี้

$$\begin{aligned} r_u &= \frac{n}{n-1} \left\{ 1 - \frac{\sum pq}{S^2} \right\} \\ &= \frac{23}{22} \left\{ 1 - \frac{9.977}{75.628} \right\} \\ &= 0.916 \end{aligned}$$

ภาคผนวก ข

- คะแนนที่ได้จากการทำแบบฝึกหัด
- คะแนนที่ได้จากการทำแบบทดสอบ
- การวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของชุดการสอน

ตารางที่ ข-1 คะแนนแบบฝึกหัดค่าร้อยละของผู้เรียน

คนที่	เรื่อง 1(15)	เรื่อง 2(10)	เรื่อง 3(4)	เรื่อง 4(7)	เรื่อง 5(4)	ร้อยละ
1	12	10	3	6	3	85
2	13	9	3	5	3	82.5
3	14	9	3	5	3	85
4	11	9	4	5	2	77.5
5	14	8	2	5	2	77.5
6	13	9	3	4	2	77.5
7	13	8	4	5	3	82.5
8	11	9	3	5	2	75
9	13	9	3	6	3	85
10	12	7	4	5	4	80
11	15	8	4	5	3	87.5
12	12	6	3	4	3	70
13	11	8	3	6	3	77.5
13	11	6	3	6	3	72.5
15	10	9	3	5	3	75
16	14	7	3	6	3	82.5
17	13	9	3	6	4	87.5
18	10	7	3	5	3	70
19	11	9	2	4	2	70
20	11	7	3	4	3	70
21	14	8	4	6	3	87.5
22	13	9	3	6	4	87.5
23	14	8	4	6	3	87.5
24	13	8	4	5	3	82.5
25	13	10	3	6	3	87.5
26	13	10	3	6	4	85

ตารางที่ ข-1 (ต่อ)

คนที่	เรื่อง 1(10)	เรื่อง 2(10)	เรื่อง 3(10)	เรื่อง 4(5)	เรื่อง 5(5)	ร้อยละ
27	13	10	3	6	4	90
28	13	8	3	6	4	85
29	14	9	3	6	3	87.5
30	11	8	3	5	4	77.5
31	13	7	3	6	4	82.5
32	14	8	4	5	3	85
33	14	9	3	6	2	85
34	13	10	3	5	4	87.5
35	13	8	2	5	4	80
36	13	8	4	6	4	87.5
37	12	9	3	5	4	82.5
รวม	467	310	117	198	116	
ร้อยละ	84.144	83.784	79.054	76.448	78.378	81.622

จากตารางที่ ข-1 พบว่าค่าประสิทธิภาพ $E_i=81.622$

ตารางที่ ข-2 คะแนนผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนของผู้เรียนและค่าร้อยละ

ลำดับที่	คะแนน (45)	ค่าร้อยละ (%)
1	35	77.778
2	37	82.222
3	21	46.667
4	24	53.333
5	29	64.444
6	30	66.667
7	36	80.000
8	32	71.111
9	26	57.778
10	38	84.444
11	39	86.667
12	42	93.333
13	38	84.444
14	39	86.667
15	37	82.222
16	38	84.444
17	43	95.556
18	38	84.444
19	34	75.556
20	35	77.778
21	37	82.222
22	37	82.222
23	38	84.444
24	39	86.667
25	41	91.111
26	39	86.667

ตารางที่ ช-2 (ต่อ)

ลำดับที่	คะแนน (45)	ค่าร้อยละ (%)
27	42	93.333
28	37	82.222
29	37	82.222
30	38	84.444
31	37	82.222
32	36	80.000
33	36	80.000
34	39	86.667
35	35	77.778
36	40	88.889
37	36	80.000
รวม	1335	80.180

จากตารางที่ ช-2 พบว่าค่าประสิทธิภาพ $E_2=80.180$

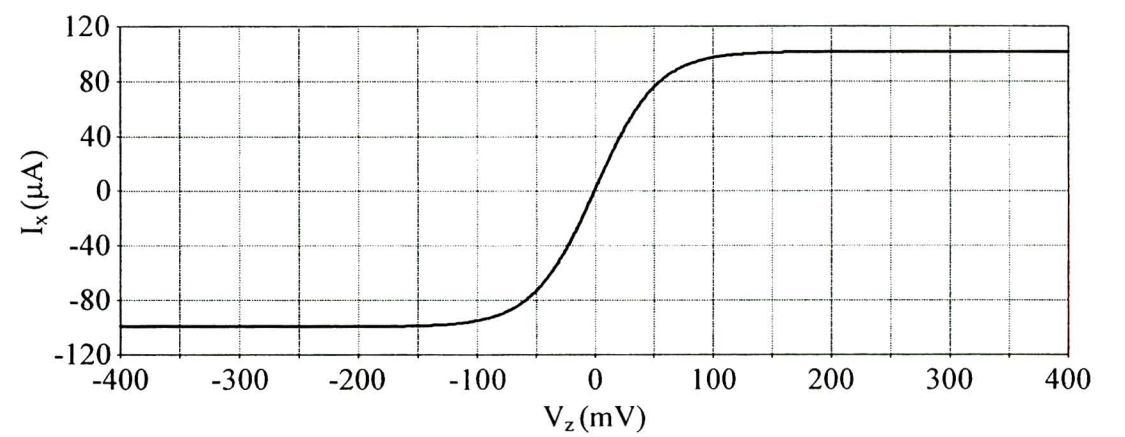
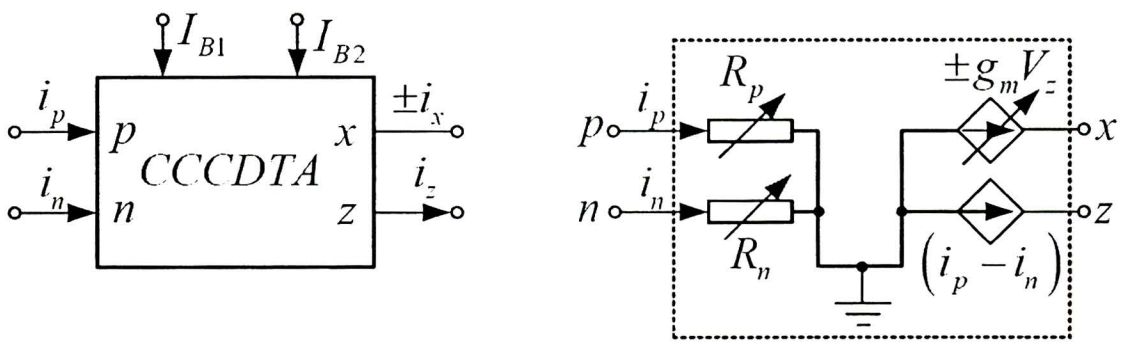
ภาคผนวก ซ

- ตัวอย่างคู่มือครู
- แบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน



คู่มือครู

เรื่องที่ 1 คุณสมบัติของวงจรขยายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแสที่สามารถควบคุมด้วยกระแสที่ทำงานในช่วงเชิงเส้นและอิมตัว



ภมร ตีลาพันธ์

ภาควิชาครุศาสตร์ไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

คู่มือครู

เรื่องที่ 1 คุณสมบัติเบื้องต้นของวงจรรขยายความนำถ่ายโอนผลต่าง กระแสที่สามารถควบคุมด้วยกระแส

คู่มือครูจะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ ดังนี้

1. คำนำ
2. คำชี้แจงสำหรับครู
3. รายการอุปกรณ์ในชุดการสอน
4. แผนการสอน
5. ใบเนื้อหา
6. ใบงาน
7. แบบฝึกหัด

คำนำ

ชุดการสอนเรื่อง วงจรขยายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแสที่สามารถควบคุมด้วยกระแสที่ทำงานในช่วงอิมิตัวและการประยุกต์ใช้งาน นี้ จัดทำขึ้นมาเพื่อใช้สำหรับการเรียนการสอนในหลักสูตรที่มีรายวิชาเนื้อหาทางการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งเนื้อหาทั้งหมดจะเน้นที่การออกแบบวงจรแอนะล็อกโหมดกระแส โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โหมดกระแสชนิดใหม่ที่มีชื่อว่า วงจรขยายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแสที่สามารถควบคุมด้วยกระแส (CC-CDTA) ที่ทำงานในช่วงอิมิตัว โดยที่ชุดการสอนนี้จะประกอบด้วย 5 หัวข้อเรื่อง ได้แก่

เรื่องที่ 1 คุณสมบัติของ CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงที่เป็นเชิงเส้นและอิมิตัว

เรื่องที่ 2 วงจรชนิดตัวทริกเกอร์โหมดกระแส

เรื่องที่ 3 วงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมโหมดกระแส

เรื่องที่ 4 วงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์โหมดกระแส

เรื่องที่ 5 โมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์โหมดกระแส

ผู้จัดทำหวังเป็นอย่างยิ่งว่าชุดการสอนนี้จะประโยชน์ในการเรียนการสอนในรายวิชาที่มีเนื้อหาเกี่ยวข้องกับการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ทั้งในระดับปริญญาตรี เพื่อให้ผู้เรียนได้เกิดการเรียนรู้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

กมล ศิลาพันธ์

คำชี้แจงสำหรับครู

ข้อควรปฏิบัติในการใช้ชุดการสอน มีดังนี้

1. ให้ครูตรวจสอบรายการอุปกรณ์ว่ามีครบถ้วนสมบูรณ์หรือไม่ ถ้าไม่ครบหรือจัดเรียงไว้ไม่ถูกต้องหรือขาดความสมบูรณ์ ต้องรีบแก้ไขให้เรียบร้อยก่อนนำชุดการสอนไปใช้
2. หากมีรายการอุปกรณ์อื่นๆ ที่จำเป็นต้องใช้และไม่ได้บรรจุในกล่องการสอนเพราะไม่สะดวกในการบรรจุหรือเคลื่อนย้าย ให้จัดหา ติดตั้งและตรวจสอบให้เรียบร้อยก่อนจะเข้าสอน
3. ให้ศึกษาแผนการสอนตามขั้นตอนโดยละเอียด เสร็จแล้วทดลองฝึกปฏิบัติตาม จนเกิดความชำนาญในการใช้สื่อและอุปกรณ์ โดยไม่ตัดทอนส่วนใดส่วนหนึ่งออกไป
4. ให้ศึกษาเนื้อหา ใบงานประกอบการสอน ให้เกิดความรู้ความเข้าใจสามารถนำเข้าสู่การเรียนการสอนได้ด้วยความสะดวก
5. ก่อนสอนครูควรชี้แจงให้ผู้เรียนทราบเกี่ยวกับบทบาทของผู้เรียนในการใช้ชุดการสอนว่าเป็นบทบาทการทำกิจกรรมรายบุคคล ผู้เรียนต้องช่วยเหลือตัวเองให้มากที่สุด
6. ขณะที่ผู้เรียนปฏิบัติกิจกรรม ครูควรกำกับดูแลอย่างใกล้ชิดและทั่วถึง คอยให้คำปรึกษา หรือเสนอแนะแก่ผู้เรียนเพื่อให้การดำเนินกิจกรรมเป็นไปตามวัตถุประสงค์
7. เมื่อสิ้นสุดการประกอบกิจกรรมการเรียนการสอน ให้ครูตรวจสอบอุปกรณ์บัญชีรายการอุปกรณ์ที่ติดไว้ด้านข้างกล่องชุดการสอน แล้วจัดเก็บลงในกล่องชุดการสอนเรียงตามลำดับ เพื่อให้สามารถนำไปใช้สอนครั้งต่อไปได้ทันที

รายการอุปกรณ์

อุปกรณ์ที่บรรจุไว้ในกล่องชุดการสอน

ลำดับที่	รายการอุปกรณ์	จำนวน
1	คู่มือครู	1 เล่ม
2	ใบเนื้อหา	37 เล่ม
2	ใบงาน	37 เล่ม
3	กระดาษคำตอบ	37 แผ่น
4	CD บรรจุไฟล์นำเสนอ Power point	1 แผ่น
5	ปากกาเขียนกระดาน	3 ด้าม

อุปกรณ์อื่นๆ

ลำดับที่	รายการอุปกรณ์อื่นๆ (จัดไว้ก่อน)	จำนวน
1	คอมพิวเตอร์	1 เครื่อง
2	Projector	1 เครื่อง
2	ปลั๊กพ่วง	1 อัน

	CC-CDTA ที่ทำงานในช่วง อิมตัวและการประยุกต์ใช้งาน	แผนการสอนที่ 1 คุณสมบัติของ CC- CDTA ที่ทำงานในช่วง
---	--	---

เวลาการสอน 75 นาที

ผู้สอน.....

หัวข้อเรื่อง

- 1. คุณสมบัติของวงจรขยายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแสที่สามารถควบคุมด้วยกระแสที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น
- 2. คุณสมบัติของวงจรขยายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแสที่สามารถควบคุมด้วยกระแสที่ทำงานในช่วงอิมตัว

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 1. บอกสัญลักษณ์และวงจรสมมูลของ CC-CDTA แบบต่างๆ ได้
- 2. บอกสมการคุณลักษณะของ CC-CDTA แบบต่างๆ ได้
- 3. คำนวณค่าความต้านทานเฟ่งขั้วอินพุตของ CC-CDTA ได้
- 4. คำนวณค่าความนำถ่ายโอนของ CC-CDTA ได้
- 5. อธิบายคุณลักษณะของ CC-CDTA แบบต่างๆ ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้นได้
- 6. อธิบายคุณลักษณะของ CC-CDTA แบบต่างๆ ที่ทำงานในช่วงอิมตัวได้
- 7. บอกสมการคุณลักษณะของ CC-CDTA แบบต่างๆ ที่ทำงานในช่วงอิมตัวได้
- 8. บอกความแตกต่างลักษณะสมบัติของ CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้นกับที่ทำงานในสภาวะอิมตัวได้

ความรู้พื้นฐาน

การวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า, การใช้งานโปรแกรม PSpice



	CC-CDTA ที่ทำงานในช่วง อัมตวและการประกยุดไ้	ใบถาม ตอบที่ 1 คุณสมบัติของ CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้นและ
---	--	---

ขั้นตอน	แนวคำถาม	แนวคำตอบ
ขั้นสนใจปัญหา	นักศึกษารู้จักอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดใดบ้าง	ไดโอด ทรานซิสเตอร์ ออปแอมป์
	เทคนิคของการออกแบบวงจรที่นิยมกันมีกี่แบบอะไรบ้าง	2 แบบ คือ เทคนิคโหมดแรงดันและกระแส
	ออปแอมป์เป็นอุปกรณ์แอคทีฟที่ทำงานในโหมดใด	โหมดแรงดัน
	ข้อเสียของออปแอมป์คืออะไร	มีแบนด์วิดท์แคบ มีความเป็นเชิงเส้นต่ำ อัตราสลับต่ำ ต้องการแหล่งจ่ายแรงดันที่มีค่าสูง โครงสร้างวงจรซับซ้อน
	ข้อดีของวงจรในโหมดกระแสมีอะไรบ้าง	ช่วงพัสพลวัตกว้าง แบนด์วิดท์กว้าง โครงสร้างวงจรไม่ซับซ้อน
	นักศึกษารู้จักอุปกรณ์แอคทีฟใดโหมดกระแสอะไรบ้าง	OTA, CCCII, CDBA, CDTA
	ช่วงการทำงานที่นิยมใช้ในการออกแบบวงจร ของอุปกรณ์แอคทีฟออปแอมป์ OTA, CCCII มีกี่ช่วงอะไรบ้าง	ช่วงการทำงานที่เป็นเชิงเส้น และอัมตว
	สรุป วันนี้จะศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์แอคทีฟโหมดกระแสชนิดใหม่ที่มีชื่อว่า “วงจรขยายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแสที่ควบคุมด้วยกระแส (CC-CDTA) ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้นและอัมตว”	

ขั้นตอน	แนวคำถาม	แนวคำตอบ
ขั้นบอกกล่าว	CC-CDTA เป็นอุปกรณ์ที่มีทั้งหมดกี่ขั้วและสามารถแบ่งเป็นกลุ่มได้กี่กลุ่มอะไรบ้าง	6 ขั้ว สามารถแบ่งออกได้เป็นสามกลุ่มคือ ขั้วกระแสอินพุต 2 ขั้ว ขั้วกระแสเอาต์พุต 2 ขั้ว ขั้วกระแสควบคุม 2 ขั้ว
	CC-CDTA มีคุณสมบัติพิเศษอย่างไร	ความต้านทานแฝงที่ขั้วอินพุต p และ n มีค่าเท่ากันและสามารถควบคุมได้ด้วยกระแสไบแอส I_{B1} ที่เรียกว่าการควบคุมด้วยวิธีทางอิเล็กทรอนิกส์
	CC-CDTA สามารถแบ่งตามช่วงการทำงานได้กี่ช่วงอะไรบ้าง	2 ช่วงการทำงาน คือการทำงานในช่วงเชิงเส้นกับการทำงานในช่วงอิ่มตัว
	เมื่อ CC-CDTA ทำงานในช่วงเชิงเส้นค่าความนำถ่ายโอนสามารถปรับด้วยกระแสไบแอสตัวใด	กระแสไบแอส I_{B2}
	กระแสที่ขั้วเอาต์พุต z มีการทำงานอย่างไร	เป็นผลต่างของกระแสที่ป้อนเข้าที่ขั้ว p และขั้ว n
	CC-CDTA ทำงานในช่วงเชิงเส้นกระแสที่ขั้วเอาต์พุต x มีการทำงานอย่างไร	เป็นผลคูณของค่าความนำถ่ายโอนกับแรงดันที่ขั้ว z
	CC-CDTA ทำงานในช่วงอิ่มตัวเมื่อใด	CC-CDTA ทำงานในช่วงอิ่มตัวเมื่อมีแรงดันตกคร่อมที่ขั้ว $z \gg 2V_T$ หรือ 52 mV ที่อุณหภูมิห้อง
	CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้นแตกต่างกับช่วงอิ่มตัวอย่างไร	กระแสที่ขั้วเอาต์พุต x เท่ากับกระแสไบแอส I_{B2}
	CC-CDTA แบบเอาต์พุตคู่แตกต่างจาก CC-CDTA อย่างไร	มีขั้ว z และขั้ว x อย่างละสองขั้วโดยกระแสที่ขั้ว z_1 เท่ากับ z_2 และกระแสที่ขั้ว x_1 เท่ากับ x_2

ขั้นตอน	แนวคำถาม	แนวคำตอบ
	CC-CDTA แบบหลายเอาต์พุตแตกต่างกัน จาก CC-CDTA อย่างไร	มีข้อ x สองข้อหรือมากกว่าโดยขนาด ของกระแสน้ำที่ข้อ x_1 และ x_2 ควบคุมได้ จากกระแสน้ำไหลอย่างอิสระจากกัน

	CC-CDTA ที่ทำงานในช่วง อิมตัวและการประยุกต์ใช้งาน	ใบเนื้อหาที่ 1 คุณสมบัติของ CC-CDTA ที่ ทำงานในช่วงเชิงเส้นและ อิมตัว
---	--	--

วัตถุประสงค์เชิงพฤติกรรม

- 3. บอกสัญลักษณ์และวงจรมูลของ CC-CDTA แบบต่างๆ ได้
- 4. บอกสมการคุณลักษณะของ CC-CDTA แบบต่างๆ ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้นได้
- 5. คำนวณค่าความต้านทานแฝงขั้วอินพุตของ CC-CDTA แบบต่างๆ ได้
- 6. คำนวณค่าความนำถ่ายโอนของ CC-CDTA ได้
- 7. อธิบายลักษณะสมบัติของ CC-CDTA แบบต่างๆ ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้นได้
- 8. อธิบายลักษณะสมบัติของ CC-CDTA แบบต่างๆ ที่ทำงานในสภาวะอิมตัวได้
- 9. บอกสมการคุณลักษณะของ CC-CDTA แบบต่างๆ ที่ทำงานในสภาวะอิมตัวได้
- 10. บอกความแตกต่างลักษณะสมบัติของ CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้นกับที่ทำงานในสภาวะอิมตัวได้

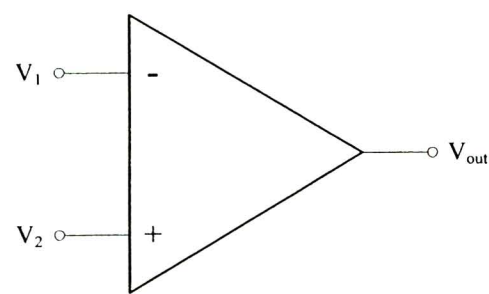
บทนำ

โดยทั่วไปแล้วช่วงการทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่นิยมใช้ในการออกแบบวงจรมี 2 ช่วงการทำงานด้วยกัน คือ ช่วงการทำงานที่เป็นเชิงเส้นและอิมตัว ซึ่งการทำงานที่เป็นเชิงเส้นนี้ถูกได้นำออกแบบใช้ในระบบสื่อสาร ระบบเครื่องมือวัด เช่น วงจรกรองความถี่ วงจรกำเนิดสัญญาณ ไซน์ วงจรคูณสัญญาณ เป็นต้น ส่วนช่วงการทำงานในสภาวะอิมตัวได้นำไปใช้ในการออกแบบวงจรต่างๆ เช่น วงจรเปรียบเทียบสัญญาณ วงจรสมิตต์ทริกเกอร์ วงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์ เป็นต้น ดังนั้นส่วนนี้จะกล่าวถึงคุณสมบัติของออปแอมป์ วงจรความนำถ่ายโอน และวงจรสายพานกระแสนที่สอง ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้นและอิมตัว เพื่อเป็นพื้นฐานในการศึกษาวงจรขยายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแสที่สามารถควบคุมด้วยกระแสที่ทำงานในช่วงอิมตัวและการประยุกต์ใช้งาน

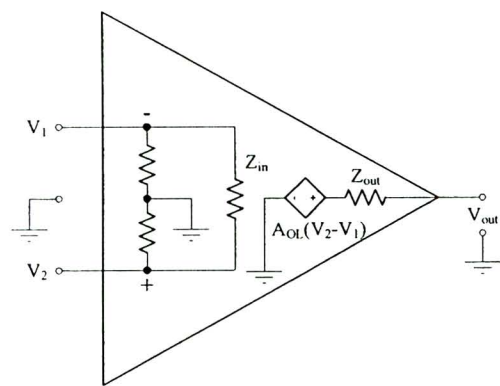
ออปแอมป์ (Operational Amplifier, OP-AMP)

สัญลักษณ์และวงจรสมมูลของออปแอมป์ ได้แสดงไว้ในภาพที่ 1.1 โดยโครงสร้างภายในของออปแอมป์ที่สร้างจากไบโพล่าทรานซิสเตอร์ ดังแสดงไว้ในภาพที่ 1.2

ออปแอมป์ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น



(ก) สัญลักษณ์

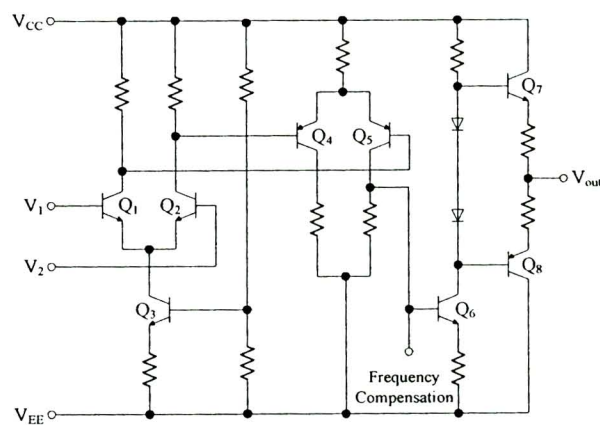


(ข) วงสมมูล

ภาพที่ 1.1 ออปแอมป์

คุณสมบัติของออปแอมป์ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น

- อัตราขยายแรงดันวงรอบเปิด (Open loop voltage gain, A_{OL}) มีค่าสูงมากเป็นอนันต์ ($A_{OL} = \infty$)
- อินพุตอิมพีแดนซ์ (Input impedance, Z_{in}) มีค่าสูงมากเป็นอนันต์ ($Z_{in} = \infty$)
- เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ (Output impedance, Z_{out}) มีค่าต่ำมากเป็นศูนย์ ($Z_{out} = 0$)
- ช่วงความถี่แบนด์วิดท์ (Bandwidth, BW) มีค่ามากเป็นอนันต์ ($BW = \infty$)
- แรงดันอินพุตออฟเซต (Offset input voltage, V_{OS}) มีค่าต่ำมากเป็นศูนย์ ($V_{OS} = 0$)

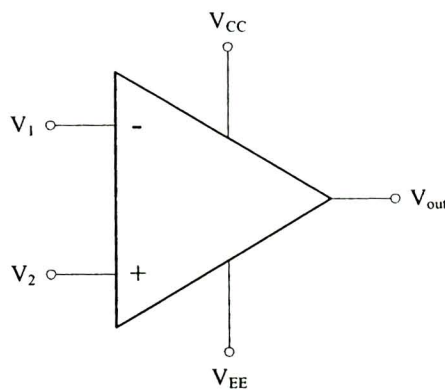


ภาพที่ 1.2 โครงสร้างภายในของออปแอมป์

ออปแอมป์ที่ทำงานในช่วงอิ่มตัว

เงื่อนไขที่ทำให้ออปแอมป์ที่ทำงานในช่วงอิ่มตัว คือการต่อวงจรป้อนกลับแบบบวก (Positive feedback) หรือแบบไม่มีการป้อนกลับ ดังแสดงในภาพที่ 1.3

คุณสมบัติของออปแอมป์ที่ทำงานในช่วงอิ่มตัว

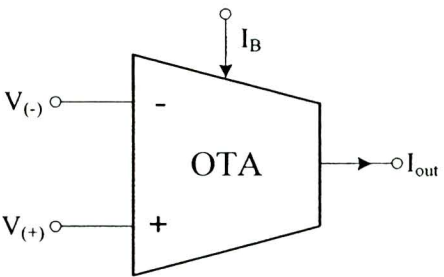


ภาพที่ 1.3 ออปแอมป์ที่ทำงานในช่วงอิ่มตัว

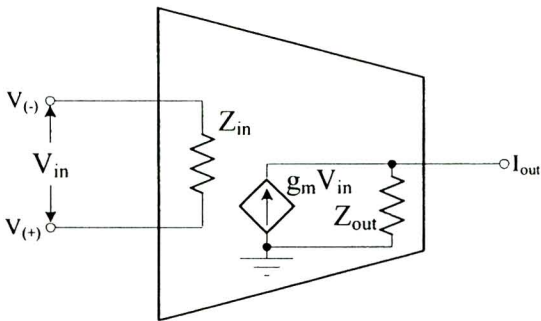
โดยแรงดันเอาต์พุต (V_{out}) จะหาค่าได้ดังนี้

$$V_{out} = \begin{cases} \beta V_{CC} & \text{if } V_1 < V_2 \\ \beta V_{EE} & \text{if } V_1 > V_2 \end{cases} \tag{1}$$

เมื่อ V_{CC} และ V_{EE} คือ แหล่งจ่ายไฟด้านบวกและลบของออปแอมป์ตามลำดับ ปกติ βV_{CC} และ βV_{EE} จะมีค่าประมาณ 90% ของแหล่งจ่ายไฟด้านบวกและลบตามลำดับ โดย β คืออัตราส่วนของ V_{out} กับ V_{CC} และ V_{EE}



(ก) สัญลักษณ์



(ข) วงสมมูล

ภาพที่ 1.4 OTA

วงจรขยายความนำถ่ายโอน (Operational Transconductance Amplifier, OTA)

ภาพที่ 1.4 แสดงสัญลักษณ์และวงจรสมมูลของ OTA ส่วนภาพที่ 1.5 แสดงโครงสร้างภายในของ OTA ที่เป็นไบโพล่าทรานซิสเตอร์

วงจรขยายความนำถ่ายโอนที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น

เงื่อนไขของ OTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น คือ แรงดัน $|V_m| < 2V_T$

คุณสมบัติของ OTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น

$$I_{out} = \begin{cases} I_B & \text{if } V_{(-)} < V_{(+)} \\ -I_B & \text{if } V_{(-)} > V_{(+)} \end{cases} \tag{5}$$

วงจรสายพานกระแสรุ่นที่สอง (Second Generation Current Conveyor, CCII)

สัญลักษณ์และวงจรสมมูลของ CCII แสดงในภาพที่ 1.6 ส่วนภาพที่ 1.7 แสดงโครงสร้างภายในของ CCII ที่เป็นไบโพล่าทรานซิสเตอร์

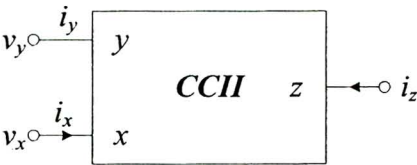
วงจรสายพานกระแสรุ่นที่สองที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น

คุณสมบัติของ CCII ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น

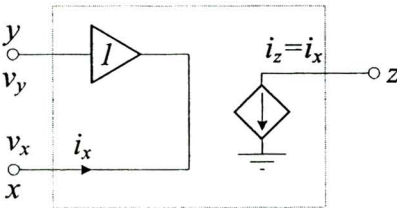
- อินพุตอิมพีแดนซ์ที่ขั้ว y (Input impedance, Z_y) มีค่าสูงมากเป็นอนันต์ ($Z_y = \infty$)
- อินพุตอิมพีแดนซ์ที่ขั้ว x (Input impedance, Z_x) มีค่าต่ำมากเป็นศูนย์ ($Z_x = 0$)
- เอาต์พุตอิมพีแดนซ์ที่ขั้ว z (Output impedance, Z_z) มีค่าสูงมากเป็นอนันต์ ($Z_z = \infty$)

ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของ CCII สามารถแสดงได้ด้วยสมการเชิงเมตริกซ์ดังนี้

$$\begin{bmatrix} i_y \\ v_x \\ i_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_y \\ i_x \\ v_z \end{bmatrix} \tag{6}$$



(ก) สัญลักษณ์



(ข) วงจรสมมูล

ภาพที่ 1.6 CCII

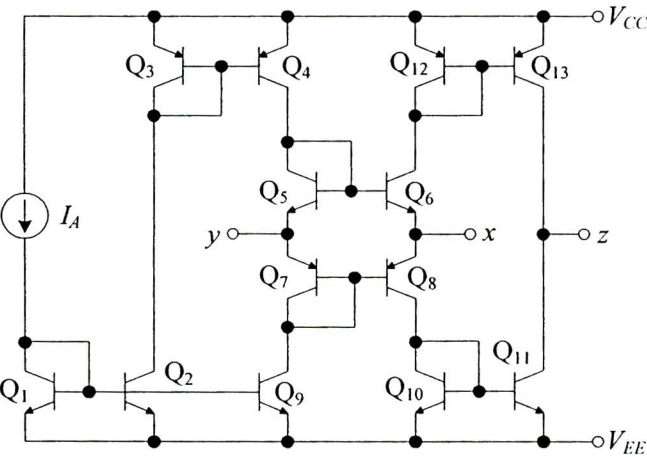
วงจรสายพานกระแสที่ทำงานในช่วงอิมิตัว

เงื่อนไขของ CCII ที่ทำงานในช่วงอิมิตัว คือ การต่อวงจรป้อนกลับแบบบวก หรือลรอยที่ขั้ว z ดังแสดงในภาพที่ 1.8

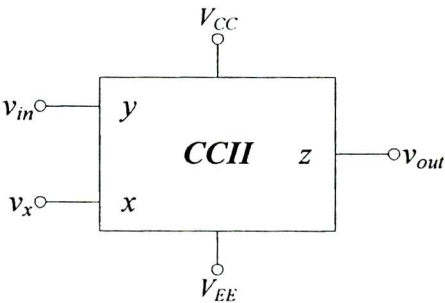
ความสัมพันธ์ของกระแสและแรงดันของ CCII ที่ทำงานในช่วงอิมิตัวสามารถแสดงได้ดังนี้

$$v_z = \begin{cases} \beta V_{CC} & \text{if } v_m > v_x \\ \beta V_{EE} & \text{if } v_m < v_x \end{cases} \tag{7}$$

เมื่อ V_{CC} และ V_{EE} คือ แหล่งจ่ายไฟด้านบวกและลบของ CCII ตามลำดับ ปกติ βV_{CC} และ βV_{EE} จะมีค่าประมาณ 90% ของแหล่งจ่ายไฟด้านบวกและลบตามลำดับ

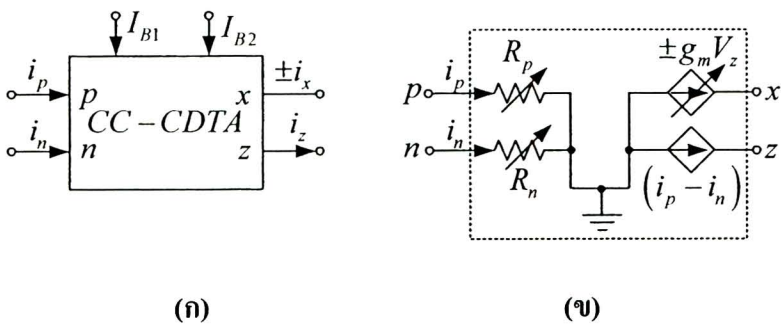


ภาพที่ 1.7 โครงสร้างภายในของ CCII



ภาพที่ 1.8 CCII เมื่อลรอยขั้ว z

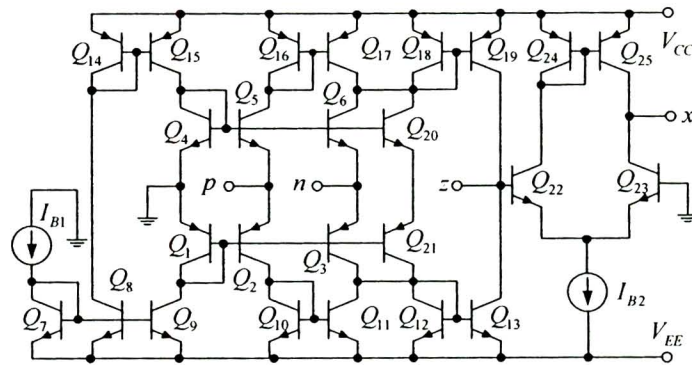
1.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของวงจรขยายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแสที่สามารถควบคุมด้วยกระแสแบบต่างๆ ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น



ภาพที่ 1.9 CC-CDTA (ก) สัญลักษณ์ (ข) วงจรสมมูล

1.1.1 คุณสมบัติของวงจรขยายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแสที่สามารถควบคุมด้วยกระแส ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น (Current Controlled Current Differencing Transconductance Amplifier Linear-mode: CC-CDTA)

วงจรขยายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแสที่สามารถควบคุมด้วยกระแส (Current Controlled Current Differencing Transconductance Amplifier: CC-CDTA) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์โหมดกระแสที่มี 6 ขั้ว โดย CC-CDTA ได้พัฒนามาจาก CDTA (Current Differencing Transconductance Amplifier) ที่ได้นำเสนอครั้งแรกโดย Biolek ในปี ค.ศ. 2005 แต่ CC-CDTA จะมีคุณสมบัติพิเศษกว่า CDTA ที่สามารถควบคุมความต้านทานแฝงที่ขั้วอินพุตทั้งสองได้ด้วยกระแสไบแอสจากภายนอก ซึ่งจะได้อธิบายรายละเอียดในลำดับต่อไป ในจำนวน 6 ขั้วของ CC-CDTA สามารถแบ่งออกได้เป็นสามกลุ่มคือ ขั้วกระแสอินพุต 2 ขั้ว ขั้วกระแสเอาต์พุต 2 ขั้ว และขั้วกระแสควบคุม 2 ขั้ว โดยสัญลักษณ์และวงจรสมมูลของ CC-CDTA แสดงได้ดังภาพที่ 1.9 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



ภาพที่ 1.10 โครงสร้างภายในของ CC-CDTA

จากสัญลักษณ์ในภาพที่ 1.9(ก) ขั้วกระแสอินพุตได้แก่ขั้ว p (positive) และขั้ว n (negative) ส่วนขั้วกระแสเอาต์พุตได้แก่ขั้ว z และขั้ว x และขั้วกระแสควบคุมได้แก่ขั้ว I_{B1} และ I_{B2} โดยกระแสไบแอสภายนอก I_{B1} จะใช้ควบคุมความต้านทานแฝงที่ขั้ว p (R_p) และขั้ว n (R_n) ซึ่งสามารถดูได้ในวงจรสมมูลในภาพที่ 1.9(ข) โดย R_p และ R_n จะมีค่าเท่ากัน ส่วนกระแสที่ขั้ว z จะเป็นผลต่างของกระแสที่ไหลเข้าที่ขั้ว p และขั้ว n และกระแสที่ขั้ว x จะเป็นการส่งผ่านความนำถ่ายโอน (transconductance: g_m) มาจากแรงดันที่ขั้ว z ดังนั้นที่ขั้ว z จะมีแรงดันได้จะต้องนำภาระจากภายนอกมาต่อ โดยค่าความนำถ่ายโอนสามารถควบคุมได้ที่กระแสไบแอสภายนอก I_{B2} ส่วนเครื่องหมาย $\pm$ จะเป็นตัวบอกทิศทางของกระแสที่ขั้ว x โดยปกติจะมีทิศทางไหลออกจากขั้ว x ซึ่งจะแทนด้วยเครื่องหมายบวกหรือโดยทั่วไปมักจะไม่ได้ใส่เครื่องหมาย แต่ถ้ากระแสที่ขั้ว x มีทิศทางไหลเข้าจะแทนด้วยเครื่องหมายลบ (มักจะเขียนเครื่องหมายลบไว้หน้าตัวอักษร x เช่น $-x$) และในทางอุดมคติความต้านทานที่ขั้ว z และขั้ว x จะมีค่าเป็นอนันต์ จากคุณสมบัติที่ได้กล่าวมาข้างต้นสามารถแสดงด้วยสมการในเชิงเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_p \\ V_n \\ I_z \\ I_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_p & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_n & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pm g_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_p \\ I_n \\ V_x \\ V_z \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

เมื่อ $|V_z| \ll 2V_T$

CC-CDTA ที่มีโครงสร้างเป็นทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์ (Bipolar transistor) ดังแสดงในภาพที่ 1.10 ความต้านทานที่ขั้ว p และขั้ว n สามารถแสดงได้เป็น

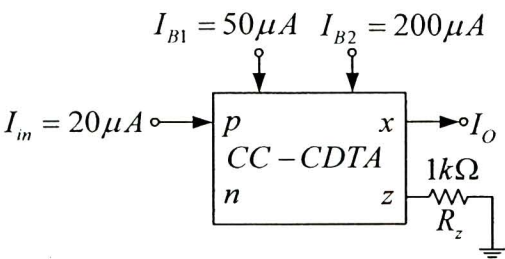
$$R_p = R_n = \frac{V_T}{2I_{B1}} \tag{1.2}$$

ส่วนค่าความนำถ่ายโอนมีค่าเท่ากับ

$$g_m = \frac{I_{B2}}{2V_T} \tag{1.3}$$

เมื่อ V_T เป็นศักดาความร้อน (Thermal voltage) ซึ่งจะมีค่าประมาณ 26mV ที่อุณหภูมิห้อง จากสมการที่ (1.2) และ (1.3) พบว่าทั้งค่าความต้านทานแฝงและค่าความนำถ่ายโอนสามารถควบคุมด้วยกระแสไบแอสหรือที่เรียกว่าการควบคุมแบบอิเล็กทรอนิกส์ โครงสร้างภายในของ CC-CDTA แสดงดังภาพที่ 1.10

ตัวอย่างที่ 1.1 จากในภาพที่ 1.11 จงหา I_O



ภาพที่ 1.11 วงจรในตัวอย่างที่ 1.1

จากวงจร $i_n=0$, $i_p=I_{in}$ เขียนสมการกระแสที่ขั้ว z ได้เป็น

$$i_z = i_p - i_n = I_{in}$$

ส่วนแรงดันที่ขั้ว z เท่ากับ

$$V_z = i_z R_z = I_{in} R_z$$

กระแส I_O แสดงได้ดังนี้

$$I_O = g_m V_z = g_m R_z I_{in}$$

เมื่อ $g_m = I_{B2}/2V_T$ เขียน I_O ใหม่ได้เป็น

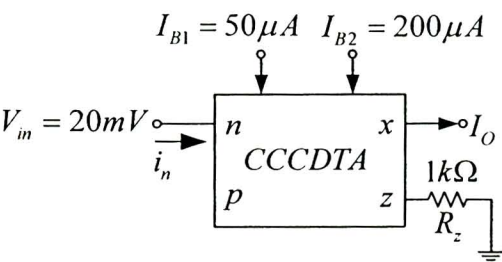
$$I_O = \frac{I_{B2} R_z}{2V_T} I_{in}$$

แทนค่าต่างๆ ตามที่วงจรกำหนดมาจะได้

$$\begin{aligned} I_O &= \frac{(200\mu A)(1k\Omega)(20\mu A)}{2(26mV)} \\ &= 76.92\mu A \end{aligned}$$

ตัวอย่างนี้แสดงให้เห็นถึง ขนาดกระแสที่ขั้ว z เกิดจากผลต่างของกระแสที่ขั้ว p และ n และแรงดันที่ขั้ว z จะถูกแปลงผันเป็นกระแสที่ไหลออกจากขั้ว x ซึ่งขนาดจะขึ้นอยู่กับค่าความนำถ่ายโอน g_m ที่สามารถควบคุมได้ด้วยกระแสไบแอส (I_{B2})

ตัวอย่างที่ 1.2 จากในภาพที่ 1.12 จงหา I_O



ภาพที่ 1.12 วงจรในตัวอย่างที่ 1.2

จากวงจร $i_p = 0$, $i_n = V_{in}/R_n$ เขียนสมการกระแสที่ขั้ว z ได้เป็น

$$i_z = i_p - i_n = -V_{in} / R_n$$

ส่วนแรงดันที่ขั้ว z เท่ากับ

$$V_z = i_z R_z = -R_z \frac{V_{in}}{R_n}$$

กระแส I_O แสดงได้ดังนี้

$$I_O = g_m V_z = -\frac{g_m R_z}{R_n} V_{in}$$

เมื่อ $R_n = V_T / 2I_{B1}$, $g_m = I_{B2} / 2V_T$ เขียน I_O ใหม่ได้เป็น

$$I_O = -\frac{I_{B1} I_{B2} R_z}{V_T^2} V_{in}$$

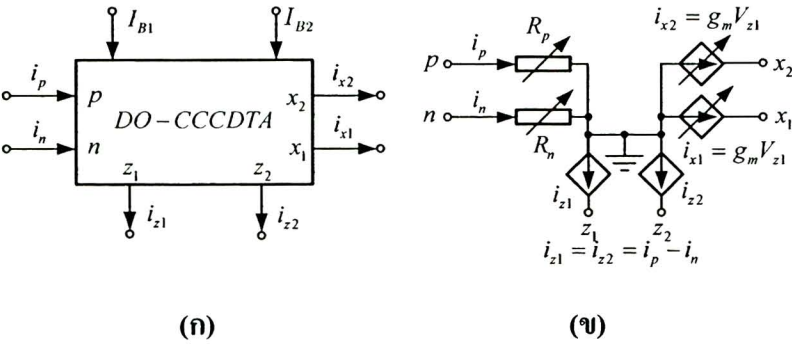
แทนค่าต่างๆ ตามที่วงจรกำหนดมาจะได้

$$\begin{aligned} I_O &= -\frac{(50\mu A)(200\mu A)(1k\Omega)(20mV)}{(26mV)^2} \\ &= -295.86\mu A \end{aligned}$$

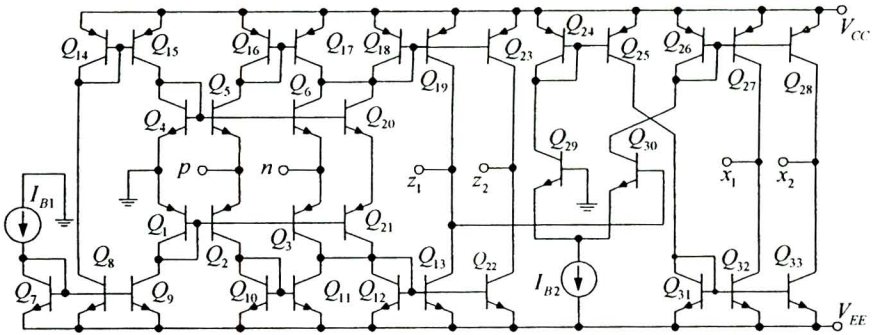
จากตัวอย่างนี้ จะเห็นได้ว่า เมื่อกำหนดให้สัญญาณอินพุตเป็นแรงดัน V_{in} ป้อนเข้าที่ขั้ว n ขนาดของ กระแสที่ไหลเข้าที่ขั้ว n จะขึ้นอยู่กับค่าความต้านทาน R_n ซึ่งค่า R_n นี้สามารถควบคุมได้ด้วย กระแส I_{B1} นั้นเอง จากนั้นกระแส i_n จะถูกส่งผ่านไปขั้ว z ทำให้มีแรงดันตกคร่อมที่ขั้ว z และ ถูกแปลงผันให้เป็นกระแส I_O จะเห็นได้ว่ากระแส I_O สามารถควบคุมได้ด้วย I_{B1} หรือ I_{B2}

1.1.2 คุณสมบัติของ CC-CDTA แบบเอาต์พุตคู่ ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น (Dual-Output CCCDTA: DO-CCCDTA in Linear-mode)

เพื่อให้ CC-CDTA มีความหลากหลายในการนำไปประยุกต์ใช้งานจึงมีการดัดแปลงให้ CC-CDTA มีคุณสมบัติพิเศษมากขึ้น ดังรายละเอียดต่อไปนี้



ภาพที่ 1.13 DO-CCCDTA (ก) สัญลักษณ์ (ข) วงจรสมมูล



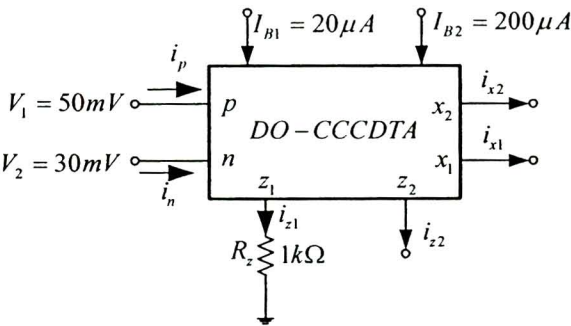
ภาพที่ 1.14 โครงสร้างภายในของ DO-CCCDTA

ลักษณะสมบัติของ DO-CCCDTA โดยทั่วไปจะมีลักษณะคล้าย CC-CDTA แต่ DO-CCCDTA จะมีเอาต์พุตที่ขั้ว z และขั้ว x อย่างละสองขั้ว นั่นคือขั้ว z_1 , z_2 , x_1 และ x_2 ตามลำดับ โดยที่กระแสที่ขั้ว z_1 และ z_2 จะมีขนาดและทิศทางเหมือนกัน เช่นเดียวกับกระแสที่ขั้ว x_1 และ x_2 ก็จะมีขนาดและทิศทางเท่ากัน โดยสัญลักษณ์และวงจรสมมูลของ DO-CCCDTA แสดงดังภาพที่ 1.13 (ก) และ (ข) ตามลำดับ ส่วนภาพที่ 1.14 แสดงโครงสร้างภายในของ DO-CCCDTA

ตัวอย่างที่ 1.3 จากในภาพที่ 1.15 จงหา I_{z2} , I_{x1} และ I_{x2}

จากวงจร $i_p = V_1/R_p$, $i_n = V_2/R_n$ เขียนสมการกระแสที่ขั้ว z ได้เป็น

$$i_{z1} = i_{z2} = i_p - i_n = \frac{V_1}{R_p} - \frac{V_2}{R_n}$$



ภาพที่ 1.15 วงจรในตัวอย่างที่ 1.3

ส่วนแรงดันที่ขั้ว z_1 เท่ากับ

$$V_{z1} = i_{z1}R_z = R_z \left(\frac{V_1}{R_p} - \frac{V_2}{R_n} \right)$$

กระแส I_{x1} และ I_{x2} เท่ากับ

$$I_{x1} = I_{x2} = g_m V_{z1} = g_m R_z \left(\frac{V_1}{R_p} - \frac{V_2}{R_n} \right)$$

เมื่อ $R_p=R_n=V_T/2I_{B1}$, $g_m=I_{B2}/2V_T$ เขียน I_{z2} , I_{x1} และ I_{x2} ใหม่ได้เป็น

$$i_{z2} = \frac{2I_{B1}}{V_T}(V_1 - V_2)$$

และ

$$I_{x1} = I_{x2} = \frac{I_{B1}I_{B2}R_z}{V_T^2}(V_1 - V_2)$$

แทนค่าต่างๆ ตามที่วงจรกำหนดมาจะได้

$$\begin{aligned} i_{z2} &= \frac{2(20\mu A)}{26mV}(50mV - 30mV) \\ &= 30.77\mu A \end{aligned}$$

และ

$$\begin{aligned} I_{x1} = I_{x2} &= \frac{(20\mu A)(200\mu A)(1k\Omega)}{(26mV)^2}(50mV - 30mV) \\ &= 118.43\mu A \end{aligned}$$

ในตัวอย่างที่ 1.3 แสดงให้เห็นว่า กระแสที่ขั้ว z_1 และ z_2 มีค่าเท่ากันที่เกิดจากผลต่างของแรงดัน V_1 กับ V_2 ที่ป้อนให้กับขั้ว p และ n ตามลำดับ โดยกระแสขั้ว z_1 และ z_2 ขึ้นอยู่กับค่า R_p และ R_n ที่ควบคุมโดย I_{B1} ส่วนแรงดันที่ตกคร่อมที่ขั้ว z_1 จะถูกแปลงผันไปเป็นกระแสที่ขั้ว x_1 และ x_2 ที่มีขนาดและทิศทางเหมือนกัน ซึ่งกระแสที่ x_1 และ x_2 จะขึ้นอยู่กับค่าความนำถ่ายโอน g_m ที่ควบคุมโดย I_{B2} นั่นเอง

1.1.3 คุณสมบัติของ CC-CDTA แบบหลายเอาต์พุต (Multiple-Output CCCDTA: MO-CCCDTA)

ลักษณะสมบัติของ MO-CCCDTA แสดงด้วยสมการในเชิงเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_p \\ V_n \\ I_{z1,z2} \\ I_{x1} \\ I_{x2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_p & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_n & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & g_{m1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & g_{m2} & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_p \\ I_n \\ V_x \\ V_{z1} \\ V_{z2} \end{bmatrix} \quad (1.4)$$

เมื่อ $V_{z1} \ll 2V_T$ หรือ $|-V_{z1}| \ll 2V_T$

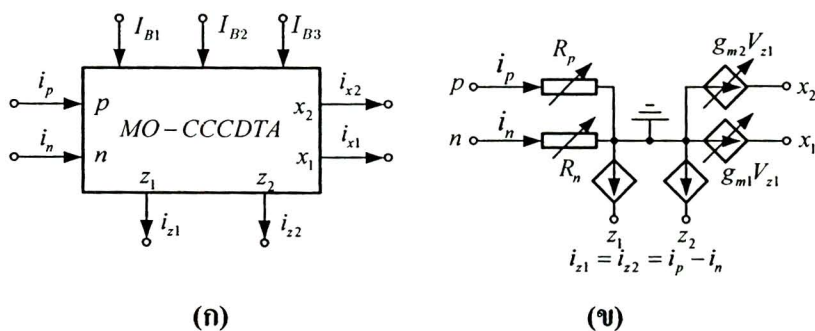
R_p และ R_n มีค่าเท่ากันและมีค่าตามที่ได้แสดงไว้ในสมการที่ (1.2) ส่วนค่าความนำถ่ายโอนที่ขั้ว x_1 และ x_2 สามารถควบคุมได้จากกระแสไบแอส I_{B2} และ I_{B3} ตามลำดับ ซึ่งแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$g_{m1} = \frac{I_{B2}}{2V_T} \quad (1.5)$$

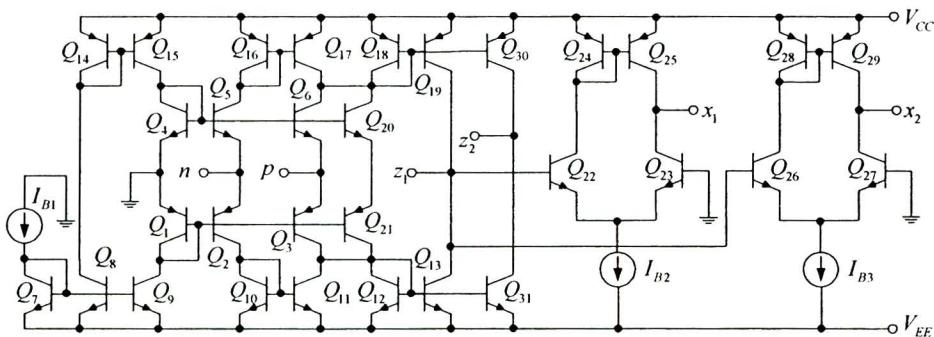
และ

$$g_{m2} = \frac{I_{B3}}{2V_T} \quad (1.6)$$

โดยสัญลักษณ์และวงจรสมมูลของ MO-CCCDTA แสดงดังภาพที่ 1.16 (ก) และ (ข) ตามลำดับ ส่วนภาพที่ 1.17 แสดงโครงสร้างภายในของ MO-CCCDTA

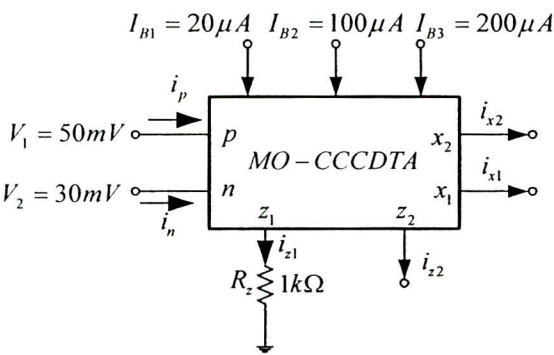


ภาพที่ 1.16 MO-CCCDTA (ก) สัญลักษณ์ (ข) วงจรสมมูล



ภาพที่ 1.17 โครงสร้างภายในของ MO-CCCDTA

ตัวอย่างที่ 1.4 จากในภาพที่ 1.18 จงหา I_{x1} และ I_{x2}



ภาพที่ 1.18 วงจรในตัวอย่างที่ 1.4

จากวงจร $i_p = V_1/R_p$, $i_n = V_2/R_n$ เขียนสมการกระแสที่ขั้ว z ได้เป็น

$$i_{z1} = i_{z2} = i_p - i_n = \frac{V_1}{R_p} - \frac{V_2}{R_n}$$

ส่วนแรงดันที่ขั้ว z_1 เท่ากับ

$$V_{z1} = i_{z1}R_z = R_z \left(\frac{V_1}{R_p} - \frac{V_2}{R_n} \right)$$

กระแส I_{x1} และ I_{x2} เท่ากับ

$$I_{x1} = g_{m1}V_{z1} = g_{m1}R_z \left(\frac{V_1}{R_p} - \frac{V_2}{R_n} \right)$$

และ

$$I_{x2} = g_{m2}V_{z1} = g_{m2}R_z \left(\frac{V_1}{R_p} - \frac{V_2}{R_n} \right)$$

เมื่อ $R_p=R_n=V_T/2I_{B1}$, $g_{m1}=I_{B2}/2V_T$ และ $g_{m2}=I_{B3}/2V_T$ เขียน I_{x1} และ I_{x2} ใหม่ได้เป็น

$$I_{x1} = \frac{I_{B1}I_{B2}R_z}{V_T^2}(V_1 - V_2)$$

และ

$$I_{x2} = \frac{I_{B1}I_{B3}R_z}{V_T^2}(V_1 - V_2)$$

แทนค่าต่างๆ ตามที่วงจรกำหนดมาจะได้

$$\begin{aligned} I_{x1} &= \frac{(20\mu A)(100\mu A)(1k\Omega)}{(26mV)^2}(50mV - 30mV) \\ &= 59.17\mu A \end{aligned}$$

และ

$$\begin{aligned} I_{x2} &= \frac{(20\mu A)(200\mu A)(1k\Omega)}{(26mV)^2}(50mV - 30mV) \\ &= 118.43\mu A \end{aligned}$$

จากคุณสมบัติของ CC-CDTA DO-CCCDTA และ MO-CCCDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น ที่กล่าวไว้ข้างต้น จะเห็นได้ว่า ค่าความต้านทานที่ขั้ว p และ n สามารถควบคุมได้ด้วย กระแสไบแอส I_{B1} และเมื่อ $|V_z| \ll 2V_T$ ค่าความนำถ่ายโอนที่ขั้ว x จะสามารถปรับได้ I_{B2} และ I_{B3} (กรณีที่เป็น MO-CCCDTA)

1.2 คุณสมบัติของวงจรขยายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแสที่สามารถควบคุมด้วยกระแส แบบต่างๆ ที่ทำงานในสถานะอิมิตัว

1.2.1 คุณสมบัติของ CC-CDTA ที่ทำงานในสถานะอิมิตัว

จากคุณลักษณะของ CC-CDTA ที่กล่าวในหัวข้อ 1.1.1 ค่าของกระแสที่ขั้ว x เป็นค่าที่ได้จากการประมาณค่าอันดับหนึ่ง ซึ่งสมการนี้เป็นจริงได้ต้องอยู่ในเงื่อนไข $|V_z| \ll 2V_T$ หรือ $|V_z| \ll 52mV$ เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิ $27^\circ C$ ตามความเป็นจริงแล้ว ค่าของกระแสที่ขั้ว x (I_x) สามารถหาได้จาก

$$I_x = I_{B2} \tanh\left(\frac{V_z}{2V_T}\right) \quad (1.7)$$

ถ้ากำหนด $|V_z| \gg 2V_T$ พจน์ $\tanh\frac{V_z}{2V_T}$ จะสามารถประมาณค่าได้ดังนี้

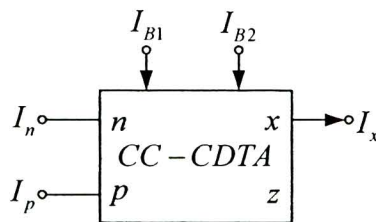
$$\tanh\frac{V_z}{2V_T} \approx \begin{cases} 1 & \text{if } V_z \gg 2V_T \\ -1 & \text{if } |-V_z| \gg 2V_T \end{cases} \quad (1.8)$$

ดังนั้นค่า I_x มีค่าดังนี้

$$I_x = \begin{cases} I_{B2} & \text{if } V_z \gg 2V_T \\ -I_{B2} & \text{if } |-V_z| \gg 2V_T \end{cases} \quad (1.9)$$

ถ้ากำหนดให้ขั้ว z ดังแสดงในภาพที่ 1.19 ลอย V_z มีค่าดังนี้

$$V_z \approx \begin{cases} V_{CC} & \text{if } I_p \geq I_n \\ V_{EE} & \text{if } I_p \leq I_n \end{cases} \quad (1.10)$$



ภาพที่ 1.19 CC-CDTA เมื่อลอยขั้ว z

เมื่อ V_{CC} และ V_{EE} คือแรงดันไฟเลี้ยงด้านบวกและลบของ CC-CDTA ตามลำดับ ดังนั้น I_x หาค่าได้จาก

$$I_x = \begin{cases} I_{B2} & \text{if } I_p \geq I_n \\ -I_{B2} & \text{if } I_p \leq I_n \end{cases} \quad (1.11)$$

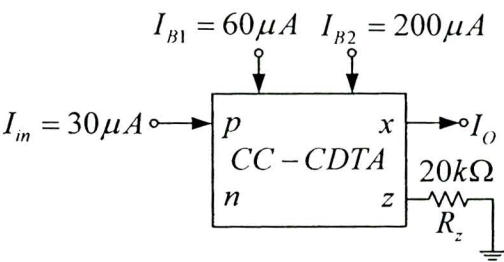
ดังนั้นลักษณะสมบัติของ CC-CDTA ที่ทำงานในสภาวะอิ่มตัวแสดงด้วยสมการในเชิงเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_p \\ V_n \\ I_z \\ I_x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_p & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_n & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pm 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_p \\ I_n \\ V_x \\ I_{B2} \end{bmatrix}$$

(1.12)

เมื่อ $|V_z| \gg 2V_T$

ตัวอย่างที่ 1.5 จากในภาพที่ 1.20 จงหา I_O เมื่อพิจารณาที่ $V_T = 26mV$



ภาพที่ 1.20 วงจรในตัวอย่างที่ 1.5

จากวงจร $i_n=0, i_p=I_{in}$ เขียนสมการกระแสที่ขั้ว z ได้เป็น

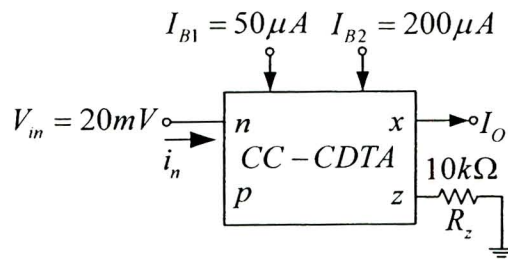
$$i_z = i_p - i_n = I_{in} = 30\mu A$$

ส่วนแรงดันที่ขั้ว z เท่ากับ

$$V_z = i_z R_z = I_{in} R_z = 30\mu A \times 20k\Omega = 600mV$$

จาก $V_z = 600mV$ ที่ $V_z \gg 2V_T$ ตรงกับเงื่อนไข CC-CDTA ทำงานในสภาวะอิ่มตัว ดังนั้นกระแส I_O แสดงได้ดังนี้

$$I_O = 200\mu A$$



ภาพที่ 1.21 วงจรในตัวอย่างที่ 1.6

ตัวอย่างที่ 1.6 จากในภาพที่ 1.21 จงหา I_O เมื่อพิจารณาที่ $V_T = 26mV$

จากวงจร $i_p = 0$, $i_n = V_{in}/R_n$ เขียนสมการกระแสที่ขั้ว z ได้เป็น

$$i_z = i_p - i_n = -V_{in} / R_n = -\frac{20mV}{\left[26mV / (2 \times 50\mu A)\right]} = -76.92\mu A$$

ส่วนแรงดันที่ขั้ว z เท่ากับ

$$V_z = i_z R_z = -76.92\mu A \times 10k\Omega = -769.2mV$$

จาก $|-V_z| \gg 2V_T$ ดังนั้นที่ $V_z = -769.2mV$ ตรงกับเงื่อนไข CC-CDTA ทำงานในสภาวะอิมิต์ ดังนั้นกระแส I_O แสดงได้ดังนี้

$$I_O = -200\mu A$$

จากตัวอย่างที่ 1.5-1.6 เมื่อ $|V_z| \gg 2V_T$ จะทำให้ CC-CDTA ทำงานในสภาวะอิมิต์โดยกระแสเอาต์พุตที่ขั้ว x จะมีค่าเท่ากับ I_{B2} เมื่อ $|V_z| \gg 2V_T$ และเท่ากับ $-I_{B2}$ เมื่อ $|-V_z| \gg 2V_T$

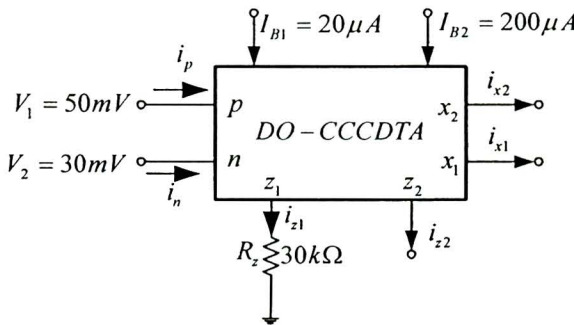
1.2.2 คุณสมบัติของ DO-CCCDTA ที่ทำงานในสภาวะอิมิต์

ลักษณะสมบัติของ DO-CCCDTA ที่ทำงานในสภาวะอิมิต์สามารถแสดงด้วยสมการในเชิงเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_p \\ V_n \\ I_{z1,z2} \\ I_{x1,x2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_p & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_n & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pm 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_p \\ I_n \\ V_x \\ I_{B2} \end{bmatrix} \quad (1.13)$$

เมื่อ $|V_{z1}| \gg 2V_T$

ตัวอย่างที่ 1.7 จากในภาพที่ 1.22 จงหา I_{z2} , I_{x1} และ I_{x2} เมื่อพิจารณาที่ $V_T = 26mV$



ภาพที่ 1.22 วงจรในตัวอย่างที่ 1.7

จากวงจร $i_p = V_1/R_p$, $i_n = V_2/R_n$ เขียนสมการกระแสที่ขั้ว z ได้เป็น

$$i_{z1} = i_{z2} = i_p - i_n = \frac{V_1}{R_p} - \frac{V_2}{R_n} = \frac{2(20\mu A)}{26mV}(50mV - 30mV) = 30.77\mu A$$

ส่วนแรงดันที่ขั้ว z_1 เท่ากับ

$$V_{z1} = (i_p - i_n)R_z = 30.77\mu A \times 30k\Omega = 923.1mV$$

จาก $V_{z1} \gg 2V_T$ ดังนั้นที่ $V_{z1} = 923.1mV$ ตรงกับเงื่อนไข DO-CCCDTA ทำงานในสถานะอิมิตัว ดังนั้นกระแส I_{x1} และ I_{x2} แสดงได้ดังนี้

$$I_{x1} = I_{x2} = 200\mu A$$

ในทำนองเดียวกับตัวอย่างที่ 1.1 เมื่อ $V_{z1} \leq 2V_T$ จะทำให้ DO-CCCDTA ทำงานในสภาวะอิมิตว
กระแส I_{x1} และ I_{x2} จะมีขนาดเท่ากับ I_{B2} และทิศทางเหมือนกัน

1.2.3 คุณสมบัติของ MO-CCCDTA ที่ทำงานในสภาวะอิมิตว

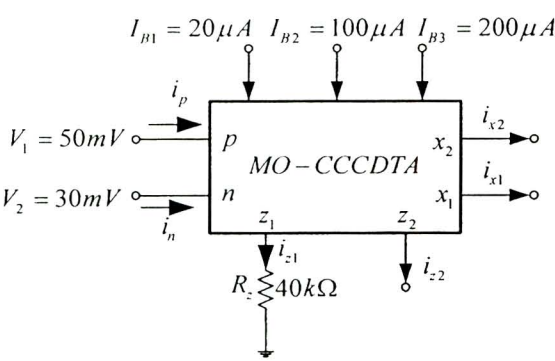
ลักษณะสมบัติของ MO-CCCDTA แสดงด้วยสมการในเชิงเมตริกซ์ได้ดังนี้

$$\begin{bmatrix} V_p \\ V_n \\ I_{z1,z2} \\ I_{x1} \\ I_{x2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_p & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & R_n & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \pm 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \pm 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_p \\ I_n \\ V_{x1} \\ I_{B2} \\ I_{B3} \end{bmatrix}$$

(1.14)

เมื่อ $|V_{z1}| \leq 2V_T$

ตัวอย่างที่ 1.8 จากในภาพที่ 1.23 จงหา I_{x1} และ I_{x2}



ภาพที่ 1.23 วงจรในตัวอย่างที่ 1.8

จากวงจร $i_p = V_1/R_p$, $i_n = V_2/R_n$ เขียนสมการกระแสที่ขั้ว z ได้เป็น

$$i_{z1} = i_{z2} = i_p - i_n = \frac{V_1}{R_p} - \frac{V_2}{R_n} = \frac{2(20\mu A)}{26mV}(50mV - 30mV) = 30.77\mu A$$

ส่วนแรงดันที่ขั้ว z_1 เท่ากับ

$$V_{z1} = i_{z1}R_z = 30.77\mu A \times 40k\Omega = 1.23V$$

จาก $V_{z1} \leq 2V_T$ ดังนั้นที่ $V_{z1} = 1.23V$ ตรงกับเงื่อนไข MO-CCCDTA ทำงานในสภาวะอิ่มตัว ดังนั้นกระแส I_{x1} และ I_{x2} แสดงได้ดังนี้

$$I_{x1} = 100\mu A$$

และ
$$I_{x2} = 200\mu A$$

จะเห็นว่าคุณสมบัติของ MO-CCCDTA จะทำงานในสภาวะอิ่มตัว เมื่อ $V_{z1} \leq 2V_T$ และทำให้กระแส I_{x1} และ I_{x2} มีค่าเท่ากับ I_{B2} และ I_{B3} ตามลำดับ

1.3 สรุปเนื้อหา

วงจรรขยายความนำถ่ายโณนผลต่างกระแสที่สามารถควบคุมด้วยกระแสหรือ CC-CDTA มี 3 ชนิดคือ CC-CDTA DO-CCCDTA และ MO-CCCDTA ซึ่งมีช่วงการทำงานที่นิยมใช้ในการออกแบบวงจรอยู่ 2 ช่วงการทำงานคือ ช่วงการทำงานที่เป็นเชิงเส้น และช่วงการทำงานในสภาวะอิ่มตัว

คุณลักษณะของ CC-CDTA DO-CCCDTA และ MO-CCCDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น

CC-CDTA จะทำงานในช่วงที่เป็นเชิงเส้น ต้องอยู่ภายใต้เงื่อนไข $|V_z| \leq 2V_T$ โดยค่าความต้านทานที่ขั้ว p (R_p) และ n (R_n) เท่ากัน และสามารถควบคุมได้ด้วย I_{B1} ส่วนค่าความนำถ่ายโณนที่ขั้ว x (g_m) สามารถควบคุมได้ด้วย I_{B2}

DO-CCCDTA จะแตกต่างกับ CC-CDTA ที่มีขั้ว z และ x อย่างละสองขั้วคือ z_1, z_2, x_1 และ x_2 โดย $I_{z1} = I_{z2}$ และ $I_{x1} = I_{x2}$ ส่วนเงื่อนไขที่ทำให้ DO-CCCDTA ทำงานในช่วงเชิงเส้นคือ $|V_{z1}| \leq 2V_T$ คุณลักษณะอื่นๆ จะเหมือนกับ CC-CDTA

MO-CCCDTA จะมีขั้ว z และ x อย่างละสองขั้ว เหมือนกับ DO-CCCDTA แต่ค่าความนำถ่ายโณนที่ขั้ว x_1 และ x_2 จะสามารถควบคุมได้อิสระจากกัน โดยค่าความนำถ่ายโณนที่ขั้ว x_1 (g_{m1}) และ x_2 (g_{m2}) สามารถควบคุมได้ด้วย I_{B2} และ I_{B3} ตามลำดับ และเงื่อนไขที่ทำให้ทำงานในช่วงเชิงเส้นคือ $|V_{z1}| \leq 2V_T$

คุณลักษณะของ CC-CDTA DO-CCCDTA และ MO-CCCDTA ที่ทำงานในสภาวะอิ่มตัว

CC-CDTA จะทำงานในสภาวะอิ่มตัว เมื่อ $|V_z| \gg 2V_T$ โดยกระแสที่ขั้ว x จะมีค่าเท่ากับ I_{B2} เมื่อ $V_z \gg 2V_T$ และมีค่าเท่ากับ $-I_{B2}$ เมื่อ $|-V_z| \gg 2V_T$

DO-CCCDTA จะทำงานในสภาวะอิ่มตัว เมื่อ $|V_{z1}| \gg 2V_T$ โดยกระแสที่ขั้ว x_1 และ x_2 จะมีค่าเท่ากับ I_{B2} เมื่อ $V_z \gg 2V_T$ และมีค่าเท่ากับ $-I_{B2}$ เมื่อ $|-V_z| \gg 2V_T$

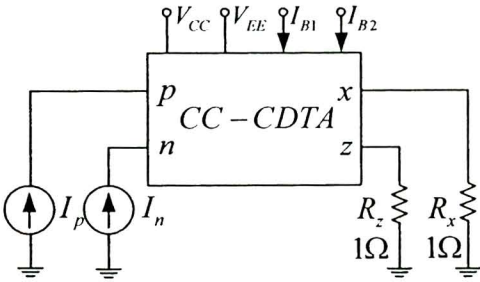
MO-CCCDTA จะทำงานในสภาวะอิ่มตัว เมื่อ $|V_{z1}| \gg 2V_T$ โดยกระแสที่ขั้ว x_1 จะมีค่าเท่ากับ I_{B2} เมื่อ $V_z \gg 2V_T$ และมีค่าเท่ากับ $-I_{B2}$ เมื่อ $|-V_z| \gg 2V_T$ ส่วนกระแสที่ขั้ว x_2 จะมีค่าเท่ากับ I_{B3} เมื่อ $V_z \gg 2V_T$ และมีค่าเท่ากับ $-I_{B3}$ เมื่อ $|-V_z| \gg 2V_T$

	CC-CDTA ที่ทำงานในช่วง อิมตัวและการประยุกต์ใช้งาน	ใบงานที่ 1 คุณสมบัติของ CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้นและ อิมตัว
---	--	---

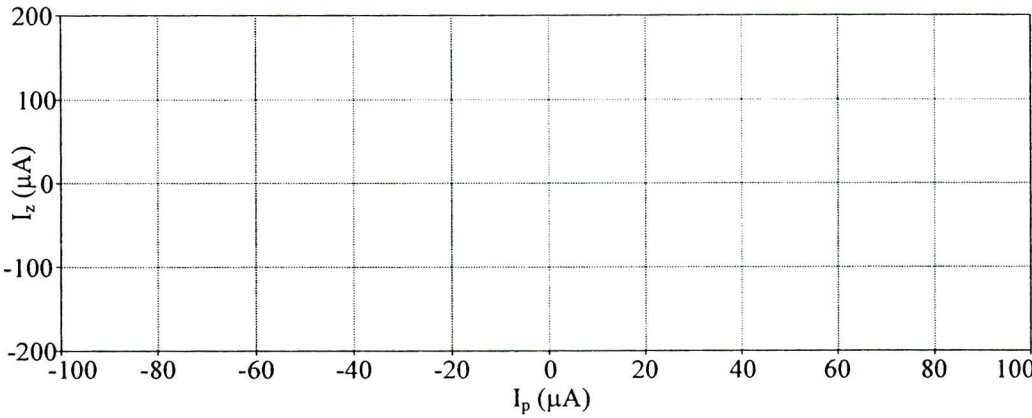
ขั้นตอนการทดลอง

ตอนที่ 1 การทดสอบคุณสมบัติของ CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น

1.1 วาดวงจรตามภาพที่ 1.1 เพื่อทดสอบคุณลักษณะถ่ายโอนทางไฟตรง (DC characteristics) ของ CC-CDTA



ภาพที่ 1.1 วงจรสำหรับการทดสอบคุณลักษณะถ่ายโอนทางไฟตรงของ CC-CDTA

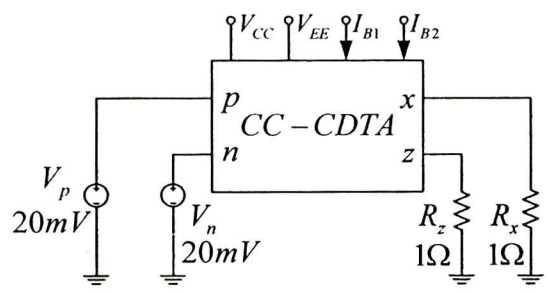


ภาพที่ 1.2 คุณลักษณะถ่ายโอนทางไฟตรง

1.2 กำหนดค่าอุปกรณ์ในวงจรดังนี้ $V_{CC} = 3V$, $V_{EE} = -3V$, $I_{B1} = I_{B2} = 100\mu A$ และ $R_z = R_x = 1\Omega$ โดยตัวต้านทานทั้งสองต่อมาเพื่อเป็นภาระให้กับวงจร

- 1.3 เลือกการวิเคราะห์ห้วงจรแบบ DC sweep จากนั้นกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้
- 3.1.1 ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ I_p และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้
Start value: $-100\mu A$, End value: $100\mu A$ และ Increase: $1\mu A$ ($I_n = 0\mu A$)
- 3.1.2 เลือกที่ Parametric sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ I_n และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Value list แล้วพิมพ์ $-100\mu A, 0, 100\mu A$ ($I_p = 0\mu A$)
- 1.4 ใช้ Current marker วัดกระแส i_z นั่นคือกระแสที่ไหลผ่าน R_z จากนั้นทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงานแล้วบันทึกผลลงในภาพที่ 1.2
- 1.5 คำนวณกระแส i_z จากสมการที่ 1.1 แล้วนำค่าที่คำนวณได้พล็อตลงในภาพที่ 1.2 เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง
- 1.6 เปรียบเทียบค่ากระแส i_z ที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ
-
-

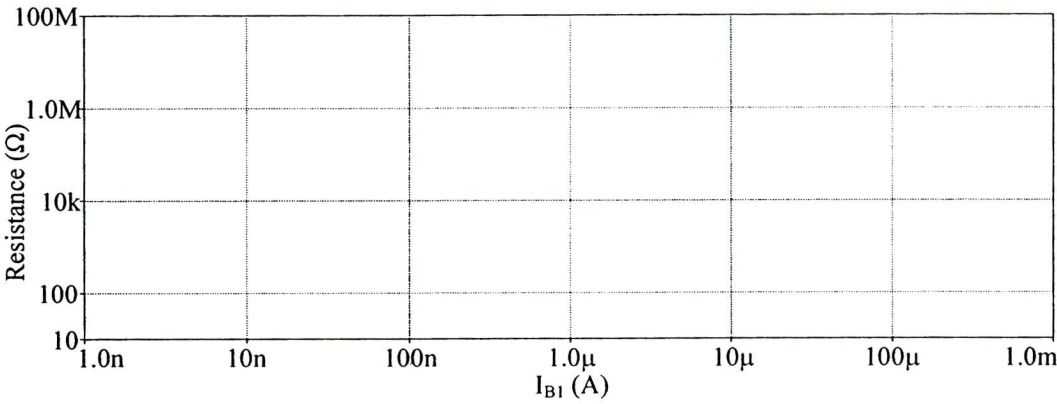
- 1.7 วาดวงจรตามภาพที่ 1.3 เพื่อวัดค่าความต้านทานแฝงที่ขั้ว p และ n (R_p และ R_n) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไบแอส I_{B1}



ภาพที่ 1.3 วงจรสำหรับการวัดค่าความต้านทานแฝง

- 1.8 กำหนดค่าแรงดัน $V_p = V_n = 20mV$
- 1.9 เลือกการวิเคราะห์ห้วงจรแบบ DC sweep ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ I_{B1} และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้ Start value: $1nA$, End value: $1mA$ และ Increase: $100nA$
- 1.10 ใช้ Voltage marker วัดแรงดันที่ขั้ว p และ n (V_p และ V_n) ทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงาน

- 1.11 จากวงจรในภาพที่ 1.3 ค่าความต้านทานของ R_p และ R_n ก็คือแรงดันที่ตกคร่อมที่ขั้ว p และ nหารด้วยกระแสที่ไหลเข้าที่ขั้วทั้งสอง นั่นก็คือ $R_p = V_p / (-I_{vp})$ และ $R_n = V_n / (-I_{vn})$ โดยที่กระแส I_{vp} จะเท่ากับกระแส i_p ส่วนกระแส I_{vn} จะเท่ากับกระแส i_n แต่ทิศทางของกระแสทั้งสองจะตรงข้ามกัน ดังนั้นเพื่อแสดงค่าความต้านทาน R_p และ R_n ที่หน้าต่างผลการรันหรือผลการจำลอง ให้นำค่าแรงดันที่ขั้ว p และ n หารด้วยกระแส $-I_{vp}$ และ $-I_{vn}$ ซึ่งทำได้โดยดับเบิลคลิกที่ตัวอักษร V(Vp:+) ที่อยู่ด้านล่างซ้ายของหน้าต่างผลการจำลองจะปรากฏหน้าต่าง Modify trace แล้วในช่อง Trace expression ให้พิมพ์ (V(Vp:+) / (- I(Vp))) ทำเช่นเดียวกันเพื่อวัดค่าความต้านทาน R_n โดยการดับเบิลคลิกที่ตัวอักษร V(Vn:+) ที่อยู่ด้านล่างซ้ายของหน้าต่างผลการจำลองจะปรากฏหน้าต่าง Modify trace แล้วในช่อง Trace expression ให้พิมพ์ (V(Vn:+) / (- I(Vn)))
- 1.12 เนื่องจากค่าความต้านทาน R_p และ R_n มีค่าอยู่ในช่วงโอห์มถึงเมกะโอห์ม (แสดงในแกน Y) เช่นเดียวกับค่ากระแสไบแอส I_{B1} ที่มีค่าอยู่ในช่วงนาโนแอมป์ถึงมิลลิแอมป์ (แสดงในแกน X) ซึ่งการแสดงค่าดังกล่าวในสเกลแบบเชิงเส้นจึงไม่สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของเส้นกราฟได้ ดังนั้นสเกลในแกน X และ Y จึงต้องเป็นสเกลแบบล็อก (Log) ซึ่งทำได้ดังนี้ ในหน้าต่างผลการจำลองให้เข้าไปที่เมนู Plot แล้วเลือกที่ Axis settings ก็จะปรากฏหน้าต่าง Axis settings คลิกที่ X Axis ที่ Scale ให้เลือก Log จากนั้นไปกำหนดแกน Y ด้วยให้คลิกที่ Y Axis ที่ Scale ให้เลือก Log เช่นเดียวกับแกน X แล้วจึงเลือกตกลง ก็จะสามารถเห็นกราฟค่าความต้านทาน R_p และ R_n ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น จากนั้นวาดกราฟดังกล่าวลงในภาพที่ 1.4
- 1.13 คำนวณค่าความต้านทาน R_p และ R_n ($R_p = R_n = V_T / 2I_{B1}$) จากสมการที่ 1.2 แล้วนำค่าที่คำนวณได้พล็อตลงในภาพที่ 1.4 เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง

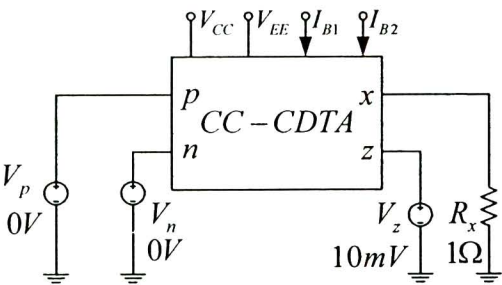


ภาพที่ 1.4 ความต้านทาน R_p และ R_n เทียบกับกระแสไบแอส I_{B1}

1.14 เปรียบเทียบค่าความต้านทาน R_p และ R_n ที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

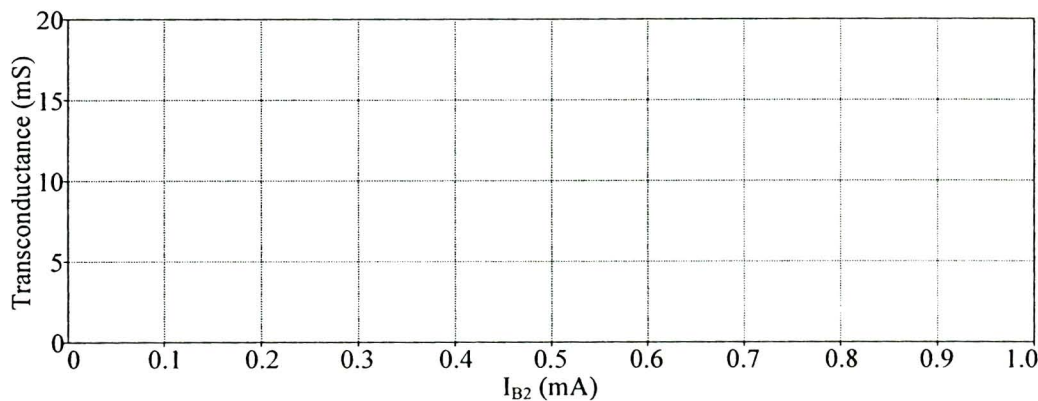
.....

.....



ภาพที่ 1.5 วงจรสำหรับการวัดค่าความนำถ่ายโอนของ CC-CDTA

- 1.15 วาดวงจรตามภาพที่ 1.5 เพื่อวัดค่าความนำถ่ายโอน (g_m) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไบแอส I_{B2}
- 1.16 กำหนดค่าแรงดัน $V_p = V_n = 0V$ และ $V_z = 10mV$
- 1.17 เลือกการวิเคราะห์ห้วงจรแบบ DC sweep ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ I_{B2} และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้ Start value: $1nA$, End value: $1mA$ และ Increase: $100nA$
- 1.18 ใช้ Current marker วัดกระแส i_x หรือวัดกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R_x ทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงาน
- 1.19 จากสมการที่ 1.1 ค่า g_m คือกระแส i_x หารด้วยแรงดัน V_z ดังนั้นเพื่อแสดงค่า g_m ที่หน้าต่างผลการจำลอง ให้นำค่ากระแส i_x หรือกระแสที่ไหลผ่าน R_x (I_{Rx}) หารด้วย V_z ซึ่งทำได้โดยดับเบิลคลิกที่ตัวอักษร $I(Rx)$ ที่อยู่ด้านล่างซ้ายของหน้าต่างผลการจำลองจะปรากฏหน้าต่าง Modify trace แล้วในช่อง Trace expression ให้พิมพ์ $(-I(Rx) / V(Vz:))$ วาดกราฟความนำถ่ายโอนลงในภาพที่ 1.6
- 1.20 คำนวณค่าความนำถ่ายโอน ($g_m = I_{B2} / 2V_T$) จากสมการที่ 1.3 แล้วนำค่าที่คำนวณได้พล็อตลงในภาพที่ 1.6 เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง

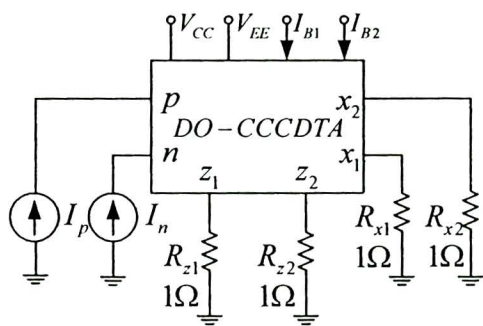


ภาพที่ 1.6 ความนำถ่ายโอน (g_m) เทียบกับกระแสไบแอส I_{B2}

1.21 เปรียบเทียบค่าความนำถ่ายโอนที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

.....

.....



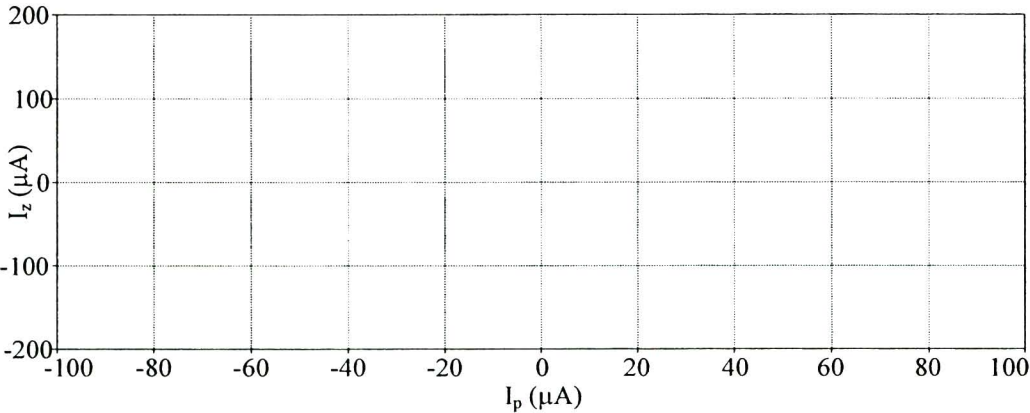
ภาพที่ 1.7 วงจรสำหรับการทดสอบคุณลักษณะถ่ายโอนทางไฟตรงของ DO-CCCDTA

ตอนที่ 2 การทดสอบคุณลักษณะของ DO-CCCDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น

- 1. วาดวงจรตามภาพที่ 1.7 เพื่อทดสอบคุณลักษณะถ่ายโอนทางไฟตรง (DC characteristic) ของ DO-CCCDTA
- 2. กำหนดค่าอุปกรณ์ในวงจรดังนี้ $V_{CC} = 3V$, $V_{EE} = -3V$, $I_{B1} = I_{B2} = 100\mu A$ และ $R_{z1} = R_{z2} = 1\Omega$ และ $R_{x1} = R_{x2} = 1\Omega$
- 3. เลือกการวิเคราะห์วงจรแบบ DC sweep จากนั้นกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้
 - 24.1.1 ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ Ip และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้
Start value: $-100\mu A$, End value: $100\mu A$ และ Increase: $1\mu A$ ($I_n = 0\mu A$)

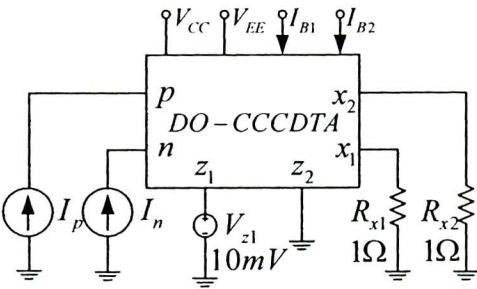
24.1.2 เลือกที่ Parametric sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ In และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Value list แล้วพิมพ์ $-100\mu A, 0, 100\mu A$ ($I_p = 0\mu A$)

- 4. ใช้ Current marker วัดกระแส i_{z1} และ i_{z2} นั่นคือกระแสที่ไหลผ่าน R_{z1} และ R_{z2} จากนั้นทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงานแล้วบันทึกผลลงในภาพที่ 1.8
- 5. คำนวณกระแส i_{z1} และ i_{z2} ($i_{z1} = i_{z2} = i_p - i_n$) จากสมการที่ 1.1 แล้วนำค่าที่คำนวณได้พล็อตลงในภาพที่ 1.8 เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง



ภาพที่ 1.8 คุณลักษณะถ่ายโอนทางไฟตรงของ DO-CCCDTA

- 6. เปรียบเทียบค่ากระแส i_{z1}, i_{z2} ที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ
.....
.....
- 7. วาดวงจรตามภาพที่ 1.9 เพื่อวัดกระแสที่ขั้ว x_1 และ x_2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไบแอส I_{B2}
- 8. กำหนดค่าแรงดัน $I_p = I_n = 0A$ และ $V_{z1} = 10mV$
- 9. เลือกการวิเคราะห์ห้วงจรแบบ DC sweep ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ I_{B2} และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้ Start value: $1nA$, End value: $1mA$ และ Increase: $100nA$

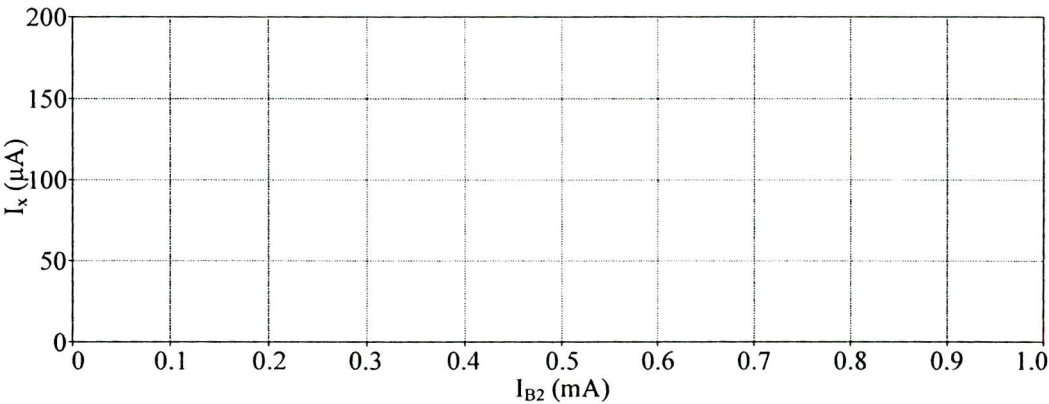


ภาพที่ 1.9 วงจรสำหรับการวัดกระแสที่ขั้ว x_1 และ x_2

- 10. ใช้ Current marker วัดกระแส i_{x1} และ i_{x2} หรือวัดกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R_{x1} และ R_{x2} ตามลำดับ แล้วทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงานบันทึกผลลงในภาพที่ 1.10
- 11. คำนวณกระแส i_{x1} และ i_{x2} ($i_{x1} = i_{x2} = g_m V_{z1}$) เมื่อ $g_m = I_{B2} / 2V_T$ แล้วนำค่าที่คำนวณได้พล็อตลงในภาพที่ 1.10 เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง
- 12. เปรียบเทียบค่ากระแส i_{x1} , i_{x2} ที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

.....

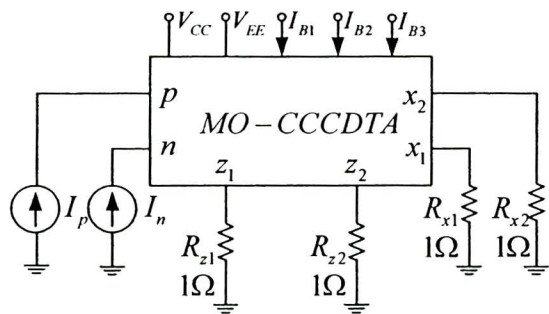
.....



ภาพที่ 1.10 กระแส i_{x1} , i_{x2} เทียบกับกระแสไบแอส I_{B2}

ตอนที่ 3 การทดสอบคุณลักษณะของ MO-CCCDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น

- 3.1 วาดวงจรตามภาพที่ 1.11 เพื่อทดสอบคุณลักษณะถ่ายโอนทางไฟตรง (DC characteristic) ของ MO-CCCDTA

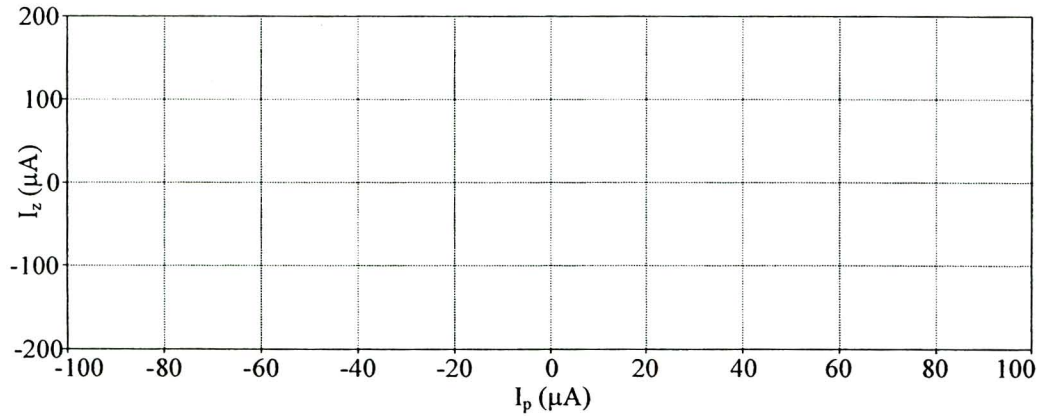


ภาพที่ 1.11 วงจรสำหรับการทดสอบคุณลักษณะถ่ายโอนทางไฟตรงของ MO-CCCDTA

- 3.2 กำหนดค่าอุปกรณ์ในวงจรดังนี้ $V_{CC} = 3V$, $V_{EE} = -3V$, $I_{B1} = I_{B2} = I_{B3} = 100\mu A$ และ $R_{z1} = R_{z2} = 1\Omega$ และ $R_{x1} = R_{x2} = 1\Omega$
- 3.3 เลือกการวิเคราะห์ทั้งจรแบบ DC sweep จากนั้นกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

36.1 ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ Ip และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้ Start value: $-100\mu A$, End value: $100\mu A$ และ Increase: $1\mu A$ ($I_n = 0\mu A$)

36.2 เลือกที่ Parametric sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ In และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Value list แล้วพิมพ์ $-100\mu A$, 0, $100\mu A$ ($I_p = 0\mu A$)
- 3.4 ใช้ Current marker วัดกระแส i_{z1} และ i_{z2} นั่นก็คือกระแสที่ไหลผ่าน R_z และ R_z จากนั้นทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงานแล้วบันทึกผลลงในภาพที่ 1.12
- 3.5 คำนวณกระแส i_{z1} และ i_{z2} ($i_{z1} = i_{z2} = i_p - i_n$) จากสมการที่ 1.4 แล้วนำค่าที่คำนวณได้พล็อตลงในภาพที่ 1.12 เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง

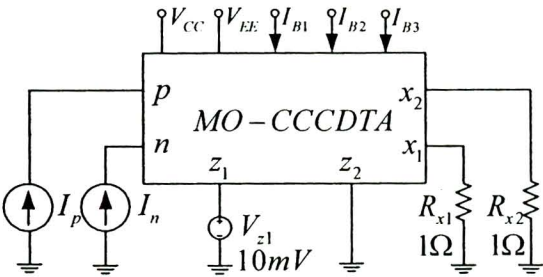


ภาพที่ 1.12 คุณลักษณะถ่ายโอนทางไฟตรงของ MO-CCCDTA

3.6 เปรียบเทียบค่ากระแส i_{x1} , i_{x2} ที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

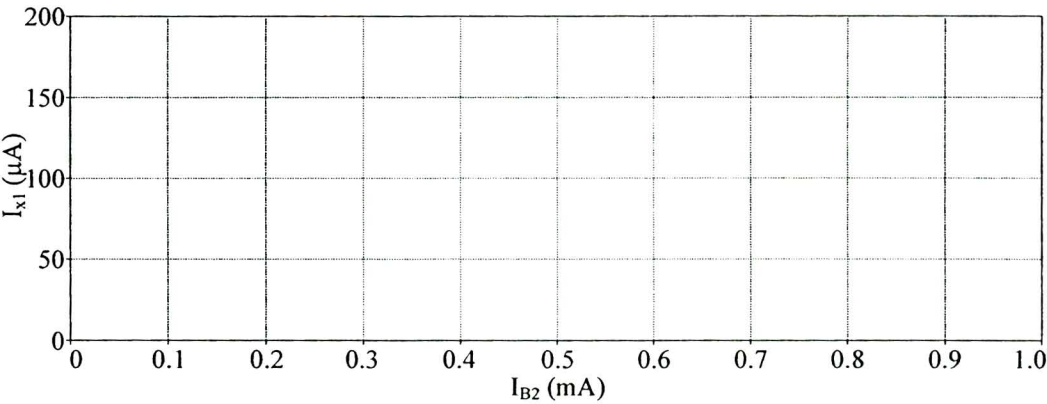
.....

.....



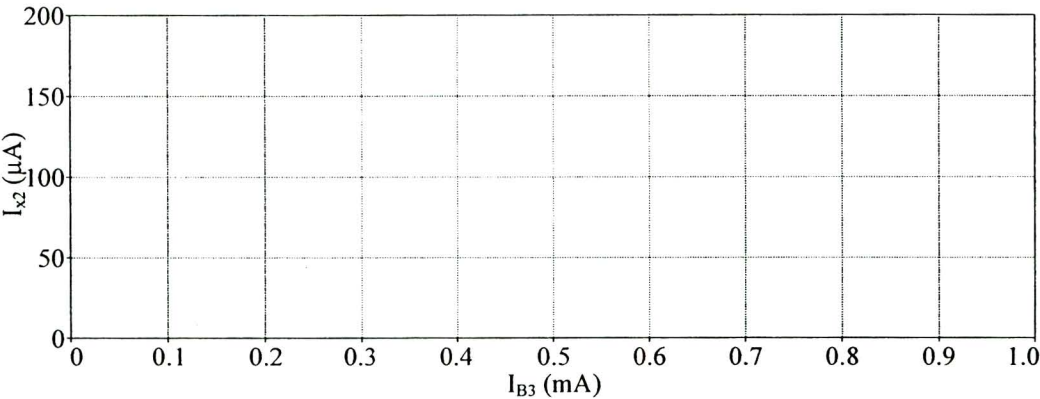
ภาพที่ 1.13 วงจรสำหรับการวัดกระแสที่ขั้ว x_1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไบแอส I_{B2}

- 3.7 วาดวงจรตามภาพที่ 1.13 เพื่อวัดกระแสที่ขั้ว x_1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไบแอส I_{B2}
- 3.8 กำหนดค่าแรงดัน $I_p = I_n = 0A$ และ $V_{z1} = 10mV$
- 3.9 เลือกการวิเคราะห์ห้วงจรแบบ DC sweep ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ I_{B2} และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้ Start value: $1nA$, End value: $1mA$ และ Increase: $100nA$
- 3.10 ใช้ Current marker วัดกระแส i_{x1} หรือวัดกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R_{x1} แล้วทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงานบันทึกผลลงในภาพที่ 1.14
- 3.11 คำนวณกระแส i_{x1} ($i_{x1} = g_{m1}V_{z1}$) เมื่อ $g_{m1} = I_{B2}/2V_T$ แล้วนำค่าที่คำนวณได้พล็อตลงในภาพที่ 1.14 เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง



ภาพที่ 1.14 กระแส i_{x1} เทียบกับกระแสไบแอส I_{B2}

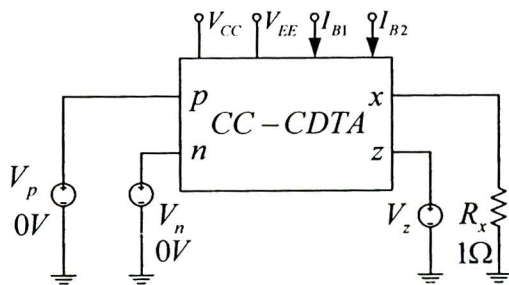
- 3.12 เปรียบเทียบค่ากระแส i_{x1} ที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ
-
-
- 3.13 วาดวงจรตามภาพที่ 1.13 เพื่อวัดกระแสที่ขั้ว x_2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไบแอส I_{B3}
- 3.14 กำหนดค่าแรงดัน $I_p = I_n = 0A$ และ $V_{z1} = 10mV$
- 3.15 เลือกการวิเคราะห์ห้วงจรแบบ DC sweep ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ I_{B3} และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้ Start value: $1nA$, End value: $1mA$ และ Increase: $100nA$
- 3.16 ใช้ Current marker วัดกระแส i_{x2} หรือวัดกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R_{x2} แล้วทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงานบันทึกผลลงในภาพที่ 1.15
- 3.17 คำนวณกระแส i_{x2} ($i_{x2} = g_{m2}V_{z1}$) เมื่อ $g_{m2} = I_{B3} / 2V_T$ แล้วนำค่าที่คำนวณได้พล็อตลงในภาพที่ 1.15 เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง
- 3.18 เปรียบเทียบค่ากระแส i_{x2} ที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ
-
-



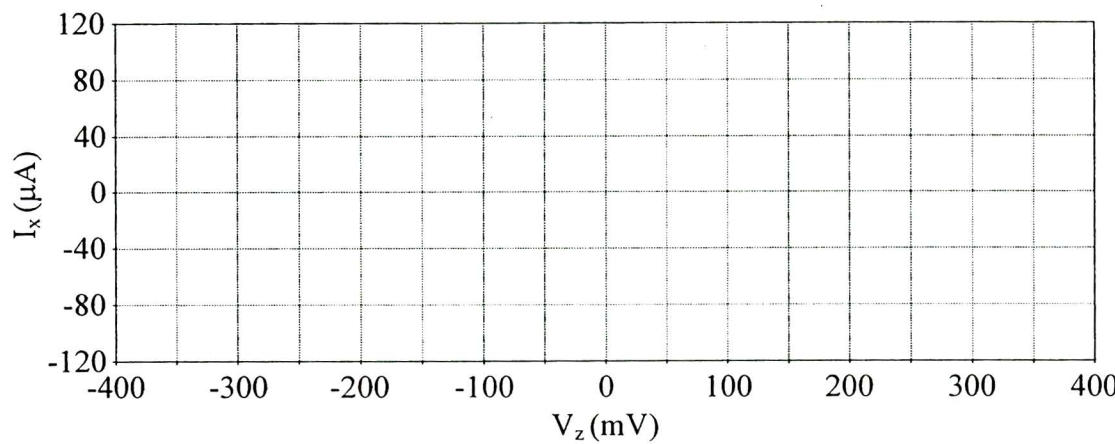
ภาพที่ 1.15 กระแส i_{x2} เทียบกับกระแสไบแอส I_{B3}

ตอนที่ 4 การทดสอบคุณลักษณะของ CC-CDTA ที่ทำงานในสถานะอิมิตัว

- 4.1 วาดวงจรตามภาพที่ 1.16 เพื่อทดสอบเงื่อนไขของ CC-CDTA เพื่อทำงานทำงานในสถานะอิมิตัว



ภาพที่ 1.16 วงจรสำหรับการทดสอบเงื่อนไขของ CC-CDTA เพื่อทำงานทำงานในสภาวะอิมิต์

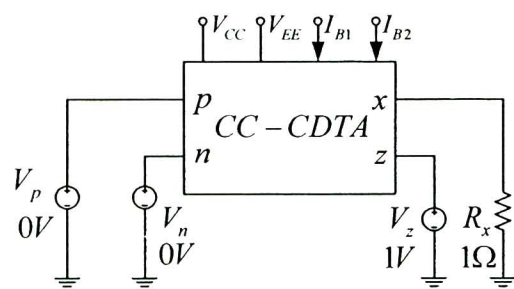
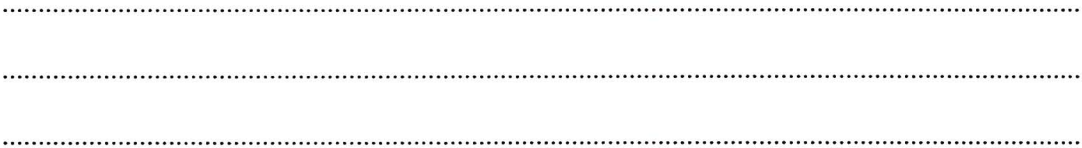


ภาพที่ 1.17 เงื่อนไขของ CC-CDTA เพื่อทำงานทำงานในสภาวะอิมิต์

- 4.2 กำหนดค่าอุปกรณ์ในวงจรดังนี้ $V_{CC} = 3V$, $V_{EE} = -3V$, $I_{B1} = I_{B2} = 100\mu A$ และ $R_x = 1\Omega$
- 4.3 เลือกการวิเคราะห์ห้วงจรแบบ DC sweep จากนั้นกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้
- ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Voltage source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ V_z และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้
- Start value: $-400mV$, End value: $400mV$ และ Increase: $1mV$
- 4.4 ใช้ Current marker วัดกระแส i_x นั่นคือกระแสที่ไหลผ่าน R_x จากนั้นทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงานแล้วบันทึกผลลงในภาพที่ 1.16
- 4.5 จากผลการทดลองในภาพที่ 1.17 กระแส i_x มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อเปลี่ยนแปลง V_z และขนาดของ V_z มีค่าเท่าไรเมื่อ i_x เท่ากับ I_{B2}

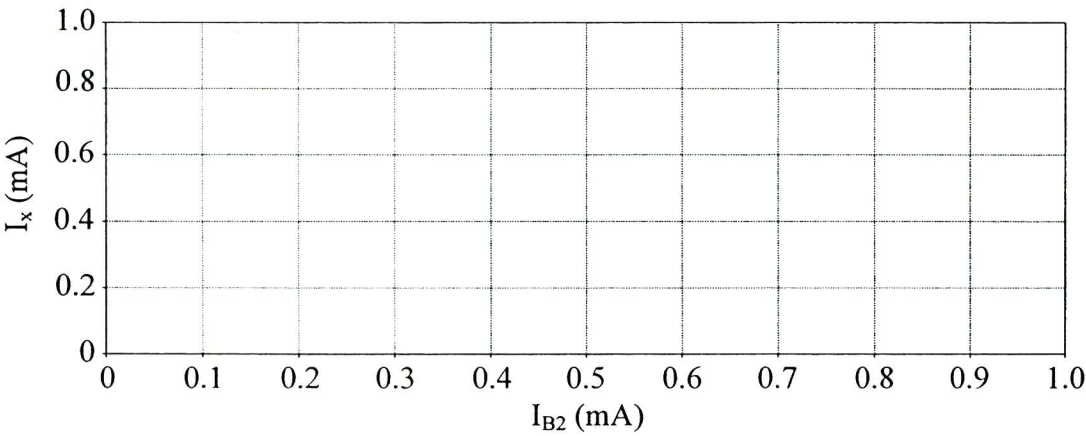
.....

.....



ภาพที่ 1.18 วงจรสำหรับการวัดทดสอบคุณลักษณะทางไฟตรงของ CC-CDTA เมื่อทำงานทำงานในสถานะอิมิตัว

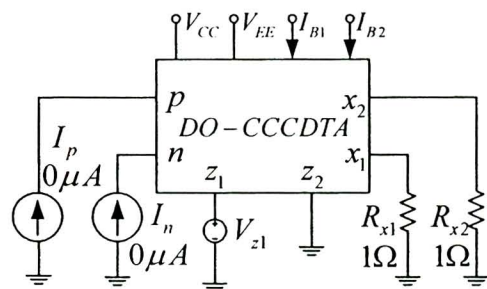
- 4.6 วาดวงจรตามภาพที่ 1.18 เพื่อวัดค่ากระแส i_x เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไบแอส I_{B2}
- 4.7 กำหนดค่าแรงดัน $V_p = V_n = 0V$ และ $V_z = 1V$
- 4.8 เลือกการวิเคราะห์ห้วงจรแบบ DC sweep ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ I_{B2} และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้ Start value: $1nA$, End value: $1mA$ และ Increase: $100nA$
- 4.9 ใช้ Current marker วัดกระแส i_x หรือวัดกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R_x ทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงาน
- 4.10 คำนวณกระแส i_x ($i_x = I_{B2}$) แล้วนำค่าที่คำนวณได้พล็อตลงในภาพที่ 1.19 เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง



ภาพที่ 1.19 กระแส i_x เทียบกับกระแสไบแอส I_{B2}

4.11 เปรียบเทียบค่ากระแส i_x ที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

ตอนที่ 5 การทดสอบคุณลักษณะของ DO-CCCDTA ที่ทำงานในสถานะอิมิตัว



ภาพที่ 1.20 วงจรสำหรับการทดสอบเงื่อนไขของ DO-CCCDTA เพื่อทำงานในสถานะอิมิตัว

- 5.1 วาดวงจรตามภาพที่ 1.20 เพื่อทดสอบเงื่อนไขของ DO-CCCDTA เพื่อทำงานทำงานในสถานะอิมิตัว
- 5.2 กำหนดค่าอุปกรณ์ในวงจรดังนี้ $V_{CC} = 3V$, $V_{EE} = -3V$, $I_{B1} = I_{B2} = 100\mu A$ $R_{x1} = 1\Omega$ และ $R_{x2} = 1\Omega$
- 5.3 เลือกการวิเคราะห์ห้วงจรแบบ DC sweep จากนั้นกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้
 ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Voltage source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ V_{z1} และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้
 Start value: $-400mV$, End value: $400mV$ และ Increase: $1mV$
- 5.4 ใช้ Current marker วัดกระแส i_{x1} และ i_{x2} นั่นคือกระแสที่ไหลผ่าน R_{x1} และ R_{x2} ตามลำดับ จากนั้นทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงานแล้วบันทึกผลลงในภาพที่ 1.21
- 5.5 จากผลการทดลองในภาพที่ 1.21 กระแส i_{x1} , i_{x2} มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อเปลี่ยนแปลง V_z และขนาดของ V_z มีค่าเท่าไรเมื่อ i_{x1} , i_{x2} เท่ากับ I_{B2}

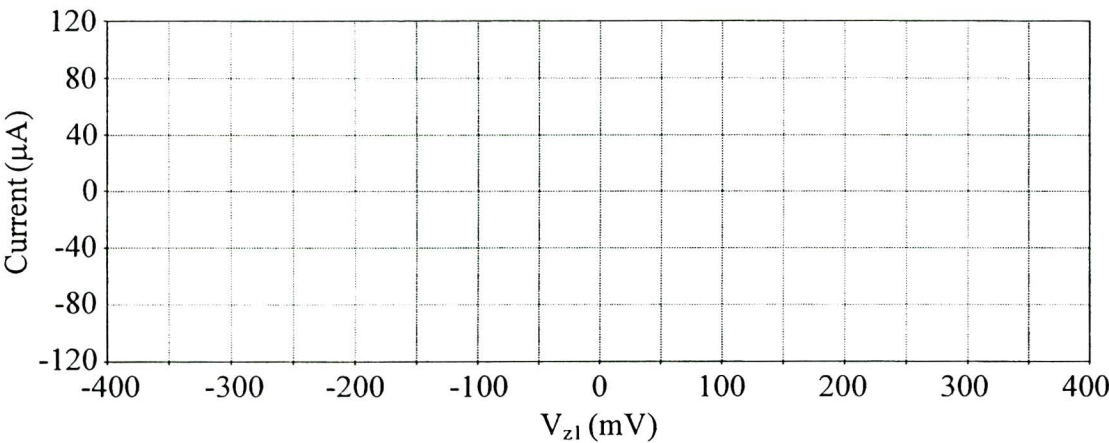
.....

.....

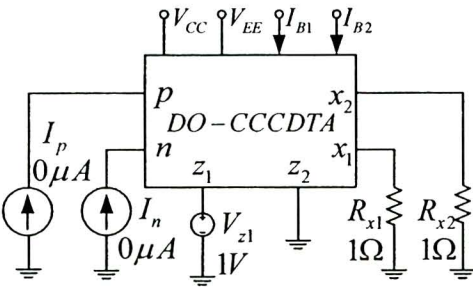
.....

.....

.....

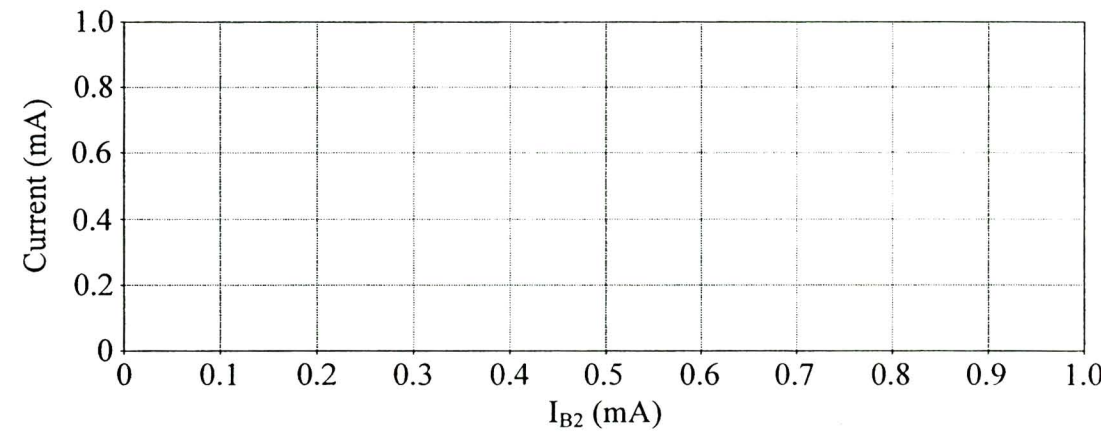


ภาพที่ 1.21 เส้นไขของ DO-CCCDTA เพื่อทำงานทำงานในสภาวะอิมตัว



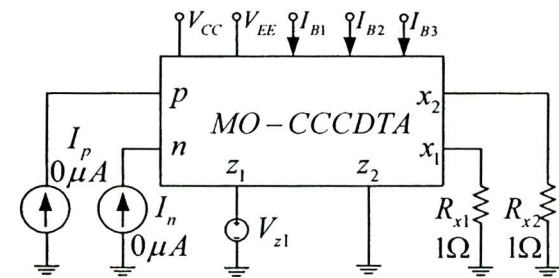
ภาพที่ 1.22 วงจรสำหรับการวัดทดสอบคุณลักษณะทางไฟตรงของ CC-CDTA เมื่อทำงานในสภาวะอิมตัว

- 5.6 วาดวงจรตามภาพที่ 1.18 เพื่อวัดค่ากระแส i_{x1} , i_{x2} เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไบแอส I_{B2}
- 5.7 กำหนดค่าแรงดัน $I_p = I_n = 0\mu A$ $V_{z1} = 1V$ และ $V_{z2} = 0V$
- 5.8 เลือกการวิเคราะห์ห้วงจรแบบ DC sweep ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ I_{B2} และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้ Start value: $1nA$, End value: $1mA$ และ Increase: $100nA$
- 5.9 ใช้ Current marker วัดกระแส i_{x1} , i_{x2} หรือวัดกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R_{x1} และ R_{x2} ตามลำดับทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงาน
- 5.10 คำนวณกระแส i_{x1} และ i_{x2} ($i_{x1} = i_{x2} = I_{B2}$) แล้วนำค่าที่คำนวณได้พล็อตลงในภาพที่ 1.23 เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง
- 5.11 เปรียบเทียบค่ากระแส i_{x1} , i_{x2} ที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ



ภาพที่ 1.23 กระแส i_{x1} , i_{x2} เทียบกับกระแสไบแอส I_{B2}

ตอนที่ 6 การทดสอบคุณลักษณะของ MO-CCCDTA ที่ทำงานในสถานะอิมิตัว



ภาพที่ 1.24 วงจรสำหรับการทดสอบเงื่อนไขของ MO-CCCDTA เพื่อทำงานทำงานในสถานะอิมิตัว

- 6.1 วาดวงจรตามภาพที่ 1.24 เพื่อทดสอบเงื่อนไขของ MO-CCCDTA เพื่อทำงานทำงานในสถานะอิมิตัว
- 6.2 กำหนดค่าอุปกรณ์ในวงจรดังนี้ $V_{CC} = 3V$, $V_{EE} = -3V$, $I_{B1} = I_{B3} = 100\mu A$ $I_{B2} = 50\mu A$
 $R_{x1} = 1\Omega$ และ $R_{x2} = 1\Omega$
- 6.3 เลือกการวิเคราะห์ห้วงจรแบบ DC sweep จากนั้นกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้
 ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Voltage source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ V_{z1} และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้
 Start value: $-400mV$, End value: $400mV$ และ Increase: $1mV$
- 6.4 ใช้ Current marker วัดกระแส i_{x1} และ i_{x2} นั่นคือกระแสที่ไหลผ่าน R_{x1} และ R_{x2} ตามลำดับ จากนั้นทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงานแล้วบันทึกผลลงในภาพที่ 1.25

6.5 จากผลการทดลองในภาพที่ 1.25 กระแส i_{x1} , i_{x2} มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อเปลี่ยนแปลง V_{z1} และขนาดของ V_{z1} มีค่าเท่าไรเมื่อ i_{x1} และ i_{x2} เท่ากับ I_{B2} และ I_{B3} ตามลำดับ

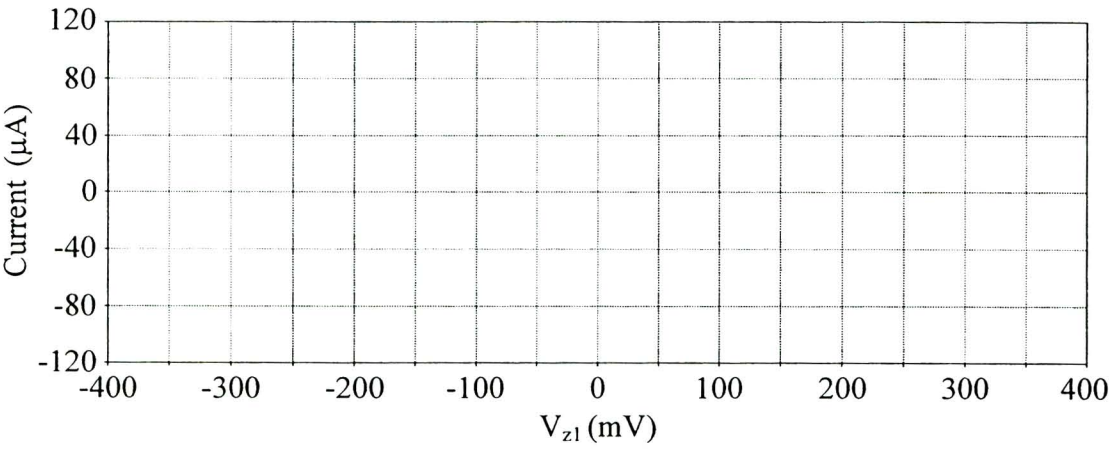
.....

.....

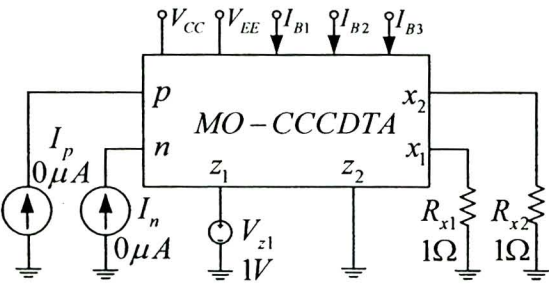
.....

.....

.....



ภาพที่ 1.25 เงื่อนไขของ MO-CCCDTA เพื่อทำงานในสภาวะอิ่มตัว



ภาพที่ 1.26 วงจรสำหรับการวัดทดสอบคุณลักษณะทางไฟตรงของ MO-CCCDTA เมื่อทำงานในสภาวะอิ่มตัว

- 6.6 วาดวงจรตามภาพที่ 1.26 เพื่อวัดค่ากระแส i_{x1} และ i_{x2} เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไบแอส I_{B2} และ I_{B3} ตามลำดับ
- 6.7 กำหนดค่าแรงดัน $I_p = I_n = 0\mu A$ $V_{z1} = 1V$ และ $V_{z2} = 0V$
- 6.8 เลือกการวิเคราะห์วงจรแบบ DC sweep

- 6.8.1 ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ I_{B2} และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้
Start value: $1nA$, End value: $1mA$ และ Increase: $100nA$
 - 6.8.2 ใช้ Current marker วัดกระแส i_{x1} หรือวัดกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R_{x1} ทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงาน
 - 6.8.3 คำนวณกระแส i_{x1} ($i_{x1} = I_{B2}$) แล้วนำค่าที่คำนวณได้พล็อตลงในภาพที่ 1.27 เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง
 - 6.8.4 ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ I_{B3} และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้
Start value: $1nA$, End value: $1mA$ และ Increase: $100nA$
 - 6.8.5 ใช้ Current marker วัดกระแส i_{x2} หรือวัดกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R_{x2} ทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงาน
 - 6.8.6 คำนวณกระแส i_{x2} ($i_{x2} = I_{B3}$) แล้วนำค่าที่คำนวณได้พล็อตลงในภาพที่ 1.28 เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง
- 6.9 เปรียบเทียบค่ากระแส i_{x1} และ i_{x2} ที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

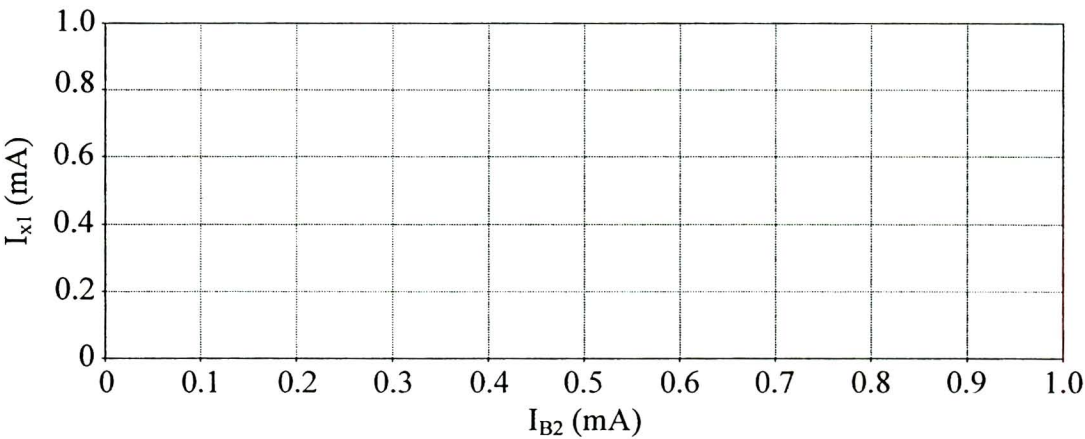
.....

.....

.....

.....

.....



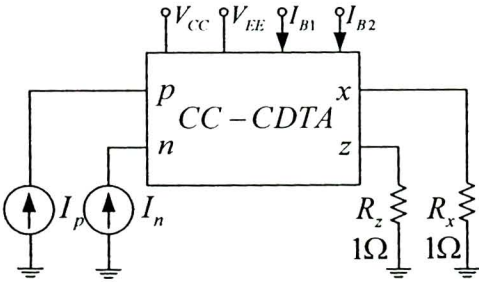
ภาพที่ 1.27 กระแส i_{x1} เทียบกับกระแสไบแอส I_{B2}

	CC-CDTA ที่ทำงานในช่วง อิมิต์และการประยุกต์ใช้งาน	เจดย์ใบงานที่ 1 คุณลักษณะของ CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้นและ อิมิต์
---	--	--

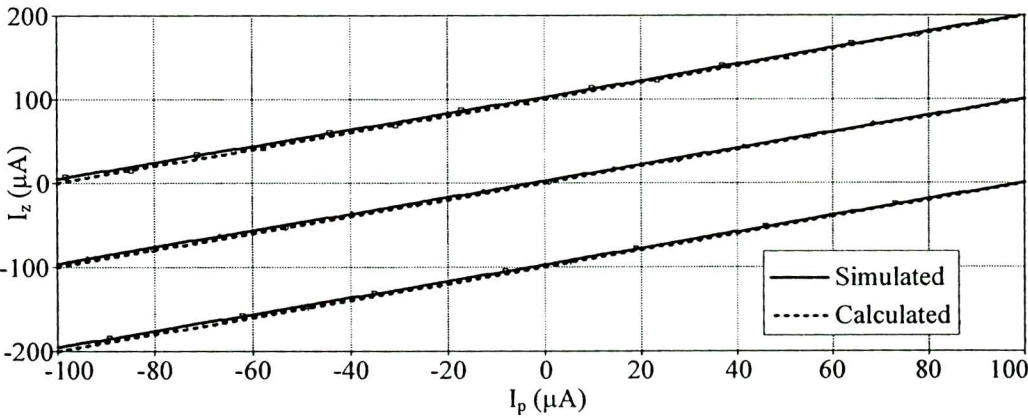
ขั้นตอนการทดลอง

ตอนที่ 1 การทดสอบคุณลักษณะของ CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น

1.22 วาดวงจรตามภาพที่ 1.1 เพื่อทดสอบคุณลักษณะถ่ายโอนทางไฟตรง (DC characteristics) ของ CC-CDTA



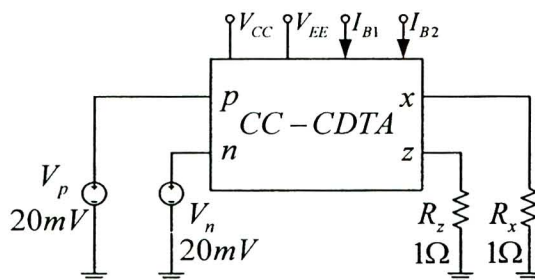
ภาพที่ 1.1 วงจรสำหรับการทดสอบคุณลักษณะถ่ายโอนทางไฟตรงของ CC-CDTA



ภาพที่ 1.2 คุณลักษณะถ่ายโอนทางไฟตรง

- 1.23 กำหนดค่าอุปกรณ์ในวงจรดังนี้ $V_{CC} = 3V$, $V_{EE} = -3V$, $I_{B1} = I_{B2} = 100\mu A$ และ $R_z = R_x = 1\Omega$ โดยตัวต้านทานทั้งสองต่อมาเพื่อเป็นภาระให้กับวงจร
- 1.24 เลือกการวิเคราะห์ห้วงจรแบบ DC sweep จากนั้นกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

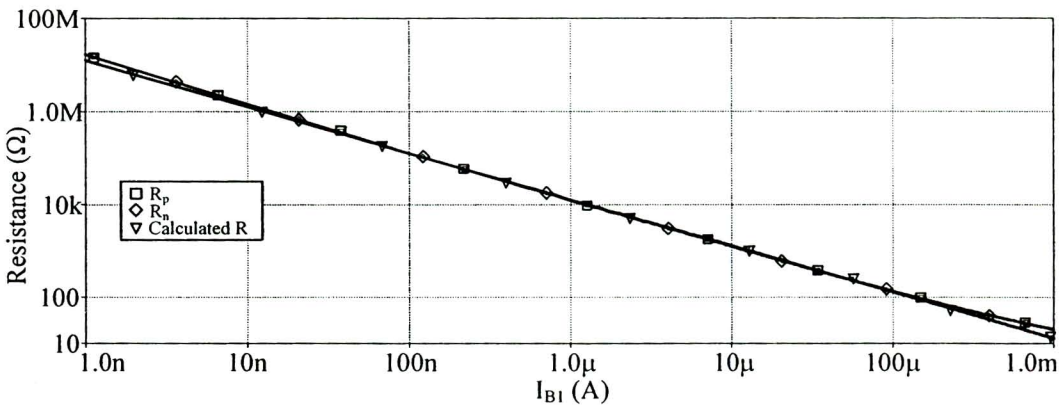
- 3.1.3 ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ I_p และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้
Start value: $-100\mu A$, End value: $100\mu A$ และ Increase: $1\mu A$ ($I_n = 0\mu A$)
- 3.1.4 เลือกที่ Parametric sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ I_n และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Value list แล้วพิมพ์ $-100\mu A, 0, 100\mu A$ ($I_p = 0\mu A$)
- 1.25 ใช้ Current marker วัดกระแส i_z นั่นคือกระแสที่ไหลผ่าน R_z จากนั้นทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงานแล้วบันทึกผลลงในภาพที่ 1.2
- 1.26 คำนวณกระแส i_z จากสมการที่ 1.1 แล้วนำค่าที่คำนวณได้พล็อตลงในภาพที่ 1.2 เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง
- 1.27 เปรียบเทียบค่ากระแส i_z ที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ
กระแส i_z ที่ได้จากการจำลองและการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งกับสมการที่ (1.1) นั่นคือ
กระแส i_z คือผลต่างของกระแส i_p กับ i_n
- 1.28 วาดวงจรตามภาพที่ 1.3 เพื่อวัดค่าความต้านทานแฝงที่ขั้ว p และ n (R_p และ R_n) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไบแอส I_{B1}



ภาพที่ 1.3 วงจรสำหรับการวัดค่าความต้านทานแฝง

- 1.29 กำหนดค่าแรงดัน $V_p = V_n = 20mV$
- 1.30 เลือกการวิเคราะห์วงจรแบบ DC sweep ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ I_{B1} และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้ Start value: $1nA$, End value: $1mA$ และ Increase: $100nA$
- 1.31 ใช้ Voltage marker วัดแรงดันที่ขั้ว p และ n (V_p และ V_n) ทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงาน

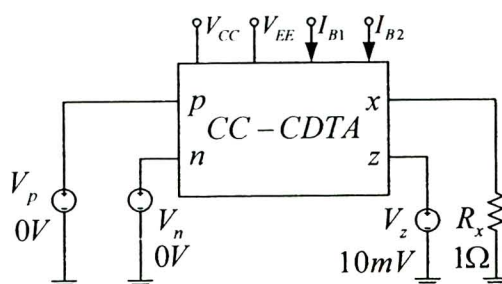
- 1.32 จากวงจรในภาพที่ 1.3 ค่าความต้านทานของ R_p และ R_n ก็คือแรงดันที่ตกคร่อมที่ขั้ว p และ n หารด้วยกระแสที่ไหลเข้าที่ขั้วทั้งสอง นั่นก็คือ $R_p = V_p / (-I_{Vp})$ และ $R_n = V_n / (-I_{Vn})$ โดยที่กระแส I_{Vp} จะเท่ากับกระแส i_p ส่วนกระแส I_{Vn} จะเท่ากับกระแส i_n แต่ทิศทางของกระแสทั้งสองจะตรงข้ามกัน ดังนั้นเพื่อแสดงค่าความต้านทาน R_p และ R_n ที่หน้าต่างผลการรันหรือผลการจำลอง ให้นำค่าแรงดันที่ขั้ว p และ n หารด้วยกระแส $-I_{Vp}$ และ $-I_{Vn}$ ซึ่งทำได้โดยดับเบิลคลิกที่ตัวอักษร V(Vp:+) ที่อยู่ด้านล่างซ้ายของหน้าต่างผลการจำลองจะปรากฏหน้าต่าง Modify trace แล้วในช่อง Trace expression ให้พิมพ์ $(V(Vp:+) / (-I(Vp)))$ ทำเช่นเดียวกันเพื่อวัดค่าความต้านทาน R_n โดยการดับเบิลคลิกที่ตัวอักษร V(Vn:+) ที่อยู่ด้านล่างซ้ายของหน้าต่างผลการจำลองจะปรากฏหน้าต่าง Modify trace แล้วในช่อง Trace expression ให้พิมพ์ $(V(Vn:+) / (-I(Vn)))$
- 1.33 เนื่องจากค่าความต้านทาน R_p และ R_n มีค่าอยู่ในช่วงโอห์มถึงเมกะโอห์ม (แสดงในแกน Y) เช่นเดียวกับค่ากระแสไบแอส I_{BI} ที่มีค่าอยู่ในช่วงนาโนแอมป์ถึงมิลลิแอมป์ (แสดงในแกน X) ซึ่งการแสดงค่าดังกล่าวในสเกลแบบเชิงเส้นจึงไม่สามารถเห็นการเปลี่ยนแปลงของเส้นกราฟได้ ดังนั้นสเกลในแกน X และ Y จึงต้องเป็นสเกลแบบล็อก (Log) ซึ่งทำได้ดังนี้ ในหน้าต่างผลการจำลองให้เข้าไปที่เมนู Plot แล้วเลือกที่ Axis settings ก็จะปรากฏหน้าต่าง Axis settings คลิกที่ X Axis ที่ Scale ให้เลือก Log จากนั้นไปกำหนดแกน Y ด้วย ให้คลิกที่ Y Axis ที่ Scale ให้เลือก Log เช่นเดียวกับแกน X แล้วจึงเลือกตกลง ก็จะสามารถเห็นกราฟค่าความต้านทาน R_p และ R_n ได้ชัดเจนยิ่งขึ้น จากนั้นวาดกราฟดังกล่าวลงในภาพที่ 1.4
- 1.34 คำนวณค่าความต้านทาน R_p และ R_n ($R_p = R_n = V_T / 2I_{BI}$) จากสมการที่ 1.2 แล้วนำค่าที่คำนวณได้พล็อตลงในภาพที่ 1.4 เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง



ภาพที่ 1.4 ความต้านทาน R_p และ R_n เทียบกับกระแสไบแอส I_{BI}

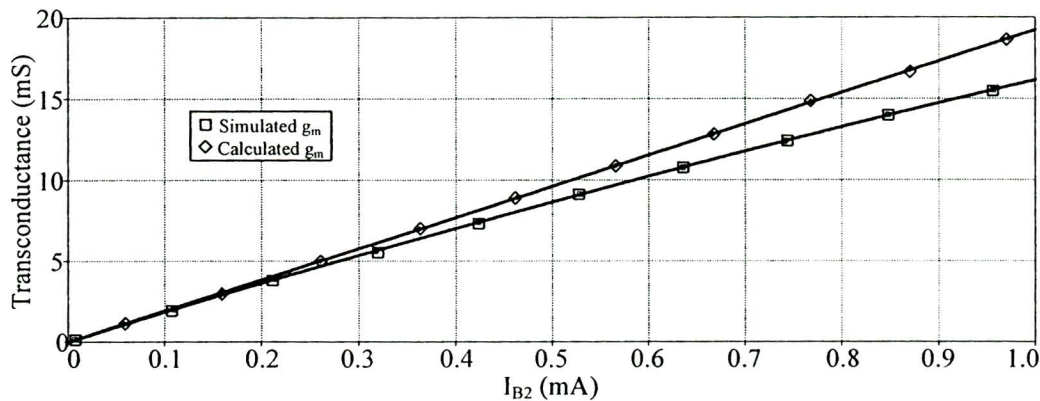
- 1.35 เปรียบเทียบค่าความต้านทาน R_p และ R_n ที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ

ค่าความต้านทาน R_p และ R_n ที่ได้จากการจำลองและการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ (1.2) นั่นคือ สามารถปรับค่า R_p และ R_n ได้ด้วย I_{B1}



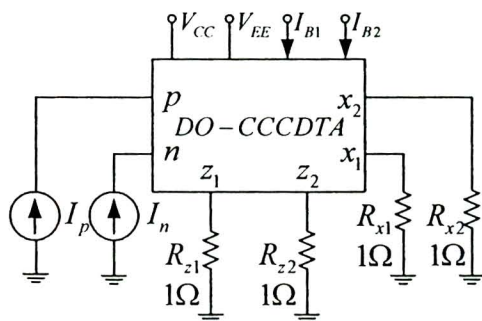
ภาพที่ 1.5 วงจรสำหรับการวัดค่าความนำถ่ายโอนของ CC-CDTA

- 1.36 วาดวงจรตามภาพที่ 1.5 เพื่อวัดค่าความนำถ่ายโอน (g_m) เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไบแอส I_{B2}
- 1.37 กำหนดค่าแรงดัน $V_p = V_n = 0V$ และ $V_z = 10mV$
- 1.38 เลือกการวิเคราะห์ห้วงจรแบบ DC sweep ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ I_{B2} และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้ Start value: $1nA$, End value: $1mA$ และ Increase: $100nA$
- 1.39 ใช้ Current marker วัดกระแส i_x หรือวัดกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R_x ทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงาน
- 1.40 จากสมการที่ 1.1 ค่า g_m คือกระแส i_x หารด้วยแรงดัน V_z ดังนั้นเพื่อแสดงค่า g_m ที่หน้าต่างผลการจำลองให้นำค่ากระแส i_x หรือกระแสที่ไหลผ่าน R_x (I_{Rx}) หารด้วย V_z ซึ่งทำได้โดยดับเบิลคลิกที่ตัวอักษร $I(Rx)$ ที่อยู่ด้านล่างซ้ายของหน้าต่างผลการจำลองจะปรากฏหน้าต่าง Modify trace แล้วในช่อง Trace expression ให้พิมพ์ $(-I(Rx) / V(Vz:))$ วาดกราฟความนำถ่ายโอนลงในภาพที่ 1.6
- 1.41 คำนวณค่าความนำถ่ายโอน ($g_m = I_{B2} / 2V_T$) จากสมการที่ 1.3 แล้วนำค่าที่คำนวณได้พล็อตลงในภาพที่ 1.6 เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง



ภาพที่ 1.6 ความนำถ่ายโอน (g_m) เทียบกับกระแสไบแอส I_{B2}

1.42 เปรียบเทียบค่าความนำถ่ายโอนที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ
ค่าความนำถ่ายโอนที่ได้จากการจำลองและการคำนวณมีต่างกันมากขึ้นตามค่า I_{B2} แต่ค่าความ
นำถ่ายโอนก็ยังสามารถควบคุมได้ด้วย I_{B2} ซึ่งสอดคล้องกับสมการที่ (1.3)



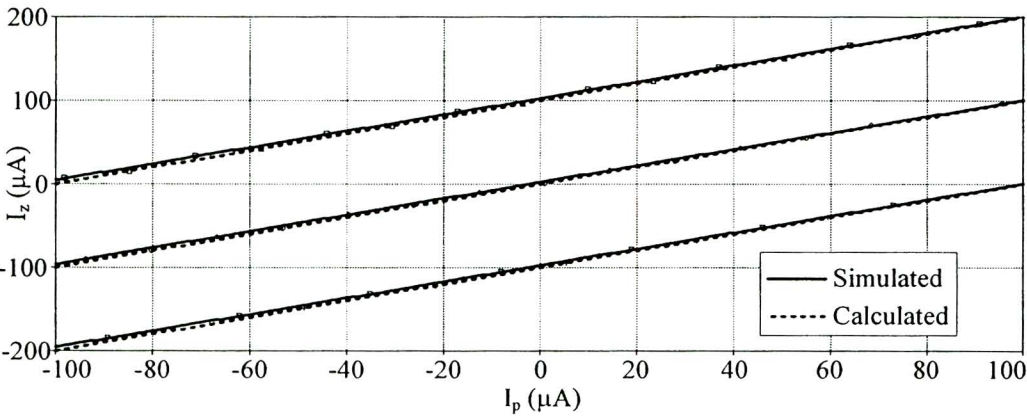
ภาพที่ 1.7 วงจรสำหรับการทดสอบคุณลักษณะถ่ายโอนทางไฟตรงของ DO-CCCDTA

ตอนที่ 2 การทดสอบคุณลักษณะของ DO-CCCDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น

13. วาดวงจรตามภาพที่ 1.7 เพื่อทดสอบคุณลักษณะถ่ายโอนทางไฟตรง (DC characteristic) ของ DO-CCCDTA
14. กำหนดค่าอุปกรณ์ในวงจรดังนี้ $V_{CC} = 3V$, $V_{EE} = -3V$, $I_{B1} = I_{B2} = 100\mu A$ และ $R_{z1} = R_{z2} = 1\Omega$ และ $R_{x1} = R_{x2} = 1\Omega$
15. เลือกการวิเคราะห์วงจรแบบ DC sweep จากนั้นกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้
24.1.3 ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ Ip และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้
Start value: $-100\mu A$, End value: $100\mu A$ และ Increase: $1\mu A$ ($I_n = 0\mu A$)

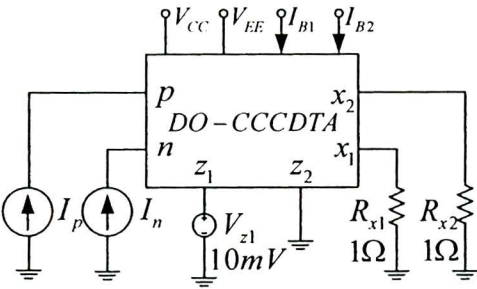
24.1.4 เลือกที่ Parametric sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ In และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Value list แล้วพิมพ์ $-100\mu A, 0, 100\mu A$ ($I_p = 0\mu A$)

16. ใช้ Current marker วัดกระแส i_{z1} และ i_{z2} นั่นคือกระแสที่ไหลผ่าน R_{z1} และ R_{z2} จากนั้นทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงานแล้วบันทึกผลลงในภาพที่ 1.8
17. คำนวณกระแส i_{z1} และ i_{z2} ($i_{z1} = i_{z2} = i_p - i_n$) จากสมการที่ 1.1 แล้วนำค่าที่คำนวณได้พล็อตลงในภาพที่ 1.8 เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง



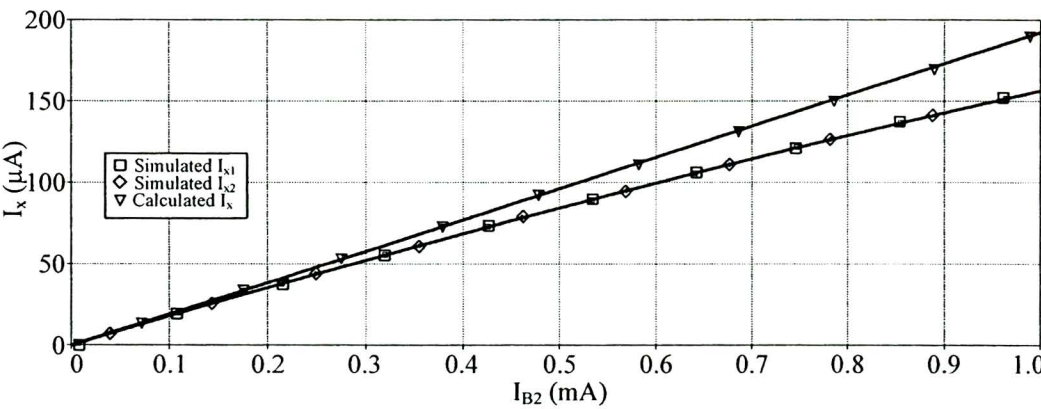
ภาพที่ 1.8 คุณลักษณะถ่ายโอนทางไฟตรงของ DO-CCCDTA

18. เปรียบเทียบค่ากระแส i_{z1}, i_{z2} ที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ
ค่ากระแส i_{z1}, i_{z2} ที่ได้จากการจำลองและการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกัน นั่นคือ i_{z1}, i_{z2} มีค่าเท่ากันและเป็น ผลต่างของกระแส i_p กับ i_n
19. วาดวงจรตามภาพที่ 1.9 เพื่อวัดกระแสที่ขั้ว x_1 และ x_2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไบแอส I_{B2}
20. กำหนดค่าแรงดัน $I_p = I_n = 0A$ และ $V_{z1} = 10mV$
21. เลือกการวิเคราะห์วงจรแบบ DC sweep ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ I_{B2} และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้ Start value: $1nA$, End value: $1mA$ และ Increase: $100nA$



ภาพที่ 1.9 วงจรสำหรับการวัดกระแสที่ขั้ว x_1 และ x_2

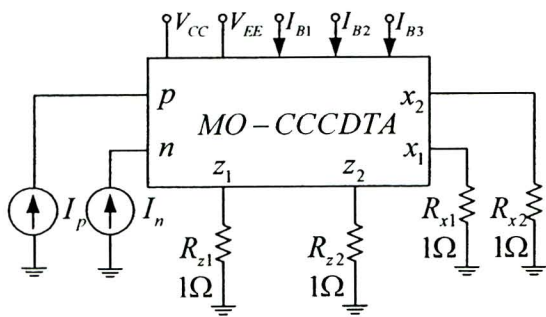
22. ใช้ Current marker วัดกระแส i_{x1} และ i_{x2} หรือวัดกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R_{x1} และ R_{x2} ตามลำดับ แล้วทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงานบันทึกผลลงในภาพที่ 1.10
23. คำนวณกระแส i_{x1} และ i_{x2} ($i_{x1} = i_{x2} = g_m V_{z1}$) เมื่อ $g_m = I_{B2} / 2V_T$ แล้วนำค่าที่คำนวณได้พล็อตลงในภาพที่ 1.10 เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง
24. เปรียบเทียบค่ากระแส i_{x1} , i_{x2} ที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ
- ค่ากระแส i_{x1} , i_{x2} ที่ได้จากการจำลองและการคำนวณมีความต่างกันมากขึ้นตามค่าของ I_{B2} แต่ i_{x1} , i_{x2} ยังคงสามารถควบคุมได้ด้วย I_{B2}



ภาพที่ 1.10 กระแส i_{x1} , i_{x2} เทียบกับกระแสไบแอส I_{B2}

ตอนที่ 3 การทดสอบคุณลักษณะของ MO-CCCDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น

3.19 วาดวงจรตามภาพที่ 1.11 เพื่อทดสอบคุณลักษณะถ่ายโอนทางไฟตรง (DC characteristic) ของ MO-CCCDTA



ภาพที่ 1.11 วงจรสำหรับการทดสอบคุณลักษณะถ่ายโอนทางไฟตรงของ MO-CCCDTA

3.20 กำหนดค่าอุปกรณ์ในวงจรดังนี้ $V_{CC} = 3V$, $V_{EE} = -3V$, $I_{B1} = I_{B2} = I_{B3} = 100\mu A$ และ

$R_{z1} = R_{z2} = 1\Omega$ และ $R_{x1} = R_{x2} = 1\Omega$

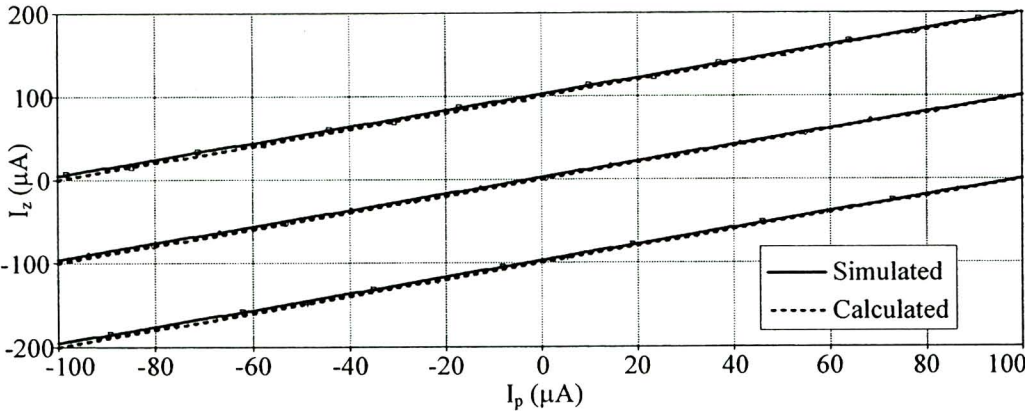
3.21 เลือกการวิเคราะห์ห้วงจรแบบ DC sweep จากนั้นกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้

36.3 ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ Ip และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้ Start value: $-100\mu A$, End value: $100\mu A$ และ Increase: $1\mu A$

36.4 เลือกที่ Parametric sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ In และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Value list แล้วพิมพ์ $-100\mu A, 0, 100\mu A$

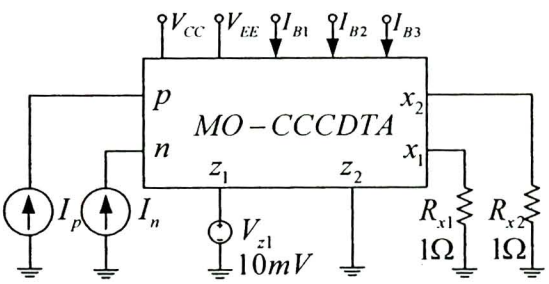
3.22 ใช้ Current marker วัดกระแส i_{z1} และ i_{z2} นั่นก็คือกระแสที่ไหลผ่าน R_{z1} และ R_{z2} จากนั้นทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงานแล้วบันทึกผลลงในภาพที่ 1.12

3.23 คำนวณกระแส i_{z1} และ i_{z2} ($i_{z1} = i_{z2} = i_p - i_n$) จากสมการที่ 1.4 แล้วนำค่าที่คำนวณได้พล็อตลงในภาพที่ 1.12 เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง



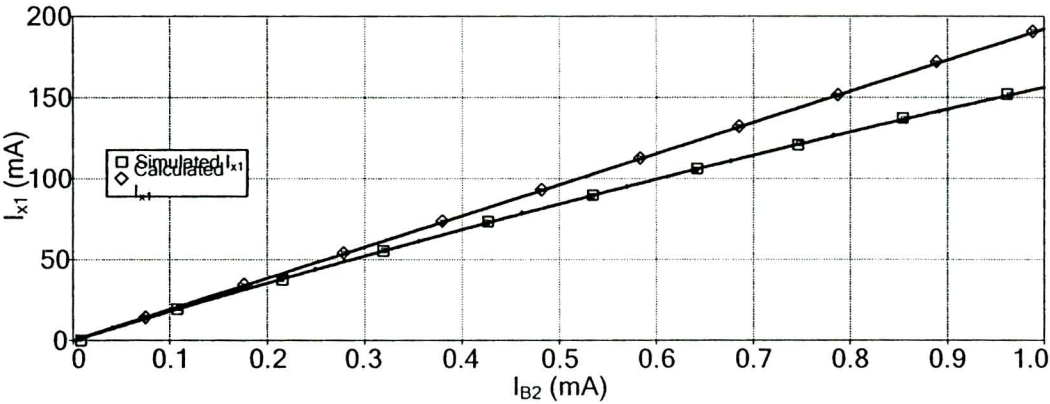
ภาพที่ 1.12 คุณลักษณะถ่ายโอนทางไฟตรงของ MO-CCCDTA

3.24 เปรียบเทียบค่ากระแส i_{z1} , i_{z2} ที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ
ค่ากระแส i_{z1} , i_{z2} ที่ได้จากการจำลองและการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกัน นั่นคือ i_{z1} , i_{z2} มีค่า
เท่ากันและเป็นผลต่างของกระแส i_p กับ i_n



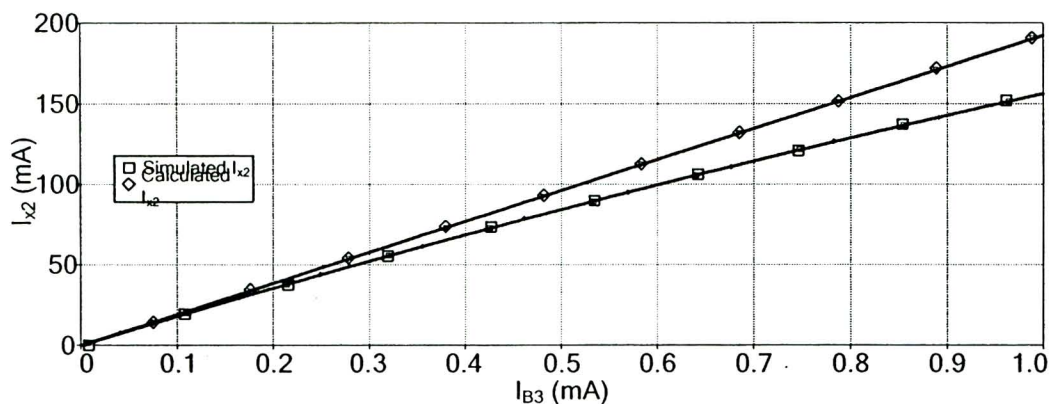
ภาพที่ 1.13 วงจรสำหรับการวัดกระแสที่ขั้ว x_1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไบแอส I_{B2}

- 3.25 วาดวงจรตามภาพที่ 1.13 เพื่อวัดกระแสที่ขั้ว x_1 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไบแอส I_{B2}
- 3.26 กำหนดค่าแรงดัน $I_p = I_n = 0A$ และ $V_{z1} = 10mV$
- 3.27 เลือกการวิเคราะห์ห้วงจรแบบ DC sweep ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ I_{B2} และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้ Start value: $1nA$, End value: $1mA$ และ Increase: $100nA$
- 3.28 ใช้ Current marker วัดกระแส i_{x1} หรือวัดกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R_{x1} แล้วทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงานบันทึกผลลงในภาพที่ 1.14
- 3.29 คำนวณกระแส i_{x1} ($i_{x1} = g_{m1} V_{z1}$) เมื่อ $g_{m1} = I_{B2} / 2V_T$ แล้วนำค่าที่คำนวณได้พล็อตลงในภาพที่ 1.14 เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง



ภาพที่ 1.14 กระแส i_{x1} เทียบกับกระแสไบแอส I_{B2}

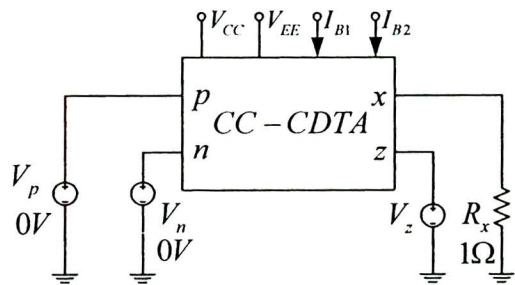
- 3.30 เปรียบเทียบค่ากระแส i_{x1} ที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ
ค่ากระแส i_{x1} ที่ได้จากการจำลองและการคำนวณมีความต่างกันมากขึ้นตามค่าของ I_{B2} แต่ i_{x1}
ยังคงสามารถควบคุมได้ด้วย I_{B2}
- 3.31 วาดวงจรตามภาพที่ 1.13 เพื่อวัดกระแสที่ขั้ว x_2 เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไบแอส I_{B3}
- 3.32 กำหนดค่าแรงดัน $I_p = I_n = 0A$ และ $V_{z1} = 10mV$
- 3.33 เลือกการวิเคราะห์ห้วงจรแบบ DC sweep ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้
เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ I_{B3} และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear
แล้วกำหนดค่าดังนี้ Start value: $1nA$, End value: $1mA$ และ Increase: $100nA$
- 3.34 ใช้ Current marker วัดกระแส i_{x2} หรือวัดกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R_{x2} แล้วทำการรัน
โปรแกรมเพื่อจำลองการทำงานบันทึกผลลงในภาพที่ 1.15
- 3.35 คำนวณกระแส i_{x2} ($i_{x2} = g_{m2}V_{z1}$) เมื่อ $g_{m2} = I_{B3}/2V_T$ แล้วนำค่าที่คำนวณได้พล็อตลงในภาพ
ที่ 1.15 เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง
- 3.36 เปรียบเทียบค่ากระแส i_{x2} ที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ
ค่ากระแส i_{x2} ที่ได้จากการจำลองและการคำนวณมีความต่างกันมากขึ้นตามค่าของ I_{B3} แต่ i_{x2}
ยังคงสามารถควบคุมได้ด้วย I_{B3}



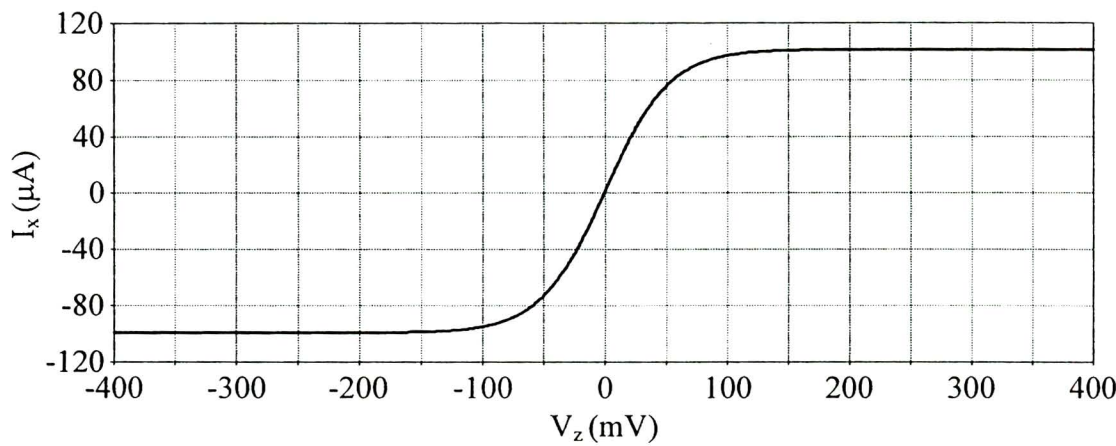
ภาพที่ 1.15 กระแส i_{x2} เทียบกับกระแสไบแอส I_{B3}

ตอนที่ 4 การทดสอบคุณลักษณะของ CC-CDTA ที่ทำงานในสถานะอิมิต์

- 4.12 วาดวงจรตามภาพที่ 1.16 เพื่อทดสอบเงื่อนไขของ CC-CDTA เพื่อทำงานในสถานะอิมิต์



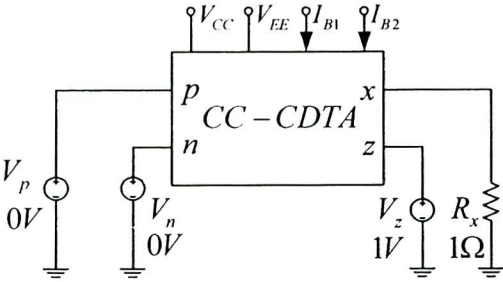
ภาพที่ 1.16 วงจรสำหรับการทดสอบเงื่อนไขของ CC-CDTA เพื่อทำงานในสภาวะอิ่มตัว



ภาพที่ 1.17 เงื่อนไขของ CC-CDTA เพื่อทำงานในสภาวะอิ่มตัว

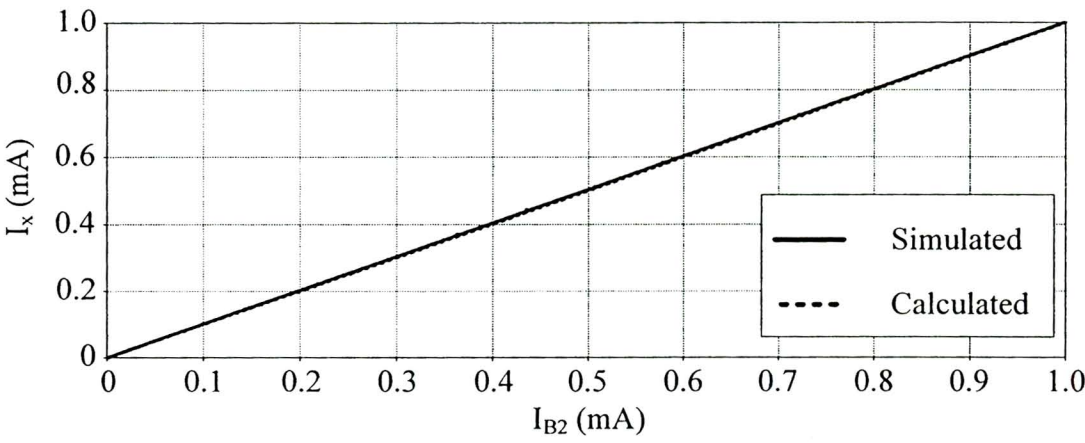
- 4.13 กำหนดค่าอุปกรณ์ในวงจรดังนี้ $V_{CC} = 3V$, $V_{EE} = -3V$, $I_{B1} = I_{B2} = 100\mu A$ และ $R_x = 1\Omega$
- 4.14 เลือกการวิเคราะห์ห้วงจรแบบ DC sweep จากนั้นกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้
- ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Voltage source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ V_z และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้
- Start value: $-400mV$, End value: $400mV$ และ Increase: $1mV$
- 4.15 ใช้ Current marker วัดกระแส i_x นั่นคือกระแสที่ไหลผ่าน R_x จากนั้นทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงานแล้วบันทึกผลลงในภาพที่ 1.16
- 4.16 จากผลการทดลองในภาพที่ 1.17 กระแส i_x มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อเปลี่ยนแปลง V_z และขนาดของ V_z มีค่าเท่าไรเมื่อ i_x เท่ากับ I_{B2}
- ขนาดของกระแส i_x มีการเปลี่ยนแปลงไปตาม V_z : ซึ่งมี 3 ช่วงด้วยกันคือ ช่วงที่ 1 เป็นการ
- ทำงานเป็นเชิงเส้นอยู่ระหว่าง V_z มีค่า $-30mV$ ถึง $30mV$ ขนาดของกระแส i_x จะมีค่าเท่ากับ

$g_m V_z$ ช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่ทำงานไม่เป็นเชิงเส้นอยู่ระหว่าง V_z มีค่า $-40mV$ ถึง $-160mV$ และ $40mV$ ถึง $160mV$ ขนาดของกระแส i_x จะมีค่าเท่ากับ $I_{B2} \tanh\left(\frac{V_z}{2V_T}\right)$ ช่วงที่ 3 เป็นช่วงที่ทำงานสภาวะอิ่มตัว อยู่ระหว่าง V_z มีค่าตั้งแต่ $-160mV$ และ $160mV$ เป็นต้นไป ขนาดของกระแส i_x จะมีค่าเท่ากับ I_{B2}



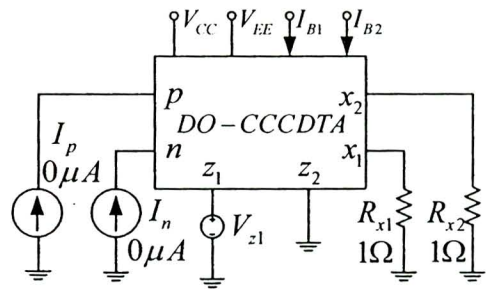
ภาพที่ 1.18 วงจรสำหรับการวัดทดสอบคุณลักษณะทางไฟตรงของ CC-CDTA เมื่อทำงานในสภาวะอิ่มตัว

- 4.17 วาดวงจรตามภาพที่ 1.18 เพื่อวัดค่ากระแส i_x เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไบแอส I_{B2}
- 4.18 กำหนดค่าแรงดัน $V_p = V_n = 0V$ และ $V_z = 1V$
- 4.19 เลือกการวิเคราะห์ห้วงจรแบบ DC sweep ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ I_{B2} และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้ Start value: $1nA$, End value: $1mA$ และ Increase: $100nA$
- 4.20 ใช้ Current marker วัดกระแส i_x หรือวัดกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R_x ทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงาน
- 4.21 คำนวณกระแส i_x ($i_x = I_{B2}$) แล้วนำค่าที่คำนวณได้พล็อตลงในภาพที่ 1.19 เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง
- 4.22 เปรียบเทียบค่ากระแส i_x ที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ
ค่ากระแส i_x ที่ได้จากการจำลองและการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกัน นั่นคือ i_x มีค่าเท่ากับ I_{B2}



ภาพที่ 1.19 กระแส i_x เทียบกับกระแสไบแอส I_{B2}

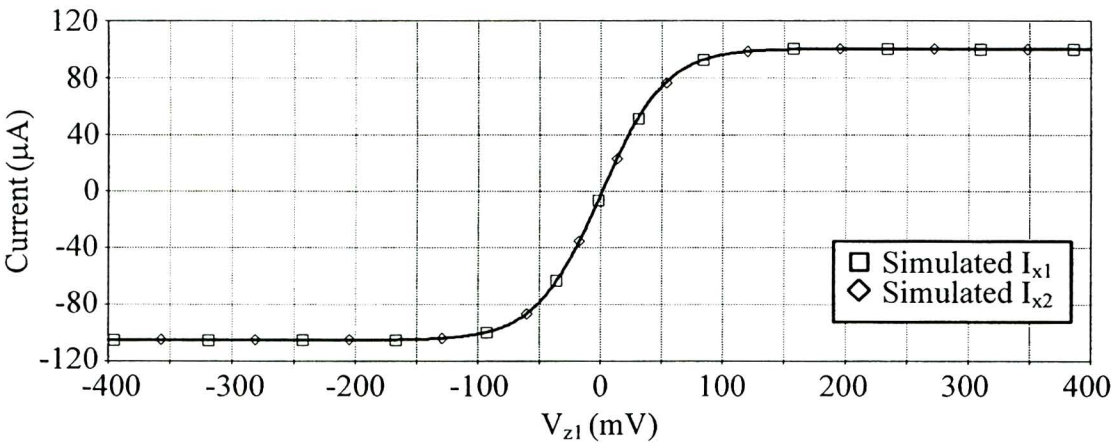
ตอนที่ 5 การทดสอบคุณลักษณะของ DO-CCCDTA ที่ทำงานในสถานะอิมิตัว



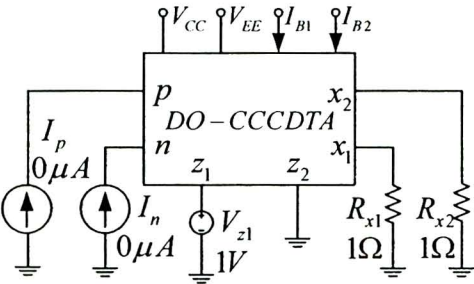
ภาพที่ 1.20 วงจรสำหรับการทดสอบเงื่อนไขของ DO-CCCDTA เพื่อทำงานในสถานะอิมิตัว

- 5.12 วาดวงจรตามภาพที่ 1.20 เพื่อทดสอบเงื่อนไขของ DO-CCCDTA เพื่อทำงานในสถานะอิมิตัว
- 5.13 กำหนดค่าอุปกรณ์ในวงจรดังนี้ $V_{CC} = 3V$, $V_{EE} = -3V$, $I_{B1} = I_{B2} = 100\mu A$ $R_{x1} = 1\Omega$ และ $R_{x2} = 1\Omega$
- 5.14 เลือกการวิเคราะห์วงจรแบบ DC sweep จากนั้นกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้
 ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Voltage source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ V_{z1} และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้
 Start value: $-400mV$, End value: $400mV$ และ Increase: $1mV$
- 5.15 ใช้ Current marker วัดกระแส i_{x1} และ i_{x2} นั่นคือกระแสที่ไหลผ่าน R_{x1} และ R_{x2} ตามลำดับ จากนั้นทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงานแล้วบันทึกผลลงในภาพที่ 1.21
- 5.16 จากผลการทดลองในภาพที่ 1.21 กระแส i_{x1} , i_{x2} มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อเปลี่ยนแปลง V_z และขนาดของ V_z มีค่าเท่าไรเมื่อ i_{x1} , i_{x2} เท่ากับ I_{B2}

ขนาดของกระแส i_{x1} , i_{x2} มีค่าเท่ากันและมีการเปลี่ยนแปลงไปตาม V_z :ซึ่งมี 3 ช่วงด้วยกันคือ ช่วงที่ 1 เป็นการทำงานเป็นเชิงเส้นอยู่ระหว่าง V_z มีค่า $-30mV$ ถึง $30mV$ ขนาดของกระแส i_{x1} , i_{x2} จะมีค่าเท่ากับ $g_m V_{z1}$ ช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่ทำงานไม่เป็นเชิงเส้นอยู่ระหว่าง V_{z1} มีค่า $-40mV$ ถึง $-160mV$ และ $40mV$ ถึง $160mV$ ขนาดของกระแส i_{x1} , i_{x2} จะมีค่าเท่ากับ $I_{B2} \tanh\left(\frac{V_{z1}}{2V_T}\right)$ ช่วงที่ 3 เป็นช่วงที่ทำงานสภาวะอิ่มตัว อยู่ระหว่าง V_{z1} มีค่าตั้งแต่ $-160mV$ และ $160mV$ เป็นต้นไป ขนาดของกระแส i_{x1} , i_{x2} จะมีค่าเท่ากับ I_{B2}



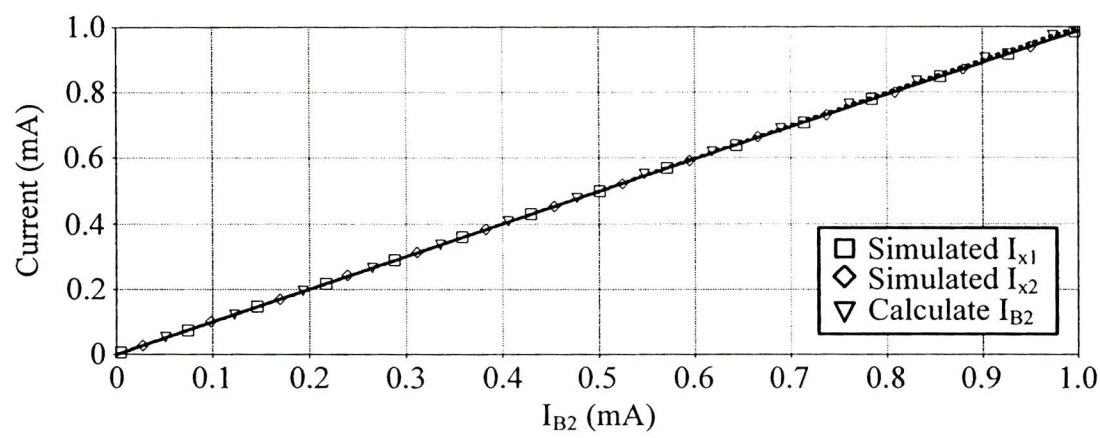
ภาพที่ 1.21 เงื่อนไขของ DO-CCCDTA เพื่อทำงานในสภาวะอิ่มตัว



ภาพที่ 1.22 วงจรสำหรับการวัดทดสอบคุณลักษณะทางไฟตรงของ CC-CDTA เมื่อทำงานในสภาวะอิ่มตัว

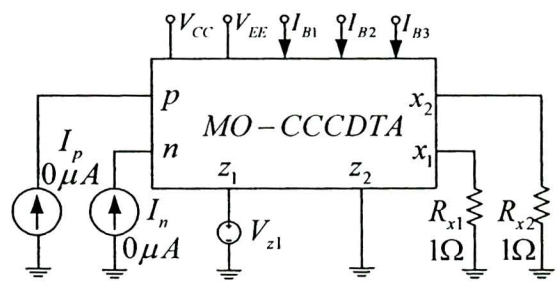
- 5.17 วาดวงจรตามภาพที่ 1.18 เพื่อวัดค่ากระแส i_{x1} , i_{x2} เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไบแอส I_{B2}
- 5.18 กำหนดค่าแรงดัน $I_p = I_n = 0\mu A$ $V_{z1} = 1V$ และ $V_{z2} = 0V$

- 5.19 เลือกการวิเคราะห์วงจรแบบ DC sweep ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ I_{B2} และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้ Start value: $1nA$, End value: $1mA$ และ Increase: $100nA$
- 5.20 ใช้ Current marker วัดกระแส i_{x1} , i_{x2} หรือวัดกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R_{x1} และ R_{x2} ตามลำดับ ทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงาน
- 5.21 คำนวณกระแส i_{x1} และ i_{x2} ($i_{x1} = i_{x2} = I_{B2}$) แล้วนำค่าที่คำนวณได้พล็อตลงในภาพที่ 1.23 เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง
- 5.22 เปรียบเทียบค่ากระแส i_{x1} , i_{x2} ที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ
- ค่ากระแส i_{x1} , i_{x2} ที่ได้จากการจำลองและการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกัน นั่นคือ i_{x1} , i_{x2} มีค่าเท่ากับ I_{B2}



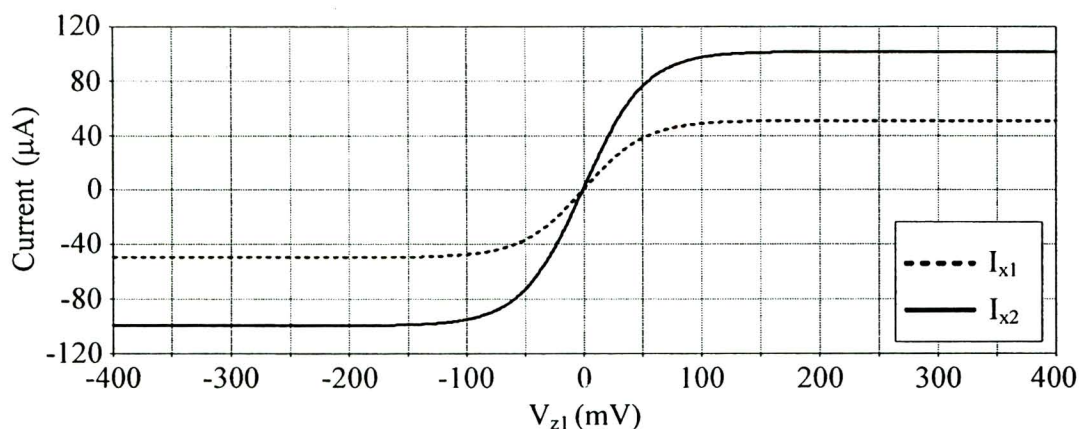
ภาพที่ 1.23 กระแส i_{x1} , i_{x2} เทียบกับกระแสไบแอส I_{B2}

ตอนที่ 6 การทดสอบคุณลักษณะของ MO-CCCDTA ที่ทำงานในสถานะอิมิตัว

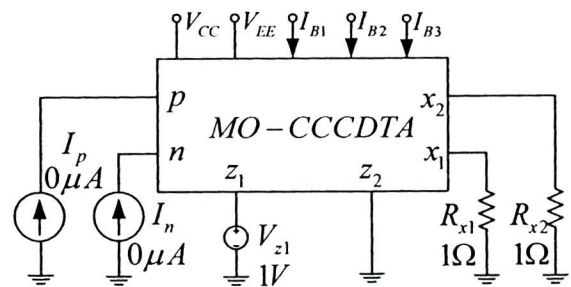


ภาพที่ 1.24 วงจรสำหรับการทดสอบเงื่อนไขของ MO-CCCDTA เพื่อทำงานในสถานะอิมิตัว

- 6.10 วาดวงจรตามภาพที่ 1.24 เพื่อทดสอบเงื่อนไขของ MO-CCCDTA เพื่อทำงานในสภาวะอิมิตัว
- 6.11 กำหนดค่าอุปกรณ์ในวงจรดังนี้ $V_{CC} = 3V$, $V_{EE} = -3V$, $I_{B1} = I_{B3} = 100\mu A$, $I_{B2} = 50\mu A$, $R_{x1} = 1\Omega$ และ $R_{x2} = 1\Omega$
- 6.12 เลือกการวิเคราะห์ห้วงจรแบบ D C s w e e p จากนั้นกำหนดค่าต่างๆ ดังนี้
 ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Voltage source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ V_{z1} และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้
 Start value: $-400mV$, End value: $400mV$ และ Increase: $1mV$
- 6.13 ใช้ Current marker วัดกระแส i_{x1} และ i_{x2} นั่นคือกระแสที่ไหลผ่าน R_{x1} และ R_{x2} ตามลำดับ จากนั้นทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงานแล้วบันทึกผลลงในภาพที่ 1.25
- 6.14 จากผลการทดลองในภาพที่ 1.25 กระแส i_{x1} , i_{x2} มีการเปลี่ยนแปลงอย่างไรเมื่อเปลี่ยนแปลง V_{z1} และขนาดของ V_{z1} มีค่าเท่าไรเมื่อ i_{x1} และ i_{x2} เท่ากับ I_{B2} และ I_{B3} ตามลำดับ
- ขนาดของกระแส i_{x1} และ i_{x2} มีการเปลี่ยนแปลงไปตาม V_{z1} : ซึ่งมี 3 ช่วงด้วยกันคือ ช่วงที่ 1 เป็นการทำงานเป็นเชิงเส้นอยู่ระหว่าง V_{z1} มีค่า $-30mV$ ถึง $30mV$ ขนาดของกระแส i_{x1} และ i_{x2} จะมีค่าเท่ากับ $g_{m1}V_{z1}$ และ $g_{m2}V_{z1}$ ตามลำดับ ช่วงที่ 2 เป็นช่วงที่ทำงานไม่เป็นเชิงเส้นอยู่ระหว่าง V_{z1} มีค่า $-40mV$ ถึง $-160mV$ และ $40mV$ ถึง $160mV$ ขนาดของกระแส i_{x1} และ i_{x2} จะมีค่าเท่ากับ $I_{B2} \tanh\left(\frac{V_{z1}}{2V_T}\right)$ และ $I_{B3} \tanh\left(\frac{V_{z1}}{2V_T}\right)$ ตามลำดับ ช่วงที่ 3 เป็นช่วงที่ทำงานสภาวะอิมิตัว อยู่ระหว่าง V_{z1} มีค่าตั้งแต่ $-160mV$ และ $160mV$ เป็นต้นไป ขนาดของกระแส i_{x1} และ i_{x2} จะมีค่าเท่ากับ I_{B2} และ I_{B3} ตามลำดับ

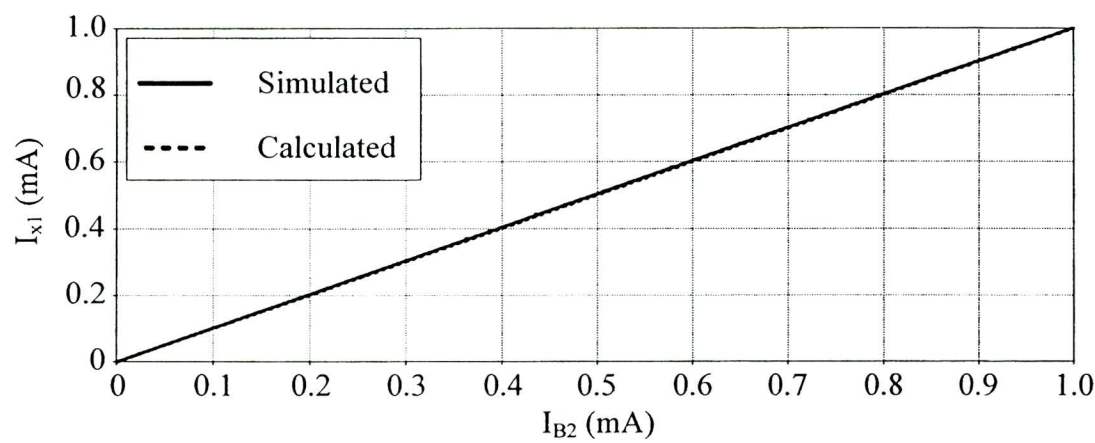


ภาพที่ 1.25 เงื่อนไขของ MO-CCCDTA เพื่อทำงานในสภาวะอิมิตัว

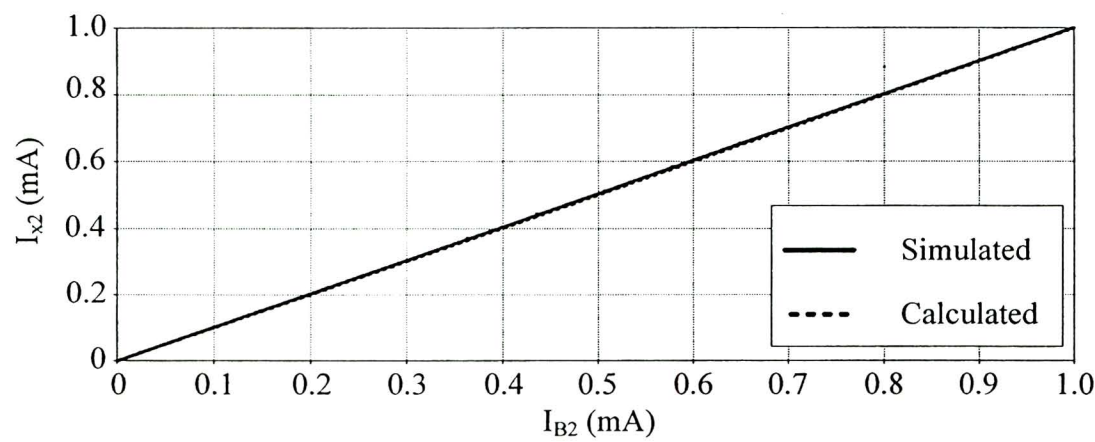


ภาพที่ 1.26 วงจรสำหรับการวัดทดสอบคุณลักษณะทางไฟตรงของ MO-CCCDTA เมื่อทำงานในสถานะอิมิตัว

- 6.15 วาดวงจรตามภาพที่ 1.26 เพื่อวัดค่ากระแส i_{x1} และ i_{x2} เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงกระแสไบแอส I_{B2} และ I_{B3} ตามลำดับ
- 6.16 กำหนดค่าแรงดัน $I_p = I_n = 0\mu A$ $V_{z1} = 1V$ และ $V_{z2} = 0V$
- 6.17 เลือกการวิเคราะห์ห้วงจรแบบ DC sweep
- 6.8.7 ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ I_{B2} และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้
Start value: $1nA$, End value: $1mA$ และ Increase: $100nA$
- 6.8.8 ใช้ Current marker วัดกระแส i_{x1} หรือวัดกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R_{x1} ทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงาน
- 6.8.9 คำนวณกระแส i_{x1} ($i_{x1} = I_{B2}$) แล้วนำค่าที่คำนวณได้พล็อตลงในภาพที่ 1.27 เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง
- 6.8.10 ที่ Primary sweep จะมีหน้าต่าง Sweep variable ให้เลือกที่ Current source ในช่อง Name: ให้พิมพ์ I_{B3} และในหน้าต่าง Sweep type เลือก Linear แล้วกำหนดค่าดังนี้
Start value: $1nA$, End value: $1mA$ และ Increase: $100nA$
- 6.8.11 ใช้ Current marker วัดกระแส i_{x2} หรือวัดกระแสที่ไหลผ่านตัวต้านทาน R_{x2} ทำการรันโปรแกรมเพื่อจำลองการทำงาน
- 6.8.12 คำนวณกระแส i_{x2} ($i_{x2} = I_{B3}$) แล้วนำค่าที่คำนวณได้พล็อตลงในภาพที่ 1.28 เพื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลอง
- 6.18 เปรียบเทียบค่ากระแส i_{x1} และ i_{x2} ที่ได้จากการจำลองกับค่าที่ได้จากการคำนวณ
ค่ากระแส i_{x1} และ i_{x2} ที่ได้จากการจำลองและการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกัน นั่นคือ i_{x1} และ i_{x2} มีค่าเท่ากับ I_{B2} และ I_{B3} ตามลำดับ



ภาพที่ 1.27 กระแส i_{x1} เทียบกับกระแสไบแอส I_{B2}



ภาพที่ 1.28 กระแส i_{x2} เทียบกับกระแสไบแอส I_{B3}

สรุปและอภิปรายผล

การทดสอบ CC-CDTA แบบต่างๆที่ทำงานในช่วงที่เป็นเชิงเส้น

CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงที่เป็นเชิงเส้น ขนาดของกระแสที่ขั้ว z จะมีค่าเท่ากับผลต่างของกระแสที่ขั้ว p กับ n โดยผลการจำลองเทียบกับการคำนวณพบว่ามีความสอดคล้องกัน ต่อมาทำการทดสอบค่าความต้านทานที่ขั้ว p และ n (R_p และ R_n) พบว่าสามารถปรับค่าความต้านทานได้ด้วย I_{B1} ช่วงค่าความต้านทานที่สามารถปรับได้คือ $19.92\Omega - 16.64M\Omega$ หรือสามารถปรับค่า I_{B1} ตั้งแต่ $1nA - 1mA$ ส่วนกระแสเอาต์พุตที่ขั้ว x เกิดจากการแปลงผันแรงดันที่ขั้ว z (V_z) ซึ่งขนาดของกระแสก็จะขึ้นกับค่าความนำถ่ายโอนที่ขั้ว x (g_m) ซึ่งสามารถปรับค่าได้จากกระแส I_{B2} จากการทดสอบ

ปรับ I_{B2} จาก $1nA-1mA$ พบว่าค่า g_m จะสอดคล้องกับสมการที่วิเคราะห์ไว้เมื่อ $I_{B2} = 1nA-0.3mA$ หรือมีค่า $g_m = 11.05nS-5.27mS$ นอกจากนี้พบว่า CC-CDTA จะทำงานในช่วงที่เป็นเชิงเส้น เมื่อแรงดันที่ขั้ว z อยู่ระหว่าง $-30mV$ ถึง $30mV$ เท่านั้น

DO-CCCDTA จะทำงานในช่วงเชิงเส้น เมื่อ V_{z1} ที่ค่าระหว่าง $-30mV$ ถึง $30mV$ โดยทั่วไปแล้ว DO-CCCDTA จะมีคุณสมบัติเหมือนกับ CC-CDTA แต่ DO-CCCDTA จะมีขั้ว z และ x สองขั้วคือ z_1, z_2 และ x_1, x_2 ตามลำดับ โดย z_1 และ z_2 มีขนาดและทิศทางเหมือนกัน เช่นเดียวกัน x_1 และ x_2 มีขนาดและทิศทางเหมือนกัน ส่วนค่า R_p, R_n และค่า g_m จากทดสอบพบว่า มีคุณสมบัติเหมือน CC-CDTA

จากการทดสอบคุณสมบัติของ MO-CCCDTA ที่ทำงานในช่วงที่เป็นเชิงเส้น จะคล้ายกับ DO-CCCDTA แต่ MO-CCCDTA สามารถควบคุมค่าความนำไอออนที่ขั้ว x_1 (g_{m1}) และ x_2 (g_{m2}) ได้อย่างอิสระจากกัน โดย g_{m1} และ g_{m2} สามารถควบคุมได้ด้วย I_{B2} และ I_{B3} ตามลำดับ ซึ่งทั้ง g_{m1} และ g_{m2} ปรับค่าได้อยู่ในช่วง $11.05nS-5.27mS$ หรือปรับกระแสไบแอสระหว่าง $1nA-0.3mA$

การทดสอบ CC-CDTA แบบต่างๆที่ทำงานในช่วงอิมิตัว

CC-CDTA จะทำงานในช่วงอิมิตัว เมื่อ V_z มีค่าตั้งแต่ $-160mV$ และ $160mV$ คุณสมบัติทั่วไปเหมือนกับ CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น แต่กระแสที่ขั้ว x จะมีค่าเท่ากับ I_{B2} เมื่อ V_z มีค่าตั้งแต่ $160mV$ และมีค่าเท่ากับ $-I_{B2}$ เมื่อ V_z มีค่าตั้งแต่ $-160mV$

จากการทดสอบพบว่า DO-CCCDTA จะทำงานในช่วงอิมิตัว เมื่อ V_{z1} มีค่าตั้งแต่ $-160mV$ และ $160mV$ โดยทั่วไปแล้ว DO-CCCDTA ที่ทำงานในช่วงอิมิตัว จะมีคุณสมบัติทั่วไปคล้ายกับ DO-CCCDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น แต่กระแสที่ขั้ว x_1 และ x_2 จะมีค่าเท่ากับ I_{B2} เมื่อ V_{z1} มีค่าตั้งแต่ $160mV$ และมีค่าเท่ากับ $-I_{B2}$ เมื่อ V_{z1} มีค่าตั้งแต่ $-160mV$

ในทำนองเดียวกัน MO-CCCDTA จะทำงานในช่วงอิมิตัว เมื่อ V_{z1} มีค่าตั้งแต่ $-160mV$ และ $160mV$ กระแสที่ขั้ว x_1 และ x_2 จะมีค่าเท่ากับ I_{B2} และ I_{B3} ตามลำดับ เมื่อ V_{z1} มีค่าตั้งแต่ $160mV$ และกระแสที่ขั้ว x_1 และ x_2 จะมีค่าเท่ากับ $-I_{B2}$ และ $-I_{B3}$ ตามลำดับ เมื่อ V_{z1} มีค่าตั้งแต่ $-160mV$

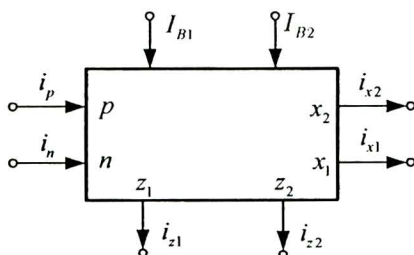
	CC-CDTA ที่ทำงานในช่วง อิมิต์และการประยุกต์ใช้งาน	แบบทดสอบเรื่องที่ 1 คุณสมบัติของ CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้นและ อิมิต์
---	--	--

1. ข้อใดกล่าวผิด

- ความต้านทานที่ขั้วเอาต์พุตทุกขั้วของ CC-CDTA เป็นอนันต์
- ความต้านทานที่ขั้วอินพุตของ CC-CDTA สามารถปรับค่าได้
- สามารถควบคุมขนาดของกระแสที่ขั้ว x ได้จากกระแสไบแอสภายนอก
- CC-CDTA สามารถรับอินพุตเป็นกระแสได้เพียงอย่างเดียว

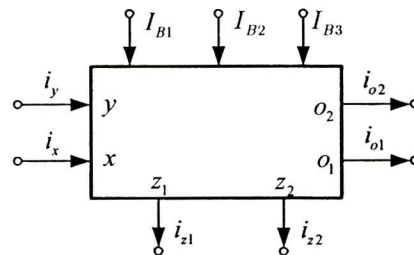
2. ข้อใดคือสัญลักษณ์ของ CC-CDTA

ก.

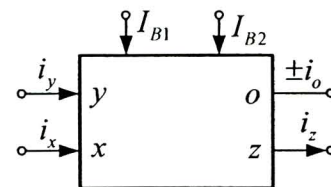
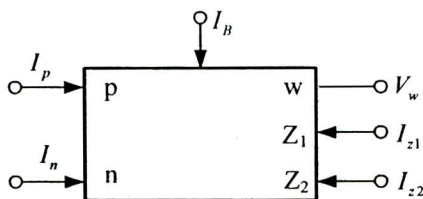


ข.

ค.



ง.

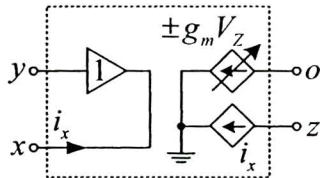


3. ข้อใดคือสมการคุณลักษณะของ DO-CCCDTA

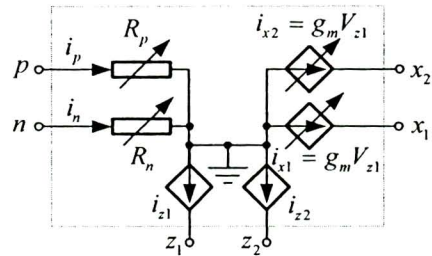
- $V_p = g_m \cdot V_z$
- $i_p = i_n = 0$
- $V_z = V_x$
- $I_{z1} = I_{z2}$

4. ข้อใดไม่ใช่วงจรสมมูลของ CC-CDTA

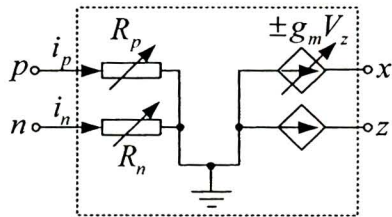
ก.



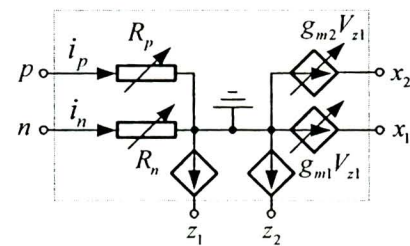
ข.



ค.



ง.



5. ข้อใดไม่ใช่สมการคุณลักษณะของ MO-CCCDTA

ก. $i_{x1} = g_{m1} V_z$

ข. $i_z = i_p - i_n$

ค. $R_p = R_n = \infty$

ง. $R_z = \infty$

6. ข้อใดกล่าวถึงลักษณะสมบัติของ DO-CCCDTA ได้ถูกต้องที่สุด

- ก. ความต้านทานที่ขั้วอินพุตทั้งสองสามารถปรับได้จากกระแสไบแอสอย่างอิสระจากกัน
- ข. ค่าความนำถ่ายโอนสามารถปรับได้จากกระแสไบแอสอย่างอิสระจากกัน
- ค. มีขั้ว z และขั้ว x อย่างละสองขั้วโดยกระแสที่ขั้ว z_1 เท่ากับ z_2 และกระแสที่ขั้ว x_1 เท่ากับ x_2
- ง. มีขั้ว x สองขั้วโดยขนาดของกระแสที่ขั้ว x_1 และ x_2 ควบคุมได้จากกระแสไบแอสอย่างอิสระจากกัน

7. ข้อใดกล่าวถึงลักษณะสมบัติของ CC-CDTA แบบหลายเอาต์พุต (MO-CCCDTA) ได้ถูกต้องที่สุด
- ความต้านทานที่ขั้วอินพุตทั้งสองสามารถปรับได้จากกระแสไบแอสอย่างอิสระจากกัน
 - มีขั้ว x สองขั้วโดยขนาดของกระแสที่ขั้ว x_1 และ x_2 ควบคุมได้จากกระแสไบแอสอย่างอิสระจากกัน
 - มีขั้ว z และขั้ว x อย่างละสองขั้วโดยกระแสที่ขั้ว z_1 เท่ากับ z_2 และกระแสที่ขั้ว x_1 เท่ากับ x_2 เสมอ
 - ค่าความนำถ่ายโอนไม่สามารถปรับได้จากกระแสไบแอสอย่างอิสระจากกัน
8. ข้อใดบอกความแตกต่างของ DO-CCCDTA กับ CC-CDTA ได้ถูกต้องที่สุด
- DO-CCCDTA มีขั้ว z และขั้ว x อย่างละสองขั้ว แต่ CC-CDTA มีขั้ว z และขั้ว x อย่างละขั้ว
 - ความนำถ่ายโอนของ DO-CCCDTA ควบคุมได้ แต่ CC-CDTA ควบคุมไม่ได้
 - ความต้านทานที่ขั้วอินพุตของ DO-CCCDTA ควบคุมไม่ได้ แต่ CC-CDTA ควบคุมได้
 - กระแสที่ขั้ว z และขั้ว x ของ DO-CCCDTA มีขนาดเท่ากัน แต่ CC-CDTA มีขนาดไม่เท่ากัน
9. DO-CCCDTA ถูกป้อนด้วยกระแส $I_{B1} = 260\mu A$ และ $I_{B2} = 130\mu A$ ค่าความนำถ่ายโอน (g_m) ค่าความต้านทาน R_p และ R_n เท่ากับข้อใด
- $g_m = 2.5mS$ และ $R_p = R_n = 50\Omega$
 - $g_m = 10.5mS$ และ $R_p = R_n = 100\Omega$
 - $g_m = 25.5mS$ และ $R_p = R_n = 1k\Omega$
 - $g_m = 35.5mS$ และ $R_p = R_n = 2.6k\Omega$
10. ข้อใดไม่ใช่สมการคุณลักษณะของ MO-CCCDTA ที่ทำงานในสภาวะอิ่มตัว
- $i_{x1} = g_m V_z$
 - $i_{z1} = i_p - i_n$
 - $R_p = R_n = \infty$
 - $R_z = \infty$

11. ข้อใดกล่าวถึงลักษณะสมบัติของ MO-CCCDTA ที่ทำงานในสถานะอิ่มตัว ได้ถูกต้องที่สุด

ก. มีขั้ว z สองขั้วโดยขนาดของกระแสที่ขั้ว z_1 และ z_2 คือเท่ากับกระแสไบแอส เมื่อ

$$V_{z1} \gg 2V_T$$

ข. มีขั้ว x สองขั้วโดยขนาดของกระแสที่ขั้ว x_1 และ x_2 คือเท่ากับกระแสไบแอส เมื่อ

$$V_{z1} \gg 2V_T$$

ค. มีขั้ว z สองขั้วโดยขนาดของกระแสที่ขั้ว z_1 และ z_2 คือเท่ากับกระแสไบแอส เมื่อ

$$V_{z1} \ll 2V_T$$

ง. มีขั้ว x สองขั้วโดยขนาดของกระแสที่ขั้ว x_1 และ x_2 คือเท่ากับกระแสไบแอส เมื่อ

$$V_{z1} \ll 2V_T$$

12. ข้อใดไม่ใช่สมการคุณลักษณะของ CC-CDTA ที่ทำงานในสถานะอิ่มตัว

ก. $i_x = I_{B2}$

ข. $i_z = i_p - i_n$

ค. $g_m = \frac{I_{B2}}{2V_T}$

ง. $R_p = R_n = \frac{V_T}{2I_{B1}}$

13. ข้อใดบอกความแตกต่างของ MO-CCCDTA กับ DO-CCCDTA ที่ทำงานในสถานะอิ่มตัว ได้ถูกต้องที่สุด

ก. MO-CCCDTA ขนาดของกระแสที่ขั้ว z_1 เท่ากับ z_2 แต่ DO-CCCDTA ขนาดของกระแสที่ขั้ว z_1 ไม่เท่ากับ z_2

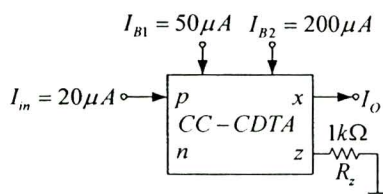
ข. MO-CCCDTA ขนาดของกระแสที่ขั้ว z_1 ไม่เท่ากับ z_2 แต่ DO-CCCDTA ขนาดของกระแสที่ขั้ว z_1 เท่ากับ z_2

ค. MO-CCCDTA ขนาดของกระแสที่ขั้ว x_1 จะไม่เท่ากับ x_2 เสมอไป แต่ DO-CCCDTA ขนาดของกระแสที่ขั้ว x_1 จะเท่ากับ x_2 เสมอไป

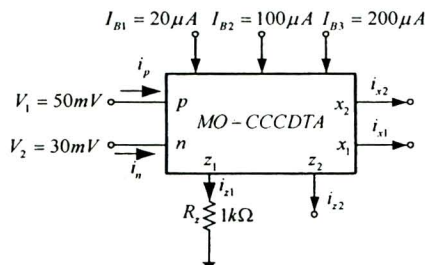
ง. MO-CCCDTA ขนาดของกระแสที่ขั้ว x_1 จะเท่ากับ x_2 เสมอไป แต่ DO-CCCDTA ขนาดของกระแสที่ขั้ว x_1 จะไม่เท่ากับ x_2 เสมอไป

14. ข้อใดบอกความแตกต่างของ CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้นกับช่วงอิ่มตัว ได้ถูกต้องที่สุด
- ก. CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น จะมีกระแสที่ขั้ว z เท่ากับ ผลต่างของกระแสที่ขั้ว p กับ n แต่ CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงอิ่มตัว จะมีกระแสที่ขั้ว z เท่ากับกระแสไบแอส
- ข. CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น จะมีแรงดันตกคร่อมที่ขั้ว z ต้องมีค่าน้อยกว่า $2V_T$ แต่ CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงอิ่มตัว จะมีแรงดันตกคร่อมที่ขั้ว z ต้องมีค่ามากกว่า $2V_T$
- ค. CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น จะควบคุมความต้านทานที่ขั้วอินพุตได้ แต่ CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงอิ่มตัว จะควบคุมความต้านทานที่ขั้วอินพุตไม่ได้
- ง. CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น จะมีกระแสที่ขั้ว z เท่ากับ ผลต่างของกระแสที่ขั้ว p กับ n แต่ CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงอิ่มตัว จะมีกระแสที่ขั้ว z เท่ากับกระแสไบแอส
15. ข้อใดแสดงถึง CC-CDTA ทำงานในสภาวะอิ่มตัว

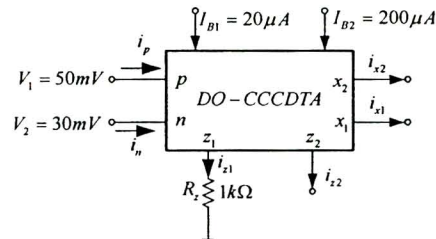
ก.



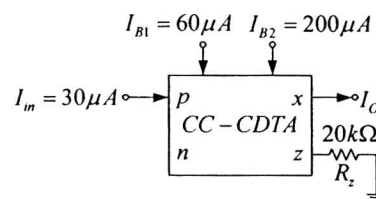
ค.



ข.



ง.



	CC-CDTA ที่ทำงานในช่วง อัมตวและการประกยุดไ้	เฉลยแบบทดสอบเรื่องที่ 1 คุณสมบัติของ CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้นและ
---	--	--

ข้อ	ก	ข	ค	ง	ข้อ	ก	ข	ค	ง	ข้อ	ก	ข	ค	ง	ข้อ	ก	ข	ค	ง
1	X				16					31					46				
2	X				17					32					47				
3				X	18					33					48				
4	X				19					34					49				
5			X		20					35					50				
6			X		21					36					51				
7		X			22					37					52				
8	X				23					38					53				
9	X				24					39					54				
10			X		25					40					55				
11		X			26					41					56				
12			X		27					42					57				
13			X		28					43					58				
14		X			29					44					59				
15				X	30					45					60				

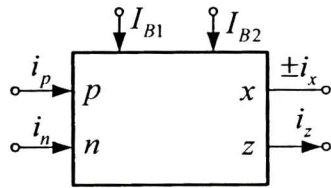
	CC-CDTA ที่ทำงานในช่วง อัมตวและการประกยค้ใช้	แบบทดสอบวัด ผลลัษณฤทธื้ทางการเรเรียน
---	---	---

คำชี้แจง

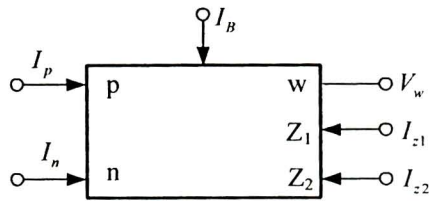
- 1. ข้อสอบเป็นแบบปรนัย มีทั้งหมด 45 ข้อ 45 คะแนน แบ่งออกเป็น 5 เรื่องดังนี้
 - 1.1 คุณสมบัติของ CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้นและอัมตวจำนวน 16 ข้อ 16 คะแนน
 - 1.2 วงจรสมิตต์ทริกเกอร์ จำนวน 12 ข้อ 12 คะแนน
 - 1.3 วงจรกำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยม จำนวน 5 ข้อ 5 คะแนน
 - 1.4 วงจรมอดูเลตความกว้างพัลส์ จำนวน 7 ข้อ 7 คะแนน
 - 1.5 วงจร โมโนสแตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ จำนวน 5 ข้อ 5 คะแนน
- 2. ให้เลือกคำตอบที่ถูกที่สุดลงในกระดาษคำตอบ
- 3. ห้ามนำเอกสาร ตำรา คอมพิวเตอร์เข้าห้องสอบ
- 4. ให้ใช้เครื่องคำนวณได้
- 5. เวลา 90 นาที

1. ข้อใดคือสัญลักษณ์ของ CC-CDTA แบบหลายเอาต์พุต (MO-CCCDTA)

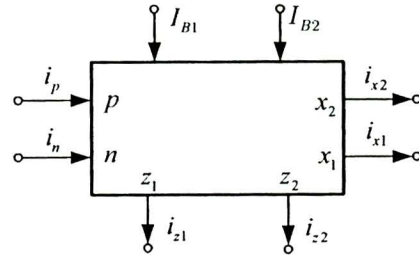
ก.



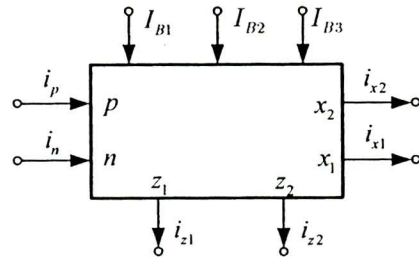
ค.



ข.

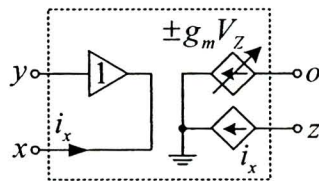


ง.

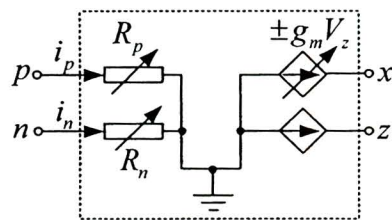


2. ข้อใดคือวงจรสมมูลของ DO-CCCDTA

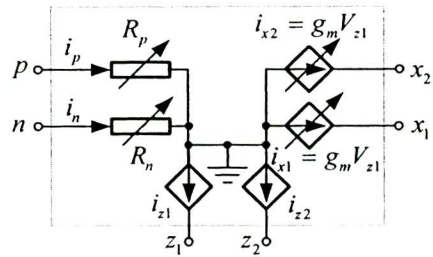
ก.



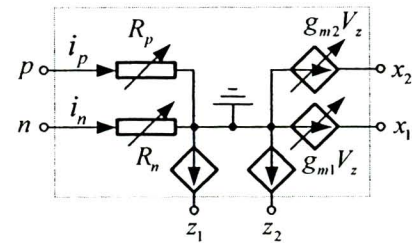
ค.



ข.



ง.



3. ข้อใดไม่ใช่สมการคุณสมบัติของ CC-CDTA

ก. $i_{x1} = g_{m1} V_z$

ข. $i_z = i_p - i_n$

ค. $R_p = R_n = \infty$

ง. $R_z = \infty$

4. ข้อใดคือสมการคุณสมบัติของ MO-CCCDTA

ก. $V_p = g_m V_z$

ข. $i_p = i_n = 0$

ค. $V_z = V_x$

ง. $I_{z1} = I_{z2}$

5. ข้อใดกล่าวผิด

ก. สามารถควบคุมขนาดของกระแสที่ขั้ว x ได้จากกระแสไบแอสภายนอก

ข. ความต้านทานที่ขั้วอินพุตของ DO-CCCDTA สามารถปรับค่าได้

ค. ความต้านทานที่ขั้วอินพุตทุกขั้วของ CC-CDTA เป็นอนันต์

ง. มีขั้ว x ของ MO-CCCDTA สองขั้ว โดยขนาดของกระแสที่ขั้ว x_1 และ x_2 ควบคุมได้จากกระแสไบแอสอย่างอิสระจากกัน

6. ข้อใดกล่าวถึงลักษณะสมบัติของ DO-CCCDTA ได้ถูกต้องที่สุด

ก. ความต้านทานที่ขั้วอินพุตทั้งสองสามารถปรับได้จากกระแสไบแอสอย่างอิสระจากกัน

ข. มีขั้ว z และขั้ว x อย่างละสองขั้ว โดยกระแสที่ขั้ว z_1 เท่ากับ z_2 และกระแสที่ขั้ว x_1 เท่ากับ x_2

ค. ค่าความนำถ่ายโอนสามารถปรับได้จากกระแสไบแอสอย่างอิสระจากกัน

ง. มีขั้ว z สองขั้ว โดยขนาดของกระแสที่ขั้ว z_1 และ z_2 ควบคุมได้จากกระแสไบแอสอย่างอิสระจากกัน

7. CC-CDTA ถูกป้อนด้วยกระแส $I_{B1} = 10\mu A$ และ $I_{B2} = 100\mu A$ ค่าความต้านทาน R_p และ R_n จะเท่ากับข้อใด

ก. $R_p = R_n = 1.3k\Omega$

ข. $R_p = R_n = 2.6k\Omega$

ค. $R_p = R_n = 5.2k\Omega$

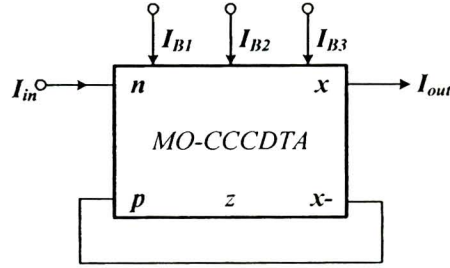
ง. $R_p = R_n = 10.4k\Omega$

8. ต้องการให้ค่าความต้านทาน R_p และ R_n เท่ากับ $1k\Omega$ ของ DO-CCCDTA ข้อใดถูกต้อง

ก. ให้ $I_{B1} = 13\mu A$

- ข. ให้ $I_{B1} = 26\mu A$
- ค. ให้ $I_{B2} = 13\mu A$
- ง. ให้ $I_{B2} = 26\mu A$
9. MO-CCCDTA ถูกป้อนด้วยกระแส $I_{B1} = 100\mu A$ $I_{B2} = 26\mu A$ และ $I_{B3} = 52\mu A$ ค่าความนำถ่ายโอน (g_m) จะเท่ากับข้อใด
- ก. $g_{m1} = 1.92mS$ และ $g_{m2} = 0.5mS$
- ข. $g_{m1} = 0.5mS$ และ $g_{m2} = 1mS$
- ค. $g_{m1} = 1.92mS$ และ $g_{m2} = 1mS$
- ง. $g_{m1} = 0.5mS$ และ $g_{m2} = 0.5mS$
10. ต้องการให้ค่าความนำถ่ายโอนของ CC-CDTA เท่ากับ $5mS$ ข้อใดถูกต้อง
- ก. ให้ $I_{B1} = 130\mu A$
- ข. ให้ $I_{B1} = 260\mu A$
- ค. ให้ $I_{B2} = 130\mu A$
- ง. ให้ $I_{B2} = 260\mu A$
11. ข้อใดไม่ใช่สมการคุณสมบัติของ MO-CCCDTA ที่ทำงานในสถานะอิ่มตัว
- ก. $i_{x1} = g_{m1}V_{z1}$
- ข. $i_z = i_p - i_n$
- ค. $R_p = R_n = \frac{V_T}{2I_{B1}}$
- ง. $R_z = \infty$
12. ข้อใดคือสมการคุณสมบัติของ DO-CCCDTA ที่ทำงานในสถานะอิ่มตัว
- ก. $i_p = g_m V_{z1}$
- ข. $i_p = i_n = 0$
- ค. $V_z = V_x$
- ง. $I_{x1} = I_{x2} = I_{B2}$
13. ข้อใดกล่าวถึงลักษณะสมบัติของ MO-CCCDTA ที่ทำงานในช่วงอิ่มตัว ได้ถูกต้องที่สุด
- ก. มีขั้ว z สองขั้วโดยขนาดของกระแสที่ขั้ว z_1 และ z_2 เท่ากันคือเท่ากับกระแสไบแอส
- ข. แรงดันที่ตกคร่อมที่ขั้ว z_2 ต้องมีค่ามากกว่า $2V_T$ มากๆ
- ค. กระแสที่ขั้ว x_1 และ x_2 มีค่าเท่ากับกระแสไบแอส I_{B2} และ I_{B3} ตามลำดับ
- ง. ความต้านทานที่ขั้วอินพุตของ MO-CCCDTA มีค่าเป็นอนันต์

14. ข้อใดกล่าวผิดถึงลักษณะสมบัติของ CC-CDTA แบบเอาต์พุตคู่ (DO-CCCDTA) ที่ทำงานในสถานะอิ่มตัว ได้ถูกต้องที่สุด
- ก. มีขั้ว z สองขั้วโดยขนาดของกระแสที่ขั้ว z_1 และ z_2 เท่ากัน โดยมีค่าเท่ากับผลต่างของกระแสอินพุตที่ขั้ว p และ n
 - ข. ความต้านทานที่ขั้วอินพุตของ DO-CCCDTA สามารถปรับค่าได้
 - ค. มีขั้ว x สองขั้วโดยขนาดของกระแสที่ขั้ว x_1 และ x_2 คือเท่ากับกระแสไบแอส
 - ง. ค่าความนำถ่ายอินที่ขั้ว x_1 และ x_2 สามารถควบคุมได้ด้วยกระแสไบแอส
15. ข้อใดบอกความแตกต่างของ DO-CCCDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้นกับช่วงอิ่มตัว ได้ถูกต้องที่สุด
- ก. DO-CCCDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น จะมีกระแสที่ขั้ว z_1 และ z_2 เท่ากับ ผลต่างของกระแสที่ขั้ว p กับ n แต่ DO-CCCDTA ที่ทำงานในช่วงอิ่มตัว จะมีกระแสที่ขั้ว z_1 และ z_2 เท่ากับกระแสไบแอส
 - ข. DO-CCCDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น จะมีกระแสที่ขั้ว z_1 และ z_2 เท่ากับกระแสไบแอส แต่ DO-CCCDTA ที่ทำงานในช่วงอิ่มตัว จะมีกระแสที่ขั้ว z_1 และ z_2 เท่ากับผลต่างของกระแสที่ขั้ว p กับ n
 - ค. DO-CCCDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น จะมีแรงดันตกคร่อมที่ขั้ว z_1 ต้องมีขนาดน้อยกว่า $2V_T$ แต่ DO-CCCDTA ที่ทำงานในช่วงอิ่มตัว จะมีแรงดันตกคร่อมที่ขั้ว z_1 ต้องมีค่ามากกว่า $2V_T$
 - ง. DO-CCCDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น จะควบคุมความต้านทานที่ขั้วอินพุตได้ แต่ DO-CCCDTA ที่ทำงานในช่วงอิ่มตัว จะควบคุมความต้านทานที่ขั้วอินพุตไม่ได้
16. ข้อใดไม่ใช่ความแตกต่างของ CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้นกับช่วงอิ่มตัว
- ก. CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น จะปรับค่าความต้านทานที่ขั้วอินพุตได้ แต่ CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงอิ่มตัว จะมีค่าความต้านทานที่ขั้วอินพุตเป็นค่าคงที่
 - ข. CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น จะควบคุมค่าความนำถ่ายอินที่ขั้ว x ได้ แต่ CCCDTA จะควบคุมค่าความนำถ่ายอินที่ขั้ว x ไม่ได้
 - ค. กระแสที่ขั้ว x มีค่าเท่ากับกระแสไบแอส
 - ง. CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงเชิงเส้น จะมีกระแสที่ขั้ว z เท่ากับ ผลต่างของกระแสที่ขั้ว p กับ n แต่ CC-CDTA ที่ทำงานในช่วงอิ่มตัว จะมีกระแสที่ขั้ว z เท่ากับกระแสที่ขั้ว p



ภาพที่ 1

17. จากวงจรในภาพที่ 1 สามารถวิเคราะห์หาสมการขนาดของสัญญาณเอาต์พุตได้ตามข้อใด

- ก. $I_{out} = \begin{cases} I_{B2} & \text{if } I_{in} \leq -I_{B3} \\ -I_{B2} & \text{if } I_{in} \geq I_{B3} \end{cases}$
- ข. $I_{out} = \begin{cases} I_{B1} & \text{if } I_{in} \leq I_{B2} \\ -I_{B1} & \text{if } I_{in} \geq -I_{B2} \end{cases}$
- ค. $I_{out} = \begin{cases} -I_{B3} & \text{if } I_{in} \geq I_{B2} \\ I_{B3} & \text{if } I_{in} \leq -I_{B2} \end{cases}$
- ง. $I_{out} = \begin{cases} I_{B2} & \text{if } I_{in} \geq I_{B1} \\ -I_{B2} & \text{if } I_{in} \leq -I_{B1} \end{cases}$

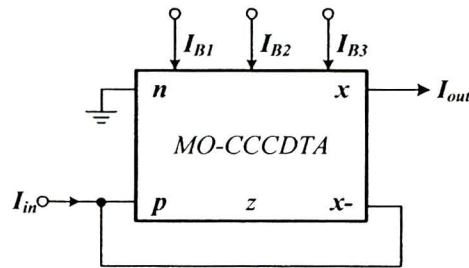
18. จากวงจรในภาพที่ 1 สามารถวิเคราะห์หาสมการกระแสขีดเริ่มด้นสูงและต่ำตรงได้ตามข้อใด

- ก. $I_{TH} = I_{B1}$ และ $I_{TL} = -I_{B1}$
- ข. $I_{TH} = I_{B2}$ และ $I_{TL} = -I_{B2}$
- ค. $I_{TH} = I_{B3}$ และ $I_{TL} = -I_{B3}$
- ง. $I_{TH} = I_{B2}$ และ $I_{TL} = -I_{B3}$

19. จากวงจรในภาพที่ 1 เมื่อกำหนดให้ $I_{B1} = 60\mu A$, $I_{B2} = 50\mu A$ และ $I_{B3} = 20\mu A$ ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตตรงกับข้อใด

- ก. $I_{out} = \begin{cases} 60\mu A & \text{if } I_{in} \geq 50 \\ -60\mu A & \text{if } I_{in} \leq -50 \end{cases}$
- ข. $I_{out} = \begin{cases} -50\mu A & \text{if } I_{in} \geq 20\mu A \\ 50\mu A & \text{if } I_{in} \leq -20\mu A \end{cases}$
- ค. $I_{out} = \begin{cases} 50\mu A & \text{if } I_{in} \geq 60\mu A \\ -50\mu A & \text{if } I_{in} \leq -60\mu A \end{cases}$
- ง. $I_{out} = \begin{cases} 20\mu A & \text{if } I_{in} \geq -50\mu A \\ -20\mu A & \text{if } I_{in} \leq 50\mu A \end{cases}$

20. ต้องการให้วงจรในภาพที่ 1 มี $I_{out} = 120\mu A$ ข้อใดถูกต้อง
- ให้ $I_{B1} = 60\mu A$
 - ให้ $I_{B2} = -60\mu A$
 - ให้ $I_{B3} = -120\mu A$
 - ให้ $I_{B2} = 120\mu A$
21. จากวงจรในภาพที่ 1 เมื่อกำหนดให้ $I_{B1} = 50\mu A$, $I_{B2} = 75\mu A$ และ $I_{B3} = 25\mu A$ ขนาดของกระแสขีดเริ่มต้นด้านสูงและต่ำตรงได้ตามข้อใด
- $I_{TH} = 50\mu A$ และ $I_{TL} = -50\mu A$
 - $I_{TH} = 75\mu A$ และ $I_{TL} = -75\mu A$
 - $I_{TH} = 25\mu A$ และ $I_{TL} = -25\mu A$
 - $I_{TH} = 75\mu A$ และ $I_{TL} = -25\mu A$
22. ข้อใดกล่าวลักษณะสมบัติของวงจรขมิตต์ทริกเกอร์ในภาพที่ 1 ได้ถูกต้องที่สุด
- ขนาดของกระแสเอาต์พุตเปลี่ยนจาก $-I_{B2}$ เป็น I_{B2} เมื่อกระแสอินพุตน้อยกว่า I_{B3}
 - ขนาดของกระแสเอาต์พุตเปลี่ยนจาก I_{B2} เป็น $-I_{B2}$ เมื่อกระแสอินพุตมากกว่า I_{B3}
 - ขนาดของกระแสเอาต์พุตเปลี่ยนจาก I_{B3} เป็น $-I_{B3}$ เมื่อกระแสอินพุตมากกว่า I_{B2}
 - ขนาดของกระแสเอาต์พุตเปลี่ยนจาก I_{B1} เป็น $-I_{B1}$ เมื่อกระแสอินพุตน้อยกว่า I_{B2}



ภาพที่ 2

23. จากวงจรในภาพที่ 2 สามารถวิเคราะห์หาสมการขนาดของสัญญาณเอาต์พุตได้ตามข้อใด
- $$I_{out} = \begin{cases} I_{B2} & \text{if } I_{in} \leq -I_{B3} \\ -I_{B2} & \text{if } I_{in} \geq I_{B3} \end{cases}$$
 - $$I_{out} = \begin{cases} I_{B1} & \text{if } I_{in} \leq I_{B2} \\ -I_{B1} & \text{if } I_{in} \geq -I_{B2} \end{cases}$$
 - $$I_{out} = \begin{cases} -I_{B3} & \text{if } I_{in} \geq I_{B2} \\ I_{B3} & \text{if } I_{in} \leq -I_{B2} \end{cases}$$
 - $$I_{out} = \begin{cases} I_{B2} & \text{if } I_{in} \geq I_{B1} \\ -I_{B2} & \text{if } I_{in} \leq -I_{B1} \end{cases}$$

24. จากวงจรในภาพที่ 2 สามารถวิเคราะห์หาสมการกระแสซิดเริ่มด้านสูงและต่ำตรงได้ตามข้อใด

ก. $I_{TH} = I_{B1}$ และ $I_{TL} = -I_{B1}$

ข. $I_{TH} = I_{B3}$ และ $I_{TL} = -I_{B3}$

ค. $I_{TH} = I_{B2}$ และ $I_{TL} = -I_{B2}$

ง. $I_{TH} = I_{B2}$ และ $I_{TL} = -I_{B3}$

25. จากวงจรในภาพที่ 2 เมื่อกำหนดให้ $I_{B1} = 100\mu A$, $I_{B2} = 85\mu A$ และ $I_{B3} = 15\mu A$ ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตตรงกับข้อใด

ก. $I_{out} = \begin{cases} 85\mu A & \text{if } I_m \geq 15\mu A \\ -85\mu A & \text{if } I_m \leq -15\mu A \end{cases}$

ข. $I_{out} = \begin{cases} -15\mu A & \text{if } I_m \geq 85\mu A \\ 15\mu A & \text{if } I_m \leq -85\mu A \end{cases}$

ค. $I_{out} = \begin{cases} 100\mu A & \text{if } I_m \leq 85\mu A \\ -100\mu A & \text{if } I_m \geq -85\mu A \end{cases}$

ง. $I_{out} = \begin{cases} 85\mu A & \text{if } I_m \leq -15\mu A \\ -85\mu A & \text{if } I_m \geq 15\mu A \end{cases}$

26. ต้องการให้วงจรในภาพที่ 2 มี $I_{out} = 45\mu A$ ข้อใดถูกต้อง

ก. ให้ $I_{B1} = 45\mu A$

ข. ให้ $I_{B2} = 45\mu A$

ค. ให้ $I_{B2} = 17.5\mu A$

ง. ให้ $I_{B3} = 17.5\mu A$

27. จากวงจรในภาพที่ 2 เมื่อกำหนดให้ $I_{B1} = 100\mu A$, $I_{B2} = 135\mu A$ และ $I_{B3} = 85\mu A$ ขนาดของกระแสซิดเริ่มด้านสูงและต่ำตรงได้ตามข้อใด

ก. $I_{TH} = 100\mu A$ และ $I_{TL} = -100\mu A$

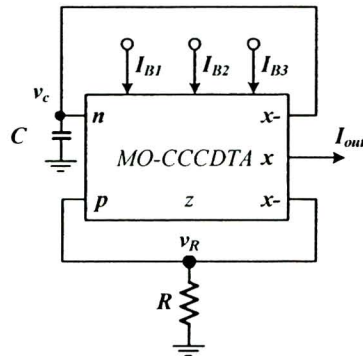
ข. $I_{TH} = 135\mu A$ และ $I_{TL} = -135\mu A$

ค. $I_{TH} = 100\mu A$ และ $I_{TL} = -135\mu A$

ง. $I_{TH} = 85\mu A$ และ $I_{TL} = -85\mu A$

28. ข้อใดกล่าวถึงลักษณะสมบัติของวงจรสมิตต์ทริกเกอร์ในภาพที่ 2 ได้ถูกต้องที่สุด

- ก. เมื่อกระแสอินพุตน้อยกว่า $-I_{B3}$ ขนาดของกระแสเอาต์พุตเปลี่ยนจาก I_{B2} เป็น $-I_{B2}$
- ข. ขนาดของกระแสเอาต์พุตเปลี่ยนจาก I_{B2} เป็น $-I_{B2}$ เมื่อกระแสอินพุตมากกว่า I_{B3}
- ค. เมื่อกระแสอินพุตมากกว่า I_{B2} ขนาดของกระแสเอาต์พุตเปลี่ยนจาก I_{B3} เป็น $-I_{B3}$
- ง. ขนาดของกระแสเอาต์พุตเปลี่ยนจาก I_{B1} เป็น $-I_{B1}$ เมื่อกระแสอินพุตน้อยกว่า I_{B2}



ภาพที่ 3

29. จากวงจรในภาพที่ 3 สามารถวิเคราะห์หาสมการขนาดของสัญญาณเอาต์พุตได้ตามข้อใด

- ก. $I_{out(p-p)} = I_{B1}$
- ข. $I_{out(p-p)} = I_{B2}$
- ค. $I_{out(p-p)} = 2I_{B2}$
- ง. $I_{out(p-p)} = 2I_{B3}$

30. จากวงจรในภาพที่ 3 เมื่อกำหนดให้ $I_{B1} = 50\mu A$, $I_{B2} = 80\mu A$ และ $I_{B3} = 20\mu A$ ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตตรงกับข้อใด

- ก. $50\mu A_{p-p}$
- ข. $80\mu A_{p-p}$
- ค. $160\mu A_{p-p}$
- ง. $40\mu A_{p-p}$

31. ต้องการให้วงจรในภาพที่ 3 มี $I_{out} = 90\mu A_{p-p}$ ข้อใดถูกต้อง

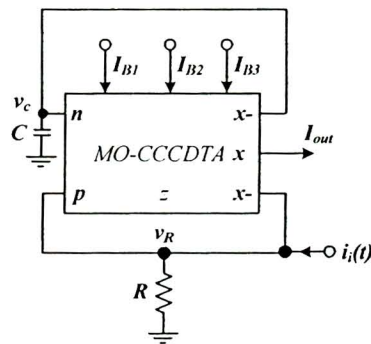
- ก. ให้ $I_{B1} = 45\mu A$
- ข. ให้ $I_{B2} = 45\mu A$
- ค. ให้ $I_{B3} = 90\mu A$
- ง. ให้ $I_{B2} = 90\mu A$

32. จากวงจรในภาพที่ 3 เมื่อกำหนดให้ $I_{B1} = 10\mu A$, $I_{B2} = 200\mu A$, $I_{B3} = 50\mu A$, $C = 10nF$ และ $R = 1k\Omega$ ความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตตรงกับข้อใด

- ก. $78.19kHz$
- ข. $62.54kHz$
- ค. $53.45kHz$
- ง. $41.29kHz$

33. ต้องการให้วงจรในภาพที่ 3 กำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ $55kHz$ ข้อใดถูกต้อง

- ก. ให้ $C = 10nF$, $I_{B1} = 20.21\mu A$ และ $R = 1k\Omega$
- ข. ให้ $C = 10nF$, $I_{B1} = 30.21\mu A$ และ $R = 1k\Omega$
- ค. ให้ $C = 10nF$, $I_{B1} = 40.21\mu A$ และ $R = 1k\Omega$
- ง. ให้ $C = 10nF$, $I_{B1} = 50.21\mu A$ และ $R = 1k\Omega$



ภาพที่ 4

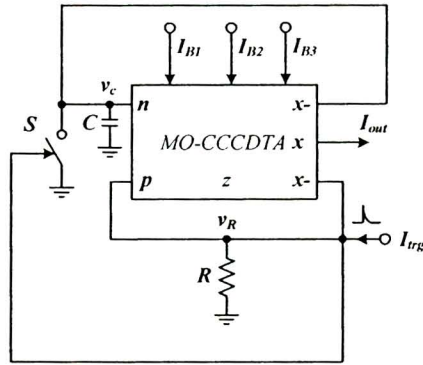
34. จากวงจรในภาพที่ 4 สามารถวิเคราะห์หาสมการขนาดของสัญญาณเอาต์พุตได้ตามข้อใด

- ก. $I_{out(p-p)} = I_{B1}$
- ข. $I_{out(p-p)} = I_{B2}$
- ค. $I_{out(p-p)} = 2I_{B2}$
- ง. $I_{out(p-p)} = 2I_{B3}$

35. จากวงจรในภาพที่ 4 เมื่อกำหนดให้ $I_{B1} = 100\mu A$, $I_{B2} = 135\mu A$ และ $I_{B3} = 30\mu A$ ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตตรงกับข้อใด

- ก. $60\mu A_{p-p}$
- ข. $270\mu A_{p-p}$
- ค. $100\mu A_{p-p}$
- ง. $135\mu A_{p-p}$

36. ต้องการให้วงจรในภาพที่ 4 กำเนิดสัญญาณสี่เหลี่ยมความถี่ที่มีขนาด $180\mu A_{p-p}$ ข้อใดถูกต้อง
- ให้ $I_{B2} = 90\mu A$
 - ให้ $I_{B1} = 180\mu A$
 - ให้ $I_{B3} = 90\mu A$
 - ให้ $I_{B2} = 180\mu A$
37. จากวงจรในภาพที่ 4 เมื่อกำหนดให้ $I_{B1} = 25\mu A$, $I_{B2} = 100\mu A$, $I_{B3} = 25\mu A$, $i_i = 30\mu A$, $C = 10nF$ และ $R = 100$ ความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตตรงกับข้อใด
- $4.73kHz$
 - $47.33kHz$
 - $5.73kHz$
 - $57.33kHz$
38. ต้องการให้วงจรในภาพที่ 4 มีความถี่ของสัญญาณเอาต์พุตเท่ากับ $4.4kHz$ ข้อใดถูกต้อง
- ให้ $I_{B1} = I_{B3} = 45\mu A$, $i_i = 15\mu A$, $C = 10nF$ และ $R = 300$
 - ให้ $I_{B1} = I_{B3} = 45\mu A$, $i_i = 20\mu A$, $C = 10nF$ และ $R = 300$
 - ให้ $I_{B1} = I_{B3} = 45\mu A$, $i_i = 25\mu A$, $C = 10nF$ และ $R = 300$
 - ให้ $I_{B1} = I_{B3} = 45\mu A$, $i_i = 35\mu A$, $C = 10nF$ และ $R = 300$
39. จากวงจรในภาพที่ 4 เมื่อกำหนดให้ $I_{B1} = 20\mu A$, $I_{B2} = 50\mu A$, $I_{B3} = 50\mu A$, $C = 15nF$, $i_i = 15\mu A$ และ $R = 500\Omega$ ค่าดิวิตีไซเกิ้ลตรงกับข้อใด
- $D = 70\%$
 - $D = 65.17\%$
 - $D = 30.43\%$
 - $D = 26.92\%$
40. ต้องการให้วงจรในภาพที่ 4 ดิวิตีไซเกิ้ลของสัญญาณเอาต์พุตเท่ากับ $D = 50\%$ ข้อใดถูกต้อง
- ให้ $I_{B1} = 10\mu A$, $I_{B3} = 50\mu A$, $i_i = 30\mu A$ และ $R = 500\Omega$
 - ให้ $I_{B1} = 10\mu A$, $I_{B3} = 50\mu A$, $i_i = 20\mu A$ และ $R = 500\Omega$
 - ให้ $I_{B1} = 10\mu A$, $I_{B3} = 50\mu A$, $i_i = 10\mu A$ และ $R = 500\Omega$
 - ให้ $I_{B1} = 10\mu A$, $I_{B3} = 50\mu A$, $i_i = 0\mu A$ และ $R = 500\Omega$



ภาพที่ 5

41. จากวงจรในภาพที่ 5 สามารถวิเคราะห์หาสมการขนาดของสัญญาณเอาต์พุตได้ตามข้อใด
- $I_{out(p-p)} = I_{B1}$
 - $I_{out(p-p)} = I_{B2}$
 - $I_{out(p-p)} = 2I_{B2}$
 - $I_{out(p-p)} = 2I_{B3}$
42. จากวงจรในภาพที่ 5 กำหนดให้ $I_{B1} = 25\mu A$, $I_{B2} = 50\mu A$ และ $I_{B3} = 20\mu A$ ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตตรงกับข้อใด
- $40\mu A_{p-p}$
 - $50\mu A_{p-p}$
 - $100\mu A_{p-p}$
 - $25\mu A_{p-p}$
43. ต้องการให้ขนาดของสัญญาณเอาต์พุตเท่ากับ $170\mu A_{p-p}$ ข้อใดถูกต้อง
- ให้ $I_{B1} = 170\mu A$
 - ให้ $I_{B2} = 85\mu A$
 - ให้ $I_{B2} = 170\mu A$
 - ให้ $I_{B3} = 85\mu A$
44. จากวงจรในภาพที่ 5 กำหนดให้ $C = 100nF$, $R = 500\Omega$, $I_{B1} = 24\mu A$, $I_{B2} = 50\mu A$ และ $I_{B3} = 50\mu A$ ความกว้างของสัญญาณพัลส์ตรงกับข้อใด
- $2.124\mu s$
 - $21.24\mu s$
 - $24.21\mu s$
 - $2.421\mu s$

45. ต้องการให้ความกว้างของสัญญาณพัลส์เท่ากับ $4.76\mu s$ ข้อใดถูกต้อง

ก. ให้ $C = 20nF$, $R = 500\Omega$ และ $I_{B1} = 15.5\mu A$

ข. ให้ $C = 20nF$, $R = 500\Omega$ และ $I_{B1} = 17.5\mu A$

ค. ให้ $C = 20nF$, $R = 500\Omega$ และ $I_{B1} = 19.5\mu A$

ง. ให้ $C = 20nF$, $R = 500\Omega$ และ $I_{B1} = 21.5\mu A$

	CC-CDTA ที่ทำงานในช่วง อิมตัวและการประยุกต์ใช้	เฉลยแบบทดสอบวัดผล สัมฤทธิ์ทางการเรียน
---	---	--

ข้อ	ก	ข	ค	ง	ข้อ	ก	ข	ค	ง	ข้อ	ก	ข	ค	ง	ข้อ	ก	ข	ค	ง
1				X	16	X				31		X			46				
2		X			17	X				32				X	47				
3			X		18			X		33	X				48				
4				X	19		X			34			X		49				
5			X		20				X	35		X			50				
6		X			21			X		36	X				51				
7	X				22		X			37	X				52				
8	X				23				X	38	X				53				
9		X			24		X			39				X	54				
10		X			25	X				40				X	55				
11	X				26		X			41			X		56				
12				X	27				X	42			X		57				
13			X		28	X				43		X			58				
14				X	29			X		44	X				59				
15			X		30			X		45			X		60				

ภาคผนวก ฅ

- บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

บทความวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

วารสารวิชาการระดับนานาชาติ

Silapan P. and Siripruchyanun M. “Fully and electronically controllable current-mode Schmitt triggers employing only single MO-CCCDTA and their applications” Analog Integrated Circuits and Signal Processing. Online January 22,2011, DOI: 10.1007/s10470-010-9593-2.

การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

1. Silapan P. and Siripruchyanun M. “A Simple Current-mode Schmitt Trigger Employing Only Single MO-CTTA.” The Proceedings of the 2009 6th International Conference on Electrical Engineering/Electronics, Computer, Telecommunications, and Information Technology (ECTI-CON 2009). Pattaya, THAILAND. 556-559, 2009.
2. Silapan P. and Siripruchyanun M. “A Simple Current-mode PWM Signal Generator Employing Only Single Active Element” The 1st international conference on Technical Education, Thailand. Bangkok, THAILAND. 144-148, 2010.

ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ : นายภมร ศีลาพันธ์

ชื่อวิทยานิพนธ์ : การสังเคราะห์และออกแบบวงจรขยายความนำถ่ายโอนผลต่างกระแสที่สามารถควบคุมด้วยกระแสและการประยุกต์ใช้งานกับการศึกษาด้านการออกแบบและวิเคราะห์วงจรอิเล็กทรอนิกส์

สาขาวิชา : ไฟฟ้าศึกษา

ประวัติ

ประวัติการศึกษา

- ประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) ช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคพิษณุโลก
- ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง (ปวส.) ช่างอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคพิษณุโลก
- วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
- ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต (คอ.ม.) สาขาวิชาไฟฟ้า มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ประวัติการทำงาน

- อาจารย์ประจำแผนกวิชาอิเล็กทรอนิกส์ วิทยาลัยเทคนิคพิษณุโลก
- อาจารย์พิเศษมหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม
- อาจารย์ประจำโปรแกรมวิชาไฟฟ้าและอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ ตั้งแต่ พ.ศ. 2549 ถึงปัจจุบัน

งานวิจัยที่สนใจ

- การออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์
- ระบบประมวลผลสัญญาณแอนะล็อก
- การพัฒนาการเรียนการสอนทางด้านวิศวกรรมไฟฟ้า

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้

โปรแกรมวิชาไฟฟ้าและอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏอุตรดิตถ์ 53000, Email: phamorn@mail.ur.ac.th

