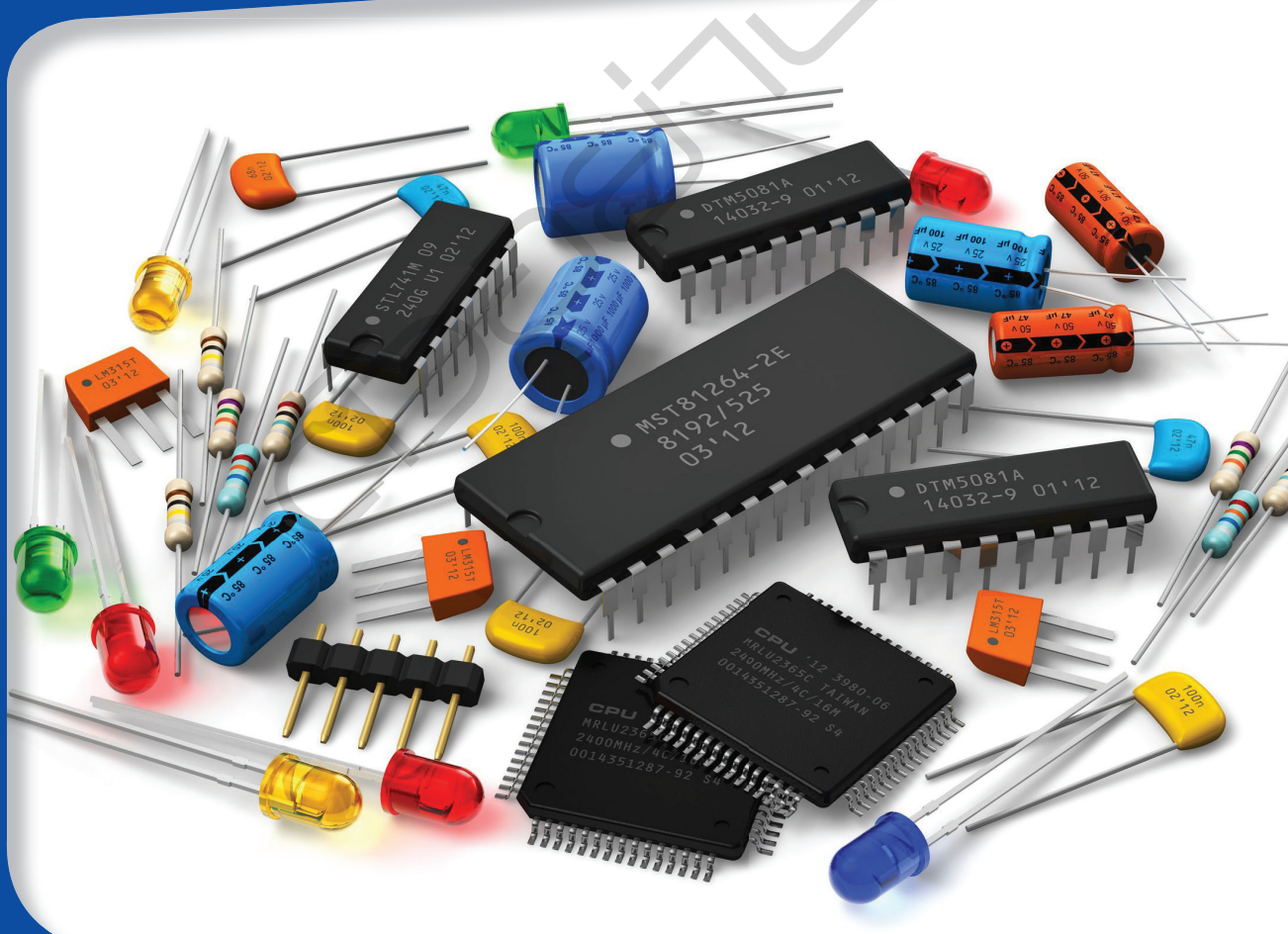
อาชีวะก้าวไกล

วงจรไอซีและการประยุกต์ใช้งาน

หนังสือเล่มนี้เรียบเรียงตามจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชา และคำอธิบายรายวิชา
หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.) พุทธศักราช 2556
ของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ

ได้ผ่านการตรวจประเมินคุณภาพจากสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 ครั้งที่ 2
ประเภทวิชา อุตสาหกรรม กลุ่มทักษะวิชาชีพเลือก
ประกาศลำดับที่ 100

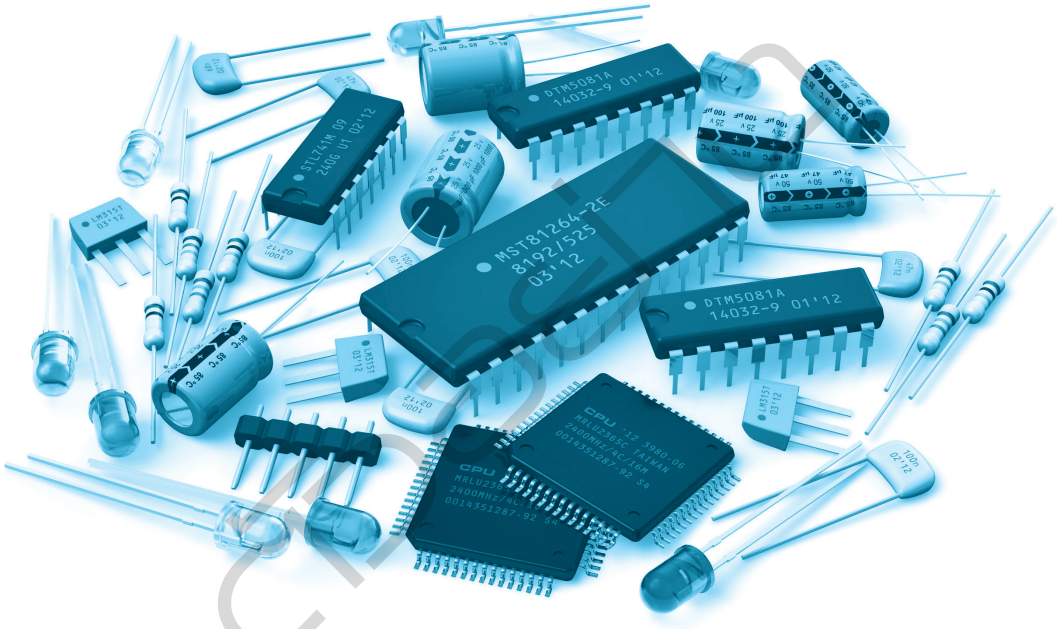
2105-2104



ประเสริฐ กมลภพตระกูล

156.-

วงจรไอซีและการประยุกต์ใช้งาน 2105-2104



CPDI

หมวดวิชาทักษะวิชาชีพ

กลุ่มทักษะวิชาชีพเลือก

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556

ประเสริฐ กมลภพตระกูล

บรรณาธิการ : รศ.พลสิทธิ์ สิทธิชมภู

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

ประเสริฐ กมลภพตระกูล.

วงจรไอซีและการประยุกต์ใช้งาน.--กรุงเทพฯ : แม็คเอ็ดดูเคชั่น, 2559.

328 หน้า.

1. วงจรรวม. I. ชื่อเรื่อง.

621.3815

ISBN 978-616-274-749-6

จัดพิมพ์และจำหน่ายโดย

IMACEDUCATION

ผู้เขียน : ประเสริฐ กมลภพตระกูล

การสั่งซื้อ : ส่งธนาณัติสั่งจ่าย **ไปรษณีย์ลาดพร้าว** ในนาม **บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด**
เลขที่ 9/99 อาคารแม็ค ซอยลาดพร้าว 38 ถนนลาดพร้าว แขวงจันทรเกษม
เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
☎ : 0-2938-2022-7 FAX : 0-2938-2028
www.MACeducation.com

พิมพ์ครั้งที่ : 1

จำนวนที่พิมพ์ : 3,000 เล่ม

ราคาจำหน่าย : 156 บาท

ปีที่พิมพ์ : 2559

พิมพ์ที่ : บริษัท พิมพ์ดี จำกัด

(สงวนลิขสิทธิ์ตามกฎหมาย ห้ามลอกเลียน ไม่ว่าจะเป็นส่วนหนึ่งส่วนใดของหนังสือเล่มนี้นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษร)

คำนำ

ตามที่กระทรวงศึกษาธิการได้ประกาศใช้หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2555-2559) แผนการศึกษาแห่งชาติ ฉบับปรับปรุง (พ.ศ. 2552-2559) และแผนปฏิบัติการการเตรียมความพร้อมพลเมืองเพื่อเข้าสู่ประชาคมอาเซียนในปี พ.ศ. 2558 ทั้งนี้หลักสูตรดังกล่าวมุ่งผลิตและพัฒนากำลังคนระดับฝีมือให้มีสมรรถนะ มีคุณธรรม จริยธรรม และจรรยาบรรณวิชาชีพ สามารถประกอบอาชีพอิสระเป็นผู้ประกอบการที่มีคุณภาพ หรือประกอบอาชีพอื่นๆ ได้ตรงตามความต้องการของสถานประกอบการทั้งในประเทศและในภูมิภาคอาเซียน

บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด ผู้ผลิตและจำหน่ายหนังสือเรียน สื่อการเรียนรู้ และวารสารทางการศึกษา ทั้งในระดับการศึกษาขั้นพื้นฐาน ระดับอาชีวศึกษา ตระหนักถึงภารกิจสำคัญในการมีส่วนร่วมในการสนับสนุนส่งเสริมการศึกษาระดับอาชีวศึกษาให้บรรลุผลสมดังเจตนารมณ์ที่ตั้งไว้ จึงได้แต่งตั้งคณะทำงานซึ่งประกอบด้วยนักวิชาการ และผู้สอนทั้งในระดับอาชีวศึกษาและระดับอุดมศึกษาที่มีความเชี่ยวชาญด้านหลักสูตรและการจัดการเรียนรู้ ดำเนินการวิเคราะห์หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ พุทธศักราช 2556 ในแต่ละสาขาวิชาเพื่อจัดทำสื่อการเรียนรู้ อันประกอบด้วย

1. หนังสือเรียนที่จัดทำให้ตรงกับจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชา และคำอธิบายรายวิชา ทั้งนี้โดยคำนึงถึงความสอดคล้องกับมาตรฐานการศึกษาวิชาชีพทั้ง 3 ด้าน คือ ด้านคุณลักษณะที่พึงประสงค์ ด้านสมรรถนะหลักและสมรรถนะทั่วไป และด้านสมรรถนะวิชาชีพ
2. แผนการจัดการเรียนรู้ที่มุ่งเน้นการพัฒนาสมรรถนะของผู้เรียนผ่านกิจกรรมเพื่อเป็นแนวทางให้ผู้สอนนำไปปรับให้เหมาะสมกับธรรมชาติของผู้เรียนและจุดเน้นของสถานศึกษา
3. คู่มือครูสำหรับผู้สอนใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการจัดการเรียนรู้ และการฝึกประสบการณ์ให้แก่ผู้เรียนให้สอดคล้องกับหลักสูตร

จุดเด่นของหนังสือเรียนชุดใหม่มีดังนี้

1. นำเสนอในรูปแบบหน่วยการเรียนรู้ ที่มีเนื้อหาง่ายต่อการเรียนรู้ แต่ยังคงไว้ซึ่งความเข้มข้นและทันสมัย ทั้งนี้เนื้อหาในหนังสือเรียนมุ่งเน้นให้สัมพันธ์กับจุดประสงค์การเรียนรู้ หลักการเรียนรู้ตามสภาพจริง (Authentic Learning) และการประเมินผลตามสภาพจริง (Authentic Assessment)
2. แทรกกิจกรรมตรวจสอบความเข้าใจ กิจกรรมการฝึกกระบวนการคิด (Thinking Skills) และกิจกรรมเตรียมความพร้อมสู่ประชาคมอาเซียนให้แก่ผู้เรียน
3. พัฒนาสมรรถนะหลักและสมรรถนะวิชาชีพผ่านกระบวนการปฏิบัติงานโดยใช้ใบช่วยสอนเป็นสื่อสำหรับการฝึกกระบวนการเรียนรู้ที่สำคัญ เช่น การเรียนรู้จากโครงงาน (Project–Based Learning) การพัฒนาเทคโนโลยีให้เป็นเทคโนโลยีสะอาด (Green Technology) และการสร้างสรรค์นวัตกรรมหรือผลิตภัณฑ์ตามแนวคิดเศรษฐกิจเชิงสร้างสรรค์ (Creative Economy) เป็นต้น
4. มีแบบทดสอบวัดผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน โดยจัดทำแบบทดสอบให้สอดคล้องกับจุดประสงค์การเรียนรู้ประจำหน่วยการเรียนนั้นๆ ท้ายหน่วยการเรียนรู้ทุกหน่วย

บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด ขอขอบพระคุณสถานศึกษา ผู้สอน ผู้เรียน และผู้ที่สนใจทุกท่านที่ให้ความไว้วางใจในสื่อการเรียนรู้ของบริษัท บริษัทหวังเป็นอย่างยิ่งว่าสื่อการเรียนรู้ชุดนี้จะมีส่วนช่วยให้การจัดการเรียนรู้มีประสิทธิภาพและประสิทธิผล เพื่อพัฒนาผู้เรียนให้มีคุณภาพทัดเทียมระดับสากลต่อไป

บริษัท แม็คเอ็ดดูเคชั่น จำกัด

ตัวอย่าง

รหัส 2105-2104
วิชาวงจรไอซีและการประยุกต์ใช้งาน
ทฤษฎี 1 ชั่วโมง ปฏิบัติ 3 ชั่วโมง 2 หน่วยกิต

จุดประสงค์รายวิชา เพื่อให้

1. เข้าใจการทำงานของไอซีชนิดต่างๆ
2. มีทักษะการต่อประกอบวงจรไอซี ทดสอบการทำงาน และประยุกต์ใช้งาน
3. มีกิจนิสัยในการแสวงหาความรู้เพิ่มเติม การทำงานด้วยความประณีต รอบคอบและปลอดภัย

สมรรถนะรายวิชา

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรไอซีและการประยุกต์ใช้งาน
2. ประกอบและทดสอบวงจรไอซี
3. ประยุกต์ใช้งานวงจรไอซี

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติงานเกี่ยวกับคุณลักษณะสมบัติพื้นฐานไอซีออปแอมป์ การทำงานของออปแอมป์ในวงจร Inverting/Non Inverting Amplifier, Summing Amplifier, Comparator, Differential Amplifier, Integrating Amplifier และอื่นๆ การประยุกต์ใช้ไอซีสำเร็จรูปในงาน Digital, Multivibrator, Flip-Flop วงจรแสดงผลและวงจรขับ (Display/Driver) Timer, Regulator, Function Generator, Phase Locked Loop กำเนิดสัญญาณเสียงดนตรีและอื่นๆ

ตัวอย่าง

ตารางวิเคราะห์สมรรถนะประจำหน่วย

หน่วยการเรียนรู้ที่	ชื่อหน่วยการเรียนรู้	สมรรถนะประจำหน่วย
1	คุณสมบัติและค่าพารามิเตอร์ของไอซีออปแอมป์	1. แสดงความรู้พื้นฐานของออปแอมป์และคุณสมบัติค่าพารามิเตอร์ของไอซีออปแอมป์ 2. แสดงสัญลักษณ์แต่ละชนิดของตัวถังออปแอมป์
2	วงจรขยายสัญญาณ	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรขยายสัญญาณ 2. คำนวณหาค่าต่างๆ ของวงจรขยายแบบกลับเฟสและวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส
3	วงจรขยายตามแรงดัน	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรขยายตามแรงดัน 2. ต่อวงจรขยายตามแรงดัน
4	วงจรขยายผลรวม	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรขยายผลรวม วงจรขยายผลรวมแบบกลับเฟส และวงจรขยายผลรวมแบบไม่กลับเฟส 2. คำนวณหาค่าวงจรขยายผลรวมแบบกลับเฟสและวงจรขยายผลรวมแบบไม่กลับเฟส
5	วงจรขยายผลต่าง	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรขยายผลต่าง 2. แสดงการทำงานวงจรขยายสัญญาณแบบเปรียบเทียบสัญญาณ 3. ต่อวงจรสัญญาณแบบเปรียบเทียบสัญญาณ
6	วงจรอินทิเกรเตอร์	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับสัญญาณเอาต์พุตของวงจรอินทิเกรเตอร์ 2. คำนวณหาค่าตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุที่ต่อวงจรอินทิเกรเตอร์ที่ใช้ออปแอมป์
7	วงจรดิฟเฟอร์เรนทิเอเตอร์	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรอาร์ซีดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ 2. คำนวณหาค่าตัวต้านทานและตัวเก็บประจุที่ต่อวงจรดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ที่ใช้ออปแอมป์
8	วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน 2. คำนวณหาค่าต่างๆ ของวงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน

ตัวอย่าง

หน่วยการเรียนรู้ที่	ชื่อหน่วยการเรียนรู้	สมรรถนะประจำหน่วย
9	วงจรกรองความถี่สูงผ่าน	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรกรองความถี่สูงผ่าน 2. คำนวณหาค่าวงจรกรองความถี่สูงผ่านที่ใช้ออปแอมป์ 3. หาค่าต่างๆ ของวงจรกรองความถี่สูงผ่านที่ใช้ออปแอมป์
10	วงจรกรองความถี่แถบผ่าน	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรกรองความถี่แถบผ่าน 2. คำนวณและหาค่าต่างๆ ในการออกแบบวงจรกรองความถี่แถบผ่าน
11	วงจรกรองความถี่แบบกำจัดความถี่	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรฟิลเตอร์แบบกำจัดความถี่ 2. คำนวณหาค่าต่างๆ และออกแบบวงจรฟิลเตอร์แบบกำจัดความถี่ 3. คำนวณหาความต้านทานและตัวเก็บประจุประกอบวงจรฟิลเตอร์แบบกำจัดความถี่
12	วงจรกำเนิดความถี่	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรกำเนิดความถี่ 2. คำนวณหาค่าต่างๆ ของวงจรกำเนิดความถี่
13	ไอซีตั้งเวลา 555	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับไอซีตั้งเวลา 555 2. คำนวณหาค่าของวงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ วงจรไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ และวงจรอะสเตเบิล-มัลติไวเบรเตอร์
14	วงจรรักษาระดับแรงดัน	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับแหล่งจ่ายไฟแบบวงจรเร็กกูเลเตอร์ 2. ต่อวงจรแบบเร็กกูเลเตอร์
15	การใช้งานออปแอมป์ในงานดิจิตอลและการนำไปใช้งาน	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับการใช้ออปแอมป์ทำเป็นวงจรลอจิกเกต 2. คำนวณหาค่าต่างๆ ที่ใช้ออปแอมป์ทำเป็นวงจรลอจิกเกต 3. แปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะล็อกและแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล
16	วงจรเฟสล็อกลูป	1. แสดงความรู้เกี่ยวกับวงจรเฟสล็อกลูป 2. คำนวณเกี่ยวกับค่าความถี่ของเฟสล็อกลูป

ตัวอย่าง

สารบัญ

หน้า

หน่วยการเรียนรู้ที่ 1 คุณสมบัติและค่าพารามิเตอร์ของไอซีออปแอมป์ 1

1. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับออปแอมป์ 2
2. คุณสมบัติของออปแอมป์เบื้องต้น 2
3. สัญลักษณ์และชนิดตัวถังของออปแอมป์ 4
4. ค่าพารามิเตอร์ของไอซีออปแอมป์ 7
5. คุณสมบัติทางเทคนิคของออปแอมป์ 741 14

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้ 26

หน่วยการเรียนรู้ที่ 2 วงจรขยายสัญญาณ 28

1. ตัวขยายสัญญาณหรือวงจรขยาย 29
2. วงจรขยายแบบกลับเฟส 29
3. วงจรขยายแบบไม่กลับเฟส 35
4. การออกแบบวงจรขยายแบบไม่กลับเฟส 38

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้ 48

หน่วยการเรียนรู้ที่ 3 วงจรขยายตามแรงดัน 50

วงจรขยายตามแรงดัน 51

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้ 58

หน่วยการเรียนรู้ที่ 4 วงจรขยายผลรวม 60

1. วงจรขยายผลรวม 61
2. วงจรขยายผลรวมแบบกลับเฟส 61
3. วงจรขยายผลรวมแบบไม่กลับเฟส 64

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้ 77

ตัวอย่าง

หน้า

หน่วยการเรียนรู้ที่ 5 วงจรขยายผลต่าง 79

1. วงจรขยายผลต่าง 80
2. การวิเคราะห์วงจรขยายสัญญาณแบบเปรียบเทียบสัญญาณ 80
3. การตรวจวัดรูปคลื่นไซน์ 83
4. วงจรขยายความแตกต่างประยุกต์ใช้งาน 84

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้ 93

หน่วยการเรียนรู้ที่ 6 วงจรอินทิเกรเตอร์ 96

1. ลักษณะของวงจรอินทิเกรเตอร์ 97
2. วงจรอินทิเกรเตอร์ที่ใช้ออปแอมป์ 98

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้ 110

หน่วยการเรียนรู้ที่ 7 วงจรดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ 113

1. คุณสมบัติของวงจรอาร์ซีดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ 114
2. คำจำกัดความของสัญญาณวงจรดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ 114
3. วงจรดิฟเฟอเรนทิเอเตอร์ที่ใช้ออปแอมป์ 115

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้ 128

หน่วยการเรียนรู้ที่ 8 วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน 130

1. ลักษณะของวงจรกรองความถี่ 131
2. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่าน 132
3. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบมีเกณฑ์อัตราขยาย 134
4. วงจรกรองความถี่ต่ำผ่านที่ใช้ออปแอมป์แบบอันดับสอง 136
5. การออกแบบวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านแบบอันดับสอง 137

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้ 146

หน่วยการเรียนรู้ที่ 9 วงจรกรองความถี่สูงผ่าน 149

1. คุณสมบัติของวงจรกรองความถี่สูงผ่าน 150
2. วงจรกรองความถี่สูงผ่านที่ใช้ออปแอมป์แบบอันดับสอง 153
3. การออกแบบวงจรกรองความถี่สูงผ่านที่ใช้ออปแอมป์แบบอันดับสอง 154

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้ 163

หน้า

หน่วยการเรียนรู้ที่ 10 วงจรกรองความถี่แถบผ่าน 165

1. วงจรกรองความถี่แถบผ่าน 166
2. การออกแบบวงจรกรองความถี่แถบผ่าน 168

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้ 178

หน่วยการเรียนรู้ที่ 11 วงจรกรองความถี่แบบกำจัดความถี่ 180

1. ลักษณะของวงจรกรองความถี่แบบกำจัดความถี่ 181
2. วงจรกรองความถี่แบบกำจัดแถบความถี่แบนด์กว้าง 183
3. การออกแบบวงจรฟิลเตอร์แบบกำจัดความถี่ 185
4. วงจรกรองความถี่แบบกำจัดแถบความถี่แบนด์แคบ 188

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้ 199

หน่วยการเรียนรู้ที่ 12 วงจรกำเนิดความถี่ 202

1. หลักการพื้นฐานของวงจรสร้างสัญญาณไฟฟ้าด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ 203
2. วงจรกำเนิดรูปคลื่นสี่เหลี่ยม 204
3. วงจรกำเนิดรูปคลื่นสามเหลี่ยม 207
4. วงจรกำเนิดรูปคลื่นไซน์ 209
5. วงจรผลิตสัญญาณไซน์หรือโคไซน์ 212

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้ 224

หน่วยการเรียนรู้ที่ 13 ไอซีตั้งเวลา 555 227

1. ไอซีตั้งเวลา 555 228
2. คุณสมบัติแต่ละขาของไอซี 555 229
3. ความสามารถจัดการการทำงานวงจร 230
4. วงจรโมโนสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ 230
5. วงจรไบสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ 232
6. วงจรอะสเตเบิลมัลติไวเบรเตอร์ 232

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้ 244

ตัวอย่าง

หน้า

หน่วยการเรียนรู้ที่ 14 วงจรรักษาระดับแรงดัน 246

1. ลักษณะของแหล่งจ่ายไฟ 247
2. วงจรเร็กกูเลเตอร์แรงดันเอาต์พุตแบบคงที่โดยใช้ไอซี 3 ขา 248
3. วงจรเร็กกูเลเตอร์แบบปรับค่าแรงดันเอาต์พุตโดยใช้ไอซี 3 ขา 251
4. วงจรเร็กกูเลเตอร์ที่ใช้ไอซี LM723 253
5. วงจรเร็กกูเลเตอร์แรงดันสูงที่ใช้ LM723 255
6. วงจรเร็กกูเลเตอร์แรงดันต่ำที่ใช้ LM723 257

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้ 266

หน่วยการเรียนรู้ที่ 15 การใช้งานออปแอมป์ในงานดิจิตอลและการนำไปใช้งาน 268

1. ประเภทของสัญญาณการสื่อสารข้อมูล 269
2. วงจรชมิตต์ทริกเกอร์ 269
3. วงจรลอจิกเกตที่ใช้ไอซีออปแอมป์ 272
4. วงจรฟลิปฟล็อปที่ใช้ไอซีออปแอมป์ 274
5. วงจรแปลงสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณแอนะล็อก 275
6. วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอล 279

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้ 295

หน่วยการเรียนรู้ที่ 16 เฟสล็อกลูป 298

1. เฟสล็อกลูป 299
2. หลักการทำงานเบื้องต้นของเฟสล็อกลูป 300
3. ตระกูลของเฟสล็อกลูปอนุกรม 301
4. คุณสมบัติเบื้องต้นของ LM565 PLL 302
5. การนำไปใช้งานดีมอดูเลชันความถี่โดยใช้ไอซี LM565 PLL 304

แบบทดสอบเพื่อประเมินผลหลังการเรียนรู้ 312

บรรณานุกรม 314

ดัชนี 315

ตัวอย่าง

คุณสมบัติและค่าพารามิเตอร์ของไอซีออปแอมป์

ตัวอย่าง

คุณสมบัติและค่าพารามิเตอร์ของไอซีออปแอมป์

1. ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับออปแอมป์

ปัจจุบันความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีการออกแบบวงจรรวมหรือไอซี (Integrated Circuit: IC) มีความเจริญรุดหน้าไปอย่างรวดเร็ว ทำให้วงจรทางอิเล็กทรอนิกส์สำหรับประมวลผลสัญญาณแบบต่างๆ ถูกนำมาออกแบบและผลิตให้อยู่ในรูปของไอซีเป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากคุณสมบัติของไอซีมีข้อดีหลายประการ เช่น มีขนาดเล็ก มีความสะดวกในการใช้งาน รวมทั้งสามารถนำไปใช้งานได้ง่ายถือว่ามีความสำคัญมากต่อการขยาย คือ ออปแอมป์ (Op-Amp) โดยที่ออปแอมป์มีการนำมาใช้ยาวนานแล้ว ซึ่งในยุคเริ่มต้นได้นำมาใช้ในการคำนวณสัญญาณแอนะล็อกและเครื่องมือวัดทางไฟฟ้า ก่อนหน้านั้นออปแอมป์อยู่ในลักษณะอุปกรณ์เดี่ยว (Discrete Component) โดยสร้างจากหลอดสุญญากาศ ทรานซิสเตอร์ และความต้านทาน ต่อมาในปี ค.ศ. 1960 ได้มีการผลิตออปแอมป์ที่เป็นไอซีตัวแรก ทำให้ออปแอมป์มีคุณสมบัติที่ดีกว่ายุคแรกหลายประการ เช่น มีขนาดเล็ก มีความสะดวกในการใช้งาน ใช้พลังงานน้อย เป็นต้น

วงจรขยายสัญญาณออปแอมป์ (Operational Amplifier: Op-Amp) หรือที่เรียกกันสั้นๆ ว่า “ออปแอมป์” นั้น เป็นวงจรขยายสัญญาณพื้นฐานสำเร็จรูปอีกชนิดหนึ่งที่ถูกออกแบบและนำไปบรรจุลงในชิปไอซีเดียวกัน ซึ่งนิยมนำไปประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลายในงานด้านการประมวลผลสัญญาณแอนะล็อก (Analog Signal Processing) ต่างๆ มากมาย เช่น ระบบสื่อสาร ระบบการวัดและระบบควบคุมกระบวนการผลิต เป็นต้น เนื่องจากการใช้งานออปแอมป์ไม่ยุ่งยากและง่ายต่อการออกแบบวงจรต่างๆ ทั้งราคาของออปแอมป์ก็ถูกลง จึงนับได้ว่าออปแอมป์เป็นอุปกรณ์แอกทีฟ (Active Device) ที่สำคัญและมีประโยชน์มากในระบบการประมวลผลสัญญาณแอนะล็อกรูปแบบต่างๆ

2. คุณสมบัติของออปแอมป์เบื้องต้น

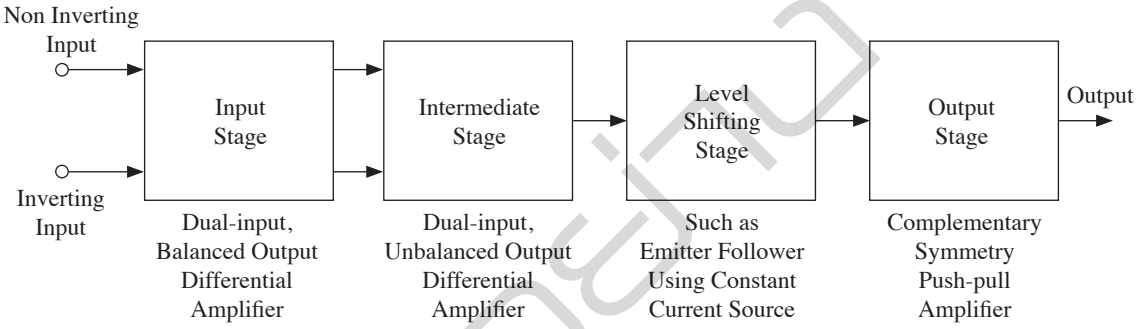
ออปแอมป์เป็นวงจรรวม (IC) โดยปกติโครงสร้างพื้นฐานของออปแอมป์ประกอบด้วยวงจรภายในที่แยกออกเป็นส่วนการทำงานเป็นภาคต่างๆ ดังต่อไปนี้

2.1 ภาคอินพุต เป็นแบบ 2 อินพุต 2 เอาต์พุต วงจรแบบดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์หรือวงจรขยายผลต่าง (Differential Amplifier) ที่อินพุตอิมพีแดนซ์สูงมากและมีเอาต์พุตลักษณะแบบสมดุล (Balanced Output)

2.2 ภาควงจรขยายส่วนกลาง เป็นวงจรแบบดิฟเฟอเรนเชียลแอมป์มีเอาต์พุตแบบไม่สมดุล (Unbalanced Output) ซึ่งเอาต์พุตมีหน้าที่ในการขยายสัญญาณที่ได้จากภาคแรกและวงจรมีลักษณะ 2 อินพุต

2.3 ภาควงจรแบบลดแรงดัน เพราะว่าวงจรระหว่างวงจรขยายส่วนกลางนั้นจะเชื่อมต่อวงจรแบบไดเร็กคัปปลิ้ง

2.4 ภาควงจรเอาต์พุต เป็นวงจรแบบวงจรขยายแบบพุชพูล (Push-pull) โดยที่สัญญาณสวิงที่เอาต์พุตขึ้นอยู่กับขนาดของแหล่งจ่ายไฟเลี้ยงและมีความต้านทานต่ำที่เอาต์พุต



รูปที่ 1.1 บล็อกไดอะแกรมวงจรภายในของออปแอมป์

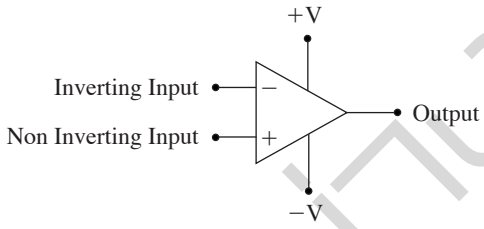
เมื่อศึกษาคุณสมบัติของออปแอมป์ในอุดมคติแล้ว พบว่าเป็นคุณสมบัติที่พิเศษสุดของออปแอมป์แบบอุดมคติ จะมีคุณสมบัติตามเงื่อนไขดังนี้

1) อัตราขยายแรงดันสูงมากเป็นอนันต์ ($A_v = \infty$)
2) ความต้านทานทางอินพุตสูงมากเป็นอนันต์ ($Z_i = \infty$)
3) ความต้านทานทางเอาต์พุตต่ำมากเป็นศูนย์ ($Z_o = 0$)
4) แรงดันออฟเซตทางอินพุตเป็นศูนย์ ($V_{os} = 0$)
5) กระแสออฟเซตทางอินพุตเป็นศูนย์ ($I_{os} = 0$)
6) ลักษณะสมบัติเชิงความถี่สูงมากเป็นอนันต์ ($f_c = \infty$)

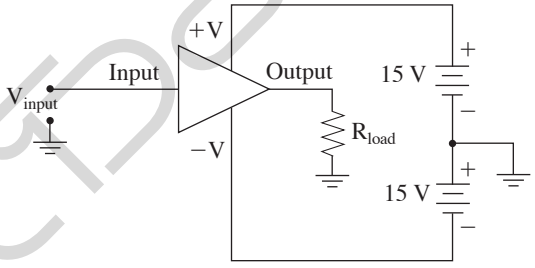
จะเห็นว่าออปแอมป์ได้รวมข้อดีของวงจรขยายไว้ได้อย่างครบถ้วน เนื่องจากมีอัตราขยายเป็นอนันต์และสามารถขยายสัญญาณได้ทั้งไฟฟ้ากระแสสลับและไฟฟ้ากระแสตรง การนำไปใช้งานในบางครั้งเมื่อต้องการลดอัตราขยายก็สามารถกระทำได้โดยการป้อนกลับ (Feedback) เพื่อมาลดอัตราขยายลง และข้อดีอีกประการหนึ่งก็คือ อิมพีแดนซ์ทางอินพุตมีค่าสูงมากจึงทำให้เหมือนไม่มีกระแสอินพุตไหลเลย ลักษณะเช่นนี้ทำให้วงจรทางอินพุตไม่โหลดวงจรส่งกำลังในส่วนหน้า เช่นเดียวกับที่เอาต์พุตมีอิมพีแดนซ์เป็นศูนย์ สามารถนำไปเชื่อมต่อกับวงจรอื่นได้ดี

3. สัญลักษณ์และชนิดตัวถังของออปแอมป์

ออปแอมป์เป็นอุปกรณ์ที่มี 3 ขั้ว โดย 2 ขั้ว ทำหน้าที่เป็นอินพุต และอีก 1 ขั้ว ทำหน้าที่เป็นเอาต์พุต ดังรูปที่ 1.2 โดยวงจรขยายจะทำงานได้ต้องมีแหล่งจ่ายไฟตรง (DC Power) ในการกำหนดจุดปฏิบัติงาน จะเห็นว่าออปแอมป์ที่เป็นไอซีส่วนใหญ่ต้องการแหล่งจ่ายไฟตรง 2 แหล่ง ขั้วที่ 4 และ 5 เป็นขั้วที่ใช้ต่อกับแหล่งจ่ายไฟตรงที่เป็นขั้วบวก V+ และขั้วลบ V− แสดงให้เห็นแหล่งจ่ายไฟตรงที่เป็นแบตเตอรี่ (Batteries) ต่อกับกราวด์ (Ground) สิ่งที่น่าสนใจก็คือกราวด์ที่ใช้อ้างอิงในวงจรออปแอมป์เป็นจุดร่วมเดียวกับแหล่งจ่ายไฟตรง 2 แหล่ง ดังรูปที่ 1.3 นั่นแสดงว่าออปแอมป์จะไม่มีขั้วที่ใช้ต่อกับกราวด์โดยตรง



รูปที่ 1.2 สัญลักษณ์ทั่วไปของออปแอมป์

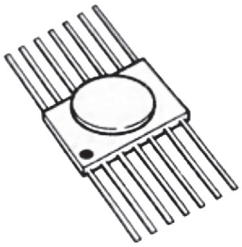


รูปที่ 1.3 แหล่งจ่ายไฟตรง 2 แหล่ง

3.1 ตัวถังและการดูขาไอซี

ไอซีส่วนใหญ่จะมีตัวถังเป็นแบบขาคู่วางขนาน (Dual-in-Line Package: DIP) นอกจากนี้อาจมีตัวถังประเภทอื่นๆ เช่น ตัวถังโลหะเป็นหมวกปีก (TO-5) เป็นต้น ไอซีจะมีหลายขา เช่น 14 ขา หรือมากกว่า แต่ก็มีบ้างที่มี 2 ถึง 3 ขา คล้ายไดโอดหรือทรานซิสเตอร์ วิธีการดูขาไอซีให้ดูจากรอยบากซึ่งจะอยู่ที่มุมของตัวไอซี ให้นับขาที่อยู่ใต้รอยบากเป็นขาที่ 1 และขาถัดมาเป็นขาที่ 2, 3 ไปเรื่อยๆ ตามทิศทางทวนเข็มนาฬิกา

Ceramic Flat Package



14-lead Version

TO-5 Package
with Straight Leads

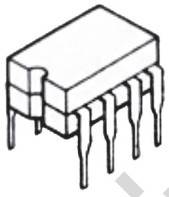
8, 10 and 12-lead
Versions

TO-5 Package with
Duel-in-line Foemed Leads
(DIL-CAN)

8-lead Versions

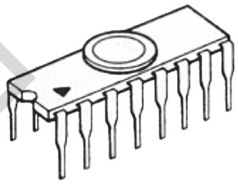
TO-5 Style Package
with Radial Formed Leads

Dual-in-Line Plastic Package



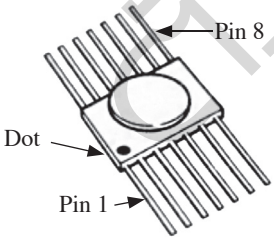
8, 14 and 16 Lead
Versions

Dual-in-Line Welded-seal
Ceramic Package

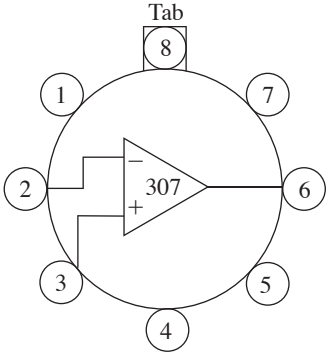


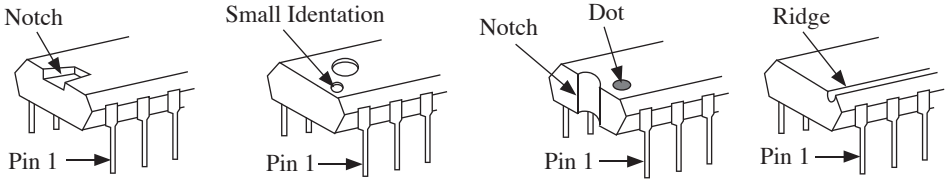
14 and 16 Lead
Versions

รูปที่ 1.4 ตัวถังไอซีแบบชนิดต่างๆ



14 Lead Version





รูปที่ 1.5 ตำแหน่งขาแบบ DIP และแบบ TO-5

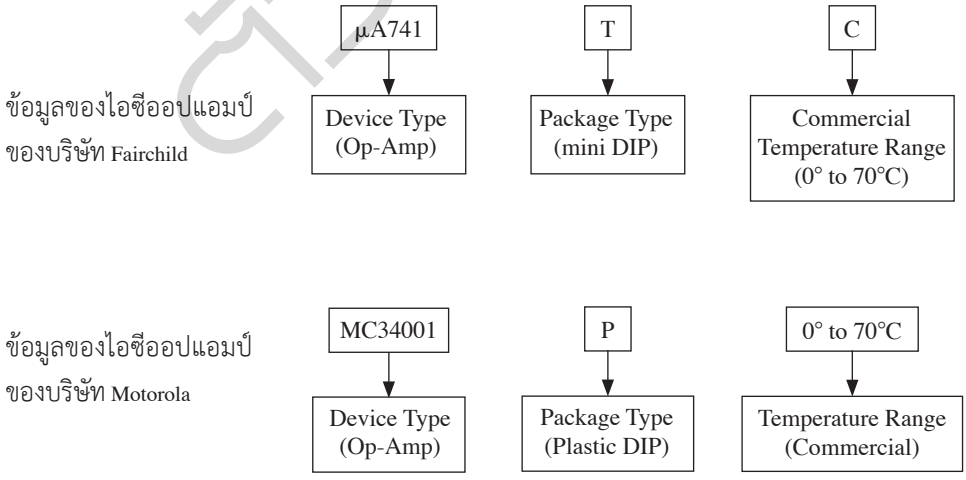
3.2 รหัสโค้ดที่กำหนดโดยผู้ผลิตไอซี

Fairchild	μA, μAF
National Semiconductor	LM, LH, LF, TBA
Motorola	MC, MCF
RCA	CA, CD
Texas Instruments	SN
Signetics	N, S, NE, NS
Burr-Brown	BB
Analog Devices	AD

บริษัทผู้ผลิตรหัสนำหน้าเบอร์ไอซี เช่น LM741 เป็นไอซีออปแอมป์ของบริษัท National Semiconductor

3.3 รายละเอียดข้อมูลบนตัวไอซี

รายละเอียดข้อมูลบนตัวไอซีจะมีข้อมูลที่ระบุบอกบริษัทผู้ผลิต และยังบอกถึงลักษณะของตัวไอซี และตัวไอซีถึงอุณหภูมิที่ทำงาน ดังรูปที่ 1.6



รูปที่ 1.6 รายละเอียดข้อมูลบนตัวไอซี

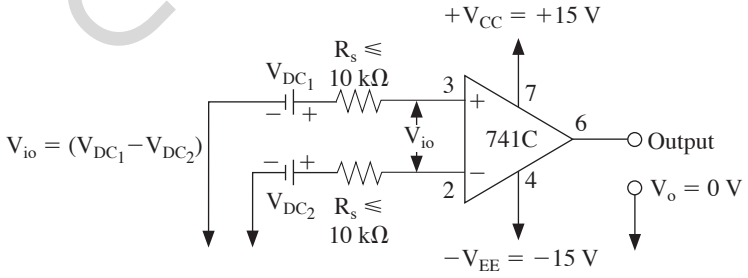
4. ค่าพารามิเตอร์ของไอซีออปแอมป์

ออปแอมป์ตามโครงสร้างการทำงานภายใน ถ้าจะอธิบายและวิเคราะห์วงจรแอนะล็อกจะเริ่มต้นที่วงจรพื้นฐานของออปแอมป์ก่อน ในหน่วยการเรียนรู้นี้จะกล่าวถึงเรื่องเกี่ยวกับหลักการและแนวความคิด พื้นฐาน คุณสมบัติ และค่าพารามิเตอร์ของไอซีออปแอมป์วงจรในทางปฏิบัติจริงๆ ซึ่งสิ่งที่จะกล่าวถึงนี้เป็นสิ่งที่สำคัญในการทำความเข้าใจวงจรคุณสมบัติและค่าพารามิเตอร์ของไอซีออปแอมป์

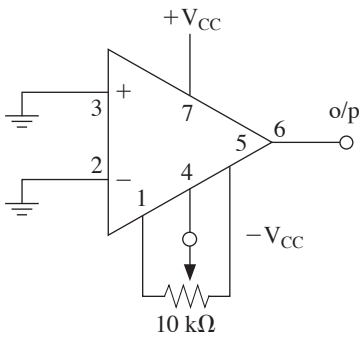
4.1 แรงดันออฟเซตทางอินพุต

แรงดันออฟเซตทางอินพุต (Input Offset Voltage) เป็นเรื่องสำคัญมากเรื่องหนึ่ง เมื่อเราศึกษาเรื่องออปแอมป์ แรงดันออฟเซตทางอินพุต หมายถึง แรงดันขนาดเล็กที่ปรากฏระหว่างอินพุตบวกและลบของออปแอมป์ในขณะที่แรงดันอินพุตเป็นศูนย์ เป็นความต่างศักย์ระหว่าง 2 ขั้วอินพุตของออปแอมป์ ค่า Input Offset Voltage (V_{ios}) นี้ จะมีค่าเป็นบวกหรือลบก็ได้ ค่า V_{ios} ซึ่งออปแอมป์แต่ละเบอร์จะมีค่าพารามิเตอร์ไม่เท่ากัน เช่น V_{ios} (μA741C) = 6 mV (Maximum) หรือ V_{ios} (LM714C) = 150 μV (Maximum) เนื่องจาก LM714C เป็น Precision Op-Amp

สำหรับวงจรที่ไม่ต้องการขยายแรงดันไฟตรง มักพยายามกำจัดผลของแรงดันออฟเซตนี้ไม่ให้ไปปรากฏที่เอาต์พุต ในการปรับแรงดันเอาต์พุตให้เป็นศูนย์ หรือการปรับแรงดันอินพุตออฟเซตที่อินพุตนั้น ทางผู้ผลิตได้เตรียมไว้ให้แล้ว ดังรูปที่ 1.7 และ 1.8



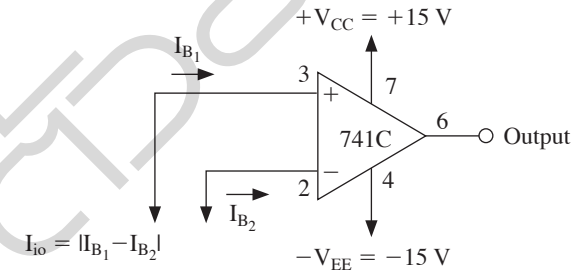
รูปที่ 1.7 แรงดันอินพุตออฟเซตที่อินพุต



รูปที่ 1.8 วงจรที่ใช้ในการตั้งค่าศูนย์ให้ออปแอมป์

4.2 กระแสออฟเซตทางอินพุต

ตามปกติกระแสไบแอสที่ไหลเข้าขั้วบวกและขั้วลบของออปแอมป์จะไม่เท่ากันทีเดียวนัก ความแตกต่างของกระแสทั้งสองนี้ เรียกว่า กระแสออฟเซตทางอินพุต (Input Offset Current) ของออปแอมป์ ยกตัวอย่างเช่น กระแสไบแอสที่ไหลเข้าทางขั้วบวกเป็น 110 μA และที่ขั้วลบเป็น 90 μA ดังนั้นกระแสไบแอสเท่ากับ 100 μA และกระแสออฟเซตทางอินพุตเท่ากับ 20 μA เป็นต้น เป็นค่าความแตกต่างของกระแส I (−) กับ I (+) ที่ Input Terminal ของออปแอมป์



รูปที่ 1.9 กระแสออฟเซตทางอินพุต

จากสูตร

$$\text{Input Offset Current } (I_{ios}) = |I_{B_1} - I_{B_2}|$$

ตัวอย่างของค่า I_{ios} ในออปแอมป์เบอร์ต่างๆ

I_{ios} (μA714C) = 200 nA (Max)

I_{ios} (LM714C) = 6 nA (Max)

4.3 กระแสไบแอสทางอินพุต

กระแสไบแอสทางอินพุต (Input Bias Current: (I_B)) หมายถึง กระแสที่ไหลเข้าหรือออกจากขั้วบวกหรือขั้วลบของอินพุตของออปแอมป์ ซึ่งไม่เกี่ยวข้องกับความต้านทานทางอินพุตของออปแอมป์ ปกติกระแสไบแอสทางอินพุตจะมีองค์ประกอบไฟฟ้ากระแสตรงเป็นหลัก ในขณะที่ความต้านทานทางอินพุตจะมีองค์ประกอบทางไฟฟ้ากระแสสลับเป็นหลัก ทิศทางการไหลของกระแสไบแอสนี้ จะเป็นการไหลเข้าหรือออกจากออปแอมป์ ซึ่งกำหนดจากชนิดของทรานซิสเตอร์หรือเฟตที่ขั้วอินพุตภายในออปแอมป์นั้นๆ ส่วนใหญ่แล้วกระแสจะไหลเข้า แต่มีออปแอมป์บางตัว (เบอร์ MC4558) กระแสจะไหลออก ดังนั้นค่าเฉลี่ยของกระแสที่ไหลเข้าอินพุตรีซิสแตนซ์ของออปแอมป์หาได้จากสูตร

$$I_B = \frac{(I_{B_1} + I_{B_2})}{2}$$

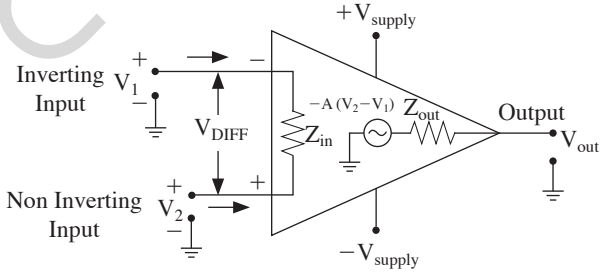
ตัวอย่างของค่า I_B ในออปแอมป์เบอร์ต่างๆ

$I_B(\mu A714C) = 500\ nA\ (Max)$

$I_B(LM714C) = 7\ nA\ (Max)$

4.4 ความต้านทานทางอินพุต

ถ้าค่าความต้านทานทางอินพุต (Input Impedance) ของออปแอมป์มีค่าเป็น Z_{in} Differential Input Resistance: (Z_{in}) เป็นอินพุตรีซิสแตนซ์ระหว่าง Inverting Input และ Non Inverting Input



รูปที่ 1.10 ความต้านทานทางอินพุตของออปแอมป์

ตัวอย่างของค่า (Z_{in}) ของออปแอมป์เบอร์ต่างๆ

Z_{in} (μA741C) = 2 MΩ

Z_{in} (LM771) = 1,000 GΩ, 1,012 Ω (FET Input Op-Amp)

4.5 ค่าประจุที่เกิดระหว่างอินพุต

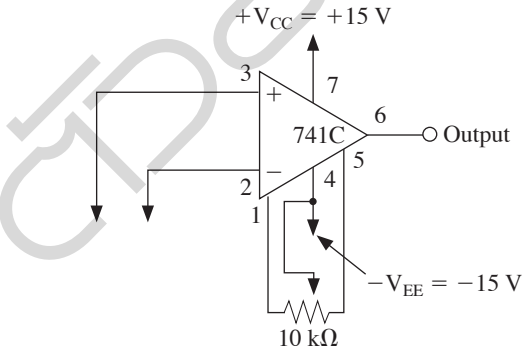
ค่าประจุที่เกิดระหว่างอินพุต (Input Capacitance: (C_i)) เป็น Equivalent Capacitance ที่ปรากฏอยู่ระหว่าง Inverting Input หรือ Non Inverting Input กับ Ground

ตัวอย่างของค่า C_i ของออปแอมป์เบอร์ต่างๆ

C_i (μA741C) = 1.4 pF

4.6 การปรับค่าศูนย์ให้แก่ออปแอมป์

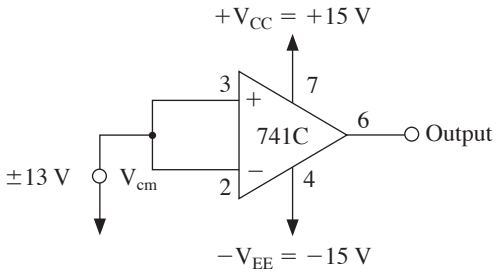
การปรับค่าศูนย์ให้แก่ออปแอมป์ (Offset Voltage Adjustment Range) ออปแอมป์บางเบอร์ เช่น μA741 จะมี Terminal เตรียมไว้สำหรับปรับ Offset Voltage โดยการต่อ POT ในตำแหน่งที่ระบุใน Data Sheet สำหรับ μA741 จะมี Offset Voltage Adjustment Range ±15 mV เมื่อใช้ POT ขนาด 10 kΩ



รูปที่ 1.11 การปรับค่าศูนย์ที่เอาต์พุตให้ออปแอมป์

4.7 Input Voltage

เมื่อ Input Terminal ถูกต่อไว้ที่แรงดันค่าเดียวกัน แรงดันนี้จะเรียกว่า Common-Mode Voltage (V_{cm}) และเรียกการทำงานของออปแอมป์เป็น Common-Mode ดังรูปที่ 1.12



รูปที่ 1.12 Input Voltage

สำหรับออปแอมป์เบอร์ 741 จะมี Input Voltage Range 13 V (Maximum) หมายถึง Input Voltage จะสูงได้ไม่เกิน +13 V หรือต่ำได้ไม่เกิน −13 V

Common-Mode Rejection Ratio: CMRR เป็นอัตราส่วนระหว่าง Differential-Mode Gain (A_d) และ Common-Mode Gain (A_c) หาได้จากสูตร

$$\text{CMRR} = \frac{A_d}{A_c}$$

โดยทั่วไป A_d จะมีค่าประมาณ Open Loop Gain (A_o) หรือ Large-signal Voltage Gain (A)

ตัวอย่างของค่า CMRR ในออปแอมป์เบอร์ต่างๆ

CMRR (μA741) = 90 dB (Typically)

CMRR (LM741) = 120 dB (Precision Op-Amp)

4.8 Supply Voltage Rejection Ratio: SVRR

Supply Voltage Rejection Ratio: SVRR เป็นการเปลี่ยนแปลงค่า Input Offset Voltage (V_{ios}) เนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลงของ Supply Voltage อาจจะเรียกอีกอย่างว่า Power Supply Rejection Ratio (PSRR) หรือ Power Supply Sensitivity (PSS) ซึ่งจะมีหน่วยเป็น Microvolts ต่อ Volts หาได้จากสูตร

$$\text{SVRR} = \frac{\Delta V_{ios}}{\Delta V} \ \mu\text{V/V}$$

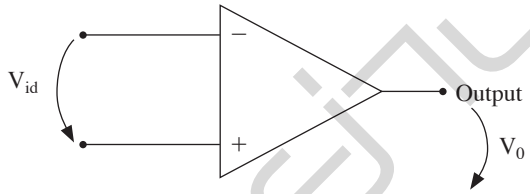
ตัวอย่างเช่น เบอร์ μA741C จะมี SVRR = 150 μV/V ซึ่งหมายความว่า ทุกๆ การเปลี่ยนแปลง Supply Voltage 1 V ค่า V_{ios} จะเปลี่ยนแปลงไป 150 μV จากเดิมเบอร์ μA741C จะมี SVRR ระบุในหน่วยของ dB คือเท่ากับ 104 dB หรือ 741C มี SVRR = 6.13 μV/V หาได้จากสูตร

$$\text{SVRR (dB)} = 20 \log \left(\frac{\Delta V_{ios}}{\Delta V} \right)$$

4.9 Large-signal Voltage Gain

Large-signal Voltage Gain เป็นอัตราขยายของออปแอมป์สำหรับ μA741C จะมีค่า A_{OL} = 200 V/mV หรือ 200,000 เท่า

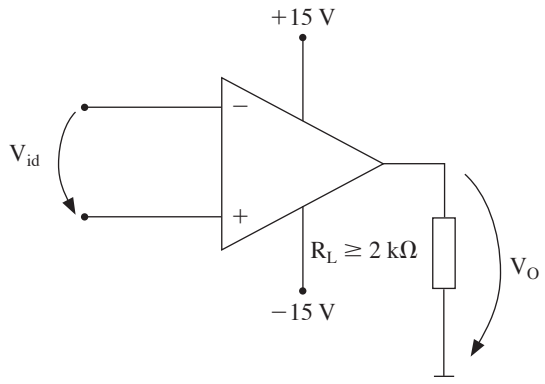
$$A_{OL} = \frac{V_{out}}{V_{(\text{input differntial})}}$$



รูปที่ 1.13 อัตราขยายของ Op-Amp (A_{OL})

4.10 Output Voltage Swing

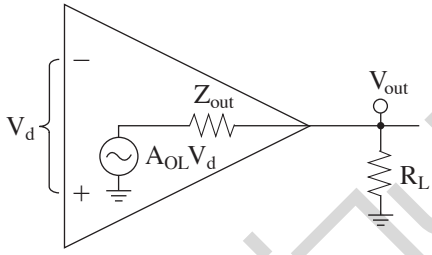
Output Voltage Swing คือ การเปลี่ยนแปลงที่สามารถเปลี่ยนแปลงแรงดันเอาต์พุตได้สูงที่สุด สำหรับ μA741C จะมี Output Voltage Swing = ± 13 V เมื่อ $R_L \geq 2$ kΩ และ Supply Voltage = ± 15 V ดังรูปที่ 1.14



รูปที่ 1.14 เมื่อให้ $R_L \geq 2$ kΩ

4.11 ความต้านทานทางเอาต์พุต

ความต้านทานทางเอาต์พุต (Output Resistance: Z_{out}) ของออปแอมป์จะมีขนาดเพียงไม่กี่สิบโอห์มเท่านั้น อย่างไรก็ตามยังมีผู้สับสนในความหมายนี้และเข้าใจกันผิดเสมอ คือแยกความแตกต่างระหว่างความต้านทานทางเอาต์พุตกับความสามารถในการขับโหลดได้ไม่ถูกต้อง ความสามารถในการขับโหลดหมายถึง ความสามารถในการจ่ายกระแสและแรงดันให้กับโหลด ซึ่งอาจจะเป็นตัวต้านทานหรือวงจรซึ่งมาต่อทางด้านเอาต์พุตของออปแอมป์เป็น Equivalent Resistance ที่สามารถวัดได้ที่ Output Terminal ของออปแอมป์กับกราวด์ สำหรับ μA741C จะมีค่า $Z_{out} = 75\ \Omega$

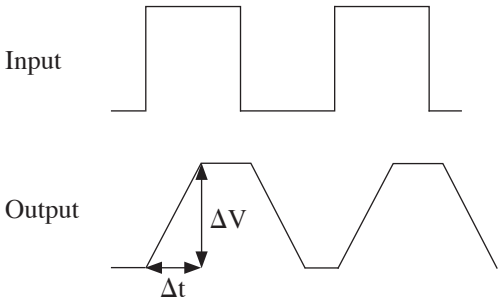


รูปที่ 1.15 ตัวต้านทานทางด้านเอาต์พุตของออปแอมป์

4.12 อัตราสลูว์

อัตราสลูว์ (Slew Rate: SR) คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงสูงสุดของแรงดันเอาต์พุตเทียบกับเวลาหรือตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพในการทำงานของออปแอมป์ หมายถึง อัตราค่าสูงสุดในการเปลี่ยนแปลงสัญญาณในขณะขยายสัญญาณขาออกในแต่ละช่วงเวลา ใช้หน่วยวัดเป็น Maximum Rate ของการเปลี่ยนแปลง Output Voltage ต่อ Time หาได้จากการป้อนแรงดันรูปคลื่นสี่เหลี่ยมซึ่งมีแอมปลิจูดใหญ่ให้กับออปแอมป์แล้ววัดดูความเร็วในการขึ้นลงของรูปคลื่นทางเอาต์พุตจะได้เป็นค่าอัตราสลูว์ออกมา

$$SR = \frac{\Delta V_{out(max)}}{\Delta t}$$



รูปที่ 1.16 สัญญาณที่เกิดจากการทำงานของออปแอมป์

ค่า Slew Rate จะทำการทดสอบที่ Unity Gain (+1) ซึ่งจะเป็นค่าคงที่ของออมแอมป์แต่ละเบอร์ ในการเลือกออปแอมป์ใช้งานด้านความถี่ต้องนำค่า SR มาพิจารณาด้วย เพราะถ้า Output Voltage ต้องการ Slope ซึ่งมีค่าสูงกว่า SR มากก็จะเกิด Distortion ขึ้นได้

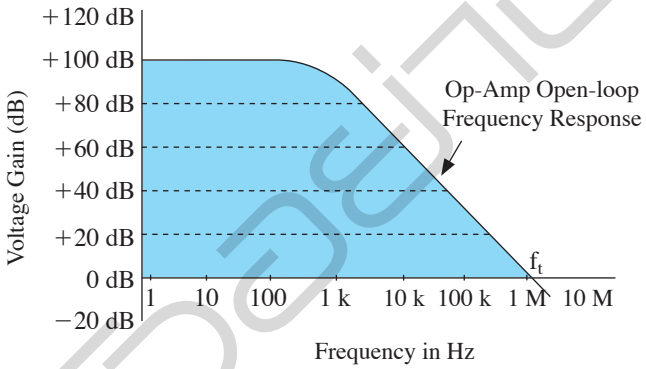
ตัวอย่างเช่น ค่า SR ในออปแอมป์เบอร์ต่างๆ

SR (LF351, μc771, MC34001) 13/μV

SR (LM 741) 0.5/μV

4.13 คุณสมบัติเชิงความถี่

คุณสมบัติเชิงความถี่ (Bandwidth) นี้เรียกว่า เป็นตัวกำหนดความสามารถของออปแอมป์ ซึ่งออปแอมป์จะดีหรือไม่ดีก็ดูที่ลักษณะเชิงความถี่ ซึ่งจะดูควบคู่กันไป คือ สลูว์เรต เป็นค่า Bandwidth ของออปแอมป์เมื่อ Gain ลดลง ดังรูปที่ 1.17



รูปที่ 1.17 กราฟแสดงสมบัติเชิงความถี่ในลูปเปิด

บางครั้งค่า Gain-bandwidth Product อาจเรียกเป็น Closed-loop Bandwidth, Unity Gain Bandwidth

ตัวอย่างของค่า GB ของออปแอมป์เบอร์ต่างๆ

GB (LM741) = 1 MHz

GB (LF351, MC34001) = 4 MHz

5. คุณสมบัติทางเทคนิคของออปแอมป์ 741

ใน Data Sheets ของออปแอมป์แต่ละเบอร์ จะมีข้อมูลของออปแอมป์เบอร์นั้น ซึ่งผู้ผลิตได้กำหนดหรือทดสอบออกมา เพื่อประโยชน์ในการออกแบบวงจรของผู้ใช้งาน ดังนั้น Data Sheets ของออปแอมป์แต่ละเบอร์ก็จะมีข้อมูลที่ต่างๆ กันไปแล้วแต่บริษัทผู้ผลิต แต่ผู้ผลิตทั่วไปนิยมที่จะบอกข้อมูลเหล่านี้มาใน Data Sheets

μA741 General-Purpose Operational Amplifiers

1 Features

- Short-Circuit Protection
- Offset-Voltage Null Capability
- Large Common-Mode and Differential Voltage Ranges
- No Frequency Compensation Required
- No Latch-Up

2 Applications

- DVD Recorders and Players
- Pro Audio Mixers

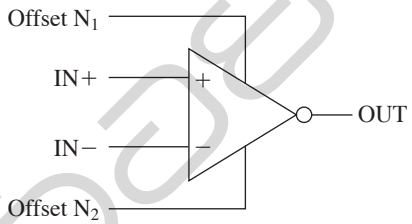
3 Description

The μA741 device is a general-purpose operational amplifier featuring offset-voltage null capability.

The high common-mode input voltage range and the absence of latch-up make the amplifier ideal for voltage-follower applications. The device is short-circuit protected and the internal frequency compensation ensures stability without external components. A low value potentiometer may be connected between the offset null inpus to null out the offset voltage as shown in Figure 11.

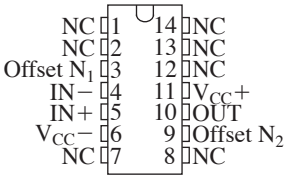
The μA741C device is characterized for operation from 0°C to 70°C. The μA741M device (obsolete) is characterized for operation over the full military temperature range of −55°C to 125°C.

4 Simplified Schematic

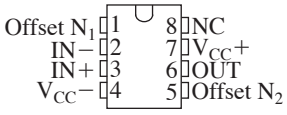


6 Pin Configurations and Functions

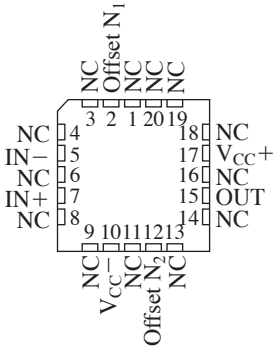
μA741M...J PACKAGE
(TOP VIEW)



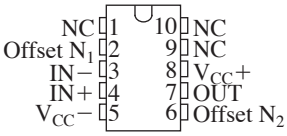
μA741M...JG PACKAGE
μA741C, μA741I...D, P, OR PW PACKAGE
(TOP VIEW)



μA741M...FK PACKAGE
(TOP VIEW)



μA741M...U PACKAGE
(TOP VIEW)



7 Electrical Characteristicss μA741C, μA741M

at specified virtual junction temperature, $V_{cc\pm}$ = ±15 V (unless otherwise noted)

PARAMETER		TEST CONDITIONS	T_A (1)	μA741C			μA741M			UNIT
				MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
V_{10}	Input offset voltage	V_0 = 0	25°C		1	6		1	5	mV
			Full range			7.5		±15	6	
ΔV_D	Offset voltage adjust range	V_0 = 0	25°C		±15			20	200	mV
I_D	Input offset current	V_0 = 0	25°C		20	200			500	nA
			Full range			300			500	
I_B	Input bias current	V_0 = 0	25°C		80	500		80	500	nA
			Full range			800			1500	
V_{10R}	Common-mode input voltage range		25°C	±12	±13		±12	±13		V
			Full range	±12			±12			
V_{OM}	Maximum peak output voltage swing	R_L = 10 kΩ	25°C	±12	±14		±12	±14		V
		$R_L \geq$ 10 kΩ	Full range	±12			±12			
		R_L = 2 kΩ	25°C	±10			±10	±13		
		$R_L \geq$ 2 kΩ	Full range	±10			±10			
V_{VD}	Large-signal differntial voltage amplification	$R_L \geq$ 2 kΩ	25°C	20	200		50	200		V/mV
		V_0 = ±10 V	Full range	15			25			
r_I	Input resistance		25°C	0.3	2		0.3	2		MΩ
r_O	Output resistance	V_0 = 0, See (2)	25°C		75			7.5		Ω
C_I	Input capacitance		25°C		1.4			1.4		pF
CMRR	Common-mode rejection ratio	$V_C = V_{CR_{min}}$	25°C	70	90		70	90		dB
			Full range	70			70			
K_{SVS}	Supply voltage sensitivity ($\Delta V_{10}/\Delta V_{CC}$)	V_{CC} = ±9 V to ±15 V	25°C		30	150		30	150	μV/V
			Full range			150			150	
I_{OS}	Short-circuit output current		25°C		±25	±40		±25	±40	mA
I_{CC}	Supply current	V_0 = 0, No load	25°C		1.7	2.8		1.7	2.8	mA
			Full range			3.3			3.3	
P_p	Total power dissipation	V_0 = 0, No load	25°C		50	85		50	85	mW
			Full range			100			100	

OBSOLETE

หนังสือเรียนอาชีวศึกษา

หลักสูตรใหม่

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพ (ปวช.)
พุทธศักราช 2556

สื่อการเรียนรู้แบบบูรณาการที่เน้นคุณลักษณะที่พึงประสงค์ สมรรถนะหลักและสมรรถนะทั่วไป และสมรรถนะวิชาชีพ

เนื้อหาดี มีคุณภาพ ตรงตามจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชา และคำอธิบายรายวิชาของหลักสูตร เสริมกิจกรรมเตรียมความพร้อมสู่ประชาคมอาเซียนให้แก่ผู้เรียน และใบช่วยสอนโดยเน้นกระบวนการเรียนรู้ผู้เรียนเป็นสำคัญตามนโยบายของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา :-

- **Project-based Learning**
- **Thinking Skills**
- **Green Technology**
- **Creative Economy**
- **MAC e-knowledge**
- มีแผนการจัดการเรียนรู้ที่ทันสมัย สะดวก และปรับได้ สำหรับผู้สอนใช้เป็นแนวทางในการจัดการเรียนรู้

ตัวอย่าง

● **หนังสือ**	☐ 1 สี	จำนวน ..... หน้า
	☑ 2 สี	จำนวน 328 หน้า
	☐ 4 สี	จำนวน ..... หน้า
● **กระดาษ**	ปอนด์	
● **ความหนา**	กระดาษปก	210 แกรม
	กระดาษเนื้อใน	70 แกรม

วงจรไอซีและการประยุกต์ใช้งาน
3306376100

MACEDUCATION
www.MACeducation.com

9 786162 747496
ราคา 156 บาท