



วงจรอิเล็กทรอนิกส์

Electronic Circuits

อนงค์ลักษณ์ อางมั่งกร
มานพ มากลัย

120.-

วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Circuits)

รหัสวิชา 30104-2103

หมวดวิชาสมรรถนะวิชาชีพ กลุ่มสมรรถนะวิชาชีพเลือก สาขางานไฟฟ้ากำลัง

ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาไฟฟ้า

หลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2563

สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา (สอศ.) กระทรวงศึกษาธิการ

อนงค์ลักษณ์ อัจฉมั่งกร
มานพ มากเลย์



วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Circuits)

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของสำนักหอสมุดแห่งชาติ

อนงค์ลักษณ์ อางมั่งกร.

วงจรอิเล็กทรอนิกส์.-- กรุงเทพฯ : วังอักษร, 2563.

304 หน้า.

1. วงจรอิเล็กทรอนิกส์ I. มานพ มากเลย, ผู้แต่งร่วม. II. ชื่อเรื่อง.

621.3815

ISBN 978-616-495-156-3

จัดพิมพ์และจัดจำหน่าย โดย...



วังอักษร

บริษัทวังอักษร จำกัด

69/3 ถนนอรุณอมรินทร์ แขวงวัดอรุณ เขตบางกอกใหญ่ กรุงเทพฯ 10600

โทร. 0-2472-3293-5 โทรสาร 0-2891-0742 Mobile 08-8585-1521

Facebook : สำนักพิมพ์ วังอักษร

e-Mail : wangaksorn9@gmail.com

www.wangaksorn.com

ID Line : @wangaksorn



พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2563

สงวนลิขสิทธิ์ตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ. 2561

โดย บริษัทวังอักษร จำกัด ห้ามนำส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้
ไปทำซ้ำ ดัดแปลง หรือเผยแพร่ต่อสาธารณชน ไม่ว่ารูปแบบใด ๆ

นอกจากได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากทางบริษัทฯ เท่านั้น

ชื่อและเครื่องหมายการค้าอื่น ๆ ที่อ้างถึงในหนังสือฉบับนี้

เป็นสิทธิโดยชอบด้วยกฎหมายของเจ้าของแต่ละราย

โดย บริษัทวังอักษร จำกัด มิได้อ้างความเป็นเจ้าของแต่อย่างใด



วงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Circuits) รหัสวิชา 30104-2103

จุดประสงค์รายวิชา เพื่อให้

1. เข้าใจหลักการทำงานและลักษณะสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์กำลังทั่วไป
2. สามารถวิเคราะห์วงจร ประยุกต์ใช้งานและซ่อมบำรุงรักษาอุปกรณ์ในวงจรอิเล็กทรอนิกส์
3. มีกิจนิสัยในการทำงานร่วมกับผู้อื่นด้วยความประณีต รอบคอบและปลอดภัย

สมรรถนะรายวิชา

1. แสดงความรู้เกี่ยวกับหลักการทำงานของอุปกรณ์วงจรอิเล็กทรอนิกส์
2. ตรวจสอบ ทดสอบและต่อวงจรอิเล็กทรอนิกส์

คำอธิบายรายวิชา

ศึกษาและปฏิบัติเกี่ยวกับการหาลักษณะสมบัติกระแส แรงดันและแบบจำลองของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ การไบแอสทรานซิสเตอร์ วงจรขยายพื้นฐานที่ใช้ทรานซิสเตอร์ การวิเคราะห์วงจรขยายสำหรับสัญญาณขนาดเล็กที่ใช้ทรานซิสเตอร์ ผลตอบสนองเชิงความถี่ของวงจรขยายแบบเชิงเส้นสำหรับสัญญาณขนาดเล็กที่ใช้ทรานซิสเตอร์ การวิเคราะห์วงจรขยายที่มีการป้อนกลับ ออปแอมป์และการประยุกต์ใช้กับวงจรแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น วงจรกำเนิดสัญญาณ วงจรขยายกำลัง แหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบเชิงเส้นและแหล่งจ่ายไฟกระแสตรงแบบวิธีสวิตช์



วิชาวงจรอิเล็กทรอนิกส์ รหัสวิชา 30104 - 2103 จัดอยู่ในหมวดวิชาสมรรถนะวิชาชีพ กลุ่มสมรรถนะวิชาชีพเลือก สาขางานไฟฟ้ากำลัง ประเภทวิชาอุตสาหกรรม สาขาวิชาไฟฟ้า ตามหลักสูตรประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง พุทธศักราช 2562 สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา (สอศ.) กระทรวงศึกษาธิการ ผู้เขียนได้บริหารสาระการเรียนรู้แบ่งเป็น 10 บท **ได้จัดแผนการจัดการเรียนรู้/แผนการสอนที่มุ่งเน้นฐานสมรรถนะ (Competency Based) และการบูรณาการ (Integrated)** ตรงตามจุดประสงค์รายวิชา สมรรถนะรายวิชา คำอธิบายรายวิชา ในแต่ละบทเรียนมุ่งให้ความสำคัญส่วนที่เป็นความรู้ ทฤษฎี หลักการ กระบวนการ ตัวอย่าง แบบฝึกปฏิบัติ และคำถามเพื่อการทบทวน เพื่อฝึกทักษะประสบการณ์ เร่งพัฒนาบทบาทของผู้เรียนเป็นผู้จัดการแสวงหาความรู้ (Explorer) เป็นผู้สอนตนเองได้ สร้างองค์ความรู้ใหม่ และบทบาทของผู้สอนเปลี่ยนจากผู้ให้ความรู้มาเป็นผู้จัดการชี้แนะ (Teacher Roles) จัดสิ่งแวดล้อมเอื้ออำนวยต่อความสนใจเรียนรู้ และเป็นผู้ร่วมเรียนรู้ (Co-investigator) จัดห้องเรียนเป็นสถานที่ทำงานร่วมกัน (Learning Context) จัดกลุ่มเรียนรู้ให้รู้จักทำงานร่วมกัน (Grouping) ฝึกความใจกว้าง มุ่งสร้างสรรค์คนรุ่นใหม่ สอนความสามารถที่นำไปทำงานได้ (Competency) สอนความรัก ความเมตตา (Compassion) ความเชื่อมั่น ความซื่อสัตย์ (Trust) เป้าหมายอาชีพอันยังประโยชน์ (Productive Career) และชีวิตที่มีศักดิ์ศรี (Noble Life) เหนือสิ่งอื่นใด เป็นคนดีทั้งกาย วาจา ใจ มีคุณธรรม จรรยาบรรณทางธุรกิจและวิชาชีพ

ส่งเสริมสนับสนุนยุทธศาสตร์การพัฒนาระบบคุณวุฒิวิชาชีพ (Vocational Qualification System) สอดคล้องตามมาตรฐานอาชีพ (Occupational Standard) สร้างภูมิคุ้มกัน เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันของประเทศ กำลังแรงงาน การพัฒนามาตรฐานการปฏิบัติงานระดับชาติ (National Benchmarking) และการวิเคราะห์หน้าที่การทำงาน (Functional Analysis) เพื่อให้เกิดผลสำเร็จในภาคธุรกิจ อุตสาหกรรม ทุกสาขาอาชีพ เป็นการเตรียมความพร้อมของผู้เรียนเข้าสู่สนามการแข่งขันในประชาคมอาเซียน

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ผู้สอน ผู้ประสาวิชาความรู้ เอกสาร หนังสือที่ใช้ประกอบในการเรียบเรียงไว้ ณ โอกาสนี้

อนงค์ลักษณ์ อัจฉมัยกร
มานพ มากเลย



บทที่ 1 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าของไดโอด 1

บทนำ	3
โครงสร้างพื้นฐานและหลักการทำงานไดโอด	3
คุณลักษณะไดโอด	5
ความต้านทานไดโอด	10
วิเคราะห์ไดโอดต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	17
ไดโอดเปล่งแสง	19
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	22
ใบงานที่ 1.1 วงจรไฟฟ้ากระแสตรงของไดโอด	26
ใบงานที่ 1.2 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าของไดโอด	29
ใบงานที่ 1.3 วงจรใช้งานไดโอดเปล่งแสง	29

บทที่ 2 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงเส้น 30

บทนำ	32
วงจรเรียงกระแสไฟฟ้า	33
วงจรกรองแรงดันไฟฟ้า	40
แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ใช้งานจริง	51
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	53
ใบงานที่ 2.1 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบเชิงเส้น	56
ใบงานที่ 2.2 แหล่งจ่ายไฟฟ้าที่ใช้งานจริงในเครื่องรับวิทยุ	59

บทที่ 3 หลักการทำงานและการไบแอสของทรานซิสเตอร์ 60

ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับทรานซิสเตอร์	62
โครงสร้างและสัญลักษณ์ทรานซิสเตอร์	62
การไบแอสทรานซิสเตอร์เบื้องต้น	64



การทำงานของวงจรคอมมอนแบบต่าง ๆ ของทรานซิสเตอร์	66
วงจรไบแอสทรานซิสเตอร์	72
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะบทที่ 3	84
ใบงานที่ 3.1 วงจรคอมมอนเบสของทรานซิสเตอร์	88
ใบงานที่ 3.2 วงจรคอมมอนคอลเล็กเตอร์ของทรานซิสเตอร์	90
ใบงานที่ 3.3 วงจรคอมมอนอีมีเตอร์ของทรานซิสเตอร์	93
บทที่ 4 วงจรใช้งานพื้นฐานของทรานซิสเตอร์	96
บทนำ	98
วงจรอิเล็กทรอนิกส์ทั่วไปที่ใช้ทรานซิสเตอร์	98
วงจรขยายพื้นฐานที่ใช้ทรานซิสเตอร์	102
วงจรโทคอนโวล	110
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	112
ใบงานที่ 4.1 วงจรใช้งานทรานซิสเตอร์	117
ใบงานที่ 4.2 วงจรขยายแบบคาสเคดและวงจรดาร์ลิ่งตัน	120
ใบงานที่ 4.3 วงจรขยายเสียงคอมพลิเมตารี	125
บทที่ 5 การวิเคราะห์วงจรขยายสำหรับสัญญาณขนาดเล็กที่ใช้ทรานซิสเตอร์	128
วงจรเทียบเท่าทางไฟฟ้ากระแสสลับและแบบจำลองทรานซิสเตอร์ด้วยกล่องดำ	130
ระบบพอร์ต	132
แบบจำลองทรานซิสเตอร์ r_e	135
วิเคราะห์วงจรขยายสัญญาณขนาดเล็กที่ใช้แบบจำลองทรานซิสเตอร์ r_e	143
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	155
ใบงานที่ 5.1 วงจรขยายที่ใช้การไบแอสอีมีเตอร์	159



บทที่ 6 ความรู้พื้นฐานของไอซีออพแอมป์

163

บทนำ	165
สัญลักษณ์และโครงสร้างภายในของไอซีออพแอมป์	165
การผลิตเบอร์ไอซีออพแอมป์	168
ค่าพารามิเตอร์ไอซีออพแอมป์เบอร์ UA741	169
ไอซีออพแอมป์ในทางอุดมคติ	171
ตำแหน่งขาของไอซีออพแอมป์เบอร์ UA741	172
แหล่งจ่ายไฟฟ้าของไอซีออพแอมป์เบอร์ UA741	173
ขั้นตอนการปรับแรงดันไฟฟ้าออฟเซตให้กับไอซีออพแอมป์เบอร์ UA741	175
นอร์ตันออพแอมป์	176
วงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า	176
วงจรใช้งานพื้นฐานของไอซีออพแอมป์	179
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	181
ใบงานที่ 6.1 การปรับแรงดันไฟฟ้าออฟเซตของไอซีออพแอมป์	185
ใบงานที่ 6.2 วงจรเปรียบเทียบแรงดันไฟฟ้า	187
ใบงานที่ 6.3 วงจรตรวจจับแสงอัตโนมัติ	189

บทที่ 7 การวิเคราะห์วงจรขยายที่มีการป้อนกลับของไอซี ออพแอมป์ และการประยุกต์ใช้งานกับวงจรแบบเชิงเส้นและไม่เชิงเส้น 191

บทนำ	193
วงจรขยายที่มีการกลับเฟส	193
วงจรขยายที่ไม่มีการกลับเฟส	198
วงจรตามแรงดันไฟฟ้า	201
วงจรขยายสัญญาณหลายช่อง	203
วงจรแอกติฟแบนด์พาสฟิลเตอร์	205
วงจรเฟสชิฟต์ออสซิลเลเตอร์	207
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	210
ใบงานที่ 7.1 วงจรขยายสัญญาณที่มีการป้อนกลับของไอซีออพแอมป์	214
ใบงานที่ 7.2 วงจรแอกติฟแบนด์พาสฟิลเตอร์	214



บทที่ 8 วงจรกำเนิดสัญญาณ

215

บทนำ	217
ไอซีออปแอมป์กับการกำเนิดสัญญาณไซน์และสัญญาณสี่เหลี่ยม	218
การคำนวณความถี่ของวงจรถ่ายกำเนิดสัญญาณ	223
วงจรถ่ายกำเนิดสัญญาณโดยใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ ICL8038	228
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	234
ใบงานที่ 8.1 วงจรวินบริดจ์ออสซิลเลเตอร์	239
ใบงานที่ 8.2 วงจรถ่ายกำเนิดสัญญาณใช้ไอซีออปแอมป์เบอร์ ICL8038	239

บทที่ 9 วงจรขยายกำลัง

240

บทนำ	242
เครื่องขยายเสียงชนิดโอทีแอล	243
เครื่องขยายเสียงชนิดโอซีแอล	247
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	252
ใบงานที่ 9.1 วงจรขยายกำลัง	256

บทที่ 10 แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแบบวิธีสวิตช์

257

แหล่งจ่ายไฟฟ้าแบบสวิตชิงเบืองตัน	259
วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง	271
แบบทดสอบและกิจกรรมการฝึกทักษะ	274
ใบงานที่ 10.1 วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดคงที่	278
ใบงานที่ 10.2 วงจรแปลงผันแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงชนิดปรับค่าได้	281

คำถามเพื่อการทบทวน

284

คำศัพท์

289

บรรณานุกรม

295

บทที่

1

ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้า กับแรงดันไฟฟ้าของไดโอด



แนวคิด

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ เป็นอุปกรณ์ที่มีค่าความต้านทานอยู่ระหว่างตัวนำกับฉนวน สามารถเป็นได้ทั้งตัวนำและฉนวน กล่าวคือ ถ้าอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำมีสภาพเป็นฉนวนจะไม่เกิดการนำกระแสไฟฟ้า และถ้าอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำมีสภาพเป็นตัวนำจะเกิดการนำกระแสไฟฟ้า

อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำตัวแรกที่ต้องศึกษา คือ **ไดโอด (Diode)** ทำหน้าที่นำกระแสไฟฟ้าได้ทิศทางเดียว ถูกจัดไบแอส 2 แบบ คือ ไบแอสตรงและไบแอสกลับ มีขาใช้งาน 2 ขา คือ แอโนด (Anode) กับแคโทด (Cathode)



สาระการเรียนรู้

1. บทนำ
2. โครงสร้างพื้นฐานและหลักการทำงานของไดโอด
3. คุณลักษณะไดโอด
4. ความต้านทานไดโอด
5. วิเคราะห์ไดโอดต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
6. วิเคราะห์ไดโอดต่อขนานกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง



สมรรถนะ

วัด ทดสอบกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าในวงจรของไดโอด



จุดประสงค์เชิงพฤติกรรม (Behavioral Objectives)

หลังศึกษาจบบทเรียนนี้แล้ว นักเรียนจะมีความสามารถดังนี้

1. อธิบายโครงสร้างพื้นฐานและหลักการทำงานของไดโอด
2. จำแนกไดโอดทางปฏิบัติการออกจากไดโอดทางอุดมคติ
3. คำนวณค่าความต้านทานไดโอดทางไฟฟ้ากระแสตรงและไฟฟ้ากระแสสลับ
4. วิเคราะห์ไดโอดเมื่อต่ออนุกรมกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
5. วิเคราะห์ไดโอดเมื่อต่อขนานกับแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้ากระแสตรง
6. คำนวณค่าความต้านทานที่นำมาใช้งานกับไดโอดเปล่งแสง



ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้า กับแรงดันไฟฟ้าของไดโอด

บทที่

1



บทนำ

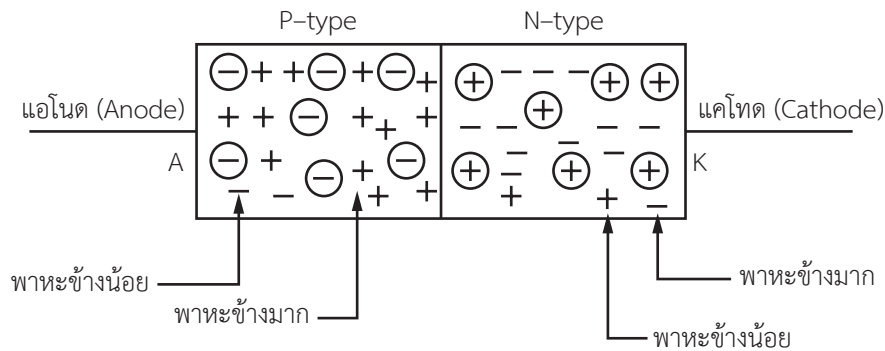
ในการศึกษาการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Circuits) จำเป็นต้องเรียนรู้การทำงานของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Devices) อย่างถูกต้องบนหลักวิชาการทางด้านวิทยาศาสตร์ ซึ่งอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ หมายถึง อุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor Devices) ที่มีค่าความต้านทานอยู่ระหว่างฉนวนกับตัวนำ โดยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ตัวแรกที่จะต้องทำความเข้าใจคือ ไดโอด (Diode) เมื่อไดโอดได้รับการไบแอสตรง (Forward Bias) จะเกิดการนำกระแสไฟฟ้าเนื่องจากค่าความต้านทานของไดโอดมีค่าลดลง แต่ถ้าไดโอดได้รับการไบแอสกลับ (Reverse Bias) จะหยุดนำกระแสไฟฟ้า เหตุผลคือ ค่าความต้านทานของไดโอดมีค่าสูงขึ้น



โครงสร้างพื้นฐานและหลักการทำงานของไดโอด

ไดโอด (Diode) เป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) ทำหน้าที่นำกระแสไฟฟ้าได้ทิศทางเดียว ถูกนำไปใช้งานต่าง ๆ อาทิ วงจรป้องกันแรงดันไฟฟ้ากลับขั้ว วงจรแหล่งจ่ายกำลังไฟฟ้า เป็นต้น

โครงสร้างไดโอด ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type) ประกบกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type) ด้วยความร้อนสูงถึง $1,000^{\circ}\text{C}$ แสดงในรูปที่ 1.1

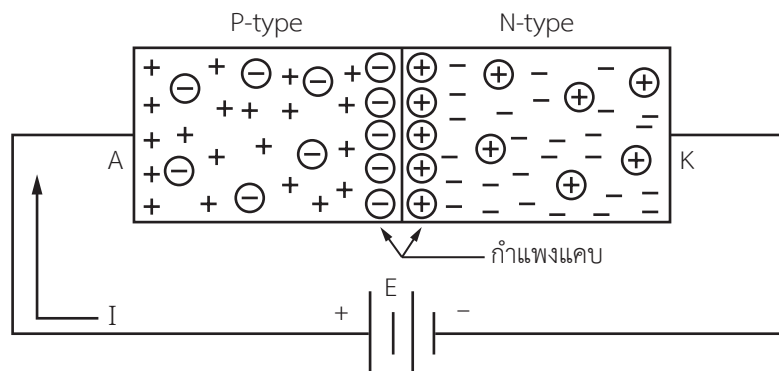


รูปที่ 1.1 โครงสร้างไดโอด

พิจารณาในรูปที่ 1.1 พบว่า สารกึ่งตัวนำชนิดพีมีทั้งประจุไฟฟ้าบวกและประจุไฟฟ้าลบ ซึ่งโฮล (Hole) มีศักย์ไฟฟ้าเทียบเท่ากับประจุไฟฟ้าบวก (+) ส่วนอิเล็กตรอน (Electron) มีศักย์ไฟฟ้าเทียบเท่ากับประจุไฟฟ้าลบ (-) ดังนั้น โฮลจึงเป็นพาหะข้างมาก (Majority Carriers) ส่งผลให้อิเล็กตรอนเป็นพาหะข้างน้อย (Minority Carriers)

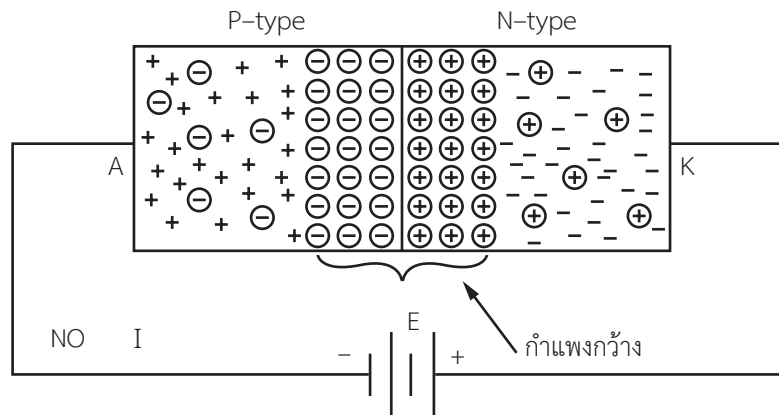
ตรงกันข้าม เมื่อพิจารณาที่สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นจะมีโฮลเป็นพาหะข้างน้อย ส่งผลให้อิเล็กตรอนเป็นพาหะข้างมาก

การกำหนดจุดทำงานของไดโอด เรียกว่า **การไบแอส (Biasing)** มี 2 แบบ คือ การไบแอสตรง (Forward Bias) และกับการไบแอสกลับ (Reverse Bias)



รูปที่ 1.2 ไดโอดได้รับไบแอสตรง

เมื่อไดโอดได้รับไบแอสตรง (รูปที่ 1.2) ทำให้ขาแอโนดได้รับศักย์ไฟฟ้าบวก ขณะที่ขาแคโทดได้รับศักย์ไฟฟ้าลบ แรงดันไฟฟ้าบวกจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (E) จะผลักโฮลในสารกึ่งตัวนำชนิดพีไปอยู่ตรงกลางบริเวณรอยต่อ ทำให้แรงดันไฟฟ้าลบจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าจะผลักอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นไปอยู่ตรงกลางบริเวณรอยต่อดังกล่าว ทำให้เกิดการจับคู่ระหว่างอิเล็กตรอนกับโฮล ช่วงกัมแพงขวางกัน (Depletion Region) จะแคบลง ความต้านทานของไดโอดจะมีค่าลดลง ส่งผลให้มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไดโอดได้ ไดโอดจึงนำกระแสไฟฟ้า



รูปที่ 1.3 ไดโอดได้รับไบแอสกลับ

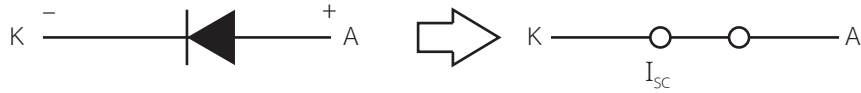
เมื่อไดโอดได้รับไบแอสกลับ (รูปที่ 1.3) ทำให้ขาแอโนดได้รับศักย์ไฟฟ้าลบ ขณะที่ขาแคโทดได้รับศักย์ไฟฟ้าบวก แรงดันไฟฟ้าบวกจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้า (E) จะดึงอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นให้ห่างจากรอยต่อ โดยมาอยู่บริเวณปลายแท่งของสารเอ็นมากที่สุด ส่วนแรงดันไฟฟ้าลบจากแหล่งจ่ายแรงดันไฟฟ้าต้องดึงโฮลในสารพีให้ออกมาอยู่ปลายแท่งของสารพีมากที่สุด ช่วงกัมแพงขวางกันจะกว้างขึ้น ความต้านทานของไดโอดจะมีค่าสูงขึ้น ไดโอดจึงไม่นำกระแสไฟฟ้า



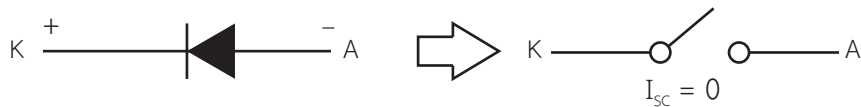
คุณลักษณะไดโอด

คุณลักษณะไดโอด (Characteristic of Diode) มาจากหลักการไบแอสของไดโอด มีทั้งไบแอสตรงและไบแอสกลับ แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ ไดโอดทางอุดมคติ (Ideal Diode) กับไดโอดทางปฏิบัติการ (Practical Diode)

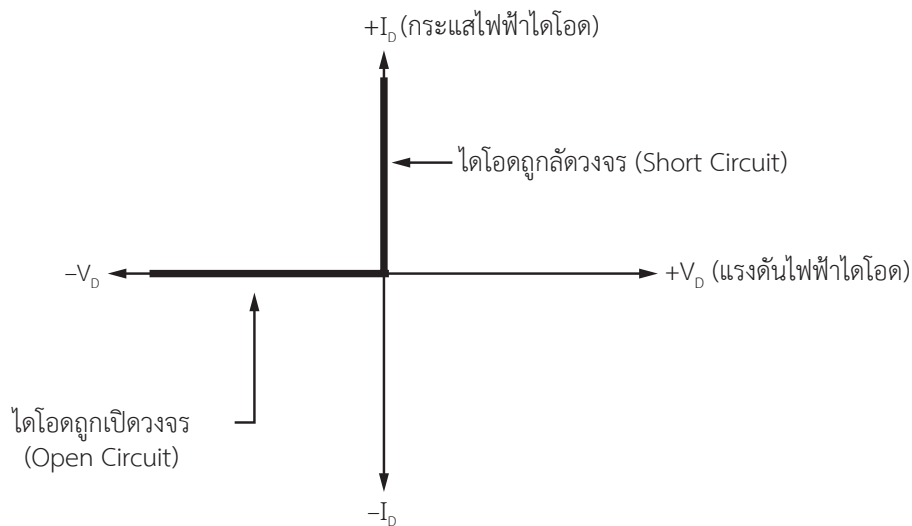
ไดโอดทางอุดมคติ



(ก) ไดโอดถูกลัดวงจรเมื่อได้รับไบแอสตรง



(ข) ไดโอดถูกเปิดวงจรเมื่อได้รับไบแอสกลับ



(ค) กราฟไดโอดทางอุดมคติ

รูปที่ 1.4 ไดโอดทางอุดมคติ

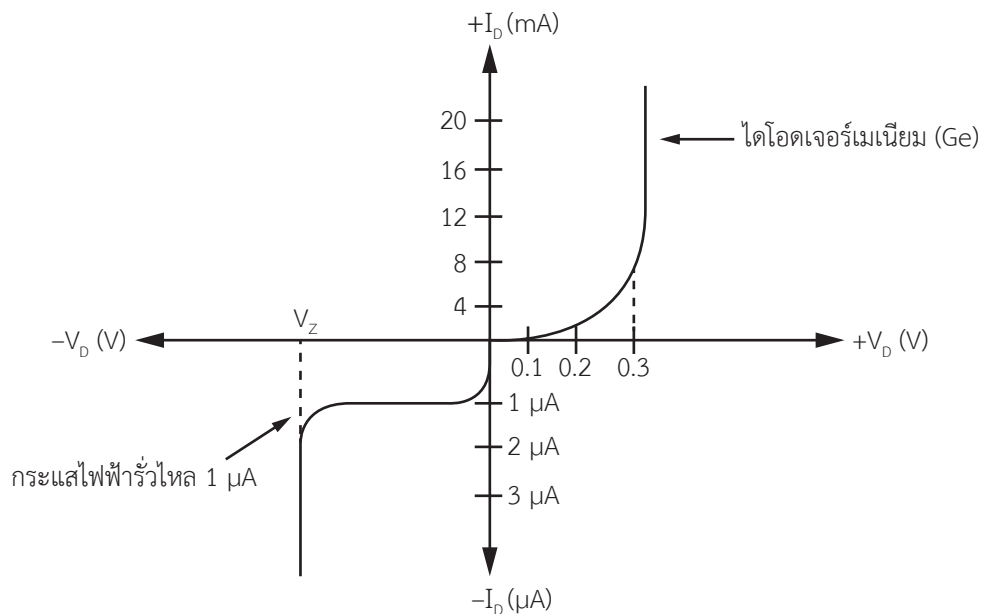
ไดโอดทางอุดมคติแสดงในรูปที่ 1.4 มีรายละเอียดดังนี้

พิจารณารูปที่ 1.4 (ก) แสดงไดโอดได้รับไบแอสตรง เปรียบเสมือนไดโอดถูกลัดวงจรแล้วทำให้ค่าความต้านทานไดโอดมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้น จึงเทียบเท่ากับสวิตช์ต่อวงจร

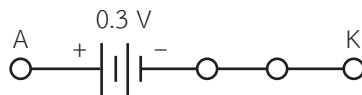
พิจารณารูปที่ 1.4 (ข) แสดงไดโอดได้รับไบแอสกลับ เปรียบเสมือนไดโอดถูกเปิดวงจร (ขาดวงจร) เทียบเท่ากับสวิตช์ตัดวงจร ส่งผลให้ค่าความต้านทานไดโอดสูงมากเป็นอนันต์ (Infinity, ∞)

พิจารณารูปที่ 1.4 (ค) แสดงกราฟของไดโอดทางอุดมคติ ขณะที่ไดโอดถูกลัดวงจร (ไดโอดนำกระแสไฟฟ้า) ทำให้ค่าความต้านทานไดโอดลดลงเป็นศูนย์ ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าไดโอด (I_D) มีค่าสูงขึ้น จึงทำให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอด (V_D) ลดลงเป็นศูนย์ ตรงกันข้าม ขณะที่ไดโอดถูกเปิดวงจรจะทำให้กระแสไฟฟ้าไดโอดมีค่าเป็นศูนย์ ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมไดโอดขณะไบแอสกลับมีค่าสูงขึ้น

ไดโอดทางปฏิบัติการ

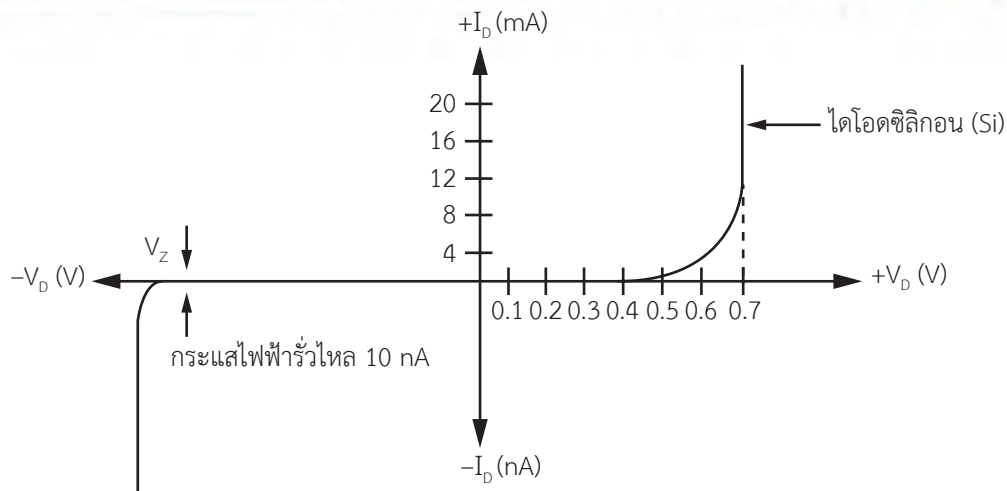


(ก) กราฟไดโอดชนิดเจอร์เมเนียม

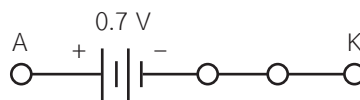


(ข) ไดโอดชนิดเจอร์เมเนียมในทางปฏิบัติการ

รูปที่ 1.5 ไดโอดทางปฏิบัติการ



(ค) กราฟไดโอดชนิดซิลิกอน



(ง) ไดโอดชนิดซิลิกอนในทางปฏิบัติการ

รูปที่ 1.5 ไดโอดทางปฏิบัติการ (ต่อ)

การนำไดโอดมาต่อใช้งานในทางปฏิบัติ คือ การพิจารณาไดโอดทางปฏิบัติการ แสดงในรูปที่ 1.5 มีรายละเอียดดังนี้

1. พิจารณารูปที่ 1.5 (ก) กับรูปที่ 1.5 (ข) แสดงกราฟไดโอดชนิดเจอร์เมเนียม กล่าวคือ เมื่อไดโอดนี้ได้รับไบแอสตรง จะเกิดแรงดันไฟฟ้าคัต-อิน (Cut-in Voltage) ตกคร่อมที่ตัวไดโอดประมาณ 0.2 V - 0.3 V ทำให้ไดโอดนำกระแสไฟฟ้า เมื่อไดโอดชนิดเจอร์เมเนียมได้รับไบแอสกลับ จะทำให้ไดโอดไม่นำกระแสไฟฟ้า แต่จะมีกระแสไฟฟ้าวัดปรากฏขึ้นในตอนแรกเล็กน้อย (กระแสไฟฟ้าเปลี่ยนจาก 0 - 1 μ A) และถ้ามีการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าไบแอสกลับให้สูงขึ้น กระแสไฟฟ้าวัดจะเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดที่ไดโอดนำกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้น เรียกว่า **กระแสไฟฟ้าอิ่มตัวย้อนกลับ (Reverse Saturation Current)** และในช่วงกระแสไฟฟ้าอิ่มตัวย้อนกลับนี้ จะเกิดเป็นแรงดันไฟฟ้าพังทลาย (Breakdown Voltage) โดยถ้าป้อนแรงดันไฟฟ้าไบแอสกลับให้กับไดโอดชนิดเจอร์เมเนียมให้สูงกว่าแรงดันไฟฟ้าพังทลาย จะทำให้ไดโอดนี้เสียหาย

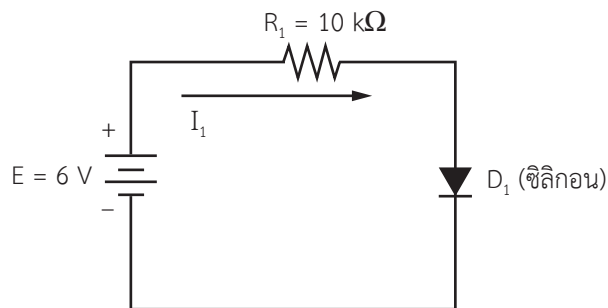
2. พิจารณารูปที่ 1.5 (ค) กับรูปที่ 1.5 (ง) แสดงกราฟไดโอดชนิดซิลิกอน ซึ่งกระแสไฟฟ้าวัดไดโอดชนิดนี้ต่ำกว่าไดโอดชนิดเจอร์เมเนียม (กระแสไฟฟ้าวัดของไดโอดชนิดซิลิกอนมีค่า 10 nA) เมื่อไดโอดชนิดซิลิกอนได้รับไบแอสตรง จะเกิดแรงดันไฟฟ้าคัต-อิน ตกคร่อมประมาณ 0.6 V - 0.7 V ทำให้

บทที่ 1 ลักษณะสมบัติไฟฟ้ากับแรงดันไฟฟ้าของไดโอด

9

ไดโอดนำกระแสไฟฟ้า เมื่อไดโอดได้รับไบแอสกลับจะทำให้ไม่นำกระแสไฟฟ้าแต่จะมีกระแสไฟฟ้ารั่วไหลปรากฏขึ้นในตอนแรกเล็กน้อย (กระแสไฟฟ้าเปลี่ยนจาก 0 - 10 nA) และถ้าเพิ่มแรงดันไฟฟ้าไบแอสกลับให้สูงขึ้น จะทำให้กระแสไฟฟ้ารั่วไหลเพิ่มสูงขึ้นจนถึงจุดที่ไดโอดนำกระแสไฟฟ้าได้มากขึ้น เรียกว่า **กระแสไฟฟ้าอิมิตวย้อนกลับ** และในช่วงกระแสไฟฟ้าอิมิตวย้อนกลับนี้จะเกิดแรงดันไฟฟ้าพังทลาย หากป้อนแรงดันไฟฟ้าไบแอสกลับให้สูงกว่าแรงดันไฟฟ้าพังทลาย จะทำให้ไดโอดเสียหายได้

ตัวอย่างที่ 1.1 จากรูปที่ 1.6 ให้คำนวณหากระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม R_1 เมื่อพิจารณาไดโอดทางปฏิบัติการ



วิธีทำ

รูปที่ 1.6 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 1.1

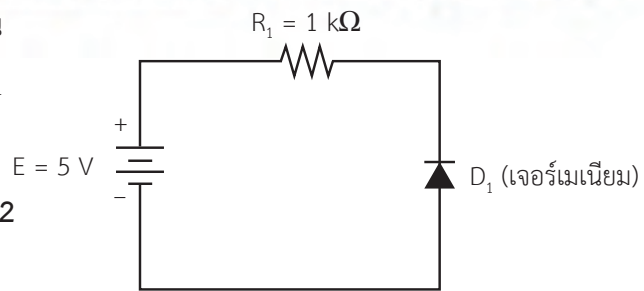
$$\begin{aligned} 1. \text{ กระแสไฟฟ้า } I_1 &= \frac{E - V_D}{R_1} \\ &= \frac{6 - 0.7}{10 \times 10^3} \\ &= 0.53 \text{ mA} \\ 2. \text{ แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม } R_1 \text{ คือ } V_1 &= I_1 R_1 \\ &= (0.53 \times 10^{-3})(10 \times 10^3) \\ &= 5.3 \text{ V} \end{aligned}$$

ตอบ

ตัวอย่างที่ 1.2 จากรูปที่ 1.7 ให้คำนวณหากระแสไฟฟ้า และแรงดันไฟฟ้าตกคร่อม D_1



รูปที่ 1.7 ภาพประกอบตัวอย่างที่ 1.2



วิธีทำ

1. ไดโอด D_1 ได้รับไบแอสกลับ จึงทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านไดโอด D_1

$$\text{ดังนั้น } I_D = 0$$

2. แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม $R_1 = 0$ ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อม $D_1 = 5 \text{ V}$

ตอบ

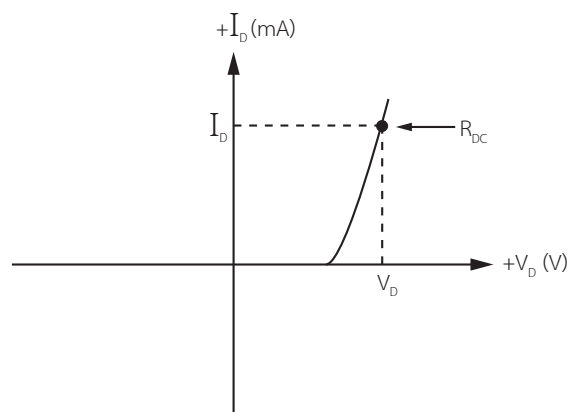


ความต้านทานไดโอด

ไดโอดสามารถนำไปใช้งานได้ทั้งวงจรไฟฟ้ากระแสตรงและวงจรไฟฟ้ากระแสสลับ ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และความต้านทานเกิดขึ้นที่ไดโอด ซึ่งค่าความต้านทานไดโอดจะพิจารณาความต้านทานทางไฟฟ้ากระแสตรง (Static Resistance) และความต้านทานทางไฟฟ้ากระแสสลับ (Dynamic Resistance)

ความต้านทานทางไฟฟ้ากระแสตรงของไดโอด

ความต้านทานทางไฟฟ้ากระแสตรงของไดโอด แสดงในรูปที่ 1.8 ซึ่งจะนำค่าคงที่ของกระแสไฟฟ้าไดโอด (I_D) และแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงของไดโอด (V_D) มาจัดทำเป็นอัตราส่วนดังนี้



รูปที่ 1.8 ความต้านทานทางไฟฟ้ากระแสตรงของไดโอด

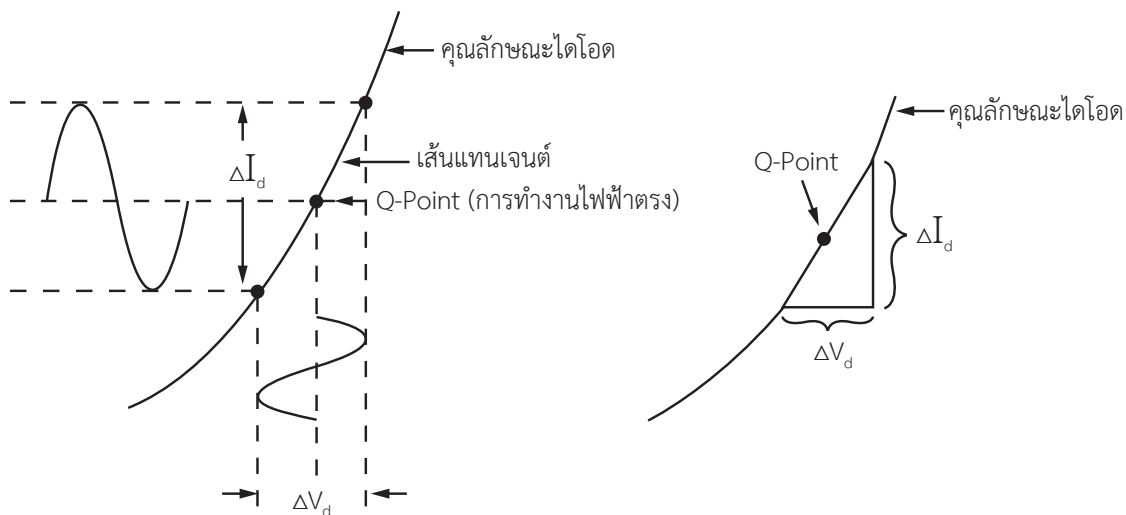
นั่นคือ $R_{DC} = \frac{V_D}{I_D}$ (1.1)

สมมติ $V_D = 0.6 \text{ V}$ และ $I_D = 3 \text{ mA}$

$$R_{DC} = \frac{0.6}{3 \times 10^{-3}} = 200 \Omega$$

ความต้านทานทางไฟฟ้ากระแสลับของไดโอด

ความต้านทานทางไฟฟ้ากระแสลับของไดโอด แสดงในรูปที่ 1.9 เมื่อนำแหล่งกำเนิดรูปคลื่นไซน์จ่ายให้กับไดโอด จะเกิดการสวิง (Swing) ของสัญญาณ ทำให้สัญญาณที่ผ่านไดโอดเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น - ลงอย่างต่อเนื่อง โดยสัญญาณที่จุด Q-Point เป็นระดับที่คงตัวและไม่เกิดการเปลี่ยนแปลง



(ก) ลักษณะไดโอดเมื่ออยู่ในวงจรไฟฟ้ากระแสลับ

(ข) เส้นแทนเจนต์เป็นเส้นสัมผัสผ่านจุด Q-Point ทำให้ได้ค่าความต้านทานทางไฟฟ้ากระแสลับ

รูปที่ 1.9 ความต้านทานทางไฟฟ้ากระแสลับของไดโอด

การหาค่าความต้านทานทางไฟฟ้ากระแสลับของไดโอด (r_d) ต้องลากเส้นแทนเจนต์ (Tangent Line) ผ่านจุด Q-Point จะเกิดเส้นตรงเรียบสอดคล้องกับสามเหลี่ยมมุมฉาก (รูปที่ 1.9 (ข))

ความต้านทานทางไฟฟ้ากระแสลับของไดโอด = $\frac{\text{อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าของไดโอด}}{\text{อัตราการเปลี่ยนแปลงกระแสไฟฟ้าของไดโอด}}$

$$r_d = \frac{\Delta V_D}{\Delta I_D} \text{(1.2)}$$