

ภาคผนวก

LTspice เบื้องต้น

วัตถุประสงค์การเรียนรู้

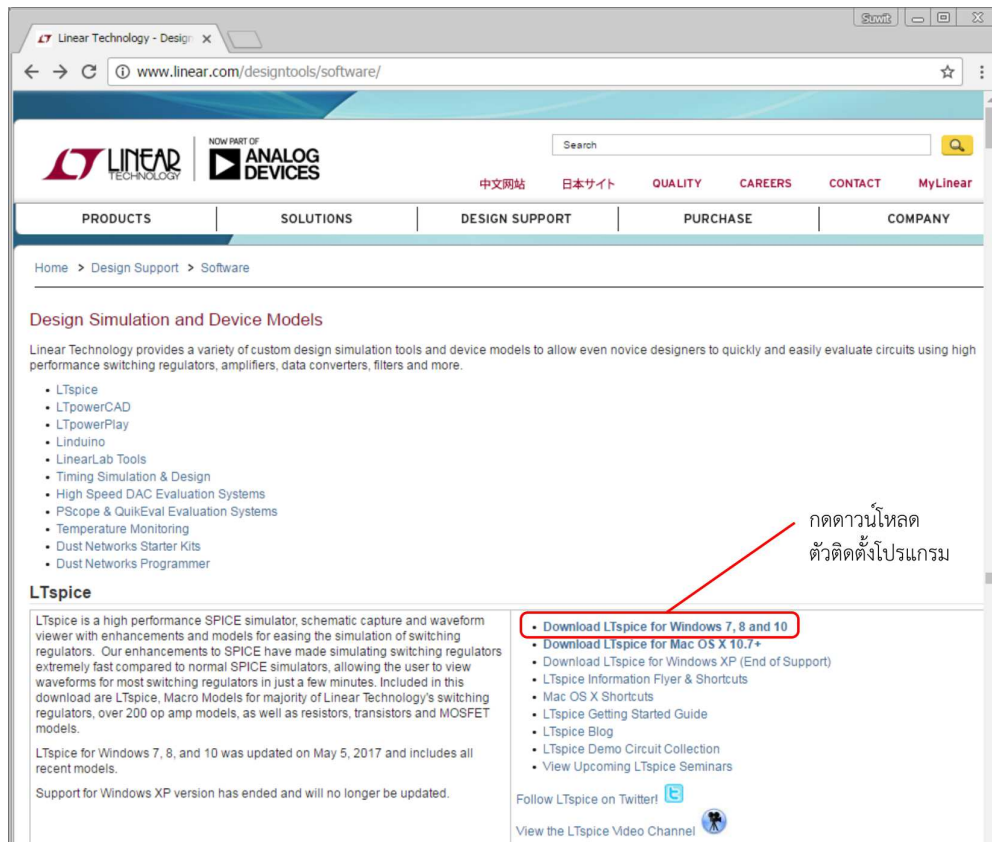
- สามารถดาวน์โหลดและติดตั้งโปรแกรม LTspice ในคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลได้
- สามารถเลือกและจัดวางอุปกรณ์ที่เป็นองค์ประกอบของวงจรที่ต้องการวิเคราะห์ได้
- สามารถใช้โปรแกรม LTspice สร้างวงจรที่ต้องการจำลองและกำหนดค่าพารามิเตอร์ขององค์ประกอบต่าง ๆ ในวงจรได้
- สามารถเลือกโหมดการวิเคราะห์ รันและแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรม LTspice ได้

2 LTspice เบื้องต้น

ก.1 การติดตั้งโปรแกรม LTspice

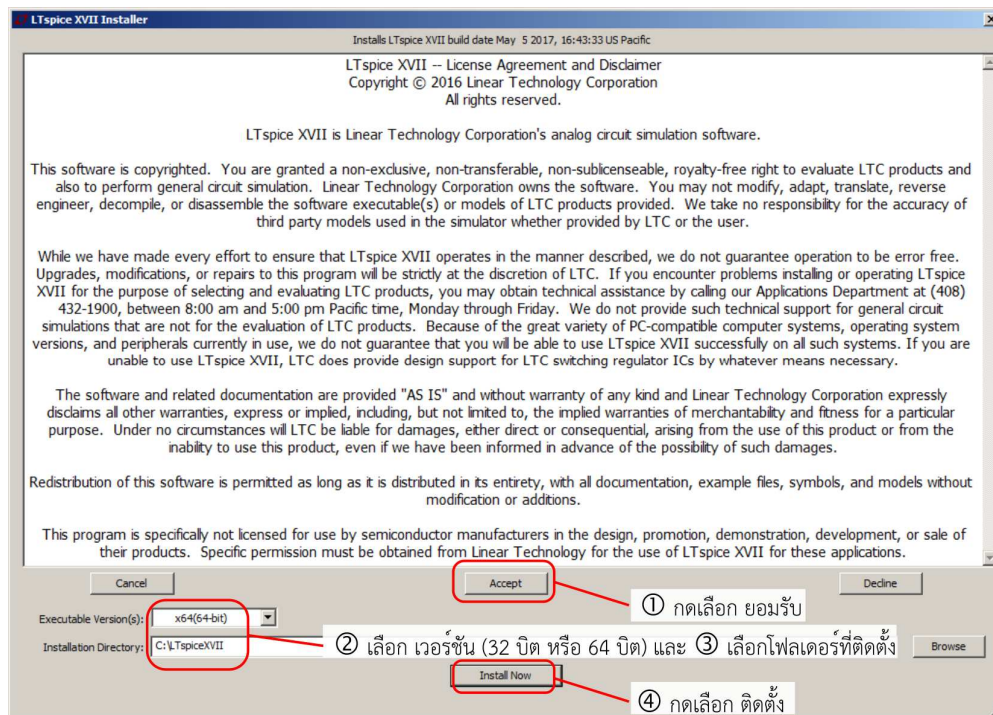
สไปซ์ (SPICE) เป็นจำพวกของโปรแกรมที่พัฒนาเพื่อจำลองการทำงานของวงจรอิเล็กทรอนิกส์เป็นหลัก คำว่า สไปซ์ เป็นคำย่อของ Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis ซึ่งแปลเป็นไทยได้ว่าเป็น โปรแกรมจำลองการทำงานที่เน้นวงจรรวม โปรแกรม LTspice เป็นฟรีแวร์ที่พัฒนาโดยบริษัท Linear Technology ซึ่งเป็นบริษัทผลิตวงจรรวมบริษัทหนึ่งในโลก ปัจจุบัน (พฤษภาคม พ.ศ. 2560) โปรแกรม LTspice สำหรับระบบปฏิบัติการวินโดวส์ 7, 8 และ 10 เป็นเวอร์ชัน 17

การติดตั้งโปรแกรม LTspice ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยคอมพิวเตอร์นั้นทำได้โดยเริ่มจากดาวน์โหลดตัวติดตั้งโปรแกรมจาก <http://www.linear.com/designtools/software/> รูปที่ ก.1 แสดงหน้าต่างที่แสดงลิงค์สำหรับการดาวน์โหลดตัวติดตั้งโปรแกรม



รูปที่ ก.1 หน้าต่างที่แสดงลิงค์สำหรับดาวน์โหลดตัวติดตั้งโปรแกรม LTspice

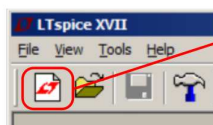
หลังจากที่ดาวน์โหลดตัวติดตั้งแล้ว ก็ทำการติดตั้งลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ โดยโปรแกรมติดตั้งจะแสดงหน้าต่างดังรูปที่ ก.2 การติดตั้งทำโดยการ ① กดเลือกยอมรับข้อตกลงการใช้โปรแกรม, ② เลือกเวอร์ชันที่ต้องการติดตั้ง (32 บิตหรือ 64 บิต), ③ เลือกโฟลเดอร์ที่ต้องการติดตั้ง และ ④ กดเลือก ติดตั้ง เมื่อทำการติดตั้งเสร็จแล้วโปรแกรมติดตั้งจะแสดงข้อความ “LTspice XVII has been successfully installed” และจะมีไอคอน LTspice XVII (รูปที่ ก.3 (ก)) ปรากฏขึ้นบนเดสก์ทอป จากนั้นให้เปิดโปรแกรม LTspice แล้วทำการเลือกเมนู File / New Schematic หรือ กดปุ่มบนแถบเครื่องมือที่แสดงในรูปที่ ก.3 (ข) เพื่อเตรียมสร้างวงจรที่ต้องการจำลองต่อไป



รูปที่ ก.2 หน้าต่างแสดงตัวเลือกสำหรับการติดตั้งโปรแกรมเวอร์ชันและโฟลเดอร์



(ก)



(ข)

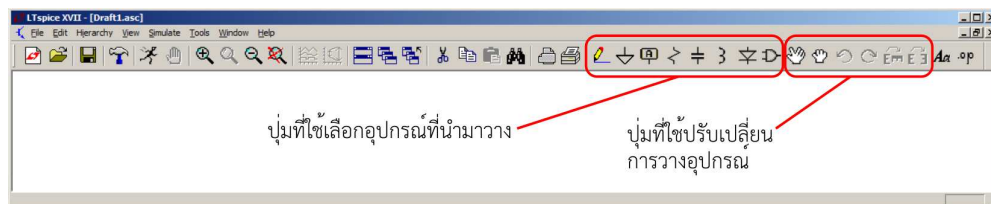
เลือกเมนู File / New Schematic หรือปุ่มนี้ เพื่อการเริ่มสร้างวงจรใหม่

รูปที่ ก.3 (ก) ไอคอนโปรแกรมที่ปรากฏขึ้นบนเดสก์ทอปภายหลังการติดตั้งเสร็จสิ้น และ (ข) ส่วนของหน้าต่างโปรแกรมและการเลือกสร้างวงจรใหม่

4 LTspice เบื้องต้น

ก.2 การเลือกและวางอุปกรณ์

เมื่อทำการสร้างแผนผังวงจรใหม่แล้ว เราจะสามารถเลือกอุปกรณ์ได้โดยใช้เลือกคำสั่งในเมนู Edit หรือใช้เมาส์กดปุ่มบนเมนูบาร์ที่แสดงในรูปที่ ก.4 หรือใช้ปุ่มลัดด้วยแป้นพิมพ์ร่วมด้วยก็ได้ โดยไอคอนปุ่มและปุ่มลัดที่ใช้ในการเลือกวางอุปกรณ์และการปรับเปลี่ยนการวางอุปกรณ์ดังตารางที่ ก.1



รูปที่ ก.4 ส่วนของหน้าต่างโปรแกรมแสดงปุ่มเลือกอุปกรณ์ที่นำมาวาง

ตารางที่ ก.1 ไอคอนปุ่มเลือกและปุ่มลัดที่ใช้ในการเลือกวางและปรับเปลี่ยนการวางอุปกรณ์

ไอคอนปุ่มเลือก	ปุ่มลัด	คำอธิบาย	
	Ground	G	เลือกวางกราวนด์ (ในดอ้างอิงระดับแรงดัน)
	Label Net	F4	เลือกตั้งชื่อโนด เพื่อใช้อ้างอิงต่อไป
	Resistor	R	เลือกวางตัวต้านทาน
	Capacitor	C	เลือกวางตัวเก็บประจุ
	Inductor	L	เลือกวางตัวเหนี่ยวนำ
	Diode	D	เลือกวางไดโอด
	Component	F2	เลือกวางอุปกรณ์ เช่น แหล่งจ่าย ทรานซิสเตอร์ ออปแอมป์
	Wire	F3	วาดสายไฟเชื่อมต่ออุปกรณ์
	Move	F7	ย้ายตำแหน่งอุปกรณ์
	Drag	F8	ย้ายตำแหน่งอุปกรณ์โดยยังคงเชื่อมต่อเหมือนเดิม
	Rotate	Ctrl+R	หมุน 90 องศาในทิศตามเข็มนาฬิกา
	Mirror	Ctrl+E	พลิกกลับด้านซ้าย-ขวา
	Delete	F5, Del	ลบอุปกรณ์หรือสายไฟ
	Duplicate	F6	คัดลอกอุปกรณ์

- ในการสร้างวงจรที่ต้องการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม LTspice เรามีขั้นตอนหลัก คือ
1. สร้างแผนผังวงจรใหม่ (File / New Schematic, Ctrl+N)
 2. เลือกวางอุปกรณ์ โดยอาจทำการหมุน (Ctrl+R) หรือพลิก (Ctrl+E) อุปกรณ์ก่อนวางด้วย
 3. วาดสายไฟเชื่อมต่ออุปกรณ์ (Wire, F3)
 4. กำหนดชื่อและค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์นั้น และกำหนดชื่อโนด (โดยการคลิกขวาที่ชื่อ)
 5. กำหนดโหมดการวิเคราะห์ (Simulate / Edit Simulation Cmd)

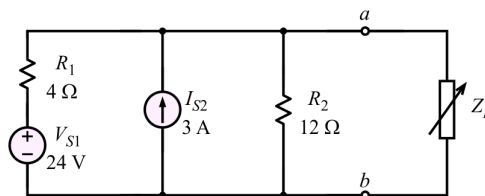
จากนั้นจึงรันโปรแกรม แล้วโปรแกรมจะแสดงผลลัพธ์ตามโหมดการวิเคราะห์ที่เลือก โดยในวงจรทุกวงจรที่จะจำลองขึ้นด้วยโปรแกรม LTspice นั้น เราจะต้องมีการกำหนดกราวด์ให้กับวงจร ซึ่งทำโดยการเชื่อมต่อกราวด์กับโนดที่ต้องการให้เป็นระดับอ้างอิง (0 โวลต์) นอกจากนี้ หากวงจรมีหลายโนด เราจะต้องกำหนดชื่อโนดโดยการใส่ป้ายบอก (Label Net, F4)

ก.3 การกำหนดโหมดการวิเคราะห์และการแสดงผลลัพธ์

การกำหนดโหมดในการวิเคราะห์วงจรในโปรแกรม LTspice ทำได้โดยการเลือกเมนู Simulate และเลือก Edit Simulation Cmd ซึ่งโปรแกรมได้แบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 6 โหมด ได้แก่ โหมดการวิเคราะห์ภาวะชั่วครู่ (transient) การวิเคราะห์ไฟสลับ (AC analysis) การครอบคลุมค่าไฟตรง (DC sweep) สัญญาณรบกวน (noise) ฟังก์ชันถ่ายโอนไฟตรง (DC transfer) และ จุดทำงานไฟตรง (DC operating point) โดยในหัวข้อนี้จะแสดงวิธีการกำหนดโหมดการวิเคราะห์และการแสดงผลลัพธ์ผ่านตัวอย่างการวิเคราะห์วงจรในโหมดการวิเคราะห์จุดทำงานไฟตรง และการวิเคราะห์ภาวะชั่วครู่เท่านั้น สำหรับการวิเคราะห์ในโหมดอื่น ๆ ผู้ที่สนใจสามารถศึกษาได้จากคู่มือการใช้โปรแกรม หรือแหล่งข้อมูลอื่น ๆ ต่อไป

■■ ตัวอย่าง ก-1 การวิเคราะห์วงจรไฟตรง

จงใช้โปรแกรม LTspice วิเคราะห์หาค่าแรงดันที่ตกคร่อมระหว่างจุด a และ b ในวงจรรูปที่ ก.5 โดยกำหนดให้ Z_L คือ ตัวต้านทานขนาด 6 โอห์ม



รูปที่ ก.5 รูปวงจรประกอบตัวอย่าง ก-1

6 LTspice เบื้องต้น

■ **วิธีทำ** จากวงจรที่โจทย์กำหนดให้ เราสามารถสร้างวงจร โดยดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. *การสร้างแผนผังวงจรใหม่ (New Schematic)*

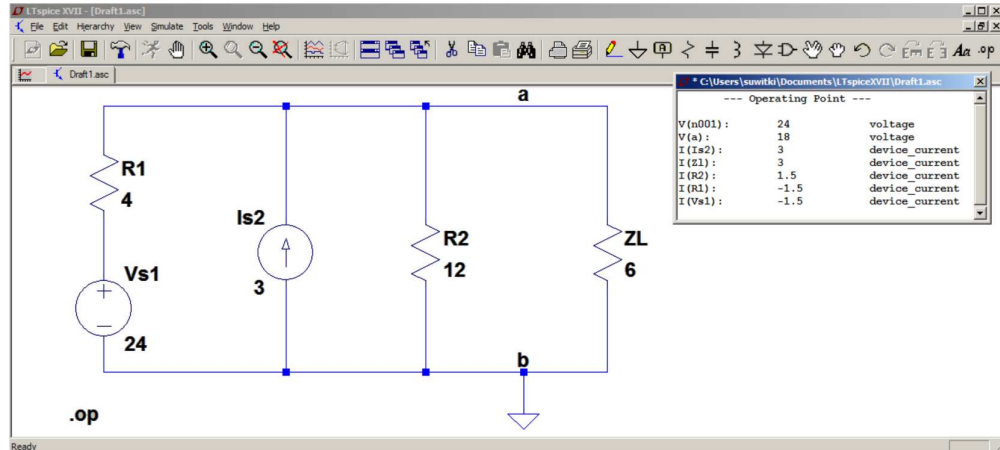
2. *เลือกวางอุปกรณ์* โดยเลือกวางแหล่งจ่ายแรงดัน V_{S1} โดยการเลือกวาง component (กด F2) แล้วเลือกอุปกรณ์ชื่อ 'voltage' จากนั้นจึงวางอุปกรณ์นี้ลงในตำแหน่งที่เหมาะสม จากนั้นจึงเลือกวางแหล่งจ่ายกระแส I_{S2} โดยการเลือกวาง component (กด F2) อีกครั้งแล้วเลือกอุปกรณ์ชื่อ 'current' โดยก่อนวางแหล่งจ่ายกระแสนี้ เราจะต้องหมุนอุปกรณ์นี้สองครั้ง (กด Ctrl+E 2 ครั้ง) ก่อนทำการคลิกเพื่อวางอุปกรณ์นี้ เพื่อให้ได้ทิศทางกระแสตามที่โจทย์กำหนด หลังจากนั้นจึงเลือกวางตัวต้านทาน (กด R) แล้วจึงวางอุปกรณ์นี้ 3 ครั้ง สำหรับ R_1 , R_2 และ Z_L และสุดท้ายจึงเลือกวางกราวด์ (กด G) ที่ส่วนล่างของวงจรเพื่อกำหนดให้โนดล่าง (โนด b) เป็นโนดอ้างอิงระดับแรงดัน

3. *วาดสายไฟเชื่อมต่ออุปกรณ์* (กด F3) เชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ ให้กลายเป็นวงจรที่กำหนด ซึ่งสำหรับการวาดสายไฟนี้ เราสามารถลากเส้นผ่านตัวอุปกรณ์ได้เลย (ไม่จำเป็นต้องคลิกหยุดการวาด) โดยโปรแกรมจะทำการตรวจสอบและกำหนดการเชื่อมต่อให้อัตโนมัติ ซึ่งหากมีข้อผิดพลาดในการเชื่อมต่อ ผู้ใช้สามารถคลิกเลือกลบออกได้ โดยการกด F5 หรือ Del แล้วคลิกที่ส่วนที่ต้องการลบ

4. *กำหนดชื่อและพารามิเตอร์ของอุปกรณ์และกำหนดชื่อโนด* โดยการคลิกขวาที่ชื่ออุปกรณ์ แล้วพิมพ์ชื่อที่ต้องการลงไป จากนั้นจึงกำหนดค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ ค่าแรงดันของแหล่งจ่าย ค่ากระแสของแหล่งจ่าย และค่าความต้านทาน โดยการคลิกขวาที่ค่าที่แสดงด้านล่างของชื่ออุปกรณ์ แล้วพิมพ์ค่าที่ต้องการกำหนดลงไป จากนั้นจึงกำหนดชื่อโนด โดยการเลือกวาง Label Net (กด F4) แล้วตั้งชื่อโนดว่า a สำหรับโนดด้านบนแล้ววาง Label นี้ลง และทำขั้นตอนเดิมซ้ำสำหรับโนดล่าง (โนด b)

5. *กำหนดโหมดการวิเคราะห์* โดยการเลือก Simulate และ Edit Simulation Cmd จากนั้นจึงเลือกไปที่แถบการวิเคราะห์จุดทำงานไฟตรง (DC opt pnt) ซึ่งจะมีข้อความ '.op' เป็นข้อความที่ใช้ในการบอกให้โปรแกรมวิเคราะห์การทำงานของวงจรในโหมดการวิเคราะห์จุดทำงานไฟตรง ให้เลือก OK แล้ววางข้อความนี้ลงบนแผนผังวงจรในตำแหน่งใดก็ได้

เมื่อดำเนินการตามข้อที่ 1-5 แล้วเราจะได้แผนผังวงจรในโปรแกรม LTspice ดังแสดงในรูปที่ ก.6 โดยสำหรับหน่วยมาตรฐานทางไฟฟ้าของค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ โวลต์ V, แอมแปร์ A, และ โอห์ม Ω นั้น เราจะละไว้ (ไม่ใส่เข้าไป) เนื่องจากโปรแกรมจะคำนวณเฉพาะค่าตัวเลขเท่านั้น แต่หากค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ นี้มีค่าอุปสรรค เช่น $1\mu (= 10^{-6})$, $1m (= 0.001)$ หรือ $1k (= 1000)$ เราสามารถป้อนค่าอุปสรรคเหล่านี้ตามหลังค่าตัวเลขในช่องรับค่าพารามิเตอร์ได้ โดยโปรแกรมจะเปลี่ยนค่าอุปสรรคเหล่านี้เป็นค่าตัวเลขก่อนนำไปคำนวณ



รูปที่ ก.6 หน้าต่างแสดงวงจรประกอบตัวอย่าง ก-1 ในโปรแกรม LTspice และ หน้าต่างเล็กด้านมุมขวบนที่แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ในโหมดจุดทำงานไฟตรง

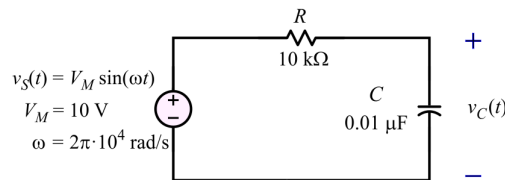
เมื่อสร้างแผนผังวงจรเสร็จเราสามารถบันทึกไฟล์แผนผังนี้หรือทำการรันโปรแกรมได้ทันที โดยการกดปุ่มรัน หรือเลือก Simulate / Run โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ โดยสำหรับการรันในโหมดการวิเคราะห์จุดทำงานไฟตรงตามที่แสดงในตัวอย่างนี้ จะได้ผลเป็นค่าตัวเลขดังแสดงในหน้าต่างเล็กด้านขวบนในรูปที่ ก.6 ซึ่งจากค่าเหล่านี้คือค่าแรงดันที่โหนดทั้งหมด และกระแสที่กิ่งทุกกิ่งในวงจร ซึ่งจากค่าตัวเลขที่ได้รับ จะได้ว่าค่าแรงดันที่ตกคร่อมระหว่างจุด a และ b คือ แรงดันที่โหนด $a = 18 \text{ V}$ (จากบรรทัด $v(a) : = 18 \text{ voltage}$) เนื่องจากให้แรงดันที่โหนด b เป็นแรงดันอ้างอิง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า

$$V_{ab} = 18 \text{ V}$$

Ans

■■ ตัวอย่าง ก-2 การวิเคราะห์ภาวะชั่วคราวของวงจรอาร์ซีอนุกรม

จงใช้โปรแกรม LTspice แสดงลักษณะสัญญาณแรงดัน $v_C(t)$ ที่ตกคร่อมตัวเก็บประจุที่อยู่ในวงจรรูปที่ ก.7 โดยแสดงเทียบขนาดและเฟสกับสัญญาณแรงดันขาเข้า $v_S(t)$



รูปที่ ก.7 รูปวงจรประกอบตัวอย่าง ก-2

8 LTspice เบื้องต้น

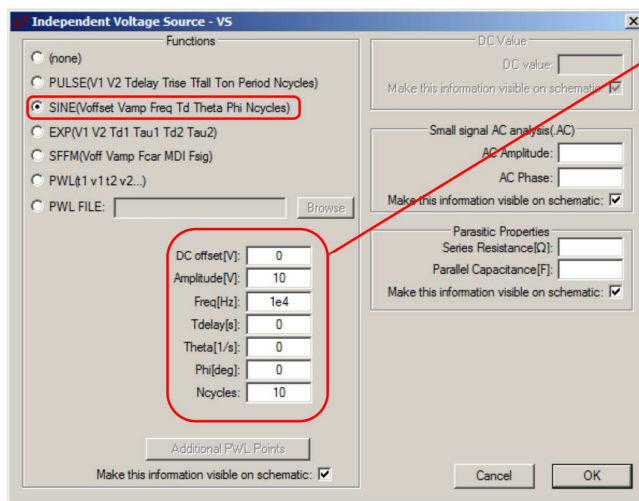
■ **วิธีทำ** จากวงจรที่โจทย์กำหนดให้ เราสามารถสร้างวงจร โดยดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การสร้างแผนผังวงจรใหม่ (New Schematic)

2. เลือกวางอุปกรณ์ โดยเลือกวางแหล่งจ่ายแรงดัน $v_s(t)$ โดยการเลือกวาง component (กด F2) แล้วเลือกอุปกรณ์ชื่อ 'voltage' จากนั้นจึงวางอุปกรณ์นี้ลงในตำแหน่งที่เหมาะสม จากนั้นจึงเลือกวางตัวต้านทาน (กด R) โดยก่อนวางตัวต้านทานนี้ เราจะต้องหมุนอุปกรณ์นี้ (กด Ctrl+E) แล้วจึงทำการคลิกเพื่อวางอุปกรณ์นี้ หลังจากนั้นจึงเลือกวางตัวเก็บประจุ (กด C) แล้วจึงวางอุปกรณ์นี้ และสุดท้ายจึงเลือกวางกราวนด์ (กด G) ที่ส่วนล่างของวงจรเพื่อกำหนดให้โหนดล่างเป็นโหนดอ้างอิงระดับแรงดัน

3. วาดสายไฟเชื่อมต่ออุปกรณ์ (กด F3) เชื่อมต่ออุปกรณ์ต่าง ๆ

4. กำหนดชื่อและพารามิเตอร์ของอุปกรณ์และกำหนดชื่อโหนด โดยการคลิกขวาที่ชื่ออุปกรณ์ แล้วพิมพ์ชื่อลงไป จากนั้นจึงกำหนดค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ ลักษณะสัญญาณแรงดันของแหล่งจ่ายแรงดัน ค่าความต้านทาน และค่าความจุไฟฟ้า โดยสำหรับแหล่งจ่ายเราจะต้องคลิกขวาที่ตัวอุปกรณ์ แล้วเลือกปุ่ม Advanced หน้าต่าง Independent Voltage Source (รูปที่ ก.8) จะปรากฏขึ้น จากนั้นจึงเลือกฟังก์ชันไซน์ (SINE) และกำหนดพารามิเตอร์ตามที่โจทย์กำหนด จากนั้นจึงกดปุ่ม OK สำหรับการกำหนดค่าความต้านทานและความเก็บประจุ เราสามารถใช้ค่าอุปสรรค k และ u (แทน $\mu = 10^{-6}$) ร่วมด้วยได้ หลังจากนั้นเราจึงกำหนดชื่อโหนด โดยการเลือกวาง Label Net (กด F4) แล้วตั้งชื่อโหนดว่า S สำหรับโหนดด้านบนขวาและ C สำหรับโหนดด้านบนซ้าย



พารามิเตอร์ของแหล่งจ่ายสัญญาณคลื่นรูปไซน์ทั่วไป

หมายเหตุ: Ncycles คือ จำนวนลูกคลื่นที่สร้างขึ้นในระหว่างการจำลองการทำงาน ในที่นี้กำหนดให้เท่ากับ 10 เพื่อจำลองการทำงานในช่วง 0 - 1 มิลลิวินาที

รูปที่ ก.8 หน้าต่างแสดงการกำหนดพารามิเตอร์ของแหล่งจ่ายแรงดัน

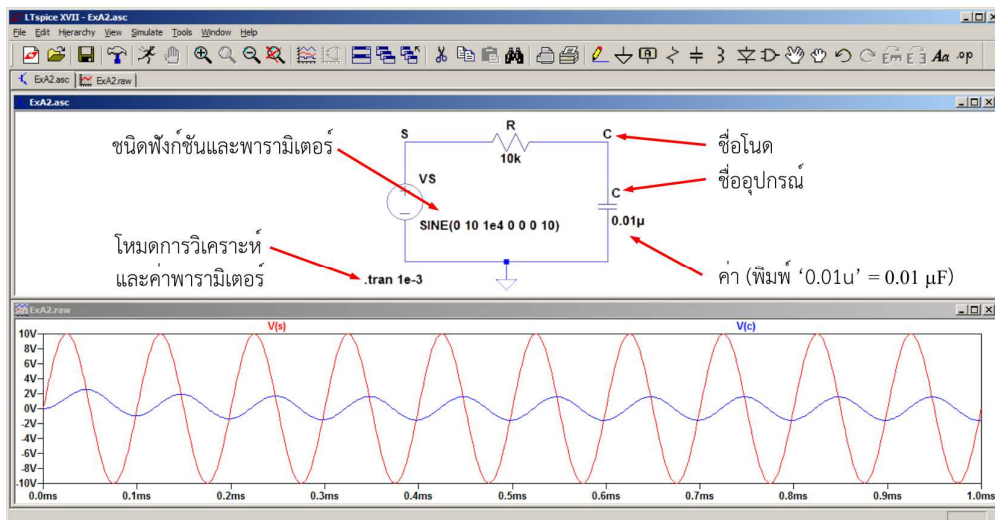
5. กำหนดโหมดการวิเคราะห์ โดยการเลือก Simulate และ Edit Simulation Cmd จากนั้นจึงเลือกไปที่แถบการวิเคราะห์ภาวะชั่วคราว (transient) ซึ่งจะมีข้อความ ‘.tran’ เป็นข้อความที่ใช้ในการบอกให้โปรแกรมวิเคราะห์การทำงานของวงจรในโหมดการวิเคราะห์ภาวะชั่วคราว ให้กำหนด Stop time เป็น 1e-3 (คือ หยุดการจำลองที่เวลา 1 มิลลิวินาที) จากนั้นเลือก OK แล้ววางข้อความที่โปรแกรมสร้างลงบนแผนผังวงจรในตำแหน่งใดก็ได้

เมื่อดำเนินการตามข้อที่ 1-5 แล้วเราจะได้แผนผังวงจรในโปรแกรม LTspice ดังแสดงในหน้าทางด้านบนในรูปที่ ก.9 และเมื่อทำการรันโปรแกรม โปรแกรมจะทำการวิเคราะห์ โดยผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นลักษณะสัญญาณแรงดันที่โหนดที่ผู้ใช้เลือกให้แสดง โดยเราจะต้องเลือกโหนดที่ต้องการแสดงสัญญาณเสียก่อนจึงจะเห็นรูปสัญญาณ ซึ่งจะได้ว่าลักษณะสัญญาณ $v_s(t)$ และ $v_c(t)$ แสดงในหน้าด้านล่างของรูปที่ ก.9 และได้ผลสอดคล้องกับผลการคำนวณจากการวิเคราะห์สถานะคงตัว (ตัวอย่าง 1-9 ในบทที่ 1) คือ ขนาดแรงดันของ $v_c(t)$ มีค่าเท่ากับ

$$\frac{V_M}{\sqrt{1+(\omega RC)^2}} = \frac{10}{\sqrt{1+(2\pi \cdot 10^4 \cdot 10^4 \cdot 10^{-8})^2}} = \frac{10}{\sqrt{1+(2\pi)^2}} = 1.57 \text{ V}$$

และ ความต่างเฟสของสัญญาณทั้งสอง $\Delta\phi$ คือ

$$\Delta\phi = -\tan^{-1}(\omega RC) = -\tan^{-1}(2\pi \cdot 10^4 \cdot 10^4 \cdot 10^{-8}) = -\tan^{-1}(2\pi) = -81^\circ$$

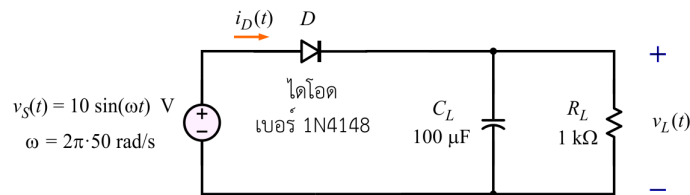


รูปที่ ก.9 หน้าทางด้านบนแสดงวงจรประกอบตัวอย่าง ก-2 ในโปรแกรม LTspice และหน้าด้านล่างแสดงผลลัพธ์ (รูปคลื่นสัญญาณ) ที่ได้จากการวิเคราะห์ในโหมดภาวะชั่วคราว

10 LTspice เบื้องต้น

■■ ตัวอย่าง ก-3 การวิเคราะห์ภาวะชั่วคราวของวงจรเรียงกระแส

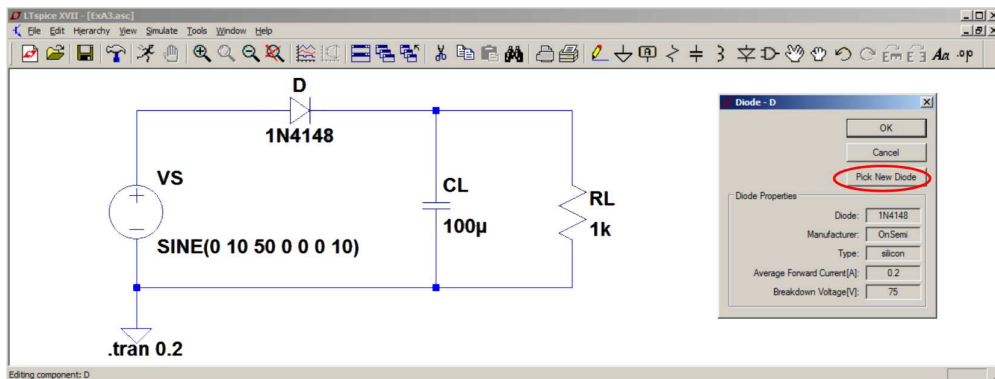
จงใช้โปรแกรม LTspice แสดงลักษณะสัญญาณแรงดัน $v_L(t)$ ที่ตกคร่อมโหลดตัวต้านทาน R_L และลักษณะสัญญาณกระแส $i_D(t)$ ที่ไหลผ่านไดโอด D ในวงจรรูปที่ ก.10



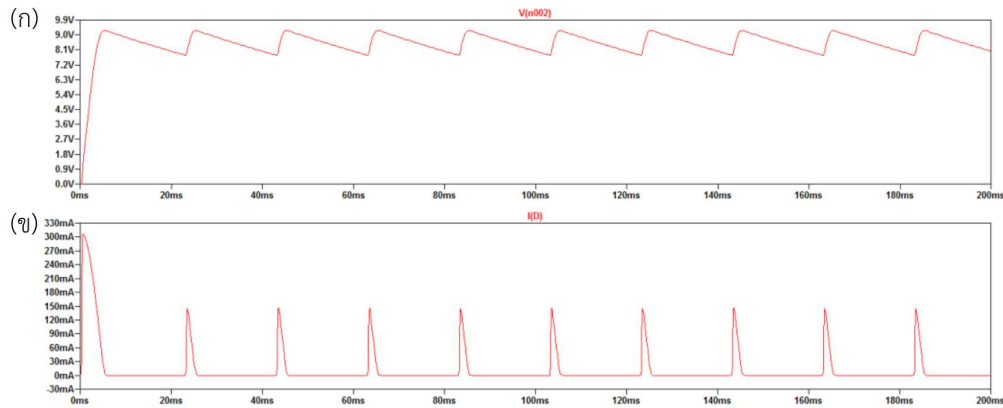
รูปที่ ก.10 รูปวงจรประกอบตัวอย่าง ก-3

■ **วิธีทำ** จากวงจรที่โจทย์กำหนดให้ เราสามารถสร้างวงจรในโปรแกรม LTspice ได้ดังรูปที่ ก.11 โดยสำหรับไดโอดนั้น เราสามารถเลือกเบอร์ได้ โดยการคลิกขวาที่ไดโอดแล้วกดปุ่มเลือก Pick New Diode จากนั้นจึงเลือกเบอร์ไดโอดที่ต้องการได้ โดยเราสามารถทราบพารามิเตอร์ของไดโอดที่เลือกจากเลื่อนดูแถบ SPICE Model ในหน้าต่างที่ใช้เลือกไดโอด

เมื่อทำการสร้างวงจรมักรันโปรแกรมแล้ว เราสามารถกำหนดให้โปรแกรมแสดงผลลัพธ์เป็นสัญญาณแรงดันหรือกระแสได้ตามต้องการ โดยรูปที่ ก.12 แสดงผลลัพธ์ที่ต้องการคือ ลักษณะสัญญาณแรงดัน $v_L(t)$ ที่ตกคร่อมโหลดตัวต้านทาน R_L ในรูปที่ ก.12 (ก) และลักษณะสัญญาณกระแส $i_D(t)$ ที่ไหลผ่านไดโอด D ในรูปที่ ก.12 (ข) โดยวงจรนี้คือวงจรเรียงกระแสแบบครึ่งคลื่นที่มีการใช้ตัวเก็บประจุในการกรองสัญญาณแรงดันขาออก โดยทั่วไปการวิเคราะห์การนำกระแสของ



รูปที่ ก.11 หน้าต่างแสดงวงจรประกอบตัวอย่าง ก-3 ในโปรแกรม LTspice และหน้าต่างสำหรับเลือกเบอร์ไดโอดที่ต้องการจำลอง



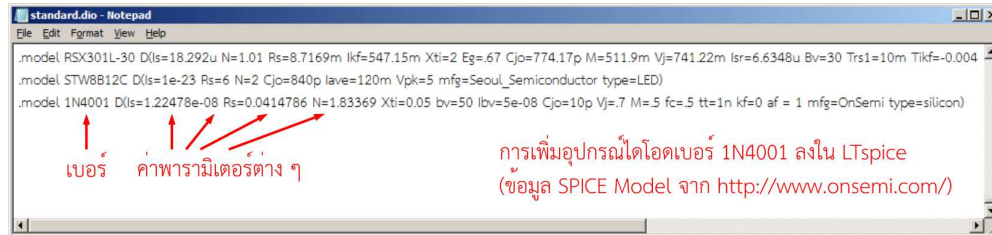
รูปที่ ก.12 (ก) ลักษณะสัญญาณแรงดัน $v_L(t)$ ที่ตกคร่อมโหลดตัวต้านทาน R_L และ
 (ข) ลักษณะสัญญาณกระแส $i_D(t)$ ที่ไหลผ่านไดโอด D ในวงจรในวงจรประกอบตัวอย่าง ก-3

ไดโอดเป็นเรื่องที่ยุ่งยากพอสมควร แต่เราสามารถทำการศึกษาวงจรนี้ได้อย่างไม่ยากนักเมื่อใช้ผลการจำลองการทำงานของวงจรด้วยโปรแกรม LTspice มาประกอบการพิจารณา

ก.4 การกำหนดพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ใน LTspice

อุปกรณ์ทุกตัวที่ใช้ในการจำลองการทำงานของวงจรจะมีกลุ่มพารามิเตอร์ซึ่งกำหนดคุณสมบัติของอุปกรณ์นั้นอยู่ โดยในการศึกษาวงจรอิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น เราจะกล่าวถึงอุปกรณ์เหล่านั้นในเชิงอุดมคติเพื่อให้การวิเคราะห์วงจรทำได้โดยง่าย แต่หากเราสนใจอุปกรณ์ที่มีอยู่จริงหรืออุปกรณ์ชนิดใหม่ ๆ หรือสนใจผลกระทบต่อการทำงานของวงจรเมื่ออุปกรณ์มีลักษณะไม่อุดมคติในลักษณะที่แตกต่างกันออกไป เราก็สามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกิดจากความไม่อุดมคติเหล่านี้ได้ด้วยการเพิ่มอุปกรณ์ใหม่ลงในโปรแกรมหรือแก้ไขพารามิเตอร์ที่กำหนดคุณสมบัติของอุปกรณ์นั้น สำหรับโปรแกรม LTspice รายละเอียดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของอุปกรณ์ที่สามารถเลือกใช้ได้ในโปรแกรมจะถูกกำหนดค่าและบันทึกอยู่ในไฟล์ที่อยู่ในโฟลเดอร์ `\LTspiceXVII\lib\cmp` และ โฟลเดอร์ `C:\Users\Documents\LTspiceXVII\lib\cmp` (สำหรับผู้ใช้วินโดวส์) โดยส่วนขยายของไฟล์ที่แสดงอยู่ในโฟลเดอร์นี้จะบ่งบอกชนิดของอุปกรณ์ (เช่น `dio` สำหรับ ไดโอด, `bjt` สำหรับทรานซิสเตอร์ชนิดบีเจที, `mos` สำหรับมอสเฟต) หากผู้ใช้ต้องการเพิ่มหรือปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ที่สนใจ ก็สามารถทำได้โดยการใช้โปรแกรมแก้ไขข้อความเช่น notepad เปิดไฟล์พารามิเตอร์เหล่านี้ขึ้นมาและแก้ไขได้ตามต้องการ รูปที่ ก.13 แสดงส่วนของไฟล์

12 LTspice เบื้องต้น



รูปที่ ก.13 หน้าต่างแสดงการเพิ่ม/แก้ไขพารามิเตอร์ของอุปกรณ์ด้วยโปรแกรม notepad

standard.dio ที่แก้ไขโดยการเพิ่มข้อมูลพารามิเตอร์ของไดโอดเบอร์ 1N4001 เข้าไปในฐานข้อมูลของโปรแกรม (ไฟล์ standard.dio) โดยพารามิเตอร์ของอุปกรณ์แต่ละประเภทจะมีรูปแบบและข้อกำหนดตาม SPICE Model Syntax ซึ่งข้อกำหนดนี้เป็นข้อมูลที่เปิดเผยและมีแหล่งเอกสารอ้างอิงออนไลน์จำนวนมาก นอกจากนี้ผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ส่วนใหญ่จะเปิดให้ดาวน์โหลดพารามิเตอร์ของอุปกรณ์เหล่านี้ เราจึงไม่ขอกกล่าวถึงรายละเอียดมากไปกว่านี้ในเอกสารนี้