รายงานการจำลองและการวิเคราะห์วงจรไฟฟ้า: RC, Transistor และ Diode + Capacitor

1. บทนำและวัตถุประสงค์ของรายงาน (Introduction and Objectives)

รายงานฉบับนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์พฤติกรรมทางไฟฟ้าของวงจรพื้นฐาน 3 รูปแบบ ได้แก่ วงจร RC (Resistor-Capacitor), วงจรทรานซิสเตอร์สวิตชิ่ง (Transistor Switching) และวงจรผสม Diode + Capacitor ผ่านซอฟต์แวร์จำลองสถานการณ์ที่มีมาตรฐานสูงในงานวิศวกรรม

การศึกษาครั้งนี้มุ่งเน้นไปที่การตรวจสอบความสอดคล้องระหว่างผลการจำลอง (Simulation Results) และหลักการทางทฤษฎี (Theoretical Principles) โดยเฉพาะการวิเคราะห์ในสภาวะชั่วครู่ (Transient Response) และสภาวะคงตัว (Steady State) เพื่อยืนยันความถูกต้องของแรงดันที่โหนดต่างๆ และพฤติกรรมการไหลของกระแสไฟฟ้าในวงจร

2. เครื่องมือที่ใช้ในการจำลอง (Simulation Tools)

การทดลองและการวิเคราะห์ใช้ซอฟต์แวร์ที่มีบทบาทเกื้อหนุนกันเพื่อให้ได้ภาพรวมทั้งเชิงกายภาพและเชิงเทคนิค ดังนี้:

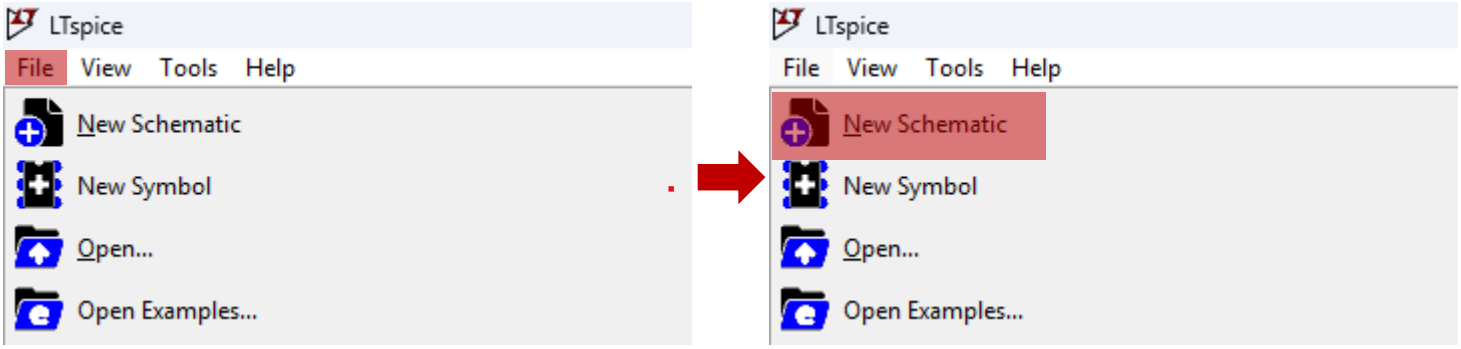
- **LTspice**: เครื่องมือหลักสำหรับการทำ Advanced Waveform Analysis และ Transient Analysis เพื่อให้ได้ค่าแรงดันและรูปคลื่นที่แม่นยำสูง
- **Tinkercad**: ใช้สำหรับ Visualizing Breadboard Connections เพื่อจำลองการเชื่อมต่ออุปกรณ์เสมือนบนแผงวงจรจริง ช่วยในการตรวจสอบเลย์เอาต์เชิงกายภาพก่อนการประกอบวงจร

การใช้งานโปรแกรม LTspice เบื้องต้น

การสร้างวงจรที่ต้องการจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม LTspice สามารถแบ่งขั้นตอนหลักได้ดังนี้:

1. **สร้างแผนผังวงจรใหม่**

   (คำสั่ง File / New Schematic หรือใช้ปุ่มลัด Ctrl + N)



2. **เลือกและวางอุปกรณ์ลงบนผังวงจร**

ก่อนวางอุปกรณ์สามารถทำการ

– หมุนอุปกรณ์ (Ctrl + R)

– พลิกอุปกรณ์ (Ctrl + E)

เพื่อให้เหมาะสมกับการจัดวาง

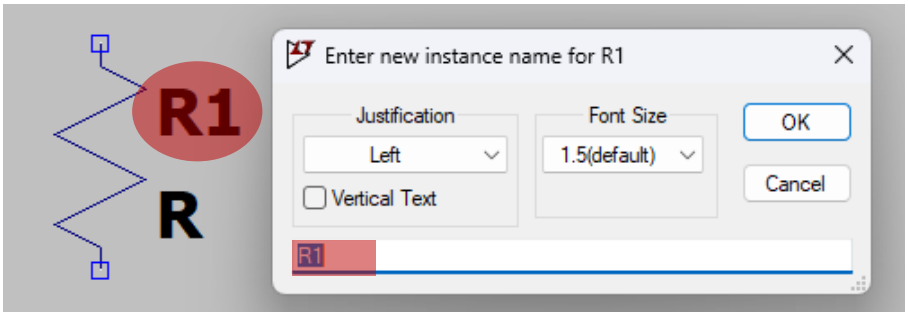
3. **วาดสายไฟเชื่อมต่ออุปกรณ์**

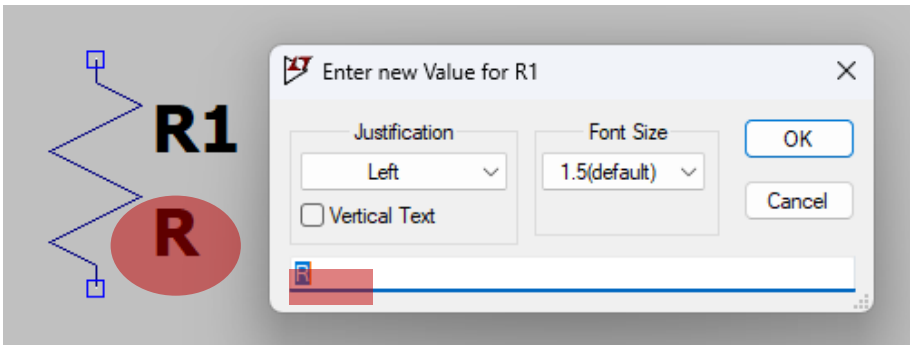
   ใช้คำสั่ง Wire หรือปุ่มลัด F3

Wire F3 วาดสายไฟเชื่อมต่ออุปกรณ์

4. **กำหนดชื่อและค่าพารามิเตอร์ของอุปกรณ์**

รวมถึงกำหนดชื่อของโนด โดยคลิกขวาที่อุปกรณ์หรือที่ชื่อโนดเพื่อแก้ไขข้อมูล

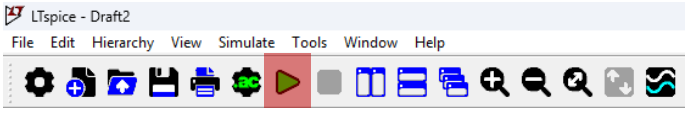


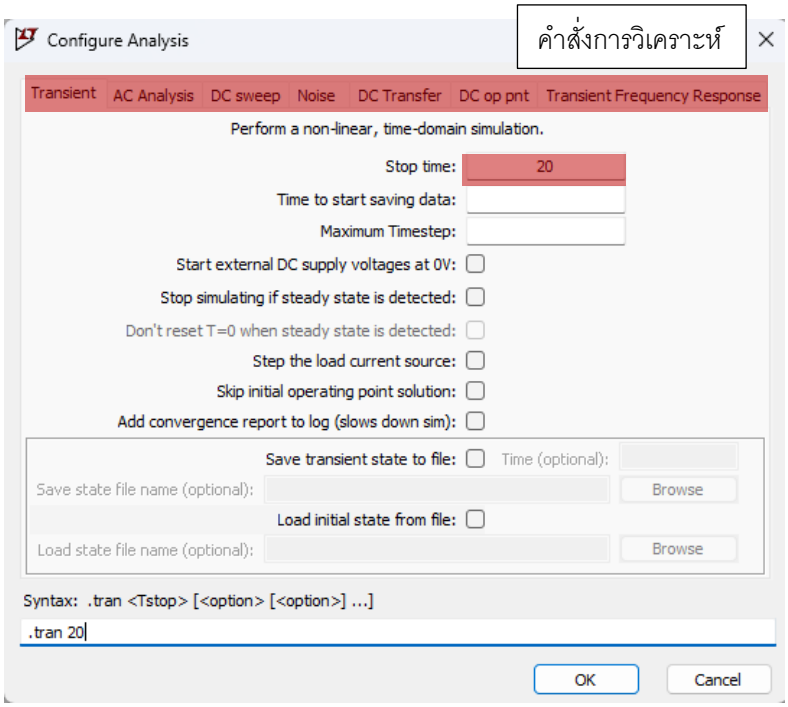


5. **กำหนดโหมดการวิเคราะห์**

เลือกคำสั่ง Simulate / Edit Simulation Cmd

แล้วเพิ่มคำสั่งการวิเคราะห์ เช่น .tran, .ac, .op ตามความต้องการ





เมื่อทำการสร้างผังวงจรใหม่แล้ว เราสามารถเลือกอุปกรณ์ได้โดยใช้คำสั่งในเมนู Edit หรือใช้เมาส์กดปุ่มบน เมนูบาร์ ที่แสดงในรูป นอกจากนี้ยังสามารถใช้ ปุ่มลัดบนแป้นพิมพ์ เพื่อเลือกวางอุปกรณ์หรือปรับเปลี่ยนตำแหน่งของอุปกรณ์ได้เช่นกัน โดยไอคอนปุ่มต่าง ๆ และปุ่มลัดเหล่านี้ถูกออกแบบมาเพื่อช่วยให้การจัดวางอุปกรณ์เป็นไปอย่างสะดวกและรวดเร็ว

ไอคอนปุ่มเลือก	ปุ่มลัด	คำอธิบาย
Ground	G	เลือกวางกราวนด์ (โนดอ้างอิงระดับแรงดัน)
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

หลักการทำงานและวิธีการแสดงผล

หลักการทำงานของคำสั่งหลัก (SPICE Directive) ในโปรแกรม LTspice ซึ่งเป็นเครื่องมือสำคัญในการจำลองการทำงานของวงจรไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ โดยเน้นไปที่การวิเคราะห์จุดทำงานกระแสตรง (.op) การวิเคราะห์พฤติกรรมตามเวลา (.tran) และการกำหนดรูปแบบสัญญาณพัลส์ (PULSE)

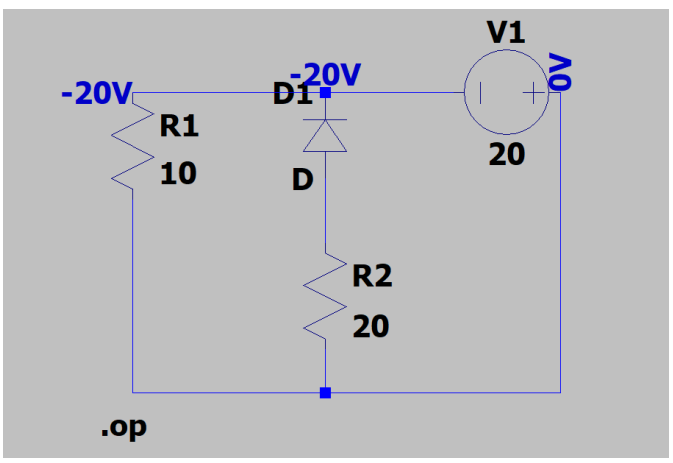
รูปแบบคำสั่งและตัวอย่าง

1. การวิเคราะห์แบบ Operating Point Analysis หรือ **.op** คือการคำนวณค่าทางไฟฟ้าในสภาวะที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา (DC Steady State)

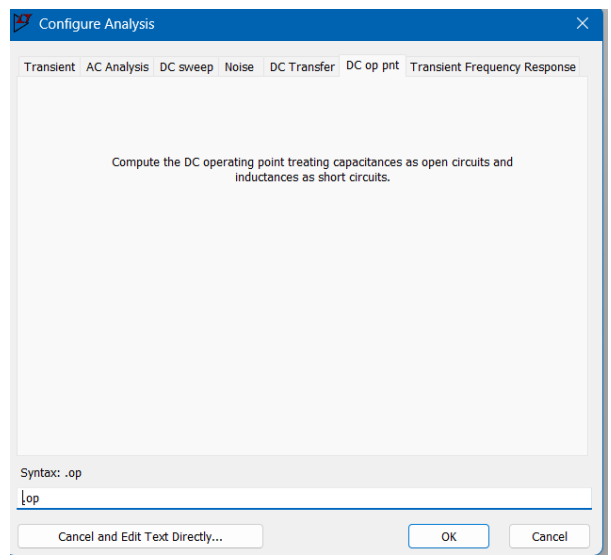
นำไปใช้วิเคราะห์ **ค่าคงที่ (DC)** ของวงจรในสภาวะคงตัว

• ตัวอย่าง: ในวงจรที่มีแหล่งจ่าย 10V และตัวต้านทาน 1kΩ การใช้คำสั่ง .op จะแสดงค่ากระแส I = 10mA (ตามกฎของโอห์ม) และแรงดันที่โหนดต่าง ๆ อย่างรวดเร็ว

• ข้อดีและผลลพธ์: วิเคราะห์ได้รวดเร็ว เหมาะสำหรับการตรวจสอบความถูกต้องเบื้องต้นของวงจร DC และการเช็คจุดไบอัสของทรานซิสเตอร์



ผลลัพธ์



การกำหนดคำสั่ง

2. การวิเคราะห์พฤติกรรมตามเวลา (.tran)

การวิเคราะห์แบบ Transient Analysis หรือ .tran ใช้สำหรับดูพฤติกรรมของวงจรในโดเมนเวลา (Time Domain) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณ

2.1 การประยุกต์ใช้งาน

คำสั่งนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับวงจรประเภท:

- วงจร RC และ RLC (การชาร์จและคายประจุ)
- วงจรสวิตชิ่ง (Switching Circuits) และ Power Electronics
- วงจรดิจิทัลพัลส์ (Digital Pulse)

2.2 กระบวนการทำงานเชิงคำนวณ

โปรแกรมจะใช้วิธีแก้สมการเชิงอนุพันธ์เชิงตัวเลข (Numerical Differential Equation) โดยแบ่งเวลาออกเป็นช่วงเล็ก ๆ (Time Step) เพื่อคำนวณค่าแรงดันและกระแสในทุกช่วงเวลา แล้วนำมาสร้างเป็นกราฟแสดงผล

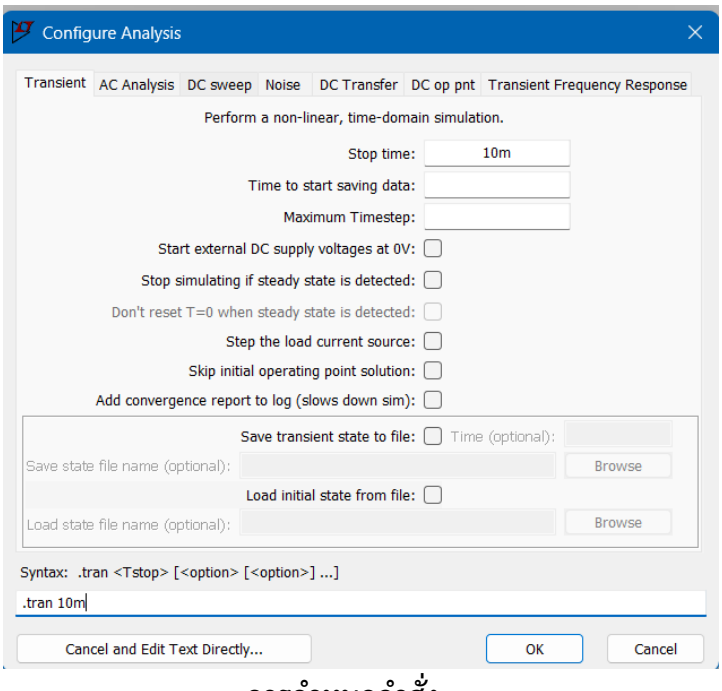
2.3 รูปแบบคำสั่ง

การใช้งานสามารถกำหนดพารามิเตอร์ได้ดังนี้:

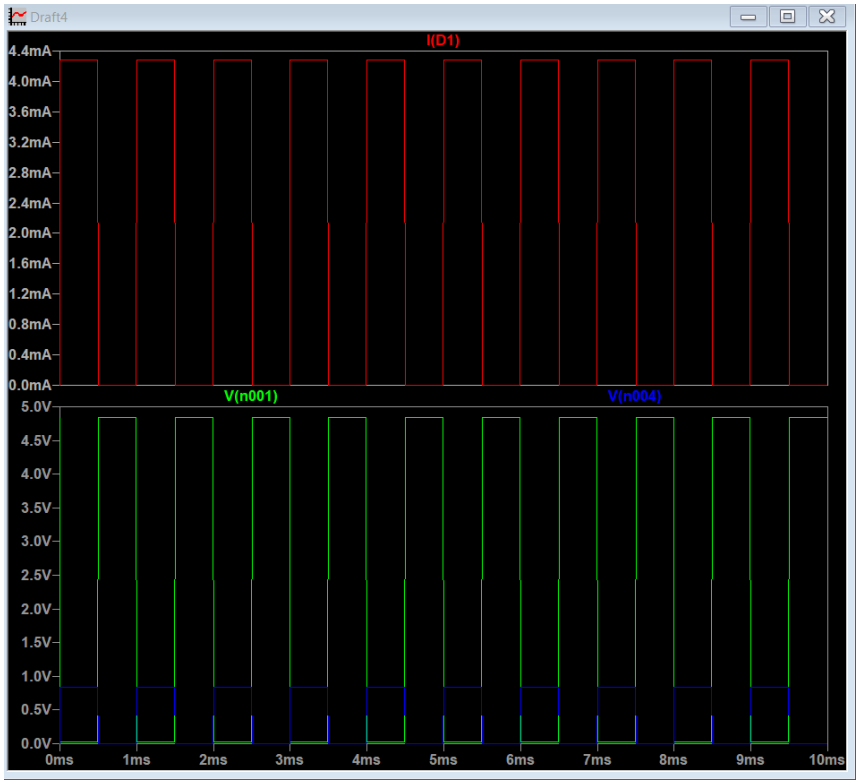
- รูปแบบพื้นฐาน: .tran Tstop (เช่น .tran 10m เพื่อจำลองเวลา 10 มิลลิวินาที)
- รูปแบบขั้นสูง: .tran Tstep Tstop (โดย Tstep คือระยะเวลาในการแสดงผล และ Tstop คือเวลาสิ้นสุด)

2.4 ข้อดีและผลลัพธ์

การวิเคราะห์แบบ .tran ช่วยให้ผู้ใช้เห็นพฤติกรรมจริงของวงจร สามารถวัดค่า Delay, Rise Time และ Fall Time ได้อย่างชัดเจน



การกำหนดคำสั่ง



กราฟจากการใช้คำสั่ง

3. การกำหนดสัญญาณแบบ PULSE

ฟังก์ชัน PULSE คือ การกำหนดรูปแบบคลื่นสี่เหลี่ยม (Square Wave) ให้กับแหล่งจ่ายแรงดันหรือกระแส เพื่อใช้เป็นสัญญาณอินพุตในการวิเคราะห์แบบ .tran

3.1 พารามิเตอร์ของสัญญาณ PULSE

การกำหนดสัญญาณต้องระบุพารามิเตอร์ 7 ค่าตามลำดับ: PULSE(Vinitial Von Tdelay Trise Tfall Ton Tperiod)

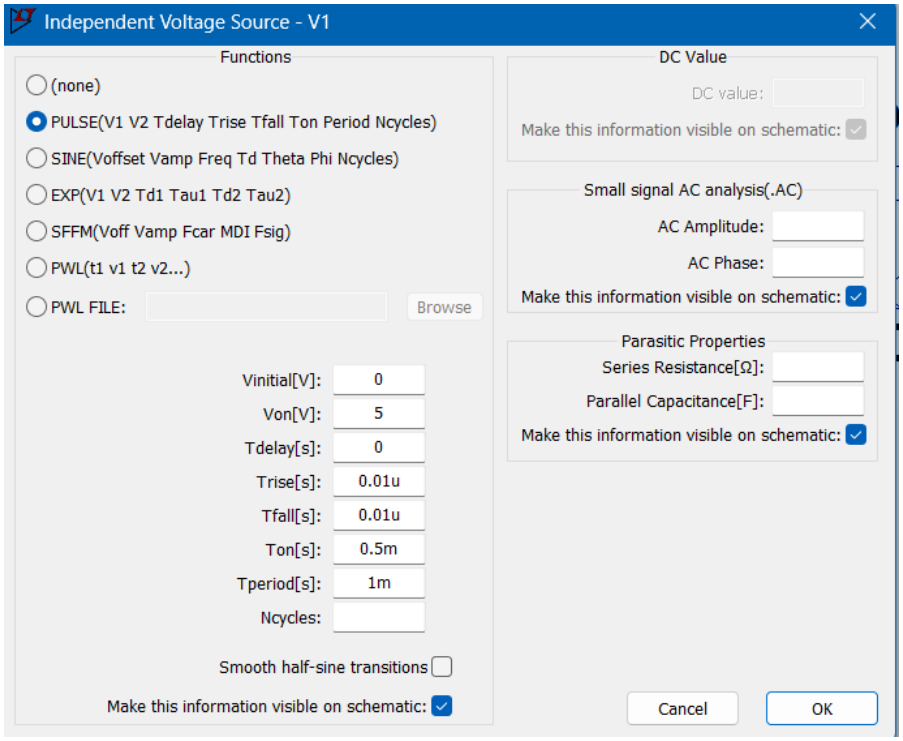
พารามิเตอร์	ความหมาย
Vinitial	ค่าแรงดันเริ่มต้น (สถานะ LOW)
Von	ค่าแรงดันสูงสุด (สถานะ HIGH)
Tdelay	เวลาหน่วงก่อนเริ่มสร้างสัญญาณ
Trise	เวลาที่ใช้ในการไต่ระดับแรงดันขึ้น
Tfall	เวลาที่ใช้ในการไต่ระดับแรงดันลง
Ton	ช่วงเวลาที่สถานะเป็น HIGH
Tperiod	คาบเวลาทั้งหมดของสัญญาณ (1 รอบ)

3.2 ตัวอย่างการกำหนดค่า

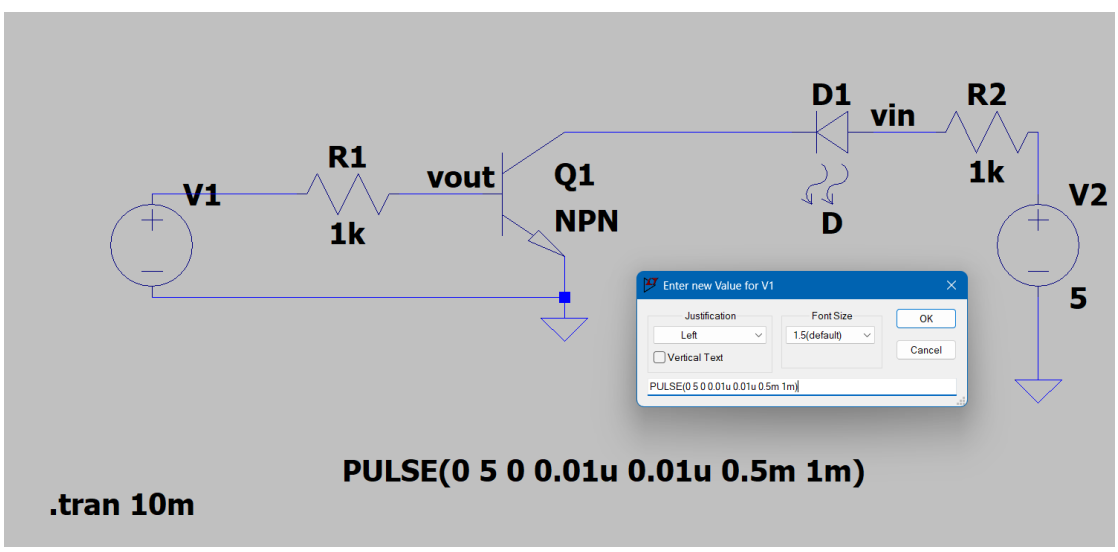
หากต้องการสัญญาณ 0–5V ที่มีความถี่ 100 Hz (Tperiod = 10ms) โดยให้มีช่วง HIGH 5ms และเวลาไต่ระดับ 1μs จะใช้คำสั่ง: PULSE(0 5 0 1u 1u 5m 10m)

3.3 การประยุกต์ใช้งาน

- การจำลองสัญญาณนาฬิกา (Clock Signal) ในวงจรดิจิทัล
- การขับทรานซิสเตอร์ในโหมดสวิตชิ่ง
- การวิเคราะห์ค่าแรงดันกระเพื่อม (Ripple) ในวงจรกรองกระแส



การกำหนดคำสั่ง



ประโยชน์ของการจำลองวงจรใน LTspice

1. วิเคราะห์วงจรได้ละเอียดและแม่นยำสูง เหมาะกับวงจรอนาล็อก เช่น แอมป์, ฟิลเตอร์, วงจรจ่ายไฟ (SMPS) สามารถดูแรงดัน กระแส และกำลังได้อย่างละเอียด
2. วิเคราะห์สัญญาณได้หลายรูปแบบ
    - DC Analysis (วิเคราะห์จุดทำงาน)
    - AC Analysis (วิเคราะห์ความถี่)
    - Transient Analysis (ดูสัญญาณตามเวลา)
    - FFT (วิเคราะห์สเปกตรัมความถี่)
3. ช่วยลดต้นทุนและความเสี่ยงก่อนสร้างจริง ทดสอบข้อผิดพลาด ปรับค่าอุปกรณ์ได้ก่อนลงมือประกอบจริง
4. เหมาะสำหรับงานระดับมหาวิทยาลัยและวิศวกรรม ใช้ในงานออกแบบจริง โดยเฉพาะงานอิเล็กทรอนิกส์กำลังและงานวิจัย
5. รองรับโมเดลอุปกรณ์จริงจำนวนมาก
   เช่น MOSFET, BJT, Op-amp จากผู้ผลิตจริง

การใช้งานโปรแกรม Tinkercad เบื้องต้น

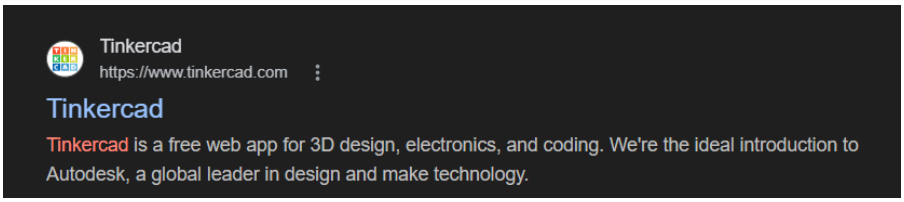
Tinkercad Circuits เป็นเครื่องมือจำลองวงจรไฟฟ้าและไมโครคอนโทรลเลอร์แบบออนไลน์ที่พัฒนาโดย Autodesk ช่วยให้ผู้ใช้สามารถทดลองต่อวงจรไฟฟ้า เขียนโปรแกรมไมโครคอนโทรลเลอร์ และทดสอบการทำงานของระบบได้โดยไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์จริง

ความสามารถหลักของ Tinkercad Circuits

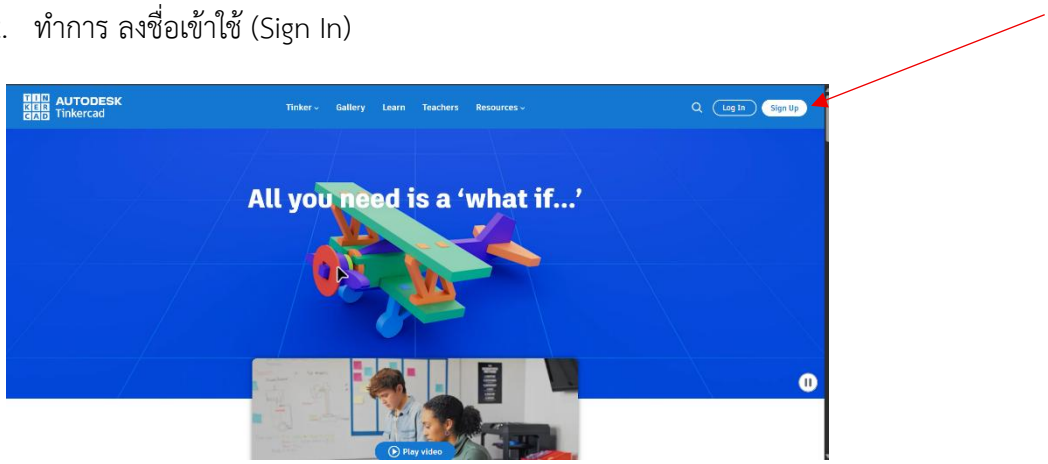
- จำลองวงจรไฟฟ้าพื้นฐาน เช่น วงจร LED ตัวต้านทาน สวิทช์ ฯลฯ
- ใช้งาน Arduino แบบเสมือนจริง สามารถต่อวงจรและอัปโหลดโค้ดได้
- รองรับการเขียนโค้ดทั้งแบบ Block และ Text (C/C++ สำหรับ Arduino)
- ทดลองทำงานด้วย Simulation เพื่อดูพฤติกรรมของวงจรหรือโค้ดแบบเรียลไทม์

การเข้าสู่โหมด Circuits

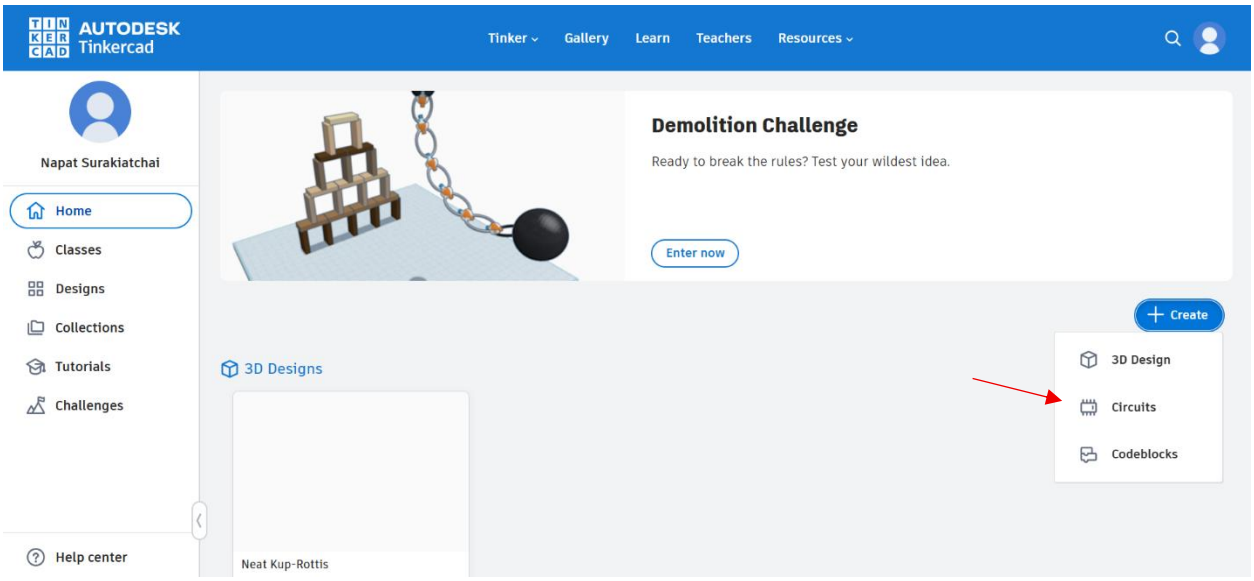
1. เข้าเว็บไซต์ www.tinkercad.com



2. ทำการ ลงชื่อเข้าใช้ (Sign In)



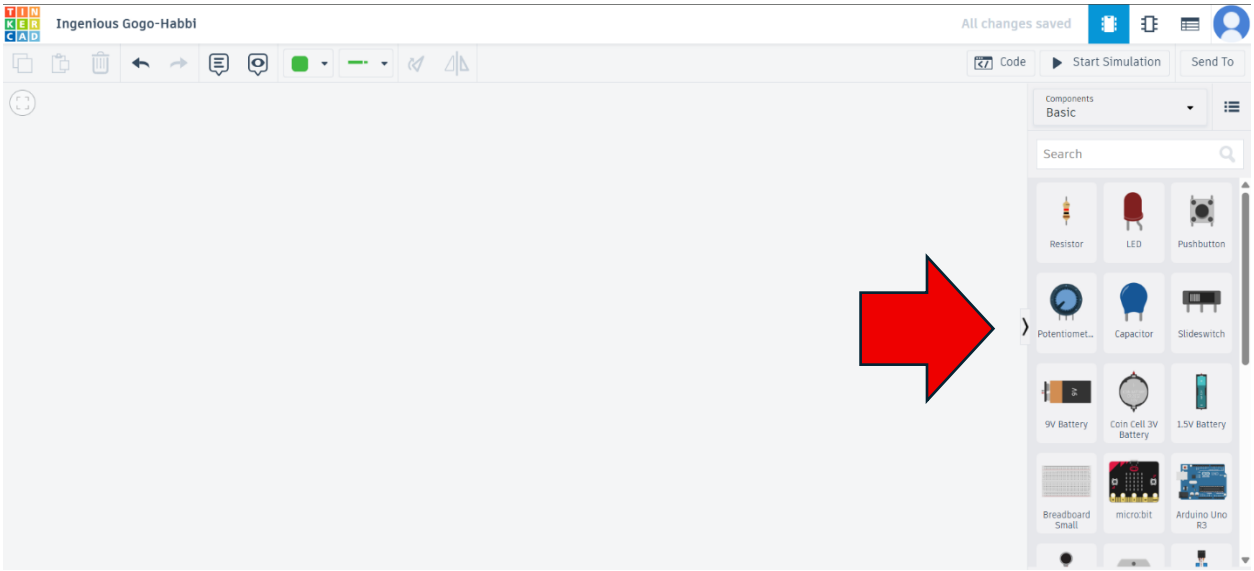
3. เลือกเมนู Circuits



4. คลิก Create New Circuit เพื่อเริ่มสร้างวงจรใหม่

ส่วนประกอบสำคัญของหน้าจอ Circuits

1. **Components Panel**



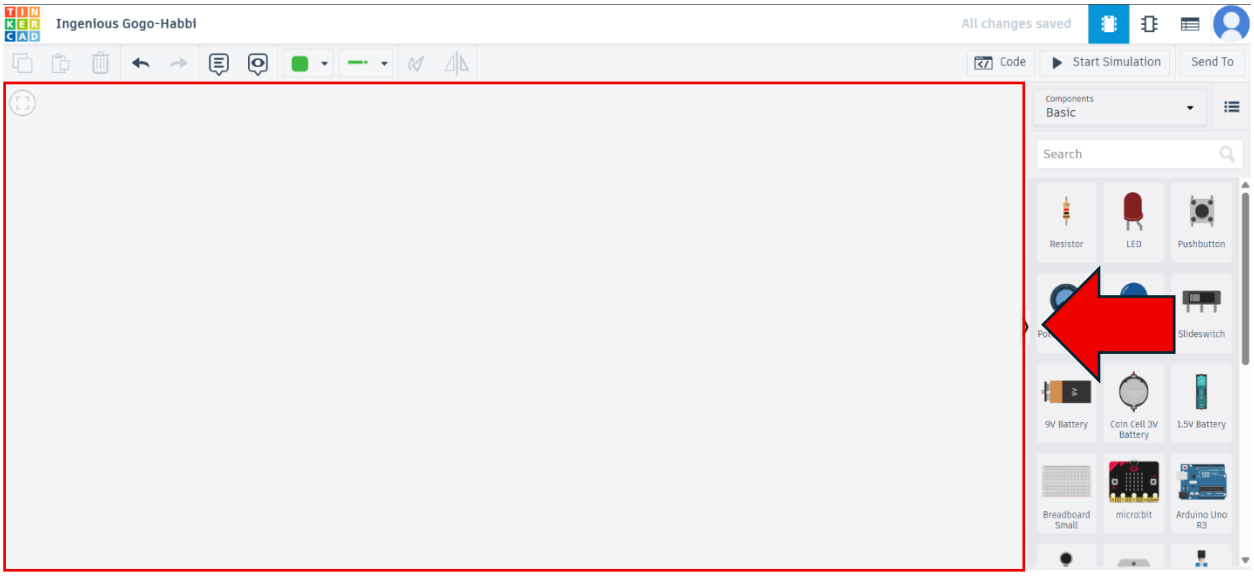
แถบที่รวบรวมอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่าง ๆ เช่น

- Arduino Uno
- LED
- Resistor
- Breadboard
- Battery

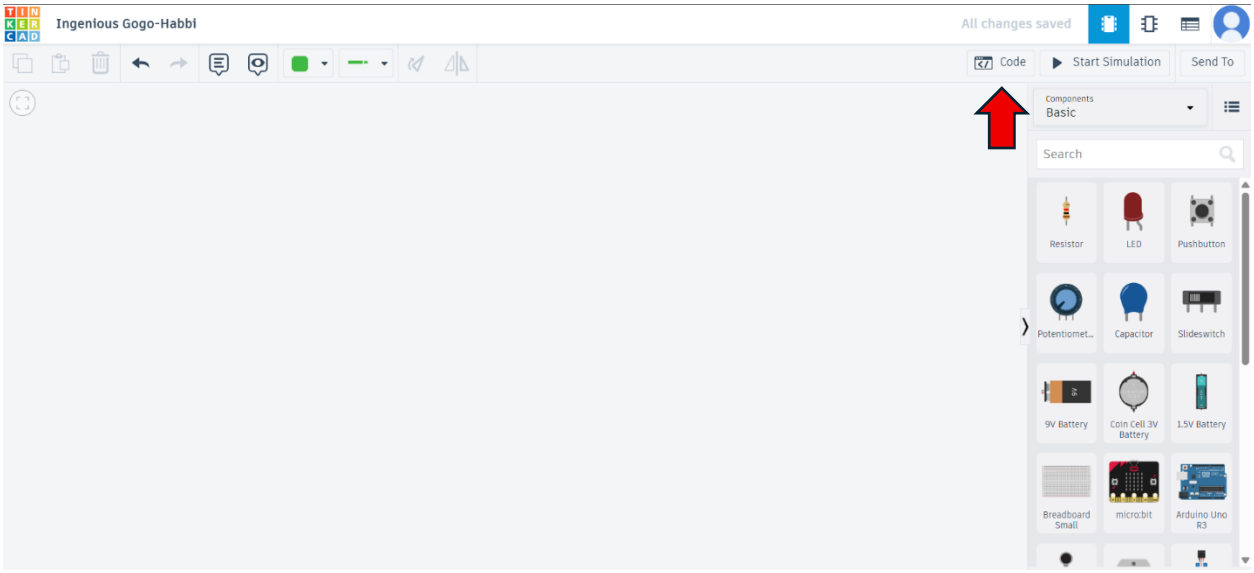
  ผู้ใช้สามารถลากอุปกรณ์จากแถบนี้ไปวางในพื้นที่ทำงานได้ทันที

2. Workspace

พื้นที่หลักสำหรับวางอุปกรณ์และต่อวงจร เป็นพื้นที่ที่ใช้สร้างและจัดระเบียบวงจรทั้งหมด



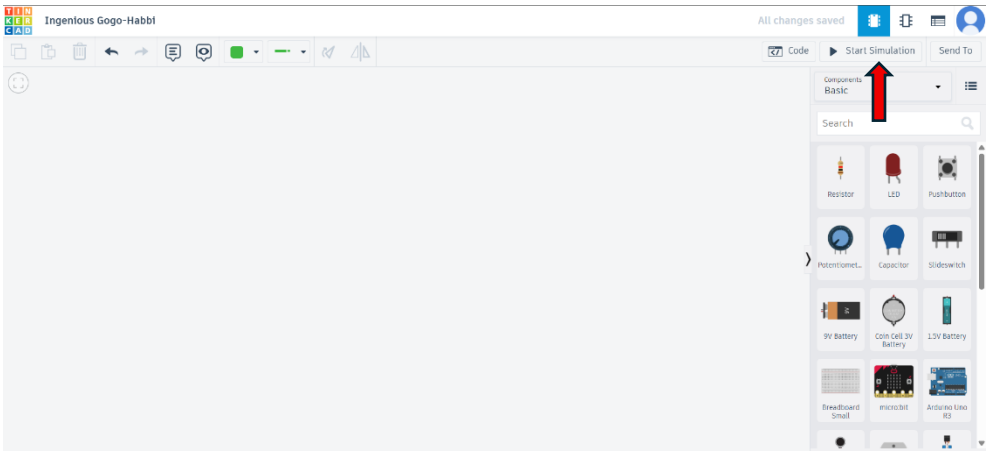
3. Code Editor



ส่วนที่ใช้เขียนโปรแกรมควบคุมอุปกรณ์ โดยสามารถเลือกได้ 2 โหมด:

- Block Code แบบลาก–วาง
- Text Code แบบภาษา C/C++ สำหรับ Arduino

4. Start Simulation



ปุ่มสำหรับเริ่มจำลองการทำงานของวงจรและโค้ด

เมื่อกดแล้วระบบจะแสดงผลตามการทำงานจริงของวงจร เช่น LED ติด–ดับ การอ่านเซนเซอร์ หรือการทำงานของมอเตอร์

การใช้งาน Function Generator ใน Tinkercad

Function Generator ใน Tinkercad ใช้สำหรับสร้างสัญญาณไฟฟ้า (Waveform) เพื่อทดสอบวงจร เช่น วงจรขยายสัญญาณ, วงจรกรองสัญญาณ, วงจรดิจิทัล และวงจร RC/RLC
อุปกรณ์ที่สร้างสัญญาณไฟฟ้าแบบต่าง ๆ ได้ เช่น:

- Sine wave (คลื่นไซน์)
- Square wave (คลื่นสี่เหลี่ยม)
- Triangle wave (คลื่นสามเหลี่ยม)

ข้อดีของ Function Generator ใน Tinkercad

- ใช้งานง่าย
- ไม่ต้องใช้อุปกรณ์จริง
- ปรับค่าความถี่และแรงดันได้ทันที
- เห็นผลลัพธ์แบบ Real-time

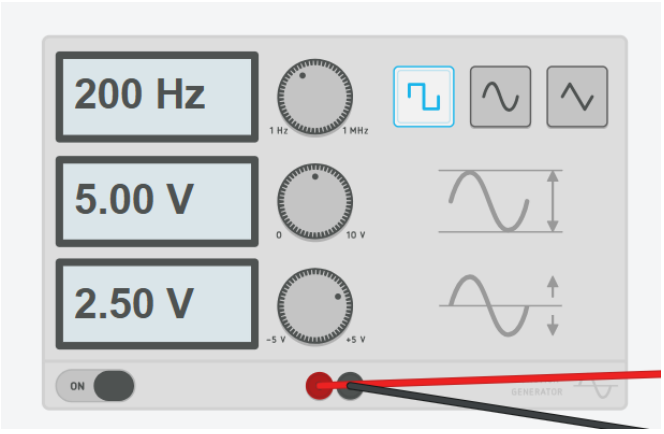
การกำหนดค่าอุปกรณ์

พารามิเตอร์	**ความหมาย**
Waveform	**รูปแบบคลื่น**
Frequency (Hz)	**ความถี่ของสัญญาณ**
Amplitude (V)	**ค่าความสูงของแรงดัน**
Offset (V)	**ค่าการเลื่อนระดับแรงดัน**
Duty Cycle (%)	**ใช้กับ Square wave**

การประยุกต์ใช้งาน

Function Generator ใช้ในงาน:

- วิเคราะห์วงจรกรองความถี่ (Low-pass, High-pass)
- ทดสอบวงจรขยาย (Amplifier)
- ทดสอบค่า RC Time Constant
- สร้างสัญญาณ PWM
- ทดลองระบบดิจิทัล



ประโยชน์ของการจำลองวงจรใน Tinkercad

1. ใช้งานง่าย เหมาะสำหรับผู้เริ่มต้น อินเทอร์เฟซแบบลาก-วาง ไม่ซับซ้อน
2. จำลองการทำงานร่วมกับ Arduino ได้สามารถเขียนโค้ดและดูผลการทำงานของวงจรพร้อมกัน เหมาะกับงาน IoT และไมโครคอนโทรลเลอร์
3. เห็นภาพการต่อวงจรเสมือนจริง แสดง Breadboard และอุปกรณ์เหมือนของจริง ช่วยฝึกการต่อสาย
4. ไม่ต้องติดตั้งโปรแกรม ใช้งานผ่านเว็บเบราว์เซอร์ได้ทันที
5. เหมาะกับการเรียนการสอนระดับต้น-กลาง ใช้สอนพื้นฐานไฟฟ้า อิเล็กทรอนิกส์ และการเขียนโปรแกรมเบื้องต้น

3. ทฤษฎีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เบื้องต้น (Foundational Component Theory)

อุปกรณ์	ประเภท/รายละเอียด	หน้าที่และคุณสมบัติสำคัญ
ตัวเก็บประจุ (Capacitor)	Electrolytic (มีขั้ว) / Ceramic (ไม่มีขั้ว)	เก็บและคายประจุพลังงานในรูปสนามไฟฟ้า, ทำหน้าที่ **DC Blocking** (บล็อกกระแสตรง) และยอมให้กระแสสลับ (AC) ผ่าน, หน่วยวัดคือ ฟารัด (F)
ไดโอด (Diode)	Standard Diode / LED	ควบคุมการไหลของกระแสแบบ **Unidirectional Flow** (วาล์วทางเดียว), ยอมให้กระแสไหลเมื่อได้รับ **Forward Bias**, ป้องกันการไหลย้อนกลับ
ทรานซิสเตอร์ (Transistor)	BJT (ชนิด NPN)	ทำหน้าที่เป็นสวิตซ์อิเล็กทรอนิกส์หรือตัวขยายสัญญาณ มีขาควบคุม 3 ขา ได้แก่ **Base (B), Collector (C)** และ **Emitter (E)**

4. การวิเคราะห์วงจร RC: การประจุและการคายประจุ (RC Circuit: Charging & Discharging)

วงจร RC คือการประยุกต์ใช้ตัวต้านทานร่วมกับตัวเก็บประจุเพื่อควบคุมเวลาในการเก็บพลังงาน:

- หลักการทางทฤษฎี: เมื่อป้อนแรงดัน DC ตัวต้านทาน (R) จะจำกัดกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าสู่ตัวเก็บประจุ (C) ความเร็วในการเปลี่ยนแปลงแรงดันขึ้นอยู่กับค่าคงที่เวลา (Time Constant) $\tau = R \times C$
- พารามิเตอร์การจำลอง: กำหนดค่า R = 1kΩ และ C = 0.5μF โดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันแบบ Pulse ใน LTspice ด้วยคำสั่ง PULSE(0 2 0 0 0 2m 4m 1)
- การวิเคราะห์กราฟ: จากผลการจำลอง รูปคลื่นแรงดัน Vc จะค่อยๆ เพิ่มขึ้นแบบ Exponential ในช่วง Charging และลาดเอียงลงอย่างต่อเนื่องในช่วง Discharging เมื่อสัญญาณ Pulse เปลี่ยนสภาวะ ซึ่งสอดคล้องกับคุณสมบัติการสะสมพลังงานตามคาบเวลา

สูตรคำนวณ

ค่าคงที่เวลา (Time Constant) หรือ **τ** เป็นตัวกำหนดความเร็วในการประจุและคายประจุ:

$$\tau = R \times C$$

จากค่าอุปกรณ์ในการจำลอง (R = 1kΩ, C = 0.5μF):

$$\tau = 1{,}000 \times 0.5 \times 10^{-6} = 0.5 \text{ milliseconds (ms)}$$

แรงดันขณะชาร์จ (Charging Voltage)

$$V_c(t) = V_{in}(1 - e^{\frac{-t}{\tau}})$$

หากแทนค่าที่เวลา t = 0.5ms (1 เท่าของ **τ**):

$$V_c(0.5ms) = 2V \times (1 - e^{-1}) \approx 2\text{V} \times 0.632 \approx 1.264 \text{ V}$$

สูตรแรงดันขณะคายประจุ (Discharging Voltage)

$$V_c(t) = V_{in} \times e^{\frac{-t}{\tau}}$$

ลองคำนวณว่าเมื่อเวลาผ่านไป **0.5 ms** (เท่ากับ 1 **τ**)

$$V_c(0.5ms) = 2V \times e^{\frac{-0.5}{0.5}} \approx 0.736 \text{ V}$$

ขั้นตอนการจำลองใน LTspice

1) วางอุปกรณ์ในผังวงจร

1. เปิด LTspice ⟶ File ⟶ New Schematic
2. วางอุปกรณ์:
    - Resistor (R)
    - Capacitor (C)
    - Voltage Source (V)
    - Ground (GND) ⟵ *ต้องใส่เสมอ*
3. ต่อวงจรให้เป็น อนุกรม V ⟶ R ⟶ C ⟶ GND

2) ตั้งค่าค่าอุปกรณ์

- คลิกขวาที่อุปกรณ์แล้วตั้งค่า:
    - R1 = 1kΩ
    - C1 = 0.5μF
- ใส่ Label Net เพื่อความง่ายในการอ่านกราฟ:
    - Vi ที่ขาเข้า
    - Vc ที่จุดระหว่าง R และ C

3) ตั้งค่าแหล่งจ่ายเป็นสัญญาณ PULSE

คลิกขวาที่ V1 ⟶ Advanced ⟶ เลือก PULSE

กรอก:

PULSE(0 2 0 0 0 2m 4m 1)

ความหมายย่อ:

- 0 ⟶ 2V (สลับ HIGH/LOW)
- Ton = 2ms (ช่วงชาร์จ)
- Tperiod = 4ms (ครบ 1 รอบ)
- Ncycles = 1 (ทำงานรอบเดียว)

4) ตั้งค่าคำสั่งจำลอง

ไปที่ Simulate ⟶ Edit Simulation Cmd ⟶ Transient

กรอก:

- Stop Time = 5m

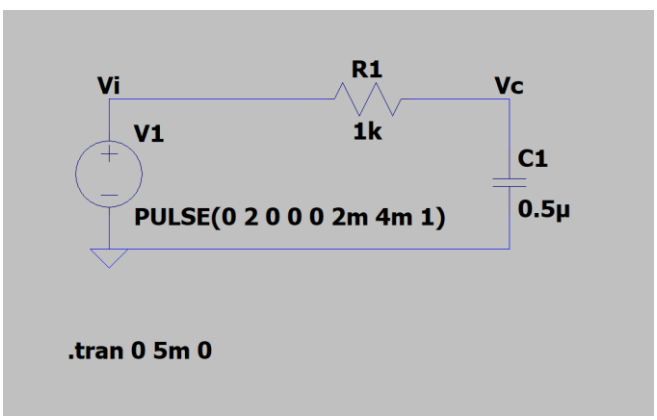
โปรแกรมจะสร้างคำสั่ง: .tran 0 5m 0

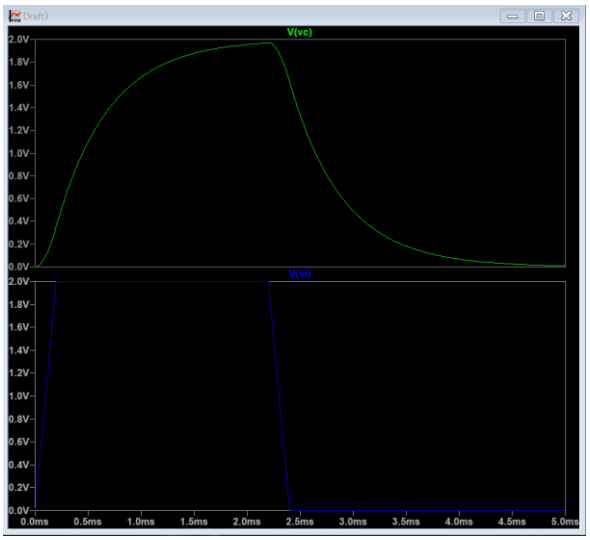
5) รันการจำลองและดูผลกราฟ

1. กด Run
2. คลิกโหนด Vi และ Vc เพื่อแสดงกราฟ

ผลที่คาดหวัง:

- Vi จะเป็นคลื่นสี่เหลี่ยม 0–2V
- Vc:
    - ไต่ขึ้นแบบโค้ง Exponential ในช่วง Charging
    - โค้งลดลงในช่วง Discharging
    - ความเร็วขึ้นอยู่กับ τ = RC = 0.5ms





ภาพวงจรและกราฟแสดงการทำงาน

ขั้นตอนการจำลองใน Tinkercad (ค่าภายในวงจรจะต่างกับ LTspice)

1. วางอุปกรณ์ลงบน Breadboard

ลาก Function Generator, Resistor, Capacitor และ Oscilloscope ลงบน Breadboard ให้ครบตามรายการอุปกรณ์

2. ตั้งค่า Function Generator

ปรับค่าตามนี้เพื่อสร้างสัญญาณ Pulse เปิด–ปิดไฟเลี้ยงให้กับวงจร RC:

- Waveform: Square wave (คลื่นสี่เหลี่ยม)
- Frequency: 120 Hz
- Amplitude: 5 V
- DC Offset: 2.5 V

ค่านี้ทำให้สัญญาณมีช่วงแรงดัน 0–5 V เหมาะสำหรับการสังเกตการ Charge/Discharge ของตัวเก็บประจุ

3. ต่อวงจรอนุกรม R–C

ทำการต่อวงจรตามลำดับดังนี้:

1. ต่อ ขั้วบวก (+) ของ Function Generator ⟶ ขาหนึ่งของ Resistor (1 kΩ)
2. ต่อ อีกขาของ Resistor ⟶ ขั้วบวกของ Capacitor (1 μF)
3. ต่อ ขั้วลบของ Capacitor ⟶ ขั้วลบ (–) ของ Function Generator

ผลลัพธ์คือวงจร RC แบบอนุกรมที่พร้อมรับสัญญาณสี่เหลี่ยมเพื่อทดสอบพฤติกรรมการประจุ–คายประจุ

4. การวัดผลด้วย Oscilloscope

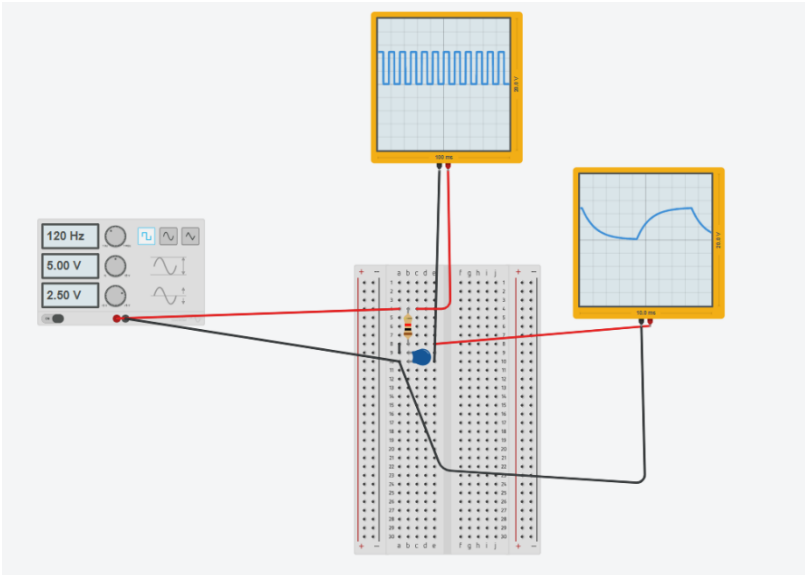
1. ต่อสาย GND (สีดำ) ของ Oscilloscope ⟶ ขั้วลบของ Capacitor หรือ Ground ของวงจร
2. ต่อสาย Probe (สีแดง) ⟶ จุดระหว่าง Resistor และ Capacitor
    - ตำแหน่งนี้คือแรงดันตกคร่อมบน Capacitor (Vc)

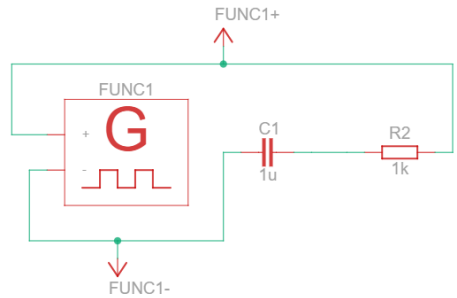
5. เริ่มการจำลอง

กด Start Simulation

บนหน้าจอ Oscilloscope จะเห็นกราฟลักษณะดังนี้:

- กราฟ ค่อย ๆ ไต่ขึ้น เมื่อมีแรงดันป้อนเข้า (ช่วง *Charging*)
- กราฟ โค้งลดลง เมื่อแรงดันลดลง (ช่วง *Discharging*)





ภาพวงจรและกราฟแสดงการทำงาน

ลักษณะกราฟผลลัพธ์ที่คาดหวัง (ตามการใช้โปรแกรม LTspice)

การตั้งค่าการจำลอง (Simulation Setup):

• Input (): สัญญาณ Pulse 0V - 2V (คลื่นสี่เหลี่ยม)

• Time Constant (τ): คำนวณจาก R = 1 kΩ และ C = 0.5 μF ดังนั้นได้ค่า 0.5 ms

จากการจำลองด้วยโปรแกรม LTspice กราฟจะแสดงพฤติกรรมตามทฤษฎีดังนี้:

1. ช่วงเก็บประจุ (Charging):

    ◦ เมื่อกราฟแรงดันอินพุต ดีดขึ้นเป็น High (2V)

    ◦ ผลลัพธ์: กราฟแรงดันตกคร่อมคาปาซิเตอร์ จะไม่ได้พุ่งขึ้นทันที แต่จะ ค่อยๆ เพิ่มขึ้นแบบ Exponential โดยมีความโค้งลาดชันในช่วงแรกและชะลอตัวลงเมื่อเข้าใกล้ระดับแรงดัน 2V

2. ช่วงคายประจุ (Discharging):

    ◦ เมื่อ V ลดลงกลับมาเป็น 0V

    ◦ ผลลัพธ์: กราฟแรงดัน จะ ค่อยๆ โค้งลดลงอย่างต่อเนื่องจนเป็นศูนย์ โดยความเร็วในการลดลงนี้ถูกกำหนดด้วยค่าคงที่เวลา (τ) ซึ่งจากการคำนวณคือ 0.5 ms (เวลาที่ใช้ลดลงเหลือประมาณ 37% ของค่าเริ่มต้น)

5. การจำลองวงจรทรานซิสเตอร์สวิตชิ่ง (Transistor Switching Simulation)

การวิเคราะห์การทำงานของทรานซิสเตอร์ BJT ชนิด NPN ในฐานะสวิตช์ควบคุมโหลด (LED) มีรายละเอียดดังนี้:

- OFF (Cutoff Region): เมื่อไม่มีแรงดันกระตุ้นที่ขา Base (สภาวะแรงดันต่ำ) ทรานซิสเตอร์จะเปรียบเสมือนสวิตช์เปิดวงจร (Open Circuit) กระแสไม่สามารถไหลผ่าน Collector ไปยัง Emitter ได้
- ON (Saturation Region): เมื่อป้อนแรงดันที่ขา Base เพื่อสร้าง Forward Bias ทรานซิสเตอร์จะเข้าสู่สภาวะอิ่มตัว เปรียบเสมือนสวิตช์ปิดวงจร (Closed Circuit) ทำให้กระแสไหลผ่านโหลดได้เต็มที่
- พารามิเตอร์สัญญาณควบคุม: ในการจำลองใช้สัญญาณพัลส์ควบคุมที่ขา Base ด้วยคำสั่ง PULSE(0 5 0 0.01u 0.01u 0.5m 1m) เพื่อทดสอบการสลับสถานะความถี่สูง

ขั้นตอนการจำลองใน LTspice

1) วางอุปกรณ์ (Component Placement)

- เปิด LTspice ⟶ New Schematic
- วางอุปกรณ์ที่ต้องใช้:
    - Q1 (NPN Transistor)
    - D1 (Diode / LED)
    - R1, R2 (Resistors)
    - V1 (Pulse Control Source)
    - V2 (DC Supply 5V)
    - GND (*ต้องใส่เสมอ*)

2) ต่อวงจรและตั้งค่าค่าอุปกรณ์

วงจรโหลด (Collector Loop)

- V2 (5V) ⟶ R1 (1kΩ) ⟶ LED (D1) ⟶ Collector ของ Q1

วงจรควบคุม (Base Loop)

- V1 ⟶ R2 (1kΩ) ⟶ Base ของ Q1

Emitter

- ต่อ Emitter ⟶ GND

3) ตั้งค่าแหล่งจ่ายสัญญาณควบคุม (Pulse Source)

คลิกขวาที่ V1 ⟶ Advanced ⟶ เลือก PULSE และใส่ค่า:

PULSE(0 5 0 0.01u 0.01u 0.5m 1m)

ความหมาย (แบบย่อ):

- 0 ⟶ 5V : ระดับสั่งปิด/เปิด
- Rise/Fall = 0.01 μs : ทำให้ขอบสัญญาณคม
- Ton = 0.5 ms
- Tperiod = 1 ms (ครบ 1 รอบ)

4) ตั้งค่าคำสั่งจำลอง (Simulation Command)

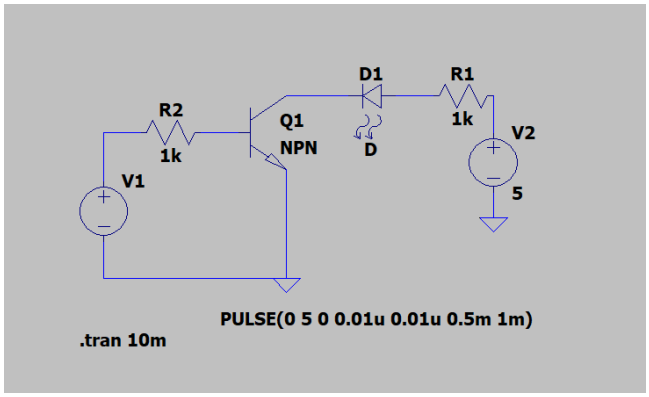
ใช้คำสั่ง:

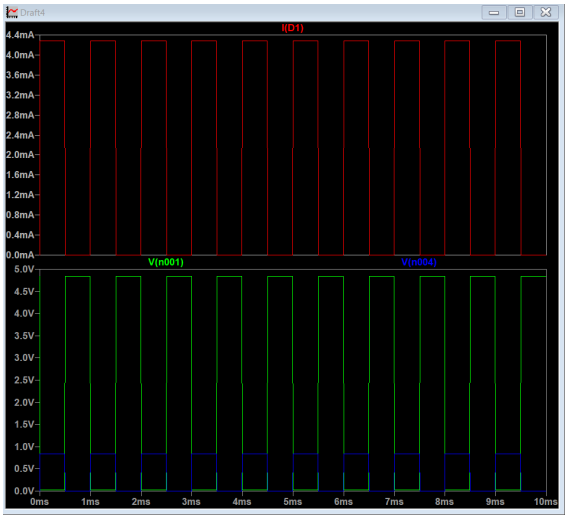
.tran 10m

เพื่อดูการทำงานหลายรอบ (10 ms) ของสัญญาณความถี่ 1 kHz

5) รันการจำลองและดูผลลัพธ์

- กด Run
- คลิกที่:
    - สัญญาณควบคุม V(base)
    - กระแส I(D1) (กระแส LED)



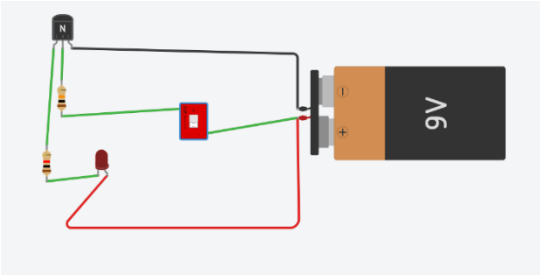


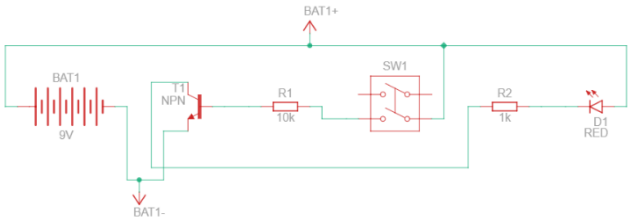
ภาพวงจรและกราฟแสดงการทำงาน

ขั้นตอนการจำลองใน Tinkercad (ค่าอุปกรณ์ภายในวงจรจะต่างกับ LTspice)

1. วางทรานซิสเตอร์ NPN ลงบนบอร์ด โดยสังเกตตำแหน่งขา C (Collector), B (Base), E (Emitter) ให้ถูกต้อง
2. ต่อวงจรขาออก (Collector – Output)
   - ไฟบวก (+) ⟶ Resistor 1 kΩ ⟶ ขา Anode (ขายาว) ของ LED
   - ขา Cathode (ขาสั้น) ของ LED ⟶ ขา C (Collector) ของทรานซิสเตอร์
   - ขา E (Emitter) ของทรานซิสเตอร์ ⟶ ลงกราวด์ (–)
3. ต่อวงจรควบคุมสวิตช์ (Base – Input)
   - ไฟบวก (+) ⟶ สวิตช์ (Pushbutton)
   - ขาออกจากสวิตช์ ⟶ Resistor 10 kΩ ⟶ ขา B (Base) ของทรานซิสเตอร์

4. เริ่มการจำลอง (Start Simulation)
   - Cutoff: ไม่กดสวิตช์ ⟶ ไม่มีสัญญาณเข้า Base ⟶ LED ดับ
   - Saturation: กดสวิตช์ ⟶ ไฟเข้า Base ⟶ ทรานซิสเตอร์นำกระแส ⟶ LED ติดสว่าง





ภาพวงจร

การวิเคราะห์ผลลัพธ์จากกราฟ (ตามการใช้โปรแกรม LTspice)

• สังเกตสัญญาณควบคุมที่ขา **Base** และกระแสที่ไหลผ่าน LED หรือ **I(D1)**

• เมื่อแรงดันที่ **Base** เป็น High ทรานซิสเตอร์จะเข้าสู่สถานะ **Saturation** ส่งผลให้เกิดกระแสหลักไหลผ่าน **LED**

• ในสภาวะ **ON** กระแส **I(D1)** ที่ได้จากการจำลองจะขึ้นไปอยู่ที่ระดับประมาณ **4.4mA** ซึ่งสอดคล้องกับการคำนวณทางทฤษฎีเมื่อหักลบแรงดันตกคร่อมอุปกรณ์และตัวต้านทานจำกัดกระแส

สูตรและรายละเอียดการคำนวณ

ค่าอุปกรณ์ที่ใช้ในการจำลอง:

ค่ามาตรฐานที่ใช้:

- $V_{BE} \approx 0.7\text{V}$ (ซิลิกอนมาตรฐาน)
- $V_{LED} \approx 0.7\text{V}$ (ไดโอดทั่วไปในโมเดล LTspice)
- $V_{CE} \approx 0\text{V}$ (อุดมคติ)

การคำนวณกระแสฝั่งควบคุม (Base Current – IB)

สูตร: $I_B = (V_{in} - V_{BE}) / R_B$

แทนค่า: $V_{in} = 5\,V$, $V_{BE} = 0.7\,V$, $R_B = 1{,}000\,\Omega$

ดังนั้น: $I_B = (5 - 0.7) / 1000 = 4.3\,mA$

การคำนวณกระแสฝั่งโหลด LED (I_LED)

สูตร: $I_{LED} = (V_{CC} - V_{LED} - V_{CE}) / R_C$

แทนค่า: $V_{CC} = 5\,V$, $V_{LED} = 0.7\,V$, $V_{CE} = 0\,V$, $R_C = 1{,}000\,\Omega$

ดังนั้น: $I_{LED} = (5 - 0.7 - 0) / 1{,}000 = 4.3\,mA$

6. การวิเคราะห์วงจร Diode + Capacitor และแรงดันโนด (Node Voltage Analysis)

ส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์เชิงลึกของวงจรที่มีความซับซ้อนขึ้น โดยใช้แหล่งจ่ายแรงดัน V1 = 7V ที่มีค่าความต้านทานภายใน (Internal Resistance) Rser = 1Ω

ขั้นตอนการจำลองใน LTspice (Simulation Steps in LTspice):

1) เตรียมอุปกรณ์ (Component Selection)

วางอุปกรณ์บน Schematic ดังนี้:

- V1 – แหล่งจ่าย DC 7V
- Rser ภายใน V1 = 1Ω (ตั้งในช่อง *Series Resistance*)
- ตัวต้านทาน 4 ตัว: R1 = 3Ω, R2 = 6Ω, R3 = 12Ω, R4 = 18Ω

- ตัวเก็บประจุ C1 = 1μF
- ไดโอด D1
- Ground (GND) ต้องต่อที่ขั้วลบของวงจรเสมอ

2) ต่อวงจรตาม 3 สาขา (Wiring & Parameter Setup)

สาขาที่ 1 — Resistive Branch (บน)

- ต่อ R1 (3Ω) อนุกรม R2 (6Ω)
- ใช้สำหรับพิสูจน์ Voltage Divider

สาขาที่ 2 — Capacitor Branch (กลาง)

- ต่อ C1 (1μF) อนุกรม R3 (12Ω)
- ใช้พิสูจน์ DC Blocking (C จะเป็นวงจรเปิดในสภาวะคงตัว)

สาขาที่ 3 — Diode Branch (ล่าง)

- ต่อ D1 โดยหันด้านคาโทดไปทางขวา (เพื่อ Forward Bias)
- ต่ออนุกรมกับ R4 (18Ω)
- ใช้แสดงการไหลของกระแสทางเดียวของไดโอด

3) ตั้งค่าแหล่งจ่าย (Voltage Source Config)

คลิกขวาที่ V1 แล้วกำหนด:

- DC value = 7 V
- Series Resistance (Rser) = 1 Ω

4) ตั้งค่าคำสั่งจำลอง (Simulation Command)

.op (Operating Point)

เหมาะสำหรับดูผลสุดท้ายทันที

เพิ่มคำสั่งต่อไปนี้ลงใน Schematic:

.op

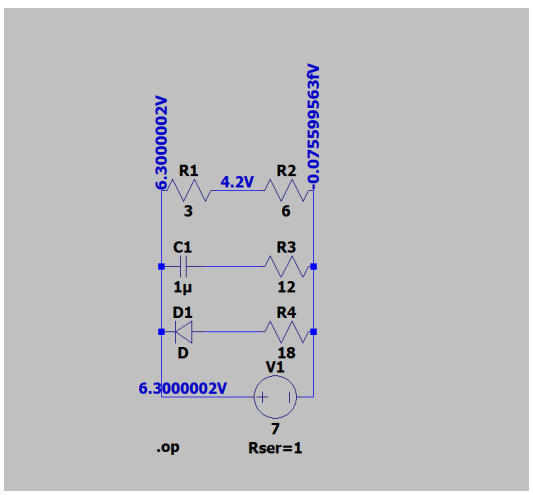
ผลลัพธ์จะเป็นค่าตัวเลขแรงดันตามจุดต่าง ๆ เช่น

- Node แรก = 6.3V

- Node กลาง = 4.2V

5) การรันจำลองและการดูผล (Running & Observing Results)

1. กด Run
2. คลิกที่ Node ซ้ายและ Node ขวาเพื่อดูแรงดัน
3. คลิกที่อุปกรณ์ต่าง ๆ เพื่อตรวจดู:
    - กระแสในสาขา Capacitor
    - กระแส Forward ของ Diode
    - แรงดันแบ่งในสาขา R1–R2




```
       --- Operating Point ---

V(n001):       4.2            voltage
V(n002):       6.3            voltage
V(n003):       4.37728e-22    voltage
V(n004):       -7.55996e-17   voltage
V(n005):       1.1358e-10     voltage
I(C1):         -6.3e-18       device_current
I(D1):         -6.31e-12      device_current
I(R1):         -0.7           device_current
I(R2):         -0.7           device_current
I(R3):         -6.3e-18       device_current
I(R4):         -6.31e-12      device_current
I(V1):         -0.7           device_current
```

ภาพวงจรและการแสดงผล

ขั้นตอนการจำลองใน Tinkercad (ค่าอุปกรณ์ภายในวงจรจะต่างกับ LTspice)

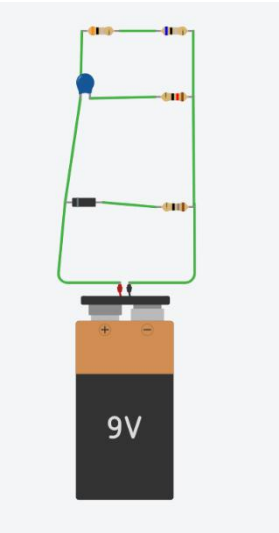
1. ลากสายไฟจากแบตเตอรี่ 9V ต่อ Resistor สายหลักที่มี R1 (3Ω) และ R2 (6Ω)
2. แยกสาขาวงจรออกเป็น 2 Branches ขนานกับ R1 (3Ω) และ R2 (6Ω)
   - สาขา 1 (Diode):

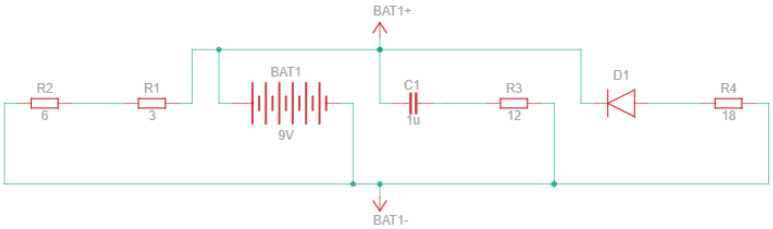
     ต่อ Diode (หันแถบสีเงินไปทางลบ) ⟶ เข้า R4 (18Ω) ⟶ ลงกราวด์ (–)
   - สาขา 2 (Capacitor):

     ต่อ Capacitor (ขั้วบวก) ⟶ เข้า R3 (12Ω) ⟶ ลงกราวด์ (–)

3. การวัดผลด้วย Multimeter
   - ตั้ง Multimeter เป็นโหมด วัดแรงดัน (Voltage)
   - ตัวที่ 1: วัด คร่อม Resistor ตามตำแหน่งที่ต้องการ
   - ตัวที่ 2: วัด คร่อม Resistor ในสาขา Capacitor (แรงดันจะค่อย ๆ ลดลงจนเหลือ 0V เพราะกระแสหยุดเมื่อ C อิ่มตัว – DC Blocking)

;





ภาพวงจร

การวิเคราะห์ที่มาของค่าแรงดันจากการจำลอง (ตามการใช้โปรแกรม LTspice)

1. สถานะอุปกรณ์: ในสภาวะ DC เมื่อ Capacitor (C1) ชาร์จจนเต็มจะทำหน้าที่เป็นวงจรเปิด (Open Circuit) ทำให้ไม่มีกระแสไหลในสาขาของ C1 และแรงดันตกคร่อม Diode (D1) ในสภาวะนี้ส่งผลต่อการไหลของกระแสตามทิศทางที่กำหนด
2. การวิเคราะห์ Voltage Divider: เมื่อพิจารณาสายหลักที่มี R1 (3Ω) และ R2 (6Ω) ต่ออนุกรมกับ Rser (1Ω) ของแหล่งจ่าย จะได้ความต้านทานรวม Rtotal = 1 + 3 + 6 = 10Ω
3. การคำนวณกระแสและแรงดัน:

- กระแสรวมในวงจร I = V / Rtotal = 7V / 10Ω = 0.7A
- แรงดันที่ Node แรก (ก่อนเข้า R1): 7V - (0.7A × 1Ω) = 6.3V
- แรงดันที่ Node ระหว่าง R1 และ R2: 6.3V - (0.7A × 3Ω) = 4.2V

ผลลัพธ์จากการจำลองที่แสดงค่า 6.3V และ 4.2V จึงเป็นการยืนยันความถูกต้องของ Voltage Distribution ภายในวงจรอย่างสมบูรณ์

สรุปผลการดำเนินงาน

จากการวิเคราะห์สรุปได้ว่า ผลการจำลองจาก LTspice และการจำลองใน Tinkercad มีความสอดคล้องกับทฤษฎีทางวิศวกรรมไฟฟ้าในระดับความแม่นยำสูง

การใช้ซอฟต์แวร์จำลองช่วยให้เราสามารถเข้าถึงพฤติกรรมที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงสถานะชั่วขณะในวงจร RC และการกระจายตัวของแรงดันในวงจรที่มี Impedance และความต้านทานภายในสูง เป็นบทพิสูจน์สำคัญว่าเครื่องมือจำลองสามารถสะท้อนพฤติกรรมของวงจรจริงภายใต้เงื่อนไขทางคณิตศาสตร์ได้อย่างดีเยี่ยม ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญยิ่งก่อนการดำเนินการสร้างและทดสอบในห้องปฏิบัติการจริง