บทที่ 2

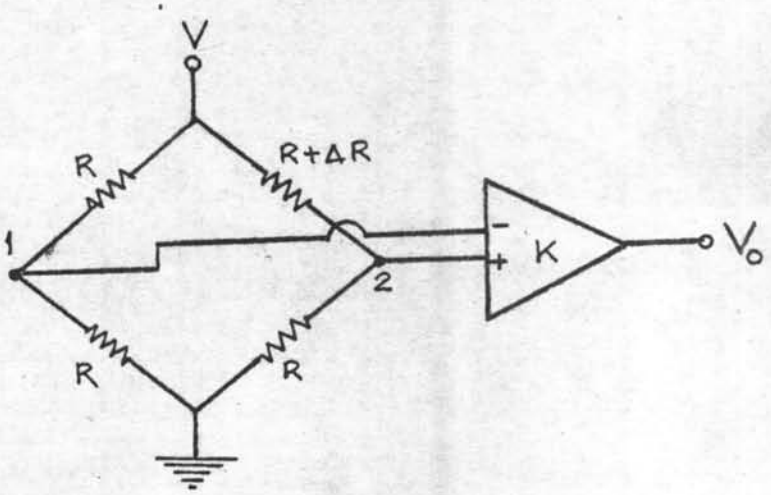
หลักการออกแบบ DIGITAL THERMOMETER

2.1 หลักการออกแบบ DIGITAL THERMOMETER อาศัยคุณสมบัติของวัตถุที่มีความต้านทานทางไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิแล้วสร้างวงจรไฟฟ้าขึ้นเพื่อขยายการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานออกมาเป็นค่าของ VOLTAGE และนำเอา DIGITAL THEORY มาประยุกต์เพื่อสร้างวงจรไฟฟ้าที่สามารถแปลงค่า VOLTAGE แบบ ANALOG ออกมาเป็น DIGITAL

สำหรับการออกแบบเครื่อง DIGITAL THERMOMETER ครั้งนี้จะใช้ TRANSISTOR แบบ SILICON หมายเลข 2 N 2222 ซึ่งมีคุณสมบัติความต้านทานเปลี่ยนแปลงกลับกับอุณหภูมิ คือเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นความต้านทานจะลดลงเป็น LINEAR FUNCTION และใช้วงจร BRIDGE AMPLIFIER เพื่อขยายอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานนั้นเป็นค่าทาง VOLTAGE โดยการใช้ TRANSISTOR นั้นเป็น ACTIVE ARM ของ BRIDGE และใช้วิธี DUAL SLOPE INTERGRATION เพื่อแปลงค่า VOLTAGE แบบ ANALOG ออกเป็นสัญญาณทาง DIGITAL เพื่อต่อเข้าสู่ DISPLAY DEVICE ซึ่งสามารถแสดงค่าออกมาเป็นตัวเลข

2.2 เทคนิคการเปลี่ยนค่าความต้านทานเป็นค่าทาง VOLTAGE

BRIDGE AMPLIFIER เป็นวงจรขยายสัญญาณแบบหนึ่งที่สามารถที่จะขยายสัญญาณที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของ BRIDGE ARM ข้างหนึ่งโดยให้ OUTPUT ออกมาเป็นค่าทาง VOLTAGE วงจรแบบนี้เหมาะสำหรับการขยายสัญญาณที่เกิดจากการที่เปลี่ยนแปลงความต้านทานเป็นเปอร์เซนต์ได้น้อยมาก วงจรของ BRIDGE AMPLIFIER มีดังนี้ :-



รูปที่ 1 วงจร BRIDGE AMPLIFIER

จากรูปที่ 1

$$V_2 = V\frac{R}{2R + \Delta R}$$

$$V_1 = \frac{V}{2}$$

$$\therefore V_2 - V_1 = -\frac{V}{4}\left(\frac{S}{1 + \frac{S}{2}}\right) \qquad \text{เมื่อ } S = \frac{\Delta R}{R}$$

$$\therefore V_0 = K(V_2 - V_1)$$

$$= -\frac{KV}{4}\left(\frac{S}{1 + \frac{S}{2}}\right)$$

$$\therefore V_0 \approx -\frac{KVS}{4} \qquad \text{เมื่อ } S \text{ มีค่าน้อยมาก}$$

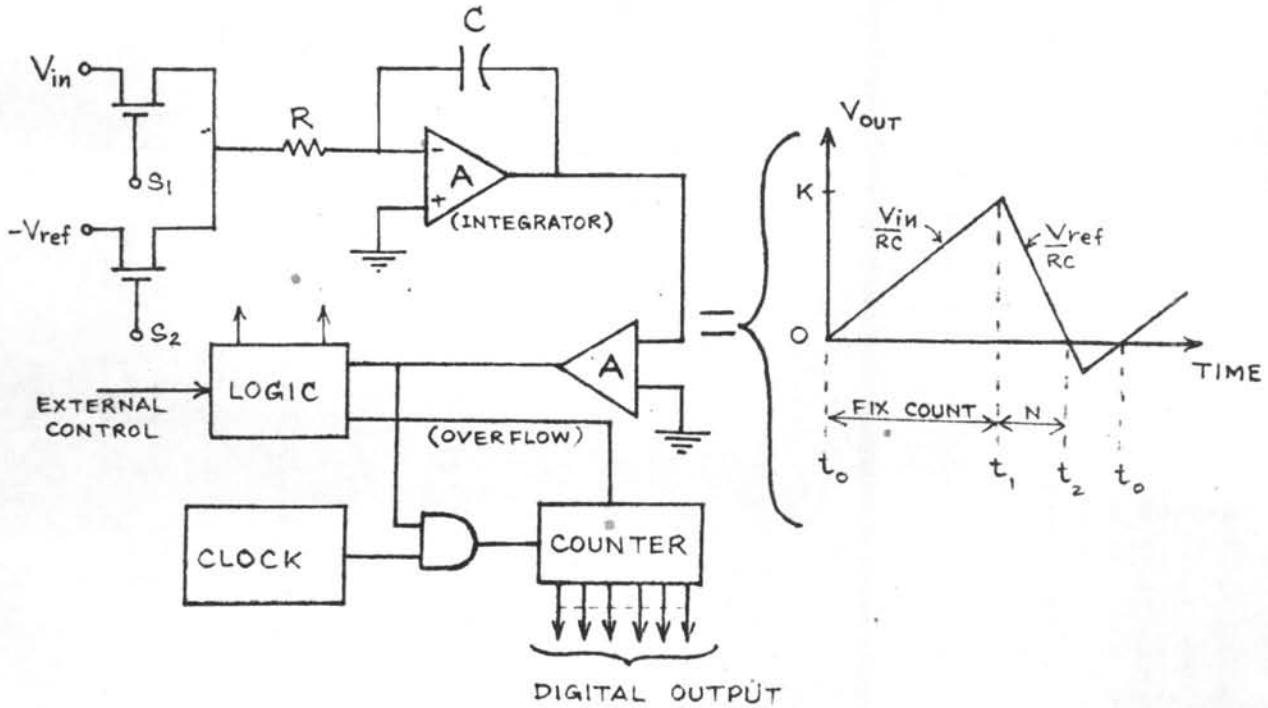
ดังนั้นจะเห็นว่า OUTPUT VOLTAGE เป็น LINEAR FUNCTION กับอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทาน (S) เมื่อตั้งให้ค่า K และ V เป็นค่าคงที่และอัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทาน(S) มีค่าน้อยมาก

i 17820625

2.3 เทคนิคการเปลี่ยนค่าจาก ANALOG เป็น DIGITAL

การเปลี่ยนค่าจาก ANALOG เป็น DIGITAL นั้นมีด้วยหลายวิธี โดยแบ่งเป็นแบบใหญ่ ๆ 2 แบบคือ OPEN LOOP TYPE และ FEEDBACK TYPE โดยแบบ OPENLOOP นั้นจะแปลงเป็น DIGITAL CODE โดยตรงเมื่อได้รับ INPUT VOLTAGE และเป็นแบบ SYNCHONOUS OPERATION ส่วนแบบ FEEDBACK จะแปลงเป็น DIGITAL CODE ชุดหนึ่งทันที เสร็จแล้วจะแปลงแต่ละ DIGITAL CODE นั้นกลับไปเป็นแบบ ANALOG อีกครั้ง เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับ INPUT ว่าถูกต้องหรือไม่ ดังนั้นผลที่ได้ออกมาจะได้ DIGITAL OUTPUT ที่เกิดจากค่า ANALOG ที่ใกล้เคียงกับ INPUT มากที่สุด

สำหรับการออกแบบเครื่อง DIGITAL THERMOMETER ครั้งนี้จะใช้แบบ DUAL SLOPE INTEGRATOR ซึ่งเป็น FEEDBACK TYPE วิธีหนึ่ง ข้อดีของวิธี DUAL SLOPE INTEGRATOR ก็คือ ACCURACY ของระบบทั้งหมดขึ้นอยู่กับ ACCURACY ของ REFERENCE VOLTAGE เพียงอย่างเดียว

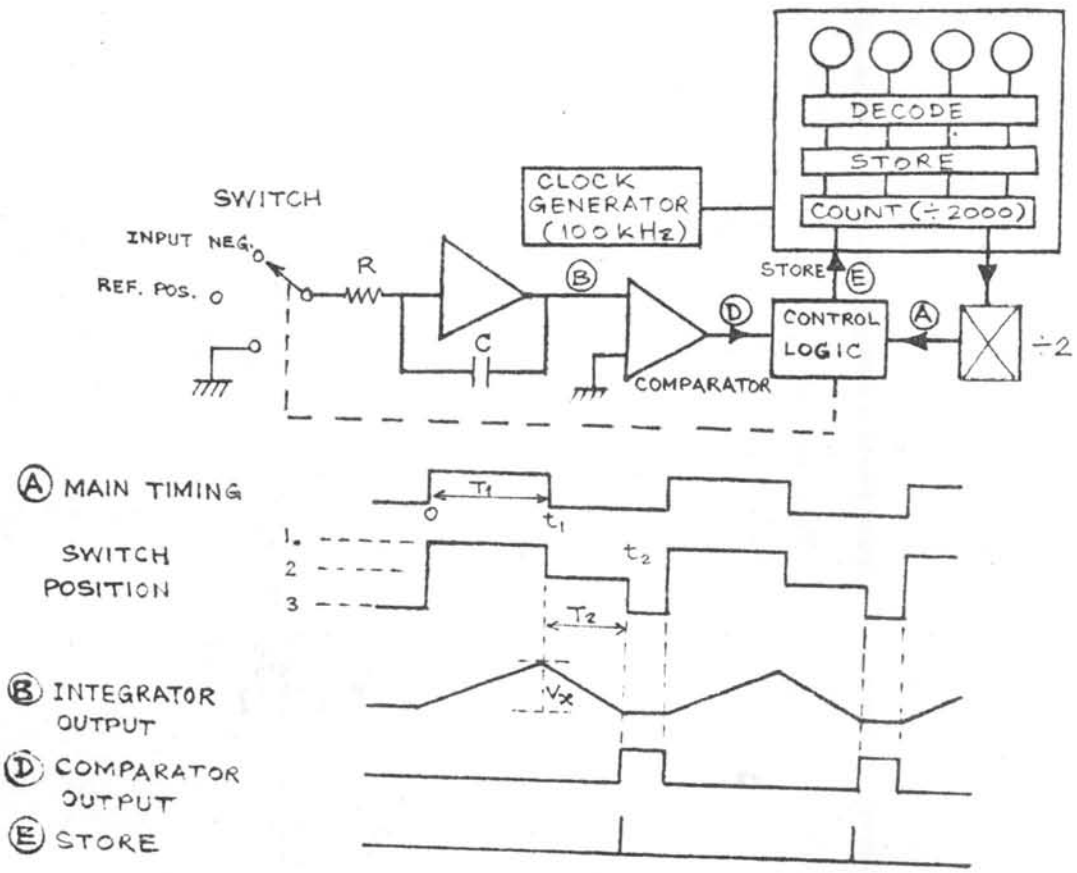


รูปที่ 2 แสดงระบบของ DUAL SLOP A/D CONVERTER

หฤษฎีการทำงานของ DUAL SLOPE TECHNIQUE อาศัยหลักการของ VOLTAGE TO TIME PRINCIPLE จากรูปที่ 2 เริ่มแรก จะต้องมีค่า KNOWN - - REFERENCE VOLTAGE (V_{ref}) เพื่อเอาไว้เปรียบเทียบกับ UNKNOWN INPUT VOLTAGE (V_{in}) โดยใช้วิธีเปรียบเทียบ SLOPE ของ 2 ค่านี้ เริ่มแรกสวิช S_1 และ S_2 ซึ่งจะใช้ป้อน V_{in} และ V_{ref} ซึ่งจะเปิดอยู่ เมื่อปิดสวิช S_1 ทำให้ป้อน V_{in} ให้กับ INTEGRATOR ทำให้ OUTPUT ของ INTEGRATOR มีค่า SLOPE เป็น $+V_{in}/RC$ เปลี่ยนจากค่าลบเป็นศูนย์และเปลี่ยนเป็นบวก การที่ SLOPE เปลี่ยนจากค่าลบเป็นบวกจะทำให้ CLOCK เริ่มทำงาน COUNTER ก็จะเริ่มนับไปจนถึงค่าสูงสุด (2^n) แล้วก็จะ OVERFLOW และเริ่มเป็นศูนย์ใหม่ การที่ COUNTER กลับมาเป็นศูนย์นี้จะทำให้สวิช S_1 เปิดและสวิช S_2 ปิด ก็จะป้อน V_{ref} ให้กับ INTEGRATOR ทำให้ OUTPUT ของ INTERGRATOR มีค่า SLOPE เป็น $-V_{ref}/RC$ COUNTER ก็ยังคงนับไปเรื่อย ๆ จนกว่า SLOPE จะเปลี่ยนจากค่าบวกเป็นศูนย์และกลายเป็นลบ แล้ว COUNTER ก็จะหยุดนับ ค่าที่นับได้นี้จะนำไปเปรียบเทียบที่ COMPARATOR ส่วน COUNTER ยังคงที่เก็บค่าที่นับได้ไว้ ค่านี้ก็คือค่าทาง DIGITAL ของ INPUT V_{in} นั่นเอง

2.4 หลักการของ DIGITAL THERMOMETER

โดยอาศัยคุณสมบัติของ TRANSISTOR ที่มีค่าความต้านทานทางไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงทางอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นค่าความต้านทานลดลง โดยมีสัมพันธ์เป็น LINEAR FUNCTION ดังนั้นอาศัยคุณสมบัตินี้นำ TRANSISTOR มาต่อเป็น ACTIVE ARM ในวงจรของ BRIDGE AMPLIFIER เพื่อขยายสัญญาณการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานเป็นสัญญาณทาง VOLTAGE ณ ที่อุณหภูมิหนึ่ง ๆ จะได้ OUTPUT VOLTAGE ค่าหนึ่งที่มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิค่านั้นโดยการให้ที่ 0°ซ ได้ OUTPUT VOLTAGE เป็น 0 VOLT ดังนั้นที่อุณหภูมิค่าหนึ่งก็จะได้ OUTPUT VOLTAGE ค่าหนึ่ง ซึ่งค่านี้จะเป็น UNKNOWN INPUT VOLTAGE ที่จะนำไปป้อนเข้า ANALOG TO DIGITAL CONVERTOR เพื่อแปลงค่า ANALOG VOLTAGE ออกเป็นสัญญาณทาง DIGITAL



รูปที่ 3 แสดงจังหวะการทำงานของ DIGITAL THERMOMETER

จากรูปที่ 3 เริ่มแรก CAPACITOR (C) จะถูก DISCHARGED เต็มที่ เมื่อป้อนค่า UNKNOWN VOLTAGE (V_{in}) จาก BRIDGE AMPLIFIER เข้าไปสู่ INTEGRATOR C จะถูกCHARGE ด้วยอัตราที่คำนวณได้จากค่า V_{in} และ Rเรื่อยไป จน COUNTER นับได้ 2000 (คือค่า T_1 เป็นเวลา 20 MILLISECONDS) ในท้ายสุดในช่วงนี้ VOLTAGE ที่คอม C (V_x)จะมีค่า = $\frac{1}{RC}\int_0^{t_1} V_{in}\,dt$ หรือ $V_x = V_{in}\, T_1/RC$

เมื่อสับสวิชป้อน REFERENCE VOLTAGE (V_{ref}) ให้กับ INTEGRATOR จะทำให้ C ถูก DISCHARGE ด้วยอัตราที่คำนวณได้จากค่า V_{ref} และ R เนื่องจาก

ค่า VOLTAGE ค่านี้มีค่าสูงกว่า VOLTAGE ที่ต้องการวัดมาก ทำให้ CHARGE บน C ลดลงเร็วกว่าที่ถูกสร้างขึ้นมาและ CHARGE ลดลงจนเป็นศูนย์ในเวลา T_2

$$\therefore 0 = V_x - \frac{1}{RC}\int_{t_1}^{t_2} V_{ref}\, dt$$

$$= V_x - V_{ref}\ T_2 / RC$$

$$= V_{in}\ T_1 / RC - V_{ref}\ T_2 / RC$$

$$\therefore V_{in}\ T_1 = V_{ref}\ T_2$$

$$\therefore V_{in} = V_{ref}\ T_2 / T_1$$

เมื่อมีสภาพ VOLTAGE เป็นศูนย์ จะทำให้ COMPARATOR ควบคุม CONTROL LOGIC ให้ป้อน 0 VOLT INPUT ให้แก่ INTEGRATOR เพื่อป้องกันไม่ให้ CHARGE บน C มีการเปลี่ยนแปลง ในขณะเดียวกัน CONTROL LOGIC จะควบคุมให้ COUNTER เก็บค่าที่นับได้ไว้ ดังนั้นเวลาที่นับได้คือที่วัดได้ของ UNKNOWN INPUT VOLTAGE (V_{in}) ใน TERM ของ REFERENCE VOLTAGE (V_{ref}) ดังนั้น REFERENCE VOLTAGE จึงอาจจะเลือกให้มี RANGE ที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้งาน

2.5 แนวความคิดที่นำไปออกแบบ

จากหลักการออกแบบดังกล่าวมาแล้ว DIGITAL THERMOMETER จะประกอบกันขึ้นมาก็ด้วยส่วนใหญ่ ๆ ดังนี้ :-

2.5.1 BRIDGE AMPLIFIER ส่วนนี้จะทำการเปลี่ยนค่าอุณหภูมิเป็นค่าของ VOLTAGE โดยที่การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิกับการเปลี่ยนแปลงของ VOLTAGE เป็น LINEAR FUNCTION

2.5.2 วงจร ANALOG ส่วนนี้ทำหน้าที่แปลงค่า UNKNOWN INPUT VOLTAGE ให้เป็นค่า DIGITAL

2.5.3 ELECTRONIC SWITCH ส่วนนี้จะทำหน้าที่สับเปลี่ยนสวิชเพื่อป้อนเอา UNKNOWN INPUT VOLTAGE, REFERENCE VOLTAGE และ 0 VOLT (GROUND) ให้แก่ INTEGRATOR

2.5.4 CONTROL LOGIC ส่วนนี้ทำการควบคุมสวิชปิดเปิดให้ป้อน VOLTAGE ต่าง ๆ ให้แก่ INTEGRATOR และควบคุมการทำงานของ COUNTER ด้วย

2.5.5 DISPLAY ส่วนนี้จะทำหน้าที่แสดงผลลัพธ์ต่าง ๆ ออกมาเป็นตัวเลข