บทที่ ๒

หลักการของดิจิทอลโวลท์มิเตอร์

๒.๑ คำนำ

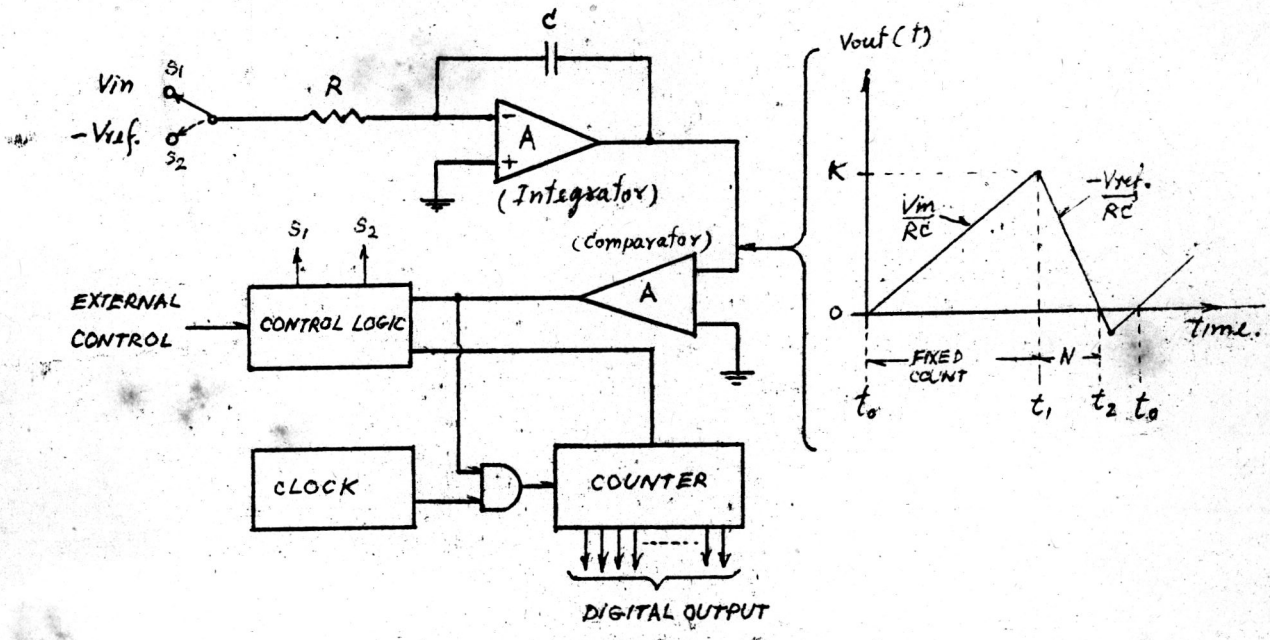
ดิจิทอลโวลท์มิเตอร์ (Digital Voltmeter - DVM.) เป็นเครื่องมือทดสอบอีเลคโทรนิคชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญมาก และได้พัฒนาตามความก้าวหน้าทางด้านดิจิทอลเทคนิคส์ (Digital Techniques) ดิจิทอลโวลท์มิเตอร์สามารถวัดและแสดงค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดเป็นตัวเลข ได้โดยตรงตามค่าที่วัดนั้น มีคุณสมบัติที่ดีกว่าโวลท์มิเตอร์แบบธรรมดา คือ ทำงานด้วยความเร็วสูง อ่านค่าได้สะดวกและละเอียดกว่า และให้ค่าความเที่ยงตรงสูง

หลักการที่สำคัญคือ ส่วนที่แสดงผลเป็นตัวเลข (Numeric Readout) โดยอาศัยหลักการของระบบการเปลี่ยนแอนาลอกเป็นดิจิทอล (Analog to Digital Conversion System) ซึ่งมีอยู่หลายแบบ การทำงานและคุณลักษณะต่าง ๆ สามารถแบ่งออกเป็น ๒ แบบ คือ แบบ Potentiometric ซึ่งเรียกว่าแบบการเปรียบเทียบหรือแบบป้อนกลับ (Comparision or Feedback Type) และอีกแบบหนึ่งเป็นแบบที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้า เป็นความถี่ (Voltage-to-Frequency Type) หรือแบบ Integrating สรุปแล้วหลักการของดิจิทอลโวลท์มิเตอร์นี้ จะอาศัยระบบการเปลี่ยนแอนาลอกเป็นดิจิทอลเป็นส่วนสำคัญในการออกแบบสร้าง

๒.๒ เทคนิคการเปลี่ยนแอนาลอกเป็นดิจิทอลแบบดวลสโลป

การเปลี่ยนแอนาลอกเป็นดิจิทอลแบบดวลสโลปหรือดับเบิลแรมป์ (Dual Slope or Double Ramp) เป็นเทคนิคหนึ่งที่นำมาเป็นหลักการในการออกแบบและสร้างดิจิทอลโวลท์มิเตอร์ ผลดีของการนำเอาเทคนิคของดวลสโลปมาใช้ก็เพราะตามทฤษฎีแล้ว ค่าความเที่ยงตรงขึ้นอยู่กับค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงอย่างเดียวเท่านั้น และเหตุนี้จึงได้ตกลงใจเลือกเทคนิคของดวลสโลปเพื่อใช้ในการออกแบบและสร้างดิจิทอลโวลท์มิเตอร์ดังกล่าว

หลักการของการเปลี่ยนแอนาลอกเป็นดิจิทอลแบบควอสโลปนี้ คือการเปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าให้เป็นเวลา (Voltage-to-time) ด้วยการ Integrate ทั้งค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการวัด (Vin) และค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง (-Vref.) แล้วเปรียบเทียบอัตราการเปลี่ยนของค่าทั้งสอง ดังแสดงในรูปที่ ๒.๑



รูปที่ ๒.๑ แผนภาพแสดงการเปลี่ยนแอนาลอกเป็นดิจิทอลแบบควอสโลป

ในสภาพปกติที่สวิทช์ S_1 และ S_2 จะยังไม่ทำงานและจะมีค่าแรงดันไฟฟ้าที่มีศักย์เป็นลบอยู่บ้างเล็กน้อย ซึ่งจะทำให้ Counter อยู่ในสภาวะที่เป็นศูนย์หมด เมื่อเริ่มทำงาน สวิทช์ S_1 จะต่อค่าแรงดันไฟฟ้า Vin ที่ต้องการวัดให้กับ Integrator และอัตราการเปลี่ยนแปลงที่ Output ของ Integrator มีค่าเป็น Vin/RC โดยมีค่าเพิ่มจากศูนย์เป็นค่าบวก ซึ่งจะทำให้ Counter เริ่มทำงานด้วยการป้อน Clock ไปให้ Counter และทำการนับจนกระทั่งอัตราการเปลี่ยนแปลงมีค่าสูงถึงจุดที่กำหนดไว้ คือค่าที่นับได้สูงที่สุด (2^n) และ Counter ก็จะนับต่อไปจนกระทั่งกลับมาเป็นศูนย์ซึ่งทำให้เกิด Overflow แล้วทำให้สวิทช์ S_2 ทำงาน โดยต่อค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงที่ทราบค่าแล้ว (-Vref) ให้กับ Integrator ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงที่ Output ของ Integrator มีค่าเป็น -Vref./RC และ Counter ยังคงทำการนับต่อไปจนกระทั่งมีค่าเป็นศูนย์อีกครั้งหนึ่ง

จะทำให้ Comparator และ Counter หยุดทำงานแล้วแสดงผลออกมาเป็นตัวเลข ซึ่งตรงกับค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการวัด (Vin)

ข้อดีของเทคนิคนี้อีกประการหนึ่ง คือ Propagation delays ในลอจิกเกท และ Comparator สามารถหักล้างกันไปด้วยการที่อัตราการเปลี่ยนแปลงทั้งสองที่ปรากฏนั้น มีค่าเท่ากัน ส่วนคุณภาพของอุปกรณ์ที่ประกอบไปด้วย R และ C นั้นก็ไม่จำเป็นต้องใช้ของที่มี % การผิดพลาดต่ำ เนื่องจากค่า Time Constant ของอัตราการเปลี่ยนแปลงทั้งสองมีค่าเท่ากัน อย่างไรก็ตามก็ยังต้องการ Clock Pulses ที่มีค่าเป็น 2^{n+1} สำหรับ n bit full scale conversion.

๒.๓ หลักการของดิจิทอลโวลท์มิเตอร์

หลักการของดิจิทอลโวลท์มิเตอร์นั้น ใช้เทคนิคของการเปลี่ยนแอนาลอกเป็นดิจิทอลแบบดวลสโลปดังได้กล่าวแล้วในข้อ ๒.๒ ซึ่งจะมีระบบการทำงานดังต่อไปนี้
ดูรูปที่ ๒.๒ ประกอบ

เมื่อเริ่มต้นทำการวัด C จะคลายประจุจนหมดก่อน สวิทช์จะอยู่ที่ (๑) เพื่อต่อค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการวัด (-Vin) เข้าอินติเกรเตอร์ จนกระทั่ง C เริ่มเก็บประจุด้วยอัตราที่หาได้จากค่าแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการวัด (-Vin) และค่าตัวต้านทาน (R) การเก็บประจุของ C ยังคงมีต่อไปจนกระทั่ง Counter นับได้ค่าหนึ่งที่กำหนดประจุ (V_c) คือ

$$V_c = (1/RC)\int_0^{t1} Vin \, . \, dt \qquad (2.1)$$

หรือ
$$V_c = Vin.T1/RC \qquad (2.2)$$

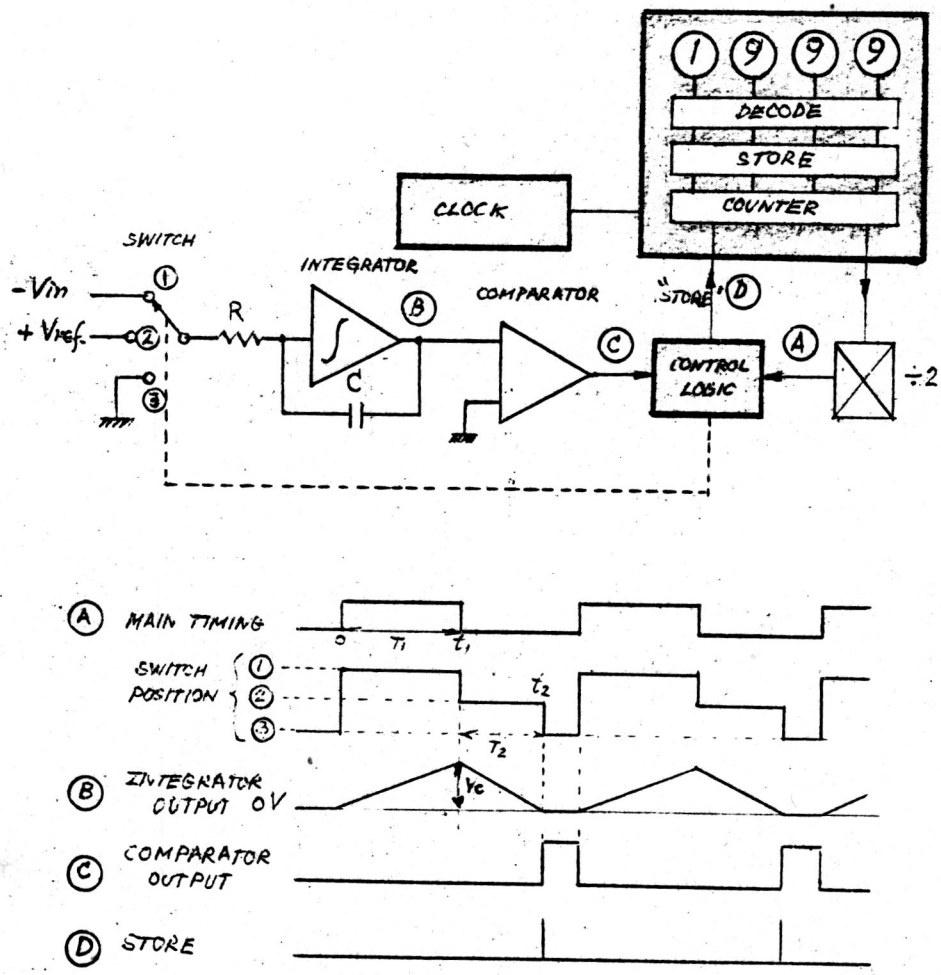
ส่วนควบคุมลอจิก (Control Logic) จะบังคับให้สวิทช์เลื่อนไปอยู่ที่ตำแหน่ง (๒) เพื่อต่อค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง (+Vref.) ให้กับ Integrator และ C จะคลายประจุด้วยค่าของแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงและตัวต้านทาน R จนกระทั่งค่าแรงดันไฟฟ้าที่ตกคร่อม C (V_c) มีค่าลดลงเป็น ๐ ดังสมการต่อไปนี้

$$0 = Vc - (1/RC)\int_0^{t_2} Vref.dt \quad (2.3)$$

$$0 = Vc - Vref.\ T2/RC \quad (2.4)$$

จากสมการที่ (2.2) $Vc = Vin.T1/RC$

ดังนั้นสมการ (2.4) $0 = Vin.T1/RC - Vref.\ T2/RC$



รูปที่ ๒.๒ แสดงแผนภาพของดิจิทอลโวลท์มิเตอร์แบบควลสโลป

นั่นคือ $V_{in}.T_1/RC = V_{ref}.T_2/RC$

$$V_{in} = V_{ref}.T_2/T_1 \quad \text{-----} \quad (2.5)$$

ต่อจากนั้นส่วนควบคุมลอจิก จะบังคับให้สวิทช์ไปอยู่ที่ตำแหน่งที่ (๓) คือป้อน ๐ ให้กับ Integrator เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงในการเก็บประจุของ C และในเวลาเดียวกันส่วนควบคุมลอจิกก็จะส่งให้ Counter ทำการ Store และ Count จากสมการที่ ๒.๕ แสดงให้เห็นว่า เวลาที่ได้แสดง (Time Displayed) นั้น ให้ค่าที่วัดของแรงดันไฟฟ้าที่ต้องการจะวัด (Vin) ได้โดยตรงในเทอมของค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง (Vref.) ดังนั้นค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิง (Vref.)สามารถเลือกค่าที่จะให้ Basic range ที่เหมาะสมกับดิจิทอลโวลท์มิเตอร์ได้ เช่น ตัวอย่าง ถ้าเราให้ค่าแรงดันไฟฟ้าอ้างอิงมีค่า ๒ โวลท์ Basic range ก็จะเป็น ๒ โวลท์ด้วย ถึงแม้ว่าค่าที่แสดงออกจะเป็นเพียง ๑.๙๙๙ โวลท์ก็ตาม Counter ก็ยังคงทำการนับต่อไปจนกระทั่งตัวเลขที่แสดงมีค่าเป็น ๐ หมด เมื่อจังหวะที่ทำการวัดนั้นยังคงกระทำซ้ำอยู่เรื่อย ๆ

๒.๔ แนวความคิดที่จะนำไปออกแบบและสร้าง

วงจรที่จะออกแบบและสร้างมีดังต่อไปนี้ คือ.-

๒.๔.๑ อีเลคโทรนิคสวิทช์ (Electronic Switch)

เป็นส่วนหนึ่งที่ใช้ทำหน้าที่ต่อแรงดันไฟฟ้าต่าง ๆ ให้กับ Integrator ตามการควบคุมของส่วนควบคุมลอจิก

๒.๔.๒ วงจร Integrator

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่เปลี่ยนค่าแรงดันไฟฟ้าให้เป็นเวลาด้วยวิธีการหาค่าเวลาแบบ Integrating

๒.๔.๓ Master Clock

เป็นส่วนที่ทำหน้าที่กำเนิดสัญญาณ Clock Pulse เพื่อใช้ในการนับและควบคุมวงจรลอจิกทั้งหมด

๒.๔.๔ ส่วนควบคุมลอจิก (Control Logic)

ส่วนนี้มีหน้าที่ควบคุมอีเล็คโทรนิคสวิทซ์ และ Counter /Display

๒.๔.๕ Counter/Display

ส่วนนี้จะทำหน้าที่นับและแสดงผล

๒.๔.๖ วงจร Input Amplifier

ทำหน้าที่ขยายสัญญาณ Input ให้เหมาะสม.