ระบบควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงไฮโดรเจนด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน

A COMPUTERIZED CONTROL SYSTEM OF HYDROGEN FUEL FLOW RATE IN AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

วชิราภรณ์ หงสวินิตกุล [1] วิทยา ยงเจริญ [2]

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330
โทร 0-22186610 โทรสาร 0-22522889 E-mail: fmewyc@eng.chula.ac.th

Wachiraporn Hongsavinitkul * Withaya Yongchareon
Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University
Prayathai Rd, Pratumwan Bangkok 10330 Thailand
Tel: 0-22186610 Fax: 0-22522889 E-mail: fmewyc@eng.chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาระบบควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงไฮโดรเจนด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับเครื่องยนต์สันดาปภายใน เครื่องยนต์ที่ใช้ในการทดสอบเป็นเครื่องยนต์แก๊สโซลีนยี่ห้อ MITSUBISHI รุ่น4G32B2AW5841 การทดสอบเครื่องยนต์ไฮโดรเจนบนแท่นทดสอบ ทำที่ความเร็วรอบในช่วง 2000-3200 รอบต่อนาทีและที่ตำแหน่งปีกผีเสื้อ 50%, 75% และ 100% ในแต่ละตำแหน่งปีกผีเสื้อปรับปริมาณเชื้อเพลิงไฮโดรเจนจนให้ได้แรงบิดสูงสุดที่แต่ละความเร็วรอบจากผลการทดลองทำให้ทราบถึงปริมาณเชื้อเพลิงไฮโดรเจนที่เครื่องยนต์ต้องการในแต่ละสภาวะการขับขี่เพื่อใช้ในการออกแบบระบบควบคุม ในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในตระกูล MCS-51 เป็นตัวควบคุม รับสัญญาณตำแหน่งปีกผีเสื้อจากตัวตรวจจับตำแหน่งปีกผีเสื้อและความเร็วรอบของเครื่องยนต์จากคอยล์จุดระเบิด การควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงไฮโดรเจนด้วยการเปิดปิดของโซลีนอยด์วาล์วเป็นแบบ PWM เมื่อนำระบบควบคุมไปติดตั้งเข้ากับรถยนต์ไฮโดรเจนเพื่อทดสอบสมรรถนะในการขับขี่พบว่าระบบจ่าเชื้อเพลิงสามารถทำงานได้ดีที่ความเร็วต้ไม่เกิน 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

Abstract

The purpose of this research is to study the computerized control system of hydrogen fuel flow rate in an internal combustion engine. In this research, the engine used is a MITSUBISHI gasoline engine model 4G32 B2AW 5841. The engine was tested on the engine test bed. The engine speed was varied between 2000-3200 rpm at throttle position of 50%, 75% and 100%. The hydrogen flow rate was adjusted until the engine reached the maximum torque at each speed. From the result the hydrogen fuel flow rates that the engine needed for different driving conditions were obtained.This flow is used to designt the control system. In this research, the controller is MCS-51 microcontroller, the input signals are both throttle position from throttle position sensor and engine speed from ignition coil .The control action is the PWM through the solenoid valve to control hydrogen fuel flow rate**.** After the installation of the electronic hydrogen fuel control system in the car, the system can work properly only at low speed up to 40 km/hr.

1. บทนำ

ไฮโดรเจน (H_2) เป็นธาตุที่ไม่มีส่วนประกอบของคาร์บอน (C) เมื่อเกิดการเผาไหม้ ผลผลิตที่ได้จึงไม่มีมลพิษซึ่งเกิดจากสารประกอบคาร์บอนต่าง ๆ แต่จะได้น้ำเป็นส่วนประกอบหลัก ในไอเสียจะมีก๊าซที่เป็นพิษน้อยมาก จึงกล่าวได้ว่าไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงที่สะอาด และเป็นเชื้อเพลิงที่สามารถหมุนเวียนได้ ทั้งนี้เนื่องจากไฮโดรเจนสามารถผลิตได้จากการแยกธาตุที่เป็นองค์ประกอบของน้ำ ดังนั้นการนำไฮโดรเจนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์จึงสามารถแก้ไขปัญหาได้ทั้งในเรื่องมลภาวะและการขาดแคลนเชื้อเพลิง ปัจจุบันการวิจัยเกี่ยวกับการนำไฮโดรเจนมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในประเทศเยอรมันนีมีความก้าวหน้าเป็นอย่างมาก บริษัทผู้ผลิตรถยนต์รายใหญ่เช่น BENZ, BMW สามารถผลิตรถต้นแบบที่ใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงได้ ปัจจุบันเทคโนโลยียานได้พัฒนาไปใช้หัวฉีดอิเลกทรอนิกส์ในการควบคุมปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิง ทั้งนี้เนื่องจากระบบอิเลกทรอนิกส์นั้นมีการ

ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงได้อย่างรวดเร็ว ให้ประสิทธิภาพสูง และสามารถปรับสัญญาณที่จะนำมาใช้ในการควบคุมได้ง่าย เพียงแต่แก้ไขโปรแกรมควบคุมเท่านั้น

งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิง และปรับเปลี่ยนระบบจ่ายเชื้อเพลิงไฮโดรเจนแบบลูกเบี้ยวทองเหลืองเดิมมาเป็นระบบจ่ายเชื้อเพลิงด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ง่ายต่อการปรับเปลี่ยนปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงให้เหมาะสมกับการทำงานของเครื่องยนต์

2.ขอบเขตและวิธีการศึกษา

1. ทดสอบเครื่องยนต์ไฮโดรเจนบนแท่นทดสอบเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮโดรเจนที่เครื่องยนต์ต้องการกับสภาวะของเครื่องยนต์ เพื่อกำหนดสัญญาณที่จะนำมาใช้ในการควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงไฮโดรเจน
2. นำข้อมูลจากการทดสอบเครื่องยนต์มาสร้างระบบควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงไฮโดรเจนด้วยคอมพิวเตอร์
3. นำระบบควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงด้วยคอมพิวเตอร์ ติดตั้งเข้ากับรถยนต์แล้วทดสอบการใช้งานจริง

3.การทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์

ก่อนที่จะมีการสร้างระบบการฉีดเชื้อเพลิงไฮโดรเจนเข้าสู่เครื่องยนต์ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์เพื่อให้ทราบถึงปริมาณเชื้อเพลิงไฮโดรเจนที่เครื่องยนต์ต้องการในแต่ละสภาวะของการขับขี่ การทดสอบ สมรรถนะของเครื่องยนต์ในงานวิจัยนี้ทำขึ้นบนแท่นทดสอบเครื่องยนต์

ในการทดสอบเครื่องยนต์นี้ จะตั้งองศาจุดระเบิดไว้ที่ศูนย์ตายบน (TDC) ตลอดเวลา ตามผลการทดสอบหาองศาจุดระเบิดที่เหมาะสมสำหรับเครื่องยนต์ไฮโดรเจนในงานวิจัยของนายขวัญชัย จ้อยเจริญ [1] ซึ่งจากงานวิจัยดังกล่าวพบว่าองศาจุดระเบิดที่ทำให้เครื่องยนต์ไฮโดรเจนมีสมรรถนะสูงสุดคือที่ TDC และป้อนไฮโดเจนแยกจากการป้อนอากาศโดยป้อนผ่านทางวาล์วช่วยเข้าสู่กระบอกสูบโดยตรง

ผลการทดสอบพบว่า(1)เครื่องยนต์มีแรงบิดสูงสุดประมาณ 68 Nm ที่ความเร็วรอบประมาณ 2000 รอบต่อนาที และค่าแรงบิดสูงสุดมีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบดังดังแสดงในรูปที่ 1 และมีสมการดังนี้

$$T_{max} = -1.075 \times 10^{-5} (n)^2 + 4.544 \times 10^{-2} (n) + 16.477$$

โดยมีค่า $R^2 = 0.879$

เมื่อ T_{max} = แรงบิดสูงสุดที่แต่ละความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (Nm)

n = ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (รอบต่อนาที)

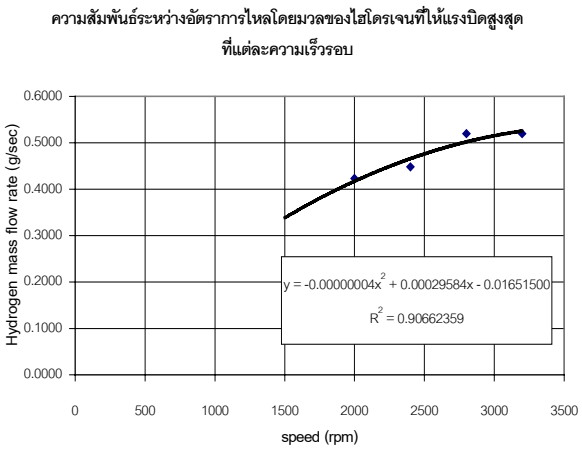
(2)อัตราการไหลของเชื้อเพลิงไฮโดรเจนสูงสุดที่แต่ละความเร็วรอบ อัตราการไหลของไฮโดรเจนสูงสุดและทำให้เกิดแรงบิดสูงสุดมีความสัมพันธ์กับความเร็วรอบดังแสดงในรูปที่ 2และมีสมการดังนี้

$$M_{f\,max} = 0.00000004 (n)^2 + 0.00029584 (n) - 0.01651500$$

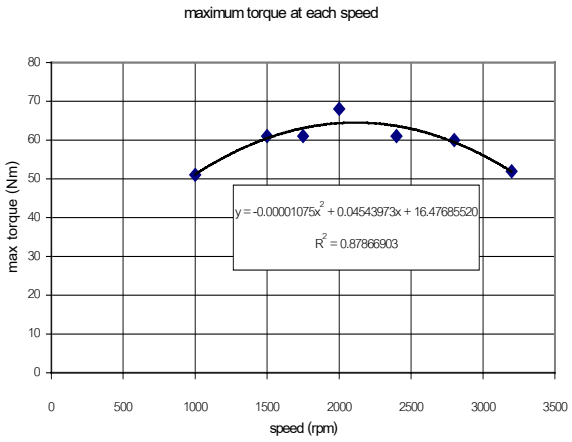
โดยมีค่า $R^2 = 0.879$

เมื่อ M_{fmax} = ปริมาณเชื้อเพลิงไฮโดรเจนสูงสุดที่แต่ละความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (litre/sec)

n = ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ (รอบต่อนาที)



รูปที่ 1 กราฟแสดงค่าอัตราการไหลของไฮโดรเจนที่แรงบิดสูงสุดของเครื่องยนต์ในแต่ละความเร็วรอบ

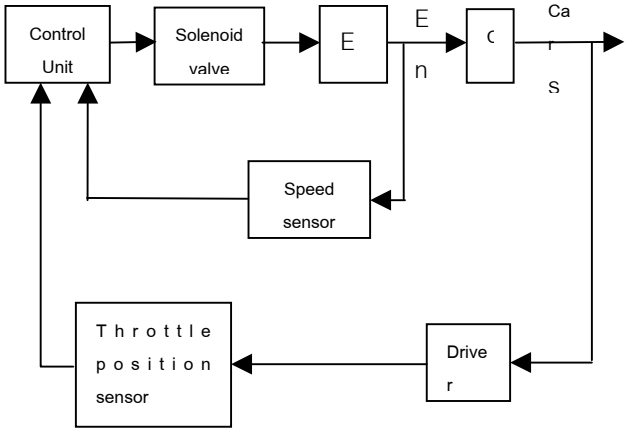


รูปที่ 2 กราฟแสดงค่าแรงบิดสูงสุดของเครื่องยนต์ไฮโดรเจนที่แต่ละความเร็วรอบ

(3)อัตราส่วนอากาศต่อเชื่อเพลิงไฮโดรเจนสำหรับการสันดาปมีช่วงใช้งานที่กว้างมาก

จากผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ไฮโดรเจน สามารถเลือกสัญญาณที่จะนำมาใช้ในการควบคุมปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงไฮโดรเจนได้ คือสัญญาณความเร็วรอบ (rpm) และสัญญาณตำแหน่งของปีกผีเสื้อ (TP) ในการกำหนดปริมาณเชื้อเพลิงไฮโดรเจนที่จะจ่ายให้แก่เครื่องยนต์ สัญญาณความเร็วรอบเป็นตัวกำหนดค่า $M_{f\,max}$ โดยค่า $M_{f\,max}$ นี้จะเปลี่ยนไปตามความเร็วรอบของเครื่องยนต์

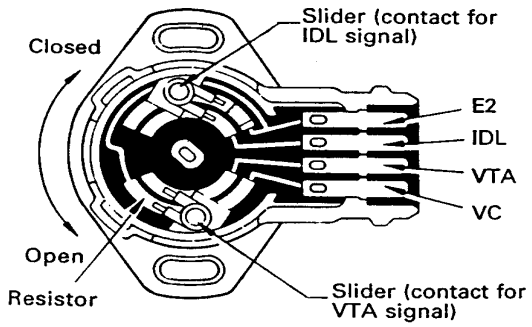
4. ระบบควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงแบบอิเลกทรอนิกส์



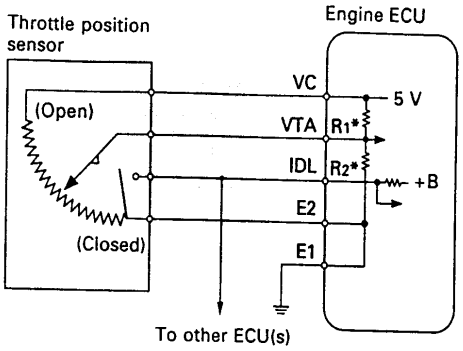
รูปที่ 3 แสดงการทำงานของส่วนประกอบของระบบควบคุมปริมาณการจ่ายเชื้อเพลิงเมื่อใช้สัญญาณตำแหน่งปีกผีเสื้อและความเร็วรอบของเครื่องยนต์ควบคุมปริมาณเชื้อเพลิง

ระบบควบคุมประกอบด้วยการทำงานของอุปกรณ์ 3 ส่วนดังแสดงในรูปที่ 3 ได้แก่

1.ตัวตรวจจับตำแหน่งปีกผีเสื้อแบบ Linear ประกอบด้วยหน้าสัมผัสที่เลื่อนได้ (Sliding Contact) 2 ตัว โดยแบ่งเป็นการตรวจจับสัญญาณ IDL 1 ตัว และในการวัดสัญญาณ VTA อีก 1 ตัว ซึ่งบอกตำแหน่งของปีกผีเสื้อเป็นองศา ลักษณะของตัวตรวจจับตำแหน่งปีกผีเสื้อสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4 วงจรดังภาพที่ 5 และการติดตั้งดังภาพที่ 6



รูปที่ 4 ลักษณะของตัวตรวจวัดตำแหน่งปีกผีเสื้อ

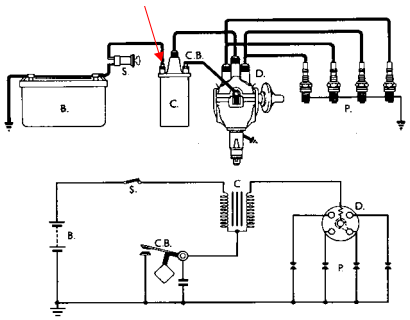


รูปที่ 5 แสดงภาพ schematic ของตัวตรวจวัดตำแหน่งปีกผีเสื้อ

รูปที่ 6 แสดงการติดตั้งอุปกรณ์วัดตำแหน่งปีกผีเสื้อ

2.ตัวตรวจจับความเร็วรอบ

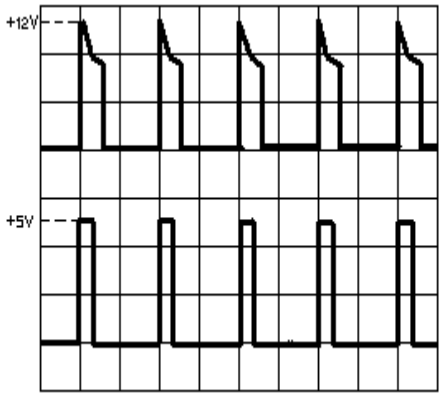
ในการตรวจจับสัญญาณความเร็วรอบจะใช้สัญญาณจากวงจรจุดระเบิดของเครื่องยนต์ ดังแสดงในรูปที่ 7



B = แบตเตอรี่ C.B. = คอนแทค
S= สวิตช์จุดระเบิด D = จานจ่าย
C= คอยล์จุดระเบิด P = หัวเทียน

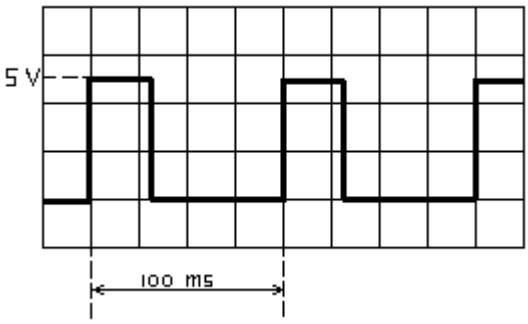
รูปที่ 7 แสดงวงจรจุดระเบิดของเครื่องยนต์

วงจรวัดความเร็วรอบประกอบด้วย (1) LTC 1298 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการแปลงสัญญาณจากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิตอลที่มีความละเอียดสูงสุดถึง 12 บิต มีการสื่อสารข้อมูลแบบอนุกรม (Serial) **(2)** 74AHC14 เป็นวงจรชมิตทริกเกอร์ ใช้ในการเปลี่ยนสัญญาณพัลส์จากความเร็วรอบซึ่งมีขนาด 12 โวลต์ซึ่งมีสัญญาณรบกวนมาก เป็นสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมสัญญาณขนาด 5V ซึ่งเหมาะกับการทำงานร่วมกับ controller นอกจากนี้ยังมีการเพิ่มเติมวงจร กรองความถี่ผ่านต่ำ (Low Pass Filter) เพื่อกรองสัญญาณรบกวนซึ่งมีความถี่สูงออกอีกด้วย รูปสัญญาณแสดงดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 แสดงสัญญาณที่เข้าและออกจากวงจรชมิตทริกเกอร์

และ(3) Timer IC555 ใช้ในการจับเวลาซึ่งใช้ทั้งในการหาความเร็วรอบและในการกำหนดจังหวะการฉีดให้กับโซลีนอยด์วาล์วด้วย เนื่องจาก ระบบควบคุมปริมาณเชื้อเพลิงไฮโดรเจนในงานวิจัยนี้เป็นแบบ Asynchronus ซึ่งจังหวะการฉีดไฮโดรเจนจะไม่ขึ้นกับความเร็วรอบ โดยกำหนดให้เริ่มเปิดโซลีนอยด์วาล์วทุก 100 มิลลิวินาที สัญญาณที่ออกจากวงจรนี้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 9



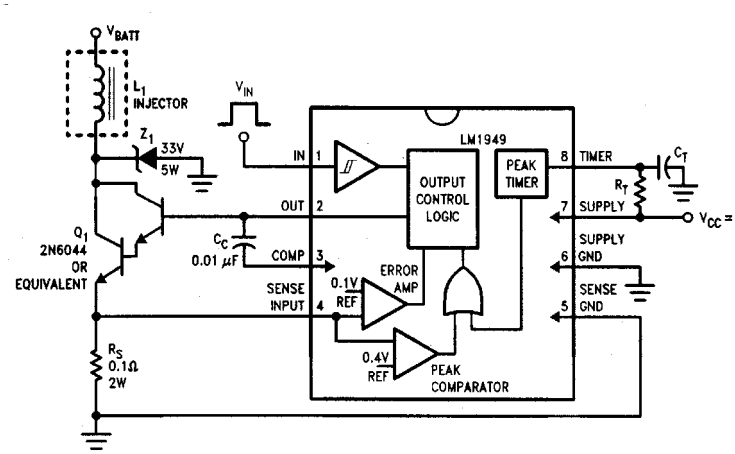
รูปที่ 9 แสดงสัญญาณที่ออกจาก 555 Timer IC

2. ตัวควบคุม ใช้CP-**S8252 V.2** เป็นบอร์ดควบคุม โดยมีไมโครคอนโทรเลอร์ AT89S8252 ซึ่งอยู่ในตระกูล MCS-51 เป็นตัวคอนโทรลเลอร์

3. ตัวทำงาน(Actuator)ใช้โซลีนอยด์วาล์ว (Solenoid Valve)ซึ่ง เป็นวาล์วที่เปิดปิดด้วยแรงแม่เหล็กไฟฟ้า ทำหน้าที่เปิดปิดเพื่อให้ก๊าซไฮโดรเจนไหลผ่าน ปริมาณของก๊าซไฮโดรเจนที่ไหลผ่านวาล์วขึ้นอยู่กับระยะเวลาการเปิดของวาล์ว ลักษณะของวาล์วที่ใช้สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 10 เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่หน่วยควบคุมสร้างขึ้นสำหรับไปควบคุมการเปิดปิดของโซลีนอยด์วาล์วนั้นมีขนาดเล็ก ไม่สามารถสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าเพียงพอที่จะทำให้โซลีนอยด์วาล์วเปิดได้ ดังนั้นจึงต้องมีวงจรเพื่อขยายกระแส ดังแสดงในรูปที่ 11

รูปที่ 10 แสดงโซลีนอยด์วาล์ว

วงจรขยายกระแสสำหรับโซลีนอยด์วาล์วประกอบด้วยทรานซิสเตอร์ที่ใช้ในการขยายกระแสและ LM1949 ซึ่งเป็นไอซีที่เรียกว่า Injector Drive Controller ไอซีตัวนี้มีหน้าที่ในการลดกระแสเมื่อโซลีนอยด์วาล์วเปิดแล้ว ทั้งนี้เนื่องจากกระแสที่ต้องใช้ในการทำให้เข็มในโซลีนอยด์วาล์วเปิดขึ้นจากตำแหน่งปิดมีค่าสูงกว่ากระแสโซลีนอยด์วาล์วต้องการเพื่อคงตำแหน่งเปิดเอาไว้มาก ดังนั้นถ้าจ่ายกระแสเท่ากับกระแสที่ทำให้โซลีนอยด์วาล์วเริ่มเปิดตลอดเวลาจะทำให้ต้องจ่ายกระแสสูงมาก ซึ่งจะทำให้เกิดความร้อนสูงที่โซลีนอยด์วาล์ว ทำให้ไม่ปลอดภัยเนื่องจากไฮโดรเจนอาจเกิดการลุกไหม้ขึ้น



รูปที่ 11 แสดงการต่อวงจรขยายกระแสเพื่อขับโซลีนอยด์วาล์ว

5.โปรแกรมควบคุม

โปรแกรม จะสั่งเปิดปิดโซลีนอยด์วาล์วแบบ Asynchronous คือ จังหวะการเปิดปิดไม่สัมพันธ์กับจังหวะการทำงานของเครื่องยนต์ แต่จะเปิดวาล์วทุก 100 มิลลิวินาที โดยใช้สัญญาณอินเตอร์รัปต์ทุก 100 มิลลิวินาทีจากวงจร Timer IC555 เป็นสัญญาณให้เริ่มทำงาน การที่สั่งให้โซลีนอยด์เปิดปิดแบบ Asynchronous นั้นเนื่องมาจากการจ่ายเชื้อเพลิงไฮโดรเจนเข้าสู่เครื่องยนต์จะจ่ายไปยังจุดเดียว ในลักษณะคล้าย Throttle body injection ไม่ได้ส่งแยกจ่ายไปแต่ละกระบอกสูบ กระบอกสูบแต่ละสูบจะใช้วาล์วไอดีตัวเล็กอีกตัวเป็นตัวควบคุมจังหวะการดูด เชื้อเพลิงเข้าสู่กระบอกสูบเอง การสั่งงานแบบ Asychronous นี้จึงช่วยลดความซับซ้อนของโปรแกรมได้มาก

การทำงานเริ่มจากผู้ขับขี่กดคันเร่งเพื่อเพิ่มความเร็วรถยนต์จะทำให้ลิ้นปีกผีเสื้อเปิดส่งสัญญาณให้กับตัวควบคุมไปสั่งให้โซลีนอยด์เปิดเพื่อเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงไฮโดรเจนตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 1 (ความเร็วต่ำ) ในหน่วยความจำของตัวควบคุมไปให้กับเครื่องยนต์ทำให้ความเร็วรถยนต์เพิ่มขึ้น เมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นถึงค่าที่กำหนดสัญญาณความเร็วที่ส่งไปที่ตัวควบคุมก็จะไปสั่งให้โซลีนอยด์เปิดเพื่อเพิ่มปริมาณเชื้อเพลิงไฮโดรเจนตามที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2(ความเร็วสูง)ในหน่วยความจำของตัวควบคุมทำให้ความเร็วเพิ่มต่อไปอีกตามที่ผู้ขับขี่ต้องการ การเปิดปิดของโซลีนอยด์วาล์วเป็นแบบ PWM โดยมีระยะเวลาการเปิดแปรผันตามตำแหน่งของลิ้นปีกผีเสื้อในคาบ 100 ms

6.ผลการทดสอบกับรถยนต์

เมื่อนำระบบควบคุมแบบอิเลกทรอนิกส์ติดตั้งเข้ากับรถยนต์จริงแล้วทำการทดสอบ การวิ่งของรถยนต์พบว่ารถยนต์สามารถวิ่งได้ แต่ความเร็วค่อนข้างต่ำคือความเร็วสูงสุดที่รถยนต์ทำได้มีค่าประมาณ 40 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เนื่องจากข้อจำกัดของโซลีนอยด์วาล์วที่เลือกมาใช้เป็นตัวจ่ายเชื้อเพลิง ทำงานที่ความดันได้ เพียง 35 psi เท่านั้นซึ่งไม่พอเพียงเพราะ ความดันที่ใช้ในการฉีดเชื้อเพลิงไฮโดรเจนเข้าสู่เครื่องยนต์ ต้องมีค่าสูงประมาณ 50 psi จึงจะสามารถเร่งความเร็วของเครื่องยนต์ ให้มีความเร็วสูงได้

7.ข้อเสนอแนะ

1.ควรพัฒนาโซลีนอยด์วาล์วให้มีกำลังงานเพิ่มขึ้นเพื่อให้สามารถทำงานที่ความดันสูงขึ้นและมีการตอบสนองได้เร็ว

2.ควรเพิ่มสัญญาณตำแหน่งของการเปิดวาล์วไอดีเพื่อเป็นจุดอ้างอิงในการเปิดวาล์วควบคุมปริมาณเชื้อเพลิง

8.รายการอ้างอิง

1. ขวัญชัย จ้อยเจริญ. การประยุกต์ใช้ไฮโดรเจนเป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์สันดาปภายใน.ปริญญามหาบัณฑิต วิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2539.
2. วัชระ ลอยสมุทร. การใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจนในเครื่องยนต์สันดาปภายใน ปริญญามหาบัณฑิต วิศวกรรมเครื่องกล จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,2539.
3. ชัยวัฒน์ ลิ้มพรจิตรวิไล,วรพจน์ กรแก้ววัฒนกุล. เรียนรู้และปฏิบัติการไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51
4. บุญทัน สมนึก เครื่องยนต์ พิมพ์ครั้งที่ 7 บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งกรุ๊พ จำกัด,2537.
5. สถาบันวิจัยพลังงาน จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. การศึกษาดัดแปลงใช้เชื้อเพลิงไฮโดรเจนกับยานพาหนะ , 2538.
6. Dick H. King. Computerized Engine Control 2nd edition USA:Delmar Publishers Inc.,1991.
7. Toyota. Toyota Computer-Controlled System Training Manual Japan: Toyota Service Training
8. Heywood J.B. Internal Combustion Engine Fundamental 2nd edition Singapore : McGraw.hill.Co, 1988.
9. F.B. Simpson, D.R.Swope, J.H.Lofthouse. A Guide For The Conversion to and Maintenance of Hydrogen Fuel, Spark Ignition Engines IDAHO National Engineering Laboratory, IDAHO Falls, IDAHO and D.I.Menriksen, Billings Energy Research Corporation, Provo. Utah