การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 33
วันที่ 2-5 กรกฎาคม พ.ศ. 2562 จังหวัดอุดรธานี

DRC – 013

การจำลองการควบคุมสัญญาณปั๊มเชื้อเพลิงดีเซลแรงดันสูง

The Simulation of Signal Control for High Pressure Diesel Pump

ธีรภัทร แก้วประดิษฐ์[1] , ทศพล กลิ่นสุคนธ์[1] และ ทวีเดช ศิริธนาพิพัฒน์[1]*

[1] ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
50 ถ. พหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900
*ผู้ติดต่อ: E-mail: Taweedej.s@ku.th เบอร์โทรศัพท์ 0-2942-8555, เบอร์โทรสาร 0-2579-4576

บทคัดย่อ

เครื่องยนต์ดีเซล (Diesel Engine) เป็นเครื่องยนต์ที่มีการใช้งานอย่างแพร่หลายทั้งในภาคครัวเรือน และภาคอุตสาหกรรม อาศัยหลักการจุดระเบิดด้วยการอัดอากาศและเชื้อเพลิงให้มีความดันสูงจนเชื้อเพลิงติดไฟ อาศัยปั๊มเชื้อเพลิงดีเซลแรงดันสูงควบคุมด้วยไฟฟ้า อย่างไรก็ดีในการซ่อมหรือตรวจวัดประสิทธิภาพการทำงานของปั๊มเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลชนิดนี้จำเป็นต้องนำเข้ารับบริการจากตัวแทนจำหน่ายปั๊มเชื้อเพลิงดังกล่าวเท่านั้น เนื่องจากอู่หรือศูนย์ซ่อมทั่วไปไม่มีอุปกรณ์หรือแท่นทดสอบสำหรับทดสอบการทำงานของปั๊มชนิดนี้ ผู้วิจัยได้ทำการสร้างแบบจำลองการควบคุมสัญญาณปั๊มเชื้อเพลิงดีเซลแรงดันสูง โดยใช้ dsPIC30F4011 เป็นตัวควบคุมด้วยการทำงานแบบ Change Notification Interrupt เพื่อการตอบสนองของสัญญาณขาเข้าและขาออกที่ได้จากเซนเซอร์แสดงตำแหน่งองศาของลูกสูบเพื่อการฉีดเชื้อเพลิง ซึ่งใช้ตรวจจับการหมุนของฟันเฟืองที่ติดตั้งบนเพลาของเครื่องยนต์บนแท่นจำลอง ในการทดลองพบว่าที่ความเร็วรอบ 200, 350, 750 และ 1250 RPM สัญญาณขาออกและสัญญาณขาเข้ามีความสัมพันธ์กันตามโปรแกรมที่ออกแบบ ในต่อไปจะทำการศึกษาการออกแบบการสั่งการฉีดเชื้อเพลิงของปั๊มเชื้อเพลิงดีเซลรุ่นอื่นต่อไป เพื่อเพิ่มความสมบูรณ์ของการจำลองสัญญาณ
คำหลัก: ปั๊มเชื้อเพลิงดีเซล; ไมโครคอนโทรลเลอร์; การควบคุมปั๊มดีเซลด้วยไฟฟ้า

Abstract

Diesel Engine is an engine that is widely used the household and industry sectors. Relying on the principle of ignition by compressed air and fuel to have high pressure until the fuel ignites causing by an electronic diesel control fuel pump to create pressure at the nozzle rail, resulting in a constant pressure of the nozzle. By the way, in repairing or measuring the performance of the electronic diesel control fuel pump, the service tool needs to be imported to the service center of each car brand only because the garage or general repair center does not have a device or test platform for testing this type of pump. The researcher has created the simulation of control signal for electronic diesel control pump by using dsPIC30F4011 as a controller with the Change Notification Interrupt function for the response of incoming and outgoing signals. The sensor shows the position of the piston's degree for fuel injection. Which is used to detect the rotation of the gear teeth installed on the engine shaft on the simulator found that at a speed of 200, 350, 750 and 1250 RPM, the output signals are related to the input signals.
Keywords: Diesel Fuel Pump; Microcontroller; Electronic Diesel Control.

1. บทนำ

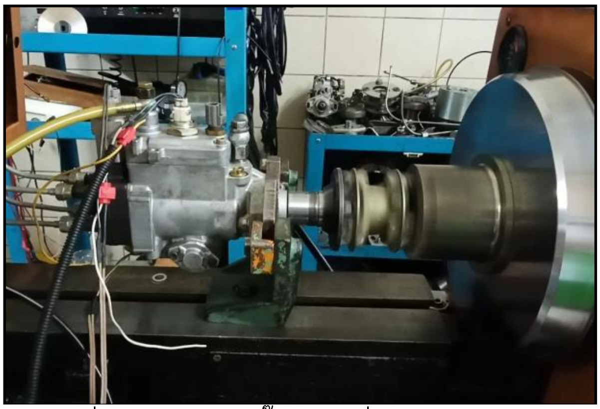
ECU (Electronic Control Unit) เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ มีพื้นฐานมาจากคอมพิวเตอร์ หน้าที่หลักของ ECU คือรับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ต่างๆมาประมวลผล เพื่อใช้ในการควบคุมการการสั่งจ่ายน้ำมันเชื้อเพลิงและการจุดระเบิดของเครื่องยนต์ ทำให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องยนต์ [1] [2] ในปัจจุบันเครื่องยนต์ ECU นอกจากการทำงาน จ่ายน้ำมันเชื้อเพลิง และควบคุมการจุดระเบิด ECU ยังสามารถควบคุมระบบต่างๆ เช่นระบบปรับความยาวท่อร่วมไอดีแปรผัน ระบบวาล์วแปรผัน การทำงานของคอมเพรสเซอร์แอร์พัดลมระบายความร้อน ระบบควบคุมไอน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นต้น[9] สรุปคือ ECU สามารถจัดการให้อุปกรณ์ต่างๆ ทำงานสัมพันธ์กัน เพื่อประสิทธิภาพเครื่องยนต์สูงสุด ประหยัดน้ำมันเชื้อเพลิง มีกำลังที่สูงขึ้น ยืดอายุการใช้งาน มีการตอบสนองได้อย่างรวดเร็ว และลดมลภาวะที่ปล่อยออกมา [4]

กล่อง ECU สร้างจากแผงวงจรไฟฟ้า มีการรับส่งสัญญาณ เพื่อถอดรหัสเป็นคำสั่ง ต้องมีการใส่โปรแกรมเข้าไป เพื่อการควบคุมที่แม่นยำ และปรับเปลี่ยนการตอบสนองได้ในเงื่อนไขต่างๆ เช่น มีการชดเชย (Compensate) ในสภาวะการขับขี่, อุณหภูมิ, การใช้คันเร่ง, การใช้รอบเครื่อง, ตำแหน่งเกียร์ ฯลฯ โดยอาศัยเซนเซอร์ต่างๆ คอยวัดค่าในแต่ละจุด เช่น Oxygen Sensor วัดส่วนผสมของน้ำมันเชื้อเพลิงกับอากาศ , Speed Sensor วัดความเร็วของรถ , Throttle Sensor วัดองศาลิ้นเร่ง , Air Temp Sensor อุณหภูมิอากาศ หลังจากสัญญาณถูกส่งไปเข้ากล่อง ECU เพื่อบอกสภาวะของรถ โปรแกรมจะปรับเปลี่ยนตามเงื่อนไขที่ Setting มา เพื่อให้ตอบสนองการขับขี่สมบูรณ์ที่สุดทุกสภาวะ [5] [6] [7]

ปัญหาปั๊มเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ดีเซลเกิดการเสื่อมสภาพ เป็นปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการทำงาน สาเหตุเกิดจากรถผ่านการใช้งานมายาวนานทำให้กลไกของปั๊มเกิดการสึกหรอ ซึ่งปัญหานี้ทำให้เกิดความผิดปกติหลายรูปแบบ เช่น การออกตัวรถเกิดการผิดพลาด กินน้ำมัน ควันดำควันขาว และอื่นๆ เพราะเกิดจากการรั่วของเชื้อเพลิงออกจากตัวปั๊มนั่นเอง [8] อู่หรือศูนย์ซ่อมจึงต้องมีแท่นทดสอบที่พร้อมสำหรับการจำลองการทำงานจริงทั้งในส่วนของ ชุดจำลองการควบคุมสัญญาณปั๊มคอมมอนเรล , แท่นจำลองการหมุนของเพลาเครื่องยนต์ , ระบบรางหัวฉีดเชื้อเพลิง และอื่นๆ เพื่อใช้ตรวจสอบประสิทธิภาพและปัญหาที่เกิดขึ้นกับปั๊มของเครื่องยนต์ดีเซล [3]

2. ออกแบบการทดลอง

ทำการสร้างชุดจำลองการควบคุมสัญญาณปั๊มสำหรับใช้ในการตอบสนองต่อสัญญาณขาเข้าที่ถูกส่งมาจาก Hall Sensor ที่ถูกติดตั้งอยู่บนแท่นทดสอบปั๊มของเครื่องยนต์ดีเซล โดยแท่นทดสอบสามารถจำลองการหมุนของเพลารถยนต์โดยใช้กล่องควบคุมที่สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วได้ตามต้องการของผู้ใช้งาน ดังรูปที่ 1 และ 2

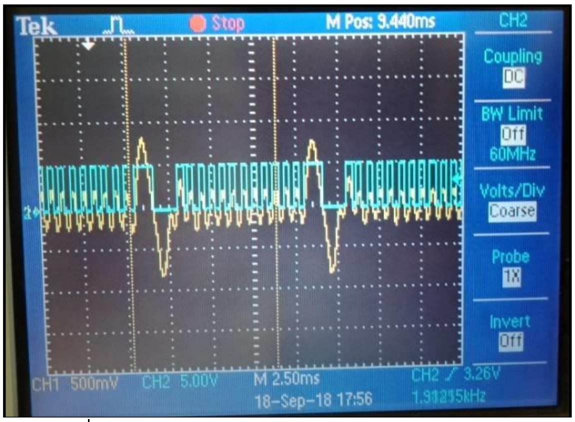


รูปที่ 1 แท่นทดสอบปั๊มของเครื่องยนต์ดีเซล

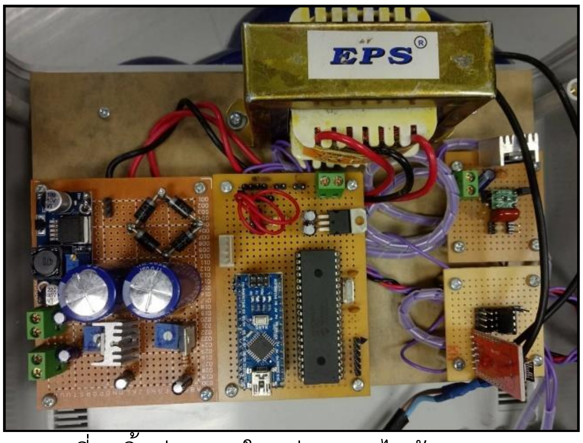
รูปที่ 2 อุปกรณ์ควบคุมสำหรับปรับเปลี่ยนความเร็ว

ตัวแท่นได้ต่อกับปั๊มน้ำมันสำหรับใช้สร้างแรงดันให้สัมพันธ์กับการหมุนของเพลารถ ภายในของอุปกรณ์วงจรไฟฟ้าที่ออกแบบมีระบบการประมวลผลโดยใช้ชิ้นส่วนประมวลผลแบบ analog และ ชิ้นส่วนประมวลผลแบบ digital รวมกันอยู่ โดยชิ้นส่วนแรกของกล่องวงจรคือ IC TS3021 Comparator เพื่อใช้ในการรับสัญญาณ AC ที่ถูกส่งจาก Hall Sensor แปลงเป็นสัญญาณ Digital ในรูปแบบข้อมูลที่ระบุเป็น การ ON OFF เป็นช่วงเวลา ดังรูปที่ 3 และ 4 แล้วส่งต่อไปยัง IC dsPIC30F4011 ซึ่งเป็น Microcontroller ที่ถูกเขียนโปรแกรมไว้ให้สนใจความกว้างของช่วงการ ON OFF ของสัญญาณขาเข้า พร้อมไปกับโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์ข้อมูลของความกว้างที่เก็บไว้เพื่อประเมินหาสัญญาณลูกสุดท้ายของชุดสัญญาณของฟันเฟือง

หลังจาก Microcontroller ได้รับรู้ถึงสัญญาณลูกสุดท้ายของชุดสัญญาณ ทำให้ Microcontroller สามารถรู้ตำแหน่งเริ่มต้นของชุดสัญญาณใหม่ที่เข้ามา แล้วโปรแกรมจะประมวลผลสร้างสัญญาณ Digital Output ออกมาตามที่ถูกโปรแกรมเอาไว้ สัญญาณขาออกที่ถูกส่งจาก Microcontroller ยังมีกำลังไม่เพียงพอสำหรับนำไปใช้สั่ง EDU ได้โดยตรง จึงต้องนำสัญญาณเข้าสู่วงจร Buffer เพื่อเปลี่ยนสัญญาณ Digital กำลังต่ำ เป็นสัญญาณ Digital กำลังสูง



รูปที่ 3 ผลของการทำงานของ IC Comparator กราฟสีฟ้าคือสัญญาณขาออก กราฟสีเหลืองคือสัญญาณขาเข้า



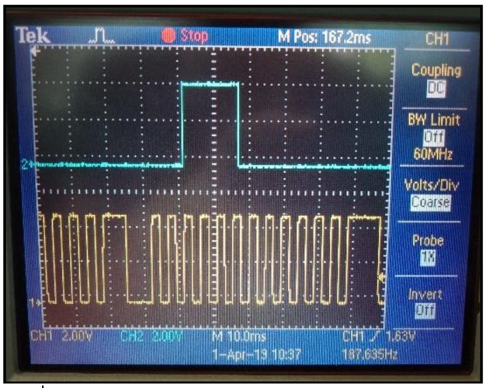
รูปที่ 4 ชิ้นส่วนภายในกล่องวงจรไฟฟ้า

โดยกระบวนการทดลองเพื่อทดสอบการตอบสนองจะยังไม่นำสัญญาณขาออกของกล่องวงจรไฟฟ้าไปเข้าสู่ EDU เพื่อดูผลของการฉีดน้ำมันจริง แต่จะนำสัญญาณเข้าสู่ Oscilloscope เพื่อเปรียบเทียบความไว และความถูกต้องของการตอบสนอง เทียบกับสัญญาณขาเข้าที่ผ่าน IC TS3021 Comparator เท่านั้น โดยการเปรียบเทียบจะดูจาก time lag ที่เกิดขึ้นระหว่างตำแหน่งที่ระบุไว้ในโปรแกรมสำหรับสร้างสัญญาณขาออก เทียบกับสัญญาณขาออกที่เกิดขึ้น และการเปรียบเทียบความกว้างของสัญญาณขาออกตามที่โปรแกรมระบุไว้ว่าตรงหรือไม่ โดยใช้การหมุนของฟันเฟืองที่ติดตั้งบนเพลาของเครื่องยนต์บนแท่นจำลองที่ความเร็วรอบ 200 , 350 , 750 และ 1250

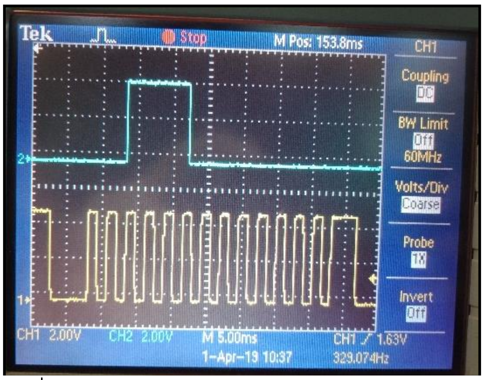
RPM กำหนดให้ Microcontroller ตรวจจับสัญญาณลูกที่ 3 ของชุดสัญญาณที่รับมาจาก Hall sensor แล้วจึงทำการปล่อยสัญญาณ Digital Out เป็น High โดยให้คงสถานะ High ไว้เป็นเวลา 3 เท่าของลูกสัญญาณปกติ ก็คือจะมีสถานะ Low ก็ต่อเมื่อชุดสัญญาณกำลังขึ้นลูกที่ 6 นั่นเอง

3. ผลการทดลอง

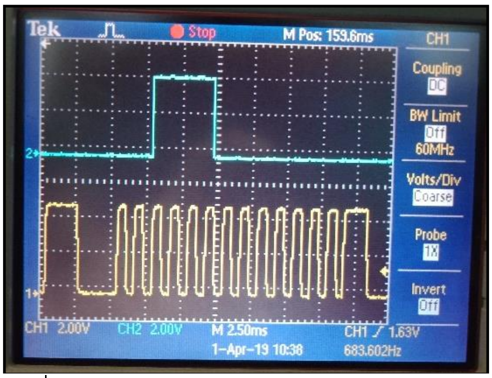
จากรูปถ่ายจากหน้าจอของ Oscilloscope ซึ่งจับสัญญาณขาเข้า Microcontroller และขาออก Microcontroller ดังรูปที่ 5, 6 , 7 และ 8 เป็นผลลัพท์ของการตอบสนองของการจำลองความเร็วการหมุนของฟันเฟืองที่ติดตั้งบนเพลาของเครื่องยนต์บนแท่นจำลองที่ความเร็วรอบ 200 , 350 , 750 และ 1250 RPM โดยกราฟทั้ง 4 ให้ผลลัพธ์ที่บ่งบอกว่า Microcontroller สามารถจับจังหวะสัญญาณขาเข้าได้ทัน ทำให้สามารถรับรู้ถึงสัญญาณลูกสุดท้ายของชุดสัญญาณ ส่งผลให้รู้ตำแหน่งเริ่มต้นของชุดสัญญาณใหม่โดยใช้การวิเคราะห์แบบเปรียบเทียบความกว้างของลูกสัญญาณแต่ละลูก ถ้าหากเมื่อไรที่จับคาบของลูกสัญญาณแล้วมีความกว้างมากกว่าสัญญาณปกติ 2 เท่าจากความกว้างที่จับได้ในช่วงเวลานั้น โปรแกรมก็จะตีความว่าสัญญาณลูกนี้คือลูกสุดท้ายของชุดสัญญาณ และในความกว้างของการปล่อยสัญญาณ Digital Out ที่ถูกกำหนดให้จ่ายออกเป็นเวลา 3 เท่าของลูกสัญญาณปกติ ผลที่แสดงออกมาจากทั้ง 4 กราฟ พบว่ามีจังหวะ Low ที่ไม่ตรงกับตำแหน่งขาขึ้นของสัญญาณลูกที่ 6 ตามที่ออกแบบไว้ โดยเกิดการคลาดเคลื่อนแบบยืดเวลาออกไปจากตำแหน่งที่ต้องการ



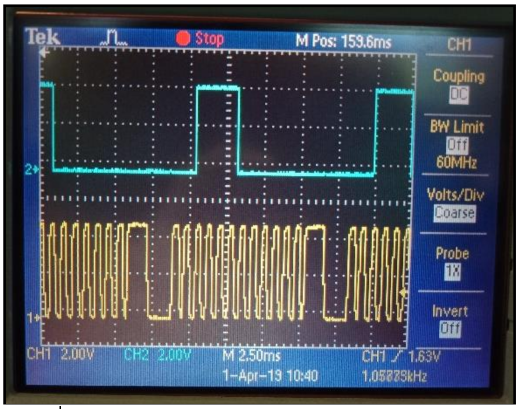
รูปที่ 5 ผลเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณขาเข้า Microcontroller (สีเหลือง) และสัญญาณขาออก Microcontroller (สีฟ้า) ที่ความเร็ว 200 RPM



รูปที่ 6 ผลเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณขาเข้า Microcontroller (สีเหลือง) และสัญญาณขาออก Microcontroller (สีฟ้า) ที่ความเร็ว 350 RPM



รูปที่ 7 ผลเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณขาเข้า Microcontroller (สีเหลือง) และสัญญาณขาออก Microcontroller (สีฟ้า) ที่ความเร็ว 750 RPM



รูปที่ 8 ผลเปรียบเทียบระหว่างสัญญาณขาเข้า Microcontroller (สีเหลือง) และสัญญาณขาออก Microcontroller (สีฟ้า) ที่ความเร็ว 1250 RPM

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นสามารถสรุปผลการทดลองได้สองประเด็นคือ 1) ในเรื่องของความว่องไวในการตอบสนอง Microcontroller สามารถตรวจจับจังหวะขาขึ้นและขาลงในทุกๆลูกสัญญาณขาเข้าได้ดีในทุกๆค่า RPM ของการทดลอง วิเคราะห์ได้จากการทำงานที่ไม่ผิดพลาดของการปล่อยสัญญาณ Digital Output ที่สามารถปล่อยสัญญาณได้ถูกตำแหน่ง (ตำแหน่งลูกที่ 3 ตามที่ออกแบบไว้) ซึ่งถ้าเกิดการตรวจจับผิดพลาด ตรวจจับล่าช้า หรือไม่ตรวจจับ จะทำให้การนับลำดับของชุดลูกสัญญาณที่เข้ามาต่อเนื่องจะเกิดการผิดเพี้ยนไปตลอดการทำงาน และเมื่อทำการสังเกตที่ตำแหน่งของสัญญาณ Digital Output ที่เปลี่ยนจาก Low เป็น High เห็นว่าเสมือนกับทับกับตำแหน่งที่สัญญาณลูกที่ 3 กำลัง High เช่นกัน ยิ่งแสดงให้เห็นว่าความเร็ว Cycle Loop ของโปรแกรมนั้นสูงจนสามารถตรวจจับสัญญาณขาเข้าได้ทันที 2) จากกรณีที่จังหวะ Low ของสัญญาณขาออก Microcontroller ที่ไม่ตรงกับตำแหน่งขาขึ้นของสัญญาณลูกที่ 6 ตามที่ออกแบบไว้ (จากการออกแบบให้มีการจ่ายออกเป็นเวลา 3 เท่าของลูกสัญญาณปกติ) วิเคราะห์ได้ว่าลูกสัญญาณที่เป็นลักษณะช่วงคาบแคบๆนั้นมีค่าของคาบเวลาที่ไม่เท่ากัน มีความคลาดเคลื่อนเล็กน้อย ทำให้ค่าคาบเวลาที่ Microcontroller บันทึกไว้จะไม่เท่ากับคาบของทุกๆลูกสัญญาณปกติเสมอไป จึงทำให้การนำค่าของคาบเวลามาคูณด้วย 3 ตามโปรแกรม จึงได้ไม่เท่ากับตำแหน่งขาขึ้นของสัญญาณลูกที่ 6 ในต่อไปจะทำการศึกษาวิธีการเพิ่มเติมสำหรับการลดความคลาดเคลื่อนในการจับคาบเวลา เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตอบสนองให้ดียิ่งขึ้น และจะทำการศึกษาเทคนิคการสั่งฉีดเชื้อเพลิงของกล่อง ECU รถยี่ห้อต่างๆเพื่อเพิ่มความสมบูรณ์ของการจำลองสัญญาณPSK ระยะระหว่างบรรทัดเป็นแบบบรรทัดเดี่ยว (Single Space) และแต่ละหน้าไม่ต้องเติมหมายเลขหน้า

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยบางส่วนจากทุน STEM สวทช. และบริษัทดีเซลซิสเท็มส์จำกัด ในการเอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ และสละเวลาร่วมงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Jukka, K. (2003). DIESEL FUEL INJECTION SYSTEM SIMULATION, Publications of the Internal Combustion Engine Laboratory, Helsinki University of Technology, Finland.

[2] FUEL INJECTION SYSTEMS DIESEL (2010). Sistemas Automoveis, Departamento de Engenharia Electrotecnica, Portugal.

[3] Tomasz, O., Tomasz, S. and Karol, F.A. (2015). Testing of modern common rail fuel injectors, West Pomeranian University of Technology, Szczecin, URL: https://www.researchgate.net/publication/279203907, access on 04/2019.

[4] Frank, D. HISTORY OF FUEL INJECTION, Chief Fuel Injection Engineer, of American Bosch Arma Corporation.

[5] Tony, K. technical overview of Common Rail Diesel Fuel Systems, AK Training, Motor Industry Professional Training and Development, United Kingdom.

[6] Virtual engine management simulator for Educational purposes (2017), IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.

[7] Diesel distributor fuel-injection pumps (1999), Automotive Equipment Business Sector, Department for Automotive Services, Technical Publications.

[8] Johannes, K., Michael, W., Philippe, G. and Manuel, B. (2011). Common Rail Fuel Injection: Key technology for clean and economical combustion, MTU Friedrichshafen GmbH.

[9] Ossi, K. (2015). Fuel Injection Systems in Diesel and SI Engines, Kul-14.4700 Transport Biofuels, Combustion, and Emission Control 2015.