مجله علمی پژوهشی «علوم و فناوری‌های پدافند غیرعامل»
سال چهارم، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۲؛ ص ۲۵۴-۲۴۷

# طراحی و ساخت گاورنر الکترونیکی برای دیزل ژنراتورهای حساس به‌وسیله PLC

**پرویز امیری[۱*]، مهدی رستمی[۲]**

۱- استادیار و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی

(دریافت: ۱۳۹۱/۱۰/۲۹، پذیرش:۹۲/۰۹/۲۵)

## چکیده

یکی از کاربردهای مهم موتورهای دیزلی در مصارف حساس نظامی و صنعتی، استفاده به‌عنوان منابع تولید برق ایستگاهی می‌باشد. تنظیم دقیق دور این موتورها در جهت تثبیت فرکانس ژنراتور متصل به آن در زمان‌های ایجاد تغییرات در بار متصل (نظیر رادارهای نظامی) از اهمیت بالایی برخوردار است. در اکثر موارد از روش‌های مکانیکی در جهت تثبیت دور این موتورها استفاده می‌شود که این روش از دقت بالایی برخوردار نمی‌باشد. در این مقاله اقدام به طراحی و ساخت یک کنترل کننده دور موتور دیزلی با استفاده از کنترولرهای منطقی قابل برنامه‌ریزی (PLC) در جهت استفاده در تولید برق ایستگاهی شده است. این کنترولر نسبت به نوع مکانیکی آن به نسبت ارزان‌تر، انعطاف‌پذیرتر و دقیق‌تر است و پس از شبیه‌سازی مجموعه کنترولر در محیط سیمولینک نرم‌افزار متلب و به‌دست آمدن نتایج مطلوب، بر روی یک مجموعه دیزل ژنراتور ۳۵۰ کیلوواتی نصب و حدود ۳/۲ درصد بهبود نسبت به‌روش مکانیکی حاصل شده است.

**کلید واژه‌ها:** دیزل ژنراتور نظامی، گاورنر، کنترولر دور، سیمولینک، PLC.

# Design and Construction of an Electronic Governor System for Sensitive Diesel Generators by PLC

**P. Amiri [*], M. Rostami**

Shahid Rajaee Teacher Training University

(Received: 18/01/2013; Accepted: 16/12/2013)

## Abstract

*Diesel engines are used in sensitive military and industrial applications as stationary power sources. In order to stabilize voltage and frequency of connected generator, diesel engine RPM would be controlled accurately. In most cases mechanical methods are used to fix the engine RPM but this method is not very accurate. In this paper a new electronic governor has been designed and constructed with programmable logic controllers (PLC). The designed controller is cheaper, more flexible and more accurate than mechanical governor. It has initially been simulated in MATLAB Simulink which showed adequate results. It was then constructed and installed on a 350 KW diesel generator in which 3.2% improvement over conventional methods was observed.*

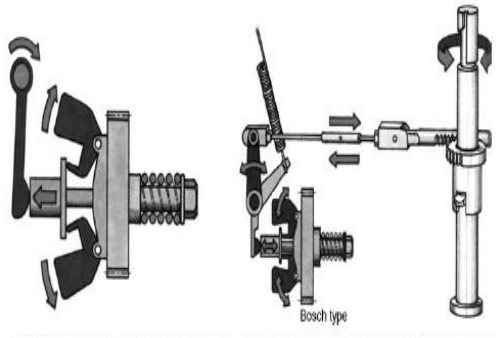
**Keywords:** Military Diesel Generator, Governor, RPM Controller, Simulated, PLC.

[*] Corresponding Author E-Mail: Pamiri@strru.edu

## ۱. مقدمه

یکی از کاربردهای مهم موتورهای درون‌سوز احتراقی به‌عنوان موتور محرکه در کاربردهای ایستگاهی تولید انرژی الکتریکی است. معمولاً در این مولدها در توان‌های زیر ۱۵ کیلو ولت آمپر از موتورهای احتراقی بنزینی و در توان‌های ۱۵ کیلو ولت آمپر به بالا (تا ۲۰ مگا ولت آمپر) از موتورهای دیزلی استفاده می‌شود. در صنایع، کاربردهای موتورهای دیزل به‌علت هزینه سوخت کمتر، توان بالاتر و بازدهی بیشتر از اهمیت بیشتری برخوردار است که اگر در جهت تولید برق به یک ژنراتور متصل شود این مجموعه به دیزل ژنراتور شناخته می‌شود.

در کاربردهای حساس نظیر کاربردهای نظامی به‌دلیل وجود شرایط نامتعارف فیزیکی (نظیر تغییرات زیاد دما در مناطق بیابانی، تغییرات بار ناگهانی و...) و نیز حساس بودن تجهیزات الکترونیکی، باید دور موتور دیزل به‌دقت کنترل شود تا فرکانس و ولتاژ برق تولید شده تا حد ممکن ثابت باشد. در یک موتور دیزل با استفاده از قطعات مکانیکی به‌نام گاورنر[1] تثبیت دور صورت می‌گیرد که یک نمونه از آن در شکل (۱) نشان داده شده است. اساس کار این قطعه در باز شدن دریچه ساسات موتور دیزل بر اثر اعمال نیروی گریز از مرکز است. اما همواره این نوع کنترلر دارای خطا در تنظیم دور و کندی واکنش نسبت به تغییرات بار است. ایجاد خطا در فرکانس می‌تواند برای تجهیزات الکترونیکی مشکل‌ساز باشد [۱ و ۲].



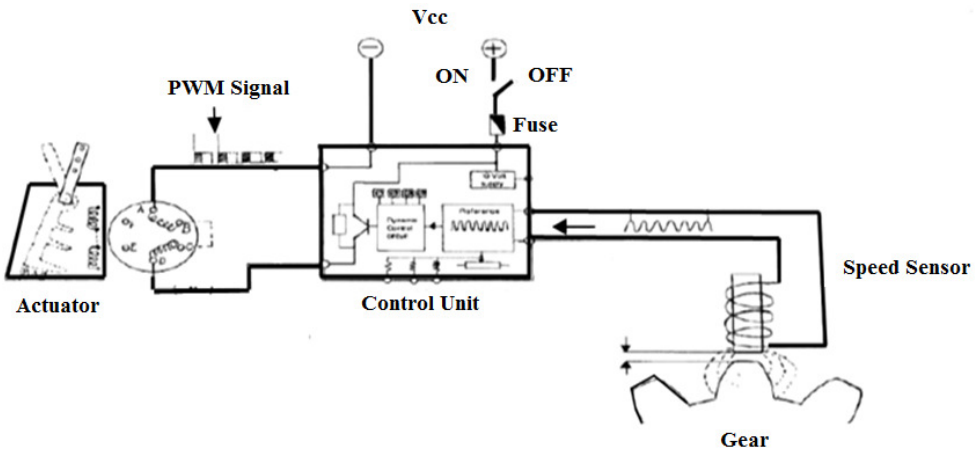

**شکل ۱.** گاورنر مکانیکی موتور دیزل [۲]

در دیزل ژنراتورهایی که دارای بارهای حساس هستند، به‌جای گاورنر مکانیکی از گاورنر الکترونیکی استفاده می‌شود. به‌طور مثال در مرجع [۳] یک نمونه گاورنر الکترونیکی طراحی شده است (شکل ۲). در شکل (۲) سرعت موتور توسط یک سنسور مغناطیسی از چرخ دنده فلایویل اندازه‌گیری می‌شود و پس از بررسی و مقایسه در میکروکنترولر با دور موتور مرجع، توسط یک موتور DC، دریچه تروتل کنترل می‌گردد و واحد پردازش‌گر در این مجموعه یک میکروکنترولر است. دیاگرام بخش‌های اصلی سیستم در شکل (۳) آورده شده است. یکی از معایبی که در این طراحی وجود دارد این است که اثرات مخرب نویزهای الکترومغناطیسی و نوسانات ولتاژی محیط‌های صنعتی و شرایط نامتعارف نظامی می‌تواند اختلالاتی در این مدار ایجاد کنند که در مقاله حاضر [۳] به این نکته توجه نشده است. در نتیجه در جهت عایق‌سازی مدار در محیط‌های صنعتی نیاز به طراحی‌های دقیق‌تر نظیر حفاظت ESD[2] و EMC[3] می‌باشد [۴ و ۵]. در پژوهش دیگری نیز کنترولرهایی برای دیزل ژنراتور برپایه منطق فازی طراحی شده است [۶ و ۷]. این طراحی‌ها با وجود اینکه یک کنترولر دقیق را به‌وجود آورده‌اند، اما فقط بر روی موتورهای دیزل دارای ECU[4] قابل نصب هستند و از طریق درگاه CAN[5] این ارتباط برقرار می‌شود و موتور کنترل می‌شود. اما این در حالی است که بسیاری از موتورهای دیزل موجود ECU ندارند. همچنین در تحقیق دیگری معایبی نظیر موارد مذکور به‌چشم می‌خورد [۸ و ۹] و علاوه بر معایب ذکر شده در مقالات فوق، در کاربردهای حساس نظیر کاربردهای نیروگاهی، نظامی و کاربردهای برق اضطراری نیاز به سیستم‌های دارای قابلیت Redundancy می‌باشد که در زمان خرابی کنترولر یک کنترولر پشتیبان به‌طور اتوماتیک وارد مجموعه شود و همچنان مجموعه به‌کار خود ادامه دهد و در این طراحی‌ها به آن پرداخته نشده است. در این مقاله با در نظر گرفتن این مسائل اقدام به طراحی و ساخت یک کنترولر فرکانس برای دیزل ژنراتورهای با کاربرد حساس نظیر مصارف نظامی شده است. اساس این اتوماسیون استفاده از یک کنترل‌کننده قابل برنامه‌ریزی (PLC[6]) می‌باشد. در این بررسی ابتدا به شرحی در مورد ساختار موتور دیزل پرداخته و در ادامه به نحوه طراحی کنترولر به‌وسیله PLC پرداخته می‌شود و در آخر نتایج تست عملی بر روی یک دیزل ژنراتور ارائه و با روش مکانیکی مقایسه خواهد شد.

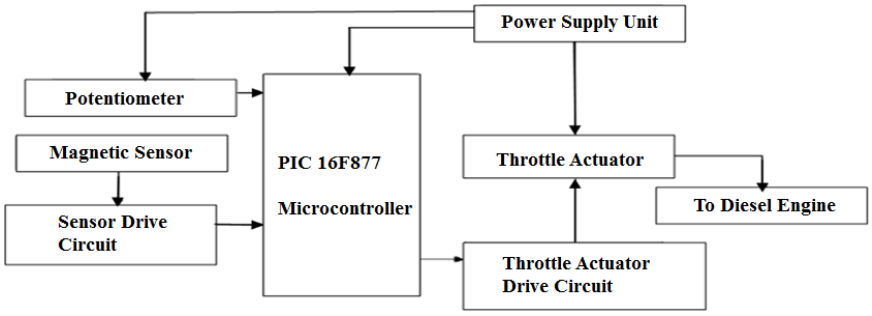
موتورهای دیزل، به انوع گسترده‌ای از موتورها گفته می‌شود که بدون نیاز به یک جرقه الکتریکی می‌توانند ماده سوختنی را شعله‌ور سازند. موتورهای دیزل به‌دلیل ساختار مکانیکی و بدون وابستگی به انرژی الکتریکی در کاربردهای با بار ثابت و سنگین بسیار مناسب‌تر از موتورهای بنزینی می‌باشند و در کاربردهای نظامی می‌توانند از موتورهای بنزینی دوام بیشتری داشته باشند. از این رو در کاربردهای ایستگاهی تولید الکتریسیته کاربرد فراوان دارند. جهت کنترل دور و گشتاور یک موتور دیزل کنترل هوای ورودی به پیستون از طریق کنترل دریچه تروتل[7] صورت می‌گیرد در این مقاله کنترولر در واقع این دریچه را کنترل می‌کند [۲].

[1] Governor

[2] Electrostatic discharge
[3] Electromagnetic Compatibility
[4] Engine Control Unit
[5] Control Area Network
[6] Programmable Logic Controller
[7] Throttle



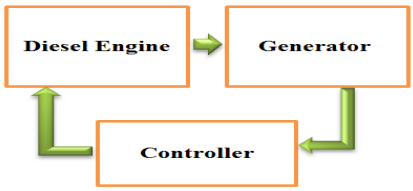

**شکل ۲.** چینش اصلی کنترولر شامل قسمت اندازه‌گیر سرعت و واحد میکروکنترولر و بخش کنترل دریچه تروتل [۳]




**شکل ۳.** دیاگرام بخش‌های سیستم کنترولر دور [۳]

## ۲. بخش تجربی

در مقاله حاضر، ابتدا کنترولر طراحی شده از فرکانس ژنراتور نمونه‌ای دریافت کرده و با مقایسه با مقدار مرجع موتور دیزل کنترل می‌شود (شکل ۴). کنترولر طراحی شده در این مقاله دارای ۳ بخش اصلی می‌باشد که شامل بخش اندازه‌گیری فرکانس، مقایسه‌گر و واحد PWM است (شکل ۵) و در ادامه به‌شرح هر کدام پرداخته می‌شود.




**شکل ۴.** شمایی از عملکرد کنترولر

**شکل ۵.** بخش های اصلی کنترولر

### ۲-۱. بخش اندازه‌گیری فرکانس (Frequency)

جهت اندازه‌گیری فرکانس می‌توان از دو روش استفاده کرد. روش اول با استفاده از مدارات مجتمع مبدل فرکانس به ولتاژ می‌باشد که در این صورت موج سینوسی نمونه‌برداری شده از ژنراتور به ولتاژ تبدیل شده و با استفاده از ورودی آنالوگ PLC این ورودی آنالوگ مقایسه شده و در نهایت فرکانس اندازه‌گیری می‌شود. از معروف‌ترین این مدارات مجتمع مبدل LM331 است [۱۰]. از مزایای استفاده از این روش می‌توان به‌دقت بالا و حفظ ورودی PLC در مقابل اعمال ولتاژهای بالای لحظه‌ای اشاره نمود و اما از عیوب این روش می‌توان به امکان ایجاد تداخل در مدار به‌دلیل تداخلات و نویز در محیط صنعتی، هزینه‌بر بودن تعمیر و وابستگی به دمای محیط را اشاره کرد که در جهت کاهش این مسائل مدارات دیگری مانند رگولاتور، ایزولاتور و مدارات محافظ در سیستم باید تعبیه کرد.

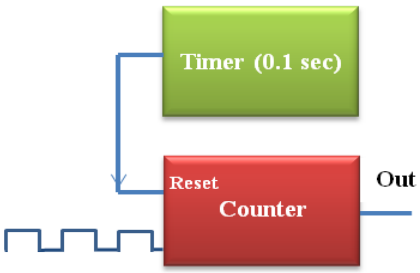
روش دوم در جهت اندازه‌گیری فرکانس که به نسبت آسان، مطمئن و کم‌هزینه است، استفاده از شمارنده و تایمر موجود در PLC می‌باشد که با استفاده از تعریف بنیادی فرکانس این کار قابل انجام است (رابطه ۱).

$$\text{Frequency} = \text{Pulse counting} \qquad (۱)$$

در این روش به یک شمارنده و تایمر نیاز می‌باشد که هر دو در PLC موجود هستند. فقط زمان نمونه‌برداری یک ثانیه است که به نسبت زیاد می‌باشد و می‌توان زمان را به یک دهم ثانیه کاهش داد.

$$\text{Frequency} = (\text{Pulse counting}/10) \,/\, (0.1\ \text{sec}) \quad (۲)$$

چون فرکانس استاندارد جهت کار دستگاه‌های برقی در کشور ۵۰ هرتز می‌باشد، در نتیجه با نمونه‌برداری یک دهم ثانیه برابر با ۵ پالس می‌شود (شکل ۶).




**شکل ۶.** شمای روش محاسبه فرکانس

### ۲-۲. بخش مقایسه‌گر (Comparator)

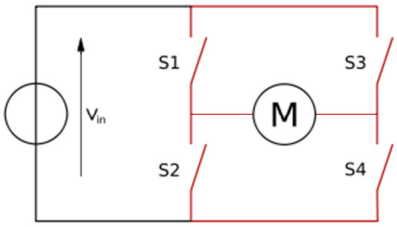
در این بخش با قراردهی سه مقایسه‌گر و مقایسه با عدد ۵ این شمارش از پالس ورودی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (رابطه ۳).

$$\begin{aligned} &\text{P=Pulse Counting in 0.1 sec} \\ &\text{If} \quad p<5 \quad \text{then frequency } <50 \\ &\text{If} \quad p=5 \quad \text{then frequency } =50 \\ &\text{If} \quad p>5 \quad \text{then frequency } >50 \end{aligned} \quad (۳)$$

البته در عمل این مقدار فرکانس می‌تواند دارای یک تلرانس یک هرتز در زمان استفاده دیزل ژنراتور به‌عنوان برق اضطراری باشد.

### ۲-۳. کنترل PWM[1]

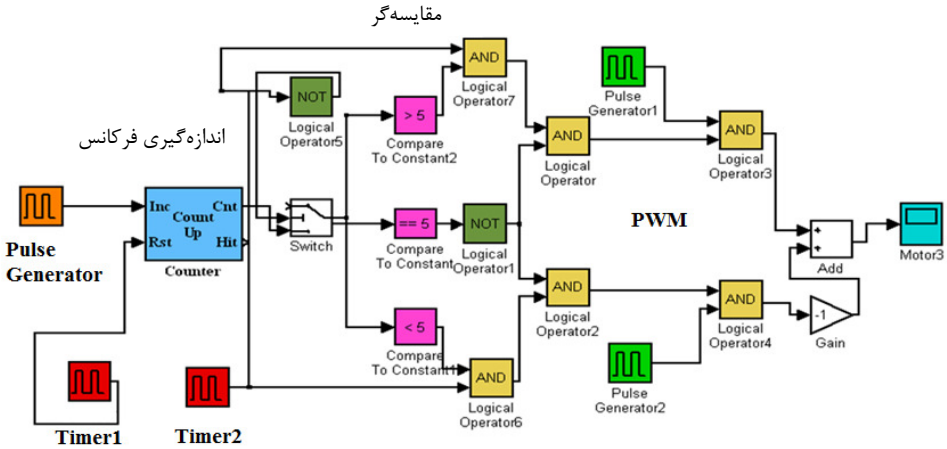
جهت کنترل دور در دیزل باید کنترل دریچه تروتل به‌صورت یکنواخت و با فواصل زمانی مشخص انجام گیرد [۲]. به‌طوری‌که با هر تغییر جزئی در زاویه تروتل باید میزان تغییر فرکانس را از بخش نمونه‌بردار فرکانس دریافت کرد تا فرایند کنترل تا حد ممکن به‌دقت صورت گیرد. جهت کنترل دور موتور دیزل باید سیم ساسات در دو جهت جلو و عقب حرکت داده شود و در حالت نرمال بودن دور و فرکانس سیم ساسات به‌طور ثابت قرار گیرد. بهترین نوع موتور در این روش موتورهای DC می‌باشند که می‌توانند در دو جهت با استفاده از تغییر جهت پلاریته منبع حرکت کنند و در صورت استفاده از جعبه دنده در این روش سیم ساسات در صورت حرکت نکردن موتور ثابت می‌ماند. در جهت کنترل یک موتور DC در دو جهت از ساختار پل H استفاده می‌شود (شکل ۷). در این ساختار S1 و S4 باعث چرخش در یک جهت و S3 و S2 باعث چرخش در جهت مخالف شده و بدین روش موتور در دو جهت کنترل می‌شود. کلیدهای مشخص شده S می‌توانند در کاربردهای دور بالا از نوع MOSFET[2] و در کاربردهای دور پایین و غیردائم از نوع رله باشند [۱۱]. در بخش ۵ نحوه پیاده‌سازی این روش در دیزل و استفاده از PLC تشریح می‌شود.




**شکل ۷.** شمای کنترل موتور DC با استفاده از ساختارپل H

### ۲-۴. شبیه‌سازی نرم‌افزاری بخش کنترل با استفاده از سیمولینک متلب

در این بخش شبیه‌سازی نرم‌افزاری بخش کنترل در جهت جمع‌بندی موضوع ارائه شده است. در این شبیه‌سازی اصول عملکردی کنترلی شامل سه بخش اصلی فرکانس، مقایسه‌گر و PWM در شکل (۸) نشان داده شده است.

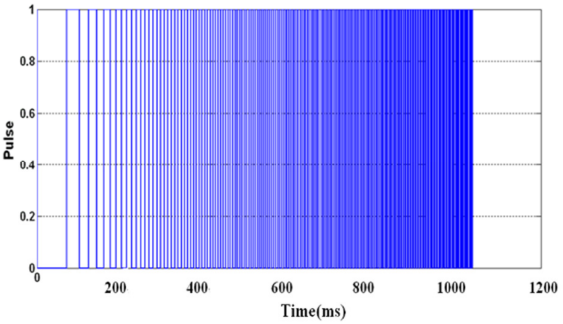



**شکل ۸.** شبیه‌سازی بخش کنترل شامل اندازه‌گیر فرکانس، مقایسه‌گر و بخش PWM

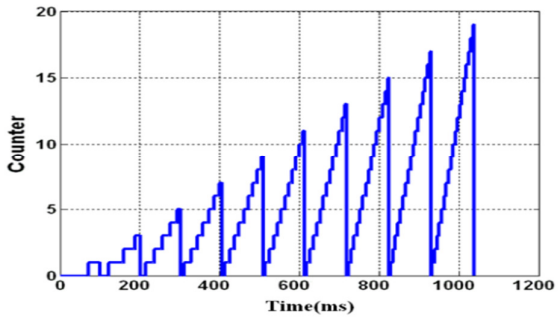
[1] Pulse Width Modulation

[2] Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor

در دیاگرام شکل (۸) ابتدا پالس مربعی (نمونه‌ای از فرکانس ژنراتور) وارد شمارنده شده و در مدت زمان یک دهم ثانیه شمارش انجام شده و سپس تایمر شمارنده را ریست می‌کند. سپس با استفاده از یک تایمر دیگر که دارای یک صدم ثانیه پس فازتر از تایمر اول است، مقدار شمارش‌شده توسط شمارنده از طریق Switch به بخش مقایسه‌گر منتقل شده و توسط سه مقایسه‌گر حالات مختلف با ۵ مقایسه می‌شود و در صورت صحت در هر کدام خروجی آن فعال شده و به بخش PWM منتقل می‌شود. در صورتی که بزرگ‌تر از ۵ باشد PWM مثبت (یعنی راستگرد) در خروجی (Motor) ظاهر شده و دریچه تروتل کم‌کم به جلو حرکت می‌کند و دور موتور کم می‌شود و در صورت کمتر از ۵ PWM منفی (یعنی چپ گرد) ظاهر شده و عمل بالعکس اتفاق می‌افتد و در حالت برابری با ۵ موتور بدون حرکت خواهد ماند و توسط جعبه دنده باید موقعیت تروتل ثابت نگه داشته شود. پیاده‌سازی این روش در عمل در بخش‌های بعدی توضیح داده خواهد شد. نتایج این شبیه‌سازی در شکل‌های (۹ و ۱۰) نشان داده شده است.

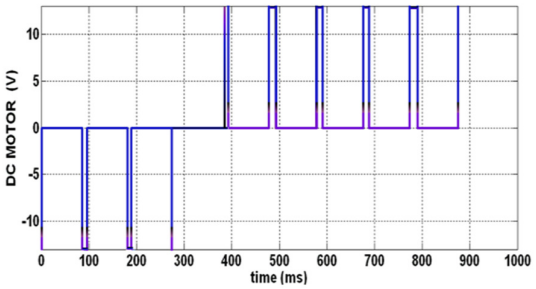



**شکل ۹.** نمودار تغییرات پریود پالس ورودی (نمونه‌ای از تغییرات فرکانس)




**شکل ۱۰.** شمارش پالس‌ها توسط شمارنده مربوط به بازه‌های زمانی ۱۰۰ میلی‌ثانیه

با توجه به شکل (۱۰) در زمان‌های صفر تا ۲۰۰ میلی‌ثانیه فرکانس کمتر از ۵۰ هرتز و در زمان‌های بیشتر از ۳۰۰ میلی‌ثانیه فرکانس بیشتر از ۵۰ هرتز می‌باشد. در نتیجه در این زمان‌ها بخش PWM فعال و در سیر زمان‌ها وضعیت عادی است و بخش PWM غیر فعال می‌باشد. نمودار شکل (۱۱) نحوه این تغییرات را نشان می‌دهد. در این شکل در زمان کم شدن فرکانس، ولتاژ منفی و در زمان زیاد شدن فرکانس، ولتاژ مثبت به موتور اعمال شده است.



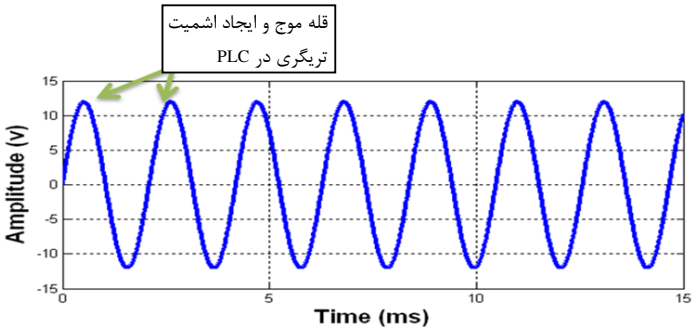

**شکل ۱۱.** نحوه تغییرات ولتاژ موتور DC در زمان‌های تغییر فرکانس

## ۲-۵. پیاده‌سازی مجموعه کنترل کننده

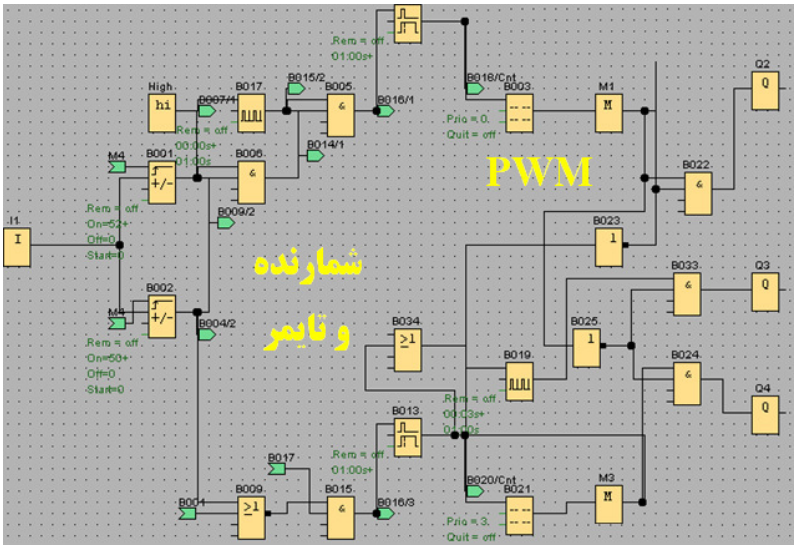
**الف) پیاده سازی در PLC:** یکی از راه حل‌های اتوماسیون در بخش‌های کوچک، استفاده از مینی PLCها می‌باشد که از نظر اقتصادی هم کاملاً مقرون به‌صرفه می‌باشند. به‌طور مثال در پژوهشی، با استفاده از یک مینی PLC یک PID[1] کنترولر طراحی شده است [۱۲]. در این مقاله هم در جهت پیاده‌سازی کنترولر از یک مینی PLC لوگو ساخت شرکت زیمنس[2] دارای ۶ ورودی و ۴ خروجی استفاده شده است. خروجی‌ها در این مورد از نوع رله‌ای می‌باشند. این نوع از PLCها به نسبت ارزان و در بازار به وفور یافت می‌گردند. این نوع از PLCها دارای شمارنده، تایمر و دارای حالت کنترلی PWM هستند. از مزایای مهم استفاده از PLC در این کاربرد جلوگیری از تأثیر نویز ناشی از موتور دیزل و اختلالات الکترومغناطیسی محیط‌های صنعتی در مجموعه کنترولر می‌باشد و یک مجموعه ایمن را رقم می‌زند. طبق طراحی انجام شده در بخش‌های قبل در جهت پیاده‌سازی به شمارنده، تایمر و واحدهای تولید PWM نیاز می‌باشد که این واحدها در سری OBA7 این نوع از مینی PLCها وجود دارد و در جهت پیاده‌سازی به هیچ مدار الکترونیکی اضافی نیاز نمی‌باشد. در این PLC به‌دلیل اینکه حداقل زمان تریگر ۱۰ میلی‌ثانیه است. در نتیجه جهت جلوگیری از عدم عملکرد صحیح زمان تایمر برای ریست کردن شمارنده ۲۰۰ میلی‌ثانیه در نظر گرفته شده است.

بدیهی است که با استفاده از PLCهای با زمان تریگر کمتر (مانند سری S7) این زمان هم می‌تواند کاهش یابد. به‌علاوه نمونه‌برداری از موج سینوسی ژنراتور توسط یک عدد ترانس ۲۲۰ به ۱۲ ولت انجام شده است که توسط یک دیود 1N4007 بخش منفی آن حذف شده است. در این ساختار به‌دلیل داشتن قله در موج سینوسی نیازی به استفاده از مبدل جهت تبدیل موج سینوسی به مربعی نمی‌باشد و این ساختار اشمیت تریگری در PLC خودبه‌خود اتفاق می‌افتد و از این لحاظ هم صرفه‌جویی در هزینه و زمان برای طراحی مدار اشمیت تریگر خارجی می‌شود (شکل ۱۲). کنترولر مورد نظر در نرم‌افزار LOGO Soft Comfort پیاده‌سازی شده که بخش‌های آن به‌صورت ساختار زبان FBD در شکل (۱۳) نشان داده شده است.

[1] Proportional-Integral-Derivative
[2] Siemens




**شکل ۱۲.** موج سینوسی ورودی به PLC و ایجاد حالت اشمیت تریگری قله موج در PLC

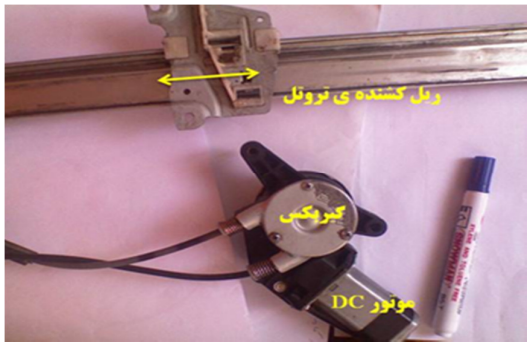



**شکل ۱۳.** پیاده‌سازی در PLC با استفاده از FBD

در شکل (۱۴) کنترولر موردنظر همراه با منبع تغذیه سوییچینگ صنعتی ۱۰ آمپر، ترانس نمونه‌بردار ۲۲۰/۱۲ و PLC نشان داده شده است. منبع تغذیه این مدار ۱۲ ولت می‌باشد که هم برای تغذیه PLC و هم برای تغذیه موتور DC به‌کار برده می‌شود. در این طراحی در مورد موتور دیزل نصب شده موتور DC حدود ۶ آمپر جریان مصرف می‌کند.

**شکل ۱۴.** کنترل کننده ساخته شده با استفاده از PLC

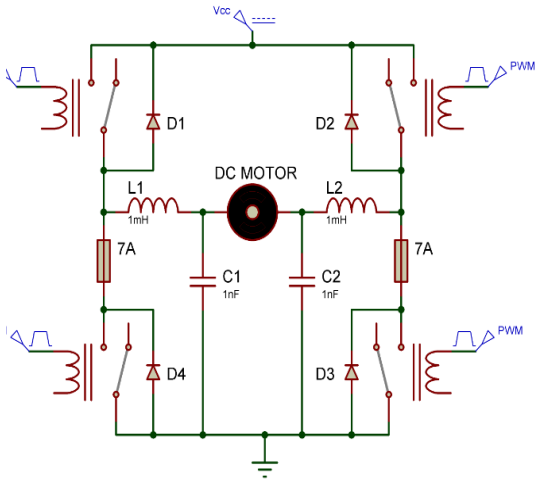
**ب) پیاده‌سازی بخش کنترل تروتل:** همان‌طور که گفته شد، در جهت پیاده‌سازی بخش کنترل تروتل از یک موتور DC همراه با یک جعبه دنده استفاده شده که در شکل (۱۵) این مجموعه نشان داده شده است. این جعبه دنده به‌نحوی است که در صورت اعمال گشتاور از سیم ساسات، جعبه دنده امکان گردش موتور را نمی‌دهد و تروتل در صورت خاموش بودن موتور اجازه جابه‌جایی ندارد.




**شکل ۱۵.** ساختار مکانیکی بخش کشنده تروتل دیزل (سیم‌های خروجی از جعبه دنده ریل کشنده را جابه‌جا می‌کنند)

طبق بخش‌های قبلی در جهت کنترل دقیق حرکت موتور از روش PWM و ساختار پل H بهره برده شده و در جهت تولید موج PWM

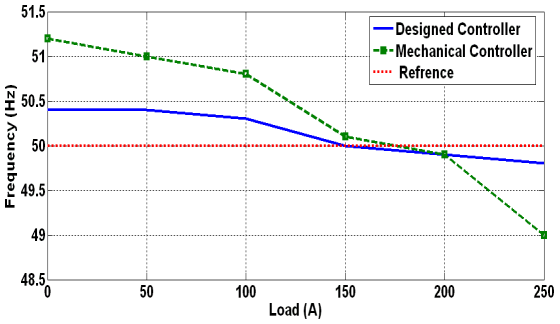
از بلوکی در PLC که تولید موج مربعی می‌کند، استفاده شده است. این موج به رله خروجی PLC اعمال شده و فرکانس سیگنال PWM برابر با ۱۰۰ هرتز است. البته در زمان کار دستگاه صدا از عملکرد رله‌ها ایجاد می‌شود ولی این صدا نسبت به صدای موتور دیزل ناچیز و قابل صرف‌نظر است. از طرف دیگر کارکرد رله در حالت PWM و جریان بالا چندان روش مناسبی نیست، اما چون در این عملکرد رله‌ها مدام در حال کار نیستند و در نتیجه از لحاظ صرفه‌جویی در هزینه در این کار می‌توانند مفید باشند. البته در مصارفی که مدام بار تغییرات دارد این روش مناسب نیست و باید از ماسفت‌های قدرت مانند سری IRF استفاده شود. نحوه این ساختاربندی در شکل (۱۶) نشان داده شده است. در ساختار نشان داده شده در شکل (۱۶) RL1 و RL2 با یکدیگر حرکت چپ‌گرد و RL3 و RL4 حرکت راست‌گرد را ایجاد می‌کنند. در ساختار پل شکل (۱۶) به‌وسیله قراردهی ۲ خازن و سلف در مجموعه از تنش‌های ولتاژی و آسیب به رله‌ها در اثر موج PWM جلوگیری به‌عمل می‌آید [۱۳] و در جهت جلوگیری از ایجاد جرقه در حالت قطع کلید از دیودهای هرزگرد استفاده شده است. از نکات مهم این طراحی در زمانی است که به هر علت رله‌های RL1 و RL4 باهم و یا RL2 و RL3 با هم زده شود و این کار باعث ایجاد اتصال کوتاه در مدار می‌شود که با قرارگیری ۲ فیوز در مدار این مشکل جلوگیری شده و از آسیب به مدار در حالت عملی جلوگیری می‌شود.




**شکل ۱۶.** پیاده‌سازی مجموعه پل H با استفاده از رله‌های PLC

## ۳. نتایج و بحث

کنترولر طراحی شده بر روی یک دستگاه دیزل ژنراتور ۳۵۰ کیلوواتی جهت کاربرد برق اضطراری نصب شده است. این مجموعه تحت شرایط تغییر بار از حالت بدون بار تا بار بالا (۲۵۰ آمپر) قرار گرفته و نتایج به‌دست آمده در تغییرات بار از این آزمایش در نمودار شکل (۱۷) نشان داده شده است.




**شکل ۱۷.** تغییرات بار ژنراتور از مقادیر پایین تا بالا و نحوه عملکرد کنترولر نسبت به‌روش مکانیکی

طبق شکل (۱۷) با در نظر گرفتن حداکثر تغییرات فرکانس در تغییرات بار می‌توان خطای مجموعه را در تثبیت فرکانس در نظر گرفت (رابطه ۴).

$$\text{Error \%} = [((\text{Max freq})-(\text{Min freq}))/50]*100 \quad (۴)$$

محاسبه خطای تغییرات فرکانسی در حالت کنترل مکانیکی، به‌شرح زیر می‌باشد:

$$\text{Error\%} = (51.2-49)/50=4.4\ \% \quad (۵)$$

همچنین محاسبه خطای تغییرات فرکانس در حالت کنترل‌کننده طراحی شده به‌صورت زیر است:

$$\text{Error\%} = (50.4-49.8)/50=1.2\ \% \quad (۶)$$

طبق این محاسبات، خطای تغییرات فرکانس حدود ۳/۲ درصد اصلاح گردید. در نهایت، مختصری در مورد یکی از عوامل مؤثر در سیستم‌های کنترل که تأثیر نویز ناشی از تغییرات دما و اختلالات الکتریکی است، بحث می‌شود. در این کنترل کننده به‌دلیل استفاده از یک مدار کنترل کننده صنعتی که مختص محیط‌های پر نویز طراحی شده، می‌توان با تقریب قابل قبولی از تأثیرات ناشی از عوامل فوق صرف‌نظر کرد، اما تأثیرات دما بر روی موتورهای دیزل بنابر استانداردهای سازمان نظام مهندسی کشور در بالای ۳۰ درجه سلسیوس هر ۱۰ درجه افزایش دما باعث کاهش ۲ درصدی در توان دیزل ژنراتور می‌گردد.

## ۴. نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر، یک کنترل کننده دور برای موتورهای درون‌سوز احتراقی جهت کاربردهای ایستگاهی مصارف نظامی و صنعتی به‌وسیله یک مینی PLC طراحی، شبیه‌سازی و ساخته شده است. مجموعه فوق پس از نصب بر روی یک دستگاه دیزل ژنراتور ۳۵۰کیلوولت آمپری حداکثر خطای ۱/۲ درصد در عملکرد تثبیت دور و فرکانس دیزل ژنراتور نشان داد. در مقایسه این روش با حالت مکانیکی حدود ۳/۲ درصد بهبود در خطا ایجاد شده است. از مزایای این روش کم شدن هزینه ساخت نسبت به موارد مشابه هم نسبت به مشابه مکانیکی و مداری، هزینه تأمین و نگهداری کم، مقاومت در مقابل نویز و اختلال‌های الکتریکی به‌دلیل استفاده از ساختار PLC و انعطاف‌پذیری مجموعه به‌دلیل امکان تغییرات در برنامه را نام برد.

## ۵. مراجع


[1] Peroutka, Z. “Design of New Diesel-Electric Power Supply Unit for Military Vehicles”; Power Electronics and Motion Control Conf., Sept. 2010

[2] Tiexiong, H. “Model and Tool Integration for Modern Diesel Engine Management System Development”; Computational Intelligence and Industrial Applications, Asia-Pacific Conf., Nov. 2009

[3] Burje, S. R.; Kulkarni, S. A.; Dhande, N. B. “Design and Development of Microcontroller Based Electronic Speed Governor for Genset/Automotive Engine”; Int. J. Eng. Sci. 2012, 1, 26-33.

[4] Haynes, R. “Development of Accelerated Aging Test for ESD/EMI Protective Materials and Electrical Discontinuity at Seams and Interconnections”; Electrical Overstress/Electrostatic Discharge Symposium Proc. 1999.

[5] Yong, Zh. “Design of Vehicular Engine Control Unit Based on EMC Analysis”; Elect. and Control Eng. (ICECE), Int. Conf. Sept. 2011.

[6] McGowan, D. J. “Integrated Governor Control for a Diesel-Generating Set”; Energy Conversion, IEEE Trans. 2006, 21, 476-483.

[7] McGowan, D. J. “Multiple Input Governor Control for a Diesel Generating Set”; Energy Conversion, IEEE Trans. 2008, 23, 851-859.

[8] Seung-Hwan, L.; Jung-Sik, Y. “Design of Speed Control Loop of a Variable Speed Diesel Engine Generator by Electric Governor”; Industry Applications Society Annual Meeting, IEEE, 2008, 978-983.

[9] Meenakshi, M. “Microprocessor Based Digital PID Controller for Speed Control of D.C. Motor”; First Int. Conf. Emerging Trends in Eng. and Tech., IEEE, 2008, 960-965.

[10] Meijiu, L. “Design and Implementation of Welding with Electromagnetic Trailing Peening Control Circuit”; Measuring Tech. and Mechatronics Automation, ICMTMA '09. Int. Conf., 2009.

[11] Li, Q.; Huang, H.; Yin, B. “The Study of PWM Methods in Permanent Magnet Brushless DC Motor Speed Control System”; Electrical Machines and Systems, ICEMS 2008. Int. Conf. IEEE, 2008, 3897-3900.

[12] Samin, R. E.; Lee, M. J.; Zawawi, M. A. “PID Implementation of Heating Tank in Mini Automation Plant using Programmable Logic Controller (PLC)”; Electrical, Control and Computer Eng. (INECCE), Int. Conf., 2011, 515-519.

[13] Paul, A. R.; George, M. “Brushless DC motor Control Using Digital PWM Techniques”; Signal Proc., Communication, Computing and Networking Tech. (ICSCCN), Int. Conf., 2011, 733-738.