



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

## پایان نامه‌ی کارشناسی

مهندسی برق

# پیاده سازی اینورتر PWM سه فاز با استفاده از PLC

نگارش:

فرزاد سهرابی

دکتر مهرداد بابازاده

زمستان ۱۳۹۵

با سپاس از سه وجود مقدس:

آنان که ناتوان شدند تا ما به توانایی برسیم...

موهایشان سپید شد تا ما روسفید شویم...

و عاشقانه سوختند تا گرمابخش وجود ما و روشنگر راهمان باشند...

پدرانمان

مادرانمان

استادانمان

با نهایت تعظیم تقدیم به:

مقدس ترین واژه ها در لغت نامه دلم، مادر مهربانم که زندگیم را

مدیون مهر و عطوفت او می دانم.

پدرم، مهربانی مشفق و حامی بردبار.

کسی که نشانه لطف الهی در زندگی من است و پیگیری های

مجدانه ش دلیلی بر تمامی تلاش هایم بود.

و خواهرم همراه همیشگی زندگیم.

ت

باتشکر از:

استاد عالیقدر دکتر مهرداد بابازاده که در اتمام این پروژه مرا یاری رساندند

و همه ی دوستان و بزرگوارانی که مرا در انجام این امر از هیچ کمکی دریغ

نکرده اند.

## فهرست

مقدمه:	۱
فصل اول: معرفی اینورترها	۲
۱-۱ کاربرد اینورترها در صنعت:	۳
۲-۱ دسته بندی اینورترها از لحاظ کارکرد:	۳
۳-۱ اصول کار مدارات اینورتری:	۳
۴-۱ پارامترهای کارایی اینورتر:	۴
۵-۱ اصول کار اینورترهای پل تکفاز:	۷
۶-۱ اصول کار اینورترهای سه فاز:	۹
۶-۱-۱ هدایت ۱۸۰ درجه ای:	۱۲
فصل دوم: قطعات الکترونیک قدرت	۱۳
۱-۲ دیودها:	۱۴
۲-۲ ترانزیستورها	۱۵
۲-۲-۱ ترانزیستورهای دوقطبی با گیت عایق (IGBT ها):	۱۵
۲-۲-۲ ترانزیستورهای اثر میدانی نیمه هادی اکسید فلز (MOSFET ها):	۱۷
۲-۲-۳ SIT ها	۱۹
۳-۲ ترانزیستورهای	۲۰
فصل سوم: آشنایی با روش های PWM	۲۲
۱-۳ مدولاسیون پهنای پالس معمولی:	۲۳
۱-۱-۳ مدولاسیون پهنای پالس منفرد:	۲۳
۲-۱-۳ مدولاسیون پهنای پالس چندگانه:	۲۴
۳-۱-۳ مدولاسیون پهنای پالس سینوسی	۲۵

۳-۱-۴	مدولاسیون پهنای پالس سینوسی اصلاح شده	۲۶
۳-۲	مدولاسیون پهنای پالس پیشرفته:	۲۷
<b>فصل چهارم: آشنایی با PLC</b>		
۴-۱	آشنایی با PLC:	۳۱
۴-۲	مفهوم کنترلرهای قابل برنامه ریزی PLC:	۳۲
۴-۳	ویژگی PLC ها	۳۲
۴-۴	مزایای PLC ها	۳۳
۴-۵	ویژگی PLC های متوسط S7:	۳۴
۴-۶	زبان برنامه نویسی PLC:	۳۴
۴-۷	PLC های Compact و مدولار	۳۶
۴-۸	بررسی PLC های S7-300	۳۶
<b>فصل پنجم: شبیه سازی متلب و PLC</b>		
۵-۱	شبیه سازی متلب	۳۹
۵-۱-۱	شبیه سازی اینورتر تکفاز EPWM	۳۹
۵-۱-۲	شبیه سازی اینورتر سه فاز EPWM	۴۱
۵-۱-۳	اینورتر تک فاز و سه فاز SPWM:	۴۶
۵-۲	شبیه سازی در PLC	۴۸
۵-۲-۱	تولید شکل موج مثلثی	۵۲
<b>مراجع</b>		
		۵۴

## مقدمه:

مبدل های جریان مستقیم به متناوب با نام اینورتر شناخته می شوند. وظیفه یک اینورتر تبدیل یک ولتاژ ورودی مستقیم به یک جریان ولتاژ خروجی متناوب و متقارن با دامنه و فرکانس مورد نظر است. ولتاژ خروجی می تواند در فرکانس ثابت یا متغیر، مقداری ثابت یا متغیر داشته باشد. ولتاژ خروجی را می توان با تغییر ولتاژ ورودی مستقیم و ثابت نگاه داشتن بهره اینورتر به دست آورد. از طرفی، اگر ولتاژ ورودی مستقیم ثابت بوده و قابل کنترل نباشد، می توان با تغییر بهره اینورتر، یک ولتاژ متغیر را در خروجی به دست آورد که این عمل معمولاً به وسیله کنترل مدولاسیون پهنای پالس (PWM) در داخل اینورتر صورت می گیرد. بهره اینورتر را می توان برابر با نسبت ولتاژ متناوب خروجی به ولتاژ مستقیم ورودی تعریف کرد.

شکل موج های ولتاژ خروجی در اینورترهای ایده آل باید سینوسی باشد، با این حال در اینورترهای عملی این شکل موج ها غیر سینوسی بوده و دارای یک سری هارمونیک های مشخص می باشد. در کاربردهای توان بالا، به موج های سینوسی با اعوجاج بسیار کم نیاز است. با در اختیار داشتن قطعات نیمه هادی قدرت سریع، می توان با استفاده از روش های کلیدزنی، هارمونیک های ولتاژ خروجی را به نحو چشم گیری کاهش داد.

## فصل اول: معرفی اینورترها

## ۱-۱ کاربرد اینورترها در صنعت:

اینورترها به طور گسترده ای در صنعت به کار می روند (مثل گرداننده های موتورهای AC با دور متغیر، گرم کننده ی القایی، منابع تغذیه بدون وقفه). ورودی اینورتر ممکن است یک باتری، سلول زغالی، سلول خورشیدی و یا هر منبع مستقیم دیگری باشد. خروجی اینورترهای تکفاز معمولا برابر (۱) ۱۲۰ ولت در فرکانس ۶۰ هرتز (۲) ۲۲۰ در فرکانس ۵۰ هرتز و (۳) ۱۱۵ ولت در فرکانس ۴۰۰ هرتز است. در سیستم های سه فاز توان بالا، خروجی های معمول عبارتند از: (۱) ۲۲۰/۳۸۰ ولت در فرکانس ۵۰ هرتز، (۲) ۱۲۰/۲۰۸ ولت در فرکانس ۶۰ هرتز و (۳) ۱۱۵/۲۰۰ ولت در فرکانس ۴۰۰ هرتز.

## ۱-۲ دسته بندی اینورترها از لحاظ کارکرد:

اینورترها را می توان به دو دسته کلی تقسیم کرد:

(۱) اینورترهای تکفاز و (۲) اینورترهای سه فاز

هر دسته می تواند بسته به نوع کاربرد از عناصر روشن کننده و خاموش کننده کنترل شده (مثل BJT ها، MOSFET ها، IGBT ها، MCT ها، SIT ها و GTO ها) و یا ترایستورهای با کموتاسیون اجباری استفاده کند. این اینورترها معمولا از سیگنال های کنترل PWM برای تولید ولتاژ خروجی متناوب استفاده می کنند. اگر ولتاژ ورودی اینورتر ثابت باشد، اینورتر به نام اینورتر تغذیه شونده با ولتاژ خوانده می شود و اگر ولتاژ ورودی قابل کنترل باشد، اینورتر با اتصال DC متغیر نامیده می شود.

## ۱-۳ اصول کار مدارات اینورتری:

طرز کار اینورترهای تکفاز را می توان با کمک شکل ۱-۱ الف شرح داد. مدار اینورتر شامل دو چاپر است. وقتی فقط ترانزیستور  $Q_1$  برای مدت  $T_0/2$  روشن می شود، ولتاژ لحظه ای بار  $V_0$  برابر  $T_s/2$  می شود. اگر ترانزیستور  $Q_2$  به تنهایی برای مدت  $T_0/2$  روشن شود  $V_s/2$  در دو سر بار ظاهر می شود. مدار منطقی را باید طوری طراحی کرد که  $Q_1$  و  $Q_2$  با هم روشن نشوند، شکل ۱-۱ ب شکل موج های ولتاژ خروجی و جریان های ترانزیستور برای بار مقاومتی نشان می دهد. این اینورتر به یک منبع مستقیم سه سیمه احتیاج دارد و وقتی که ترانزیستور خاموش باشد، ولتاژ معکوس برابر  $V_s/2$  است. این اینورتر به نام اینورتر پل نیمه خوانده می شود.

مقدار موثر ولتاژ را می توان از رابطه زیر به دست آورد.



$$V_0 = \left[ \frac{2}{T_0} \int_0^{\frac{T_0}{2}} \frac{V_S^2}{4} dt \right]^{1/2} = \frac{V_S}{2} \quad (1-1)$$

ولتاژ لحظه ای خروجی توسط سری فوریه به صورت زیر بیان می شود.

$$V_0 = \quad (2-1)$$

$$\sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{2V_S}{n\pi} \sin n\omega t$$

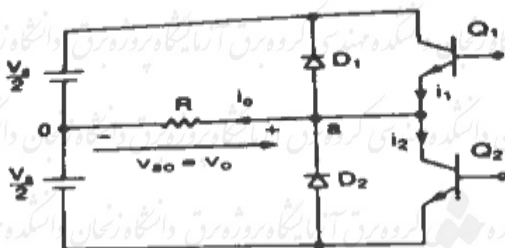
که در آن  $W = 2\pi f_0$  فرکانس ولتاژ خروجی بر حسب rad/s است. به ازای  $n=1$  رابطه ۲-۱ مقدار موثر مولفه اصلی را به صورت زیر به دست میدهد.

$$V_1 = \frac{2V_S}{\sqrt{2\pi}} = 0.45V_S \quad (3-1)$$

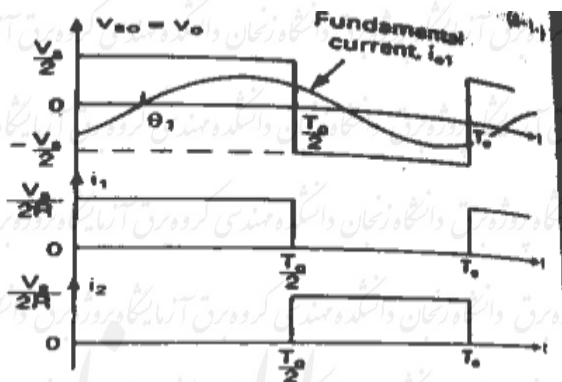
در یک بار سلفی جریان نمی تواند با تغییر ولتاژ خروجی فوراً تغییر پیدا کند. اگر  $Q_1$  در زمان  $t = T_0/2$  خاموش شود. جریان بار تا زمانی که مقدار آن به صفر برسد، از طریق  $D_2$ ، بار و نیمه پایینی منبع ادامه خواهد داشت.

به همین ترتیب وقتی  $Q_2$  در  $t = T_0$  خاموش می شود، جریان بار از طریق  $D_1$ ، بار و نیمه بالایی منبع مستقیم جاری می شود. هنگامی که  $D_1$  یا  $D_2$  هدایت می کنند، انرژی دوباره به منبع جریان مستقیم برگردانده می شود و این دیود ها به نام دیود فیدبک خوانده می شوند. شکل ۱-۱ ج، جریان

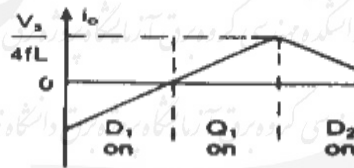
بار و فواصل هدایت قطعات را برای یک بار تماماً سلفی نشان می دهد. باید توجه داشت که برای بار تماماً سلفی، ترانزیستور تنها به مدت  $t = T_0/2$  (یا ۹۰ درجه) هدایت می کند. بسته به ضریب توان بار، مدت هدایت ترانزیستور از ۹۰ تا ۱۸۰ درجه تغییر خواهد کرد.



الف) مدار



ب) شکل موجها با بار مقاومتی



ج) جریان بار با بار شدید آسلفی

شکل ۱-۱ اینورتر نیمه پل تکفاز

میتوان به جای ترانزیستور از GTO ها و یا ترانزیستور های دارای کموتاسیون اجباری استفاده کرد. اگر

زمان خاموش شدن ترانزیستور  $T_q$  باشد باید در فاصله از مدار خارج شدن ترانزیستور اول و آتش شدن

تریستور بعدی زمان حداقل  $T_q$  وجود داشته باشد. در غیر این صورت بین دو تریستور اتصال کوتاه رخ

خواهد داد. بنابراین حداکثر زمان هدایت برای یک تریستور برابر  $t_q = T_0 / 2$  است. در عمل حتی تریستورها

به زمان مشخصی برای روشن و خاموش شدن نیاز دارند. برای اینکه اینورتر بتواند درست عمل کند، در

طراحی مدار منطقی مربوط به آن باید این مسائل را در نظر گرفت.

برای یک RL جریان لحظه ای بار  $I_0$  را می توان به صورت زیر به دست آورد:

$$i_0 = \sum_{n=1,3,5,\dots}^{\infty} \frac{2V_s}{n\pi\sqrt{R^2+(n\omega L)^2}} \sin(n\omega t - \theta_n) \quad (4-1)$$

که در آن  $\theta_n = \tan^{-1}(n\omega L / R)$  است. اگر  $I_{01}$  مقدار موثر جریان اساسی بار باشد، توان اساسی خروجی آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پژوهش برق دانشگاه زنجان

(به ازای  $n=1$ ) به صورت زیر خواهد بود:

$$(5-1)$$

$$P_{ol} = v_1 I_{O1} \cos \theta_1 = I_{O1}^2 R = \frac{2V_S}{\sqrt{2\pi\sqrt{R^2+(WL)^2}}}$$





دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

## مراجع

[۱] محمد ه. رشید (موسوی تقی آبادی، محمدرضا \_ رضایی نیا، حمیدرضا \_ باغبانی، خلیل \_ هوشمند، مسعود)،

الکترونیک صنعتی (فصل سوم تا دهم)، ویرایش سوم، ایران، انتشارات خراسان، بهار ۱۳۹۲

[2] MUHAMMAD H.RASHID, power electronic handbook (season 3 to 10),  
UNIVERSITY OF FLORIDA, ACADEMIC PRESS, 2001

[3] سعید غریبی و هادی غریبی، راهنمای جامع PLC SIMATIC STEP7، چاپ هشتم، تهران، مجموعه

کتابهای مثلث نارنجی، زمستان ۱۳۴۲

[4] وحید کارگر مقدم، مجموعه آموزشی PLC، ویرایش سوم، تهران