

معرفی مدار جدید آغازگر قوس و روش کنترل سیکل به سیکل جریان برای بهبود عملکرد دستگاه جوش اینورتری

مهرداد طرفدار حق^{۱*}، آرش آتشی^۲

۱- دانشیار مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تبریز

۲- کارشناس ارشد مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تبریز

* تبریز: دانشگاه تبریز - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

tarafdar@tabrizu.ac.ir

(دریافت مقاله: شهریور ۱۳۸۵، پذیرش مقاله: خرداد ۱۳۸۶)

چکیده - در این مقاله روش جدیدی برای شروع آسان قوس در دستگاههای جوش قوس الکتریکی با الکتروود روکش دار ارائه شده است. در این روش از مدار کمکی و ترانسفورماتور تزویج سری برای افزودن لحظه‌ای ولتاژی با فرکانس بالا به ولتاژ DC خروجی - قبل از شروع قوس - استفاده شده است. این روش در منابع قدرت جدید جوشکاری که به روش اینورتری عمل می‌کنند قابل استفاده بوده و موجب کاهش حجم، وزن و قیمت هسته ترانسفورماتور فرکانس بالای موجود در این منابع می‌شود. در ضمن روشی برای کنترل سیکل - به - سیکل جریان جوشکاری به منظور حصول پاسخ سریع به نوسانات قوس - که در کاهش پدیده پاشیدگی و افزایش کیفیت جوش مؤثر است - ارائه شده است. کارکرد این دو روش با استفاده از نتایج شبیه‌سازی و آزمایشگاهی ارزیابی شده است.

کلید واژگان: جوشکاری قوس الکتریکی، آغازگر قوس، کنترل سیکل - به - سیکل جریان جوشکاری، دستگاه جوش اینورتری.

۱ - مقدمه

قدرت باید بتواند جریان زیاد و کنترل شده‌ای را (که بین ۳۰ تا ۱۵۰۰ آمپر باشد) تهیه کند [۱]. علاوه بر ایجاد و کنترل ولتاژ و جریان مناسب توسط منابع قدرت جوشکاری که به‌طور مستقیم کیفیت جوشکاری را تعیین می‌کنند، کاهش حجم، وزن و قیمت این منابع نیز یکی دیگر از مسائل تحقیقاتی در این زمینه است.

استفاده از اینورتر در منابع قدرت جوشکاری یکی از راههایی است که می‌تواند موجب کاهش قابل‌توجهی در حجم و وزن منبع قدرت شود [۲]. اینورتر مداری است

صنعت جوشکاری یکی از صنایع پایه محسوب می‌شود و تحقیقات گسترده‌ای در زمینه‌های مختلف آن در حال انجام است. یکی از روشهای رایج جوشکاری، استفاده از قوس الکتریکی است. قوس الکتریکی منبع حرارتی مناسبی برای فرایند جوشکاری است و می‌توان آن را با دمای کنترل شده تولید کرد. منابع قدرت جوشکاری قوس الکتریکی عهده‌دار ایجاد و کنترل ولتاژ و جریان قوس الکتریکی است. از نظر جریان الکتریکی، منبع

زیادی را نیز به سویچها تحمیل می‌کند. در واقع با افزایش تعداد دور ثانویه ترانسفورماتور، جریان اولیه‌ای که از سویچهای اینورتر می‌گذرد نیز افزایش یافته و موجب افزایش تلفات می‌شود.

در این مقاله روش ساده‌ای برای شروع قوس الکتریکی ارائه شده که ضمن کاهش حجم و وزن ترانس و تلفات سویچها، موجب پایداری قوس الکتریکی می‌شود. یک روش کنترل سیکل - به- سیکل جریان نیز به منظور افزایش سرعت کنترلر و تنظیم مقدار متوسط جریان جوشکاری ارائه شده است. کارایی روشهای پیشنهادی به کمک شبیه‌سازی و نتایج آزمایشگاهی به اثبات رسیده است.

۲- قوس الکتریکی و مدلسازی آن

خالی شدن بار الکتریکی بین دو الکترود در گاز یونیده، قوس الکتریکی نامیده می‌شود. این گاز یونیده، به «پلازما» معروف است. قوس الکتریکی هنگامی می‌تواند ایجاد شود که یک کانال یونیده یا هادی بین الکترود و قطعه کار موجود باشد. زمانی که قوس برقرار شد، سر الکترود ذوب شده و به صورت قطره‌ای به طرف حوضچه جوش حرکت می‌کند. اگر این قطره مذاب قبل از جدا شدن از الکترود به حوضچه جوش برسد، موجب اتصال کوتاه خواهد شد (شکل ۱). در صورتی که سیستم کنترل نتواند به این اتصال کوتاه پاسخ دهد، جریان به شدت بالا رفته و پل مذاب را متلاشی می‌کند. به این پدیده در اصطلاح پاشیدگی می‌گویند. تهیه مدل دینامیک قوس الکتریکی بسیار مشکل است، زیرا پارامترهای مختلفی مانند نوع گاز یونیده، قطعه کار، الکترود و پوشش آن و مشخصه ولت - آمپر منبع قدرت در آن دخیل هستند. در این مقاله از رابطه زیر برای مدلسازی قوس الکتریکی استفاده شده است [۸]:

که به کمک سویچهای نیمه‌هادی، ولتاژ DC را به AC با فرکانس بالا تبدیل می‌کند. استفاده از سویچهای نیمه‌هادی با قدرت نامی زیاد که با سرعت و دقت قابل توجهی توسط ادوات الکترونیکی پیشرفته‌ای مانند پردازنده‌های سریع راه‌اندازی می‌شوند، امکان کنترل دقیق و سریع جریان و ولتاژ جوشکاری را توسط اینورتر فراهم آورده است [۳]. نرخ ذوب ماده و انتقال آن به حوضچه جوش به جریان عبوری وابسته است. بنابراین ثابت نگاه داشتن جریان جوشکاری موجب یکنواخت شدن و افزایش کیفیت جوش خواهد شد [۴]. همچنین پاسخ سریع سیستم کنترل به اتصال کوتاه، موجب کاهش پدیده پاشیدگی خواهد شد [۵، ۶]. به این ترتیب در صورت ارائه روشهای مناسبی برای کنترل سویچهای نیمه‌هادی، استفاده از اینورترها می‌تواند نقش بسیار مهمی را در افزایش کیفیت جوشکاری و عدم پاشش ایفا کند.

علاوه بر موارد فوق، نحوه شروع قوس الکتریکی نیز یکی از مسائل بسیار مهم در منابع قدرت جوشکاری است. برای آغاز قوس الکتریکی ابتدا باید هوا یونیده شده و مقاومت آن کاهش یابد تا منبع قدرت جوشکاری بتواند با ایجاد ولتاژ پایین در حدود ۲۰ ولت، جریان بالایی را از فاصله هوایی عبور دهد [۷]. برای یونیده شدن اولیه هوا، باید ولتاژ مناسبی در سر الکترود ایجاد شود. در منابع قدرت جوشکاری با اینورتر، برای ایجاد ولتاژ مدار باز زیاد در لحظه شروع قوس، نسبت تبدیل ترانس را زیادتر از مقدار لازم در حین جوشکاری انتخاب می‌کنند تا در حداکثر عرض پالس ولتاژ اعمالی، اینورتر بتواند ولتاژ کافی جهت شروع قوس را فراهم سازد. بدیهی است پس از شروع قوس باید با کاهش عرض پالس، ولتاژ به حد مناسبی کاهش یابد. استفاده از روش فوق ضمن افزایش قابل توجه در ابعاد و وزن ترانسفورماتور، به دلیل افزایش تعداد دور ثانویه، تلفات

۳- مدار قدرت در سیستم پیشنهادی

نمودار جعبه‌ای سیستم پیشنهادی در شکل ۳ نشان داده شده است. مدار از شبکه تکفاز برق شهر تغذیه می‌شود. سیستم یکسوساز اولیه ولتاژ AC شبکه را به ولتاژ DC تبدیل می‌کند. ولتاژ DC توسط اینورتر به ولتاژ AC مربعی با فرکانس بالا تبدیل و به ترانسفورمر اصلی با هسته فریت اعمال می‌شود. ترانس که از نوع کاهنده است با کاهش ولتاژ، جریان را تا حد مناسب جوشکاری افزایش می‌دهد و در ضمن، ایزولاسیون از شبکه را فراهم می‌سازد. سپس با استفاده از دو دیود فرکانس بالا، ولتاژ خروجی ترانس یکسو شده و سلف خروجی نیز موجب کاهش ریپل جریان می‌شود. یک ترانسفورمر تزویج، ولتاژ فرکانس بالایی را که توسط مدار آغازگر قوس ایجاد می‌شود به ولتاژ خروجی اضافه می‌کند. کنترل جریان خروجی توسط مدار مولد پالس با پهنای مدوله شده که از جریان اولیه ترانس اصلی فیدبک می‌گیرد انجام می‌شود.

$$U_f = K + \frac{0.4l}{\pi.d} \times I \quad (1)$$

در این رابطه U_f ولتاژ دو سر قوس، K ضریب مخصوص فلزها، l طول قوس برحسب میلیمتر، d قطر الکترود برحسب میلیمتر و I جریان قوس برحسب آمپر است. این معادله نشان می‌دهد که می‌توان قوس الکتریکی را به صورت ساده با مقاومت و منبع ولتاژ سری با آن مدل کرد. شکل ۲ این مدل را نشان می‌دهد.

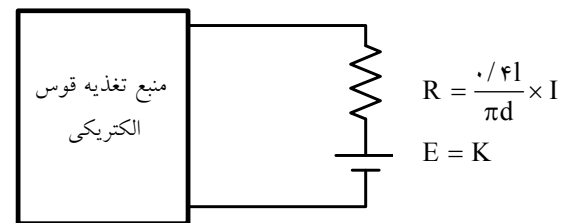


شکل ۱ حرکت قطره مذاب از الکترود به طرف حوضچه جوش

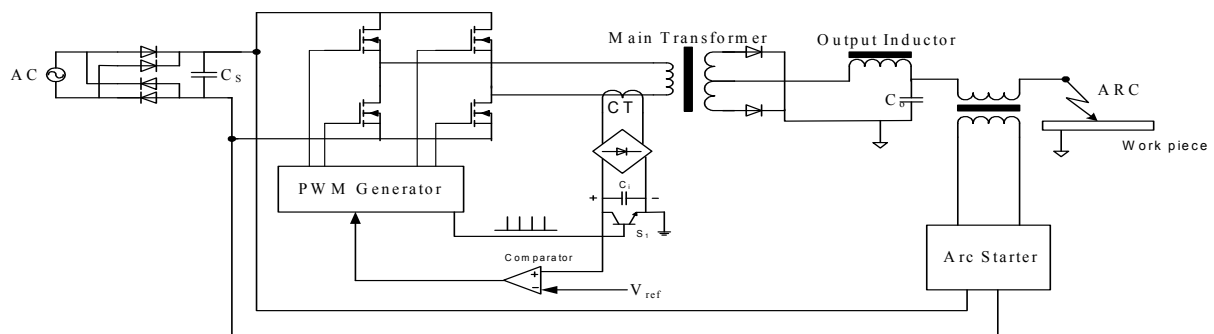
۴- آغازگر قوس الکتریکی

آغاز قوس الکتریکی می‌تواند به دو طریق اصلی زیر انجام شود:

- ۱- به کار بردن ولتاژ بسیار بالا بین الکترودها که سبب دشارژ یا خالی شدن بار الکتریکی شود که این روش به جرعه دشارژ معروف است.

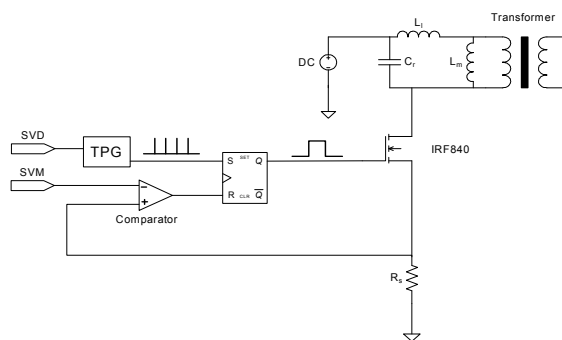


شکل ۲ مدل قوس الکتریکی



شکل ۳ نمودار جعبه‌ای سیستم پیشنهادی

محدود بوده اما فرکانس زیاد آن توانسته است انرژی لازم را برای شروع قوس ایجاد کند. شکل ۴ مدار قدرت پیشنهادی را برای آغازگر قوس نشان می‌دهد.



شکل ۴ مدار قدرت پیشنهادی برای آغازگر قوس

در این مدار از مدار تشدید شامل خازن C_r و سلف معادل موازی با آن استفاده شده است. سلف مذکور شامل اندوکتانس نشتی L_1 و اندوکتانس مغناطیس‌شوندگی L_m ترانس تزویج سری است. فرکانس تشدید مدار تشدید از رابطه (۲) به‌دست می‌آید:

$$F_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{C_r(L_m + L_1)}} \quad (2)$$

قبل از شروع قوس هوا یونیده نشده و مقاومت بالایی دارد و برای شروع قوس باید ولتاژ زیادی توسط مدار آغازگر قوس اعمال شود. انرژی مورد نیاز در مدار آغازگر قوس، از ولتاژ DC دو سر خازن C_s تأمین می‌شود. سویچ MOSFET وظیفه شارژ کردن مدار تشدید را در زمان مناسب برعهده دارد. برای کنترل سویچ MOSFET از تولیدکننده پالس تریگر (TPG)، فلیپ فلاپ RS و مقایسه‌گر استفاده شده است. مقایسه‌گر جریان سویچ را با مقدار SVM که ولتاژ خروجی آغازگر قوس را کنترل می‌کند مقایسه کرده و به فلیپ فلاپ که در ابتدای هر سیکل تریگر می‌شود فرمان خاموشی سویچ را می‌دهد. مولد پالس تریگر پالسهایی را با فرکانسی که توسط

۲- به‌وسیله ایجاد تماس لحظه‌ای و سپس عقب بردن الکتروود بر روی قطعه کار که به آن روش تماسی یا کبریتی گفته می‌شود.

روش جرقه دشارژ معمولاً در قوس الکتریکی با محافظت گاز به‌کار برده می‌شود. ولتاژی در حدود 10^4 ولت نیاز است تا در فاصله بین الکتروود و کار جرقه ایجاد شود [۱]. به محض ایجاد قوس، ولتاژ کاهش یافته و جریان افزایش می‌یابد. در عمل استفاده از ولتاژ بسیار بالا خطرناک بوده و کاربرد این روش را به جوشکاری‌های ویژه محدود می‌کند.

همانطور که اشاره شد روش دیگری که بیشتر متداول است، تماس دادن لحظه‌ای الکتروود به قطعه کار و عقب بردن آن است. با این کار، نوک الکتروود گرم و سپس به‌طور موضعی ذوب می‌شود. با عقب کشیدن الکتروود، قطره مذاب در نوک آن بین الکتروود و قطعه کار، پلی را می‌سازد که همزمان با باریک شدن آن، این پل شکسته شده و بدین ترتیب بخار فلز می‌تواند کانالی را برای ایجاد قوس موقت به‌وجود آورد. از این روش بیشتر در جوشکاری با الکتروود روکش‌دار استفاده می‌شود. عیب مهم روش تماسی، عدم امکان شروع قوس با جریان کم، نیاز به مهارت زیاد جوشکار، دشواری کار در جوشکاری سربالا و اتصال کوتاه منبع در حین شروع قوس است. اتصال کوتاه منبع برای شروع قوس، علاوه بر کاهش عمر مفید منبع جوشکاری، موجب افزایش حجم، قیمت و وزن ترانسفورماتور می‌شود.

در این مقاله از ترکیب دو روش مذکور برای شروع قوس در دستگاههای جوشکاری اینورتری با الکتروود روکش‌دار استفاده شده است. از یک مدار کمکی برای افزودن ولتاژ فرکانس بالا به ولتاژ DC خروجی قبل از شروع قوس استفاده شده است. دامنه ولتاژ اضافه شده

فیدبک به قسمت کنترلگر وارد می‌شود. از مقایسه سیگنال فیدبک و سیگنال مرجع سیگنال مناسبی به دست می‌آید که پس از عبور از کنترلگرهای کلاسیک PID توسط مبدل PWM به پالسی با پهنای قابل کنترل تبدیل و جریان خروجی را کنترل می‌کند. هزینه کم و طراحی ساده مهمترین مزایای این نوع مبدل است در حالی که نیاز به المانهای بسیار دقیق و تغییرناپذیر با زمان، نویز و حرارت را می‌توان به عنوان معایب آن ذکر کرد.

در کنترلگرهای دیجیتال، نمونه‌ای از جریان توسط مبدل A/D به سیگنال کوانتیده تبدیل شده و پس از پردازش توسط ریزپردازنده، سیگنال خروجی برای روشن کردن سویچها آماده می‌شود. از مزایای این روش می‌توان به انعطاف پذیری پارامترهای کنترلی به دلیل نرم‌افزاری بودن عملیات، ثابت بودن کیفیت کنترلگر و نیاز نداشتن به مبدل PWM اشاره کرد. عیب آن محدودیت سرعت کنترلگر به علت پایین بودن سرعت مبدل A/D و پردازنده در کنترل جریان جوشکاری است.

در روش پیشنهادی ساده‌ای که در شکل ۳ آورده شده، از مد کنترل سیکل - به - سیکل جریان استفاده شده است. این روش اگرچه اساساً آنالوگ است، اما مزایای هر دو روش آنالوگ و دیجیتال را در بر داشته و ضمن افزایش سرعت پاسخدهی، پایداری بالا و مقاومت در برابر نویز را نیز (به علت حذف مشتقگیر) نشان می‌دهد. در این مدار، نمونه جریان توسط ترانس جریان (CT) از خروجی اینورتر قبل از ترانسفورمر قدرت برداشته شده و پس از یکسوسازی به خازن انتگرالگیر C_i داده می‌شود. به این ترتیب ولتاژ خازن، انتگرال جریان خواهد بود. با روشن شدن سویچهای اینورتر توسط مدار تولیدکننده پالس PWM، خازن C_i شروع به انتگرالگیری از جریان خروجی اینورتر می‌کند. زمانی که مقدار ولتاژ خازن به مقدار مرجع

SVD تنظیم می‌شود تولید می‌کند. بنابراین با استفاده از کنترلهای SVM و SVD می‌توان به ترتیب دامنه و فرکانس خروجی سیستم آغازگر قوس را با توجه به مشخصات و جنس الکتروود تنظیم کرد.

زمانی که قوس شروع شد هوای بین الکتروود و قطعه کار به حالت پلازما درآمده و مقاومت آن به شدت کاهش می‌یابد و دیگر نیازی به عملکرد مدار آغازگر قوس وجود ندارد. مطابق شکل ۴ با شروع قوس و افزایش شدید جریان جوشکاری، ترانس تزویج سری اشباع شده و اندوکتانس مغناطیس شونگی L_m به طور اتوماتیک اتصال کوتاه خواهد شد و بنابراین ولتاژ خروجی ترانس تزویج صفر شده و مدار آغازگر قوس تأثیری در پروسه جوشکاری نخواهد داشت.

۵- روش سیکل به سیکل برای کنترل جریان جوشکاری

منبع قدرت جوشکاری قوس الکتریکی باید بتواند جریان الکتریکی لازم و کنترل شده‌ای را برای قوس فراهم سازد. نرخ ذوب شدن ماده با حرارت تولید شده و در نتیجه با مجذور جریان رابطه دارد. ثابت نگاه داشتن جریان جوشکاری موجب یکنواخت شدن و افزایش کیفیت جوش خواهد شد. لذا بیشتر منابع قدرت جوشکاری در حالت کنترل جریان عمل می‌کنند. در این روش، حلقه کنترل سعی در تثبیت جریان خروجی در اندازه موردنظر دارد. در واقع مقدار ولتاژ خروجی صرفاً توسط مشخصه امپدانس بار تعیین شده و کنترل خاصی روی آن انجام نمی‌شود. سیستمهای کنترل جریان به دو نوع آنالوگ و دیجیتال تقسیم می‌شوند.

در کنترلگرهای آنالوگ، نمونه جریان از خروجی سیستم اخذ شده و پس از مراحل کالیبراسیون به صورت

$$K = \frac{1}{n_1 \cdot n_2 \cdot C_i} \quad (5)$$

در این روابط n_1 نسبت دور اولیه به ثانویه ترانسفورمر اصلی، n_2 ضریب تبدیل CT، $i_o(t)$ جریان جوشکاری خروجی، K عدد ثابت، C_i ظرفیت خازن انتگرالگیر، V_c ولتاژ خازن انتگرالگیر و t_{on} لحظه روشن شدن سویچ S_1 است.

۶- نتایج شبیه‌سازی

از مدار شکل ۳ برای شبیه‌سازی و تحلیل عملکرد مدار آغازگر قوس و کنترل جریان استفاده شد. در تحلیل عملکرد مدار آغازگر قوس، فرایند کامل جوش قوس الکتریکی شامل آغاز، انجام و قطع آن در نظر گرفته شده است.

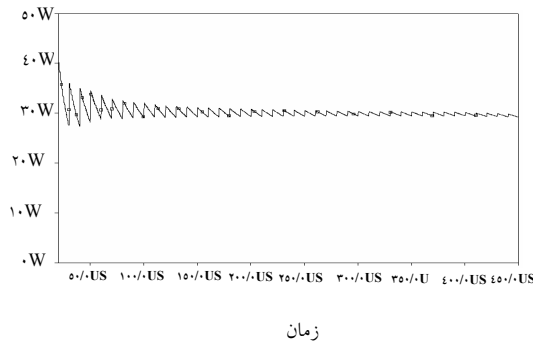
همانطور که در شکل ۵ دیده می‌شود تا لحظه ۳۰ میکروثانیه هنوز قوس آغاز نشده، بنابراین امپدانس بالایی در خروجی وجود دارد و مدار آغازگر با ایجاد ولتاژ فرکانس بالا با دامنه محدود، سعی در شروع قوس دارد. در لحظه ۳۰ میکروثانیه قوس آغاز و در طی زمان ۱۰ میکروثانیه هوا کاملاً یونیده می‌شود و مقاومت آن به شدت کاهش می‌یابد. شکل ۶ ولتاژ خروجی را در هنگام شروع قوس نشان می‌دهد. در این حالت می‌توان از مدل قوس الکتریکی که قبلاً توضیح داده شد استفاده کرد. افزایش جریان موجب اشباع ترانس تزویج شده و در نتیجه مدار آغازگر غیرفعال می‌شود. این حالت تا لحظه ۳۵۰ میکروثانیه ادامه می‌یابد و ولتاژ قوس برابر ولتاژ خروجی دستگاه است. در لحظه ۳۵۰ میکروثانیه قوس قطع و همانطور که در شکل ملاحظه شده ابتدا به مدت چند میکروثانیه سلف خروجی موجب افزایش شدید ولتاژ خروجی شده و سپس با سرد شدن قوس و افزایش مقاومت مطابق شکل ۷ جریان کاهش می‌یابد.

V_{ref} رسید، مدار تولید کننده پالس PWM سویچهای اینورتر را خاموش کرده و با روشن کردن سویچ S_1 ولتاژ خازن را تا پایان سیکل صفر می‌کند. با تغییر ولتاژ مرجع V_{ref} می‌توان مقدار جریان جوشکاری را به دلخواه تنظیم کرد. در واقع منبع جوشکاری پیشنهادی مشابه منبع جریان عمل کرده و می‌تواند جریان مورد نیاز را بدون توجه به جنس قطعه کار به طور خودکار تنظیم کند. به عنوان مثال با کاهش مقاومت معادل قطعه کار، جریان بیشتری از ترانس جریان گذشته و موجب شارژ سریعتر خازن C_i می‌شود. که این به نوبه خود موجب کاهش عرض پالس PWM و کاهش ولتاژ اعمالی و نهایتاً کاهش جریان به مقدار از پیش تعیین شده خواهد شد. به بیان دیگر، جنس قطعه کار به طور خودکار تغییرات لازم را در مدار کنترل فراهم ساخته و سیستم به صورت منبع جریان عمل می‌کند. اعمال فوق در هر سیکل کاری اینورتر تکرار می‌شود. در واقع عملکرد کنترل سیکل - به- سیکل بر شارژ و دشارژ خازن C_i استوار است. خازن مذکور پس از دشارژ توسط سویچ S_1 تا شروع سیکل بعدی شارژ نخواهد شد. در زمان وصل بودن سویچ S_1 نه فقط خازن C_i بلکه ثانویه ترانس جریان نیز در حالت اتصال کوتاه باقی می‌ماند. سویچ S_1 ترانزیستور نوع MOSFET با مقاومت کانال در حدود ۰/۱۵ اهم است. خازن بسیار کوچک و کمتر از $1[\mu F]$ است، بنابراین انرژی چندانی در آن ذخیره نشده و وجود مقاومت کانال تخلیه سویچ S_1 به منظور محدود ساختن جریان تخلیه کافی است. در واقع ولتاژ خازن را می‌توان با استفاده از روابط زیر بر حسب جریان خروجی به دست آورد:

$$i_o(t) = n_1 \cdot n_2 \cdot i_{CT}(t) \quad (3)$$

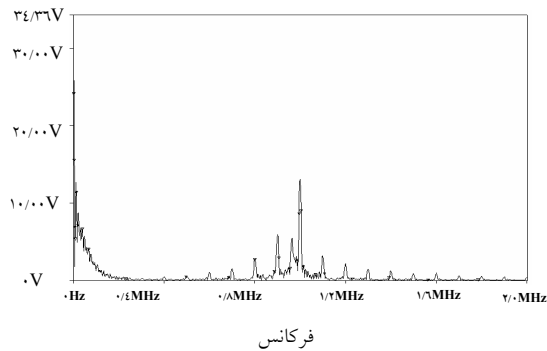
$$V_{C_i}(t) = K \int_0^{t_{on}} i_o(t) dt \quad (4)$$

متوسط مصرفی سیستم آغازگر به ۳۲ وات می‌رسد که در برابر توان مصرفی کل دستگاه جوش ناچیز بوده و تأثیری بر راندمان سیستم نخواهد داشت.



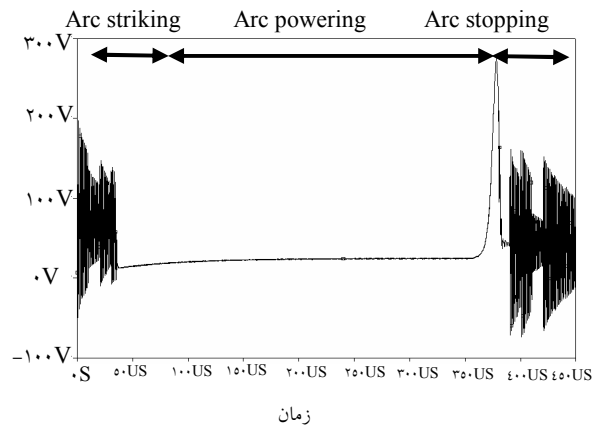
شکل ۸ توان مصرفی سیستم آغازگر در وضعیت قبل از شروع قوس

شکل ۹ طیف فرکانسی ولتاژ دو سر الکتروود را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل نیز دیده می‌شود ولتاژ DC خروجی دستگاه جوش اینورتری با ولتاژ AC فرکانس بالای ۱kHz مدار آغازگر قوس الکتریکی جمع شده است.

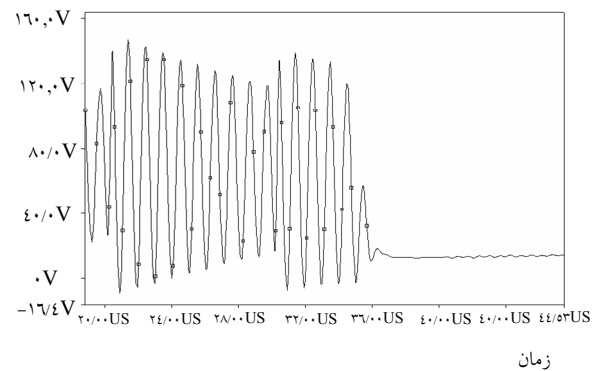


شکل ۹ طیف فرکانسی ولتاژ دو سر الکتروود

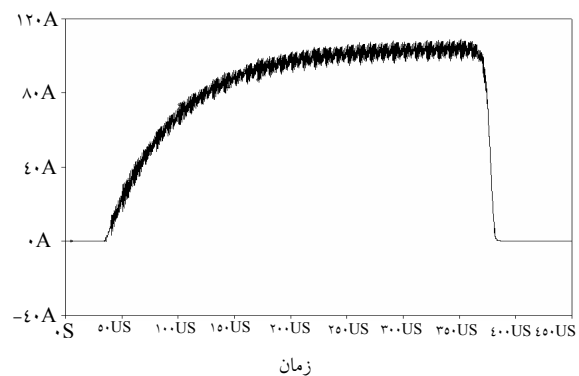
شکل‌های ۱۰ و ۱۱ به ترتیب ولتاژ و جریان خروجی دستگاه را با سیستم کنترل سیکل - به - سیکل پیشنهادی در زمانی که انتقال قطره مذاب، اتصال کوتاهی را به مدت نیم میلی ثانیه ایجاد می‌کند، نشان می‌دهند. همانطور که پیشتر ذکر شد، در هنگام انتقال قطره مذاب، امکان اتصال کوتاه قوس الکتریکی وجود دارد. در این زمان مقاومت بسیار کمی (در این مدل یک میلی



شکل ۵ ولتاژ دو سر الکتروود و قطعه کار



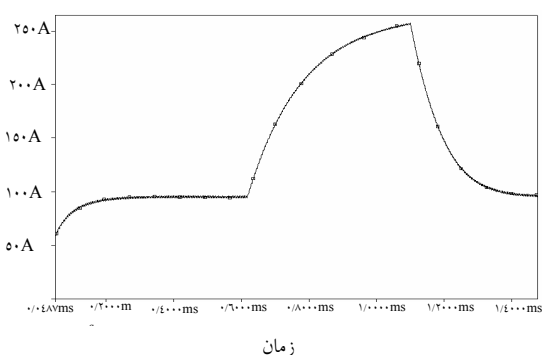
شکل ۶ ولتاژ خروجی در هنگام شروع قوس



شکل ۷ جریان خروجی

شکل ۸ توان مصرفی سیستم آغازگر را در وضعیت قبل از شروع قوس نشان می‌دهد. همانطور که در شکل دیده می‌شود پس از سپری شدن شرایط گذرا، توان

شکل ۱۲ جریان خروجی دستگاه را با سیستم کنترل رایج PID نشان می‌دهد. پارامترهای PID کنترلگر با استفاده از مقادیر [۹] به دست آمده است. با مقایسه شکل‌های ۱۱ و ۱۲ مشاهده می‌شود که عملکرد سیستم کنترل سیکل - به - سیکل پیشنهادی جریان اتصال کوتاه را به ۱۳۰ درصد جریان مرجع محدود کرده که پیشرفت عمده‌ای نسبت به سیستم کنترل PID رایج - که جریان اتصال کوتاه را در ۲۶۰ درصد جریان مرجع محدود می‌کند - محسوب می‌شود.

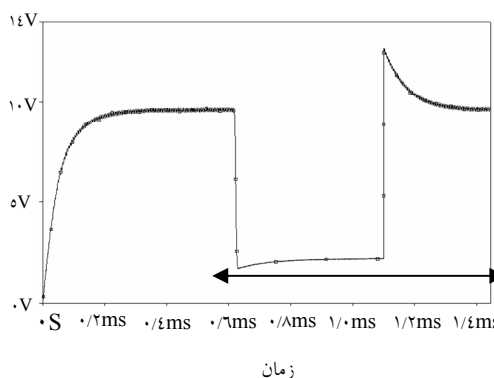


شکل ۱۲ جریان خروجی دستگاه با سیستم کنترل رایج PID

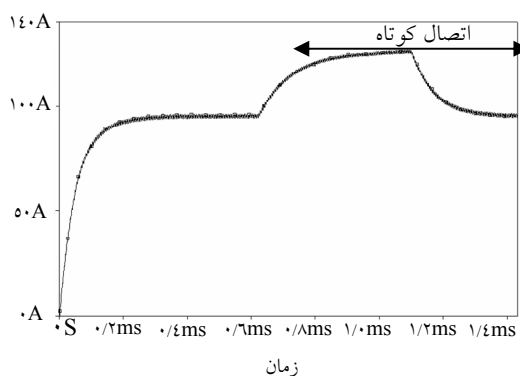
۷- نتایج آزمایشگاهی

شکل ۱۳ نمونه آزمایشگاهی ساخته شده را نشان می‌دهد. این دستگاه شامل کل نمودار جعبه‌ای نشان داده شده در شکل ۱ است. شکل ۱۴ ولتاژ خروجی دستگاه را قبل از شروع قوس نشان می‌دهد. همانطور که در شکل دیده می‌شود ولتاژ ۲۵ ولت DC با ولتاژ AC فرکانس بالای آغازگر قوس الکتریکی جمع شده است. شکل ۱۵ جریان گذرنده از سویچ MOSFET مدار آغازگر قوس را نشان می‌دهد. در این شکل دیده می‌شود که سویچ در زمان بسیار کوتاهی مدار تشدید را شارژ می‌کند و در ادامه سیکل، تانک تشدید به تنهایی نوسان می‌کند اما به علت وجود خازنهای پارازیتی سویچ MOSFET جریان کمی در این مدت از سویچ خواهد گذشت که موجهای شکل ۱۵ نشانگر این پدیده است.

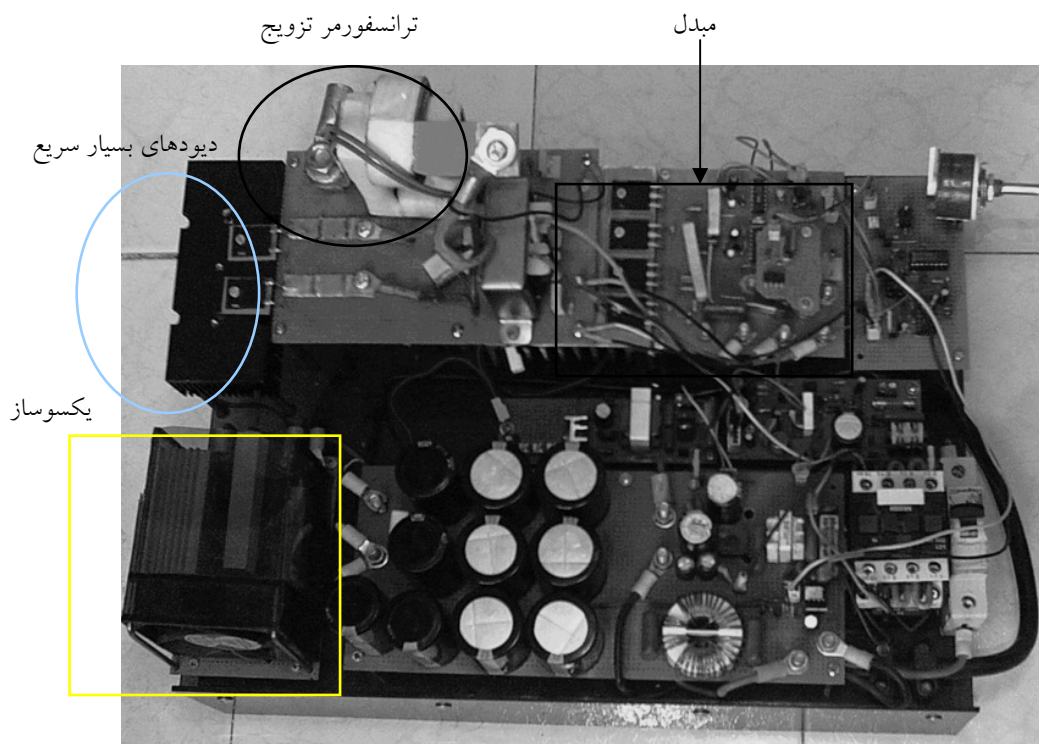
اهم جایگزین مدل قوس الکتریکی می‌شود. مطابق شکل ۱۰ مشاهده می‌شود که در حین اتصال کوتاه، سیستم کنترل ولتاژ خروجی را به سرعت کاهش داده است تا انرژی قوس را محدود کرده و پاشش جوش را کاهش دهد. باید توجه داشت که افزایش ناگهانی جریان در حین اتصال کوتاه منبع، موجب شارژ بسیار سریع خازن C_i در شکل شده و در نتیجه سرعت پاسخ سیستم بسیار زیاد است. این در حالی است که سیستم پیشنهادی برای تنظیم جریان بر روی مقدار از پیش تعیین شده که ناشی از انحراف کم در جریان خروجی باشد به مدت زمان بسیار طولانی‌تری نیاز دارد. این موضوع در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ به صورت خطای ماندگار به نظر می‌رسد در حالی که این خطا در حال کاهش تدریجی است.



شکل ۱۰ ولتاژ خروجی دستگاه با سیستم کنترل سیکل - به - سیکل پیشنهادی



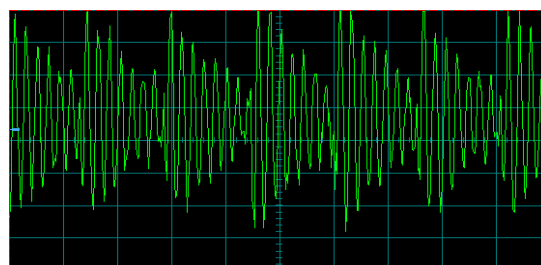
شکل ۱۱ جریان خروجی دستگاه با سیستم کنترل سیکل - به - سیکل پیشنهادی



شکل ۱۳ نمونه آزمایشگاهی ساخته شده

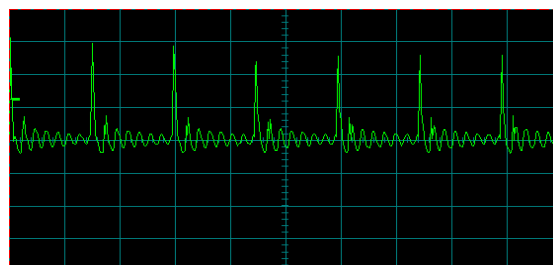
۸- نتیجه گیری

در این مقاله دو روش جدید برای بهبود عملکرد دستگاه جوش اینورتری در زمینه آغاز قوس الکتریکی و کنترل جریان خروجی دستگاه جوش اینورتری ارائه شد. در این روش با استفاده از مدار کمکی آغازگر قوس و افزودن ولتاژ فرکانس بالا با دامنه کنترل شده به ولتاژ خروجی، سعی در شروع قوس الکتریکی و کاهش حجم ترانس اصلی فرکانس بالا در دستگاههای جوش اینورتری شده است. در واقع با روش پیشنهادی ترانس مذکور صرفاً برای مقادیر کار عادی طراحی شده و نیازی به عملکرد آن در حین شروع قوس نخواهد بود. صحت عملکرد مدار آغازگر قوس با شبیه سازی و تحلیل نتایج آزمایشگاهی بررسی و تأیید شده است. در ضمن یک روش کنترل سیکل - به - سیکل جریان به منظور کنترل



شکل ۱۴ ولتاژ خروجی دستگاه قبل از شروع قوس

($50\text{V}/10\mu\text{s}$)



شکل ۱۵ جریان گذرنده از سویچ MOSFET مدار آغازگر

قوس ($0.5\text{A}/10\mu\text{s}$)

- [5] Chae, Y. M.; Jang, Y.; Jovanovic, M. M.; Jae Suek Gho; Gyu Ha Choe, "A novel mixed current and voltage control scheme for inverter arc welding machines", Applied power electronics conference and exposition, 2001. APEC 2001. Sixteenth Annual IEEE, Volume 1, pp. 308 – 313.
- [6] Chu W., Tung P., "Development of an automatic arc welding system using SMAW process", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, August, 1990.
- [7] Hirata Y., Fukushima M., Sano T., Ozaki K., Ohji T., "Micro-arc discharge phenomena" Vacuum, Vol. 59, No. 1, 2000, pp. 142-151.
- [8] O'Brien R. L., "Welding Handbook", AWS, Vol. 2, 1991.
- [9] Jinhong Z., Wenlin L., Yaowu S., "Study on the dynamic process of arc welding inverter", Power Electronics and Motion Control Conference, 2000, IPEMC 2000. Vol. 1, 2000 pp. 308 – 311.

جریان جوشکاری ارائه و مزایای آن نسبت به روش رایج کنترل PID بررسی شده است. با استفاده از نتایج شبیه‌سازی و آزمایشگاهی کارایی قابل توجه روشهای ارائه شده به اثبات رسیده است.

۹ - منابع

- [1] Jeffus L., "Welding Principles and Applications", Thomson Delmar Learning; 5th edition, December 2002, pp. 28-39.
- [2] Chae Y., Gho M., Choe G., Shin W., Choi Y., "PWM converter-inverter arc welding machine using new type NCT", Power Electronics Specialists Conference, 1998, 29th IEEE Annual Meeting, pp. 1636 – 1641.
- [3] Chae Y., Gho M., Choe G., Shin W., Choi Y., "A new instantaneous output current control method for inverter arc welding machine", Power Electronics Specialists Conference, 1999, PESC 99, 30th IEEE Annual Meeting, pp. 521 - 526.
- [4] Hu J., Tsai H., "Heat and mass transfer in gas metal arc welding. Part I: ", Elsevier, International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 50, 2007, pp. 833–846.