





دانشکده: برق و رباتیک

گروه: کنترل

کنترل فازی دستگاه جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ

دانشجو: مهدی ضیائی فر

اساتید راهنما

آقای دکتر فاتح و آقای دکتر صدرنیا

پایان نامه کارشناسی ارشد

ارائه شده جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی برق-گرایش کنترل

شهریور ۱۳۸۸

بسم الله الرحمن الرحيم

الحمد لله رب العالمين

حكيم سخن در زبان آفرين

كريم خطا بخش پوزش پذير

بهر در كه شد هيچ عزت نيافت

بنام خداوند جان آفرين

خداوند بخشنده دستگير

عزيزي كه هرگز درش سر بتافت

تقدیم

این پایان نامه را با تمام وجودم پیشکش می کنم

به پدرم به واسطه زحماتی که برای رسیدن من به این جایگاه از زندگی کشید،

و به مادرم که وجودش را برای من گذاشت تا یاد بگیرم سربلند زندگی کنم.

گرامی می دارم وجودشان را که مایه فخر و مباهات من هستند.

تشکر و قدردانی

بدینوسیله از کلیه کسانی که اینجانب را در تمام مراحل تحقیق کمک و یاری نموده اند صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایم، بویژه از استاد گرامی جناب آقای دکتر فاتح و جناب آقای دکتر صدرنیا که با راهنمایی‌های مدبرانه و سودمندشان هدایت این پایان نامه را بر عهده داشته و از خداوند متعال توفیق و بهروزی را در تمام طول زندگی برای این دو استاد گران قدر آرزومندم.

چکیده

این پایان نامه به طراحی کنترل فازی فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ می‌پردازد. اهمیت این تحقیق به دلیل کاربرد روز افزون این جوشکاری به هر دو صورت دستی و رباتیک در تولید صنعتی می‌باشد. در این پایان نامه کنترل فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ به شیوه دستی با نگاهی نو به کاربرد کنترل فازی در فرآیندهای صنعتی برای بالا بردن سطح کیفیت جوش و سهولت انجام کار توسط فرد جوشکار ارائه می‌شود. کیفیت جوشکاری به شدت تحت تأثیر عدم قطعیت‌ها قرار می‌گیرد که مهمترین آنها لرزش دست جوشکار است. بنابراین در کنترل کننده‌های فازی عدم قطعیت‌ها اهمیت زیادی برای کنترل فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی ندارد زیرا در کنترل فازی لازم به دانستن مدل ریاضی فرآیند و اغتشاشات وارد به فرآیند نیست که این مسئله بعد از پایداری و مقاوم بودن از خصوصیات مهم این کنترل کننده‌ها می‌باشد. در سیستم کنترل به اندازه‌گیری متغیر طول قوس توجه شده است و از منبع توان بر مبنای اینورتر با استفاده از تکنیک مدولاسیون پهنای پالس برای تولید ولتاژ در ماشین جوشکاری استفاده می‌شود که شبیه‌سازی آن در محیط MATLAB با کنترل صنعتی مبدل ac/dc الکترونیک صنعتی انجام شده است. نوآوری این پایان نامه بهره‌گیری از روش کنترل فازی برای تثبیت طول قوس و در نتیجه بهبودی کیفیت جوش در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی صنعتی می‌باشد که مراحل طراحی و شبیه‌سازی در آن ارائه شده است. در شبیه‌سازی سعی بر این است تا با در نظر گرفتن شرایط نسبتاً عملی در یک جوشکاری دستی، به خصوص حضور دینامیک منبع توان در ماشین جوشکاری، کنترل مناسبی بر روی فرآیند انجام شود و نتایج شبیه‌سازی عملکرد مناسب سیستم کنترل فازی در تثبیت طول قوس را نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ، کنترل فازی، طول قوس، سیستم سرعت تغذیه سیم الکتروود و منبع توان جوشکاری.

فهرست مطالب

فصل اول

۱

۱	۱-مقدمه
۳	۱-۱-انگیزه پایان نامه
۴	۱-۲-اهداف مورد نظر
۵	۱-۳-مرور کارهای قبلی
۸	۱-۴-طرح کلی پایان نامه

فصل دوم

۹

۹	۲-کنترل کننده‌های فازی
۹	۲-۱-مقدمه ای بر کنترل کننده‌های فازی
۱۱	۲-۲-طراحی کنترل کننده‌های فازی
۲۷	۲-۳-مزایای کنترل کننده‌های فازی
۳۰	۲-۴-کاربرد کنترل کننده‌های فازی
۳۳	۲-۵-بحث و نتیجه گیری

فصل سوم

۳۴

۳۴	۳-مدل سازی فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی
۳۴	۳-۱-معرفی فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ
۳۷	۳-۲-منابع تغذیه جوشکاری قوس الکتریکی
۴۱	۳-۳-معرفی مدل ریاضی و پارامترهای جوشکاری قوس الکتریکی
۴۶	۳-۴-نرخ ذوب
۴۸	۳-۵-مدل دینامیکی فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی
۵۰	۳-۶-اثر ورودی‌ها بر خروجی‌های فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی
۵۲	۳-۷-نتیجه گیری

- ۴- معرفی سیستم سرعت تغذیه سیم الکتروود ۵۳
- ۴-۱- سرعت تغذیه سیم الکتروود ۵۳
- ۴-۲- معادلات موتور DC ۵۶
- ۴-۳- طراحی کنترل کننده فازی برای موتور DC ۶۰
- ۴-۴- بحث و نتیجه گیری ۶۶

- ۵- نتایج شبیه سازی و کنترل فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی ۶۷
- ۵-۱- پیکر بندی سیستم کنترل طول قوس ۶۸
- ۵-۲- پیاده سازی کنترل کننده PI ۷۰
- ۵-۳- پیاده سازی کنترل کننده فازی ۷۸
- ۵-۴- کنترل کننده فازی با حضور منبع توان ۸۵
- ۵-۵- مقایسه کنترل کننده فازی با کنترل کننده PI ۹۰

- ۶- نتیجه گیری ۹۲

- تجهیزات جوشکاری ۹۴

- اصطلاحات و نمادها ۱۰۴

فهرست شکل ها

فصل دوم

- شکل ۱-۲- نمای کلی یک کنترل کننده فازی ۱۲
- شکل ۲-۲- توابع عضویت متداول (الف) به شکل S, Z ، (ب) مثلثی، (ج) دوزنقه‌ای، (د) گوسی شکل ۱۳
- شکل ۲-۳- ترکیب دو مجموعه فازی بریده شده ۲۰

فصل سوم

- شکل ۱-۳- شمای کلی از یک سیستم نوعی جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ ۳۵
- شکل ۲-۳- مدار الکتریکی در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی ۳۶
- شکل ۳-۳- عملکرد منبع تغذیه در ماشین جوشکاری قوس الکتریکی ۳۸
- شکل ۳-۴- تولید سیگنال PWM به روش آنالوگ ۴۰
- شکل ۳-۵- شمای کلی سیستم جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ و معرفی پارامترهای آن ۴۲

فصل چهارم

- شکل ۱-۴- شمای کلی سیستم کشنده سیم الکتروود ۵۴
- شکل ۲-۴- شمای کلی تغذیه سیم الکتروود از جنس آلومینیوم ۵۴
- شکل ۳-۴- نمای کلی سیستم سرعت تغذیه سیم الکتروود ۵۶
- شکل ۴-۴- چگونگی قرار دادن کنترل کننده فازی را در موتور DC ۶۱
- شکل ۴-۵- توابع تعلق ورودی‌های کنترل کننده فازی ۶۳
- شکل ۴-۶- توابع تعلق مربوط به خروجی کنترل کننده فازی ۶۳

- شکل ۴-۷- سطح مربوط به قوانین کنترل فازی و رابطه آن با ورودی‌ها و خروجی‌های کنترل کننده ۶۴
- شکل ۴-۸- سیگنال خطا ۶۵
- شکل ۴-۹- ولتاژ کنترل شده اعمالی به موتور (DC) ۶۵
- شکل ۴-۱۰- سرعت تغذیه سیم الکتروود ۶۵

فصل پنجم

- شکل ۵-۱- پیکربندی های سیستم کنترل فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در حالت انتقال اسپری ۶۹
- شکل ۵-۲- بلوک دیاگرام کنترل کننده PI ۷۱
- شکل ۵-۳- شبیه سازی لرزش دست جوشکار ۷۲
- شکل ۵-۴- تغییرات فاصله لوله اتصال تا قطعه کار (l_c) که همان لرزش دست جوشکار می باشد ۷۲
- شکل ۵-۵- شبیه سازی مدل فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی ۷۳
- شکل ۵-۶- طول قوس با استفاده از کنترل کننده PI ۷۴
- شکل ۵-۷- سیگنال خطا کنترلر PI ۷۵
- شکل ۵-۸- ولتاژ ترمینال اعمالی از خروجی کنترل کننده PI ۷۶
- شکل ۵-۹- جریان جوشکاری و منحنی تغییرات فاصله لوله اتصال تا قطعه کار ۷۷
- شکل ۵-۱۰- خلاصه عملکرد کنترل کننده فازی ۷۸
- شکل ۵-۱۱- چگونگی قرار دادن کنترل کننده فازی را در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی ۷۸
- شکل ۵-۱۲- توابع تعلق ورودی‌های کنترل کننده فازی ۸۰
- شکل ۵-۱۳- توابع تعلق مربوط به خروجی کنترل کننده فازی ۸۱
- شکل ۵-۱۴- سطح مربوط به قوانین کنترل فازی و رابطه آن با ورودی‌ها و خروجی‌های کنترل کننده ۸۱
- شکل ۵-۱۵- شبیه سازی مدل فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی با حضور کنترل کننده فازی شبه PD ۸۲
- شکل ۵-۱۶- طول قوس با استفاده از کنترل کننده فازی ۸۳
- شکل ۵-۱۷- ولتاژ ترمینال و جریان جوشکاری با استفاده از کنترل کننده فازی ۸۴

- ۸۴ شکل ۵-۱۸- سیگنال خطا کنترل کننده فازي
- ۸۶ شکل ۵-۱۹- فرآيند جوشكاري قوس الكتريكي به همراه مدار منبع توان بر مبنای اينورتر و كنترل كننده فازي شبه PD
- ۸۸ شكل ۵-۲۰- ولتاژ ترمينال و جريان جوشكاري با حضور منبع توان و كنترل كننده فازي شبه PD
- ۸۸ شكل ۵-۲۱- طول قوس با حضور منبع توان و كنترل مود لغزشي
- ۸۹ شكل ۵-۲۲- سيگنال اعمالی به منبع تغذيه توسط كنترل كننده فازي شبه PD
- ۹۱ شكل ۵-۲۳- مقايسه كنترل كننده فازي شبه PD را با كنترل كننده PI

پيوست- الف

- ۹۴ شكل الف-۱- شمای کلی تجهيزات فرآيند جوشكاري قوس الكتريكي در پناه گاز محافظ
- ۹۵ شكل الف-۲- قسمتهای كليدي انبر جوش
- ۹۶ شكل الف-۳- لوله اتصال
- ۹۷ شكل الف-۴- شمای بريده شده انبر جوش
- ۱۰۰ شكل الف-۵- شمای کلی چگونگی تشكيل گازهای محافظ را در فرآيند جوشكاري قوس الكتريكي
- شكل الف-۶- شكل دانه جوش و الكوی نفوذ جوش در استفاده از گازهای محافظ گوناگون و مقايسه تأثير افزودن اكسيژن و دي اكسيد كربن به گاز آرگون در شكل جوش
- ۱۰۱

فهرست جداول

فصل دوم

- جدول ۱-۲- جدول قواعد فازی، برای کنترل کننده PI با توجه به ابر قواعد معرفی شده. ۱۵
- جدول ۲-۲- مقایسه غیر فازی سازها از نظر پیوستگی، سادگی محاسبات و توجه پذیری ۲۶

فصل چهارم

- جدول ۱-۴- تعیین پارامترهای موتور DC ۵۹
- جدول ۲-۴- پایگاه قواعد فازی برای کنترل سرعت موتور DC ۶۴

فصل پنجم

- جدول ۱-۵- پایگاه قواعد فازی برای کنترل فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی ۸۱

فصل اول

۱- مقدمه

اتصالات یکی از مهمترین فرآیندهای ساخت و تولید هستند به نحوی که بیشتر از ۹۰ درصد محصولات فلزی یا غیرفلزی، با فرآیندهای اتصال موقت و بیش از ۵۰ درصد آنها با فرآیندهای اتصال دائمی یا همان جوشکاری به هم متصل می‌شوند.

جوشکاری عبارت است از اتصال دو قطعه فلزی یا غیر فلزی به یکدیگر در اثر عوامل خارجی مثل حرارت و فشار که امروزه به صورت یک علم پیشرفته و موثر در خدمت صنایع در آمده است.

از مهمترین خصوصیات اتصال جوشکاری می‌توان سرعت تولید بالا، عدم محدودیت در ضخامت قطعات، ایجاد اتصال آب بندی و غیره نام برد.

جوشکاری بطور وسیعی در ساخت بسیاری از صنایع از قبیل هواپیماسازی، کشتی‌سازی، ساختمان‌سازی، خودروسازی، نفت، گاز، پتروشیمی، نیروگاهی و حتی صنایع الکترونیک و الکتروتکنیک مشاهده کرد. به عبارت دیگر می‌توان به جرات گفت که اکثر صنایع به طور مستقیم یا غیر مستقیم با فرآیند جوشکاری در ارتباط هستند.

جوشکاری قوس الکتریکی گاز- فلز (در پناه گاز محافظ یا زیر گاز محافظ) که به اختصار $GMAW^1$ بیان می‌شود، فرآیندی است که برای اتصال قطعات فلزی استفاده می‌شود و امروزه یکی از موفق ترین و پرکاربردترین شیوه های جوشکاری در صنعت به حساب می‌آید.

¹ Gas Metal Arc Welding: GMAW

مزیت‌های استفاده از جوشکاری قوس الکتریکی عبارتند از [۱]:

۱. امکان قابلیت اتوماتیک نمودن کامل روش و در نتیجه کنترل کامل پارامترهای فرآیند که بر روی خواص اتصال (جوش) تاثیر می‌گذارد وجود دارد.
۲. سرعت جوشکاری در این روش بالاست.
۳. استفاده از سیم جوش امکان جوشکاری طویل و بدون توقف را فراهم می‌سازد.
۴. امکان نفوذ بیشتر از روش زیرپودری فراهم است که در این صورت امکان ایجاد گرده کوچکتر با استحکام مشابه فراهم است.
۵. احتیاج به توانایی‌های شخصی کمتری برای جوشکاری دارد.
۶. امکان کنترل کامل محیط اطراف جوش با استفاده از گازهای حفاظتی مختلف.
۷. به دلیل عدم وجود سرباره احتیاج به تمیزکاری کمی دارد.

در این پایان نامه برای سهولت به جای استفاده از نام کامل فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی

در پناه گاز محافظ از نام مختصر آن یعنی جوشکاری قوس الکتریکی استفاده می‌کنیم.

۱-۱- انگیزه پایان نامه

با توجه به رشد روزافزون این صنعت در دنیا، جایگاه پر اهمیت آن در صنایع و مزایای جوشکاری قوس الکتریکی بر آن شدیم تا به بررسی اجمالی وضعیت این تکنولوژی کاربردی و شیوه کنترل کردن فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در بدست آوردن کیفیت جوش مناسب در کشور عزیزمان بپردازیم. برای همین منظور پایان نامه‌ای در مقطع کارشناسی ارشد برق در دانشکده مهندسی برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود، انجام دهیم. گرچه این پایان نامه به صورت پروژه ساخت تعریف نشده است، اما سعی شد تا حد امکان تمامی جنبه های عملی و صنعتی موضوع مدنظر قرار گیرد تا به سوی ساخت دستگاه های جوش قوس الکتریکی با کیفیت جوش بالا و کاربری آسان برای کنترل کیفیت توسط جوشکاران قدم برداریم.

۱-۲- اهداف مورد نظر

در ارائه این پایان نامه شیوه های کنترلی جدید در جهت بهبود کیفیت جوش در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی دستی وجود دارد. باید توجه داشت فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی به انواع گوناگونی طبقه بندی می شود. به همین منظور برای جلوگیری از پراکندگی موضوعی، زمینه تحقیق خود را بر روی کنترل یکی از این شیوه ها متمرکز کردیم که همانا کنترل فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی دستی در حالت انتقال اسپری^۱ می باشد.

هدف نهایی در این پایان نامه بهینه سازی و پیشرفت الگوریتم های کنترلی فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در حالت انتقال اسپری به منظور افزایش کیفیت جوشکاری می باشد که با استفاده از کنترل کننده فازی^۲ برای کنترل فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی، باعث بهبودی در کیفیت جوش و کاهش رسوبات می شود.

^۱ Spray Mode
^۲ Fuzzy control

۱-۳- مرور کارهای قبلی

تحقیقات در زمینه فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی با موضوعات بسیار زیادی سروکار دارد این موضوعات را می توان به دو دسته تقسیم بندی کرد که شامل کنترل فرآیند، بررسی و مدل سازی مشخصه های فیزیکی و دینامیکی فرآیند می شود.

کنترل فرآیند به دو دسته تقسیم بندی می شود

۱. کنترل پارامترهای حوضچه جوش، کنترل قوس و ذوب الکتروود.

۲. کنترل قوس و ذوب الکتروود.

در حالت کلی، فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی به سه حالت اتصال کوتاه یا قوس کوتاه^۱، حالت دانه ای^۲، و حالت اسپری^۳ تقسیم بندی می شوند البته باید ذکر کرد که حالت اسپری پالسی^۴، که به جوشکاری قوس الکتریکی پالسی نیز معروف است و در آن از جریان الکتریکی پالسی متناوب استفاده می شود، را می توان به عنوان حالت خاصی از حالت اسپری در نظر گرفت یا به عنوان یک حالت مجزا تلقی کرد. در [۲]، [۳] و [۴] به این موضوع اشاره شده است. شیوه های پیشرفته انتقال فلز در حالت اسپری پالسی را می توان در [۵] و [۶] یافت. همچنین در [۷] و [۸] از یک کنترل کننده خطی مقاوم در جوشکاری قوس الکتریکی پالسی استفاده شده است. در [۹] یک الگوریتم برمبنای مدل برای کنترل نحوه انتقال فلز استفاده شده است.

¹ Short Circuit Mode or Short Arc Mode

² Globular Mode

³ Spray Mode

⁴ Pulsed Spray Mode

مسائل مهمی که در این زمینه مطرح می شوند شامل دینامک های نرخ ذوب، قوس الکتریکی، قطره مذاب، نیروهای عمل کننده بر روی قطره، جدا شدن قطره، مدار الکتریکی فرآیند و گازهای محافظ است. در [۳] و [۱۰] به این موضوع اشاره شده است.

یکی از ساده ترین شیوه ها برای دستیابی به کنترل جریان و طول قوس استفاده از اختلاف ولتاژ ثابت در فرآیند است. چرا که افت ولتاژ نسبتاً پایین بر روی الکتروود در مقایسه با ولتاژ قوس باعث می شود تا اغتشاشات موجود در فاصله بین انبر جوش تا قطعه کار تأثیر چندانی بر روی طول قوس نداشته باشند. در [۱۱] و بسیاری دیگر از منابع از این شیوه به رفتار "خود تنظیم" یاد می شود. برای کنترل فرآیند با عملکرد بالا، تنها استفاده از اعمال اختلاف ولتاژ ثابت بر روی سیستم کافی نیست، در عوض از روش کنترل فیدبک طول قوس و جریان استفاده می شود. چنین شیوه کنترلی در بسیاری از منابع ارائه شده است از جمله در [۱۲] و [۱۳]، که در آنها فرآیند جوشکاری به صورت یک سیستم چند ورودی- چند خروجی^۱ در نظر گرفته شده است و برای کنترل فرآیند از دو کنترل کننده تناسبی- انتگرالی مستقل از هم برای یک نقطه کار ثابت بهره برده شده است. این رهیافت در [۱۴] و [۱۵] با استفاده از شیوه خطی سازی فیدبکی مستقل سازی شده و سپس کنترل تناسبی- انتگرالی به کار برده شده است. در [۱۶] شیوه کنترل مقاوم به سیستم کنترل قبلی اضافه شده است. در [۱۷] یک طرح کنترل تطبیقی چند متغیره برای کنترل سیستم ارائه شده است و همچنین در [۱۸] از الگوریتم شبه گرادیان برای به روز کردن پارامترهای کنترل کننده تناسبی- انتگرالی به شیوه تطبیقی بهره برده است. علاوه بر آن در [۱۹] یک الگوریتم کنترلی تناسبی- انتگرالی فازی بر روی سیستم اعمال شده است. در [۲۰] با نگاهی ابتکاری به فرآیند جوشکاری و با اذعان به این امر که عملاً در صنعت جوشکاری تنها ولتاژ ترمینال ماشین جوشکاری به عنوان سیگنال کنترلی در اختیار می باشد و همچنین با فرض ثابت بودن سرعت تغذیه الکتروود، سیستم را

^۱ MIMO: Multi-Input Multi-Output

به صورت تک ورودی- تک خروجی^۱ در نظر گرفته و شیوه خطی سازی ورودی- خروجی و همراه با اعمال فیدبک حالت و کنترل انتگرالی را ارائه کرده است.

در مورد کنترل و شبیه سازی فرآیند، داشتن مدلی کامل از فرآیند جوشکاری ضروری می نماید به طوری که تمامی جنبه های گوناگون فرآیند را مد نظر قرار دهد. در مورد مسئله کنترل فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی، موضوعات اساسی از قبیل دینامیک جریان الکتریکی، دینامیک نرخ ذوب، و دینامیک قوس الکتریکی باید در نظر گرفته شود. در منابعی از جمله [۲۱]، [۹]، [۲۲]، [۲۳]، [۱۰] و [۲۴] مدل کلی فرآیند جوشکاری در نظر گرفته شده است. بعلاوه در این منابع مدل توصیف کننده دینامیک جریان الکتریکی را می توان یافت.

در [۲۵] و [۲۶] با در نظر گرفتن فرآیند جوشکاری دستی، کنترل فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ برای رسیدن به کیفیت مناسب جوش بر مبنای شیوه کنترل مود لغزشی مطرح شده است.

¹ SISO: Single-Input Single-Output

۱-۴- طرح کلی پایان نامه

فصل دوم کنترل کننده فازی را معرفی می‌کند در این فصل در ابتدا مقدمه‌ای برای کنترل کننده فازی بیان می‌شود و سپس مراحل طراحی کنترل کننده فازی مطرح می‌گردد. چگونگی کاهش خطا بعد از طراحی، مزایای کنترل کننده فازی و در آخر کاربرد کنترل کننده فازی بیان می‌شود. سپس در فصل سوم مدل سازی فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی ارائه می‌شود. در این فصل با توجه به دینامیک های حاکم بر رفتار فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ مدل ریاضی توصیف کننده فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی و در همین راستا بیان هدف مورد نظر در کنترل یک فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی دستی و در نهایت ساده سازی معادلات دینامیکی فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی بدست آمده، دو مدل دینامیکی تک ورودی- تک خروجی برای فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در نظر گرفته می‌شود. بعد از آن در فصل چهارم کنترل سرعت تغذیه سیم الکتروود مطرح می‌شود. در این فصل ثابت نگه سرعت تغذیه سیم الکتروود در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ توسط یک موتور DC که وظیفه چرخاندن غلطک‌های کشنده سیم را بر عهده دارد، بدست آوردن معادلات موتور، بدست آوردن پارامترهای موتور و در نهایت طراحی یک کنترل کننده فازی که سرعت این موتور را ثابت نگه دارد در نظر گرفته می‌شود. در فصل پنجم نتایج شبیه سازی و کنترل فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی ارائه می‌شود و نهایتاً در فصل ششم نتیجه گیری می‌شود

فصل دوم

۲- کنترل کننده‌های فازی

در این فصل ابتدا مقدمه و تاریخچه‌ای از کنترل کننده‌های فازی را بیان می‌کنیم سپس با بررسی مراحل طراحی کنترل کننده فازی، مزایا و کاربردها آن را بصورت جامع توصیف خواهیم داد. از خوانندگان می‌خواهیم که برای مطالعه بیشتر به مراجع [۳۱-۲۷] مراجعه نمایند.

۲-۱- مقدمه

واژه "فازی"^۱ در فرهنگ لغت آکسفورد بصورت "مبهم، گنگ، نادقیق، گیج، درهم و نامشخص" تعریف شده است. اگر بخواهیم نظریه مجموعه‌های فازی را تعریف کنیم، باید بگوییم که نظریه‌ای است برای اقدام در شرایط عدم اطمینان؛ این نظریه قادر است بسیاری از مفاهیم و متغیرها و سیستم‌هایی را که نادقیق هستند، صورت‌بندی ریاضی ببخشد و زمینه را برای استدلال، استنتاج، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد.

^۱ -Fuzzy

۲-۱-۱- تاریخچه کنترل کننده فازی

نظریه مجموعه فازی در دهه ۱۹۶۰ آغاز شد و در سال ۱۹۶۵ توسط پرفسور لطفی عسگر زاده معرفی گردید. در دهه ۱۹۷۰ تئوری فازی رشد پیدا کرد و به کاربردهای عملی ظاهر گردید که در همین راستا در سال ۱۹۷۵ ممدانی^۱ و آسیلیان^۲ چهار چوب اولیه‌ای را برای کنترل کننده فازی مشخص کردند که زمینه ساز استفاده از منطق فازی در کنترل بسیاری از سیستم‌ها گردید. و در سال ۱۹۷۸ هولمبلاد^۳ و اوسترگارد^۴ اولین کنترل کننده فازی را برای یک کنترل فرآیند صنعتی (کنترل فازی کوره سیمان) کامل بکار بردند.

در دهه ۱۹۸۰ کاربردهای بزرگی در کنترل کننده‌های فازی رخ داد که عبارتند از: در سال ۱۹۸۰ ساخت کنترل سیستم تصفیه آب فوجی در ژاپن توسط سوگنو^۵، در سال ۱۹۸۳ ساخت روبات فازی (ماشینی که از راه دور کنترل شده و خودش به تنهایی عمل پارک را انجام می‌دهد) توسط سوگنو، در سال ۱۹۸۷ شرکت هیتاچی کنترل سیستم قطار زیرزمینی سندایی توسط یاشونوبو^۶ و میاموتو^۷ و در جولای ۱۹۷۸ دومین کنفرانس سیستم فازی در توکیو برگزار شد که هیرتا^۸ روبات فازی را که پینگ پنگ بازی می‌کرد و یامااکاوا^۹ پاندول معکوس را در حالت تعادل قرار می‌داد را در این کنفرانس به نمایش قرار دادند.

در دهه ۱۹۹۰ در فوریه سال ۱۹۹۲ اولین کنفرانس بین المللی IEEE در زمینه سیستم‌های فازی در سان‌دیگو برگزار شد که این یک اقدام سمبلیک در مورد پذیرفتن سیستم‌های فازی بوسیله

^۱ - Mamdani

^۲ - Assilian

^۳ - Holmblad

^۴ - Ostergaard

^۵ - Sugeno

^۶ - Yasunobu

^۷ - Miyamotor

^۸ - Hirota

^۹ - Yamakawa

بزرگترین سازمان مهندسی (IEEE) بود و در سال ۱۹۹۳ بخش سیستم‌های فازی (IEEE) گشایش یافت.

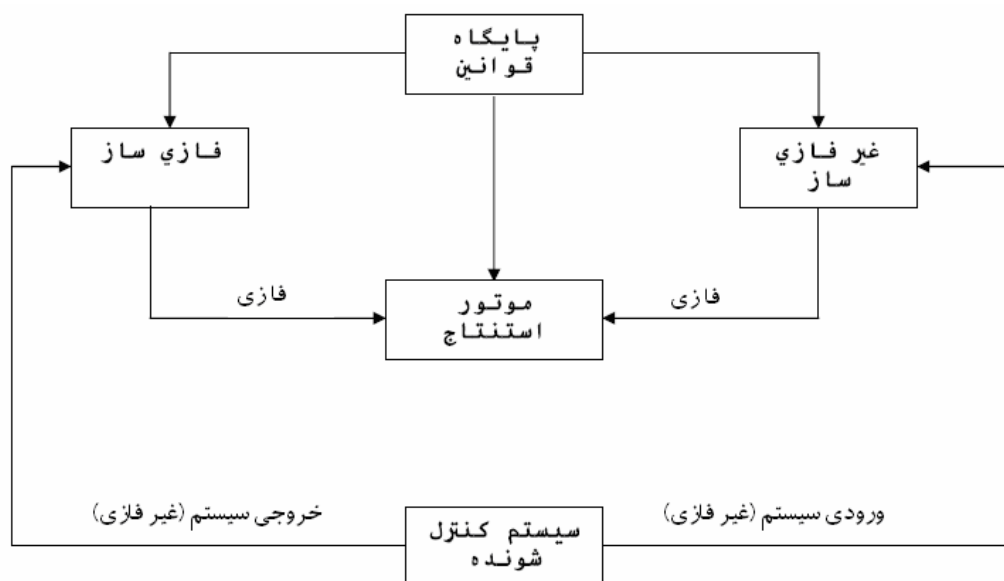
با نگاهی در این دو دهه اخیر می‌توان نتیجه گرفت، کنترل فازی در زمینه‌های تحقیقاتی فراوانی استفاده شده و نتایج سودمندی حاصل گردیده است. که عناوین مقالات ارائه شده و سمینارها و مجلات معتبر علمی، این مدعا را ثابت می‌کند.

۲-۲- طراحی کنترل کننده‌های فازی

روشهای مختلفی جهت توسعه کنترل کننده‌های فازی طی ۲۰ سال گذشته پیشنهاد شده است. در طراحی کنترل کننده‌های فازی، ابتدا باید پارامترهای اصلی کنترل شناسائی شده و یک مجموعه عبارات مناسب جهت توصیف هر متغیر زبانی مشخص شود. به عنوان مثال، ممکن است یک مجموعه عبارات شامل مقادیر زبانی مثل {کوچک، متوسط، بزرگ} در برخی موارد مناسب نبوده و بجای آن لازم شود از یک عبارات پنج عضوی مانند {خیلی کوچک، کوچک، متوسط، بزرگ و خیلی بزرگ} استفاده می‌شود.

۲-۲-۱- مراحل طراحی کنترل کننده‌های فازی

طراحی یک کنترل کننده فازی شامل ۴ مرحله اساسی می‌باشد که در شکل ۲-۱ یک ساختار ساده جهت کنترل کننده‌های فازی نمایش داده شده است و حال به توصیف این ۴ مرحله می‌پردازیم.



شکل ۲-۱- نمای کلی یک کنترل کننده فازی

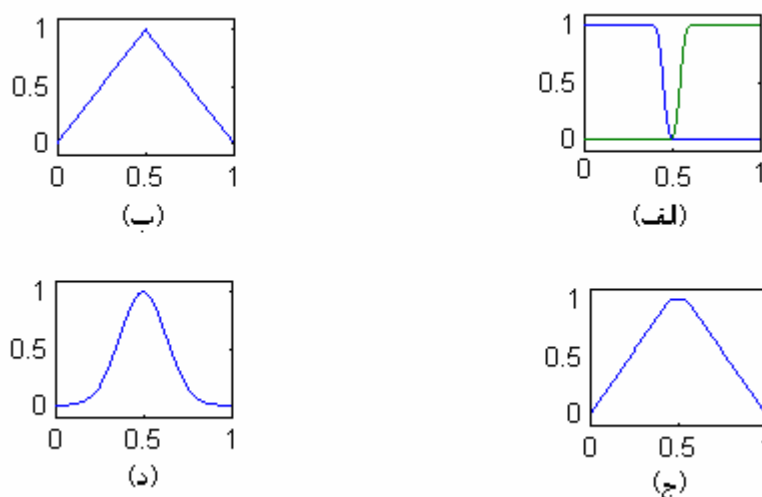
۱- فازی ساز^۱:

ورودی مربوط به این مرحله یک متغیر غیر فازی است که از خروجی سیستم گرفته می‌شود و بطور مناسب مقیاس می‌شوند. سپس این مقادیر بر حسب برچسب‌های زبانی تعریف می‌شوند. اگر مقدار قرائت شده از یک سنسور یک مقدار قطعی باشد با استفاده از تابع عضویت این مقدار قطعی را می‌توان به یک متغیر فازی نسبت دهیم. توابع عضویت در کنترل کننده‌های فازی از اشکال مختلف هندسی تشکیل شده اند ولی چهار نوع تابع عضویت کاربرد بیشتری نسبت به بقیه دارند که عبارتند از: تابع عضویت بشکل Z و S ^۳ که در شکل ۲-۲- (الف) نشان داده شده است. انواع دیگر توابع عضویت متداول مثلثی، ذوزنقه‌ای و گوسی هستند که در شکل ۲-۲- (ب، ج و د) به طور جداگانه نشان داده شده است. انتخاب نوع متغیرهای فازی مستقیماً در نوع استدلال انجام شده روی قوانینی که از این متغیرها استفاده می‌کنند اثر می‌گذارد.

^۱ - Fuzzifier

^۲ - Z-shaped built-in membership function

^۳ - S-shaped built-in membership function



شکل ۲-۲- توابع عضویت متداول (الف) به شکل S, Z, (ب) مثلثی، (ج) ذوزنقه‌ای، (د) گوسی شکل

اگر مقدار قرائت شده توسط سنسور شامل نویز باشد این مقدار می‌تواند توسط یک تابع مثلثی مدل شود. در این حالت مرکز تابع عضویت مثلثی، مقدار قرائت شده سنسور و قاعده آن را تابعی از انحراف معیار استاندارد سنسور (معمولاً دو برابر آن) در نظر می‌گیرند. در این حالت فازی کننده، اشتراک بین تابع عضویت برچسب زبانی و تابع عضویت داده ورودی را پیدا می‌کند. البته در اغلب کاربردها از حالت اول یعنی حالتی که مقدار قرائت شده توسط سنسور یک مقدار قطعی است استفاده می‌شود.

روشهای پیاده سازی این عملگرها بصورت فازی ساز منفرد^۱، فازی ساز گوسین^۲ و فازی ساز مثلثی^۳ می‌باشد.

فازی ساز منفرد، محاسبات مربوط به موتور استنتاج فازی را برای هر نوع تابع تعلق در قواعد اگر-آنگاه فوق‌العاده ساده می‌کند.

فازی سازهای گوسین و مثلثی نیز در صورتی که توابع تعلق فازی به شکل گوسین یا مثلثی باشند، محاسبات را ساده می‌کنند.

^۱ - Singleton Fuzzifier

^۲ - Gaussian Fuzzifier

^۳ - Triangular Fuzzifier

فازی سازهای گوسین و مثلثی می‌توانند نویز ورودی را حذف کنند، در حالی که فازی ساز منفرد این توانایی را ندارد [۳۰].

۲- پایگاه دانش:

این قسمت از کنترل کننده در واقع قلب آن است و حاوی قوانین و ضوابطی است که با استفاده از آنها کنترل کننده قادر است اهداف مورد نظر را تحقق بخشد. خود این اهداف نیز در این قسمت تعریف می‌شود. معمولاً این قوانین به فرم یک سری اگر و آنگاه بیان می‌شوند و بصورت یک نگاشت از حوزه متغیرهای فازی ورودی به متغیرهای فازی خروجی عمل می‌کنند. این اگر و آنگاه می‌توانند بصورت‌های زیر بیان شوند [۳۲]:

- استفاده از قواعد عام و کلی.
- تجربه و دانش شخص خبره.
- مدل کردن عمل اپراتور.
- مدلسازی فازی فرآیند.
- خود سازمانده‌ی.

انتخاب یکی از روشهای یاد شده بستگی به وضعیت سیستم مورد مطالعه دارد که هر کدام از این روشها را بصورت مختصر توضیح می‌دهیم.

- استفاده از قواعد عام و کلی.

در این روش از یک سری قواعد کلی و جهان شمول جهت تعیین پایگاه قواعد استفاده می‌شود. به عنوان مثال جهت تعیین پایگاه قواعد کنترل کننده PI فازی می‌توان سه ابر قاعده کلی زیر را در نظر گرفت:

I- اگر خطا و تغییرات خطا صفر هستند، مقدار کنترل قبلی را حفظ کن.

II- اگر شرایط به گونه‌ای است که خطا با میزان مناسبی به سمت صفر می‌رود، مقدار کنترل قبلی را حفظ کن.

III- اگر خطا با میزان مناسبی به سمت صفر می‌رود، مقدار کنترل را متناسب با علامت و مقدار خطا و نرخ تغییرات آن در نظر بگیر.

جدول ۱-۲- پایگاه قواعد تولید شده به شکل فوق را برای یک کنترل کننده PI فازی در حالتی که خطا و نرخ تغییرات آن هر کدام به پنج زیر مجموعه فازی و خروجی به هفت زیر مجموعه فازی افزار شده است، نشان می‌دهد. همانگونه که مشاهده می‌شود جدول پایگاه قواعد شکلی متقارن و نسبتاً خطی دارد و تعیین آن بسیار ساده است. در این حالت نشان داده شده است [۵۳] که اگر توابع عضویت متغیرهای فازی، مثلثی متقارن بوده و تعداد متغیرهای زبانی ورودی و خروجی به اندازه کافی باشد کنترل کننده فازی حاصل با دقت خوبی شبیه یک کنترل کننده PI کلاسیک عمل می‌کند.

Δe e	NL	NS	Z	PS	PL
NL	PL	PL	PM	PS	Z
NS	PL	PM	PS	Z	NS
Z	PM	PS	Z	NS	NM
PS	PS	Z	NS	NM	NL
PL	Z	NS	NM	NL	NL

جدول ۱-۲- جدول قواعد فازی، برای کنترل کننده PI با توجه به ابر قواعد معرفی شده.

- تجربه و دانش شخص خبره.

این روش بر اساس تجربه و دانش شخص خبره است [۱۰] و به طور گسترده‌ای در طراحی اولین کنترل کننده فازی استفاده شده است. این روش در مواردیکه شخص خبره بتواند دانش و تجربه خود در کنترل یک فرآیند را قالب قواعد زبانی بیان کند، کارا و موثر خواهد بود. این طرز برخورد به همان شکلی است که سیستمهای خبره (مثلاً سیستم تشخیص بیماری)^۱ استفاده می‌شود. مثال معروف در زمینه بیان قواعد به این شیوه مثال زیر است:

"اگر خطا و تغییرات خطا کوچک باشد، نیروی اعمالی به سیستم بایستی کوچک باشد."

در کنار قواعد معمولی فازی به فرم بالا که توسط ممدانی و دیگران استفاده شده است قواعدی نیز توسعه یافته‌اند که هر قاعده تابعی از پارامترهای ورودی است. به عنوان مثال می‌توان اینگونه قواعد را به شکل زیر بیان نمود:

If x is A and y is B Then $Z = F(x,y)$

که در آن متغیر خروجی Z تابعی از مقادیری است که X و Y می‌توانند اخذ کنند.

موارد زیادی در کنترل فرآیند وجود دارد که در آنها مهارت بیش از تجربه مورد نیاز است. علاوه بر این حالت‌هایی وجود دارد که در آنها شخص خبره نمی‌تواند عملکرد خود را به شکل زبانی بیان کند.

- مدل کردن عمل اپراتور.

در این روش مستقیماً عملکرد شخص اپراتور با استفاده از داده‌های ورودی-خروجی به صورت فازی مدل می‌شود و قواعد کنترلی از روی آن استخراج می‌گردد. به عبارت دیگر در این روش به جای مصاحبه با اپراتور و استخراج قواعد، نوع عملکرد اپراتور در کنترل یک سیستم مدل می‌شود

^۱ -Medical Diagnosis

و قواعد از روی آن استخراج می‌گردد. سوگنو و همکارانش از این روش جهت مدل کردن عملکرد یک راننده در پارک کردن یک اتومبیل استفاده کرده‌اند.

روش فوق به هر حال، همان مشکل روش قبلی را دارد و فقط در حالتی قابل استفاده است که مطمئن باشیم که اپراتور عمل کنترل را به نحو احسن انجام می‌دهد. چرا که در روش اخیر با ساختن مدل عملکرد اپراتور، در بهترین حالت کنترل کننده شبیه اپراتور عمل می‌کند و نمی‌توان انتظار داشت که عملکرد کنترل کننده بهتر از اپراتور باشد.

• مدلسازی فازی فرآیند.

در این روش با مدل کردن فرآیند فازی سروکار دارد، در این طرز برخورد یک مدل تقریبی از فرآیند که تمام حالت‌های ممکن سیستم را در نظر می‌گیرد پیاده می‌شود. در این روش مدل توسعه پیدا کرده و کنترل کننده فازی، جهت کنترل مدل فازی طراحی می‌شود. انجام این روش شبیه روش کلاسیک طراحی کنترل کننده‌هاست و در اینجا نیز شناسایی ساختاری و شناسایی پارامترهای فرآیند مورد نیاز است. به عنوان مثال یک قاعده کلی که توسط سوگنو جهت مدلسازی فازی معرفی شده به فرم زیر است.

$$\text{If } x_1 \text{ is } A_1^i, x_2 \text{ is } A_2^i, \dots, \text{ then } y = P_0^i + P_1^i x_1 + P_2^i x_2 + \dots + P_n^i x_n : \quad i = 1, 2, \dots, m$$

که در آن m تعداد قواعد به فرم فوق می‌باشد، P_j^i نیز ضرایب ثابتی می‌باشند. سوگنو و همکارانش از این شیوه در کنترل فرآیندهای مختلفی استفاده کرده‌اند.

• خود سازماندهی.

در این روش اشاره به کار ممدانی^۱ و دانشجوی او در توسعه کنترل کننده‌های خودسازمانده است. ایده اصلی این روش توسعه قواعدی است که بتوانند در طول زمان جهت بهبود عملکرد کنترل

^۱ - Mamdani

کننده تنظیم شوند. این روش به صورت‌های مختلفی پیاده‌سازی شده و از الگوریتم‌های مختلفی جهت تصحیح قواعد هم به صورت زمان حقیقی^۱ و هم به صورت زمان غیر حقیقی^۲ استفاده گردیده است.

۳- موتور استنتاج^۳:

در این مرحله به علت همپوشانی قسمت شرط قواعد کنترل فازی معمولاً در هر لحظه از زمان بیش از یک قاعده فعال می‌شود. روش‌های رقابتی که عملکرد کنترل کننده را با توجه به قواعد مختلف آتش شده تعیین می‌کنند رفع تناقض^۴ نامیده شده و قسمتی از کنترل کننده فازی که این عمل را انجام می‌دهد، استنتاج یا واحد تصمیم‌گیری^۵ نامیده می‌شود.

موتور استنتاج را می‌توان به عنوان مغز یک کنترل کننده فازی در نظر گرفت که توانایی تقلید روش تصمیم‌گیری انسان را بر اساس مفاهیم فازی دارد. در این قسمت با استفاده از قواعد پایگاه داده‌ها و با توجه به ورودی فازی، خروجی فازی ساخته می‌شود. روش متداول تصمیم‌گیری فازی استفاده از ترکیب Sup-Star است. با استفاده از مثال زیر نحوی انجام این فرآیند را روشن می‌سازد.

Rule1: IF x is A_1 and y is B_1 then z is C_1

Rule2: IF x is A_2 and y is B_2 then z is C_2

حال اگر x_0 و y_0 را به عنوان مقادیر قرائت شده سنسورها برای متغیرهای فازی x و y داشته باشیم، مقادیر صحت (درستی) قسمت مقدم قاعده اول با $\mu_{A_1}(x_0)$ و $\mu_{B_1}(x_0)$ و مقادیر صحت

^۱ - On Line
^۲ - Off Line
^۳ - Inference Engine
^۴ - Conflict Resolution
^۵ - Decision Making

قسمت شرط قاعده دوم با $\mu_{A_2}(x_0)$ و $\mu_{B_2}(x_0)$ بیان می شود که در آن μ_{A_1} بیان کننده تابع عضویت A_1 است. بنابراین به عنوان مثال قدرت قاعده اول می تواند به شکل زیر محاسبه شود:

$$\alpha_1 = \mu_{A_1}(x_0) \wedge \mu_{B_1}(y_0) \quad (1-2)$$

که در آن $\wedge$ همان اپراتور عطف است و معادل مینیمم گیری می باشد. به طور مشابه برای قاعده دوم نیز داریم:

$$\alpha_2 = \mu_{A_2}(x_0) \wedge \mu_{B_2}(y_0) \quad (2-2)$$

خروجی قاعده اول با بکارگیری قدرت قسمت شرط روی نتیجه محاسبه می شود.

$$\mu_{c_1}(z) = \alpha_1 * \mu_{C_1}(z) \quad z \in Z \quad (3-2)$$

و مشابهاً برای قاعده دوم:

$$\mu_{c_2}(z) = \alpha_2 * \mu_{C_2}(z) \quad z \in Z \quad (4-2)$$

که در آن "*" یک نرم مثلثی است و Z حوزه تعریف مقادیری است که خروجی دو قاعده می توانند اخذ کنند. این بدان معنی است که مقادیر ورودی x_0 و y_0 مقدار خروجی قاعده اول را به صورت خروجی کنترل با تابع عضویت $\mu_{c_1}(z)$ و قاعده دوم خروجی کنترل را با تابع عضویت $\mu_{c_2}(z)$ را به صورت زیر تولید می کند:

$$\mu_C(z) = \mu_{c_1} \vee \mu_{c_2}(z) = [\alpha_1 * \mu_{C_1}(z)] \vee [\alpha_2 * \mu_{C_2}(z)] \quad (5-2)$$

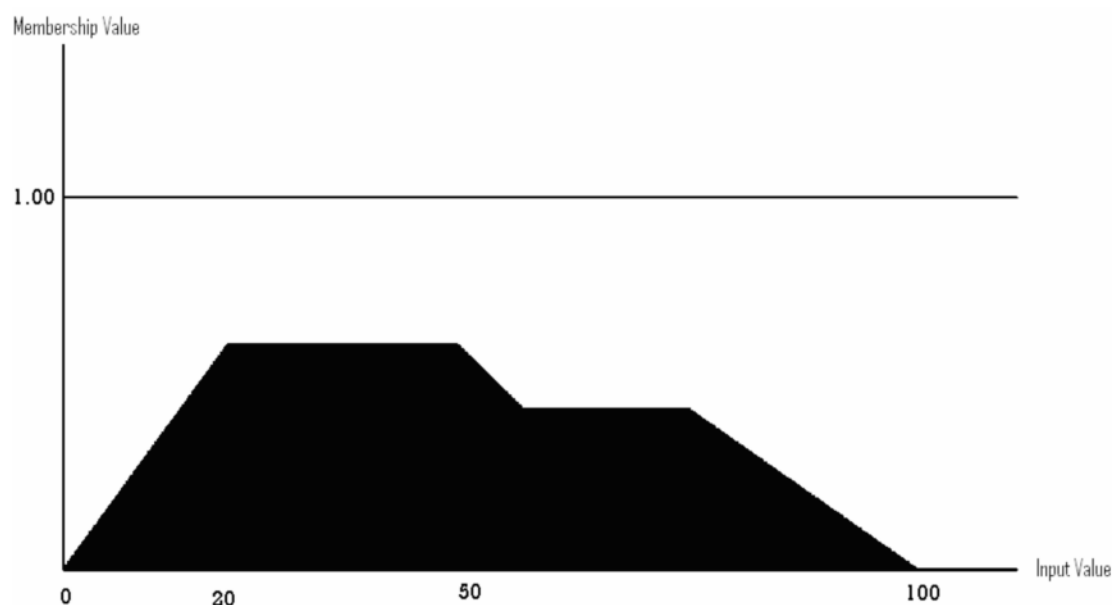
که در آن $\mu_C(z)$ تابع عضویت خروجی کنترل نظیر ترکیب دو قاعده یک و دو است. اپراتورهای $\wedge$ و $\vee$ همان عملگرهای مینیمم و ماکزیمم هستند. در اغلب کاربردهای اپراتور

"*" نیز عملگر مینیمم در نظر گرفته می‌شود. در این حالت تابع عضویت خروجی را اصطلاحاً بریده شده و در حالتی که عملگر "*" ضرب جبری در نظر گرفته شود، تابع عضویت خروجی را مقیاس شده می‌نامند. خروجی واحد تصمیم‌گیری (موتور استنتاج) یک تابع عضویت است که باید به مقدار قطعی تبدیل شود (غیر فازی ساز). نحوه انجام این عمل را در قسمت بعدی بیان می‌کنیم.

۴- غیر فازی ساز^۱:

همانگونه که در بخش قبل ذکر گردید، لازم است عملگری خروجی فازی استنتاج شده را به صورت قطعی، جهت اعمال به فرآیند، به مناسبترین شکل تولید کند. قبل از آنکه به توضیح روشهای پیاده سازی این عملگرها پرداخته شود لازم است مفاهیم و نماد مورد استفاده را تعریف کنیم. در توصیف این روشها همواره قواعد فازی به صورت کلی:

If x_1^i is A_1^i and...and x_m^i is A_m^i then y is C



شکل ۲-۳- ترکیب دو مجموعه فازی بریده شده

^۱ -Difuzzifier

در نظر گرفته می‌شوند، مگر آنکه صریحاً خلاف آن ذکر گردد. علاوه بر آن مجموعه فازی بریده شده نظیر خروجی قاعده λ_m C_i' نامیده می‌شود. در توضیحات ارائه شده ترکیب مجموعه‌های فازی بریده شده در همه حال C نامیده می‌شود. در شکل ۲-۳- مثالی از دو مجموعه فازی بریده شده نشان داده شده است. علاوه بر اینها مقدار خروجی قطعی مرحله غیر فازی ساز را z^* می‌نامند.

سطح زیر مجموعه فازی C به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\int_Z \mu_C(z) dz \quad (2-6)$$

که در آن $\int$ بیانگر عمل انتگرال‌گیری و Z فضای تعریف متغیر خروجی است. ارتفاع C_i' را همان قدرت آتش قاعده λ_m در نظر گرفته و آنر α_i می‌نامیم و مقدار قله C_i' را برابر مقداری از Z در نظر می‌گیریم که به ازاء آن مقدار تابع عضویت C_i بیشترین مقدار را داشته باشد و آنرا $z^{(i)}$ می‌نامند. به عنوان مثال اگر C_i تابع عضویت مثلثی داشته باشد آنگاه $z^{(i)}$ (قله C_i') مقداری از Z است که در آن مقدار، تابع عضویت C_i برابر یک شود و اگر C_i دوزنقه‌ای شکل باشد آنگاه مقدار قله میانگین نقاطی است که بیشترین تابع عضویت را دارند. حال روش‌های عمده غیر فازی ساز را معرفی می‌کنیم.

I- روش مرکز سطح^۲ یا مرکز ثقل^۳:

روش مرکز سطح در ادبیات فازی از آن به عنوان مرکز ثقل هم تعبیر شده است، بهترین روش غیر فازی ساز شناخته شده است. در حالتی که فضای تعریف گسسته باشد ($Z = \{z_1, z_2, \dots, z_n\}$) نحوه انجام این روش بصورت

^۱ -peak
^۲ - Center of Area
^۳ - Center Of Gravity

$$Z^* = \frac{\sum_{i=1}^1 z_i \mu_c(z_i)}{\sum_{i=1}^1 \mu_c(z_i)} = \frac{\sum_{i=1}^1 z_i \cdot \max_k \mu_{c_k}(z_i)}{\sum_{i=1}^1 \max_k \mu_{c_k}(z_i)} \quad (7-2)$$

و در حالت فضای تعریف پیوسته، بصورت

$$Z^* = \frac{\int_z z \cdot \mu_c(z) dz}{\int_z \mu_c(z) dz} = \frac{\int_z z \cdot \max_k \mu_{c_k}(z) dz}{\int_z \max_k \mu_{c_k}(z) dz} \quad (8-2)$$

می باشد. نتیجتاً این روش مرکز توابع عضویت ترکیب شده را نشان می دهد. در این روش تمام سطح C محاسبه می شود. بنابراین اگر سطح دو مجموعه بریده شده (مقیاس شده) فازی همپوشانی داشته باشد، این همپوشانی در C تاثیری نداشته و نتیجتاً در رابطه فوق منعکس نمی شود. در این روش غیر فازی ساز از لحاظ محاسباتی پیچیده است و بنابراین سرعت کنترل کننده را کم می کند.

II- روش میانگین مراکز^۱:

از آنجایی که مجموعه فازی C، اجتماع یا اشتراک n مجموعه فازی می باشد، یک تقریب خوب از رابطه (۸-۲) میانگین وزنی مراکز n مجموعه فازی با وزنهایی برابر با ارتفاع مجموعه های فازی متناظر می باشد. بطور مشخص، فرض کنید $\bar{z}^i$ ، مرکز مجموعه فازی λ^i ام و w_i درجه ارتفاع آن باشد، غیر فازی ساز میانگین مراکز Z^* بصورت زیر بدست می آید:

$$Z^* = \frac{\sum_{i=1}^n \bar{z}^i w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (9-2)$$

^۱ - Center Average

این روش متداولترین غیر فازی ساز مورد استفاده در سیستم های فازی و کنترل فازی می باشد. از لحاظ محاسباتی ساده بوده ضمن اینکه شهودی توجیه پذیر می باشد. همچنین تغییرات کوچک در $\bar{z}^i$ و w_i تغییرات کوچکی را در z^* نتیجه می دهد.

III- روش ارتفاع^۱:

روش غیر فازی ساز ارتفاع، روشی است که به جای استفاده از C، از خروجی های کنترل مجزای بریده شده یا مقیاس شده استفاده می کند. این روش مقدار قله هر C_k^i را در نظر می گیرد و سپس مجموع وزن دار این قله ها را با در نظر گرفتن ارتفاع α_k به عنوان وزن، محاسبه می کند. بنابراین محدوده هر تابع عضویت و شکل آن در محاسبه Z نقشی ندارد.

این روش ساده و بسیار سریع است و در حالت هایی که سرعت زیاد مورد نظر باشد از آن استفاده می شود. برای سیستمی با n قاعده، نحوه محاسبه خروجی قطعی با استفاده از این روش به صورت زیر است:

$$Z^* = \frac{\sum_{k=1}^n \alpha_n \cdot z^{(k)}}{\sum_{k=1}^n \alpha_n} \quad (10-2)$$

IV- روش مرکز بزرگترین سطح^۲:

وقتی که مجموعه فازی خروجی C محدب نبوده یعنی حداقل شامل دو زیر مجموعه فازی محدب باشد، می توان از روش مرکز بزرگترین سطح استفاده نمود. در این شیوه، زیر مجموعه محدب فازی با بیشترین سطح مشخص شده و مقدار قطعی Z^* به عنوان مرکز سطح این زیر مجموعه فازی

^۱ - Height

^۲ - Center of Largest Area

تعریف می‌شود. بیان این روش به صورت ریاضی مشکل است چرا که در این روش باید ابتداء زیر مجموعه‌های فازی محدب مشخص شوند و سپس سطح زیر هر کدام از آنها تعیین شود. هنگامی که C همگرا باشد، روش مرکز بزرگترین سطح به همان روش مرکز ثقل تبدیل می‌شود.

۷- روش اولین ماکزیمم^۱:

روش اولین ماکزیمم از C استفاده نموده و کوچکترین مقدار Z که بیشترین مقدار عضویت در C را داشته باشد انتخاب می‌کند. این روش در سه مرحله تحقق پیدا می‌کند. ابتداء بیشترین درجه عضویت در C محاسبه می‌شود.

$$hgt(Z) = \max_{z \in Z} \mu_c(z) \quad (۱۱-۲)$$

سپس مجموعه‌ای از اعضاء با درجه عضویت $hgt(Z)$ تشکیل می‌گردد.

$$\{z \in Z / \mu_c(z) = hgt(Z)\} \quad (۱۲-۲)$$

و در نهایتاً Z^* به شکل زیر محاسبه می‌شود.

$$z^* = \inf_{x \in Z} \{z \in Z / \mu_c(z) = hgt(Z)\} \quad (۱۳-۲)$$

طریق دیگر این روش آخرین ماکزیمم نامیده می‌شود. در این روش Z^* به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$z^* = \sup_{z \in Z} \{z \in Z / \mu_c(z) = hgt(Z)\} \quad (۱۴-۲)$$

^۱ - Fist of Maxima

VI - روش متوسط ماکزیمم^۱:

روش متوسط ماکزیمم شبیه روش اولین یا آخرین ماکزیمم است. در این روش بجای محاسبه Z^* به عنوان اولین یا آخرین مقدار Z که بیشترین تابع عضویت در C را دارد، متوسط دو مقدار فوق را در نظر می‌گیریم. بنابراین:

$$Z^* = \frac{\inf_{z \in Z} \{z \in Z / \mu_c(z) = hzg(z)\} + \sup_{z \in Z} \{z \in Z / \mu_c(z) = hgt(Z)\}}{2} \quad (۱۵-۲)$$

در برخی از سیستم‌ها بعد از محاسبه مقدار فوق بررسی می‌شود که آیا این مقدار خود دارای بیشترین درجه عضویت به C هست یا خیر. در صورتیکه جواب منفی باشد الگوریتم به دنبال بسته-ترین ناحیه با ماکزیمم تابع عضویت می‌گردد و سپس مقدار خروجی محاسبه می‌شود. روش اخیر، روش پیچیده و مبهمی است و پیاده سازی آن مشکل و وقت گیر است.

جدول ۲-۲- غیر فازی سازها را بر اساس پیوستگی، سادگی محاسبات و توجیه پذیری مقایسه می‌کند. از جدول ۲-۲- مشاهده می‌کنیم که غیر فازی ساز میانگین مراکز و ارتفاع در این بین، بهترین می‌باشد.

پس از دانستن مراحل طراحی کنترل کننده فازی، عمده‌ترین مسئله در طراحی‌ها در تمام مجموعه-ها تنظیم کردن پارامترهای باشد [۲۸] یکی از موثرترین راه‌ها برای رسیدن به مناسب ترین پارامترها در کنترل کننده‌های فازی تمرین و ممارست می‌باشد. برای تنظیم پارامترها بصورت تمرین و ممارست مطالب زیر را می‌بایست در نظر گرفت [۲۷]:

الف- انتخاب ساختمان ورودی‌ها و خروجی‌ها در کنترل.

ب- ضرایب مقیاس بندی شده در ورودی و خروجی.

ج- توابع عضویت ورودی و خروجی.

د- قوانین.

^۱ -Middle of Maxima

بنابراین با مطالب گفته شده در این بخش، با توجه به رفتار سیستم می‌توانیم کنترل کننده فازی طراحی کنیم که سیستم به مقدار مطلوبی که نیاز است برسد.

مرکز ثقل	میانگین مراکز	متوسط ماکزیمم	اولین ماکزیمم	مرکز بزرگ سطح	ارتفاع
پیوستگی	بله	بله	خیر	خیر	بله
سادگی محاسبات	خیر	بله	بله	خیر	بله
توجیه پذیری	بله	بله	خیر	بله	بله

جدول ۲-۲- مقایسه غیر فازی سازها از نظر پیوستگی، سادگی محاسبات و توجیه پذیری

۳-۲- مزایای کنترل کننده فازی

منطق فازی در طراحی کنترل کننده‌ها دارای مزایایی از قبیل عدم نیاز به مدل ریاضی بسیار دقیق از سیستم می‌باشد به عبارت دیگر استفاده از متغیرهای فازی در مقابل متغیرهای صریح^۱ این امکان را به ما می‌دهد تا بتوانیم رفتار سیستم را در محدوده وسیعی از تغییرات پارامترهای آن مد نظر داشته باشیم و کنترل کننده‌ای که برای این سیستم طراحی می‌کنیم در این محدوده تغییرات، پایدار و مقاوم^۲ باشد. این دو خصوصیت از مهم‌ترین مزیت‌های کنترل کننده فازی است و برای رسیدن به این خصوصیت، موارد زیر را در نظر می‌گیریم:

الف- تنظیم کردن پارامترهای کنترل کننده فازی.

ب- کاربرد خواص ساختمان سیستم‌های کنترل کننده فازی، اول از همه پایگاه دانش می‌باشد.

برای طراحی کنترل کننده فازی که بتوان رفتار سیستم را اصلاح کند، اگرچه ما لزوماً نیازی به مدل دقیق از سیستم نداریم ولی این بدین معنا نیست که ما اصلاً به مدلی از سیستم نیاز نداریم به عبارت دیگر ما می‌توانیم رفتار یا دینامیک یک سیستم را به طریقی غیر از معادلات دیفرانسیل مثلاً بصورت جدولی از ورودی، خروجی و یا بصورت قوانین اگر و آنگاه که می‌توانند توسط اپراتور یا شخص خبره استخراج شونده بیان کنیم. استفاده از منطق فازی بخصوص در مورد سیستم‌هایی که متغیرهای خروجی یا ورودی آن‌ها به گونه‌ای حس یا تجربه می‌شوند و یا ما بطور منطقی احساسی که از دینامیکی درونی آنها داریم و می‌توانیم با استفاده از این احساس به تدوین قوانین فازی بپردازیم، ارجحیت دارند از قبیل سیستم کنترل ترافیک، کنترل سرعت اتومبیل با جعبه دنده، کنترل پارکینگ اتومبیل، کنترل آونگ بازگشتی و غیره. از مزیت کنترل کننده فازی است.

^۱ -Crisp
^۲ -Robust

اضافه بر پایداری و مقاوم بودن در برابر خطاهای مدل سازی، کنترل کننده‌های فازی دارای قابلیت بسیار خوبی در سهولت پیاده‌سازی در یک میکروکنترلر را داراست، در واقع قوانین فازی با سهولت زیاد می‌توانند در حافظه میکروپروسسور جای گیرند.

این قابلیت عمدتاً ناشی از خصیصه غیر خطی این کنترل کننده‌ها و عدم نیاز این کنترل کننده‌ها در استفاده از مشتقات مرتبه بالا ورودی و خروجی‌هایشان و عدم نیاز به حافظه زیاد ناشی می‌شود. بعنوان مثال در طراحی یک کنترل کننده مقاوم؛ حداقل نیاز به کنترل کننده از درجه n داریم ($n =$ درجه سیستم) که برای $n > 3$ ، مشکل می‌توان آن را در یک میکروپروسسور پیاده کرد.

قابلیت مهم دیگر کنترل کننده‌های فازی در سهولت بکارگیری آنها در سیستم‌های غیر خطی است. این سیستم‌ها عموماً دارای رنج وسیعی از تغییرات متغیرهای حالت خود هستند و در صورتیکه درجه غیر خطی بودن متغیری از سیستم زیاد باشد به عنوان مثال یک عبارت X^5 در معادلات ظاهر شود، روشهای خطی سازی عمدتاً دچار اشکال خواهند شد و در نتیجه استفاده از روش‌های متعارف طراحی کنترل کننده ساده نخواهد بود.

مزیت دیگر استفاده از کنترل کننده‌های فازی عدم وابستگی شدید تحقق کنترل کننده یا امکان طراحی یک کنترل کننده به مفاهیم کنترل پذیری و رویت پذیری می‌باشد. در بسیاری از سیستم‌ها به دلیل بالا بودن تعداد متغیرهای حالت و بدلیل وسعت مقیاس این متغیرها امکان منفرد شدن^۱ ماتریسهای دینامیک سیستم وجود دارد و یا حالتی بوجود می‌آید که در آن سیستم به مفهوم ریاضی پایدار شدنی و تشخیص دادنی می‌باشد ولی به لحاظ عددی و محاسباتی تعدادی از مدهای سیستم از دسترس و تشخیص ما بدور هستند، در چنین حالتی در طراحی کنترل کننده‌های معمولی از روشهای تقلیل درجه سیستم استفاده می‌شود و در صورت عدم امکان تقلیل درجه، طراحی کنترل کننده تقریباً ممکن نخواهد بود.

^۱ - Singularity

از مزایای دیگر کنترل کننده‌های فازی می‌توان مقروم به صرفه بودن آن از لحاظ اقتصادی، قابلیت اطمینان بالا، قابلیت تنظیم شدن بالای این کنترل کننده‌ها و غیره نام برد.

پس نهایتاً ما در طراحی کنترل کننده فازی فقط نیاز به امکان پایدار شدن، مقاوم بودن و تشخیص حالتها بعنوان ضرورت بنیادین طراحی یک کنترل کننده فازی هستیم و مشکلات عددی تاثیری در امکان تحقق یا عدم تحقق طراحی کنترل کننده فازی نخواهد داشت.

۴-۲- کاربرد کنترل کننده فازی

دستیابی به دانش بدون ابهام، سالهای متمادی انسان را دچار چالش ساخته است. از هنگامی که ارسطو منطق دو ارزشی را معرفی کرده، تاکنون بشر توانسته است با کمک و استفاده از آن به موفقیت‌های چشمگیری دست یابد. فناوری رشد کرده و روز به روز کارآمد تر شده است.

در منطق ارسطو یا A داریم یا نقیض A ، در مقابل، در منطق فازی A و نقیض A داریم. منطق ارسطو ریاضیات کلاسیک را تشکیل می دهد و هر گزاره یا سیاه است یا سفید اما در منطق فازی گزاره خاکستری نیز وجود دارد.

در اوایل قرن بیستم، دانشمندان به این نتیجه رسیدند که ساختارهای سنتی علوم، پاسخگوی پدیده های کشف شده نیست. مشکلاتی که برای قوانین نیوتن در اندازه های مولکولی به وجود آمده بود، باعث شد نظر تمام دانشمندان و پژوهشگران به سمت پدیده های تصادفی جلب شود و همین امر منجر به رشد علم آمار و احتمالات شد. پدیده های احتمالات عباراتی بودند که به شدت در تمام شاخه های علوم به خصوص آنجا که سیستم ها پیچیده می شدند و یا تعداد مشاهدات افزایش می یافت، دیده می شد. اما آنچه احتمالات به دنبال آن بود، با ماهیت ابهامی که در سیستم ها وجود داشت، تفاوت‌های زیادی می کرد. با آنکه پدیده‌های تصادفی نمود یافته بودند، هنوز هم دانشمندان معتقد بودند که تنها راه افزایش کارایی سیستم ها، افزایش دقت است.

منطق فازی در ابتدا به عنوان روشی برای پردازش اطلاعات معرفی شد که عضوهای یک مجموعه علاوه بر دو حالت قطعی عضو بودن و نبودن حالت بین این دو را نیز تعریف می کردند. فازی به جای پرداختن به صفر و یک، از صفر تا یک را مورد بررسی و تحلیل قرار می دهد. به بیان دیگر مجموعه ای که در منطق ارسطویی دارای دو عضو صفر و یک است در منطق فازی به مجموعه‌ای با بی نهایت عضو که دارای مقادیری از صفر تا یک هستند تبدیل می شود و بدین صورت منطق فازی به اعمال و طرز فکر آدمیان بیشتر نزدیک می شود.

منطق فازی، حلال مسائل است و قابلیت این را دارد که هم در سیستم های میکروکنترلرهای کوچک و ساده و هم در کامپیوترهای چند کاناله، شبکه عظیم و یا در سیستم های کنترلی پیاده شود. منطق فازی نیز در نرم افزار، سخت افزار و یا ترکیبی از آن دو می تواند کاربرد داشته باشد. منطق فازی روشی آسان برای رسیدن به نتایج معین بر پایه اطلاعات ورودی مبهم و غیر دقیق است. روش این منطق برای کنترل سیستم ها چگونگی تصمیم گیری یک انسان را تقلید می کند اما بسیار سریعتر و دقیق تر. مدل منطق فازی بر پایه و اساس تجربه بوده و بر تجربه کاربر تا فهمیدن تکنیکی سیستم تکیه دارد. به عنوان مثال فرض می شود فردی در اتاق خود مشغول مطالعه است و از آنجا که هوا گرم بوده، پنجره را کاملاً گشوده است. اگر بعد از نیم ساعت آن شخص اندکی احساس سرما نماید، چه خواهد کرد؟ در حالت طبیعی، «بلافاصله پنجره را کاملاً» خواهد بست یا «اندک اندک و به مرور زمان» آن را خواهد بست و بعد از رسیدن به دمای مطلوب آن را (در حالت نیمه باز و یا کاملاً بسته) رها خواهد کرد. فرض دوم محتمل تر است اما منطق دو ارزشی فقط یک پنجره را کاملاً باز می بیند یا کاملاً بسته.

منطق فازی تاکنون در شاخه های مختلف علوم به کار رفته است، اما شاید مهم ترین کاربردهای آن را در سیستم های کنترلی بیابیم. از آنجایی که کنترل منطق فازی در ژاپن رشد فراوانی داشته است، شاید بتوان ژاپن را منشا کاربرد فازی در صنعت دانست. سوگوو تحقیقات فراوانی برای کنترل کننده های فازی انجام داده است. او برای اولین بار کنترل کننده فازی را با حدود ۱۰۰ قانون برای کنترل یک بالگرد در شرایط خطر ارائه داد. این مسئله قابل حل با روشهای کنترلی سابق نبوده و انسان هم برای کنترل بالگردها در این شرایط با مشکل مواجه بوده است. بنابراین، این مسئله یکی از مهم ترین دستاوردهای منطق فازی است.

منطق فازی به عنوان روشی سودمند برای گروه بندی و کاربرد اطلاعات شناخته شده است و همین گونه ثابت شده است که این منطق تا زمانی که از منطق کنترلی موجود بشری تقلید کند،

گزینه ای عالی برای کاربرد در بسیاری از سیستم های کنترلی خواهد بود. منطق فازی می تواند در کامپیوترهای دستی کوچک تا سیستم های عظیم به کار رود. منطق فازی از یک برنامه غیر دقیق بسیار توصیفی استفاده می کند تا با اطلاعات ورودی بیشتر، شبیه یک کاربر انسان رفتار کند و همچنان پس از خطای کاربر به کار خود در پردازش اطلاعات ورودی و خروجی پردازد و معمولاً در آغاز با اندک تنظیمی و یا حتی بدون نیاز به این امر شروع به کار می کند. منطق فازی نیازی به ورودیهای دقیق ندارد و به طور ماندگار به کارش ادامه می دهد و می تواند هر تعداد معقولی از ورودیها را پردازش کند. اما پیچیدگی سیستم با ورودیها و خروجیهای بیشتر به سرعت افزایش می یابد و پردازشگرهای توزیع شده باعث آسان شدن عملیات می شوند.

امروزه کاربرد سیستم های فازی در علوم و فنون و فرآیند صنعتی بسیار زیاد بوده که در علوم و فنون می توان درساخت مدارهای مجتمع، سیستم پزشکی، سیستم خبره، بازرگانی و غیره نام برد. در صنعت می توان در کوره های سیمانی، ماشین های شستشو، قطارهای زیر زمینی، زیر دریائی و غیره نام برد. اما از مهم ترین کاربردهای کنترل کننده فازی حل مسائل و مشکلات کنترلی که زمانی سیستمی با عدم قطعیت شدید در معادلات دینامیکی مواجه است و یا سیستم دارای معادله دینامیکی غیر خطی شدید روبه رو است که شیوه های مرسوم کنترل غیر خطی بسیار پیچیده می - شود استفاده از کنترل فازی گزینه ای مناسب می باشد.

۲-۵- بحث و نتیجه‌گیری

در این فصل با ارائه مقدمه‌ای در مورد واژه فازی، مختصراً به تاریخچه کنترل کننده فازی پرداختیم و سپس مراحل طراحی، مزایا و کاربردهای کنترل کننده فازی را بیان کردیم.

با توجه به مطالب گفته شده در این فصل که کنترل کننده‌های فازی توانایی کنترل سیستم‌های پیچیده و غیر خطی را دارند و طراحی یک کنترل کننده فازی بسیار ساده، نیاز به مدل سیستم ندارد، مقروم به صرفه بودن آن از لحاظ اقتصادی، قابلیت اطمینان بالا و از همه مهم‌تر تضمین در پایداری و مقاوم بودن سیستم را می‌کند ما را بر آن داشت تا فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی را با کنترل فازی، کنترل کنیم تا گامی باشد در جهت پیشرفت صنعت در کشور عزیزمان.

فصل سوم

۳- مدل سازی فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی

در این فصل ابتدا معرفی فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ مختصر بیان می کنیم. سپس با مرور کلی بر سیستم، مدل ریاضی فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی، پارامترهای سیستم، تاثیر ورودی ها بر خروجی ها بررسی می شود. [۲۵]

۳-۱- معرفی فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ

جوشکاری قوس الکتریکی به صورت خودکار و یا دستی انجام می شود. این فرآیند خود شامل دو زیر مجموعه می شود. جوشکاری قوس الکتریکی با گاز خنثی که از گازهای آرگون و هلیوم استفاده می کند و جوشکاری با قوس الکتریکی با گاز فعال که از گاز دی اکسید کربن استفاده می کند.

در شکل ۳-۱- می توان نمای کلی از یک سیستم جوشکاری قوس الکتریکی به همراه تجهیزات مورد نیازش را مشاهده کرد که به ترتیب شامل: انبر جوش^۱، قطعه کار^۲، منبع تغذیه جوشکاری و سیستم کنترل^۳، سیستم تغذیه سیم الکتروود^۴، سیم الکتروود^۵ و گاز محافظ^۶ می باشند. در این فرآیند از الکتروود مصرفی استفاده می شود و قوس الکتریکی بین این الکتروود، که معمولاً به

^۱ -Pistol or Torch or Gun

^۲ -Workpiece

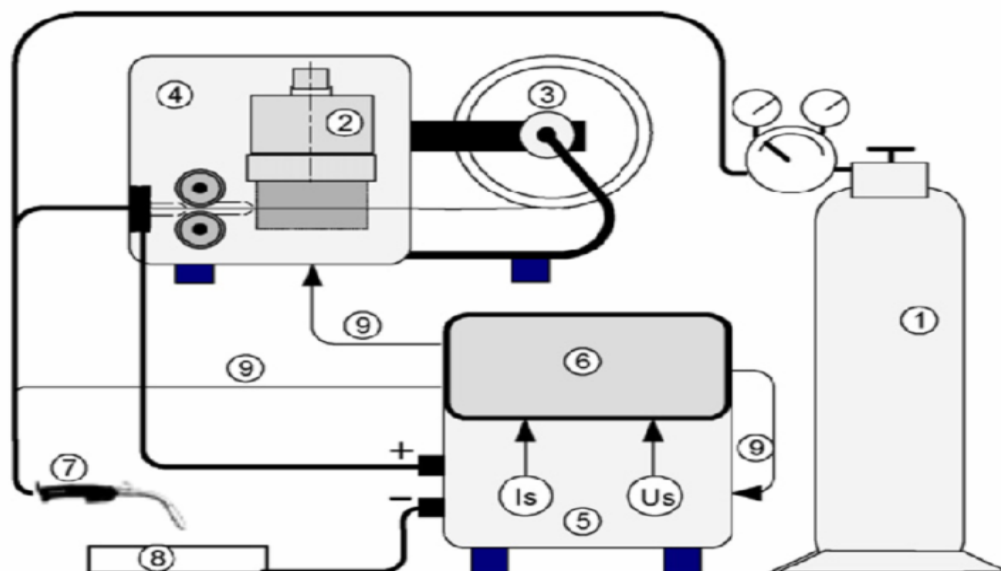
^۳ -Power Supply

^۴ -Wire Feed System

^۵ -Electrode Wire

^۶ - Shielding Gas

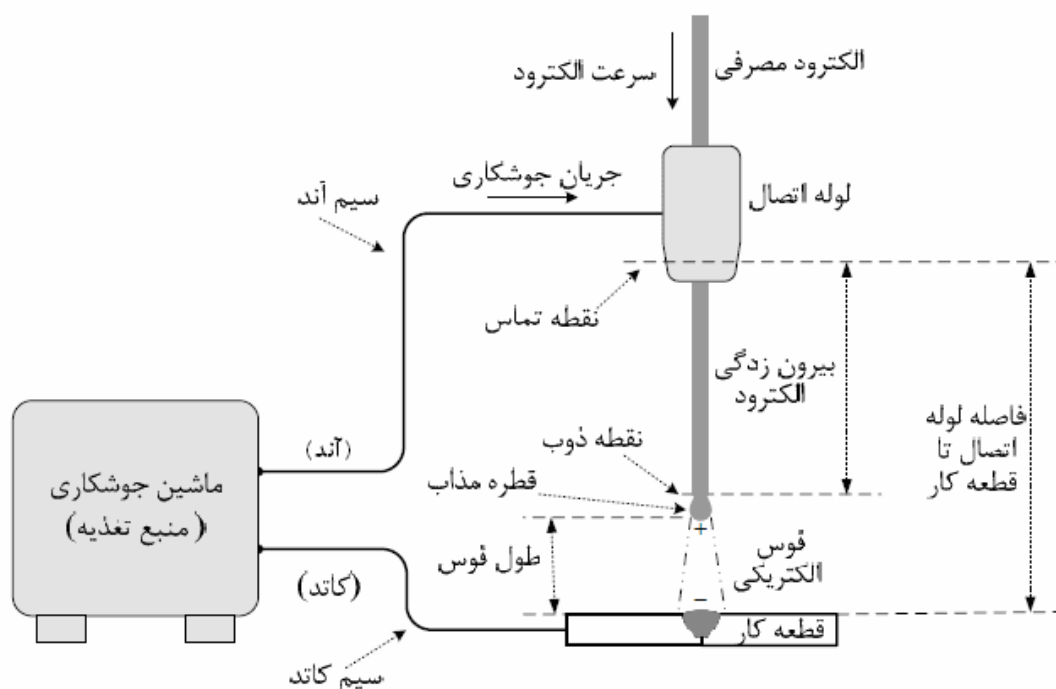
سیم آند (سر مثبت تغذیه) وصل می شود، و قطعه کار که به سیم کاتد (سر منفی یا زمین منبع تغذیه) وصل می شود، برقرار می شود. انرژی تولید شده در قوس الکتریکی منجر به ذوب الکتروود، شکل گیری قطره مذاب و جدا شدن آن از الکتروود می شود و همزمان الکتروود جدید توسط سیستم تغذیه الکتروود جایگزین می شود. این فرآیند توسط گاز محافظ از تأثیرات هوای اطراف محافظت می شود که معمولاً از گازهای خنثی مانند آرگون و یا مخلوطی از آرگون و دی اکسید کربن استفاده می شود. توضیحات بیشتر در مورد تجهیزات جوشکاری و چگونه فعال شدن گازهای محافظ در اطراف قطعه کار را می توان در پیوست (الف) مشاهده کرد.



شکل ۳-۱- شمای کلی از یک سیستم نوعی جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ [۳۳]. (۱) مخزن گاز محافظ، (۲) موتور DC و جعبه دنده برای حرکت سیم الکتروود به سمت قطعه کار، (۳) توپ الکتروود جوشکاری، (۴) واحد تغذیه الکتروود، (۵) منبع توان جوشکاری، (۶) واحد کنترل، (۷) انبر جوشکاری، (۸) قطعه کار، (۹) کابل های انتقال دهنده سیگنال های کنترلی.

علت استفاده از گازهای محافظ در این نوع از جوشکاری جلوگیری از اکسید شدن روی سطح جوش، زمانیکه اکسیژن و نیتروژن موجود در هوای اطراف با حوضچه جوش واکنش نشان می‌دهد که یکی از عوامل اصلی کاهش کیفیت جوش به حساب می‌آید و به "سرباره" معروف است. به عبارت دیگر گازهای محافظ مانند سدی در برابر نفوذ هوای اطراف به حوضچه جوش عمل می‌کنند.

در شکل ۳-۲- نمایشی از یک فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی با جزئیات بیشتر ارائه شده است که شامل مدار الکتریکی نیز می‌شود. سیم الکترود در داخل انبر جوش از طریق لوله اتصال^۱ به سیم‌آند متصل می‌شود و جریان الکتریکی را به سمت قوس هدایت می‌کند. جریان گاز محافظ هم از همان مسیر در امتداد سیم‌آند به حوضچه جوش تزریق می‌شود.



شکل ۳-۲- مدار الکتریکی در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی

¹ Contact Tube

در این پایان نامه جوشکاری بصورت دستی مد نظر است به همین منظور فرد جوشکار برای رسیدن به کیفیت جوش خوب می‌بایست پارامترهای ماشین جوشکاری که اغلب سرعت تغذیه سیم و ولتاژ ترمینال می‌باشد را تنظیم کند. اگر چه ثابت نگه داشتن عوامل دیگری از قبیل فاصله لوله اتصال تا قطعه کار و سرعت حرکت انبر جوش در امتداد شکاف در کیفیت جوش بسیار مهم است ولی این کار برای فرد جوشکار بسیار سخت است که در طول انجام عملیات جوشکاری بتوان فاصله لوله اتصال تا قطعه کار و سرعت حرکت انبر جوش در امتداد شکاف را ثابت نگه دارد ولی اعمال کنترل بر روی پارامترهای ماشین جوشکاری در جوشکاری دستی لازم به ذکر می‌رسد که در بخش ۳-۳ بطور مختصر بررسی می‌شود.

۳-۲- منابع تغذیه جوشکاری قوس الکتریکی

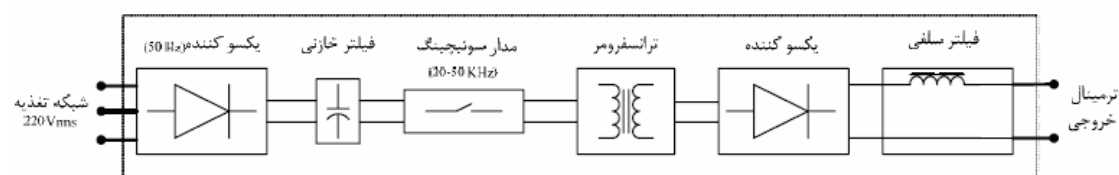
هر منبع تغذیه به دو کمیت وابسته است. یکی ولتاژ و دیگری قابلیت جریان دهی (حداکثر جریان مجاز) می‌باشد که بستگی به مقاومت داخلی اش دارد پس قدرت کلی منبع تغذیه به این دو کمیت وابسته است .

در سیستم های جوشکاری قوس الکتریکی معمولاً از منابع تغذیه ولتاژ ثابت در اکثر کاربردها استفاده می کنند. در نتیجه هرگونه تغییری در طول قوس، منجر به تغییرات زیادی در گرمای ورودی خواهد شد.

منابع تغذیه جریان متناوب به ندرت در جوشکاری قوس الکتریکی استفاده می شود، در عوض جریان مستقیم بیشتر به کاربرده می شود و الکتروود معمولاً به قطب مثبت منبع وصل است چرا که قطب مثبت تمایل به جذب گرمای بیشتری دارد.

۳-۲-۱- عملکرد منابع تغذیه در جوشکاری قوس الکتریکی

منابع تغذیه ولتاژ ثابت در طول قوس های کوچکتر گرمای ورودی بیشتر تولید می کنند که باعث خواهد شد تا الکتروود بسیار سریع تر ذوب شود و در نتیجه طول قوس آغازین حفظ می شود. این عملکرد به کاربر کمک می کند تا طول قوس را پایدار و ثابت نگه دارد، برای رسیدن به تاثیرات کمتر ناشی از تغییرات طول قوس، بعضی اوقات از یک منبع تغذیه جریان ثابت در ترکیب با یک واحد تغذیه الکتروود کنترل شده با ولتاژ قوس استفاده می کنند. در این حالت، تغییری در طول قوس منجر به تنظیم سرعت تغذیه الکتروود به گونه ای می شود تا یک طول قوس نسبتاً ثابت را برقرار کند. منابع تغذیه جریان مستقیم باعث ایجاد ذوب سریعتر الکتروود می شود که نفوذ جوش و سرعت جوش را افزایش می دهد. قطب های اتصال می تواند معکوس شود البته فقط زمانی که الکتروود های روکشدار تابنده خاص به کار برده شوند که این نوع الکتروود ها کمتر مورد استفاده قرار می گیرند. ماشین های جوشکاری قدیمی بر مبنای تکنولوژی ترانسفورمری استوار بودند به گونه ای که ولتاژ بالا و جریان پایین به ولتاژ پایین و جریان بالای مورد نیاز جوشکاری تبدیل می شود. در نهایت می توان بیان کرد وظیفه منبع توان در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی تأمین ولتاژ توان دار شده و جریان مورد نیاز جوشکاری می باشد.



شکل ۳-۳- عملکرد منبع تغذیه در ماشین جوشکاری قوس الکتریکی

در این منابع تغذیه امروزی از سیستم اینورتر^۱ استفاده می‌شود که شکل ۳-۳- تکنولوژی مبدل های DC به DC را بر مبنای اینورتر نشان می‌دهد. در اینجا لازم است مقداری در مورد اینورتر توضیحاتی داده شود.

اینورترها، مبدلهایی هستند که ولتاژ DC را به ولتاژ AC تبدیل می‌کنند، ولتاژ AC خروجی، می‌تواند با فرکانس ثابت یا متغیر دارای دامنه ثابت یا متغیر باشد.

اینورترها دارای کاربردهای وسیعی در منابع تغذیه بدون وقفه (UPS)، فیلترهای اکتیو، کوره-های القایی، محرکه‌های الکتریکی و جاهایی که دسترسی مستقیم به برق شهر نیست (هواپیما، موشک و...) می‌باشند.

یک اینورتر به طور کلی شامل دو قسمت قدرت و کنترل می‌باشد. وظیفه قسمت قدرت انتقال توان و تبدیل آن از حالت DC به AC می‌باشد و شامل کلیدهای ولتاژ DC ورودی و فیلترها می‌باشد. قسمت کنترلی شامل فیدبک‌ها، ولتاژ مرجع و مدار مدولاسیون PWM^۱ می‌باشد.

نقش PWM در اینورتر تغییرات دامنه یک سیگنال به تغییرات پهنای یک پالس مربعی می‌باشد. پالس‌های ایجاد شده توسط این نوع از مدولاسیون جهت کنترل میزان توان انتقالی به یک بار یا تغییرات میزان سوئیچ مورد استفاده قرار می‌گیرد.

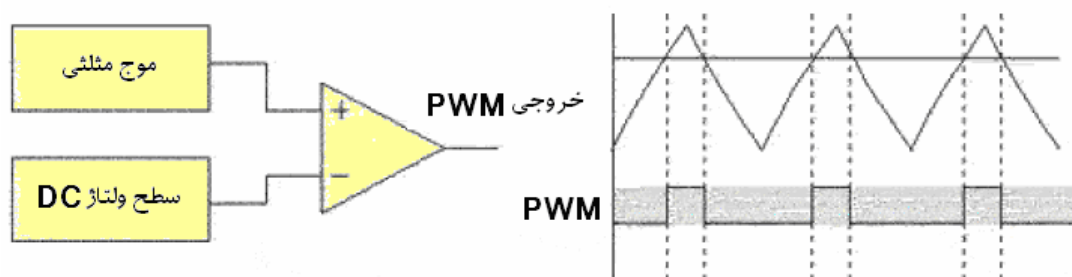
^۱ Inverter based DC to DC converters

^۱ Pulse Width Modulation

سیگنالهای PWM را بر حسب کاربردهایی که دارند می‌توان به چند روش تولید کرد که عبارتند از:

- روش آنالوگ.
- روش دیجیتال.
- استفاده از IC بخصوص.
- استفاده از میکروکنترلرها.

در این پایان نامه برای تولید سیگنال PWM به روش آنالوگ استفاده می‌شود که از مقایسه دو سیگنال PWM مورد نظر بدست می‌آید. نمونه‌ای از این روش را در شکل ۳-۴ آورده شده است در این حالت یک موج مثلثی با یک سطح ولتاژ DC (خروجی کنترلر) مقایسه شده و در خروجی مقایسه کننده PWM مورد نظر بدست می‌آید. مشخص است که با تغییر سطح ولتاژ DC پهنای پالس خروجی نیز تغییر می‌کند. در این روش نباید سطح سیگنال DC از دامنه موج مثلثی (موج حامل) بیشتر شود در غیر این صورت PWM اشباع شده خواهیم داشت.



شکل ۳-۴- تولید سیگنال PWM به روش آنالوگ

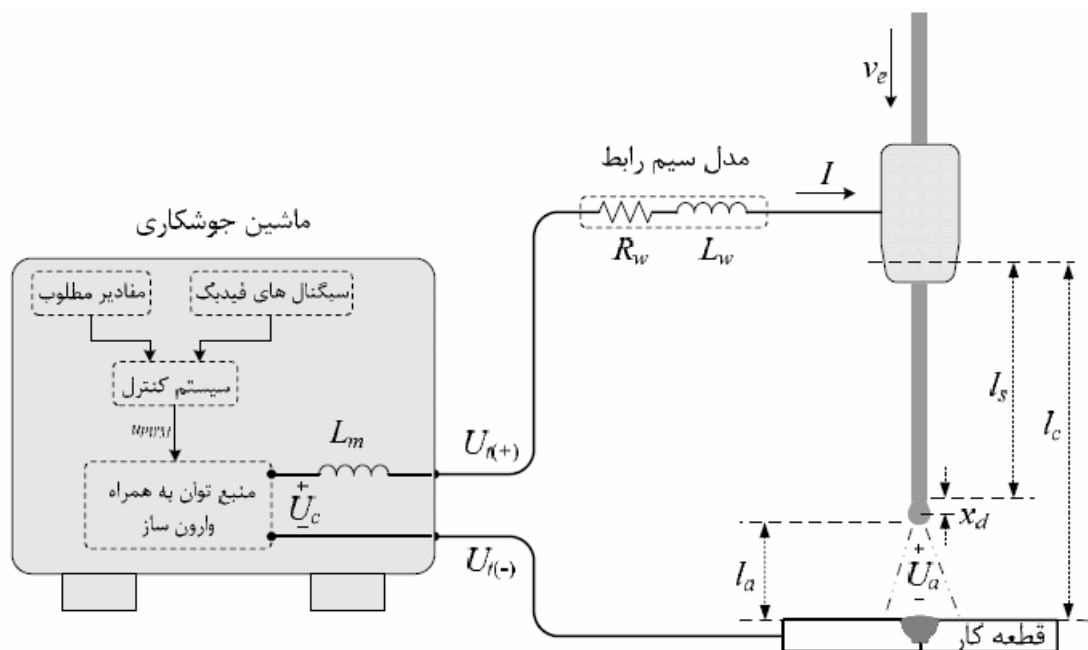
در شکل ۳-۳- همانگونه که مشخص است منبع تغذیه سه فاز از طریق شبکه تغذیه به سیستم وصل می شود و بعد از عبور از یکسو کننده ولتاژی به سمت فیلتر پایین گذر داده می شود وظیفه این فیلتر پایین گذر صاف کردن این ولتاژ تولیدی می باشد. این ولتاژ مستقیم توسط مدارات سوئیچینگ که اینورتر هم جزئی از آن است، به ولتاژ متناوب با دوره وظیفه^۱ متغیر توسط نرم افزار کنترلی ماشین جوشکاری تبدیل می شود. بعد از آن این ولتاژ توسط ترانسفرمر به ولتاژ پایین تر کاهش می یابد به دلیل این که یک ایزولاسیون گالوانیک بین ماشین جوشکاری و شبکه سه فاز ایجاد می کند و سپس این ولتاژ آسنکرون تولید شده در ترانسفورمر با عبور از یک مدار صافی سلفی، فیلتر می شود که هدف از این کار تولید جریانی نسبتاً صاف در خروجی می باشد.

۳-۳- معرفی مدل ریاضی و پارامترهای جوشکاری قوس الکتریکی

در این بخش مدل ریاضی و پارامترهای جوشکاری قوس الکتریکی مبنی بر رفتار فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی بر اساس کارهای انجام شده در [۲]، [۹]، [۲۱]، [۲۳] بدست خواهد آمد. جوشکاری صنعتی به صورت دستی عملاً مشکل است. برای تولید جوش با کیفیت به طور مداوم و پایدار به فرد جوشکار با مهارت و تجربه کافی نیاز است. یک دلیل آن این است که برای انجام یک جوشکاری مشخص نیاز به تنظیم پارامترهای منبع تغذیه برای آن کار خاص الزامی است. منابع تغذیه صنعتی نوعاً دارای دکمه های زیادی بر روی دستگاه کنترل ماشین جوشکاری می باشند که باید به طور مناسب تنظیم شوند. یک جوشکار خوب کسی است که بهترین روش را برای مشخص کردن پارامترهای منبع تغذیه برای یک کاربرد خاص بداند. متأسفانه این مسئله بیشتر به یک هنر می ماند تا یک علم. در اکثر اوقات بیشتر این پارامترها با توجه به تنظیمات خود شرکت

¹ Duty cycle

سازنده عمل می کنند چرا که جوشکار ها ممکن است شیوه تنظیم مناسب همه این پارامتر ها را ندانند.



شکل ۳-۵- شمای کلی سیستم جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ و معرفی پارامترهای آن

همانگونه که در شکل ۳-۵- مشخص است مقادیر مطلوب در سیستم کنترل مقایسه شده و بر مبنای الگوریتم کنترلی به کار گرفته شده یک سیگنال کنترلی به نام u_{PWM} برای اینورتر محاسبه می شود. از آنجایی که اینورترها می تواند با تکنولوژی PWM کار کنند، این سیگنال کنترلی توسط مبدل پهنای پالس مدوله شده و برای اینورتر ارسال می شود تا سیگنال ولتاژ کنترلی U_c که همان سیگنال u_{PWM} توان دار شده است را به سر ترمینال ماشین جوشکاری منتقل کند.

برای محافظت از اینورتر و نرم کردن جریان الکتریکی، یک سیم پیچ کوچک با مقداری ثابت به نام L_m بعد از اینورتر قرار می گیرد. R_m و L_m بترتیب نشان دهنده سیم های رابط به صورت یک سلف کلی و یک مقاومت کلی مدل شده اند. الکتروود در انبر جوش درون یک قطعه فلزی استوانه ای شروع به حرکت می کند که به سیم آند ترمینال متصل می باشد و به دلیل تماس مماسی الکتروود با قطعه فلزی تماس الکتریکی آند با الکتروود برقرار می شود. جریان الکتریکی از طریق الکتروود در داخل قوس الکتریکی جاری می شود و بنابراین مدار الکتریکی با اتصال قطعه کار به سیم ترمینال کاتد کامل می شود. در وضعیت حالت دائم یعنی زمانی که تغییرات طول قوس صفر می شود و ولتاژ ترمینال هم ثابت است، سرعت ذوب الکتروود v_m با سرعت پایین رونده الکتروود v_e برابر می شود و بنابراین در شرایط حالت دائم طول قوس به مقدار ثابتی همگرا خواهد شد.

همانگونه که در شکل ۳-۵- مشخص است L_w و R_w به عنوان مجموع مقاومت و سلف آند و کاتد در نظر گرفته شده اند و اگر ولتاژ کنترل U_C به عنوان ورودی سیستم ملاحظه شود زمانیکه یک ولتاژ کنترلی U_C به فرآیند اعمال شود، جریان الکتریکی I در مدار برقرار می شود و در داخل لوله اتصال که به سیم آند متصل است، الکتروود در یک یا چندین نقطه با لوله برخورد دارد و بنابراین تماس الکتریکی با الکتروود برقرار می شود. به طور نرمال افت ولتاژ کوچکی در نقاط تماس الکتروود با لوله اتصال به وجود می آید که می تواند به صورت یک مقاومت مدل شود. چنین مقاومتی را به صورت مقاومت تماسی R_C مشخص می کنند که در [۳۳] مقداری برای آن در نظر گرفته است. که یک مدل از مدار الکتریکی را می توان بدست آورد.

$$U_C = (L_m + L_w)\dot{I} + (R_w + R_C + R_e)I + U_a \quad (۱-۳)$$

که در اینجا R_e مقاومت الکتروود، I جریان الکتریکی جوشکاری و U_a ولتاژ قوس مدار الکتریکی می باشد. حال اگر ولتاژ ترمینال U_t به عنوان ورودی فرآیند در نظر گرفته شود، آنگاه رابطه مدار الکتریکی به صورت زیر خواهد بود.

$$U_t = L_w \dot{I} + (R_w + R_C + R_e)I + U_a \quad (2-3)$$

که در اینجا مقاومت الکتروود R_e برابر است با:

$$R_e = \rho_r l_s \quad (3-3)$$

در اینجا ρ_r و l_s به ترتیب فاصله بین لوله اتصال و نقطه ذوب الکتروود (بیرون زدگی الکتروود)، مقاومت ویژه الکتروود می باشد.

بیرون زدگی الکتروود l_s یک مقدار ثابت نیست و دارای دینامیک می باشد که به شدت در تغییرات طول قوس مؤثر است. دینامیک l_s از طریق سرعت حرکت الکتروود یا همان سرعت تغذیه سیم الکتروود v_e و سرعت ذوب الکتروود v_m بدست می آید، تغییرات فاصله عمودی لوله اتصال (سر اتصال هم گفته می شود) تا قطعه کار^۱ نیز در تعیین این دینامیک مؤثر است. این تغییرات به عنوان یکی از اساسی ترین اغتشاشها در سیستم های جوشکاری دستی به حساب می آید که از لرزش دست فرد جوشکار ناشی می شود و در بعضی مواقع می تواند تأثیر بسیار نامطلوبی در کیفیت جوش داشته باشد. بنابراین دینامیک بیرون زدگی الکتروود به صورت زیر بدست می آید.

$$\dot{l}_s = v_e - v_m \quad (4-3)$$

همان گونه که در شکل ۳-۵ نیز دیده می شود، با صرف نظر از طول قطره رابطه بین طول

قوس و بیرون زدگی را می توان به صورت زیر نوشت [۳۴].

¹ Contact Tube/Tip to Workpiece Distance

$$I_a = I_c - I_s \quad (5-3)$$

با ترکیب معادلات (4-3) و (5-3) می توان دینامیک طول قوس را به صورت زیر نوشت.

$$\dot{I}_a = v_m - v_e + v_c \quad (6-3)$$

و در نهایت رابطه میان کل ولتاژ قوس U_a ، جریان الکتریکی جوشکاری I و طول قوس I_a بصورت زیر بدست می آید.

$$U_a = U_0 + R_a I + E_a I_a \quad (7-3)$$

در اینجا U_0 نشان دهنده مجموع کل افت ولتاژهای مربوط به دو ناحیه بار فضایی^۱ می باشد که به ثابت ولتاژ قوس معروف است.

E_a و R_a بترتیب وابستگی افت ولتاژ به اندازه جریان و نسبت افزایش ولتاژ قوس با افزایش طول قوس را با یک مقاومت و یک ضریب ثابتی مدل می کنیم.

۱- ناحیه بارفضایی، ناحیه ای است به صورت لایه ای بسیار باریک است که در این مکان به طور تصادفی برخوردی بین الکترون ها و دیگر ذرات رخ نمی دهد.

۳-۴- نرخ ذوب

نرخ ذوب در واقع حجمی از الکتروود است که در واحد زمان ذوب شده و به صورت قطره مذاب به قطعه کار منتقل می گردد. در [۳] و [۱۰] مشخص شده است که دو عامل گرمایی بر آند اثرگذار هستند. این دو عامل یک گرمای آندی H_a است و دیگری گرمای اهمی می باشد. گرمای آندی را می توان به صورت زیر نوشت.

$$H_a = c_{an}(V_{an} + \phi_w)I \quad (۸-۳)$$

در اینجا V_{an} افت ولتاژ بر روی آند، ϕ_w تابع کارترمیونیک آند، I جریان الکتریکی جوشکاری و c_{an} یک ضریب ثابت می باشد. جمله اول در معادله (۸-۳) یعنی $c_{an}V_{an}I$ ، انرژی جنبشی الکترون هایی را بیان می کند که در آن آند بمباران می شود. انرژی جنبشی در میدان الکتریکی در نزدیکی آند افزایش می یابد. جمله دوم در معادله (۸-۳) یعنی $c_{an}\phi_w I$ ، انرژی تراکمی را بیان می کند. این انرژی است که وقتی الکترون ها جذب شبکه اتمی ماده الکتروود می شود باعث گرم شدن آن می شود. بنابراین نرخ ذوب ناشی از گرمای آندی که با $M_{R,a}$ نمایش داده می شود را می توان به صورت ضریبی از جریان به صورت زیر نوشت.

$$M_{R,a} = c_1 I \quad (۹-۳)$$

در اینجا c_1 یک ضریب ثابت است. گرمای اهمی در آند به دلیل مقاومت الکتریکی قسمتی از الکتروود است که از لوله اتصال بیرون آمده و در مسیر عبور جریان الکتریکی قرار می گیرد که همان بیرون زدگی الکتروود l_s می باشد. بنابراین نرخ ذوب ناشی از گرمای اهمی که با $M_{R,j}$ نمایش داده می شود را می توان به صورت زیر مدل کرد.

$$M_{R,j} = c_2 \rho_r l_s I^2 \quad (10-3)$$

که در آن c_2 یک ضریب ثابت است.

با جمع کردن معادلات (9-3) و (10-3) مدل کلی نرخ ذوب حالت دائم که با M_R نمایش داده می شود، را می توان به صورت زیر بدست آورد.

$$M_R = M_{R,a} + M_{R,j} = c_1 I + c_2 \rho_r l_s I^2 \quad (11-3)$$

ضریب c_2 را می توان با استفاده از پارامترهای مربوط به الکتروود که همان مقاومت ویژه الکتروود و قطر آن است محاسبه کرد [25]. ثابت دیگر یعنی c_1 هم به پارامترهای دیگر الکتروود وابسته است. معادله (11-3) را می توان بر حسب سرعت ذوب v_m نیز بازنویسی کرد.

$$v_m = \frac{M_R}{\pi r_e^2} = k_1 I + k_2 l_s \rho_r I^2, \quad k_i = \frac{c_i}{\pi r_e^2} \quad i=1,2 \quad (12-3)$$

که در آن k_1 و k_2 ضرایب ثابتی هستند که از تقسیم c_1 و c_2 بر سطح مقطع الکتروود بدست می آیند.

کنترل طول قوس در جوشکاری قوس الکتریکی از اهمیت بیشتری برخوردار است. بنابراین برای بدست آوردن معادلات دینامیکی حاکم بر رفتار طول قوس با جایگذاری رابطه (13-3) در رابطه (6-3) و بجای l_s در رابطه (13-3)، رابطه (5-3) را قرار دهیم رابطه (6-3) بصورت زیر باز نویسی می شود.

$$\dot{l}_a = k_1 I + k_2 l_s \rho_r I^2 (l_c - l_a) - v_e + v_c \quad (13-3)$$

که در آن عبارت v_e به عنوان یک عامل اغتشاش خارجی در دینامیک طول قوس در نظر گرفته می شود که همان لرزش دست جوشکار است.

۳-۵- مدل دینامیکی فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی

در این بخش با توجه با ترکیب معادلات توصیف کننده رفتار فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی که در بخش های قبلی ارائه شد، مدل دینامیکی کلی حاکم بر سیستم بدست خواهد آمد. برای معرفی مدل ابتدا باید متغیر های حالت سیستم، ورودی ها و خروجی های سیستم مشخص شود [۲۵].

ورودی ها:

$$u_1 = U_t : \text{ولتاژ ترمینال}$$

$$u_2 = v_e : \text{سرعت تغذیه الکترود}$$

خروجی ها:

$$y_1 = I : \text{جریان جوشکاری}$$

$$y_2 = l_a : \text{طول قوس}$$

متغیر های حالت:

$$x_1 = I : \text{جریان جوشکاری}$$

$$x_2 = l_a : \text{طول قوس}$$

$$x_3 = x_d : \text{فاصله قطره}$$

$$x_4 = v_d : \text{سرعت حرکت قطره}$$

$$x_5 = m_d : \text{جرم قطره}$$

حال می توان معادلات دینامیکی غیر خطی فرآیند جوشکاری را به فرم کلی به صورت زیر نمایش داد.

$$\dot{x} = f(x) + g(x)u + w(x)n \quad (۱۴-۳)$$

$$y = h(x) \quad (۱۵-۳)$$

$$x = m(x) , \quad \text{if } L(x, u) > 0 \quad (۱۶-۳)$$

که در آن $u_{2 \times 1}$ بردار ورودی های، $y_{2 \times 1}$ بردار متغیر های خروجی، سیستم $x_{5 \times 1}$ بردار متغیر های حالت سیستم، $f(x)_{5 \times 1}$ ، $g(x)_{5 \times 1}$ و $h(x)_{5 \times 1}$ معادلات دینامیکی سیستم و $w(x)_{5 \times 1}$ بردار ضرایب اغتشاش ناشی از لرزش دست جوشکار $n = v_e$ است.

$$f(x) = \begin{bmatrix} -\frac{1}{L_w}((R_w + R_c + R_a + \rho_r(l_c - x_2))x_1 + U_0 + E_a x_2) \\ k_1 x_1 + k_2 \rho_r x_1^2 (l_c - x_2) \\ x_4 \\ \frac{1}{x_5}(F_{em} + F_g + F_d - b_d x_4 - k_d x_3) \\ (c_1 x_1 + c_2 \rho_r x_1^2 (l_c - x_2))\rho_e \end{bmatrix} \quad (۱۷-۳)$$

$$g(x) = \begin{bmatrix} \frac{1}{L_w} & 0 \\ 0 & -1 \\ 0 & 0 \\ 0 & \frac{1}{x_5} M_R \rho_e \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (۱۸-۳)$$

$$w(x) = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (۱۹-۳)$$

$$h(x) = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} \quad (۲۰-۳)$$

۳-۶- اثر ورودی‌ها بر روری خروجی‌های فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی

همانگونه که در بخش ۳-۵- گفتیم ولتاژ ترمینال و سرعت تغذیه سیم الکتروود به عنوان تنها ورودی های کنترلی سیستم جوشکاری قوس الکتریکی دستی به حساب می آیند که توسط آنها می توان خروجی های سیستم یعنی جریان الکتریکی I و طول قوس l_a را کنترل نمود. معمولاً سرعت تغذیه سیم در کنترل جریان به کار می رود و تنظیم ولتاژ ترمینال در کنترل طول قوس مؤثر است، گرچه که این دو به شدت به یکدیگر وابسته هستند. در [۱۳]، [۱۴]، [۱۵]، [۱۶]، [۱۷]، [۱۹] و [۳۳] همگی از هر دو ورودی کنترلی برای کنترل جریان و طول قوس استفاده می کنند. اما معمولاً در عمل در سیستم های جوشکاری قوس الکتریکی دستی سرعت تغذیه الکتروود قبل از آغاز جوشکاری بر روی یک مقدار ثابت تنظیم می شود و در تمام مدت جوشکاری سرعت تغذیه الکتروود بدون تغییر خواهد بود. در فصل ۴ این پایان نامه بعد از بدست آوردن معادلات دینامیکی مربوط به موتوری که وظیفه هدایت الکتروود به سمت جلو را دارد و ثابت نگه داشتن سرعت این موتور توسط کنترل فازی، به دلیل لخت بودن دینامیک موتورهای نسبت به دینامیک جریان الکتریکی در مدل مداری سیستم جوشکاری قوس الکتریکی و تأخیر ایجاد شده در سیستم کنترل خود می تواند مسئله ساز باشد لذا

سرعت تغذیه الکتروود را به عنوان یک پارامتر ثابت در سیستم تلقی خواهیم کرد. بنابراین عملاً تنها ولتاژ ترمینال U_t به عنوان ورودی فرآیند در نظر گرفته خواهد شد.

حال با توجه به این که تنها ولتاژ ترمینال به عنوان ورودی کنترلی فرآیند در اختیار است، یکی از متغیرهای جریان یا طول قوس را به عنوان خروجی در نظر می گیریم. در نتیجه می توان فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی را به صورت یک سیستم تک ورودی- تک خروجی با دو متغیر حالت در نظر گرفت. در این حالت با توجه به ثابت بودن سرعت تغذیه الکتروود، تنها عامل تغییر جریان جوشکاری تغییر ولتاژ ترمینال است. تغییر جریان هم خود باعث تغییر طول قوس می شود.

بنابراین برای کاهش میزان گرمای ورودی به قطعه کار می توان جریان جوشکاری را از طریق کنترل طول قوس کنترل کرد. این بدان معناست که با تنظیم ولتاژ ترمینال جریان را به گونه ای تغییر دهیم تا به یک طول قوس پایین بهینه دست پیدا کنیم. بنابراین طول قوس به عنوان خروجی سیستم در نظر گرفته می شود و در طراحی کنترل کننده، کنترل طول قوس از طریق تنظیم ولتاژ ترمینال مد نظر قرار خواهد گرفت. در این حالت داشتن یک طول قوس ثابت و نگه داشتن آن در سطح پایین برای دست یابی به حداقل انرژی مصرفی در فرآیند به عنوان هدف اصلی در کنترل فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی مطرح می شود. باید توجه داشت که سیگنال ولتاژ ترمینال که توسط کنترل کننده طول قوس محاسبه می شد نمی تواند به طور مستقیم به فرآیند اعمال شود.

۷-۳- نتیجه گیری

با توجه به بخش های گفته شده قبلی معادلات (۲-۳)، (۷-۳) و (۱۳-۳) مبنای استخراج مدل دینامیکی فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی برای کنترل طول قوس خواهند بود که در این جا دوباره باز نویسی می شوند.

$$\dot{I} = \frac{1}{L_w} (U_t - (R_w + R_C + R_e + \rho_r(l_c - l_a))I + U_0 + E_a l_a) \quad (۲۱-۳)$$

$$\dot{l}_a = k_1 I + k_2 l_s \rho_r I^2 (l_c - l_a) - v_e + v_c \quad (۲۲-۳)$$

معادله (۲۱-۳) همان معادلات مداری فرآیند جوشکاری است که بر حسب مشتق زمانی جریان بیان شده است و توصیف کننده دینامیک جریان جوشکاری می باشد. معادله (۲۲-۳) دینامیک طول قوس را بر حسب سرعت ذوب الکتروود بیان می کند. در این حالت سرعت تغییرات فاصله لوله اتصال تا قطعه کار $v_c = \dot{l}_c$ به عنوان اغتشاش خارجی در نظر گرفته می شود.

فصل چهارم

۴- معرفی سیستم کنترل سرعت تغذیه سیم الکتروود

۴-۱- سرعت تغذیه سیم الکتروود

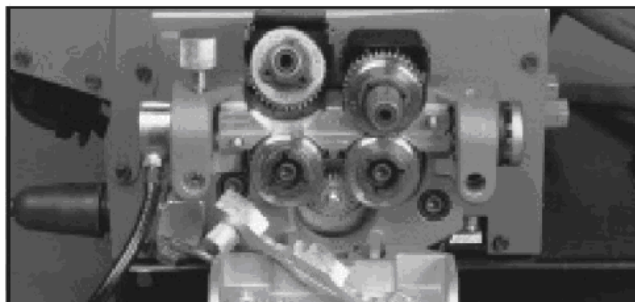
سرعت تغذیه سیم الکتروود در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی، بسیار حائز اهمیت می- باشد. ثابت نگه داشتن سرعت تغذیه سیم الکتروود باعث کاهش رسوبات، شکل دادن به دانه هادر تشکیل حوضچه جوش می شود [۳۶،۳۵]. جریان جوشکاری اهمیت زیادی در عملکرد مستقیم سرعت تغذیه سیم الکتروود دارد. اگر سرعت تغذیه سیم الکتروود ثابت نگه داشته نشود باعث نوساناتی در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی شده که کیفیت جوش را کاهش می دهد [۳۷].

تغذیه سیم الکتروود، الکتروود را برای محل جوشکاری تامین می کند به گونه ای که آنرا از طریق لوله حامل الکتروود به درون لوله اتصال حرکت می دهد.

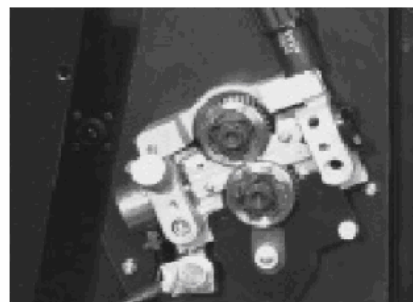
اکثر مدل های صنعتی یک سرعت ثابتی را برای تغذیه سیم الکتروود فراهم می کند اما سیستم های پیشرفته تر در پاسخ به ولتاژ و طول قوس، می توانند سرعت حرکت الکتروود را تغییر دهند. در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی سرعت های تغذیه الکتروود حدوداً $1,9 \text{ m/min}$ تا 30 m/min تغییر می کند [۳۷].

سیستم های تغذیه الکتروود معمولاً در دو نوع تولید می شوند که یک نوع آن به واحد رانش فشاری معروف است که مکانیزم به کار رفته در این نوع شامل دو یا چندین غلطک تغذیه می باشد

یک موتور وظیفه چرخاندن قلطکهای بالایی را به عهده دارد که سرعت و ترمز آن قابل تنظیم است و این غلطک ها توسط فنری تحت فشار قرار می گیرند با ایجاد نیروی فشاری رو به جلو سیم الکترو را از قرقره خود حرکت میدهد که شکل ۴-۱ آن را نمایش می دهد. نوع دوم که معمولا برای الکترو آلومینیومی استفاده می شود، شامل موتور کوچکی است که در دسته انبر جوش تعبیه شده و غلطک تغذیه الکترو سیمی را از روی قرقره کوچکی که به مشعل متصل است می کشد که شکل ۴-۲ آن را نمایش می دهد.



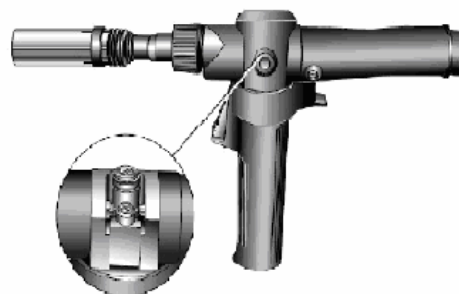
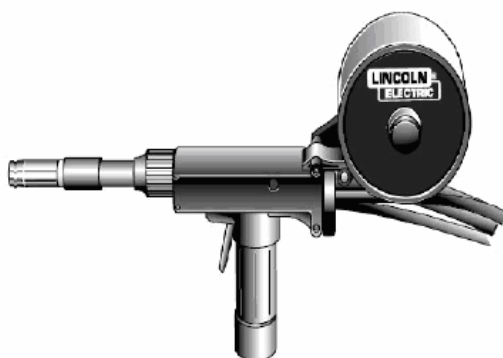
(ب)



(الف)

شکل ۴-۱- شمای کلی سیستم کشنده سیم الکترو

شکل (الف) دو غلطک و شکل (ب) چهار غلطک کشنده سیم الکترو



شکل ۴-۲- شمای کلی تغذیه سیم الکترو از جنس آلومینیوم

در این پایان نامه از نوع اول (واحد رانش فشاری) استفاده می‌کنیم و یک موتور DC تحریک جداگانه وظیفه چرخاندن غلطک‌ها را بر عهده دارد [۳۸]. اساس تشکیل دهنده سرعت تغذیه سیم الکتروود را در شکل ۴-۳ نشان می‌دهیم.

فرآیند کار بدین صورت است که سرعت تغذیه سیم الکتروود توسط یک جبران کننده‌ای (موتور DC، گیربکس‌ها و غلطک‌های کشنده) به سمت فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی کشیده می‌شود و با آب شدن سیم الکتروود در سر انبر، بصورت مداوم سیم الکتروود را به سر انبر تغذیه می‌کند تا باعث ثابت نگه داشتن طول قوس گردد. اگر تغییراتی در میزان تغذیه سیم الکتروود رخ می‌دهد این تغییرات باعث تغییر در جریان خروجی فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی شده و سرعت تغذیه سیم می‌بایست کنترل را در راستای این تغییر جریان خروجی و در جهت قوس آغازین در سیستم انجام دهد.

علاوه بر این با کنترل سرعت تغذیه سیم الکتروود می‌توان کاهشات، جهشات و ترشحات را به حداقل برسانیم.



شکل ۴-۳- نمای کلی سیستم سرعت تغذیه سیم الکترو

۱- رول سیم، ۲- سیم الکترو، ۳- گرداننده غلطک (موتور DC)، ۴- غلطک کشنده سیم الکترو

۴-۲- معادلات موتور DC

همانگونه که در بخش ۴-۱ گفته شد یک موتور DC وظیفه چرخاندن غلطکها را بر عهده دارد لذا برای ثابت نگه داشتن سرعت تغذیه سیم الکترو می بایست ولتاژ موتور DC را کنترل کرد برای این کار ابتداء معادلات موتور DC را بدست آورده و سپس در Matlab شبیه سازی می کنیم [۹].

۴-۲-۱- محاسبه معادلات موتور DC

نیروی وارد بر ورودی موتور DC برابر است با:

$$F = \varphi \times i_a \quad (۱-۴)$$

که در آن φ شار مغناطیسی استاتور و i_a جریان آرمیچر اعمالی به روتور می باشد.

زمانی که میدان به سیم پیچ روتور عمود باشد رابطه زیر بدست می آید:

$$\tau = K_1 \varphi i_a \quad (۲-۴)$$

که در آن τ گشتاور و K_1 ضریب ثابت می باشد.

در فرمول (۲-۴) φ ثابت می باشد لذا داریم:

$$\tau = K_m i_a \quad (۳-۴)$$

که در آن K_m ضریب ثابت گشتاور پیچشی موتور می باشد.

جریان آرمیچر به ولتاژ ورودی با رابطه زیر مرتبط است.

$$V_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + V_b \quad (۴-۴)$$

که در آن R_a مقاومت اهمی سیم پیچ، L_a اندوکتانس سیم پیچ و V_b ولتاژ محرکه الکتریکی

بازگشتی بوده و متناسب با سرعت موتور می باشد بنابراین:

$$V_b = K_b \frac{d\theta}{dt} \quad (۵-۴)$$

که در آن K_b ضریب ثابت نیروی الکترو موتور است.

پس رابطه (۴-۴) بصورت زیر باز نویسی می شود:

$$V_a = R_a i_a + L_a \frac{di_a}{dt} + K_b \frac{d\theta}{dt} \quad (۶-۴)$$

معادله حرکت دینامیکی موتور DC بصورت زیر می باشد:

$$\tau = J_m \frac{d^2\theta}{dt^2} + B_m \frac{d\theta}{dt} + r\tau_l \quad (۷-۴)$$

که در آن J_m ممان اینرسی روی محور موتور، B_m اصطکاک، r نسبت تبدیل چرخ دنده ها و τ_l گشتاور بار می باشد.

با تبدیل لاپلاس از رابطه (۶-۴)، (۷-۴) و جایگزینی رابطه (۳-۴) در (۷-۴) داریم:

$$V(s) = \left[\frac{(R + Ls)s(J_m s + B_m) + K_m + K_b s}{K_m} \right] \theta(s) + \frac{(R + Ls)}{K_m} r\tau_l(s) \quad (۸-۴)$$

حال با بدست آوردن مدل ریاضی موتور در فضای Matlab این معادلات را شبیه سازی می-کنیم.

۴-۲-۲- تعیین پارامترهای تابع تبدیل موتور DC

جدول ۴-۱ نشان دهنده پارامترهای موتور DC در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی بکار گرفته شده است [۳۸].

پارامتر	مقدار	بعد
K_b	57.3×10^{-3}	$V \cdot s / rad$
K_m	4.8×10^{-2}	$N \times m / A$
R_{am}	1.1	Ω
L_{am}	0.9×10^{-3}	H
J_m	0.157×10^{-4}	$kg \cdot m^2$
B_m	2.5×10^{-3}	N.M.S
τ_m	6.28×10^{-3}	S
τ_e	0.82×10^{-3}	S
V_n	75	v
K_{gear}	$\frac{1}{34}$	
D_{roll}	40×10^{-3}	m
V_m	0.267	m/s

جدول ۴-۱- تعیین پارامترهای موتور DC

در اینجا V_m سرعت تغذیه سیم، D_{roll} قطر غلطک‌های کشنده سیم تغذیه و K_{gear} ضریب

گیربکس می‌باشد لذا برای محاسبه نسبت تبدیل چرخ دنده‌ها داریم:

$$r = \frac{D_{roll}}{2} \times K_{gear} \quad (9-4)$$

$$r = \frac{40 \times 10^{-3}}{2} \times \frac{1}{34} = 0.58823 \times 10^{-3} \approx 0.59 \times 10^{-3}$$

۴-۳- طراحی کنترلر فازی برای موتور DC:

در این بخش با شناخت کلی سیستم (موتور DC)، کنترل کننده فازی شبه PI را برای این

سیستم طراحی و پیاده سازی می‌کنیم.

همانگونه که در فصل ۲ گفته شد امتیاز استفاده از کنترل کننده فازی سادگی در محاسبات،

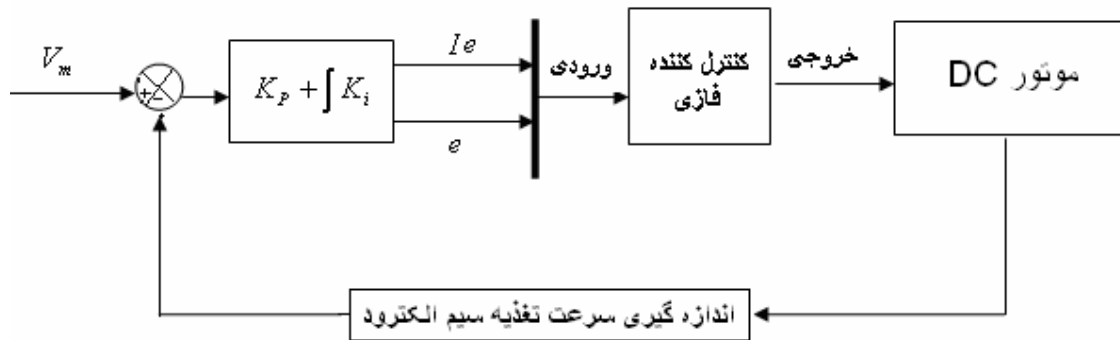
سادگی در پیاده سازی، بی‌نیاز به پارامترهای سیستم، تثبیت پایداری در محدوده مورد نظر می‌باشد.

شکل ۴-۴- چگونگی قرار دادن کنترل کننده فازی را در موتور DC نمایش می‌دهد. همانگونه

که در شکل ۴-۴- مشخص است تفاضل سیگنال مرجع سرعت تغذیه سیم الکتروود و سیگنال اندازه-

گیری شده سرعت تغذیه سیم الکتروود، سیگنال خطا را تشکیل می‌دهند که همان خطا و انتگرال

خطا ورودی‌های کنترل کننده فازی را شکل می‌دهد.



شکل ۴-۴- چگونگی قرار دادن کنترل کننده فازي را در موتور DC

در همین راستا کنترلر فازي را در نرم افزار Matlab استخراج شده و شبیه سازی می کنیم که خصوصیات طراحی شامل موارد زیر می باشد:

۱. توابع عضویت ورودی:

توابع عضویت برای دو ورودی خطا و انتگرال خطا می باشد. در این کنترل کننده توابع عضویت با اشکال هندسی Zmf و Gaussmf همانگونه که در شکل ۴-۵ نمایش داده شده است و هر ورودی متشکل از سه گروه فازي (P، Z، N) می باشد. دلیل انتخاب این توابع همانگونه که در فصل ۲ گفتیم پوشاندن تمام نقاط توابع تعلق می باشد.

توابع عضویت برای یک خروجی (ولتاژ) می باشد. در این کنترل کننده توابع عضویت به شکل هندسی مثلثی همانگونه که در شکل ۴-۶ نمایش داده شده است و این خروجی متشکل از پنج گروه فازي (PB، NB، P، Z، N) می باشد. این پنج گروه فازي را بصورت مساوی تقسیم بندی می کنیم.

۲. روش استنتاج:

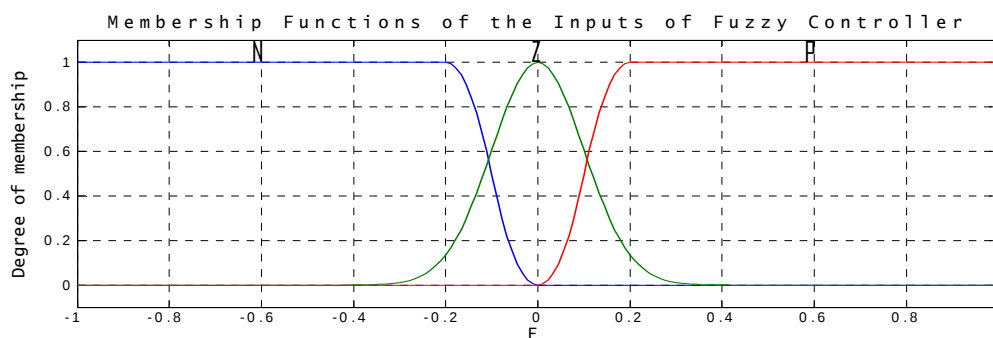
در این روش با توجه به مطالب گفته شده در فصل ۲ برای کنترل کننده از روش ماکزیمم-مینیمم استفاده می‌کنیم.

۳. روش غیر فازی ساز:

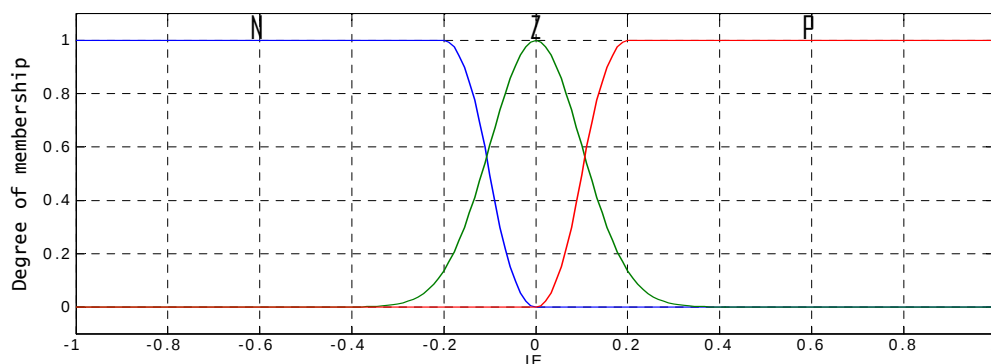
در این روش با توجه به مطالب گفته شده در فصل ۲ برای کنترل کننده از روش مرکز ثقل استفاده می‌کنیم.

پایگاه قواعد فازی را در جدول ۴-۲ آورده شده است که این قواعد با توجه به درک پایداری از سرعت موتور DC بیان شده است به عبارت دیگر با توجه به رفتار سیستم (موتور DC) قواعد فازی را طراحی می‌کنیم. در شکل ۴-۷ سطح سه بعدی مربوط به کنترل کننده فازی که رابطه بین ورودی‌ها، خروجی و قوانین فازی است را نشان می‌دهد. که اگر قوانین فازی را درست طراحی نکنیم این سطح سه بعدی بصورت نامتقارن بدست می‌آید که این امر بیان کننده نادرست بودن قوانین فازی می‌باشد.

در جدول ۴-۲ N مخفف گروه فازی منفی، P مخفف گروه فازی مثبت، Z مخفف گروه فازی صفر، NB مخفف گروه فازی خیلی منفی، PB مخفف گروه فازی خیلی مثبت است.

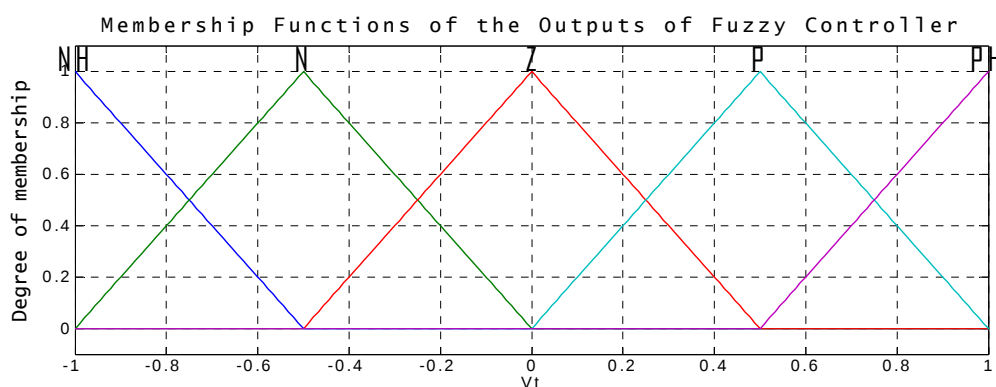


(الف)



(ب)

شکل ۴-۵- توابع تعلق ورودی‌های کنترل کننده فازی، (الف) توابع تعلق خطا، (ب) توابع تعلق انتگرال خطا



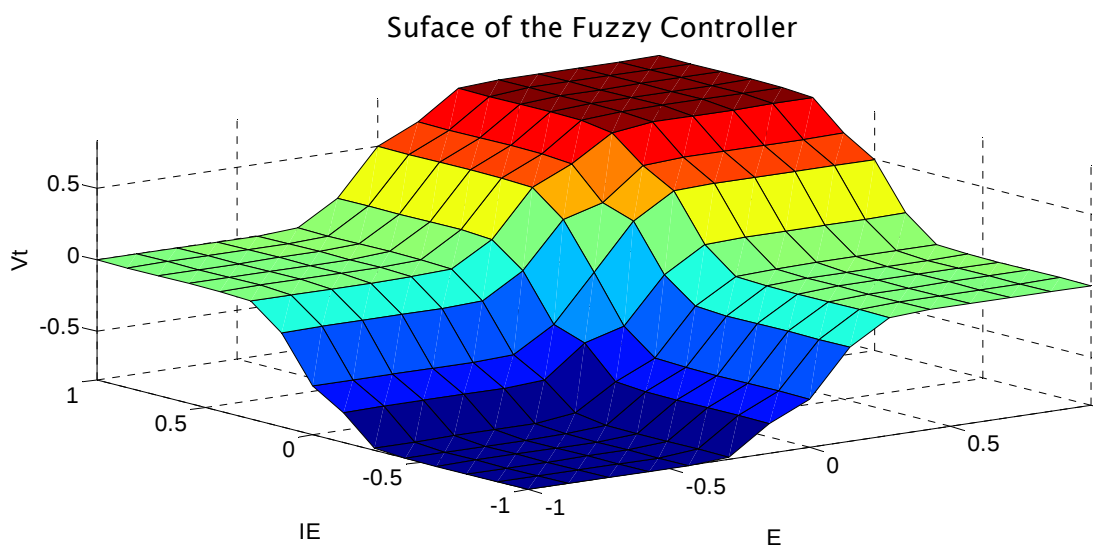
شکل ۴-۶- توابع تعلق مربوط به خروجی کنترل کننده فازی

در پیاده سازی کنترل کننده فازی محدوده ورودی‌ها (خطا و انتگرال خطا) و خروجی بین ۱ و ۰ می‌باشد. تفاضل فیدبک خروجی سیستم با سیگنال مرجع که خطا را تشکیل می‌دهند می‌بایست صفر یا نزدیکی صفر باشد لذا شکل ۴-۸- نشان دهنده این خطا می‌باشد. در پیاده سازی کنترل کننده فازی از روش مقیاس بندی استفاده شده است. این بدان معناست که در خروجی از یک بهره مقیاس استفاده شده است و اندازه این بهره در شبیه سازی برابر $V = 75$ در نظر گرفته شده است که شکل ۴-۹- ولتاژ اعمالی توسط کنترلر فازی به سیستم را نمایش می‌دهد و شکل ۴-۱۰- نتیجه

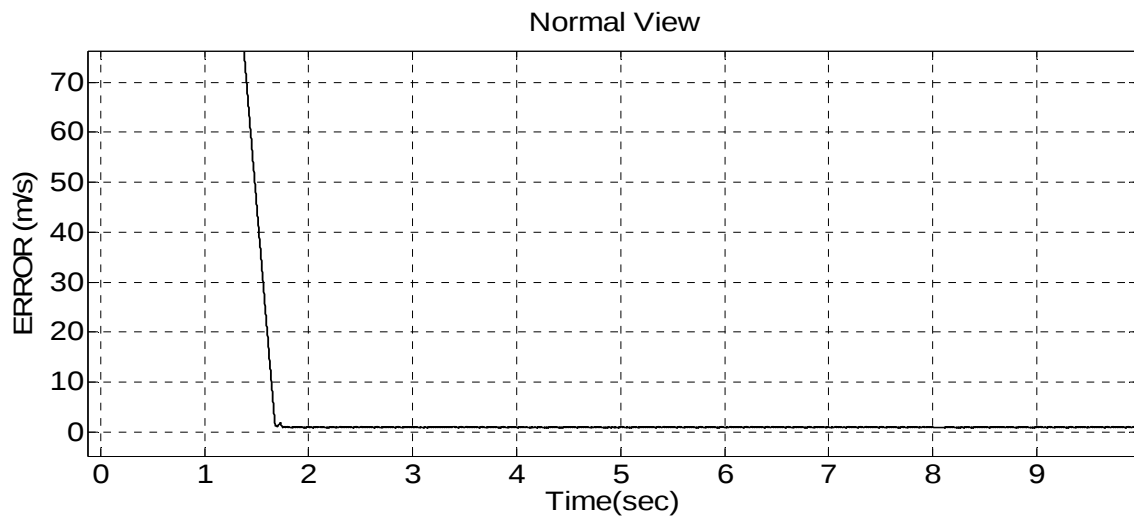
شبیه سازی اعمالی کنترل کننده به موتور DC به عبارت دیگر سرعت تغذیه سیم الکتروود را نشان می دهند.

AND	N	Z	P
N	NB	N	Z
Z	N	Z	P
P	Z	P	PB

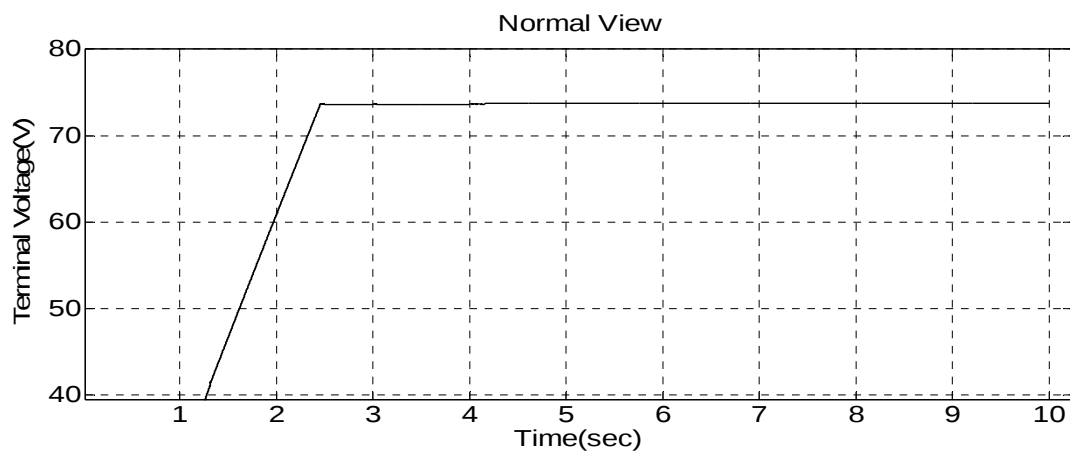
جدول ۴-۲- پایگاه قواعد فازی



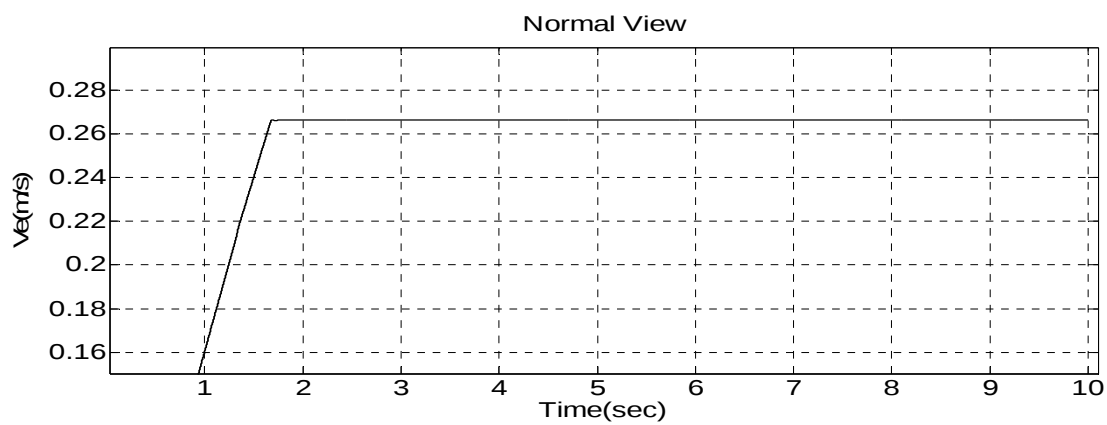
شکل ۴-۷- سطح مربوط به قوانین کنترل فازی و رابطه آن با ورودی‌ها و خروجی‌های کنترل کننده



شکل ۴-۸- سیگنال خطا



شکل ۴-۹- ولتاژ کنترل شده اعمالی به موتور (DC)



شکل ۴-۱۰- سرعت تغذیه سیم الکتروود

۴-۴ - بحث و نتیجه گیری:

همانطور که در شکل ۴-۱۰ دیده شد کنترل کننده سرعت تغذیه سیم را در محدوده قابل قبول (0.267) ثابت نگه داشته است و با تغییرات جریان سرعت تغذیه سیم تغییر کرده تا این تغییرات جریان را در جهت قوس آغازین در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی ثابت نگه دارد و در نتیجه با ثابت نگه داشتن سرعت تغذیه سیم در تمام مراحل جوشکاری عملاً فرآیند جوشکاری قوس را به صورت یک سیستم تک ورودی- تک خروجی با دو متغیر حالت در نظر می گیریم.

فصل پنجم

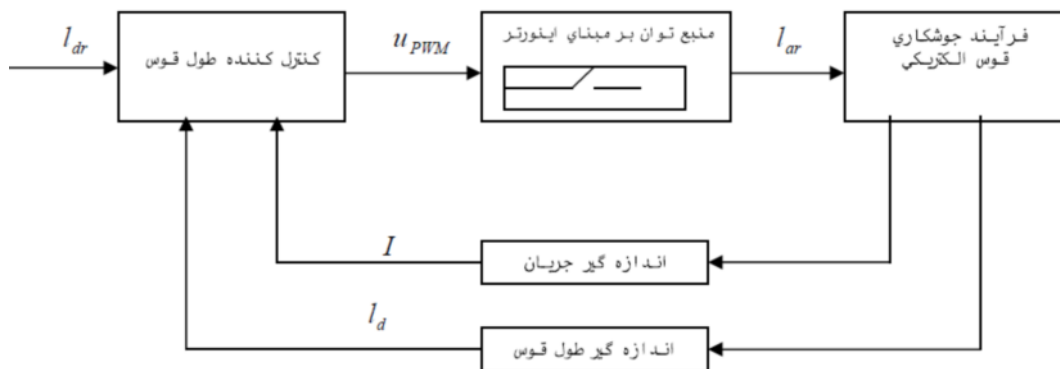
۵- نتایج شبیه‌سازی و کنترل فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی

در این فصل ابتدا سیستم کنترل طول قوس (بر مبنای مدل) بررسی می‌شود و سپس کنترل کننده فازی برای کنترل طول قوس در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی طراحی می‌شود. کنترل کننده‌های طراحی شده بر روی فرآیند به صورت شبیه سازی آزمایش شده و عملکرد این کنترل کننده بر روی سیستم نشان داده می‌شود. در انتها کنترل کننده فازی طراحی شده بر روی فرآیند با در نظر گرفتن مدل منبع توان اعمال می‌شود. در این حالت شرایط نسبتاً عملی برای فرآیند کنترل طول قوس در محیط شبیه سازی فراهم آورده شده است تا قدرت مقاوم سازی کنترل کننده طول قوس بر روی فرآیند در شرایط عملی نشان داده شود.

در تمامی کنترل کننده‌ها، هدف ثابت نگه داشتن طول قوس بر روی مقدار مطلوب ثابت است، که در این جا طول قوس سه میلی متر $l_{ad} = 0.003 \text{ m}$ به عنوان نقطه تنظیم و مقدار مطلوب خروجی در تمام شبیه سازی‌های در نظر گرفته می‌شود. در بسیاری از کارهای انجام شده در این زمینه از جمله در [۱۴]، [۱۵] و [۲۰] تنظیم طول قوس ثابت مد نظر قرار گرفته شده است.

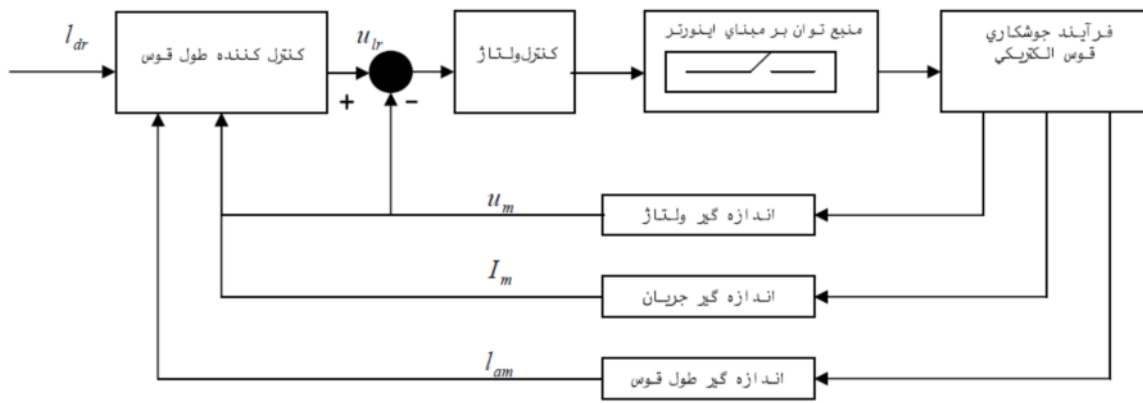
۵-۱- سیستم کنترل طول قوس

در این بخش تمامی مسائل مربوط به طراحی کنترل کننده، همواره یک محرک^۱ بین فرآیند و سیستم کنترل وجود دارد که وظیفه تبدیل سیگنال کنترلی به سیگنال قابل اعمال به فرآیند را بر عهده دارد. در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی همانطور که در فصل سوم اشاره کردیم این محرک همان منبع توان سیستم می باشد که وظیفه تأمین ولتاژ توان دار شده و جریان مورد نیاز جوشکاری را به عهده دارد. در این منابع تغذیه امروزی از سیستم اینورتر استفاده می شود که توسط روش مدولاسیون عرض پالس، سیگنال مورد نظر را به سیگنال ولتاژ توان دار تبدیل کرده و به ترمینال ماشین جوشکاری منتقل می کند. بنابراین با در نظر گرفتن منبع توان به عنوان محرک در فرآیند، سه پیکربندی کلی برای سیستم کنترل فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در حالت انتقال اسپری می توان در نظر گرفت که در شکل ۵-۱- این سه پیکربندی نمایش داده شده اند [۹].

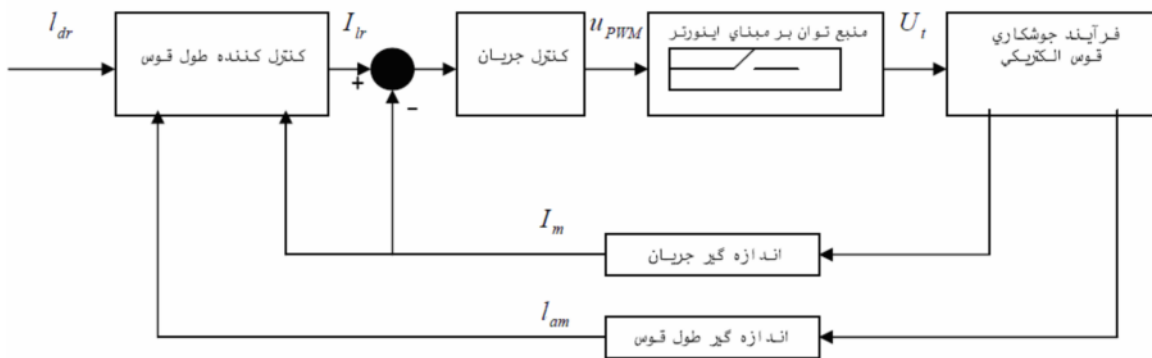


(الف)

¹ Actuator



(ب)



(ج)

شکل ۵-۱- سیستم کنترل فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در حالت انتقال اسپری. (الف) منبع

توان قسمتی از فرآیند در نظر گرفته می شود. (ب) منبع توان دارای کنترل ولتاژ داخلی است. (ج) منبع توان دارای کنترل جریان داخلی است.

در شکل ۵-۱- (الف) منبع توان به عنوان محرک سیستم عمل می کند و تنها کنترل کننده قوس در حلقه کنترلی حضور دارد. در شکل ۵-۱- (ب) و (ج) یک پیکربندی سری^۱ دیده می شود که در حقیقت به عنوان یک حلقه کنترلی داخلی برای فرآیند می باشد. در این حالت منبع توان خود دارای کنترل کننده مجزا بوده که نقش تثبیت ولتاژ یا جریان را بر عهده دارد. در این شیوه

^۱ - Cascade

کنترلی معمولاً یک کنترل کننده تناسبی-انتگرالی برای کنترل داخلی منبع توان در نظر گرفته می شود. در استفاده از پیکربندی های شکل ۵-۱- (ب) و (ج) معمولاً دینامیک منبع توان و دینامیک جریان جوشکاری در طراحی کنترل کننده در نظر گرفته نمی شود و آنرا با یک دینامیک خطی تقریب می زنند.

همانگونه که در پیکربندی های مطرح شده در شکل ۵-۱- مشخص است، بخش کنترل انتقال فلز لحاظ نشده است. بنابراین فرض می شود که فلز مذاب به طور پیوسته در طی جوشکاری از الکترود به سمت قطعه کار منتقل می شود. این فرض در حالت انتقال اسپری با توجه به [۹ و ۲۵] فرضی درست به حساب می آید.

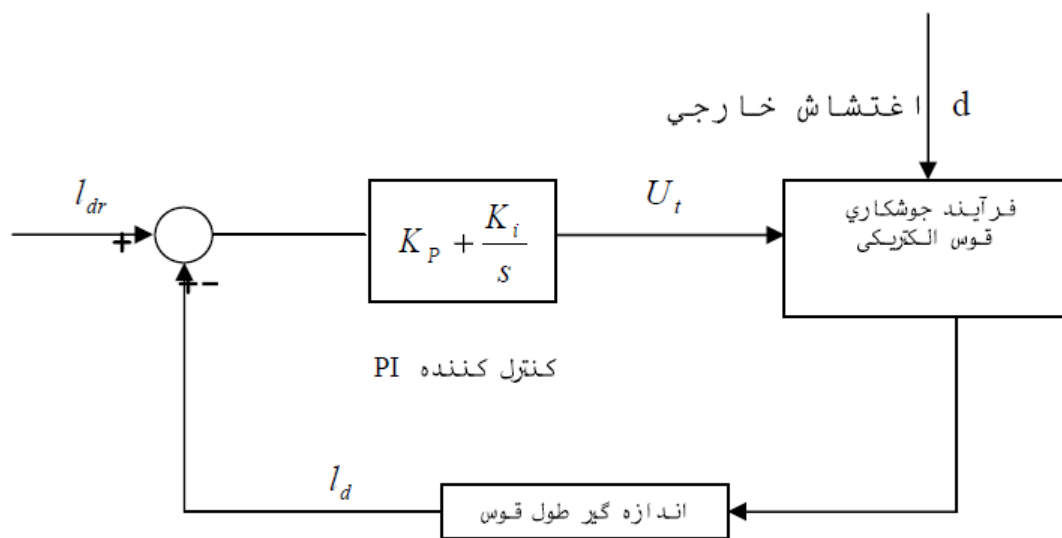
۵-۲- پیاده سازی کنترل کننده PI

استفاده از کنترل کننده PI روشی رایج و به نسبت قدیمی در کنترل سیستم‌ها می‌باشد. این کنترل کننده از یک ضریب ثابت و یک ضریب انتگرال‌گیر تشکیل شده است و روشهای تنظیم پارامترهای آن، مختلف و متنوع می‌باشد. این پارامترها در کنترل کننده PI به دو صورت تعیین می‌شود.

۱. بدست آوردن پارامترها با روش سعی و خطا

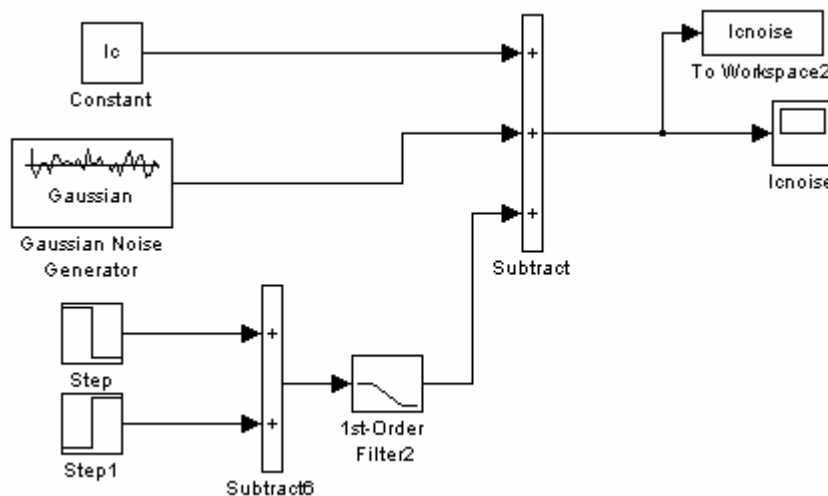
۲. بدست آوردن پارامترها با روش محاسباتی

برای بدست آوردن پارامترهای PI از روش اول (روش سعی و خطا) استفاده می‌کنیم. در تنظیم این پارامترها ثابت نگه داشتن طول قوس بر روی مقدار مطلوب در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی یک عامل اساسی در تنظیم پارامترهای کنترل کننده PI می‌باشد. شکل ۵-۲- بلوک دیاگرام سیستم فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی با حضور کنترل کننده PI را نشان می‌دهد.



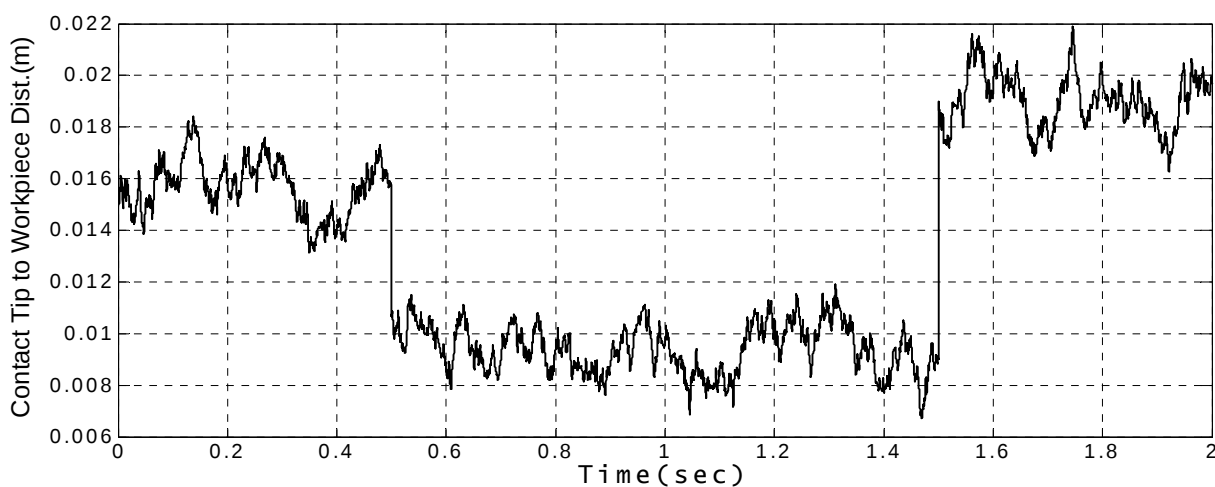
شکل ۵-۲- بلوک دیاگرام کنترل کننده PI

همانگونه که از شکل ۵-۲- مشخص است عمده‌ترین اغتشاش خارجی وارد بر فرآیند جوشکاری دستی، لرزش دست جوشکار است که منجر به تغییر در فاصله لوله اتصال تا قطعه کار شده و طول قوس را از مقدار مطلوب منحرف می‌کند. با توجه به فرضیهایی که در [۹]، [۱۹] و [۲۵] اعمال شده اند، این لرزش دست دارای حداکثر فرکانس ۲۰ هرتز می‌باشد. بنابراین می‌توان این اثر را به صورت یک نویز گوسی در نظر گرفت که دارای مقدار میانگین صفر و واریانس 0.002 و به مقدار نامی $I_c = 0.15^m$ اضافه کرد. همچنین در طول زمان شبیه‌سازی مقدار I_c در دو زمان 0.5 ثانیه و 1.5 ثانیه به ترتیب ۵ میلی متر کاهش و ۱۰ میلی متر افزایش داده می‌شود، شکل ۵-۳- شبیه‌سازی لرزش دست جوشکار را در فضای Matlab نمایش می‌دهد و زمان شبیه‌سازی ها ۲ ثانیه در نظر گرفته شده است زیرا زمان پایدار شدن پاسخ سیستم باید خیلی سریع باشد.



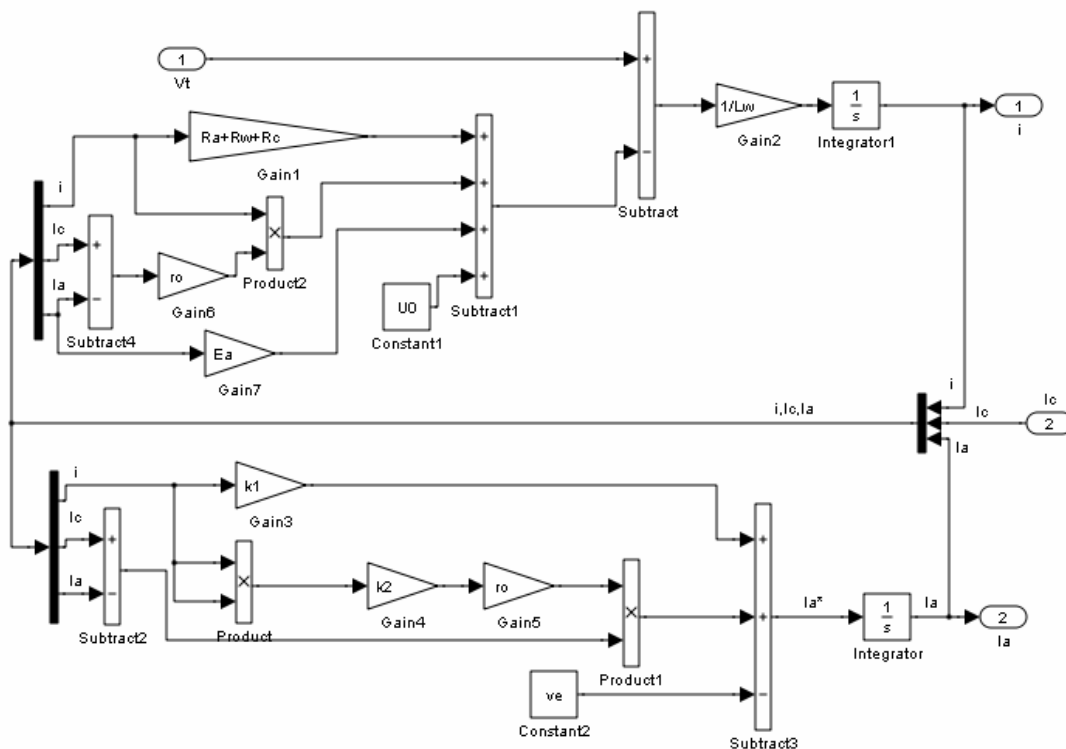
شکل ۵-۳- شبیه سازی لرزش دست جوشکار

همانگونه که در شکل ۵-۳- مشخص است برای نمایش دو زمان ۰/۵ ثانیه و ۱/۵ ثانیه که به ترتیب ۵ میلی متر کاهش و ۱۰ میلی متر افزایش می‌یابند از دو بلوک پله استفاده می‌کنیم که این دو بلوک با هم جمع می‌شوند و از یک فیلتر پایین گذر عبور می‌کند تا این تغییرات ناگهانی را به نرمی ایجاد کند و سپس با جمع کردن بلوک نویز گوسی و بلوک ثابت I_c لرزش دست جوشکار شبیه سازی می‌شود که شکل ۵-۴- این لرزش دست جوشکار را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۴- تغییرات فاصله لوله اتصال تا قطعه کار (I_c) که همان لرزش دست جوشکار می باشد.

بعد از شبیه سازی لرزش دست جوشکار، مدل فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی را با توجه به فرمول‌های (۳-۲۱) و (۳-۲۲) بدست آمده از فصل سوم می‌توان مدل فرآیند جوشکاری را در فضای Matlab شبیه سازی کرد که شکل ۵-۵-۱ این شبیه سازی را در مطلب نمایش می‌دهد.

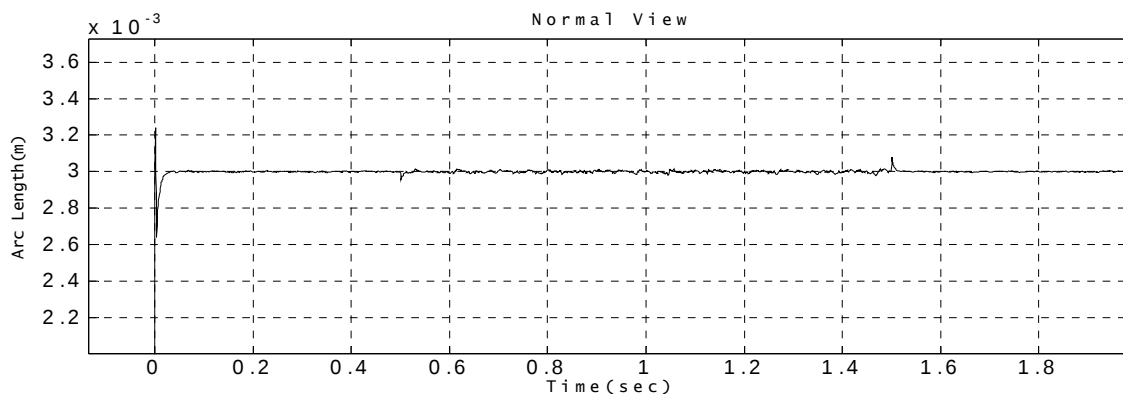


شکل ۵-۵-۱ شبیه سازی مدل فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی

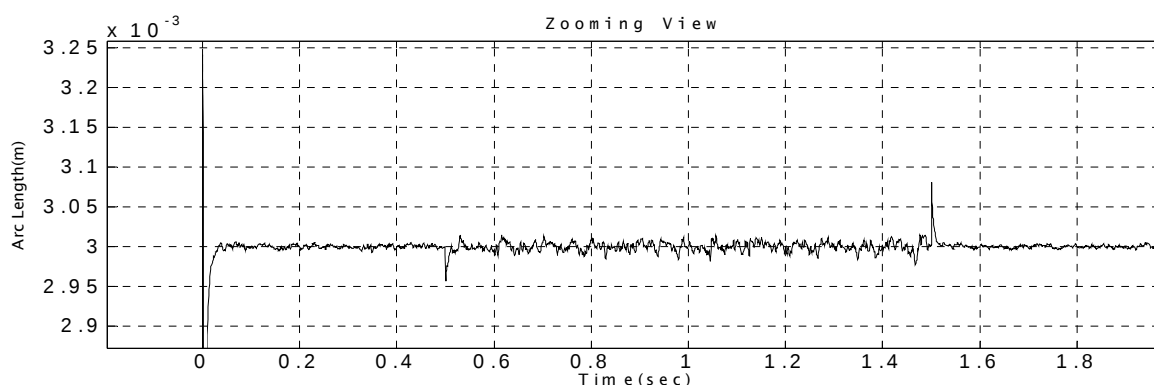
حال کنترلر PI را در مدل شبیه سازی شده قرار داده و نتیجه را در شکل ۵-۷-۱ نمایش می‌دهیم. در این کنترلر برای تنظیم ضرایب تناسبی و تناسبی انتگرالی از روش سعی و خطا [۲۰] استفاده می‌شود و بهره تناسبی $K_p = 60000$ و بهره تناسبی انتگرالی $K_i = 10000000$ می‌باشد. همانطور در شکل ۵-۶-۱ (الف) دیده می‌شود تنها در مواقعی که I_c ناگهان تغییر می‌کند در طول قوس تغییرات نسبتاً زیادی انجام می‌شود اما بلافاصله پایدار می‌شود. در شکل ۵-۶-۲ (ب) نمای بزرگ شده از طول قوس نشان داده شده است. باید توجه کرد که در مدتی که I_c بر روی ۱ سانتی

متر قرار دارد کنترل کننده با دشواری بیشتری در کنترل طول قوس مواجه است چرا که اصولاً کنترل طول قوس های پایین مانند ۳ میلی متر بسیار دشوار می باشد.

یکی از عوامل مهم برای تنظیم ضرایب تناسبی و تناسبی انتگرالی تفاضل سیگنال مرجع و سیگنال فیدبک گرفته شده می باشد که سیگنال خطا را تشکیل می دهد که می بایست این ضرایب طوری انتخاب شوند تا سیگنال خطا صفر و یا حدود صفر شود که شکل ۵-۷-سیگنال خطا سیستم کنترل PI را نشان می دهد. همانگونه که از شکل ۵-۷- مشخص است سیگنال خطا حدوداً نزدیک صفر می باشد که از آن نتیجه می توان گرفت بهره های انتخابی برای کنترلر PI مناسب می باشد.

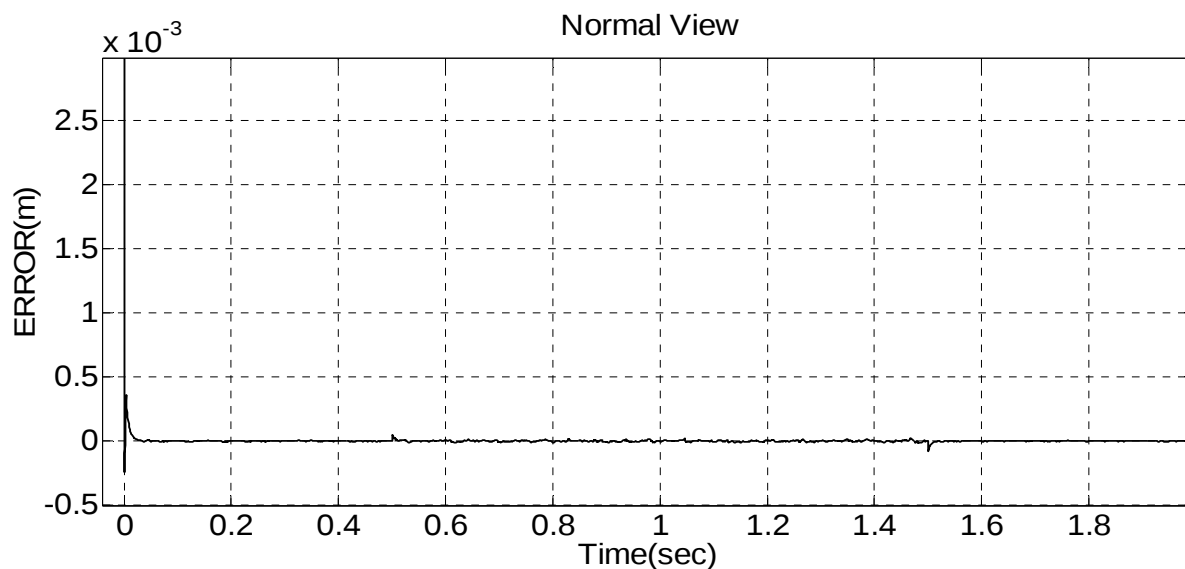


(الف)



(ب)

شکل ۵-۶- طول قوس، (الف) نمای معمولی، (ب) نمای بزرگ برای نمایش حداکثر خطای طول قوس

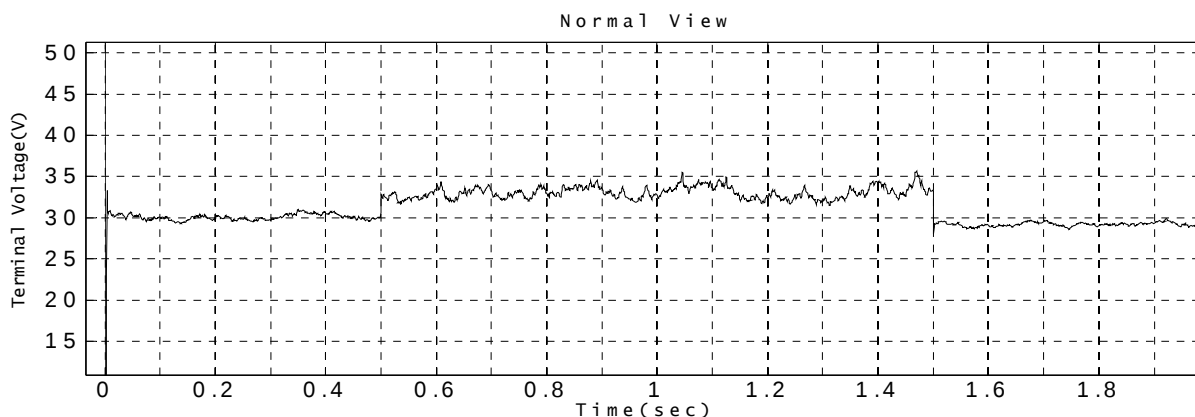


شکل ۵-۷- سیگنال خطا کنترلر PI

ولتاژ کنترل شده اعمالی به فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در محدوده زیر می‌بایست تغییرات انجام دهد [۳۳].

$$5 \leq U_t \leq 36 \text{ VDC} \quad (۱-۵)$$

شکل ۵-۸- ولتاژ ترمینال یا همان ورودی فرآیند جوشکاری را نشان می‌دهد. همانطور که از شکل ۵-۹- پیداست، سیگنال ولتاژ ترمینال با تغییراتی بین تقریباً ۲۸ ولت تا حداکثر ۳۶ ولت همراه است و از رابطه (۵-۱) می‌توان نتیجه گرفت که ولتاژ در محدوده قابل قبول تغییرات انجام داده است، دلیل این تغییرات I_c (لرزش دست جوشکار) می‌باشد و در مدت زمانی که I_c کاهش یافته است متوسط ولتاژ ترمینال افزایش یافته تا با افزایش جریان جوشکاری، کاهش طول قوس جبران شود و در مدت زمانی که I_c افزایش یافته است متوسط ولتاژ ترمینال کاهش یافته تا با کاهش جریان جوشکاری، افزایش طول قوس جبران شود.



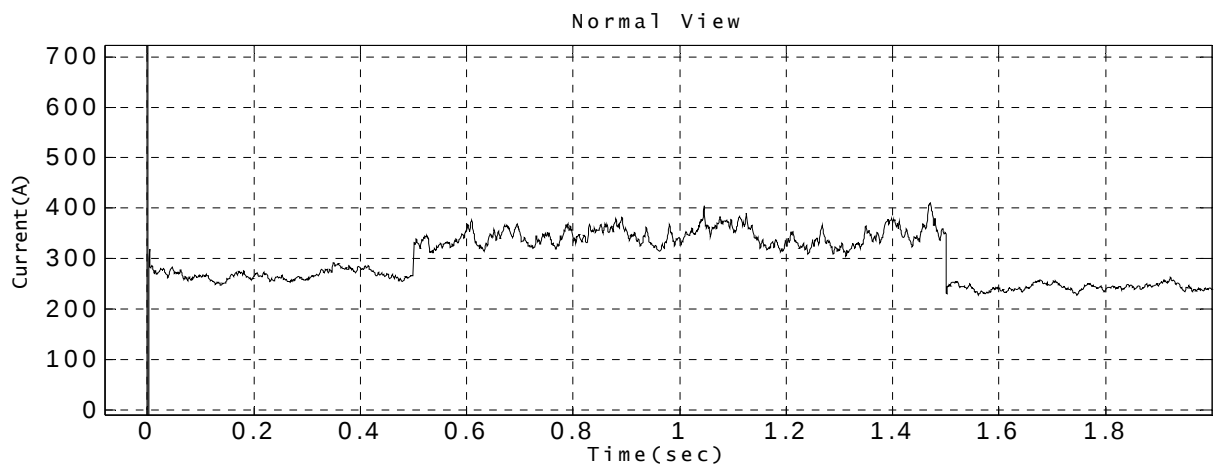
شکل ۵-۸- ولتاژ ترمینال

جریان جوشکاری یکی از مهم‌ترین متغیرهای فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی می‌باشد که محدوده تغییرات آن بصورت زیر تعریف می‌شود [۳۳]:

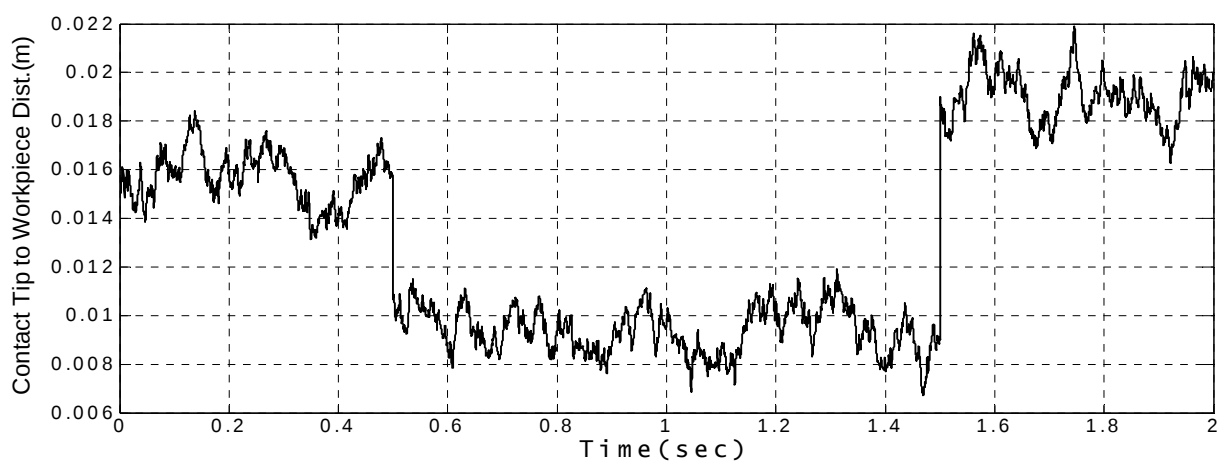
$$50 \leq I \leq 450 \text{ A} \quad (۲-۵)$$

که تغییرات جریان در این محدوده مجاز و قابل قبول برای جوشکاری قوس الکتریکی می‌باشد. که می‌بایست کنترلر طوری طراحی شود که جریان در این محدوده تغییر کند. شکل ۵-۹- (الف) جریان جوشکاری نشان داده شده است و همانطور که در مقایسه با شکل ۵-۹- (ب) دیده می‌شود، تغییرات جریان برخلاف تغییرات I_c بوده تا اثرات مخرب آنرا بر روی طول قوس خنثی کند. میزان این جریان که تقریباً از ۲۳۰ آمپر تا ۴۱۰ آمپر تغییر می‌کند.

این محدوده تغییرات جریان طبق رابطه (۲-۵) در محدوده قابل قبول تغییر می‌کند.



(الف)



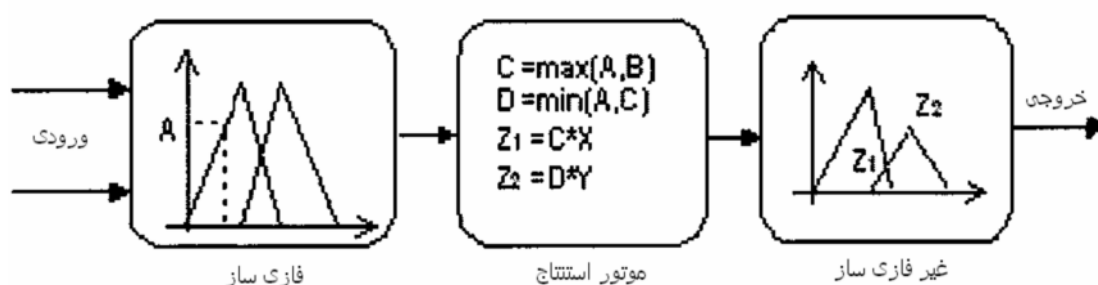
(ب)

شکل ۵-۹- (الف) جریان جوشکاری، (ب) منحنی تغییرات فاصله لوله اتصال تا قطعه کار،

بنابراین به طور عملی کنترل کننده PI برای فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی مناسب نمی‌باشد شاید جریان و ولتاژ در محدوده قابل قبولی تغییر می‌کنند و باعث ثابت نگه‌داشتن طول قوس در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی می‌شوند، اما به دلیل استفاده از ضرایب بسیار بزرگ در بهره تناسبی و بهره تناسبی انتگرالی در طراحی کنترل کننده PI باعث ضعف این کنترل کننده بصورت عملی در صنعت می‌شود.

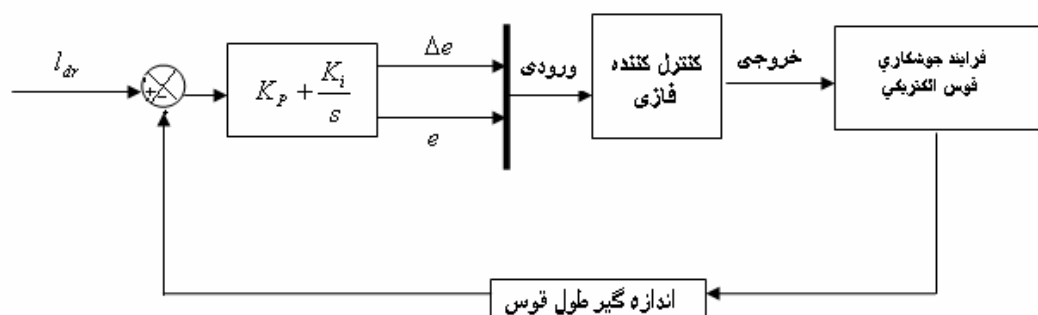
۵-۳- پیاده سازی کنترل کننده فازی

در این قسمت با توجه به مطالب بیان شده در فصل ۲ و با توجه به شکل ۵-۱۰- خلاصه‌ای از عملکرد کنترل فازی را نشان می‌دهد که طبق مراحل انجام شده در شکل ۵-۱۰- کنترل فازی را برای فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی طراحی می‌کنیم.



شکل ۵-۱۰- خلاصه عملکرد کنترل کننده فازی

همانگونه که از شکل ۵-۱۰- پیداست، اجزاء اصلی تشکیل دهنده کنترل کننده فازی شامل مراحل فازی ساز، موتور استنتاج (منطق تصمیم‌گیری) و غیر فازی ساز می‌باشد. شکل ۵-۱۱- چگونگی قرار دادن کنترل کننده فازی را در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی نمایش می‌دهد. همانگونه که در شکل ۵-۱۱- مشخص است تفاضل سیگنال مرجع طول قوس و سیگنال اندازه‌گیری شده طول قوس، سیگنال خطا را تشکیل می‌دهند که همان خطا و مشتق خطا ورودی‌های کنترل کننده فازی را شکل می‌دهد.



شکل ۵-۱۱- چگونگی قرار دادن کنترل کننده فازی را در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی

در همین راستا کنترلر فازی را در نرم افزار Matlab استخراج شده و شبیه سازی می‌کنیم که خصوصیات طراحی شامل موارد زیر می‌باشد:

۴. توابع عضویت ورودی و خروجی:

توابع عضویت برای دو ورودی خطا و مشتق خطا می‌باشد. در این کنترل کننده توابع عضویت با اشکال هندسی Zmf و Gaussmf همانگونه که در شکل ۵-۱۲- نمایش داده شده است و هر ورودی متشکل از سه گروه فازی (P, Z, N) می‌باشد. دلیل انتخاب این توابع همانگونه که در فصل ۲ گفتیم پوشاندن تمام نقاط توابع تعلق (که از رنج ۱- تا ۱ تعریف می‌شود) می‌باشد.

توابع عضویت برای یک خروجی (ولتاژ ترمینال) می‌باشد. در این کنترل کننده توابع عضویت به شکل هندسی مثلثی همانگونه که در شکل ۵-۱۳- نمایش داده شده است و این خروجی متشکل از پنج گروه فازی (PB, NB, P, Z, N) می‌باشد. این پنج گروه فازی را بصورت مساوی از رنج ۱- تا ۱ تقسیم بندی می‌کنیم.

۵. موتور استنتاج:

در این روش با توجه به مطالب گفته شده در فصل ۲ برای کنترل کننده از روش ماکزیمم-مینیمم استفاده می‌کنیم.

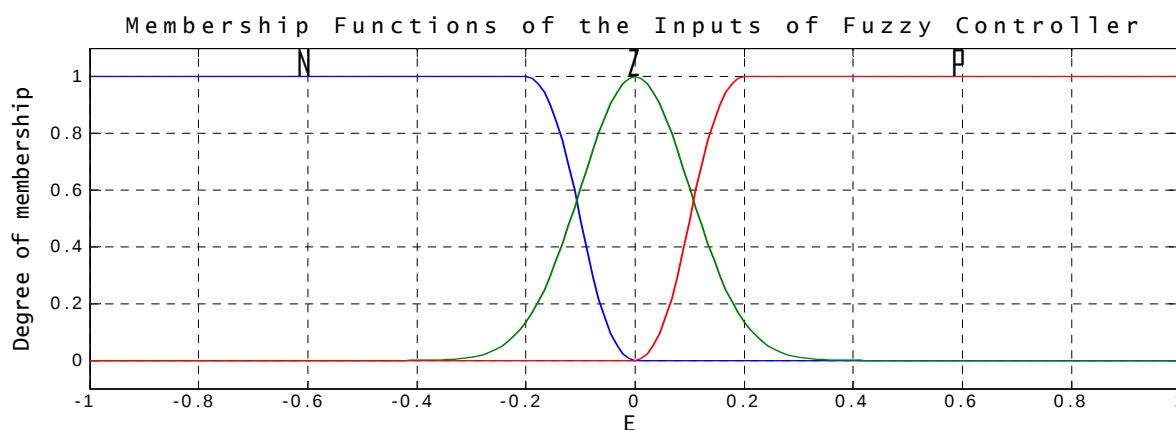
۶. روش غیر فازی ساز:

در این روش با توجه به مطالب گفته شده در فصل ۲ برای کنترل کننده از روش مرکز ثقل استفاده می‌کنیم.

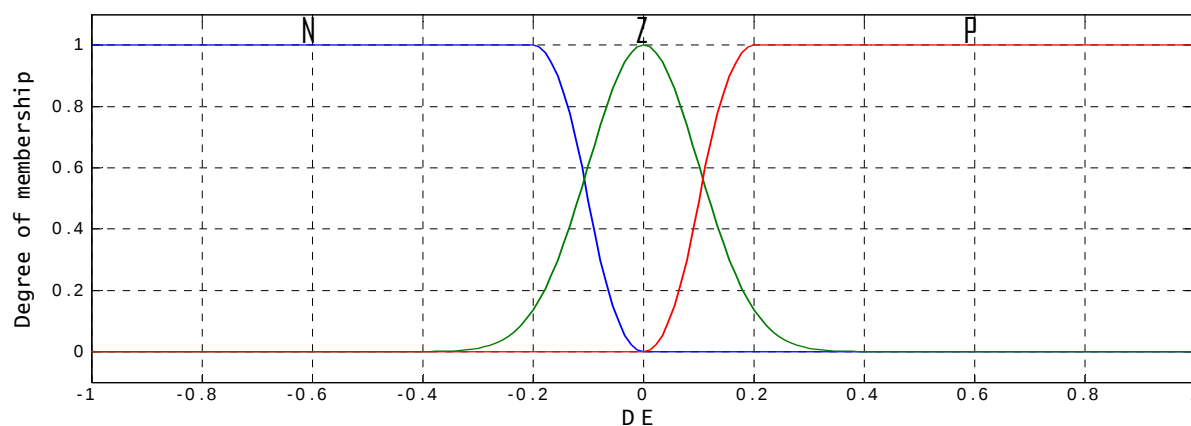
پایگاه قواعد فازی را در جدول ۵-۱- آورده شده است که این قواعد با توجه به درک پایداری فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی بیان شده است به عبارت دیگر با توجه به رفتار سیستم قواعد فازی را طراحی می‌کنیم. برای بهینه سازی بازه توابع عضویت و پارامترهای سیستم از روش آزمون و

خطا در منطق کنترل کننده فازی استفاده می‌کنیم [۳۴]. شکل ۵-۱۴- سطح سه بعدی مربوط به کنترل کننده فازی که رابطه بین ورودی‌ها، خروجی و قوانین فازی است را نشان می‌دهد که عوض کردن سطح باعث تغییرات در شکل کنترل غیر خطی و رفتار سیستم حلقه بسته کنترلی می‌شود. و اگر سطح شیب تغییر کند باعث تغییرات در گین کنترل کننده فازی می‌شود [۳۴].

در جدول ۵-۱- N مخفف گروه فازی منفی، P مخفف گروه فازی مثبت، Z مخفف گروه فازی صفر، NB مخفف گروه فازی خیلی منفی، PB مخفف گروه فازی خیلی مثبت است.

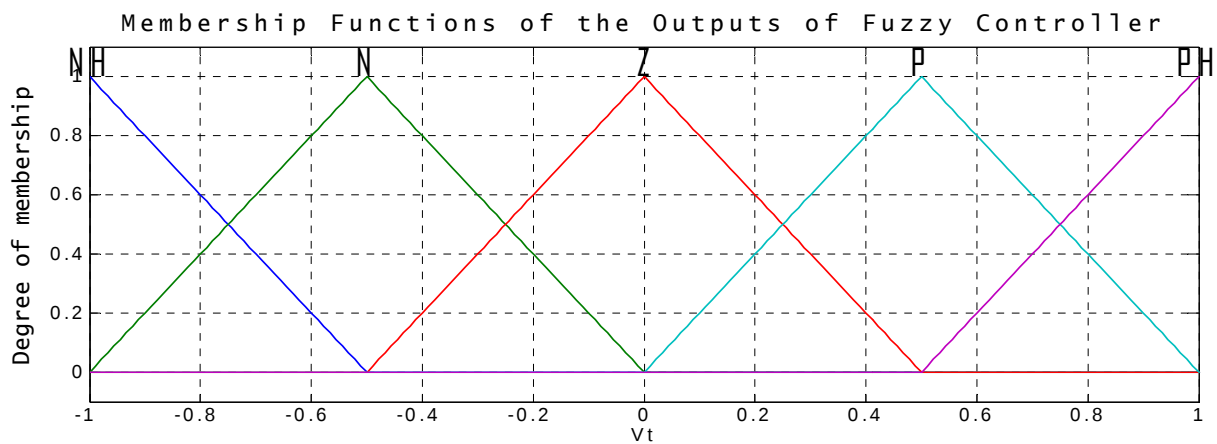


(الف)



(ب)

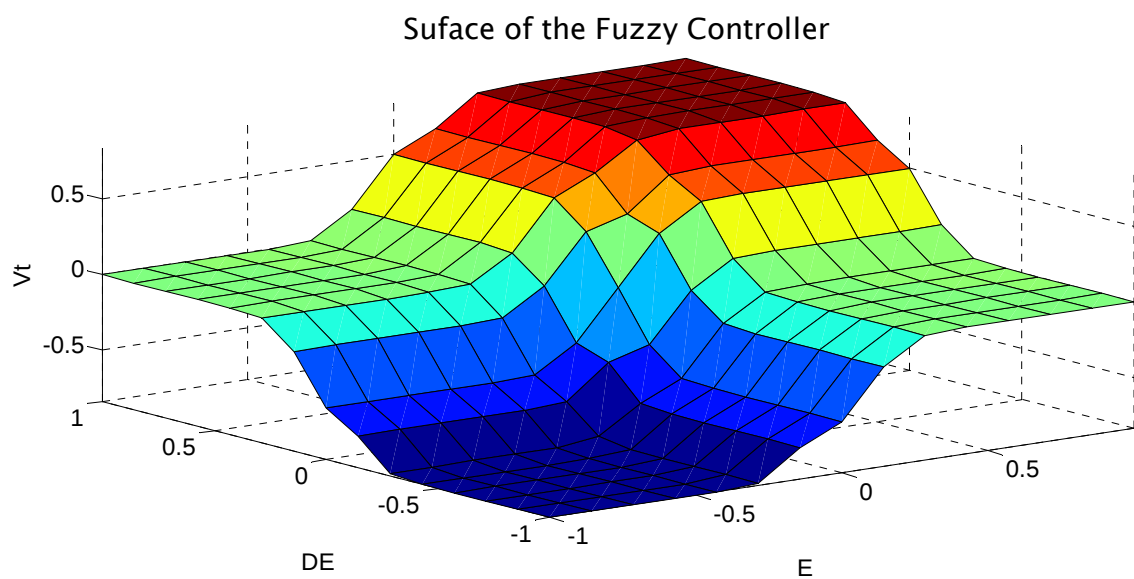
شکل ۵-۱۲- توابع تعلق ورودی‌های کنترل کننده فازی، (الف) توابع تعلق خطا، (ب) توابع تعلق مشتق خطا



شکل ۵-۱۳- توابع تعلق مربوط به خروجی کنترل کننده فازی

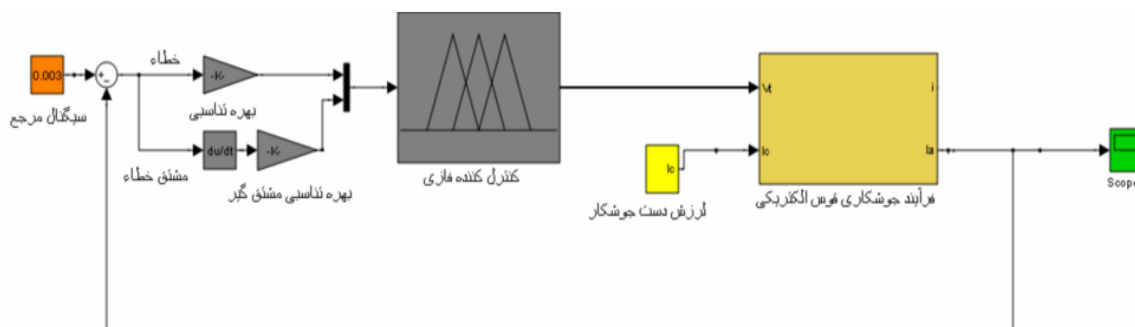
AND	N	Z	P
N	NB	N	Z
Z	N	Z	P
P	Z	P	PB

جدول ۵-۱- پایگاه قواعد فازی



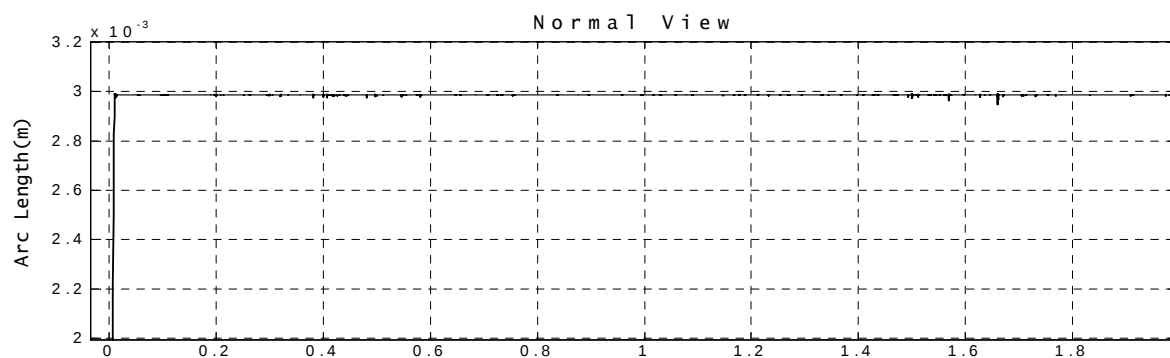
شکل ۵-۱۴- سطح مربوط به قوانین کنترل فازی و رابطه آن با ورودی‌ها و خروجی‌های کنترل کننده

حال کنترل کننده فازی طراحی شده را به فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی اعمال می‌کنیم که شکل ۵-۱۵- شبیه سازی مدل فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی با حضور کنترل کننده فازی در فضای Matlab را نشان می‌دهد.

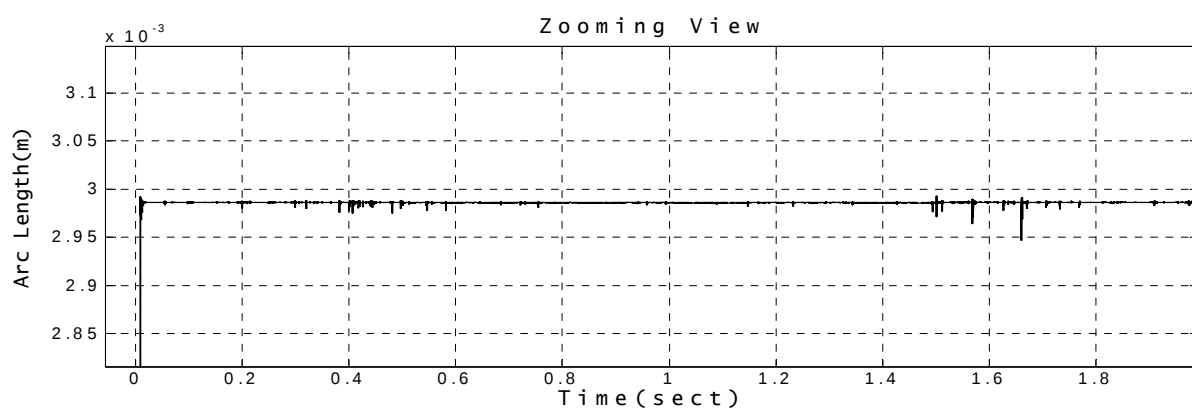


شکل ۵-۱۵- شبیه سازی مدل فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی با حضور کنترل کننده فازی شبه PD

همانگونه که در شکل ۵-۱۵- دیده می‌شود از یک کنترل کننده فازی شبه PD برای فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی استفاده می‌کنیم که ضرایب بهره تناسبی $K_p = 300$ و بهره مشتقی $K_d = 0.001$ در نظر گرفته می‌شود و شکل های ۵-۱۶ تا ۵-۱۸ نتایج شبیه سازی کنترل کننده فازی شبه PD بر روی مدل فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی نشان می‌دهند. شکل ۵-۱۶- طول قوس کنترل شده را نشان می‌دهد. همانطور که انتظار می‌رفت علی‌رغم تغییرات در فاصله لوله اتصال تا قطعه کار، پاسخ مطلوبی در شکل ۵-۱۶- (ب) مشاهده می‌شود. در شکل ۵-۱۷ تغییرات ولتاژ و جریان نشان داده شده است. همانطور که دیده می‌شود با توجه به تغییرات ناگهانی در I_c ولتاژ ترمینال، که مستقیماً توسط کنترل کننده فازی تعیین می‌شود، برای جبران تغییر طول قوس در زمان های $t = 0.5$ و $t = 1.5$ ثانیه به ترتیب افزایش و کاهش یافته تا با تنظیم جریان طول قوس را در حد مطلوب نگه دارد. شکل ۵-۱۸- سیگنال خطا را نشان می‌دهد که انتخاب این ضرایب بهره تناسبی و مشتق‌گیر بر اساس به صفر رساندن این سیگنال خطا تعیین می‌گردد.

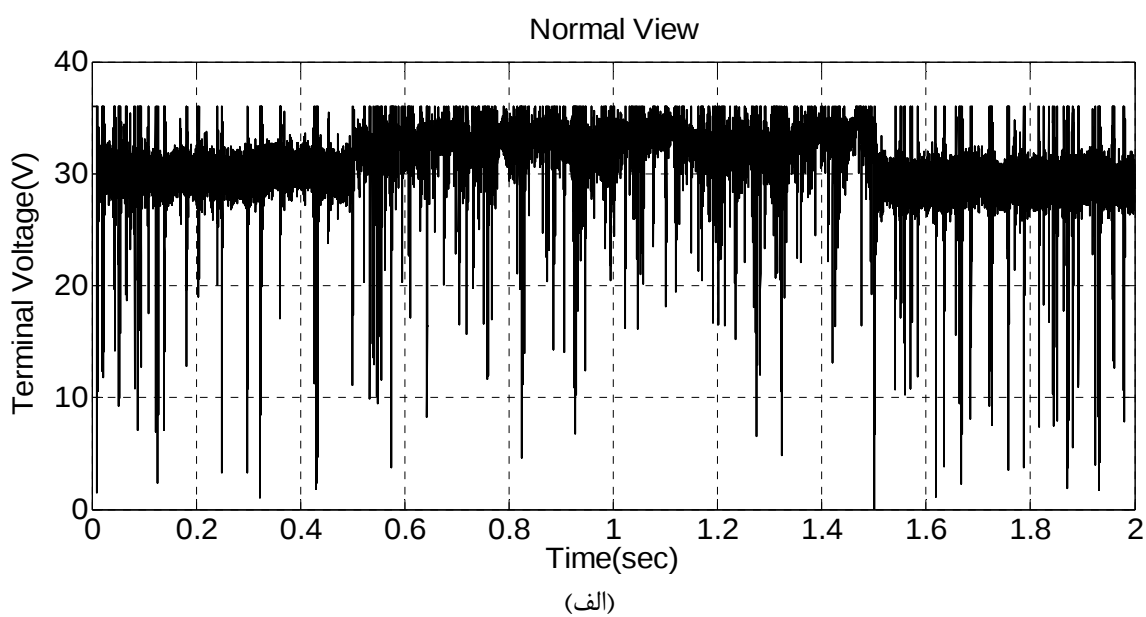


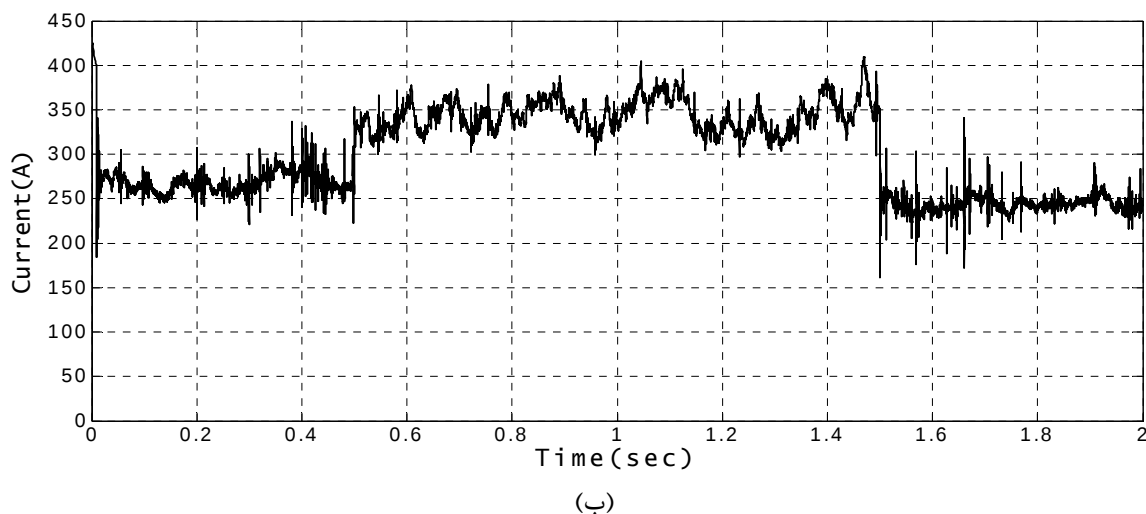
(الف)



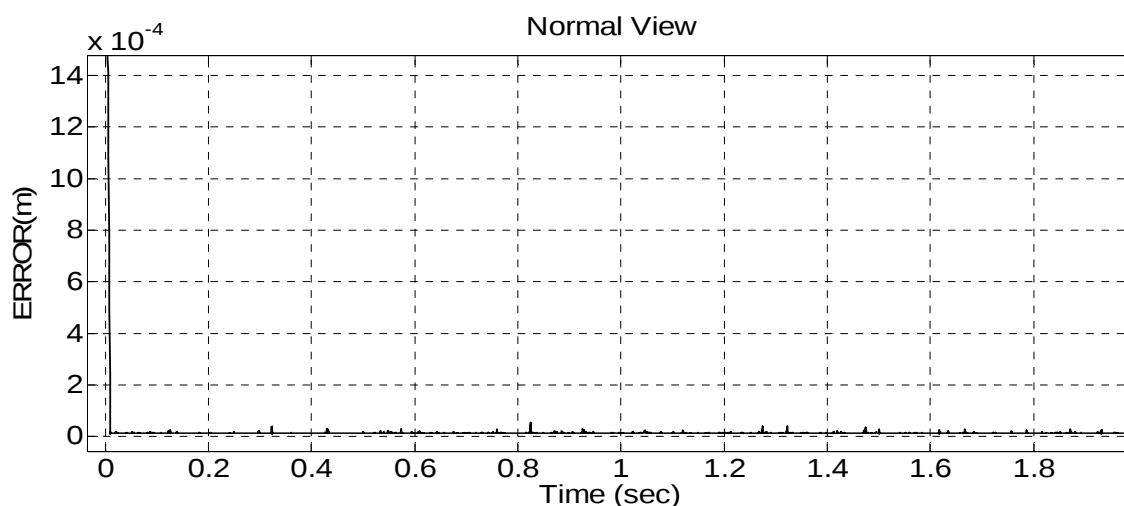
(ب)

شکل ۵-۱۶- طول قوس، (الف) نمای معمولی، (ب) نمای بزرگ برای نمایش حداکثر خطای طول قوس





شکل ۵-۱۷- (الف) ولتاژ ترمینال، (ب) جریان جوشکاری



شکل ۵-۱۸- سیگنال خطا کنترل کننده فازی

همانگونه که در شکل ۵-۱۷- (الف) مشخص است ولتاژ ترمینال اعمالی به فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی طبق رابطه (۵-۱) در محدوده مجاز تغییرات انجام میدهد و جریان جوشکاری، طبق رابطه (۵-۲) در محدوده قابل قبول جریان کشی انجام می‌شود.

بنابراین به طور عملی می‌توان گفت که جریان جوشکاری که یک از متغیرهای سیستم می‌باشد به متوسط ولتاژ ترمینال پاسخ می‌دهد. همچنین دینامیک طول قوس وابسته به جریان است [۲۵ و ۹]، بنابراین تغییرات شدید در ولتاژ ترمینال بر روی طول قوس کم اثر بوده و طول قوس نیز به

متوسط ورودی پاسخ می‌دهد. در نتیجه می‌توان ادعا کرد که فرکانس ولتاژ ترمینال در محدوده کاری سیستم قرار دارد و عملاً مشکلی برای کنترل طول قوس ایجاد نمی‌کند. از دید دیگر باید این موضوع را مد نظر قرار داد که آیا محرک سیستم قادر به تولید چنین ولتاژی هست یا نه.

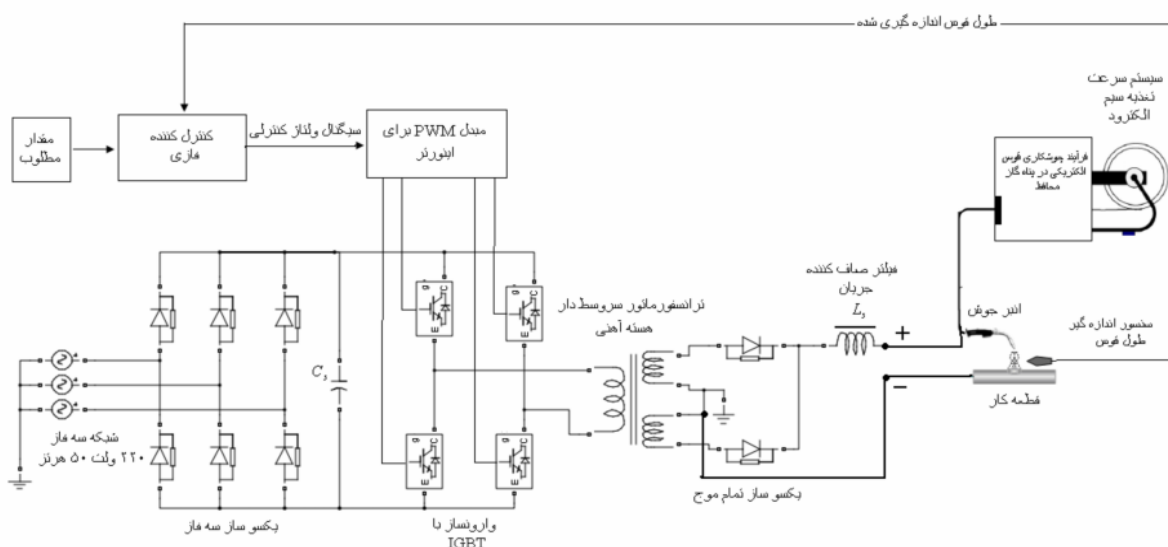
در اینجا به طور اجمالی با اشاره به فصل ۳ یادآوری می‌شود که در ماشین‌های جوشکاری منابع توان اینورتر با استفاده از روش مدولاسیون پهنای پالس ولتاژ مورد نیاز را در خروجی ترمینال تولید می‌کنند. مبدل پهنای پالس و مدارات سوئیچینگ در قسمت اینورتر با فرکانس‌های بالا تا حد ۵۰ کیلوهرتز کار می‌کنند. بنابراین تولید چنین ولتاژی میسر خواهد بود. این موضوع در بخش ۵-۴- شبیه‌سازی یک منبع توان بر مبنای اینورتر در کنار سیستم جوشکاری قوس الکتریکی برای تولید ولتاژ مورد نیاز که توسط کنترل‌کننده تولید شده است، بررسی می‌شود.

۵-۴- کنترل‌کننده فازی با حضور منبع توان

همان‌گونه که در فصل ۳ بصورت کامل در مورد منابع تغذیه مخصوصاً منبع تغذیه فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی بحث شد وظیفه منبع توان در فرآیند تأمین ولتاژ توان‌دار شده و جریان مورد نیاز جوشکاری می‌باشد.

در شکل ۵-۱۹- طرح کلی یک فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی با حضور دینامیک منبع توان نمایش داده شده است. طرح مداری منبع توان مورد استفاده در فرآیند جوشکاری در مراجع زیادی از جمله در [۳۳]، [۳۹] و [۴۰] آورده شده است. در این جا از پارامترهای به کار برده شده در [۳۳] برای شبیه‌سازی منبع توان استفاده شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، در طی فرآیند جوشکاری طول قوس الکتریکی، اندازه‌گیری می‌شود و به کنترل‌کننده برای مقایسه با مقادیر مطلوب می‌رود. کنترل‌کننده فازی سیگنالی (ولتاژ ترمینال) را به منبع تغذیه اعمال می‌کند. این سیگنال وارد یک مبدل پهنای پالس (PWM) می‌شود. این مبدل سیگنال‌های کنترلی

سوئیچینگ فرکانس بالایی را برای IGBT ها^۱ که به صورت یک پل به هم متصل شده اند ارسال می کند. این ترکیب که همان اینورتر است، ولتاژ یکسو شده ورودی را به یک ولتاژ متناوب با فرکانس بالا تبدیل می کند. فرکانس سوئیچینگ اینورتر در شبیه سازی ۲۵ کیلوهرتز در نظر گرفته می شود [۲۵ و ۳۳]. ولتاژ ورودی اینورتر از یک یکسوساز سه فاز تأمین می شود که از شبکه سه فاز برق متناوب شهری با مقدار مؤثر ۲۲۰ ولت و فرکانس ۵۰ هرتز، ولتاژ یکسو شده را تولید می کند. در این حالت دامنه ولتاژ یکسو شده در حالت بی باری به اندازه ولتاژ خط شبکه سه فاز می رسد که مقداری برابر ۵۳۹ ولت دارد [۲۵]. در حالت اتصال به بار به طور متوسط این ولتاژ به علت افت ولتاژ ناشی از برقراری جریان الکتریکی در مدار به حدود ۵۰۰ ولت می رسد. ولتاژ متناوب تولیدی توسط اینورتر به یک ترانسفورمر کاهنده ولتاژ با ضریب کاهش پنج اعمال می شود و سپس این ولتاژ متناوب به یک یکسوساز تمام موج اعمال شده تا یک ولتاژ یکسو شده با دامنه متغیر ایجاد شود. در انتهای مدار از یک سلف هسته آهنی استفاده شده است که نقش صاف کردن جریان خروجی را دارد که سلف L_m در شکل ۳-۵- را نیز شامل می شود.



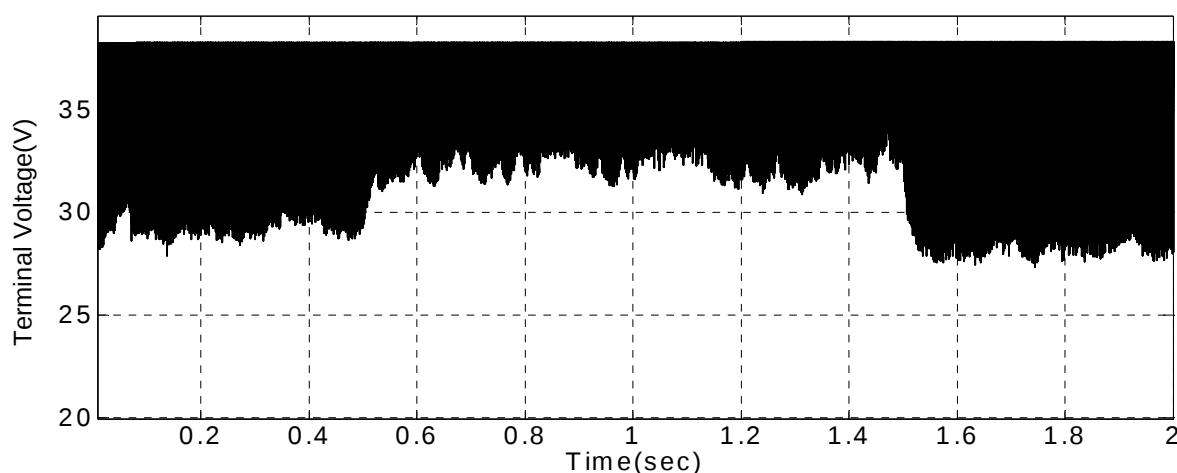
شکل ۵-۱۹- فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی به همراه مدار منبع توان بر مبنای اینورتر و کنترل کننده فازی شبه PD

^۱ - Isolated Gate Bipolar Transistor: IGBT

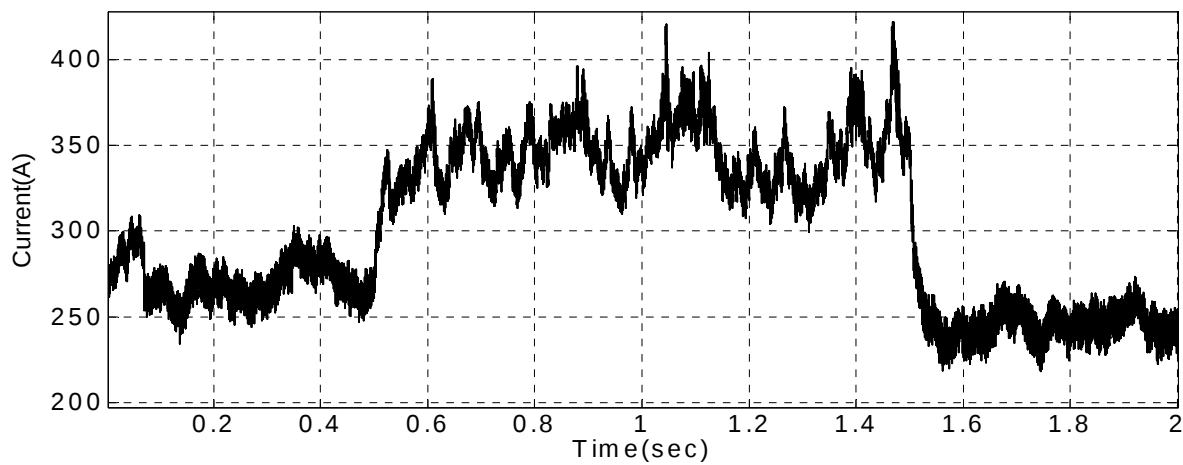
همچنین در صورت استفاده تا ۱۰۰٪ دوره وظیفه مبدل پهنای پالس، منبع توان بر مبنای اینورتر می‌بایست قادر به تولید ولتاژهای یکسو شده بین صفر تا ۱۰۰ ولت باشد این توان نامی ترانسفورمر باید تا حدی باشد که بتواند جریان های بالا تا حداکثر ۱۰۰۰ آمپر را مهیا کند و نیز در صورت ایجاد اتصال کوتاه ممکن است جریان بیشتر از ۱۰۰۰ آمپر وارد سیستم جوشکاری نشود و سیستم به اشباع برود. لذا می‌بایست ترانسفورمر انتخابی کنیم تا توان خروجی بالای ۱۰ کیلو ولت آمپر داشته باشد. از طرفی به علت بالا بودن فرکانس ولتاژ ورودی باید نوع ترانسفورمر انتخاب شده از نوع فرکانس بالا باشد تا قادر به عبور دادن این ولتاژ فرکانس بالا باشد. بنابراین ترانسفورمر با توان خروجی ۱۲۰ کیلو ولت آمپر با فرکانس کاری ۵۰ کیلوهرتز در نظر گرفته می‌شود.

در این بخش همان کنترل کننده فازی شبه PD که در بخش ۵-۳ طراحی کرده‌ایم از همان کنترل کننده فازی شبه PD در این بخش استفاده می‌کنیم و به عبارت دیگر توابع عضویت ورودی و خروجی، قوانین فازی و فازی ساز همانند بخش ۵-۳ می‌باشد و ضرایب بهره تناسبی و بهره تناسبی مشتق‌گیر مشابه همان ضرایب بکار گرفته شده در بخش ۵-۳-۳ است.

شکل های ۵-۲۰ تا ۵-۲۲ نتایج شبیه سازی شیوه کنترل فازی شبه PD بر روی سیستم جوشکاری قوس الکتریکی با حضور منبع توان مطابق شکل ۵-۱۹ را نمایش می‌دهد.

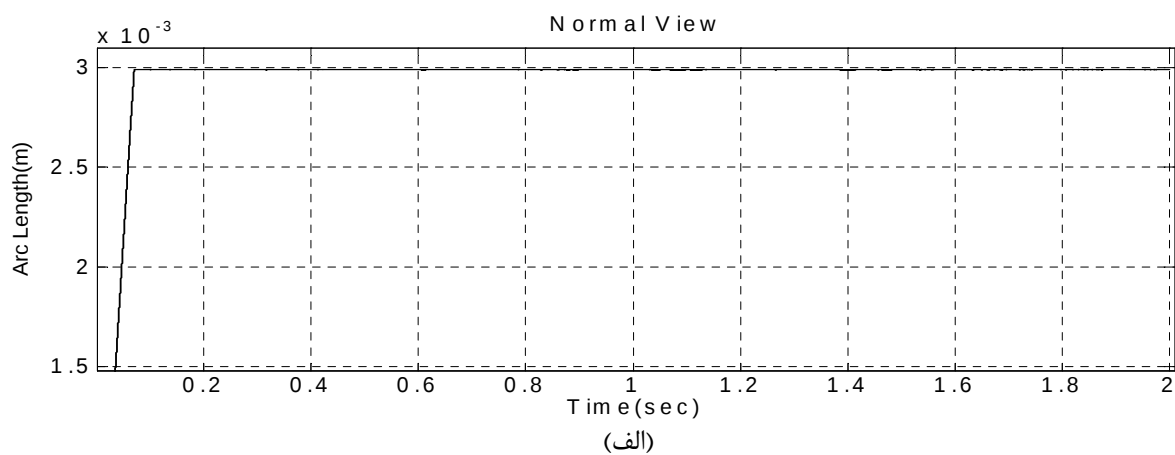


(الف)

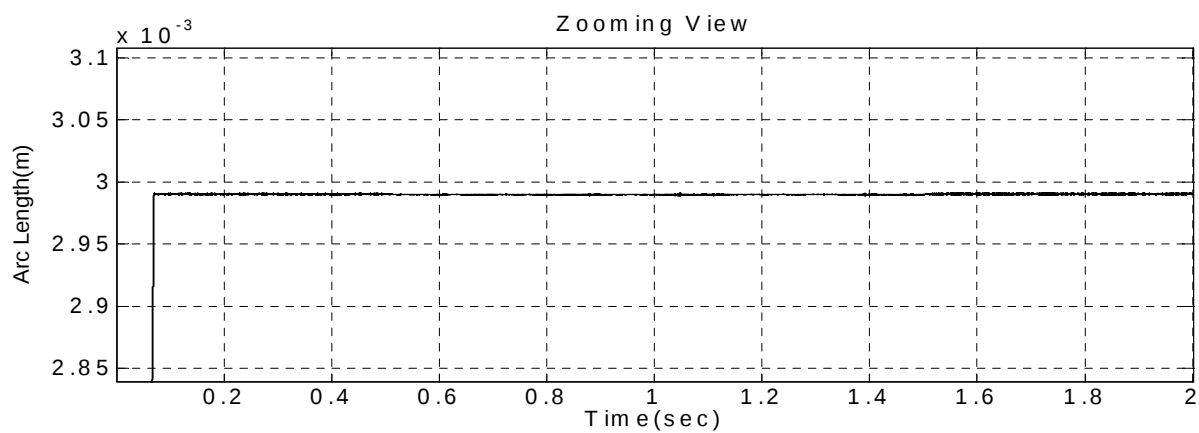


(ب)

شکل ۵-۲۰- (الف) ولتاژ ترمینال، (ب) جریان جوشکاری



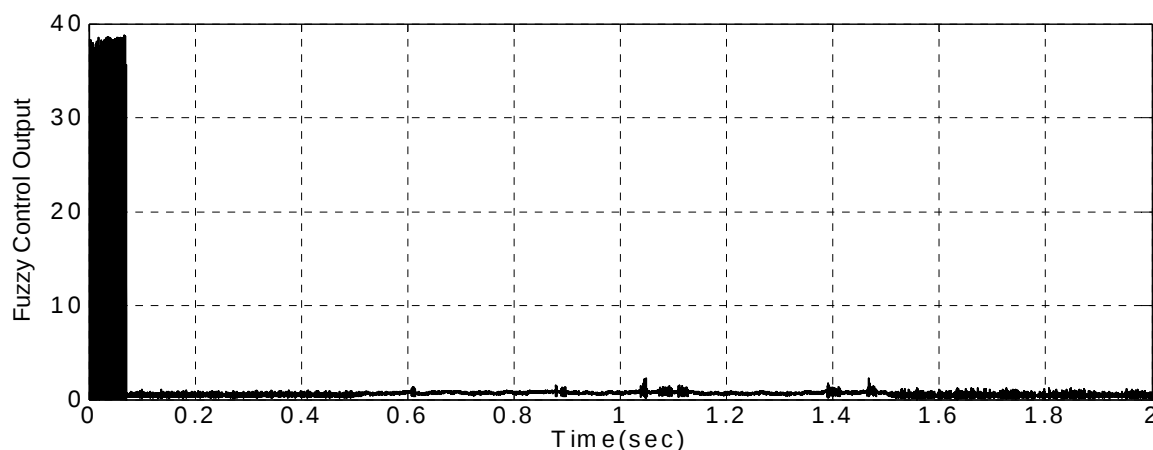
(الف)



(ب)

شکل ۵-۲۱- طول قوس، (الف) نمای معمولی، (ب) نمای بزرگ

ولتاژ و جریان جوشکاری در شکل ۵-۲۰- طبق رابطه (۵-۱) و (۵-۲) در حد مناسبی قرار داشته و مقدار جریان با حالت انتقال اسپری مطابق است. همانطور که در شکل ۵-۲۱- دیده می‌شود در حین جوشکاری با وجود لرزش دست جوشکار طول قوس در محدوده مقدار مطلوب ثابت نگه داشته می‌شود.



شکل ۵-۲۲- سیگنال اعمالی به منبع تغذیه توسط کنترل کننده فازی شبه PD

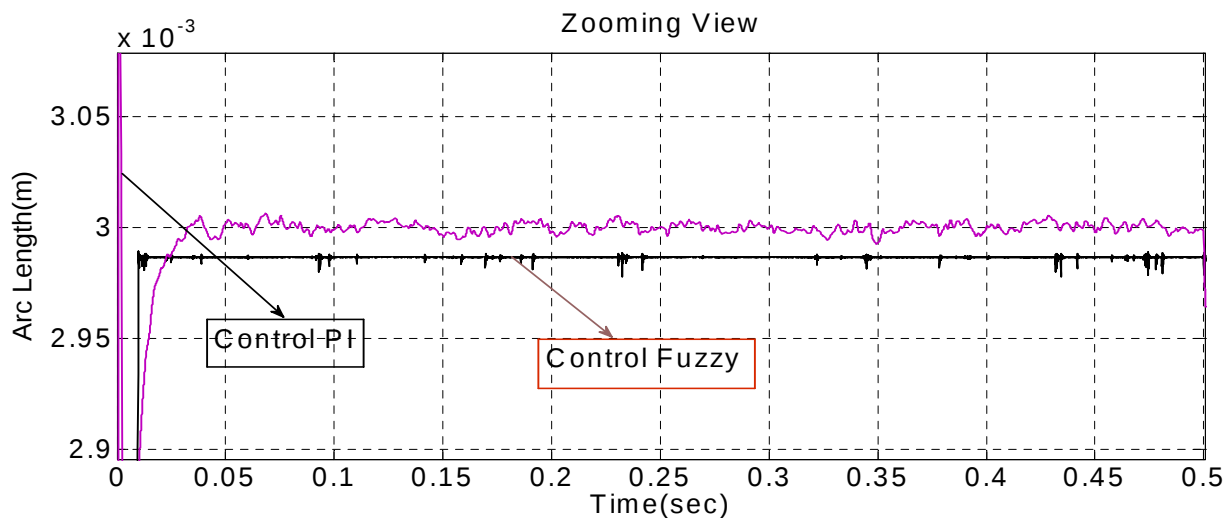
شکل ۵-۲۲- سیگنال کنترلی فازی شبه PD را نشان می‌دهد که این سیگنال وارد PWM می‌شود و در PWM این سیگنال با سیگنال مثلثی مقایسه شده و در نتیجه خروجی این مقایسه کننده PWM مورد نظر بدست می‌آید و باعث روشن و خاموش شدن IGBT ها می‌شود. همانگونه که مشخص است اگر در سیستم تغییراتی بوجود بیاید سیگنال خروجی از کنترل کننده (ورودی PWM) تغییر می‌کند و IGBT با این تغییرات روشن و خاموش می‌شوند و نیز ولتاژ یکسو شده ورودی که از طریق شبکه سه فاز برق متناوب شهری تولید می‌شود را به یک ولتاژ متناوب با فرکانس بالا تبدیل می‌کند و سپس ولتاژ متناوب تولیدی توسط اینورتر به یک ترانسفورمر کاهنده ولتاژ اعمال می‌شود و در نهایت این ولتاژ متناوب به یک یکسوساز تمام موج اعمال شده تا یک ولتاژ یکسو شده با دامنه متغیر ایجاد شود. و بدین صورت یک ولتاژ توان دار به فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی اعمال می‌شود.

مزیت بسیار بزرگی که کنترل کننده فازي شبه PD نسبت به بقیه کنترل کننده‌ها دارد این است که در کنترل کننده‌های پیشنهادی در [۹]، [۲۰] و [۲۵] بر عدم قطعیت های منبع توان مقابله می‌کند ولی کنترل کننده فازي شبه PD بدون در نظر گرفتن این عدم قطعیت های منبع توان و لرزش دست جوشکار طول قوس را به مقدار مطلوبی که انتظار داریم ثابت نگه می‌دارد.

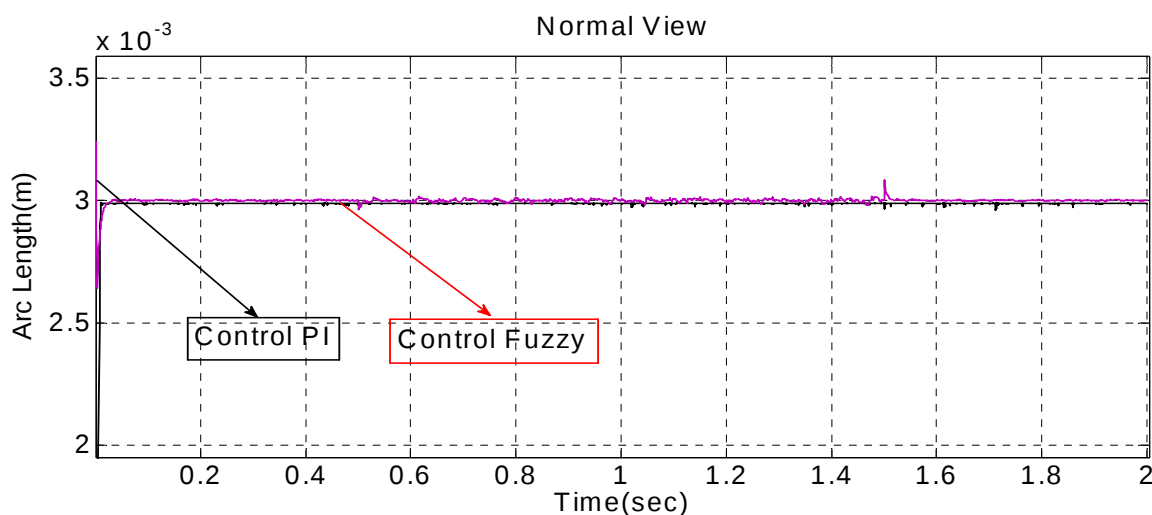
۵-۵- مقایسه کنترل کننده با کنترل کننده PI

هدف از مقایسه کنترل کننده PI با کنترل کننده فازي شبه PD این است که بدانیم اضافه کردن یک کنترل کننده که با روش فازي شبه PD کار می‌کند به چه میزان نسبت به یک کنترل کننده PI معمولی، عملکرد فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی را بهبود می‌بخشد. در مسائل کنترل بعد از پایداری سیستم و مقاوم بودن سیستم به زمان خیز^۱، فراجش^۲ و زمان استقرار^۳ می‌پردازیم. شکل ۵-۲۳ مقایسه کنترل کننده فازي شبه PD را با کنترل کننده PI نشان می‌دهد. همانگونه که از شکل ۵-۲۳ پیداست، فراجش کنترل کننده PI نسبت به کنترل کننده فازي شبه PD بسیار زیاد بوده، زمان خیز و زمان استقرار در کنترل کننده فازي شبه PD کمتر از کنترل کننده PI می‌باشد در ضمن اگر مقدار مطلوب طول قوس تغییر کند می‌بایست ضریب بهره تناسبی و بهره انتگرالگیر را در کنترل کننده PI تغییر داد ولی در کنترل کننده فازي شبه PD نیازی به تغییرات در ضرایب بهره تناسبی و بهره مشتق گیر و حتی در طراحی کنترل کننده فازي از قبیل توابع ورودی و خروجی، موتور استنتاج و غیر فازي ساز نداریم زیرا در فصل ۲ اشاره کردیم از خصوصیات کنترل کننده فازي این است که نیازی به مدل سیستم ندارد.

^۱ - Rise Time
^۲ - Overshoo
^۳ - Settle Time



(الف)



(ب)

شکل ۵-۲۳- مقایسه کنترل کننده فازی شبه PD را با کنترل کننده PI

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کنترل کننده فازی شبه PD عملکرد بهتری نسبت به کنترل کننده PI از لحاظ پایداری، مقاوم بودن، زمان استقرار، فراجش، زمان خیز و دفع اغتشاش در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی از خود نشان می‌دهد البته برای بهبودی همین کنترل کننده فازی شبه PD باز هم می‌توان تنظیمات بیشتر انجام داد و حتی می‌توان با همپوشانی روی توابع عضویت عملکرد این کنترل کننده را بهتر کرد.

فصل ششم

۶- نتیجه گیری

در این پایان نامه با در نظر گرفتن فرآیند جوشکاری دستی، کنترل فازی فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ برای رسیدن به کیفیت جوش مناسب مطرح شد. در ابتدا کاربرد جوشکاری بیان شد و سپس مزیت‌های استفاده از جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ مطرح گردید که امروزه به عنوان یکی از پرکاربردترین انواع جوشکاری در صنعت به حساب می‌آید. در این راستا برای رسیدن به کیفیت جوش مناسب می‌بایست کنترل کننده مناسبی برای فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ طراحی شود که کنترلر فازی یکی از آنها می‌باشد. در طراحی کنترلر فازی برای گروه‌های منفی و مثبت از توابع تعلق به شکل S و Z استفاده کردیم که بازه این توابع از ± 0.2 تا $\pm \infty$ انتخاب شده تا باعث هم‌پوشانی در تمامی نقاط توابع عضویت شود. هرچه گروه صفر را که بصورت گوسی تعریف کردیم کوچکتر کنیم خطای حالت ماندگار فرآیند کمتر می‌شود. یکی از دلایلی که باعث ایجاد اغتشاش در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی می‌شود عدم قطعیت‌هاست که عموماً ناشی از لرزش دست جوشکار می‌باشد و باعث اختلال در کنترل این فرآیند می‌شود اما به دلیل اینکه کنترل فازی بدون توجه به این اغتشاشات سیستم را کنترل می‌کند لذا لرزش دست جوشکار در کنترل فازی زیاد حائز اهمیت نمی‌باشد که این یکی از مزیت‌های کنترلر فازی می‌باشد.

تکنیک‌های به‌کار گرفته شده در طراحی کنترل فازی استفاده از مقیاس بندی مقدار خطا و مشتق خطا می‌باشد که این ضرایب مقیاس بندی شده به روش سعی و خطا انتخاب می‌شوند.

با توجه به کارهای انجام شده این نتیجه بدست می‌آید که کنترلر فازی از لحاظ پایداری و مقاوم بودن فرآیند در ثابت نگه داشتن طول قوس بهتر عمل می‌کند. همچنین در کنترلر فازی نیازی به دانستن مدل ریاضی فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی نمی‌باشد و نیز به دلیل غیر خطی بودن سیستم به سهولت می‌توان فرآیند را نسبت به کنترلرهای دیگر کنترل کرد. در انتها می‌توان اشاره کرد که این پایان نامه سیستم جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ را با کنترل کننده فازی شبه PD به عنوان مرحله آغازین طراحی به منظور ساخت سیستم پشت سر گذاشته است.

پیوست - الف

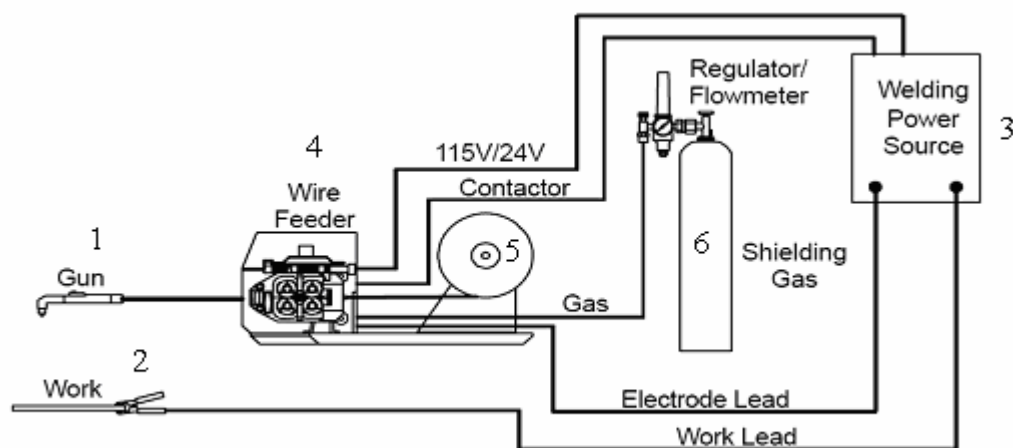
تجهيزات جوشکاری

برای انجام فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ، همانگونه که در شکل الف-

۱- نشان داده شده است، تجهیزات الزامی پایه عبارتند از:

۱- انبر جوش، ۲- قطعه کار، ۳- منبع تغذیه جوشکاری، ۴- واحد تغذیه سیم الکتروود، ۵- سیم

الکتروود، ۶- گاز محافظ.



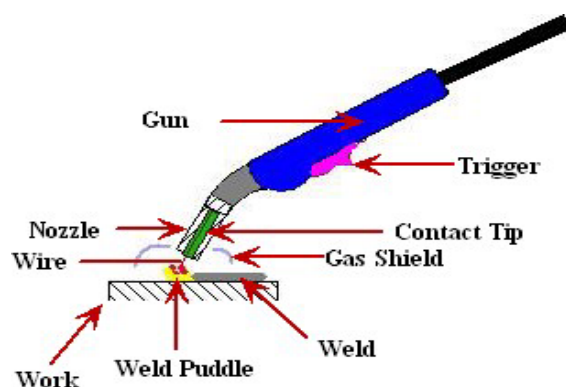
شکل الف-۱- شمای کلی تجهیزات فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ

۱- انبر جوش

در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ انبر جوش دارای قسمت های

کلیدی می باشد که شکل الف-۲- این قسمتها را نمایش داده است که عبارتند از:

۱- سوئیچ کنترلی، ۲- لوله اتصال^۱، ۳- کابل تغذیه، ۴- نازل گاز (دهانه گاز)، ۵- لوله حامل الکتروود و بوش^۲، ۶- لوله حامل گاز^۳.



شکل الف-۲- قسمتهای کلیدی انبر جوش

عملکرد انبر جوش به گونه ای است که وقتی سوئیچ کنترلی یا تريگر توسط اپراتور فشرده می

شود تغذیه الکتروود، منبع الکتریکی، و جریان گاز محافظ آغاز می شود که به تبع آن قوس الکتریکی زده می شود.

همانگونه که از شکل الف-۳- پیداست، معمولاً لوله اتصال به طور نرمال از جنس مس می باشد و بعضی اوقات با تغییرات شیمیایی در جنس آن، باعث کاهش ترشحات ناشی از جوشکاری می شوند. این قسمت از طریق کابل تغذیه به منبع تغذیه متصل می شود و انرژی الکتریکی را به الکتروود در حالی که آنرا به سمت منطقه جوش هدایت می کند، منتقل می کند.

¹ Contact Tip

² Electrode Conduit and Liner

³ Gas Hose

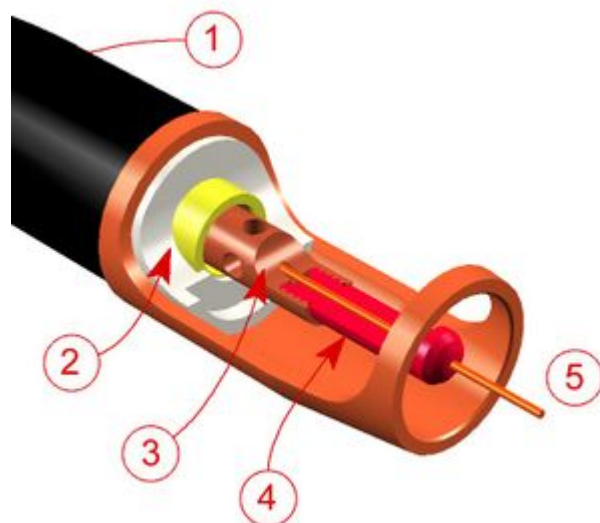


شکل الف-۳- لوله اتصال

لوله اتصال بایستی به قدر کافی محکم و متناسب با قطر الکترود به کار رفته، اندازه بندی شده باشد چراکه می بایستی اجازه عبور الکترود را درحالی که اتصال الکتریکی را حفظ می کند، بدهد.

سیم الکترود قبل از رسیدن به لوله اتصال توسط لوله حامل الکترود و بوش، محافظت و هدایت می شود که کمک می کند به جلوگیری از پیچش سیم و تغذیه الکترود را بدون وقفه برقرار می دارد.

همانگونه که از شکل الف-۴-پیداست، برای هدایت گاز محافظ به سمت ناحیه جوش به طور مداوم و یکنواخت از نازل گاز استفاده می کنند. اگر جریان گاز به طور غیر یکنواخت باشد نمی تواند محافظت کافی از ناحیه جوش به عمل آورد. نازل های بزرگتر، جریان گاز بیشتری را فراهم می کنند که برای عملیات جوشکاری جریان بالا مفید است. در این حالت اندازه حوضچه جوش مذاب افزایش می یابد.



شکل الف-۴- شمای بریده شده انبر جوش ۱- دسته انبر، ۲- دی الکتریک پلیمری قالب ریزی شده (نمایش داده شده به رنگ سفید) و مهره فلزی رزوه شده در داخل آن، ۳- نازل یا دریچه گاز محافظ، ۴- لوله اتصال، ۵- نمای بیرونی نازل

گاز محافظ از طریق لوله حامل گاز که به مخزن گاز محافظ متصل است، برای نازل تامین می شود. بعضی اوقات هم یک لوله حامل آب در داخل انبر جوش تعبیه می شود که در عملیات جوشکاری با گرمای بالا به عنوان خنک کننده مورد استفاده قرار می گیرد. معمولاً اکثر انبرهای جوش توسط هوای اطراف خنک می شوند.

۲- منبع تغذیه (منبع توان)

در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ، از منبع تغذیه ولتاژ ثابت در اکثر کاربردها استفاده می کنند. در نتیجه هرگونه تغییری در طول قوس منجر به گرمای ورودی بسیار بزرگتری خواهد شد که این امر باعث سریع تر ذوب شدن الکترود می شود و در نتیجه طول قوس آغازین حفظ می شود. این مسئله به کاربر کمک می کند که طول قوس را پایدار و ثابت نگه دارد حتی وقتی جوشکاری به صورت دستی توسط انجام می شود.

برای رسیدن به تاثیرات کمتر ناشی از تغییرات طول قوس، بعضی اوقات از یک منبع تغذیه جریان ثابت در ترکیب با یک واحد تغذیه الکتروود کنترل شده با ولتاژ قوس استفاده می کنند. در این حالت، تغییری در طول قوس منجر به تنظیم سرعت تغذیه الکتروود به گونه ای می شود تا یک طول قوس نسبتاً ثابت را برقرار کند. در شرایط نادری ممکن است یک منبع تغذیه جریان ثابت با یک واحد تغذیه الکتروود سرعت ثابت با هم کوپل شوند، خصوصاً برای جوشکاری های فلزاتی با رسانایی حرارتی بالا مانند آلومینیم. این کار به کاربر این امتیاز را می دهد تا کنترل اضافی روی گرمای ورودی به جوش داشته باشد.

منابع تغذیه جریان متناوب به ندرت در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ استفاده می شود، در عوض جریان مستقیم بیشتر به کار برده می شود و الکتروود معمولاً به قطب مثبت منبع وصل است چرا که قطب منفی (آند) تمایل به جذب گرمای بیشتری دارد، این مسئله منجر به ذوب سریعتر الکتروود می شود که نفوذ جوش و سرعت جوش را افزایش می دهد. قطب های اتصال می تواند معکوس شود البته فقط زمانی که الکتروود های روکشدار تابنده خاص به کار برده شوند که این نوع الکتروود ها کمتر مورد استفاده قرار می گیرند.

۳- سیم الکتروود

انتخاب نوع الکتروودی که در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ استفاده می شود، اصولاً بر مبنای ترکیب فلزی است که باید جوش داده شود. اما به حالت انتقال فلز به کار رفته در فرآیند، طرح اتصال دو فلز و شرایط سطح فلز نیز بستگی دارد. انتخاب نوع الکتروود به شدت روی خواص مکانیکی ناحیه جوش تاثیر می گذارد و یک عامل کلیدی در تعیین کیفیت جوش است. در کل، الکتروود باید دارای خواص مکانیکی مشابه با فلز پایه باشد و عیب هایی از قبیل ناپیوستگی، آلاینده ها و یا تخلخل در جوش را نداشته باشد. برای رسیدن به این اهداف، رنج وسیع

و متنوعی از الکترودها وجود دارد. تمام الکترودهای تجاری در دسترس شامل درصد کمی فلزات اکسیژن زدا از قبیل سیلیکون، منگنز، تیتانیم و آلومینیم برای جلوگیری از تخلخل اکسیژن می باشند، و بعضی ها هم شامل درصد کمی از فلزات نیتروژن زدا از قبیل تیتانیم و زیرکونیوم برای جلوگیری از تخلخل نیتروژن می باشند. قطرهای الکترودهای بکار گرفته شده در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ بنا به حالت انتقال فلز و فلز پایه مورد استفاده، نوعاً در رنجی بین 0.7 mm تا 2.4 mm (0.028 in - 0.095 in) تغییر می کند ولی می تواند به اندازه 4 mm (0.16 in) هم باشد.

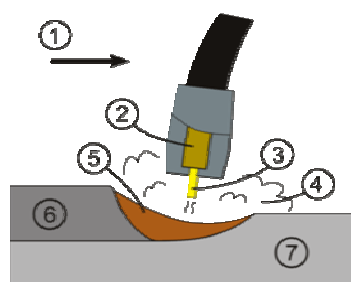
کوچکترین الکترودها معمولاً تا 1.14 mm (0.045 in) بیشتر قطر ندارد و مربوط به حالت انتقال اتصال کوتاه می باشند در حالی که معمول ترین الکترودهای حالت انتقال اسپری دارای قطر حداقل 0.9 mm (0.035 in) می باشند.

۴ - گاز محافظ

گازهای محافظ در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ برای محافظت ناحیه جوشکاری از گازهای هوای اطراف از قبیل اکسیژن و نیتروژن که باعث ایجاد نقصهای جوش، تخلخل و شکنندگی جوش می شوند، ضروری هستند چراکه اگر آنها در تماس با الکتروده، قوس و یا فلز جوش قرار بگیرند، قادر به ایجاد نقایص گفته شده می باشند. این مشکل در تمام فرآیندهای جوشکاری امری عادی است اما در بسیاری از روش های جوشکاری از مواد ذوب کننده (گدازآور) به جای یک گاز محافظ استفاده می کنند که در اثر حرارت جوشکاری، به گازهای محافظ تجزیه می شوند. در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی در پناه گاز محافظ هرچند الکتروده دارای روکش ذوب کننده نیست اما از یک گاز محافظ برای حفاظت جوش بهره می برد. این کار باعث حذف سرباره می

شود. سرباره در حقیقت باقیمانده مواد ذوب کننده است که بعد از جوشکاری ایجاد می شوند و باید از سطح جوش برای اشکار شدن خود جوش پاک شوند.

شکل الف-۵- شمای کلی چگونگی تشکیل گازهای محافظ را در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی را نمایش می دهد.



شکل الف-۵- شمای کلی چگونگی تشکیل گازهای محافظ را در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی

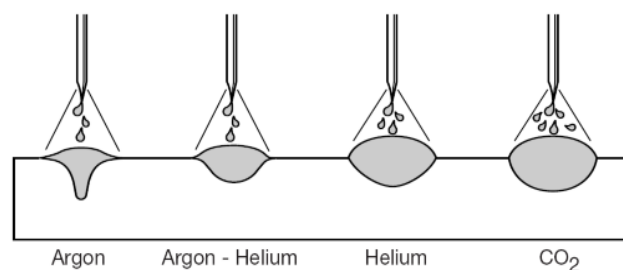
۱- مسیر حرکت، ۲- لوله تماس، ۳- الکترود، ۴- استحفاظ گاز، ۵- فلز ذوب شده جوش، ۶- فلز سفت شده جوش، ۷- قطعه کار.

انتخاب گاز محافظ به چندین فاکتور بستگی دارد که مهمترین آن فلزی است که باید جوش داده شود. (حالت انتقال فلز به کار رفته در فرآیند) گازهای خنثی خالص مانند آرگون و هلیوم فقط برای جوشکاری فلزات غیر آهنی به کار برده می شوند. استفاده از هلیوم در جوشکاری فولاد باعث ایجاد یک قوس نامنظم و شدت ترشحات جوش می شود و استفاده از آرگون در جوشکاری فولاد باعث نفوذ پذیری کافی جوش را فراهم نمی کند.

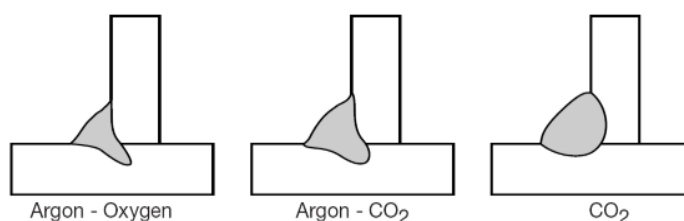
از طرف دیگر دی اکسید کربن خالص جوشهای نفوذپذیری بالا را ایجاد می کند اما شکل گیری اکسید را تقویت می کند که به طور زیان آوری بر خواص مکانیک جوش اثر می گذارد. قیمت پایین این گاز است که آنرا به عنوان یک انتخاب جذاب معرفی می کند اما به خاطر سختی قوس، ترشحات اجتناب ناپذیر است جوشکاری فلزات نازک مشکل می شود.

در نتیجه آرگون و در اکسید کربن معمولاً به نسبت ۷۵٪ به ۲۵٪ یا ۸۰٪ به ۲۰٪ با هم مخلوط می شوند که باعث کاهش ترشحات می شود و جوشکاری فولاد های نازک را ممکن می سازد.

آرگون با دیگر گازها نیز مخلوط می شود از قبیل اکسیژن، هلیوم، هیدروژن، و نیتروژن. مقدار بیش از ۵٪ اکسیژن در ترکیب با آرگون حالت انتقال اسپری را تقویت می کند که این مقدار برای جوشکاری حالت اسپری و اسپری پالسی مهم است. در هر حال مقدار بیشتری اکسیژن باعث می شود گاز محافظ الکتروود را اکسید کند که می تواند منجر به تخلخل در جوش ته نشین شده بشود اگر الکتروود به مقدار کافی مواد اکسیژن زدا نداشته باشد.



(الف)



(ب)

شکل الف-۶- (الف) شکل دانه جوش و الگوی نفوذ جوش در استفاده از گازهای محافظ گوناگون، (ب) مقایسه تأثیر

افزودن اکسیژن و دی اکسید کربن به گاز آرگون در شکل جوش [۵۳].

مخلوط آرگون با هلیوم کاملاً خنثی است و برای فلزات غیر آهنی به کار می رود. غلظت ۵۰٪ تا ۷۰٪ هلیوم باعث بالا رفتن ولتاژ و افزایش گرما در قوس می شود که برای جوشکاری فلزات ضخیم مفید است. همچنین درصد بالاتری از هلیوم باعث بهبود کیفیت جوش و سرعت استفاده از جریان متناوب در جوشکاری آلومینیم می شود.

هیدروژن نیز برای جوشکاری نیکل و فولاد ضدزنگ ضخیم تا تقریباً ۵٪ با آرگون مخلوط می شود. در غلظت های بالای هیدروژن تا حدود ۲۵٪ برای جوشکاری فلزات رسانا از قبیل مس مناسب است. به هر حال نباید از هیدروژن برای جوشکاری فولاد، آلومینیم و منیزیم استفاده کرد چرا که ریسک تخلخل در اثر هیدروژن وجود دارد. بعلاوه بعضی اوقات برای جوشکاری مس نیتروژن را در غلظت های ۲۵٪ تا ۵۰٪ به آرگون اضافه می کنند اما استفاده از نیتروژن به خصوص در آمریکای شمالی محدود است. مخلوطهای دی اکسید کربن و اکسیژن با آرگون هم به ندرت در آمریکای شمالی به کار می رود برعکس در اروپا و ژاپن بیشتر معمول است.

پیشرفت های اخیر در مخلوط های گازهای محافظ نشان داده است که استفاده از مخلوط ۳ یا تعداد بیشتری گاز باعث بهبود کیفیت جوش می شود. مخلوط ۷۰٪ آرگون، ۲۸٪ دی اکسید کربن و ۲٪ اکسیژن برای جوشکاری فولاد بسیار خوب جواب داده است، درحالی که در دیگر مخلوط ها با اضافه کردن مقدار کمی هلیوم به ترکیب آرگون - اکسیژن باعث بالابردن ولتاژ قوس و سرعت جوش می شود. هلیوم نیز بعضی مواقع به عنوان گاز پایه مخلوط استفاده می شود که مقدار کمی از آرگون و دی اکسید کربن به آن اضافه می شود. بعلاوه، دیگر مخلوطهای ویژه و اغلب اختصاصی ادعا می کنند که می توانند حتی برای کاربرد های خاص مزایای بیشتری هم ایجاد کنند.

میزان جریان گاز مطلوب اصولاً وابسته به هندسه جوش، جریان جوشکاری، نوع گاز، و حالت انتقال فلز استفاده شده می باشد. جوشکاری سطوح تخت نیاز به جریان گاز بیشتری نسبت به جوشکاری مواد شیار دار دارد چراکه گاز روی چنین سطوحی بسیار سریعتر پراکنده می شود. در جوشکاری های با سرعت بالا نیز جریان گاز بیشتری باید به کار برده شود تا پوشش کافی را فراهم کند. بعلاوه جریان جوشکاری بالاتر نیاز به جریان گاز بیشتری دارد و معمولاً هلیوم بیشتری برای فراهم کردن پوشش کافی نسبت به آرگون نیاز است. چهار حالت اصلی انتقال فلز در فرآیند جوشکاری قوس الکتریکی هرکدام نیاز به یک جریان گاز خاصی دارند، برای حوضچه های جوش کوچک در حالت های اتصال کوتاه و اسپری پالسی تقریباً ۱۰ لیتر بر دقیقه مناسب است، درحالیکه برای حالت دانه ای حدود ۱۵ لیتر بر دقیقه معادل ۳۰ فوت مکعب بر دقیقه ترجیح داده می شود. در حالت اسپری

به طور نرمال نیاز به مقدار بیشتری گاز محافظ داریم چراکه ایجاد گرمای ورودی بالاتر و بنابراین حوضچه جوش بزرگتری در حدود ۲۰ تا ۲۵ لیتر بر دقیقه معادل ۴۰ تا ۵۰ فوت مکعب بر دقیقه ایجاد می کند.

پیوست - ب

اصطلاحات و نمادها

در این پیوست لیست مربوط به متغیرها، پارامترها و ثابت های استفاده شده در زیر ارائه می شود. مقدار عددی ثابت ها با استفاده از [۸]، [۹] و [۳۳] استخراج شده اند.

مدار الکتریکی بدون در نظر گرفتن قوس

نماد	مقدار	واحد	توصیف
U_c		V	ولتاژ کنترلی
U_t		V	ولتاژ ترمینال
I		A	جریان جوشکاری
L_m	10^{-6}	H	سلف خروجی ماشین جوشکاری
L_w	15×10^{-6}	H	مقاومت کلی سیم های رابط جوشکاری
R_w	0.004	Ω	سلف کلی سیم های رابط جوشکاری
R_C	0.017	Ω	مقاومت تماسی الکتروود با لوله اتصال
R_e		Ω	مقاومت الکتروود
ρ_r	0.2821	Ω/m	مقاومت ویژه الکتروود

قوس الکتریکی

نماد	مقدار	واحد	توصیف
l_a		m	طول قوس
U_a		V	ولتاژ قوس
U_0	$15/7$	V	ثابت ولتاژ قوس
R_a	0.022	Ω	مقاومت قوس
E_a	636	V/m	فاکتور طول قوس

الکتروود

نماد	مقدار	واحد	توصیف
r_e	$5e-4$	m	شعاع الکتروود
A		V	سطح مقطع الکتروود
l_s		V	بیرون زدگی الکتروود
ρ_e	۷۸۶۰	kg/m ³	چگالی الکتروود

نرخ ذوب حالت دائم

نماد	مقدار	واحد	توصیف
M_R		m ³ /s	نرخ ذوب
v_m		m/s	سرعت ذوب
c_1	$2/885e-4$	m ³ /(A.s)	ثابت نرخ ذوب
c_2	$5/22e-10$	m ² /(A ² .s)	ثابت نرخ ذوب
k_1	$3/7e-4$	m/(A.s)	ثابت سرعت ذوب
k_2	$6/6e-4$	(A.s) ⁻¹	ثابت سرعت ذوب

نمادهای دیگر

نماد	مقدار	واحد	توصیف
τ_i	$6/66e-5$	s	ثابت زمانی تقریبی دینامیک جریان
l_c	۰/۰۱۵	m	فاصله لوله اتصال تا قطعه کار
v_e	۰/۲۶۷	m/s	سرعت تغذیه سیم الکتروود
v_c		m/s	سرعت تغییرات فاصله لوله اتصال تا قطعه کار

منابع و مراجع

- [1] J.H. Lang, L.A. Jones and T.W. Eagar, "A dynamic model of drops detaching from a gas metal arc welding electrode," *J. Phys. D: Appl. Phys.*, vol. 31, pp. 107–123, 1998.
- [2] H.B. Cary and S.C. Helzer " Modern welding technology" *Prentice Hall*, 2004.
- [3] K.L. Moore, D.S. Naidu and S. Ozcelik, " Modeling, sensing and control of gas metal arc welding" *Elsevier*, 2003.
- [4] J.H. Lang, L.A. Jones and T.W. Eagar, "Magnetic forces acting on molten drops in gas metal arc welding," *J. Phys. D: Appl. Phys.*, vol. 31, pp. 93–106, 1998.
- [5] D.E. Henderson, P.V. Kokotovic, J.L. Schiano and D.S. Rhode, "Adaptive control of an arc welding process," *Proc. Of the American control conference*, 1991.
- [6] P. Praveen, P.K.D.V. Yarlagadda and M.J. Kang, "Advancement in pulse gas metal arc welding," *J. Materials Processing Technology*, pp. 164-165, 2005.
- [7] C.S.Wu, M.A. Chen and S.K. Li, "Analysis of excited droplet oscillation and detachment in active control of metal transfer," *Computational Materials Science* vol. 31, pp. 147-154, 2004.
- [8] L B.L. Walcott, Y.M. Zhang and Liguao E, "Interval model based control of gas metal arc welding," *Proc. of the American Control Conference*, 1998.
- [9] J.S. Thomsen, "Advanced control methods for optimization of arc welding," *Ph.D. Dissertation, department of control engineering, aalborg university, denmark*, 2005
- [10] V.A. Nemchinsky, "Heat transfer in an electrode during arc welding with a consumable electrode," *J. Phys. D: Appl. Phys.*, vol. 31, pp.730–736, 1998
- [11] D. Iordachescu and L. Quintino, "Steps toward a new classification of metal transfer in gas metal arc welding," *J. Materials Processing Technology*, vol. 202, pp. 391-397, 2008.
- [12] R. Yender, J. Tyler, K.L. Moore and D.S. Naidu, "Modeling, calibration, and control-theoretic analysis of the gmaw process," *Nonlinear Analysis, Methods and Applications, Proc. American Control Conference (ACC)*, vol. 3, pp. 1747–1751, 1998.

- [13] G.E. Cook. "Decoupling of weld variables for improved automatic control," Trends in welding research, Proc. 5th International Conference, pp. 1007–1015, 1998.
- [14] K.L. Moore, D.S. Naidu, and M.A. Abdelrahman, "Gas metal arc welding control: Part II –Control Strategy–," *Nonlinear Analysis*, vol. 35, pp. 85-93, 1999.
- [15] M.A. Abdelrahman, "Feedback linearization control of current and arc length in GMAW systems," *Proc. of the american control conference, philadelphia, pennsylvania*, vol. 3, pp. 1757-1761, June 1998
- [16] M. Jalili-Kharaajoo, V. Gholampour, H. Ebrahimirad, and A.R. Asna Ashari, "Robust nonlinear control of current and arc length in GMAW systems," *Proc. conf. on control applications*, vol. 2, pp. 1313-1316, 2003..
- [17] S. Ozcelik, K.L. Moore, and D.S. Naidu, "Application of MIMO direct adaptive control to gas metal arc welding," *Proc. of the american control conference, philadelphia, pennsylvania*, vol.3, pp. 1762-1766 June 1998.
- [18] S.D. Naidu, J. Tyler, S. Ozcelik and K.L. Moore, "Classical control of gas metal arc welding," Trends in Welding Research, Proc. 5th International conference, pp. 1033–1038, 1998.
- [19] M. Golob, A. Koves, A. Puklavek, and B. Torvornik, "Modelling, simulation and control of the GMAW welding Process," *15th triennial world congress, Int. fed. of automatic control, barcelona, spain*, 2002
- [20] J.S. Thomsen, "Feedback linearization based arc length control for gas metal arc welding," *american control conference, portland, USA*, vol. 5, pp. 3568-3573, June 2005.
- [21] L K.L. Moore, D.S. Naidu, R. Yender, and J. Tyler, "Gas metal arc welding control: Part I –modeling and analysis–," *Nonlinear Analysis, methods and application*, vol. 30, no. 5, pp. 3101-3111, 1997.
- [22] W.H. Chu, P.C. Tung, "Development of an automatic arc welding system using a sliding mode control," *Int. J. Machine tools & Manufacture*, vol. 45, pp. 933-939, 2005.
- [23] K.L. Moore and D.S. Naidu, "Automatic control strategies for gas metal arc welding," A status survey, trends in welding research, Proc. 5th International conference, pp. 1027–1032, 1998
- [24] Y.S. Kim, S.K. Choi and C.D. Yoo, "Dimensional analysis of metal transfer in gma welding," *J. Phys. D: Appl. Phys.*, vol. 32, pp. 326–334, 1999.

- [25] A. Katamianfar, M.M. Fateh, "Sliding mode control of the gas metal arc welding system " *Department of electrical and robotic engineering shahrood university of technology* summer 2008
- [26] A. Katamianfar, M.M. Fateh and S. Shahrabi Farahani, "On sliding mode control of the manual gas metal arc welding process," *Accepted in the 2008 IEEE international conference on systems, man, and cybernetics* (SMC 2008).
- [27] Dr. Leonid REZNIK "Evolution of fuzzy controller design " *IEEE* 0-7803-3796-4/97/ 1997
- [28] Lee, C.-C. "Fuzzy logic in control systems " *Fuzzy logic control* . *IEEE Transactions on systems, man, and cybernetics*, vol. 20, No.2, p. 404 - 435, 1990 Lee, M.A.; Takagi, H. Integrating design stage
- [29] Brehm. T.; Rattan, K.S. Hybrid "fuzzy logic PID controller " *Proceedings of the IEEE 1993 national aerospace and electronics conference*. NAECON 1993 p. 807-13 v01.2, IEEE, New York, NY, USA, 1993
- [30] Yu Cheng , Fu-Rong Lei "Speed control of ultrasonic motors by auto-tuning fuzzy PI control " *Proceedings of the four world congress on intelligent control and automation* june 10-14, 2002, shanghai, P.R.China
- [31] L.REZNIK, " Fuzzy controllers" Victoria university of technology, melbourne, australia, 1997
- [32] Wang Li-Xin "A supervisory controller for fuzzy control systems that guarantees stability " *IEEE transactions on automatic control*, vol.39, No. 9, pp 1845 - 1847, 1994
- [33] M.D. Ngo, V.H. Duy, N.T. Phuong, H.K. Kim and S.B. Kim, "Development of digital gas metal arc welding system," *J. Materials processing Technology*, vol. 189, pp. 384-391, 2007.
- [34] H.Lu, T.Mei and R.Wang "Application of self-tuning fuzzy PI+PD controller in joint DC servo motors of A four-leg robot" *IEEE* 0-7803-8629-9/04/ 2004
- [35] H.Yamamoto, S. Harada and T.Yasuda, "The development of welding current control systems for spatter reduction", *Welding Technique*, February, 1989
- [36] T. Mita, "Spatter reduction-power source considerations", *Journal of the japan welding society*, August, 1990.
- [37] J.S. Gho, Y.M. Chae, E.S. Kim, C.Y. Won, H.S. Mok, G.H. Choe "A study on the effect of wire feeding speed controller in inverter arc welding machine" *IEEE 1999 international conference on power electronics and drive systems*, PEDS'99, July 1999, Hong Kong.

- [38] S.W. Simpson, P. Zhu and M. Rados, "A theoretical study of a gas metal arc welding system," *Plasma Sources Sci. Tech.*, vol. 4, pp. 495–500, 1995.
- [39] H. Lee, E. Kim, H.J. Kang and M. Park, "A new sliding-mode control with fuzzy boundary layer," *Fuzzy sets and systems* vol. 120, pp. 135–143, 2001.
- [40] Chufu Chien Lee" Fuzzy logic control systems; fuzzy logic controller Part I,II" *IEEE transaction on systems, man and cybernetics* Vol.20,No.2 march/april 1990

Abstract

The aim of this thesis is to design a fuzzy Control of Arc Welding Process in Protective Gas environment. The novel of this thesis is to increase using of this kind of welding in both manual and robotic forms in Industrial Production. Here the control of arc welding process in protective gas environment in manual way is being presented. A new perspective use of fuzzy control in industrial processes for increasing quality level of welding and easiness of this operation by the welder is presented. The quality of welding is highly affected by the unpragmatism, which one of the important ones is hand flutter of the welder. Therefore unpragmatism in fuzzy controllers has no special effect in arc welding process control. Since in fuzzy control there is no need to know the mathematical models and process imposed stimulations. This characteristic is one of the main characteristics of these controllers. In control system the measurement of variant of length of arc is being considered. In addition the source of power is used on the basis of INVERTER with use of modulation technique of width of pulse for voltage production in welding machine. Simulation in MATLAB environment with industrial control of industrial electrical *ac/dc* exchanger has been performed.

This thesis is aimed use of fuzzy control to fix the length of arc and consequently amelioration of welding quality in industrial arc welding process. The design and simulation levels of which are submitted.

In simulation, considering a partly operational situation in a manual welding, especially the dynamic presence of source of power in welding machine an appropriate control has been done. To indicate the results of simulation of appropriate operation of fuzzy control system in fix of length of arc.

Key Words: Arc Welding, fuzzy Control, Length of Arc

IN THE NAME OF GOD



SHAHROOD UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY

Fuzzy Control of Arc Welding Process in Protective Gas Environment

A Thesis

Presented in Partial Fulfillment of the
Requirements for the Degree Master of Science in
Control Engineering

Supervisor

Prof. M.M. Fateh & Dr. M.A.Sadnia

By

Mehdi Ziaefar

Department of Electrical and Robotic Engineering
Shahrood University of Technology

Summer 2009