

پیاده‌سازی آزمایشگاهی سیستم کنترل هوشمند مبتنی بر یادگیری عاطفی

مغز، Brain Emotional Learning

ندا شهیدی

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد - دانشکده مهندسی کامپیوتر - دانشگاه صنعتی شریف

n_shahidi@ce.sharif.edu

هادی اسمعیل‌زاده

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی برق - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

hadi@cad.ece.ut.ac.ir

رسول محمدی میلادی

فارغ التحصیل کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی برق - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

rmilasy@ece.ut.ac.ir

کارو لوکس

استاد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران

lucas@ipm.ir

(تاریخ دریافت ۸۳/۷/۱۱، تاریخ دریافت روایت اصلاح شده ۸۴/۳/۲۲، تاریخ تصویب ۸۴/۷/۱۶)

چکیده

در این مقاله پیاده‌سازی کنترل‌کننده هوشمند مبتنی بر یادگیری عاطفی در مغز (BELBIC) برای کار در شرایط واقعی آزمایشگاهی بررسی شده است. BELBIC تک ورودی و تک خروجی (SISO) تعدادی پارامتر یا درجه آزادی در اختیار استفاده‌کننده قرار می‌دهد که می‌توان با تنظیم آنها به پاسخ مناسب دست یافت. در شبیه‌سازیهای کامپیوتری که در مقالات مربوطه انجام شده است، عملکرد این کنترل‌کننده برای کنترل سیستم‌های خطی و غیرخطی تایید شده است. ولی به هر حال در کنترل یک سیستم واقعی باید عوامل دیگری را نیز لحاظ کرد که در شبیه‌سازی ظاهر نمی‌شوند. در این مقاله، کنترل سرعت یک سرو موتور DC آزمایشگاهی با استفاده از BELBIC بررسی شده و با نتایج یک کنترل‌کننده PID مقایسه شده است. برای تنظیم پارامترهای BELBIC و PID از مدل شبیه‌سازی شده سروموتور استفاده شده است. در این مقاله همچنین روشی برای برقراری ارتباط بین بخش حقیقی و بخش مجازی سیستم معرفی شده است و آزمایش کنترل سرعت سروموتور با استفاده از همین روش انجام گرفته است. نتایج آزمایش عملکرد مناسب BELBIC در شرایط واقعی را تایید می‌کند، برتری این کنترل‌کننده را نسبت به کنترل‌کننده PID نشان می‌دهد.

واژه های کلیدی: کنترل‌کننده هوشمند مبتنی بر یادگیری عاطفی در مغز (BELBIC)، شبیه‌سازی با حلقه

سخت‌افزاری، سرو موتور DC

مقدمه

تنظیم مجدد پارامترهای کنترل‌کننده به خودی خود، کاری زمان‌بر است. حتی برای کنترل‌کننده‌هایی که به مدل وابسته نیستند مانند کنترل‌کننده‌های فازی نیاز به تنظیم خودکار یا دستی پارامترها وجود دارد [۲]. از این رو کنترل تطبیقی^۲ و هوشمند^۳ از رویکردهای جدید مهندسی کنترل می‌باشند. در کنترل هوشمند گرایش شدیدی برای الهام از سیستمهای طبیعی وجود دارد مانند

روشهای کنترل سنتی مبتنی بر شناسایی و مدل‌سازی سیستم و طراحی کنترل‌کننده با توجه به اهداف از پیش تعیین شده برای سیستمهای تحت کنترل هستند. با پیچیده‌تر شدن این سیستمها، شناسایی آنها با روشهای قبلی دشوارتر و گاه غیرممکن می‌شود. از طرفی با توجه به پویایی سیستم تحت کنترل، بروز نایقینی^۱ و حتی تغییر سیستم در اثر فرسودگی، نیاز به طراحی و تنظیم مجدد کنترل‌کننده به وجود می‌آید [۱]. مساله

مشکل است. از این رو پیش از اینکه مساله در سطح شناختی، یعنی با در نظر گرفتن بازنمایی کامل محرک خارجی، پردازش شود، پردازش مساله در سطح ادراکی با کمک یک بازنمایی ساده‌تر از محرک خارجی توسط عواطف صورت گرفته و به سرعت یک جواب موقتی و نسبتاً خوب بدست می‌آید [۲]. از این رو پردازش عاطفی به فرایند تصمیم‌گیری سرعت می‌بخشد.

در کوشش‌هایی که در دهه ۸۰ برای شناخت فرایند تصمیم‌گیری عاطفی انجام شده است، سیستم عاطفی به صورت یک سیستم خبره معرفی می‌شود. در این رویکرد، تصاویر موجود که شامل بازنمایی محرک خارجی و پاسخ سیستم خبره به آن می‌باشند با "خوب" یا "بد" برچسب زده می‌شود. در زمان تصمیم‌گیری تصاویری که برچسب "بد" دارند حذف شده و تصمیم‌گیری بین بقیه تصاویر انجام می‌گیرد [۱۱، ۱۲].

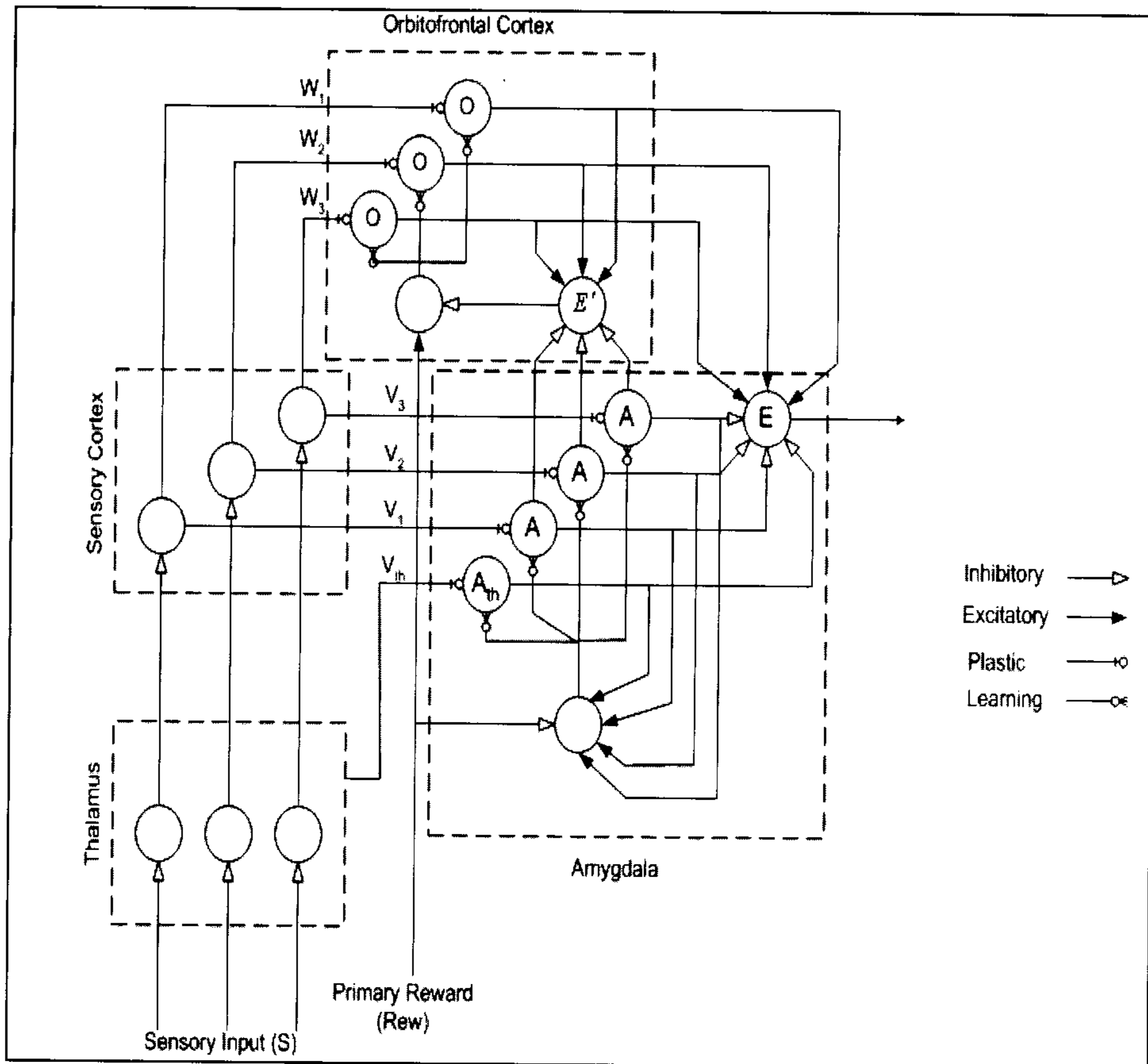
در رویکردهای جدیدتر، ارائه مدل محاسباتی از بخش‌هایی از مغز که وظیفه پردازش عاطفی را بر عهده دارند مورد توجه قرار می‌گیرد. در روش‌های مبتنی بر مدل‌های محاسباتی، عواطف به صورت سیگنال‌هایی بازنمایی محیط خارجی هستند. در تحقیقات روانشناسی، عواطف به عنوان معیار تعیین درجه مطرح شده‌اند [۱۳]. در رویکردهای کنترلی نیز همین راهکار دنبال می‌شود. در کنترل‌کننده پیشنهادی [۱۴]، عواملی که طراح نسبت به آنها حساسیت دارد به صورت محرکهایی در نظر گرفته می‌شوند که سبب ایجاد اضطراب در سیستم می‌شوند و سیستم کنترل باید به گونه‌ای عمل نماید که اضطراب کاهش یابد. بر این اساس در [۳] یک کنترل‌کننده فازی-عصبی مبتنی بر عامل طراحی شده است که پارامترهای آن از طریق یادگیری تنظیم می‌شوند. کنترل‌کننده فازی پیشنهاد شده در [۷] نیز از سه عاطفه منفی ترس، عصبانیت و درد برای آموزش ربات متحرک استفاده می‌کند. در کنترل‌کننده هوشمند مبتنی بر یادگیری عاطفی در مغز^۱ (BELBIC) [۱] که در این مقاله مورد توجه قرار گرفته است، عامل هیجان به عنوان عامل منفی توسط نقاد تولید شده و تنظیم پارامترهای کنترل‌کننده‌ای که ساختاری شبکه‌ای دارد بر اساس آن انجام می‌شود. این کنترل‌کننده بر اساس مدل محاسباتی آمیگدالا [۱۵] طراحی شده است.

سیستم‌های فازی-عصبی [۳]، تکاملی [۴]، کنترل‌کننده‌های هوشمند با یادگیری تقویتی [۵] و کنترل‌کننده‌های چند عامله [۶].

یکی از عواملی که به تازگی با الهام از سیستم‌های زیستی به عنوان عامل مهم در تصمیم‌گیری وارد عرصه هوش مصنوعی شده است عاطفه^۴ است. از زمان یونان باستان عاطفه به عنوان مانعی در تصمیم‌گیری و تفکر تلقی می‌شد [۷]. ولی یافته‌های جدید علوم عصبی^۵ نشان دادند که عاطفه نقش مهمی در استدلال و تصمیم‌گیری بشر دارد. در فصل بعد، ضمن معرفی یادگیری عاطفی و چگونگی استفاده از آن برای کنترل، کنترل‌کننده عاطفی BELBIC معرفی می‌شود. پیچیده بودن ساختار این کنترل‌کننده و کنترل‌کننده‌های شبیه به آن نسبت به کنترل‌کننده‌های ساده‌تر مانند PID پیاده‌سازی سخت‌افزاری آن را دشوار می‌کند. از این رو می‌توان گفت استفاده از محیط‌های نرم‌افزاری طراحی و شبیه‌سازی جایگزین مناسبی برای پیاده‌سازی سخت‌افزاری این کنترل‌کننده‌ها است. هرچند که از این کنترل‌کننده نتایج خوبی به صورت شبیه‌سازی گرفته شده است [۸، ۹] ولی هدف نهایی از طراحی این کنترل‌کننده‌ها، به کارگیری آنها برای کنترل سیستم‌های واقعی است. این مقوله لزوم برقراری یک ارتباط مناسب بین محیط شبیه‌سازی و جهان خارجی را مشخص می‌کند [۱۰]. کوشش‌هایی که در این زمینه انجام گرفته است در بخش سوم مرور خواهد شد و روش پیشنهادی برای کنترل کامپیوتری شرح داده خواهد شد. نهایتاً سیستم کنترل سرعت یک سرو موتور DC آزمایشگاهی با استفاده از کنترل‌کننده عاطفی BELBIC شرح داده شده و نتایج شبیه‌سازی و آزمایش تجربی و مقایسه آن با نتایج حاصل از یک کنترل‌کننده PID ارائه می‌شود.

کنترل بر اساس یادگیری عاطفی

فرایند تصمیم‌گیری در مغز انسان محدود به محاسبه و منطق که توسط قشر فوقانی انجام می‌گیرد نیست بلکه عواطف که منشا آنها در مخچه و مغز میانی می‌باشد نیز در تصمیم‌گیری دخیل هستند. در واقع، حل یک مساله تصمیم‌گیری با توجه به پیچیده بودن راه حل مبتنی بر محاسبه و منطق و نیز وجود نایقینی گاه بسیار



شکل ۱: مدل محاسباتی سیستم یادگیری عاطفی مغز.

(۴) محاسبه می‌شود.

$$\Delta V_i = \alpha(S_i \max(0, R - \sum_j A_j))$$

(۳)

$$\Delta W_i = \beta S_i (\sum_j A_j - \sum_j O_j - R)$$

(۴)

همانطور که مشاهده می‌شود مقادیر A_i نمی‌توانند کاهش پیدا کنند یعنی فراموش کردن اطلاعات یادگرفته شده در آمیگدالا انجام نمی‌شود. در حقیقت "فراموش کردن" یا به تعبیری بازدارندگی وظیفه قشر آربیتوفرانیتال است. نهایتاً خروجی مدل از رابطه (۵) بدست می‌آید.

$$E = \sum_i A_i - \sum_j O_j$$

(۵)

شکل (۲) کنترل‌کننده BELBIC را نشان می‌دهد. سیگنال عاطفی R و ورودیهای حسی به ترتیب به کمک روابط (۶) و (۷) بر اساس خروجی سیستم (y) محاسبه می‌شوند.

آمیگدالا بخشی از مغز است که مسوولیت پردازشهای عاطفی را بر عهده دارد و با لایه حسی، غده تالاموس و قشر آربیتوفرانیتال در ارتباط است (شکل ۱). آمیگدالا و قشر آربیتوفرانیتال در مدل محاسباتی دارای ساختاری شبکه‌ای هستند که در هر کدام از آنها به ازای هر ورودی حسی یک گره وجود دارد. در آمیگدالا یک گره نیز برای ورودی تالاموس وجود دارد. مقدار این ورودی برابر با حداکثر مقدار ورودیهای حسی می‌باشد. خروجی گره‌ها در آمیگدالا و قشر آربیتوفرانیتال به ترتیب بر اساس معادلات (۱) و (۲) محاسبه می‌شود

$$A_i = S_i V_i$$

(۱)

$$O_i = S_i W_i$$

(۲)

که در آنها O_i و A_i به ترتیب خروجی گره‌ها در ساختار شبکه‌ای آمیگدالا و قشر آربیتوفرانیتال، W و V وزن گره‌ها و S_i ورودیهای حسی هستند. تغییرات V و W در فرایند یادگیری به ترتیب با استفاده از روابط (۳) و

سخت‌افزاری^۹ شناخته می‌شود. در مجموع با توجه به پیشرفت سریع کامپیوترهای شخصی، کنترل کامپیوتری به خاطر استفاده از ابزار پردازش متداولتر، هزینه کمتر و سرعت مناسب پردازش نسبت به ابزارهای دیگر مانند PLC عمومیت بیشتری یافته است. در کنترل کامپیوتری موارد زیر مورد توجه قرار می‌گیرد:

- ارتباط بلادرنگ^{۱۰} بین پردازنده و کنترل‌شونده.
- ارتباط مناسب و سریع بین محیط طراحی و پیاده‌سازی و محیط آزمایش یا یکی بودن این دو محیط.
- امکان مشاهده و تحلیل نتایج آزمایش.

در ارتباط بلادرنگ، نه تنها درستی اطلاعات بدست آمده بلکه زمان حصول آنها نیز اهمیت دارد. از آنجا که فرایند کنترل در محیط واقعی به زمان وابسته است، پردازنده باید سیگنالهای لازم را با دوره زمانی مناسبی به سیستم تحت کنترل ارسال کرده و سیگنالهای بازخورد را در زمان معین، پیش از اینکه از بین بروند، دریافت کند.

با اینکه سیستم عاملها و محیطهای مختلفی با امکانات ارتباط بلادرنگ توسعه یافته‌اند، [۲۳-۱۶] می‌توان گفت امروزه برای اهداف کنترلی آزمایشی و پژوهشی بیش از همه استفاده از امکانات نرم‌افزار Matlab در محیط ویندوز و لینوکس مورد توجه قرار گرفته است [۲۲ و ۲۳]. نرم‌افزار Matlab و محیط شبیه‌سازی آن Simulink به عنوان محیط طراحی و تجزیه و تحلیل سیستمهای کنترل به خوبی شناخته شده‌اند. محیط شبیه‌سازی Simulink با فراهم کردن امکان ارتباط با کاربر گرافیکی (GUI) و کتابخانه‌هایی از اجزای مختلف سیستمهای کنترل و توابع ریاضی پیاده‌سازی سیستمهای کنترل را آسان کرده است. همچنین، یک ابزار دیگر به نام Real Time Workshop (RTW) امکان تولید یک برنامه مستقل، از روی دیاگرام بلوکی و شبیه‌سازی با حلقه سخت‌افزاری به صورت بلادرنگ را فراهم می‌کند. در حال حاضر استفاده از این RTW برای کنترل کامپیوتری در محیطهای آزمایشگاهی و آموزشی به یک روش استاندارد تبدیل شده است [۲۴، ۲۵]. مساله اصلی در به‌کارگیری RTW، انتخاب سخت‌افزار مناسب برای تبادل داده‌ها است. تعدادی از کارت‌های واسط توسط RTW پشتیبانی می‌شوند. ولی این کارتها معمولاً در محیطهای آزمایشگاهی در ایران در دسترس نیستند. یک راه دیگر، استفاده از درگاههای^{۱۱} استاندارد است که توسط RTW پشتیبانی می‌شوند. برای

$$R = f(E, e, y_d) \quad (۶)$$

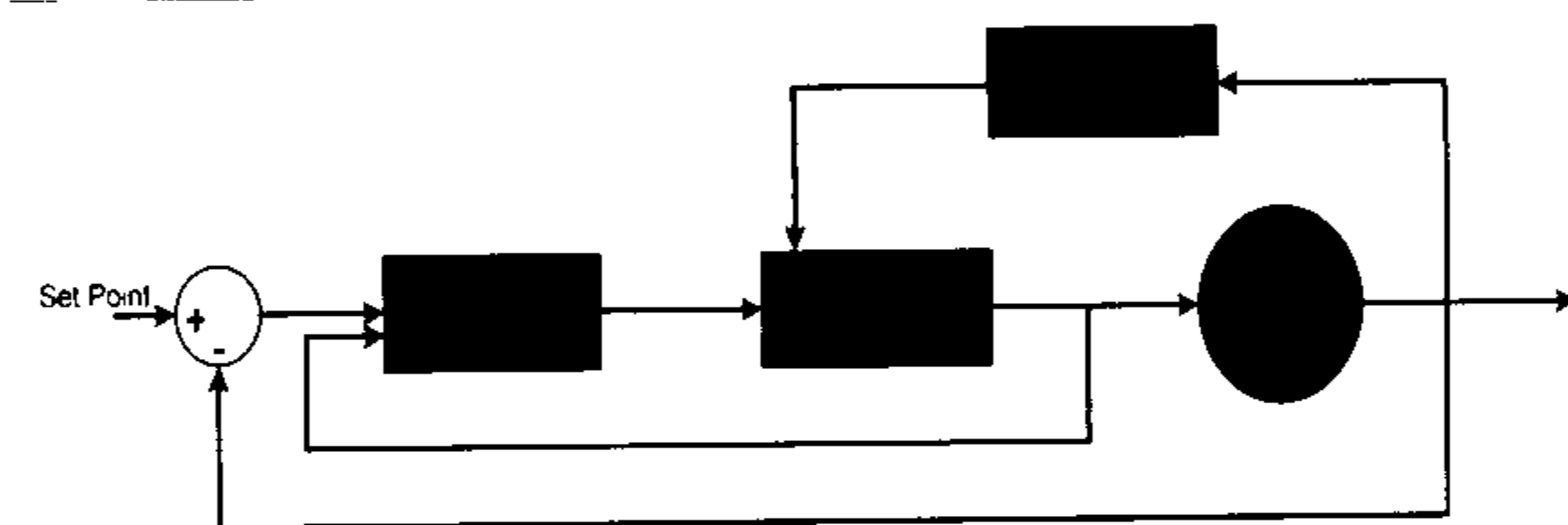
$$S = g(y, y_d) \quad (۷)$$

در این مقاله توابع f و g با توجه به روابط (۸) و (۹) انتخاب شده‌اند.

$$g = y_d \quad (۸)$$

$$f = C_p y(t) + C_i \int y(t) dt \quad (۹)$$

که در آنها y_d مقدار مطلوب خروجی و e خطای خروجی می‌باشد. مقادیر C_p و C_i باید به نحو مناسب انتخاب شوند. در نهایت α ، β ، مقادیر اولیه A ، A_{th} ، O و توابع R و S در تولید سیگنال عاطفی باید به نحو مناسب انتخاب شوند.



شکل ۲: سیستم کنترل با BELBIC.

کنترل کامپیوتری

طراحی و آزمون کنترل‌کننده‌ها، به خصوص کنترل‌کننده‌هایی که ساختاری پیچیده دارند، معمولاً با استفاده از نرم‌افزارهای طراحی و شبیه‌سازی انجام می‌گیرد. در این نرم‌افزارها می‌توان کنترل‌کننده مورد نظر را با استفاده از امکانات و کتابخانه‌های موجود و معمولاً درون واسط گرافیکی کاربر (GUI) طراحی کرد و سپس به کمک ابزار شبیه‌سازی آن را مورد آزمایش قرار داد. با این حال، امکان برقراری ارتباط کنترل‌کننده با سخت‌افزار موضوع مهم دیگری است که هم در آزمایشگاه و هم در صنعت مورد توجه قرار دارد. در سالهای اخیر بخصوص با گسترش سیستم‌های کنترل هوشمند با ساختار پیچیده پیاده‌سازی آزمایشگاهی سیستمهای کنترل اهمیت یافته است. کنترل یک پروسه یا سیستم واقعی از طریق یک کنترل‌کننده که به صورت نرم‌افزاری پیاده‌سازی شده است با عنوان کنترل کامپیوتری یا شبیه‌سازی با حلقه

بلوک S-function انجام می‌شود. این بلوکها دارای توابعی هستند که در چرخه شبیه‌سازی در زمان مناسب فراخوانی می‌شوند. در حقیقت فراخوانی دستوراتی که با اکتیو ایکس ارتباط برقرار می‌کنند در داخل این توابع انجام می‌شود. لیست (۱) نحوه فراخوانی توابع اکتیو ایکس را از درون S-function نشان می‌دهد.

همانطور که مشاهده می‌شود در این روش از RTW استفاده نمی‌شود. این ارتباط نیز در حقیقت یک ارتباط بلادرنگ نیست. در این شرایط دو عامل می‌توانند در کار کنترل اختلال ایجاد کنند:

- مبادله کم سرعت داده‌ها به علت حجم محاسبات بالا و کند بودن ابزار شبیه‌سازی.
- در اختیار گرفتن پردازنده به وسیله یک پردازنده دیگر به نحوی که تبادل داده‌ها در زمان از پیش تعیین شده انجام نگیرد.

اثر عامل اول با یک آزمایش بررسی شده است. در این آزمایش، یک قطار پالس به خروجی فرستاده شده و خروجی کارت واسط روی اسکوپ مشاهده می‌شود. فرکانس این قطار پالس به تدریج زیاد می‌شود تا زمانی که موج مشاهده شده روی اسکوپ از حالت منظم خارج شود. زمان بدست آمده، حداقل فاصله زمانی مجاز بین دو ارسال اطلاعات است که برابر با $1/5$ ms می‌باشد. این سرعت، برای کنترل آزمایشگاهی کافی است. بر اساس آزمایش انجام شده، اثر عامل دوم نیز در صورتی که پردازنده‌های اضافی در زمان انجام آزمایش اجرا نشوند محسوس نخواهد بود.

کنترل آزمایشگاهی سرعت سرو موتور DC با استفاده از BELBIC

در این بخش کنترل سرعت یک سرو موتور DC آزمایشگاهی با استفاده از BELBIC شرح داده می‌شود. هدف اصلی پیاده‌سازی این سیستم ارزیابی عملکرد BELBIC برای کنترل یک سیستم واقعی است.

مشخصات سرو موتور

سرو موتور DC به کار رفته یک موتور آزمایشگاهی محصول Feedback Co. با نام MS 150 می‌باشد [۲۸] (شکل ۴). سیگنال کنترلی با عبور از یک بافر با

مثال درگاه موازی^{۱۲} امکان ارتباط دو طرفه بین RTW و محیط خارجی را با سرعت ۱KHz فراهم می‌کند. ولی اولاً داده‌هایی که در اختیار می‌گذارد از نوع دیجیتال هستند که باید به آنالوگ تبدیل شوند. ثانیاً با توجه به ۸ بیتی بودن داده‌های دیجیتال گستره داده‌های آنالوگ کم خواهد بود.

در این مقاله استفاده از یک کارت واسط که نظیر آن در محیط‌های آزمایشگاهی در ایران قابل دسترس است پیشنهاد شده است. مشخصات این کارت در [۲۷،۲۶] موجود می‌باشد. جزئیات روش پیشنهادی برای ارتباط با این کارت از طریق Simulink بدون استفاده از RTW در ادامه شرح داده می‌شود.

ارتباط محیط شبیه‌سازی با برنامه راه‌انداز کارت واسط

کارت واسط مورد استفاده یک کارت مبدل داده با نام GPAD3316-E محصول Arman Optimized System است که مشابه آن معمولاً در محیط‌های آزمایشگاهی استفاده می‌شود. برنامه راه‌انداز^{۱۳} این کارت تحت سیستم عامل ویندوز به صورت کنترل اکتیو ایکس موجود است. در حقیقت دسترسی یک برنامه به کارت می‌تواند به صورت ارتباط سرویس‌دهنده-سرویس گیرنده^{۱۴} با برنامه راه‌انداز انجام می‌شود. شکل (۳) جزئیات مراحل ارتباط را نشان می‌دهد.

در این ارتباط Matlab به عنوان سرویس گیرنده توابع زیر را از راه‌انداز به عنوان سرویس‌دهنده فراخوانی می‌کند:

- تابعی که مقادیر اولیه کارت واسط را مشخص می‌کند.
- تابعی که مقادیر آنالوگ را در خروجی کارت قرار می‌دهد.
- تابعی که مقادیر آنالوگ را از ورودی کارت دریافت می‌کند.

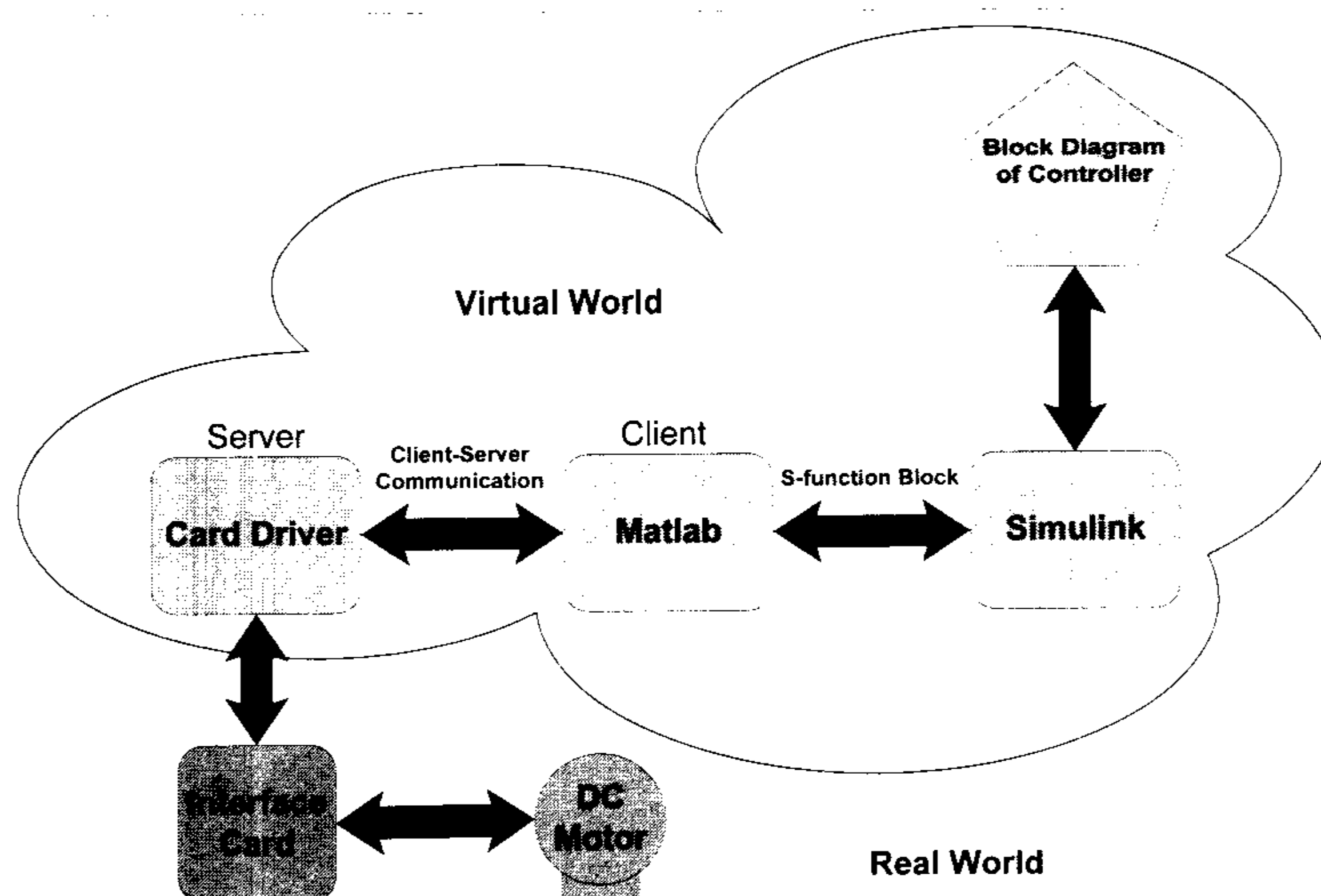
این کار با فراخوانی برنامه اکتیو ایکس توسط Matlab با کمک دستوراتی از Matlab که برای ارتباط با اکتیو ایکس‌ها در نظر گرفته شده‌اند، انجام می‌شود. این دستورات بایستی در موقع لزوم در حین انجام شبیه‌سازی اجرا شوند. همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود اجرای دستورات Matlab در هنگام شبیه‌سازی در داخل

```

function [sys,x0,str,ts,drv] = mdlInitializeSizes(b_u) % Called when simulation starts
.
.
.
drv = actxcontrol('gpad3316.gpad3316ctrl.1'); % Call ActiveX by its ID
invoke(drv, 'InitializeDriver',768,b_u,b_u,b_u,1,1,5,0); % Initialize card
.
.
.
function sys = mdlOutputs(t,x,u,drv) % Called One time in each simulation loop
.
.
.
invoke(drv,'WriteDAValue',1,u); % Send data to the card
a = invoke (drv,'TrigReadAD',1); % Get data from the card
sys = double (a);

```

لیست ۱: فراخوانی توابع ActiveX از طریق دستورات Matlab.



شکل ۳: چگونگی برقراری ارتباط بین کنترل کننده و دستگاه.

شبیه‌سازی می‌شود. پس از تنظیم کنترل کننده‌ها می‌توان سرو موتور واقعی را توسط آنها کنترل کرد.

شبیه‌سازی سیستم کنترل

هدف این مرحله، شبیه‌سازی سیستم کنترل سرعت سروموتور DC برای شناخت بهتر سیستم و تنظیم پارامترهای کنترل کننده‌ها است. در مدل سیستم علاوه بر مدل ریاضی سرو موتور، اثرات کارت واسط نیز که در ادامه توضیح داده شده است مدلسازی می‌شود.

تحریک آرمیچر به موتور اعمال می‌شود و سرعت موتور با اندازه‌گیری ولتاژ یک تاکو ژنراتور به عنوان سیگنال بازخورد مورد استفاده قرار می‌گیرد. در نتیجه این سیستم، یک سیستم یک ورودی یک خروجی مرتبه اول است که تابع تبدیل آن مطابق رابطه زیر می‌باشد.

$$G(s) = \frac{0.9}{0.2s + 1} \quad (10)$$

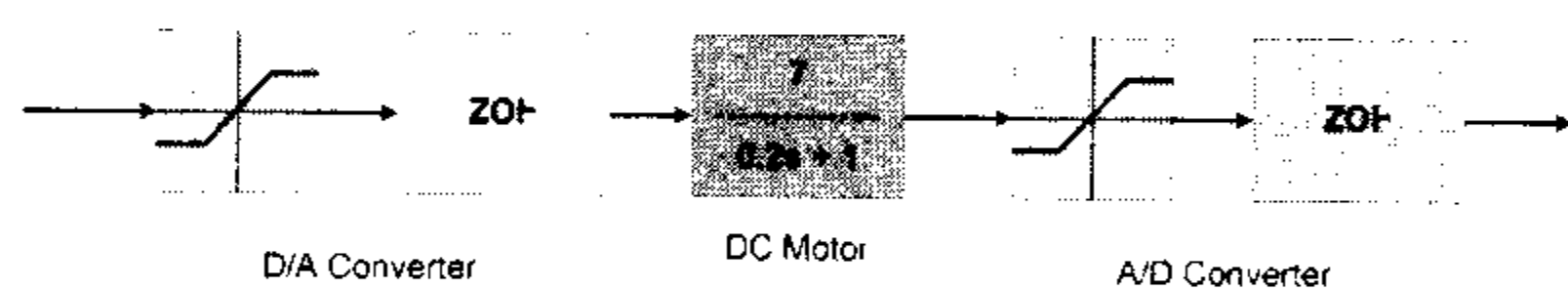
برای تنظیم پارامترهای کنترل کننده BELBIC و PID به نحوی که بتوانند اهداف سیستم کنترل را برآورده سازند، ابتدا کل سیستم در محیط Simulink

خروجی سیستم با فراجاهش کمتر از ۰.۲٪ ورودی مرجع را با خطای حالت ماندگار صفر دنبال کند و حداقل زمان صعود را داشته باشد [۲۹].

جدول (۱) مقادیر پارامترها برای PID و BELBIC را نشان می‌دهد.

جدول ۱: مقادیر پارامترهای PID و BELBIC در آزمایش شبیه‌سازی.

PID	BELBIC
$P = 0.95$	$\alpha = 0.15$
$I = 1$	$\beta = 0.1$
$D = 0$	$A(0) = 0.45$
	$A_{th}(0) = 0.45$
	$O(0) = 0$
	$C_p = 1$
	$C_i = 1$

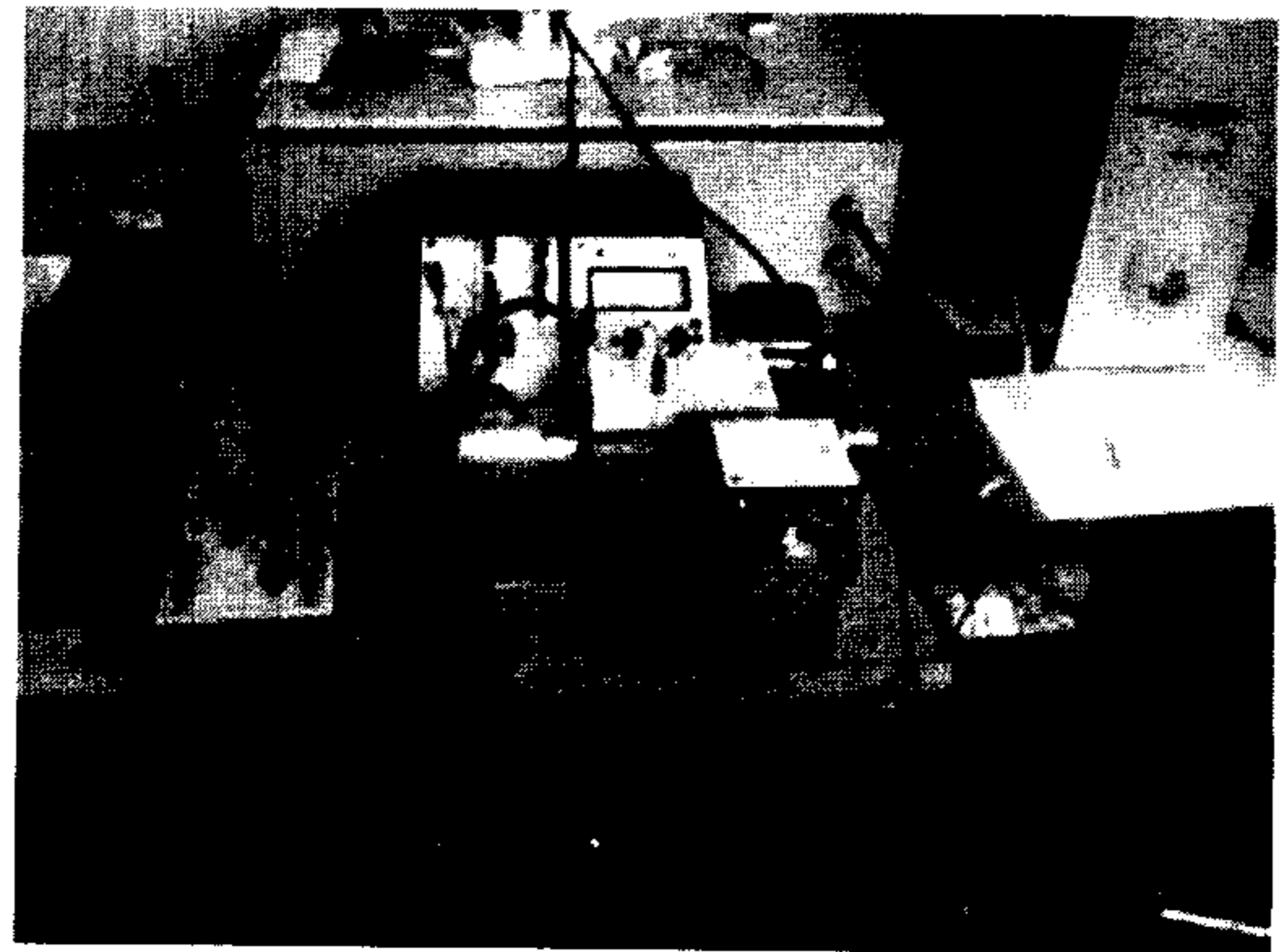


شکل ۵: مدل‌سازی اثرات نرم‌افزاری و سخت‌افزاری.

آزمایش با موتور واقعی

کنترل‌کننده‌های طراحی شده در آزمایش شبیه‌سازی برای کنترل سروموتور اصلی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (شکل ۶). ارسال سیگنالهای کنترلی و دریافت سیگنال بازخورد در محیط شبیه‌سازی از طریق بلوک S-function انجام می‌گیرد و سیگنال بازخورد برای حذف نویز از یک فیلتر پایین‌گذر عبور داده می‌شود.

شکل (۷) و (۸) نتایج آزمایش را به ترتیب برای PID و BELBIC نشان می‌دهند. مشاهده می‌شود که زمان صعود برای PID در حدود ۰/۵۵ ثانیه است در حالیکه همین زمان برای BELBIC در حدود ۰/۱۶ ثانیه می‌باشد. میزان فراجاهش برای PID ۱/۲۵٪ و برای BELBIC ۱٪ است. واضح است که کاهش زمان صعود در حالت کنترل با PID افزایش فراجاهش را در پی خواهد داشت. ولی BELBIC با فرایند یادگیری مشخص می‌تواند زمان صعود را بدون افزایش فراجاهش به نحو قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد. شکل (۶) تغییرات وزنها در BELBIC در طی آزمایش را نشان می‌دهد. V وزن گره با ورودی حسی



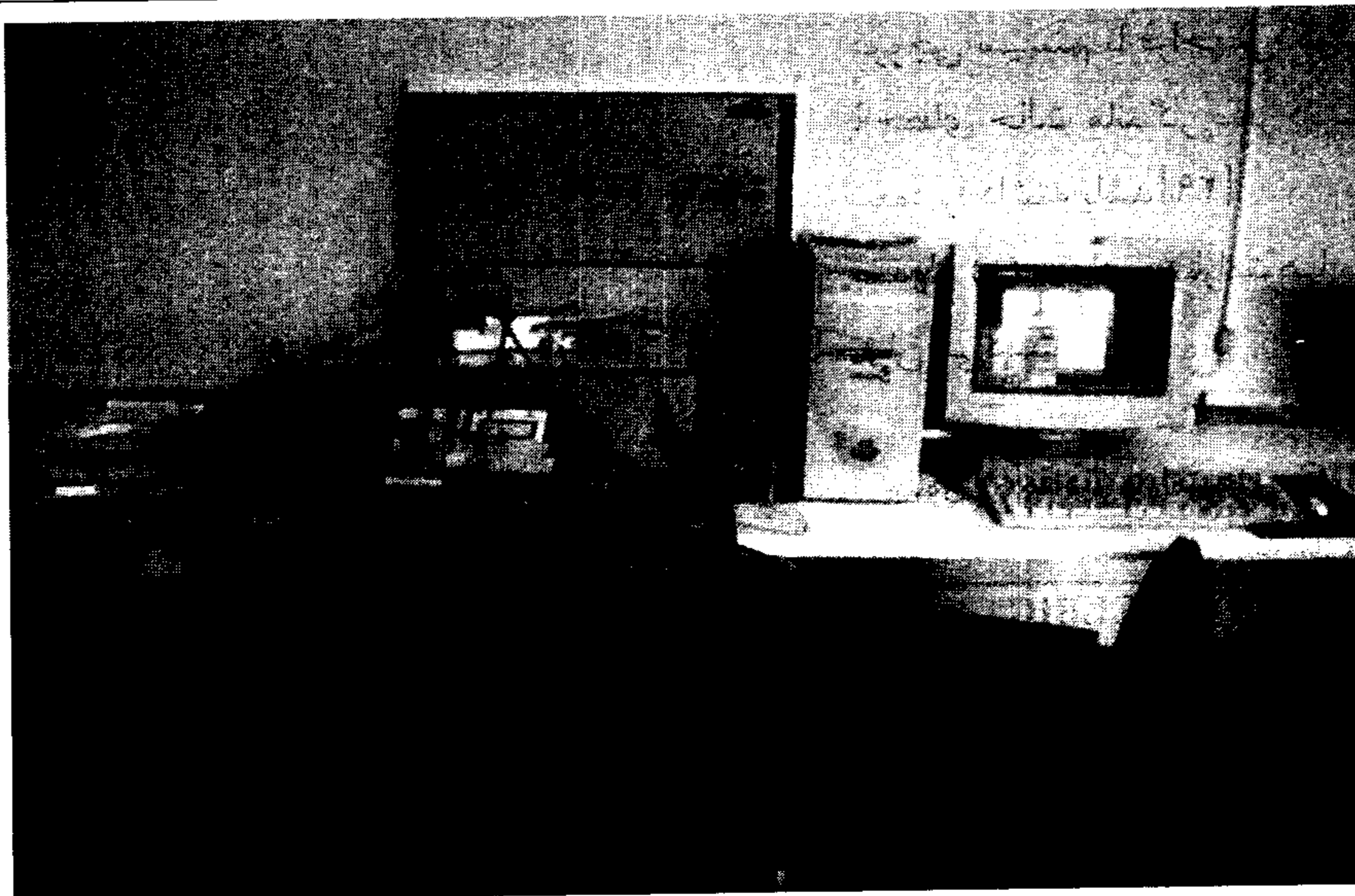
شکل ۴: سرو موتور آزمایشگاهی و واحدهای مربوط به آن.

• ارسال مقادیر به خروجی و دریافت آنها به صورت پیوسته نیست و ماهیتی گسسته دارد. هر بار که برنامه مقادیر جدیدی را به خروجی می‌فرستد این مقادیر تا ارسال بعدی ثابت باقی می‌مانند. از طرفی سیگنال بازخورد در زمانهای مشخصی نمونه برداری شده و به کنترل‌کننده فرستاده می‌شوند. دوره زمانی این نمونه‌برداری، همانطور که گفته شد به حجم محاسبات برنامه ارتباط داشته و در حدود ۱/۵ ms است. این اثر را می‌توان با نگه‌دارنده مرتبه صفر نشان داد. البته با توجه به کوچک بودن زمان نمونه برداری، اثر آن محسوس نیست.

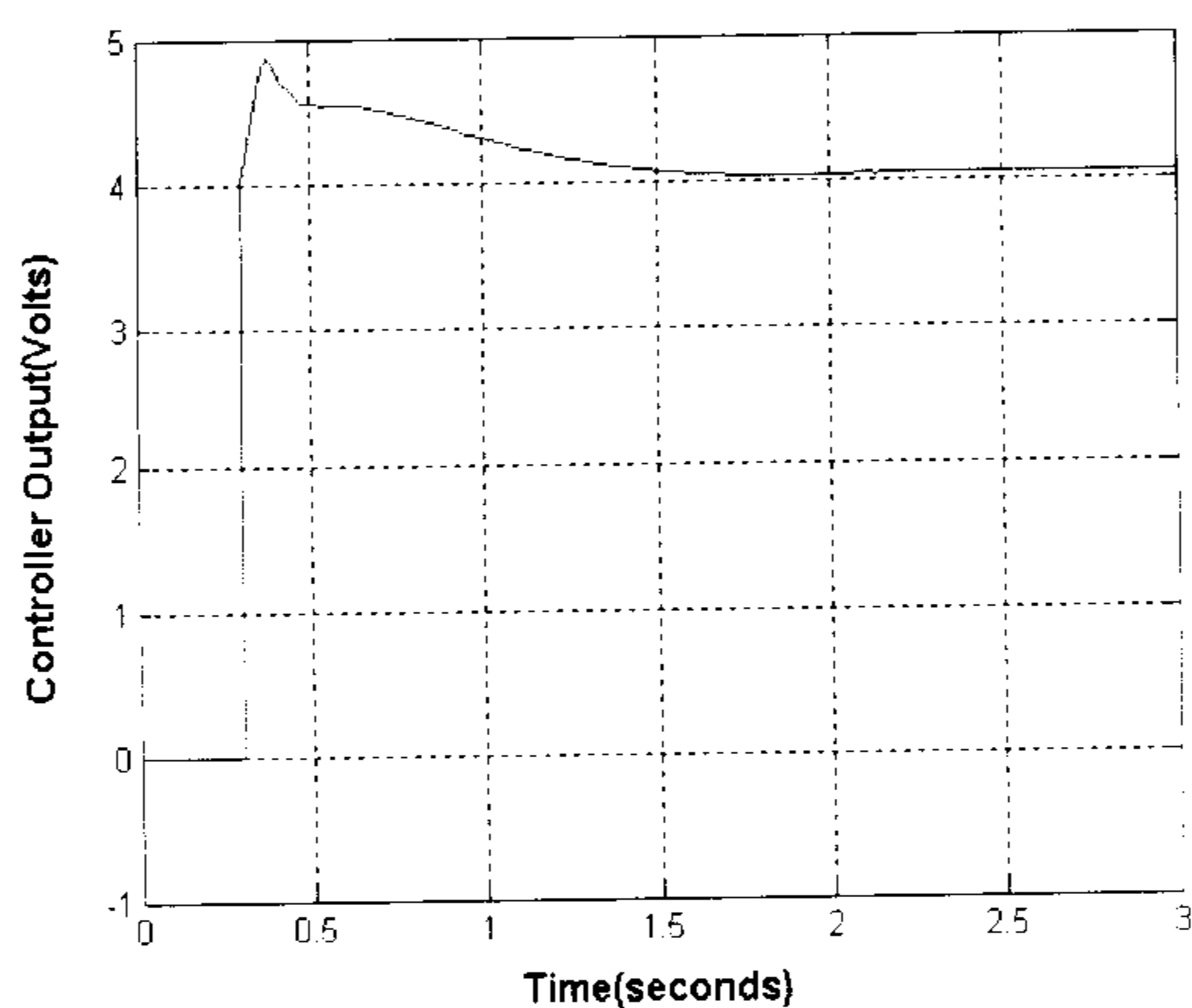
• مقادیر ولتاژهایی که می‌توان از طریق کارت واسط به خروجی فرستاد دارای حد بالا و حد پایین است. مقادیری که خارج از محدوده مجاز قرار داشته باشند به حد بالا یا پایین تبدیل خواهند شد. این اثر با قرار دادن عنصر غیر خطی اشباع نشان داده می‌شود.

• خروجی و ورودی آنالوگ کارت واسط با نویز همراه است. برای کاهش اثر این نویز در خروجی آنالوگ کارت، با استفاده از سیگنالهای بزرگ و تقویت‌کننده با بهره پایین نسبت سیگنال به نویز افزایش می‌یابد. همچنین با قرار دادن فیلتر در مدل Simulink در مسیر فیدبک از ورود نویز ورودی آنالوگ کارت به سیستم جلوگیری می‌شود. مدل سروموتور به علاوه اثرات کارت واسط که به جای کنترل شونده در سیستم شبیه‌سازی شده قرار می‌گیرد در شکل (۵) نشان داده شده است.

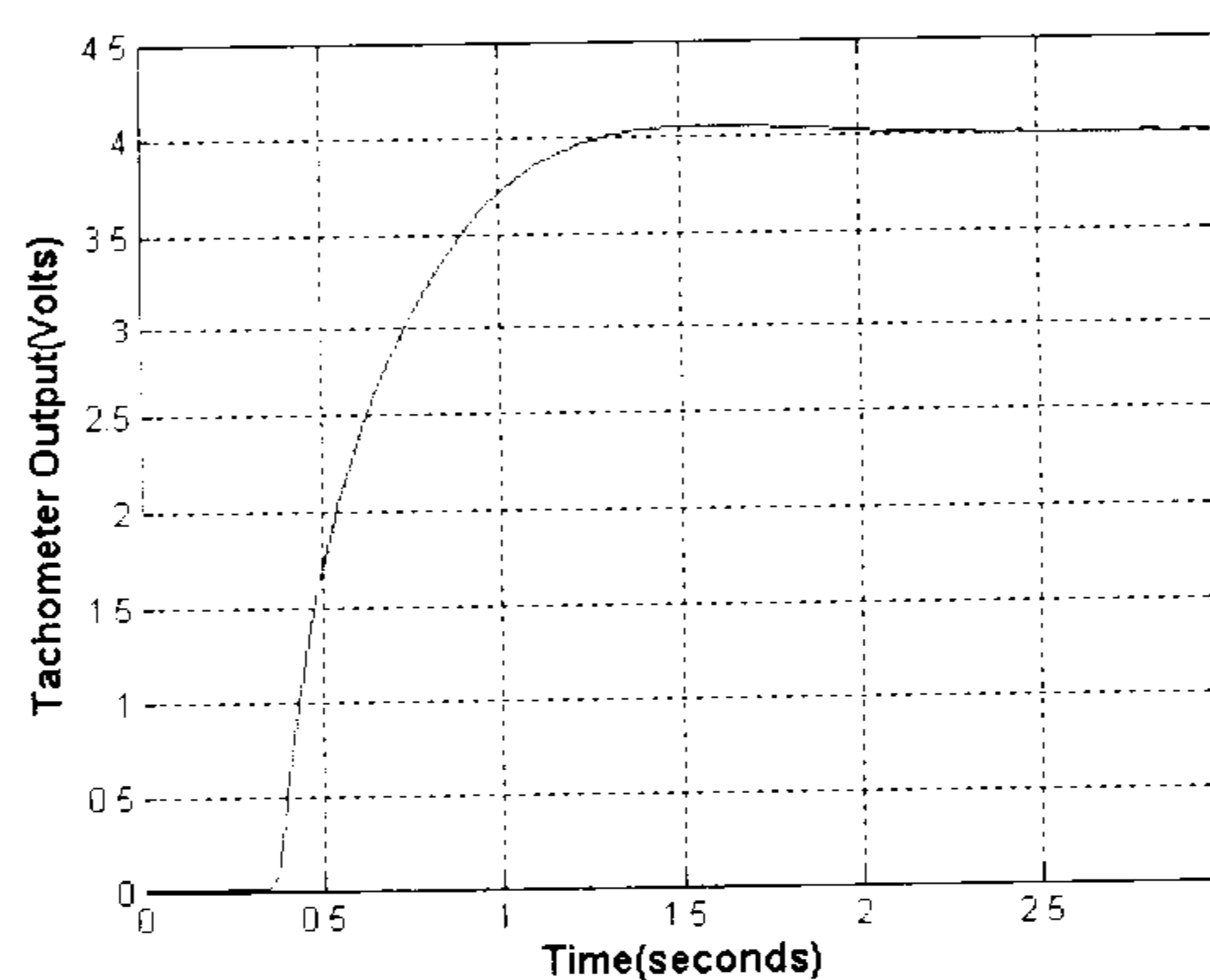
با استفاده از شبیه‌سازی سیستم می‌توانیم پارامترهای کنترل‌کننده PID و BELBIC را تنظیم کرده و از آنها برای کنترل سیستم اصلی استفاده کنیم. طراحی محاسباتی کنترل‌کننده PID به نحوی انجام می‌گیرد که



شکل ۶: سروموتور DC و کنترل کامپیوتری.



(ب)



(الف)

شکل ۷: نتایج آزمایش با PID. (الف): خروجی سیستم. (ب): خروجی کنترل کننده.

واقعی از طریق کنترل کننده شبیه‌سازی شده در محیط Simulink معرفی شد. تنظیم پارامترهای کنترل کننده‌ها با شبیه‌سازی کل سیستم در محیط شبیه‌سازی انجام گرفت. نتایج آزمایشها با سرو موتور نشان دادند که کنترل کننده‌های تنظیم شده با شبیه‌سازی برای کنترل سیستم اصلی مناسب هستند. این خود نشان می‌دهد که شبیه‌سازی نسبتاً کامل بوده و قابل اعتماد است. نتایج آزمایش برتری BELBIC را نسبت به کنترل کننده PID نشان دادند. از طرفی روش پیشنهاد شده برای کنترل کامپیوتری از طریق Matlab/Simulink برای کنترل چنین سیستم‌هایی مناسب ارزیابی شد. ولی به هر حال برقراری یک ارتباط کاملاً بلادرنگ به طوری که هیچ عامل خارجی (پردازه‌های دیگری که پردازنده را با پردازنده کنترل به اشتراک گذاشته‌اند) نتواند در فرایند کنترل اختلال

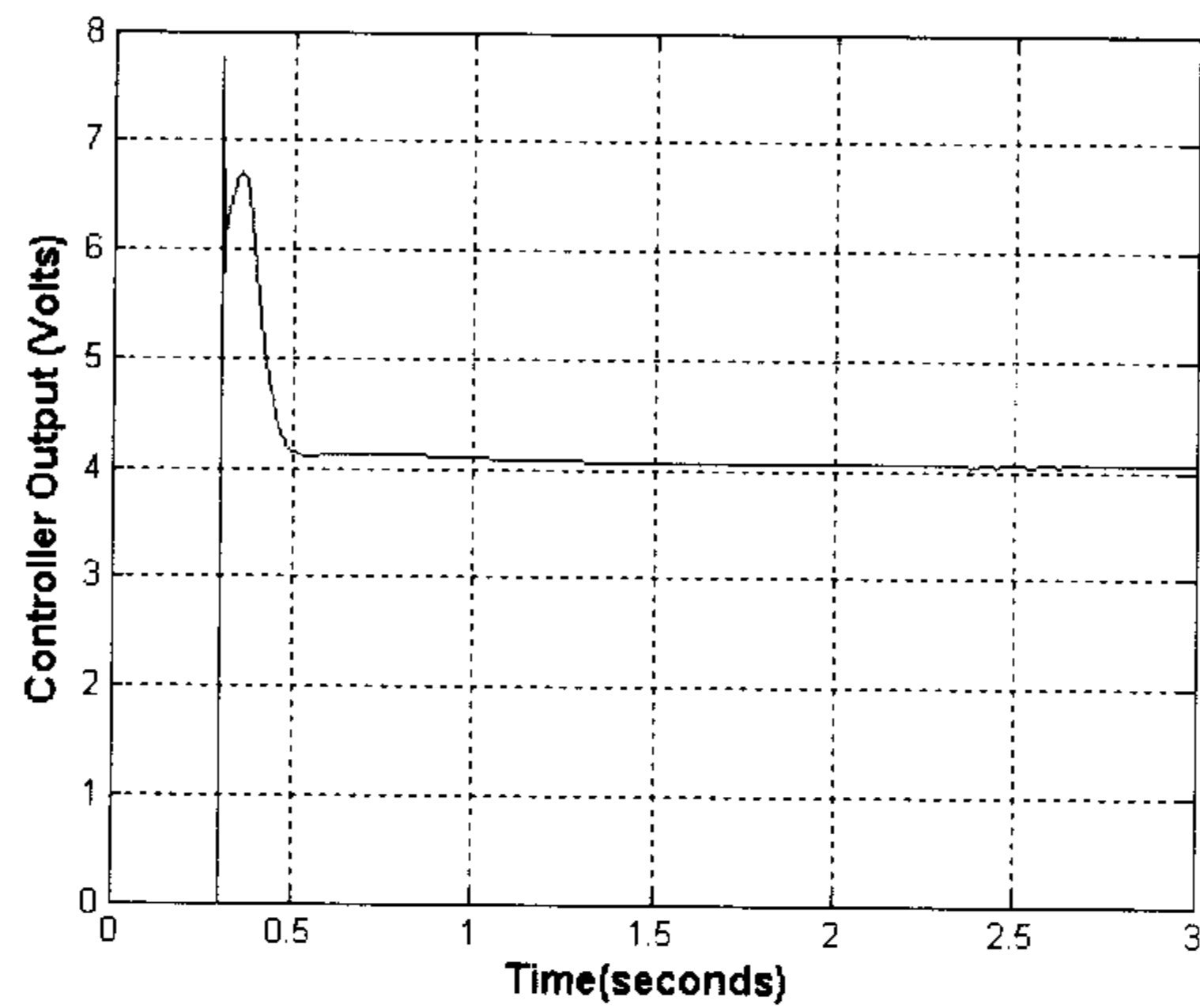
در آمیگدالا، V_{th} وزن گره با ورودی تالاموس در آمیگدالا و W وزن گره با ورودی حسی در قشر آربیتوفرانیتال نشان داده شده است. همانطور که اشاره شد نقش قشر آربیتوفرانیتال بازدارندگی است. در حقیقت با نزدیک شدن مقدار خروجی به ورودی مرجع نقش قشر آربیتوفرانیتال از طریق افزایش مقدار W افزایش می‌یابد. این باعث کاهش سرعت افزایش خروجی می‌شود. از این رو خروجی سیستم بدون داشتن فراجهدش زیاد به مقدار نهایی می‌رسد.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

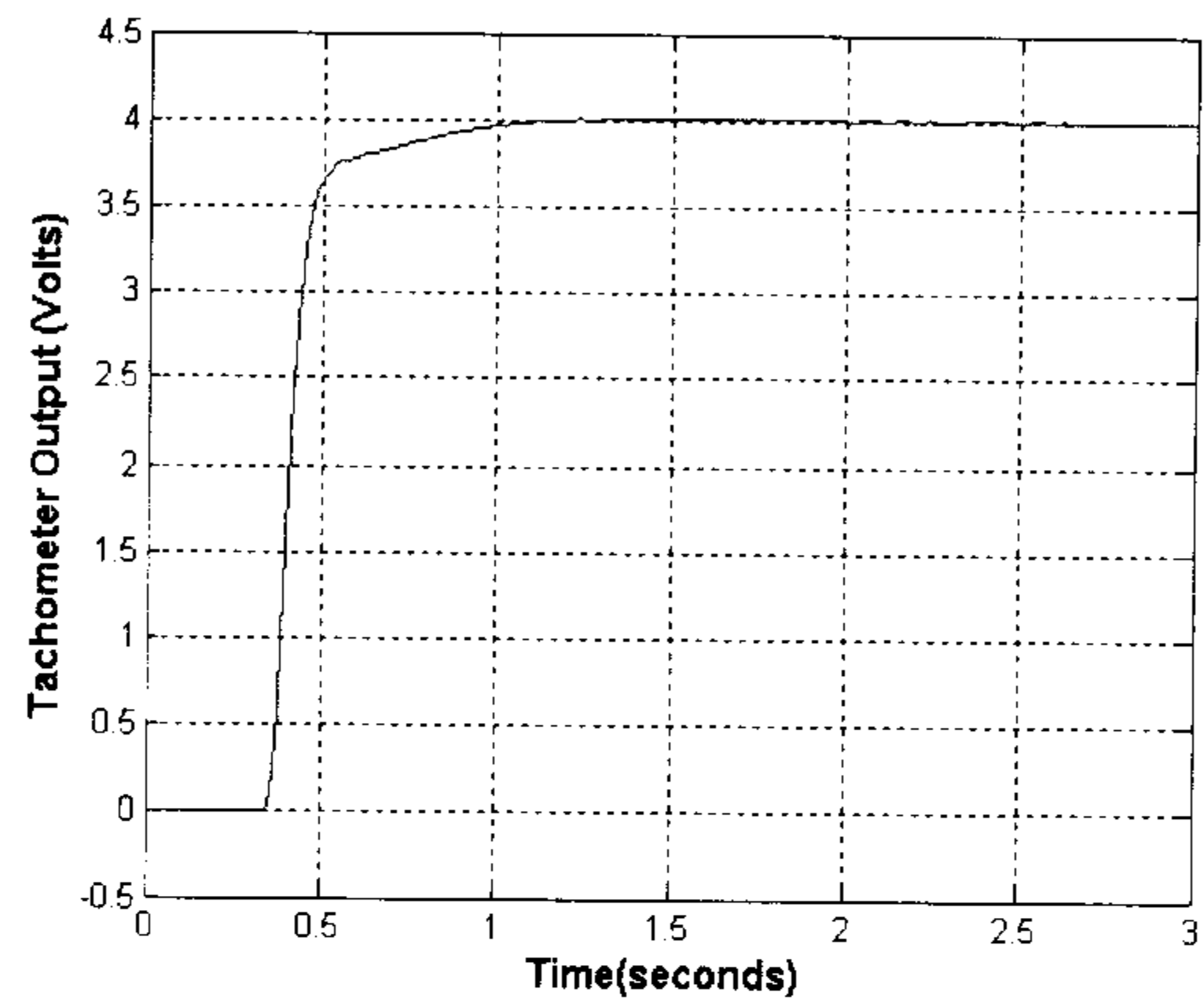
در این مقاله پیاده‌سازی آزمایشگاهی کنترل سرعت یک سروموتور DC با استفاده از BELBIC مورد بررسی قرار گرفت. یک روش ساده برای کنترل سیستم

برقراری ارتباط بلادرنگ می‌باشد، گام بعدی در این زمینه خواهد بود. ارزیابی BELBIC برای کنترل سیستم‌های پیچیده‌تر و مقایسه آن با سایر کنترل‌کننده‌ها نیز در آینده مورد توجه قرار خواهد گرفت.

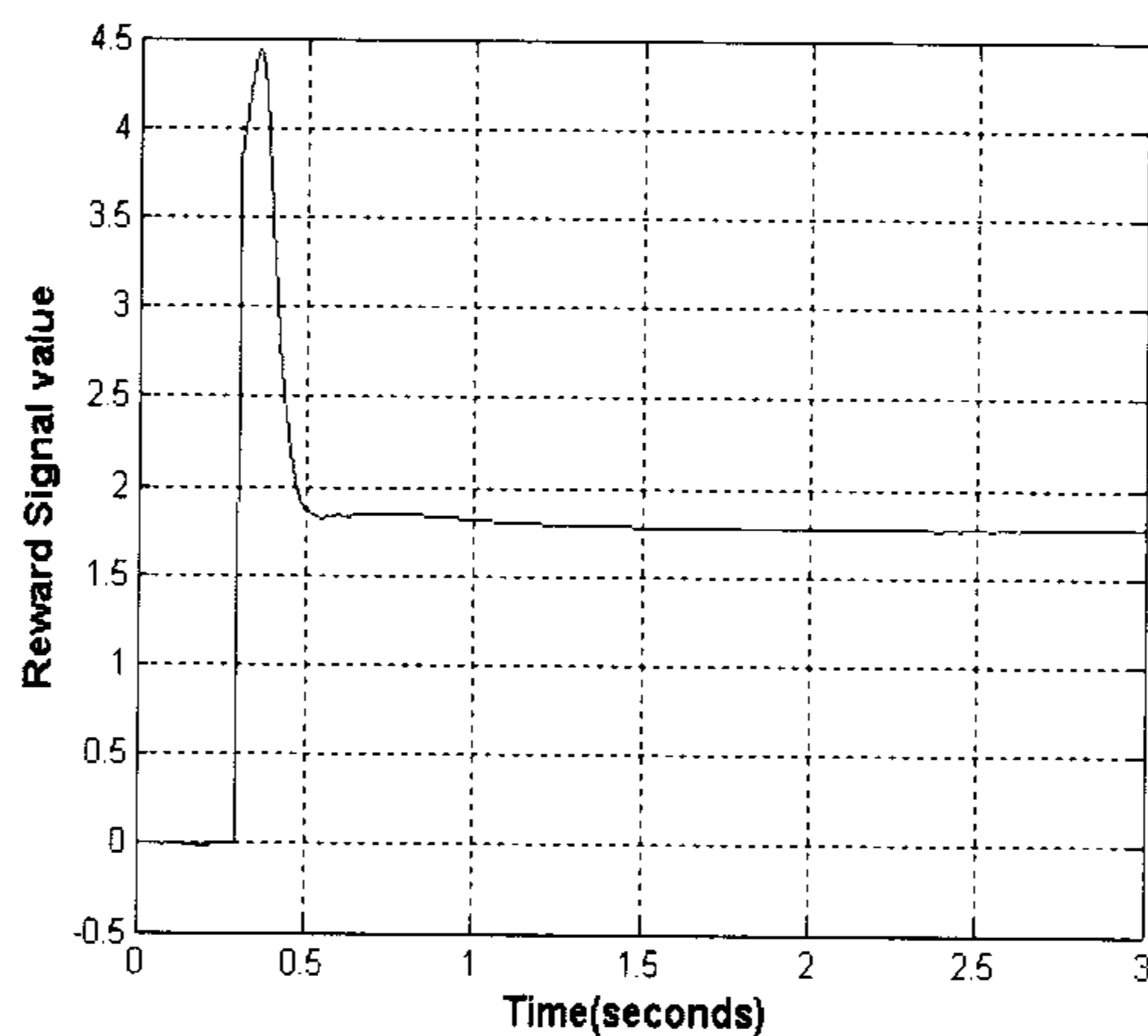
ایجاد کند و حجم محاسبات اثری بر فرایند کنترل نداشته باشد اطمینان بیشتری ایجاد خواهد کرد. از این رو استفاده از کارت واسط به همراه Real Time Workshop، که از امکانات نرم‌افزار Matlab برای



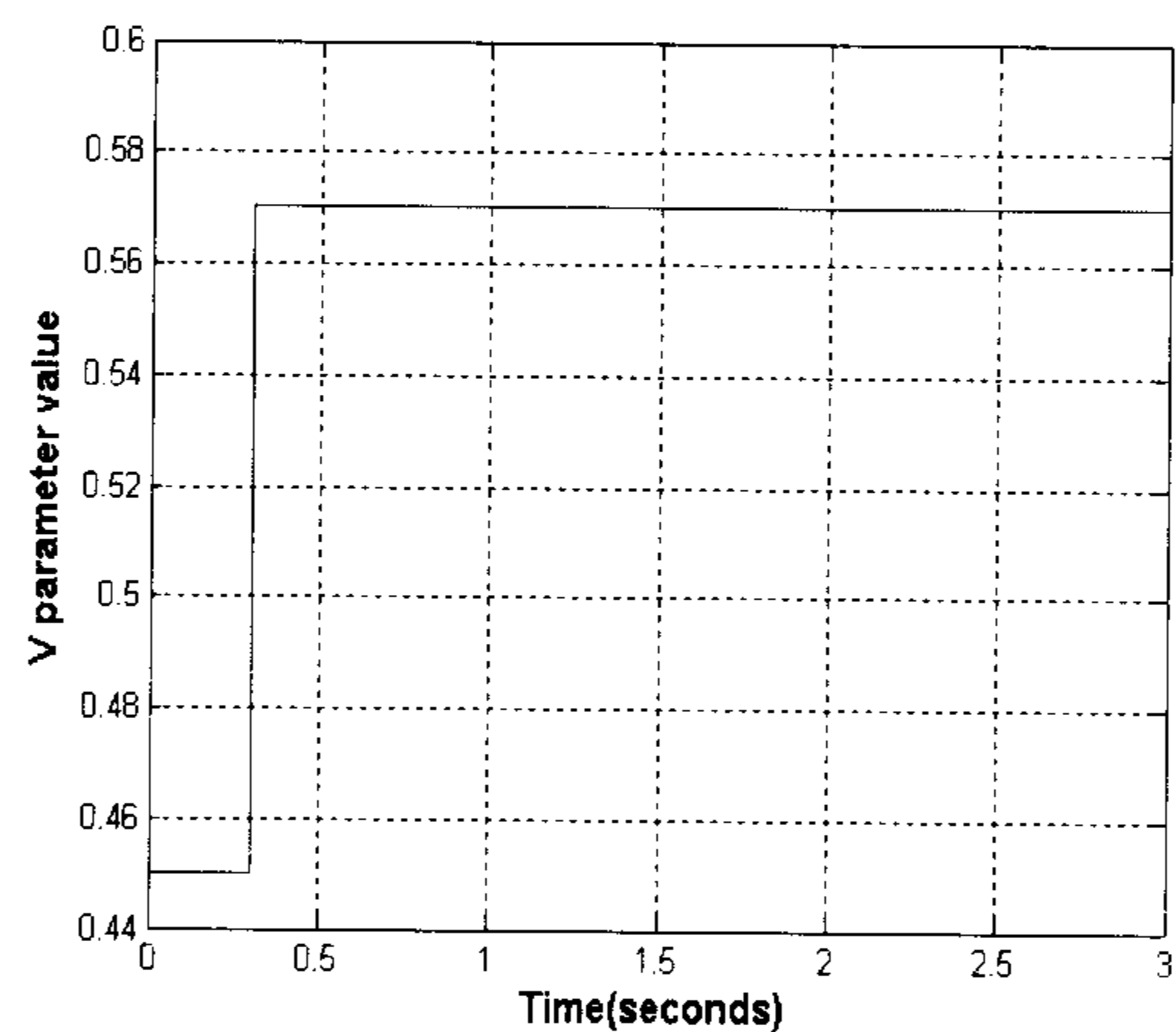
(ب)



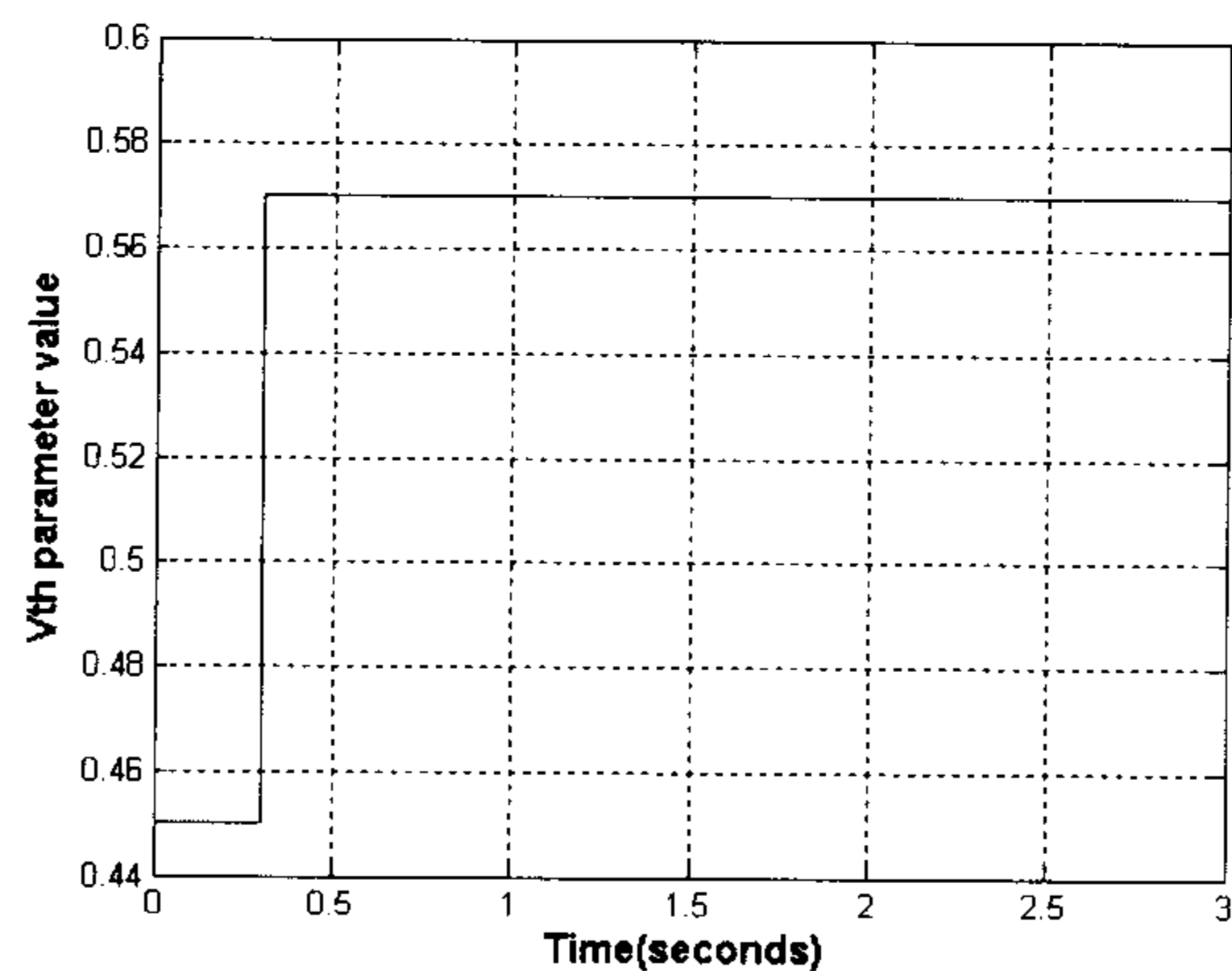
(الف)



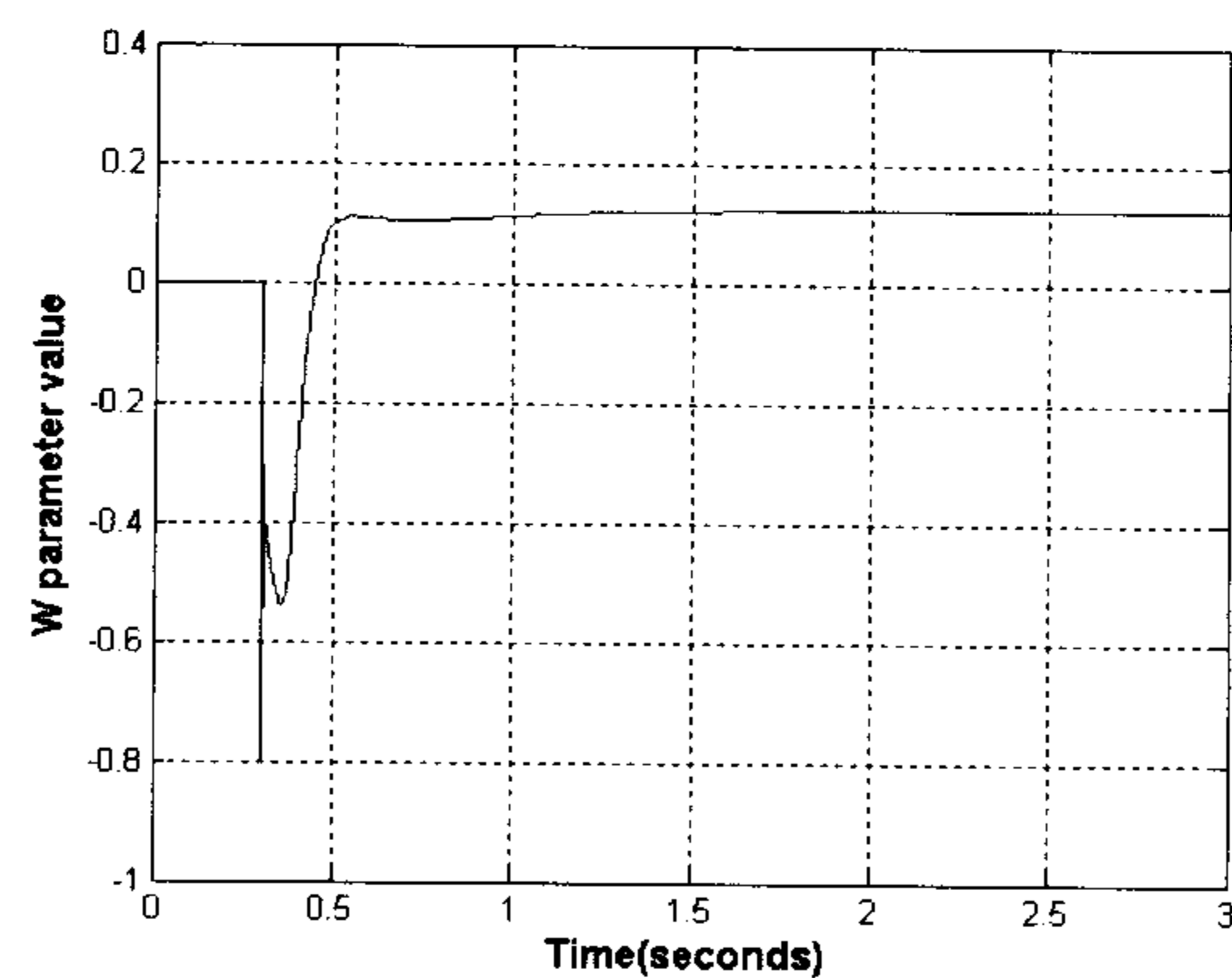
(د)



(ج)



(و)



(ه)

شکل ۸: نتایج آزمایش با BELBIC. (الف): خروجی سیستم. (ب): خروجی کنترل‌کننده. (ج): سیگنال عاطفی. (د): وزن گره در قشر آربیتوفرانتال. (ه): وزن گره با ورودی حسی در آمیگدالا. (و): وزن گره با ورودی تالاموس در آمیگدالا.

مراجع

- 1 - Lucas C., Shahmirzadi, D. and Sheikholeslami N. (2000). "Introducing BELBIC: Brain Emotional Learning Based Intelligent Controller." *Intern. Journal of Intelligent Automation and Soft Computing*, Vol. 10, No. 1, PP. 11-22.
- 2 - Custodio L., Ventura R. and Pinto-Ferreira C. (1999). *Artificial Emotions and Emotion-based Control Systems*.
- ۳ - فتوره چی م.، "توسعه روش یادگیری عاطفی برای سیستمهای چند متغیره و سیستمهای با اهداف چند گانه." پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران (۱۳۸۰)
- 4 - Shahidi N., Esmailzadeh H., Abdollahi M. and Lucas C. (2004). "Memetic algorithm based path planning for a mobile robot" *In Proc. of Computational Intelligence*, Turkey, PP. 56-59.
- 5 - Hwang, K., Tan S. and Tsai M. (2003). "Reinforcement learning to adaptive control of nonlinear systems." *IEEE Trans. on System, Man, and Cybernetics- Part B: Cybernetics*, Vol. 33, No. 3.
- 6 - Shahidi, N., Gheyratmand, M., Esmailzade H. and Lucas C. (2004). "UTMAC: A C++ Library for Multi-Agent Controller Design." *In Proc. Of World Automation Congress (WAC2004)*.
- 7 - El-Nasr, M. S. and Skubic M. (1998). "A fuzzy emotional agent for decision-making in a mobile robot." *In Proc. of the 1998 IEEE Intern. Conference on Fuzzy Systems*, Anchorage, Alaska.
- 8 - Milasi, R. M., Lucas, C. and Araabi, B. N. (2005). "Intelligent modeling and control of washing machine using LLNF modeling and modified BELBIC." *5th IEEE International Conference on Control and Automation, ICCA'05*, Budapest Hungary. (to be presented).
- 9 - Rouhani, H., Milasi, R. M. and Lucas, C. (2005). "Speed control of switched reluctance motor (SRM) using emotional learning based intelligent adaptive controller." *5th IEEE International Conference on Control and Automation, ICCA'05*, Budapest Hungary. (to be presented).
- 10 - Rodd, M. G. and Verbruggen, H. B. (1992). "A survey of real-time AI systems." *In Proc. of third Intern. Conference on Competitive Performance Through Advanced Technology*.
- 11 - Antonio, R. Damasio. (1994). *Descartes' Error: Emotion, Reason, and the Human Brain*, New York: G.P. Putnam.
- 12 - Ventura, R. and Pinto-Ferreira, C. (1999). "Emotion-based control systems (preliminary report)." *In Proc. of the 1999 IEEE Intern. Symposium on Intelligent Control/Intelligent Systems and Semiotics*.
- 13 - El-Nasr, M. S. and Yen, J. (1998). "Agents, emotional intelligence and fuzzy logic." *In Proc. of the 17th Annual Meeting of the North American Fuzzy Information*.
- ۱۴ - جذبی ع.، "توسعه روشهای یادگیری تقویتی در کنترل هوشمند و کاربردهای صنعتی و آزمایشگاهی آن." پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران (۱۳۷۷).
- 15 - Moren, J. and Balkenius, C. (2000). "A computational model of emotional learning in the amygdale." *In Proc. of the 6th Intern. Conference on the Simulation of Adaptive Behaviour*.
- 16 - Control Engineering Staff (1997). "The personal computer takes control." *Control Engineering Online, Magazine Articles*.
- 17 - Lim, D. and Seraji, H. (1997). "Configuration control of a mobile dexterous robot: real-time implementation and experimentation." *Int. J. Robot. Res.*, Vol. 16, No. 5, PP. 601-618.
- 18 - Gensym Corp. Ltd. (1990). "Published G2 Success Stories." *GENSYM*.
- 19 - AIIT Ltd. (1988). *Sophisticated Process Monitor*, AI Business.

- 20 - *COGSYS Introductory Guide*, COGSYS Ltd, 1990.
- 21 - Lee, C. J. and Mavroidis, C. (2001). "PC-based control of robotic and mechatronic systems under MS-Windows NT Workstation." *IEEE/ASME Trans., On Mechatronics*, Vol. 6, No. 3.
- 22 - Eker, J. and Cervin, A. "A matlab toolbox for real-time and control systems Co-design." *In the Proc. of the 6th International Conference on Real-Time Computing Systems and Applications*.
- 23 - Quaranta, G. and Mantegazza, P. (2001). *Using matlab-simulink RTW to build real time control application in user space with RTAI-LXRT*. Presented at Realtime Linux Workshop Milano.
- 24 - Dixon, W. E., Dawson, D. M., Costic, B. T. and Queiroz M. S. (2001). *Towards the Standardization of a MATLAB-Based Control Systems Laboratory Experience for Undergraduate Students*.
- 25 - Saco1, R., Pires, E. and Godfrid, C. (2002). "Real time controlled laboratory plant for control education ." *32nd ASEE/IEEE Frontiers in Education Conference*.
- 26 - GPAD3316E User Manual, Arman Optimized System, URL: <http://www.armanoptimized.com>
- 27 - Arman Optimized System, URL: <http://www.armanoptimized.com>
- 28 - Feedback Technical Information, URL: <http://www.fbk.com>

۲۹ - اوگاتا ک.، "مهندسی کنترل." محمود دیانی، تهران، نص (۱۳۷۹).

واژه های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1 - Uncertainty
- 2 - Adaptive Control
- 3 - Intelligent Control
- 4 - Emotion
- 5 - Neuroscience
- 6 - Brain Emotional Learning Based Intelligent Controller
- 7 - Amigdala
- 8 - Orbitofrontal Cortex
- 9 - Hardware-In-Loop Simulation.
- 10 - Real-time
- 11 - Ports
- 12 - Parallel Port
- 13 - Driver
- 14 - Client-Server

