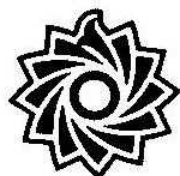


بسم الله الرحمن الرحيم



دانشگاه تربیت مدرس

سیستم‌های کنترل باز نشان

ترجمه:

دکتر نسترن واثق

عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت مدرس شهید رجایی

علی دخت شکیب‌جو

سر شناسنامه	بانوس، آلفونسو، ترجمه نسترن واثق، علی دخت شکیبجو.
عنوان و نام پدید آور	Banos, Alfonso سیستم های کنترل باز نشان / مؤلف آلفونسو بانوس، آنتونیو بار نیرو؛ ترجمه نسترن واثق، علی دخت شکیب جو.
مشخصات نشر	تهران: دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	۳۴۵ ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۶۵۹۴-۵۶-۹
وضعیت فهرست نویسی	قیفا
یادداشت	عنوان اصلی: [2012], Reset control systems
یادداشت	واژه نامه.
یادداشت	کتابنامه.
یادداشت	نمایه.
موضوع	نظریه کنترل غیر خطی
موضوع	سامانه های کنترل بازخورد - طرح و ساختمان
موضوع	سیستم های ناوردای زمان خطی
شناسه افز	بار نیرو، آنتونیو، ۱۹۵۹- م.
شناسه افزوده	Barreiro, Antonio
شناسه افزوده	واثق، نسترن، ۱۳۵۷، nastaran, vasegh، مترجم، دکتری
شناسه افزوده	شکیب جو، علی دخت، ۱۳۵۶، aledokht, shakibjoo، مترجم، فوق لیسانس
شناسه افزوده	دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
رده بندی کنگره	۱۳۹۴ / پ TJ۲۳۳
رده بندی دیویی	۶۲۱/۸۱۰۲۸۵
شماره کتابشناسی ملی	۱۷۹۵۲۰



عنوان	سیستم های کنترل باز نشان
ترجمه	دکتر نسترن واثق، عضو هیأت علمی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، علی دخت شکیبجو
ویراستار علمی	دکتر سید زین العابدین موسوی
ویراستار ادبی	عاطفه نجیبی
نوبت چاپ	اول - بهار ۱۳۹۵
انتشارات	دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
لیتوگرافی	فرانقش
چاپ	فردوس
طراح جلد	محمد دخت شکیبجو
ناظر چاپ	محمد معتمدی نژاد
کارشناس چاپ و صفحه آرا	نیره فیروزی
کارشناسان	طاهره کیا، علی رضایی اهوآنوئی
شمارگان	۱۰۰۰ جلد
قیمت	۳۰،۰۰۰ تومان
شابک	۹۷۸-۶۰۰-۶۵۹۴-۵۶-۹
	ISBN: 978-600-6594-56-9

کلیه حقوق این اثر برای مؤلفین و مترجمین و دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی محفوظ است.

نشانی: تهران، لویزان - کد پستی ۱۶۷۸۸-۱۵۸۱۱ - صندوق پستی ۱۶۳ - ۱۶۷۸۵ - تلفن: (۲۶۳۲) ۰۶۰ - ۲۲۹۷۰۰۶۰ - ۲۲۹۷۰۰۷۰.

تلفکس: ۲۲۹۷۰۰۴۲، پست الکترونیکی: Publish@srutu.edu، وب سایت: http://Publish.srutu.edu

پیشگفتار مترجمین

حمد و سپاس، پرودگار را که با الطاف بیکران خود، این توفیق را به ما ارزانی داشت که با ترجمه یکی از کتب ارزشمند علمی، گامی کوچک در ارتقای دانش این مرز و بوم برداریم.

با اینکه حدود یک قرن از طراحی اولین کنترل کننده بهره / انتگرال گیر / مشتق گیر می گذرد، این کنترل کننده همچنان بیشترین کاربرد را در صنایع دارد. در این مدت روش های بسیاری برای تنظیم این کنترلهای پیچیده پیشنهاد شده است. اما در سیستم های خطی، وجود تأخیر و صفرهای ناپایدار، محدودیت های ناشی از رابطه فاز/ بهره و ... استفاده از این کنترل کننده را با مشکل مواجه می کند. یکی از ساده ترین روش ها برای غلبه بر این مشکلات، استفاده از کنترل باز نشان است. اگرچه ایده باز نشانی کنترل کننده در دهه ۱۹۵۰ مطرح شد، استفاده از آن تا ۱۹۹۰ رایج نشد. این امر به دلیل محدودیت هایی بود که در تحلیل سیستم ها با کنترل باز نشان وجود داشت. از دهه ۱۹۹۰ نویسندگان کتاب سیستم های کنترل باز نشان (که ترجمه آن هم اکنون در دست شماست) و همکارانشان روش هایی را برای تحلیل عملکرد ساختار باز نشان و ویژگی ها و نیز مثال هایی عملی از کاربردهای کنترل باز نشان ارائه دادند. خیدمه نتایج کارهای این تیم تا ۲۰۱۲ به صورت کتاب مذکور درآمده است. شرح کاملی از آنچه به انجام رسیده در پیش گفتار مولفین آمده است.

یکی از انگیزه های مترجمین از ترجمه این کتاب، شاید ترویج این ایده است که برای حل مسائل پیچیده، همیشه راه حل های پیچیده بهترین انتخاب نیست. کتاب حاضر اولین کتابی است که به زبان فارسی به معرفی کنترل باز نشان می پردازد. امید است این کتاب گامی هر چند کوچک در معرفی روش های نوین اما ساده در علم کنترل به علاقمندان به ویژه دانشجویان کارشناسی ارشد، دکتری و پژوهشگران حوزه مهندسی کنترل باشد. چه بسا راه حل های ساده ای که در این کتاب برای غلبه بر محدودیت های اساسی کنترل ارائه شده، این خلاقیت را در مهندسان کنترل و دانش پژوهان این حوزه ایجاد کند تا برای غلبه بر مشکلات اساسی صنعت این کشور راه حل های ساده ای بیابند.

با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلط‌های مفهومی، متنی، ابهام و اشکالات موضوعی نیست. لذا از شما خواننده محترم تقاضا می‌شود در صورت مشاهده هرگونه اشکال و ایراد، مراتب را به اطلاع مترجمین برسانید. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر شما گرامیان قدردانی می‌کنیم.

در پایان فرصت را غنیمت شمرده، از آقای محمد دخت شکیب‌جو که در ویرایش متن و طراحی جلد کتاب و همچنین از کارکنان انتشارات دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی که در مراحل مختلف چاپ کتاب همکاری نموده‌اند، تشکر می‌نماییم. همچنین از داورانی که مکرر متن کتاب را بازبینی کرده و در هر گام پیشنهادات ارزنده‌ای جهت بهبود این اثر ارائه دادند، صمیمانه سپاسگزاری می‌نماییم.

نسترن واثق

علی دخت شکیب‌جو

پیشگفتار نویسندگان

گرچه سیستم‌های کنترل بازنشان به سال ۱۹۵۸ با اثر کلگ می‌باشد اما این موضوع دوران آغازین خود را طی کرده‌اند. اولین تلاش‌های هورویتز و همکارانش با تئوری ساخت جبران کننده‌های بازنشان - مانند انتگرال گیر کلگ و فور (عنصر بازنشان مرتبه اول) شروع شد. کمبودهای تئوری کنترل در آن زمان و همچنین مطرح بودن مساله‌های اساسی مانند خوش رفتاری و پایداری - بدین سرفت نظری و کاربردهای کنترل کننده بازنشان را چندین دهه به تعویق انداخت. تا آنکه در اواخر دهه ۱۹۷۰ با تلاش‌های چیت، هولوت و همکارانش توسعه کنترل کننده‌های بازنشان آغاز شد که اصل آن دستیابی به نتایج زیادی در زمینه سیستم‌های کنترل ترکیبی و کنترل ضربه‌ای در ارتباط با کنترل بازنشان بود. در دهه گذشته تحقیقات بسیاری از سوی گروه‌های بین‌المللی درباره کنترل بازنشان انجام گرفته است به این امید که بتوان از پتانسیل عظیم کنترل بازنشان در طراحی کنترل کننده و کاربردهای عملی آن بهره گرفت.

اولین آشنایی ما با موضوع کنترل بازنشان به هنگام بازدید از اسحاق هورویتز از گروه ما در سپتامبر ۲۰۰۰ در اسپانیا صورت گرفت. در آن زمان ما بر روی نظریه خنثی‌بک کمی غیرخطی تحقیق می‌کردیم که از جبران‌ساز خطی استفاده می‌کند. در جریان این بازدید بحث‌های مفیدی در زمینه مزایای استفاده از جبران‌ساز بازنشان - غیرخطی برای غلبه بر محدودیت‌های اساسی سیستم خطی تغییرناپذیر با زمان بین ما انجام شد. کار ما به صورت جدی بر روی کنترل بازنشان از سال ۲۰۰۶ شروع شد. هدف ما ارائه نظریه‌ای مبتنی بر نظریه‌های پایه بوده که در این راه با تعریف ساختار جبران‌ساز و قوانین تنظیم برای آنها، مسائل کاربردی مانند کنترل فرآیند و کنترل از راه دور و به طور کلی سیستم‌هایی با تأخیر زمانی مورد توجه قرار گرفته است.

در فصل اول این کتاب ابتدا به معرفی سیستم‌های کنترل می‌پردازیم و سپس دو هدف را دنبال می‌کنیم. در آغاز به صورت مختصر شرح می‌دهیم کنترل بازنشان چیست و اینکه چرا و چه موقع این راهکار به کار رود. هدفی که در دو بخش اول به آن پرداخته می‌شود در این نکته کلیدی خلاصه می‌شود: کنترل بازنشان ساختار ساده غیرخطی است برای فرآیندهای خطی که با محدودیت‌های اساسی طراحی در دامنه زمانی و فرکانسی مواجه‌اند. هدف دوم فصل، بررسی اجمالی مقالاتی است که به تحلیل و طراحی سیستم‌های کنترل بازنشان پرداخته‌اند. پیشرفت کنترل بازنشان با معرفی انتگرال‌گیر کُنگ و عنصر بازنشان مرتبه اول (فور) توسط هورویتز و همکارانش آغاز شد. علاوه بر آن، نتایج دقیق اولیه در مورد تحلیل و طراحی کنترل‌کننده‌های بازنشان با استفاده از توصیف فضای حالت شامل جبران‌کننده‌های بازنشان کلی و جزئی بدست آمد. در این کتاب هم چنین دیدگاه‌های متفاوت ارتباط بین کنترل بازنشان و سیستم‌های کنترل ترکیبی و ضربه‌ای در طراحی گسترده‌تر بررسی می‌کنیم.

در فصل دوم، سیستم کنترل بازنشان را تعریف می‌کنیم. همانند سیستم‌های ضربه، کنترل بازنشان ممکن است جواب‌های نامتناهی بحرانی در الگوهای پیچیده مانند ضربه، وقفه و زینو از خود نشان دهند. در روند کنترل، بازنشان به رفتار نامی نقص به شمار می‌رود. بنابراین شرایط مختلفی برای خوش رفتاری سیستم‌های کنترل بازنشان مطرح می‌شود. به عبارت دیگر، ویژگی‌های مهم کنترل بازنشان با تحلیل زمان‌های بازنشان و تطبیق آن با شرایط اولیه بدست می‌آید. ارتباط این الگوها را با رویت‌پذیری و قابلیت دسترسی سیستم خطی پایه بررسی می‌کنیم.

فصل سوم به مساله پایداری سیستم‌های کنترل بازنشان با سیستم‌های پایه با بُعد محدود اختصاص دارد. در این فصل مساله پایداری از دیدگاه‌های مختلف به بررسی قرار می‌گیرد که شامل: ۱- پایداری داخلی یا لیاپانوف ۲- پایداری خارجی یا ورودی-خروجی با تحلیل غیرفعال و ۳- بررسی پایداری با روش تابع توصیفی. روش‌های پایداری داخلی به دو بخش تقسیم می‌شود: روش‌هایی که مستقیماً به زمان‌های بازنشان وابسته نیست و دیگری روش‌هایی که وابسته به زمان‌های بازنشان است. مورد اول مستقیماً با استفاده از تابع لیاپانوف زمان پیوسته بدست می‌آید (که منجر به شرط H_∞ می‌شود) در حالی که مورد دوم (وابسته به زمان‌های بازنشان) به جداسازی مقادیر بعد از بازنشان و سپس تحلیل لیاپانوف زمان گسسته نیاز دارد. در ادامه پایداری ورودی-خروجی H_∞ را مورد مطالعه قرار می‌دهیم و نتایجی در ارتباط با ویژگی‌های اتلافی و غیرفعالیتی حلقه‌های فیدبک بازنشان ارائه می‌دهیم. در نهایت تابع توصیفی استاندارد برای پیش‌بینی تقریبی وجود یا عدم وجود نوسان استفاده می‌شود.

پایداری سیستم‌های کنترل بازنشان تأخیر زمانی در فصل ۴ مورد بحث قرار می‌گیرد. کنترل بازنشان قادر است محدودیت‌های اساسی را رفع کند و تأخیر زمانی نیز یکی از این محدودیت‌ها بشمار می‌رود. مساله پایداری با انتخاب تابع مناسب لیاپانوف-کراسوفسکی بررسی می‌شود و با وارد کردن آن، تابع می‌بایستی در مودهای بازنشان و پیوسته کاهش یابد. شرایط حاصله نامساوی‌های ماتریس خطی (LMI) را تشکیل می‌دهد که بسته به انتخاب نوع تابع، نامساوی‌های ماتریس خطی می‌تواند وابسته به تأخیر یا مستقل از تأخیر باشد. در هر دو مورد، نامساوی‌های ماتریس خطی که از شرایط پایداری دامنه زمانی حاصل شده‌اند با استفاده از ابزارهای مناسب مانند لم کالمن - یا کوبوویچ- پوپوف یا روش‌های غیرفعال به شرایط دامنه فرکانس معادل تبدیل می‌شوند. سپس تحلیل مقاوم بدست آمده در شرایط دامنه فرکانس بر حسب قضیه بهره کوچک الم زیرسیستم حقیقی مثبت بیان می‌شود. در آخر با چندین مثال کاربرد شرایط پایداری و توانمندی‌های کنترل بازنشان در سیستم‌های تأخیر زمانی را نشان می‌دهیم.

در فصل ۵، جبران‌ساز بازنشان برای رفع محدودیت‌های جبران‌ساز خطی تغییرناپذیر با زمان استفاده می‌شود. در این فصل جبران‌ساز جدید بازنشان به اصطلاح $PI + CI$ معرفی می‌کنیم. این جبران‌ساز با اضافه کردن انتگرال‌گد که به جبران‌ساز PI تشکیل می‌شود و هدف از آن بهبود پاسخ حلقه بسته با استفاده از مشخصه غیرخطی این عنصر است. در نتیجه بازنشانی درصدی از عبارت انتگرالی در جبران‌ساز PI می‌تواند به‌بود قابل توجهی با تنظیم جبران‌ساز PI بدست آورد مانند سیستم‌هایی با ثابت زمانی غالب سیستم‌های انتگرالی. هدف اصلی این فصل توسعه قواعد تنظیم $PI + CI$ در محدوده کاربردی وسیع‌تر رای سیستم‌های دینامیکی پایه شامل سیستم‌های مرتبه اول و بالاتر با تأخیر زمانی است. در ادامه مضمون از بهبودهای طراحی شامل استفاده از باندهای ثابت یا متغیر بازنشان، همراه با نظریه فیدبک کمی و استفاده از درصد بازنشان متغیر توضیح داده می‌شود. در فصل ۶، با کاربردهای عملی سیستم‌های بازنشان بر پایه جبران‌ساز $PI + CI$ آشنا می‌شویم: سیستم کنترل دمای مبدل حرارتی، سیستم‌های کنترل از راه دور دو طرفه و سرانجام کنترل حرارتی کلکتور خورشیدی. کاربردهای اول و دوم در سیستم آزمایشگاهی مورد آزمایش قرار گرفته است و مورد سوم نیز با شبیه‌ساز تائید شده آزمایش شده است.

این کتاب خلاصه‌ای از تحقیقات گروه ما در طی ۵ سال است. این کار با همکاری خواکین کاراسکو، آنجل ویدال، الخاندرو فرناندس، خوان اگناسیو مولیرو، سپاستین دورمیدو، خوزه

کارلوس مورینو، مانوئل برنجل و ارجان وندر شفت انجام شده است. در حقیقت هر یک از این همکاران سهم بسزایی در این مجموعه داشتند.

ما همچنین از وزارت علوم و نوآوری (دولت اسپانیا) برای حمایتشان از پروژه مشترک DPI۲۰۰۴-۰۷۶۷۰، DPI۲۰۰۷-۶۶۴۵۵ و DPI۲۰۴۵۵ سپاسگزاری می‌کنیم.

این کتاب شامل مقالاتی است که پیشتر در کنفرانس‌ها و مجلات انتشار یافته و در اینجا به صورت مجموعه‌ای کامل در اختیار مخاطبان قرار می‌گیرد. هدف این کتاب آشنایی با کنترل بازنشان و رویکردهای موجود به محققان کنترل و همچنین شناساندن روش‌های موثر برای غلبه بر محدودیت‌های اساسی جبران‌سازهای کلاسیک PI/PID به مهندسان کنترل است.

آلفونسو بانوس

آنتونیو باریرو

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل او ۱ - مقدمه

۱	۱-۱ کنترل بازنشان چیست؟
۱۳	۲-۱ چرا کنترل بازنشان؟
۱۵	۱-۲-۱ غلبه بر محدودیت‌های اساسی در حوزه زمان
۱۹	۲-۲-۱ غلبه بر محدودیت‌های در حوزه فرکانس
۳۱	۳-۱ ایده‌های اولیه در مورد کنترل بازنشان
۳۱	۱-۳-۱ کنترل بازنشان با انتگرال گیر مدگ
۳۵	۲-۳-۱ کنترل بازنشان با عنصر بازنشان مرتبه اول (فر)
۳۷	۴-۱ اولین رویکردهای کلی در تحلیل سیستم‌های کنترل بازنشان
۳۸	۱-۴-۱ راه‌اندازی کلی و پایداری مجانبی
۴۰	۵-۱ سیستم‌های بازنشان به عنوان سیستم‌های ضربه‌ای
۴۲	۱-۵-۱ نظریه معادلات دیفرانسیل ضربه‌ای
۴۵	۲-۵-۱ نظریه کنترل ضربه‌ای
۵۰	۳-۵-۱ سیستم‌های دینامیکی ضربه‌ای
۵۵	۶-۱ سیستم‌های بازنشان به عنوان سیستم‌های ترکیبی
۶۲	۷-۱ سایر نتایج درباره کنترل بازنشان
۶۳	۱-۷-۱ طراحی بر اساس عملکرد بهره‌ها $\mathcal{H}_2$ و $\mathcal{L}_2$
۶۸	۲-۷-۱ طراحی بر اساس بهره $\mathcal{L}_2$ و ورودی‌های مرجع غیر صفر
۷۰	۳-۷-۱ طراحی بر اساس زمان‌های بازنشان ثابت t_k
۷۴	۸-۱ نگاهی گذرا به فصل‌ها

فصل دوم - تعریف سیستم کنترل بازنشان و نتایج اساسی

- ۷۷ ۱-۲ پیش نیازها و تعریف مساله
- ۷۷ ۱-۱-۲ جواب‌های سیستم کنترل بازنشان
- ۸۰ ۲-۱-۲ مشخصه‌های فواصل بازنشان
- ۸۲ ۲-۲ زینو، ضربه‌زنی و بن‌بست
- ۸۷ ۱-۲-۲ خوش‌رفتاری: ضربه‌زنی و بن‌بست
- ۸۸ ۲-۲-۲ جواب‌های زینو
- ۹۵ ۳-۲ زمان‌های بازنشان و بُعد سطح پس از بازنشان
- ۱۰۲ $\dim(\mathcal{M}_{\mathcal{R}}) = 1$ ۱-۳-۲
- ۱۰۳ $\dim(\mathcal{M}_{\mathcal{P}}) = 2$ ۲-۳-۲
- ۱۰۶ $\dim(\mathcal{M}_{\mathcal{R}}) \geq 3$ ۳-۳-۲
- ۱۱۲ ۴-۲ سیستم‌های کنترل بازنشان با ورودی‌های بیرونی
- ۱۱۴ ۱-۴-۲ سیستم کنترل بازنشان خوش‌فتار با ورودی بیرونی
- ۱۱۷ ۲-۴-۲ سیستم کنترل بازنشان با جواب‌های زینو

فصل سوم - پایداری سیستم‌های کنترل بازنشان

- ۱۲۵ ۱-۳ مقدمه
- ۱۲۵ ۲-۳ پایداری لیپانوف
- ۱۲۶ ۱-۲-۳ شرایط مستقل از زمان‌های بازنشان
- ۱۲۷ ۲-۲-۳ معیار پایداری وابسته به زمان بازنشان
- ۱۳۳ ۳-۲-۳ پایدارسازی سیستم‌های کنترل بازنشان
- ۱۴۱ ۳-۳ سیستم‌های کنترل بازنشان با ورودی‌ها/تحلیل غیرفعال بودن
- ۱۵۲ ۱-۳-۳ جبران‌سازهای بازنشان کامل
- ۱۵۷ ۲-۳-۳ جبران‌سازهای بازنشان جزئی
- ۱۶۱ ۳-۳-۳ پایداری $\mathcal{L}_2$ سیستم کنترل بازنشان
- ۱۶۵ ۴-۳-۳ مثال
- ۱۶۷ ۴-۳ تحلیل تابع توصیفی
- ۱۷۰ ۱-۴-۳ انتگرال‌گیر فور و کِلگ
- ۱۷۱ ۲-۴-۳ جبران‌سازهای بازنشان با باند بازنشانی

۱۸۲	۳-۴-۳ تحلیل چرخه حدی
۱۸۵	۴-۴-۳ ارزیابی تابع توصیفی

۱۹۳ فصل چهارم - پایداری سیستم کنترل باز نشان تاخیر زمانی

۱۹۳	۱-۴ مقدمه
۱۹۵	۲-۴ انگیزه و بیان مساله
۲۰۱	۳-۴ شرایط بدون تاخیر در حوزه زمان
۲۰۴	۴-۴ شرایط بدون تاخیر در حوزه فرکانس
۲۰۵	۱-۴-۴ شرط H_p
۲۰۹	۲-۴-۴ شرط H_B تعمیم یافته
۲۱۱	۳-۴-۴ تفسیر شرایط پایداری
۲۱۵	۵-۴ مثال: پایداری سیستم از تاخیر
۲۱۷	۶-۴ شرایط وابسته به تاخیر در حوزه زمان
۲۲۲	۷-۴ شرایط وابسته به تاخیر در حوزه فرکانس
۲۳۳	۸-۴ مثال: پایداری وابسته به تاخیر

۲۳۷ فصل پنجم - طراحی سیستم‌های کنترل باز نشان

۲۳۷	۱-۵ جبران ساز $PI + CI$
۲۴۳	۱-۱-۵ تنظیم $PI + CI$ برای سیستم‌های مرتبه اول
۲۴۷	۲-۱-۵ سیستم‌های تاخیر زمانی مرتبه اول
۲۵۷	۳-۱-۵ سیستم‌های مرتبه بالا
۲۶۱	۴-۱-۵ سیستم‌های انتگرال گیر
۲۶۴	۵-۱-۵ خلاصه قوانین تنظیم
۲۶۵	۲-۵ بهبودهای طراحی
۲۶۵	۱-۲-۵ باند باز نشان ثابت
۲۶۸	۲-۲-۵ باند باز نشان متغیر / باز نشان پیشرفته
۲۶۹	۳-۲-۵ درصد باز نشان متغیر
۲۷۰	۴-۲-۵ طراحی کنترل مقاوم بر مبنای نظریه فیدبک کمی

۲۷۳	فصل ششم - نمونه‌های کاربردی
۲۷۳	۱-۶ کنترل دما در مبدل‌های حرارتی
۲۷۴	۱-۱-۶ مدل فرآیند
۲۷۹	۲-۱-۶ طراحی $PI + CI$
۲۹۰	۲-۶ کنترل از راه دور یک جرثقیل دروازه‌ای
۲۹۲	۱-۲-۶ کنترل‌کننده از راه دور غیرفعال و بررسی اجمالی سیستم
۲۹۵	۲-۲-۶ روش ازنشانی
۳۰۰	۳-۲-۶ مثال
۳۰۶	۳-۶ کنترل میدان‌های کلکتور خورشیدی
۳۰۸	۱-۳-۶ میدان کلکتور خورشیدی
۳۱۰	۲-۳-۶ طراحی کنترل‌کننده $PI + CI$
۳۱۴	۳-۳-۶ جبران‌ساز $PI + CI$ با درصد از نشان متغیر
۳۱۹	فهرست منابع
۳۲۳	واژه‌نامه انگلیسی به فارسی
۳۳۹	فهرست الفبایی