

پایداری و کنترل خودکار پرواز

مؤلف:

رابرت سی. نلسون

مترجم:

دکتر سید حسین ساداتی

عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی مالک اشتر

سرشناسه:	نلسون، رابرت سی، ۱۹۴۲ - م. Nelson, Robert C
عنوان و نام پدیدآور:	پایداری و کنترل خودکار پرواز/رابرت سی، نلسون؛ مترجم سید حسین ساداتی.
مشخصات نشر:	تهران: دانشگاه صنعتی مالک اشتر، ۱۳۹۵.
مشخصات ظاهری:	ج، ۵۶۸ ص: مصور(بخشی رنگی)، جدول، نمودار.
شابک:	۹۷۸-۶۰۰-۷۷۳۶-۲۸-۹
وضعیت فهرست‌نویسی:	فیبیا.
یادداشت:	عنوان اصلی: Flight Stability and Automatic Control, 2 nd ed
یادداشت:	واژه‌نامه.
یادداشت:	کتابنامه.
موضوع:	پایداری هواپیما.
موضوع:	هواپیماها-سامانه‌های کنترل.
رع:	هواپیماها-کنترل خودکار.
شماره افزوده:	ساداتی، سید حسین، ۱۳۴۷ - ، مترجم.
شناسه افزوده:	دانشگاه صنعتی مالک اشتر.
رده‌بندی کنگر:	۱۳۹۸ ن ۵۷۴/پ ۲ TL
رده‌بندی دیویی:	۶۳۹/۱ ۲۳۶
کتابشناسی ملی:	۴۰۷۱



کتابخانه ملی ایران

عنوان کتاب: پایداری و کنترل خودکار پرواز

مترجم: سید حسین ساداتی

ناشر: انتشارات ماه صنعتی مالک اشتر

طرح روی جلد: فریناز عسگری

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: دانشگاه صنعتی مالک اشتر

صفحه‌آرایی رایانه‌ای: مهدی ملایی

ویراستار ادبی: زهرا جاویدی

شمارگان: ۱۰۰۰ جلد

نوبت چاپ: اول، پاییز ۹۵

قیمت: ۳۱۰.۰۰۰ ریال

ISBN: 978-600-7736-28-9

کلیه حقوق چاپ برای ناشر محفوظ است.

نقل مطالب فقط با ذکر مشخصات کامل کتاب و با اشاره به نام ناشر مجاز است.
آدرس: تهران، لویزان، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، مرکز فناوری اطلاعات و مدیریت دانش،

مردم بت انتشارات. تلف: ۲۲۹۳۲۸۹۱

فهرست مطالب

پیشگفتار مولف	۱
درباره مولف	ج
پیشگفتار مترجم	خ

فصل اول: مقدمه

۱-۱- مکانیک رواز در جو	۳
۱-۲- تعاریف پایه‌ای	۵
۱-۲-۱- سال	۶
۲-۲-۱- فشار	۶
۳-۲-۱- دما	۷
۴-۲-۱- چگالی	۷
۵-۲-۱- لزجت	۷
۶-۲-۱- عدد ماخ و سرعت صوت	۹
۳-۱- آیرواستاتیک	۱۱
۱-۳-۱- تغییر فشار در سیال ساکن	۱۱
۴-۱- توسعه معادله‌های برنولی	۱۳
۱-۴-۱- معادله تراکم‌ناپذیری برنولی	۱۵
۲-۴-۱- معادله برنولی برای سیال تراکم‌پذیر	۱۵
۵-۱- جو	۱۶
۶-۱- اصطلاحات آیرودینامیکی	۲۶
۷-۱- ابزار دقیق هواپیما	۳۰
۱-۷-۱- سامانه‌های اطلاعات هوایی	۳۱
۲-۷-۱- شاخص یا نمایش‌دهنده سرعت	۳۱
۳-۷-۱- ارتفاع‌سنج	۳۵
۴-۷-۱- نمایش‌دهنده نرخ صعود	۳۷

۳۸	۱-۷-۵- ماکس سنج
۴۰	۱-۷-۶- نشان دهنده های زاویه حمله
۴۳	۱-۸- خلاصه
۴۴	۱-۹- مسائل
۴۵	۱-۱۰- مراجع

فصل دوم: پایداری استاتیکی و کنترل

۴۹	۲-۱- چشم انداز تاریخی
۵۵	۲-۲- بدنه
۵۶	۲-۱-۱- پایداری استاتیکی
۵۸	۲-۲-۲- پایداری نامیکی
۵۹	۲-۳- کنترل و پایداری استاتیکی
۵۹	۲-۳-۱- تعریف پایداری استاتیکی طولی
۶۱	۲-۳-۲- تأثیر و سهم هیکل اجزاء هواپیما
۶۲	۲-۳-۳- سهم بال
۶۴	۲-۳-۴- سهم دم افقی
۷۲	۲-۳-۵- کانارد- سطح دم جلویی
۷۲	۲-۳-۶- سهم بدنه
۷۶	۲-۳-۷- تأثیر موتور
۷۷	۲-۳-۸- نقطه خنثی در حالت دسته ثابت
۸۳	۲-۴- کنترل طولی
۸۵	۲-۴-۱- کارایی الویتور
۸۷	۲-۴-۲- زاویه الویتور برای تنظیم
۹۱	۲-۴-۳- تعیین نقطه خنثی در حین پرواز
۹۲	۲-۴-۴- گشتاور لولای الویتور
۹۵	۲-۵- نیروی استیک

۹۷.....	۲-۵-۱- تریم تب‌ها.....
۹۸.....	۲-۵-۲- گرادیان نیروی استیک.....
۹۸.....	۲-۶- تعریف پایداری سمتی.....
۱۰۰.....	۲-۶-۱- سهم هریک از اجزاء اصلی هواپیما در پایداری سمتی.....
۱۰۳.....	۲-۷- کنترل سمتی.....
۱۰۶.....	۲-۸- پایداری غلتشی.....
۱۰۹.....	۲-۹- کنترل غلتشی.....
۱۱۲.....	۲-۱۰- خلاصه.....
۱۱۳.....	۲-۱۱- مسائل.....
۱۲۵.....	۲-۱۲- مراجع.....
۱۲۹.....	فصل سوم: معادلات حرکت.....
۱۲۹.....	۳-۱- مقدمه.....
۱۳۰.....	۳-۲- تعریف معادله‌های حرکت جسم صلب.....
۱۳۵.....	۳-۳- موقعیت و جهت هواپیما.....
۱۳۸.....	۳-۴- نیروهای جاذبه و پیشرانش.....
۱۴۰.....	۳-۵- نظریه اختلالات کوچک.....
۱۴۴.....	۳-۶- معرفی نیرو و گشتاور آیرودینامیکی.....
۱۴۷.....	۳-۶-۱- مشتقات ناشی از تغییر در سرعت پیشروی.....
۱۴۹.....	۳-۶-۲- مشتقات ناشی از سرعت پیچشی.....
۱۵۰.....	۳-۶-۳- مشتقات ناشی از نرخ زمانی تغییر زاویه حمله.....
۱۵۲.....	۳-۶-۴- مشتقات ناشی از نرخ غلت.....
۱۵۵.....	۳-۶-۵- مشتقات ناشی از نرخ سمت.....
۱۶۷.....	۳-۷- خلاصه.....
۱۶۷.....	۳-۸- تمرین‌ها.....
۱۷۰.....	۳-۹- مراجع.....

۱۷۳.....	فصل چهارم: حرکت طولی - دسته ثابت.....
۱۷۳.....	۱-۴ چشم انداز تاریخی.....
۱۷۶.....	۲-۴ معادله های دیفرانسیل درجه دوم.....
۱۸۲.....	۳-۴ حرکت پیچ خالص.....
۱۹۳.....	۴-۴ حرکت طولی دسته ثابت.....
۱۹۵.....	۴-۴-۱ بیان متغیرهای حالت در معادله های حرکت.....
۲۰۰.....	۴-۵- تقریب حرکت طولی.....
۲۰۱.....	۴-۵-۱ تقریب پرورد کوتاه مدت.....
۲۱۱.....	۴-۶- تغییر مشتقات پایداری بر مدهای حرکت طولی.....
۲۱۳.....	۴-۷- کیفیت پرواز.....
۲۱۶.....	۴-۷-۱ نثار خالص.....
۲۲۱.....	۴-۸- شبیه ساز پرواز.....
۲۲۴.....	۴-۹- خلاصه.....
۲۲۸.....	۴-۱۰- تمرین.....
۲۲۴.....	۴-۱۱- مراجع.....
۲۳۷.....	فصل پنجم: حرکت عرضی (دسته ثابت).....
۲۳۷.....	۵-۱- مقدمه.....
۲۳۸.....	۵-۲- حرکت غلت محض.....
۲۴۲.....	۵-۲-۱ لرزش بال.....
۲۴۴.....	۵-۲-۲ کنترل غلت معکوس.....
۲۴۷.....	۵-۳- حرکت یاو محض.....
۲۵۳.....	۵-۴- معادلات حرکت عرضی- سمتی.....
۲۵۷.....	۵-۴-۱ تقریب مد مارپیچی.....
۲۵۸.....	۵-۴-۲ تقریب مد غلتشی.....
۲۵۹.....	۵-۴-۳ تقریب غلت گهواره ای.....

۲۶۵	۵-۵- مشخصه‌های خوش‌دستی عرضی-سمتی.....
۲۶۸	۵-۶- جفت‌شدگی اینرسی.....
۲۷۰	۵-۷- خلاصه.....
۲۷۰	۵-۸- تمرین‌ها.....
۲۷۶	۵-۹- مراجع.....

فصل ششم: پاسخ هواپیما به ورودی کنترل و اغتشاش‌های جوی..... ۲۷۹

۲۷۹	۶-۱- مقدمه.....
۲۸۳	۶-۲- معادله‌های حرکت ۱- جو غیریکنواخت.....
۲۸۷	۶-۳- حرکت غوطه‌وری یا ورودی محض.....
۲۹۷	۶-۴- توربولانس جو.....
۲۹۸	۶-۵- تحلیل هارمونیکی.....
۳۰۱	۶-۵-۱- مدل‌های توربولانس.....
۳۰۲	۶-۶- قیچی باد.....
۳۰۷	۶-۷- خلاصه.....
۳۰۷	۶-۸- تمرین‌ها.....
۳۰۸	۶-۹- مراجع.....

فصل هفتم: کنترل خودکار: کاربرد تئوری کنترل کلاسیک..... ۳۱۳

۳۱۳	۷-۱- مقدمه.....
۳۱۸	۷-۲- معیار روث.....
۳۲۳	۷-۳- روش مکان‌هندسی ریشه‌ها.....
۳۳۱	۷-۳-۱- اضافه کردن قطب‌ها و صفرها.....
۳۳۴	۷-۴- روش‌های حوزه فرکانس.....
۳۳۵	۷-۵- مشخصات حوزه فرکانس و حوزه زمان.....
۳۳۹	۷-۵-۱- حاشیه‌ی فاز و بهره در نمودار مکان‌هندسی ریشه‌ها.....

۳۴۳.....	۲-۵-۷- سامانه‌های مرتبه‌ی بالاتر
۳۴۵.....	۶-۷- خطای حالت ماندگار
۳۵۰.....	۷-۷- طراحی سیستم کنترل
۳۵۳.....	۱-۷-۷- جبران کننده
۳۵۵.....	۲-۷-۷- جبران کننده مسیر پیشرو
۳۵۹.....	۳-۷-۷- جبران کننده مسیر پس‌خور
۳۶۱.....	۸-۷- کنترل کننده PID
۳۶۵.....	۹-۷- نتیجه‌گیری
۳۶۷.....	۱۰-۷- تمرین‌ها
۳۷۲.....	۱۱-۷- مراجع
۳۷۵.....	فصل هشتم: کاربرد نظریه کنترل کلاسیک برای طراحی خلبان
۳۷۵.....	۱-۸- مقدمه
۳۷۷.....	۲-۸- توابع تبدیل هواپیما
۳۷۸.....	۱-۲-۸- دینامیک پی‌ریود کوتاه
۳۷۹.....	۲-۲-۸- دینامیک پی‌ریود بلند یا نوگوید
۳۸۱.....	۳-۲-۸- دینامیک غلت
۳۸۲.....	۴-۲-۸- تقریب داچ‌رول
۳۸۴.....	۳-۸- عملگرهای سطوح کنترل
۳۸۷.....	۴-۸- خلبان خودکار وضعیت
۳۸۸.....	۱-۴-۸- خلبان خودکار وضعیت پیچ
۳۹۳.....	۲-۴-۸- اتوپایلوت وضعیت غلت
۴۰۰.....	۳-۴-۸- سیستم کنترل نگاه‌دارنده ارتفاع
۴۰۸.....	۴-۴-۸- سیستم کنترل نگاه‌دارنده سرعت
۴۱۱.....	۵-۸- تقویت کننده پایداری
۴۱۳.....	۶-۸- ابزارآلات نشست

۴۱۹.....	۷-۸-خلاصه
۴۲۰.....	۸-۸-تمرین‌ها
۴۲۵.....	۹-۸-مراجع

فصل نهم: تئوری کنترل مدرن ۴۲۹

۴۲۹.....	۱-۹-مقدمه
۴۳۰.....	۲-۹-مدل فضای حالت
۴۳۵.....	۱-۲-۹- ماتریس انتقال حالت
۴۴۰.....	۲-۲-۹- حل عددی معادله‌های حالت
۴۴۳.....	۳-۹-تبدیل‌های کاننیکال
۴۴۵.....	۱-۳-۹- مقادیر ویژه حتمی تمایز
۴۴۸.....	۲-۳-۹- مقادیر ویژه تکراری
۴۵۱.....	۳-۳-۹- مقادیر ویژه مختلط
۴۵۵.....	۴-۹-کنترل پذیری و رؤیت پذیری
۴۵۸.....	۵-۹-طراحی پس‌خور حالت
۴۶۱.....	۱-۵-۹- روش عددی برای محاسبه بهره پس‌خور
۴۶۷.....	۲-۵-۹- سیستم چند ورودی- چندخروجی
۴۶۷.....	۳-۵-۹- جابجایی بردار ویژه
۴۶۸.....	۶-۹-بازسازی متغیرهای حالت: رؤیت‌گر حالت
۴۷۳.....	۷-۹-طراحی سیستم کنترل بهینه در فضای حالت
۴۷۷.....	۸-۹-خلاصه
۴۷۸.....	۹-۹-مسائل
۴۸۳.....	۱۰-۹-مراجع

فصل دهم: کاربرد نظریه کنترل مدرن برای طراحی خلبان خودکار هواپیما ۴۸۷

۴۸۷.....	۱-۱۰-مقدمه
----------	------------

۴۸۸	۱۰-۲-افزاینده پایداری
۴۸۸	۱۰-۲-۱-افزاینده پایداری طولی
۴۹۶	۱۰-۲-۲-افزاینده پایداری عرضی
۵۰۲	۱۰-۳-طراحی آتوپایلوت
۵۰۸	۱۰-۴-رؤیت گر حالت
۵۱۲	۱۰-۵-کنترل بهینه
۵۱۸	۱۰-۶-خلاصه
۵۱۹	۱۰-۷-مسائل
۵۲۳	۸-مراجع

پیوست‌ها

۵۲۷	الف- جدول‌های جو رجه استاندارد (ICAO)
۵۲۸	ب- هندسه، جرم و خصوصیات آیرودینامیکی هواپیماهای انتخاب‌شده
۵۲۹	ب-۱-مراجع
۵۴۰	ج- مروری ریاضی بر تابع تبدیل و جبر ماتریس
۵۵۰	د- مروری بر روش‌های تحلیل سیستم کنترل

واژه‌نامه

۵۵۹

پیشگفتار مولف

فهم پایداری و کنترل پرواز در موفقیت نهایی اولین طرح‌های هواپیما نقش مهمی داشت. در سال‌های بعد از اوج طراحی کنترل‌های خودکار، پیشرفت سریعی را در هواپیمای تجاری و نظامی به وجود آورد. امروزه، هر دو هواپیمای نظامی و تجاری وابستگی شدیدی به سامانه‌های کنترل خودکار دارند تا پایداری هواپیما و خلبان خودکاری را فراهم آورند، که در شرایط بد آب‌وهوایی، ناوبری و نشست هواپیما همیار خلبانان باشد. هدف این کتاب ارائه شیوه‌ی عملی از عناصر اصلی پایداری، کنترل هواپیما و طراحی خلبان خودکار است.

ویرایش جدید

در ویرایش دوم، سعی کردم شش فصل نخست، ویرایش اول را اصلاح کنم. این فصل‌ها موضوع‌های پایداری استاتیکی، کنترل پرواز، دینامیک هواپیما و کیفیت پرواز را دربر می‌گیرد. این هدف با حل مثال‌های بیشتر، مسئله‌های اضافی در انتهای هر فصل و مطلب‌های جدید که بینش بیشتر درباره موضوع را فراهم می‌کند، انجام شده است. تغییر مهم در متن، اضافه شدن بخش مفصلی در مورد نظریه کنترل خودکار و کاربرد آن در طراحی سامانه کنترل پرواز است.

محتوای کتاب

این نوشته، کتابی درسی برای دوره دینامیک پرواز هواپیما در کارشناسی و سال اول تحصیلات تکمیلی در نظر گرفته شده است. مطالب ارائه شده شامل: پایداری استاتیکی،

معادله‌های حرکت هواپیما، پایداری دینامیکی، کیفیت یا خوش‌دستی پرواز، نظریه کنترل خودکار و کاربرد نظریه کنترل برای سنتز سامانه‌های کنترل پرواز خودکار است. فصل اول مروری دارد بر برخی از مفاهیم پایه‌ای آیرودینامیک، خواص جو، چندین آلات دقیق و اصطلاحات پرواز. فصل دوم مفاهیم پایداری و کنترل استاتیکی هواپیما را بیان می‌کند. ویژگی‌های این طرح می‌تواند در طراحی هواپیما به کار گرفته شود تا پایداری استاتیکی و قدرت کنترل کافی داشته باشیم. معادله‌های حرکت جسم صلب هواپیما با روش‌هایی برای مدل کردن نیروها و گشتاورهای آیرودینامیکی عمل‌کننده روی هواپیما در فصل سوم به شکل گسترده مورد مطالعه قرار می‌گیرد. نیروها و گشتاورهای آیرودینامیکی با استفاده از مفهوم مشتقات پایداری آیرودینامیکی مدل می‌شوند. روش‌هایی برای استخراج مشتقات با حل دقیق مثال مشتقات طولی ترابری در فصل سوم ارائه می‌شود. خصوصیات دینامیک هواپیما برای پاسخ آزاد و اجباری در فصل‌های ۴ و ۵ بیان می‌شود. فصل ۴ دینامیک عرضی و در فصل ۵ دینامیک عرضی را مورد بحث قرار می‌دهد. در هر فصل ارتباط بین معادله‌های جسم صلب و نظر خلبانان درباره راحتی یا سختی پرواز هواپیما شرح داده می‌شود. کیفیت یا خوش‌دستی پرواز از خصوصیات دینامیک و کنترل محسوب و بیان می‌کند. به بیان دیگر می‌تواند به خوبی کنترل دقیقی در پرواز داشته باشد. در فصل ۶ حل معادله‌های حرکت برای ورودی کنترل دلخواه یا اغتشاش جو بیان می‌شود. فصل‌های ۷ تا ۱۰ شامل تئوریات مهمی است که به ویرایش دوم این کتاب اضافه شده است. در فصل ۷ مفهوم کنترل کلاسیک را مرور و درباره طراحی و سنتز سیستم کنترل بحث می‌کنیم. روش مکان هندسی ریشه‌ها، این طراحی سامانه‌های کنترل و به منظور تطابق با ویژگی‌های کارایی در حوزه زمان و فرکانس استفاده می‌شود. روش‌های کنترل کلاسیک برای طراحی سیستم کنترل خودکار برای به کارگیری در پروازهای مختلف در فصل ۸ ارائه می‌شود. سامانه‌های کنترل خودکاری که برای حفظ زاویه بنک، وضعیت پیچ، ارتفاع و سرعت مورد استفاده قرار می‌گیرد، شرح داده

می‌شوند. علاوه بر کیفیت، توضیحاتی درباره سامانه نشست خودکار بیان می‌شود. در فصل ۹، مفهوم نظریه کنترل مدرن و روش‌های طراحی مرور می‌شود. با استفاده از طراحی پس‌خور حالت، این امکان از لحاظ نظری برای طراح به وجود می‌آید تا مکان ریشه‌های سامانه حلقه بسته طوری قرار دهد که هر کارایی دلخواهی بتواند قابل حصول باشد. قیدهای عملی مکان ریشه دلخواه با الزامات موردنیاز برای پیاده‌سازی موفق کنترل پس‌خور حالت بحث می‌شوند. سرانجام در فصل ۱۰ روش‌های طراحی کنترل مدرن در طراحی سامانه‌های کنترل پرواز خودکار هواپیما ارائه می‌شود.

رابرت سی. نلسون