بسم الله الرحمن الرحيم

١١٤٧٢٧

دانشگاه تربیت مدرس
دانشکدهٔ فنی-مهندسی
بخش مکانیک
گروه ساخت و تولید

پایان نامهٔ کارشناسی ارشد

با عنوان:

کالیبراسیون میز ماشین ابزار هگزاپاد

نگارنده :

محمد مهدی عاقلی

استاد راهنما:

دکتر محمد جواد ناطق

پائیز ۸۷

۱۳۸۸/۳/۳۱
مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

۱۱۴۶۲۷

بسمه تعالی

تاییدیه اعضای هیات داوران حاضر در جلسه دفاع از پایان نامه

آقای محمد مهدی عاقلی پایان نامه ٦ واحدی خود را **با عنوان کالیبراسیون میز ماشین ابزار هگزا پاد** در تاریخ ١٣٨٧/١١/٦ ارائه کردند.

اعضای هیات داوران نسخه نهایی این پایان نامه را از نظر فرم و محتوا تایید کرده و پذیرش آنرا برای تکمیل درجه کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک – ساخت وتولید پیشنهاد می کنند.

عضو هیات داوران	نام و نام خانوادگی	رتبه علمی	امضا
استاد راهنما	دکتر محمد جواد ناطق	استادیار	
استاد ناظر	دکتر یوسف حجت	استادیار	
استاد ناظر	دکتر محمدحسین صادقی	دانشیار	
استاد ناظر	دکتر آریا الستی	دانشیار	
مدیر گروه (یا نماینده گروه تخصصی)	دکتر یوسف حجت	استادیار	

نسخه به عنوان نسخه نهایی پایان نامه/رساله مورد تأیید است.

امضای استاد راهنما:

آیین نامه چاپ پایان‌نامه (رساله)های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه (رساله)های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرس، مبین بخشی از فعالیتهای علمی - پژوهشی دانشگاه است بنابراین به منظور آگاهی و رعایت حقوق دانشگاه،دانش آموختگان این دانشگاه نسبت به رعایت موارد ذیل متعهد می‌شوند:

ماده ۱: در صورت اقدام به چاپ پایان نامه (رساله)ی خود، مراتب را قبلاً به طور کتبی به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اطلاع دهد.

ماده ۲: در صفحه سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه) عبارت ذیل را چاپ کند:

«کتاب حاضر، حاصل پایان نامه **کارشناسی ارشد** نگارنده در رشته **مهندسی مکانیک-ساخت و تولید** است که در سال ۱۳۸۷ در دانشکده **فنی مهندسی** دانشگاه تربیت مدرس به راهنمایی جناب آقای **دکتر محمد جواد ناطق** از آن دفاع شده است.»

ماده ۳: به منظور جبران بخشی از هزینه‌های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب (در هر نوبت‌چاپ) را به «دفتر نشر آثارعلمی» دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می‌تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر درمعرض فروش قرار دهد.

ماده ۴: در صورت عدم رعایت ماده ۳، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده رابه عنوان خسارت به دانشگاه تربیت‌مدرس، تأدیه کند.

ماده ۵: دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می‌تواندخسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند؛ به علاوه به دانشگاه حق می‌دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در ماده ۴ را از محل توقیف کتابهای عرضه شده‌نگارنده برای فروش، تامین نماید.

ماده ۶: اینجانب **محمد مهدی عاقلی حاجی آبادی** دانشجوی رشته **مهندسی مکانیک-ساخت و تولید** مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق وضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

نام و نام خانوادگی: محمد مهدی عاقلی

تاریخ و امضا:

دستورالعمل حق مالکیت مادی و معنوی در مورد نتایج پژوهشهای علمی دانشگاه تربیت مدرس

مقدمه: با عنایت به سیاست‌های پژوهشی دانشگاه در راستای تحقق عدالت و کرامت انسانها که لازمه شکوفایی علمی و فنی است و رعایت حقوق مادی و معنوی دانشگاه و پژوهشگران، لازم است اعضای هیات علمی، دانشجویان، دانش آموختگان و دیگر همکاران طرح، در مورد نتایج پژوهشهای علمی که تحت عناوین پایان‌نامه، رساله و طرحهای تحقیقاتی که با هماهنگی دانشگاه انجام شده است، موارد ذیل را رعایت نمایند:

ماده ۱- حقوق مادی و معنوی پایان نامه‌ها / رساله‌های مصوب دانشگاه متعلق به دانشگاه است و هرگونه بهره‌برداری از آن باید با ذکر نام دانشگاه و رعایت آیین‌نامه‌ها و دستورالعمل‌های مصوب دانشگاه باشد.

ماده ۲- انتشار مقاله یا مقالات مستخرج از پایان نامه/ رساله به صورت چاپ در نشریات علمی و یا ارائه در مجامع علمی باید به نام دانشگاه بوده و استاد راهنما مسئول مکاتبات مقاله باشد.

تبصره: در مقالاتی که پس از دانش آموختگی بصورت ترکیبی از اطلاعات جدید و نتایج حاصل از پایان‌نامه/ رساله نیز منتشر می‌شود نیز باید نام دانشگاه درج شود.

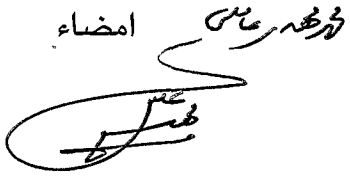
ماده ۳- انتشار کتاب حاصل از نتایج پایان نامه / رساله و تمامی طرحهای تحقیقاتی دانشگاه باید با مجوز کتبی صادره از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه و بر اساس آئین نامه های مصوب انجام می‌شود.

ماده ۴- ثبت اختراع و تدوین دانش فنی و یا ارائه در جشنواره‌های ملی، منطقه‌ای و بین‌المللی که حاصل نتایج مستخرج از پایان نامه/ رساله و تمامی طرح‌های تحقیقاتی دانشگاه باید با هماهنگی استاد راهنما یا مجری طرح از طریق حوزه پژوهشی دانشگاه انجام گیرد.

ماده ۵- این دستورالعمل در ۵ ماده و یک تبصره در تاریخ ۱۳۸۴/۴/۲۵ در شورای پژوهشی دانشگاه به تصویب رسیده و از تاریخ تصویب لازم الاجرا است و هرگونه تخلف از مفاد این دستورالعمل، از طریق مراجع قانونی قابل پیگیری می شود.

نام و نام خانوادگی

امضاء



تقدیم به

همسر مهربانم که همیشه برایم عزیزترین است

پدر فداکارم که تلاش و خلوصش در سر بزرگ زندگانی برای من است

مادر دلسوزم که حامی و همراه لحظه‌های شیرین و تلخ زندگی‌ام است

و همه کسانی که برای زحمات بی‌دریغ آنها جبرانی در زمان و مکان نیست.

سپاس گزاری

با سپاس فراوان از راهنمایی‌های شایان و حکیمانه جناب آقای دکتر محمد جواد ناطق که دلسوزانه حقیر را هدایت فرمودند بطوریکه راهنمایی های دقیق و نکته‌بینانه ایشان در طول پایان‌نامه بسیار موثر واقع شد و این پایان نامه را به ثمر رساند.

همچنین از همیاری و همفکری‌های آقایان دکتر مهران مجوبخواه، مهندس داوود کریمی، مهندس سیامک مزدک، مهندس سعید امینی، مهندس حمید سلیمانی مهر، مهندس مرتضی شنکایی، مهندس روح الله عزیزی تفتی، مهندس وحید حمدی پور و سایر عزیزانی که حتی کوچکترین کمکی در این راه به من کرده اند کمال تشکر و قدردانی را دارد.

چکیده:

میز ماشین ابزار هگزاپاد یک ربات موازی است که بر اساس سکوی استوارت کار می کند. این ربات مانند هر ربات دیگری پس از ساخت و مونتاژ نیاز به کالیبراسیون دارد تا بتوان به موضع دهی دقیق توسط ربات دست پیدا کرد. در این گزارش بررسی کامل و جامعی بر روی تمامی مراحل کالیبراسیون انجام شده است. مدل کردن ربات اولین مرحلهٔ کالیبراسیون می باشد. در این گزارش مدل سینماتیکی از میز ماشین ابزار هگزاپاد شامل کلیهٔ پارامترهای سینماتیکی و همچنین مدل خطای سینماتیکی شامل پارامترهای خطای ربات، از هر دو نوع معکوس و مستقیم به دست آمده است. کلیهٔ منابع خطا نیز که در خطای موضع سکوی متحرک مؤثرند ولی قابل مدل شدن نیستند، بررسی شده است. روش جدیدی توسط دوربین دیجیتال و نرم افزار بررسی تصویر، برای اندازه گیری موقعیت و جهت سکوی متحرک ارائه شده است. همچنین روش تجزیهٔ مقادیر تکین ماتریس تشخیص و انتخاب شاخص مشاهده پذیری مناسب جهت انتخاب بهترین مجموعهٔ پیکره های اندازه گیری به کار گرفته شده است بطوریکه در این پیکره ها قابلیت تشخیص و مشاهده پذیری پارامترهای سینماتیکی ماکزیمم باشد. برای این هدف از یک روش جدید برای جستجوی پیکره های مناسب در بین پیکره های موجود در فضای کاری بهره گرفته شده است. روش حداقل مربعات (لونبرگ-مارکارد) برای تعیین پارامترهای سینماتیکی واقعی، بر روی تابع هزینه اعمال شده است. سپس فرایند کالیبراسیون شبیه سازی شده است و سرانجام نتایج آزمایشات تجربی، نتایج شبیه سازی و در نتیجه روش ارائه شده برای کالیبراسیون را تأیید کرده است.

کلمات کلیدی: کالیبراسیون، سکوی استوارت، پارامترهای سینماتیکی، تجزیهٔ مقادیر تکین، ماتریس تشخیص، مشاهده پذیری، قابلیت تشخیص، تابع هزینه

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... أ
فهرست علائم ..... ج
فهرست شکل ها ..... ز
فهرست جداول ..... ط
فصل ۱ : مقدمه ۲
۱-۱- هدف ۲
۱-۲- تاریخچه ۲
۱-۳- شرح سازماندهی گزارش ۱۰
فصل ۲ : مدل سینماتیکی ۱۳
۲-۱- مقدمه ۱۳
۲-۲- مدل سینماتیک معکوس ۱۵
۲-۳- مدل سینماتیک مستقیم ۲۰
۲-۴- مدل خطای معکوس و مستقیم و ژاکوبین تشخیص ۲۴
۲-۵- بررسی روند انتشار خطا ۳۲
فصل ۳ : منابع خطا ۴۲
۳-۱- مقدمه ۴۲
۳-۲- منابع خطای موجود در داده های اندازه گیری شده ۴۲
۳-۲-۱- خطای مربوط به وسیلهٔ اندازه گیری ۴۳
۳-۲-۲- خطای مربوط به دقت ساخت و مونتاژ قطعات ۴۳
۳-۲-۳- خطای مربوط به محیط و شرایط اندازه گیری ۴۳
۳-۲-۴- خطای محاسباتی و هندسی ۴۵
فصل ۴ : اندازه گیری ۴۸
۴-۱- مقدمه ۴۸
۴-۲- مقیاس گذاری ۴۹
۴-۳- تجزیهٔ مقادیر تکین ماتریس تشخیص ۴۹
۴-۴- شاخص های مشاهده پذیری ۵۱

۴-۵- انتخاب پیکره های اندازه گیری ۵۲
۴-۶- پارامترهای مهم اندازه گیری ۶۶
۴-۷- وسایل اندازه گیری مورد استفاده ۶۷
۴-۸- اندازه گیری موقعیت و جهت سکوی متحرک ۶۸
۴-۸-۱- موقعیت مرکز سکوی متحرک ۷۰
۴-۸-۲- جهت سکوی متحرک ۷۶
۴-۹- اندازه گیری موقعیت مرکز مفاصل ۷۸
۴-۹-۱- موقعیت مرکز مفاصل کروی ۷۹
۴-۹-۲- موقعیت مرکز مفاصل یونیورسال ۸۲
۴-۱۰- اندازه گیری طول و تغییر طول پایه ها ۸۲
فصل ۵ : تعیین پارامترهای واقعی ۸۵
۵-۱- مقدمه ۸۵
۵-۲- انواع کالیبراسیون ۸۶
۵-۲-۱- کالیبراسیون سخت افزاری ۸۶
۵-۲-۲- کالیبراسیون نرم افزاری ۸۷
۵-۳- تئوری کالیبراسیون، تابع هزینه و مینیمم سازی ۹۳
۵-۴- مثال شبیه سازی ۹۴
فصل ۶ : آزمایش های تجربی ۱۰۲
۶-۱- مقدمه ۱۰۲
۶-۲- آزمایش های تجربی ۱۰۲
۶-۲-۱- اعمال تغییر طول پایه ها ۱۰۲
۶-۲-۲- اندازه گیری موقعیت و جهت سکوی متحرک ۱۰۴
۶-۲-۳- نتایج آزمایش ها ۱۰۵
۶-۳- صحت سنجی ۱۰۷
فصل ۷ : نتایج و پیشنهادها ۱۱۳
۷-۱- نتایج ۱۱۳
۷-۲- پیشنهادها ۱۱۶
مراجع ۱۱۷
واژه نامهٔ انگلیسی به فارسی ۱۲۰
واژه نامهٔ فارسی به انگلیسی ۱۲۶
چکیدهٔ انگلیسی ۱۳۳

فهرست علائم

علامت	مفهوم
A_i	مفصل کروی iام
a	زاویهٔ سکوی متحرک حول محور X
B_i	مفصل یونیورسال iام
b	زاویهٔ سکوی متحرک حول محور Y
$\{C\} = C - xyz$	دستگاه مختصات واقع در مرکز سکوی بالایی
c	زاویهٔ سکوی متحرک حول محور Z
CF	تابع هزینهٔ کل یا همان رابطهٔ کالیبراسیون
f_{ik}	تابع سینماتیک معکوس
$IRDs$	اغتشاش تشخیص داده شده در پارامترها
J	ماتریس ژاکوبین
J_v	ماتریس ژاکوبین خطا
J_ρ	ماتریس ژاکوبین تشخیص
$\hat{l}$	مقدار طول تئوری پایه بدست آمده از سینماتیک معکوس
l	طول پایهٔ اندازه گیری شده

l_i	اندازهٔ طول بردار پایهٔ iام
$\vec{l}_i$	بردار موقعیت پایهٔ iام
l_{oi}	طول اولیهٔ پایهٔ i ام
l_{iX}	مؤلفهٔ X بردار طول پایه در دستگاه مختصات عمومی
l_{iY}	مؤلفهٔ Y بردار طول پایه در دستگاه مختصات عمومی
l_{iZ}	مؤلفهٔ Z بردار طول پایه در دستگاه مختصات عمومی
m	تعداد پیکره های انتخابی
$\vec{n}_i$	بردار یکهٔ طول پایهٔ iام
$\vec{n}_{iX}$	مؤلفهٔ x بردار یکهٔ طول پایهٔ iام در دستگاه مختصات عمومی
$\vec{n}_{iY}$	مؤلفهٔ y بردار یکهٔ طول پایهٔ iام در دستگاه مختصات عمومی
$\vec{n}_{iZ}$	مؤلفهٔ z بردار یکهٔ طول پایهٔ iام در دستگاه مختصات عمومی
$\{O\} = O - XYZ$	دستگاه مختصات واقع در مرکز سکوی ثابت (سکوی پایینی)
$\vec{o}$	بردار موقعیت یا همان بردار مکان مرکز سکوی متحرک در دستگاه مختصات عمومی
$OMDR$	خطای جهت وسیلهٔ اندازه گیری
$PMDR$	خطای موقعیت وسیلهٔ اندازه گیری
P_o	موقعیت خانگی سکوی متحرک

QI	شاخص کیفیت دایره ای بودن یا کروی بودن
R	ماتریس دوران
$\vec{Rs_i}$	بردار موقعیت مرکز مفصل کروی iام در دستگاه مختصات عمومی
RSS	جذر مجموع مربعات
$\vec{s_i}$	بردار موقعیت مرکز مفصل کروی iام در دستگاه مختصات محلی
TCP	مرکز سکوی متحرک (پلتفرم)(سکوی بالایی)
$\vec{u_i}$	بردار موقعیت مرکز مفصل یونیورسال iام در دستگاه مختصات عمومی
X_C	موقعیت X مرکز سکوی متحرک در دستگاه مختصات عمومی
Y_C	موقعیت Y مرکز سکوی متحرک در دستگاه مختصات عمومی
Z_C	موقعیت Z مرکز سکوی متحرک در دستگاه مختصات عمومی
(X_C, Y_C, Z_C, a, b, c)	موضع (موقعیت و جهت) مرکز سکوی متحرک بالایی
$\delta\vec{\rho}$	بردار خطای پارامترهای سینماتیکی
$\delta(\Delta l)$	بردار خطای تغییر طو پایه
$\delta\vec{\mathrm{P}}$	بردار خطای موقعیت سکوی متحرک
σ	مقدار تکین
ε	تابع خطا

Δl	تغییر طول پایه
ρ	پارامترهای سینماتیکی واقعی
ρ_o	پارامترهای سینماتیکی تئوری (حدس اولیه)
ζ	خطا یا اختلاف بین طول تئوری و طول عملی پایه

فهرست شکل‌ها

عنوان صفحه

شکل ۱-۱: ماشین تست تایر اریک گوج [۱] ۳
شکل ۱-۲: سکوی اولیهٔ استوارت-سال ۱۹۶۵ [۱] ۳
شکل ۱-۳: سکوی استوارت-سال ۱۹۷۰ [۱] ۴
شکل ۱-۴: میز ماشین ابزار هگزاپاد ۵
شکل ۲-۱: زنجیرهٔ برداری پایهٔ iام ۱۷
شکل ۲-۲: روند انتشار خطای پارامترهای سینماتیکی در طول مسیر X_C ۳۴
شکل ۲-۳: روند انتشار خطای پارامترهای سینماتیکی در طول مسیر Y_C ۳۵
شکل ۲-۴: روند انتشار خطای پارامترهای سینماتیکی در طول مسیر z ۳۵
شکل ۲-۵: روند انتشار خطای پارامترهای سینماتیکی در طول مسیر زاویه ای a ۳۶
شکل ۲-۶: روند انتشار خطای پارامترهای سینماتیکی در طول مسیر زاویه ای b ۳۶
شکل ۲-۷: روند انتشار خطای پارامترهای سینماتیکی در طول مسیر زاویه ای c ۳۷
شکل ۲-۸: روند انتشار خطای پارامترهای سینماتیکی در طول مسیرهای X_C , Y_C بطور همزمان ۳۸
شکل ۲-۹: روند انتشار خطای پارامترهای سینماتیکی در طول مسیرهای زاویه ایa,b بطور همزمان ۳۹
شکل ۲-۱۰: روند انتشار خطای پارامترهای سینماتیکی در طول مسیرهای زاویه ایa,c بطور همزمان ۳۹
شکل ۲-۱۱: روند انتشار خطای پارامترهای سینماتیکی در طول مسیرهای زاویه ایb,c بطور همزمان ۳۹
شکل ۴-۱: ماکزیمم مشاهده پذیری پیکره های انتخابی با استفاده از معیار برم و منگ ۶۰
شکل ۴-۲: ماکزیمم مشاهده پذیری پیکره های اندازه گیری انتخابی با استفاده از معیار تقویت نویز ۶۴
شکل ۴-۳: هدف دوربین (اندازه ها به میلیمترند) ۶۹
شکل ۴-۴: هگزاپاد در موقعیت خانگی ۷۰
شکل ۴-۵: نمونهٔ عملی از نقطهٔ اندازه گیری شده ۷۲
شکل ۴-۶: محاسبهٔ زاویهٔ c ۷۷
شکل ۴-۷: نقطهٔ مرجع واقع روی خط محوری پایهٔ iام ۷۹
شکل ۴-۸: برازش کره بواسطهٔ چندین نقطهٔ اندازه گیری شده ۸۰
شکل ۴-۹: تصویری از کولیس استفاده شده ۸۳
شکل ۵-۱: الگوریتم کالیبراسیون یا مینیمم سازی (تشخیص پارامتر) ۸۹

شکل ۵-۲: خطای پارامترهای تشخیص داده شده در اثر انتخاب پیکره های اندازه گیری بکمک معیار برم و منگ ۹۶
شکل ۵-۳: خطای پارامترهای تشخیص داده شده در اثر انتخاب پیکره های اندازه گیری بکمک معیار تقویت نویز ۹۶
شکل ۵-۴: خطای پارامترهای تشخیص داده شده، قبل و بعد از کالیبراسیون (شبیه سازی) با استفاده از ۱۱ پیکرهٔ رندومی و انتخابی ۹۸
شکل ۶-۱: روش نصب کولیس ها روی پایه های هگزاپاد به کمک واسطه های S شکل ۱۰۳
شکل ۶-۲: هگزاپاد در موقعیت خانگی ۱۰۳
شکل ۶-۳: نتایج کالیبراسیون دوربین در راستای Z : الف) ارتفاع ۷۰۰ میلیمتری ب) ارتفاع ۹۰۰ میلیمتری ۱۰۴
شکل ۶-۴: کالیبراسیون دوربین توسط فیکسچر اندازه گیری ۱۰۵
شکل ۶-۵: چند نمونه از ۱۱ پیکرهٔ اندازه گیری شده ۱۰۵
شکل ۶-۶: نتایج عملی خطای موقعیت دهی و جهت دهی سکوی متحرک ۱۰۸
(a,b) قبل از کالیبراسیون (c,d) بعد از کالیبراسیون ۱۰۸
شکل ۶-۷: نتایج عملی خطای موقعیت دهی(الف و ج) و جهت دهی (ب و د) سکوی متحرک ۱۰۹

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۴-۱: مرز فضای کاری هگزاپاد ۵۳
جدول ۴-۲: ۶۴ پیکرهٔ انتخابی در مرز فضای کاری (ادامه در صفحهٔ بعد) ۵۳
جدول ۴-۳: ۶۴ پیکرهٔ عملی جایگزینی (ادامه در صفحهٔ بعد) ۵۶
جدول ۴-۴: مقادیر تکین برای مجموعه پیکره های موجود در شکل ۴-۱ (ادامه در صفحهٔ بعد) ۶۱
جدول ۴-۵: مقادیر تکین برای مجموعه پیکره های موجود در شکل ۴-۲ (ادامه در صفحهٔ بعد) ۶۴
جدول ۵-۱: مقادیر اسمی پارامترهای سینماتیکی میز ماشین ابزار هگزاپاد (واحدها همگی میلیمترند)[۳۸] ۹۴
جدول ۵-۲: مقادیر فرضی برای پارامترهای واقعی سینماتیکی میز ماشین ابزار هگزاپاد (واحدها همگی میلیمترند) ۹۵
جدول ۵-۳: خطای تشخیص پارامترهای سینماتیکی پس از کالیبراسیون (mm) (اعداد گرد شده اند). ۹۷
جدول ۵-۴: مقادیر خطای پارامترهای سینماتیکی قبل و بعد از کالیبرسیون (واحدها همگی به میلیمترند) ۹۹
جدول ۵-۵: مقادیر مربوط به خطای پیکره های موضع دهی شده بصورت شبیه سازی (حل سینماتیک مستقیم) ۱۰۰
جدول ۶-۱: یازده پیکرهٔ انتخابی برای انجام آزمایشات ۱۰۶
جدول ۶-۲: نتیجهٔ اندازه گیری موقعیت و جهت یازده پیکرهٔ انتخابی قبل از کالیبراسیون ۱۰۶
جدول ۶-۳: نتایج تشخیص پارامترهای سینماتیکی توسط آزمایشات تجربی (اندازه ها به میلیمترند). ۱۰۷
جدول ۶-۴: نتایج عملی موضع دهی هگزاپاد، قبل و بعد از کالیبراسیون ۱۰۹
جدول ۶-۵: مقادیر مربوط به خطای پیکره های موضع دهی شده بصورت شبیه سازی (حل سینماتیک مستقیم) ۱۱۰
جدول ۶-۶: مقایسهٔ نتایج آزمایشات تجربی با نتایج شبیه سازی ۱۱۱

نهاية مقلقة

فصل ۱ : مقدمه

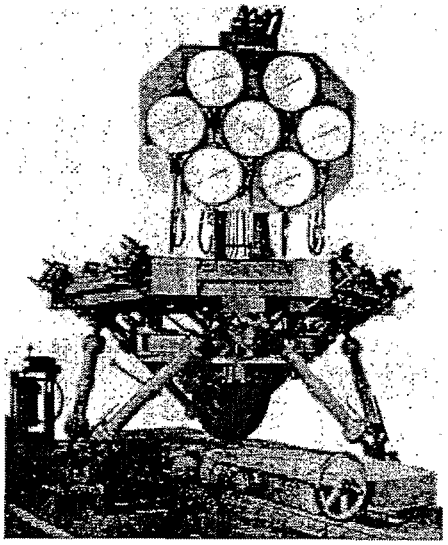
۱-۱- هدف

هدف از این تحقیق، بررسی عوامل بوجود آمدن خطای موضع دهی (موقعیت دهی و جهت دهی) در هگزاپاد و روش جبران این خطاها (کالیبراسیون) است. در نتیجهٔ این بررسی ها علت های مختلف بوجود آمدن خطا و همچنین نحوهٔ اثر گذاری آنها در موضع دهی سکوی متحرک میز ماشین ابزار هگزاپاد، مشخص می شود و راهکار لازم برای از بین بردن و یا جبران این خطاها بوسیلهٔ کالیبراسیون بیان می شود. برای نیل به این هدف، پارامترهای سینماتیکی واقعی هگزاپاد بدست می آیند.

۱-۲- تاریخچه

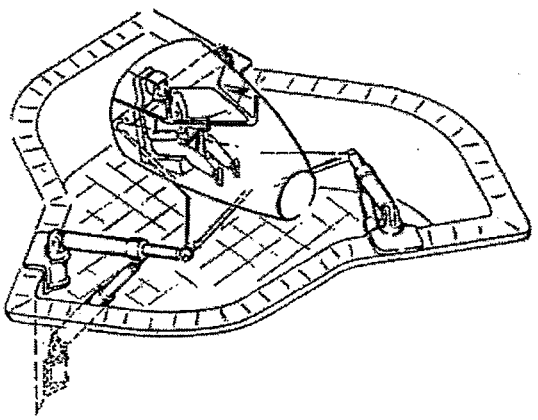
در سال ۱۹۴۷ اریک گوج[1]، سکویی با سینماتیک موازی برای ماشین تست تایر بکار برد (شکل ۱-۱). مکانیزم وی، صنعت را دگرگون کرد به نحوی که بیش از هزار بار تکرار و ساخته شد. مکانیزم وی هگزاپادی هشت وجهی با پایه هایی با طول قابل تغییر بود.

1. Eric Gough



شکل ۱-۱: ماشین تست تایر اریک گوج [۱]

در نهایت در سال ۱۹۶۵، استوارت[1] سکویی برای شبیه سازی هواپیما طراحی کرد که در شکل ۱-۲ و ۱-۳، این مکانیزم نشان داده شده است[۱].



شکل ۱-۲: سکوی اولیهٔ استوارت-سال ۱۹۶۵ [۱]

پس از آن، این مکانیزم برای منظورهای مختلفی از جمله در علم پزشکی، علم نجوم و ماشینکاری بکار گرفته شد. در دهه های اخیر، توجه محققین بیشتر به سمت بهبود دقت موضع دهی این مکانیزم توسط کالیبراسیون جلب شده است.

1. Stewart