٣٦٢٢٥

دانشگاه تربیت مدرس

دانشکده کشاورزی

پایان نامهٔ کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی

طراحی و ساخت قفل دیفرانسیل نیمه‌اتوماتیک برای تراکتور مسی‌فرگوسن ۲۸۵

۱۳۸۰/۳/۲۰

مرکز اطلاعات ... تربیت ...

داود مؤمنی آبخارکی

استاد راهنما:

دکتر برات قبادیان

اساتید مشاور:

دکتر عباس همت دکتر سعید مینایی

بهار ۱۳۸۰

۳۶۲۲۵

تائیدیهٔ اعضای هیئت داوران حاضر در جلسهٔ دفاع از پایان نامهٔ کارشناسی ارشد

اعضای هیئت داوران به شرح ذیل، نسخهٔ نهایی پایان نامهٔ آقـای **داود مؤمنـی آبخـارکی** تحت عنوان" **طراحی و ساخت قفل دیفرانسیل نیمه اتوماتیک برای تراکتور مسی فرگوسن ۲۸۵**" را از نظر فرم و محتوی بررسی نموده و پذیرش آن را برای تکمیل درجهٔ کارشناسی ارشد پیشـنهاد می کنند.

ردیف	نام و نام خانوادگی	سمت	امضاء
۱	دکتر برات قبادیان استادیار دانشگاه تربیت مدرس	استاد راهنما	
۲	دکتر عباس همت دانشیار دانشگاه صنعتی اصفهان	استاد مشاور	
۳	دکتر سعید مینایی استادیار دانشگاه تربیت مدرس	استاد مشاور	
٤	دکتر امیر خیاط استادیار دانشگاه صنعتی شریف	استاد ناظر	
٥	دکتر محمد هادی خوش تقاضا استادیار دانشگاه تربیت مدرس	استاد ناظر	
٦	دکتر یعقوب فتحی پور استادیار دانشگاه تربیت مدرس	نمایندهٔ تحصیلات تکمیلی	

013378

بسمه تعالی

آیین نامهٔ چاپ پایان نامه های دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس

نظر به اینکه چاپ و انتشار پایان نامه های تحصیلی دانشجویان دانشگاه تربیت مدرّس، مبیّن 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 می شوند:

مادهٔ ۱ : در صورت اقدام به چاپ پایان نامهٔ خود، مراتب را قبلاً بطور کتبی به " دفتر نشر آثار علمی" دانشگاه اطّلاع دهد.

مادهٔ ۲ : در صفحهٔ سوم کتاب (پس از برگ شناسنامه)، عبارت ذیل را چاپ کند:

" کتاب حاضر، حاصل پایان نامهٔ کارشناسی ارشد در رشتهٔ مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی است که در سال ۱۳۸۰ در دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه تربیت مدرّس به راهنمایی جناب آقای دکتر برات قبادیان و مشاورت آقایان دکتر عباس همت و دکتر سعید مینایی از آن دفاع شده است."

مادهٔ ۳ : به منظور جبران بخشی از هزینه های انتشارات دانشگاه، تعداد یک درصد شمارگان کتاب در هر نوبت چاپ را به " دفتر نشر آثار علمی" دانشگاه اهدا کند. دانشگاه می تواند مازاد نیاز خود را به نفع مرکز نشر در معرض فروش قرار دهد.

مادهٔ ٤ : در صورت عدم رعایت مادهٔ ۳ ، ۵۰٪ بهای شمارگان چاپ شده را به عنوان خسارت به دانشگاه تربیت مدرّس، تأدیه کند.

مادهٔ ۵ : دانشجو تعهد و قبول می کند در صورت خودداری از پرداخت بهای خسارت، دانشگاه می تواند خسارت مذکور را از طریق مراجع قضایی مطالبه و وصول کند. به علاوه به دانشگاه حق می دهد به منظور استیفای حقوق خود، از طریق دادگاه، معادل وجه مذکور در مادهٔ ٤ را از محل توقیف کتابهای عرضه شدهٔ نگارنده برای فروش، تأمین نماید.

مادهٔ ٦ : اینجانب ***داود مؤمنی آبخارکی*** دانشجوی رشتهٔ *مهندسی مکانیک ماشینهای کشاورزی* مقطع کارشناسی ارشد تعهد فوق و ضمانت اجرایی آن را قبول کرده، به آن ملتزم می شوم.

داود مؤمنی

بهار ۱۳۸۰

بسم الله الرحمن الرحیم

تقدیم به عاشقان سرزمین وحی

آنان که اقدامشان منوّر به نور مسجدالنّبی و مصفّا به صفای مسجدالحرام است.

تقدیم به ارزشمندترین نعمتهای هستی ام:

آنان که آسمان نیلی قلب پرمهرشان بی افق و دریای زلال محبتشان بی ساحل است.

پدرم : به پاس رنجها و فداکاریهایش، او که معنی تلاش را به من آموخت.

مادرم : چشمهٔ جوشان محبّت که با زمزمه ها و دعاهای عارفانه اش خوابهای کودکی ام را روشنی بخشید.

همسرم : بی ریاترین دوست و عزیزترین همدم.

خواهرانم : گلهای گلستان خانواده ام که همواره مشوّقم بوده اند.

خدایا به آنان عمر با عزّت و به من توفیق خدمت عطا فرما.

تشکر و قدردانی

خدای را حمد وسپاس که این توفیق را ارزانیم کرد تا عمری که سپری شد ، به مطالعه و همنشینی با بزرگان بگذرد که مسلماً این توفیق مقدور نبود مگر به لطف باریتعالی و مساعدت همهٔ عزیزانی که یک عمر مرهون الطافشان خواهم بود.

بر خود لازم می‌دانم که در این مجال به اختصار، اما خالصانه از تمام کسانی که نامشان را خواهم برد و تمام کسانی که نامشان در برگهٔ قدردانی وجودم نقش بسته است، قدردانی نمایم.

در ابتدا از اساتید بزرگوار خودم جناب آقای دکتر قبادیان و جناب آقای دکتر همت که در این مدت و در دوره لیسانس، هم از لحاظ علمی و هم اخلاقی معلم من بودند تشکر می‌کنم. همین طور از جناب آقای دکتر مینایی که مشاورهٔ پایان‌نامهٔ بنده را بصورت افتخاری پذیرفتند و در نگارش آن، کمال همکاری را با بنده انجام دادند تشکر می‌کنم. از آقای دکتر توکلی که در انجام کارهای اداری پایان‌نامه و مطالعهٔ آن همکاریهای لازم را انجام دادند قدردانی می‌کنم. از جناب آقای دکتر رضوی و مهندس اسماعیلی و کلیهٔ عزیزانی که در سولهٔ ماشینهای کشاورزی دانشگاه صنعتی اصفهان همراه بنده بودند تشکر و قدردانی می‌کنم. از دوستان خوبم مهندس کلینی و مهندس ملکی که در اجرای کارهای الکترونیکی و مزرعه‌ای نهایت همکاری را با بنده داشتند تشکر می‌کنم. از دوستان عزیزم آقایان منصوری و نائمی و از همهٔ دوستان خوبم در خوابگاه، که در طول انجام پایان نامه با من همکاری می‌کردند و از هر یک خاطره‌ای در ذهن دارم تشکر و قدردانی می‌کنم.

داود مؤمنی

فروردین ۱۳۸۰

چکیده:

یکی از سیستم‌هایی که برای افزایش راندمان کاری تراکتور طراحی و ساخته شده است سیستم قفل دیفرانسیل می‌باشد. این سیستم باعث یکسان شدن دور دو محور چرخ می‌گردد. در نتیجه در زمان رویارویی با شرایط زمین‌گیرایی غیریکنواخت در زیر لاستیکها بسیار مفید خواهد بود.

استفاده از این سیستم باعث بهبود زمین‌گیرایی، کاهش فرسایش لاستیکهای محرک، کاهش مصرف سوخت و افزایش میزان کار تراکتور خواهد شد. علیرغم این که استفاده از این سیستم مزایای زیادی را به همراه خواهد داشت، تاکنون برای بهینه سازی آن فعالیتی در داخل کشور صورت نگرفته است. از این‌رو طراحی و ساخت سیستم قفل دیفرانسیل نیمه‌اتوماتیک برای نصب روی تراکتور مسی‌فرگوسن۲۸۵ تولید داخل در این پایان نامه انجام شده است. در این تحقیق ابتدا مشخصات لازم و ضروری برای این سیستم از طریق اندازه‌گیری بدست آمد. سپس اجزاء مختلف سیستم طراحی و انتخاب گردیده، ساخت و مونتاژ آنها انجام شد. این سیستم بگونه‌ای طراحی شد که در هنگام رویارویی با شرایط بحرانی قفل دیفرانسیل را از درگیری خارج می‌کند.

شرایط بحرانی درگیری این سیستم، استفاده از ترمزهای مجزا، سرعتهای پیشروی بالا و چرخاندن غربالک فرمان می‌باشد.

به منظور اندازه‌گیری و تشخیص وضعیت‌های بحرانی از سه نوع حسگر القایی، کششی و جابجایی زاویه‌ای استفاده شد. ولتاژ کاری این حسگرها بر اساس ولتاژ باطری تراکتور می‌باشد و خروجی آنها به یک مدار تصمیم‌گیرنده فرستاده می‌شود و در آنجا تصمیم لازم مبنی بر ادامهٔ درگیری یا آزاد شدن آن گرفته می‌شود. به منظور ایجاد امکان برای تحقیقات بعدی، حسگرها بگونه‌ای ساخته و نصب شده‌اند که قابل تنظیم هستند. مدار تصمیم گیرنده نیز یک میکروکنترلر قابل برنامه‌ریزی است که برای این هدف خاص برنامه‌ریزی و نصب گردیده است و این حسن را دارد که می‌توان پارامترهای دیگری را برای کنترل به آن اضافه کرد و یا موارد موجود را تغییر داد.

در انتها، پس از طراحی و نصب سیستم روی تراکتور مسی‌فرگوسن ۲۸۵، عملکرد آن در عملیات خاکورزی با گاوآهن برگرداندار سوار سه‌خیشه در عرض کار ۱۱۰ سانتی‌متر و عمق کار ۲۵ سانتی‌متر بررسی شد. این آزمایشات اولیه که با دو تراکتور مجهز به این سیستم و فاقد آن انجام شد نشان دادند که در تراکتور فاقد سیستم طراحی شده، بعلت توزیع نامناسب وزن و شرایط زمین‌گیرایی غیریکسان زیر لاستیکها، لغزش دو چرخ حدود ۶ درصد اختلاف دارند که استفاده ازاین سیستم آن را بهبود بخشیده است. بعلاوه، بر اثر کاهش لغزش چرخها مصرف سوخت نیز حدود ۰/۵ لیتر در هکتار کاهش یافته است.

واژه‌های کلیدی: تراکتور مسی‌فرگوسن ۲۸۵، قفل دیفرانسیل نیمه‌اتوماتیک.

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه و هدف	**۳-۱**
۱-۱ مقدمه	**۱**
۱-۲ هدف تحقیق	**۲**
فصل دوم : پیشینهٔ پژوهش	**۵۱-۴**
۲-۱ دیفرانسیل	**۴**
۲-۲ اصول کار دیفرانسیل	**۵**
۲-۳ روابط حاکم در دیفرانسیل معمولی	**۷**
۲-۴ عیب موجود در دیفرانسیلهای معمولی	**۹**
۲-۴-۱ دیفرانسیل تنظیم کنندهٔ لغزش و روابط حاکم بر آن	**۱۰**
۲-۴-۲ دیفرانسیلهای قفل شونده و روابط حاکم بر آن	**۱۳**
۲-۵ اثرات قفل دیفرانسیل بر میزان کار تراکتور	**۱۴**
۲-۵-۱ عملکرد دیفرانسیلها در حالتهای مختلف ظرفیت زمین گیرایی	**۱۴**
۲-۵-۲ عملکرد دیفرانسیل در خوابیدگی‌های مختلف لاستیک	**۱۷**
۲-۵-۳ نتایج بدست آمده در مورد دیفرانسیل تنظیم کنندهٔ لغزش	**۱۷**
۲-۵-۴ مقایسهٔ سه نوع دیفرانسیل معمولی، قفل شونده و تنظیم کنندهٔ لغزش	**۱۸**
۲-۶ انواع قفل دیفرانسیل بکار برده شده در ماشینهای کشاورزی	**۱۹**
۲-۷ سیستم‌های اندازه‌گیری سرعت پیشروی	**۲۷**
۲-۷-۱ اندازه‌گیری سرعت چرخ با استفاده از انکودر	**۲۷**
۲-۷-۲ اندازه‌گیری سرعت پیشروی با استفاده از رادار داپلر	**۲۸**
۲-۷-۳ اندازه‌گیری سرعت دورانی توسط حسگرهای مغناطیسی	**۳۰**
۲-۷-۴ اندازه‌گیری سرعت دورانی توسط سیستم نوری	**۳۱**
۲-۷-۵ استفاده از مبدل مقاومت مغناطیسی	**۳۲**
۲-۷-۶ اندازه‌گیری سرعت با استفاده از تاکومتر	**۳۴**
۲-۷-۷ اندازه‌گیری سرعت با استفاده از حسگرهای القایی	**۳۴**
۲-۸ روشهای تشخیص وضعیت فرمان	**۳۷**

۲-۸-۱ استفاده از پتانسیومتر یا مقاومت متغیر حلقوی ۳۸
۲-۸-۲ استفاده از مقاومت متغیر خطی ۳۹
۲-۸-۳ استفاده از مبدلهای القایی ۳۹
۲-۸-۴ استفاده از مبدلهای خازنی ۴۰
۲-۸-۵ روشهای دیگر ۴۱
۲-۹ روشهای پردازش سیگنال دریافتی ۴۱
۲-۹-۱ استفاده از میکروکنترلر ۴۲
۲-۹-۲ استفاده از تقویت کننده‌های عملیاتی ۴۹
۲-۱۰ طراحی بوبین ۵۰

فصل سوم : مواد و روشها ۵۲-۷۰
۳-۱ بوبین ۵۲
۳-۱-۱ ساخت بوبین ۵۲
۳-۱-۲ طراحی و ساخت محور بوبین ۵۵
۳-۲ انتخاب پیچ‌های تکیه‌گاه ۵۶
۳-۳ حسگر سرعت ۵۸
۳-۴ حسگر وضعیت فرمان ۶۰
۳-۵ حسگر وضعیت ترمزها ۶۲
۳-۶ طراحی مدار ۶۳
۳-۶-۱ ایجاد سیگنالهای تحریک میکروکنترلر ۶۴
۳-۶-۲ مدار میکروکنترلر ۶۵
۳-۶-۳ نرم افزار میکروکنترلر ۶۷
۳-۷ اندازه‌گیری لغزش چرخها ۶۸
۳-۸ اندازه‌گیری میزان مصرف سوخت ۶۹

فصل چهارم : نتایج و بحث ۷۱-۷۸
۴-۱ نتایج طراحی و ساخت ۷۱
۴-۲ آزمایشات ۷۳

۴-۲-۱ آزمایش بوبین ۷۳
۴-۲-۲ آزمایش عملکرد سیستم ۷۴
۴-۲-۳ آزمایش در مزرعه ۷۶

فصل پنجم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۷۹-۸۱
۵-۱ نتیجه‌گیری ۷۹
۵-۲ پیشنهادات ۸۰

فهرست منابع ۸۲

پیوستها ۸۵-۹۹
پیوست ۱ : تراکتور ام-اف ۲۸۵ ۸۶
پیوست ۲ : مقادیر متوسط ضریب اصطکاک ۸۹
پیوست ۳ : ثابتهای فیزیکی مواد ۹۰
پیوست ۴ : خواص بعضی دی- الکتریها ۹۱
پیوست ۵ : خواص برخی مواد در دمای ۲۱/۱ °c ۹۲
پیوست ۶ : نرم افزار نوشته شده بر روی میکروکنترلر ۸۰۵۱ ۹۳
پیوست ۷ : اندازه‌های واقعی پوستهٔ بوبین ۹۵

فهرست شکلها

شکل ۲-۱ : لزوم استفاده از دیفرانسیل ۵

شکل ۲-۲ : ساختمان یک دیفرانسیل معمولی ۶

شکل ۲-۳ : اصول کار دیفرانسیل ۷

شکل ۲-۴ : تصویر شماتیک دیفرانسیل معمولی و قفل شونده ۸

شکل ۲-۵ : تصویر شماتیک دیفرانسیل تنظیم کنندهٔ لغزش ۱۰

شکل ۲-۶ : دیفرانسیل تنظیم کنندهٔ لغزش از نوع کلاچ صفحه‌ای ۱۲

شکل ۲-۷ : دیفرانسیل تنظیم کنندهٔ لغزش از نوع کلاچ مخروطی ۱۳

شکل ۲-۸ : رابطهٔ توزیع بار روی چرخهای عقب بر سرعت پیشروی با لاستیک صلب ۱۵

شکل ۲-۹ : رابطهٔ توزیع بار روی چرخهای عقب بر سرعت پیشروی با لاستیک انعطاف‌پذیر ۱۵

شکل ۲-۱۰ : درصد لغزش چرخهای سمت راست و چپ در دیفرانسیل قفل‌شونده ۱۶

شکل ۲-۱۱ : درصد لغزش چرخهای سمت راست و چپ در دیفرانسیل معمولی ۱۶

شکل ۲-۱۲ : عملکرد دیفرانسیل در خوابیدگی‌های مختلف لاستیک ۱۷

شکل ۲-۱۳ : مقایسهٔ سه نوع دیفرانسیل معمولی،قفل‌شونده و کنترل‌کنندهٔ لغزش ۱۸

شکل ۲-۱۴ : قفل دیفرانسیل مکانیکی از نوع اتصال مستقیم محورها ۲۰

شکل ۲-۱۵ : قفل دیفرانسیل مکانیکی از نوع اتصال غیرمستقیم محورها ۲۱

شکل ۲-۱۶ : قفل دیفرانسیل هیدرولیکی ۲۱

شکل ۲-۱۷ : شکل شماتیک مدل کنترل‌کنندهٔ دیفرانسیل نیچ ۲۳

شکل ۲-۱۸ : شکل شماتیک سیستم کنترل‌کنندهٔ شارپ ۲۴

شکل ۲-۱۹ : شکل شماتیک قفل دیفرانسیل هاتوری ۲۵

شکل ۲-۲۰ : قسمت‌های بکار برده شده در سیستم قفل دیفرانسیل هاتوری ۲۶

شکل ۲-۲۱ : استفاده از دو رادار داپلر در لغزش سنج ۲۸

شکل ۲-۲۲ : اصول کار رادار داپلر ۲۹

شکل ۲-۲۳ : اندازه‌گیری سرعت دورانی با استفاده از حسگرهای مغناطیسی ۳۱

شکل ۲-۲۴ : اندازه‌گیری سرعت دورانی با استفاده از سیستم نوری ۳۲

شکل۲-۲۵ : مبدل مقاومت مغناطیسی ۳۲

شکل ۲-۲۶ : استفاده از مبدل مقاومت نغناطیسی ۳۳

شکل ۲-۲۷ : شکل شماتیک سوئیچ القایی ۳۵

شکل ۲-۲۸ : ساختمان سوئیچ القایی ۳۵

شکل ۲-۲۹ : سوئیچ القایی دو سیمهٔ DC ۳۶

شکل ۲-۳۰ : سوئیچ القایی سه سیمهٔ DC ۳۶

شکل ۲-۳۱ : سوئیچ القایی چهارسیمهٔ DC ۳۶

شکل ۲-۳۲ : شکل شماتیک پتانسیومتر حلقوی ۳۸

شکل ۲-۳۳ : شکل شماتیک مقاومت متغیر خطی ۳۹

شکل ۲-۳۴ : شکل شماتیک مبدل القایی ۳۹

شکل ۲-۳۵ : شکل شماتیک مبدل خازنی ۴۰

شکل ۲-۳۶ : نمودار بلوکی میکروکنترلر ۸۰۵۱ ۴۴

شکل ۲-۳۷ : پایه‌های میکروکنترلر ۸۰۵۱ ۴۵

شکل ۲-۳۸ : راه‌اندازی ۸۰۵۱ با استفاده از نوسان ساز TTL ۴۸

شکل ۲-۳۹ : چند نوع تقویت کنندهٔ عملیاتی ۴۹

شکل ۳-۱ : نمودار نیروهای وارده بر محور بوبین ۵۵

شکل ۳-۲ : نمودار گشتاور خمشی وارد بر محور بوبین ۵۵

شکل ۳-۳ : نیروهای وارد بر پوستهٔ بوبین ۵۷

شکل ۳-۴ : مرکز جرم گروه پیچها ۵۸

شکل ۳-۵ : سوئیچ القایی سه سیمه ۵۹

شکل ۳-۶ : چگونگی نصب سوئیچ القایی ۶۰

شکل ۳-۷ : میکروسوئیچ وضعیت فرمان ۶۱

شکل ۳-۸ : شکل شماتیک حسگر وضعیت فرمان ۶۱

شکل ۳-۹ : سیستم تعیین وضعیت فرمان ۶۲

شکل ۳-۱۰ : حسگر تشخیص وضعیت ترمزها ۶۳

شکل ۳-۱۱ : مدار تحریک میکروکنترلر توسط سیگنالهای سرعت ۶۴

شکل ۳-۱۲ : مدار تحریک میکروکنترلر توسط سیگنالهای ترمز ۶۵

شکل ۳-۱۳ : مدار ساعت و راه‌انداز میکروکنترلر ۶۶

شکل ۳-۱۴ : مدار تحریک رله ۶۷

شکل ۳-۱۵ : شکل شماتیک سیستم اندازه‌گیر سوخت مصرفی ۶۹
شکل ۳-۱۶ : سیستم اندازه‌گیر سوخت ۷۰
شکل ۴-۱ : لغزش چرخها در تراکتور فاقد سیستم قفل دیفرانسیل نیمه‌اتوماتیک ۷۶
شکل ۴-۲ : لغزش چرخها در تراکتور مجهز به سیستم قفل دیفرانسیل‌نیمه‌اتوماتیک ۷۷
شکل ۴-۳ : لغزش چرخهای چپ در دو تراکتور فاقد و مجهز به سیستم قفل دیفرانسیل نیمه اتوماتیک ۷۷
شکل ۴-۴ : لغزش چرخهای راست در دو تراکتور فاقد و مجهز به سیستم قفل دیفرانسیل نیمه اتوماتیک ۷۸
شکل ۴-۵ : مقدار مصرف سوخت در دو تراکتور فاقد و مجهز به سیستم قفل دیفرانسیل نیمه‌اتوماتیک ۷۸

فهرست جداول

جدول ۲-۱ : ضرایب تصحیح فاصلهٔ سوئیچینگ	۳۷
جدول ۲-۲ : عملکرد خاص پایه‌های میکروکنترلر	۴۶
جدول ۴-۱ : وضعیت بوبین از لحاظ شدت جریان عبوری	۷۳
جدول ۴-۲ : وضعیت تراکتور در هنگام رویارویی با شرایط بحرانی	۷۵

فهرست نمادها

ردیف	علامت اختصاری	شرح نماد	واحد
۱	A	سطح مقطع هادی	cm^2
۲	A_b	مساحت سطح مقطع سیم پیچ بوبین	cm^2
۳	A_I	سطح مقطع فاصلهٔ هوایی در مبدل القایی	cm^2
۴	β	زاویهٔ محور آنتن	rad
۵	C	ظرفیت خازن	$\mu\mu F$
۶	c	ظرفیت گرمایی ویژه	$J/Kg°C$
۷	d	قطر	m
۸	d_c	فاصلهٔ هوایی دو صفحهٔ خازن	cm
۹	d_I	فاصلهٔ هوایی در مبدل القایی	cm
۱۰	E	ضریب الاستیسیته	N/m^2
۱۱	$\in$	ثابت دی‌الکتریک	-
۱۲	F	نیرو	N
۱۳	F_B	نیروی ناشی از گشتاور خمشی	N
۱۴	f_{cr}	بسامد بحرانی	Hz
۱۵	f_d	بسامد داپلر	Hz
۱۶	f_r	نیروی برشی	N
۱۷	G	بار دینامیکی روی چرخ	N
۱۸	I	لنگر دوم سطح	m^4
۱۹	i_c	ضریب انتقال دیفرانسیل تنظیم کنندهٔ لغزش	-
۲۰	i_d	ضریب انتقال بین محور ورودی و خروجی	-
۲۱	I_0	شدت جریان	A
۲۲	L	طول هادی	cm
۲۳	L_b	طول محور بوبین	m
۲۴	L_I	ضریب القایی	H