بسم الله الرحمن الرحیم

پروژه کارشناسی ارشد

طراحی و ساخت کالیبراتور ولتاژ وجریان

Voltage & Current Calibrator Design & Manufacture

سیدمحمود شریفی

استاد راهنما : دکتر ازهری

خرداد ۱۳۸۱

۴۷۷۴۱

۱۳۸۲ / ۵۲ / ۳۴

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

طراحی و ساخت کالیبراتور ولتاژ وجریان

Voltage & Current Calibrator Design & Manufacture

سیدمحمود شریفی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی برق – الکترونیک

استاد راهنما : دکتر سید جواد ازهری

خرداد ۱۳۸۱

۴۷۷۴۱

تقدیم به:

همسر وفرزند گرامیم

شاید جبران کمی از کاستی هائی باشد که دلمشغولی

پرداختن به این اثر

برای آن دو عزیز ایجاد کرده است .

چکیده:

یک کالیبراتور ولتاژ-جریان DC و AC که میتواند مولتی مترهای تا $4\frac{1}{2}$ رقمی را تنظیم نماید طراحی و ساخته شده است . ولتاژ مرجع کالیبراتور توسط یک مدار مجتمع ولتاژ دقیق تامین میشود. ولتاژ و جریان دقیق برای مقادیر ۰ تا ۱۰ ولت توسط D/A بیست بیتی که بصورت مجزا طراحی و ساخته شده است، با تفکیک پذیری ۱۰ میکروولت تولید میشود . عدم قطعیت ولتاژ DC برای یکدوره کالیبراسیون ۶ ماهه ۵۰ ppm محاسبه شده است .

ولتاژ AC دقیق با تکنیک ساخت مستقیم دیجیتالی (DDS) با کمک یک D/A ۱۶ بیتی بسیار سریع که دارای جهش(glitch) بسیار کم است به روش صفحه بندی(paging) ساخته شده است. فرکانس مرجع توسط یک حلقه قفل فاز(PLL) از یک فرکانس بسیار دقیق MHz ۱۰ (کریستال کوارتز با جبران دمائی) در مقادیر از پیش تعیین شده ایجاد میشود. دامنه خروجی ۱۰ ولت AC، با شکل موجهای مربعی، مثلثی و سینوسی و با فرکانسهای از ۱mHz تا KHz ۱۰ از این مدار تولید و جهت تنظیم دامنه بین صفر تا ۱۰ ولت به D/A بیست بیتی وارد میگردد. عدم قطعیت ولتاژ AC خروجی برای یک دوره کالیبراسیون ۶ ماهه ،کمتر از ppm ۳۰۰ محاسبه شده است.

برای تقویت ولتاژ خروجی، یک تقویت کننده ولتاژ که دارای اعوجاج بسیار کم و آفست mV ۲ است، دامنه خروجی را به ۱۰۰ ± ولت در هر دو حالت AC و DC میرساند. برای تقویت جریان از یک بافر جریان که جریان خروجی صفر تا ۱ آمپر را از مقاومت بار عبور میدهد استفاده شده است.

یک سیستم میکروکنترلری که دارای صفحه کلید و نمایشگر است ، عملکرد دستگاه را کنترل نموده و جهت کاهش تداخل بوسیله اپتوکوپلر از قسمت آنالوگ با یک ارتباط سریال ایزوله شده است.

تقدیر و تشکر

ازحسن نظر و دقت و توجه استاد گرامی
جناب آقای دکتر سید جواد ازهری که
موجب پربار شدن این اثر گردید،
قدردانی وتشکر مینمایم.

تقدیر و تشکر

از همکاری گروه صنایع یا مهدی (عج) خصوصاً مرکز تضمین کیفیت و عملیات میدانی در اجرای این پروژه قدردانی می‌شود.

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تهیه مدارک

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
چکیده	۲
مقدمه	۳
فصل اول: اصول اندازه‌گیری و کالیبراسیون	۱۰
مقدمه	۱۱
۱-۱-آحاد اندازه‌گیری	۱۱
۱-۲-انواع استاندارد	۱۵
۱-۳-خطا و عدم قطعیت در یک سیستم اندازه‌گیری	۱۹
۱-۴- قابلیت ردیابی و کالیبراسیون	۲۱
۱-۵- ویژگیهای عمومی دستگاههای اندازه‌گیری	۲۲
فصل دوم: دستگاههای کالیبراتور ولتاژ و جریان	۲۵
مقدمه	۲۶
۲-۱- دستگاه کالیبراتور CL8300 شرکت omega	۲۸
۲-۲- دستگاه کالیبراتور 9823 شرکت Time electronic	۲۹
۲-۳- دستگاه کالیبراتور 9100 شرکت Wavetek	۳۱
۲-۴- دستگاه کالیبراتور 4800 و 4808 شرکت Wavetek	۳۶
فصل سوم: اصول مبدلهای رقمی به قیاسی	۳۹
مقدمه	۴۰
۳-۱- انواع مبدلهای رقمی به قیاسی	۴۰
۳-۲- مشخصات و ویژگیهای مبدلهای رقمی به قیاسی	۴۴
۳-۳- مدارات مبدلهای رقمی به قیاسی	۴۸
۳-۴- مبدلهای با تفکیک پذیری بالا	۵۱
فصل چهارم: روش ساخت مستقیم دیجیتالی	۵۳
۴-۱- روشهای ساخت فرکانس	۵۴
۴-۲- روش ساخت مستقیم دیجیتالی ساده	۵۵
۴-۳- روش ساخت مستقیم دیجیتالی با استفاده از صفحه بندی	۵۶
۴-۴- روش ساخت مستقیم دیجیتالی با تفکیک پذیری زیاد فرکانس	۵۷
فصل پنجم: طراحی سیستمی کالیبراتور ولتاژ و جریان	۶۱

مقدمه ۶۲
۵-۱- طراحی سیستمی کالیبراتور ولتاژ و جریان ۶۳
۵-۲- بررسی دقت مرجع ولتاژ DC ۶۴
۵-۳- بررسی دقت مدار D/A ۶۵
۵-۴- بررسی دقت تولید ولتاژهای AC ۶۶

فصل ششم: طراحی کالیبراتور ولتاژ و جریان ۶۹
مقدمه ۷۰
۶-۱- طراحی برد ولتاژ مرجع ۷۰
۶-۲- طراحی مدار D/A بیست بیتی ۷۲
۶-۳- طراحی مولد موج AC دقیق به روش DDS ۷۸
۶-۴- طراحی مدار مولد پالس ساعت دقیق ۸۲
۶-۵- طراحی تقویت کننده ولتاژ ۸۵
۶-۶- طراحی تقویت کننده جریان ۹۱
۶-۷- سیستم میکروکنترلر ۹۴
۶-۸- نرم افزار سیستم میکروکنترلر ۹۸

فصل هفتم: نتایج پروژه ۱۰۲
۷-۱- نتایج پروژه و مشخصات دستگاه کالیبراتور ۱۰۳
۷-۲- پیشنهادات برای بهبود سیستم و کارهای آینده ۱۰۵
مراجع ۱۰۹
ضمائم ۱۱۲
نقشه ها ۱۱۳
لیست نرم افزار ۱۲۶
دستورالعمل کالیبراسیون ۱۴۰
برگه های داده ۱۴۳
برگه داده AD707 ۱۴۴
برگه داده AD768 ۱۵۲
برگه داده OP177 ۱۷۱
برگه داده OP27 ۱۸۲
برگه داده AD588 ۱۹۴
برگه داده MC145151 ۲۰۶

فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱:آحاد اصلی سیستمSI	۱۱
جدول ۲-۱:آحاد تکمیلی سیستم SI	۱۲
جدول ۳-۱: تعاریف آحاد اصلی در سیستم SI	۱۲
جدول ۴-۱: آحاد مشتق شده در سیستم SI	۱۴
جدول ۱-۲: مشخصات دستگاه کالیبراتور CL8300	۲۹
جدول ۲-۲: مشخصات کالیبراتور ۹۸۲۳	۳۰
جدول ۳-۲: مشخصات دستگاه کالیبراتور ۹۱۰۰	۳۳
جدول ۴-۲: مشخصات دستگاه کالیبراتور ۹۱۰۰	۳۴
جدول ۵-۲: مشخصات دستگاه کالیبراتور ۹۱۰۰	۳۵
جدول ۶-۲ : مشخصات دستگاه کالیبراتور ۴۸۰۸	۳۷

فهرست اشکال

عنوان	صفحه
شکل ۱-۲: کالیبراتور CL8300	۲۸
شکل ۲-۲: کالیبراتور 9823	۲۹
شکل ۳-۲: کالیبراتور ۹۱۰۰	۳۱
شکل ۴-۲: کالیبراتور ۴۸۰۰	۳۶
شکل ۱-۳: رابطه کدها و خروجیهای ولتاژ در مبدلهای رقمی به قیاسی	۴۲
شکل ۲-۳: ایمپالس جهش وزمان قرار در خروجی مبدل رقمی به قیاسی	۴۴
شکل ۳-۳: انواع جهش درخروجی مبدل رقمی به قیاسی در تولید موج	۴۵
شکل ۴-۳: ناخطینگی جمعی و تفاضلی در خروجی مبدل رقمی به قیاسی	۴۶
شکل ۵-۳: یکنوائی و ناخطینگی تفاضلی در خروجی مبدل رقمی به قیاسی	۴۶
شکل ۶-۳: تغییر آفست خروجی وبهره مبدل و ولتاژ مرجع با دما	۴۷
شکل ۷-۳ : مدار D/A با شبکه R-2R در حالت کلید زنی جریانی	۴۹
شکل ۸-۳: مدار D/A با شبکه R-2R در حالت کلید زنی ولتاژی	۵۰
شکل ۱-۴: سازنده فرکانس بروش مخلوط کردن اسیلاتورهای مختلف	۵۵
شکل ۲-۴: سازنده فرکانس بروش حلقه قفل فاز	۵۵
شکل ۳-۴: سازنده فرکانس بروش ساخت مستقیم دیجیتالی	۵۶
شکل ۴-۴: سازنده فرکانس بروش ساخت مستقیم دیجیتالی با تفکیک پذیری زیاد	۵۸
شکل ۵-۴: مشخصه طیفی خروجی یک DDS با فرکانسهای اضافه شده	۵۹
شکل ۱-۵ : دیاگرام بلوکی کالیبراتور	۶۴
شکل ۱-۶ : مدار مجتمع AD588	۷۱
شکل ۲-۶ : مدار طراحی شده ولتاژ مرجع	۷۲
شکل ۳-۶ : شبکه R-2R	۷۳
شکل ۴-۶ : تقویت کننده ولتاژ و جریان خروجی و تضعیف کننده مقاومتی	۷۵
شکل ۵-۶ : نحوه انتقال داده ها به بافر 74LS573 بصورت سریال	۷۷
شکل ۶-۶ : مدار شمارنده سنکرون ۱۳ بیتی	۷۹
شکل ۷-۶ : مدارتقویت کننده خروجی ومرجع ولتاژ مدار مجتمع AD768	۸۱
شکل ۸-۶ : مدار حلقه قفل فاز	۸۴
شکل ۹-۶ : منحنی نمایش خروجی با سیگنال مربعی	۸۷

شکل ۱۰-۶ : پاسخ AC مدار برحسب فرکانس ۸۸
شکل ۱۱-۶ : مدار تقویت کننده ولتاژ ۸۹
شکل ۱۲-۶ : مدار رگولاتور ولتاژ تغذیه تقویت کننده ولتاژ ۹۱
شکل ۱۳-۶ : مدار تقویت کننده جریان ۹۳
شکل ۱۴-۶ : منحنی نمایش خروجی با سیگنال ورودی مربعی ۹۴
شکل ۱۵-۶ : پاسخ AC مدار برحسب فرکانس ۹۴
شکل ۱۶-۶ : صفحه کلید و اتصالات آن ۹۷
شکل ۱۷-۶ : نقشه صفحه نمایش ۹۸

مقدمه:

دستگاههای کالیبراسیون همه منظوره[1] (چند کاره) از حدود دو دهه قبل به تدریج در بازار دستگاههای الکترونیک مطرح شدند. توسعه تکنولوژی میکروپروسسور این امکان را فراهم ساخت تا دستگاههای کالیبراتور از فرم دستی و سلکتوری به فرم پیشرفته قابل برنامه‌ریزی تبدیل شوند. سازنده اصلی دستگاههای کالیبراتور در دنیا کمپانی Fluke آمریکا است. این کمپانی با داشتن تجربه بیش از چهار دهه طراحی و ساخت دستگاههای کالیبراتور عمده بازار این محصولات را در اختیار دارد. خاص بودن کاربرد این دستگاهها و تکنولوژیهائی که عمدتاً بصورت هنر سیاه[2] در حوزه طراحی و ساخت این دستگاهها وجود دارد و وجود ظرافت بسیار بالا و هنرمندی خاصی که جز با تجربه طولانی و بر مبنای پایه‌های عمیق علمی میسر نیست، باعث شده است که این دستگاهها بصورت گسترده توسط تولید کنندگان دستگاههای اندازه‌گیری ساخته نشود.

کمپانی‌های زیادی در عرصه دستگاههای اندازه‌گیری و آزمایشگاهی الکترونیکی پیشتاز هستند. اما اینکه تنها Fluke بعنوان تولید کننده اصلی کالیبراتورهای الکترونیکی مطرح است قابل تأمل می‌باشد.

در اواخر دهه ۸۰ و اوایل دهه ۹۰ کمپانی Datron که بعداً به Wavetek تغییر نام داد وارد بازار دستگاههای کالیبراسیون شد و انصافاً دستگاههای کالیبراتور بسیار خوبی طراحی نمود. از آن جمله می‌توان دستگاه کالیبراتور چندکاره سری 4800 و سیستم کالیبراسیون همه منظوره ۹۱۰۰ را نام برد.در اواخر دهه ۹۰ این کمپانی بطور کامل توسط کمپانی Fluke خریداری شد و کلیه محصولات آن هم اکنون تحت نام Fluke عرضه میگردد.

---

[1] Multifiunction Calibration System

[2] Black Art

دستگاههای کالیبراتور ساده‌تر هم اکنون در دنیا در کمپانی‌های دیگری مانند Time Electronic انگلستان و Krohn-Hite آمریکا ساخته میشوند که از نظر عملکرد و سطح کیفیت در رتبه پائین تری قرار دارند. با توجه به این مقدمه که انحصاری بودن این صنعت را از طرفی و زیربنایی بودن و اهمیت آنرا برای اثبات و توسعه همه علوم تجربی و مبتنی بر مشاهده دقیق و مورد اعتماد از طرف دیگر نشان میدهد ، تحقیق در این زمینه و دستیابی به فناوری یادشده بخصوص برای این کشور که از خلأ فاحشی در این زمینه رنج میبرد حیاتی به نظر میرسد.

این پروژه با هدف ساخت دستگاهی که بتواند قابلیت‌های یک دستگاه کالیبراتور همه منظوره را برآورده سازد ، تعریف و طراحی شده است. عمده ویژگیهای یک کالیبراتور همه منظوره ایجاد ولتاژ و جریان‌های دقیق AC و DC است. در آزمایشگاههای الکترونیک معمولاً دستگاههای اندازه‌گیری مختلفی مانند اسیلوسکوپ، شمارنده زمان و فرکانس و مولتی متر بکار میروند.در آزمایشگاههائی که با پدیده‌های گذرا سر و کار دارند معمولاً دستگاههای ثبات حالت گذرا مانند Storage-oscope، transient-recorder، chart-recorder و غیره کاربرد دارند.ویژگی کلیه این دستگاهها ثبت سیگنال ولتاژ نسبت به زمان است.

کلیه دستگاههای ذکر شده میتوانند توسط یک کالیبراتور چند منظوره که ولتاژ DC، جریان DC و ولتاژ AC و جریان AC را با دامنه و فرکانس دقیقی تولید می‌کند مورد کالیبراسیون و تست واقع شوند.

در این پروژه میخواهیم کالیبراتور ولتاژ و جریانی را طراحی کرده و بسازیم که بتواند ولتاژهای DC و AC را تا حداکثر دامنه ۱۰۰ ولت و حداکثر فرکانس ۱۰KHz تولید کند. برای برخی از کاربردها مانند رکوردرهای ثبت دما در طول روز، فرکانس‌های بسیار پائین می‌تواند کاربرد داشته باشد. در این پروژه فرکانسهای کمی تا ۰/۱ mHz نیز توسط مولد AC تولید می‌شود. دامنه جریان باید حداکثر ۱ آمپر برای فرکانسهای DC تا ۱kHz باشد.

دستگاه کالیبراتور ساخته شده باید بتواند از نظر دقت مولتی مترهای $3\frac{1}{2}$ رقمی و $4\frac{1}{2}$ رقمی را کالیبره نماید. مفهوم این مسئله اینست که خطای دستگاه در تولید ولتاژ DC از ۵۰ppm در بدترین شرایط عملکرد تجاوز نکند، بعبارت دیگر عدم قطعیت پایه دستگاه در یک دوره کالیبراسیون حداکثر باید ۵۰ppm باشد.

از نظر مشخصه ولتاژ AC برای دستگاههای $4\frac{1}{2}$ رقمی عدم قطعیت ۰/۰۵٪ (۵۰۰ ppm) کافیست. ایجاد شکل موج AC دقیق معمولاً دشواریهای زیادی دارد.اخیرا بدلیل پیشرفت تکنولوژی دیجیتال ، افزایش سرعت مدارات مجتمع ، همچنین بهبود عملکرد مدارات D/A ، استفاده از تکنیک ساخت مستقیم دیجیتالی (DDS [3]) در کاربردهای زیادی رایج شده است.

با استفاده از یک پالس ساعت دقیق که توسط اسیلاتور دقیق کریستالی (که نسبت به دما جبران شده است) ساخته میشود، میتوان از دقت مبنای زمانی جهت تولید فرکانس خروجی مطمئن بود. برای ایجاد شکل موجهای دقیق ، لازم است دامنه نیز کاملاًدقیق بوده و برای این منظور از D/A با ضریب تفکیک بالا[4] استفاده شده است. کیفیت عملکرد D/A نه تنها در ضریب تفکیک و دقت دامنه خروجی، بلکه از نظر مشخصات دینامیکی مانند سرعت پاسخ (زمان قرار) و نداشتن جهش[5] روی خروجی نیز مد نظر بوده است. یکی از نوآوری‌های قابل توجه در این پروژه طراحی مدار DDS با حداکثر سرعت و کیفیت وثبات دامنه ودقت فرکانس جهت تولید سیگنالهای AC بصورت سینوسی، مربعی و مثلثی بوده است.

انتخاب ولتاژ مرجع DC این دستگاه کالیبراتور از میان تعداد زیادی ولتاژ مرجع که تهیه آنها امکانپذیر بوده است، صورت گرفته است. پارامترهای اصلی مد نظر، پایداری درازمدت و ضریب حرارتی کم مرجع ولتاژ بوده است. در عین حال مراجع ولتاژ گران قیمت دیگری را میتوان بدون تغییر عمده

[3] Direct Digital synthesizer

[4] High resolution D/A

در سیستم پروژه جایگزین این مرجع ولتاژ نمود. از جمله آنها مرجع ولتاژ LTZ1000A، مرجع ولتاژ بسیار مطلوبی است که بعلت قیمت گران و عدم دسترسی تا کنون مورد استفاده قرار نگرفته است.

برای ایجاد ولتاژهای بسیار دقیق DC از یک D/A بیست بیتی که با قطعات الکترونیکی مجزا بسته شده ، استفاده شده است. نکات ویژه‌ای که در طراحی و ساخت این برد مطرح بوده است یکی از فرازهای اصلی و مهم این پروژه محسوب می‌شود. این برد بیشترین دقت را در مجموعه بردهای این پروژه دارد و برای طراحی و ساخت آن زمان قابل توجهی صرف شده است.

در ساخت این برد از قطعات مقاومتی بسیار دقیق که دارای مشخصه حرارتی اندازه گیری شده بودند استفاده شده است. تمامی قطعات روی این برد از کیفیت بالا برخوردار بوده و از نظر مشخصات بهترین نوع در دسترس بوده‌اند. معمولاً دقت DC در یک دستگاه کالیبراتور مبنای کلیه دقت‌های آن است و این برد دقت و تفکیک پذیری سطح بالائی که برای یک کالیبراتور همه منظوره مورد نیاز است ، داراست. تست‌های انجام شده صحت و دقت عملکرد آن را به خوبی تأئید کرده است.

برای تضعیف برنامه‌ریزی شده سیگنال AC میتوانیم از همین برد استفاده کنیم. کافیست بجای ورودی ولتاژ مرجع ، خروجی مدار مولد سیگنال AC را به این برد وارد کنیم. مشخصه مقاومتهای بسیار دقیق سیمی استفاد شده در این برد کمی سلفی است که تا حدود ۱۰۰ kHz اساساً نشان داده نمیشود و تأثیری ندارد. ضمناً این مقدار خاصیت سلفی کم در نسبت مقاومتها که مشخص کننده بهره مدار است ظاهر نمیگردد.بعبارت دیگر مشخصه بهره مدار لااقل تا فرکانس۱۰kHz مستقل از فرکانس است ،ولی بدلیل محدودیت نرخ چرخش در تقویت کننده های عملیاتی بسیار دقیق برای حداکثر دامنه خروجی سینوسی ، بیشترین فرکانس ۳ kHz خواهد بود.

جهت تولید فرکانسهای دقیقی که مضربی از طول صفحه حافظه باشد. (هر صفحه حافظه ۸۱۹۲ کلمه درنظر گرفته شده است)، از فرکانس دقیق ۱۰MHz اسیلاتور کریستالی مرجع فرکانس،

[5] Glitch