۱. عنوان پروژه

طراحی و ساخت سامانه اندازه‌گیری امپدانس الکتریکی بافت بدن و ارائه یک نمونه کاربردی آزمایشگاهی

۲. معرفی پروژه

امپدانس الکتریکی بافت بدن یکی از شاخص‌های مهم در بررسی ویژگی‌های فیزیولوژیکی و ترکیب بدن است. با عبور جریان الکتریکی بسیار ضعیف و ایمن از بافت و اندازه‌گیری پاسخ ولتاژی، می‌توان مقدار امپدانس بافت را محاسبه کرد. این روش در کاربردهایی مانند بررسی ترکیب بدن، تخمین میزان آب بدن، پایش تغییرات بافتی، ارزیابی وضعیت عضله، تشخیص تغییرات زیستی و کاربردهای تحقیقاتی پزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

هدف این پروژه، طراحی و ساخت یک نمونه کاربردی از دستگاه اندازه‌گیری امپدانس بافت بدن است که بتواند به‌صورت ایمن، دقیق و قابل تکرار، مقدار امپدانس یک ناحیه مشخص از بدن یا نمونه بافت شبیه‌سازی‌شده را اندازه‌گیری و نمایش دهد.

۳. ضرورت و اهمیت پروژه

اندازه‌گیری امپدانس زیستی یا **Bioelectrical Impedance Measurement** یکی از روش‌های کم‌هزینه، غیرتهاجمی و نسبتاً ساده برای تحلیل ویژگی‌های بافت بدن است. طراحی چنین سامانه‌ای از نظر آموزشی و پژوهشی اهمیت بالایی دارد، زیرا حوزه‌های مختلفی مانند الکترونیک پزشکی، طراحی مدار آنالوگ، پردازش سیگنال، ایمنی الکتریکی، کالیبراسیون، طراحی سیستم نهفته و تحلیل داده‌های زیستی را در بر می گیرد.

۴. اهداف پروژه

۴,۱ هدف اصلی

طراحی، پیاده‌سازی و ارزیابی یک سامانه کاربردی برای اندازه‌گیری امپدانس الکتریکی بافت بدن با رعایت اصول ایمنی و دقت قابل قبول آزمایشگاهی.

۴,۲ اهداف فرعی

- بررسی مبانی امپدانس زیستی و مدل‌های الکتریکی بافت بدن
- طراحی مدار تولید جریان AC ایمن و کنترل‌شده
- طراحی مدار اندازه‌گیری ولتاژ پاسخ بافت
- محاسبه امپدانس بر اساس جریان تزریقی و ولتاژ اندازه‌گیری‌شده
- پیاده‌سازی سخت‌افزار نمونه اولیه
- توسعه نرم‌افزار یا firmware برای پردازش داده
- نمایش مقدار امپدانس روی نمایشگر یا رایانه
- کالیبراسیون سامانه با مقاومت‌ها و مدل‌های معادل بافت
- ارزیابی دقت، پایداری و تکرارپذیری اندازه‌گیری‌ها
- تهیه مستندات فنی و گزارش نهایی پروژه

۵. محدوده پروژه

این پروژه شامل طراحی و ساخت یک نمونه اولیه آزمایشگاهی. سامانه باید قابلیت اندازه‌گیری امپدانس در محدوده مشخصی از فرکانس و دامنه جریان را داشته باشد و برای استفاده تحقیقاتی و آموزشی طراحی شود.

موارد داخل محدوده پروژه

- طراحی بلوک دیاگرام سیستم
- طراحی مدار منبع جریان AC
- طراحی مدار اندازه‌گیری ولتاژ
- انتخاب الکترود مناسب
- طراحی مدار محافظت و ایزولاسیون پایه
- پیاده‌سازی نمونه اولیه روی PCB یا برد آزمایشگاهی
- پردازش داده با میکروکنترلر یا رایانه
- نمایش مقدار امپدانس
- تست با بارهای مقاومتی و مدل معادل بافت
- تست محدود و کنترل‌شده روی بدن با رعایت ایمنی

۶. شرح فنی پروژه

سامانه پیشنهادی باید شامل بخش‌های اصلی زیر باشد:

۶,۱ منبع تحریک الکتریکی

سامانه باید قادر باشد یک جریان AC ضعیف و ایمن به بافت اعمال کند. این جریان باید در محدوده‌ای باشد که برای بدن انسان خطرناک نباشد.

پیشنهاد اولیه:

- نوع تحریک: جریان متناوب سینوسی یا شبه‌سینوسی
- دامنه جریان: در حد میکروآمپر تا حداکثر حدود ۱ میلی‌آمپر RMS با رعایت ایمنی
- فرکانس کاری: استفاده از چند فرکانس به صورت ترکیبی یا انتخابی(۵۰ کیلوهرتز تا ۱ مگاهرتز)

۶,۲ الکترودها

برای کاهش اثر امپدانس تماس پوست و الکترود، بهتر است از روش چهار الکترودی استفاده شود.

پیشنهاد:

- دو الکترود برای تزریق جریان
- دو الکترود برای اندازه‌گیری ولتاژ
- استفاده از الکترودهای ژلی پزشکی یا الکترودهای سطحی مناسب
- رعایت فاصله‌گذاری مشخص بین الکترودها

۶,۳ مدار اندازه‌گیری

مدار اندازه‌گیری باید ولتاژ ایجادشده روی بافت را با دقت مناسب دریافت کند.

ویژگی‌های پیشنهادی:

- استفاده از تقویت‌کننده تفاضلی یا instrumentation amplifier
- امپدانس ورودی بالا
- نویز پایین

- فیلترگذاری آنالوگ یا دیجیتال
- محافظت در برابر اضافه‌ولتاژ و خطاهای اتصال

۶,۴ پردازش سیگنال

پس از اندازه‌گیری ولتاژ، مقدار امپدانس از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$Z=VI$$

که در آن:

- Z: امپدانس بافت
- V: ولتاژ اندازه‌گیری‌شده
- I: جریان تزریق‌شده

سامانه باید بخش حقیقی و موهومی امپدانس را نیز محاسبه کند:

$$Z=R+jX$$

که در آن:

- R: مقاومت بافت
- X: راکتانس بافت

۶,۵ واحد کنترل و نمایش

سامانه می‌تواند از یک میکروکنترلر یا برد توسعه استفاده کند.

گزینه‌های پیشنهادی:

- STM32
- ESP32
- Raspberry Pi Pico
- یا اتصال به رایانه از طریقUSB

خروجی می‌تواند به یکی از روش‌های زیر نمایش داده شود:

- نمایشگر LCD یا OLED
- نرم‌افزار رایانه‌ای
- ارسال داده از طریق USB/Serial
- ذخیره داده در فایل CSV

۷. مشخصات عملکردی مورد انتظار

نمونه ساخته‌شده باید حداقل ویژگی‌های زیر را داشته باشد:

ردیف	ویژگی	مقدار پیشنهادی
1	نوع اندازه‌گیری	امپدانس الکتریکی بافت
2	روش اتصال	ترجیحاً چهار الکترودی
3	فرکانس تحریک	دارای چند فرکانس تحریک در محدوده ۵۰ تا ۱۰۰۰ کیلوهرتز
4	دامنه جریان	ایمن و محدود، حداکثر در محدوده میکروآمپر تا ۱ mA
5	محدوده اندازه‌گیری امپدانس	حدود ۱۰ اهم تا چند کیلو اهم
6	دقت هدف	خطای کمتر از ۵ تا ۱۰ درصد در نمونه آزمایشگاهی
7	خروجی	نمایش عددی امپدانس
8	قابلیت کالیبراسیون	با مقاومت‌های مرجع
9	تغذیه	باتری یا منبع ایزوله‌شده
10	کاربرد	آموزشی، پژوهشی و آزمایشگاهی

۸. الزامات ایمنی

از آنجا که پروژه با بدن انسان در ارتباط است، رعایت الزامات ایمنی اهمیت بسیار زیادی دارد.

الزامات پیشنهادی:

- استفاده از جریان بسیار ضعیف و ایمن

- محدودسازی سخت‌افزاری جریان خروجی
- استفاده از تغذیه باتری یا منبع کاملاً ایزوله
- عدم اتصال مستقیم مدار به برق شهر هنگام تماس با بدن
- استفاده از مقاومت‌های محدودکننده جریان
- طراحی مدار محافظ در ورودی و خروجی
- انجام تست‌های اولیه فقط با مقاومت و فانتوم بافت
- انجام تست انسانی فقط با نظارت
- توجه به اصول استانداردهای مرتبط مانند IEC 60601 در سطح مطالعاتی

تذکر مهم: این نمونه نباید به‌عنوان دستگاه پزشکی تشخیصی استفاده شود و فقط برای اهداف آموزشی و پژوهشی قابل استفاده است.

۹. خروجی‌های پروژه

مجری پروژه باید موارد زیر را تحویل دهد:

۹,۱ مستندات

- گزارش بررسی منابع و پیشینه تحقیق
- شرح مبانی نظری امپدانس زیستی
- بلوک دیاگرام سیستم
- شماتیک مدار
- توضیح عملکرد هر بخش مدار
- الگوریتم محاسبه امپدانس
- گزارش تست و کالیبراسیون
- تحلیل خطا و محدودیت‌ها
- راهنمای استفاده از نمونه ساخته‌شده

۹,۲ سخت‌افزار

- نمونه اولیه مدار اندازه‌گیری
- الکترودها و اتصالات مورد نیاز

- منبع تغذیه
- در صورت امکان، جعبه یا بدنه ساده برای نمونه

۹,۳ نرم‌افزار

- کد میکروکنترلر یا نرم‌افزار رایانه‌ای
- امکان نمایش یا ذخیره داده‌ها
- توضیح نحوه نصب و اجرا

۹,۴ تست و ارزیابی

- تست با مقاومت‌های مرجع
- تست با مدار معادل بافت
- مقایسه مقدار اندازه‌گیری‌شده با مقدار واقعی
- نمودار خطا
- گزارش پایداری و **تکرارپذیری**

۱۰. مراحل اجرای پروژه

مرحله اول: مطالعه و طراحی مفهومی

- بررسی مقالات و منابع مرتبط با bioimpedance
- انتخاب روش اندازه‌گیری دو الکترودی یا چهار الکترودی
- تعیین فرکانس و جریان تحریک
- طراحی بلوک دیاگرام کلی

مرحله دوم: طراحی مدار

- طراحی منبع جریان AC
- طراحی مدار اندازه‌گیری ولتاژ
- طراحی فیلتر و تقویت‌کننده
- انتخاب ADC یا میکروکنترلر

- شبیه‌سازی مدار در صورت امکان

مرحله سوم: ساخت نمونه اولیه

- پیاده‌سازی مدار روی PCB
- راه‌اندازی بخش تحریک
- راه‌اندازی بخش اندازه‌گیری
- اتصال به واحد پردازش

مرحله چهارم: توسعه نرم‌افزار

- خواندن داده از ADC
- محاسبه امپدانس
- فیلتر دیجیتال ساده
- نمایش مقدار نهایی
- ذخیره یا ارسال داده

مرحله پنجم: کالیبراسیون و تست

- تست با مقاومت‌های معلوم
- تست با مدل RC معادل بافت
- محاسبه خطا
- اصلاح ضرایب کالیبراسیون

مرحله ششم: ارائه نمونه نهایی

- تکمیل نمونه کاربردی
- آماده‌سازی گزارش نهایی
- ارائه نتایج
- نمایش عملکرد دستگاه

۱۱. زمان‌بندی پیشنهادی

مرحله	فعالیت	مدت زمان پیشنهادی
1	مطالعه منابع و طراحی مفهومی	۲ هفته
2	طراحی مدار و انتخاب قطعات	۲ هفته
3	شبیه‌سازی و بررسی اولیه	۱ هفته
4	ساخت نمونه اولیه	۵ هفته
5	برنامه‌نویسی و پردازش داده	۵ هفته
6	تست و کالیبراسیون	۲ هفته
7	مستندسازی و آماده‌سازی ارائه	۲ هفته
مجموع	کل پروژه	حدود ۱۸ هفته

۱۲. تجهیزات و قطعات پیشنهادی

- میکروکنترلر STM32 یا ESP32
- مولد سیگنال یا مدار تولید موج سینوسی
- تقویت‌کننده عملیاتی مناسب
- instrumentation amplifier مانند AD620 یا نمونه‌های مشابه
- ADC با دقت مناسب در صورت نیاز
- مقاومت‌های دقیق برای کالیبراسیون
- خازن و مقاومت برای ساخت مدل معادل بافت
- الکترود ژلی پزشکی
- باتری یا منبع تغذیه ایزوله
- نمایشگر LCD/OLED
- اسیلوسکوپ و مولتی‌متر برای تست

۱۳. معیارهای پذیرش پروژه

پروژه زمانی قابل قبول است که شرایط زیر برآورده شود:

- دستگاه بتواند امپدانس بارهای مقاومتی معلوم را با خطای قابل قبول اندازه‌گیری کند.
- مدار دارای محدودسازی جریان و طراحی ایمن باشد.
- نمونه بتواند مقدار امپدانس را به‌صورت عددی نمایش دهد.
- نتایج تست و کالیبراسیون مستند شده باشند.
- گزارش فنی کامل شامل طراحی، پیاده‌سازی، تست و تحلیل خطا ارائه شود.
- نمونه نهایی قابلیت نمایش عملی در جلسه دفاع یا ارائه را داشته باشد.

۱۴. ریسک‌ها و چالش‌های پروژه

برخی چالش‌های احتمالی پروژه عبارت‌اند از:

- نویز زیاد در اندازه‌گیری سیگنال‌های کوچک
- اثر امپدانس تماس الکترود با پوست
- خطا در تولید جریان ثابت
- نیاز به ایزولاسیون مناسب برای ایمنی
- محدودیت دقت ADC