

آشنایی با مکانیزم برنامه ریزی بیرونی ضربان سازهای قلبی

سامان پروانه^۱؛ ایمان محمد رضازاده^۲

^۱ دانشکده مهندسی پزشکی - دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات

^۲ دانشکده مهندسی پزشکی - دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات

پست الکترونیک: Saman_Parvaneh@Yahoo.Com

I_Rezazadeh@Yahoo.Com

چکیده:

در این مقاله ابتدا به معرفی برنامه ریز بیرونی ضربان سازهای قلبی و ضرورت استفاده از آن اشاره می‌گردد و سپس اجزا سخت افزاری و نرم افزاری مرتبط با آن معرفی می‌گردد. پس از آن در باره چگونگی ایجاد، تشخیص و حذف نویزهای محیطی که روی کدهای برنامه ریزی در حین ارسال اطلاعات و همچنین دریافت اطلاعات، صحبت خواهد شد و در انتها مطالبی درباره تله متری سیگنالهای حیاتی ارائه می‌گردد.

کلمات کلیدی: ضربان ساز، برنامه ریزی بیرونی، *Pulse Position Coding*

I. مقدمه:

نظر به اینکه حتی ضربان سازهای خیلی پیچیده در سرتاسر عمر دستگاه نمی‌توانند خود را به خوبی با تغییر شرایط بیمار، تطبیق دهند این یک مزیت است که به پزشک اجازه بدهیم طرز کار دستگاه را بصورت غیرتهاجمی تغییر دهد. این روند، بعنوان برنامه ریزی^۱ شناخته می‌شود. اولین ضربان ساز قابل برنامه ریزی در اوایل دهه ۱۹۶۰ توسط شرکت **Medtronic** معرفی شد و از سوزنهای سه گوشه عبورکننده از پوست برای تنظیم دو پتانسیومتری که نرخ ضربان را کنترل می‌کرد استفاده می‌شد.

ضربان سازهای بعدی سوییچهای مغناطیسی **Reed** را برای تنظیم موقتی حساسیت، نرخ تغییرات و دامنه پالس استفاده کردند. ضربان سازهای قابل برنامه ریزی مدرن از سیم پیچهای مغناطیسی و کدهای دیجیتال برای برنامه ریزی پارامترها استفاده می‌کنند. همچنین سیم پیچهای مغناطیسی به ضربان ساز اجازه می‌دهند تا اطلاعات را به خارج دستگاه منتقل سازد. این عمل می

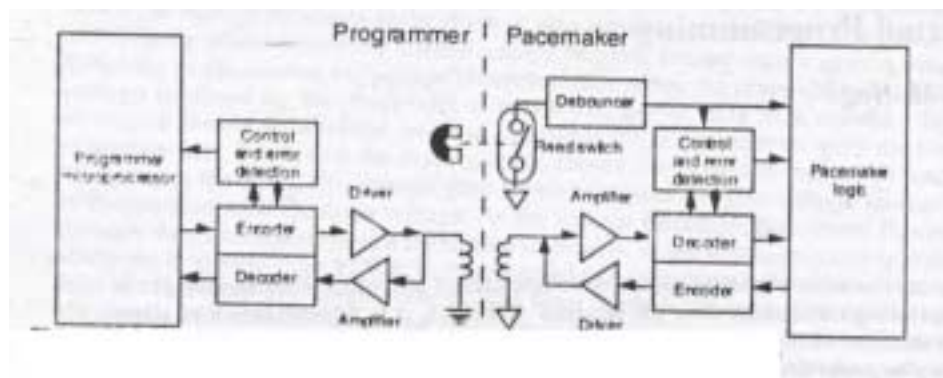
^۱ Programming

تواند برای بازبینی^۲ پارامترها مفید باشد. همچنین، این ارتباط دو طرفه می تواند برای جمع آوری اطلاعات بدست آمده از حسگرهای درون بیمار یا ضربان ساز استفاده شود. این روند تله متری^۳ خوانده می شود.

اگر چه برنامه ریزی و تله متری دو عمل متفاوت ضربان ساز هستند ولی آنها در بیشتر سخت افزار و تئوری عملشان مشابهت دارند.

II. عملکرد سخت افزار

شکل ۱ بلوک دیاگرام برنامه ریزی و Interface تله متری ضربان ساز را نشان می دهد. سمت چپ شکل، برنامه ریز^۴ می باشد (یک دستگاه خارجی که اطلاعات تله متری و برنامه ریزی را با ضربان ساز ارتباط می دهد). آن بخش از ضربان ساز که عمل برنامه ریزی و تله متری روی آن انجام می شود در سمت راست شکل نشان داده شده است. عمل برنامه ریزی با نزدیک کردن یک آهنربای ثابت و دائم در نزدیک ضربان ساز، که باعث بسته شدن سویچ Reed که در پشت ضربان ساز است آغاز می شود. سپس اطلاعات بصورت توالی پالسهای Special Correcting Error رمزگذاری می شوند و بوسیله یک مجموعه از سیم پیچها بصورت الکترومغناطیسی منتقل می شوند. پیغام^۵ دریافت شده توسط ضربان ساز رمزبرداری می شود و برای خطا چک می شود و بسوی واحد منطقی دستگاه انتقال داده می شود. ضربان سازهای مدرن قابلیت ارتباط دوطرفه را دارا می باشند.



شکل ۱: بلوک دیاگرام برنامه ریزی و Interface تله متری ضربان ساز

A. سویچ Reed

² Verify

³ Telemetry

⁴ Programmer

⁵ Message

سوییچ Reed یک سویچ الکترومغناطیسی - مکانیکی حساس است (شکل ۲) که شامل دو نوار نازک فلزی^۶ که فرومغناطیس هستند می باشد. در حالت عادی ، در صورت وجود نداشتن میدان مغناطیسی دو نوار Reeds از هم فاصله دارند هنگامیکه میدان مغناطیسی اعمال می شود ، نوارهای Reed نزدیک هم قرار می گیرند تا یک مدار بسته با رلوکتانس کم ایجادکنند.

هر دو حالت سویچهای اتصال عموماً بسته و اتصال عموماً باز در دسترس هستند ، ولی در ضربان ساز حالت اتصال عموماً باز مورد استفاده قرار می گیرد . سر برنامه ریزی^۷ برنامه ریز ، شامل یک آهنربای سرامیکی با میدان قوی است ؛ در نتیجه ، باید از قراردادن آهنربا نزدیک دیسک های نرم^۸ ، نوارهای مغناطیسی ، و سایر مخازن رسانه ای^۹ مغناطیسی پرهیز شود.

وقتیکه سویچ بسته می شود ، ضربان ساز در حالت موقتی روش ضربان سازی AOO یا VOO قرار می گیرد ، سخت افزار برنامه ریزی فعال می شود و ایتراپت^{۱۰} پروسسور مرکزی ضربان ساز آغاز می شود . حالت موقتی ضربان سازی طراحی شده است تا اگر عمل برنامه ریزی به دلایلی ناتمام ماند ، ضربان ساز کار خود را با این حالت ادامه دهد . این حالت ، ضربان سازی را که از کنترل خارج شده در مواقع ضروری کنترل می کند .

بستن سویچ Reed ، منطقی را که برای رمزگذاری و رمزبرداری سیگنالهای تله متری و برنامه ریزی استفاده می شود آغاز می کند . ¹¹NMI به پروسسور ضربان ساز فرستاده می شود ، که در این زمان نرم افزار ویژه برنامه ریزی را اجرا می کند . نظر به اینکه NMI یک سیگنال حساس به لبه¹² است و سویچ Reed نسبت به پرش¹³ مکانیکی آسیب پذیر می باشد ، باید یک مدار Debouncer (شکل ۲) برای جلوگیری کردن از ایتراپتهای چندگانه استفاده شود . رویهمرفته جریان مصرفی ضربان ساز در طی برنامه ریزی بخاطر مدار Debouncer و مدارهای ارتباطی دیگر افزایش می یابد.

⁶ Reeds

⁷ Programming Head

⁸ Floppy Disk

⁹ Media

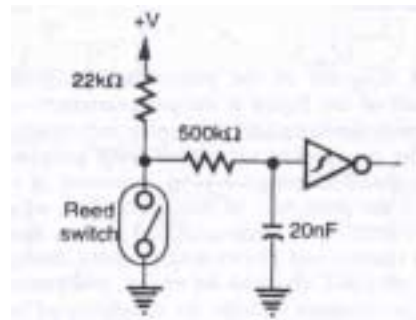
¹⁰ Interrupt

¹¹ NonMaskable Interrupt

¹² Edge Triggered

¹³ Bounce

تعدادی از ضربان سازهای اولیه از خود سوئیچ Reed بعنوان کانال ارتباطی استفاده می کردند. سوئیچ برای یک مدت زمان معین که یک تنظیم خاص¹⁴ را بیان می کند بسته می ماند. این مکانیسم مدت زیادی استفاده نشد برای اینکه اولاً سوئیچ Reed پاسخ زمانی کندتری نسبت به سایر تکنیک ها دارد (ناشی از طبیعت مکانیکی) و ثانیاً میدانهای مغناطیسی در محیط بیمار می توانند به آسانی سبب بردن ضربان ساز به حالت برنامه ریزی ناخواسته شوند.

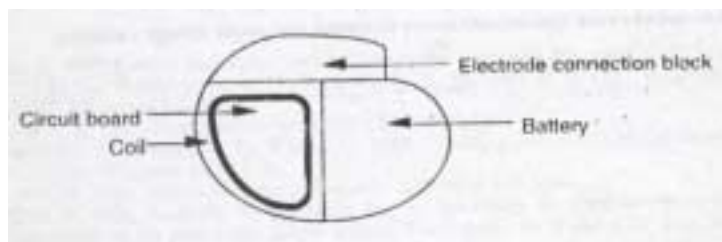


شکل ۲: مدار Debouncing برای سوئیچ Reed

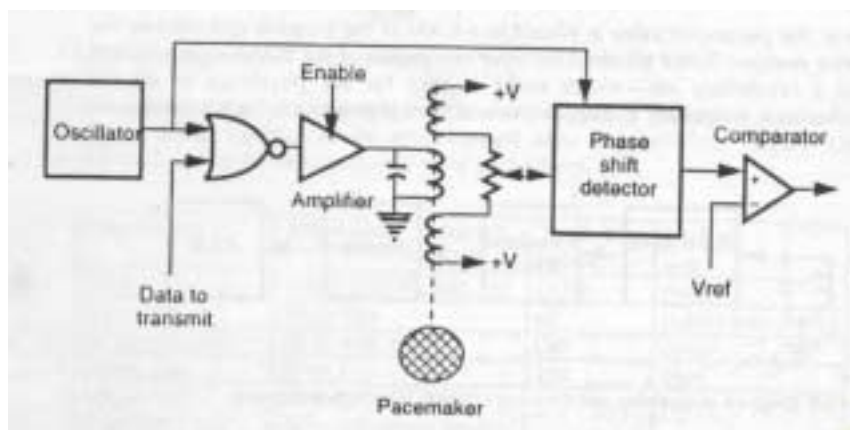
تمام سیستمهای ضربان سازی نیاز به آهنربا برای برقراری ارتباط بین ضربان ساز و برنامه ریز ندارند. در برخی، اتصال بواسطه پروتوکل Handshaking فعال و حفظ می شود.

B. سیم پیچ ها

کارخانه های سازنده ضربان ساز در اواخر دهه ۱۹۷۰ شروع به استفاده از ارتباطات با فرکانس رادیویی کردند. یک سیم پیچ بعنوان آنتن برای هر دو حالت دریافت و ارسال داده می تواند استفاده شود (شکل ۳) یک مجموعه دیگر از سیم پیچ ها در سر برنامه ریزی، که یک واحد Fist-Sized متصل به برنامه ریز است، قرار داده شده اند و همه سیم پیچها در فرکانس تشدید مشابهی تنظیم شده اند. معمولاً به صورت عملکرد به صورت Half - Duplex می باشد به این معنی که در هر لحظه تنها یک واحد در حال انتقال داده است. نظر به اینکه ارتباط مناسب سر برنامه ریز و ضربان ساز وضعیت Coupling سیم پیچها را معین می کند، یک مدار ویژه برای کمک به تعیین موقعیت سر برنامه ریز، تعبیه شده است (شکل ۴) که با اصول مشابه ترانسفورماتور تفاضلی خطی کار می کند.



شکل ۳: موقعیت سیم پیچهای تله متری و برنامه ریزی در ضربان ساز



شکل ۴: مدار تعیین موقعیت سر برنامه ریز

یک اسیلاتور که در فرکانس تشدید سیم پیچ ضربان ساز تنظیم شده است، سیم پیچ مرکزی از مجموعه ۳ سیم پیچی در سر برنامه ریزی را راه اندازی می نماید. اختلاف فاز بین سیگنال اسیلاتور اصلی و سیگنال حاصل از دو سیم پیچ بیرونی تر بوسیله آشکارساز انتقال فاز¹⁵ آشکار سازی می شود که این اختلاف فاز متناسب با فاصله بین ضربان ساز و سر برنامه ریز است. انتقال فاز به صورت ولتاژ، با یک ولتاژ مرجع مقایسه می شود و سپس برای کنترل یک نمایشگر از جمله LED استفاده می شود. یک سیگنال فعال سازی به مدار اجازه می دهد تا بصورت روشن و خاموش سوئیچ کند.

C. رمزگذاری و رمزبرداری

کد برنامه ریزی و تله متری شامل تعداد زیادی بیت است؛ بعلاوه سیم پیچ، در هر لحظه فقط می تواند یک بیت را انتقال بدهد. در ضمن، سیگنال مدوله شده با فرکانس تشدید سیم پیچ ها، باید در بازه های کوچک نزدیک به هم زمانی منتقل بشود. به خاطر امر ارسال کدهای اطلاعاتی از بیرون به داخل و به دلیل اینکه این داده ها از یک محیط واسط غیر ایزوله عبور می کنند امکان ایجاد هرگونه خطا و نویز در این سیستم وجود دارد، پس باید یک روش آشکارسازی و تصحیح داده های اشتباه در نظر گرفته شود. از آنجا که هر کارخانه سازنده ضربان ساز قلبی کدینگ اختصاصی خود را دارد، یک راه عمومی که بتوان برای کدینگ برنامه ریزی و حذف نویز از آن استفاده کرد وجود ندارد.

پیغام برنامه ریزی مورد بحث در این مقاله شامل ۵ بخش است (شکل الف.۵). بیت شروع¹⁶ آغاز پیغام را نشان می دهد و برای همزمان کردن زمانبندی سایر کدهای پیغام است.

¹⁵ Phase Shift Detector

¹⁶ Start

Parameter No. (شماره پارامتر) مشخص می کند که کدام پارامتر(برای مثال روش، تاخیر دهلیزی-بطنی، پهنای پالس) باید برنامه ریزی شود. در مثال شکل الف.۵، عدد ۱۰۰۱۰۰۰۰۰۰ نرخ پالسی که باید تنظیم شود را مشخص می کند.

Parameter Value (مقدار پارامتر) مقداری که پارامتر باید در آن تنظیم شود را نشان می دهد. این مقدار می تواند به یک جدول از مقادیر ممکن اشاره کند؛ برای مثال، مقدار ۰۰۱۰۱۱۰۰ نرخ ۸۰ ضربان در دقیقه را نشان می دهد.

Access Code (کد دستیابی) یک عدد ثابت بر اساس مدل ضربان ساز است که برای اینکه پیغام بدرستی عمل کند باید دقیقاً با کد داخلی ضربان ساز مطابقت داشته باشد و در عمل بعنوان یک مکانیسم امنیتی در مقابل استفاده از برنامه ریز اشتباه، خطا در پیغام، یا برنامه ریزی نادرست بوسیله نویز محیطی استفاده می شود و همچنین می تواند بعنوان یک عامل بالقوه اجازه بدهد که بیش از یک دستگاه قابل برنامه ریزی در بدن بیمار قرار داده شود. **Parity Field**، XOR بین **Parameter No.** و **Value Field** است و این عمل یکی از چند مکانیزم آشکارسازی خطا است. پس از مرحله مشخص شدن کدها نوبت به فرستادن آنهاست. همه بیتها بعنوان یک رشته پالس با زمان ۰٫۳۵ ms رمزگذاری می شوند (شکل ب.۵). بیت شروع یک پالس تنها است؛ بقیه بیتها بر اساس **Bit Value** با بیت قبلی تاخیر داده می شوند. اگر بیت صفر باشد، تاخیر کوتاه است (۱ms)؛ و اگر ۱ باشد، تاخیر طولانی است (۲٫۲ms). این تکنیک که کدینگ موقعیت پالس¹⁷ نامیده می شود آشکارسازی خطا را آسانتر می کند.

توالی پالسهای سریال برای انتقال به صورت **AM** مدوله می شوند. (شکل ج.۵) فرکانس حامل، همان فرکانس تشدید سیم پیچ ها ۱۷۵KHz است. سپس سیگنال انتقال داده شده به سیم پیچ دیگر، به صورت همان توالی پالس قبلی دمدوله می شود. (شکل د.۵)

شکل ۶ نشان می دهد که چگونه هر بیت رشته پالس از روی سیگنال مدوله شده رمزبرداری می شود. بمحض اینکه هر بیت دریافت می شود، تایمر شروع به اندازه گیری زمان تاخیر با پالس بعدی می کند. اگر شمارش تا پالس بعدی به اندازه تعداد پالس مطلوب برای عدد صفر باشد آن بیت به عنوان صفر محسوب شده (شکل ب.۶) و اگر شمارش بر اساس شمارش برای عدد یک باشد آن بیت به عنوان یک محسوب می شود (شکل د.۶) در غیر اینصورت پالسهایی که خیلی زودتر، خیلی دیرتر، یا بین این دو مدت می رسند جزو خطاها در نظر گرفته می شوند و کل پیغام دور انداخته می شود. (شکل الف، ج، ه، ۶). پس از هر بیت، شمارنده پالس شروع به شمارش می کند. بیت شروع فقط برای زمانبندی اولیه استفاده می شود.

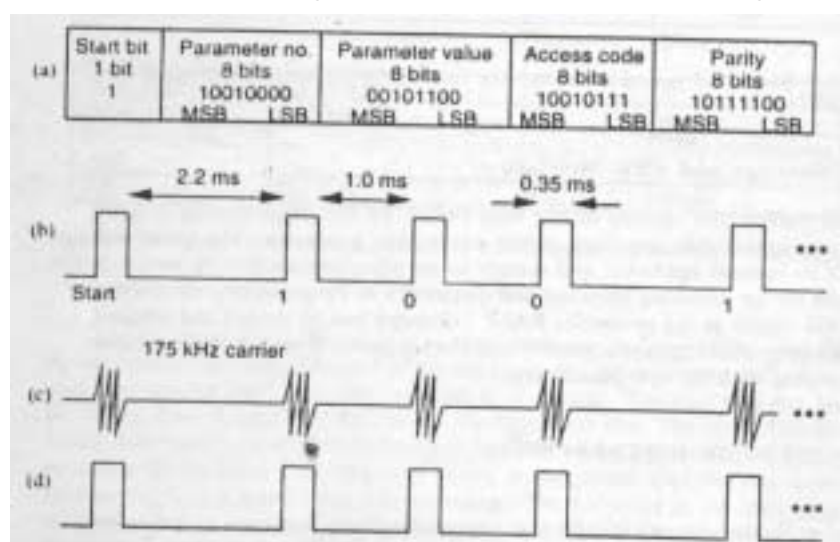
¹⁷ Pulse Position Coding

اطلاعات تله متری همچنین می تواند آنالوگ یا دیجیتال باشد . سیگنالهای دیجیتال ابتدا به بیتهای سریال¹⁸ تبدیل می شوند که از متد رمز برداری مانند آنچه در شکل ۶.ب نشان داده شده است استفاده می کند . سپس بیتهای سریال یا اطلاعات آنالوگ برای انتقال بصورت فرکانسی مدوله می شوند¹⁹ .

مزیت این روش و روش دیگر رمز گذاری اینست که آنها روشهای مختلف آشکارسازی خطاهای چندگانه را بهبود می بخشند . سیم پیچ ها و مدارات دریافت کننده که با فرکانس مدولاسیون تنظیم شده اند ، نویز را در بقیه فرکانسها حذف می کنند . کدینگ موقعیت پالس می تواند خطاها را با قبول کردن پالسهای فقط مطابق با فاصله های زمانی محدود-تعریف شده آشکار کند.

Access Code بعنوان یک کلید امنیتی عمل می کند تا از برنامه ریزی توسط نویزهای ناخواسته یا سایر تجهیزات جلوگیری کند . در نهایت ، **Parity Field** و مقادیر چک کننده دیگر بازبینی نهایی اینکده پیغام درست است را بهبود می دهد . در هر زمان ، اگر خطا آشکار شود ، کل پیغام دور انداخته می شود.

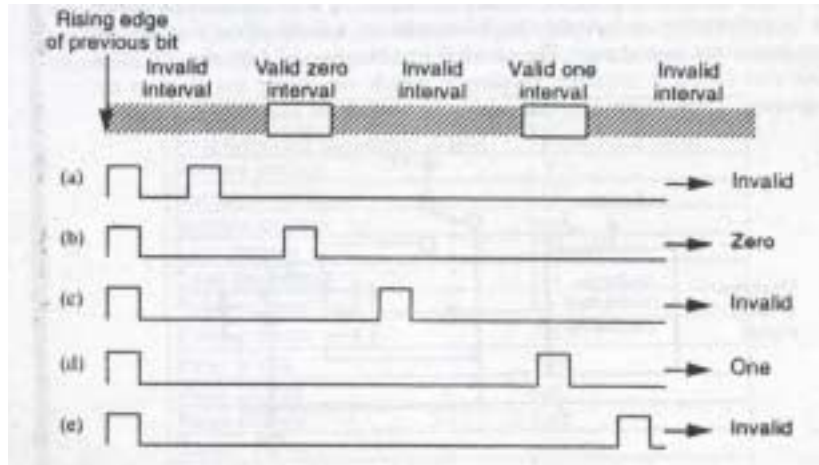
بمنظور افزایش نرخ انتقال بیت خیلی از سیستمهای ضربان سازی ، مدولاسیون موقعیت پالس پیچیده تر و سطح بالاتری را استفاده می کنند . در این نوع سیستم ها ، یک پالس مطابق با یک **Frame** به یکی از مقادیر محدود عددی رمز گذاری می شود.



شکل ۵: نمونه ای از رمز گذاری و مدولاسیون پیغامهای برنامه ریزی. الف) بخشهای پیغام ب) رمز گذاری پنج رقم باینری ابتدایی بخش الف به پالس ج) سیگنال مدوله شده د) سیگنال بعد از دریافت و دموله شدن

¹⁸ Serial Bit

¹⁹ FM Modulate



شکل ۶: رمزبرداری یک بیت از سیگنال شکل ۶. اندازه گیری زمان از لبه بالا رونده بیت قبلی شروع میشود.

الف) پالس خیلی زود اتفاق می افتد که نامعتبر است ب) یک صفر معتبر
 ج) یک پالسی که نامعتبر است چون بین مدت صفر و مدت یک رخ داده است
 د) یک ۱ معتبر ه) پالس خیلی دیر اتفاق افتاده است که اشتباه می باشد.

D. راه اندازه های خارجی²⁰

برنامه ریزی و تله متری نوعاً روشهای مختلفی را برای مدولاسیون استفاده می کنند و بنابر این ، مدارات مختلفی برای تحریک سیم پیچ استفاده می شوند . مدار راه انداز برنامه ریز شامل یک تقویت کننده است که سیم پیچ موازی با خازن را تحریک می کند (شکل ۵) که از پالسهایی که مدولاسیون دامنه شده اند استفاده می کند . شکل ۷ مدار تحریک سیم پیچ تله متری که فرکانس مدولاسیون را استفاده می کند نشان می دهد . اطلاعات آنالوگ یا اطلاعات سریال دیجیتال که بصورت فرکانسی مدوله می شوند از اسپلاتور کنترل شونده با ولتاژ (VCO) استفاده می کنند . افزایش ولتاژ ورودی VCO ، فرکانس ولتاژ خروجی را افزایش می دهد . سیگنال ، یک سویچ آنالوگ را تحریک می کند ، که بطور متناوب خازن C1 که در امتداد سیم پیچ است را شارژ و دشارژ می نماید . از آنجاییکه سویچ آنالوگ یک امپدانس بالای ناخواسته دارد ، ترانزیستور اثر میدان برای کاهش امپدانس استفاده می شود . ترکیب موازی خازن C1 و خازن C2 بعلاوه سیم پیچ ، فرکانس تشدید می باید با فرکانس حامل VCO مطابق باشد را ایجاد می کند . در ضمن مدار می تواند برای حفظ توان تنظیم شود .

E. تقویت کننده های ورودی

سیم پیچ ضربان ساز که با خازن C2 در شکل ۷ موازی است ، یک مدار تنظیم شده برای دریافت اطلاعات ایجاد می کند . شکل ۸ سیگنالی که از فیلتر میان گذر²¹ رد شده و آشکار سازی

²⁰ Output Drivers

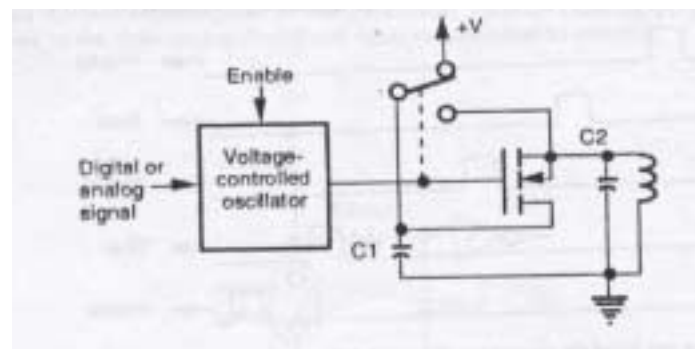
²¹ Band Pass

پوش شده است را نشان می دهد این سیگنال برای تولید پالس در شکل ۶.د استفاده می شود

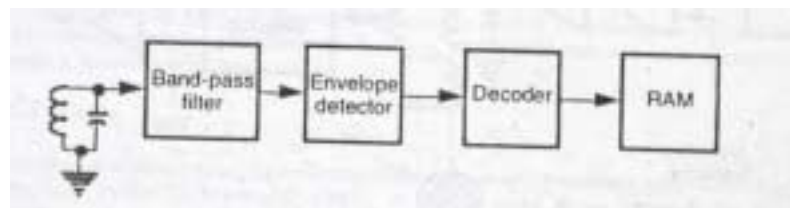
بعد از رمزبرداری ، Parameter Value در RAM و در آدرسی که توسط Parameter No. اختصاص داده شده قرار می گیرد . تعدادی از ضربان سازها دو نسخه از RAM دارند (یک مجموعه دائم و یک مجموعه موقتی) که این قابلیت کار را برای پزشک آسان می سازد تا در ضربان ساز تنظیمات موقتی انجام دهد و بعداً با برنامه ریزی مجدد آنرا به تنظیمات عادی و دائمی برگرداند.

شکل ۹ مدار پایه ای را که برای دریافت اطلاعات تله متری از مدار شکل ۷ استفاده می شود نشان می دهد . سیم پیچ و خازن مدار تشدید می کند با فرکانس حامل تنظیم شده است را ایجاد می کند.

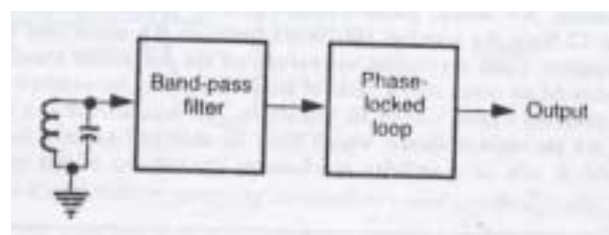
بعد از این سیگنال بصورت میان گذر ، فیلتر می شود و سپس بوسیله Phase Locked Loop بصورت فرکانسی دمدوله می شود.



شکل ۷: مدار محرک برای سیم پیچ تله متری



شکل ۸: دیاگرام برای مدار دریافت و رمزبرداری اطلاعات برنامه ریزی



شکل ۹: دیاگرام مدار دریافت و رمزبرداری برای اطلاعات تله متری.

F. ایتراپت و عملکرد CPU

همانطور که قبلاً گفته شد بسته شدن کلید Reed بوسیله آهنربای برنامه ریزی موجب ایجاد یک NMI برای پروسور ضربان ساز می گردد و باعث می شود پروسور عملکرد نرمال خود را معوق کرده و به روش ضربان سازی غیر همزمان بر گردد. سپس منتظر یک پیغام رسیده می ماند و آنرا پردازش می کند. پارامترهای اندازه گیری مقدارهای قدیمی را در مکانی از RAM که مربوط به پارامترها است جایگزین می کند. تله متری بوسیله دستورالعملهای برنامه ریزی ویژه می تواند شروع و متوقف شود. هنگامیکه آهنربا برداشته می شود، پروسور مجدداً شروع به ضربان سازی با پارامترهای جدید می کند.

III. نرم افزار

بخاطر پیچیدگی که ترجمه و تفسیر پارامترها در ضربان سازهای مدرن دارد، از نرم افزار برای تحلیل و دستوردهی به ضربان ساز استفاده می شود.

IV. تله متری سیگنالهای حیاتی

یکی از مزایای اتصالهای دو جهته این است که به ضربان ساز اجازه میدهد که وضعیت بیمار را به پزشک اطلاع دهد. همه پارامترها می توانند برنامه ریزی شوند همچنین می توانند بازخوانی گردند. این عمل به پزشک اجازه می دهد تا برنامه ریزی ضربان ساز را تایید کند. ولتاژ، جریان و امپدانس داخلی باتری ضربان ساز می تواند برای تخمین عمر باقی مانده باتری، اندازه گیری و استفاده شود و در ضمن می تواند یک آلام برای نشان دادن ضعیف شدن باتری باشد. اگر ولتاژ باتری از ولتاژ مرجع معینی پایینتر بیاید این آلام فعال می شود. امپدانس لیدها، ولتاژ، جریان، پهنا، شارژ خروجی، و انرژی پالس خروجی بصورت زمان واقعی²² می تواند گزارش شود. شمارش تعداد ضربانهای حس شده به راحتی گزارشی از تعداد اتفاقاتی که در یک محدوده خاص زمانی از فعالیت قلب رخ می دهد ارایه می کند. در نهایت، پزشک می تواند الکتروگرام و شکل سیگنالهای هر کدام از حسگرهای دیگر ضربان ساز را بصورت زمان واقعی پیدا کند.

V. نتیجه گیری

تله متری و برنامه ریزی یک پزشک را قادر می سازد تا وضعیت بیمار را کنترل کرده و همچنین تغییرات دلخواه و عملکردی را در ضربان ساز بیمار انجام دهد. سخت افزار این دستگاه عمل های رمز گذاری، مدوله کردن و چک کردن برای خطاها را برای کاهش ریسک برنامه ریزی ناخواسته ضربان ساز انجام می دهد. خیلی از پارامترها با توجه به نوع ضربان ساز اندازه گیری می شوند، که این امر می تواند به موثر واقع شدن درمان بیمار و گزارش از وضعیت فیزیولوژیکی بیمار کمک موثری کند.

در نهایت یک درمان موثر علاوه بر موارد یاد شده به مراقبت از ضربان ساز و چگونگی کار گذاشتن آن در بدن بیمار بستگی دارد.

تشکر و قدردانی

از تمامی استادان و دوستانی که ما را در تهیه این مقاله یاری دادند تشکر می نمایم.

مراجع:

- [1]- John G. Webster, Design of Cardiac Pacemakers, IEEE Press, 1995
- [2]- Lake Oswego, PMS 600 Programming and Monitoring System for Biotronik Heart Pacemakers Operating Instructions, Biotronik, Inc., 1991
- [3]- Internet Search
- [4]- دکتر محمدحسن مرادی، جزوه درس پردازش سیگنالهای بیولوژیکی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی پزشکی
- [5]- ایمان محمدرضا زاده و سامان پروانه، آشنایی با ضربان سازهای قلب و مکانیزم های تطبیق آنها، مجموعه مقالات دومین کنفرانس دانشجویی مهندسی پزشکی ایران، آبان ۷۹