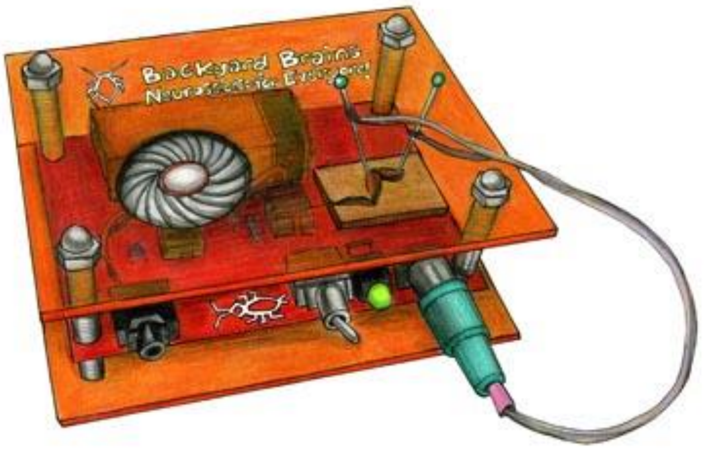
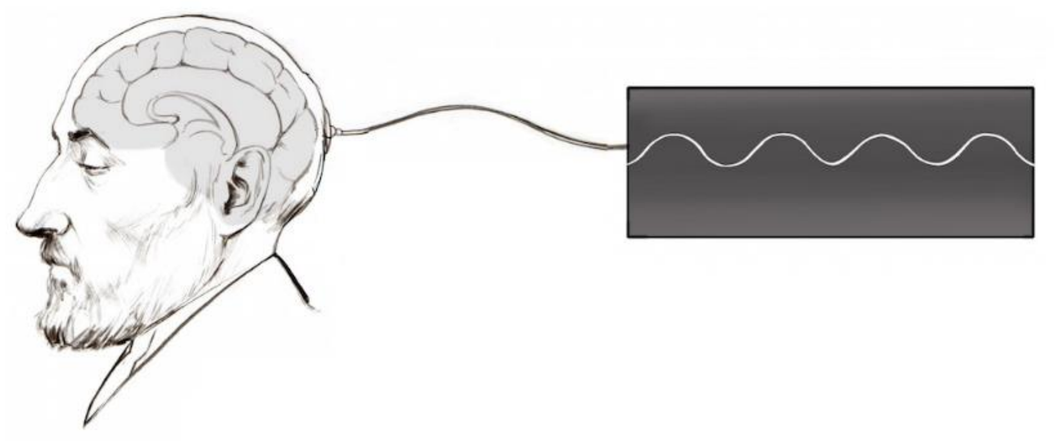
اصول عملکرد

اسپایکر باکس،

و EEG





مقدمه

همانطور که می‌دانید برای انجام آزمایش‌های مختلف در صورتی که از ابزار مناسب استفاده کنیم، می‌توانیم اندازه‌گیری‌ها، و ثبت‌های مورد نیاز در آن آزمایش را با دقت و کیفیت انجام دهیم. علاوه بر این با استفاده از ابزار مناسب، آزمایش‌ها و کارهای مربوط به آنها را می‌توانیم بسیار ساده‌تر انجام دهیم.

الکترونیک یکی از ابزارهای قدرتمندی است که در دنیای امروز تقریباً در تمامی زمینه‌ها نقش بازی می‌کند. امروزه، دستگاه‌های الکترونیکی علاوه بر اندازه‌گیری پارامترهای مختلف، با دقت بالا، انجام آزمایش‌ها را بسیار ساده‌تر و امکان پذیرتر نموده‌اند. از اینرو اگر در ساخت دستگاه‌های الکترونیکی توانمند باشید می‌توانید برای آزمایش‌هایی که در ذهنتان است و می‌خواهید آنها را انجام دهید، دستگاه مورد نیاز خود را بسازید، و در صورتی که کمی هم خلاقیت به خرج دهید می‌توانید تنوع عملکرد دستگاه‌ها را بالا برده و ازاینرو به مرزهای جدیدی از داده‌ها دست پیدا کنید، آزمایشات جدید و هیجان‌انگیز تعریف کنید و نتایج آن‌ها را تحلیل کنید. یکی دیگر از خوبی‌های اینکه شما خودتان دستگاهتان را بسازید، این است که اگر حرفه‌ای شده باشید و دستگاهتان دقت بالایی داشته باشد، و نسبت به صحت عملکرد آن مطمئن باشید، می‌توانید با خیال راحت از نتایج اندازه‌گیری‌ها و داده‌های به دست آمده استفاده کنید، و این یعنی نتایج آزمایش شما دقیق است.

علوم اعصاب شناختی و آزمایش‌های مربوط به این حوزه هم از این صحبت مستثنی نیستند. از اینرو با نگاه به الکترونیک به عنوان یک ابزار کارآمد، شما باید بتوانید در عین سادگی با نهایت ظرافت، خلاقیت و دقت دستگاه مورد نیازتان را برای آزمایشی که تعریف می‌کنید، بسازید.

احتمالاً تا الان باید انگیزه کافی برای ساخت دستگاه مورد نظرتان را به دست آورده باشید. در ادامه موضوعات اولیه‌ای که برای انجام اینکار به آنها نیاز دارید و نحوه عملکرد چند نمونه از دستگاه‌هایی که می‌توانید در انجام آزمایش‌های مختلف از آنها استفاده کنید را مطرح می‌کنیم. همچنین در آخر تمریناتی داده شده که توصیه می‌شود تا حد ممکن با دقت و کیفیت بالا آنها را انجام دهید تا در ادامه مسیر توانمندی شما بیشتر شود و از ساخت دستگاه‌ها بیشتر لذت ببرید.

در ضمیمه نیز مدارها و لینک‌هایی برای مطالعه بیشتر آورده شده است.

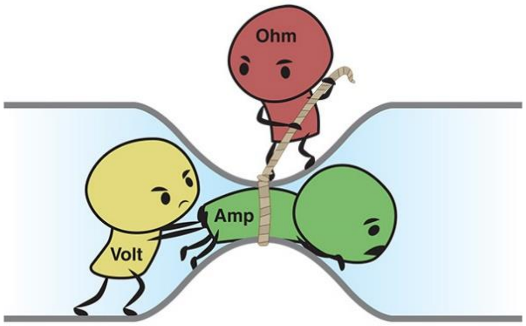
قطعات الکترونیکی و روابط ابتدایی

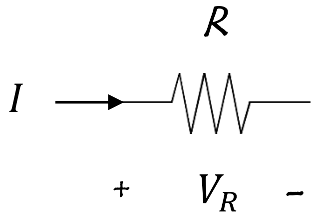
در مورد مفاهیم اولیه شامل جریان الکتریکی، پتانسیل الکتریکی، توان الکتریکی (برای هر کدام ازقطعات)، مدار الکتریکی، نحوه بستن سری و موازی و فرکانس کار قطعات، قوانین KVL و KCL ، منابع ولتاژ و جریان، و همچنین در مورد جزییات عملکرد هرکدام از قطعات، در کارگاه بطور مفصل توضیح داده شد، مجدداً خودتان آنها را مطالعه کنید. از اینرو در اینجا فقط بطور کلی مروری بر قطعات و روابط ابتدایی خواهیم داشت.

مقاومت: قطعه‌ای است که در مقابل عبور جریان الکتریکی مقاومت می‌کند. واحد آن اُهم (Ω) است و معمولاً در مدار آن را با حرف R نشان می‌دهند.

مقاومت‌ها انواع مختلفی دارند، که می‌توان آنها را به دو دسته کلی مقاومت‌های ثابت (تقریباً ثابت هستند) و مقاومت‌های متغییر تقسیم کرد. برای مقاومت‌های اهمی، رابطه بین جریان عبوری از مقاومت و ولتاژ دو سر آن به صورت زیر می‌باشد:

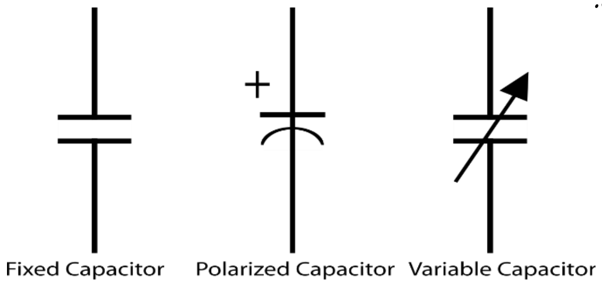
قانون اُهم $$V_R = RI$$





خازن: قطعه‌ای است، شامل دو صفحه موازی هادی که به فاصله مشخصی از هم قرار دارند و در فضای بین این دو صفحه، دی‌الکتریک قرار دارد. این قطعه می‌تواند بار الکتریکی (انرژی الکتریکی) را در خود ذخیره کند. توانایی خازن در ذخیره بار الکتریکی را ظرفیت خازن می‌گویند. واحد اندازه‌گیری ظرفیت فاراد است.

یک فاراد یکای بسیار بزرگی است و در عمل، ظرفیت اکثر خازن‌های متداول در محدوده میکروفاراد (µF) ، نانوفاراد (nF) و پیکوفاراد (pF) است. خازن‌ها هم به دو دسته کلی خازن متغییر، و خازن ثابت تقسیم می‌شوند.

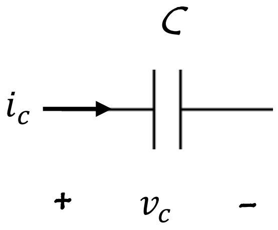


خازن ثابت (عدسی) — خازن قطبی (الکترولیت) — خازن متغییر

رابطه بین مقدار بار ذخیره شده در خازن و ولتاژ دو سر آن به صورت زیر می‌باشد:

$$q = cv$$

رابطه بین جریان عبوری از خازن و ولتاژ دو سر آن به صورت زیر می‌باشد:



$$i_c(t) = \frac{dq}{dt} = C\frac{dv_c(t)}{dt}$$

فرق مهم این قطعه با مقاومت در آن است که خازن دارای حافظه است، یعنی ولتاژ دو سر آن به مقادیر گذشته تا به حال جریان عبوری از آن و مقدار اولیه ولتاژ خازن بستگی دارد.

سلف: سلف، القاگر، یا سیم‌پیچ، قطعه‌ای است که انرژی الکتریکی را به صورت میدان مغناطیسی در خود ذخیره می‌کند.

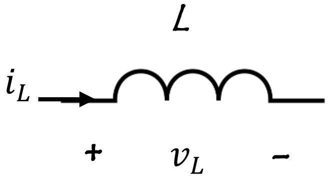
ضریب خودالقایی سلف، که واحد آن بر حسب هانری (H) است، نسبت کل فلوی مغناطیسی ایجاد شده (Φ)، که واحد آن وِبر (Web) است، به جریان گذرنده از سیم‌پیچ (I) بر حسب آمپر (A) است.

لذا خواهیم داشت:

$$L = \frac{\Phi}{I}$$

سلف‌ها هم به دو دسته کلی سلف متغییر، و سلف ثابت تقسیم می‌شوند. همچنین هسته بعضی سلف‌ها آهن، و برخی فریت است. سلف معمولی هم بدون هسته است یا هسته آن هوا است.

رابطه بین جریان عبوری از سلف و ولتاژ دو سر آن به صورت زیر می‌باشد:

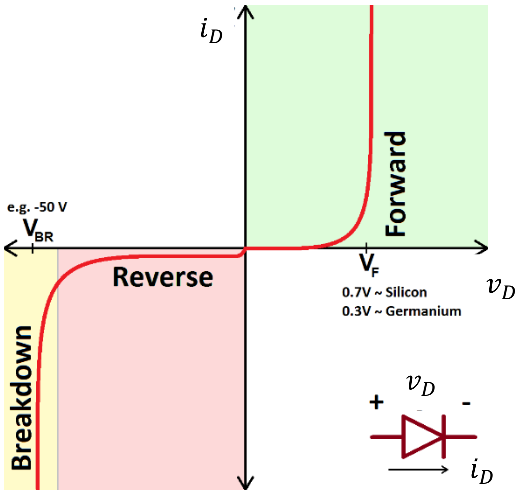


$$v_L(t) = \frac{d\varphi}{dt} = L\frac{di_L(t)}{dt}$$

سلف هم مانند خازن دارای حافظه است، یعنی جریان عبوری از آن به مقادیر گذشته تا به حال ولتاژ دو سرآن و مقدار اولیه جریان سلف بستگی دارد.

تا الان هر سه قطعه‌ای را که معرفی کردیم همه از نوع قطعات پسیو بودند، یعنی هیچ توانی در مدار تولید نمی‌کنند و تنها مصرف کننده توان هستند. قطعاتی را که در ادامه معرفی می‌کنیم، از نوع قطعات اکتیو هستند، یعنی این امکان را دارند تا تحت شرایط مشخصی در مدار توان ایجاد کنند.

دیود: قطعه‌ای دو سر است که از پیوند دو نیمه‌هادی نوع N و P (P-N Junction) تشکیل می‌شود. دیود جریان الکتریکی را در یک جهت از خود عبور می‌دهد (در بایاس مستقیم) و مقاومت بسیار ناچیزی دارد، و در جهت دیگر (بایاس معکوس) از خود مقاومت بسیار زیادی نشان می‌دهد و اجازه عبور جریان الکتریکی را نمی‌دهد. دیود انواع مختلفی دارد و بسته به نوع آن در کاربردهای متفاوتی از آن استفاده می‌شود. رابطه بین جریان دیود و ولتاژ دو سر آن به صورت زیر می‌باشد:

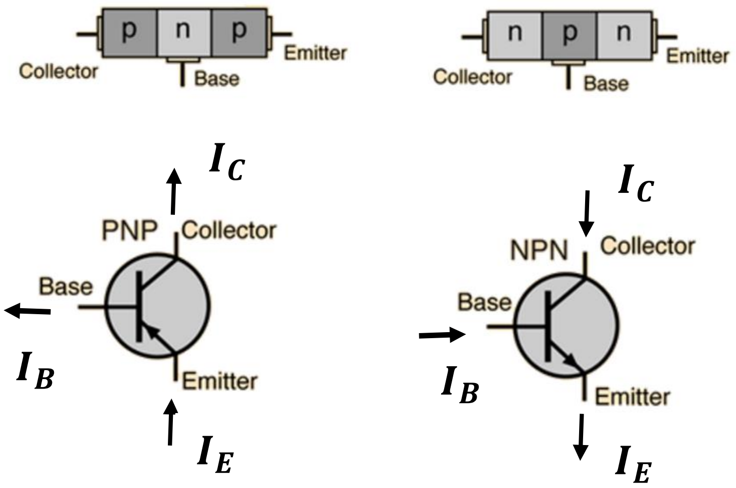


مشخصه ولتاژ-جریان دیود و توضیحات مربوطه

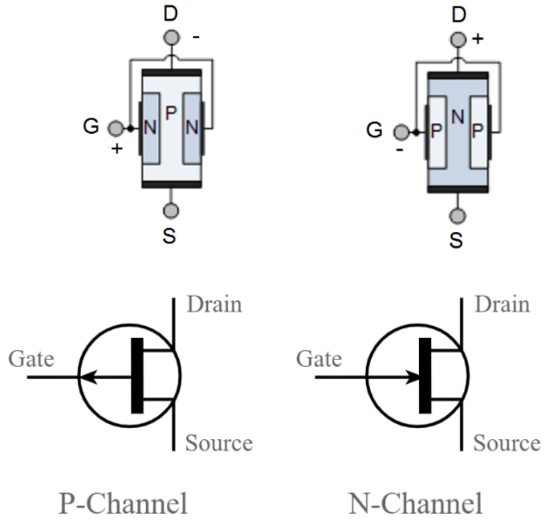
$$i_D \cong (I_s e^{v_D/\eta v_T} - 1)$$

که در آن i_D و v_D به ترتیب جریان و ولتاژدیود، و I_s جریان اشباع معکوس دیود، هستند. v_T در دمای معمولی اتاق (۲۵ درجه) تقریباً برابر با ۲۵ میلی ولت است، و مقدار ثابت η وابسته به جنس دیود و ساختار فیزیکی آن مقداری بین ۱ و ۲ دارد. مقدار η معمولاً برای دیودهایی که در غالب مدارهای مجتمع ساخته می‌شوند ۱، و برای دیودهایی که به صورت مجزا عرضه می شوند ۲ در نظر گرفته می‌شود.

ترانزیستور: قطعه‌ای سه پایه است، که از کنار هم قرار گرفتن و پیوند کریستال نیمه‌هادی‌های نوع N و P تشکیل شده است. ترتیب و شکل قرار گرفتن نیمه‌هادی‌ها به نوع ترانزیستور بستگی دارد. بطور کلی دو نوع ترانزیستور داریم، ترانزیستور پیوندی دو قطبی (BJT)، ترانزیستور اثر میدان (FET) که هر کدام انواع مختلفی دارند. برای ترانزیستور دو قطبی نحوه قرار گرفتن نیمه‌هادی‌ها به دو صورت کلی امکان پذیر است، دو قطعه نیمه‌هادی نوع N در دو طرف و نیمه‌هادی نوع P در وسط (NPN)، و برعکس (PNP). ترانزیستور BJT از سه پایه بیس (B)، کلکتور (C)، و امیتر (E) تشکیل شده است. در ترانزیستور اثر میدان پایه‌ها عبارتند از، گِیت (G)، سورس (S)، درِین (D). ترانزیستور در سال ۱۹۵۶ توسط آقای جان باردین اختراع شد. جالب است بدانید که ایشان دو مرتبه (یک بار بخاطر اختراع ترانزیستور و بار دیگر بخاطر اختراع ابر رسانا) به همراه دو دانشمند دیگر جایزه نوبل را دریافت کردند. دو کاربرد مهم از کاربردهای ترانزیستور امکان ساخت تقویت کننده، و سوئیچ قطع و وصل است، که وابسته به اینکه ترانزیستور را چطور بایاس می‌کنیم و نقطه کار آن در کجا قرار دارد، می‌تواند عملکرد مورد نظر ما را داشته باشد. برای اینکه نقطه کار ترانزیستور را بدانیم نیاز است، ابتدا تحلیل DC ترازیستور را انجام داده، و سپس برای تعیین گین تقویت کنندگی تحلیل AC را انجام دهیم. گین، مقدار نسبت خروجی به ورودی است. مثلاً گین ولتاژ نسبت ولتاژ خرجی مدار به ولتاژ ورودی مدار است.

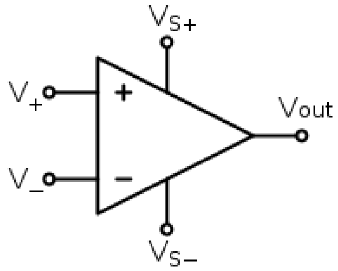


ترانزیستورهای پیوندی دوقطبی NPN و PNP

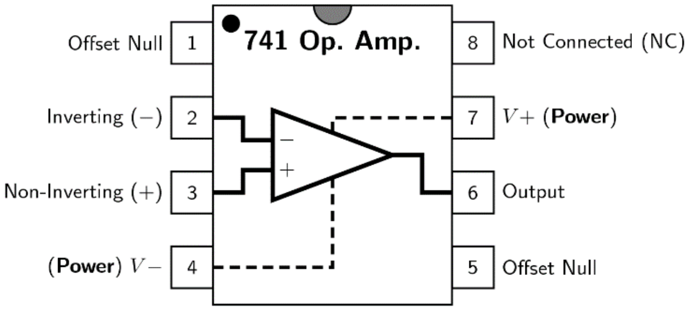


ترانزیستورهای اثر میدان N کانال و P کانال

آپ‌اَمپ: تقویت‌کننده عملیاتی یا آپ‌امپ (Op-Amp) یک تقویت‌کننده ولتاژ، با بهره ولتاژ بسیار بالا است و معمولاً دارای یک سر خروجی و دو سر ورودی است، که سرهای ورودی به صورت تفاضلی عمل می‌کنند. یکی از ویژگی‌های آپ‌امپ ایده‌آل مقاومت ورودی (مقاومتی که از سرهای ورودی دیده می‌شود) بینهایت آن است، و از اینرو جریان پایه‌های ورودی آپ‌امپ صفر است. پایه‌هایی که با علامت Vs_+ و Vs_- مشخص شده‌اند، مربوط به تغذیه DC آپ‌امپ هستند و به ترتیب به منبع تغذیه $+V$ و $-V$ متصل می‌شوند. مدارهای زیادی با استفاده از آپ‌امپ می‌توانیم بسازیم، از جمله تقویت کننده ولتاژ، مقایسه کننده، مدار جمع کننده، فیلترهای بالاگذر و پایین گذر اکتیو و ... . یکی از آپ‌امپ‌های پر کاربرد، LM741 Operational Amplifier است. برای اطلاع از مقادیر پارامترهای مختلف قطعات الکترونیکی (از جمله آپ‌امپ LM741) می‌توانید با جستجو در اینترنت، دیتاشیت (Datasheet) قطعه مورد نظر را مطالعه نمایید.



مدل شماتیک آپ امپ

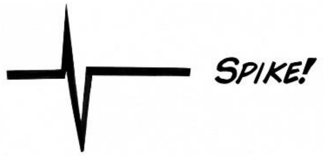


توضیح پایه‌های آپ امپ 741 .

هنوز مطالب بسیار زیادی راجع به این قطعات و قطعات دیگر برای یادگیری وجود دارد، که در اینجا مجال بیان آنها وجود ندارد، و مطالعه آنها را به خواننده می‌سپاریم.

اسپایکرباکس (تیزانه)

همانطور که می‌دانید سیستم عصبی از سلول‌هایی تشکیل شده که همان نورون‌ها هستند. نورون‌ها از طریق ارسال و دریافت سیگنال‌های الکتریکی که به آنها پتانسیل عمل می‌گویند، با هم ارتباط برقرار می‌کنند. این پتانسیل عمل به شکل تیزه یا اسپایک دیده می‌شود، به عبارت دیگر وقتی نورون‌ها فعایت می‌کنند، جیغ بلندی می‌کشند، که همان تیزه است.

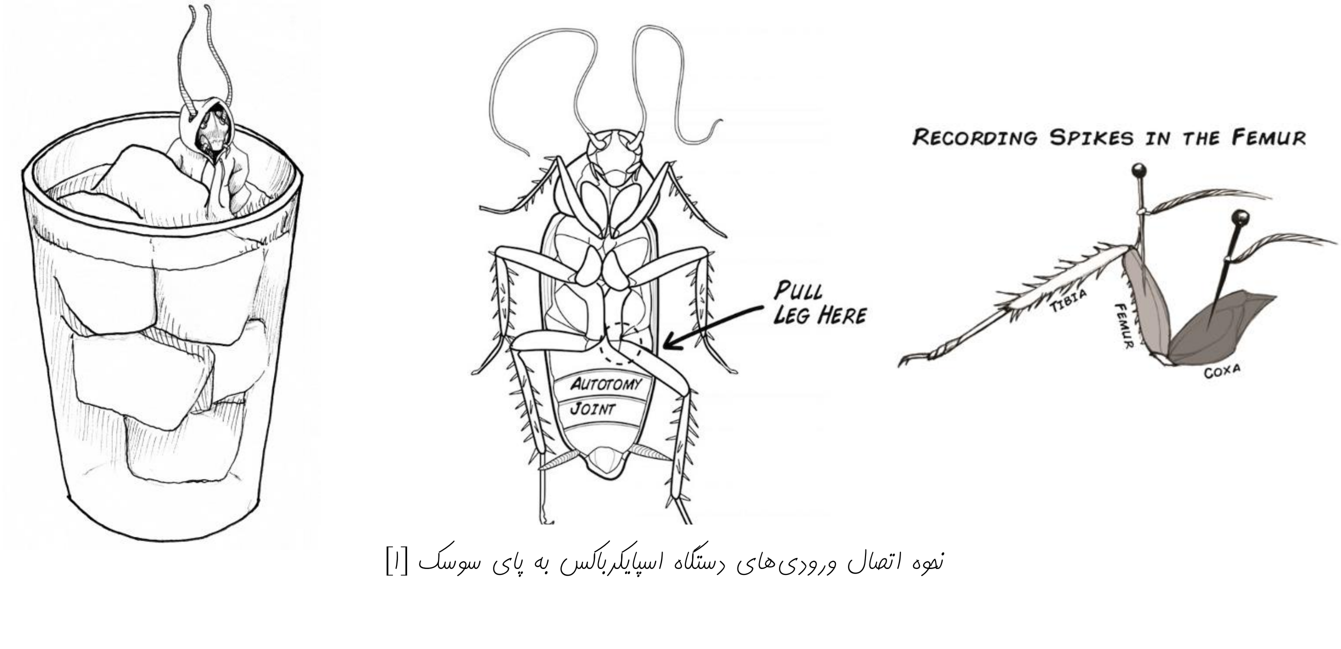


تیزه یا اسپایک [1]

ماهیت این تیزه‌ها به صورت یک پالس الکتروشیمیایی می‌باشد که با مشاهده و ثبت آنها می‌توان از عملکرد و نحوه ارتباط سلول‌ها تا حدی مطلع شد. برای مشاهده این تیزه‌ها نیاز به دستگاهی است که به آن اسپایکر باکس یا تیزانه می‌گویند، یکی از بخش‌هایی که در این جزوه به آن می‌پردازیم بررسی مدار و نحوه عملکرد اسپایکر باکس است.

احتمالاً نام این دستگاه را در طول کارگاه بارها شنیده باشید و حتی ممکن است تا الان از آن استفاده کرده و آزمایش‌هایی نیز انجام داده باشید، اما الان می‌خواهیم ببینیم این دستگاه چطور کار می کند؟!

خب وقتی سوزن اسپایکر باکس را در پای سوسک فرو می کنید، نوک سوزن در بین تعدادی عصب قرار می گیرد، پس هر گاه نورون‌هایی که در اطراف سوزن قرار دارند، سیگنال بفرستند یا به اصطلاح جیغ بکشند، جریان الکتریکی کوچکی از طریق سوزن دریافت می‌شود، در مورد این آزمایش و آزمایش‌های دیگر در بخش الکتروفیزیولوژی بیشتر توضیح داده شده است.



نحوه اتصال ورودی‌های دستگاه اسپایکرباکس به پای سوسک [1]

از آنجاییکه اختلاف پتانسیل سیگنال اسپایک‌ها در محدوده میلی‌ولت است، سیگنال‌های مزاحم (Noise) می‌توانند در این سیگنال‌ها (که مطلوب ما هستند)، اختلال ایجاد کنند. این نویز می‌تواند حاصل از تکان خوردن سوزن، سیم اتصال سوزن به دستگاه، و یا دستگاه‌های برقی اطرافمان باشد که میدان الکترومغناطیسی تولید می‌کنند، از موبایل گرفته تا لامپ مهتابی، و ... (معمولاً برای جلوگیری از ورود نویز زیاد به سیستم از قفس فارادی استفاده می‌کنند). از اینرو سیگنال خام ثبت شده به اندازه‌ای ضعیف و نویزی است که نمی‌شود از آن استفاده‌ای کرد و بعد از دریافت سیگنال قبل از هر کاری باید تقویت، سپس فیلتر، و بعد مجدداً تقویت شود، اما چگونه؟

برای ساخت اسپایکرباکس کلاً سه مرحله را باید طی کنیم، که در ادامه شرح داده شده‌اند:

۱- تقویت اولیه (در اینجا سیگنال ورودی ٤ برابر شده با استفاده از تقویت‌کننده با آپ‌امپ ابزار دقیق)
۲- فیلتر کردن و تقویت مرحله دوم (فیلتر کردن سیگنال از ۳۳۸ هرتز تا ۱۲۹۱ هرتز و ۱۷٤ برابر تقویت سیگنال)
۳- تقویت مرحله سوم (۲۰ برابر) (در صورتی که بخواهیم خروجی به یک بلندگو متتصل شود)

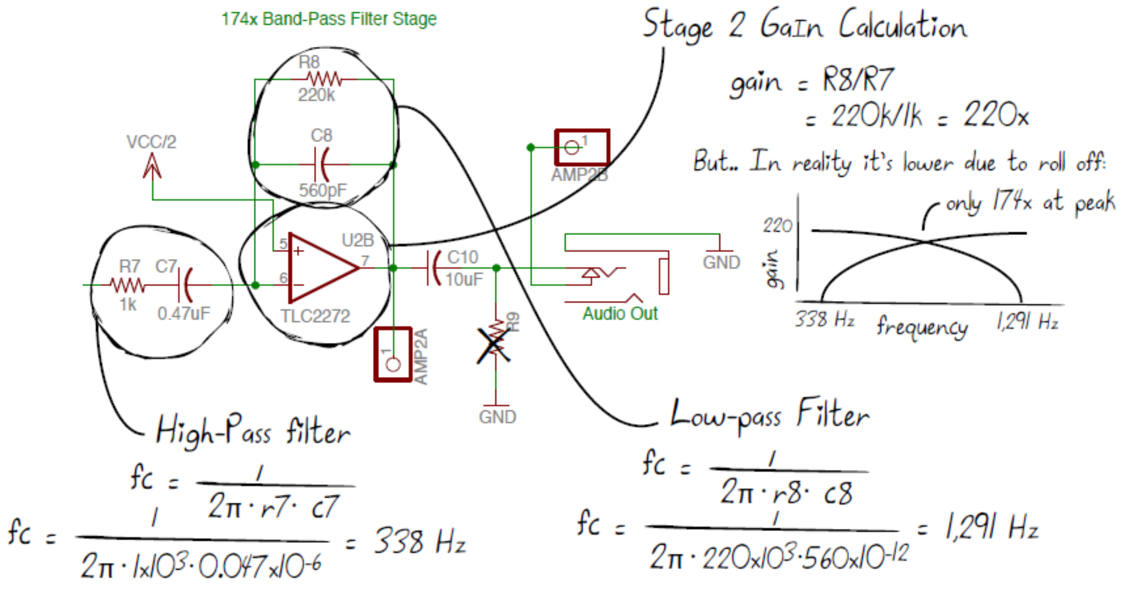
با مبحث آپ‌امپ‌ها و فیلترهای RC (مقاومت و خازن) و RL (سلف و مقاومت)(و مبحث شیرین تبدیل لاپلاس☺) در کارگاه آشنا شدید و الان وقتش هست که از آنها استفاده کنید! همانطور که می‌دانید، سلف و خازن در فرکانس‌های مختلف، رفتاری مشابه یک مقاومت متغییر با فرکانس را از خود نشان می‌دهند، به عبارت دیگر در فرکانس‌های مختلف مثل یک مقاومت عمل می‌کنند که مقدار آن وابسته به آن فرکانس است. به این مقاومت، راکتانس سلف یا خازن نیز می‌گویند. مقدار راکتانس خازن برابر $\frac{1}{c\omega}$ و مقدار راکتانس سلف برابر $L\omega$ است، که در آن c و L به ترتیب ظرفیت‌های خازن و سلف هستند، و $\omega = 2\pi f$ است که f مقدار فرکانس کار است. از اینرو خازن در فرکانس‌های پایین مثل یک مقاومت خیلی زیاد یا مدار باز و در فرکانس‌های بالا مثل مقاومت بسیار کوچک یا اتصال کوتاه عمل می‌کند، و رفتار سلف برعکس خازن است. همانطور که از کارگاه یادتان هست، می‌توانیم با این دیدگاه فیلترهای بالاگذر (high pass filter) و فیلترهای پایین گذر (low pass filter) درست کنیم. البته این فیلترها، فیلترهای پَسیو هستند، چرا که در ساخت آنها تنها از مقاومت و خازن استفاده شده است. با کمک گرفتن از همین ایده و استفاده از آپ‌امپ می‌توانیم فیلترهای بالاگذر و فیلترهای پایین گذر اکتیو بسازیم.

از طرف دیگر سیگنال نورون‌های پای سوسک در محدوده 380Hz-1290Hz است پس باید به کمک فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر (که با هم یک فیلتر میان‌گذر هستند) سیگنال‌های خارج از این محدوده فرکانسی را حذف کنیم. در ساخت اسپایکرباکس از فیلترهای اکتیو استفاده می‌شود که در آنها علاوه بر خازن و مقاومت از آپ‌امپ نیز استفاده می‌شود، که آپ‌امپ هم نقش تقویت کنندگی دارد و هم در ساختار فیلتر نقش دارد. گرچه فرکانس فیلتر شده تنها به ظرفیت خازن و مقدار مقاومت بستگی دارد و مستقل از آپ‌امپ است، ولی با توجه به اکتیو بودن فیلتر، حضور آپ‌امپ در مدار الزامی

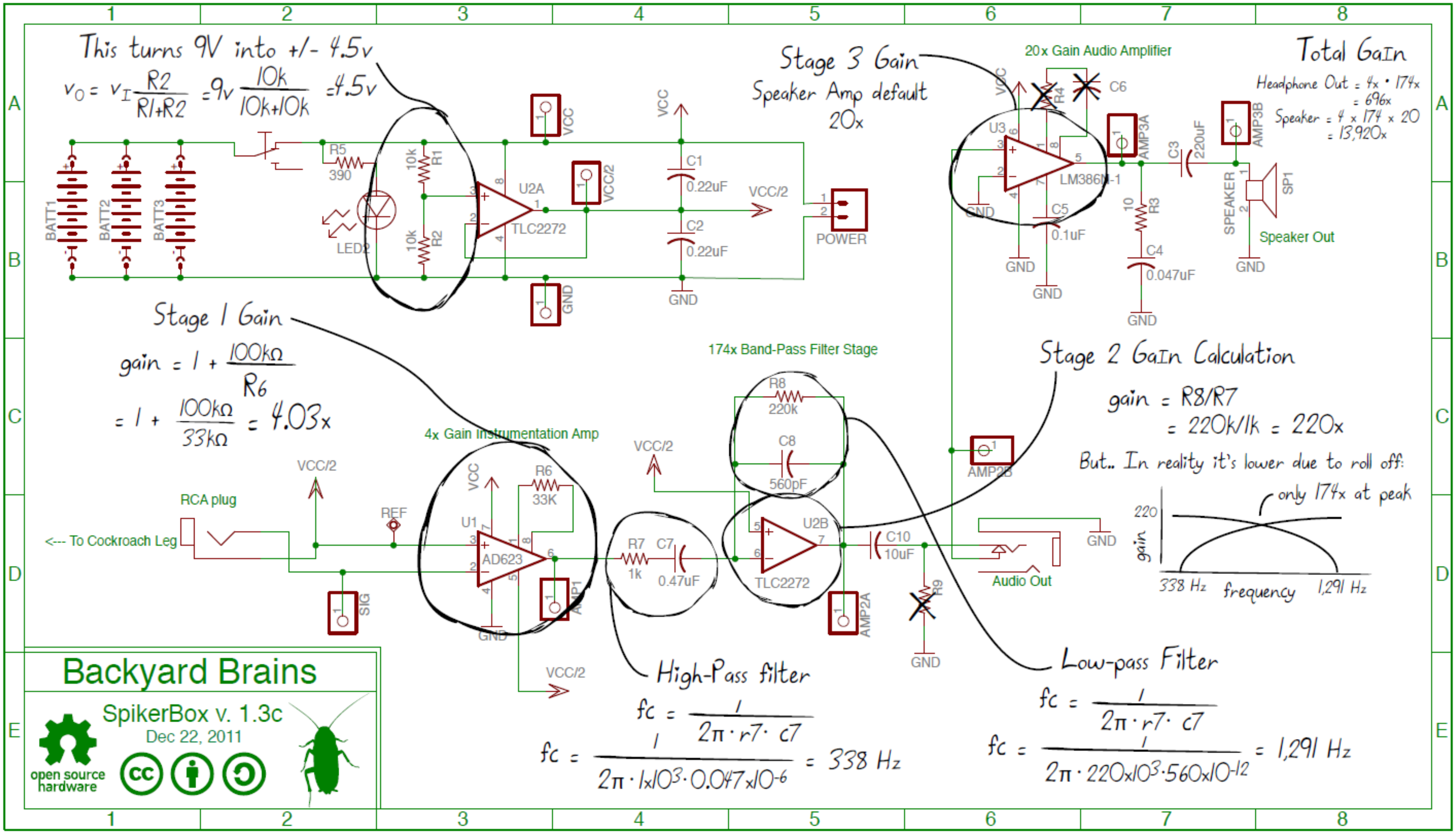
است. در ادامه مدار و محاسبات مربوط به فیلترها که کار تقویت‌کنندگی را هم همزمان انجام می‌دهد، نشان داده شده است. همانطور که در شکل زیر نشان داده شده است، اگر به جای مقادیر خازن، راکتانس آنها (تبدیل لاپلاس آنها) را بنویسیم فرمول فرکانس‌های قطع فیلترها و و گین در مدار فوق را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\frac{V_{out}}{V_{in}} = \frac{-R_8}{R_7}\frac{R_7C_7\omega}{(R_7C_7\omega+1)(R_8C_8\omega+1)} \qquad Gain = \frac{R_8}{R_7}$$

$$\omega_H = \frac{1}{R_7C_7} \Longrightarrow f_H = \frac{1}{2\pi R_7C_7} \qquad \omega_L = \frac{1}{R_8C_8} \Longrightarrow f_L = \frac{1}{2\pi R_8C_8}$$



آپ‌امپ‌ها علاوه بر نقشی که در فیلتر اعمال می‌کنند، نقش تقویت کنندگی نیز دارند، و باید سیگنال خیلی ضعیف عصبی را به اندازه‌ای تقویت کنند تا قابلیت نمایش به وسیله کامپیوتر یا بلندگو را داشته باشند. در اینجا در دو مرحله اول و دوم سیگنال ورودی را در حدود ۷۰۰ برابر (۴×۱۷۴) تقویت کنیم تا قابلیت نمایش بر روی کامپیوتر را داشته باشد. با توجه به نمودار Gain بر حسب فرکانس برای مرحله دوم (همانطور که در شکل نشان داده شده است) حداکثر Gain (که در اینجا همان محل برخورد دو نمودار فیلترهای بالاگذر و پایین‌گذر است)، که در واقعیت می‌توانیم به آن دست پیدا کنیم، فقط 174x می‌باشد. در صورتی که بخواهیم سیگنال را روی بلندگو پخش کنیم یک مرحله دیگر تقویت سیگنال انجام می‌شود (مرحله سوم). در این مرحله سیگنال تقریباً ۲۰ برابر تقویت می‌شود. از اینرو در نهایت خروجی مدار ۴×۱۷۴×۲۰=۱۳۹۲۰ برابر تقویت می‌شود تا ما بتوانیم صدای اسپایک‌ها را در بلندگو بشنویم. و بالاخره این شما و اینم مدار کامل یه اسپایکر باکس (Version 1.3c) از سایت Backyard brains (در صفحه بعد):



This turns 9V into +/- 4.5v
$v_O = v_I \frac{R2}{R1+R2} = 9v \frac{10k}{10k+10k} = 4.5v$
BATT1
BATT2
BATT3
R5
390
LED2
10k R1
10k R2
U2A
TLC2272
VCC
VCC/2
GND
C1 0.22uF
C2 0.22uF
POWER
Stage 3 Gain
Speaker Amp default
20x
20x Gain Audio Amplifier
U3
LM386N-1
R4
C6
C5 0.1uF
AMP3A
C3 220uF
10 R3
C4 0.047uF
AMP3B
SPEAKER
SP1
Speaker Out
Total Gain
Headphone Out = 4x · 174x = 696x
Speaker = 4 x 174 x 20 = 13,920x
Stage 1 Gain
$gain = 1 + \frac{100k\Omega}{R6}$
$= 1 + \frac{100k\Omega}{33k\Omega} = 4.03x$
4x Gain Instrumentation Amp
U1
AD623
R6 33K
AMP1
SIG
REF
RCA plug
<--- To Cockroach Leg
174x Band-Pass Filter Stage
R8 220k
C8 560pF
U2B
TLC2272
R7 1k
C7 0.47uF
C10 10uF
R9
AMP2A
AMP2B
Audio Out
Stage 2 Gain Calculation
gain = R8/R7
= 220k/1k = 220x
But.. In reality it's lower due to roll off:
only 174x at peak
220
gain
338 Hz
frequency
1,291 Hz
High-Pass filter
$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot r7 \cdot c7}$
$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot 1\times10^3 \cdot 0.047\times10^{-6}} = 338\ Hz$
Low-pass Filter
$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot r7 \cdot c7}$
$f_c = \frac{1}{2\pi \cdot 220\times10^3 \cdot 560\times10^{-12}} = 1{,}291\ Hz$
Backyard Brains
SpikerBox v. 1.3c
Dec 22, 2011
open source hardware

یکی از آپ‌امپ‌هایی که در مدار اسپایکرباکس استفاده شده AD623 است، که متعلق شرکت Analog Devices است، و از نوع آپ‌امپ‌های ابزار دقیق یا Instrumentation می‌باشد. در مدار داخلی این آپ‌امپ، سه آپ‌امپ وجود دارد، و طوری طراحی شده‌اند که در نهایت در AD623 سرهای مثبت و منفی هر دو امپدانس بالایی دارند و در صورتی که سیگنال ورودی را به صورت تفاضلی به ورودی این آپ‌امپ بدهیم، مقداری از نویز که در هر دو ورودی یکسان است را حذف می‌کند، و بخش تفاضلی دو سیگنال را تقویت می‌کند.

در مرحله دوم از آپ‌امپ TLC2272 استفاده شده است، این آپ‌امپ تغذیه به صورت تک ولتاژ است، و از اینرو آپ‌امپ توسط مقدار Vcc/2 تغذیه شده است. همانطور که در شکل شماتیک مدار دیده می‌شود، این IC با نام U2A و U2B است، در واقع در داخل آپ‌امپ TLC2272 دو آپ امپ وجود دارد، که یکی از آنها برای U2A و دیگری برای U2B استفاده می‌شود. به عبارت دیگر وقتی گفته شده U2 یعنی آپ امپ (آی سی) شماره ۲ که هم برای A استفاده می‌شود و هم برای B. از آنجاییکه در بازار ایران آپ‌امپ TLC2272 نایاب است، می‌توان از آپ امپ OP07 استفاده کرد. متنها چون در داخل این آی سی فقط یک آپ امپ وجود دارد، یک OP07 برای U2A و یکی دیگر برای U2B باید استفاده شود. فقط توجه کنید که پایه های ورودی و خروجی TLC2272 و OP07 ممکن است باهم فرق داشته باشند و برای اینکه پایه ها به درستی متصل شوند باید دیتاشیت آنها را باهم مقایسه کنید و پایه های معدل را پیدا کنید.

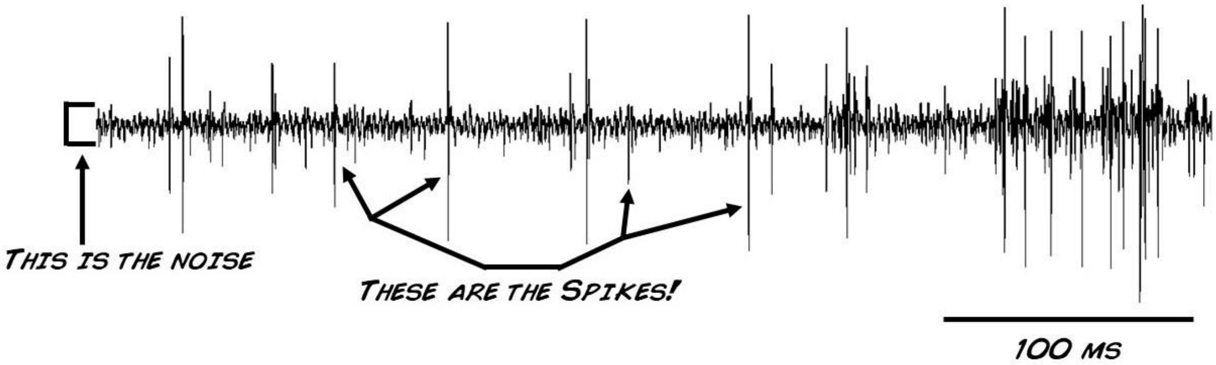
در مرحله سوم با استفاده از یک آی‌سی تقویت‌کننده صوتی (LM386)، سیگنال را برای اتصال به بلندگو آماده می‌کند. در صورتی که به جای این مدار از یک مدار تقویت کننده کلاس-D استفاده کنید، به احتمال خیلی زیاد سیگنال صوتی با کیفیت‌تری دریافت خواهید کرد.

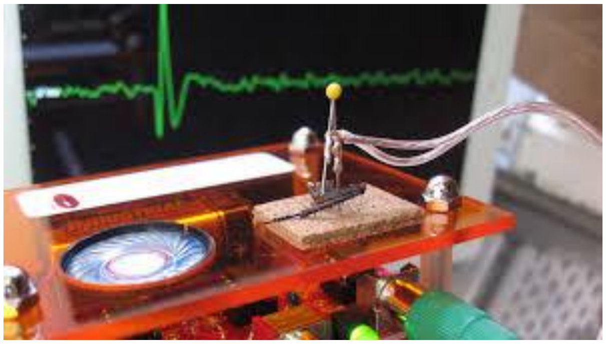
حالا در صورتی که همه قسمت‌ها را درست انجام داده باشید و از قطعات و کابل مناسب استفاده کرده باشید، با اتصال سوزن‌هایی که توسط یک زوج سیم به فیش ورودی متصل شده‌اند، به پای سوسک (همانطور که در شکل نشان داده شده است) و در نهایت تحریک پرزهای قسمت Tibia پای سوسک، صدای اسپایک‌ها را خواهید شنید! (در جزوه نوروفیزیولوژی جزییات بیشتری مطرح شده است)

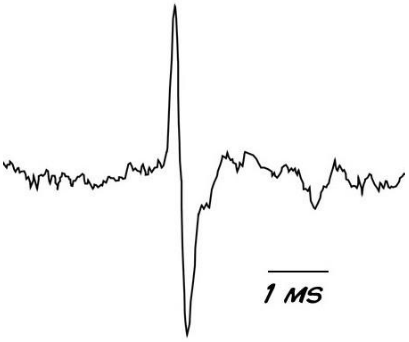
حالا خروجی مدار را (از جایی که جک خروجی وجود دارد) به ورودی هدفون کامپیوتر بدهید و توجه کنید که کابل AUX ایی که استفاده می‌کنید، باید حتماً حتماً مانند شکل زیر سَری که به لپ‌تاپ متصل می‌شود، از نوع ٤ قسمتی باشد (که صدای هدفون را از میکروفون جدا می‌کند) و سر دیگر که به خروجی دستگاه اسپایکرباکس متصل می‌شود، ۳ قسمتی باشد. در سایت Backyardbrains.com (شرکت بکیارد یکی از تولیدکنندگان دستگاه‌های آموزشی در حوزه علوم اعصاب است، که مدار

بسیاری از دستگاه‌ها و آزمایش‌های جالب و مباحث آموزنده‌ای در این حوزه را در اختیار مخاطبان خود قرار داده است) نرم افزاری به نام Spike recorder وجود دارد که با دانلود و نصب آن، می‌توانید وقتی که خروجی دستگاه را به کامپیوتر متصل کرده‌اید، به جای اینکه صدای اسپایک‌ها را بشنوید، شکل آنها را ببینید. یک نمونه از خروجی دستگاه در شکل صفحه بعد نشان داده شده است.

کابل AUX استفاده شده در اسپایکرباکس [1]







نتایج حاصل از ساخت دستگاه اپایکرباکس و مشاهده اسپایک‌های پای سوسک [1]

روش‌های ثبت سیگنال‌های مغزی

دستگاهایی که با استفاده از آنها سیگنال‌های مغزی را ثبت می‌کنند، بطور کلی به دو دسته تقسیم می‌شوند:

۱- دسته اول، دستگاه‌هایی هستند که به روش‌های مختلف، فعالیت الکتریکی مغز رو اندازه‌گیری می‌کنند، مثل EEG [1]، MEG [2] و دستگاه‌های الکتروفیزیولوژی مثل اسپایکرباکس. با استفاده از EEG سیگنال‌های الکتریکی که حاصل از فعالیت نورون‌ها هستند را ثبت می‌کنند. در MEG هم میدان مغناطیسی به وجود آمده از انتقال پیام عصبی را ثبت می‌کنند.

۲- دسته دوم، دستگاه‌هایی هستند که فعالیت نورون‌ها را به صورت غیر مستقیم می‌سنجند، که اینها هم خودشان به دو دسته تقسیم می‌شوند:

یک سری فعالیت متابولیک (مثل مصرف اکسیژن یا گلوکز) را در جمعی از نورون‌ها اندازه می‌گیرند مانند دستگاه PET scan[3] . یک سری دیگر هم هستند که فعالیت همودینامیک (یعنی تغییرات مرتبط با جریان خون، حجم خون یا حجم اکسیژن خون) را اندازه‌گیری می‌کنند، و نتیجه را به عنوان نمادی از فعالیت نورون‌ها ثبت می‌کنند، مانند دستگاه‌های F-MRI [4] و FNIRS [5] .

البته اگر هوس کار با این دستگاها را دارید باید به EEG و FNIRS قانع باشید چون قیمت بالایی ندارند، و به راحتی قابل ساخت هستند، ولی بقیه دستگاه‌ها قیمت بسیار بالایی دارند و حتی ممکن است بعضی از آنها مثل MEG را در ایران پیدا نکنید. در صورتی که خواستید در مورد ساخت یک دستگاه FNIRS ساده بیشتر مطالعه کنید، می‌توانید به جزوه الکترونیک ۲ سال پیش مراجعه کنید.

الکتروانسفالوگرافی EEG

قبل از ورود به بخش ثبت از مغز انسان و EEG، اجازه بدهید با یک مثال خیلی قشنگ از Backyard brains فرق آن را با اسپایکرباکس توضیح بدهیم.

---

[1] Electroencephalography
[2] Magnetoencephalography
[3] Positron Emission Tomography scan
[4] Functional Magnetic Resonance Imaging
[5] Functional Near-Infrared Spectroscopy

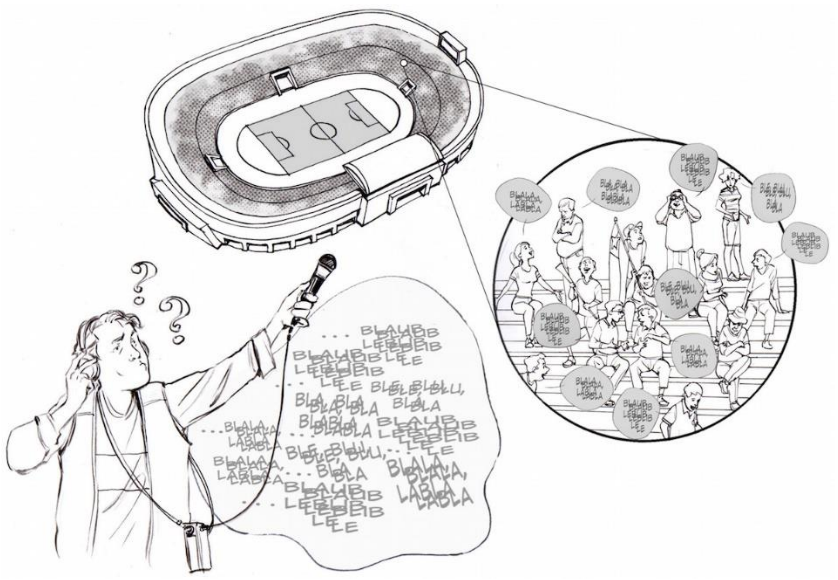
فرض کنید در یک اتاق با چند نفر از دوستانتان نشسته‌اید، قطعاً شنیدن صحبت‌های یکی از آنان در اتاق، کار سختی نیست و اگر تعداد آن‌ها کم باشد، حتی اگر همه آن‌ها همزمان نیز صحبت کنند، باز هم می‌شود صحبت‌های یکی از آنان را به راحتی تشخیص داد. این حالت دقیقاً شبیه همان حالتی است که با اسپایکرباکس از عصب پای سوسک سیگنال می‌گیرید. وقتی سوزن در عصب پای سوسک قرار می‌گیرد، سیگنالِ تعداد محدودی از نورون‌های اطراف خود را دریافت می‌کند، که تشخیص فعالیت هر کدام از آن‌ها امکان پذیر است (به این شیوه ثبت عصبی شیوه تهاجمی(invasive) گفته می‌شود).

وقتی می‌خواهیم از مغز انسان سیگنال بگیریم، واضح هست که مثل سوسک نمی‌توانیم الکترود را داخل سر یک انسان سالم فرو کنیم (البته در بعضی موارد مانند درمان بیماری‌ها، مانند پارکینسون این کار انجام میشه ولی برای یک ثبت عصبی امکان پذهیر نیست).

به شیوه‌ای که در آن سیگنال عصبی، یا فعالیت نورون‌ها، بدون آسیب رساندن به فرد، دریافت می‌شود، شیوه‌های غیر تهاجمی (non-invasive) گفته می‌شود، مثل سیگنال EEG که در آن، برای ثبت عصبی از مغز انسان به کمک تعدادی الکترود از روی پوست سر، سیگنال را دریافت کنیم.

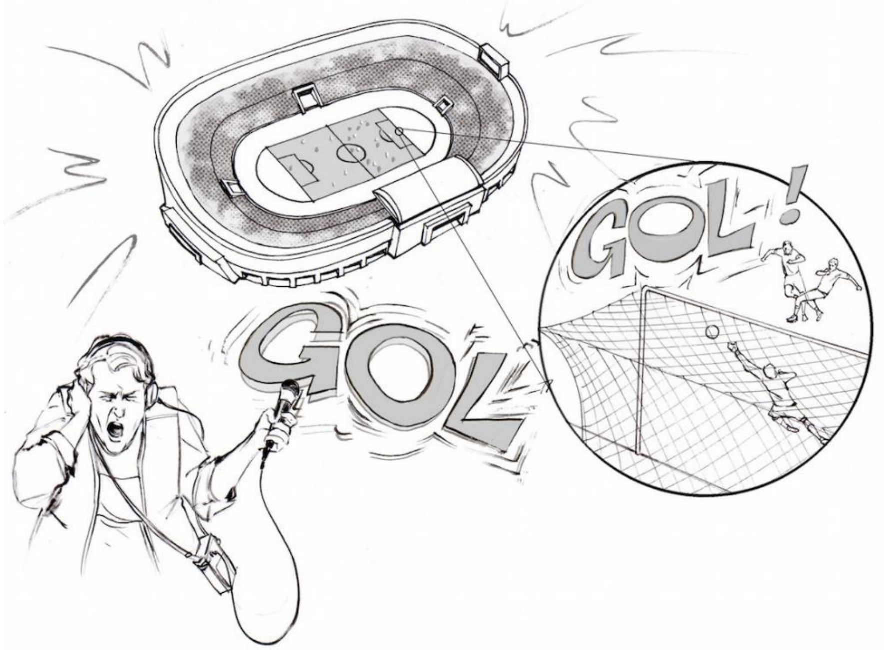
این حالت شبیه حالتی است که بیرون یک استادیوم پر از جمعیت ایستاده‌اید و می‌خواهید صدای یک نفر خاص را در بین جمعیت حاضر در ورزشگاه بشنوید.

واضح است چنین کاری تقریباً غیر ممکن است چون مخلوطی از صدای تمام افراد داخل استادیوم به ما می‌رسد و تفکیک صدای افراد مختلف غیر ممکن است.



حالا فرض کنید تمام افراد داخل استادیوم همزمان مشغول خواندن سرود ملی باشند. در این حالت به دلیل نظم و هم‌صدایی مردم، از بیرون استادیوم به راحتی می‌توان متن آهنگ را متوجه شد. این حالت در مغز مشابه حالتی است که امواج آرام و منظمی مانند امواج آلفا در هنگام بسته بودن چشم یا خواب منتشر می‌شوند. این امواج به دلیل ریتم خاص و ایجاد شدن توسط تعداد زیادی از نورون‌ها به راحتی قابل تشخیص و ثبت می‌باشند.

اما بلندترین صدایی که می‌تواند به گوش برسد مربوط به هنگامی است که در طول بازی گل به ثمر می‌رسد. در این حالت تعداد زیادی از افراد حاضر در جمعیت به طور همزمان فریاد میزنند گـــــــــــــل!!! این حالت در مغز مشابه حالتی است که در واکنش به یک محرک، تعدادی از نورون‌ها به طور ناگهانی و همزمان اسپایک زده و به اصطلاح جیغ می‌کشند.



این واکنش ناگهانی نورون‌ها به یک محرک خاص نیز قابل دریافت و ثبت از روی پوست سر می‌باشد. در گاهی موارد تولید این اپیلپسی[6] (اسپایک انفجاری و همزمان نورون‌ها) می‌تواند بسیار خطرناک نیز باشد.

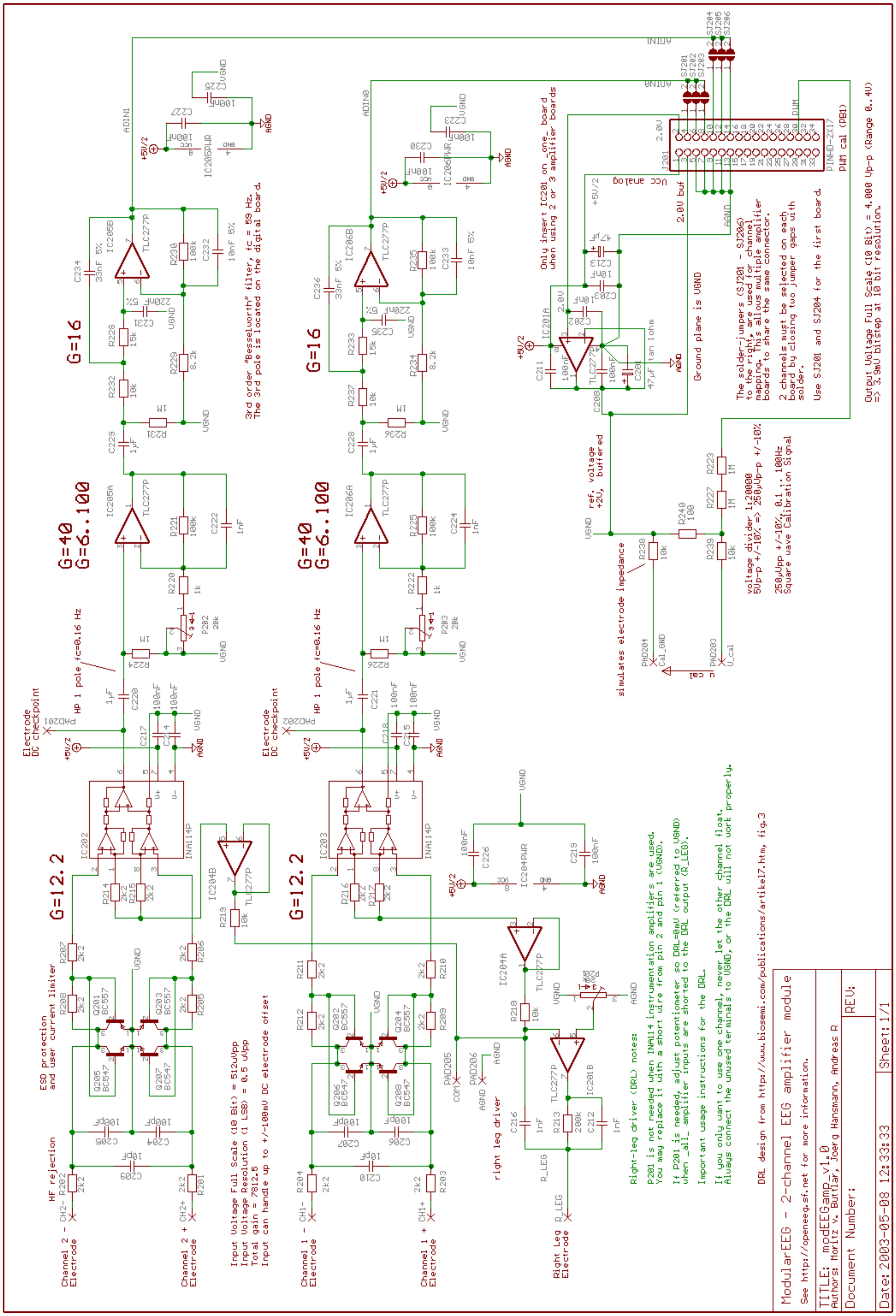
خب حالا بریم سراغ ساخت دستگاه EEG ، همونطور که می‌دانید سیگنالی که از روی پوست سر دریافت می‌کنیم هم خیلی ضعیفه و هم خیلی نویز داره. شیوه ساخت و کار EEG تقریباً مشابه اسپایکر باکس هست و عمدتاً از تعدادی فیلتر و تقویت کننده تشکیل شده، و ممکن است تعداد فیلترها و تقویت کننده‌ها متفاوت باشد. فرکانس فیلترها هم باید با فرکانس سیگنال‌های مغزی که می‌خواهیم ثبت کنیم متناسب باشد. در بخش ضمائم مدار ساده‌ای از دستگاه EEG از سایت Backyard brains آورده شده است، که برای ارتباط آن با کامپیوتر از برد آردوینو استفاده شده است (که کدهای مربوط به آن را می‌توانید از سایت Backyard brains بگیرید).

همچنین در ادامه مدار دیگری برای EEG نشان داده شده است، همانطور که می‌بینید منطق ساخت دستگاه‌ها تقریباً یکسان است، با این تفاوت که در ورودی مدار نشان داده شده در شکل صفحه بعد، برای جلوگیری از ورود ولتاژهای بالا و شوک الکتریکی به دستگاه، (همونطور که در شکل مدار EEG می‌بینید) از یک مدار ترانزیستوری محافظ (که به آن مدار Protection هم می‌گویند) استفاده کرد. بعد از عبور سیگنال از مدار Protection سیگنال وارد یک مدار تقویت کننده از نوع تقویت کننده‌های با آپ‌امپ Instrumentation می‌شود، و بعد از آن یک مرحله تقویت و یک مرحله هم تقویت و فیلتر می‌شود. همچنین در این مدار قسمت‌های دیگری برای حذف ولتاژ آفست وجود دارد که در صورتی که تمایل داشتید می‌توانید آن را به عنوان تمرین امتیازی بررسی کنید.

---

[6] Epilepsy

در شکل زیر مدار EEG که توضیح داده شد، نشان داده شده است:



تمرین‌ها

۱- در مورد انواع مدارهای تقویت کننده و فیلترهای اکتیو با آپ‌امپ تحقیق کنید و شکل مدارهای آنها را رسم کرده و روابط مربوط به هر کدام را توضیح دهید؟

۲- نحوه عملکرد و جزییات مدار EEG (Backyard brains) که در قسمت پیوست جزوه داده شده است را به تفصیل شرح دهید؟

۳- دستگاه Spiker box را بسازید (برای ساخت با استفاده از نرم افزار Proteus مدار را شبیه‌سازی کنید و نتیجه آن را گزارش کنید، همچنین می‌توانید با نرم افزارهای Proteus یا Altium Designer برد مدار چاپی را طراحی کنید).

تشکر و قدردانی

از آقای آرین ظروفی که را در برگزاری کارگاه‌ها و تهیه این جزوه همکاری داشتند، کمال تشکر را دارم.

اطلاعات تماس

اگر در مورد جزوه و مطالعات مرتبط با آن سوالی داشتید می‌توانید با ایمیل‌های زیر با ما در تماس باشید:

m.ali.damavandi@gmail.com
mohammadfaraji228@gmail.com

منابع

[۱] سایت Backyardbrains.com .

[۲] کتاب الکترونیک عمومی ۱ و الکترونیک عمومی ۲ فنی و حرفه‌ای.

[۳] کتاب مبانی الکترونیک دکتر سید علی میرعشقی جلد اول.

[٤] کتاب "Microelectronic Circuits" Adel S. Sedra, Kenneth C. Smith,.

[٥] سایت Openeeg.sf.net .

[٦] سایت Arduino.cc .

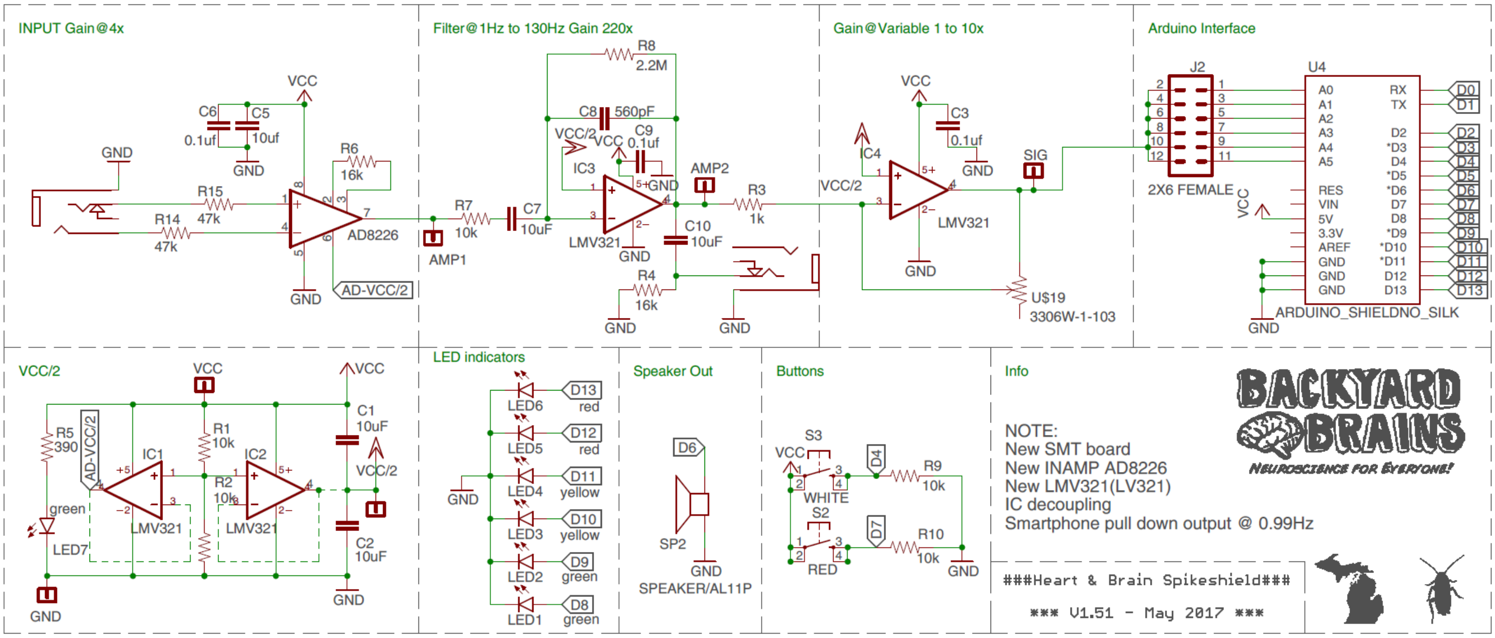
با آرزوی موفقیت.

محمدعلی دماوندی

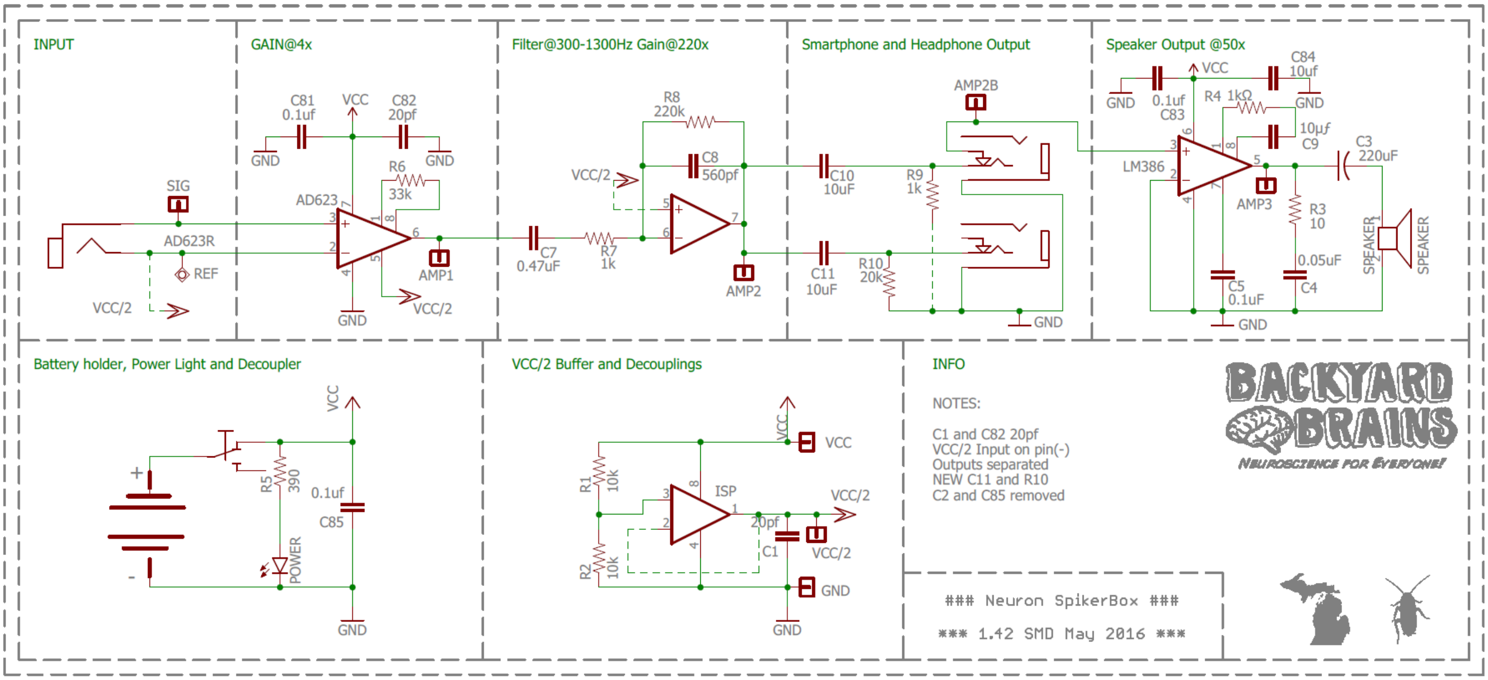
پیوست‌ها

در زیر مدار دستگاه‌های EEG و Spiker Box از سایت Backyard brains آورده شده است، شما می‌توانید با مراجعه به این سایت علاوه بر دسترسی به طرح مدار چاپی با بسیاری از مدارهای دیگر آشنا شوید.

مدار EEG



مدار Spiker Box



دستگاه EMG [7]

همانطور که با دستگاه اسپایکرباکس صدای فعالیت نورون‌های پای سوسک را شنیدید، می‌توانید دستگاهی بسازید که با استفاده از آن صدای سیگنال اعصاب حرکتی و عضلات را بشنوید، و یا آن‌ها را ثبت کنید. روش ساخت دستگاه ثبت سیگنال عضله که به آن EMG می‌گویند، تقریباً مانند دستگاه اسپایکرباکس است. همانطور که می‌شود از سیگنال عضله ثبت گرفت، اگر یک سیگنال (پالس) در همان رنج فرکانسی به آنها بدهیم، مثل حالتی که مغز به عضلات فرمان حرکت می‌دهد، می‌توان ماهیچه‌ها را به حرکت در آورد.

اسم دستگاهی که این کار را می‌کند muscle functional electrical stimulation است، که به آن EMG stimulation هم گفته می‌شود. این بدان معنی است که می‌شود با تولید پالس مورد نظر، درست کاری کرد که دست انسان با فرمان یک نفر دیگر بالا بیاید، بدون اینکه خودش خواسته باشد. برای ساخت این دستگاه می‌توانید با جستجو در اینترنت مدارهای مختلفی را پیدا کنید و با منطقی که آموخته‌اید، مدار مورد نظر خودتان را بسازید.

دستگاه Robo Roach

همانطور که در دستگاه دیدید، علاوه بر ثبت فعالیت سیستم عصبی، می‌توان به وسیله اعمال ولتاژ مناسب به سیستم عصبی عضلات آنها را تحریک کرد. ایده جالبی خواهد بود اگر بشود کاری کرد که یک سوسک زنده مثل ماشین‌های اسباب بازی کنترلی با یک کنترل یا حتی با یک اپلیکیشن روی گوشی موبایل قابل کنترل کردن باشد. شاید ابتدا کمی غیر عادی و تخیلی به نظر بیاید ولی نه تنها شدنی است بلکه ساختن این دستگاه کار راحتی است.

سوسک‌ها ۲ تا شاخک دارند، و همانطور که می‌دانید گیرنده‌های عصبی خیلی قوی برای سوسک محسوب می‌شوند. ولی یه چیز دیگر که شاید تا به حال زیاد اسم آن را نشنیده باشید، یک عضو در بخش انتهایی بدن سوسک به اسم Cerci یا cercus است. Cerci یکی از حساس‌ترین گیرنده‌های عصبی سوسک و در واقع عامل فرار ناگهانی سوسک در هنگام احساس خطر است. سرسی به اندازه‌ای حساس است که می‌تواند کوچک‌ترین تغییرات محیط، هنگام نزدیک شدن خطر را احساس کند و بخش جالب‌تر این است که سرسی بطور مستقیم به سیستم حرکتی سوسک وصل است، و در صورت تحریک، سوسک بی‌درنگ، رو به جلو حرکت می‌کند تا از خطر دور شود و بعد از چند ثانیه، سیستم عصبی مرکزی سوسک اطلاعات را تحلیل کرده و سوسک تشخیص می دهد که خطر در کدام سمت است و مسیر خود را به جهتی تغییر می دهد که از آن دور شود (به همین دلیل است که وقتی می‌خواهید سوسکی را بکشید، اگر جلوی سوسک ایستاده باشید وقتی به سمت سوسک

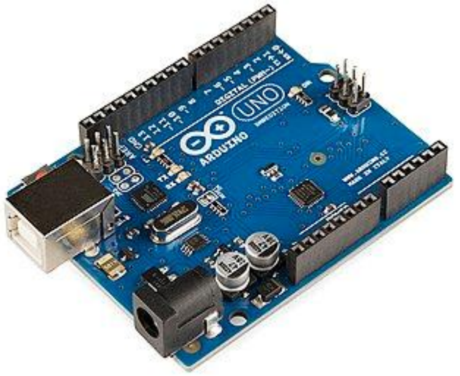
[7] Electromyography

می‌روید تا چند ثانیه سوسک به جای اینکه از شما دور شود به سمت شما می آید و پس از چند ثانیه مسیر خود را عوض می کند!).

خب پس اگر یک پالس در محدوده میلی ولت و فرکانس کار عصب سوسک، به سرسی برهیم، سوسک رو به جلو حرکت خواهد کرد. اگر سیگنال را به شاخک راست سوسک بدهیم، و شاخک را تحریک کنیم، این تصور را در سوسک ایجاد کرده‌ایم که در آن سمت خطری هست و از اینرو سوسک به سمت چپ حرکت می‌کند، و برعکس اگه به شاخک چپ سیگنال بدهیم، سوسک به سمت راست حرکت می کند. همچنین، به عنوان پتانسیل مرجع یک سیم را در کمر سوسک قرار می‌دهند، و بقیه اختلاف پتانسیل‌ها و سیگنال‌ها را نسبت به آن اعمال می‌کنند. با همین ۳ فرمان ساده می‌توان سوسک را مثل یک ربات کنترل کرد و با استفاده از ریموت کنترل و پالس دادن به شاخک‌ها و سرسی کاری کرد که سوسک مسیری که ما می‌خواهیم را طی کند. البته باید توجه داشت که ممکن است سوسک به این روش سیگنال دادن عادت کند و پس از مدت کوتاهی دیگر عکس‌العملی نشان ندهد. البته در جزوه الکتروفیزیولوژی شکل روبو روچ رو به همراه یکسری توضیحات دیگه خواهید دید.

آردوینو

یک برد بسیار کاربردی است، که با استفاده از یک میکروکنترلر AVR یا ARM به صورت متن باز (Open source) طراحی شده تا به نوعی بتوان با آن به میکروکنترلر آزادی بیشتری داد و از انواع ورودی ها و خروجی های آنالوگ و دیجیتال برای کاربردهای مختلف استفاده کرد. آردوینو با دارا بودن رابط USB می‌تواند به راحتی به کامپیوتر متصل شده و برنامه‌ریزی شود. علاوه بر این آردوینو به همراه یک محیط یکپارچه توسعه نرم‌افزار (IDE [8]) ساده ارائه می‌شود که قابل اجرا بر روی کاپیوترهای معمولی را دارد، محیط کاربر پسندانه‌ای داشته، و امکان برنامه‌نویسی تحت C و C++ را دارد. با این برد در ویدیویی که با نام آشنایی با آردوینو است و لینک آن در بخش دستورالعمل آمده است بیشتر آشنا خواهید شد.



[8] Integrated Development Environment

ماژول‌ها

در این ادامه دو ماژول کاربردی را معرفی می کنیم:

۱. ماژول بلوتوث:

از این ماژول برای ارتباط بی‌سیم مدارها بصورت اتصال بلوتوث استفاده می‌شود. مشابه این ماژول در اغلب دستگاه‌هایی که قابلیت ارتباط بلوتوث دارند، وجود دارد. به عنوان مثال می‌توانید از این ماژول برای کنترل بی‌سیم روبورو.

۲. ماژول EEG نورواسکای (NeuroSkyTGAM1 module): در جزوه شیوه ساخت EEG را بطور کلی معرفی شد. برای ساخت EEG می‌توانید با کمک این مدار کوچک می‌توانید سیگنال‌های مربوط به Attention ، Meditation، و امواج دلتا، تتا و آلفا را ثبت کنید.