فصل دوم فیزیک یازدهم

جریان الکتریکی

در سیستم موتور خودروهای هیبریدی از موتورهای درون سوز بنزینی و الکتریکی با هم استفاده می شود

بهبود کیفیت باتری خودروهای الکتریکی و هیبریدی مورد توجه پژوهشگران است

یک نوع از این باتری ها، باتری لیتیمی است که یکی از قطبهای آن لیتیم و قطب دیگرآن کربن است

از مشکلات این خودروها یکی این است که شارژ کردن باتری این خودروها به چند ساعت زمان نیاز دارد

یکی از این راه های بهبود کیفیت این باتری ها استفاده از منبع‌های نیروی محرکه است که از ابر خازنها استفاده میکند

یک مدار الکتریکی ساده که از لامپ (مصرف کننده) ، باتری (منبع تغذیه) ، کلید و سیم های رابط تشکیل شده است

مهندسان مخابرات نگران اختلالات ناشی از فوران های خورشیدی هستند

فیزیولوژیست ها و مهندسان پزشکی با جریان های الکتریکی در رشته های عصبی سر و کار دارند

جریان الکتریکی ناشی از شارش بارهای متحرک است عقیل اسکندری 09125164028 منطقه سه تهران

همه بارهای متحرک، جریان ایجاد نمی کنند

برای اینکه جریان الکتریکی داشته باشیم، باید یک انتقال (شارش) خالص بار از یک سطح مقطع معین رخ دهد به این منظور نیاز به ابزاری مانند باتری داریم تا با ایجاد یک میدان الکتریکی، بارها را در جهت معینی به حرکت درآورد

الکترونهای آزاد در طول یک سیم با تندی هایی از مرتبه $10^6\ \mathrm{m/s}$ در حرکت اند، ولی این حرکت به طور کاتورهای در همه جهت هاست بنابراین، هیچ شارش خالص باری از مقطعی معین نداریم

در نبود اختلاف پتانسیل ، شارش بار خالصی از مقطع معین یک سیم ، نداریم.

اگر سیمی را در مداری الکتریکی قرار دهیم اختلاف پتانسیلی در دو سر سیم و میدانی الکتریکی درون آن ایجاد می شود و باعث حرکت الکترونهای آزاد در سیم و ایجاد جریان می شود

در حضور اختلاف پتانسیل، شارش بار خالص از مقطع سیم، دیگر برابر صفر نیست .

در واقع وقتی میدان الکتریکی درون فلز ایجاد می شود، الکترون ها حرکت کاتورهای خود را کمی تغییر می دهند و با سرعت متوسطی موسوم به سرعت سوق در خلاف جهت میدان به طور بسیار آهسته ای سوق پیدا می کنند که این موجب برقراری جریان الکتریکی در رسانا می شود

سرعت سوق در یک رسانای فلزی معمولا از مرتبه $1\mathrm{mm/s}$ است. عقیل اسکندری 09125164028 منطقه سه تهران

مسیر یک الکترون آزاد در یک رسانای فلزی. در حضور میدان الکتریکی زیگزاگ و در خلاف جهت میدان سوق می باشد

جهت قراردادی جریان الکتریکی بر خلاف جهت سوق الکترون هاست

تعریف جریان الکتریکی متوسط $I=\dfrac{\Delta q}{\Delta t}$

بار خالص Δq در بازه زمانی Δt از مقطعی از رسانا می گذرد عقیل اسکندری 09125164028 منطقه سه تهران

بار الکتریکی (Δq) برحسب کولن (C)، مدت زمان (Δt) برحسب ثانیه (s) و جریان (I) بر حسب آمپر (A) است

جریان مستقیم یعنی در آن جهت جریان با زمان تغییر نمی کند و مقدار جریان ثابت می ماند.

برخی از مقادیر تقریبی جریان های متداول

$1\mathrm{nA}$ برای جریان نورون های مغزی

$1\mathrm{mA}$ برای تأمین انرژی نمایشگر گوشی همراه

$1\mathrm{A}$ برای لامپ حبابی $100\mathrm{W}$

200A برای استارت خودرو

10kA در یک یورش آذرخش نوعی

1GA در بادهای خورشیدی

در رابطه $\Delta q = I(\Delta t)$ اگر I برحسب آمپر و Δt برحسب ساعت باشد، یکای Δq، آمپر -ساعت می شود

باتری خودروها با آمپر - ساعت (Ah) و باتری گوشی های همراه با میلی آمپر ساعت (mAh) مشخص می شود. هرچه آمپر - ساعتِ یک باتری بیشتر باشد حداکثر باری که باتری می تواند از مدار عبور دهد تا به طور ایمن تخلیه شود، بیشتر است.

الکترونهای آزاد هنگام حرکت در رسانا همیشه با نوعی مقاومت روبه رو هستند. اصطلاحاً می گوییم رسانا دارای مقاومت الکتریکی است عقیل اسکندری 09125164028 منطقه سه تهران

هنگام حرکت الکترونهای آزاد در مدار برخورد الکترونها با اتم های رسانا که در حال نوسان اند باعث گرم شدن رسانا می شود.

می توان مقاومت الکتریکی بین دو نقطه از یک رسانا را به صورت زیر تعریف کرد : $R=\frac{V}{I}$

مقاومت الکتریکی (R) برحسب ولت بر آمپر (V/A) یا اُهم می باشد و با نماد Ω نشان داده می شود.

رسانایی را که دارای مقاومت الکتریکی است، اصطلاحاً مقاومت می نامند و آن را در مدارهای الکتریکی با نماد ⁓⁓ نمایش می دهند. عقیل اسکندری 09125164028 منطقه سه تهران

اگر مقاومت الکتریکی در ولتاژهای مختلف (در دمای ثابت)، مقدار ثابتی باشد، اصطلاحا گفته می شود آن وسیله از قانون اهم پیروی می کند و آن وسیله را مقاومت یا رسانای اهمی می نامند. به عبارتی جریان عبوری از یک مقاومت اهمی همواره با اختلاف پتانسیل اعمال شده به دو سر آن رابطه مستقیم دارد.

این قانون برای اغلب فلزات و بسیاری از رساناهای غیر فلزی در دمای ثابت برقرار است.

در نمودار جریان برحسب اختلاف پتانسیل برای رسانای اهمی، جریان به طور مستقیم با ولتاژ افزایش می یابد به اصطلاح جریان با ولتاژ برای این نوع از مقاومت ها به طور خطی افزایش می یابد.

آمپر سنج در مدار به صورت متوالی و ولت سنج به صورت موازی بسته می شوند

با این حال وسیله های زیادی نیز یافت می شود که از این قانون پیروی نمی کنند. یکی از این وسیله های غیر اهمی، دیود نور گسیل (LED) است

مقاومت الکتریکی به ابعاد هندسی رسانا، یعنی طول و سطح مقطع رسانا بستگی دارد. همچنین جنس ماده رسانا و دمای آن بر مقاومت الکتریکی اثر می گذارد عقیل اسکندری 09125164028 منطقه سه تهران

مقاومت جسم در دمای ثابت از رابطه مقابل بدست می آید $R = \rho\frac{L}{A}$

که در آن طول رسانا (L) بر حسب متر (m)، مساحت مقطع جسم (A) بر حسب متر مربع (m^2)، و مقاومت جسم (R) برحسب اُهم (Ω) است ρ مقاومت ویژه برحسب اُهم - متر (Ω.m) می باشد

شبیه سازی های ساده ای برای بیان بستگی مقاومت به طول و مساحت مقطع جسم به صورت زیر است

هرچه جسم بلندتر شود الکترونها هنگام عبور از آن برخوردهای بیشتری با اتم ها پیدا می کنند.

کوچک تر شدن سطح مقطع جسم را نیز می توان به کوچک تر شدن سطح مقطع لوله ای تشبیه کرد که در آن شاره ای در جریان است. کوچک تر شدن مقطع سبب کاهش عبور شاره می شود که به معنای افزایش مقاومت در برابر عبور شاره است.

مقاومت ویژه یک ماده به ساختار اتمی و دمای آن بستگی دارد. رساناهای الکتریکی خوب مقاومت ویژه بسیار کم و عایق های خوب مقاومت ویژه بسیار زیادی دارند. عقیل اسکندری 09125164028 منطقه سه تهران

دسته ای از مواد مانند ژرمانیم و سیلیسیم نیز وجود دارند که مقاومت ویژه آنها بین مقاومت ویژه رساناها و نارساناهاست. به این دسته از مواد، نیم رسانا می گویند.

در یک رسانای فلزی با افزایش دما تعداد حامل های بار (الکترونهای آزاد) تقریبا ثابت می ماند، ولی ارتعاشات کاتوره ای اتم ها و یون های آن افزایش می یابد. این عامل موجب افزایش برخورد حامل های بار با شبکه اتمی رسانای فلزی می شود و مقاومت رسانا افزایش می یابد

مثلا در یک لامپ رشته ای حبابی عبور جریان از رشته (فیلامان) تنگستنی موجب درخشش لامپ می شود

و مقاومت آن با افزایش دمای رشته به شدت افزایش می یابد عقیل اسکندری 09125164028 منطقه سه تهران

مقاومت ویژه فلزات در یک گستره دمایی نسبتا بزرگ با دما تقریبا به طور خطی تغییر می کند

و یک تقریب تجربی خوب توسط رابطه زیر داده می شود: $\rho = \rho_0[1+\alpha(T-T_0)]$

α ثابتی موسوم به ضریب دمایی مقاومت ویژه و یکای α در این رابطه K^{-1} (یا $1/^\circ C$) است.

T_0 دمای مرجع (معمولا T_0 را دمای اتاق $T_0 = 20^\circ C = 293K$ می گیرند)

ρ_0 مقاومت ویژه در آن دما عقیل اسکندری 09125164028 منطقه سه تهران

T دمای رسانا (برحسب $^\circ C$ یا K) است.

اگر یک نیم رسانا داشته باشیم، در دماهای پایین تعداد حامل های بار ناچیز است و نیم رسانا مانند یک نارسانا رفتار می کند.

در نیم رساناها علاوه بر الکترون های آزاد، حامل های بار مثبتی نیز وجود دارند که بررسی آنها خارج از سطح این کتاب است.

با افزایش دمای نیم رسانا بر تعداد این حامل های بار افزوده می گردد. گرچه با افزایش دما تعداد برخوردهای کاتوره ای حامل های بار با شبکه اتمی افزایش می یابد، اما تأثیر افزایش تعداد حامل های بار بیشتر از افزایش این برخوردهای کاتوره ای است. به این ترتیب، مقاومت ویژه نیم رساناها با افزایش دما کاهش می یابد

ضریب دمایی نیم رساناها منفی است که به معنی کاهش مقاومت ویژه این مواد با افزایش دما است.

دماسنج مقاومت پلاتینی یکی از سه دماسنج معیار برای اندازه گیری دماست.

گستره دمایی دماسنج مقاومت پلاتین حدوداً از $14K$ تا $1235K$

اساس کار دماسنج های مقاومت پلاتینی مبتنی بر تغییر مقاومت الکتریکی با دماست

در این دماسنج ها از پلاتین استفاده می کنند که تقریباً دچار خوردگی نمی شود و نقطه ذوب بالایی دارد.

مقاومت ها برای کنترل جریان و ولتاژ استفاده می شود

انواع اصلی مقاومتها بر دو نوع اند.

۱ - مقاومت های پیچه ای

۲ - مقاومت های ترکیبی عقیل اسکندری 09125164028 منطقه سه تهران

۱ - مقاومت های پیچه ای به این مقاومت ها در صنعت مقاومت آجری نیز می گویند

شامل پیچه ای از یک سیم نازک اند که معمولاً جنس آنها از آلیاژهایی مانند

نیکروم (آلیاژ نیکل و کرم)یا منگانین (آلیاژ مس، نیکل و منگنز)است

این مقاومت ها برای به دست آوردن مقاومت های پایین بسیار دقیق و همچنین توان های بالا ساخته می شوند. بیشینه توان الکتریکی که این مقاومت ها می توانند تحمل کنند، بی آنکه بسوزند روی آنها نوشته شده است

یکی از انواع مشهور مقاومت های پیچه ای، رئوستا نام دارد که یک نوع مقاومت متغیر است . در مدارهای الکترونیکی وسیله ای به نام پتانسیومتر

به نوعی همان نقش را انجام می دهد. این نوع مقاومت ها، متغیرند. یک رئوستا از سیمی با مقاومت ویژه نسبتاً زیاد ساخته شده است. در یکی از انواع رئوستا (رئوستای خطی)، این سیم روی استوانه ای نارسانا پیچیده شده و با استفاده از دکمه ای لغزنده مقدار مقاومت را تغییر دهد عقیل اسکندری 09125164028 منطقه سه تهران

۲ - مقاومت های ترکیبی معمولا از کربن، برخی نیم رساناها، و یا لایه های نازک فلزی ساخته شده اند.

مقاومت خاص و دیودها:

۱ - ترمیستور : ترمیستور نوعی از مقاومت است که بستگی مقاومت الکتریکی آن به دما متفاوت از مقاومت های معمولی است. اغلب از ترمیستورها به عنوان حسگر دما در مدارهای حساس به دما مانند زنگ خطر آتش و دما پاها و نیز در دماسنج ها استفاده می شود. عقیل اسکندری 09125164028 منطقه سه تهران

ترمیستورها در ابعاد کوچکی ساخته می شوند و شکل های متفاوتی دارند که رایج ترین آنها دیسکی، مهره ای، و میله ای است ترمیستورها به دو نوع NTC و PTC تقسیم بندی می شوند

۲ - مقاومت های نوری (LDR): مقاومت نوری، نوعی مقاومت است که مقاومت الکتریکی آن به نور تابیده شده به آن بستگی دارد، به طوری که با افزایش شدت نور، از مقاومت آن کاسته می شود

مقاومت در تاریکی چند مگا اهم و در نور مناسب، چند صد أهم می باشد

نوعی از این مقاومتها از جنس نیم رسانای خالص، مانند سیلیسیم هستند که با افزایش شدت نور تابیده شده، بر تعداد حامل های بار الکتریکی آنها افزوده شده و در نتیجه از مقاومت آنها کاسته می شود. عقیل اسکندری 09125164028 منطقه سه تهران

۳ - دیودها : دیود قطعه ای است که هرگاه در مداری قرار گیرد، جریان را تنها از یک سو عبور می دهد و مقاومت آن در برابر عبور جریان در این سو ناچیز است. به همین دلیل، دیود را اغلب به عنوان یکسو کننده جریان در نظر می گیرند و آن را با نماد در مدارهای الکتریکی نشان می دهند. پیکان در این نماد جهتی را نشان می دهد که جریان می تواند از دیود عبور کند. مثلا مدارهای ساده شکل ۲۴-۲ نشان می دهد که با تعویض جهت دیود، جریان از مدار عبور نمی کند

دیودها انواع متفاوتی دارند که یکی از معروف ترین آنها دیودهای نورگسیل یا LED است

در این دیودها از نیم رساناهایی استفاده می شود که با عبور جریان از آنها LED از خود نور گسیل می کند و مقداری از انرژی الکتریکی به نور تبدیل می شود. بسته به نوع نیم رسانای به کار رفته، رنگ نور گسیل شده از LED می تواند از فروسرخ تا فرابنفش باشد

LED در مقایسه با لامپ های روشنایی معمولی،با توان الکتریکی کمی مصرف کرده و در عوض، نور قابل ملاحظه ای تولید می کند. به همین دلیل از آنها در چراغ خودروها، روشنایی منازل، تابلوهای تبلیغاتی، نمایشگرهای LED و ... استفاده می شود. LED ها در مقایسه با لامپ های رشته ای عمر طولانی تری دارند و به دلیل نداشتن رشته به هنگام تولید نور انرژی گرمایی زیادی تولید نمی کنند عقیل اسکندری 09125164028 منطقه سه تهران

وسیله هایی که با انجام کار روی بار الکتریکی، جریان ثابتی از بارهای الکتریکی در یک مدار ایجاد می کند، منبع نیروی محرکه الکتریکی (emf) گفته می شود

منبع های نیروی محرکه الکتریکی (مانند باتری ها) بارهای الکتریکی مثبت را در خلاف جهت میدان الکتریکی از پتانسیل پایین تر به پتانسیل بالاتر می برند و با افزایش انرژی پتانسیل آنها، جریان ثابتی را در مدار برقرار می کنند

باتری انرژی لازم برای برقراری یک جریان را مهیا می سازد.

نمونه هایی از منبع های نیروی محرکه الکتریکی

باتری های معمولی از واکنش های شیمیایی

پیل های سوختی، سلول های خورشیدی، و مولدهای الکتریکی عقیل اسکندری 09125164028 منطقه سه تهران

کاری که منبع نیروی محرکه الکتریکی روی واحد بار الکتریکی مثبت انجام می دهد تا آن را از پایانه با پتانسیل کمتر به پایانه با پتانسیل بیشتر ببرد، اصطلاحا نیروی محرکه الکتریکی (emf) نامیده و با رابطه زیر تعریف می شود: $\varepsilon = \frac{\Delta W}{\Delta q}$

یکای کمیت نیروی محرکه الکتریکی همان یکای اختلاف پتانسیل الکتریکی، یعنی ولت (V) است (1V=1J/1C)

توجه کنید که نیروی محرکه الکتریکی واژه نامناسبی است زیرا emf نیرو نیست بلکه مانند پتانسیل یک کمیت انرژی به ازای واحد بار است. نماد نیروی محرکه الکتریکی ε است که فونت خاصی از حرف E بونانی میباشد .

وقتی از قطب مثبت باتری به سمت قطب منفی آن می رویم، پتانسیل کاهش می یابد عقیل اسکندری 09125164028 منطقه سه تهران

منبع های نیروی محرکه یا آرمانی (بدون مقاومت داخلی) هستند و یا واقعی(با مقومت داخلی)

منبع آرمانی در واقعیت وجود ندارد و منبع های نیروی محرکه الکتریکی همواره دارای مقاومتی داخلی (r) هستند؛ یعنی درون آنها مقاومتی در برابر حرکت بارها وجود دارد

در مدار تک حلقه ای جریان در کل مدار یکسان است.

جمع جبری اختلاف پتانسیل ها در مدار ما برابر با صفر است.

در هر دور زدن کامل حلقه ای از مدار، جمع جبری اختلاف پتانسیل های اجرای مدار صفر است.

نشان داده می شود که قاعده حلقه چیزی جز پایستگی انرژی نیست

در حل مسئله های مدار تک حلقه ای همواره دو دستورالعمل ساده زیر را به کار می بندیم :

1- هرگاه در مدار در جهت جریان از مقاومت مثلاً R بگذریم، پتانسیل به اندازه IR کاهش می یابد و اگر در خلاف جهت جریان حرکت کنیم پتانسیل به همان اندازه افزایش می یابد عقیل اسکندری 09125164028 منطقه سه تهران

2- . - هرگاه از پایانهٔ منفی به طرف پایانهٔ مثبت یک منبع نیروی محرّکه حرکت کنیم، پتانسیل به اندازهٔ ε افزایش می‌یابد و اگر در خلاف این جهت (یعنی از پایانهٔ مثبت به طرف پایانهٔ منفی) حرکت کنیم پتانسیل به اندازهٔ ε کاهش می‌یابد

در این رابطه، توان (P) برحسب وات (W)، جریان (I) برحسب آمپر (A) و اختلاف پتانسیل (ΔV) برحسب ولت (V) است.

این رابطه را می‌توان برای منبع نیروی محرکه (مثلاً باتری)، یا برای وسیلهٔ مصرف کننده (مثلاً مقاومت یک دستگاه الکتریکی) و یا ..... استفاده کرد. عقیل اسکندری 09125164028 منطقه سه تهران

توان الکتریکی مصرفی در یک مقاومت: $P_{\text{âÔÑí}} = |P| = |IV| = |I(RI)| = RI^2 = \frac{V^2}{R}$

قانون ژول بیان می‌دارد گرمای تولید شده توسط جریان ای عبوری از یک مقاومت R در مدت زمان t برابر با RI^2t است

یک اهم‌متر، مقاومت یک جسم که هنوز به مدار متصل نیست را اندازه می گیرد

اگر لامپ‌های رشته‌ای (التهابی) را با لامپ‌های LED جایگزین کنیم، در مصرف انرژی تفاوت چشمگیری حاصل می‌شود

مثلاً در حالی که لامپ هالوژن یک کلاه ایمنی چند باتری را در 3 ساعت مصرف می‌کند، نوع LED همان لامپ، آن باتری‌ها را در 30 ساعت به مصرف می‌رساند عقیل اسکندری 09125164028 منطقه سه تهران

قاعدهٔ حلقه یا قانون ولتاژها چیزی جز پایستگی انرژی نیست.

مجموع جریان‌هایی که به هر نقطهٔ انشعاب وارد می‌شود برابر با مجموع جریان‌هایی است که از آن نقطهٔ انشعاب خارج می‌شود.

قاعدهٔ انشعاب در واقع مبتنی بر پایستگی بار الکتریکی است و اینکه هیچ باری نمی‌تواند در یک نقطهٔ انشعاب جمع گردد.

بنابراین، مجموع بار وارد شده به هر نقطهٔ انشعاب در واحد زمان باید برابر با مجموع بار خارج شده از آن نقطه در واحد زمان باشد

وقتی مقاومت‌ها به طور متوالی، یا موازی یا ترکیبی از هر دو بسته شده باشند، آن‌ها را می‌توانیم با یک مقاومت معادل جایگزین کنیم

مقاومت یک ولت سنج باید خیلی بزرگ باشد تا قرار گرفتن آن در مدار، ولتاژ اجزای مدار را به طور محسوسی تغییر ندهد.

مقاومت یک آمپرسنج باید خیلی ناچیز باشد تا قرار گرفتن آن در مدار به طور محسوسی جریان اجزای مدار را تغییر ندهد.

به هم بستن متوالی مقاومت‌ها:

«متوالی» بسته شدن مقاومت‌ها یکی پس از دیگری است به طوری که هیچ انشعابی بین آنها وجود نداشته باشد و اختلاف پتانسیل V به دو سر این مجموعه از مقاومت‌ها اعمال شده باشد. در بستن متوالی مقاومت‌ها از همهٔ مقاومت‌ها جریان یکسان I عبور می‌کند عقیل اسکندری 09125164028 منطقه سه تهران

اختلاف پتانسیل کل اعمال شده، برابر با جمع اختلاف پتانسیل‌های دو سر مقاومت‌هاست

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3$$

مقاومت معادل آن‌ها بزرگ‌تر از مقاومت هر یک از آن‌هاست. عقیل اسکندری 09125164028 منطقه سه تهران

قاعدهٔ انشعاب و به هم بستن موازی مقاومت‌ها

«موازی» به معنای آن است که یک سر مقاومت‌ها مستقیماً به یکدیگر و سر دیگر آن‌ها نیز مستقیماً به هم وصل شده است

بنابراین، هر یک از مقاومت‌ها اختلاف پتانسیل یکسان V در دو سر خود دارد

مقاومت معادل دارای همان اختلاف پتانسیل V است

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

مقاومت معادل آن‌ها کوچک‌تر از هر یک از مقاومت‌های موجود در آن ترکیب است.

عقیل اسکندری 09125164028 منطقه سه تهران