

هرگاه از یک سیم جریان عبور کند در اطراف سیم یک میدان مغناطیسی ایجاد می شود . اگر مقدار جریان ثابت باشد ، شدت میدان مغناطیسی در هر نقطه از اطراف سیم ثابت خواهد بود . همچنین در این حالت جهت میدان مغناطیسی نیز همواره ثابت خواهد بود . اما در صورتی که مقدار جریان متغیر باشد ، در اطراف سیم یک میدان مغناطیسی متغیر ایجاد خواهد شد . یعنی در این حالت شدت و جهت میدان مغناطیسی پیوسته تغییر می کند . اما در هر حال شدت میدان مغناطیسی ایجاد شده ، در هر لحظه در نزدیکی سیم بیشتر است و هر چه از سیم دورتر شویم میدان مغناطیسی ضعیف تر می شود . حال اگر یک سیم راست را پیچیده و به شکل فنر درآوریم ، با عبور جریان از آن ، میدان مغناطیسی اطراف حلقه های این سیم پیچ با هم جمع شده و یک میدان مغناطیسی قوی تر را تشکیل می دهند که این میدان مغناطیسی شبیه به میدان مغناطیسی اطراف یک آهن ربای دائم می باشد . به این سیم پیچ ، بوبین یا سلف نیز می گویند . در شکل های (1) و (2) (تصاویری از چند سیم پیچ نمایش داده شده است . در شکل (3) نیز علامت اختصاری سیم پیچ نمایش داده شده است.



شکل 1



شکل 2

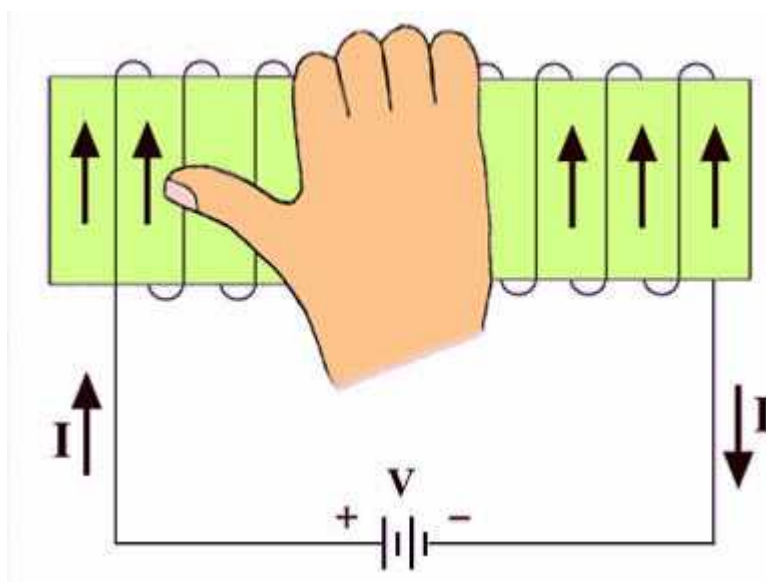


شکل 3

جهت میدان مغناطیسی ایجاد شده در اطراف یک سیم راست حامل جریان را می توان از قانون دست راست بدست آورد . بر اساس این قانون اگر مطابق شکل (4) سیم راست حامل جریان را به گونه ای در دست راست بگیریم که انگشت شست در جهت جریان باشد ، جهت خم شدن چهار انگشت دیگر ، جهت میدان مغناطیسی در اطراف سیم را نشان می دهد . برای تعیین جهت میدان مغناطیسی در داخل یک سیم پیچ نیز می توان از قانون دست راست استفاده کرد . بر اساس این قانون اگر مطابق شکل (5) سیم پیچ را طوری در دست راست بگیریم که جهت چهار انگشت در جهت جریان باشد ، انگشت شست جهت میدان مغناطیسی در داخل سیم پیچ را نشان می دهد . فلش های موجود در شکل (5) جهت جریان در سیم پیچ را نشان می دهد.



شکل 4



شکل 5

معمولاً سیم ها را بر روی هسته می پیچند . هسته می تواند از جنس مواد مغناطیسی و یا غیر مغناطیسی باشد . در مواردی که میدان ایجاد شده توسط سیم پیچ به اندازه کافی قوی باشد از هسته های غیر مغناطیسی یا همان مواد عایق استفاده می کنند و در سایر موارد از هسته های مغناطیسی استفاده می شود . استفاده از هسته های مغناطیسی باعث می شود که کلیه خطوط میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط سیم پیچ از داخل سیم پیچ گذشته و تلفات خطوط میدان به حداقل برسد و در نتیجه سبب قوی تر شدن میدان مغناطیسی می شوند . در مواردی که نیازی

به هسته های مغناطیسی نباشد و سیم پیچ به اندازه کافی ضخیم باشد به طوری که بتواند حالت خود را حفظ کند ، می توان از هسته استفاده نکرد و یا به عبارتی هسته در این حالت هوا خواهد بود . به سیم پیچ هایی که دارای هسته فلزی هستند و تعداد دور استاندارد سیم دارند ، در اصطلاح چوک (Choke) می گویند . مانند چوک مهتابی که معمولاً به اشتباه آن را ترانس مهتابی می گویند . در ادامه به بررسی خاصیت خودالقایی سلف می پردازیم .

زمانی که از یک هادی جریان متناوبی عبور می کند در یک نیم سیکل جریان متناوب ، یک میدان مغناطیسی در اطراف سیم پیچ ایجاد می شود و سپس به تدریج از بین می رود . در نیم سیکل بعدی نیز میدان مغناطیسی در جهت مخالف ایجاد می شود و سپس به تدریج از بین می رود و این روند ادامه می یابد . زمانی که میدان مغناطیسی در حال ایجاد شدن است ، خطوط میدان مغناطیسی از مرکز هادی به طرف خارج گسترش می یابد و میدان مغناطیسی در حال گسترش به وسیله هادی قطع می شود و در نتیجه در دو سر هادی ولتاژی القا می شود . با کم شدن میدان مغناطیسی و قطع شدن خطوط میدان توسط هادی ، مجدداً ولتاژی در هادی القا می شود . بنابراین افزایش و یا کاهش جریان در هادی ، سبب گسترش و یا فروکش کردن میدان مغناطیسی در اطراف هادی می شود و متناسب با تغییرات میدان ، ولتاژی در دو سر هادی القا می گردد . این خاصیت را خودالقایی می گویند . توجه داشته باشید که اگر جریان عبوری از هادی ثابت باشد ، میدان مغناطیسی ایجاد شده نیز ثابت خواهد بود و لذا ولتاژی در دو سر هادی القا نمی شود . ولتاژ القا شده در هادی دارای مقدار و جهت است . مقدار این ولتاژ به میزان تغییرات شدت میدان مغناطیسی و اندوکتانس هادی بستگی دارد . تغییرات میدان مغناطیسی نیز خود وابسته به سرعت تغییرات جریان و یا به عبارتی وابسته به فرکانس جریان و همچنین وابسته به مقدار جریان است . افزایش فرکانس جریان سبب افزایش ولتاژ القا شده و کاهش فرکانس جریان سبب کاهش ولتاژ القا شده می گردد . مقدار جریان نیز با ولتاژ القا شده در دو سر هادی رابطه مستقیم دارد . یعنی هر چه شدت جریان عبوری از هادی بیشتر باشد ، میدان مغناطیسی ایجاد شده در دو سر هادی قوی تر و هرچه شدت جریان کمتر باشد ، میدان مغناطیسی ایجاد شده نیز ضعیف تر خواهد بود . اما برای تعیین جهت ولتاژ القا شده در دو سر هادی از قانون لنز استفاده می شود . طبق قانون لنز جهت ولتاژ القایی همواره به گونه ای است که با عامل به وجود آورنده اش مخالفت می کند . یعنی هنگامی که جریان افزایش می یابد ، جهت ولتاژ القایی به گونه ای است که با افزایش جریان مخالفت می کند و هنگامی که جریان کاهش می یابد ، جهت ولتاژ القایی به گونه ای است که با کاهش جریان مخالفت می کند . بنابراین همواره ولتاژ داده شده به دو سر سیم پیچ با ولتاژ القا شده در سیم پیچ 180 درجه اختلاف فاز دارد . یعنی با زیاد و کم شدن ولتاژ داده شده به دو سر یک سیم پیچ در یک جهت ، ولتاژ القا شده در سیم پیچ در جهت مخالف آن زیاد و کم می شود . در ادامه در رابطه با اندوکتانس سیم پیچ صحبت می کنیم .

اندوکتانس سیم پیچ : در مورد اندوکتانس سیم پیچ باید گفت که اندوکتانس مهمترین مشخصه یک سیم پیچ و در حقیقت یکی از خصوصیات فیزیکی یک سیم پیچ است که مقدار آن وابسته به جنس هسته سیم پیچ ، تعداد دور سیم پیچ ، طول سیم پیچ و سطح مقطع سیم پیچ است و طبق تعریف ، اندوکتانس هر سیم پیچ نشان می دهد که به ازای یک آمپر در ثانیه تغییر در جریان ، چند ولت در سیم پیچ القا می شود . مقدار اندوکتانس هر سیم پیچ از رابطه زیر محاسبه می شود.

$$L = \frac{\mu A N^2}{l}$$

که در این رابطه μ پرمابلیته هسته و یا قابلیت نفوذپذیری هسته بر حسب هانری است و نشان دهنده توانایی هسته در متمرکز کردن خطوط میدان مغناطیسی در درون هسته است . پرمابلیته همه اجسام را نسبت به پرمابلیته هوا می سنجند . به این ترتیب که پرمابلیته هوا را یک فرض کرده و پرمابلیته دیگر اجسام را نسبت به آن می سنجند . یعنی به هر جسمی یک عدد به نام ضریب پرمابلیته نسبت می دهند که این عدد نشان

دهنده این است که پرمابلیته این جسم چند برابر پرمابلیته هواست و از ضرب این عدد در پرمابلیته هوا، پرمابلیته آن جسم بدست می آید. در رابطه فوق همچنین A سطح مقطع هسته بر حسب متر مربع، N تعداد دور سیم پیچ و l طول سیم پیچ بر حسب متر می باشد. با توجه به مطالب فوق، ولتاژ القا شده در سیم پیچ از رابطه زیر بدست می آید.

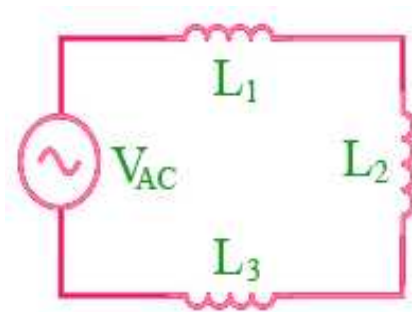
$$V = L \frac{di}{dt}$$

یعنی میزان ولتاژ القایی برابر است با حاصلضرب اندوکتانس سیم پیچ در تغییرات لحظه ای جریان نسبت به زمان. اما زمانی که یک سیم پیچ در یک مدار DC قرار می گیرد به دلیل ثابت بودن میدان مغناطیسی اطراف سیم پیچ، ولتاژی در دو سر سیم پیچ القا نمی شود و تنها تأثیر آن در مدار، در لحظات باز و بسته شدن مدار می باشد که در این زمانها، ولتاژی در دو سر سیم پیچ القا می شود بطوری که با افزایش و کاهش جریان در سیم پیچ مخالفت می کند. البته خود سیم پیچ یک مقاومت اهمی نیز دارد که به دلیل ناچیز بودن مقدار آن، معمولاً از آن صرفنظر می شود. اما زمانی که یک سیم پیچ در یک مدار AC قرار می گیرد به دلیل متغیر بودن میدان مغناطیسی اطراف سیم پیچ، همواره یک ولتاژ القایی متغیر که نسبت به ولتاژ داده شده به سیم پیچ 180° درجه اختلاف فاز دارد در دو سر سیم پیچ ایجاد می شود که این ولتاژ القایی همواره سبب کاهش جریان می گردد درست مانند اینکه یک مقاومت اهمی در مدار وجود دارد و جریان را تضعیف می کند. این مقاومت سیم پیچ در برابر جریان را مقاومت القایی سیم پیچ می گویند و آن را با X_L نمایش می دهند. مقدار مقاومت القایی به اندوکتانس سیم پیچ و فرکانس عبوری از سیم پیچ بستگی دارد. مقدار مقاومت القایی از رابطه زیر بدست می آید.

$$X_L = 2\pi FL$$

که در این رابطه X_L مقاومت القایی سیم پیچ بر حسب اهم، 2π عدد ثابت، F فرکانس عبوری از سیم پیچ بر حسب هرتز و L اندوکتانس سیم پیچ بر حسب هانری است.

اتصال سیم پیچ ها به صورت سری و موازی: اگر تعدادی سیم پیچ را همانند شکل (6) به صورت سری به یکدیگر وصل کنیم، اندوکتانس کل برابر مجموع اندوکتانس های موجود در مدار خواهد بود. یعنی داریم:



شکل 6

$$L_t = L_1 + L_2 + L_3$$

در این رابطه t از کلمه total به معنای کل، گرفته شده است.

به عنوان مثال اگر در شکل (6)، $L_1=2\text{mH}$ و $L_2=3\text{mH}$ و $L_3=5\text{mH}$ باشند مقدار اندوکتانس کل چقدر است؟

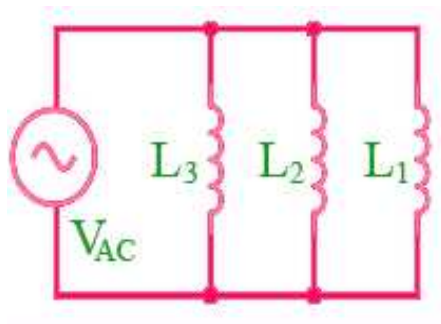
$$L_t = 2\text{mH} + 3\text{mH} + 5\text{mH} = 10\text{mH}$$

بنابراین مقدار اندوکتانس کل برابر با 10mH می باشد.

مچنین در این حالت مقاومت القایی کل نیز برابر مجموع مقاومت های القایی تمامی سیم پیچ ها خواهد بود. یعنی داریم:

$$X_{L_t} = X_{L_1} + X_{L_2} + X_{L_3}$$

حال اگر سیم پیچ ها مطابق شکل (7) به صورت موازی به هم وصل شوند، اندوکتانس کل از رابطه زیر محاسبه می شود.



شکل 7

همانطور که از رابطه بالا مشاهده می شود در این حالت اندوکتانس کل، از تک تک اندوکتانس های سیم پیچ های مدار کمتر است.

به عنوان مثال اگر در شکل (7)، $L_1=1\text{mH}$ و $L_2=4\text{mH}$ و $L_3=5\text{mH}$ ، مقدار اندوکتانس کل چقدر است؟

$$\frac{1}{L_t} = \frac{1}{1\text{mH}} + \frac{1}{4\text{mH}} + \frac{1}{5\text{mH}} = \frac{20+5+4}{20\text{mH}} = \frac{29}{20\text{mH}} \rightarrow L_t = 690\text{ }\mu\text{H}$$

بنابراین مقدار اندوکتانس معادل برابر $690\text{ }\mu\text{H}$ است که این مقدار از اندوکتانس تک تک سیم پیچ ها کمتر است.

همچنین در این حالت مقاومت القایی معادل از رابطه زیر بدست می آید.

$$\frac{1}{X_{Lt}} = \frac{1}{X_{L1}} + \frac{1}{X_{L2}} + \frac{1}{X_{L3}}$$

که این رابطه نیز نشان می دهد که در این حالت مقاومت القایی کل ، از مقاومت القایی تک تک سیم پیچ ها کمتر است . البته روابط بالا در صورتی برقرار هستند که بین سیم پیچ ها ، القای متقابل وجود نداشته باشد . القای متقابل زمانی به وجود می آید که دو سیم پیچ طوری در نزدیکی یکدیگر قرار گیرند که میدان مغناطیسی متغیر تولید شده توسط هر یک از سیم پیچ ها ، سیم پیچ دیگر را قطع کند و سبب تغییر میدان مغناطیسی آن سیم پیچ و در نتیجه تغییر اندوکتانس و ولتاژ القا شده در آن گردد . در این صورت روابط مربوط به اندوکتانس و مقاومت القایی که در بالا بیان شد ، صادق نبوده و نیاز به تغییراتی پیدا می کنند . برای مشخص کردن میزان القای متقابل بین دو سیم پیچ ، پارامتری به نام اندوکتانس متقابل به این صورت تعریف می شود که هرگاه جریانی با نرخ تغییر یک آمپر بر ثانیه ، ولتاژی برابر با یک ولت در سیم پیچ القا کند ، اندوکتانس متقابل دو سیم پیچ برابر با یک هانری می باشد . مقدار اندوکتانس متقابل دو سیم پیچ بستگی به اندوکتانس هر یک از سیم پیچ ها و همچنین ضریب کوپلاژ بین دو سیم پیچ دارد و از رابطه زیر بدست می آید.

$$L_M = K\sqrt{L_1 \times L_2}$$

که در این رابطه L_1 و L_2 اندوکتانس های هر یک از دو سیم پیچ و K ضریب کوپلاژ است . ضریب کوپلاژ پارامتری بدون واحد است که می تواند مقداری بین صفر و یک داشته باشد . هرگاه کلیه خطوط میدان مغناطیسی ایجاد شده توسط یک سیم پیچ ، از سیم پیچ دیگر عبور کند مقدار K برابر یک و چنانچه دو سیم پیچ کاملاً از هم دور باشند و یا طوری قرار گرفته باشند که خطوط میدان مغناطیسی هیچ یک از آنها از دیگری عبور نکند ، مقدار K صفر خواهد بود.