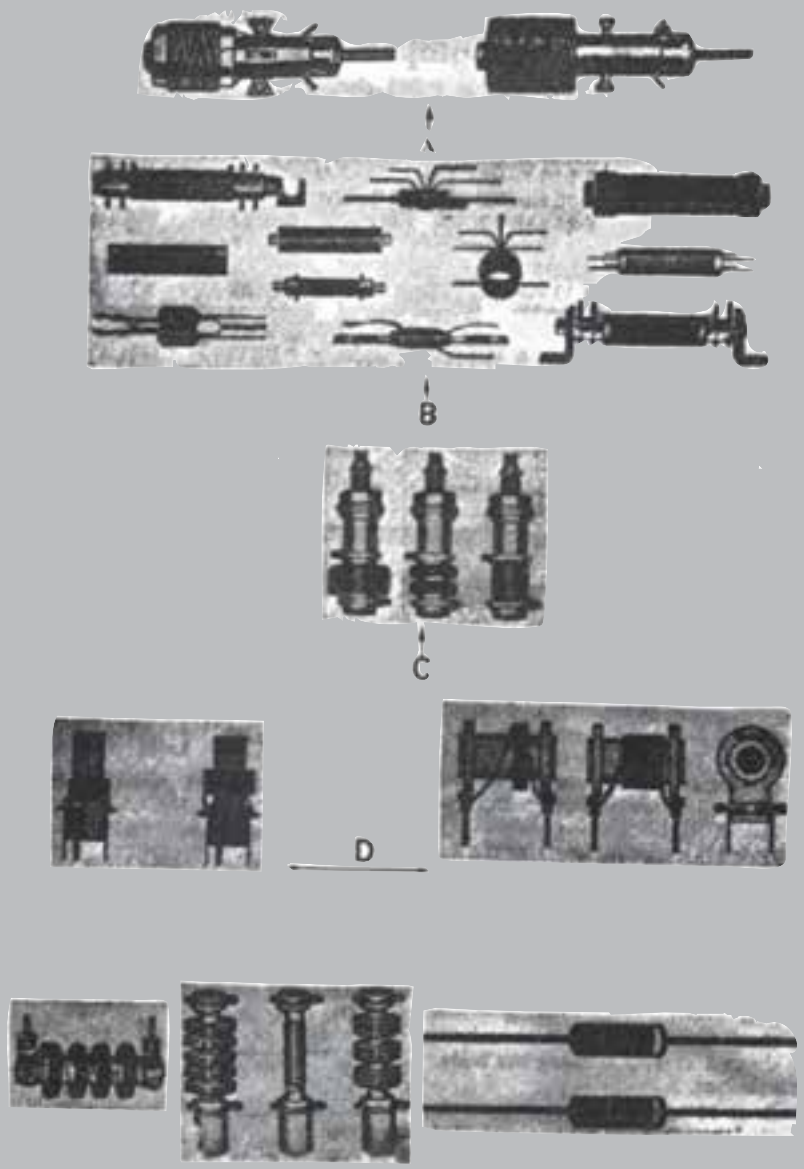

A
B
C
D

فصل چهاردهم

بوبین (سلف)

هدف‌های رفتاری: در پایان این فصل، از دانش‌آموز انتظار می‌رود :

۱ــ بوبین را تعریف کند و ساختمان آن را شرح دهد.

۲ــ میدان مغناطیسی حاصل از جریان متناوب را شرح دهد.

۳ــ خودالقا را تعریف کند.

۴ــ مقدار و جهت نیروی محرکه‌ی الکتریکی خودالقا را توضیح دهد.

۵ــ قانون لنز را تعریف کند.

۶ــ ضریب خودالقا و عوامل موثّر در آن را توضیح دهد و محاسبه کند.

۷ــ رابطه‌ی اندوکتانس و نیروی ضد محرّکه را توضیح دهد و نیروی ضد محرکه را محاسبه کند.

۸ــ واحد خودالقا را تعریف کند.

۹ــ بوبین ایده‌ال و واقعی را شرح دهد.

۱۰ــ مقاومت خودالقا و عوامل موثر در آن را توضیح دهد و محاسبه کند.

۱۱ــ ثابت زمانی را تعریف و محاسبه کند.

۱۲ــ منحنی‌های ولتاژ داده شده، جریان و نیروی ضد محرکه را تجزیه و تحلیل کند.

۱۳ــ تأثیر هسته‌ی مغناطیسی را در اندوکتانس بیان کند.

۱۴ــ اتّصال سری و موازی بوبین‌ها را توضیح دهد و مقادیر معادل را محاسبه کند.

۱۵ــ القای متقابل و ضریب کوپلاژ را توضیح دهد.

۱۶ــ انرژی ذخیره شده در سلف و عوامل موثر در آن را توضیح دهد و محاسبه کند.

۱ــ۱۴ــ تعریف بوبین

اگر مقداری سیم به دور محور یا هسته‌ای پیچانده شود، بوبین یا سیم‌پیچ به وجود می‌آید. چنان‌چه سیم ضخیم باشد، دیگر به هسته ــ به عنوان تکیه‌گاه سیم ــ نیازی نخواهد بود. از هسته علاوه بر اثرات القایی ــ به جای تکیه‌گاه ــ جهت پیچاندن و نگهداری سیم استفاده می‌شود. در صورتی که سیم، نازک باشد می‌توان از استوانه‌های کاغذی یا مقوّایی یا هر عایق دیگری استفاده کرد. در شکل ۱ــ۱۴ تعدادی بوبین با هسته‌ی هوایی و فلزّی را مشاهده می‌کنید.

بوبین‌هایی را که هسته‌ی فلزّی دوسر یا چند سر دارند و اغلب دارای تعداد دور استاندارد هستند، در اصطلاح چوک (choke) می‌گویند. چوک‌ها معمولاً حفاظ خارجی دارند ؛ مانند : چوک مهتابی، چوک بلندگو و ... . از چوک مهتابی در مصارف برقی و از چوک بلندگو در مصارف الکترونیکی استفاده می‌شود. در شکل ۲ــ۱۴ چند نمونه چوک برای مصارف مختلف را می‌بینید.

الف) با هسته‌ی فلزی
ب) با هسته‌ی هوایی
پ) با هسته‌ی متغیر مغناطیسی
ت) با هسته‌ی متغیر فلزی

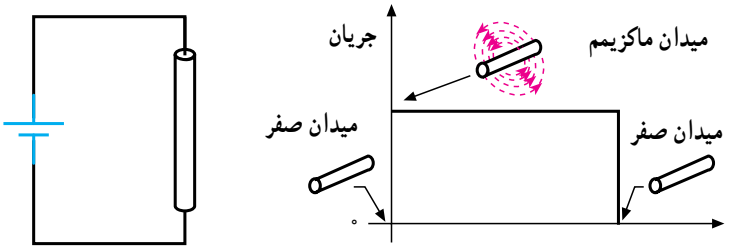
شکل ۱ــ۱۴ــ انواع بوبین‌ها با هسته‌های مختلف

(الف) (ب) (پ)

شکل ۲ــ۱۴ــ الف ــ چوک بلندگو، ب ــ چوک فرکانس بالای بدون پوشش، پ ــ چوک فرکانس بالای با پوشش

۲ــ۱۴ــ میدان مغناطیسی حاصل از یک جریان مستقیم و متناوب

اگر دوسر یک هادی را مطابق شکل ۳ــ۱۴ به جریان مستقیم وصل کنیم، شدّت جریان به طور ناگهانی از صفر به ماکزیمم مقدار خود می‌رسد و میدان مغناطیسی در اطراف هادی نیز به ناگاه از صفر به مقدار ماکزیمم خود افزایش می‌یابد. تا موقعی که جریان در هادی جاری است، میدان در ماکزیمم مقدار خود باقی می‌ماند. چنان‌چه مدار باز شود جریان، صفر شده و میدان نیز به صفر کاهش می‌یابد.

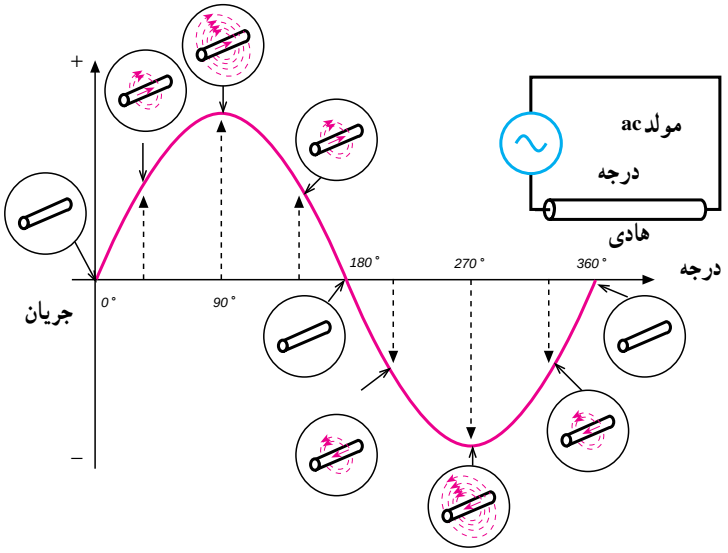


شکل ۳ــ۱۴ــ میدان مغناطیسی ایجاد شده به وسیله‌ی جریان مستقیم

اگر دو سر یک هادی را مطابق شکل ۴ــ۱۴ به یک جریان متناوب وصل کنیم، مقدار جریان و در نتیجه، شدّت میدان مغناطیسی در اطراف هادی پیوسته تغییر می‌کنند. با اضافه شدن تدریجی جریان، میدان حاصل نیز قوی‌تر می‌شود و برعکس، با کم شدن جریان میدان نیز کم‌تر خواهد شد.

از آن‌جا که جریان متناوب در هر نیم سیکل تغییر جهت می‌دهد، جهت میدان نیز معکوس می‌شود ؛ بنابراین، جهت میدان مغناطیسی در هر لحظه به وسیله‌ی جهت جریان مشخص می‌شود.

شدت و جهت میدان مغناطیسی در اطراف یک هادی‌حامل جریان به دامنه و جهت جریان بستگی دارد.

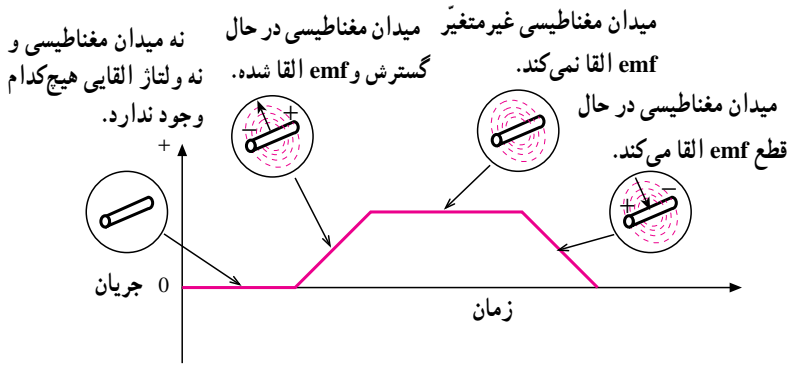


شکل ۴ــ۱۴ــ میدان مغناطیسی حاصل از جریان متناوب

۳ــ۱۴ــ خودالقایی[1]

با طی نیم پریود از جریان متناوب عبوری از یک هادی، میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود و سپس به تدریج از بین می‌رود. در نیم سیکل بعدی نیز میدان در جهت مخالف ایجاد می‌شود و به‌تدریج از بین می‌رود.

زمانی که میدان مغناطیسی در حال ایجاد شدن است، خطوط قوای مغناطیسی از مرکز هادی به طرف خارج گسترش می‌یابند. میدان در حال گسترش به وسیله‌ی هادی قطع می‌شود و یک نیروی محرّکه‌ی الکتریکی (emf)[2] در هادی تولید می‌گردد. با کم شدن میدان و قطع خطوط قوا به وسیله‌ی هادی، باز هم یک نیروی محرکه‌ی الکتریکی در هادی القا می‌شود. بنابراین، افزایش یا کاهش جریان در هادی سبب گسترش یا فروکش کردن میدان مغناطیسی در اطراف آن می‌شود و نیروی محرکه‌ای متناسب با تغییرات میدان در هادی القا می‌گردد. این خاصیّت را **خودالقایی** می‌گویند. توجه داشته باشید که اگر جریان عبوری از هادی ثابت باشد، میدان مغناطیسی ایجاد شده نیز ثابت خواهد بود و لذا نیروی محرکه‌ای در هادی القا نمی‌شود. شکل ۵ــ۱۴ القای نیروی محرکه را در زمان تغییر جریان نشان می‌دهد.



شکل ۵ــ۱۴ــ نمایش تولید emf

۱ــ self-induction

۲ــ Electro motive force یا نیروی الکتروموتوری

مطالعه‌ی آزاد

آزمایش

هدف: ملاحظه‌ی ولتاژ خودالقایی در هنگام قطع جریان مستقیم از یک سیم‌پیچ

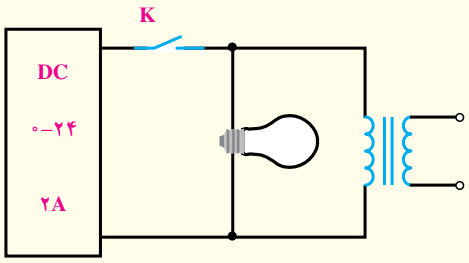
وسایل لازم:

منبع تغذیه DC صفر تا ۲۴ ولت

لامپ ۶ ولتی و سرپیچ لامپ

سیم‌پیچ یا یک ترانسفورماتور کاهنده

سیم‌های رابط سوسماری



شکل ۶ــ۱۴

مراحل آزمایش

۱ــ مدار شکل ۶ــ۱۴ را ببندید.

۲ــ ولتاژ منبع تغذیه را روی ۶ ولت تنظیم کنید.

۳ــ کلید K را ببندید. آیا لامپ روشن می‌شود؟

۴ــ کلید را قطع کنید. چه اتّفاقی می‌افتد؟

۵ــ آیا لامپ بلافاصله پس از قطع کلید خاموش می‌شود؟چرا؟ لامپ برای لحظه‌ای پس از قطع کلید روشن می‌ماند و سپس خاموش می‌شود. چه خاصیتی سبب روشن ماندن لامپ برای چند لحظه می‌شود؟

پس از قطع کلید خاصیّت خودالقایی ــ یعنی نیروی محرکه‌ی القا شده روی سیم‌پیچ ــ تا از بین رفتن کامل چند لحظه طول می‌کشد و همین مدّت سبب روشن ماندن لامپ می‌شود.

۴ــ۱۴ــ مقدار نیروی محرکه‌ی الکتریکی خودالقا

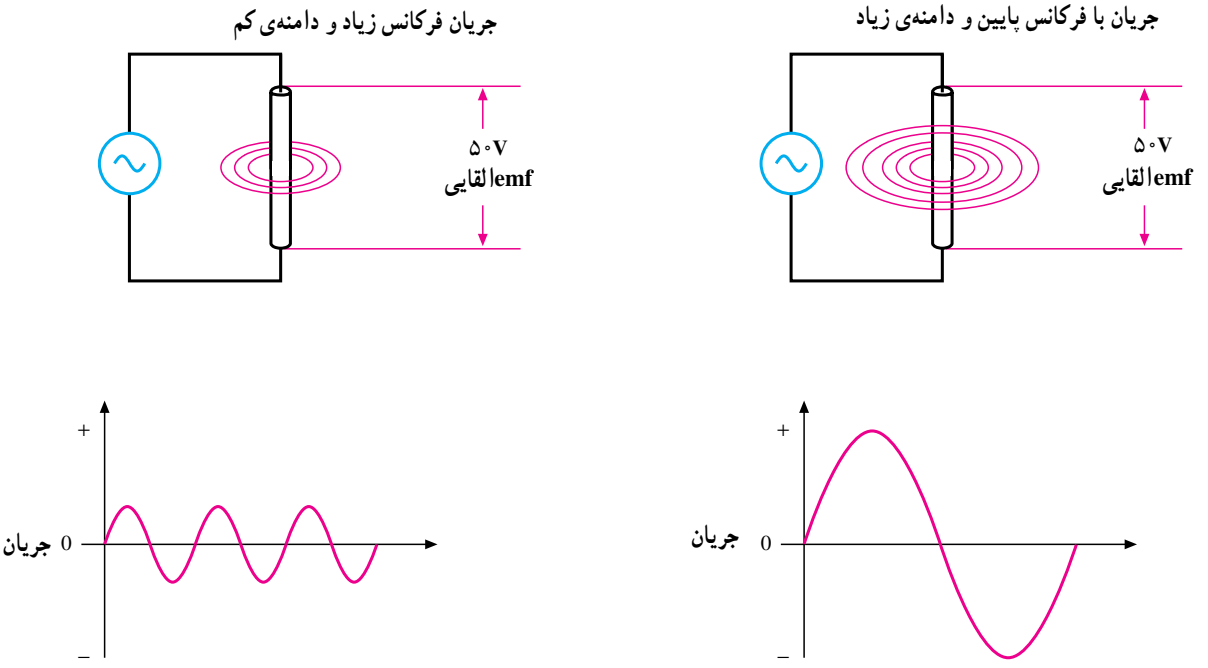
نیروی محرّکه‌ی الکتریکی القا شده در یک هادی به وسیله‌ی تغییر در شدّت جریان عبوری از آن، همانند هر نیروی محرکه‌ای دارای مقدار و جهت است. از جمله عواملی که مقدار نیروی محرّکه‌ی القا شده را معیّن می‌کند، میزان تغییرات شدّت میدان مغناطیسی است. به طوری که می‌توان نوشت : $\text{مقدار emf} = \frac{\Phi}{\alpha T}$

در این رابطه، Φ تغییرات میدان مغناطیسی و ΔT تغییرات زمان را نشان می‌دهد. شدت میدان مغناطیسی به سرعت تغییرات جریان یا تغییرات فرکانس بستگی دارد ؛ بنابراین مقدار نیروی محرّکه‌ی القا شده ؛ با فرکانس جریان متناسب است. با افزایش فرکانس، نیروی محرکه‌ی القا شده افزایش و با کاهش فرکانس نیروی محرکه القا شده، کاهش می‌یابد.

مقدار جریان نیز از عوامل دیگری است که مقدار نیروی محرکه‌ی القا شده را معیّن می‌کند ؛ یعنی، هر چه شدّت جریان عبوری از هادی بیش‌تر باشد، میدان ایجاد شده قوی‌تر و هرچه جریان کم‌تر باشد، میدان ایجاد شده ضعیف‌تر می‌شود. پس به‌طور

کلی می‌توان گفت که مقدار نیروی محرکه‌ی القا شده (خودالقا) به دامنه و فرکانس جریان عبوری از هادی بستگی دارد. شکل ۷ــ۱۴ عوامل ذکر شده را به خوبی نشان می‌دهد.

دامنه‌ی emf خودالقایی به دامنه و فرکانس جریان ac بستگی دارد.



جریان‌های فرکانس پایین نیز اگر دامنه‌شان زیاد باشند، می‌توانند emf‌های قوی ایجاد کنند.

جریان‌های فرکانس بالا می‌توانند emf‌های قوی ایجاد کنند؛ علی‌رغم این که دامنه‌شان نسبتاً کم است.

شکل ۷ــ۱۴ــ تأثیر دامنه و فرکانس جریان بر مقدار emf القایی

۵ــ۱۴ــ جهت نیروی محرکه‌ی خودالقا

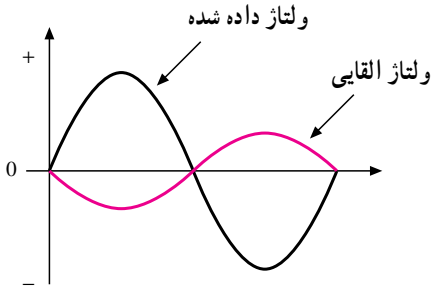
شاید تصوّر شود که پلاریته یا جهت نیروی محرکه‌ی القایی همیشه باید در جهت جریانِ به وجود آورنده‌ی آن باشد. این تصوّر درست نیست. می‌دانیم که افزایش جریان هادی از صفر تا مقدار ماکزیمم، سبب افزایش میدان مغناطیسی و نیروی محرّکه‌ی القایی می‌شود. اگر نیروی محرکه‌ی القا شده در همان جهت جریان باشد، شدّت جریان را افزایش می‌دهد. افزایش جریان، نیروی محرکه‌ی بیش‌تری را سبب می‌شود و افزایش نیروی محرکه نیز به نوبه‌ی خود افزایش جریان را به دنبال دارد. این دوره‌ی تناوب تکرار می‌شود تا جایی که چیزی را در مدار می‌سوزاند امّا می‌دانیم که چنین اتّفاقی نمی‌افتد؛ یعنی جهت نیروی محرکه‌ی القایی همیشه طوری است که اثر آن مخالف با تغییر جهت جریانِ به وجود آورنده‌ی آن است.

۶ــ۱۴ــ قانون لنز

در سال ۱۸۳۴ یک فیزیک‌دان آلمانی به نام **لنز**[1] قانونی را به جهانیان ارائه داد که بیانگر جهت نیروی محرکه‌ی القایی در یک هادی بود و ما اکنون آن را به نام **قانون لنز** می‌شناسیم.

بر اساس قانون لنز، هر تغییر در جریان عبوری از یک هادی باعث ایجاد نیروی محرکه‌ی خودالقایی می‌شود که اثر آن با جهت تغییرات جریان مخالفت می‌کند؛ به عبارت دیگر، هنگامی که جریان کاهش می‌یابد، نیروی محرکه‌ی القایی در جهتی است که با کاهش جریان مخالفت می‌کند و هنگامی که جریان افزایش می‌یابد، باز جهت نیروی محرکه‌ی خودالقایی طوری است که با افزایش جریان مخالفت می‌کند. شکل ۸ــ۱۴ رابطه‌ی بین ولتاژ

۱ــ نام این فیزیک‌دان آلمانی Heinrich F.E. Lenz است.



شکل ۸ــ۱۴ــ نیروی محرکه‌ی القایی همیشه با ولتاژ داده شده مخالفت می‌کند.

یا نیروی محرکه‌ی القا شده را با ولتاژی که باعث ایجاد جریان می‌شود (ولتاژ داده شده)، با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه نشان می‌دهد.

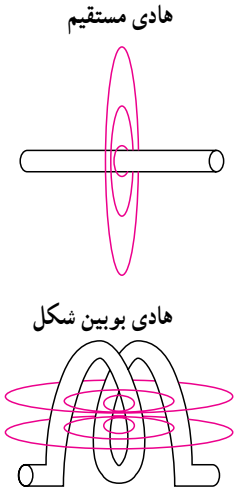
با زیاد یا کم شدن ولتاژ داده شده در یک جهت ، نیروی محرکه‌ی القا شده در جهت مخالف آن زیاد یا کم می‌شود. از آن‌جا که عمل نیروی محرکه‌ی القایی مخالف با ولتاژ داده شده است، آن را نیروی ضد محرکه‌ی القایی می‌نامند و با Cemf نمایش می‌دهند. مقدار آن را از رابطه‌ی $Cemf = -\frac{\Phi}{\Delta t}$ [1] محاسبه می‌کنند.

۷ــ۱۴ــ تأثیر شکل هادی بر خودالقایی

پیش از این دو عامل دامنه و فرکانس جریان را که بر خودالقایی مؤثرند، بررسی کردیم. عامل سومی که بر خودالقایی تأثیر می‌گذارد، شکل فیزیکی هادی است که مورد مطالعه قرار می‌گیرد.

تاکنون از هادی‌های مستقیم برای مطالعه‌ی میدان مغناطیسی و نیروی ضدّ محرکه‌ی القایی ایجاد شده کمک می‌گرفتیم. اکنون اگر یک هادی به صورت بوبین (سیم‌پیچ) باشد اولاً، به دلیل این که طول آن بیش‌تر است، نیروی ضدّ محرّکه‌ی بیش‌تری القا می‌شود. ثانیاً چون هر خط میدان، در بیش از یک نقطه از هادی نیروی ضدّ محرّکه‌ی القایی ایجاد می‌کند، نیروی ضدّ محرّکه‌ی حلقه‌ها به هم کمک کرده نیروی ضدّ محرّکه‌ی قوی‌تری تشکیل می‌شود. هر چه تعداد حلقه‌های یک سیم‌پیچ بیش‌تر باشد، نیروی ضدّ محرّکه‌ی تشکیل شده قوی‌تر خواهد بود. به طوری که می‌توان نوشت : $Cemf = -N\frac{\Phi}{\Delta t}$ که در این رابطه، N تعداد دور سیم‌پیچ است.

شکل ۹ــ۱۴ تأثیر شکل فیزیکی هادی بر خودالقای ایجاد شده را نشان می‌دهد.



اگر هادی بوبین شکل باشد، نیروی ضد محرکه‌ی بیش‌تری بر اثر خودالقا ایجاد می‌گردد.

شکل ۹ــ۱۴ــ نیروی ضد محرکه در یک هادی صاف و یک سیم‌پیچ

۸ــ۱۴ــ اندوکتانس یا ضریب خودالقا

هرگاه تعداد خطوط قوای قطع شده توسط یک هادی در واحد زمان را در ضریبی که توسط شکل هادی تعیین می‌شود ضرب کنیم، مقدار نیروی ضدّ محرّکه‌ی ایجاد شده در آن به دست می‌آید ؛ یعنی :

$$U_{Cemf} = L \times \frac{\text{تغییرات جریان}}{\text{تغییرات زمان}}$$

ضریب مورد بحث ــ یعنی L ــ را که مقدار آن به شکل هادی بستگی دارد، ضریب خودالقا یا اندوکتانس آن هادی می‌گویند. قبلاً گفتیم که نیروی ضدّ محرکه‌ی القا شده در یک سیم‌پیچ، بسیار قوی‌تر از نیروی محرکه‌ی القا شده در یک هادی است ؛ زیرا اندوکتانس یک هادی مستقیم بسیار کوچک و اندوکتانس یک سیم‌پیچ ــ بسته به تعداد حلقه‌های آن ــ نسبتاً بزرگ می‌باشد.

اندوکتانس در حقیقت یکی از خصوصیت‌های فیزیکی

۱ــ counter electromotive force

یک هادی یا سیم‌پیچ است امّا اغلب آن را بر اساس تأثیری که بر عبور جریان دارد، تعریف می‌کنند. بنابراین، اندوکتانس عبارت است از خاصیّت هر هادی در مقابل هر تغییر در شدّت جریان عبوری از آن. لذا بدیهی است که اندوکتانس در جریان مستقیم اثری ندارد و تنها اثرش ــ که مخالف با تغییر شدّت جریان است ــ هنگامی ظاهر می‌شود که شدّت جریان متغیر باشد. اندوکتانس در واقع معیاری است برای سنجش این که به ازای هر تغییری در شدت جریان چه مقدار نیروی ضدّ محرکه تولید می‌شود. پس به‌طور کلی، اندوکتانس هر سیم‌پیچ نشان می‌دهد که به ازای یک آمپر در ثانیه تغییر در جریان، چند ولت نیروی محرکه در آن القا می‌گردد.

واحد اندوکتانس هانری[1] است که از نام دانشمند کاشف آن گرفته شده است. هانری مقدار اندوکتانس یک هادی است، اگر تغییر جریان یک آمپر در ثانیه در آن نیروی ضدّ محرکه‌ی یک ولت ایجاد کند. چون هانری واحد نسبتاً بزرگی است، غالباً اندوکتانس را برحسب واحدهای کوچک‌تری چون میلی هانری(10^{-3}H) و میکروهانری(10^{-6}H) به کار می‌برند. از آن‌جا که مقدار نیروی ضد محرکه‌ی ایجاد شده در هادی جزئی از تعریف هانری است، مقدار نیروی محرکه را می‌توان از رابطه‌ی زیر به دست آورد.

$$U_{Cemf} = -L\frac{^{2}\Delta i}{\Delta t}$$

علامت منفی نشان می‌دهد که نیروی ضدّ محرّکه‌ی ایجاد شده، با ولتاژ داده شده در فاز مخالف است.

مثال ۱: در یک بوبین اگر شدّت جریان در یک ثانیه از ۵۰۰ میلی‌آمپر به ۱۰۰ میلی‌آمپر برسد و نیروی ضدّ محرکه‌ای مساوی یک ولت در آن تولید کند، مقدار ضریب خودالقا (اندوکتانس) بوبین را به دست آورید.

راه حل:

$$U_{Cemf} = -L\frac{\Delta i}{\Delta t}$$

$$-۱۷ = -L\frac{(۰/۵ - ۰/۱)A}{۱se}$$

$$L = \frac{۱}{۰/۴} = ۲/۵H$$

۹ــ۱۴ــ عوامل موثر در ضریب خودالقا (اندوکتانس)

عوامل موثر در ضریب خودالقا یا اندوکتانس یک سلف را به دو دسته تقسیم می‌کنیم :

الف ــ جنس هسته

ب ــ عوامل فیزیکی

الف ــ جنس هسته: همان‌طور که می‌دانیم، اصولاً سلف از یک سیم‌پیچ درست شده است و ماده‌ای که سیم به دور آن پیچیده می‌شود، **هسته** نام دارد. این هسته‌ها ممکن است از مواد مغناطیسی یا غیرمغناطیسی باشند. هسته‌های با مواد مغناطیسی، تمام خطوط قوای مغناطیسی ایجاد شده توسط سیم‌پیچ را به‌راحتی از خود عبور می‌دهند ؛ یعنی قابلیت نفوذپذیری (پرمابلیته) آن‌ها زیاد است. این مواد را معمولاً مواد **فرومغناطیسی** می‌نامند.

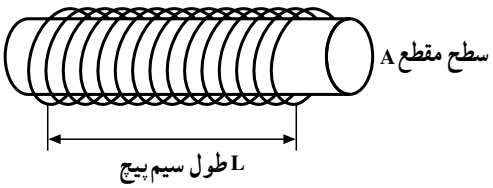
پرمابلیته‌ی هسته را با حرف μ (مو) مشخص می‌کنند. μ تعیین کننده‌ی شدّت و ضعف میدان مغناطیسی در هسته است. پرمابلیته‌ی مواد نسبت به پرمابلیته‌ی هوا($\mu_{۰}$) سنجیده و به‌صورت $\mu = \mu_{r}.\mu_{۰}$ بیان می‌شود. در این رابطه $\mu_{۰} = ۴\pi \times ۱۰^{-۷}\left[\frac{H}{m}\right]$ و μ_{r} برای مواد فرومغناطیسی بزرگ‌تر از ۱۰۰ و برای مواد غیرمغناطیسی حدود یک است.

ب ــ عوامل فیزیکی: پارامترهای زیر ــ همان‌گونه که در شکل ۱۰ــ۱۴ نشان داده شده است ــ بر اندوکتانس سلف موثرند.

۱ــ تعداد دور سیم‌پیچ

۲ــ طول سیم‌پیچ

۳ــ سطح مقطع هسته



شکل ۱۰ــ۱۴ــ پارامترهای مهم در یک سلف

۱ــ ژوزف هانری نام فیزیک‌دان آمریکایی است که همراه با مایکل فاراده خاصیت القایی را کشف کرده است.

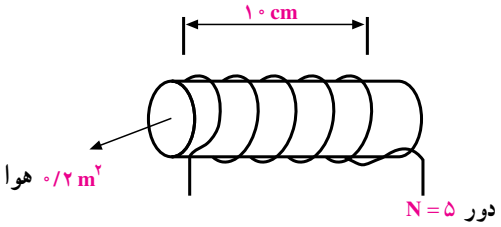
۲ــ Δi و Δt که دلتا آی و دلتا تی تلفظ می‌شود، همان تغییرات شدّت جریان و تغییرات زمان است.

اندوکتانس با توجه به عوامل موثر در آن به صورت زیر نوشته می‌شود.

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

L اندوکتانس بر حسب هانری، μ ضریب پرمابلیته‌ی هسته برحسب هانری بر متر، A سطح مقطع هسته برحسب مترمربع و l طول سیم‌پیچی برحسب متر است.

مثال ۲: با توجه به شکل ۱۱ــ۱۴ مقدار اندوکتانس بوبین چه قدر است؟



شکل ۱۱ــ۱۴

راه حل:

$$L = \frac{\mu . A . N^2}{l} = \frac{4\pi \times 10^{-7} \times 0/2 \times 5^2}{10 \times 10^{-2}} = 62/8 \mu H$$

۱۰ــ۱۴ــ ثابت زمانی

در یک مدار مقاومتیِ جریان مستقیم، شدّت جریان به طور لحظه‌ای تغییر می‌کند ؛ یعنی، با بستن کلید، جریان به‌طور ناگهانی از صفر به ماکزیمم و با قطع کلید، دفعتاً از ماکزیمم به صفر می‌رسد. در صورتی که اگر بوبینی به مدار اضافه شود، جریان دیگر نمی‌تواند به‌طور لحظه‌ای تغییر کند ؛ بنابراین، با بستن کلید، جریان سعی دارد به طور لحظه‌ای افزایش یابد امّا نیروی ضدّ محرکه‌ی ایجاد شده با افزایش لحظه‌ای جریان مخالفت می‌کند. در نتیجه، مدت زمانی طول می‌کشد تا جریان به مقدار ماکزیمم خود برسد. با قطع کلید نیز جریان به‌طور لحظه‌ای به صفر نمی‌رسد ؛ زیرا نیروی ضدّ محرکه‌ی تولید شده، با این تغییر سریع مخالفت می‌کند. لذا جریان به تدریج به صفر می‌رسد.

طی این تغییرات، رابطه‌ای مابین جریان به دست آمده و مدّت زمان رسیدن به این جریان، به وجود می‌آید که به وسیله‌ی کمیّتی به نام ثابت زمانی بیان می‌شود و آن را با حرف τ (تاو) نمایش می‌دهند. برحسب تعریف، ثابت زمانی به مدت زمانی گفته می‌شود که جریان در یک سلف به ۶۳/۲ درصد مقدار ماکزیمم یا مینیمم خود برسد. مقدار ثابت زمانی در یک مدار سلفی به مقدار مقاومت (R) واندوکتانسِ (L) بستگی دارد و از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$\tau = \frac{L}{R}$$

همان‌گونه که از رابطه‌ی گفته شده برمی‌آید، ثابت زمانی با اندوکتانس نسبت مستقیم و با مقاومت، نسبت عکس دارد ؛ بنابراین، هرچه اندوکتانس بزرگ‌تر یا مقاومت کوچک‌تر باشد، ثابت زمانی طولانی‌تر خواهد شد و برعکس. اگر اندوکتانس (L) برحسب هانری و مقاومت (R) برحسب اهم باشد، ثابت زمانی (τ) برحسب ثانیه به دست خواهد آمد. در عمل، مقدار ثابت زمانی را به علت کوچک بودن برحسب میلی ثانیه(10^{-3}se) و میکروثانیه(10^{-6}se) می‌سنجند.

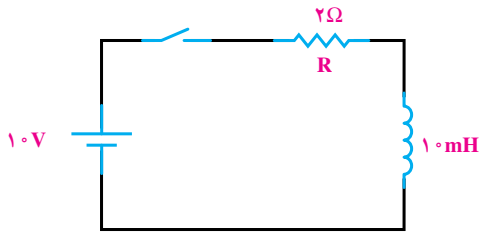
معمولاً ۵ ثابت زمانی طول می‌کشد تا جریان در یک سلف به مقدار ماکزیمم یا مینیمم خود برسد. مقدار درصد افزایش یا کاهش شدّت جریان را در ثابت‌های زمانی مختلف با توجه به منحنی‌های شکل ۱۳ــ۱۴ تحت عناوین صعود و نزول جریان بررسی می‌کنیم.

در ثابت زمانی اوّل جریانی به اندازه‌ی ۶۳/۲ درصد کل جریان نهائی از سیم‌پیچ می‌گذرد. در ثابت زمانی دوم، جریان به اندازه‌ی ۶۳/۲ درصد از باقیمانده‌ی جریان ــ که ۳۶/۸ درصد می‌باشد ــ به جریان ثابت زمانی اوّل اضافه می‌شود و در انتهای ثابت زمانی دوم به ۸۶/۴ درصد می‌رسد. در ثابت‌های زمانی سوم، چهارم و پنجم نیز به همین منوال ۶۳/۲ درصد از مقدار باقی مانده به جریان‌های قبلی اضافه می‌شود. به‌طوری که در ثابت زمانی پنجم تقریباً به مقدار حداکثر خود می‌رسد. منحنی ۱۳ــ۱۴ الف روند افزایش جریان و مقادیر هر ثابت زمانی را نشان می‌دهد.

۱ــ این فرمول در حالتی صادق است که I از قطر مقطع هسته بسیار بزرگ‌تر باشد.

با قطع جریان در مدار ــ همان گونه که در منحنی شکل ۱۳ــ۱۴ ب مشهود است ــ در ثابت زمانی اوّل جریان به اندازه‌ی ۶۳/۲ درصد از مقدار ماکزیمم کاهش پیدا می‌کند و به ۳۶/۸ درصد می‌رسد. در ثابت زمانی دوم نیز به اندازه‌ی ۶۳/۲ درصد از باقیمانده‌ی جریان کاهش می‌یابد و به ۱۳/۶ درصد می‌رسد. در ثابت‌های زمانی سوم، چهارم و پنجم کاهش جریان به همین منوال ادامه پیدا می‌کند و در ثابت زمانی پنجم تقریباً به صفر می‌رسد.

مثال ۳: در مدار شکل ۱۲ــ۱۴ پس از بستن کلید، مدت زمانی را که شدّت جریان به مقدار ماکزیمم خود می‌رسد، حساب کنید.



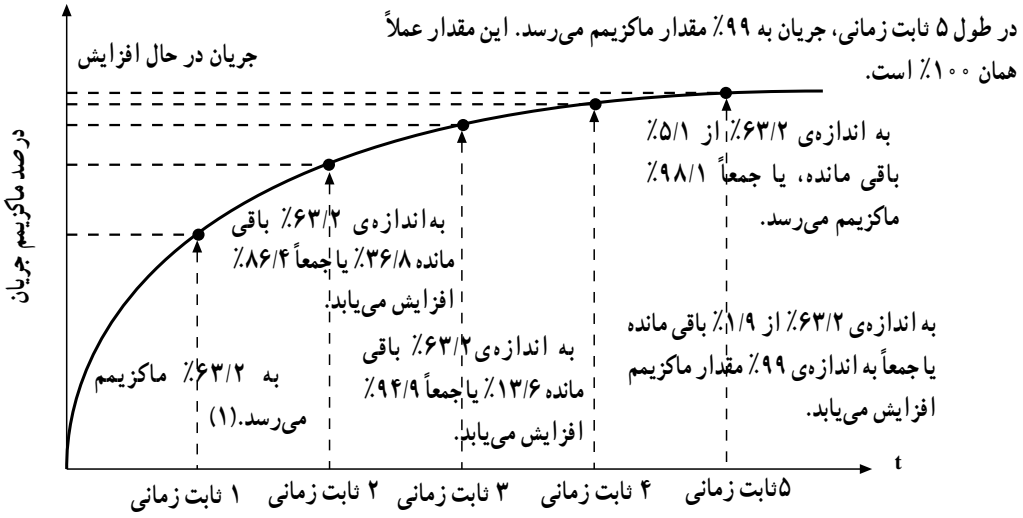
شکل ۱۲ــ۱۴

راه حل:

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{۱۰\times۱۰^{-۳}(H)}{۲(\Omega)} = ۵(ms)$$

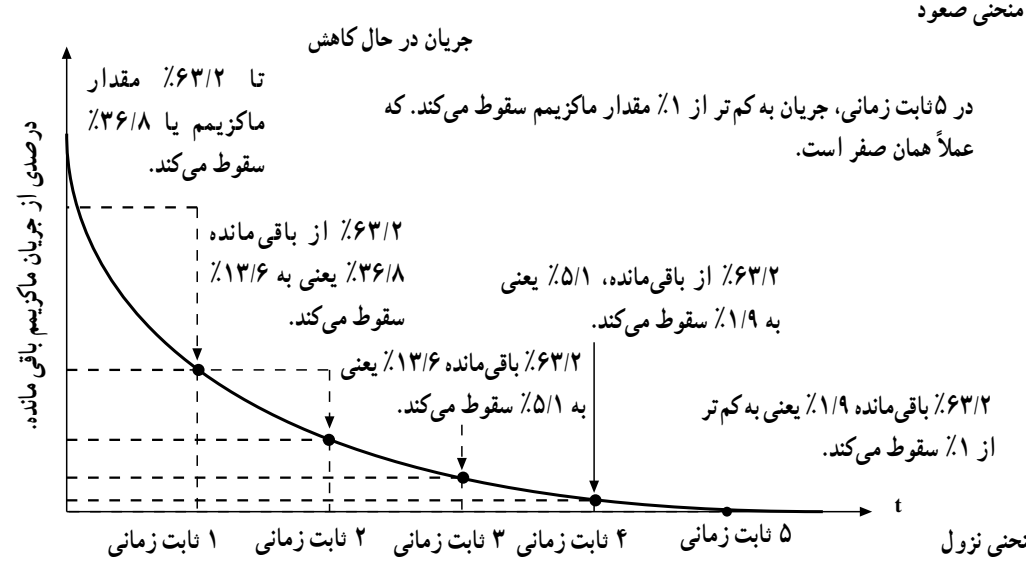
$$۵\tau = ۵\times۵ms = ۲۵(ms)$$

در طول ۵ ثابت زمانی، جریان به ۹۹٪ مقدار ماکزیمم می‌رسد. این مقدار عملاً همان ۱۰۰٪ است.



در هر ثابت زمانی، جریان به مقدار ۶۳/۲٪ به ماکزیمم نزدیک‌تر می‌شود.

الف ــ منحنی صعود



ب ــ منحنی نزول

در هر ثابت زمانی، جریان به مقدار ۶۳/۲٪ به صفر نزدیک می‌شود.

شکل ۱۳ــ۱۴ــ منحنی صعود و نزول شدت جریان در مدار سلفی

مثال ۴: در مثال ۳ اگر بوبینی با اندوکتانس ۲۰mH به جای بوبین ۱۰mH قرار گیرد، ثابت زمانی چگونه تغییر می‌کند؟

راه حل:

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{۲۰\times۱۰^{-۳}}{۲} = ۱۰(ms)$$

با توجه به رابطه‌ی فوق و مقدار به دست آمده، ثابت زمانی دوبرابر می‌شود.

مثال ۵: حداکثر جریان در یک مدارRL، ۱۰ آمپر است. مقدار جریان صعودی در پایان ثابت زمانی دوم چه قدر است؟

$$I_۱ = ۱۰\times\frac{۶۳/۲}{۱۰۰} = ۶/۳۲(A)$$

مقدار جریان در ثابت زمانی اوّل

باقیمانده‌ی جریان $۱۰-۶/۳۲ = ۳/۶۸(A)$

$$۳/۶۸\times\frac{۶۳/۲}{۱۰۰} = ۲/۳۲(A)$$

افزایش جریان در ثابت زمانی دوم

$$۶/۳۲+۲/۳۲ = ۸/۶۴(A)$$

مقدار جریان در پایان ثابت زمانی دوم

۱۱ــ۱۴ــ بوبین در جریان متناوب

برخلاف مدارهای DC که در آن‌ها جریان فقط هنگام باز وبسته شدن مدار تغییر می‌کند، در مدارهای AC جریان پی‌درپی تغییر می‌کند. لذا اندوکتانس اثری دائمی بر کار مدار می‌گذارد ؛ یعنی، از لحظه‌ی بسته شدن مدار تا لحظه‌ی قطع مدار اندوکتانس بر عملکرد مدار تأثیر دارد.

بوبین‌ها معمولاً ایده‌آل نیستند. لذا هر بوبین در مدار AC علاوه بر خاصیّت القایی از خاصیّت اهمی نیز برخوردار است. به علاوه، منبع و سیم‌های رابط نیز مقداری مقاومت دارند. حال اگر این مقاومت‌ها به قدری کوچک باشند که اثرشان بر مدار در مقابل اثر اندوکتانس ناچیز باشد، می‌توان فقط اثر سلفی را در مدار در نظر گرفت و از اثر اهمی آن صرف‌نظر کرد.

۱۲ــ۱۴ــ مقاومت القایی

می‌دانیم که مقاومت اهمی در مقابل جریان DC و AC به‌ازای ولتاژ ثابتی عکس‌العمل مشابهی دارد امّا اگر مداری تنها شامل اندوکتانس باشد، مقدار جریان به نیروی ضدّ محرکه‌ی ایجاد شده بستگی دارد که با عبور جریان مخالفت می‌کند امّا چون نیروی ضدّ محرکه (Cemf) برحسب ولت بیان می‌شود، نمی‌توان آن را به جای اهم قرار داد و جریان را به دست آورد. لذا تأثیر نیروی ضدّ محرکه بر مدار را می‌توان بر حسب اهم به دست آورد. این اثر را **مقاومت القایی** می‌گویند و با X_L نمایش می‌دهند.

مقدار نیروی ضدّ محرکه‌ی ایجاد شده در مدار، توسط مقدار L و فرکانس جریان عبوری از مدار، تعیین می‌شود ؛ بنابراین، مقاومت القایی نیز باید وابسته به همین عوامل باشد. یعنی :

$$X_L = ۲\pi f L$$

در رابطه‌ی فوق، X_L مقاومت القایی بر حسب اهم، ۲π عدد ثابت و برابر ۶/۲۸ و f فرکانس جریان برحسب هرتز و L اندوکتانس است که برحسب هانری در فرمول قرار می‌گیرد. با توجه به رابطه‌ی یاد شده هر چه فرکانس یا اندوکتانس بیش‌تر باشد، مقاومت القایی بیش‌تر و هر چه فرکانس کم‌تر باشد، مقدار مقاومت القایی کم‌تر خواهد بود.

از طرفی، $۲\pi f$ همان سرعت زاویه‌ای(ω) است که سرعت تغییرات جریان را نمایش می‌دهد. و برحسب رادیان بر ثانیه بیان می‌شود. هرقدر جریان با سرعت بیش‌تری تغییر کند، افت ولتاژ القایی در دو سر سلف نیز زیادتر خواهد شد. بنابراین، با توجّه به قانون اهم می‌توان رابطه‌ی زیر را نوشت.

$$X_L = ۲\pi f L = \frac{U_L}{I_L}$$

مطالعه‌ی آزاد

آزمایش ۴

هدف: بررسی تأثیر مقاومت القایی بر کنترل شدّت جریان مدار

وسایل لازم

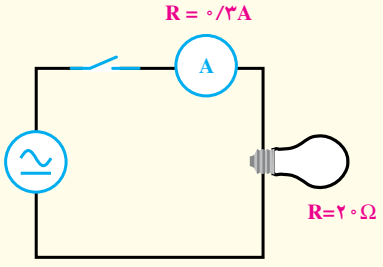
۱ــ منبع تغذیه DC – AC

۲ــ لامپ ۶ ولت ۰/۳ آمپر با سرپیچ

۳ــ آمپرمتر DC – AC

۴ــ بوبین ۱۰ و ۱۰۰ میلی هانری

۵ــ سیم‌های رابط سوسماری



شکل ۱۴ــ۱۴

مراحل آزمایش

۱ــ مدار ۱۴ــ۱۴را ببندید و منبع تغذیه را روی ۶ ولت AC تنظیم کنید.

۲ــ کلید را ببندید. آمپرمتر چه عددی را نشان می‌دهد؟ نور لامپ چگونه است؟ I =…

۳ــ به مدار فوق یک بوبین با اندوکتانس ۱۰ میلی هانری اضافه کنید. شدّت جریان و نور لامپ چگونه تغییر کرد؟ چرا؟ I =…

۴ــ بوبین ۱۰ میلی هانری را به بوبین ۱۰۰میلی هانری تبدیل کنید. مقدار جریان و نور لامپ را مشخص کنید. I =… چرا نور لامپ از دو حالت قبل کم‌تر شد؟

مقادیر شدّت جریان را در هر سه حالت مقایسه کرده، علّت کاهش آن را بیان کنید.

«در حالت اوّل با توجه به عکس‌العمل لامپ در مقابل جریان ــ که حدود ۲۰ اهم است ــ آمپرمتر ۰/۳ آمپر را نشان می‌دهد و نور لامپ در حد طبیعی است.

در حالت دوم با اضافه شدن بوبین ۱۰ میلی هانری، مقاومت القایی به ازای فرکانس برق شهر (۵۰ Hz) برابر با $X_L = 2\pi fL = 2 \times 3/14 \times 50 \times 10 \times 10^{-3} = 3/14\Omega$ می‌شود. در نتیجه، مقاومت کل مدار افزایش می‌یابد و مقدار شدّت جریان از حالت قبل کم‌تر و نور لامپ ضعیف‌تر می‌شود.

در حالت سوم، مقاومت کل مدار با قرار دادن بوبین ۱۰۰ میلی هانری، افزایش بیش‌تری پیدا می‌کند، شدّت جریان نسبت به حالت قبل کاهش می‌یابد و لامپ کم‌نورتر می‌شود.»

۵ــ مراحل ۳ و ۴ را با ولتاژ ۶ ولت DC انجام دهید و مشاهدات خود را بنویسید. آیا نور لامپ تغییر می‌کند؟ چرا؟

۱۳ــ۱۴ــ اتّصال بوبین‌ها به طور سری و موازی

برای دست‌یابی به اندوکتانس مناسب، اغلب مجبوریم بوبین‌ها را به طور سری یا موازی ببندیم. در چنین مواردی، بدون درنظر گرفتن اثر میدان‌ها بر یک دیگر، اندوکتانسِ کل عیناً شبیه مقاومت معادل در مدارهای سری و موازی به دست می‌آید.

۱۴ــ۱۴ــ اتّصال سری بوبین‌ها

با اتّصال پی‌درپی (متوالی) بوبین‌ها، اندوکتانس کل برابر مجموع تک‌تک اندوکتانس‌های موجود در مدار است که از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$L_t = L_۱ + L_۲ + \cdots + L_n$$

در صورت مساوی بودن اندوکتانس‌ها، اندوکتانس کل برای n بوبین برابر است با

$$L_t = nL$$

۱۵ــ۱۴ــ اتّصال موازی بوبین‌ها

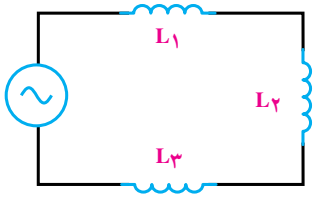
در اتّصال موازی بوبین‌ها اندوکتانس کل از ربطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$\frac{۱}{L_t} = \frac{۱}{L_۱} + \frac{۱}{L_۲} + \cdots + \frac{۱}{L_n}$$

در صورت مساوی بودن بوبین‌ها اندوکتانس کل برای n بوبین، برابر است با

$$L_t = \frac{L}{n}$$

شکل ۱۵ــ۱۴ اتّصال سری و موازی را برای سه بوبین که با فاصله‌ی زیاد از یک دیگر قرار دارند (بدون داشتن ارتباط مغناطیسی)، نشان می‌دهد.



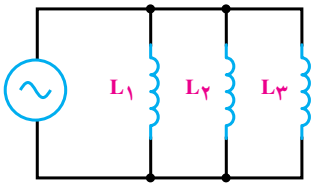
اندوکتانس کل

$$L_{TOT} = L_۱ + L_۲ + L_۳$$

مقاومت ــ القایی کل

$$X_{L_{TOT}} = X_{L_۱} + X_{L_۲} + X_{L_۳}$$

اندوکتانس یا مقاومت القایی کل در مدارهای سری یا موازی به همان طریق محاسبه‌ی مقاومت در مدارهای اهمی سری یا موازی انجام می‌گیرد.



اندوکتانس مجموعه

$$L_{TOT} = \frac{۱}{\frac{۱}{L_۱} + \frac{۱}{L_۲} + \frac{۱}{L_۳}}$$

مقاومت القایی مجموعه

$$X_{LTOT} = \frac{۱}{\frac{۱}{X_{L_۱}} + \frac{۱}{X_{L_۲}} + \frac{۱}{X_{L_۳}}}$$

شکل ۱۵ــ۱۴ ــ اتصال سری و موازی بوبین‌ها

هم‌چنین، برای محاسبه‌ی مقاومت القایی معادل در مدارهای سری و موازی نیز می‌توان مشابه محاسبه‌ی اندوکتانس معادل بوبین‌ها عمل کرد. روابط محاسبه‌ی مقاومت القایی معادل، در مدار سری و موازی به صورت زیر است.

مدار سری $X L_t = X L_۱ + X L_۲ + \cdots + X L_n$

مدار موازی $\frac{۱}{X L_t} = \frac{۱}{X L_۱} + \frac{۱}{X L_۲} + \cdots + \frac{۱}{X L_n}$

مثال ۶: سه بوبین با اندوکتانس‌های ۱۵ و ۶ و ۱۰ میلی‌هانری یک بار به صورت سری و یک بار به صورت موازی بسته شده‌اند. اندوکتانس کل را در هر حالت به دست آورید.

راه حل:

۱ــ اتّصال سری

$$L_t = L_۱ + L_۲ + L_۳$$

$$L_t = ۱۵ + ۶ + ۱۰ = ۳۱(mH)$$

۲ــ اتّصال موازی

$$\frac{۱}{L_t} = \frac{۱}{L_۱} + \frac{۱}{L_۲} + \frac{۱}{L_۳} = \frac{۱}{۱۵} + \frac{۱}{۶} + \frac{۱}{۱۰}$$

$$\frac{۱}{L_t} = \frac{۲ + ۵ + ۳}{۳۰} = \frac{۱۰}{۳۰}(mH)$$

$$L_t = \frac{۳۰}{۱۰} = ۳(mH)$$

مثال ۷: در مثال ۶، اگر فرکانس مدار ۱۰۰۰ هرتز در نظر گرفته شود، مقاومت القایی معادل را در هر حالت به دست آورید.

۱ــ حالت سری

$$L_t = ۳۱(mH)$$

$$XL_t = ۲\pi f L_t = ۲\times ۳/۱۴\times ۱۰۰۰\times ۳۱\times ۱۰^{-۳}(\Omega)$$

$$XL_t = ۱۹۴/۶۸\Omega$$

۲ــ حالت موازی

$$L_t = ۳mH$$

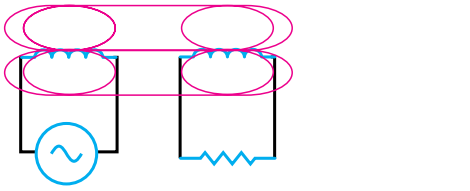
$$XL_t = ۲\pi f L_t = ۲\times ۳/۱۴\times ۱۰۰۰\times ۳\times ۱۰^{-۳}\Omega$$

$$XL_t = ۱۸/۸۴\Omega$$

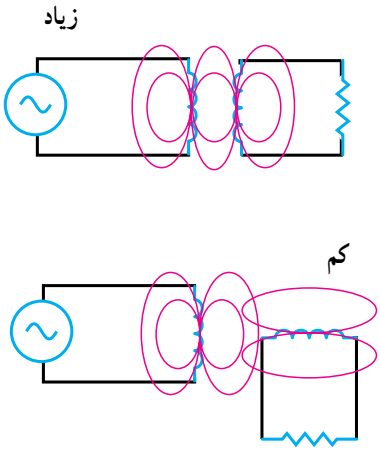
۱۶ــ۱۴ــ القای متقابل

هرگاه دو سیم‌پیچ طوری در نزدیکی یک دیگر قرار گیرند که خطوط قوای تولید شده توسط یکی حلقه‌های سیم‌پیچ دیگری را قطع کند، در سیم‌پیچ دوم ولتاژی القا می‌شود . ولتاژ القا شده در سیم‌پیچ دوم ــ در صورت بسته بودن مدارش با مصرف‌کننده ــ به نوبه‌ی خود جریانی را تولید می‌کند که با تولید خطوط قوای جدید، حلقه‌های سیم‌پیچی اوّل را قطع می‌کند و در سیم‌پیچ اوّل ولتاژی القا می‌شود. به این عمل **القای متقابل** گفته می‌شود ؛ یعنی، دو سیم‌پیچ متقابلاً بر یک‌دیگر اثر می‌گذارند. با توجّه به این که هیچ‌گونه ارتباط الکتریکی بین دو سیم‌پیچ وجود ندارد ولی حلقه‌های آن‌ها توسط میدان مغناطیسی با هم در ارتباط‌اند، این ارتباط، متقابل است.

القای متقابل را می‌توان به منزله‌ی درجه یا مقدار القایی که دو سیم‌پیچ بر یک دیگر اعمال می‌کنند در نظر گرفت. القای متقابلِ دو بوبین، به وضع قرار گرفتن آن‌ها نسبت به یک‌دیگر و تعداد خطوط قوایی که ارتباط بین دو بوبین را برقرار می‌کنند، بستگی دارد. درجه‌ی ارتباط خطوط قوا، توسط ضریبی به نام **ضریب کوپلاژ** بیان می‌شود. وقتی همه‌ی خطوط قوای یک بوبین توسط بوبین دیگر قطع شود، ضریب کوپلاژ برابر یک و هرگاه قسمتی از خطوط قوای تولید شده توسط بوبین دیگر قطع شود، ضریب کوپلاژ کم‌تر از یک خواهد بود. در صورتی که بین دو بوبین هیچ‌گونه القای متقابلی وجود نداشته باشد، ضریب کوپلاژ برابر صفر خواهد بود.



وقتی القای متقابل بین دو بوبین وجود ندارد، کوپلینگ هم وجود ندارد.



مینیمم کوپلینگ زمانی به‌وجود می‌آید که دو بوبین با هم زاویه‌ی ۹۰° می‌سازند.

شکل ۱۶ــ۱۴ــ نمایش درجه‌ی کوپلاژ بین بوبین‌ها

هرگاه ضریب کوپلاژ ــ که آن را با حرف k نمایش می‌دهند ــ برابر یک باشد، کوپلاژ را کامل یا سفت گویند. چنان‌چه ضریب کوپلاژ (k) کم‌تر از یک باشد، کوپلاژ را ناقص یا سست می‌گویند. **کوپلینگ حداکثر (واحد) زمانی اتفاق می‌افتد که خطوط قوای یک بوبین، تمام حلقه‌های بوبین دیگر را قطع کند.**

شکل ۱۶ــ۱۴ درجه‌ی کوپلاژ را در حالت‌های مختلف نشان می‌دهد.

برای نشان دادن میزان القای متقابل بین دو بوبین از ضریبی استفاده می‌شود، که آن‌را ضریب القای متقابل می‌نامند و با حرف Mنمایش می‌دهند. ضریب القای متقابل به اندوکتانس دو سیم‌پیچ

و ضریب کوپلاژ بین آن‌ها وابسته است و از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود.

در این رابطه M ضریب القای متقابل بر حسب هانری L_1 و L_2 اندوکتانس بوبین‌ها و k ضریب کوپلاژ است که بدون واحد می‌باشد.

$$M = k\sqrt{L_1 L_2}$$

مطالعه‌ی آزاد

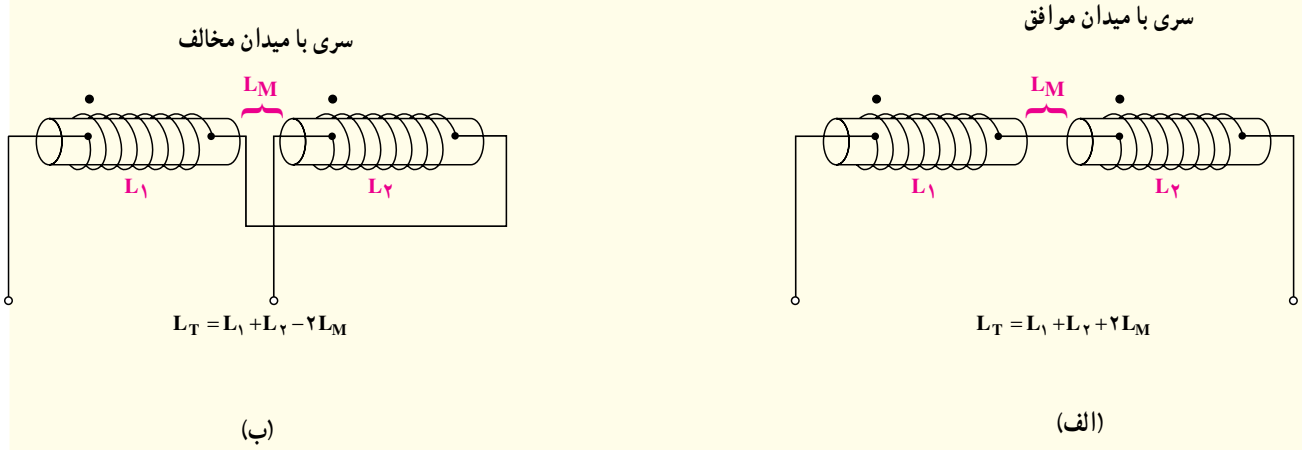
۱۷ــ۱۴ــ اتّصال بوبین‌ها با در نظر گرفتن کوپلاژ مغناطیسی

اگر دو بوبین با کوپلاژ مغناطیسی با هم سری یا موازی شوند، دیگر فرمول‌هایی که برای حالت بدون کوپلاژ به کار می‌رود، در مورد این دو صادق نخواهد بود ؛ یعنی، L کل از جمع Lهای جزء به دست نمی‌آید (شکل ۱۷ــ۱۴). برای نمونه، اگر دو بوبین ــ مطابق شکل ۱۷ــ۱۴الف ــ با هم سری باشند و میدان‌های ایجاد شده به یک‌دیگر کمک کنند[1]، برای به دست آوردن اندوکتانس کل از رابطه‌ی زیر استفاده می‌شود.

$$L_t = L_1 + L_2 + 2M$$

در صورتی که میدان‌های ایجاد شده توسط دو بوبین ــ مطابق شکل ۱۷ــ۱۴ ب ــ خلاف جهت یک‌دیگر باشند، اندوکتانس کل از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

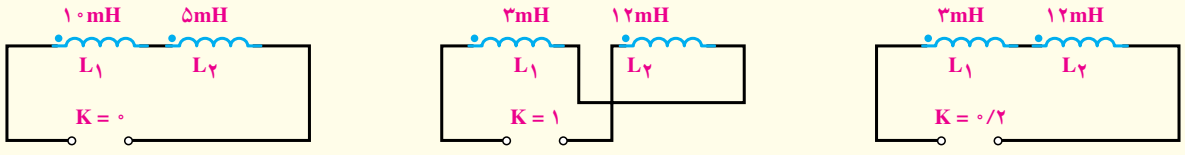
$$L_t = L_1 + L_2 - 2M$$



شکل ۱۷ــ۱۴ــ اتّصال بوبین‌ها با کوپلاژ

۱ــ نقطه‌ی سیاه (•) در هر طرف بوبین قرار گیرد، نشان دهنده‌ی ابتدای بوبین و جهت پیچش آن است. اگراتّصال بوبین‌ها انتها به ابتدا یا برعکس باشد، دو بوبینِ هم جهت، به یک دیگر متّصل می‌شوند و در نتیجه، میدان‌های آن‌ها موافق هستند. اگر اتّصال بوبین‌ها انتها به انتها یا ابتدا به ابتدا باشد، دو بوبینِ غیرهم جهت به یک دیگر متّصل می‌شوند و میدان‌های آن‌ها مخالف یک دیگرند.

مثال ۸: با توجه به شکل ۱۸ــ۱۴ اندوکتانس کل را به دست آورید.



(الف) (ب) (پ)

شکل ۱۸ــ۱۴

راه حل:

الف ــ $M = k\sqrt{L_۱L_۲} = ۰/۲\sqrt{۳\times۱۲} = ۱/۲mH$

$L_t = L_۱ + L_۲ + ۲M = ۳+۱۲+۲(۱/۲) = ۱۷/۴(mH)$

ب ــ $M = k\sqrt{L_۱L_۲} = ۱\times\sqrt{۳\times۱۲} = ۶(mH)$

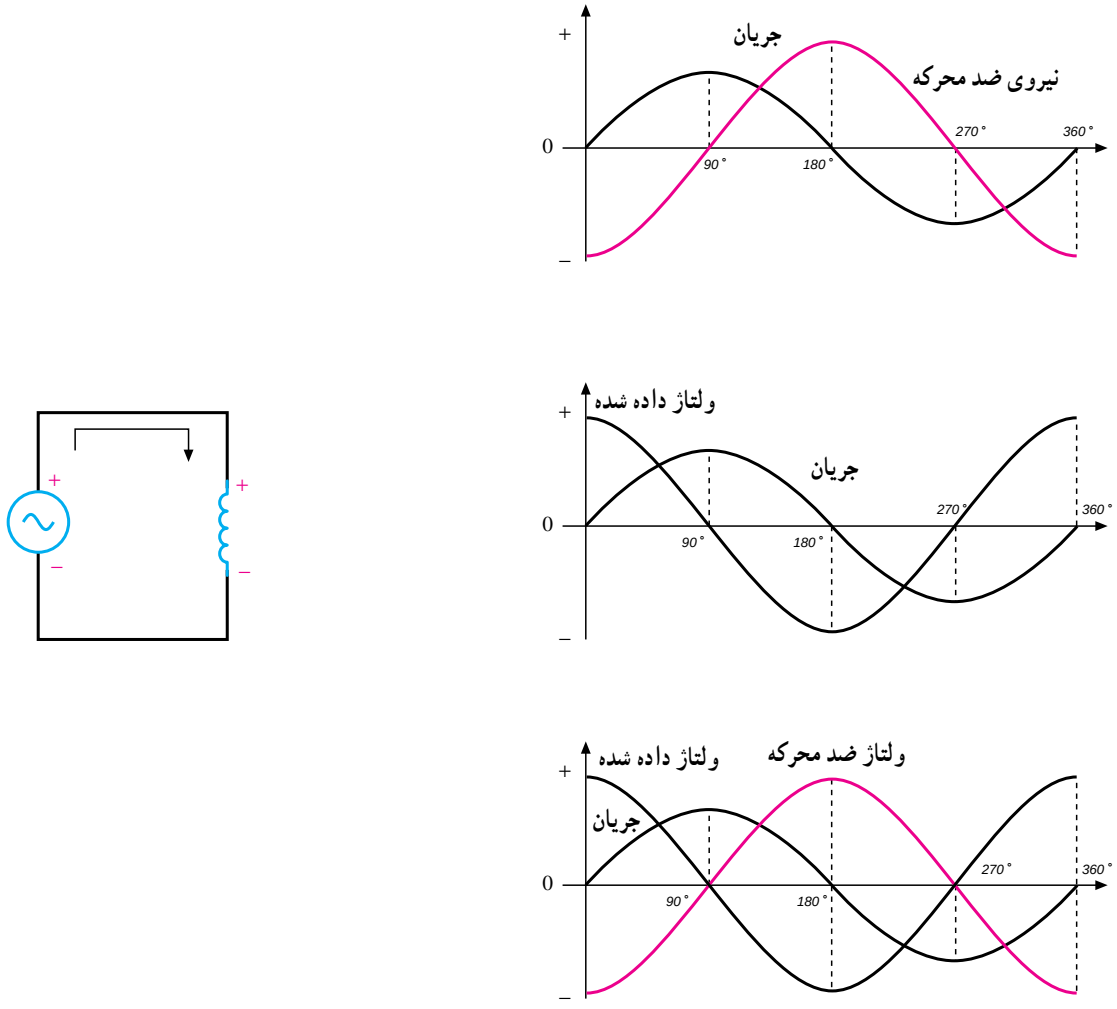
$L_t = L_۱ + L_۲ - ۲M = ۳+۱۲-(۲\times۶) = ۳(mH)$

پ ــ $k = ۰ \rightarrow M = ۰$

$L_t = L_۱ + L_۲ = ۱۰+۵ = ۱۵(mH)$

۱۸ــ۱۴ــ منحنی جریان و ولتاژ بوبین در جریان متناوب

در یک مدار با مقاومت اهمی اختلاف فاز بین ولتاژ دو سر مقاومت با جریان عبوری از آن برابر صفر است ؛ یعنی، جریان با ولتاژ دو سر یک مقاومت هم فاز می‌باشد امّا اگر مداری شامل اندوکتانس باشد، نیروی ضدّ محرکه و تأخیر ایجاد شده توسط اندوکتانس در جریان، بین ولتاژ داده شده و جریان عبوری از آن، اختلاف فاز ایجاد می‌کند. به عبارت دیگر، جهت نیروی ضدّ محرکه چنان است که همیشه با تغییرات جریان مخالفت می‌کند. به علاوه، می‌دانیم که ولتاژ داده شده با ولتاژ القا شده در سیم‌پیچ همفاز نیستند و کاملاً در جهت مخالف یک دیگرند. منحنی‌های شکل ۱۹ــ۱۴ ارتباط بین منحنی‌های جریان، ولتاژ داده شده و نیروی ضد محرکه را به خوبی نشان می‌دهد. زمانی که دامنه‌ی جریان ماکزیمم است، به دلیل اینکه تغییرات آن صفر است، دامنه‌ی نیروی ضدّ محرکه صفر است. زمانی که جریان از صفر می‌گذرد، تغییرات آن بیش‌ترین مقدار را دارا است. پس نیروی ضدّ محرکه بسته به جهت تغییرات جریان، ماکزیمم یا مینیمم می‌باشد. به تعبیر دیگر در ۹۰ و ۲۷۰ درجه، جریان تغییرات ناچیزی دارد و ولتاژ داده شده صفر است. لذا نیروی ضد محرکه‌ای ایجاد نمی‌شود. در صفر، ۱۸۰ و ۳۶۰ درجه تغییرات جریان، زیاد و ولتاژ داده شده ماکزیمم است. لذا حداکثر نیروی ضدّ محرکه در خلاف جهت ولتاژ داده شده تولید می‌شود.



شکل ۱۹ــ۱۴ــ نمایش منحنی‌های جریان ولتاژ داده شده و نیروی ضد محرکه

۱۹ــ۱۴ــ انرژی ذخیره شده در سلف

میدان مغناطیسی وابسته به جریان در یک سیم‌پیچ دارای انرژی الکتریکی است که از طریق منبع ولتاژی که جریان را تولید می‌کند، تأمین می‌شود. این انرژی در میدان مغناطیسی ذخیره می‌شود و به اندوکتانس (L) و مجذور جریان بستگی دارد ؛ یعنی :

$$W = \frac{1}{2} LI^2$$

در رابطه‌ی فوق I برحسب آمپر، L برحسب هانری و انرژی ذخیره شده، (W) برحسب وات ثانیه یا ژول است.

مثال ۹: از یک سیم‌پیچ با ضریب خودالقایی ۳ هانری، جریان مستقیمی برابر با ۶۰ آمپر می‌گذرد. هنگام قطع این سیم‌پیچ چه قدر انرژی آزاد می‌شود؟

$$W = \frac{1}{2} LI^2$$

$$W = \frac{1}{2} \times 3 \times (60)^2 = \frac{3 \times 3600}{2} = 5400\,j = 5/4\,Kj$$

خلاصه‌ی مطالب

* از پیچیدن چند دور سیم به دور یک هسته، بوبین درست می‌شود.
* هنگامی که یک هادی خطوط قوای مغناطیس را قطع کند، در دوسر آن نیروی محرکه‌ی القایی به وجود می‌آید.
* با جاری شدن جریان متغیر در هادی، میدان مغناطیسی ایجاد می‌شود که خود یک نیروی محرکه‌ی القایی در هادی به وجود می‌آورد. به این پدیده **خودالقایی** گفته می‌شود.
* مقدار نیروی محرکه‌ی خود القا، متناسب با دامنه و فرکانس جریان است.
* جهت نیروی محرکه‌ی القایی با استفاده از قانون لنز چنین تعریف می‌شود: هر تغییر در جریان، نیروی محرکه‌ای را به وجود می‌آورد که با تغییر جریان مخالفت می‌کند.
* نیروی محرکه‌ی القایی گاهی نیروی ضد محرکه‌ی القایی خوانده می‌شود و آن را با Cemf نمایش می‌دهند.
* شکل فیزیکی یک هادی در مقدار خودالقایی تأثیر دارد.
* پیچش هادی‌ها به صورت بوبین، نیروی محرکه‌ی قوی‌تری تولید می‌کند.
* اندوکتانس (L) برحسب هانری اندازه‌گیری می‌شود و واحدهای کوچک‌تر آن میلی هانری mH و میکروهانری (μH) است.
* نیروی ضد محرکه از رابطه‌ی $UCemf = -L\frac{\Delta i}{\Delta t}$ به دست می‌آید.
* وقتی یک بوبین در مدار DC قرار گیرد، در لحظه‌ی قطع و وصل مدار، جریان تغییرات لحظه‌ای (ناگهانی) ندارد بلکه به صورت تدریجی تغییر می‌کند.
* به مدت زمانی که جریان در یک سیم‌پیچ به ۶۳/۲ درصد مقدار ماکزیمم خود افزایش یا برعکس ۶۳/۲ درصد از مقدار ماکزیمم کاهش می‌یابد، **ثابت زمانی** می‌گویند.
* در بوبین ثابت زمانی از رابطه‌ی $t = \frac{L}{R}$ به دست می‌آید.
* ۵ ثابت زمانی طول می‌کشد تا جریان در بوبین به مقدار ماکزیمم خود برسد.
* اندوکتانس در مدار DC تأثیر لحظه‌ای دارد (زمان قطع و وصل مدار).
* اندوکتانس در مدار AC پیوسته بر کارکرد آن مؤثر است.
* ولتاژ دو سر سلف (بوبین) ۹۰ درجه از جریان آن جلوتر است، در صورتی که نیروی ضد محرکه ۹۰ درجه از جریان عقب‌تر می‌باشد.
* القای متقابل، مقدار و درجه‌ی القایی دو سیم‌پیچ را بر یک دیگر مشخص می‌کند.
* ضریب القای متقابل بین دو بوبین از رابطه‌ی $M = k\sqrt{L_1 L_2}$ به دست می‌آید.
* ضریب کوپلاژ بین دو بوبین از رابطه‌ی $k = \frac{\varphi_2}{\varphi_1}$ به دست می‌آید.
* انرژی ذخیره شده در بوبین از رابطه‌ی $W = \frac{1}{2}LI^2$ محاسبه می‌شود.
* واحد انرژی ذخیره شده در بوبین ژول است.

پرسش

۱ــ خودالقایی و ضریب خودالقایی را تعریف کنید.
۲ــ تغییرات جریان چه اثراتی بر سیم‌پیچ می‌گذارد؟
۳ــ قانون لنز چیست؟
۴ــ اثرات جریان DC و AC را بر سیم‌پیچ با یک دیگر مقایسه کنید.
۵ــ فرق بین emf و Cemf چیست؟
۶ــ عوامل موثّر بر مقدار ضریب القا و خودالقا کدام‌اند؟
۷ــ القای متقابل یعنی چه؟
۸ــ اثرات جریان DC در القای متقابل چیست؟
۹ــ اثرات هسته را در سیم‌پیچ‌ها توضیح دهید.
۱۰ــ انرژی ذخیره شده در سلف یعنی چه؟
۱۱ــ مقاومت القایی چیست؟ رابطه‌ی آن را با فرکانس بنویسید.
۱۲ــ اثر مقاومت القایی را در جریان متناوب توضیح دهید.
۱۳ــ انگیزه‌ی سری یا موازی بستن سیم‌پیچ‌ها را بیان کنید.
۱۴ــ ثابت زمانی القایی را تعریف کنید.
۱۵ــ در ۴ ثابت زمانی چه درصدی از جریان در سیم‌پیچ جاری می‌شود؟
۱۶ــ ثابت زمانی با چه واحدی اندازه‌گیری می‌شود؟
۱۷ــ رابطه‌ی فازی بین ولتاژ و جریان یک بوبین چیست؟ چرا؟

مسائل

۱ــ سیم‌پیچی به طول ۵۰ سانتی‌متر و سطح مقطع ۰/۰۲ متر مربع با هسته‌ی هوا دارای ۱۰۰۰ دور است ؛ اولاً ضریب خودالقایی آن تقریباً چند میلی هانری است؟ ثانیاً اگر بخواهیم ضریب خود القا دو برابر شود، تعداد دور سیم‌پیچ باید چند دور شود؟
(جواب : ۵۰mH و دور ۱۴۱۰)
۲ــ دو بوبین با ضریب خودالقای ۱۰۰ میلی هانری را یک بار به طور سری و بار دیگر به طور موازی به هم وصل می‌کنیم. ضریب خودالقایی کل در هر دو حالت چه قدر می‌شود؟
(جواب : ۲۰۰ و ۵۰ میلی هانری)
۳ــ سیم‌پیچی L = ۲۰mH و جریان عبوری از آن ۱۰ آمپر است. چه مقدار انرژی در سیم‌پیچ ذخیره می‌شود؟
(جواب : ژول ۱ =W)
۴ــ ۴ بوبین با ضریب‌های خودالقای ۵۰، ۲۵، ۱۰۰ و ۲۵ میلی هانری را یک بار به طور سری و بار دیگر به طور موازی ببندید. ضریب خودالقای کل را در هر حالت به دست آورید.
(جواب : ۲۰۰ و ۹ میلی هانری)
۵ــ از یک بوبین با ضریب خودالقایی ۱۰mH جریان متناوبی با فرکانس ۵۰ هرتز عبور می‌کند. مقاومت القایی بوبین چند اهم است؟ اگر فرکانس به یک کیلو هرتز تغییر یابد، مقاومت القایی بوبین چند اهم می‌شود؟

(جواب : ۳/۱۴ و ۶۲/۸)

۶ــ در یک بوبین با ضریب خودالقایی ۳ میلی‌هانری، جریان در مدت دو ثانیه از یک آمپر به ۷ آمپر افزایش می‌یابد ولتاژ خودالقایی در بوبین چند میلی ولت است؟ اگر ضریب خودالقایی ۳ هانری باشد، ولتاژ القایی چند میلی‌ولت می‌شود؟

(جواب : ۹- و ۹۰۰۰-)

۷ــ یک بوبین با ضریب خودالقایی ۲ هانری و مقاومت اهمی ۰/۵ اهمی در دست است. اگر این بوبین را به ولتاژ ۱/۵ ولت مستقیم وصل کنیم، ماکزیمم جریان مدار چند آمپر می‌شود؟ چه مدت زمانی طول می‌کشد تا جریان ماکزیمم شود؟

(جواب : ۳ آمپر و ۲۰ ثانیه)

مطالعه‌ی آزاد

۲۰ــ۱۴ــ آزمایش شماره‌ی ۵

هدف: بررسی تأثیر فرکانس و هسته در مقاومت القایی سیم‌پیچ

وسایل مورد نیاز

۱ــ سیگنال ژنراتور AF

۲ــ منبع تغذیه DC

۳ــ لامپ ۶ ولت

۴ــ لامپ یا LED

۵ــ میکروآمپرمتر

۶ــ بوبین‌های ۵، ۱۰ و ۱۰۰ میلی هانری

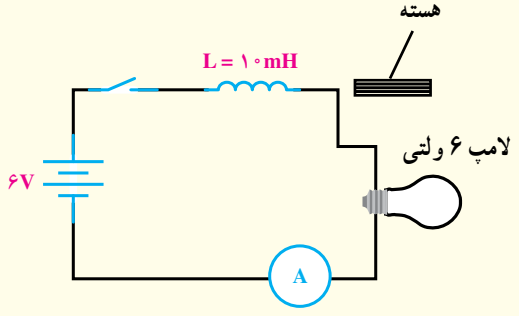
۷ــ هسته‌ی مغناطیسی

۸ــ سیم‌های رابط سوسماری

مراحل آزمایش

۱ــ مداری را مطابق شکل ۲۰ــ۱۴ ببندید.

ــ ولتاژ منبع تغذیه را روی ۶ ولت DC تنظیم کنید.



شکل ۲۰ــ۱۴

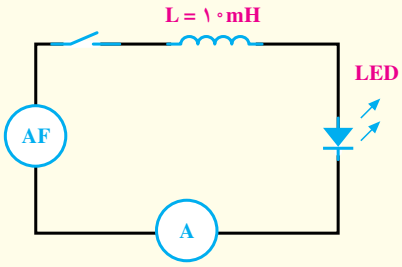
ــ کلید را ببندید. چه اتفاقی می‌افتد؟

ــ به روشنایی لامپ توجه کنید. مقدار جریان را یادداشت نمایید. I =...

۲ــ هسته‌ی مغناطیسی را به تدریج داخل سیم‌پیچ کرده و به نور لامپ توجه کنید. با وارد شدن هسته در سیم‌پیچ، نور لامپ کاهش می‌یابد. چرا؟

پس از وارد کردن هسته در سیم‌پیچ، آمپرمتر چه جریانی را نشان می‌دهد؟ چرا جریان کاهش یافته است؟ نتیجه‌ای را که از این آزمایش گرفته‌اید، بنویسید.

۳ــ مدار شکل ۲۱ــ ۱۴ را ببندید.



شکل ۲۱ــ۱۴

۱ــ سیگنال ژنراتور را روی ۱۰۰ هرتز و ۱۰ ولت پیک تا پیک تنظیم کنید.

ــ کلید را ببندید و به نور لامپ توجه کنید. چه جریانی از مدار می‌گذرد؟ $I = \cdots$

ــ با افزایش فرکانس، نور لامپ (کاهش ــ افزایش) می‌یابد. چرا؟

ــ با کاهش فرکانس، نور لامپ (کاهش ــ افزایش) می‌یابد. چرا؟

ــ رابطه‌ی بین مقاومت القایی و فرکانس را بنویسید.

ــ مقاومت القایی با فرکانس چه نسبتی دارد؟

ــ به ازای فرکانس ۱kHz مقدار X_L را محاسبه کنید.

۲ــ هر سه بوبین را با هم سری کرده فرکانس را روی ۱kHz تنظیم کنید.

ــ نور لامپ چگونه تغییر می‌کند؟ چرا؟ X_L کل را به دست آورید.

۳ــ هر سه بوبین را با هم موازی ببندید و فرکانس را روی ۱kHz تنظیم کنید.

ــ نور لامپ چگونه تغییر کرد؟ چرا؟ X_L کل را به دست آورید.

ــ مقاومت القایی را در حالت‌های سری و موازی با هم مقایسه کنید.

ــ نتیجه‌ای را که از این آزمایش می‌گیرید، بنویسید.