آزمایش ثبت منحنی پسماند هسته آهنی یک ترنسفورماتور

آزمایش شماره شش (بخش سوم) – آزمایشگاه فیزیک حالت جامد

گروه ۲: پارسا رنگریز – عرفان ریاضی – ابراهیم خالقیان

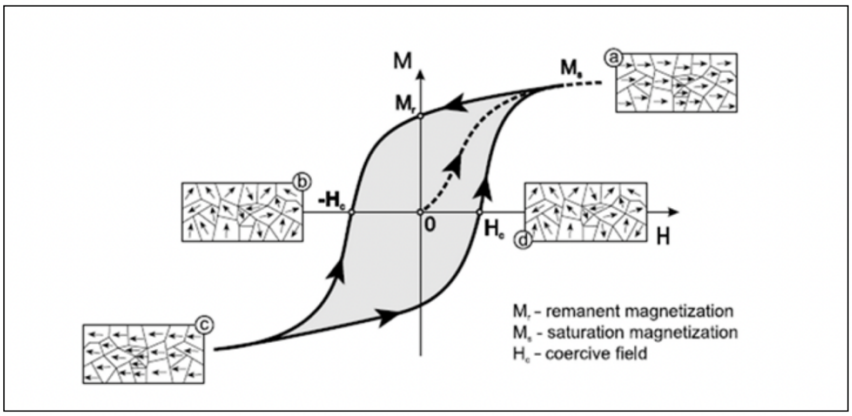
۲۰ اردیبهشت ۱۴۰۱

چکیده

هدف از انجام این آزمایش ترسیم منحنی پسماند یک ماده فرومغناطیسی است که هسته آهنی یک ترانسفورماتور می‌باشد و این منحنی توسط دستگاه چاپگر دوبعدی رسم شده است.

مقدمه

فرومغناطیس‌ها موادی هستند که می‌توانند مغناطیس دائم داشته باشند و همچنین عمدتا وجود آن‌ها تاثیر زیادی بر میدان مغناطیسی دارد. مواد فرومغناطیس خطی نیستند و در نتیجه روابط $\mu = \chi H$ و $B = \mu H$ با مقدارهای ثابت μ و χ در موردشان صدق نمی‌کند. در حالت کلی روابط μ به صورت $\mu = \mu(H)$ برقرار است. در بررسی یک نمونه فرومغناطیس یا مغناطیده، اگر شدت مغناطیسی که در آغاز صفر است به صورت یکنوا افزایش داده شود، منحنی حاصل از رسم رابطه $B - H$ مشابه شکل ۱ خواهد بود. این منحی را منحنی مغناطیسی ماده می‌نامند. واضح است که μهایی که با استفاده از رابطه $\mu = \frac{B}{H}$ بدست می‌آیند همواره علامتی یکسان (مثبت) دارند ولی مقادیرشان بسیار متفاوت است. بیش‌ترین مقدار تراوایی در زانویی منحنی رخ می‌دهد. علت وجود زانو در منحنی این است که مغناطیس μ در ماده به مقدار بیشینه‌ای می‌رسد و برای مقادیر بسیار زیاد H افزایش میدان مغناطیسی $B = \mu H$ تنها بعلت وجود μ ادامه می‌یابد. مقدار بیشینه μ را «مغناطیس اشباع» ماده می‌نامند.



شکل ۱: منحنی پسماند مغناطیسی

همانطور که در شکل ۱ دیده می‌شود، اگر شدت مغناطیسی H را کاهش دهیم، رابطه $B - H$ از روی منحنی شکل بالا برنمی‌گردد، بلکه از روی منحنی جدید شکل زیر حرکت می‌کند و به نقطه M_r می‌رسد. مغناطیس پس از برقرار شدن دیگر با جذب H از میان

نمی‌رود. در واقع باید یک شدت مغناطیسی معکوس به کار گرفته شود تا مغناطیس به صفر کاهش یابد. اگر افزایش H در جهت معکوس ادامه یابد، آنگاه μ در جهت معکوس برقرار شده، حالت تقارن منحنی آغاز خواهد شد. سرانجام وقتی بار دیگر H افزایش یابد، نقطه در عمل در شکل منحنی پایینی را طی می‌کند. پس منحنی $B-H$ وقتی H در حال افزایش است، با وقتی که H در حال کاهش است، کاملا متفاوت است. این پدیده را «پسماند» می‌گویند. مغناطیس در واقع از یک میدان محرک عقب می‌ماند. مقدار B در نقطه M_r را پسماند می‌گویند. اندازه H در نقطه C به نیروی وادارندگی و یا وادارندگی مغناطیس ماده موسوم است.

اگر از سیم‌پیچی به طول l و تعداد دور n_l جریان I عبور کند، میدان مغناطیسی ایجاد شده به صورت $H=\frac{In_l}{l}$ خواهد شد. در عین حال القای مغناطیسی B نیز ایجاد می‌شود که برابر با $B=\mu_0\mu_r H$ که μ_0 نفوذ پذیری مغناطیسی خلا و μ_r نفوذپذیری نسبی است.

در این آزمایش، هسته آهنی یک ترانسفورماتور به عنوان ماده فرومغناطیس به کار می‌رود. با اعمال جریان متغیر به سیم‌پیچ اولیه ترانسفورمانور به وسیله یک منبع تغذیه قابل کنترل، شدت میدان مغناطیسی H پدید می‌آید. در نتیجه در نمودار بدست آمده H محور X خواهد بود و B محور Y. ضمنا القای مغناطیسی B که با انتگرال‌گیری ولتاژ $U(t)$ که در حین تغییر و برگشت مغناطیسی سیم‌پیچ ثانویه ترانسفورماتور القا می‌گردد، بدست می‌آید. پس بر طبق قانون القای مغناطیسی $U(t)=-n_2A\frac{dB}{dt}$ است که در آن A سطح مقطع هسته و n_2 تعداد دور سیم‌پیچ ثانویه می‌باشد. از انتگرال‌گیری زیر که توسط میکروولت‌متر انجام می‌گیرد، ΔB بدست می‌آید:

$$\int_0^t U(t)dt=-nA\Delta B$$

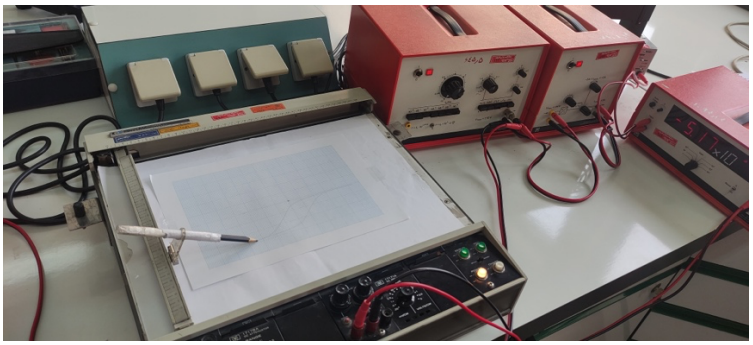
وسائل آزمایش

منبع جریان قابل کنترل، میکروولت‌متر، مولد تابع D، هسته U شکل، سیم‌پیچ $n_1=1000$ و $n_2=125$ دور، دستگاه چاپگر دوبعدی.

روش آزمایش

تنظیمات لازم قبل شروع:

دستگاه آزمایش را مطابق شکل ۲ سوار کنید و اتصالات لازم را برقرار سازید.



شکل ۲: پیکربندی دستگاه‌ها جهت آزمایش

- **تنظیم دستگاه چاپگر یا ثبت‌کننده**

ابتدا باید مبدا مختصات را برای حرکت مداد بر روی کاغذ رسم (برگه میلی‌متری) در دستگاه چاپگر مشخص کنیم. بدین منظور میکروولت‌متر و مولد تابع باید در این مرحله خاموش باشند و با استفاده از پتانسیومترهای روی دستگاه، مداد را در راستای x و y آنقدر جابجا کنید تا در وسط برگه میلی‌متر قرار بگیرد و نقطه شروع رسم منحنی پسماند از این مبدا باشد.

- **تنظیم صفر میکروولت‌متر**

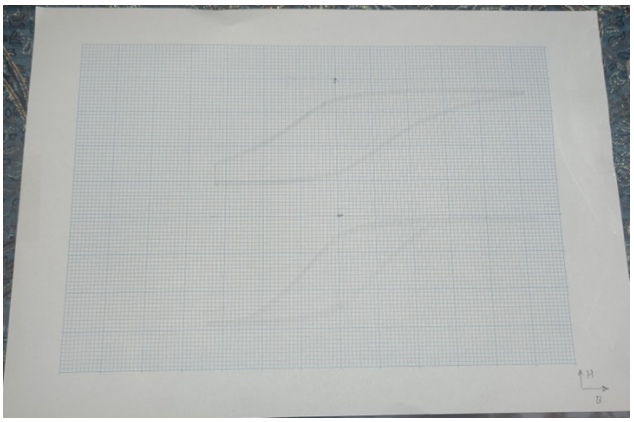
بعد از روشن کردن میکروولت‌متر، تقریبا ۱۵ دقیقه صبر کنید و سپس میکروولت‌متر را روی ضریب تقویت ۱۰ و حالت V قرار دهید. منبع جریان را روشن کرده و روی مقدار ۰/۴ آمپر تنظیم کنید. دستگاه مولد تابع را روشن کرده و دامنه AC را صفر کنید. افست DC را فشار داده و سپس با پتانسیومتر میکروولت‌متر را روی صفر تنظیم کنید. بعد از تنظیم صفر میکروولت‌متر، کلید افست را خاموش کنید و میکروولت‌متر را به حالت VS تغییر دهید و مولد تابع را روی ۰/۲ هرتز گذاشته و دامنه AC را ماکزیمم کنید.

در این آزمایش از یک ترانسفورماتور استفاده می‌کنیم که سیم‌پیچ اولیه آن به مولد جریان متناوب و تشدید کننده متصل است. میکروولت‌متر ولتاژ سیم‌پیچ ثانویه را به ΔB تبدیل می‌کند. منحنی پسماند را به ازای فرکانس‌های مختلف برای مولد و با استفاده از چاپگر رسم می‌کنیم.

نتیجه‌گیری

با رسم نمودار پسماند هسته آهنی به موارد زیر می‌پردازیم:

۱) نمودار پسماند با تغییرات فرکانس تغییر شکل می‌دهد؛ به این صورت که با افزایش فرکانس، نمودار بسته و لاغرتر می‌شود و این به آن مربوط است که پسماند کمتری رخ می‌دهد. مطابق شکل ۳ که در نمودار بالا فرکانس ۰/۱ هرتز و در نمودار پایین فرکانس ۰/۳ هرتز اعمال شده است، این مساله مشخص است.



شکل ۳: نمودار پسماند هسته آهنی بر حسب دو فرکانس مختلف ۰/۱ هرتز (بالا) و ۰/۳ هرتز (پایین)

۲) حوزه مغناطیسی به اسپین‌های نزدیک و همسایه گفته می‌شود که در یک صفحه از اسپین‌ها، جهت منظمی به خود می‌گیرند و با تغییر میدان ممکن است جهت‌گیری آن‌ها تغییر کند و حتی باعث ایجاد یا عدم ایجاد این حوزه‌ها شود.

۳) برای مغناطش‌زدایی یک فرومغناطیس، کافی است آن را گرم کنیم. با افزایش دما و تحریک اسپین‌ها، می‌توان حوزه‌ها را شروع به نوسان کرد و بدین صورت است که خاصیت تصادفی گرمایی باعث مغناطش‌زدایی می‌شود.

۴) مقدار القای پسماند مغناطیسی در $H = 0$، هنگامی رخ می‌دهد که نمودار محور x را قطع می‌کند. با توجه به نمودار این مقدار برای فرکانس ۰/۱ هرتز برابر است با:

$$B = 1.8\ mT, \quad M = 1.43\ \times 10^3\ A/m$$

۵) همچنین در شدت میدان زیر، آهن خاصیت خود را از دست می‌دهد. این مقدار همانی است که نمودار پسماند محور y را قطع می‌کند.

$$H = 1.6\ mA/m$$

۶) اشباع مغناطیسی هنگامی رخ می‌دهد که آنقدر میدان مغناطیسی قوی است که دیگر مغناطش تحمل پیروی از میدان را برای افزایش نداشته باشد و بدین صورت شار مغناطیسی شروع به کاهش کند. به این وضعیت اشباع مغناطیسی گفته می‌شود.

۷) مقدار القای پسماند آهن نسبت به فرکانس کاهش می‌یابد که این معلول لاغرتر شدن نمودار پسماند بر حسب افزایش فرکانس است. دلیل این کاهش این است که مقدار زمان موثر انتگرال‌گیری پتانسیل کاهش می‌یابد.