ساعات آموزش		
نظری	عملی	جمع
۱	۱۱	۱۲

سیم‌پیچی ترانسفورماتور با استفاده از جدول‌ها و منحنی‌ها

هدف‌های رفتاری: از هنرجو انتظار می‌رود در پایان این فصل بتواند :

۱ــ تعداد دور اولیه و ثانویه‌ی یک ترانسفورماتور را با استفاده از جدول محاسبه کند.

۲ــ با استفاده از منحنی، سطح مقطع آهن موردنیاز را به‌دست آورد.

۳ــ با استفاده از منحنی، قطر سیم موردنیاز را به‌دست آورد.

۴ــ ترانسفورماتور یک فاز را براساس نیاز بازار سیم‌پیچی و آزمایش کند.

۳ــ سیم‌پیچی ترانسفورماتور با استفاده از جدول‌ها و منحنی‌ها

در بحث‌های قبلی، روش محاسبه‌ی یک ترانسفورماتور را با استفاده از روابط و فرمول‌ها بیان کردیم. در این‌جا می‌خواهیم با استفاده از جدول‌ها و منحنی‌ها، یک ترانسفورماتور را طراحی کنیم.

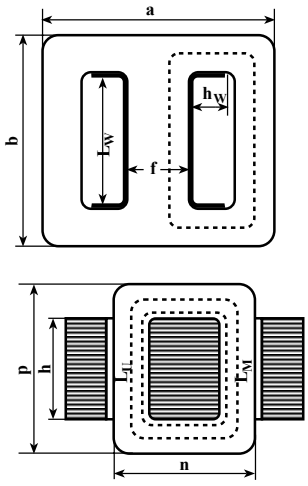
استفاده از این جداول و منحنی‌ها، برای ولتاژ و قدرت‌های متداول باعث صرفه‌جویی در وقت می شود. این جداول و منحنی‌ها را می‌توان در نمونه‌های مختلفی تهیه و از آن‌ها استفاده کرد.

البته ممکن است بعضی از این جداول یا منحنی‌ها با یک‌دیگر هماهنگ نباشند. برای مثال، سطح مقطع هسته در دو جدول مختلف، متفاوت باشد که این مسئله به‌دلیل تفاوتی است که در ضرایب محاسبه وجود داشته است ولی در هر حال نتیجه‌ی عمل یکسان خواهد بود ؛ زیرا مثلاً با زیاد شدن مقداری به سطح هسته‌ی آهن، تعداد دور بر ولت کم می‌شود و نتیجه را ثابت نگه می‌دارد.

در این‌جا چند نمونه محاسبه‌ی ترانسفورماتور توسط منحنی یا جدول آمده است.

در جدول ۱ــ۳ کلیه‌ی محاسبات و مشخصات مهم ترانسفورماتورهایی که دارای قدرت متداول تا ۳۵۰۰VA هستند، داده شده است.

در شکل ۱ــ۳ نیز همه‌ی مشخصات ورق ترانسفورماتور و قرقره که در این جدول به‌کار رفته، آمده است.



شکل ۱ــ۳ــ اندازه‌های ترانسفورماتور برای جدول ۱ــ۳

برای مثال، اگر بخواهیم یک ترانسفورماتور کوچک با قدرت ۱۲۵ ولت آمپر، ولتاژ اولیه‌ی ۲۲۰ ولت و ولتاژ ثانویه‌ی ۴ولت را محاسبه کنیم، از روی جدول۱ــ۳در ستون مربوط به عدد ۱۲۵VA، تعداد دور بر ولت ۳/۹۸ و درصد افت ولتاژ در بار کامل ۷/۵ درصد به‌دست می‌آید که ۴/۵ درصد را برای اولیه و ۳ درصد برای سیم‌پیچ ثانویه درنظر می‌گیریم.

جدول ۱ــ۳ــ مشخصات ترانسفورماتورهای از ۲۵ VA تا ۳۵۰۰ VA

اندازه‌های مختلف ورق	b	۵۵	۷۴	۸۸	۱۰۵		۱۲۰		۱۴۰		۱۸۰		۲۰۹		۳۰۰		۳۰۰		۳۵۰۰
و قرقره مطابق شکل	a	۷۰	۹۲	۱۰۵	۱۳۰		۱۵۰		۱۷۰		۱۹۵		۲۹۱		۳۰۰		۲۰۷		
ـــــ	h	۲۱/۷	۳۳/۵	۳۳/۵	۳۷/۷	۴۷/۷	۴۱/۷	۵۱/۷	۶۱/۷	۶۶/۷	۷۶/۷	۵۷/۷	۷۰/۷	۸۵/۷	۶۴/۷	۸۰/۷	۹۸/۷	۷۹/۷	۶۴		
	f	۱۷	۲۳	۲۹	۳۵		۴۰		۴۵		۵۵		۶۵		۸۰				
	n	۵۱/۵	۶۲/۵	۷۵/۵	۹۲		۱۰۷		۱۲۱		۱۳۶		۱۵۹		۲۱۷				
	p	۶۲	۸۴	۸۸	۱۰۵	۱۱۵	۱۲۲	۱۳۲	۱۴۲	۱۶۱	۱۷۱	۱۶۲	۱۷۵	۱۹۰	۱۶۷	۱۸۳	۲۰۲	۲۳۵		
قدرت ثانویه P_2	VA	۲۵	۹۵	۱۲۵	۲۵۰	۳۲۰	۳۷۰	۴۵۰	۵۵۰	۷۵۰	۸۸۰	۱۰۰۰	۱۲۵۰	۱۵۰۰	۱۷۵۰	۲۰۰۰	۲۵۰۰	۳۵۰۰		
طول مؤثر قرقره	mim	۳۳/۵	۴۴	۴۹	۶۵			۷۱		۸۵			۱۱۵			۱۳۱		۲۰۷		
ارتفاع سیم‌پیچ	mm	۱۶	۲۱	۲۱	۲۵/۵			۳۰/۵		۳۴/۵			۳۶/۵			۴۳		۶۴		
محیط سیم‌پیچ زیری L_u	m	۰/۰۸۹	۰/۱۲۴	۰/۱۳۵	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۱۸۷	۰/۲۰۷	۰/۲۲۷	۰/۲۵۲	۰/۲۷۲	۰/۲۵۶		۰/۳۱۱	۰/۲۸۸	۰/۳۲۰	۰/۳۶	۰/۳۵۴		
محیط متوسط سیم‌پیچ L_m	m	۰/۱۴	۰/۱۹	۰/۲۰۲	۰/۲۴۳	۰/۲۶۳	۰/۲۸۲	۰/۳۰۲	۰/۳۲۲	۰/۳۶	۰/۳۸	۰/۳۷		۰/۴۲۵	۰/۴۲۳	۰/۴۵۵	۰/۴۹۵	۰/۵۵۵		
طول مؤثر خطوط قوا	cm	۱۴/۶	۱۹/۴	۲۲	۲۷			۳۱		۳۶			۴۴/۵			۵۱/۹		۷۴		
سطح مقطع آهن	cm^2	۳/۳۳	۷/۸۷	۸/۷۱	۱۱/۸۵	۱۵	۱۵	۱۸/۵	۲۲/۲	۲۷	۳۱/۱	۲۸/۶	۳۵/۰	۴۲/۵	۳۷/۸	۴۷/۳	۵۸/۳	۵۷/۶		
وزن آهن	kg	۰/۳۴۷	۰/۹۸	۱/۴۱۹	۲/۳۵	۳/۰۱	۳/۴۹	۴/۳۷	۵/۲۱	۷/۳	۸/۳۹	۸/۳۵	۱۱/۴۸	۱۴/۰۲	۱۴/۸	۱۸/۴۵	۲۲/۷۴			
تعداد ورق آهن (ضخامت ۰/۵)	ــ	۳۹	۶۰	۶۰	۶۸	۸۷	۷۵	۹۴	۱۱۲	۱۲۰	۱۳۸	۱۰۲	۱۲۶	۱۵۳	۱۱۷	۱۴۵	۱۸۰	۴۳۸/۱۴۶		
تعداد ورق آهن (ضخامت ۰/۳۵)	ــ	۵۸	۸۵	۸۵	۹۷	۱۲۴	۱۰۷	۱۳۴	۱۵۰	۱۷۲	۱۹۷	۱۴۶	۱۸۰	۲۱۹	۱۶۷	۲۰۹	۲۵۸			
تلفات آهنی (ضخامت ۰/۵)	W	۱/۳۵	۳/۸	۵/۵	۱۰/۲۳	۱۲/۹	۱۵/۲۲	۱۸/۸۵	۲۲/۵	۳۱/۸	۳۶/۶	۴۱/۶	۵۰/۸	۶۱/۵	۶۳/۹	۷۹/۸	۹۹	۱۳۵		
تلفات آهنی (ضخامت ۰/۳۵)	W	۰/۲۷	۲/۴۶	۳/۵۶	۶/۴۶	۸/۱۷	۹/۸	۱۲/۱۲	۱۴/۴۵	۲۰/۴۵	۲۳/۵	۲۶/۸	۳۲/۷	۳۹/۶	۴۱/۱	۵۱/۳	۶۹/۷	۸۴		
ولت بر دور	V / Wdg.	۰/۰۹۶	۰/۱۹۹	۰/۲۵۲	۰/۳۴۳	۰/۴۳۳	۰/۴۳۳	۰/۵۳۶	۰/۶۴	۰/۷۷۹	۰/۸۹۷	۰/۸۲۵	۱/۰۱	۱/۲۲۸	۱/۰۹	۱/۳۵۵	۱/۶۸۲	۱/۶۶۶		
دور بر ولت	Wdg./V	۱۰/۴۲	۵/۰۲	۳/۹۸	۲/۹۲	۲/۳۱	۲/۳۱	۱/۸۶	۱/۵۶	۱/۲۸	۱/۱۱۳	۱/۲۱۲	۰/۹۱	۰/۸۱۵	۰/۹۱۸	۰/۷۳۳	۰/۵۹۵	۰/۵		
حداکثر تراکم جریان	A / mm^2	۲/۹	۲/۶۵	۲/۵۵	۲/۲	۲/۱	۱/۸	۱/۷	۱/۶	۱/۵	۱/۴	۱/۳۵	۱/۲۵	۱/۱۵	۱/۱	۱/۰۵	۱	۰/۸۵		
درصد افت ولتاژ در بار ماکزیمم	-	۱۵	۹	۷/۵	۶	۵	۵	۴	۴	۳	۲	۲	۱/۵	۱/۵	۲	۱/۵	۱/۵	۱		
درصد جریان بی‌باری نسبت به جریان نامی	-	۲۲	۱۶	۱۵/۶	۱۴/۵	۱۲	۱۳/۱	۱۴/۴	۱۴/۱	۱۴/۶	۱۴/۱	۱۴/۳	۱۴/۱	۱۴/۲۵	۱۲/۶	۱۳/۸۵	۱۳/۷۵	۱۳		
درصد ضریب بهره	-	۸۲/۶	۸۸/۸	۸۹/۶	۹۱	۹۲	۹۱/۴	۹۲/۶	۹۲/۸	۹۳/۷	۱۴/۱	۹۴/۱	۹۴	۹۴/۷	۹۴/۸	۹۴/۸	۹۵/۱	۹۵/۵		
ضریب قدرت اولیه $\cos\varphi$	ــ	۰/۹۷	۰/۹۷۵	۰/۹۷۹	۰/۹۹	۰/۹۹۱	۰/۹۹۲	۰/۹۹۲	۰/۹۹۲	۰/۹۹۳	۰/۹۹۴	۰/۹۹۲	۰/۹۹۲	۰/۹۹۲	۰/۹۹۳	۰/۹۹۵	۰/۹۹۱	۰/۹۹۲		
تلفات مسی	W	۳/۵	۸	۹	۱۳/۸	۱۶/۵	۱۷/۵	۱۸/۵	۲۰/۶	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲/۵	۲۹	۲۶	۲۷	۳۵		
وزن مس	kg	۰/۲۲	۰/۵۹	۰/۶۹	۱/۷	۲/۰۰	۲/۹	۳/۲	۳/۵	۵	۵/۶	۷/۰	۷/۹	۸/۷	۱۱/۵	۱۲/۲	۱۴/۵	۳۰/۷		
سطح مقطع کل سیم‌پیچ مسی	mm^2	۱۷۵	۳۵۲	۳۸۵	۷۸۰	۸۲۱	۱۰۸۵	۱۰۲۷	۱۰۳۸	۱۴۵۰	۱۵۵۶	۲۰۴۰	۲۲۰۰	۲۱۸۲	۲۹۰۰	۲۸۴۰	۳۰۹۰	۶۲۳۰		
فضای قابل استفاده‌ی قرقره	-	۳۹	۳۷	۳۷/۵	۴۵/۲	۴۷/۸	۵۰	۴۷/۳	۴۸	۵۰	۵۲	۴۷/۳	۵۱	۵۱	۵۲	۵۱	۵۵	≈ ۵۰		

درنتیجه :

$$N_1 = U_1 \times n(1 - \Delta U_{1}^{-})$$

دور ۸۴۰ & $N_1 = ۲۲۰ \times ۳/۹۸(۱ - ۰/۰۴۵)$

$$N_2 = n \times U_2(1 + \Delta U_{2}^{-})$$

دور ۱۷ & $N_2 = ۳/۹۸ \times ۴(۱ + ۰/۰۳)$

اندازه‌های لازم دیگر برای هسته و ساختن قرقره نیز درهمین جدول آمده است.

علاوه‌بر جدول ۱ــ۳ از منحنی‌های شماره‌ی ۱ــ۳ و ۲ــ۳ و ۳ــ۳ نیز می‌توان برای طراحی یک ترانسفورماتور استفاده کرد. این منحنی‌ها برمبنای محاسبات ذکر شده طوری طراحی شده‌اند که محاسبه‌ی یک ترانسفورماتور در فرکانس ۵۰ هرتس و دو نوع اندوکسیون ۱۰۰۰۰ و ۱۲۰۰۰ گوس به‌راحتی امکان‌پذیر باشد. در عمل می‌توان از اندوکسیون ۱۲۰۰۰ گوس استفاده کرد. در این محاسبات، ۲/۵ آمپر بر میلی‌متر مربع برای سیم‌مسی درنظر گرفته شده است.

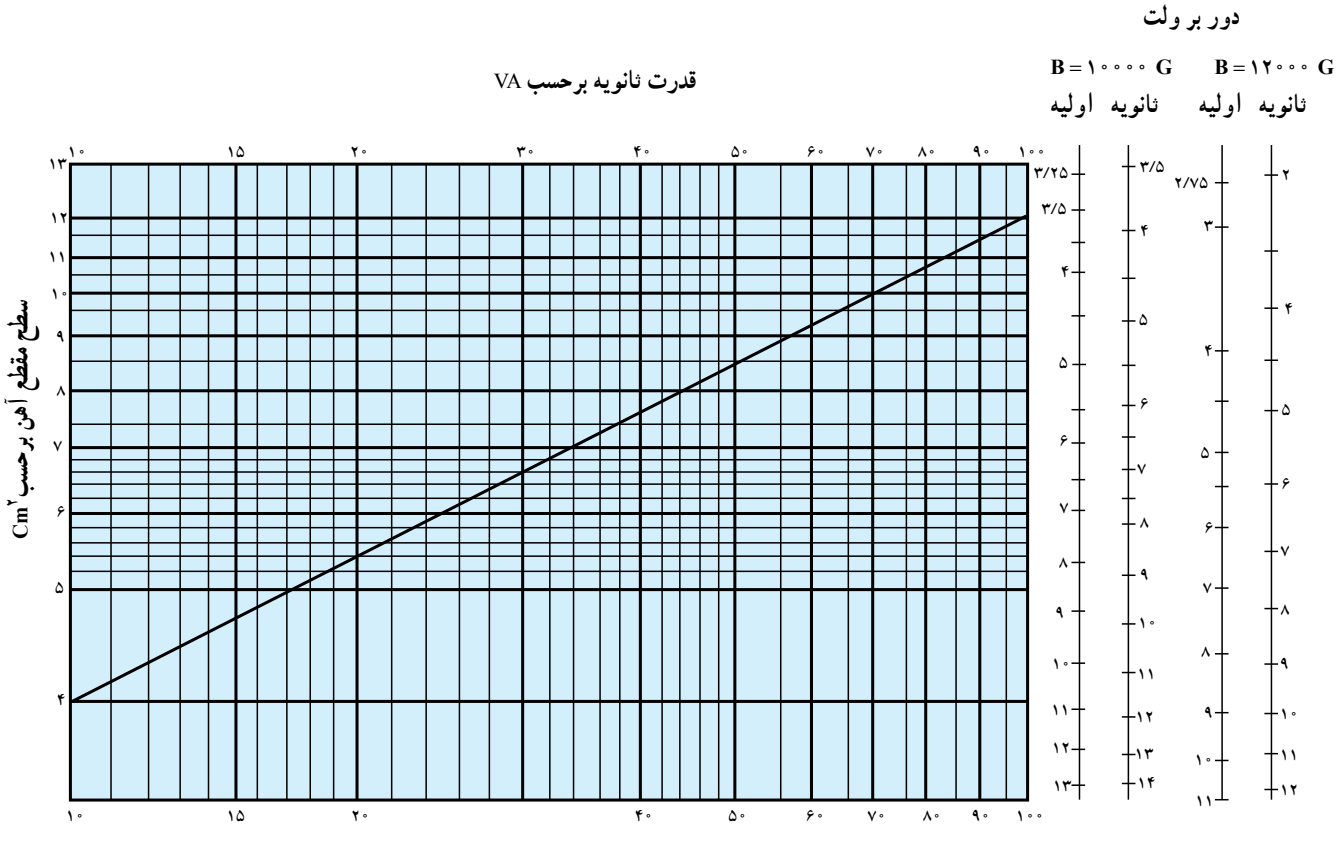
روش استفاده از این منحنی‌ها را با ذکر یک مثال روشن می‌کنیم.

مثال: مطلوب است محاسبه‌ی ترانسفورماتوری که در آن سیم‌پیچ اولیه به ولتاژ ۲۲۰ ولت و فرکانس ۵۰ هرتس وصل شود و ثانویه‌ی آن ولتاژی برابر با ۲۵۰ ولت با جریانی برابر ۶۰ میلی‌آمپر و هم‌چنین ولتاژ دیگر ۶/۳ ولت با جریان ۱/۲ آمپر بدهد.

راه حل: برای محاسبه‌ی این ترانسفورماتور، ابتدا باید قدرت ثانویه را به‌دست آوریم.

$$P_{S_2} = ۲۵۰ \times \frac{۶۰}{۱۰۰۰} + ۶/۳ \times ۱/۲ = ۲۲/۵۶ VA$$

در منحنی شماره‌ی ۱ــ۳ قدرت ثانویه‌ی به‌دست آمده را پیدا کرده و آن را در روی خط عمود دنبال می‌کنیم تا خط مورب جدول را قطع کند. در سمت چپ محل قطع شده، حداقل مقدار سطح مقطع آهن لازم داده شده است.



منحنی ۱ــ۳ــ سطح مقطع آهن به نسبت توان

برای این مثال، از منحنی ۱ــ۳ حداقل سطح مقطع آهن برابر با ۵/۷ سانتی‌متر مربع به‌دست می‌آید که ما ۶ سانتی‌متر مربع را انتخاب می‌کنیم.

در سمت راست این منحنی و در مقابل سطح مقطع آهن به‌دست آمده، مقدار دور بر ولت پریمر و زگندر (اولیه و ثانویه) برای اندوکسیون‌های مختلف داده شده است. بنابراین، با انتقال سطح مقطع آهن انتخاب شده به سمت راست منحنی، مقدار دور بر ولت اولیه ۵/۸ و دور بر ولت ثانویه ۶/۵، برای اندوکسیون ۱۲۰۰۰ گوس به‌دست می‌آید.

توجه داشته باشید که در این منحنی، افت ولتاژهای اولیه و ثانویه، در محاسبه‌ی دور بر ولت منظور شده است و مانند محاسبه‌های قبلی به پیدا کردن مجدد آن‌ها نیاز نیست. بنابراین، دور اولیه برابر است با :

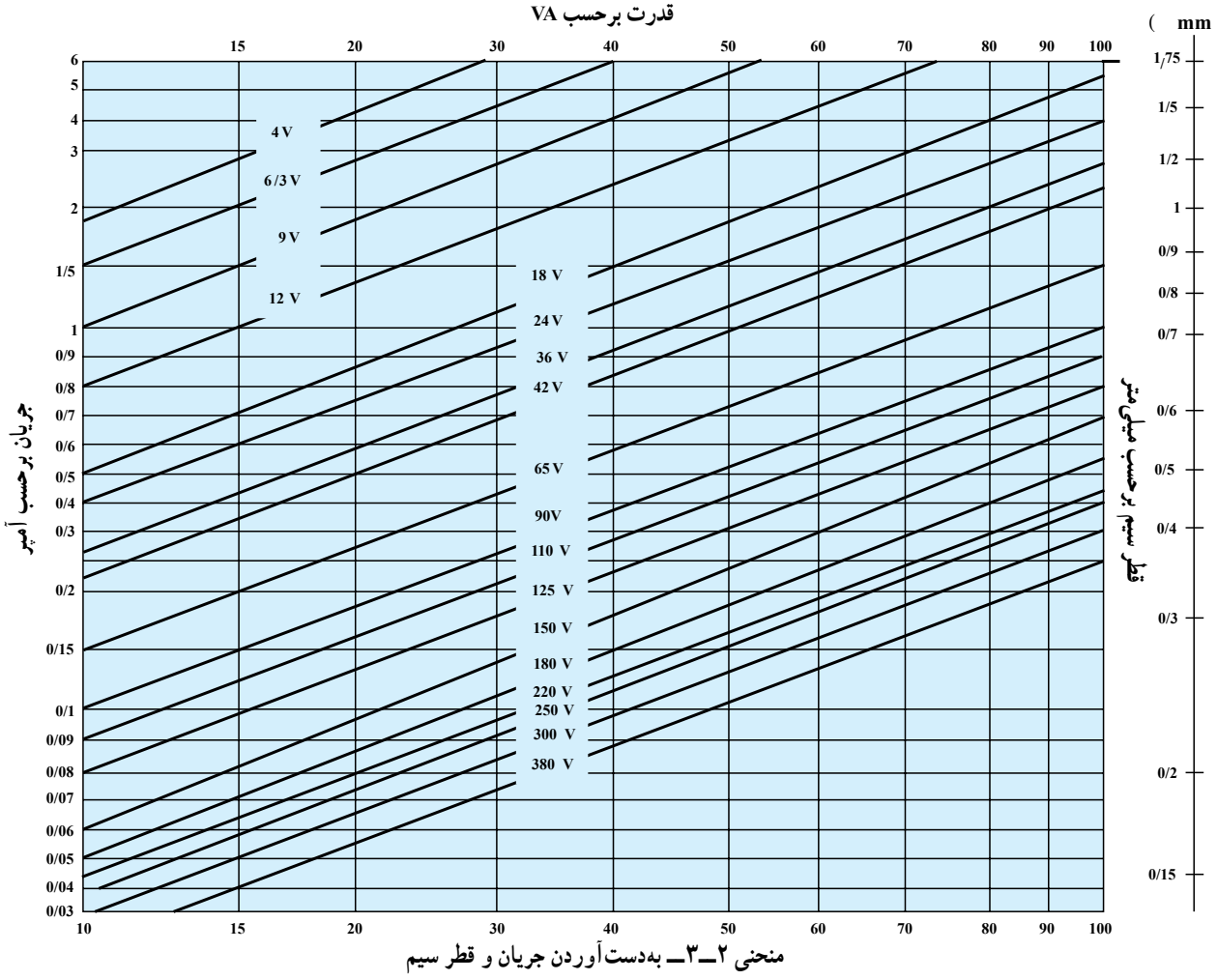
$$N_1 = ۵/۸ \times ۲۲۰ = ۱۲۷۶ \quad \text{دور}$$

برای تعداد دورهای ثانویه نیز از دو سیم‌پیچ مجزا استفاده می‌کنیم که تعداد دور آن‌ها برابر است با :

$$N_{21} = ۶/۳ \times ۶/۵ = ۴۱ \quad \text{دور}$$

$$N_{22} = ۲۵۰ \times ۶/۵ = ۱۶۲۵ \quad \text{دور}$$

برای به‌دست آوردن قطر سیم‌های اولیه و ثانویه می‌توانیم از منحنی شماره‌ی ۲ــ۳ استفاده کنیم.



منحنی ۲ــ۳ــ به‌دست‌آوردن جریان و قطر سیم

در این منحنی، با داشتن قدرت هر قسمت از سیم‌پیچ و ولتاژ موردنظر، جریان و قطر سیم برای چگالی جریان $۲/۵ \frac{A}{mm^2}$ به‌دست می‌آید. در صورت داشتن جریان هر قسمت نیز به‌سادگی می‌توان قطر سیم را پیدا کرد.

توجه داشته باشید که در این ترانسفورماتورها با اضافه کردن تقریبی ۲۰ درصد به قدرت ثانویه می‌توانید قدرت اولیه را به‌دست آورید. بنابراین، قدرت اولیه تقریباً برابر است با :

$$P_{S1} = P_{S2} + \text{-}\ ۲۰ \times P_{S2}$$

$$P_{S1} = ۲۲/۵۶ + \frac{۲۰}{۱۰۰} \times ۲۲/۵۶ = ۲۷ \text{ ولت آمپر}$$

حال می‌توانیم ۲۷ ولت‌آمپر را روی خط مدرج افقی بالای منحنی پیدا کنیم و آن را روی خط عمودی ادامه دهیم‌تا خط مورب مربوط به ۲۲۰ ولت را قطع کند. به این ترتیب، در سمت چپ، جریان اولیه و در سمت راست قطر سیم اولیه معلوم می‌شود.

با انجام دادن این کار، قطر سیم اولیه پس از استاندارد کردن $d_1 = ۰/۲۵$ میلی‌متر به دست می‌آید. قطر سیم‌های ثانویه نیز از روی جریان‌های ثانویه و با استفاده از همین دیاگرام مشخص می‌شود.

$$d_{21} = ۰/۸۰$$

$$d_{22} = ۰/۱۷ \Rightarrow \text{سیم انتخابی } ۰/۲۰ \text{ می‌باشد}$$

پس از تعیین قطر سیم‌ها، باید نوع ورق و قرقره را تعیین کرد. به‌علاوه، درصورت استفاده از قرقره‌ی استاندارد باید کنترل کنید که آیا سیم‌های به‌دست آمده با عایق در داخل قرقره جای می‌گیرند یا نه. به‌هر حال، برای هریک از این حالت‌ها مطابق آن‌چه در محاسبه‌های قبلی گفته شد، باید سطحی را که سیم‌ها اشغال می‌کنند، به‌دست آورد. برای این کار می‌توانیم از جدول ۱ــ۳ یا منحنی شماره‌ی ۳ــ۳ استفاده کنیم. روش استفاده از جدول را پیش از این گفته‌ایم و حال به بررسی منحنی ۳ــ۳ می‌پردازیم. در این منحنی، محور مدرج عمودی قطر سیم و محور مدرج افقی تعداد دوری را که در یک سانتی‌متر مربع می‌توان جای داد، نشان می‌دهد.

بنابراین، درمورد مثال موردنظر اعداد تقریبی زیر از منحنی ۳ــ۳ به‌دست می‌آیند.

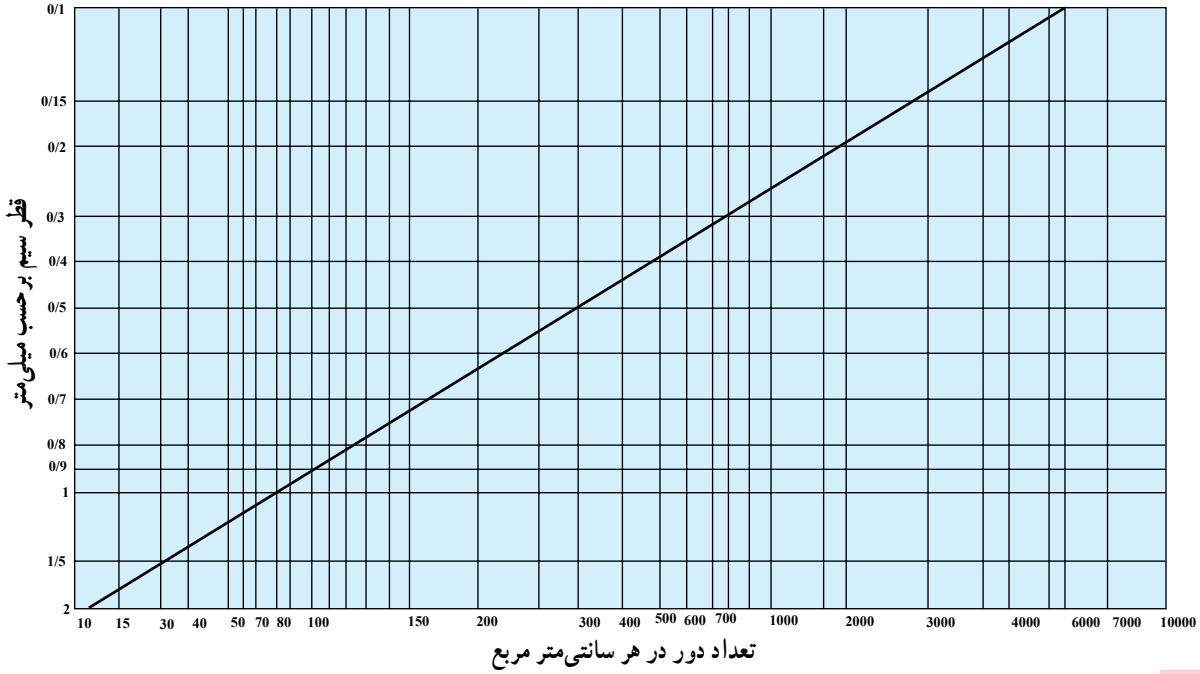
$$d = ۰/۲۵ \overset{\text{از منحنی}}{\Rightarrow} \frac{\text{دور}}{\text{سانتی‌متر مربع}} \quad ۱۱۰۰$$

$$d = ۰/۲۰ \overset{\text{از منحنی}}{\Rightarrow} \frac{\text{دور}}{\text{سانتی‌متر مربع}} \quad ۱۷۰۰$$

$$d = ۰/۸۰ \overset{\text{از منحنی}}{\Rightarrow} \frac{\text{دور}}{\text{سانتی‌متر مربع}} \quad ۱۲۰$$

سپس می‌توان به همان روشی که قبلاً گفته شد، سطح لازم برای هر قطر و سپس سطح پنجره‌ی لازم را به‌دست آورد و ورق ترانسفورماتور استاندارد را انتخاب کرد.

سایر محاسبات نیز مطابق روش قبلی انجام می‌شود.



منحنی ۳ــ۳ــ به‌دست‌آوردن فضای اشغالی سیم‌پیچ