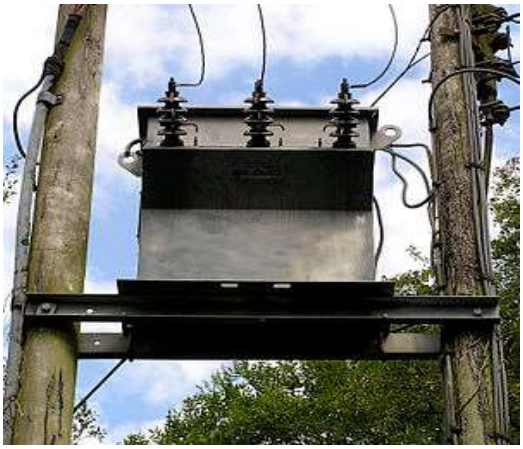


به طور کلی یک ترانسفورماتور بر دو اصل استوار است:

- اول اینکه، جریان الکتریکی متناوب می‌تواند یک میدان مغناطیسی متغییر پدید آورد (الکترومغناطیس)
- و دوم اینکه، یک میدان مغناطیسی متغییر در داخل یک حلقه سیم‌پیچ می‌تواند موجب به وجود آمدن یک جریان الکتریکی متناوب در یک سیم سیم‌پیچ شود.

ساده‌ترین طراحی برای یک ترانسفورماتور در شکل ۲ آمده‌است. جریان جاری در سیم‌پیچ اولیه موجب به وجود آمدن یک میدان مغناطیسی می‌گردد. هر دو سیم‌پیچ اولیه و ثانویه بر روی یک هسته که دارای خاصیت *نفوذپذیری مغناطیسی* بالایی است (مانند آهن) پیچیده شده‌اند. بالا بودن نفوذپذیری هسته موجب می‌شود تا بیشتر میدان تولید شده توسط سیم‌پیچ اولیه از داخل هسته عبور کرده و به سیم‌پیچ ثانویه برسد.

قانون القا

میزان ولتاژ القا شده در سیم‌پیچ ثانویه را می‌توان به وسیله قانون فاراده به دست آورد:

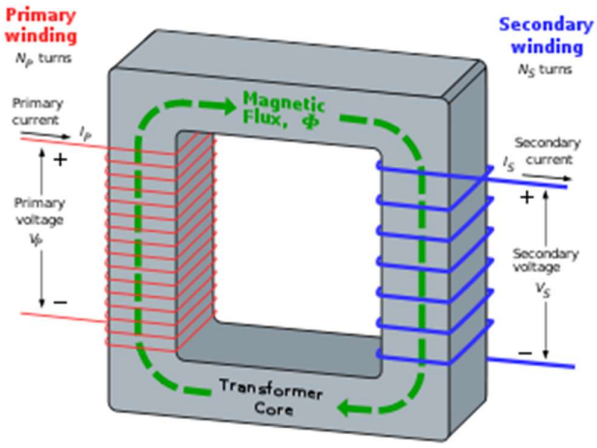
$$V_S = N_S \frac{d\Phi}{dt}$$

در فرمول بالا V_S ولتاژ لحظه‌ای, N_S تعداد دورهای سیم‌پیچ در ثانویه و Φ برابر مجموع شار مغناطیسی است که از یک دور از سیم‌پیچ می‌گذرد. با توجه به این فرمول تا زمانی که شار در حال تغییر از دو سیم پیچ اولیه و ثانویه عبور کند ولتاژ لحظه‌ای در اولیه یک ترانسفورماتور آرمانی از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$V_P = N_P \frac{d\Phi}{dt}$$

و با توجه به تعداد دور سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه و این معادله ساده می‌توان میزان ولتاژ القایی در ثانویه را بدست آورد:

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P}$$



شکل-۲ یک ترانسفورماتور کاهنده آرمانی و مسیر عبور شار در هسته

معادله ایده‌ال توان

اگر سیم‌پیچ ثانویه به یک بار متصل شده باشد جریان در سیم‌پیچ ثانویه جاری خواهد شد و به این ترتیب توان الکتریکی بین دو سیم‌پیچ منتقل می‌شود. به طور ایده‌آل ترانسفورماتور باید کاملاً بدون تلفات کار کند و تمام توانی که به ورودی وارد می‌شود به خروجی برسد وبه این ترتیب توان ورودی و خروجی باید برابر باشد و در این حالت داریم:

$$P_{\text{incoming}} = I_P V_P = P_{\text{outgoing}} = I_S V_S$$

و همچنین در حالت ایده‌آل خواهیم داشت:

$$\frac{V_S}{V_P} = \frac{N_S}{N_P} = \frac{I_P}{I_S}$$

بنابر این اگر ولتاژ ثانویه از اولیه بزرگتر باشد جریان ثانویه باید به‌همان نسبت از جریان اولیه کوچکتر باشد. همانطور که در بالا اشاره شد در واقع بیشتر ترانسفورماتورها بازده بسیار بالایی دارند و به این ترتیب نتایج به دست آمده از این معادلات به مقادیر واقعی بسیار نزدیک خواهد بود.

مبحث فنی

تعاریف ساده شده بالا از بسیاری از مباحث پیچیده درباره ترانسفورماتورها گذشته‌است.

در یک ترانسفورماتور آرمانی، ترانسفورماتور دارای یک هسته بدون مقاومت مغناطیسی و دو سیم‌پیچ بدون مقاومت الکتریکی است. زمانی که ولتاژ به ورودی‌های اولیه ترانسفورماتور اعمال می‌شود برای به وجود آمدن شار در مدار مغناطیسی هسته، جریانی کوچکی در سیم‌پیچ اولیه جاری می‌شود. از آنجایی که در ترانسفورماتور ایده‌آل هسته فاقد مقاومت مغناطیسی است این جریان قابل چشم پوشی خواهد بود در حالی که در یک ترانسفورماتور واقعی این جریان بخشی از تلفات ترانسفورماتور را تشکیل خواهد داد.

شار پراکندگی

در یک ترانسفورماتور آرمانی شار مغناطیسی تولید توسط سیم‌پیچ اول به طور کامل توسط سیم‌پیچ دوم جذب می‌شود اما در واقع بخشی از شار مغناطیسی در فضای اطراف پراکنده می‌شود. به شاری که در حین انتقال از مسیر خود جدا می‌شود *شار پراکندگی* (leakage flux) می‌گویند. این شار پراکندگی موجب به وجود آمده اثر خود القا در سیم‌پیچ‌ها می‌شود و به این ترتیب موجب می‌شود که در هر سیکل، انرژی در سیم‌پیچ ذخیره شده و در نیمه پایانی سیکل آزاد شود. این اثر به طور مستقیم باعث ایجاد افت توان نخواهد شد اما به دلیل ایجاد اختلاف فاز موجب ایجاد مشکلاتی در تنظیم ولتاژ خواهد شد و به این ترتیب باعث خواهد شد تا ولتاژ ثانویه دقیقاً نسبت واقعی خود با ولتاژ اولیه حفظ نکند؛ این اثر به ویژه در بارهای بزرگ خود را نشان خواهد داد. به همین دلیل ترانسفورماتورهای توزیع طوری ساخته می‌شوند تا کمترین میزان تلفات پراکندگی را داشته باشند.

با این حال در برخی کاربردها، وجود تلفات پراکندگی بالا پسندیده‌است. در این ترانسفورماتورها با استفاده از روش‌هایی مانند ایجاد مسیرهای مغناطیسی طولانی، شکاف‌های هوایی یا مسیرهای فرعی مغناطیسی اقدام به افزایش شار پراکندگی می‌کنند. دلیل افزایش عمدی تلفات پراکندگی در این ترانسفورماتورها قابلیت بالای این نوع ترانسفورماتورها در تحمل اتصال کوتاه است. از این گونه ترانسفورماتورها برای تغذیه بارهای دارای مقاومت منفی مانند دستگاه‌های جوش (یا دیگر تجهیزات استفاده کننده از قوس الکتریکی)، لامپ‌های بخار جیوه و تابلوهای نئون یا ایجاد ایمنی در بارهایی که احتمال بروز اتصال کوتاه در آنها زیاد است استفاده می‌شود.

تلفات انرژی

یک ترانسفورماتور ایده‌آل هیچ تلفاتی نخواهد داشت و در واقع بازدهی برابر ۱۰۰٪ دارد. با این حال ترانسفورماتورهای واقعی نیز جزو بهره‌ورترین تجهیزات الکتریکی محسوب می‌شود به طوری که نمونه‌های آزمایشی ترانسفورماتورهایی که با بهرگیری از ابر رسانا ساخته شده‌اند به بازدهی برابر ۹۹/۸۵٪ دست یافته‌اند. به طور کلی ترانسفورماتورهای بزرگتر از بازده بالاتری برخوردارند و ترانسفورماتورهایی که برای مصارف توزیعی مورد استفاده قرار می‌گیرند از بازدهی در حدود ۹۵٪ برخوردارند در حالی که ترانسفورماتورهای کوچک مانند ترانسفورماتورهای موجود در اداپتورها بازدهی در حدود ۸۵٪ دارند. تلفات به وجود آمده در ترانسفورماتور با توجه به عوامل به وجود آورنده یا محل اتلاف انرژی به این صورت طبقه بندی می‌شوند:

مقاومت سیم‌پیچ‌ها

جریانی که در یک هادی جاری می‌شود با توجه به میزان مقاومت الکتریکی هادی می‌تواند موجب به وجود آمدن حرارت در محل عبور جریان شود. در بسامدهای بالاتر اثر سطحی و اثر مجاورت نیز می‌توانند تلفات مضایفی را در ترانسفورماتور به وجود آورند.