

به نام خداوند بخشنده مهربان

# هندبوک ترانسفورماتور

**ABB**

مترجمین:  
آرش آقائی فر  
حرمت اله فیروزی

سرشناسه	: استریکن، اگیل Stryken, Egil
عنوان و نام پدیدآور	: هندبوک ترانسفورماتور ABB / [اگیل استریکن]; مترجمین آرش آقائی فر، حرمت اله فیروزی.
مشخصات نشر	: تهران: تحفه، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری	: ۲۷۲ ص.
شابک	: ۹۰۰۰۰۰ ریال : 978-600-8243-39-7
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: کتاب حاضر از متن انگلیسی با عنوان "Transformator handbook" به فارسی ترجمه شده است.
موضوع	: مبدل‌های الکترونیکی -- طراحی و ساخت -- دستنامه‌ها -- Design and construction -- Handbooks, Electronic transformers manuals, etc.
شناسه افزوده	: آقائی فر، آرش، ۱۳۵۵-، مترجم
شناسه افزوده	: فیروزی، حرمت‌الله، ۱۳۶۰-، مترجم
شناسه افزوده	: نواب پور، ایلناز
رده بندی کنگره	: TK۲۵۵۱
رده بندی دیویی	: ۶۲۱/۳۱۴
شماره کتابشناسی ملی	: ۸۷۱۰۸۰۸
اطلاعات رکورد کتابشناسی	: فیبا

نام کتاب: ..... هندبوک ترانسفورماتور ABB  
مترجمین: ..... آرش آقائی فر - حرمت اله فیروزی  
ویراستار: ..... ایلناز نواب پور  
ناشر: ..... نشر تحفه  
نوبت چاپ: ..... اول / ۱۴۰۰  
شمارگان: ..... ۱۰۰۰ نسخه  
چاپ و صحافی: ..... طیف نگار  
قیمت: ..... ۹۰۰۰۰ تومان

نشر تحفه: تهران - خیابان انقلاب - ضلع شرقی دانشگاه تهران - خیابان قدس - پلاک ۳ - واحد ۶

تلفن: ۶۶۴۹۸۲۸۶ فکس: ۶۶۹۵۵۹۱۶

خرید کتاب از طریق تلفن: ۴۴۲۸۸۵۲۱ - ۰۲۱ و یا آدرس سایت

[www.atecco.ir](http://www.atecco.ir) مقدر می‌باشد.

این اثر، مشمول قانون حمایت مؤلفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است، هر کس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه مؤلف (ناشر) نشر یا پخش یا عرضه کند مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

## فهرست مطالب

صفحه

عنوان

### پیشگفتار

۱	<b>فصل اول: اصول کار ترانسفورماتور</b>
۱	۱.۱. معرفی
۱	۲.۱. انتخاب ولتاژ سیستم
۲	۳.۱. نحوه‌ی کار ترانسفورماتور
۴	۴.۱. مدار معادل
۴	۵.۱. نسبت تبدیل و افت ولتاژ
۷	۶.۱. راندمان
۸	۷.۱. جریان و تلفات بی‌باری
۱۴	۸.۱. تلفات بار
۱۵	۹.۱. امپدانس اتصال کوتاه
۱۹	۱۰.۱. نیروهای الکترومغناطیسی
۲۳	۱۱.۱. صدای ترانسفورماتور
۲۸	۱۲.۱. اتصالات ترانسفورماتورهای سه‌فاز

### فصل دوم: انواع ترانسفورماتور و راکتور و کاربرد آنها

۳۳	۱.۲. معرفی
۳۳	۲.۲. مشخصات مشترک در همه‌ی ترانسفورماتورها
۳۵	۳.۲. ترانسفورماتورهای توزیع
۳۵	۱.۳.۲. ترانسفورماتورهای توزیع بزرگ

۳۷	۲.۳.۲. ترانسفورماتورهای توزیع متوسط
۳۹	۲.۳.۳. ترانسفورماتورهای توزیع کوچک
۴۱	۲.۳.۴. ترانسفورماتورهای توزیع خشک
۴۳	۲.۳.۵. سایر ترانسفورماتورهای توزیع
۴۷	۲.۴. ترانسفورماتورهای قدرت
۴۹	۲.۴.۱. ترانسفورماتورهای افزایشدهی نیروگاهی
۵۱	۲.۴.۲. ترانسفورماتورهای کاهشدهنده
۵۱	۲.۴.۳. ترانسفورماتورهای شبکه‌ی انتقال
۶۵	۲.۴.۴. ترانسفورماتورهای صنایع
۷۰	۲.۴.۵. ترانسفورماتورهای حمل‌ونقل ریلی
۷۲	۲.۵. راکتورها
۷۲	۲.۵.۱. راکتورهای شنت
۷۸	۲.۵.۲. راکتورهای محدود کننده‌ی جریان
۸۱	۲.۵.۳. راکتورهای زمین کننده‌ی نوترال
۸۲	۲.۵.۴. راکتورهای میراکننده‌ی خازن
۸۲	۲.۵.۵. راکتورهای فیلتر
۸۴	۲.۵.۶. ترانسفورماتورهای زمین
۸۵	۲.۵.۷. راکتورهای خاموش کننده‌ی قوس
۹۷	۲.۵.۸. راکتورهای هموارسازی جریان
۱۰۰	۲.۶. اطلاعات موردنیاز برای سفارش گذاری ترانسفورماتور
۱۰۱	۲.۶.۱. اطلاعات الزامی
۱۰۲	۲.۶.۲. اطلاعات ویژه
۱۰۴	۲.۶.۳. بهره‌برداری به صورت موازی
۱۰۵	۲.۶.۴. محاسبه‌ی توان نامی با توجه به بارهای هارمونیکی
۱۰۵	۲.۶.۵. محاسبه‌ی توان نامی ترانسفورماتورهای تغذیه کننده‌ی بارهای موتوری

## فصل سوم: مبانی طراحی و ساختمان ترانسفورماتور

۱۰۹	۳.۱. معرفی
۱۰۹	۳.۲. هسته
۱۱۳	۳.۳. سیم پیچ‌ها
۱۱۵	۳.۳.۱. انواع سیم پیچ‌ها
۱۲۰	۳.۳.۲. عایق بندی اصلی ترانسفورماتور
۱۲۲	۳.۳.۳. خنک کنندگی سیم پیچ‌ها
۱۲۳	۳.۳.۴. استقامت در برابر اتصال کوتاه

۱۲۵	۴.۳. مخزن
۱۲۷	۵.۳. آماده‌سازی سطوح
۱۲۸	۶.۳. استقامت در برابر زلزله
۱۲۹	۷.۳. درجه‌ی حفاظت IP
۱۲۹	۱.۷.۳. کلیات
۱۲۹	۲.۷.۳. درجه‌ی حفاظت در برابر اشیاء جامد
۱۳۰	۳.۷.۳. درجه‌ی حفاظت در برابر آب
۱۳۰	۴.۷.۳. مقایسه با استاندارد NEMA
۱۳۱	۸.۳. نام‌گذاری ترمینال‌ها
۱۳۱	۱.۸.۳. ترانسفورماتورهای تکفاز
۱۳۲	۲.۸.۳. ترانسفورماتورهای سه‌فاز
۱۳۳	۹.۳. پلاک مشخصات
۱۳۴	۱۰.۳. تاب آوری در برابر امواج الکترومغناطیسی
۱۳۴	۱.۱۰.۳. تعریف
۱۳۵	۲.۱۰.۳. اختلال الکترومغناطیسی در ترانسفورماتور
۱۳۸	۳.۱۰.۳. میدان الکترومغناطیسی در مجاورت ترانسفورماتور
۱۳۹	۴.۱۰.۳. تاثیر میدان‌های الکترومغناطیسی بر انسان

## فصل چهارم: مواد، متعلقات و تجهیزات حفاظتی ترانسفورماتور

۱۴۳	۱.۴. معرفی
۱۴۳	۲.۴. مواد ترانسفورماتور
۱۴۳	۱.۲.۴. مواد هسته
۱۴۴	۲.۲.۴. هادی‌ها
۱۴۴	۳.۲.۴. مواد عایقی
۱۴۷	۳.۴. متعلقات ترانسفورماتور
۱۴۷	۱.۳.۴. ترمینال و پوشینگ
۱۵۶	۲.۳.۴. سیستم‌های خنک کننده
۱۶۰	۳.۳.۴. تنظیم کننده‌های ولتاژ (تپ‌چنجر)
۱۶۷	۴.۴. تجهیزات جانبی و حفاظت‌های ترانسفورماتور
۱۶۷	۱.۴.۴. رله‌ی بوخه‌لتس
۱۶۷	۲.۴.۴. ترمومترها
۱۶۸	۳.۴.۴. ترانسفورماتور جریان پوشینگی
۱۶۸	۴.۴.۴. رطوبت‌گیر
۱۶۹	۵.۴.۴. سیستم‌های حفاظت از روغن

۱۶۹	۶.۴.۴. روغن نما
۱۷۰	۷.۴.۴. فشارشکن
۱۷۰	۸.۴.۴. رله‌ی فشار ناگهانی
۱۷۰	۹.۴.۴. تجهیزات حفاظت در برابر اضافه‌ولتاژ
۱۷۱	۱۰.۴.۴. چرخ‌های حمل
۱۷۲	۱۱.۴.۴. مونیتورینگ آنالاین گاز
۱۷۲	۱۲.۴.۴. نشان‌دهنده‌ی گردش روغن/آب
۱۷۲	۱۳.۴.۴. حداقل تجهیزات حفاظتی ترانسفورماتورهای قدرت و راکتورهای روغنی
۱۷۳	۱۴.۴.۴. سیستم‌های مونیتورینگ آنالاین
۱۷۳	۱۵.۴.۴. تجهیزات جانبی و حفاظتی ترانسفورماتورهای توزیع

## ۱۷۷ فصل پنجم: نصب، راه‌اندازی، بهره‌برداری، سرویس و نگهداری از ترانسفورماتور

۱۷۷	۵.۱. معرفی
۱۷۷	۵.۲. نصب
۱۷۷	۵.۱.۲. مسئولیت‌ها
۱۷۷	۵.۲.۲. اینکوترمز
۱۷۸	۵.۳.۲. ترانسفورماتورهای قدرت و توزیع بزرگ
۱۷۹	۵.۴.۲. ترانسفورماتورهای توزیع
۱۸۵	۵.۳. راه‌اندازی
۱۸۵	۵.۱.۳. برق‌دار کردن
۱۸۷	۵.۲.۳. مدارک و مستندات
۱۸۷	۵.۴. بهره‌برداری از ترانسفورماتور
۱۸۷	۵.۱.۴. اقدامات احتیاطی و ایمنی
۱۸۷	۵.۲.۴. بارگیری و کاهش عمر ترانسفورماتور
۱۹۹	۵.۳.۴. عملکرد موازی
۲۰۰	۵.۴.۴. فرکانس
۲۰۰	۵.۵.۴. حفاظت‌های ترانسفورماتور
۲۰۱	۵.۵.۵. پایش وضعیت ترانسفورماتور
۲۰۱	۵.۵.۱. کلیات
۲۰۲	۵.۵.۲. پایش وضعیت سطح بالا
۲۰۳	۵.۵.۳. پایش وضعیت سطح پایین
۲۰۴	۵.۵.۴. بازرسی از ترانسفورماتور در شرایط برق‌دار بودن
۲۰۴	۵.۵.۵. بازرسی از ترانسفورماتور در شرایط خاموشی
۲۰۵	۵.۶. سرویس و نگهداری

۲۰۵	۵. ۶. ۱. کلیات
۲۰۵	۵. ۶. ۲. سرویس و نگهداری در شرایط تحت بار بودن ترانسفورماتور
۲۰۵	۵. ۶. ۳. سرویس و نگهداری در شرایط خاموشی ترانسفورماتور
۲۰۶	۵. ۶. ۴. بررسی عیوب احتمالی در ترانسفورماتور
۲۱۲	۵. ۶. ۵. روغن و سیستم عایقی ترانسفورماتور
۲۱۲	۵. ۶. ۶. بوشینگ‌ها و اتصالات
۲۱۳	۵. ۶. ۷. تپ‌چنجر آفسیرکت
۲۱۳	۵. ۶. ۸. تپ‌چنجر تحت بار
۲۱۳	۵. ۶. ۹. موتور درایو
۲۱۴	۵. ۶. ۱۰. فیلتر روغن
۲۱۴	۵. ۶. ۱۱. سیستم خنک کننده
۲۱۴	۵. ۶. ۱۲. منبع انبساط با ایربگ
۲۱۴	۵. ۶. ۱۳. واشرها
۲۱۴	۵. ۶. ۱۴. ترانسفورماتورهای خشک
۲۱۵	۵. ۶. ۱۵. حفاظت سطوح
۲۱۵	۵. ۷. اسقاط پس از پایان بهره‌برداری
۲۱۵	۵. ۷. ۱. مقررات محلی
۲۱۶	۵. ۷. ۲. استفاده‌ی مجدد
۲۱۶	۵. ۷. ۳. پسماند
۲۱۶	۵. ۷. ۴. روغن آلوده به PCB

## فصل ششم: اضافه‌ولتاژ و محدودیت‌های ناشی از اضافه‌ولتاژ

۲۱۹	۶. ۱. معرفی
۲۲۱	۶. ۲. محدودیت‌های ناشی از اضافه‌ولتاژهای موقت
۲۲۱	۶. ۲. ۱. اضافه‌ولتاژهای ناشی از خطای زمین
۲۲۲	۶. ۲. ۲. اضافه‌ولتاژهای ناشی از حذف ناگهانی بار
۲۲۳	۶. ۲. ۳. اضافه‌ولتاژهای ناشی از فرورزونانس
۲۲۴	۶. ۳. محدودیت‌های ناشی از اضافه‌ولتاژهای گذرا
۲۲۴	۶. ۳. ۱. انواع تجهیزات حفاظتی در برابر اضافه‌ولتاژ
۲۲۶	۶. ۳. ۲. مشخصات فنی برقگیرهای اکسید فلزی
۲۳۶	۶. ۳. ۳. اضافه‌ولتاژهای داخلی ناشی از نوسانات فرکانس بالا
۲۴۲	۶. ۳. ۴. اضافه‌ولتاژهای انتقالی در ترانسفورماتور
۲۴۳	۶. ۳. ۵. اقدامات احتیاطی ویژه برای ترانسفورماتورهای خشک

## فصل هفتم: ارزش تلفات و طراحی بهینه‌ی ترانسفورماتور

- |     |   |
|-----|---|
| ۲۴۷ | ۱.۷. معرفی  |
| ۲۴۷ | ۲.۷. تلفات بی باری                                  |
| ۲۴۹ | ۳.۷. تلفات بار                                      |
| ۲۵۰ | ۴.۷. پارامترهای تاثیرگذار بر محاسبه‌ی ارزش تلفات    |
| ۲۵۲ | ۵.۷. ارزش‌گذاری تلفات بی باری                       |
| ۲۵۶ | ۶.۷. ارزش‌گذاری تلفات بار                           |
| ۲۵۹ | ۷.۷. محاسبه‌ی هزینه‌ی توان مصرفی تجهیزات خنک‌کنندگی |
| ۲۶۰ | ۸.۷. نتیجه‌گیری                                     |



# پیشگفتار

کتابی که در پیش رو دارید ترجمه‌ی ویرایش سوم هندبوک ترانسفورماتور ABB است که توسط ۹ نفر از متخصصین باتجربه‌ی این شرکت تالیف شده است. همان گونه که در پیشگفتار کتاب انگلیسی نیز ذکر شده است، هدف از تالیف هندبوک علاوه بر آشنایی کلی با ترانسفورماتورهای توزیع و قدرت، ارائه‌ی راهنمایی‌های لازم برای تسهیل فرایندهای طراحی، تولید، سفارش، خرید، حمل، نصب، بهره‌برداری، سرویس و نگهداری از این تجهیز می‌باشد. آنچه که در ترجمه‌ی فارسی خواهید خواند به ترتیب مندرج در کتاب اصلی نیست و ترتیب فصول در نسخه‌ی فارسی بنا به موضوع مورد بحث و حجم فصول، جابه‌جا شده است. کتاب حاضر شامل هفت فصل است: در فصل اول اصول کار و تئوری ترانسفورماتور به زبان ساده و کاربردی (و کمی متفاوت از کتب تئوری ماشین‌های الکتریکی) تشریح شده است. فصل دوم انواع ترانسفورماتورها و راکتورهای مورد استفاده در شبکه و صنایع را مورد بحث و بررسی قرار می‌دهد. با توجه به اینکه شرکت ABB در طول فعالیت بیش از صدساله‌ی خود تقریباً همه‌ی انواع ترانسفورماتور و راکتور را تولید و نصب کرده است، این فصل بسیار جامع بوده و می‌توان آن را خلاصه‌ی تجارب این شرکت در رابطه با طراحی، تولید و مسائل مربوط به بهره‌برداری از این تجهیزات قلمداد کرد. در فصل سوم تحت عنوان مبانی طراحی و ساختمان ترانسفورماتور، ساختار داخلی این تجهیز به‌ویژه انواع هسته، سیم‌پیچ، مخزن و... شرح داده شده است. در فصل چهارم، مواد مورد استفاده در ترانسفورماتور، متعلقات ترانسفورماتور به‌ویژه بوشینگ، تپ‌چنجر، سیستم‌های خنک‌کنندگی و تجهیزات حفاظتی مانند رله‌ی بوخهلتنس، فشارشکن، رله‌ی فشارناگهانی، روغن‌نما، رطوبت‌گیر، ترمومترها و... مورد بحث و بررسی قرار گرفته‌اند. نکات مهم مربوط به نصب، راه‌اندازی، بهره‌برداری، سرویس و نگهداری و همچنین جداول عیب‌یابی ترانسفورماتورهای روغنی و خشک در فصل پنجم شرح داده شده‌اند. در فصول ششم و هفتم کتاب مباحثی مطرح می‌شود که تاکنون در سایر کتب ترانسفورماتور که به زبان فارسی ترجمه یا تالیف شده‌اند، کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند. فصل ششم به مسئله‌ی اضافه‌ولتاژ بر روی ترانسفورماتور

و روش‌های حفاظت در برابر اضافه‌ولتاژ می‌پردازد. در فصل هفتم نیز نحوه‌ی محاسبه‌ی ارزش تلفات ترانسفورماتور به‌منظور طراحی و سفارش بهینه و اقتصادی این تجهیز توضیح داده شده است. با توجه به این که مخاطبین اصلی این کتاب سازندگان، خریداران، مشاورین، بهره‌برداران و پیمانکاران حمل، نصب، سرویس، نگهداری، تست و تعمیرات ترانسفورماتور هستند، در ترجمه‌ی فارسی کتاب تلاش شده به‌جای معادل‌سازی فارسی، از واژه‌های معمول در دستورالعمل‌ها و متون فنی و عملیاتی و اصطلاحات رایج بین مهندسين در صنعت برق و ترانسفورماتور استفاده شود تا خواننده‌ی متخصص برای درک معنی واژه دچار چالش نشود. همچنین در ترجمه تلاش بسیاری شده است که متن، دقیق و روان بوده و وفاداری به متن اصلی نیز حفظ شود. هر جا به توضیح بیشتری توسط مترجمین نیاز بوده در انتهای فصل با علامت (م) مشخص شده است. در پایان از کلیه‌ی خوانندگان محترم تقاضا داریم انتقادات، پیشنهادات و همچنین ایرادات مشاهده شده در متن را به‌منظور اصلاح در ویرایش‌های آتی به پست الکترونیک: [info@atecco.ir](mailto:info@atecco.ir) ارسال نمایند.

**آرش آقائی فر**  
**حرمت اله فیروزی**  
**زمستان ۱۴۰۰**

# فصل اول

## اصول کار ترانسفورماتور

### ۱.۱. معرفی

ترانسفورماتور یک تجهیز استاتیک شامل دو یا تعداد بیشتری سیم‌پیچ است که به واسطه‌ی یک میدان مغناطیسی قوی با هم مرتبط هستند. ترانسفورماتور برای اهداف مشخصی طراحی می‌شود مانند اندازه‌گیری ولتاژ یا جریان، انتقال توان یا انتقال سیگنال الکتریکی. از این رو الزامات طراحی ترانسفورماتور نیز به نوع کاربرد آن بستگی دارد. در ترانسفورماتورهای اندازه‌گیری، کمیت اندازه‌گیری شده باید با دقت بسیار بالا از سیم‌پیچ اولیه به سیم‌پیچ ثانویه انتقال یابد. در حالی که در ترانسفورماتورهای انتقال سیگنال، هدف آن است که انتقال سیگنال با حداقل اعوجاج صورت گیرد. تمرکز این کتاب بر روی ترانسفورماتورهای قدرت است. این ترانسفورماتورها باید یک مقدار مشخص از توان الکتریکی را در فرکانس ثابت، با تغییر ولتاژ از سطحی به سطح دیگر با حداقل تلفات منتقل کنند.

### ۲.۱. انتخاب ولتاژ سیستم

نیروگاه‌ها اغلب در محل‌هایی دور از محل مصرف قرار دارند. دلیل استفاده از سطوح ولتاژ بالا در انتقال توان الکتریکی می‌تواند بدین صورت توضیح داده شود: تلفات  $L$  در یک خط انتقال سه فاز با مقاومت  $R$  در هر فاز و جریان  $I$  مطابق ذیل محاسبه می‌شود:

$$L = 3.R.I^2 \quad (W) \quad (1-1)$$

توان اکتیو انتقالی در ولتاژ سیستم  $U$  مطابق ذیل است:

$$P = \sqrt{3}.U.I.\cos\varphi \quad (W) \quad (2-1)$$

معادله‌ی (۲-۱) را می‌توان به صورت ذیل نوشت:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3}U \cdot \cos \varphi} \quad (A) \quad (3-1)$$

و با توجه به معادله‌ی (۱-۱) داریم:

$$L = P^2 \frac{R}{U^2 \cdot \cos^2 \varphi} \quad (W) \quad (4-1)$$

معادله‌ی (۴-۱) نشان می‌دهد تلفات انتقال با مجذور توان انتقالی رابطه‌ی مستقیم و با مجذور ولتاژ سیستم رابطه‌ی عکس دارد. به عبارت دیگر با افزایش ولتاژ، تلفات کاهش می‌یابد. انتخاب ولتاژ سیستم در حقیقت موازنه‌ای اقتصادی است. ولتاژ بالا تلفات انتقال را کاهش می‌دهد ولی در عین حال هزینه‌ی خطوط انتقال، کابل‌ها و ترانسفورماتورها افزایش می‌یابد. ولتاژ خطوطی که برای انتقال توان‌های بالا به فواصل طولانی مورد استفاده قرار می‌گیرد، در محدوده‌ی چند صد کیلوولت هستند. توان در نزدیک محل مصرف با سطح ولتاژ کمتری توزیع می‌گردد. بنابراین ولتاژ در چند مرحله کاهش می‌یابد. در حالی که ترانسفورماتورهای اصلی نیروگاهی افزاینده هستند، ترانسفورماتورهای انتقال و توزیع معمولاً کاهنده می‌باشند. هرچه ترانسفورماتور به مصرف کننده نزدیک‌تر باشد توان نامی آن نیز کمتر است.

### ۳.۱. نحوه‌ی کار ترانسفورماتور

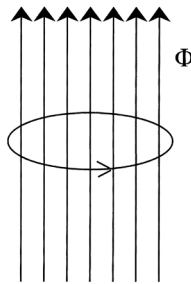
ترانسفورماتور بر مبنای دو پدیده‌ی فیزیکی کار می‌کند. یکی از این دو پدیده، القاء الکترومغناطیسی است که توسط فارادی<sup>۱</sup> در دهه‌ی ۱۸۳۰ کشف شد. قانون القاء مدتی بعد توسط نیومن<sup>۲</sup> در سال ۱۸۴۵ به شکل فرمول ارائه گردید. حلقه‌ای از جنس هادی مطابق شکل ۱-۱ که در یک میدان مغناطیسی  $\varphi$  قرار دارد را در نظر بگیرید. اگر شار مغناطیسی  $\Delta\varphi$  در بازه‌ی زمانی کم  $\Delta t$  تغییر کند، ولتاژی در حلقه القاء شده و جریانی را از آن عبور خواهد داد. ولتاژ القاء شده  $U_i$  تابعی از نسبت تغییرات شار به تغییرات زمان  $\frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$  بوده و مطابق معادله‌ی دیفرانسیلی (۵-۱) نشان داده می‌شود:

$$U_i = \frac{d\varphi}{dt} \quad (V) \quad (5-1)$$

این مقدار عددی (اسکالر) ولتاژ القایی است. به منظور نشان دادن جهت ولتاژ القایی، قانون القاء را می‌توان مطابق معادله‌ی (۶-۱) بازنویسی کرد:

$$\bar{U}_i = -\frac{d\varphi}{dt} \quad (V) \quad (6-1)$$

در این معادله علامت منفی نشان دهنده‌ی این است که ولتاژ القاء شده‌ی  $U_i$  جریانی را در حلقه به گردش درآورده و میدان مغناطیسی ایجاد می‌کند که با تغییرات شار اصلی  $d\varphi$  مخالف است. به عبارت دیگر، جریان القایی در مقابل هرگونه تغییر در میدان مغناطیسی مقاومت می‌کند. با افزایش شار مغناطیسی، جهت جریان القایی به گونه‌ای است که جهت شار منتهی با شار اصلی  $\varphi$  مخالف است. وقتی شار اصلی کاهش می‌یابد جهت جریان القایی، هم‌راستا با شار اصلی  $\varphi$  است.

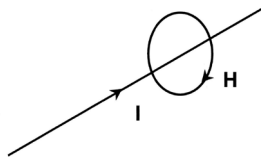


شکل ۱-۱ : القاء ولتاژ و عبور جریان در یک حلقه داخل شار مغناطیسی متغیر

اگر حلقه را با یک سیم پیچ به تعداد  $N$  دور که به صورت سری پیچیده شده باشد عوض کنیم، ولتاژ بر روی همه‌ی دورها القاء خواهد شد. ولتاژ القاء شده در کل سیم پیچ مطابق معادله‌ی (۱-۷) می‌باشد:

$$\bar{U}_i = -N \frac{d\varphi}{dt} \quad (V) \quad (1-7)$$

پدیده‌ی فیزیکی دیگر این است که حلقه‌ای که از آن جریان عبور کند، در اطراف خود، میدان مغناطیسی به وجود می‌آورد. (شکل ۱-۲)



شکل ۱-۲ : ایجاد میدان مغناطیسی در اطراف سیم حامل جریان

به منظور ایجاد میدان مغناطیسی متغیر با زمان در ترانسفورماتور، باید یک ولتاژ سینوسی به سیم پیچ اولیه اعمال نمود که یک جریان مغناطیس کننده به وجود می‌آورد. سیم پیچ‌ها به صورت پوسته‌های متحدالمرکز به دور یک هسته‌ی آهنی پیچیده می‌شوند. هسته به صورت صفحات فلزی لایه لایه بوده و تشکیل یک حلقه‌ی بسته‌ی مغناطیسی می‌دهد. به دلیل ویژگی‌های مغناطیسی هسته، شار مغناطیسی هزاران بار قوی‌تر از هوا است که تزویج مغناطیسی بین سیم پیچ‌ها را قوی‌تر می‌کند. زمانی که ترمینال‌های خروجی سیم پیچ ثانویه باز باشد، رابطه‌ی بین ولتاژ اعمال شده در سمت اولیه و ولتاژ خروجی در سمت ثانویه برابر با نسبت بین تعداد دورهای اولیه و ثانویه خواهد بود. (معادلات ۱-۸ و ۱-۹)

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (1-8)$$

$$U_2 = U_1 \cdot \frac{N_2}{N_1} \quad (1-9)$$