مبحث شانزدهم:

مباحث تکمیلی در ترانسفورماتورهای سه فاز

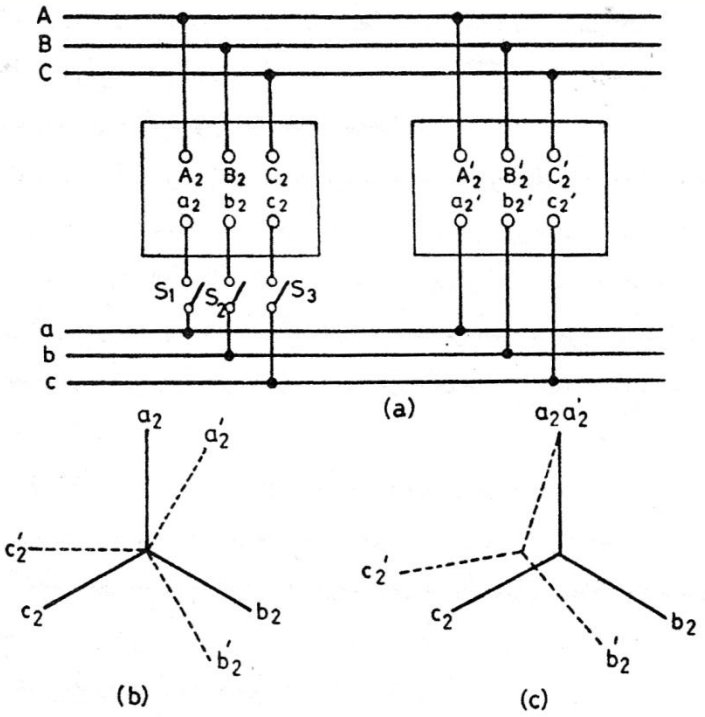
- موازی کردن ترانسفورماتورهای سه فاز
- کار نامتعادل ترانسفورماتورهای سه فاز
- حالات گذرا در ترانسفورماتورها
- نیروهای مکانیکی در ترانسفورماتورها

برای موازی نمودن شروط اساسی زیر باید برقرار باشند:

۱- برابر بودن نسبت تبدیل آنها
۲- اختلاف فاز برابر (وابسته به گروه برداری ترانسها)
۳- توالی فازهای یکسان

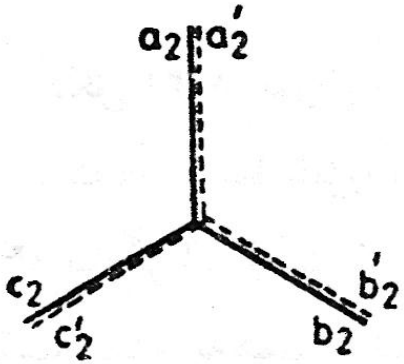
دیگر شروط مورد نیاز (جهت تقسیم بار متعادل بین دو ترانس):

۱- دارا بودن راکتانسهای پراکندگی (pu) برابر
۲- نسبت راکتانسهای پراکندگی به مقاومت‌های معادل برابر

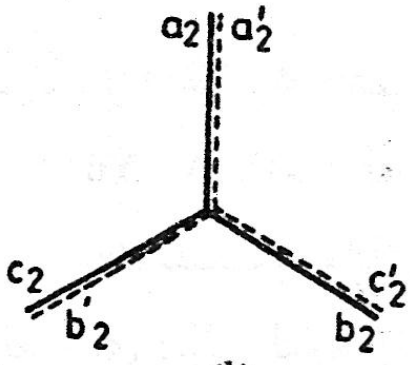


کار موازی ترانسهای سه فاز با گروههای مختلف

به دلیل ایجاد اختلاف ولتاژ بین دو طرف کلیدهای S_2 و S_3، موازی نمودن این دو ترانس معادل با عبور جریان گردشی بسیار بالا از ثانویه‌های ترانسها و آسیب دیدن آنها می شود.



(a)



(b)

در اینجا هم به دلیل ایجاد اختلاف ولتاژ بین دو طرف کلیدهای S_2 و S_3، موازی نمودن این دو ترانس معادل با عبور جریان گردشی بسیار بالا از ثانویه‌های ترانسها و آسیب دیدن آنها می شود.

- ❑ نتیجه ای که تا به آلان گرفته می شود آنست که دو ترانس در صورتیکه دارای گروههای برابر باشند، قابل اتصال موازی با یکدیگر هستند.
- ❑ اما با اتصال مناسب سرهای ورودی و خروجی ترانس به بار و شبکه قدرت می توان ترانسهای با گروههای متفاوت را با هم موازی نمود.

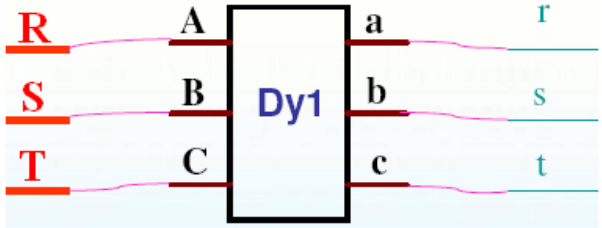
در عمل ترانسهای با گروه برداریهای متناسب را می توان با هم موازی نمود و می توان ترانسهائی با گروه برداریهای ویژه پیدا کرد که موازی کردن آنها ممکن نباشد . این بخاطر اختلاف فازهائی است که ممکنست در اینگونه موارد ایجاد شود که ایجاد سیستم سه فاز متعادل را غیر ممکن کنند .

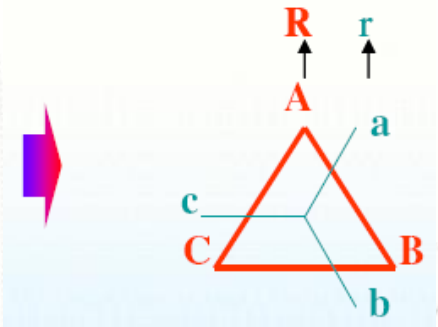
نکته مهمی که در بررسی این موضوع مبنای کار ما می باشد آنست که اگر بواسطه قرار گرفتن یک ترانس در یک مداراختلاف فاز بین ولتاژ فازهای هم نام این مدار (مثلا R با r ، S با s یا T با t) مقدار ویژه ای شد ، چنان فازهائی از ترانس موازی شونده را باید به این فازهای هم نام وصل کنیم که همان اختلاف فاز را داشته باشند .

برای موازی کردن دو ترانس با گروه برداریهای Dy1 و Dy5 اینگونه عمل می شود :

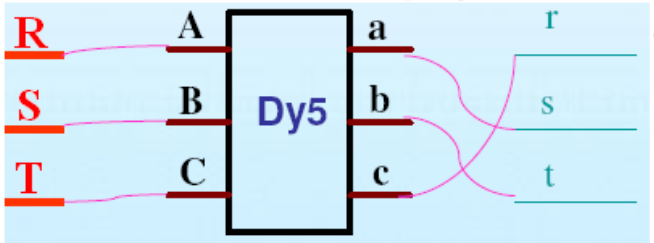
اتصالات ترانس اول به دلخواه انجام می شود .

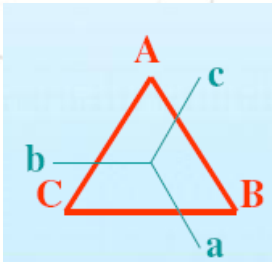
از روی دیاگرام برداری اختلاف فاز بین دو فاز هم نام بدست می آید .



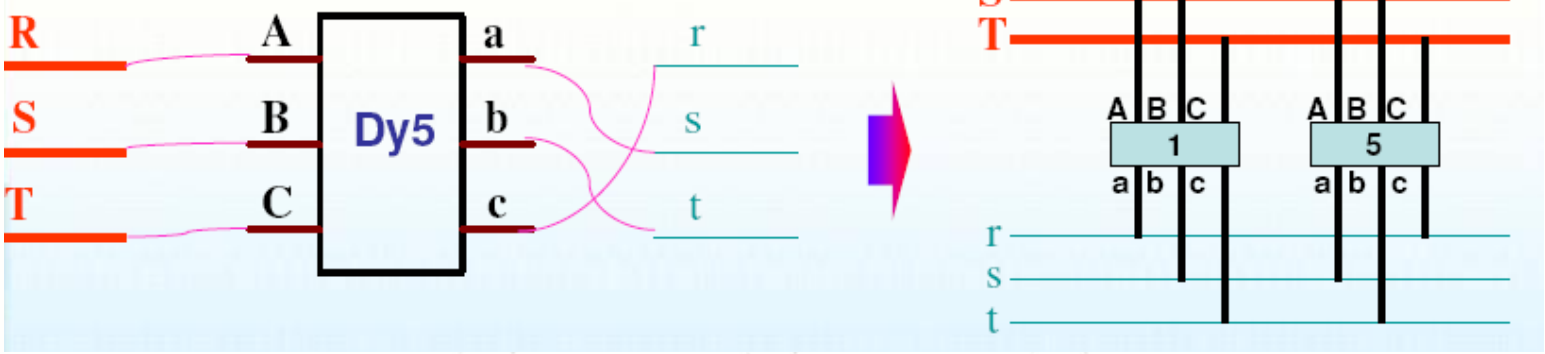


دیاگرام برداری ترانس دوم را کشیده و نوع سر بندی را تعیین می کنیم .





این شکل را معمولا بصورت زیر نمایش می دهند :



✓ در صورتیکه ولتاژهای بی باری دو ترانس با یکدیگر برابر باشند، تقسیم بار بین دو ترانس از روابط زیر قابل محاسبه است:

$$S_{load} = S_1 + S_2$$

$$\begin{cases} S_1 = \dfrac{Z_{e_2}}{Z_{e_1} + Z_{e_2}} S_{load} \\ S_2 = \dfrac{Z_{e_1}}{Z_{e_1} + Z_{e_2}} S_{load} \end{cases}$$

S_{load} = توان ظاهری بار

$r_{ei} + x_{ei} = z_{ei}$ = امپدانس هر فاز ترانسفورماتور

➢ **دلایل نامتعادل کارکردن ترانسفورماتور سه‌فاز:**

۱- تغذیه بارهای تک‌فاز از خروجی‌های ترانسفورماتورهای سه‌فاز

۲- عدم تقارن در سیم‌پیچی‌های سه فاز

۳- عدم تعادل در بارهای تک‌فاز متصل به سه‌فاز خروجی ترانس

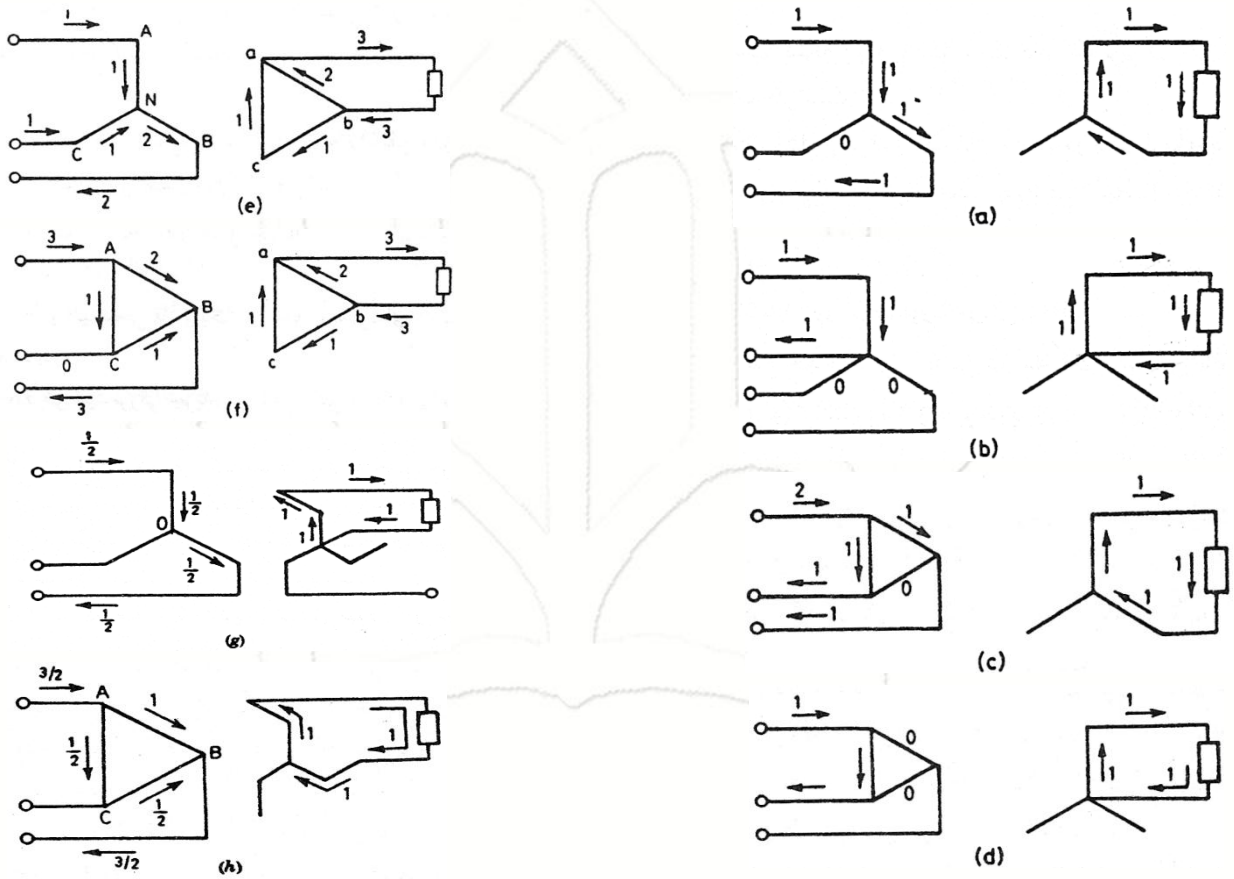
٤- اتصال کوتاه‌های تک‌فاز

➢ **اثرات مضر نامتعادل کارکردن:**

۱- افزایش تلفات هسته و تلفات اهمی و لذا ایجاد حرارت بیشتر و نتیجتا کاهش عمر ترانسفورماتور.

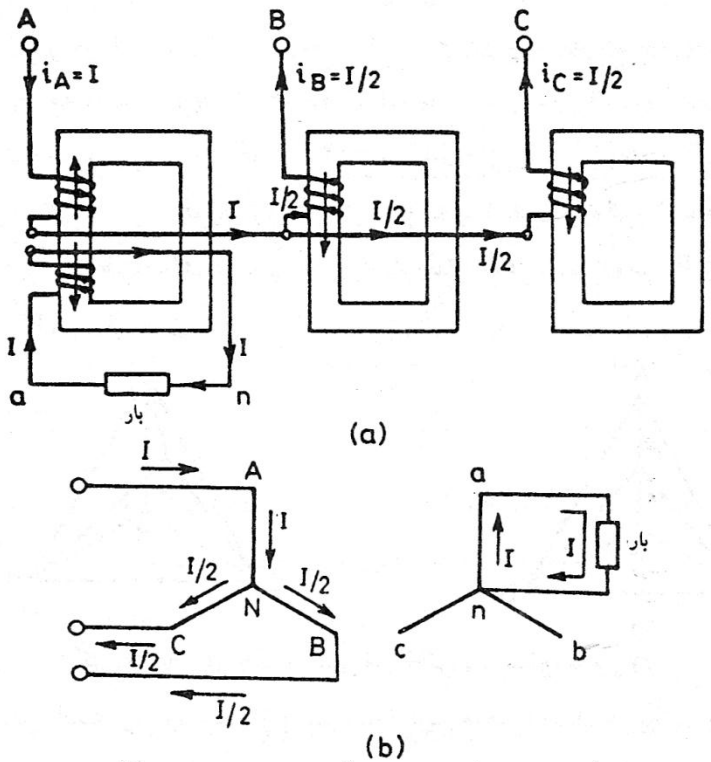
۲- ولتاژهای فاز و خط نامتعادل و از شکل طبیعی خود خارج می‌شوند.

۳- مقادیر نامی ترانسفورماتور کاهش می یابد.


(a)
(b)
(c)
(d)
(e)
(f)
(g)
(h)

فرض کنیم که از سیم برگشتی متصل به نقطه ستاره در اولیه استفاده نشود.

- ✓ به دلیل آنکه هیچ جریانی از ثانویه سیم‌پیچ‌های B و C نمی‌گذرد، پس تعادل آمپردور در اولیه و ثانویه برقرار نمی شود.
- ✓ لذا جریان مغناطیس کنندگی در فازهای B و C افزایش می یابد.
- ✓ در نتیجه، اگر جریان بار I به اندازه کافی بزرگ باشد، سبب افزایش زیاد جریان مغناطیس کنندگی شده و هسته بطور قابل ملاحظه‌ای اشباع می‌شود.
- ✓ اگر اولیه ترانس به یک سیستم قدرت بزرگ وصل شود، عدم تعادل در ولتاژ خط پیش نمی آید، اما نقطه ستاره دیگر خنثی نخواهد بود.



شکل ۴۴-۸: بار یکفاز بین خط و خنثی درگروه ترانسفورماتور Yy بدون خط خنثی

❖ **مطالعه حالات گذرای ترانسفورماتور در دو گروه انجام می شود:**

۱- حالات گذرای اضافه جریان:

- **جریان هجومی ناشی از کلیدزنی**
- **اتصال کوتاه در ترانسفورماتور**

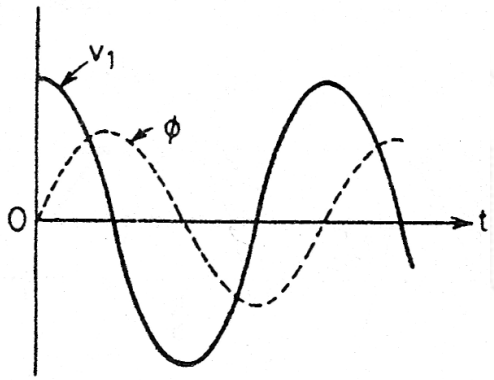
۲- حالات گذرای اضافه ولتاژ:

- **اضافه ولتاژهای داخلی:** تغییر ناگهانی بار، کلیدزنی، خطاهای سیستم نظیر اتصال کوتاه نامتقارن، فرو افتادن سیم و ...
- **اضافه ولتاژهای خارجی:** برخورد مستقیم صاعقه، القاء الکترومغناطیسی ناشی از تخلیه بین دو ابر، القاء الکتروستاتیک ابر

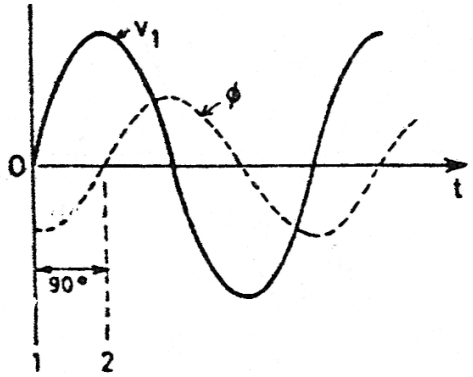
❖ بررسی کیفی پدیده کلیدزنی در ترانسها:

✓ فرض کنید ترانس بی‌بار است. اگرکلیدزنی اولیه ترانسفورماتور در زمانی صورت بگیرد که دامنه ولتاژ اولیه در حداکثر مقدار خود باشد، به دلیل اختلاف فاز ۹۰ درجه بین آنها، شار مغناطیس کننده از مقدار صفر بصورت یک تابع سینوسی تغییر می‌کند.

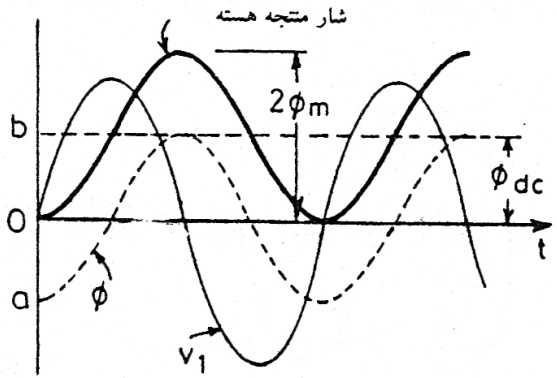
✓ اما اگر کلیدزنی به نحوی صورت بگیرد که ولتاژ اعمالی به اولیه در مقدار ماکزیمم نباشد، طبق تئوری شار باید از مقدار غیرصفری شروع به نوسان می کند. اما در عمل طبق قانون پیوستگی شار، چون شار قبل از کلیدزنی صفر است، شار بعد از آن هم صفر می شود. از طرفی چون شار بصورت سینوسی تغییر می کند، لذا شار ایجاد شده در مدار یک مولفه DC پیدا می‌کند.



(الف) تغییرات شار φ وقتی V_1 در لحظه وصل در حداکثر مقدار خود باشد.

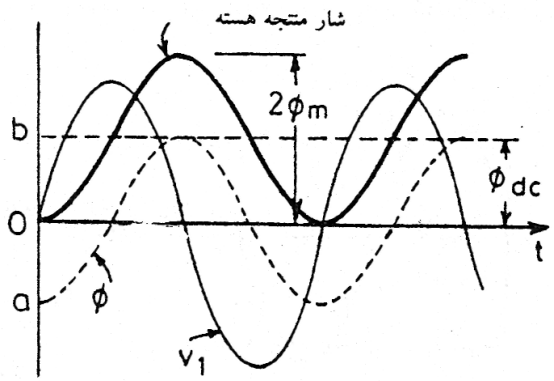


(ب) تغییرات شار φ برای ترانس حالت ایده‌ال (بدون درنظر گرفتن پدیده کلیدزنی)

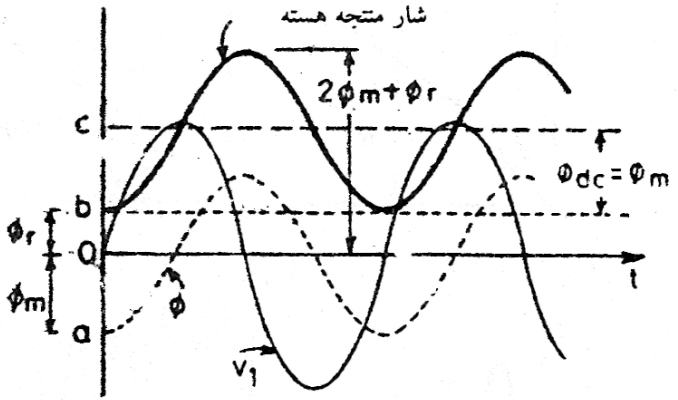


(ج) تغییرات شار φ برای ترانس واقعی و با درنظر گرفتن پدیده کلیدزنی

- ✓ لذا شار منتجه هسته حول مقدار شار DC ایجاد شده (φ_{dc}) با دامنه φ_m شروع به نوسان می‌کند.
- ✓ افزایش دامنه شار به مقدار مطلق $2\varphi_m$ سبب به اشباع رفتن هسته و در نتیجه افزایش شدید جریان مغناطیس کننده هسته به مقدار ٤ تا ٦ برابر مقدار نامی آن می شود.
- ✓ در صورت وجود پسماند در هسته ترانس، حداکثر مقدار شار باز هم افزایش بیشتری می‌یابد.



(الف) اثر کلیدزنی بر شار مغناطیس کنندگی هسته



(ب) اثر کلیدزنی وقتی شار پسماند نیز وجود داشته باشد

❖ **بررسی تحلیلی:**

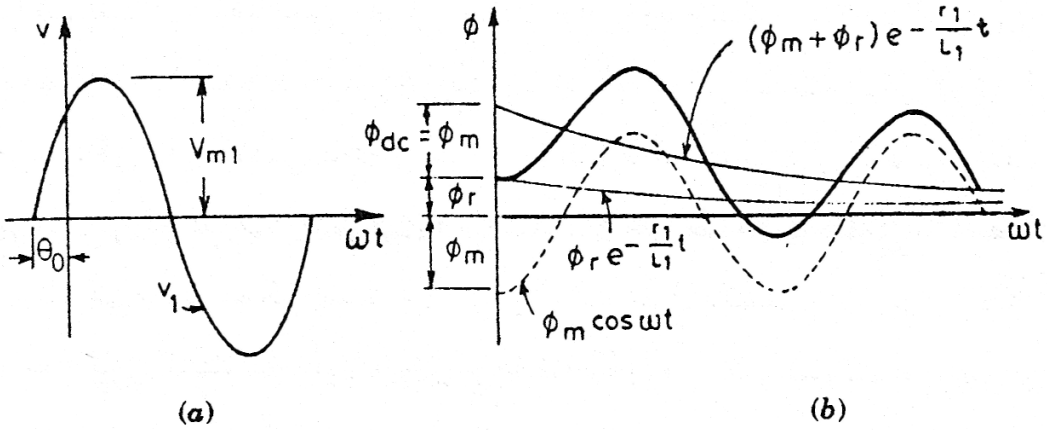
✓ **وجود مقاومت اهمی سیم پیچ اولیه سبب می شود تا با گذشت زمان مولفه DC شار از بین رفته و شار به حالت سینوسی باز گردد.**

به فرض ولتاژ اعمالی به این شکل باشد:

$$v_1(t) = V_{m1}\sin(\omega t + \theta_o)$$

معادله تغییرات شار تحریک بعد از کلیدزنی:

$$\Rightarrow \quad \phi(t) = (\phi_m \cos\theta_o \pm \phi_r)e^{-\frac{r_1}{L_1}t} - \phi_m \cos(\omega t + \theta_o)$$



بررسی تحلیلی پدیده هجوم در ترانسفورماتور

- به دلیل وجود اختلاف فاز بین ولتاژهای اعمال شده به سیم‌پیچهای ترانس سه فاز، جریان هجومی همواره وجود خواهد داشت.

❖ **برخی روش‌های کاهش جریان هجومی:**

1. **استفاده از مقاومت راه انداز و کلید دو مرحله‌ای:** وجود مقاومت سری، ولتاژ اولیه ترانس را به نصف کاهش می‌دهد.
2. **حذف پس‌ماند مغناطیسی:** با اتصال یک خازن به اولیه ترانس و هنگام قطع ترانس پسماند مغناطیسی حذف می‌شود.
3. **کلیدزنی در طرف فشار قوی:** چون سیم پیچ فشار ضعیف به هسته نزدیکتر است، سطح عبور شار آن کمتر بوده و چگالی شار در آن افزایش می یابد که منجر به ایجاد اشباع بیشتر می‌شود.

- ترانس‌های قدرت معمولا بدون بار کلیدزنی می‌گردند. اما ترانسهای توزیع معمولا زیر بار کلیدزنی می‌شوند.
- جریان هجومی در حالت بارداری تقریبا با جریان هجومی در حالت بی‌باری برابر است.

- عبور جریان از سیم‌پیچ‌های اولیه و ثانویه ترانس سبب اعمال نیرو بر سیم‌پیچ‌ها می گردد.

$$F = \frac{\mu_0 i_1 i_2}{4\pi d}$$

- وقتی جریان‌ها در یک جهت باشند، هادیها یکدیگر را جذب می‌کنند و وقتی جریان‌ها در خلاف جهت هم باشند، یکدیگر را دفع می نمایند.

❖ **انواع نیروهای مکانیکی در ترانسفورماتور:**

1. **نیروهای داخلی:** به علت اثر متقابل جریان‌ها در یک سیم‌پیچی ایجاد می شود که از نوع جاذبه است.
2. **نیروهای خارجی:** به علت اثر متقابل بین جریان‌های سیم‌پیچی‌های اولیه و ثانویه است و از نوع دافعه است.