



فصل ۲۷- نوسانات الکترومغناطیسی و جریان متناوب

- ۱- مقدمه
- ۲- نوسانات LC ، بررسی کیفی
- ۳- قیاس الکتریکی - مکانیکی
- ۴- نوسانات LC ، بررسی کمی
- ۵- نوسانهای میرا در مدار RLC
- ۶- جریان متناوب
- ۷- نوسانهای واداشته
- ۸- سه مدار ساده
- ۹- مدار RLC متوالی
- ۱۰- توان در مدارهای جریان متناوب
- ۱۱- مبدلها

۱۱- مبدلها

شرایط لازم در انتقال انرژی

وقتی یک مدار ac فقط دارای بار مقاومتی باشد، ضریب توان در معادله ۲۷-۷۶ برابر $\cos \phi = 1$ و در نتیجه rms نیروی محرکه الکتریکی، \mathcal{E}_{rms} و ولتاژ دو سر مقاومت، V_{rms} برابر است. بنابراین، اگر rms جریان در مقاومت I_{rms} باشد، انرژی با آهنگ میانگین زیر تولید و تلف می شود

$$P_{\text{ave}} = \mathcal{E} I = IV \quad (27-77)$$

(در معادله ۲۷-۷۷ و بقیه این بخش، از قراردادی عملی پیروی می کنیم و زیرنویس را که مشخص کننده کمیت‌های ریشه میانگین مربعی است حذف می کنیم. مهندسان و دانشمندان فرض می کنند که تمام جریانها و ولتاژهای متغیر نسبت به زمان که

$$P_{\text{avg}} = \mathcal{E}_{\text{rms}} I_{\text{rms}} \cos \phi \quad (\text{توان میانگین}) \quad (27-76)$$

$$\cos \phi = \frac{V_R}{\mathcal{E}_m} = \frac{IR}{IZ} = \frac{R}{Z} \quad (27-75)$$

گزارش می‌شوند، یعنی عددی که آمپرسنجها و ولتسنجها نشان می‌دهند مقادارهای ریشه میانگین مربعی‌اند.) معادله ۲۷-۷۷ حاکی از آن است که برای ایجاد توان مورد نیاز محدوده‌ای از انتخابها وجود دارد، از یک جریان I نسبتاً بزرگ و ولتاژ نسبتاً کوچک تا عکس آن، مشروط بر آنکه حاصلضرب IV مقدار مورد نیاز باشد.

در سامانه‌های توزیع توان الکتریکی به دلایل ایمنی و طراحی وسیله کارآمد، مطلوب آن است که هم در مرکز تولید (نیروگاه الکتریکی) و هم در محل مصرف (منزل یا کارخانه) ولتاژهای نسبتاً پایینی به کار گرفته شوند. هیچ کس نمی‌خواهد که نان برشته کن یا قطار برقی بچه‌ها با ولتاژ مثلاً 10 kV کار کند. از طرف دیگر، در انتقال انرژی الکتریکی از نیروگاه تا محل مصرف می‌خواهیم که برای به حداقل رساندن اتلافهای I^2R (که اغلب اتلافهای اهمی نامیده می‌شوند) در خطهای انتقال، کمترین جریان عملی (و در نتیجه بیشترین ولتاژ عملی) برقرار باشد.

به عنوان مثال، یک خط انتقال 735 kV را برای انتقال انرژی الکتریکی از نیروگاهی به یک شهر در فاصله 1000 km در نظر بگیرید. فرض کنید که جریان 500 A و ضریب توان به یک نزدیک باشد. آنگاه از معادله $27-77$ ، انرژی با آهنگ میانگین زیر تأمین می‌شود

$$P_{\text{avg}} = VI = (735 \times 10^3 \text{ V})(500 \text{ A}) = 368 \text{ MW}$$

مقاومت واحد طول خط انتقال تقریباً $0.22 \Omega/\text{km}$ است، و از آنجا مقاومت کل برای 1000 km خط تقریباً 220Ω است. انرژی در این مقاومت تقریباً با آهنگ زیر تلف می‌شود

$$P_{\text{avg}} = I^2 R = (500 \text{ A})^2 (220 \Omega) = 55 \text{ MW}$$

که تقریباً 15% آهنگ تولید است.

اکنون تصور کنید که اگر جریان را دو برابر و ولتاژ را نصف کنیم چه رخ می‌دهد. انرژی به وسیله نیروگاه با همان آهنگ میانگین قبلی 368 MW تأمین می‌شود، اما اکنون انرژی تقریباً با آهنگ زیر تلف می‌شود

$$P_{\text{avg}} = I^2 R = (1000 \text{ A})^2 (220 \Omega) = 220 \text{ MW}$$

که تقریباً ۶۰٪ آهنگ تولید است. از این رو قاعده کلی انتقال انرژی این است که انتقال انرژی باید در بالاترین ولتاژ ممکن و پایتترین جریان ممکن انجام گیرد.

مبدل آرمانی

قاعده انتقال به یک ناهماهنگی اساسی بین ضرورت انتقال کارآمد با ولتاژ بالا و نیاز برای تولید و مصرف ایمن با ولتاژ پایین منجر می شود. وسیله ای می خواهیم که با آن بتوانیم ولتاژ ac در مدار را (برای انتقال) افزایش و (برای مصرف) کاهش دهیم به طوری که حاصل ضرب جریان در ولتاژ اساساً ثابت بماند. مبدل چنین وسیله ای است. مبدل هیچ بخش متحرکی ندارد، و با قانون القایش فارادی کار می کند و هیچ همتای جریان مستقیم ساده نیز ندارد.

=مبدل

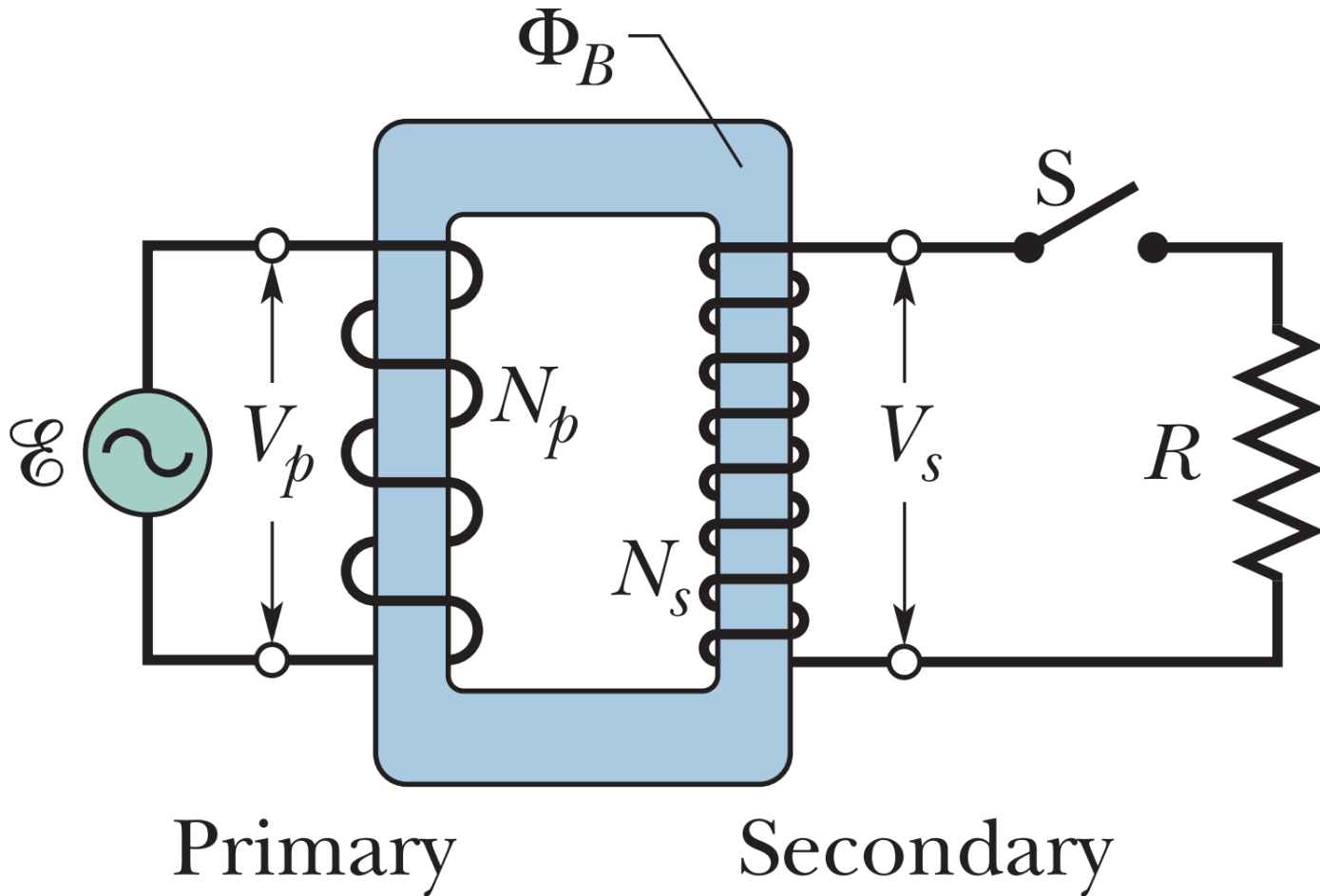
transformator

یک مبدل آرمانی در شکل ۲۷-۱۸ شامل دو پیچه با تعداد دورهای متفاوت است که دور یک هسته آهنی پیچیده شده‌اند. (پیچه‌ها نسبت به هسته عایق‌بندی شده‌اند.) در عمل، سیم پیچ اولیه با N_p دور به یک مولد جریان متناوب متصل است که نیروی محرکه الکتریکی \mathcal{E} آن در هر لحظه t با رابطه زیر داده می‌شود

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_m \sin \omega t \quad (27-78)$$

سیم پیچ ثانویه با N_s دور سیم به مقاومت بار R متصل است، اما مدار آن تا وقتی که کلید S بسته نشده یک مدار باز است (فعلاً همین حالت را فرض می‌کنیم). بنابراین، هیچ جریانی از پیچه ثانویه نمی‌گذرد، افزون بر این، برای این مبدل آرمانی فرض می‌کنیم که مقاومت سیم پیچهای اولیه و ثانویه ناچیز هستند. مبدلهای ظرفیت بالایی که خوب طراحی شده‌اند اتلاف انرژی پایینی به مقدار ۱٪ دارند و از این رو فرضهای ما منطقی‌اند.

برای شرایط فرض شده، سیم پیچ اولیه (یا اولیه) یک القاگر خالص و مدار اولیه همانند مدار در شکل ۲۷-۱۲ است.



شکل ۱۸-۲۷ یک مبدل آرمانی (دو پیچه که دور یک هسته آهنی پیچیده شده‌اند) در یک مدار اساسی مبدل. یک مولد ac در پیچه سمت چپ (اولیه) جریان را ایجاد می‌کند. وقتی کلید S بسته شود پیچه سمت راست (ثانویه)، به یک بار مقاومتی R متصل می‌شود.

بنابراین، جریان اولیه (خیلی کم)، که جریان مغناطنده I_{mag} نیز نامیده می‌شود، به اندازه 90° از ولتاژ اولیه V_p عقب می‌افتد؛ در این حالت، ضریب توان اولیه ($\cos \phi$ در ۲۷-۷۶) صفر است و بنابراین، هیچ توانی از مولد به مبدل داده نمی‌شود.

ولی، جریان اولیه متناوب متغیر سینوسی کوچکی I_{mag} یک شار مغناطیسی متغیر سینوسی ϕ_B در هسته آهنی ایجاد می‌کند. هسته موجب تقویت شار می‌شود و شار را به سیم پیچ ثانویه (یا ثانویه) هدایت می‌کند. چون ϕ_B تغییر می‌کند از این رو، موجب یک $emf (= d\Phi_B / dt)$ القایی در هر دور ثانویه می‌شود. در واقع، این emf بر هر دور \mathcal{E}_{turn} برای اولیه و ثانویه یکسان است. ولتاژ V_p دو سر اولیه برابر است با حاصلضرب \mathcal{E}_{turn} در تعداد دور N_p ؛ یعنی $V_p = \mathcal{E}_{turn} N_p$. به همین ترتیب، در دو سر ثانویه ولتاژ عبارت است از

$$V_s = \mathcal{E}_{turn} N_s$$

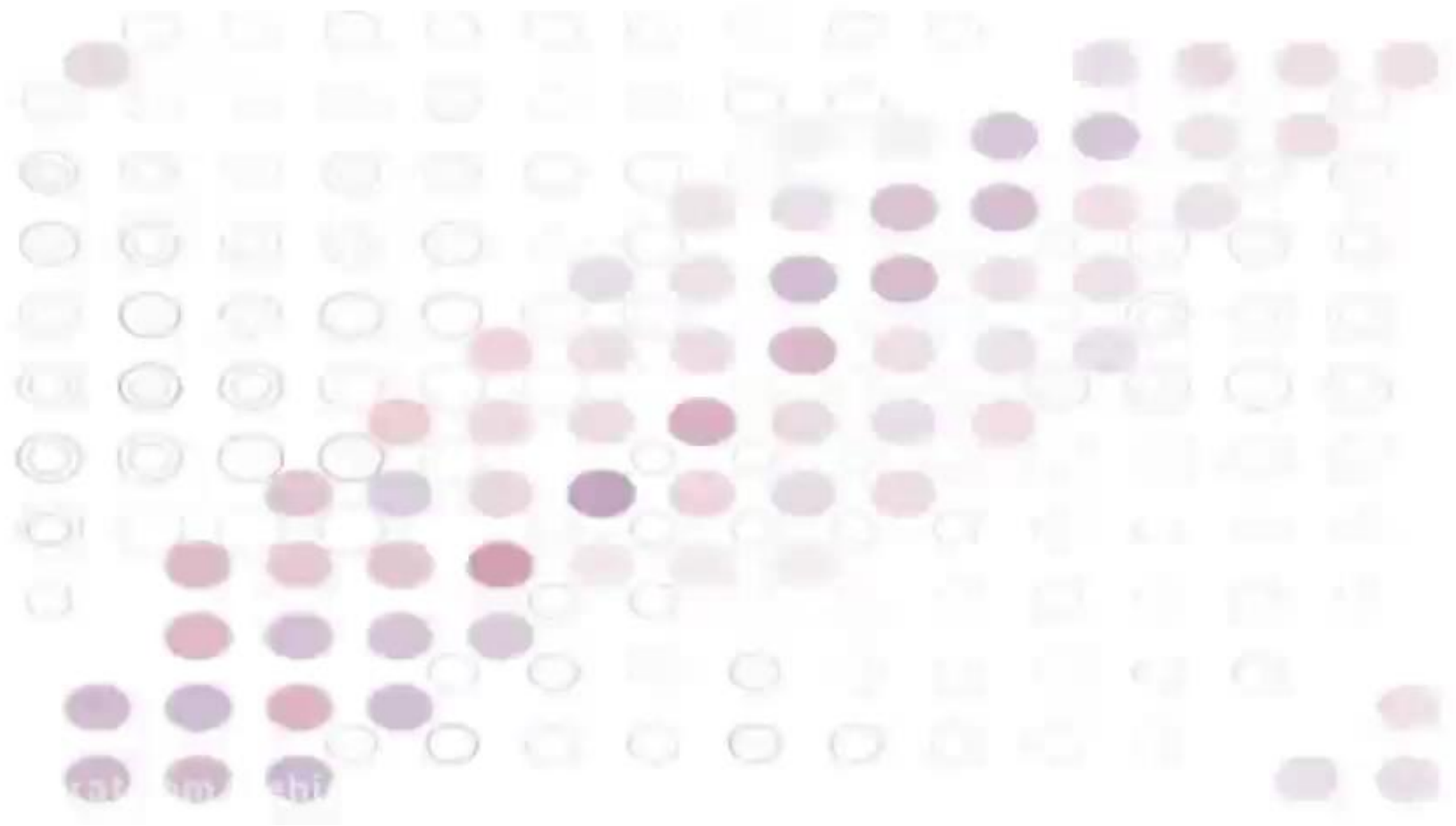
$$\mathcal{E}_{turn} = \frac{V_p}{N_p} = \frac{V_s}{N_s}$$

$$V_s = V_p \frac{N_s}{N_p} \quad (\text{تبدیل ولتاژ}) \quad (۷۹-۲۷)$$

اگر $N_s > N_p$ باشد، مبدل یک مبدل افزایش‌دهنده نامیده می‌شود چون مبدل ولتاژ اولیه V_p را به یک ولتاژ بالاتر V_s می‌رساند. به همین ترتیب، اگر $N_s < N_p$ باشد، وسیله یک مبدل کاهش‌دهنده است. (کلیپ های اسلاید بعدی)

فعالیت خورشیدی و شبکه‌های فشار قوی

همان‌طور که در تصویر اول این فصل نشان داده شده است، در شراره خورشیدی حلقه عظیمی از الکترون‌ها و پروتون‌ها از سطح خورشید به سمت خارج گسترده می‌شوند. بعضی از شراره‌های



ساختار ترانسفورماتور

aparar.com/transforaationmag



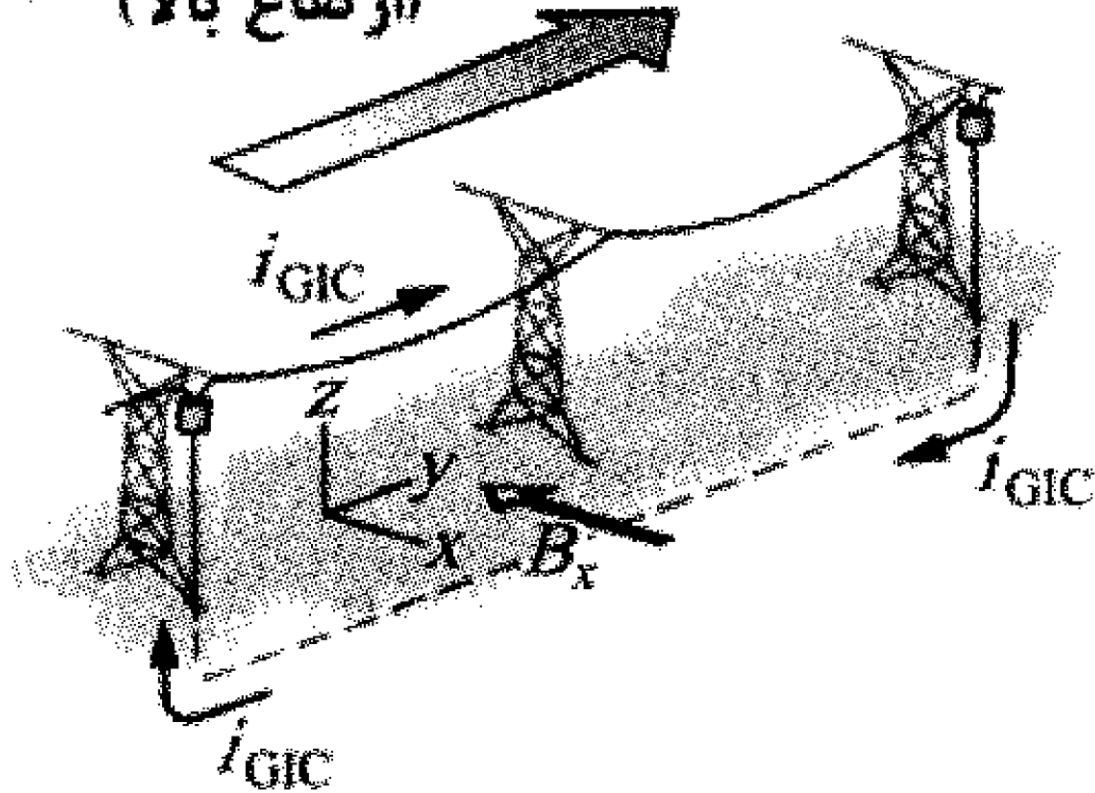
www.LearnEngineering.org

ساختار ترانسفورماتور (زبان اصلی)

خورشیدی منفجر و این ذره‌های باردار به فضا پرتاب می‌شوند. در دهم مارچ ۱۹۸۹/۱۳۶۸ یک شراره خورشیدی غول پیکر به سمت زمین منفجر شد. وقتی ذره‌ها سه روز بعد به ارتفاع زیاد به جو بالای نیمکره شمالی رسیدند یک جریان 10^6 آمپری را که الکتروجت نامیده می‌شود ایجاد کردند.

چون الکتروجت یک جریان است در اطراف خود و از جمله در سطح زمین یک میدان مغناطیسی \vec{B} ایجاد می‌کند. با به کار بردن قاعده دست راست شکل ۲۵-۴ می‌بینیم که الکتروجت در شکل ۲۷-۱۹ یک مؤلفه میدان مغناطیسی B_x در امتداد سطح زمین ایجاد می‌کند که همان‌طور که نشان داده شده عمود بر خط دراز انتقال برق است. مبدل‌های افزایشنده و کاهشنده روی زمین به هر انتهای خط انتقال متصل‌اند. توجه کنید که خط انتقال، زمین و سیم‌های اتصال به زمین مبدل‌ها تشکیل یک حلقه رسانا را می‌دهند. شار مغناطیسی Φ بر اثر B_x به این حلقه نفوذ می‌کند.

الکتروجت (ارتفاع بالا)



شکل ۱۹-۲۷ یک الکتروجت (جریان) در یونسپهر میدان مغناطیسی B_x را ایجاد می‌کند که از حلقه قائمی که از خط انتقال، زمین، و سیمهایی که مبدلها را به زمین وصل می‌کنند می‌گذرد (سیمها درون استوانه‌هایی در دو سر خط انتقال قرار دارند). تغییرات در B_x جریان i_{GIC} را به دور حلقه القا می‌کند.

الکتروجت هم از نظر بزرگی هم از نظر مکان تغییر می کند و در نتیجه تغییر در Φ یک emf القایی و جریان القایی در حلقه ایجاد می کند. جریان i_{GIC} که جریان القایی زمین مغناطیسی¹ (GIC) نامیده می شود، جهتش در امتداد خط انتقال و (مهمتر) از میان مبدلهاست.

انتقال قدرت از طریق شبکه فشار قوی بستگی به تغییرات سینوسی مناسب در جریان و ولتاژ شبکه دارد. وجود i_{GIC} در مبدل موجب انهدام توانمندی هسته مبدل می شود و مبدل دیگر نمی تواند تغییرات سینوسی را از اولیه به ثانویه منتقل کند. دلیل آن این است که شار اضافه شده در هسته بر اثر i_{GIC} موجب اشباع هسته می شود و هسته نمی تواند پاسخ مناسبی در مقابل تغییرات سینوسی در اولیه از خود نشان دهد. در نتیجه، جریان و ولتاژ در ثانویه به شدت از شکل می افتند و دیگر سینوسی نیستند و این از شکل افتادگی انتقال قدرت را مختل می کند.

1 geomagnetically induced current

در سیزدهم مارچ ۱۹۸۹، این نوع اختلال موجب شد که شبکه فشار قوی ناحیه کبک از کار بیفتد. امروزه، هر وقت شراره خورشیدی به سمت زمین منفجر شود، اخترشناسان بی‌درنگ مهندسان شبکه را در جریان امر قرار می‌دهند تا خود را برای اختلال در آن مهیا کنند.