

مطالعات تکمیلی عکس العمل القاء شونده در ماشینهای جریان دائم

نوشته‌ی:

مهندس محمد علی مشیری

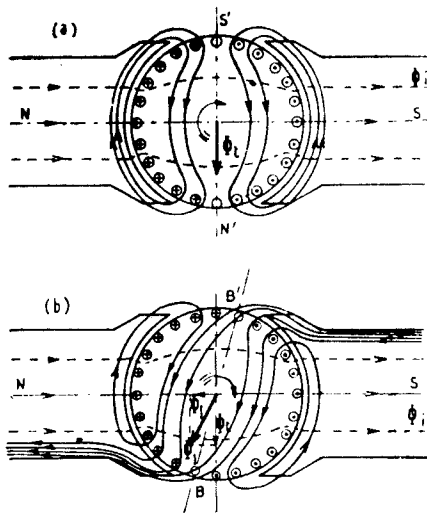
استاد دانشکده‌ی فنی

پدیده عکس العمل القاء شونده در ماشینهای جریان دائم در اواخر قرن نوزدهم مطالعه و تاحدی روشن شده است ولی مطالعات دقیقتری در این مورد وجود بعضی از پدیده‌های اضافی اُفت تانسسیون را در ماشینهای کم اشباع یا اشباع نشده نشان میدهد.

برخلاف اطلاعات فعلی که در دسترس است فقط ماشینهای خیلی اشباع شده^(۱) دارای حداقل اُفت تانسسیون عکس العمل مقناطیسی در القاء شونده میباشند.

I - مقدمه

برای یادآوری چند اصل کلی مربوط به طرق مختلف کار یک ماشین جریان دائم را توضیح داده و برای سهولت بیان یک ماشین دو قطبی اشباع نشده را مانند (شکل ۱) در نظر میگیریم.



چنانچه القاء شونده در حالت عادی بطور مستقرویک نواخت کار کند تولید شار ثابتی Φ_I نسبت به شار القاء کننده Φ_i مینماید اگر جاروها روی خط $S'N'$ مانند (شکل ۱-۲) باشند عکس العمل مقناطیسی در القاء شونده از نظر تانسسیون وجود ندارد.

شکل ۱ - نمایش میدان مقناطیسی در القاء شونده یک ماشین دو قطبی

- a - با نصب جاروهای روی خط خنثی $N'S'$
- b - با انحراف جاروها و قراردادن روی خط BB'

زیرا در اثر اشباع نبودن ماشین مشخصه‌های $\Phi(nI)$ خطی و میتوان از قانون تطبیق حالت‌های جزئی استفاده نمود. شارهای مقناطیسی بطور هندسی جمع می‌شوند و همچنین شارها در شاخه‌های خروجی قطبها جمع و بعکس

۱) Hypersaturé

در شاخه‌های ورودی از هم کسر میشوند و در نتیجه یک نوع پیچش و کشش خطوط قوا در جهت چرخش القاء شونده بوجود می‌آید ولی بطور کلی شار خالص عرضی ماشین بطور قرینه نسبت به خط خنثی مانده و هیچ قوه الکترو موتوری بین جاروها القاء نمیشود.

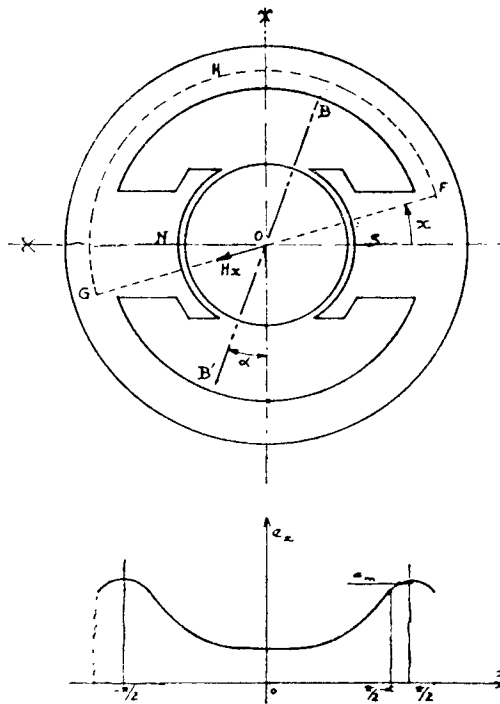
حال اگر جاروها را در جهت حرکت القاء شونده حرکت دهیم (شکل ۱-ب) شار مقناطیسی القاء شونده Φ_I و مولفه‌های آن روی دو محور هندسی NS و N'S' برده میشود که یکی از آنها شار عرضی Φ_x و دیگری شار طولی Φ_l میباشد.

شار اخیر در این حالت مخالف شار القاء کننده و باعث ایجاد افت تانسینون میشود (اولین علت). با عمل انحراف جاروها معادل زاویه α شار کلی در القاء شونده تولید و جهت آن با خط خنثی زاویه‌ای بزرگتر از α میسازد.

برای این منظور یک ماشین دو قطبی را مانند (شکل ۲) در نظر میگیریم که جاروهایش روی خط BB' قرار گرفته و زاویه‌ای معادل α با خط خنثی بسازد.

اگر e_x تغییرات یک نواخت و دوره‌ای معرف طول آنتروفر بر حسب زاویه x نسبت به محور قطبها باشد. چنانچه فقط مقاومت مقناطیسی آنتروفر را در نظر بگیریم با استفاده از قانون آمپر در مدار F, O, G, H خط نقطه چین در (شکل ۲) رابطه ذیل را بدست می‌آوریم:

$$e_x H_x = K(\alpha + x)$$



شکل ۲

تصویر ساده یک ماشین دو قطبی و نمایش تغییرات آنتروفر e_x

شار مقناطیسی القاء شونده که از سطح BB' عبور میکند و مثبت در نظر گرفته میشود چنانچه بطرف چپ متمایل باشد به ترتیب ذیل بدست میآید:

$$\Phi_{BB'} = K \int_{-\frac{\pi}{r} - a}^{\frac{\pi}{r} - a} \frac{\alpha + x}{e_x} dx$$

انتگرال فوق بدو قسمت تجزیه میشود:

$$J_1 = K \int_{-\frac{\pi}{r} - a}^{-\frac{\pi}{r} + a} \frac{\alpha + x}{e_x} dx \quad \text{و} \quad J_2 = K \int_{-\frac{\pi}{r} + a}^{\frac{\pi}{r} - a} \frac{\alpha + x}{e_x} dx$$

با توجه به منحنی (شکل ۲) و مقدار e_x مشاهده میشود که یک مقدار متوسطی وجود دارد مانند e_m بطوریکه (با توجه بمقدار متوسط در شکل ۲)

$$\frac{e\pi}{r} > e_m > \frac{e\pi}{r} - \alpha$$

در نتیجه مقدار انتگرال اول خواهد بود:

$$J_1 = - \frac{rK\alpha \left(\frac{\pi}{r} - \alpha \right)}{e_m}$$

و ضمناً انتگرال دوم J_2 را میتوان به ترتیب ذیل تجزیه نمود:

$$J_2 = K\alpha \int_{-\frac{\pi}{r} + a}^{\frac{\pi}{r} - a} \frac{dx}{e_x} + K \int_{-\frac{\pi}{r} + a}^{\frac{\pi}{r} - a} \frac{x}{e_x} dx$$

انتگرال دوم بمناسبت مقارن بودن e_x با محور قطبها معادل صفر میباشد و برای انتگرال اول چون e_x همیشه کوچکتر از e_m است بنابراین:

$$J_2 = K\alpha \int_{-\frac{\pi}{r} + a}^{\frac{\pi}{r} - a} \frac{dx}{e_x} > \frac{K\alpha}{e_m} \int_{-\frac{\pi}{r} + a}^{\frac{\pi}{r} - a} dx$$

$$J_2 > \frac{rK\alpha \left(\frac{\pi}{r} - \alpha \right)}{e_m}$$

و در نتیجه:

$$\Phi_{BB'} = J_2 + J_1 > 0$$

در اینجا مشاهده میکنیم که یک انحراف α در جاروها اجباراً ایجاد یک پیچش بیشتر و قابل ملاحظه‌ای در شار کلی ماشین میشود.

حال اگر یک ماشین اشباع شده را در نظر بگیریم میدانیم که جمع هندسی شارها یا اندوکسیونها را نمیتوان در نظر گرفت بلکه فقط از قوای مانیتوموتوری میتوان استفاده نمود و با توجه به پیچش شارمقناطیسی شاخه‌های دخولی قطبها کم اشباع شده در صورتیکه شاخه‌های خروجی پر اشباع میشوند و در نتیجه بطور کلی نقصانی در شار القاء کننده بوجود میآید (دومین عامل افت تانسین) که در ساختمان روزنبرگ نمایان میشود.

II - مصالح بکار رفته برای آزمایش

برای این منظور آزمایشهایی روی سه ماشین با قدرت تقریباً معادل و با عمر کار مختلف انجام شده بنحویکه حرکت این سه ماشین بوسیله یک موتور سنکرون با سرعت کاملاً ثابت انجام میشود و تحریک مولدها بوسیله یک تقسیم کننده تانسین که با باتری اکومولاتور تغذیه میشود انجام و مدار تغذیه یا بازده هم از مقاومت متغیر تشکیل یافته است.

برای اینکه جریان بازده اسمی ماشین برای تحریک‌های کم و حتی صفر مطالعه شود در مدار اصلی بطور سری یک باتری قابل تقسیم با کلید مخصوص برای ۸ - ۱۲ - ۱۶ - ۲۴ و ۴۸ ولت قرار میدهیم و با این ترتیب میتوان منحنی $U(I)$ را بالاتر از نقطه کورسیر کوئی ترسیم نمود و بالاخره برای مطالعه توزیع اندوکسیون در طول آنترفور روی روتور ماشین بموازات محور یک سیم نازک قرار داده شده که یک طرف این سیم به محور ماشین لحیم و طرف دیگر آن به یک کمر بند عایق شده از سیم پیچی‌های ماشین اتصال داده شده است دو جاروی فلزی عمود بهم و با اتصال الکتریکی بیکدیگر روی این کمر بند قرار دارند بطوریکه با این طرز اتصال جاروها روی کمر بند هر گونه اختلاف مرکز اتفاقی بین ماشین و کمر بند بدون اثرات اتصال جاروها کاملاً برقرار میباشد.

یک جاروی سومی در انتهای محور و طرف کمر بند روی محور قرار داده شده و دقت شده است که سیمهای اتصالی هیچگونه پیچگی در مقابل میدان القاء کننده ایجاد نکنند.

بنا بر فرمول لاپلاس $E = BLV$ تغییرات قوه الکتروموتوری در سیم مزبور را با یک اسیلوسکوپ^(۱) مشاهده و منحنی توزیع پتانسیل مقناطیسی را در آنترفور برای طرز کارهای مختلف رسم میکنیم. با نصب یک قطعه مخصوص در سر محور ماشین میتوان وضع منحنی‌های مختلف را هر یک نسبت بدیگری تعیین نمود.

ضمناً باید تذکر داده شود که با قرار دادن سیم روی دندان القاء شونده مقدار اندوکسیون که بدست میآید قدری بالاتر از اندوکسیون متوسطی که در آنترفور موجود است خواهد بود و بعکس چنانچه سیم را روی شیار قرار دهیم اندوکسیون کمتری بدست خواهیم آورد زیرا چرخش القاء شونده باعث پیچش

1) Oscilloscope

و تغییر میدان القاء کننده در اثر وجود دندانه‌ها در آن تروفر میشود.

III - روش اندازه‌گیری

اُفت تانسینون عکس العمل القاء شونده $\varepsilon = f(I)$ با رابطه‌ی زیر داده شده است:

$$\varepsilon(I) = E - U - \Delta U_R$$

E قوه‌ی الکتروموتوری ماشین است که از روی منحنی بی‌بار با تغییرات تحریک بطور صعودی و نزولی برداشته شده U اختلاف سطح در دوسر ماسین بازاء جریان I و ΔU_R اُفت تانسینون مربوط به مقاومت روتوری از یک طرف و اُفت تانسینون اتصالی جاروها به تقسیم کننده از طرف دیگر بازاء جریان I میباشد.

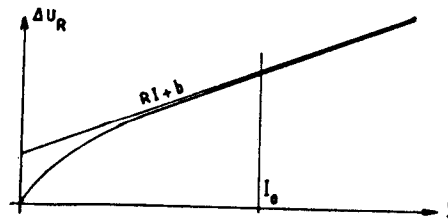
خطای وارده به کمیت $\varepsilon(I)$ که تعریف شده است به ترتیب حاصل جمع خطاهای E و U و ΔU_R میباشد. دو قسمت اول از خطاهای تعیین شده مربوطند به خطای همسان^(۱) از کلاس (۰.۵) دستگاههای اندازه‌گیری و همچنین خطای خواندن دستگاههای اندازه‌گیری (در حدود ۰.۵٪).

البته نسبت به ΔU_R هم خطاهای گفته شده را باید در نظر گرفت ولی اصولاً خطاهائی همسان و صرف نظر نکردنی وجود دارد که باید در نظر گرفته و با روشهای معینی که بکار برده میشود اندازه‌گیری گرفت. بهترین روش راه اندازی روتور است در محیطی بدون وجود مقناطیسی پس ماند یا بهتر بدون قطبهای القاء کننده، متأسفانه این روش را فقط میتوان در موقع ساختمان ماشین یا در موقع تحویل آن قبل از هرگونه آزمایش اولیه بکاربرد.

با این وصف آزمایشهای تقریبی بکار میبرند که یکی از آنها آزمایش استاتیکی روتور برای حالت‌های مختلف روتور ایستاده میباشد که خطای اتصال جاروها را روی تقسیم کننده که بستگی بسرعت چرخش تقسیم کننده دارد تعیین مینماید.

دومی که بیشتر نزدیک به حقیقت میباشد چرخاندن روتور ماشین است در دو جهت و با دست (ابتدا با سرعت کم در یک جهت و سپس در جهت دیگر) البته با این طریقه یک خطای اضافی بوجود می‌آوریم که مربوط به نشستن جاروها روی تقسیم کننده میباشد که در اثر چرخاندن در دو جهت بوجود می‌آید.

ظاهر منحنی $\Delta U_R(I)$ در (شکل ۳) نمایش داده شده و منحنی آن دارای مجانبی است بشکل $RI + b$



شکل ۳

اُفت تانسینون در مدار جاروها و تقسیم کننده و سیم پیچی القاء شونده

در اینجا R مقاومت قسمتهای فلزی مدار و b افت تانسیونی است جدا و مستقل از جریان I .
این منحنی ظاهراً بشکل یک منحنی ریاضی است.

$$\Delta U_R = RI + b(1 - e^{-\alpha I})$$

برای یک جهت چرخش معین دارای n جواب تجربه‌ای برای تعیین سه مجهول α و b و R می‌باشیم و روش کمترین مربعات^(۱) از همه بهتر برای تعیین آنها بنظر میرسد.

ولی این روش که بسادگی در حل معادلات خطی بکار میرود کمتر برای حل معادلات غیرجبری^(۲) که حل آنها مستلزم چند وسیله^(۳) محاسباتی است بکار برده میشود.

ولی میتوان با در نظر گرفتن مناطق کوچک منحنی در قسمتهای تقریباً خطی مخصوصاً قسمتهای با شدت جریان زیاد که منحنی بسوی مجانب میرود استفاده کرد و مخصوصاً در همین مناطق است که روشهای کمترین مربعات بما اجازه میدهد که ضرائب P و C مجانب را بدست بیاوریم.

$$v = PI + C$$

در این صورت باید مقدار جریان I_0 را بدست آورد بطوریکه از این مقدار به بالا منحنی $\Delta U_R(I)$ یک خط است (البته در حدود خطاهای اندازه گیری).

باضافه اختلاف بین مجانب $RI + b$ و خط $PI + C$ کمتر از خطاهای اندازه گیری خواهد بود (در اینجا ۱٪) و اختلاف بین کمیت‌های b و $b(1 - e^{-\alpha I_0})$ جز یک مقداری که بطور دلخواه انتخاب شده است نمیباشد (مثلاً $\frac{1}{1000}$) اکثر اوقات b در حدود ۳ ولت و α بزرگتر از ۱ ر. و در نتیجه I_0 در حدود ۸ آمپر میباشد. تمام مقادیر تجربه‌ای که بیشتر از I_0 باشد برای تعیین مجانب $RI + b$ انتخاب شده است و بعکس جوابهای مربوط به شدت جریان کمتر از I_0 باید در معادله ذیل صادق باشد.

$$e^{-\alpha I_0} = 1 - \frac{\Delta U_{Ri} - RI_i}{b}$$

که میتوان نوشت:

$$\alpha I_i = \log_e \frac{b}{b + RI_i - \Delta U_{Ri}} = K_i$$

محاسبه مقادیر K_i و استعمال روش کمترین مربعات در رابطه خطی $K_i = \alpha I_i$ آخرین مجهول را میدهد:

$$\alpha = \frac{\sum K_i I_i}{\sum I_i^2}$$

چنانچه در حالت یکی از ماشینهای مورد آزمایش افت تانسین ΔU_R را توانسته‌اند بشکل معادله

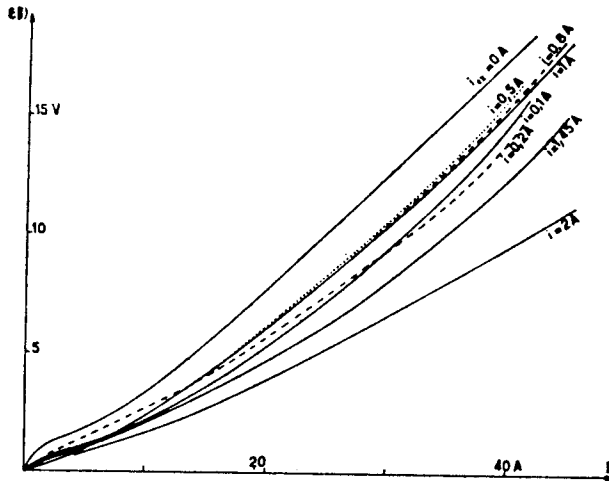
ذیل درآورند:

$$\Delta U_R = 0.0421 \times I + 2.81(1 - e^{0.174I})$$

1) Methode des moindres Carrés

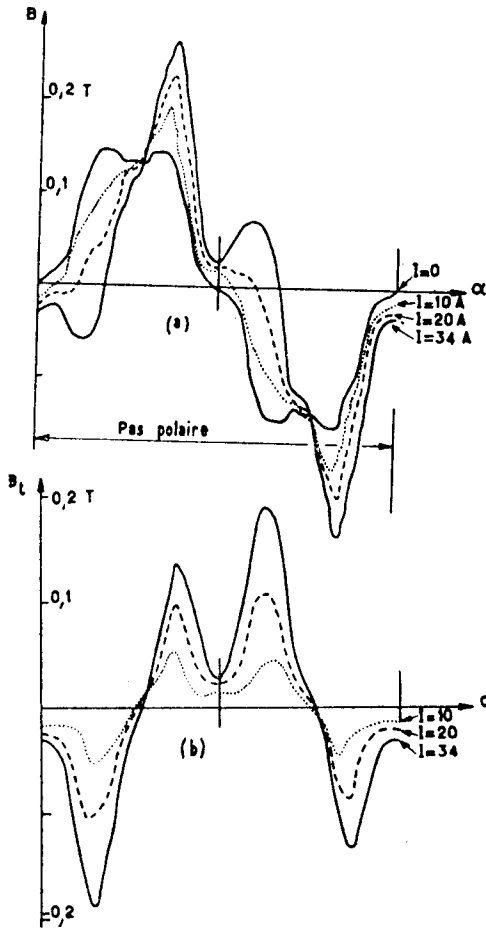
2) Transcendante

3) Artifice



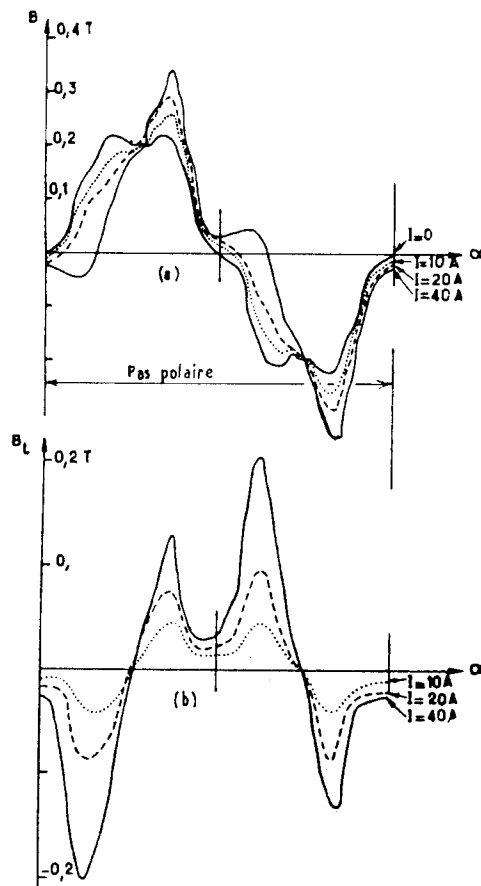
شکل ۴

منحنی های افت تانسینون مربوط به عکس العمل مقناطیسی القاء شونده



شکل ۵

منحنی های اندوکسیون کلی
 برای شدت جریان تحریک ۳/۰ آمپر
 a) اندوکسیون کلی
 b) اندوکسیون عرضی



شکل ۶

منحنی های اندوکسیون کلی
 برای شدت جریان تحریک ۴/۰ آمپر
 a) اندوکسیون کلی
 b) اندوکسیون عرضی

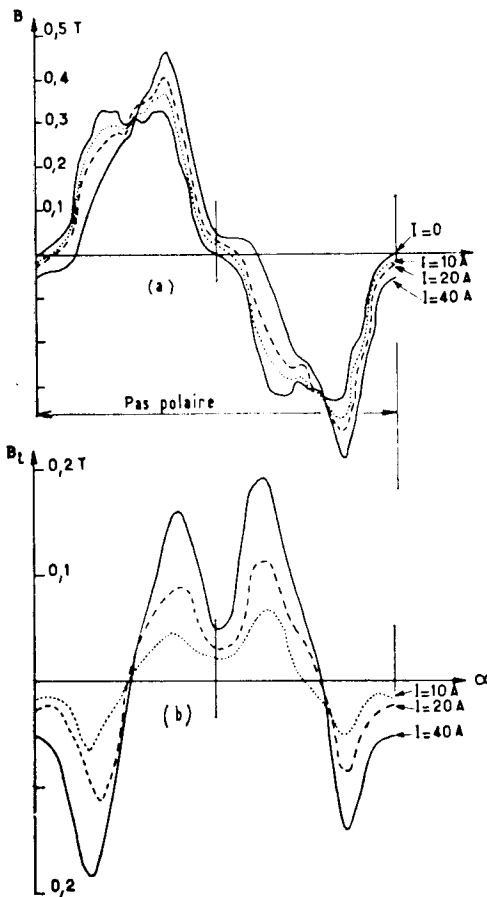
IV- نتایجی که از تجربه بدست آمده است

نتایجی که از آزمایشهای مختلف بدست آمده در مجموعه منحنی های ذیل نموده شده است (شکل های ۴ و ۵ و ۶ و ۷).

در شکل ۴ مشاهده میشود که افت تانسیمون مربوط به عکس العمل القاء شونده نه فقط برای شدت جریان تحریک مربوط به زانوی منحنی در حال اشباع یعنی (بین ۰/۸ تا ۱/۴ آمپر) بلکه برای شدت جریانهای ضعیفتر و حتی صفر هم حداکثر را دارد.

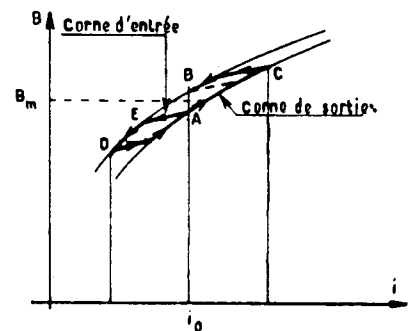
شکل های ۵a و ۶a و ۷a توزیع پتانسیل مغناطیسی در آنترفور برای بارهای مختلف و برای تحریکهای به ترتیب ۰.۳ ر. و ۰.۵ ر. و ۰.۸ ر. آمپر نشان میدهد.

همچنین منحنی های ۵b و ۶b و ۷b معرف تغییرات میدان عرضی و از تفاضل منحنی های بار دار و بی بار مربوطه بدست میآید.



شکل ۷

منحنی های تغییرات اندوکسیون برای شدت جریان تحریک ۰/۸ آمپر
 a- اندوکسیون کلی b- اندوکسیون عرضی



شکل ۸

تحول حالت مغناطیسی شاخه های قطبی یک ماشین الکتریکی

منحنی های اخیر باسانی نشان میدهند که وضع مقناطیسی شاخه های خروجی قطبها قسمت صعودی چرخه پس ماند را طی میکند.

در صورتیکه وضع مقناطیسی شاخه های ورودی در قسمت نزولی چرخه پس ماند قرار میگیرد و بهمین دلیل است که در آزمایشها نهایت دقت بعمل آمده که از پیدایش منبع اضافی خطا برای تعیین $\epsilon(I)$ اجتناب شود.

بهر حال چنانچه قسمتی از چرخه پس ماند مدار مقناطیسی مربوط به شار مقناطیسی القاء شونده را طبق (شکل ۸) در نظر بگیریم.

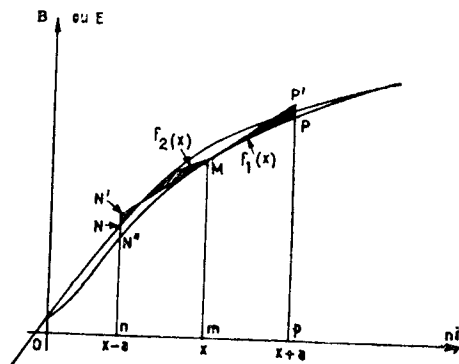
برای شدت جریان بار صعودی تحول و تغییرات شاخه های قطبی مطابق AC و AED میباشد و در موقع مراجعت با باری معادل صفر همین شاخه های قطبی دارای حالت مقناطیسی میباشند به ترتیب مانند A و B و از اینجا نتیجه میگیریم که اندوکسیون متوسط B_m بیشتر از آن مقداری است که قبل از هر باری داشته ایم و همچنین ممکن است بدون هیچ احتیاط مقداری منفی برای جریان بار کم بدست آوریم:

$$\epsilon(I) = E - U - \Delta U_R$$

آزمایشهای انجام یافته فقط برای بارهای صعودی میباشد و برای تغییرات تحریک دقت بعمل آورده شده که ابتدا تحریک ماشین را از بین برده و سپس تحریک را تا بمقدار مطلوب برسانیم و اطمینان حاصل خواهیم کرد که تحول و تغییرات شاخه های قطبی همیشه در قسمتهای پائین چرخه کاملاً متشابه و مقایسه منحنی های شکل ۸ تأیید میشود.

V- ساختمان روزنبرگ^(۱)

ساختمان کلاسیک روزنبرگ نشان میدهد که اُفت تانسینون عکس العمل القاء شونده بایستی مطلقاً برای یک ماشین اشباع نشده معادل صفر باشد ولی نتایجی که مطابق با گفته های فوق بدست آمده دور از این حقیقت است.



شکل ۹

منحنی ساختمان روزنبرگ اصلاح شده

1) Rosenberg

لذا ساختمان روزنبرگ را مجدداً عمل میکنیم البته این بار منحنی آهن ربا شدن اولیه را در نظر نگرفته بلکه چرخه پس ماند جزئی قسمتی از مدار مقناطیسی مشتمل بر « کفشک های قطبی - آتروفور - دندانها » را در نظر میگیریم .

با درجه اول تقریب این مشخصه جزئی معرف قسمت اعظم مشخصه کلی که در موقع آزمایش بی بار برداشته شده میباشد بطوریکه ممکن است ساختمان روزنبرگ را نیز با همین مشخصه آخر (شکل ۹) انجام داد .

در حالت بی بار وضع آهنربائی نقاطی که در زیر یک قطب قرار گرفته اند با نقطه M منحنی نمایش داده شده .

موقع دادن مقداری بار نقاط مربوطه به شاخه ورودی قطب تحت نفوذ قوای مانیتو موتوری $\Sigma ni - KI$ قرار گرفته و بین نقاط M و N مطابق منحنی $f_2(x)$ تغییر میکند و بعکس نقاط شاخه خروجی قطب روی یک منحنی $f_1(x)$ بین نقاط M و P در اثر عمل قوه مانیتو موتوری $\Sigma ni + KI$ تغییر میکند .
 در اینجا K ضریبی است عددی مربوط به تعداد حلقه های سیم القاء شونده - تناسب هندسی ماشین - تعداد قطبها و راههای سیم پیچی - کم شدن نسبی شار مقناطیسی مفید از نسبت سطح $nNMPp$ و ذوذتقه $nN'P'p$ بدست میآید .

در ساختمان کلاسیک روزنبرگ کمبود شار قابل ملاحظه ای مشاهده میشود زیرا مقدار آن به نسبت بین سطح $nN'MPp$ و سطح $nN'P'p$ بستگی دارد .
 فرض کنیم $x = \Sigma ni$ و $a = KI$ مقادیر سطوح با روابط زیر داده شده است :

$$nNMPp \text{ سطح} = \int_{x-a}^x f_2(x) dx + \int_x^{x+a} f_1(x) dx$$

و همچنین :

$$nN'P'p \text{ سطح} = 2af_1(x)$$

اگر ΔA تفاضل این دو باشد :

$$\Delta A = 2af_1(x) - \left(\int_{x-a}^x f_2(x) dx + \int_x^{x+a} f_1(x) dx \right)$$

رابطه فوق را نمیتوان محاسبه نمود زیرا تابعهای $f_1(x)$ و $f_2(x)$ مجهول هستند ولی بعکس تغییرات مشتق $\Delta'A$ نسبت به x که با رابطه ذیل داده شده :

$$\Delta'A = 2af'_1(x) + f_2(x-a) - f_1(x+a)$$

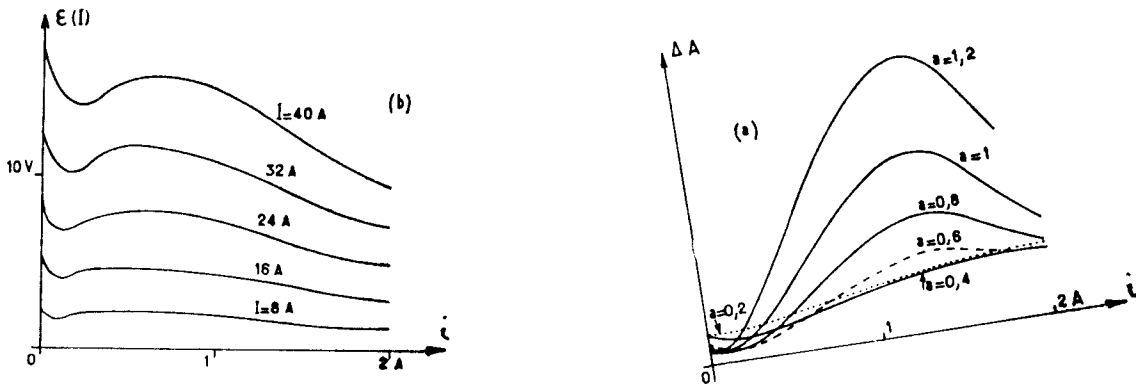
میتوان بازاء مقادیر مختلف a بنا به مشخصه بی بار تابلوی (۱) محاسبه نمود .

تابلوی شماره ۱

مقادیر ΔA نسبت به x و a

$x \backslash a$	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2
0	-10,5	-22,7	-33,9	-43,5	-47,8	-48,2
0,1	1,8	6,3	10,2	10,9	7,5	0,7
0,2	2,7	2,4	3,2	7,0	14,6	27,5
0,3	3,3	2,7	4,8	9,4	17,9	31,0
0,4	3,6	4,5	7,3	13,3	22,5	36,3
0,5	2,8	3,8	6,8	12,7	21,9	35,3
0,6	3,4	5,3	9,7	16,1	27,1	39,9
0,7	4,5	7,6	13,0	20,8	32,0	45,0
0,8	2,8	3,1	5,9	12,2	19,7	29,2
0,9	3,5	3,2	5,9	11,5	17,7	25,3
1,0	3,4	4,0	6,8	11,2	16,3	21,6
1,1	3,8	6,0	7,6	10,9	14,6	18,2
1,2	2,9	4,8	5,5	6,1	7,1	8,2
1,3	3,6	5,2	6,0	4,3	3,4	2,5
1,4	3,1	2,9	1,7	1,8	6,1	-10,2
1,5	2,0	0,4	3,0	8,0	-15,7	-23,0
1,6	1,5	0	4,4	-10,4	-19,2	-28,7
1,7	1,7	1,1	2,7	8,7	-16,3	-27,2
1,8	0,9	0,1	3,7	-10,5	-17,1	-30,2
1,9	0,9	0,2	2,3	8,0	-16,2	/
2,0	0,7	0,5	1,4	6,0	-13,6	/

ضمناً میدانهای مغناطیسی که القاء شونده‌های ماشینهای الکتریکی تولید میکنند در همان حدود میدانی است که القاء کننده‌ها تولید میکنند بنابراین مقادیر a بین ۰ و ۱٫۲ آمپر میباشد.



شکل ۱۰

منحنی‌های افت تانسینون عکس‌المعمل مغناطیسی القاء شونده

b- منحنی‌های عملی

a- منحنی‌های علمی

منحنی‌های ΔA را با روش ذوزنقه‌ای^(۱) انتگرال میگیریم و منحنی‌های $\Delta(x$ و $a)$ (شکل a ۱۰)

معرف کم شدن شار القاء کننده نسبت به جریان تحریک و جریان بار میباشند.

مقایسه این منحنی‌ها با منحنی‌هایی که با تجربه بدست آمده است مانند (شکل b ۱۰) یک اختلاف

کاملاً واضحی را در منطقه اشباع نشده ماشین (آمپر $i < 1$) نشان میدهد.

1) Methode des Trapezes

یک مطالعه عمقی در شکل وجود دو عمل جدید و مهم را نشان می‌دهد:

۱- ساختمان اصلاح شده روزنبرگ همساناً^(۱) یک مقدار نقصان شار مفید را بازاء هر مقدار جریان تحریک حتی جریان تحریک صفر نشان می‌دهد.

۲- در منطقه اشباع نشده منحنی‌های تجربه‌ای عکس‌العملی ظاهر می‌سازند که جز عکس‌العمل طولی چیز دیگری نیست و در مبحث ذیل مطالعه می‌کنیم.

VI- اثر عمل تعویض^(۲)

مسئله تعویض مدت‌ها بوسیله دانشمندانمانند^(۳) (۴) (۵) مورد مطالعه علمی و عملی قرار گرفته و منحنی‌های تعویض که بدست آورده‌اند متناسب با جریان بار ماشین بوده است.

همچنین وضع خط مولد سطح اتصالی جارو و تقسیم‌کننده برای لحظه‌ای که جریان در قطعه در حال تعویض به صفر میرسد مربوط به جریان بار ماشین می‌باشد.

خط مولد خطی است فرضی که جارو را بدو منطقه که جریانهای مساوی هم و مساوی به نصف جریان کل ماشین از آن عبور می‌کند تقسیم می‌کند و خط مزبور را محور الکتریکی جارو بینامند.

در اینجا مطالعه عملی تعویض با روشی غیر از آنچه قبلاً بوسیله دانشمندان گفته شد انجام گردیده. در این روش عملی بوسیله یک میلی ولت‌متر اختلاف سطح متوسط بین جاروها و نقاط مختلف تقسیم‌کننده را اندازه‌گیری بینمائیم ماشینی که برای این منظور در نظر گرفته شده یکی از این سه ماشین می‌باشد که دارای مزایای خاصی است.

اولاً وضع جاروها را روی تقسیم‌کننده می‌توان تغییر داد در ثانی عرض جاروهای این ماشین باندازه‌ای است که می‌توان بجای یکی از آنها جارویی قرار دهیم که از سه قسمت مساوی و عایق شده از هم و از محفظه حامل جارو تشکیل شده و عرض هر یک از این قطعات معادل عرض تیغه تقسیم‌کننده می‌باشد (شکل ۱۱). سیم اتصالی هر قطعه این جاروها بجای شنت گالوانومتر عمل نموده و بنا به تنظیم و درجه بندی^(۶) مقدار جریانی که از هر عنصر جارو عبور کند تعیین می‌شود اگر I_a جریانی باشد که از هر راه سیم پیچی القاء شونده عبور می‌کند جریان خروجی جارو عبارتست از:

$$2I_a = I_1 + I_2 + I_3$$

با استفاده از قوانین کیرشهوف در مدارها خواهیم داشت:

$$I_1 = I_a - i$$

$$I_2 = i - i'$$

$$I_3 = I_a + i'$$

1) Systematiquement

2) Commutation

3) A. Mauduit

4) E. Arnold

5) A. Langsdorf

6) Etalonnage

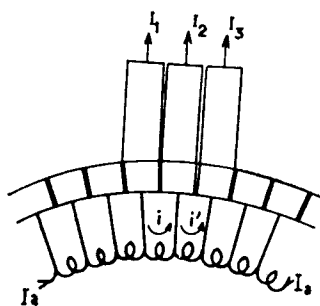
شناسائی جریانهای I_1 و I_2 و I_3 بما اجازه میدهد که جریان متوسط منطقه در حال تعویض القاء شونده را محاسبه نماییم:

$$i = I_a - I_1$$

$$i' = I_3 - I_a$$

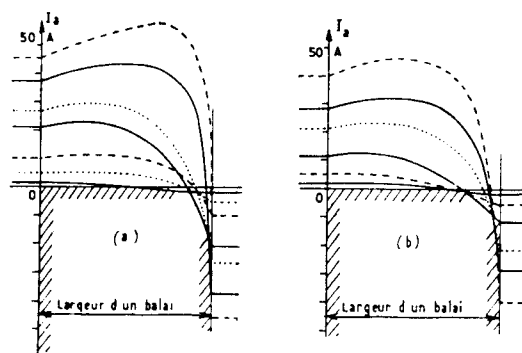
$$I_a^* = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{3}$$

آزمایشی که با تمام دقت در مرحله اول انجام شده در حالی بوده که محور جاروها با خط خنثی منطبق میشد البته بعداً خواهیم دید که شروط فوق بجهت ترتیبی عملی شده.



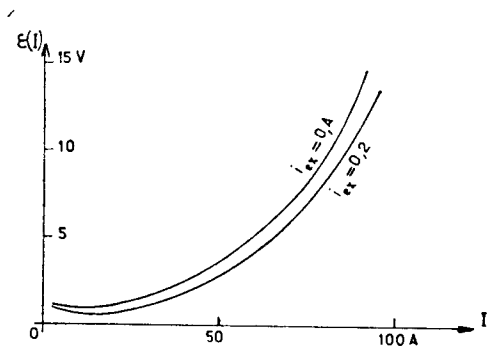
شکل ۱۱

وسیله برای مطالعه عمل تعویض



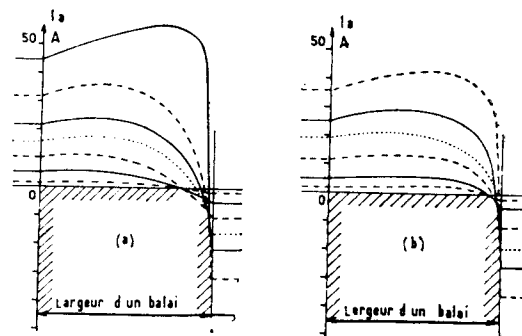
شکل ۱۲

منحنی‌های تعویض برای تحریک‌های مختلف در حالی که جاروها روی خط خنثی قرار گرفته
a- برای تحریک صفر b- برای تحریک ۰٫۲ آمپر



شکل ۱۳

منحنی‌های افت تانسینون عکس العمل مقناطیسی القاء شونده حالتی که جاروها روی خط خنثی قرار گرفته‌اند

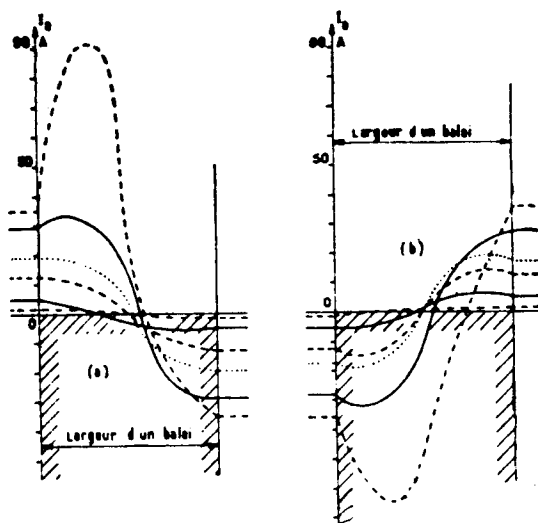


شکل ۱۴

منحنی‌های تعویض برای تحریک‌های مختلف با انحراف جاروها در جهت عکس چرخش ماشین
a- با تحریک صفر b- با تحریک ۰٫۲ آمپر

(شکل ۱۲) نشان میدهد که محور الکتریکی جاروها بتدریج که جریان بار زیاد میشود در جهت

چرخش القاء شونده تغییر مکان مییابد و با این عمل در مقابل یک انحراف حقیقی جاروها در جهت حرکت قرار گرفته ایم که خود باعث پیدایش شار طولی در جهت عکس شار القاء کننده میگردد و در نتیجه یک افت تانسینون اضافی تولید میشود که مقدار آن بطور نسبی هر قدر شار القاء کننده زیاد تر باشد ضعیفتر خواهد بود (شکل ۱۳) سپس جاروها را داوطلبانه در جهت عکس چرخش ماشین انحراف میدهیم اگر منحنی های تعویض (شکل ۱۴) تغییری نکرده اند افت تانسینون بطور ضعیفی کم میشود چنانچه انحراف حقیقی جاروها کم باشد. بالاخره بازاء هرباری جاروها را انحراف میدهیم تا اینکه تانسینون در دو ماشین جدا کتر برسد. منحنی های تعویض (شکل ۱۵) تغییرات فاحشی پیدا کرده و نشان میدهد که قسمت اعظم جرقه ها در تقسیم کننده و همچنین افت تانسینون مربوط به عکس العمل طولی تقریباً بطور کلی از بین رفته است (البته در حدود خطاهای تجربه) و فقط شار عرضی باعث تولید یک افت تانسینون غیر قابل اهمیتی میشود (شکل ۱۶).

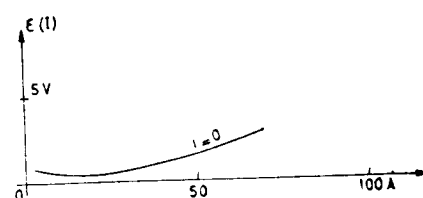


شکل ۱۵

منحنی های تعویض با تحریک صفر و با تغییرات انحراف جاروها به نسبت بار ماشین

a- بازاء یک جریان بار در جهت معمولی

b- بازاء جریانی در جهت عکس



شکل ۱۶

منحنی افت تانسینون عکس العمل مقناطیسی القاء شونده با انحراف معین جاروها بازاء هربار ماشین

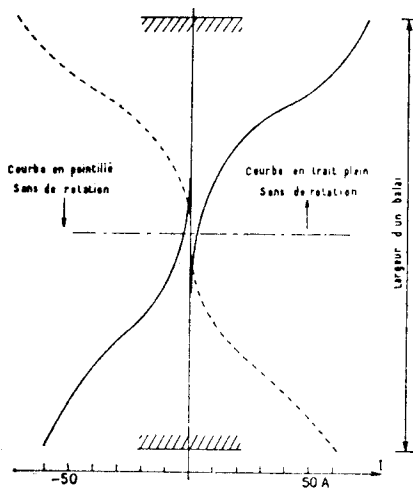
بالاخره در یک ماشین اشباع نشده که محورهندسی جاروها با خط خنثی منطبق باشد محور الکتریکی جاروها نسبت به خط خنثی در بارهای ضعیف پس افت دارد و بعکس در بارهای قوی پیش افت خواهد داشت.

VII- روش ورن^(۱) و ارزش آن

با توجه به گفته های قبل هم اکنون میتوانیم تا اندازه ای درباره نتایج گرفته شده توضیح دهیم. قسمت اول مربوط است به تحقیقات ورن حالتی که جاروها روی خط خنثی قرار دارند. برای یادآوری بطور اختصار اصول این روش تکرار میشود.

۱) Verin

در این روش ماشین را بدون تحریک بوسیله کلید مخصوصی کورسیر کوئی می‌کنیم و جریان کورسیر کوئی که از شارمقناطیسی پس ماند ماشین درست شده تولید یک شارطولی مینماید در صورتیکه جاروها روی خط خنثی نباشد.



شکل ۱۷

برقراری جاروها به نسبت جریان بار و جهت چرخش

با باز کردن کلید کورسیر کوئی تغییرات این شار تولید یک قوه الکترودموتوری القائی متقابل درسیم پیچی‌های القاء کننده مینماید که بوسیله یک ولت متر قابل متحرک مشاهده میشود و کافی است محل جاروها را بنحوی جستجو کنیم بطوریکه ولت متر مزبور انحرافی نشان ندهد. لذا ساختمان اصلاح شده روزنبرگ نشان میدهد که یک افت شارمقناطیسی مفید و عملاً ثابت وجود دارد که به بار ماشین ارتباط ندارد البته در حالت ماشینهای تحریک نشده که با مقناطیس پس ماند عمل میکنند و در این صورت روش ورن یک انحراف بطرف عقب جاروها را بطور همسان ایجاد میکند.

از طرف دیگر با استفاده از روش ورن برای شدت جریانهای مختلف با کمک یک باتری آکومولاتور که بطور سری یا موازی در مدار القاء شونده نصب شده انحراف حقیقی مربوط به عمل تعویض را دخالت داده ایم و قرار دادن جاروها در محل خود بوسیله یک قطعه مدرج که روی محفظه حامل جارو قرار داده شده انجام میشود.

(شکل ۱۷) نتایج تجربی مربوط به انحراف جاروها را نسبت به عواملی مانند (شدت جریان-جهت جریان در القاء شونده - جهت چرخش ماشین) بطور خلاصه نشان میدهد ضمناً در اینجا یادآور میشویم که بالاتر از مقدار نیمه شارژ تجربه غیرعملی بنظر میرسد زیرا در حقیقت زمان بستن مدار جریان دورانی بتدریج به نسبت ضریب زمان مدار برقرار میشود (شکل ۱۸).

در زمان t_1 جریان بازده ماشین خیلی ضعیف و محور الکتریکی جاروها نسبت به خط خنثی پس افت دارد و در این لحظه یک شارمقناطیسی طولی هم جهت شار القاء کننده خواهیم داشت و بتدریج که جریان زیاد میشود تا بمقدار معمولی خود برسد شار طولی کم شده و بعداً معکوس میشود و باز نمودن مدار ماشین به از زیاد شار القاء کننده منجر میگردد و در دو حالت بستن یا باز نمودن مدار قوه الکترودموتوری القائی درسیم پیچی‌های قطبها همان علامت تقطب خود را حفظ میکند.

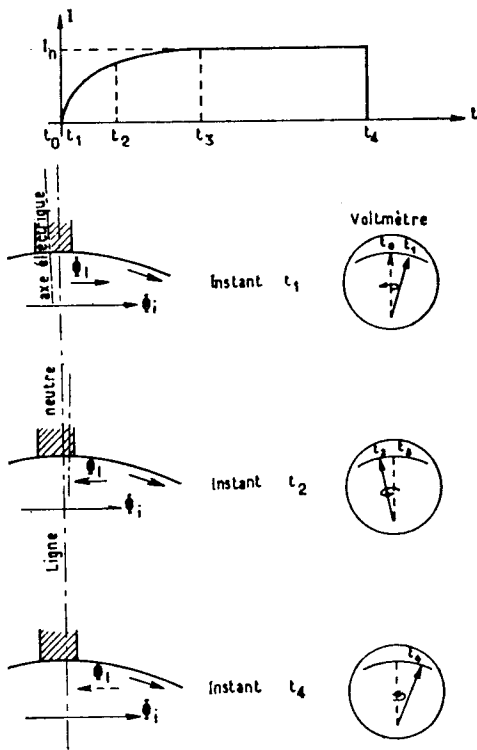
با بررسی منحنی‌های (شکل ۱۷) یک عدم امتداد دائم در منحنی‌های با خط پرمشاهده میشود و این امر در اثر جای نگرفتن درست جاروها روی تقسیم کننده برای این جهت چرخش میباشد. در خاتمه باید دانست که روش‌های ورن دور از دقت میباشد زیرا محور الکتریکی جاروها را روی

خط خنثی برای یک مقدار جریان بازده و یک جهت معین قرار میدهد.

برای تعیین محور هندسی جاروها روی خط خنثی دو اندازه گیری لازم است.

برای یک جهت چرخش روش مزبور را با شدت جریان

تعیین شده در دو جهت مختلف جریان بکار میبریم و محل جاروها را با تعیین مقدار متوسط انحراف جاروها در دو حالت بدست میآوریم.



شکل ۱۸

تصاویری که انحرافات مختلف ولت متر را در روش ورن برای بارهای زیاد وقوی نشان میدهد

VIII - تجزیه عوامل مختلف افت تانسین

اطلاعات کلاسیک گفته شده ما را به سه علت افت

تانسیون در القاء شونده ماشین جریان دائم هدایت میکنند.

برای یاد آوری ΔU_R افت تانسین بر اثر وجود

مقاومت مدار جارو و تقسیم کننده و سیم پیچی های القاء شونده که برای بدست آوردن آن قبلاً توضیحات لازم داده شده است.

معمولاً برای جدا نمودن ϵ_t و ϵ_l باسانی با داشتن

افت تانسین مربوط بعکس العمل های کلی القاء شونده

در دو جهت حرکت بدست میآید فرض کنیم $\epsilon(I)$ و $\epsilon'(I)$

منحنی های افت تانسین باشند البته میدانیم که عکس

العمل عرضی مستقل از جهت چرخش ماشین و ربطی بآن

ندارد بلکه فقط عکس العمل طولی است که مربوط به جهت

چرخش میباشد در نتیجه خواهیم داشت:

$$\epsilon_t = \frac{\epsilon(I) + \epsilon'(I)}{2}$$

$$\epsilon_l = \frac{\epsilon(I) - \epsilon'(I)}{2}$$

بنابراین با توجه به مطالبی که تا کنون مطرح شده چنین بنظر میرسد که در مقابل سه نوع افت تانسین مربوط بعکس العمل القاء شونده قرار گرفته ایم:

$$\epsilon(I) = b_1 + b_2 + b_3$$

در اینجا b_1 معرف عکس العمل عرضی است که اصولاً مثبت است.

b_2 عکس العمل مستقیم که مربوط است به انحراف جاروها و آنهم بستگی به جهت چرخش و جهت

جریان وقتی ماشین بطور مولد یا موتور کار کند خواهد داشت (البته برای یک جهت معین چرخش).

b_3 عکس العمل مستقیم در اثر انحراف فرضی جاروها که ناشی از عمل تعویض میباشد و علامت آن

در طرز کار مولد یا موتور عوض میشود بنابراین مشاهده میکنیم که عوامل مختلف را مطابق آنچه قبلاً گفته ایم نمیتوان از یکدیگر جدا ساخت زیرا در یک جهت چرخش داریم:

$$\varepsilon(I) = b_1 + b_2 + b_3$$

و در جهت دیگر:

$$\varepsilon'(I) = b_1 - b_2 + b_3'$$

از طرفی برای یک جهت چرخش و سرعت دورانی ماشین کار بطور مولد و موتور روابط زیر را میتوان نوشت:

$$e - u_g = \Delta U_R + b_1 + b_2 + b_3$$

$$u_m - e = \Delta U_R - b_1 + b_2 + b_3$$

مجزا نمودن b_2 و b_3 بنابراین امکان پذیر نخواهد بود فقط میتوانیم b_1 و مقدار کمیت $b_2 + b_3$ را بشناسیم.

نتیجه

عمل تعویض ماشینهای جریان دائم گذشته از منشاء و نتایج آن که مدتها است شناخته شده انحراف فرضی جاروها را که نسبت به جریان بار ماشین تغییر میکند بمیان آورده است و نتیجه میشود که روش ورن معمول شده برای قراردادن جاروها روی خط خنثی قانع کننده بنظر نمیرسد.

قراردادن جاروها بطور متغیر و متناسب با بار ماشین هم نمیتواند از نصف عرض جارو در طرفین خط خنثی تجاوز کند.

از طرفی انحراف فرضی جاروها یک افت تانسینون اضافی بوجود میآورد و شار طولی مربوطه از لحاظ مقدار نسبی هر قدر ماشین از اشباع دورتر باشد اهمیت آن بیشتر است برخلاف نتایجی که در ساختمان روزنبرگ بدست آمده مقدار آن حداکثر است وقتی ماشین اشباع نشده است.

البته ساختمان گفته شده آنقدرها غلط نیست ولی مقدار ناچیزی از پدیدههای حقیقی را در این امر دخالت میدهد و از طرفی این انحراف فرضی هم مانع مجزا نمودن علل افت تانسینون از راه کلاسیک میشود. با طرز کار بطور مولد و سپس بطور موتور برای یک جهت چرخش معین فقط عکس العمل عرضی را میتوان تعیین نمود و دو عکس العمل طولی را نمیتوان از هم مجزا ساخت.

بالاخره برخلاف آنچه تا کنون تصور میشد فقط ماشینهای خیلی اشباع شده^(۱) حداقل افت تانسینون عکس العمل مقناطیسی را خواهند داشت.

پایان

اقتباس از نشریه هیئت مهندسين برق فرانسه

ژوئیه ۱۹۶۶