

انشعاب توان از سیم گارد خط انتقال هوایی برای تغذیه سایت مخابراتی

حمید رادمنش^۱، استادیار، ابوالفضل کرمی زرنندی^۲، کارشناسی ارشد میثم بیات^۳، استادیار

۱- دانشکده مهندسی برق - دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری - تهران - ایران - hamid.radmanesh@aut.ac.ir

۲- معاونت برنامه ریزی و مهندسی- شرکت توزیع نیروی برق زنجان، زنجان- ایران a.karamizarandi@gmail.com

۳- دانشکده مهندسی برق - دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری - تهران - ایران - meysam.bayat302@gmail.com

چکیده- زمانی که یک سایت مخابراتی در یک منطقه دوردست و در نزدیکی یک خط انتقال هوایی احداث شده باشد، می توان برق موردنیاز سایت مخابراتی را از ولتاژ القا شده بر روی سیم گارد تأمین کرد. در بسیاری از شرایط، امکان احداث شبکه توزیع در یک محل وجود نداشته و یا ساخت یک پست توزیع جدید برای مصارف کم مقرون به صرفه نیست. در این مقاله فرض بر این است که یک سایت مخابراتی با توان مصرفی کم در مسیر یک خط انتقال هوایی 400kV وجود دارد. در این صورت می توان یکی از سیم های گارد را به طول مشخصی از بدنه دکل (زمین) جدا کرده و با القای الکترومغناطیسی ناشی از هادی های فاز روی سیم گارد، می توان از این ولتاژ برای تأمین توان سایت مخابراتی استفاده کرد. ولتاژ موردنیاز سایت های مخابراتی باید ثابت بوده و نسبت به شرایط مختلف مانند خطاها و کلید زنی حساسیت کمی داشته باشند. لذا باید یک تنظیم کننده ولتاژ مناسب برای تنظیم ولتاژ استفاده شود. در این مقاله از یک تنظیم کننده به نام IVACE (سلف خود متغیر) استفاده شده است. شبیه سازی ها برای دو حالت با تنظیم کننده و بدون تنظیم کننده و در شرایط کم باری و پرباری سایت مخابراتی انجام شده است. با توجه به نتایج شبیه سازی ها، با افزایش طول سیم گارد جدا شده از زمین، میزان ولتاژ القاء شده بر روی آن نیز افزایش می یابد. همچنین تأثیر خطاها و کلید زنی بر روی ولتاژ تحویلی به سایت مخابراتی در صورت استفاده از تنظیم کننده به مقدار قابل توجهی کاهش یافته است. برای شبیه سازی از نرم افزار EMTP-RV که حالت گذرا را با دقت بالایی شبیه سازی می کند، استفاده شده است.

واژه های کلیدی: خط انتقال هوایی، القای ولتاژ، سیم گارد، سایت مخابراتی، تنظیم کننده IVACE.

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۵/۰۷/۲۴

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۶/۰۷/۰۵

نام نویسنده ی مسئول : دکتر حمید رادمنش

نشانی نویسنده ی مسئول : دانشکده مهندسی برق - دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری

۱- مقدمه

گارد مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین در سمت ولتاژ القاء شده شبکه شرایط مختلفی مانند خطا و کلید زنی ایجاد کرده و تأثیر تنظیم کننده در کاهش زمان گذرا و پایداری ولتاژ ارزیابی شده است. نتایج برای دو حالت با تنظیم کننده و بدون تنظیم کننده در نرم افزار EMTP-RV^۱ شبیه سازی شده است.

۲- نمای کلی سیستم

گاهی اوقات یک خط انتقال فشارقوی از مکانی دوردست عبور کرده که در آن محل تجهیزاتی با توان مصرفی کم وجود دارند. در این شرایط می توان توان مورد نیاز تجهیزات را از القای الکترومغناطیسی که بر روی سیم گارد می شود، تأمین کرد. امواج الکترومغناطیسی اطراف خط انتقال حامل انرژی می باشند. با عبور امواج الکترومغناطیسی از روی سیم گارد ولتاژی بر روی آن القاء می شود. با برقرار شدن رابطه (۱) می توان از سیم گارد توان به دست آورد.

$$p = \frac{\partial u}{\partial t} > 0 \quad (1)$$

که در آن u انرژی موجود در میدان الکترومغناطیسی است.

می توان هادی های خط انتقال هوایی را با استوانه ای به شعاع r_0 ، طول L ، حامل جریان I و دارای ولتاژ V مدل کرد. با اعمال قوانین MAXWELL چگالی توان میدان مغناطیسی و الکتریکی به ترتیب از روابط (۲) و (۳) برای فاصله به شعاع r از هادی فاز به دست می آید [۲۴].

$$p_m = \frac{\partial u_m}{\partial t} = \frac{\mu L}{2\pi} \left(\ln \frac{r}{r_0} \right) \cdot \left| \frac{dI}{dt} \right| \quad (2)$$

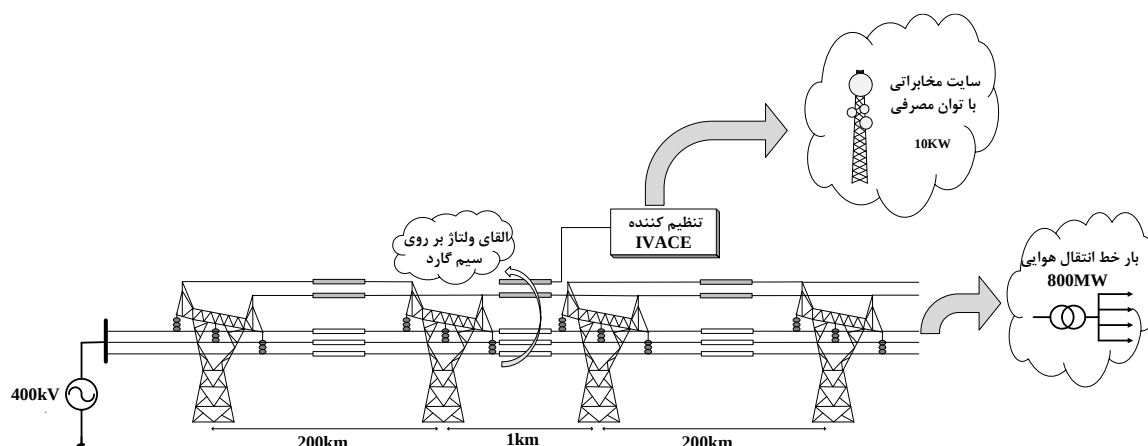
$$p_e = \frac{\partial u_e}{\partial t} = \frac{\pi \epsilon_0^3 L V}{2 \ln \frac{r}{r_0}} \cdot \left| \frac{dV}{dt} \right| \quad (3)$$

توان مورد نیاز را می توان توسط رابطه (۲) و (۳) و با در نظر گرفتن رابطه (۱) به دست آورد.

با توجه به شکل ۱، یک خط انتقال 400kV وجود دارد که وظیفه انتقال توان 800MW را بر عهده دارد. طول خط انتقال 401km بوده که به صورت سه قسمت 200km، 1km و 200km نشان داده شده است. در طول مسیر خط انتقال و به فاصله 200km از آن، تجهیزات یک سایت مخابراتی وجود دارند که نیاز به توان مصرفی 10KW دارند. برای تغذیه سایت مخابراتی یکی از سیم های گارد به طول 1km از بدنه دکل (زمین) جدا شده و بر روی سیم گارد ولتاژ القاء می شود. ولتاژ القا شده را به تنظیم کننده IVACE داده و از ولتاژ خروجی برای تغذیه سایت مخابراتی استفاده کنیم.

در اواخر سال ۱۹۸۰ میلادی موسسه تحقیقاتی هیدرو کبک^۱ برای تأمین توان مورد نیاز ایستگاه های مخابراتی خود از سیستمی به نام سیستم کوپلینگ خازنی (سیستم منبع تغذیه با استفاده سیم گارد خط هوایی) استفاده می کرد [۱-۲]. در آن زمان گزینه های مختلفی برای تأمین برق ایستگاه های مخابراتی پیشنهاد شد. استفاده از دیزل ژنراتور، ترانسفورماتور ولتاژ خازنی^۲ [۳-۵] و منابع تولید پراکنده مانند انرژی خورشیدی [۶-۷] از روش های پیشنهادی برای تأمین توان سایت های مخابراتی بود. در کشورهایی مانند نیوزلند، استرالیا و تونس روش مسیر برگشت زمین یا انتقال توان توسط یک فاز^۳ (SWER) برای تأمین توان مناطق دوردست مورد استفاده قرار می گیرد [۸-۹]. در میان روش های پیشنهاد شده و با در نظر گرفتن مسائل فنی و اقتصادی، روش انتقال توان با استفاده از ولتاژ القا شده بر روی سیم گارد، مورد استفاده قرار گرفت [۲]. اصول و قواعد مربوط به انتقال توان توسط ظرفیت خازنی بین هادی های فاز و سیم گارد در مراجع [۱۱-۱۰] آمده است. در مرجع [۱۲] بررسی تئوری مربوط به خط انتقال با یک سیم گارد آمده است. برای اینکه تأثیر خطاها و کلید زنی بر روی ولتاژ القایی سیم گارد کم شده و ولتاژ تحویلی به سایت مخابراتی از کیفیت مناسبی برخوردار باشد، از یک تنظیم کننده به نام IVACE استفاده شده است [۱۳]. همچنین می توان برای تنظیم ولتاژ و بهبود پایداری گذرا، از تنظیم کننده های ولتاژ مانند DVR [۲۰-۱۹]، SVC [۲۱-۲۲]، DSTATCOM [۲۳] و تنظیم کننده های چند سطحی MCR [۱۴-۱۶] که عملکردی مشابه تنظیم کننده IVACE دارند، استفاده کرد. اما به دلایلی مانند ساختمان ساده تنظیم کننده IVACE از این تنظیم کننده استفاده شده است. این تنظیم کننده برای اولین بار توسط شرکت هیدرو کبک اختراع شده است [۱۷]. در ابتدا این تنظیم کننده برای جبران توان راکتیو در سیستم انتقال مورد استفاده قرار می گرفت، که در سال های بعد در کاربردهایی مانند سیستم تغذیه سیم گارد مورد استفاده قرار گرفته است [۱۸]. در مرجع [۱۳] اغلب تئوری مربوط به تنظیم کننده و نحوه به دست آوردن پارامترهای آن بررسی شده است.

در این مقاله برای تأمین توان مصرفی یک سایت مخابراتی، یکی از سیم های گارد خط هوایی 400kV از بدنه دکل (زمین) جدا شده است. با توجه به ولتاژی که بر روی سیم گارد ناشی از هادی های فاز القا می شود، می توان از این ولتاژ برای تغذیه سایت مخابراتی استفاده کرد. بهتر است از این روش در مناطقی استفاده شود که احتمال بروز صاعقه در آن محل کم باشد. به منظور کاهش حساسیت ولتاژ القایی به شرایطی مانند خطاها و کلید زنی، از تنظیم کننده IVACE استفاده شده است. در ادامه میزان ولتاژ القا شده بر روی طول های مختلف سیم



شکل ۱: طرح کلی شبکه

۳- تئوری القای ولتاژ بر روی سیم گارد

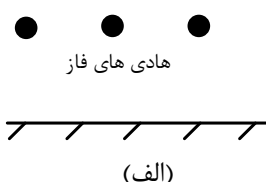
در این بخش ابتدا تئوری القای ولتاژ بر روی خط انتقال با یک سیم گارد را مورد بررسی قرار گرفته است. سپس با تعمیم آن به خط هوایی با دو سیم گارد، بارگیری از هر دو سیم گارد تجزیه و تحلیل شده است. در ادامه این بخش حالت خط انتقال هوایی با دو سیم گارد که از یکی از سیم‌های گارد بارگیری به عمل می‌آید بررسی شده است.

۳-۱- خط هوایی با یک سیم گارد

شکل ۲-الف ساختار خط هوایی با یک سیم گارد را نشان می‌دهد. برای بررسی مدار معادل انشعاب توان از سیم گارد می‌توان از شکل ۲-ب استفاده کرد. بلوک شبکه شامل منابع ولتاژ و ظرفیت‌های خازنی بین هادی‌های فاز، سیم گارد و زمین است. ترمینال ۱ نشان دهنده مکان سیم گارد است. Z_L بار متصل به سیم گارد و زمین است. با اعمال قضیه تونن، مدار معادل خط هوایی با یک سیم گارد به صورت شکل ۲-پ به دست می‌آید. که در آن U_0 ولتاژ مدارباز دو سر سیم گارد با زمین بوده و Z_{11} امپدانس دو سر ترمینال ۱-۰ با منابع ولتاژ موجود در شبکه است. به عبارت دیگر U_0 ولتاژ القایی بر روی سیم گارد است. در رابطه $Z_{11}=1/\omega CS$ ، C ظرفیت خازنی بین سیم گارد با هادی‌های فاز زمین شده است. رابطه ولتاژ-جریان شکل ۲-پ از رابطه ۴ به دست می‌آید [۲].

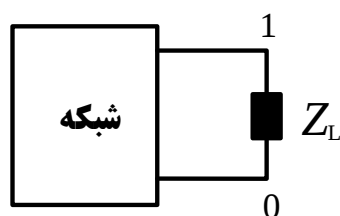
$$U_0 - V_1 = I_1 Z_{11} \quad (4)$$

سیم گارد ○

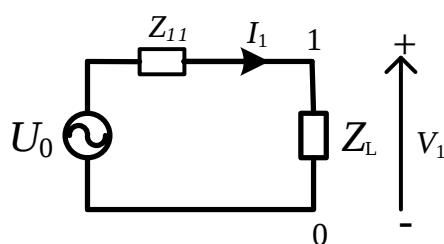


هادی های فاز

(الف)



(ب)



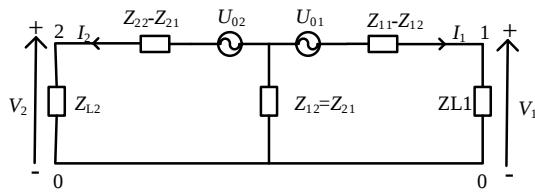
(پ)

شکل ۲: الف) ساختار خط هوایی با یک سیم گارد ب و پ) مدار معادل خط هوایی با یک سیم گارد

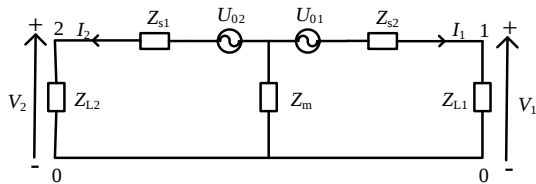
مطالب گفته شده در بالا را می‌توان برای خط هوایی با دو سیم گارد، که هر دو سیم گارد از بدنه دکل باشند، تعمیم داد.

$$Z_{11} - Z_{12} = Z_{S1} \rightarrow Z_{11} = Z_{S1} + Z_m \quad (9)$$

$$Z_{22} - Z_{21} = Z_{S2} \rightarrow Z_{22} = Z_{S2} + Z_m \quad (10)$$

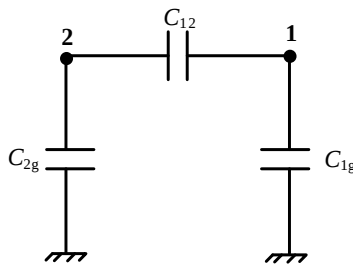


شکل ۴: مدار معادل خط هوایی با دو سیم گارد



شکل ۵: مدار معادل اصلاح شده خط هوایی با دو سیم گارد

برای خط هوایی مطابق شکل ۳-الف می توان مدار شکل ۶ که در آن تمام منابع ولتاژ اتصال کوتاه شده است، ترسیم کرد.



شکل ۶: مدار معادل خط هوایی با دو سیم گارد که منابع ولتاژ اتصال کوتاه شده باشد.

با استفاده از شکل ۶ می توان پارامترهای مدار معادل اصلاح شده خط هوایی با دو سیم گارد (Z_{S1} و Z_{S2} و Z_m) را به دست آورد. با توجه به شکل C_{1g} و C_{2g} ظرفیت خازنی سیم های گارد با هادی های فاز زمین شده و C_{12} اندوکتانس متقابل بین سیم های گارد است. با توجه به تقارن موجود در خط هوایی می توان نوشت، $C_{1g} = C_{2g}$. مقادیر Z_{11} ، Z_{12} ، Z_{22} و Z_{21} از روابط ۱۱ و ۱۲ به دست می آید.

$$Z_{11} = Z_{22} = \frac{1}{\omega C_{1g}} \times \frac{C_{1g} + C_{12}}{2C_{12} + C_{1g}} \quad (11)$$

$$Z_{12} = Z_{21} = \frac{1}{\omega C_{1g}} \times \frac{C_{12}}{2C_{12} + C_{1g}} \quad (12)$$

با در نظر گرفتن روابط ۸ تا ۱۰ مقادیر Z_{S1} ، Z_{S2} و Z_m به صورت زیر محاسبه می شود:

$$Z_{S1} = Z_{S2} = \frac{1}{\omega C_{1g}} \times \frac{C_{1g} + C_{12}}{2C_{12} + C_{1g}} \quad (13)$$

$$Z_m = \frac{1}{\omega(2C_{12} + C_{1g})} \quad (14)$$

۳-۲- خط هوایی با دو سیم گارد جدا شده از بدنه

دکل

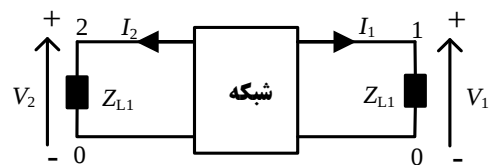
ساختار خط هوایی با دو سیم گارد مطابق شکل ۳-الف است. با اعمال قضیه تونن، مدار معادل شکل ۳-ب برای خط هوایی با دو سیم گارد به دست می آید. با توجه به شکل، ترمینال های ۱ و ۲ به ترتیب مکان سیم های گارد ۱ و ۲ است [۲].

سیم های گارد

هادی های فاز



(الف)



(ب)

شکل ۳: ساختار خط هوایی با دو سیم گارد (ب) مدار معادل خط هوایی با دو سیم گارد

با مقایسه شکل ۲-الف و رابطه ۴ با مدار معادل شکل ۳-ب، روابط ۵ و ۶ برای شکل ۳-ب قابل نوشتن است:

$$U_{01} - V_1 = I_1 Z_{11} + I_2 Z_{12} \quad (5)$$

$$U_{02} - V_2 = I_2 Z_{22} + I_1 Z_{21} \quad (6)$$

در روابط ۵ و ۶، U_{01} و U_{02} ، به ترتیب ولتاژهای مدار باز دو سر ترمینال های ۱-۰ و ۲-۰ است. Z_{11} و Z_{22} به ترتیب امپدانس های دیده شده از ترمینال های ۱-۰ و ۲-۰ و Z_{12} و Z_{21} امپدانس های انتقالی متناظر می باشند. می توان امپدانس های Z_{11} ، Z_{12} ، Z_{22} و Z_{21} را از رابطه ۷ به دست آورد.

$$Z_{11} = \frac{V_1}{I_1}, \quad Z_{22} = \frac{V_2}{I_2}, \quad Z_{12} = \frac{V_1}{I_2}, \quad Z_{21} = \frac{V_2}{I_1} \quad (7)$$

با توجه به روابط ۵ و ۶، مدار معادل شکل ۴ قابل استخراج است. با قرار دادن روابط ۸ تا ۱۰ در مدار معادل شکل ۴، مدار معادل اصلاح شده خط هوایی با دو سیم گارد به صورت شکل ۵ قابل ترسیم است.

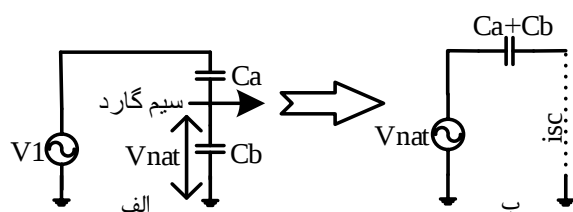
$$Z_{12} = Z_{21} = Z_m \quad (8)$$

سمت سیم گارد خط هوایی است، به طوری که V_{nat} ، ولتاژ طبیعی^۹ که بر روی سیم گارد خط هوایی القاء می شود، است و از رابطه ۱۹ به دست می آید.

$$V_{nat} = V_1 \frac{C_a}{C_a + C_b} \quad (۱۹)$$

V_{nat} به صورت سری با خازن های موازی C_a و C_b قرار می گیرد. اگر سیم گارد به زمین متصل شود، جریانی که از سیم گارد جاری می شود برابر جریان اتصال کوتاه است. جریان اتصال کوتاه از رابطه ۲۰ به دست می آید.

$$I_{sc} = \frac{V_1}{\left(\frac{1}{\omega C_a}\right)} = \frac{V_{nat}}{\frac{1}{\omega(C_a + C_b)}} = \omega V_{nat}(C_a + C_b) \quad (۲۰)$$



شکل ۹: الف) مدار معادل تونن از طرف هادی های فاز خط هوایی ب) مدار معادل تونن از طرف سیم گارد خط هوایی

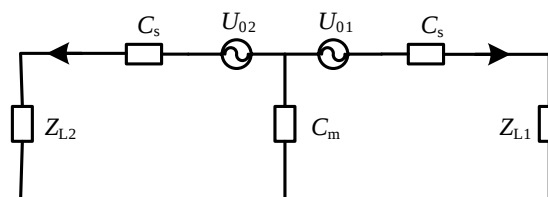
۴- تنظیم کننده IVACE

به منظور جبران افت ولتاژ ناشی از امپدانس خازنی سیم گارد خط هوایی، تنظیم کننده مورد استفاده باید توان راکتیو (جریان خازنی) را با در نظر گرفتن جریان بار جذب کند. ایده آل این است که مشخصه $V-I$ ولتاژ تنظیم کننده و $I=$ جریان راکتیو عبوری از تنظیم کننده به صورت مسطح باشد به طوری که جریان بار تأثیری بر ولتاژ تنظیم شده نداشته باشد. تنظیم کننده مورد استفاده در این مقاله یک تنظیم کننده ولتاژ مغناطیسی است که در شکل ۱۰ نشان داده شده است. تنظیم کننده مورد نظر در ساده ترین حالت شامل دو ترانسفورماتور است که سیم پیچ های اولیه و ثانویه به صورت سری بسته شده و یکی از چهار سیم پیچ با پلاریته معکوس متصل می شود. به منظور کاهش پهنای هیستریزس و شار پسماند هسته ترانسفورماتور، مطابق شکل ۱۰ در هسته فاصله هوایی ایجاد می شود [۱۳]. تعداد دور سیم پیچ های ثانویه N برابر تعداد دور سیم پیچ های اولیه بوده که معمولاً کمی بیشتر از یک است. شکل ۱۱ منحنی مغناطیس کنندگی هسته ترانسفورماتور را نشان می دهد [۱۳]. مطابق شکل منحنی مغناطیس کنندگی در هر دو بخش، به صورت خطی مدل شده است. اندوکتانس L_1 مربوط به شیب قسمت غیر اشباع و L_2 شیب قسمت اشباع هسته است.

امپدانس های مدار معادل شکل ۵ از نوع کاپاسیتانس می باشند. با در نظر گرفتن روابط ۱۵ و ۱۶ و با جایگذاری امپدانس های مدار معادل با ظرفیت های خازنی متناظر، مدار معادل ساده خط هوایی با دو سیم گارد مطابق شکل ۷ به دست می آید.

$$Z_{S1} = Z_{S2} = \frac{1}{\omega C_S} \quad (۱۵)$$

$$Z_m = \frac{1}{\omega C_m} \quad (۱۶)$$



شکل ۷: مدار معادل ساده شده شکل ۵

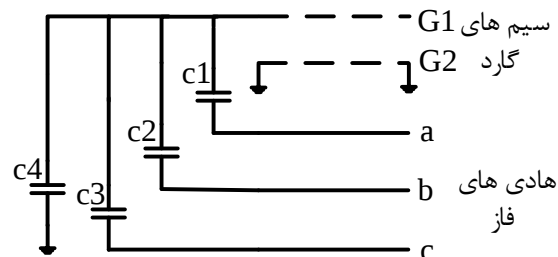
با مقایسه روابط ۱۳ و ۱۴ با روابط ۱۵ و ۱۶ پارامترهای مدار معادل شکل ۷ مطابق روابط ۱۷ و ۱۸ می شود.

$$C_m = 2C_{1g} + \frac{C_{1g}^2}{C_{12}} \quad (۱۷)$$

$$C_S = 2C_{12} + C_{1g} \quad (۱۸)$$

۳-۳ خط هوایی با دو سیم گارد که یکی از سیم های گارد از بدنه دکل جدا شده باشد.

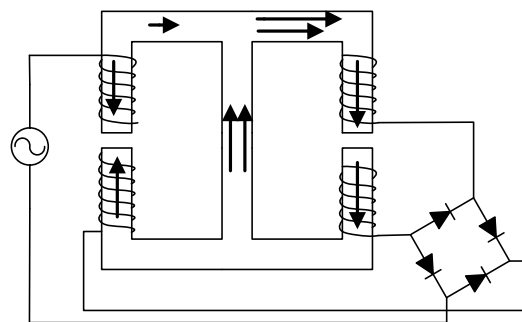
در شکل ۸، a و b و c هادی های سه فاز و G_1 و G_2 سیم های گارد خط انتقال هوایی می باشند. با توجه به شکل ۸ سیم گارد G_2 به زمین (بدنه دکل) متصل شده است و سیم گارد G_1 از زمین جدا شده است. همچنین خازن های C_1 و C_2 و C_3 ظرفیت خازنی بین سیم G_1 (سیم گاردی که از زمین جدا شده است) با هادی های سه فاز است و C_4 ظرفیت خازنی بین سیم گارد G_1 با زمین است [۱۸].



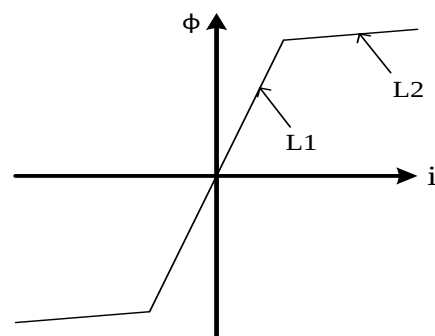
شکل ۸: ظرفیت خازنی سیم گارد (جدا شده از زمین) نسبت به هادی های فاز و زمین

شکل ۹- الف) مدار معادل تونن از سمت هادی های ولتاژ خط انتقال هوایی است. V_1 ولتاژ معادل هر سه فاز خط انتقال هوایی است، C_a ظرفیت خازنی معادل بین هر سه فاز با سیم گارد و C_b ظرفیت خازنی معادل بین سیم گارد با زمین است. شکل ۹- ب) مدار معادل تونن از

اشباع ۳۰۰/۳۰۹ ولت به نام‌های Ts1 و Ts2 (با نسبت تبدیل ۱:۱.۰۳) است. سیم‌پیچ‌های اولیه ترانسفورماتورها سری بسته شده و به یکسو ساز دیودی متصل شده است. جریان یکسو سازی شده در جهت معکوس به دو سیم‌پیچ ثانویه ترانس فرستاده می‌شود. زمانی که ولتاژ به مقدار کافی بزرگ باشد، ترانسفورماتورها در طول یک دوره تناوب در جهت مثبت و منفی به اشباع می‌روند و مقدار مؤثر ولتاژ کاهش می‌یابد. به منظور کاهش جریان تنظیم کننده IVACE اندوکتانس L_1 به صورت موازی با تنظیم کننده نصب می‌شود. اندوکتانس L_1 بیش تر جریان راکتیو تنظیم کننده را جذب می‌کند و بقیه توان راکتیو توسط تنظیم کننده IVACE جذب می‌شود. خازن C_1 به منظور تنظیم به اشتراک گذاری جریان بین شاخه (L_1-C_1) و IVACE مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک فیلتر میرا کننده^{۱۰} است که برای فرکانس ۵۰ هرتز طراحی شده است. وظیفه آن جلوگیری از تشدیدهای^{۱۱} هارمونیکی و زیر هارمونیکی است، همچنین برای تنظیم دقیق ولتاژ نیز استفاده می‌شود. R_3-C_3 به منظور حفاظت از پل دیودی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به شکل ۱۲ بار ۱۰ کیلووات توسط یک ترانس 4kV/220V تغذیه می‌شود.



شکل ۱۰: طرح ساده تنظیم کننده IVACE

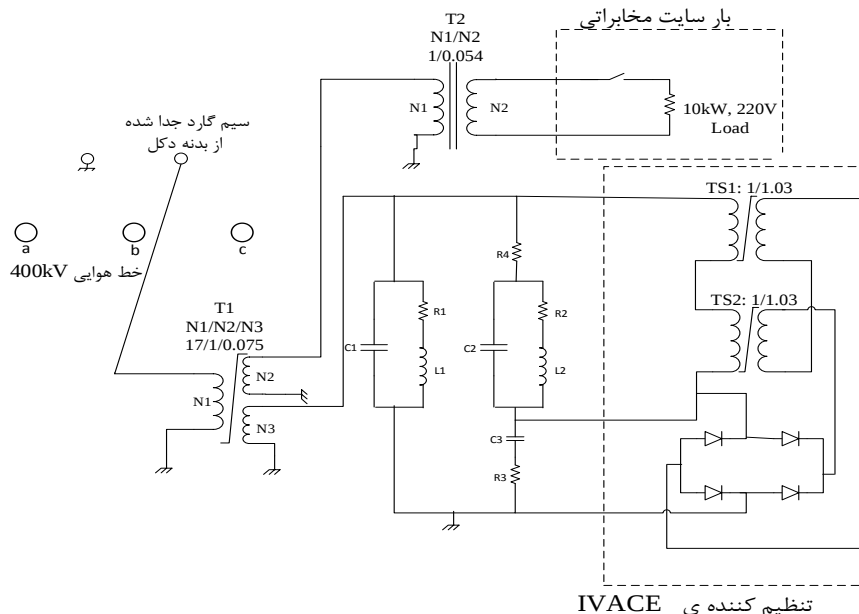


شکل ۱۱: منحنی مغناطیس کنندگی هسته ترانسفورماتورهای تنظیم کننده IVACE

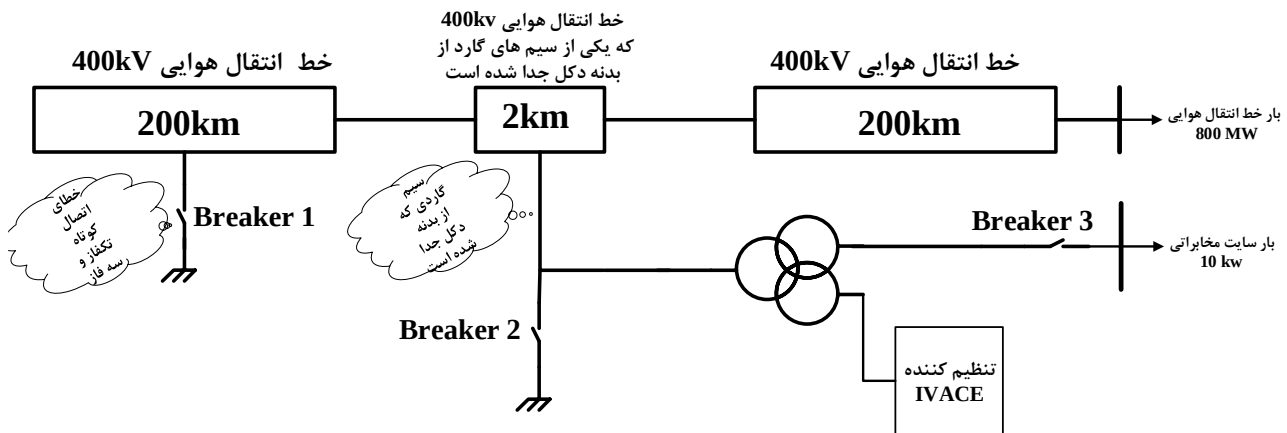
۵- شبیه سازی

در ابتدا میزان ولتاژ القا شده بر روی سیم گارد برای طول‌های مختلف سیم گارد مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه مطابق شکل ۱۳ شرایط مختلفی اعم از کلید زنی و خطا بر روی ولتاژ القایی اعمال شده و نتایج شبیه سازی‌ها برای دو حالت با تنظیم کننده و بدون تنظیم کننده مشاهده شده است. شبیه سازی‌ها برای حالت‌های مختلف در ادامه نشان داده شده است.

مدار تنظیم کننده مورد استفاده، در شکل ۱۲ نشان داده شده است که همه اجزای آن پسیو می‌باشند. این تنظیم کننده یک وسیله مغناطیسی است که به صورت اندوکتانس غیرخطی عمل می‌کند. جزئیات بیش تر مربوط به این تنظیم کننده در مقالات [۱۳] و [۱۸] و اختراع ثبت شده [۱۷] آورده شده است. با توجه به اجزای تنظیم کننده که در شکل ۱۲ نشان داده شده است، IVACE شامل دو ترانسفورماتور

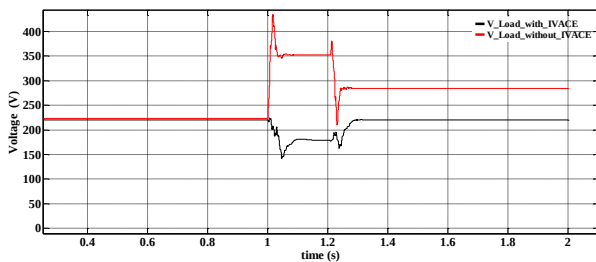


شکل ۱۲: تنظیم کننده مورد استفاده برای تنظیم کردن ولتاژ بار 10KW

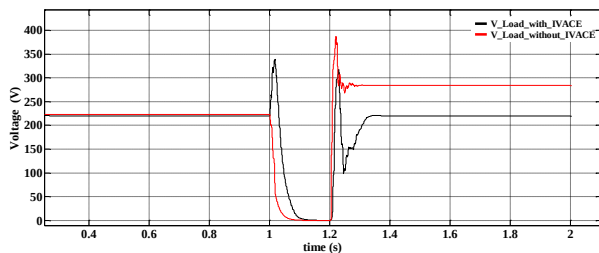


شکل ۱۳: مدار کلید زنی شبکه

پریونیت می‌رسد که بعد از رفع خطا و در حالت پایدار نیز ولتاژ بار ۱.۳ پریونیت باقی می‌ماند. این در حالی است که برای حالت با تنظیم‌کننده، نوسان ولتاژ در لحظه وقوع خطا کم بوده و بعد از رفع خطا نیز ولتاژ در یک پریونیت ثابت می‌شود.



شکل ۱۵: ولتاژ بار 10KW در حالت اتصال کوتاه تک فاز بر روی خط انتقال هوایی



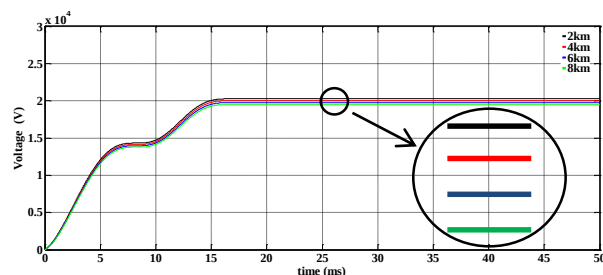
شکل ۱۶: ولتاژ بار 10KW در حالت اتصال کوتاه سه فاز بر روی خط انتقال هوایی

۵-۳- اتصال سیم گارد به زمین در حالت بی‌باری و بارداری

شکل ۱۷ ولتاژ دوسر ورودی به سایت مخابراتی را برای حالتی نشان می‌دهد که توان مصرفی آن خیلی کم باشد. با توجه به شکل ۱۳، کلیدهای ۱ و ۳ باز بوده و با بسته شدن کلید ۲ سیم گارد به زمین متصل می‌شود. سیم گارد در لحظه ۰.۹ ثانیه به زمین متصل شده و در لحظه ۱ ثانیه اتصال کوتاه برداشته می‌شود. با توجه به شکل ۱۶ ولتاژ

۵-۱- تأثیر طول سیم گارد بر روی ولتاژ القاشده

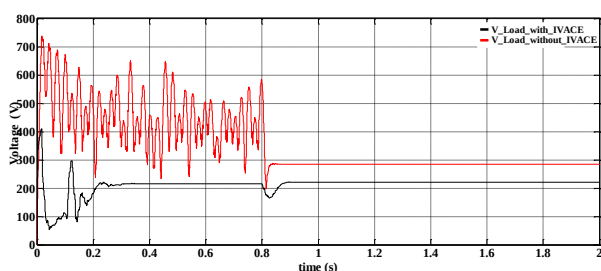
در این حالت ولتاژ القاشده بر روی سیم گارد را برای طول‌های مختلف سیم گارد بررسی شده است. در این قسمت تمام بریکرهای شکل ۱۳ باز بوده و میزان ولتاژ مدار باز القا شده بر روی سیم گارد در شکل ۱۴ نشان داده شده است. با توجه به شکل ۱۴ میزان ولتاژ القا شده برای چهار طول 2km، 4km، 6km و 8km به ترتیب برابر 9.50kV، 19.75kV، 20kV و 20.25kV است. با توجه به شکل، به ازای افزایش 2km در طول سیم گارد، 250V بر ولتاژ القا شده افزوده می‌شود.



شکل ۱۴: مقدار مؤثر ولتاژ القا شده در طول‌های مختلف سیم گارد

۵-۲- اتصال کوتاه تک فاز و سه فاز بر روی خط انتقال هوایی

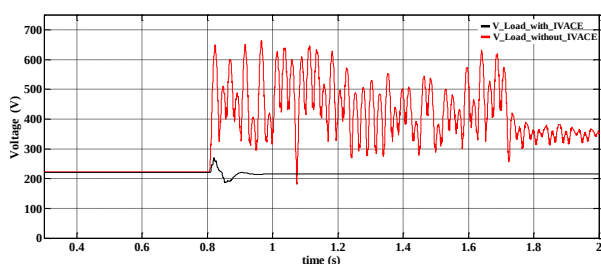
در شکل ۱۳ با وصل شدن کلید ۱، خطای اتصال کوتاه تک فاز و سه فاز بر روی خط هوایی اتفاق می‌افتد. شکل ۱۵ خطای اتصال کوتاه تکفاز و شکل ۱۶ خطای اتصال کوتاه سه فاز را نشان می‌دهد. خطاهای اتصال کوتاه گذرا بوده و در لحظه ۱ ثانیه رخ داده و بعد از ۰.۲ ثانیه خطا رفع می‌شود. با توجه به شکل‌های ۱۵ و ۱۶، تا لحظه وقوع خطا میزان ولتاژ برای هر دو حالت با تنظیم‌کننده و بدون تنظیم‌کننده تقریباً ثابت و برابر 220V (یک پریونیت) است. در لحظه رخداد خطا ولتاژ برای حالت بدون تنظیم‌کننده جهش زیادی کرده و به بیش از دو



شکل ۱۹: ولتاژ ورودی سایت مخابراتی در زمان اتصال بار 10kW

۵-۵- خارج کردن بار 10kW

در این حالت کلیدهای ۱ و ۲ باز بوده و کلید ۳ در لحظه ۰.۸ ثانیه باز می‌شود. شکل ۲۰ ولتاژ ورودی سایت مخابراتی را در حالت خارج شدن بار نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۲۰، ولتاژ برای زمان‌های قبل از خارج شدن بار، برای هر دو حالت با تنظیم‌کننده و بدون تنظیم‌کننده برابر یک پریونیت است. پس از خارج شدن بار، ولتاژ با تنظیم‌کننده در زمان کوتاه دوباره به مقدار یک پریونیت می‌رسد درحالی‌که ولتاژ برای حالت بدون تنظیم‌کننده و حالت پایدار بیش‌تر از یک پریونیت می‌شود.

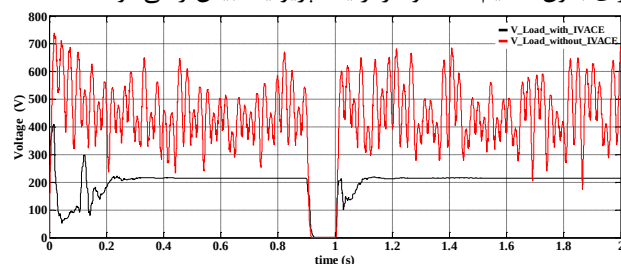


شکل ۲۰: ولتاژ ورودی سایت مخابراتی در زمان خارج شدن بار 10kW

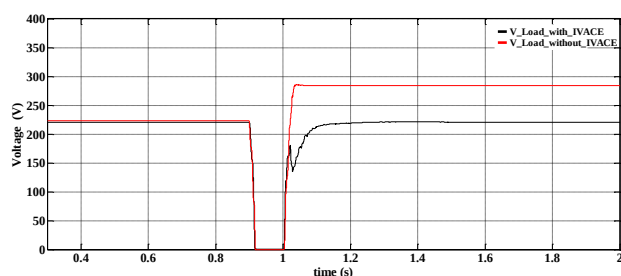
۶- نتیجه‌گیری

با روش ارائه شده در این مقاله می‌توان توان موردنیاز مناطق دوردست را تأمین کرد. در این روش از ولتاژ القا شده بر روی بخشی از سیم گارد خط انتقال هوایی برای تغذیه بار موردنظر استفاده شده است. در این مقاله بیشتر به حالت گذرای ولتاژ به‌دست‌آمده از سیم گارد بعد از وقوع خطا و کلید زنی پرداخته شده است. به همین منظور از نرم‌افزار EMTP-RV که حالت گذرا را با دقت بالایی شبیه‌سازی می‌کند، استفاده شده است. استفاده از این طرح نسبت به روش‌های دیگر مانند احداث پست توزیع جدید و استفاده از منابع تولید پراکنده مقرون‌به‌صرفه بوده و می‌تواند برای تغذیه بار مناطق دوردست که در نزدیکی خطوط هوایی قرار دارند مورد استفاده گیرد. همچنین می‌توان از یک دیزل ژنراتور پشتیبان برای زمانی که اختلالی در امر برق‌رسانی ناشی از بروز صاعقه بر روی سیم گارد یا قطع جریان خطوط انتقال رخ دهد، استفاده کرد. با افزایش طول سیم گاردی که از بدنه دکل جدا شده است، میزان ولتاژ القا شده بر روی آن نیز زیاد می‌شود. ولتاژ القایی بر روی سیم گارد نسبت به خطاها و کلید زنی‌ها حساس بوده و

حالت با تنظیم‌کننده بعد از رفع اتصال کوتاه در مدت‌زمان کمی به یک پریونیت می‌رسد. درحالی‌که ولتاژ حالت بدون تنظیم‌کننده دارای نوسانات شدیدی بوده و مقدار آن تا ۳ پریونیت نیز می‌رسد. شکل ۱۸ ولتاژ ورودی به سایت مخابراتی را در حالت بار کامل (10KW) نشان می‌دهد. در این حالت کلید ۱ باز و کلید ۳ بسته است. اتصال کوتاه بر روی سیم گارد توسط کلید ۲ در لحظه ۰.۹ ثانیه اعمال شده و در لحظه ۱ ثانیه برطرف می‌شود. با توجه به شکل ۱۸، ولتاژ تا لحظه اتصال کوتاه برای هر دو حالت با تنظیم‌کننده و بدون تنظیم‌کننده تقریباً یکسان و برابر یک پریونیت است. بعد از برداشته شدن اتصال کوتاه، ولتاژ برای حالت با تنظیم‌کننده در مقدار یک پریونیت تثبیت شده ولی برای حالت بدون تنظیم‌کننده ولتاژ از یک پریونیت بیش‌تر می‌شود.



شکل ۱۷: ولتاژ ورودی سایت مخابراتی در حالت اتصال سیم گارد به زمین و بی‌باری



شکل ۱۸: ولتاژ بار 10kW در حالت اتصال سیم گارد به زمین و بار کامل

۵-۴- اتصال بار 10kW

در این حالت کلیدهای ۱ و ۲ باز بوده و کلید ۳ در لحظه ۰.۸ ثانیه بسته می‌شود. شکل ۱۹ ولتاژ ورودی سایت مخابراتی را برای زمانی نشان می‌دهد که بار 10kW به شبکه متصل می‌شود. با توجه به شکل ۱۹، برای قبل از زمان ۰.۸ ثانیه ولتاژ برای حالت بدون تنظیم‌کننده دارای اغتشاش زیادی است. درحالی‌که ولتاژ برای با تنظیم‌کننده ثابت و برابر یک پریونیت است. برای زمان‌های بعد از به مدار آمدن بار 10kW، ولتاژ حالت بدون تنظیم‌کننده از مقدار یک پریونیت زیاد شده درحالی‌که ولتاژ برای با تنظیم‌کننده یک پریونیت است.

- [14] W. peng, C. baichao, T. cuihua, B. sun, M. zhou and J. yuan, "A Novel Neutral Electromagnetic Hybrid Flexible Grounding Method In Distribution Networks", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. PP, no. 99, PP. 1-5, February. 2016.
- [15] T. Zheng, Y.J. Zhao, Y. Jin, P.L. Chen and F.F. Zhang, "Design And Analysis On The Turn-To-Turn Fault Protection Scheme For The Control Winding Of A Magnetically Controlled Shunt Reactor", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 30, no. 2, PP. 967 – 975, March 2015.
- [16] X. Chen, B. Chen, C. Tian, J. Yuan and Y. Liu, "Modeling And Harmonic Optimization Of A Two-Stage Saturable Magnetically Controlled Reactor For An Arc Suppression Coil", IEEE Industrial Electronics Society, Vol. 59, no. 7, PP. 2824 – 2831 February 2012.
- [17] L. Bolduc, "Self-Controlled Variable Inductor with Air Gap," US Patent 4 620 144, Oct. 28, 1986.
- [18] L. Bolduc, Y. Brissette, D. Beaudin, D. Pagé, A. Bérubé, P. Savard, "Overhead-ground-wire power supply regulation by IVACE", IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 19, No 1, Jan. 2004 pp. 393-399.
- [۱۹] محمد علی شمسی نژاد، محمد رضا خلغانی، محسن فرشاد، "ارائه یک استراتژی نوین کنترلی برای جبران‌ساز DVR جهت بهره‌وری بیشتر از آن در کیفیت توان مصرف کننده"، نشریه علمی- پژوهشی کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران، جلد ۱ شماره ۱ صفحات ۲۰-۲۸، سال ۱۳۹۱.
- [۲۰] مرتضی عزتی، سید حسین حسینیان، احسان آزاد فارسانی " استفاده از منبع تولید پراکنده انعطاف پذیر به منظور تامین توان شبکه ۲۵kV قطار برقی و بهبود معیارهای کیفیت توان در شبکه بالاسری"، نشریه علمی- پژوهشی کیفیت و بهره‌وری صنعت برق ایران، جلد ۶ شماره ۱۱ صفحات ۲۰-۲۹، سال ۱۳۹۶.
- [21] M. Gitizadeh, S. Ghavidel and J. Aghaei, "Using SVC to Economically Improve Transient Stability in Long Transmission Lines", IETE Journal of Research, Vol. 60, no. 4, PP. 319-327, Oct. 2014.
- [22] M. Darabian, S. M. Mohseni-Bonab and B. MohammadiIvatloo, "Improvement of Power System Stability by Optimal SVC Controller Design Using ShuffledFrog-Leaping Algorithm", IETE Journal of Research, Vol. 61, no. 2, PP. 160-169, Jan. 2014.
- [23] A. Singh, "Performance Evaluation of Three Different Configurations of DSTATCOM with Nonlinear Loads", IETE Journal of Research, Vol. 56, no. 6, PP. 313-326, Nov. 2010.
- [24] D. V. Nicolae, "Non-conventional methods for energy extraction from high voltage transmission line", DTech Thesis, Vall University of Technology, Vanderbi jlpark, 2004.
- باید از یک تنظیم‌کننده‌ای استفاده شود که در عین ساده و مقرون به صرفه بودن، بتواند تا حد زیادی حساسیت ولتاژ را کاهش دهد. در این طرح، از یک تنظیم‌کننده به نام IVACE (سلف خود متغیر) استفاده شده است. با استفاده از این تنظیم‌کننده ولتاژ بار 10kW در مقدار یک پریونیت ثابت می‌شود. همچنین تأثیر خطاها و کلید زنی‌ها بر روی ولتاژ القایی سیم گارد و بار 10kW کاهش چشمگیری پیدا می‌کند. در نتیجه با استفاده از این روش می‌توان، انتقال توان پایدار به مناطق دوردست که در نزدیکی خطوط هوایی قرار دارند، را انجام داد.
- ## مراجع
- [1] R. Berthiaume and R. Blais, "Tapping the overhead wire on transmission lines produces a 20 kW, 60 Hz power supply," in CEA, Montreal Meeting, pp. 21–24, March 1977.
 - [2] P. S. Maruvada and G. Harbec, "Capacitive power tap-off from transmission lines using ground wires: Calculation of the equivalent circuit parameters," IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-97, no. 4, pp. 1194–1201, July/Aug. 1978.
 - [3] "Capacitor bank used to power remote loads can be a headache", Electrical World, Transmission and Distribution, p. 48-49, May. 1971.
 - [4] A.B. Sturton, "Supply of small distribution load from transmission", CEA, Electrical Apparatus Section, Vancouver Meeting, March 1971.
 - [5] J.R. Lapierre and A.B. Sturton, "Power from capacitance voltage transformation", CEA, Electrical Apparatus Section, Calgary Meeting, Oct. 1974.
 - [6] A. Al-Salaymeh, Z. Al-Hamamre, F. Sharaf and M.R. Abdelkader, "Technical and economical assessment of the utilization of photovoltaic systems in residential buildings: The case of Jordan", Energy Conversion and Management, Vol. 51, no. 8, PP. 1719–1726, August. 2010.
 - [7] F. Dincer, "The analysis on photovoltaic electricity generation status, potential and policies of the leading countries in solar energy", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 15, no. 1, PP. 713–720, January. 2011.
 - [8] M.A. Kashem and G. Ledwich, "Distributed generation as Voltage support for single wire Earth return systems", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 19, no. 3, PP. 1002-1011, June. 2004.
 - [9] N. Hosseinzadeh, J.E. Mayer and P.J. Wolfs, "Rural Single Wire Earth Return distribution networks – Associated problems and cost-effective solutions", International Journal of Electrical Power & Energy Systems, Vol. 33, no. 2, PP. 159-170, February. 2011.
 - [10] G. L. Reiner, "Electrostatic effects near HVAC transmission lines: field tests and computer results", IEEE Conference paper, winter meeting, New York, Jan. 30 - Feb. 4, 1972.
 - [11] "Power from lightning-shield wires", Electrical Review 11, pp. 376-377, March 1966.
 - [12] B.I. Gururaj and M.R. Nandagopal, "Design parameters of earth-wire power tapping", Proc. IEE, Vol. 117, No. 1, pp. 177-182, Jan. 1970.
 - [13] L. Bolduc, Y. Brissette, and P. Savard, "IVACE, a self-regulating variable reactor," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 19, vol. 1, pp. 387–392, Jan. 2004.

زیر نویس ها

- ⁷ Magnetically controlled reactor
- ⁸ ElectroMagnetic Transients Program
- ⁹ natural voltage
- ¹⁰ damping filter
- ¹¹ resonances

- ¹ Hydro-Québec
- ² Capacitive voltage transformers
- ³ Single Wire Earth Return
- ⁴ Dynamic Voltage Restorer
- ⁵ Static VAR compensator
- ⁶ static synchronous compensator