دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان‌نامه کارشناسي
گرایش: الکترونیک

عنوان :

بررسی امواج سیار در خطوط انتقال و اضافه ولتاژهای ناشی از آن

استاد راهنما: **دکتر جلیل زاده**

نگارش: **مریم عابد**

تیر ۸۸

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه ..... Error! Bookmark not defined.

گسترش موج سیار بر روی خط انتقال انرژی الکتریکی ۲

گسترش فشار و شدت جریان الکتریکی روی خط ۳

انرژی و میرائی آن ۸

تاثیر انتهای خط هادی بر روی موج ۱۲

موج در انتهای خط باز ۱۲

موج درانتهای بسته خط ۱۴

نوسانهای ایجاد شده در خط ناشی از موج سیار ۱۵

موج سیار بر روی خطی که دریک سر باز و در سمت دیگر بسته است. ۱۶

میرایی موج ناشی از کورونا ۱۸

عبور و بازگشت موج از خطی تشکیل شده از چند هادی ۲۰

نقطه اتصال دو هادی ۲۱

اتصال سری مقاومتی اهمی بین دو خط هادی ۲۹

اتصال موازی مقاومتی اهمی در نقطه پیوند دو قطعه خط: ۳۱

اتصال برقگیر در نقطه انشعاب دو خط: ۳۴

پدید آمدن جرقه الکتریکی- باز کردن مدار بسته خط ۳۷

اتصال زمین و اتصال کوتاه ناگهانی : ۳۸

تخلیه الکتریکی بر روی مقاومتی اهمی ۴۰

باز کردن ناگهانی مدار خط : ۴۴

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

باز کردن یک اتصال کوتاه ۴۶

فصل دوم ۴۸

اضافه ولتاژگذرا ۴۸

کلید زنی خازنی ۴۸

بزرگی ولتاز گذرای کلید زنی ۵۲

صاعقه ۵۳

خصوصیات تجهیزات حفاظتی در مقابل اضافه ولتاژ: .....Error! Bookmark not defined.۵۶

اصول حفاظت اضافه ولتاژ ۵۷

ادوات حفاظت از اضافه ولتاژ ۵۷

برقگیر شاخه ای ۵۹۵۹

برقگیر سوپاپی ۶۰

برقگیر لوله ای ۶۲

برقگیر از نوع مقاومت غیر خطی ۶۳

برقگیر اکسید فلز ۶۳

ترانسفورماتورایزوله ۶۵

راهکارهای مقابله با حالت گذرا ناشی از کلیدزنی ۶۸

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

زمان وصل خازن ۶۸

قرار دهی مقاومت در مرحله کلیدزنی ۶۸

اتصال سنکرون ۶۹

محل نصب خازن ۶۹

حفاظت تأسیسات از صاعقه ۷۰

سیم محافظ ۷۰

برقگیرهای خط ۷۲

حفاظت کابل ..... Error! Bookmark not defined.۷۴

برقگیر نقطه باز (open- point): ۷۵

یکی مانده به آخرین ترانسفورماتور: ۷۶

برقگیرهای روغنی (under- oil): ۷۶

برقگیرهای زانویی ۷۷

برقگیرهای با تخلیه پایین تر ۷۸

تزریق مایع ۷۸

مشکلات حالتهای گذرای کلید زنی بار ۷۸

قطع بی مورد موتورهای تنظیم سرعت ۷۸

حالتهای گذرای ناشی از کلید زنی بار ۷۹

منابع ۸۱

مقدمه

اضافه ولتاژ هایی که در شبکه ی قدرت اتفاق می افتد ممکن است دارای منشا خارجی باشند یا عامل بوجود آورنده ی آنها مربوط به خود شبکه باشد.نزول صاعقه یک عامل خارجی محسوب میشود در حالیکه عمل کلیدزنی یک عامل داخلی است.

به طور کلی حالتهای گذرا در سیستمهای قدرت با هر گونه تغییر ناگهانی در وضعیت کاری یا ساختاری سیستم قدرت بوجود میایند.صاعقه وعمل کلید زنی همواره خطرهایی جدی برای تجهیزات یک سیستم قدرت محسوب میشوند. اضافه ولتاژهای موقت بدون استثناء در شرایط بی باری یا بار بسیار کم رخ می‌دهند. به دلیل اینکه اضافه ولتاژهای موقت و کلیدزنی دارای مبدأ مشترکی هستند، در طراحی عایق سیستم‌های فشار قوی باید اثر هر دو به حساب آورده شود.

دامنه اضافه ولتاژهای صاعقه یا خارجی اساساً مستقل از طرح سیستم ها هستند ، در حالی که اضافه ولتاژهای کلید زنی یا داخلی با ازدیاد ولتاژ کار سیستم افزایش می یابند . بنابراین با ازدیاد ولتاژ کار سیستم به نقطه ای می رسیم که اضافه ولتاژهای کلید زنی در طراحی عایق سیستم ها عامل غالب می‌شوند، تا حدود ولتاژ ۳۰۰ kv عایق سیستم باید طوری طراحی شود که امواج صاعقه اولیه را تحمل نماید. در ولتاژهای بالاتر هم امواج صاعقه و هم امواج کلید زنی باید مورد توجه قرار گیرند. در سیستم‌های ماوراء فشار قوی ۷۶۵ kv و بالاتر اضافه ولتاژهای کلید زنی همراه با کثیف بودن مقره ، در طراحی عایق عامل غالب می شوند.

هنگامی که خط با ثابت های توزیع شده (فشرده R,L,C) در معرض یک اغتشاش مانند برخورد صاعقه قرار میگیرد امواج ولتاژ و جریان به وجود میایند و این امواج در طول خط با سرعتی نزدیک به سرعت مسیر نور به حرکت در می ایند به محض رسیدن این امواج به ترمینالهای خط امواج ولتاژو جریان انعکاسی به وجود می اید و در طول خط برمی گردند وبا امواج اولیه ترکیب میشوند، به خا طر وجود تلفات این امواج بعد از چند انعکاس تضعیف شده واز بین میروند.

تحلیل کیفی وکمی حالتهای گذرای ناشی از نزول صاعقه یا کلید زنی منجر به مفهوم امواج سیار می گردد.

فصل اول

بررسی امواج سیار در خطوط انتقال

گسترش موج سیار بر روی خط انتقال انرژی الکتریکی

کمیت‌های الکتریکی در فضا و بر روی هادیها با سرعتی بسیار زیاد اما محدود گسترش می‌یابند. این سرعت بسته به نوع هادی وجنس آن ،در حدود سرعت نور خواهد بود.بنابراین مثلاً اگر پتانسیل الکتریکی بر روی خطی که دارای حدود سه هزار کیلومتر است،عبور در جریان الکتریکی را باعث شود،مدت عبور جریان از ابتدا تا انتهای خط برابر بود با :

$t=۳۰۰۰/۳۰۰۰۰۰=۱/۱۰۰[s]$

این امر بدین معنی است که فشار وشدت جریان الکتریکی با فرکانس ۵۰ هرتز در انتهای چنین خطی اختلاف فازی برابر ۱۸۰ درجه می یابد.در کابلها بویژه نوع عایق کاغذی غوطه ور در روغن سرعت گسترش موج در حدود نیمی از سرعت برابر عایق کابلها نورعدد e خواهد بود. عایقی بزرگ عایقی برای کاهش یافتن سرعت می باشند. بنابراین:

پریود	اختلاف فاز به درجه	طول کابل به کیلو متر	طول خط هوایی ـ سیم هادی به کیلومتر
۱	۳۶۰	۳۰۰۰	۶۰۰۰
۱/۱۲	۳۰	۲۵۰	۵۰۰

تنها برای کابلهائی کوتاهتراز ۲۵۰ ویا خط هوایی کوتاهتر از ۵۰۰ کیلومتر است که می توان از یک حالت تقریباً پایداری صحبت کرد.

لذا مادامی که در شبکه های فشار قوی با فواصلی در حدود مقادیر داده شده در بالا ویا بزرگتر سروکار داریم،اختلاف فاز ایجاد شده و به همراه آن تغییر احتمالی علامت الکتریکی با تغییر مقدار دامنه آن باعث

پدید آمدن پدیده های ویژهای خواهد شد. به ویژه در پیچکهای ماشینهای الکتریکی و ترانسفورماتورها این اختلاف فاز می تواند مبدا وعلتی برای پیدایش تشدیدهای خطرناکی بشود.

بهمین قسم قطع و وصل یک خط از مولد باعث پدید آمدن تغییراتی در روی خط می گردد که می تواند در خطی با طولی معین حالتی را بوجود آورد که مثلاً در ابتدای خط ،فشار الکتریکی در حداکثر مقدار خود و در انتهای خط برابر صفر باشد.یادرمثالی دیگر ،خطی که موقتاً قطع شده است تا بر روی آن تعمیراتی انجام گیرد که مورد اصابت صاعقه قرارمی گیرد و اگر این خط در یک سر خود زمین شده باشد در حالی که در این سر فشار الکتریکی صفر میگردد،در نقطه ی دیگر آن مثلاً سر دیگر،فشار الکتریکی در حدود فشار الکتریکی ابر تخلیه شده بر روی خط است.

تمامی این پدیدهها زاییده سرعت محدود الکتریسیته میباشد. در حالیکه اگر الکتریسیته سرعت نامحدودی می‌بود هر نقطه از نقاط مشابه یک خط دارای فشار الکتریکی معین و مساوی می‌شد.

۲- ۱-گسترش فشار و شدت جریان الکتریکی روی خط

برای بررسی یک موج ناشی ازا ختلال الکتریکی، در روی یک خط، دو سیم حامل انرژی (یک خط تکفاز) را موازی و نزدیک هم قرار گرفته اند را مورد بررسی قرار دهیم.از مقاومت سیمهای هادی و عایق قرار گرفته ما بین این دو هادی، در ابتدا صرفنظر می‌کنیم بنابراین سرعت و نحوه گسترش موج روی خط از ظرفیت الکتریکی و ضریب القاء خط تبعیت خواهد کرد.

شکل(۱-۲):میدان الکتریکی و مغناطیسی خط

چنانچه مشاهده می شود در فاصله طولی از خط ،رفت و برگشت موج را مورد بررسی قرار می دهیم.در مستطیل محدود بین e_1 و e_2 شکل(۱-۲) مقدار کمی از شار مغناطیسی بسته شده و خط را در میانه خود قرار می دهد.تغییرات شار مغناطیسی در این مستطیل ایجاد پتانسیل الکتریکی میکندکه به نوبه خود موجب پدید آمدن پتانسیل بزرگتری در جهت طول خط خواهد گشت.مقدار آن برابر است با:

$$e_1 - e_2 = -\Delta e = L.\Delta x.\frac{\partial i}{\partial t}$$

که درآن:L ضریب القاء حلقه مورد نظر است (بدیهی است درواحد طول). از رابطه بالا تغییرات مکانی پتانسیل الکتریکی قابل درک است. ما این تغییرات را درمعادله دیفرانسیل زیر داریم:

$$\frac{\partial e}{\partial x} = -L\frac{\partial i}{\partial t} \qquad (۲-۱)$$

تغییرات زمانی فشار الکتریکی e بین دو خط موجب می گردد که شدت جریان جابجایی که متناسب با تغییرات فشار الکتریکی است بین دو خط جریان یابد که در شکل (۲-۱)نشان داده شده است.

شکل (۲-۱) جریان جابجایی که در جهت خطوط میدان از خطی به خط دیگر عبور میکند.

بنابراین یک قسمت از شدت جریان عبوری به شکل جریان جابجایی در جهت خطوط میدان بین دو خط عبور خواهد کرد (از سیمی به سیم دیگر) بنحوی که شدت جریان مقداری اضافه خواهد شد:

$$i_1 - i_2 = -\Delta i = c.\Delta x\frac{\partial e}{\partial t}$$

که درآنC کاپاسیتانس در واحد طول می باشد.ازانجا تغییرات مکانی شدت جریان بدست می آید:

(۲-۲)

$$\frac{\partial i}{\partial x} = -c\frac{\partial e}{\Delta t}$$

دو رابطه (۱-۲و۲-۲) نشان می‌دهد که هر تغییر زمانی شدت جریان در روی خط، تغییر پتانسیلی را بهمراه دارد و هر تغییر زمانی فشار الکتریکی بین دو خط تغییر شدت جریان را در واحد طول پدید می‌آورد، تغییرات مکانی موج متناسب با تغییرات زمانی آن است و مقدار این تغییرات هر چه ضریب خود القا و ضریب الکتریکی بزرگتر باشد بیشتر است.

در این بحث درنظر است که این تغییرات را هنگام قطع ووصل مصرف کننده ویا مولد بـر روی خـط ویـا تخلیه ی الکتریکی بر روی آن در اثـر عوامـل طبیعـی بـشناسیم. روابـط (۱-۱ و۱-۲) بیـان کننـده ایـن تغییرات بوده و فقط باید شرایط اولیه را در نظر بگیریم.

برای حل روابط دیفرانسیل بالا مقدار e=Zi را طبق قانون اهم بر می گزینیم در رابطـه بـالا مقـدار ثـابتی است که باید برای تساوی معادلات بالا کافی باشد.با قرار دادن آن در رابطه۱-۲،خواهیم داشت:

(۲-۳)

$$z\frac{\partial i}{\partial x} = -l\frac{\partial i}{\partial t}$$

و از رابطه۲-۲:

(۲-۴)

$$\frac{\partial i}{\partial x} = -cz\frac{\partial i}{\partial t}$$

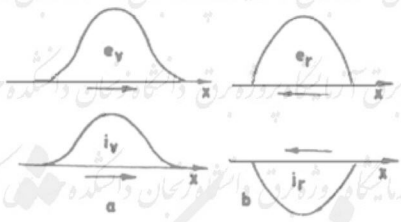
اکنون اگر این دو رابطه را بر یکدیگر تقسیم کنیم، Z=l/cz می شود.بنابراین با قرار دادن $e = \pm\sqrt{\frac{l}{c}}i$ روابط دیفرانسیل بالا به جواب می رسند. مقدار Z را با تکیه بر قانون اهم امپدانس مشخصه خـط ویـا مقاومـت موجی می نامیم.بنابر آنچه که گفته شد صرفنظر از چگونگی تغییرات مکانی وزمانی شدت وفشار یک موج سیار روی خط ،پیوسته رابطه :

(۲-۵)

$$\mathrm{e} = \pm\sqrt{\frac{\mathrm{l}}{\mathrm{c}}}\mathrm{i}$$

صادق است.

در حالیکه از مدار جریان دائم، در قبال شار الکتریکـی معینـی ،فقـط یـک جریـان الکتریکـی عبـور مـی کند،برای جریان الکترکی گذرا روی خط دو مقدار مختلف خواهیم داشت.این دو مقدار مختلف العلامـه از رابطه ۵-۲ مشهود است. فرض می کنیم که در قطعه ای یک خط طویل انتقال انرژی ،فشار الکتریکی ای بر روی خط حاکم است که مسیر آن مانند شکل(۱-۳a,b) باشد. شدت جریان بنابر رابطه۵-۲، باید موجی مثبت و منفی باشد.



شکل(۱-۳a,b):مسیرفشارو شدت جریان موج رفت و برگشت

این دو مقدارهر دو جواب روابط دیفرانسیل خط بوده و اختلاف آنها را ،وقتیکه تغییرات زمانی ومکانی شدت جریان وفشار الکتریکی موج را بیان میداریم، بهتر خواهیم شناخت.

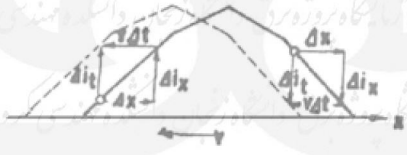
با قرار دادن مقاومت موجی $e = \pm\sqrt{\frac{l}{c}}i$ در رابطه ۳-۲ ،تغییرات شدت جریان درزمان را بدست می‌آوریم:

(۲-۶)

$$-\frac{\partial i}{\partial t} = \frac{z}{L}\frac{\partial i}{\partial x} = \pm\frac{1}{\sqrt{Lc}}\frac{\partial i}{\partial x}$$

از شکل (۴-۱) پیداست که هر تغییر شدت جریان تغییر مکانی همین کمیت را بهمراه دارد.

افزایش شدت جریان در هر نقطه از محور ها موجب افزایش متناسب همین کمیت درآن لحظه می شود.بهمین قسم هر کاهش شدت جریان در نقطه ای بر روی محورها ها ،کاهشی متناسب در همان لحظه (لحظه ای که موج در نقطه معینی از محورها دچار کاهش شده است)پدید می آورد.



شکل(۴-۱):تغییرات مکانی وزمانی موج سیار

پس از گذشت زمانی کوتاه (Δt) هر نقطه از منحنی جریان ،کمی به سمت چپ تغییر جا می‌دهد. این تغییر جا با سرعتی انجام می‌گیرد که از نسبت راه طی شده بر زمان بدست می آید. علامت سرعت نیز منفی است زیرا در خلاف جهت x و یا بعبارتی دیگر در جهت کم شدن طول خط محسوب شده است.

بنابراین:

(۲-۷)

$$-V=\frac{\Delta x}{\Delta t}=\frac{\frac{1}{\Delta t}}{\frac{1}{\Delta x}}=\frac{\frac{\partial i}{\partial t}}{\frac{\partial i}{\partial x}}$$

میباشد.

در حقیقت مقدارvعبارتست از نسبت تغییرات زمانی شدت جریان بـه تغییـرات مکـانی آن و اگـر رابطـه (۲-۶) رادرآن قرار دهیم خواهیم داشت:

(۲-۸)

$$V=\pm\frac{1}{\sqrt{Lc}}$$

چنانچه دیده می شود تمامی نقاط منحنی با همان سرعتv حرکت میکند ومقدار سـرعت ابـداً تـابعی از فشار الکتریکی و شدت جریان نیست و فقط بوسیله ضریب القا وظرفیت الکتریکی خط تعیین می شود.

رابطه(۸-۲) نشان می دهد سرعت گسترش موج،دارای علامت مثبت ومنفی است ولذابرای سرعت مثبت ،فشارالکتریکی وشدت جریان همجهت یعنی موج در جهت محـورx گـسترش مـی یابـد،یعنی بـه سـمت جلو.برای سرعت با علامت منفی علامت شدت جریان درجهت خلاف علامت فشار الکتریکی اسـت.چنـین موجی د رخلاف جهت محورxها افزایش می یابدیعنی به سمت عقب.امواجی که به سمت جلـو یـا عقـب گسترش می یابندهر دو دارای سرعتی با قدر مطلق $V=\frac{1}{\sqrt{Lc}}$ میباشند.تمام امواج گسترش یافته بـسمت جلو را با علامتv و بسمت عقب را باr نشانه می گـذاریم،وبنابراین علامـت مثبـت و منفـی را از جلـو Z برداشته ومقاومت موجی را با $z=\sqrt{\frac{l}{c}}$ نشان می دهیم.

با توجه به آنچه که گفته شد موج فشار وشدت جریان الکتریکی بسمت جلو عبارتست از: $e_v=+zi_v$ و موج بسمت عقب: $e_r=-zi_r$.

پتانسیل موج درحال حرکت بسمت جلو یا بسمت عقب فقط متناسب با شدت جریان بوده و به هیچ وجه تابعی از جریانی که در جهت عکس حرکت می کند نیست بنابراین هر دو موج جلو رونـده وعقـب رونـده

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

منابع

بررسی و طراحی سیستم های قدرت گلورودولوکوتلاسارما انتشارات (دانشگاه شهید چمران)

عایق فشارقوی دکتر حسین محسنی

کیفیت توان راجرسی دوگان

اضافه ولتاژهای قطع و وصل در شبکه انتقال انرژی با ولتاژ ۷۵۰ – ۲۲۰ کیلو وات تألیف مهندس طهماسب قلی شاهرخ شاهی

مبانی عایق و فشار قوی دکتر محمد قلی محمدی

مبانی مهندسی فشارقوی دکتر کافل و پروفسور زانگل

ماهنامه صنعت برق ۲۵ – ۱۰ – ۱۳۸۷

http://power_electronics

www.oe_unidusburg

www.kalotelec.com

www.gehamahang.com

www.irlearn

www.honarjo.com