



دانشگاه زنجان

دانشکده ی مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش: برق - قدرت

عنوان:

بررسی و شبیه سازی اضافه ولتاژ در خطوط HVDC

استاد راهنما: دکتر جلیلزاده

نگارش: مصطفی صفری

بهار ۹۳

۱	مقدمه	۱
۳	چکیده	۳
۴	فصل ۱- آشنایی با HVDC	۴
۴	۱-۱ تاریخچه	۴
۵	۲-۱ مزایا	۵
۶	۳-۱ افزایش ثبات شبکه	۶
۷	۴-۱ معایب	۷
۷	۵-۱ هزینه های مربوط به انتقال DC	۷
۸	۶-۱ اتصالات AC	۸
۸	۷-۱ مبدلها	۸
۱۰	۸-۱ افزایش انتقال AC	۱۰
۱۱	۹-۱ مزیت های HVDC بر انتقال جریان متناوب	۱۱
۱۲	۱۰-۱ مزیت های احتمالی بهداشتی سیستم HVDC بر سیستم جریان متناوب	۱۲
۱۲	۱۱-۱ اتصالات بین شبکه های جریان متناوب	۱۲
۱۴	۱۲-۱ یکسو سازی و اینورت کردن	۱۴
۱۴	۱-۱۲-۱ اجزا یکسو کننده و اینورت کننده	۱۴
۱۵	۲-۱۲-۱ سیستم های یکسو سازی و اینورتری	۱۵
۱۶	۱۳-۱ نگرش کلی	۱۶
۱۶	۱۴-۱ ساختار سیستم	۱۶
۱۸	فصل ۲- سیستم انتقال HVDC و نقش آن در آینده انرژی	۱۸
۱۸	۱-۲ مقدمه	۱۸
۱۹	۲-۲ پیشرفت های انتقال AC	۱۹
۲۰	۳-۲ جبران سازی استاتیک VAR	۲۰

۲۰	.....	جبران ساز سری	۴-۲
۲۰	.....	پیشرفت های مرسوم	۵-۲
۲۰	.....	FACTS	۶-۲
۲۱	.....	فناوری کابل	۷-۲
۲۱	.....	پیشرفت های HVDC	۸-۲
۲۱	.....	گذر از لامپ های جیوه ای به حالت جامد	۹-۲
۲۲	.....	ولتاژهای بالاتر DC	۱۰-۲
۲۲	.....	کنترل	۱۱-۲
۲۳	.....	فیلترهای فعال DC	۱۲-۲
۲۳	.....	تریستورهای تریگر شونده با نور	۱۳-۲
۲۴	.....	توپولوژی های جدید	۱۴-۲
۲۴	.....	جابجایی سری جبران شده	۱۵-۲
۲۵	.....	مبدل های ولتاژی (VDC)	۱۶-۲
۲۵	.....	کاربرد های آینده	۱۷-۲
۲۷	.....	انتخاب اصلی در شبکه های برق HVDC	۱۸-۲
۲۷	.....	محرك های اقتصادی	۱۹-۲
۲۸	.....	نفوذ الکتریسیته	۲۰-۲
۲۸	.....	سیاست های ملی انرژی	۲۱-۲
۲۹	.....	اصلاحات بخش الکتریسیته	۲۲-۲
۳۰	.....	رقابت	۱-۲۲-۲
۳۰	.....	سرمایه گذاری خصوصی	۲-۲۲-۲
۳۰	.....	مسائل سیستم گرا	۲۳-۲
۳۱	.....	پیشرفت های فناوری	۲۴-۲

۳۱	.....	25-2- فناوری مبدل ها
۳۲	.....	۲-۲۶- توسعه کابل های فشار قوی
۳۳	.....	۲-۲۷- نقش HVDC
۳۳	.....	۲-۲۸- نقش سنتی
۳۳	.....	۲-۲۹- نقش های جدید HVDC
۳۶	.....	۲-۳۰- سهم بازار
۳۷	.....	۲-۳۱- نقش HVDC در طرح های مستقل انتقال (ITP)
۳۷	.....	۲-۳۲- طرح های مستقل انتقال در بازارهای رقابتی
۳۸	.....	۲-۳۳- طرح های بالا به پایین
۳۹	.....	۲-۳۴- طرح های پایین به بالا
۴۰	.....	۲-۳۵- مثال هایی از ITP
۴۱	.....	۲-۳۶- ITP مختلط TD/BU در آمریکای جنوبی
۴۲	.....	۲-۳۷- ITP مختلط BU/TD در شمال شرقی ایالات متحده
۴۴	.....	۲-۳۸- نقش HVDC در ITPها
۴۵	.....	۲-۳۹- فن آوری HVDC بازار ITP ها را توسعه می دهد
۴۶	.....	۲-۴۰- توسعه سیستم های قدرت
۴۷	.....	۲-۴۱- روند صنایع قدرت
۴۸	.....	۲-۴۲- سیستم های به هم پیوسته قدرت
۴۸	.....	۲-۴۳- اتصال AC
۴۹	.....	۲-۴۴- اتصال HVDC
۴۹	.....	۲-۴۵- اتصال مختلط جهانی
۵۰	.....	۲-۴۶- نقش HVDC در قرن ۲۱
۵۲	.....	۲-۴۷- توسعه HVDC در آینده

۵۳	.....	۴۸-۲- خصوصی/دولتی سازی صنایع قدرت
۵۳	.....	۴۹-۲- نقش انتقال HVDC در آینده
۵۵	.....	۵۰-۲- انتقال انرژی الکتریکی توسط خطوط HVDC
۵۸	.....	۱-۵۰-۲- بررسی فنی
۶۰	.....	۲-۵۰-۲- بررسی اقتصادی
۶۷	.....	۲-۵۰-۳- نتیجه گیری
۶۹	.....	۳- بررسی اضافه ولتاژهای داخلی در خطوط HVDC
۶۹	.....	۱-۳- مقدمه
۷۱	.....	۲-۳- اضافه ولتاژهای نوع AC
۷۱	.....	۱-۲-۳- موارد خطا
۷۳	.....	۲-۲-۳- مدار معادل
۷۴	.....	۳-۲-۳- تشدید
۷۴	.....	۳-۳- اضافه ولتاژ نوع DC
۷۵	.....	۱-۳-۳- مدار معادل
۷۵	.....	۲-۳-۳- پرش اولیه ولتاژ
۷۶	.....	۴-۳- معرفی سیستم نمونه شبیه سازی
۷۷	.....	۵-۳- خط انتقال انتخابی
۷۸	.....	۶-۳- سیستم کنترلی
۷۹	.....	۷-۳- نتایج شبیه سازی
۷۹	.....	۱-۷-۳- نوع AC
۸۵	.....	۲-۷-۳- نوع DC
۸۸	.....	۸-۳- نتیجه گیری
۸۹	.....	منابع و مراجع

مقدمه

دلایل متعددی برای انتقال مقادیر زیاد انرژی الکتریکی توسط خطوط انتقال طولانی وجود دارد که

تحت دو بخش عمده اقتصادی و محیط زیستی قرار می‌گیرند. در ابتدا باید نشان داد که از نظر اقتصادی

انتقال انرژی الکتریکی ارزانتر از روشهای دیگر انتقال انرژی می‌باشد که با نصب نیروگاه در محل یک منبع

سوخت ارزان مانند معادن ذغال سنگ، پالایشگاهها، منابع کار یا سد آبی این هدف اکثراً برآورده می‌شود

در این حالت قیمت انتقال انرژی باید کمتر از حمل و نقل ماده سوختی تمام شود و شرایط محیط زیستی

نیز بر آورده گردد.

در دسترس بودن منابع طبیعی مورد استفاده به ویژه آب که در حجم زیاد مورد استفاده نیروگاههای

حرارتی می‌باشد از موارد دیگر تعیین کننده محل نیروگاهها و توجیه کننده خطوط انتقال طولانی با قدرت

بالا می‌باشد و بالاخره آلودگی زیاد ناشی از نیروگاهها یکی دیگر از دلایل دور نمودن آنها از مراکز مصرف

بزرگ و انتقال انرژی با خطوط انتقال می‌باشد.

بدلایل فوق و به دلیل اقتصادی بودن یک شبکه به هم پیوسته از نظر صرفه جویی در ظرفیت نصب شده

و صاف نمودن منحنی بار، هر روزه شبکه‌هایی با ولتاژ بالاتر ظرفیت بالاتر و طول بیشتر احداث گردیده

است.

ظرفیت بالای خطوط انتقال، طول خطوط و سطح ولتاژهای بسیار بالای مورد استفاده، از پارامترهایی

هستند که یک رشته مشکلات فنی مانند پایداری، تلفات، کرونا، ولتاژهای کلید زنی، افزایش سطح

ایرولاسیون و سطح اتصال کوتاه را بوجود آورده‌اند که در طراحی شبکه‌های قدرت باید مورد بررسی قرار

گیرند، به همین علل از سالهای ۱۹۶۰ به بعد انتقال انرژی بوسیله شبکه‌های HVDC مورد بررسی جدید

قرار گرفت.

در حدود ۳۷ سال از تأسیس اولین سیستم انتقال انرژی HVDC می‌گذرد ولی اهمیت و رشد سریع

شبکه‌های DC به ویژه در ۲۰ سال اخیر انجام شده است. علل این موضوع به رشد تکنولوژی یکسو کننده‌ها

برتری فنی شبکه‌های DC نسبت به AC بوده است.

اولین پروژه انتقال انرژی با شبکه DC در سال ۱۹۵۲ توسط یک شرکت سوئدی بین کشور سوئد و یکی از جزایر این کشور بنام کوتلند احداث گردید. این خط توسط کابل زیردریایی بطول ۹۶ کیلومتر با قدرت ۱۳۰ MW انرژی الکتریکی را از طریق دریای بالتیک به جزیری می‌رساند. پروژه بعدی دریای ماتش بین فرانسه و انگلیس بود که در سال ۱۹۶۱ به قدرت ۱۶۰ MW ساخته شد. در سالهای اخیر این ارتباط با یک خط جدید به قدرت ۲۰۰۰ MW گسترش یافته است.

اولین پروژه مهم که شروع دوره جدید در انتقال انرژی با خطوط HVDC بود در سال ۱۹۷۰ تحت عنوان پروژه پاسیفیک با قدرت ۱۴۴۰ MW و بطول ۱۳۶۰ KM در آمریکا انجام شد این خط که طولانی‌ترین و بالاترین ظرفیت را در آن زما داشت انرژی تولیدی نیروگاههای آبی شمال آمریکا را به مناطق پر مصرف لس‌آنجلس منتقل می‌کند و به تازگی قدرت آن به ۲۰۰۰ MW افزایش یافته است. این خط حدود ۱ میلیارد دلار روزانه در قیمت انرژی مصرفی شهر لس‌آنجلس از طریق برق ارزانه‌تر نیروگاههای آبی صرفه‌جویی می‌نماید. با برتری فنی - اقتصادی که توسط این خط نشان داده شد پس از آن پروژه‌های متعدد دیگر با ظرفیت‌های بالا از مراکز تولید انرژی زیاد به مراکز مصرفی بزرگ انجام شده و با پیشرفت تکنولوژیک یکسو کننده‌ها با قدرت بالا و ارزان شدن قیمت آنها، از نظر اقتصادی نیز این خطوط توجیه

پذیر گشته‌اند و هر روزه نقطه سربسر اقتصادی بین شبکه‌های DC و AC با قدرت مشابه کاهش می‌یابد. این باعث می‌شود که بجای ساختن نیروگاههای جدید فسیلی یا اتمی در نزدیکی مراکز مصرف از نیروگاههای آبی دور دست انرژی ارزان را توسط خطوط HVDC به مراکز مصرف منتقل نموده و با قیمت انرژی کمتر مسائل محیط زیستی نیز نداشته باشیم. رشد سریع این شبکه‌ها در ۱۰ سال اخیر مشهود است. در این مقاله ابتدا مزایای فنی خطوط HVDC را بررسی می‌کنیم و سپس از نظر اقتصادی به آن می‌پردازیم.

چکیده

رشد سریع در مصرف انرژی الکتریکی لزوم انتقال این انرژی را در ظرفیت‌های بالا از مراکز تولید به

مصرف ضروری ساخته است اما در سالهای اخیر مسائل محیط زیستی نظیر آلودگی بیش از حد در شهرهای

بزرگ از یک طرف و مسائل اقتصادی در تولید و انتقال انرژی با قیمت ارزان از طرف دیگر باعث شده است

که نیروگاهها اکثراً در فواصل دور از مراکز مصرف عمده در محل منبع سوخت ارزان تأسیس شوند و خطوط

انتقال با ظرفیت بالا و طول زیاد برای انتقال انرژی ایجاد شود.

مسائل فنی خطوط HVAC در انتقال مقادیر زیاد انرژی در فواصل دور ایجاد خطوط HVAC را ضروری

ساخته است. در این پروژه ما ابتدا یک بررسی کوتاه از سابقه وضعیت کنونی خطوط HVDC ارائه می‌دهیم

سپس مزایای فنی خطوط HVDC را در مقایسه با خطوط HVAC بیان می‌داریم.

فصل ۱- آشنایی با HVDC

تاریخچه

اولین روش برای انتقال انرژی الکتریکی با جریان مستقیم توسط یک مهندس سوئسی با نام رن تیوری (Rene Thury) ارایه شد. در این سیستم با سری کردن ژنراتورها و در نتیجه جمع جبری ولتاژهای تولیدی

ولتاژ افزایش می یافت. هر ژنراتور در جریان ثابت می توانست انرژی الکتریکی تا ولتاژ ۵۰۰۰ ولت تولید کند.

بعضی از ژنراتورها دارای دو ردیف کلکتور بودند تا ولتاژ وارده بر روی هر کلکتور را کاهش دهند. این سیستم

در سال ۱۸۸۹ در ایتالیا به وسیله شرکت Acquedotto de Ferrari-Galliera مورد استفاده قرار گرفت. در

این خط انتقال توانی برابر ۶۳۰ کیلووات با ولتاژ ۱۴ کیلوولت تا مسافت ۱۲۰ کیلومتر منتقل می شد. سیستم

Moutiers-Lyon با همان مکانیزم به وسیله هشت ژنراتور متصل شده با دو ردیف کلکتور می توانست ولتاژ

را تا ۱۵۰ کیلوولت افزایش دهد. این سیستم از سال ۱۹۰۶ تا ۱۹۳۶ مورد استفاده قرار گرفت.

دیگر سیستم‌های از این دست نیز تا دهه ۱۹۳۰ مورد استفاده قرار می گرفتند. عیب این سیستم‌ها در

این بود که ماشین‌های گردان (مولدها و مبدل‌های گردان) به تعمیر و نگهداری زیادی نیاز داشتند و در

ضمن تلفات در این ماشین‌ها زیاد بود. استفاده از ماشین‌های مشابه دیگر نیز تا اواسط قرن بیستم ادامه

داشت، ولی با موفقیت کمی همراه بود.

یکی از روش‌هایی که برای کاهش ولتاژ مستقیم گرفته شده از خطوط انتقال مورد آزمایش قرار گرفت،

استفاده از ولتاژ برای شارژ کردن باتری‌های سری بود. پس از شارژ شدن باتری‌ها در حالت سری آن‌ها را

در حالت موازی به هم اتصال می دادند و از آنها برای تغذیه بارها استفاده می کردند. با این حال از این روش

فقط در دو طرح انتقال استفاده شد چراکه این روش به دلیل محدودیت ظرفیت باتری‌ها، مشکلات مربوط

به تغییر وضعیت باتری‌ها از سری به موازی و پسماند انرژی در هر سیکل شارژ و دشارژ در باتری‌ها اصلاً

اقتصادی نبود.

در طول سال‌های ۱۹۲۰ تا ۱۹۴۰ رفته رفته امکان استفاده از شبکه‌های کنترل شده به وسیله لامپ‌های قوس جیوه فراهم آمد. در ۱۹۴۱ در یک شبکه ۶۰ مگاوات به طول ۱۱۵ کیلومتر از لامپ‌های جیوه استفاده شد.

این شبکه که یک شبکه کابلی برای تغذیه شهر برلین بود هرگز به بهره‌برداری نرسید چراکه در ۱۹۴۵ با فروپاشی آلمان فاشیستی طرح نیمه‌کاره رها شد. توجیه استفاده از خطوط زیرزمینی دیده نشدن آنها در حملات هوایی بود. با پایان یافتن جنگ جهانی دوم این طرح توجیه نظامی خود را از دست داد، تجهیزات و تأسیسات طرح نیز به شوروی برده شد و در آنجا مورد استفاده قرار گرفت.

مزایا

بزرگ‌ترین مزیت سیستم جریان مستقیم، امکان انتقال مقدار زیادی انرژی در مسافت‌های زیاد است و با تلفات کمتر (در مقیسه با روش انتقال DC) است. بدین ترتیب امکان استفاده از منابع و نیروگاه‌های دور افتاده مخصوصاً در سرزمین‌های پهناور به وجود می‌آید.

برخی از شرایطی که استفاده از سیستم HVDC به‌صرفه‌تر از انتقال AC است عبارت‌اند از: کابل‌های زیرآبی، به ویژه زمانی که به علت بالا بودن میزان توان خازنی، (capacitance) تلفات در سیستم AC بیش از حد زیاد می‌شود. (برای مثال شبکه کابلی دریای بالتیک به طول ۲۵۰ کیلومتر بین آلمان و سوئد) انتقال در مسافت‌های طولانی و در مکان‌های بن‌بست به طوری که در یک مسیر طولانی شبکه فاقد هیچگونه اتصال به مصرف‌کننده‌ها یا دیگر تولیدکننده‌ها باشد. افزایش ظرفیت شبکه‌ای که به علت برخی ملاحظات امکان افزایش سیم در آن پر هزینه یا غیر ممکن است.

اتصال دو شبکه AC ناهماهنگ که در حالت AC امکان برقراری اتصال در آنها وجود ندارد کاهش دادن سطح مقطع سیم مصرفی و همچنین دیگر تجهیزات لازم برای برپا کردن یک شبکه انتقال در یک توان مشخص اتصال نیروگاه‌های دور افتاده مانند سد‌ها به شبکه الکتریکی.

۵. گاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق آزمایشگاه پروژه برق دانشگاه زنجان

خطوط طولانی زیرآبی دارای ظرفیت خازنی زیادی هستند. در سیستم DC این ظرفیت خازنی تأثیر انباشته‌ای بر روی عملکرد شبکه دارد اما از انجایی که در مدارهای AC خازن در مدار تقریباً به صورت یک مقاومت عمل می‌کند ظرفیت خازنی در خطوط زیرآبی موجب ایجاد شدن تلفات اضافی در مدار می‌شود و این استفاده از جریان DC را رد خطوط زیر آبی به صرفه می‌کند.

در حالت کلی نیز جریان DC قادر به جابجایی توان بیشتری نسبت به جریان AC است چراکه ولتاژ ثابت در DC از ولتاژ پیک در AC کمتر است و بدین ترتیب نیاز به استفاده از عایق‌بندی کمتر و همچنین فاصله

کمتر در بین هادی‌ها است، که این عمر موجب سبک شدن هادی و کابل و همچنین امکان استفاده از هادی‌های بیشتر در یک محیط مشخص می‌شود و همچنین هزینه انتقال به صورت DC کاهش می‌یابد.

افزایش ثبات شبکه

از آنجایی که سیستم HVDC به دو شبکه ناهم‌انگ AC امکان می‌دهد تا بهم اتصال یابند، این سیستم می‌تواند موجب افزایش ثبات در شبکه شود و از ایجاد پدیده‌ای به نام آبشار خطاها (Cascading failure)،

جلوگیری کند. این پدیده زمانی به وجود می‌آید که به علت بروز خطا در قسمتی از شبکه کل یا قسمتی از آن بار این بخش به بخش دیگری انتقال داده می‌شود و این بار اضافه موجب ایجاد خطا در قسمت دیگر شده

و یا این بخش را در خطر قرار می‌دهد که به این ترتیب بار این بخش هم به قسمت دیگری انتقال داده می‌شود و این حالت ادامه پیدا می‌کند. مزیت شبکه HVDC در این است که تغییرات در بار که موجب

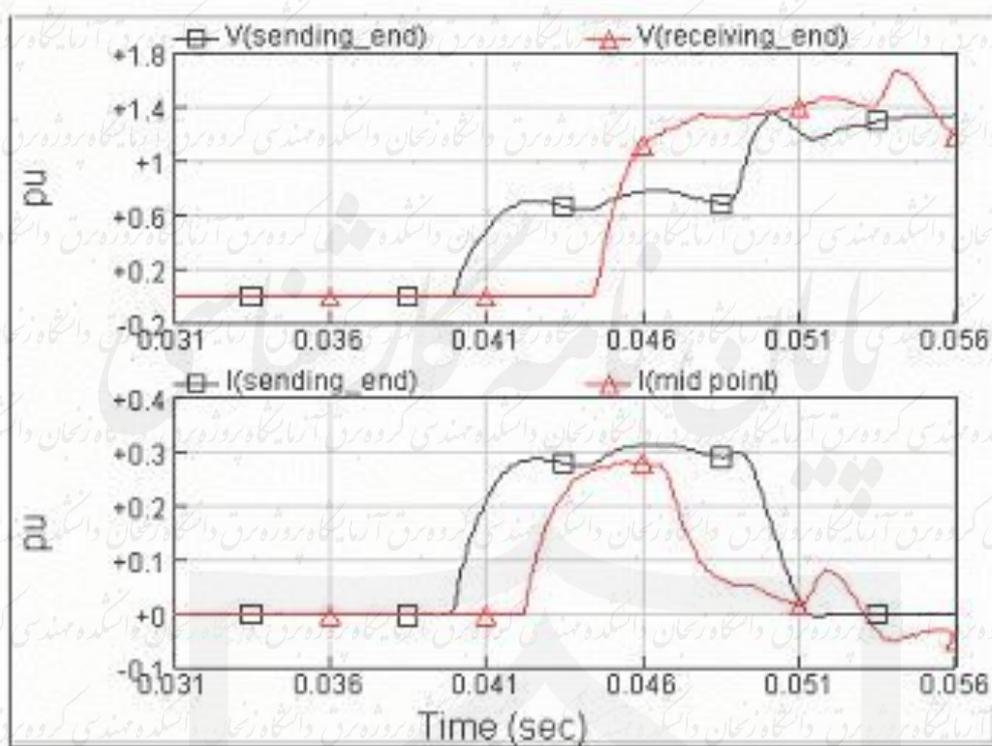
ناهماهنگی در شبکه‌های AC می‌شود تأثیرات مشابهی را بر روی شبکه HVDC نمی‌گذارد، چراکه توان و مسیر جاری شدن آن در سیستم HVDC قابل کنترل است و در صورت نیاز قابلیت کنترل اضافه بار در شبکه AC

را دارد. این یکی از دلایل مهم تمایل برای ساخت این گونه شبکه‌هاست. در این زمینه، پژوهش‌های انجام شده در زمینه HVDC در سال ۱۹۶۰ میلادی، تأثیرات مثبتی بر روی سیستم‌های انتقال توان داشته است.

پژوهش‌های انجام شده در زمینه HVDC در سال ۱۹۶۰ میلادی، تأثیرات مثبتی بر روی سیستم‌های انتقال توان داشته است. در این زمینه، پژوهش‌های انجام شده در زمینه HVDC در سال ۱۹۶۰ میلادی، تأثیرات مثبتی بر روی سیستم‌های انتقال توان داشته است.

دانشجویان محترم:

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



شکل (۳-۱۴) : شکل موج ولتاژ و جریان در خط DC در شرایط راه اندازی کنترل شده

نتیجه گیری

۱- در اضافه ولتاژ نوع AC امپدانس های سیستم، اعم از خط انتقال، پایانه ها و فرکانس تشدید سیستم کلی و مخصوصا عملکرد سیستم کنترل جریان از اهمیت اساسی برخوردار است. نوسانات ولتاژ و جریان در این حالت با فرکانس سیستم قدرت صورت می گیرد، بنابراین عملکرد سیستم های کنترلی روی دامنه

اضافه ولتاژها، حتی در شرایطی که فرکانس تشدید خط به فرکانس قدرت نزدیک باشد، تعیین کننده

است.

۲- سخت ترین اضافه ولتاژ نوع AC در شرایط اینورتر بلوکه شده و پس از صفر شدن جریان اینورتر رخ

می دهد. البته این حالت در شرایطی بوجود می آید که طول خط انتقال کوتاه بوده و اندوکتانس های سیستم

از جمله اندوکتانس راکتور هموارساز کم باشد، زیرا در غیر این صورت و در شرایطی که سرعت کنترل

۸۷ گاه پروژه برق دانشگاه زنجان دانشکده مهندسی گروه برق

[3] علی فارسی، حسن رستگار، گئورگ قره‌پتیان "معرفی سیستم HVDC Light

بعنوان یک آلترناتیو اقتصادی در شبکه‌های توزیع" هفتمین کنفرانس سیستم‌های توزیع

نیروی برق تهران - ایران اردیبهشت ۱۳۷۹

[4] D.J.Melvold, P.G.Odam, J.J.Vithayatil, "Transient

Overvoltages on an HVDC Bipolar Line during Monopolar

Line Faults", IEEE Trans.on Power Apparatus and Systems,

PAS -96, No.2, pp.591-601, March/April 1977.

[5] N.C.Hingorani, "Transient Overvoltage on a Bipolar

HVDC Overhead Line Caused by DC Line Faults", IEEE

Transaction on Power Apparatus and System, Vol.PAS-

89, No.4, pp.592-602, April 1970

[6] E.W.Kimbark, "Transient Overvoltage Caused by

Monopolar Ground Fault on Bipolar DC Line, Theory and

Simulation", IEEE Transaction on Power Apparatus and

System, Vol.PAS- 89, No.4, pp. 584-592, April 1970

[7] E.W.Kimbark, Direct Current Transmission, Wiley-

Interscience, 1971