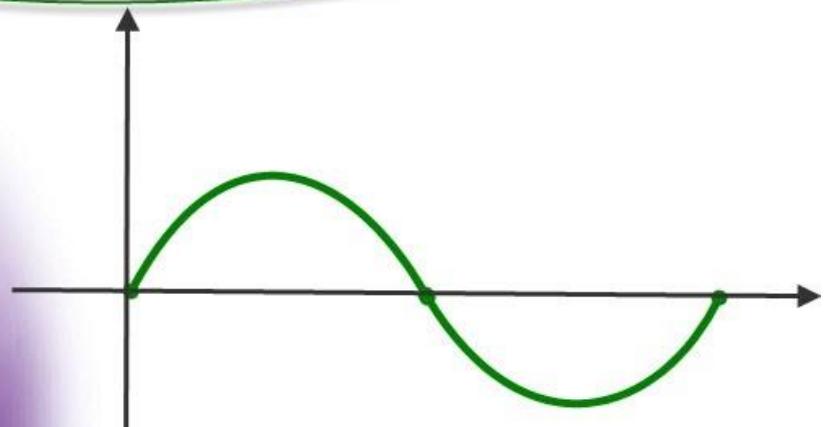


برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



برای دریافت فایل word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

موضوع پروژه:

بررسی اضافه و لتاز در شبکه های توزیع



برای خرید فایل word این پروژه [اینجا کلیک کنید](#).

( شماره پروژه = ۴۲۴ )

پشتیبانی: ۰۹۳۵۵۴۰۵۹۸۶

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

# فصل اول

اضافه ولتاژهای گذرای ناشی از

برخورد صاعقه به خطوط هوایی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

## ۱-۱ مقدمه

در اثر برخورد امواج صاعقه به خطوط هوایی شبکه های توزیع شاهد بوجود آمدن امواج ضربه ای و انتشار آنها در انتشار آنها در هادیها می باشیم که اضافه ولتاژهای گذرا را در آنها ایجاد می نمایند لذا تبدیل خطوط هوایی با کابل های زمینی ، اضافه ولتاژهای تولید شده به کابلها نیز انتقال داده می یابند . از آنجایی که اضافه ولتاژها می توانند موجب آسیب دیدن عایق کابلها شوند ، بایستی با استفاده از نصب برقگیر در محل های مناسب در شبکه توزیع از نفوذ اضافه ولتاژهای با دامنه های شدید به کابل های توزیع جلوگیری گردد . در این جا به بررسی اثرات نصب برقگیرها در ابتدا ، انتها و وسط کابل پرداخته و ماکزیمم ولتاژ تولید شده در کابل در هر یک از این حالات مورد بررسی قرار می دهیم . در این بررسی ، شکل موج جریان ضربه ، خاصیت اندوکتانسی برقگیر ، ولتاژ سیستم و امپدانس موجی خطوط هوایی و کابل های زمینی مد نظر قرار دارند . در انتها نیز شبیه سازیهای انجام گرفته توسط نرم افزار ATP-EMTP برای بررسی حالات گذرای برخورد صاعقه به خطوط هوایی و انتشار آنها در کابل های متصل در شبکه های توزیع دارای برقگیر و بدون آنها آورده شده است . همچنین نتایج بررسی های انجام شده در مورد دامنه اضافه ولتاژهای گذرا و اثرات آنها در دو نوع کابل متفاوت TR-XLPE و EPR مورد مقایسه قرار می گیرد .

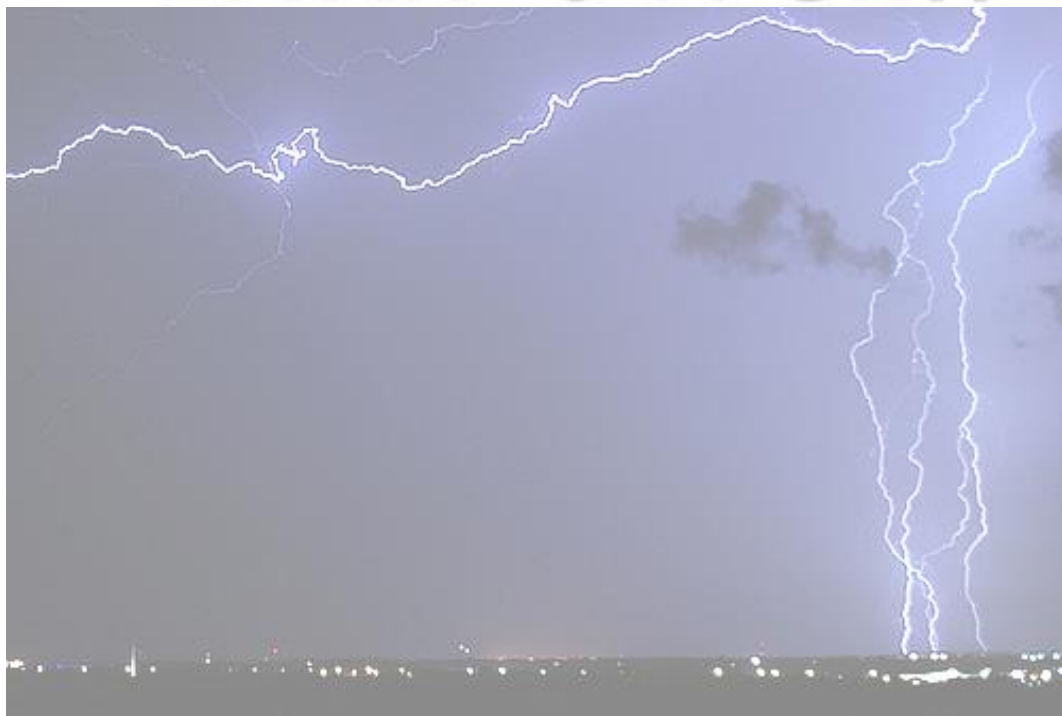


در اثر برخورد امواج صاعقه و یا حتی بروز آن در مجاورت خطوط هوایی شبکه های توزیع ، امواج ضربه ای در هادی های خطوط هوایی شبکه ایجاد و بسرعت منتشر می شوند که این امواج ضربه

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

ای تولید اضافه ولتاژهای گذرا را در خطوط هوایی نموده و بدلیل اتصال خطوط هوایی با کابلهای زمینی ، در طول کابلها نیز منتقل می شوند . با گذشت مدت زمان کاربری کابلها بتدریج از مقاومت الکتریکی عایقهای آنها کاسته شده و اضافه ولتاژهای با دامنه کافی می توانند منجر به شکستگی عایق کابل گردند و از اینرو محافظت کابلها در شبکه توزیع در مقابل پدیده صاعقه بسیار ضروری است . اگر صاعقه برخوردی به خط هوایی در فاصله نزدیکی نسبت به محل اتصال آن با کابل باشد آنگاه دامنه اضافه ولتاژهای ایجاد شده در کابل بسیار بیشتر از سطح ایزولا سیون اصلی کابل می گردد مگر آنکه توسط برقگیرها محافظت بیشتری از کابلها در مقابل اضافه ولتاژ ناشی از صاعقه صورت گیرد .

لذا برای افزایش قابلیت اطمینان سیستم بایستی با استفاده مناسب از برقگیرها در شبکه توزیع ، سطح محافظتی کابلها را در مقابل اضافه ولتاژهای شدید افزایش داده تا از بروز عیب در سیستم جلوگیری گردد بطوری که در صورت استفاده از برقگیرها در چندین نقطه میتوان دامنه اضافه ولتاژها را در شبکه کابل تا حد زیادی کاهش داد . در این مقاله ابتدا به بررسی تئوری پدید برخورد صاعقه به خطوط هوایی و انتشار و انعکاس امواج ضربه ای در کابلها و خطوط هوایی شبکه توزیع می پردازیم و ماکزیمم دامنه اضافه ولتاژهای ایجاد شده در کابل را مورد بررسی قرار می دهیم . آنگاه با معرفی پارامتر طول بحرانی کابل و استفاده از برقگیرها در ابتدا ، انتها و وسط کابل شبکه توزیع مجدداً دامنه اضافه ولتاژهای ایجاد شده را محاسبه می کنیم .



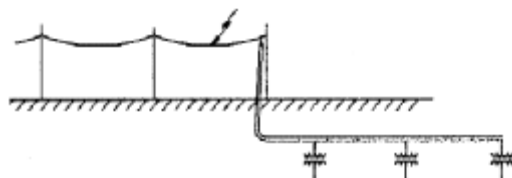
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

در این بررسی ، شکل موج جریان ضربه ، خاصیت اندوکتانسی برقیگیر و ولتاژ سیستم بعنوان پارامترهای اس

اسی بر دامنه اضافه ولتاژهای کابلها مدنظر قرار داشته و تحلیل های انجام شده بر اساس این پارامترها استوار است . در انتها نیز شبیه سازی های انجام گرفته توسط نرم افزار ATP-EMTP برای بررسی حالات گذرای برخورد صاعقه به خطوط هوایی و انتشار آنها در کابلهای متصل در شبکه های توزیع دارای برقیگیر و بدون آنها آورده شده و همچنین نتایج مقایسه دامنه اضافه ولتاژهای گذرا و اثرات آنها در دو نوع کابل متفاوت TR-XLPE و EPR آورده شده است .

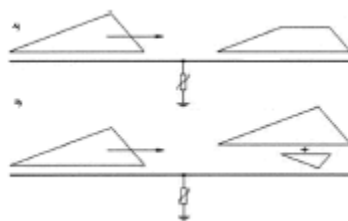
## ۱-۲ بررسی تحلیلی پدیده اضافه ولتاژها در شبکه توزیع

تصویر شماتیک قسمتی از یک شبکه توزیع دارای خطوط هوایی و کابلهای متصل بهم در شکل ۱-۱ دیده می شود . در ابتدا می توان مدار را بصورت المانهای کاملاً ایده آل تصور نمود که در هنگام عبور موج دارای اضافه ولتاژ ، در صورت افزایش ولتاژ ، در صورت افزایش ولتاژ در محل برقیگیر از حد متعارف ، برقیگیر عمل کرده و اضافه ولتاژ را به زمین منتقل می کند و موج ولتاژ عبور داده شده از حد متعارف تجاوز نمی کند اما در حالت عملی بدلیل وجود انعکاس موج در آن نقطه شاهد وجود مجموع دو موج اصلی اضافه ولتاژ و انعکاس آن هستیم که موج بریده شده را نتیجه می دهند که این موضوع در شکل ۱-۲ دیده می شود .



شکل ۱-۱ تصویر شماتیک یک شبکه توزیع

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

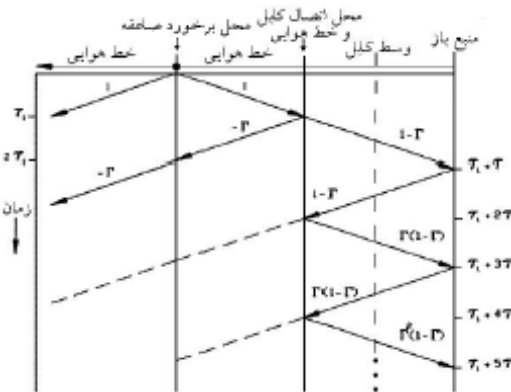


شکل ۱-۲ رفتار برقگیر در زمان اضافه ولتاژ، حالت تئوری (بالا)، واقعی (پایین)

برای بررسی و تحلیل ساده تر پدیده انتشار اضافه ولتاژهای ناشی از برخورد صاعقه در کابل های شبکه توزیع ابتدا موج ضربه را ترکیبی از دو موج شیب صعودی و نزولی در نظر می گیریم سپس بررسی این مسائل با پیچیدگی بیشتر ولی تئوری یکسان برای موج ضربه اکسپانسیلی قابل تعمیم است.

با فرض موج صاعقه بصورت موجی با دو شیب صعودی و نزولی و با استفاده از پدیده انتشار و انعکاس امواج در محل اتصال برقگیر، خط هوایی و کابل زیرزمینی بدلیل تغییر امپدانس و استفاده از دیاگرام لاتیس به بررسی این پدیده می پردازیم. در هنگام برخورد صاعقه به خط هوایی، امواج صاعقه با شکل موجهای مفروض در دو سمت خط هوایی شروع به انتشار می کنند. با رسیدن موج صاعقه به محل برقگیر قسمتی از موج منتقل و قسمت دیگر منعکس می گردد. موج منعکس شده پس از بازگشت به محل ترمینال خط که مانند یک منبع باز می باشد بدون تغییر علامت بطرف برقگیر منعکس می گردد که مجدداً در محل برقگیر امواج انتشار و انعکاس جدیدی را بوجود می آورد. با فرض دامنه اضافه ولتاژ موج اصلی صاعقه در محل برقگیر  $S_V$  و ضریب انعکاس موج در آنجا  $\beta = \frac{Z_c - Z_l}{Z_c + Z_l}$  که در آن  $Z_c$  امپدانس موجی کابل و  $Z_l$  امپدانس موجی خط هوایی می باشند و از آنجایی که  $Z_c < Z_l$  است لذا موج منعکس شده برای این حالت است در صورتی که ولتاژ دو سر برقگیر کمتر از ولتاژ تخلیه آن باشد، در شکل ۱-۳ دیده می شود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۱-۳ دیاگرام لاتیس انتشار و انعکاس امواج ضربه اضافه ولتاژ

تحلیل دقیقتر این موضوع اطلاعاتی در مورد اضافه ولتاژها در ترمینال باز و وسط کابل را بیان می کند. حال اگر فرض شود طول کابل بگونه است که ولتاژ دو سر برقیگیر قبل از آنکه اولین انعکاس موج از ترمینال باز به محل برقیگیر برسد برابر ولتاژ تخلیه آن گردد، آنگاه زمان لازم برای برابر شدن ولتاژ تخلیه برقیگیر با ولتاژ دو سر آن از رابطه ۱-۱ بدست می آید.

$$V_{dis} = S_V (1 - \Gamma) t_r \quad (1-1)$$

با فرض زمان طی موج در کابل برابر  $\tau$  آنگاه طول بحرانی کابل  $l_{cr} = 2\tau$  از رابطه (۱-۲) بدست می آید که در آن  $v$  سرعت انتقال موج در کابل می باشد.

$$l_{cr} = 2\tau = \frac{V_{dis}}{2S_V (1 - \Gamma)} v \quad (1-2)$$

برای کابلی با طول بزرگتر یا مساوی طول بحرانی، ماکزیمم ولتاژ در ترمینال منبع باز دو برابر ولتاژ تخلیه برقیگیر خواهد بود مثلاً با فرض امپدانس کابل برابر ۵۰ اهم و امپدانس خط هوایی برابر ۳۵۰ اهم، ولتاژ تخلیه برقیگیر در محل آن ۱۰۰ کیلوولت و با فرض شیب جریان صاعقه برابر  $S_i = 10 \text{ KA}/\mu\text{s}$  آنگاه شیب موج ولتاژ صاعقه  $S_V = \frac{S_i}{2} Z_i$  می باشد و در نتیجه طول بحرانی کابل برابر ۱۷ متر می گردد.

با فرض ولتاژ تخلیه یکسان برای تمامی برقیگیرها و کابلی با طول بحرانی، آنگاه در زمانی که اولین موج انعکاسی از منبع باز به محل برقیگیر می رسد ولتاژ دو سر برقیگیر برابر ولتاژ تخلیه آن بوده و از رابطه ۱-۳ بدست می آید.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$V_{rp} = S_v(1-\Gamma)2\tau \quad (1-3)$$

از آنجایی که ضریب انعکاس منبع باز یک است لذا با انعکاس موج در سمت منبع باز اندازه ولتاژ آن دو برابر ولتاژ محل برقیگیر متصل به کابل بوده و در نتیجه ولتاژ دو سر برقیگیر متصل به کابل بوده و در نتیجه ولتاژ دو سر برقیگیر در ترمینال منبع باز در نصف زمان لازم برای برقیگیر محل اتصال کابل زمینی و خط هوایی برابر ولتاژ تخلیه آن می گردد که اندازه این ولتاژ از رابطه (۱-۴) بدست می آید .

$$V_{op} = 2S_v(1-\Gamma)\tau \quad (1-4)$$

لذا برقیگیر در محل اتصال کابل با خط هوایی دارای دامنه اضافه ولتاژ  $S_v$  و زمان رسیدن موج  $2\tau$  ولی برقیگیر موجود در ترمینال منبع باز دارای دامنه اضافه ولتاژ  $2S_v$  و زمان رسیدن موج  $\tau$  می باشد ولی در حالت کلی ولتاژ تخلیه دو برقیگیر با هم برابر است .

ماکزیمم ولتاژ در فاصله یکسان از دو انتهای کابل براحتی قابل محاسبه است زیرا در این نقطه ولتاژ اولیه  $S_v(1-\Gamma)$  در زمان  $\tau$  وجود دارد و سپس موج انعکاس یافته از طرف منبع بار مجدداً به سمت آن بازگشته و با آن جمع می شود . پس از مدت زمان تاخیر  $\tau$  امواج منعکس شده از طرف منبع باز مجدداً به سمت آن بازگشته و با آن جمع می گردند . پس از مدت  $\tau$  موجهای معکوس از دو سمت به این محل آمده و در نتیجه ماکزیمم ولتاژ این نقطه از رابطه ۵ بدست می آید که  $1/5$  برابر ولتاژ تخلیه برقیگیر می باشد و با افزایش طول کابل به بیش از طول بحرانی ، اندازه آن ثابت می ماند .

$$V_{max} = S_v(1-\Gamma)\tau + 2S_v(1-\Gamma)\tau = 3S_v(1-\Gamma)\tau \quad (1-5)$$

در صورت استفاد از یک برقیگیر دیگر در وسط کابل با فرض ولتاژ تخلیه یکسان برای تمامی برقیگیرها می توان به نتایج زیر دست یافت :

ولتاژ دو سر برقیگیر وسط کابل قبل از رسیدن اولین موج منعکس شده از طرف منبع باز برابر ولتاژ تخلیه آن می شود .

ولتاژ برقیگیر وسط و طرف منبع بار همزمان در لحظه ای که ولتاژ منعکس شده از طرف منبع باز به محل برقیگیر وسط کابل می رسد برابر ولتاژ تخلیه خود می گردند .

ماکزیمم ولتاژ در طرف اول هیچگاه بیشتر از ولتاژ تخلیه برقیگیرها نمی شود ، در صورتی که ولتاژ طرف دوم تا  $1/5$  برابر ولتاژ تخلیه برقیگیر بالغ می گردد .

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

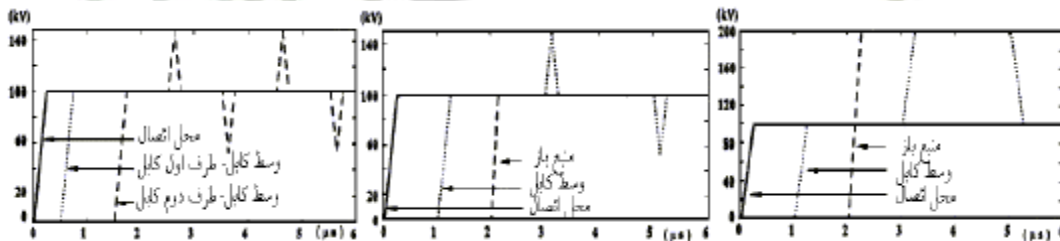
از این نتایج می توان در یافت طرف دوم دارای طول کمتری از طول بحرانی و در نتیجه ولتاژ بیشتری است زیرا موج در زمان کمتری نسبت به قسمت دیگر به آن می رسد. با فرض زمان طی موج در قسمت دوم برابر  $\tau_2$  و با فرض ولتاژ ماکزیمم در طرف اول برابر  $V_{dis} S_v (1-\Gamma) 2\tau_2 + 2S_v (1-\Gamma) t_r$  آنگاه داریم:

$$V_{max1} = V_{dis} + S_v (1-\Gamma) t_r \quad (1-6)$$

$$t_r = \frac{V_{dis}}{2S_v (1-\Gamma)} - \tau_2 \quad (1-7)$$

$$V_{max1} = 1.5V_{dis} - S_v (1-\Gamma) \tau_2 \quad (1-8)$$

نتایج بررسی های نشان می دهند که ماکزیمم ولتاژ هیچگاه به بیش از ۱/۵ برابر ولتاژ تخلیه برقی نمی گردد و با فرض طول کابل قسمت دوم کوتاهتر از طول بحرانی کابل ( $\tau_2 v < l_{cr}$ ) آنگاه ولتاژ هر دو طرف کابل کمتر از ۱/۵ برابر ولتاژ تخلیه برقی خواهد شد. تصویر شماتیک اثرات محافظتی برقیهای نصب شده در محل اتصال کابل و خط هوایی، منبع باز و وسط کابل در مقابل امواج ضربه ناشی از برخورد صاعقه به خطوط هوایی در شبکه توزیع در شکل ۴-۱ دیده می شود.

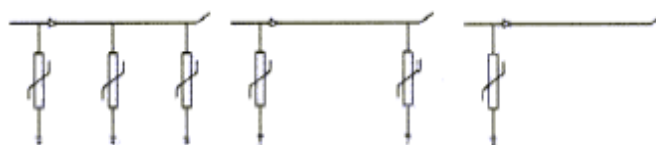


شکل ۴-۱ اثر حفاظتی برقیهای نصب شده در شبکه های توزیع در محل های فقط محل اتصال خط هوایی و کابل (راست)، در محل های اتصال و طرف منبع باز (وسط)، در محل های اتصال، منبع باز و وسط کابل (چپ)

از بحثهای بالا می توان به این نتیجه رسید که در صورت استفاده از فقط یک برقیگر در محل اتصال خط هوایی و کابل ولتاژ ماکزیمم به دو برابر ولتاژ تخلیه برقیگر می رسد در حالی که در صورت استفاده از یک برقیگر دیگر در طرف منبع باز، ولتاژ ماکزیمم به ۱/۵ برابر ولتاژ تخلیه محدود می گردد و

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

اگر از یک برقگیر دیگر در وسط کابل استفاده گردد و طول قسمت دوم کابل بلندتر از طول بحرانی باشد ، ولتاژ ماکزیمم به ۱/۵ برابر ولتاژ تخلیه برقگیر می رسد در شکل ۵-۱ نیز تصویر شماتیک سه حالت مختلف قرار گرفتن برقگیرهای مورد بحث فوق در محل اتصال کابل و خط هوایی در ابتدای کابل ، در وسط کابل و در انتهای کابل به عنوان منبع باز در شبکه های توزیع دیده می شود .



شکل ۵-۱ محل برقگیرهای نصب شده در شبکه های توزیع در محل اتصال خط هوایی و کابل (راست) ، در محل های اتصال و طرف منبع باز (وسط) ، در محل اتصال ، منبع باز و وسط کابل (چپ)

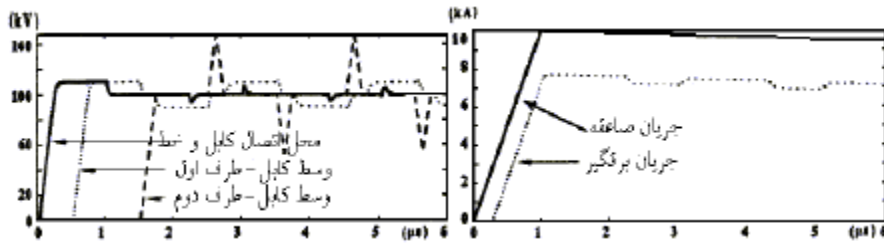
### ۳-۱ بررسی اثر خاصیت اندوکتانسی برقگیر

در هنگام تخلیه جریانهای صاعقه از طریق برقگیر به زمین ، برقگیر موجب ایجاد ولتاژهایی می شود که بایستی به اندازه ولتاژ دو سر برقگیر اضافه گردند . از اینرو برقگیرها را می توان همانند اندوکتانس معادل نمود که با این کار اندازه ولتاژ اضافه شده برابر  $L \frac{di}{dt}$  می باشد ، آنگاه با در نظر گرفتن فاصله برقگیر تا انتهای خط و تجهیزات محافظت شده ، اندازه اندوکتانس مورد نظر برابر  $L = 0.4 \frac{\mu H}{ft}$  در نظر گرفته می شود . لذا اندازه ولتاژ دو سر برقگیر از رابطه ۹-۱ بدست می آید .

$$V = V_{dis} + L \frac{di}{dt} \quad (1-9)$$

این مقدار ولتاژ تا زمان رسیدن جریان تخلیه به ماکزیمم مقدار خود ثابت باقی مانده و سپس به مقدار ولتاژ تخلیه کاهش می یابد . در شکل ۶-۱ تاثیر اضافه شدن ولتاژهای ناشی از اندوکتانس برقگیر به مدار دیده می شود .

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۶-۱ اثر خاصیت اندوکتانسی برقگیر در دامنه اضافه ولتاژها در جریان و ولتاژ کابل

بررسی کامل پدیده انتشار امواج اضافه ولتاژ در کابلهای شبکه توزیع دارای برقگیر در محل های مختلف با مدنظر قرار دادن طول بحرانی کابل و مقادیر محاسبه شده بسیار پیچیده خواهد بود. دلایل زیر سبب می گردند تا تحلیلهای واقعی به راحتی قابل انجام نباشند:

در صورت کوتاهتر بودن طول کابل از طول بحرانی آن، موج منعکس شده که به محل برقگیر می رسد دارای دامنه کمتری نسبت به ولتاژ تخلیه برقگیر می باشد.

حتی در صورت بلندتر بودن طول کابل از طول بحرانی آن، ممکن است موج منعکس شده قبل از آنکه ولتاژ دو سر برقگیر به اندازه ولتاژ تخلیه کاهش یابد به آن برسد و در آن صورت رابطه ۹-۱ صحیح نخواهد بود.

حتی اگر طول کابل بسیار بلندتر از طول بحرانی آن باشد، ولتاژ دو سر برقگیر بیشتر از مقدار محاسبه شده در رابطه ۹-۱ خواهد بود، هر چند که این مقدار بیشترین اندازه ولتاژ در کابل نمی باشد.

اگر کابل توسط سه برقگیر محافظت شود و طول قسمت ثانویه کمتر از طول بحرانی کابل باشد، آنگاه ماکزیمم ولتاژ طرف اول کابل بیشتر از مقدار محاسبه شده در رابطه ۹-۱ خواهد بود.

#### ۴-۱ بررسی اثر ولتاژ سیستم

با در نظر گرفتن ولتاژ سیستم در لحظه برخورد صاعقه به خط هوایی، اندازه ولتاژ دو سر برقگیر از رابطه ۱۰-۱ بدست می آید که در آن  $V_{sys}$  ولتاژ سیستم در لحظه برخورد صاعقه است که می تواند مقداری مثبت یا منفی باشد.

$$V = V_{sys} + V_{dis} + L \frac{di}{dt} \quad (1-10)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

حال اگر تنها یک برقگیر در محل اتصال خط هوایی و کابل زمینی وجود داشته باشد، آنگاه ولتاژ در طرف منبع باز از رابطه ۱۱ حاصل می شود که دو برابر ولتاژ محل برخورد صاعقه است.

$$V = 2 \left( V_{sys} + V_{dis} + L \frac{di}{dt} \right) \pm V_{sys} \quad (1-11)$$

اگر از یک برقگیر دیگر نیز در ترمینال منبع باز استفاده شده باشد، آنگاه اندازه ولتاژ دو سر برقگیر از رابطه ۱۲ بدست می آید.

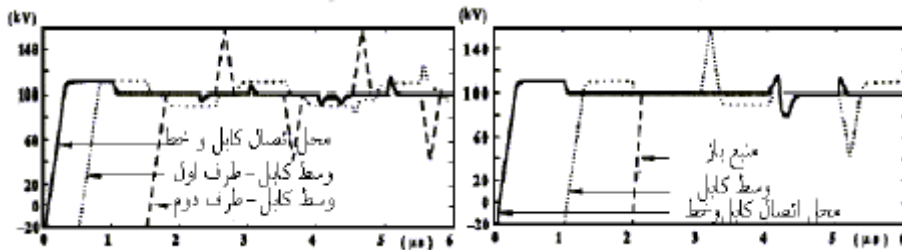
$$V = 1.5(V_{sys} + V_{dis}) + L \frac{di}{dt} \pm V_{sys} \quad (1-12)$$

در صورت استفاده از یک برقگیر دیگر در وسط کابل، آنگاه ماکزیمم ولتاژ در طرف اول و دوم کابل از روابط ۱۳-۱ و ۱۴-۱ حاصل می شوند.

$$V = \left( V_{sys} + V_{dis} + L \frac{di}{dt} \right) \pm V_{sys} \quad (1-13)$$

$$V = 1.5V_{dis} \quad (1-14)$$

در شکل ۷-۱ تاثیر اضافه شدن ولتاژ سیستم به دامنه اضافه ولتاژهای کابلهای شبکه توزیع در محل نصب برقگیرها دیده می شود.

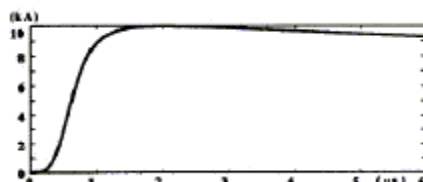


شکل ۷-۱ اثرات حفاظتی برقگیرهای شبکه توزیع در برابر اضافه ولتاژها با مد نظر قرار دادن خاصیت اندوکتانسی برقگیر و ولتاژ سیستم نصب شده در ابتدا، وسط و انتهای کابل (راست)، ابتدا و وسط کابل (چپ)

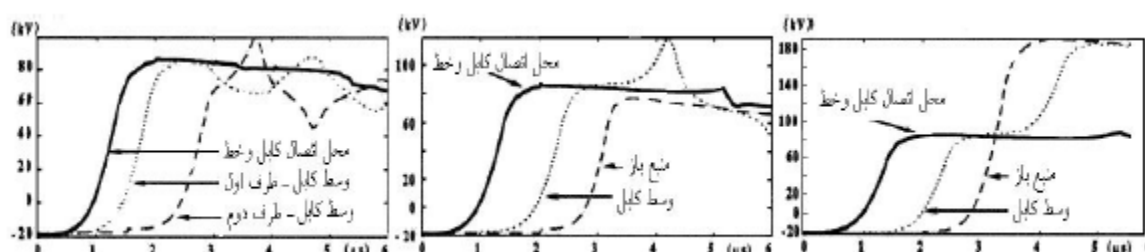
از آنجایی که موج شیب دقیقاً مشخصات اضافه ولتاژهای ناشی از امواج صاعقه را ندارد لذا اگر در شبیه سازیها از امواج صاعقه دقیقتر استفاده گردد که تصویر شماتیک آن در شکل ۸-۱ دیده می شود، تحلیل شبکه بدلیل پیچیده بودن رابطه فیزیکی آن مشکل خواهد بود. در این حالت نیز می توان از تعریف طول بحرانی با مد نظر قرار دادن شیب افزایشده موج صاعقه در تحلیلها استفاده نمود. نتایج

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

بررسی و شبیه سازیهای اثر حفاظتی برقگیرهای نصب شده در سه محل ابتدا ، وسط و انتهای کابلهای شبکه توزیع متصل به خطوط هوایی در مقابل امواج صاعقه با مشخصات اکسپانسیلی در شکل ۹-۱ دیده می شود .



شکل ۸-۱ تصویر شماتیک موج صاعقه واقعی بصورت تابع اکسپانسیلی



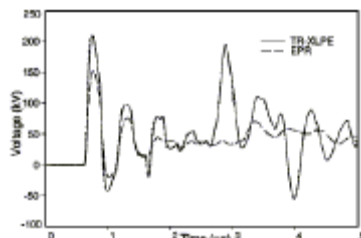
شکل ۹-۱ اثر حفاظتی برقگیرهای نصب شده در شبکه های توزیع در محل های فقط محل اتصال خط هوایی و کابل (راست) ، در محل های اتصال و طرف منبع باز (وسط) ، در محل های اتصال ، منبع باز و وسط کابل (چپ)

#### ۵-۱ مقایسه اثرات اضافه ولتاژها در کابل های TR-XLPE و EPR

دو نوع پرمصرف کابل های بکار رفته در شبکه های توزیع نیروی برق بصورت TR-XLPE و EPR می باشند . بررسی های انجام گرفته در مورد اضافه ولتاژهای انتقال یافته در اثر برخورد صاعقه به خطوط هوایی شبکه توزیع نشان دهنده این واقعیت هستند که کابل های EPR در مقایسه با انواع TR-XLPE دارای دامنه کمتری در خروجی کابل می باشند و لذا اضافه ولتاژهای جاری به سمت ترانس از کابل می تواند تاثیر مخرب کمتری بر عایق بندی و سیم پیچهای آن ایجاد نماید . در شکل ۱۰-۱ تصویر شماتیک اضافه

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

ولتاژهای خروجی کابل در یک سیستم مفروض با دو نوع کابل فوق دیده می شود که تاییدی بر این واقعیت می باشد .



شکل ۱۰-۱ مقایسه دامنه اضافه ولتاژهای خروجی کابل های TR-XLPE و EPR

علت وجود چنین کاهش در دامنه اضافه ولتاژهای گذرا از کابل های TR-XLPE و EPR را می توان در خواص دی الکتریک این کابلها و مشخصه آنها در عبور ولتاژ و جریانهایی با فرکانس بسیار بالا و نزدیک به فرکانس امواج صاعقه جستجو کرد . با توجه به آنکه هم اکنون از کابل های TR-XLPE برای اتصال بین خطوط هوایی و ترانسها در شبکه های توزیع استفاده می گردد ، لذا پیشنهاد می شود با جایگزینی کابل های TR-XLPE با انواع EPR از گسترش اضافه ولتاژهای ایجاد شده در هادیهای خطوط هوایی که بیشتر ناشی از برخورد صاعقه به این خطوط می باشد به ترانسهای توزیع ، محافظت بیشتری را برای آنها ایجاد نمود .

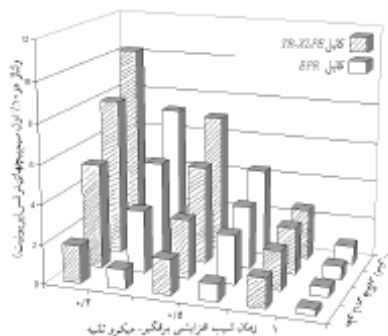
همچنین با کاهش زمان سبب افزایش موج جریان صاعقه و همچنین افزایش طول برقگیر شاهد افزایش دامنه اضافه ولتاژها در خروجی کابلها و سیم پیچهای ورودی ترانسهای توزیع هستیم که برای تمامی این حالات دامنه اضافه ولتاژهای عبور داده شده از کابل های EPR بمراتب کمتر از مقادیر مشابه برای کابل های نوع TR-XLPE می باشد .

به عنوان مثال دامنه اضافه ولتاژهای اندازه گیری شده در ۱۰٪ ورودی سیم پیچهای ترانسهای توزیع با مد نظر قرار دادن طول برقگیر و زمان شیب افزایشی جریان صاعقه در شکل ۱۱-۱ دیده می شود .

لازم به توضیح است که با توجه به شرایط فیزیکی غالب در ارتباط با کابل های زمینی خروجی از پستهای فشار قوی با طول متوسط ۵۰ الی ۱۰۰ متر و محل بروز برخورد صاعقه با خطوط هوایی که بیش

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

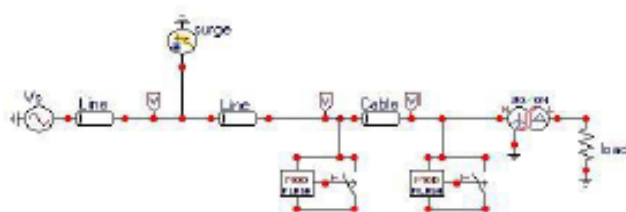
از یک کیلومتر می باشد ، استفاده از کابل های TR-XLPE بدلیل دور بودن محل برخورد صاعقه توان تامین حفاظت مناسبی را برای ترانس دارد ولی این مورد وابسته به زمان پیشانی موج و دامنه و محل برخورد آن به خط هوایی متفاوت خواهد بود .



شکل ۱-۱۱ مقایسه دامنه ولتاژها در ده درصد اول سیم پیچهای متصل به کابل های TR-XLPE و EPR بدلیل اضافه ولتاژهای ناشی برخورد صاعقه به خطوط هوایی و گذر از آن بصورت توابعی از زمان شیب افزایشی جریان صاعقه و طول برقگیر

## ۱-۶ شبیه سازی

در این قسمت برای شبیه سازی حالات گذرای انتشار امواج اضافه ولتاژ ناشی از برخورد صاعقه به خطوط هوایی و انتقال آنها در شبکه توزیع از نرم افزار ATP-EMTP استفاده نموده و این پدیده مورد بررسی قرار می گیرد . شبیه سازی مورد نظر برای شکل ۱-۱ و با انتخاب ولتاژ سیستم برابر ۲۰ کیلوولت ، دامنه جریان صاعقه برابر ۲۵۰ اهم ، امپدانس موجی کابل زمینی برابر ۵۰ اهم ، سرعت انتشار امواج در خط هوایی ۲۵۰۰۰۰ متر بر ثانیه ، سرعت انتشار امواج در مابل برابر ۱۵۰۰۰۰ متر بر ثانیه ، زمان برخورد صاعقه در ثانیه صفر و نیز انتخاب پارامترهای مناسب دیگر برای کابل و خط هوایی متناسب با مقادیر استاندارد بوده و مدار شبیه سازی شده با انتخاب پارامترهای مناسب و نصب برقگیرها در ابتدا و انتهای کابل بصورت شکل ۱-۱۲ دیده می شود .

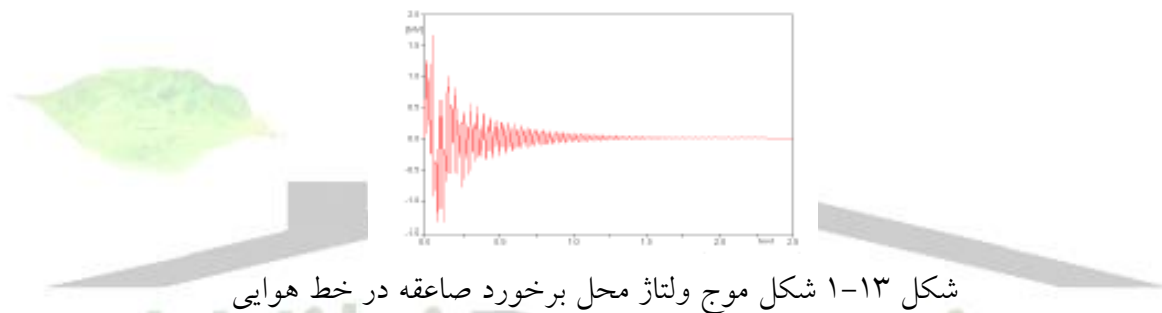




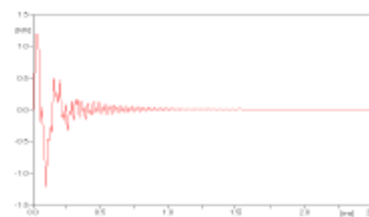
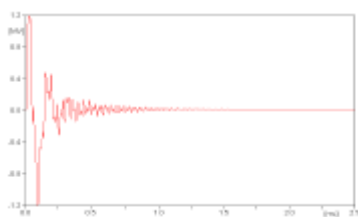
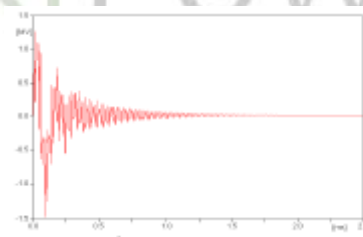
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل ۱-۱۲ مدار شبیه سازی برخورد صاعقه به خطوط هوایی و کابل های زمینی شبکه توزیع به همراه برقگیرهای مربوطه

شکل موج ولتاژ القاء شده در محل برخورد صاعقه در خط هوایی در شکل ۱-۱۳ دیده می شود. شکل موج ولتاژ برای محل برقگیر در روی خط هوایی نیز در شکل ۱-۱۴ دیده می شود. برقگیر با هدایت قسمتی از اضافه ولتاژ به زمین دامنه کمتری از آن را به ابتدای کابل وارد شونده به ترانس می رساند که اندازه و شکل موج آن در شکل ۱۵ (راست) دیده می شود و همانطور که قبلاً بیان شد، کابل نیز اندکی از دامنه اضافه ولتاژ را می کاهد تا موج خروجی ولتاژ کابل به صورت شکل ۱۵ (چپ) مشاهده گردد.



WikiPower.ir



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل ۱-۱۵ موج ولتاژ ورودی کابل (سمت راست) و خروجی کابل (سمت چپ) بدلیل برخورد صاعقه به خط هوایی

#### ۱-۷ نتیجه گیری

در اثر برخورد امواج صاعقه به خطوط هوایی و یا بروز آن در مجاورت شبکه های توزیع شاهد بوجود آمدن امواج ضربه ای و انتشار آنها در هادیهای خطوط هوایی هستیم که تولید اضافه ولتاژهای گذرا را در آنها تولید می نمایند. بدلیل اتصال خطوط هوایی با کابلهای زمینی، اضافه ولتاژهای تولید شده به کابلها نیز منتقل می گردند که می توانند موجب آسیب دیدن عایق کابلها گردند. در این مقاله، پدیده انتشار امواج اضافه ولتاژ گذرا در خطوط هوایی و کابلهای زمینی با مد نظر قرار دادن محل نصب برقگیرها در ابتدا، انتها و وسط کابل بصورت تحلیلی نشان داده شد و تاثیر استفاده از برقگیرها در کاهش دامنه اضافه ولتاژها مشاهده گردید. همچنین تاثیرات شکلموج جریان ضربه، خاصیت اندوکتانسی برقگیر و ولتاژ سیستم بر دامنه اضافه ولتاژها مورد بررسی قرار گرفت در انتها نیز مقایسه ای بین کابلهای EPR با انواع TR-XLPE صورت گرفته و نشان داده شد کابلهای EPR نسبت به TR-XLPE بهتر می توانند دامنه اضافه ولتاژهای گذرا خود را در خروجی کاهش دهند لذا توصیه می گردد تا در شبکه های توزیع از کابلهای EPR بجای TR-XLPE خصوصاً برای کابلهایی که به ترانسهای توزیع متصلند استفاده گردد تا دامنه اضافه ولتاژهای رسیده به ترانس موجب آسیب دیدن آن نشود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

# فصل دوم

## رزونانس و فرورزونانس در

### شبکه های توزیع

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

## ۲-۱ مقدمه

به علت اهمیت پدیده رزونانس و فرورزونانس در شبکه های توزیع، بررسی و حل این پدیده می تواند منجر به پایداری بیشتر و بهره برداری اقتصادی تر از شبکه های توزیع شود. ایجاد رزونانس و فرورزونانس در شبکه های توزیع موجب افزایش ولتاژ و صدمه به تجهیزات و اختلال در شبکه، آسیب به ایزولاسیون تجهیزات، لرزش در بدنه و هسته ترانسفورمرها و سوختن برقیها و سرکابلها و ... می شود. علت ایجاد این پدیده هارمونیکها، اشباع هسته، تغییر اندوکتانس سیم پیچی، قطع یک یا دو فاز سیستم، بار نامتقارن، استفاده بی مورد از فیوز و فیوزکات اوت، استفاده از کابلها با خاصیت خازنی بالا و ... می باشد.

جهت احتراز از ایجاد این پدیده محدود نمودن طول کابل بین کلید و ترانسفورمر اجتناب از پیش بینی فیوز بین ترانسفورمر و کلید و تجهیزات و وصل مجدد تکفاز و انتخاب کلید با ترتیب مناسب و وصل فازها و زمین نمودن نقطه نول ترانسفورمر با اتصال ستاره و از طریق مقاومت اهمی می باشد.

بررسی پدیده رزونانس و فرورزونانس در سیستم های توزیع انرژی و مطالعه راهکارهای مقابله با آن و مرتفع نمودن معایب و عوارض ناشی از آن، سبب عدم قطع بی مورد، پایداری بالا و بهره برداری بهینه از شبکه خواهد شد. خسارتهای ناشی از ایجاد این پدیده از نظر اقتصادی و فنی قابل تامل بوده و در صورت بکار بستن راه حل های اصولی، موجب جلوگیری از خسارتهای سنگین فنی و اقتصادی خواهد شد.

عوامل موثر در ایجاد رزونانس و فرورزونانس در سیستم های توزیع عبارتند از هارمونیک ها، اشباع هسته تغییر اندوکتانس سیم پیچی، قطع یک یا دو فاز سیستم، بار نامتقارن، استفاده بی مورد از فیوزها استفاده از کابلها با خاصیت خازنی بالا و ... می باشند و نیز برای حذف این پدیده، راهکارهایی نظیر، محدود نمودن طول کابل بین کلید و ترانسفورمر و عدم نصب فیوز بین ترانسفورمر و کلید و تجهیزات وصل مجدد تکفاز و پیش بینی کلیدهای مناسب وصل فازها و زمین کردن نقطه نول ترانسفورمر با اتصال ستاره از طریق مقاومت اهمی پیشنهاد می شود.

## ۲-۲ شرح پدیده رزونانس و فرورزونانس

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

### ۲-۲-۱ پدیده رزونانس

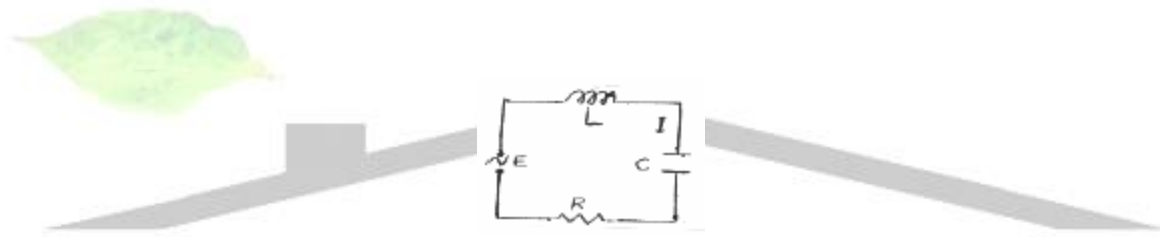
در مدارهایی که از خازن و سلف استفاده می شود، در شرایط خاصی، کمیات ولتاژ و جریان برای مدت زیادی از مقادیر قابل توجهی برخوردار می شوند افزایش قابل ملاحظه این مقادیر جریان با توجه به وجود خاصیت خازنی C و خاصیت القایی L سبب از بروز پدیده ای موسوم به رزونانس می شود مداراتی که شامل خازن، سلف و مقاومت اهمی مطابق شکل A باشد مقاومت کل مدار برابر است

$$Z = j\omega L + R + \frac{1}{j\omega C}$$

سیم پیچی L در امتداد مشترک عمود بر امتداد R واقع اند.

با توجه به برقراری جریان I، ولتاژ تغذیه مدار برابر است با:

$$E = j\omega LI + RI + \frac{1}{j\omega C} I \quad (2-1)$$



شکل ۲-۱ مدار شامل

تغییرات ولتاژ دو سر خازن C و یا دو سر مقاومت L بر حسب فرکانس، جریان شرایط بروز رزونانس در مدار هنگامی فراهم می شود که فرکانس ولتاژ تغذیه تغییر می کند با تغییر فرکانس مقاومت سیم پیچی و خازن، در دو جهت مخالف هم تغییر می کند، در هنگام بروز رزونانس برابر شده، اثر یکدیگر را خنثی می کنند که سرعت زاویه ای حاصل از رابطه زیر به سرعت زاویه ای طبیعی مدار موسوم است:

$$\omega_c = \frac{1}{\sqrt{LC}} = \frac{1}{\omega_n} \quad (2-2)$$

بدین ترتیب بروز رزونانس در مدارهای الکتریکی مستلزم تغییر فرکانس ولتاژ تغذیه و تبدیل آن به فرکانس رزونانس است در کلیه مدارهای الکتریکی، به حسب نوع مدار و تجهیزات موجود در شبکه، ولتاژ تناوبی سینوسی کامل نبوده و ولتاژ غیر سینوسی با فرکانس ۵۰ به مولفه های سینوسی ولتاژ با

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

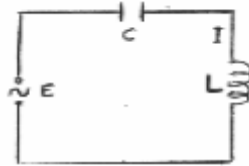
فرکانسهای مختلف قابل تجزیه است به این ترتیب ولتاژ غیر سینوسی تغذیه متشکل از مولفه های سینوسی با فرکانس های گوناگون است چنانچه فرکانس رزونانس مدار طبق رابطه

$$I = \frac{E}{Z} = \frac{E}{\sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{c\omega}\right)^2}}$$

فوق روی داده دامنه مولفه تا بالاترین مقدار افزایش خواهد یافت و سبب خسارتهای فراوانی به تجهیزات سیستم های توزیع می شود.

### ۲-۲-۲ پدیده فرورزونانس

از آنجایی که فرورزونانس یک پدیده نوسانی اثر خازنی و اندوکتانس غیر خطی ترانسفورمر در مداری که از ترکیب سری دو عامل فوق پدید می آید اضافه ولتاژ و جریانهای گذرا و ماندگار حاصل از رزونانس این مدار می توانند به تجهیزات سیستم های توزیع خسارات فراوانی وارد کنند لذا با یک مثال مقادیر اضافه ولتاژهای ناشی از رزونانس سری مدار شامل سلف و خازن نشان داده می شود.



شکل ۲-۲ مدار سری

ولتاژ  $E_L$  دو سر سلف و  $E_C$  دو سر خازن از فرمول

$$E_C = \frac{E}{(1 - x_L/x_C)}, E_L = \frac{E}{(1 - x_C/x_L)} \quad (2-3)$$

محاسبه می شود که ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دارند اگر نماییم  $\frac{x_L}{x_C} = 0.8$  باشد مقدار  $E_C$  و  $E_L$  می

شود:

$$E_C = \frac{E}{(1 - x_L/x_C)} = \frac{E}{(1 - 0.8)} = 5E \quad (2-4)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$E_l = \frac{E}{(1 - x_c / x_l)} = \frac{E}{(1 - 1.25)} = -4E$$

یعنی ولتاژ دو سر سلف ۴ برابر ولتاژ منبع و ولتاژ دو سر خازن ۵ برابر منبع است که مقدار آن زیاد می باشد و امکان صدمات شدید به تجهیزات را زیاد می کند. اگر مقدار راکتانس سلف ثابت باشد اما عواملی مانند ترانسفورمر توزیع، ترانسفورمر ولتاژ و راکتور قابل اشباع، بدلیل اثر اشباع دارای راکتانس سلفی غیر خطی هستند. تجهیزات غیر خطی در نزدیکی نقطه اشباع کار می کنند آن طوری که تاثیر یک اغتشاش امکان اشباع را فراهم می کند در زون اشباع راکتانس سلفی مقدار متفاوتی پیدا می کند که امکان دارد هر یک از این مقادیر تحت شرایط خاص پدیده فرورزونانس بوجود آید.

از طرفی با توجه به خصوصیات مناسب شبکه های توزیع، بروز پدیده های رزونانس در این شبکه ها بسیار معمول است، زیرا استفاده عمده از فیوز کات اوت و کابلها با خاصیت خازنی قابل ملاحظه در مقایسه با خطوط هوایی، شرایط بروز این دو پدیده را در این شبکه ها فراهم می سازد. با سوختن فیوز در یکفاز و یا قطع یک فاز توسط فیوز کات اوت، شرایط مناسب بروز پدیده فراهم می شود.

بروز پدیده فرورزونانس در شبکه های توزیع با افزایش ولتاژ و صدمه به ایزولاسیون تجهیزات از جمله برقگیرها، کابلها و ترانسفورمرها همراه است که ترکیدن سرکابلها و انفجار برقگیرها را موجب می شود بعلاوه جریان ناشی برقگیرهای غیرخطی را افزایش می دهد. و از عمر و دوام آنها می کاهد. بنابراین بررسی در شرایط بروز پدیده و راهکارهای مقابله با آن در شبکه های توزیع حائز اهمیت است.

### ۲-۳ خصوصیات و شرایط بروز پدیده

پدیده فرورزونانس در برابر خاصیت خازنی مناسب C و اندوکتانس L به ازای مقادیر اسمی ولتاژ و جریان روی می دهد. هنگامی که هسته های فرومغناطیسی تجهیزات ولتاژ متوسط اشباع و در مدار با خاصیت خازنی C واقع شوند، شرایط بروز پدیده فراهم خواهد شد. در شبکه های توزیع، ترانسفورمرها بطور عمده توسط کابلهای KV ۲۰ تغذیه می شوند و کابلها از خاصیت خازنی بالا برخوردارند و بطور سری با سیم پیچی ترانسفورمرها مجهز به هسته فرومغناطیسی قرار می گیرند.



## برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

کابل‌های فوق در محل انشعاب از خط اصلی، به فیوز و یا فیوز کات اوت مجهزند در صورت سوختن فیوزها یا قطع یک یا دو فاز، ترانسفورمر و کابل تغذیه آن بصورت تکفاز و دو فاز تحت ولتاژ واقع شده، این حالت شرایط بروز رزونانس در مدارهای بسته دو فاز و یا تکفاز فراهم می شود مدار بشرح فوق، تنها در شبکه های توزیع KV ۲۰ مشاهده می شود خصوصیات مدار یا از نظر بروز پدیده فرورزونانس و روش مقابله خازنی بالا و اتصال مستقیم به ترانسفورمرها از طریق فیوز و فیوزکات اوت تنها در شبکه های توزیع معمول بوده، در پی سوختن فیوز در یکفاز شرایط بروز پدیده فراهم می شود شرایط مناسب بروز پدیده طی رژیم گذرا و ظهور اضافه ولتاژهای موقت با دامنه بالا در پی بروز عیب و یا بروز رزونانس و افزایش قابل ملاحظه مقدار جریان و اشباع هسته مغناطیسی فراهم شده در صورت بروز پدیده رزونانس و افزایش قابل ملاحظه ولتاژ، هسته مغناطیسی سیم پیچها اشباع شده، بروز پدیده فرورزونانس را موجب می شود.

اشباع هسته سیم پیچها و بروز پدیده فرورزونانس با اضافه ولتاژها از نوع موقت، همراه بوده و دارای دامنه ضربه ای با فرکانس چند سیکل بر ثانیه خواهد بود. نمونه آن در شکل (۳-۲) نشان داده شده است. افزایش ولتاژ بشرح فوق به مدت طولانی خود بالغ بر چند سیکل فرکانس ۵۰ ایزولا سیون داخلی تجهیزات توزیع از جمله ترانسفورمرها، کابلها، سرکابلها و ترانسفورهای ولتاژ را تهدید می کند و شرایط بروز قوس و تخلیه را در برگیرها بدون فاصله هوایی فراهم می سازد. در برگیرهای غیر خطی، اضافه ولتاژها جریان تخلیه برگیر را تا چند برابر افزایش می دهد و انرژی حرارتی حاصل از آن دمای المانهای غیر خطی را سرعت افزایش داده و از عمر آنها بشدت می کاهد. مطالعات صورت گرفته نشان می دهد در صد عمده بروز عیب و آسیب در برگیرهای غیرخطی در شبکه های توزیع از بروز پدیده فرورزونانس ناشی می شود بهمین علت در شبکه ها و مدارها با هسته های فرومغناطیسی که احتمال بروز پدیده بالاست حتی الامکان از برگیرهای غیرخطی استفاده نمی شود بلکه از برگیرها با فواصل هوایی استفاده می شود.

بطور کلی بروز پدیده فرورزونانس در شبکه های توزیع مستلزم تشکیل مدار بسته بصورت مستقل از شبکه با خصوصیات زیر است.

۱- مدار بسته شامل خاصیت القایی ناشی از هسته مغناطیسی، خاصیت خازنی و نیروی

الکتروموتوری مناسب.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۲- برقراری جریان در مدار بسته با مقدار بالا و کافی بمنظور اشباع هسته مغناطیسی سیم پیچها  
 ۳- امپدانس معادل شبکه از سمت سیم پیچها با مشخصه خازنی (وجود خاصیت خازنی قابل ملاحظه در مدار).

وجود مولفه فعال در امپدانس دیده شده ضربات و نوسانات پدیده را در ولتاژ شبکه مستهلک می کند بهمین علت بالاترین مقدار اضافه ولتاژ ناشی از پدیده فرو رزونانس در شرایط بی باری و یا بار راکتیو خالص مشاهده می شود در شرایط معمول و متقارن بهره برداری که در آن تجهیزات با خاصیت خازنی نظیر خطوط بی بار و یا کابلهای زمینی وجود دارد و یا بانکهای خازنی بمنظور جبران قدرت راکتیو نصب شده اند، خاصیت خازنی مدار با سیم پیچی مجهز به هسته فرومغناطیسی بطور موازی واقع بوده، احتمال بروز پدیده فرو رزونانس بعلاوه عدم اشباع هسته مغناطیسی ناچیز خواهد بود با این حال احتمال بروز پدیده در حالت نامتقارن کمیتهای مدار افزایش می یابد.

عدم تقارن به طور عمده در هنگام قطع یک یا دو فاز شبکه روی می دهد بعنوان مثال هنگام وصل کلید، بعلاوه اشکال و نقص فنی در کلید، تنها یک یا دو فاز وصل شوند و یا در خط در حال بهره برداری با سوختن فیوز و یا کات اوت، یک یا دو فاز قطع شوند. بروز نقص و اشکال مکانیکی کلید در هنگام وصل، امکان پذیر است ولی عدم تقارن ناشی از سوختن فیوز و یا فیوز کات اوت تنها در شبکه های توزیع مشاهده می شود. زیرا در این شبکه ها از فیوز و فیوز کات اوت استفاده می شود، به همین علت احتمال بروز پدیده در شبکه های توزیع بالاست.

احتمال بروز پدیده هنگامی که نقطه نول در شبکه توزیع و یا نقطه نول در ترانسفورمر مورد تغذیه زمین شده باشد، کاهش می یابد و احتمال بروز پدیده با افزایش خاصیت خازنی مدار فزونی می یابد. در شبکه های توزیع که به طور عمده به کابلهای زمینی مجهزند، بعلاوه خاصیت خازنی بیشتر کابلها نسبت به خطوط هوایی، احتمال بروز پدیده به علت عوامل ذیل افزایش می یابد.

۱- وصل یک فاز خط سری یا کابل تغذیه ترانسفورمر و وجود ترانسفورمر در انتهای آن با اتصال ستاره مثلث (شکل ۴-۲ الف).

۲- وصل دو فاز خط که ترانسفورمر با اتصال نول ایزوله را تغذیه می کند (هنگامی که یکفاز خط سه فاز در حال بهره برداری قطع شده و یا سیم خط در یک فاز پاره شده باشد) (شکل ۴-۲ ب).

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

۳- قطع یکفاز خط سه فاز در حال بهره برداری و اتصال فاز قطع شده با زمین (سیم فاز پاره شده با زمین تماس یابد) (شکل ۴-۲ ج).

۴- قطع کلید طرف دوم ترانسفورمر ، بطوری که ترانسفورمر در شرایط بی باری واقع شود .

۴- خاصیت خازنی خط تغذیه ترانسفورمر و خاصیت القایی ترانسفورمر مقادیر لازم بمنظور بروز پدیده رزونانس را دارا هستند .

کمیت های نشان داده شده در شکل (۴-۲) بشرح زیرند :

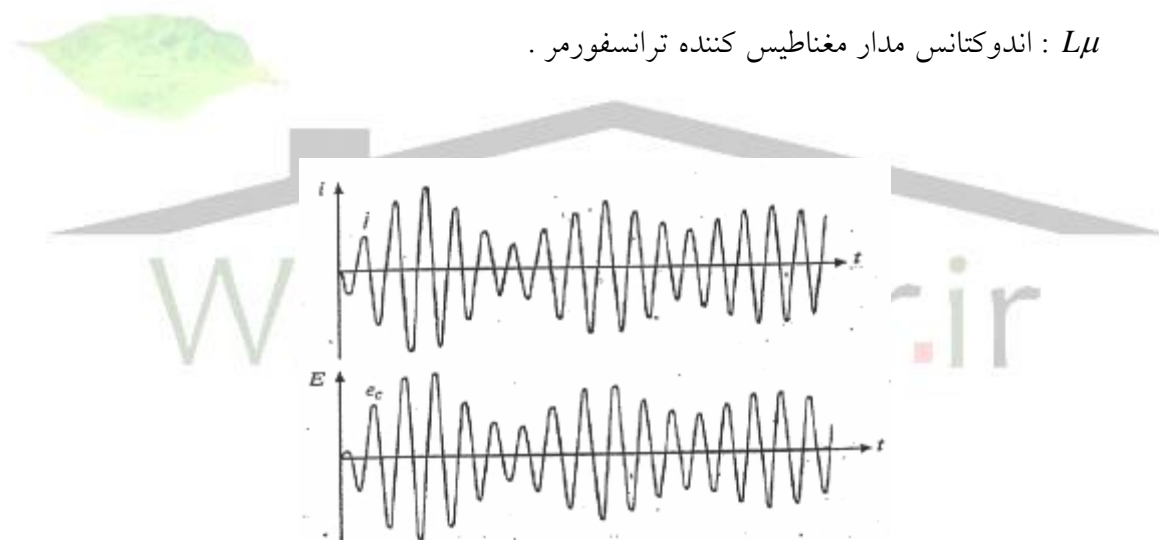
$L$  : اندوکتانس مدار شامل اندوکتانس خط تغذیه ، اندوکتانس منبع تغذیه و اندوکتانس اولیه  $x_d$  .

$C_{\phi}, C_{Mk}$  : بترتیب خاصیت خازنی هر فاز نسبت به زمین و خاصیت خازنی بین فازها .

$R$  : مقاومت اهمی مدار که با توجه به افت کلی مدار شامل افت ناشی از برقراری جریان در زمین

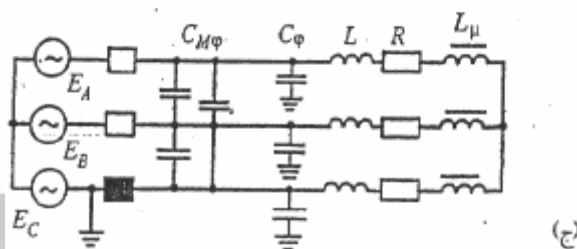
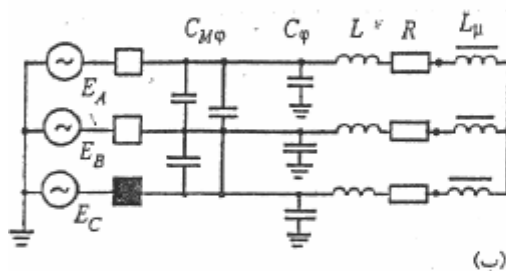
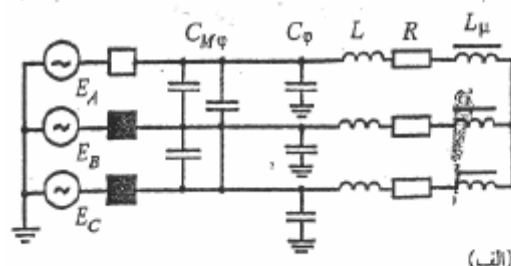
، افت آهنی و مس ترانسفورمر و افت در سیم های خط محاسبه می شود .

$L\mu$  : اندوکتانس مدار مغناطیس کننده ترانسفورمر .



شکل ۳-۲ ظهور ولتاژ با دامنه ضربه ای در پی بروز پدیده فرورزونانس در مدار

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل ۴-۲ نمایش مدارهای توزیع، مناسب بروز پدیده فرورزونانس (الف) قطع دو فاز با طرف تغذیه زمین شده. (ب) قطع یک فاز با طرف تغذیه زمین شده، (ج) قطع یک فاز در شبکه های نول ایروله و اتصال زمین فاز قطع شده (پاره شده).

چنانچه ترانسفورمر مجهز به سیم پیچی با اتصال مثلث باشد، لازم است تاثیر آن در مدار معادل طبق شکل ۴-۲ در نظر گرفته شود، بطور مشابه امپدانس بار  $Z_H$  که به سیم پیچی دوم ترانسفورمر متصل است، نیز منظور می شود در شرایط نامتقارن ناشی از وصل دو فاز و عدم وصل تکفاز، دو فاز وصل شده در شرایط یک سان واقع خواهد بود. در مدار معادل با یک خط نشان داده شده اند به عنوان مثال فازهای B و C و فازهای A و B در شرایط مشابه واقع اند.

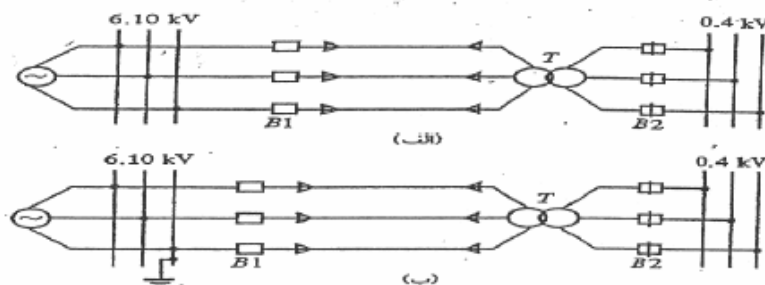
بطور کلی با توجه به مطالعات صورت گرفته پیش بینی های مناسب بمنظور جلوگیری از بروز پدیده فرورزونانس بشرح ذیل می باشند.

۱- محدود نمودن طول خط یا کابل بین کلید و ترانسفورمر.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۲- طول مناسب کابل تغذیه ترانسفورمر با توجه به قدرت ترانسفورمر بر حسب ردیف ولتاژهای اسمی مختلف و جریان بی باری تراژ سفورمر کمتر از ۳/۵٪ در جدول (۱-۲) ارائه شده است به ازای طول فوق ولتاژ واقع بر ترانسفورمر در هنگام قطع از  $\sqrt{3}u_p$  یا ولتاژ اسمی خط تجاوز نخواهد نمود. جدول ۱-۲ مشخصات مدار آزمایش طبق شکل ۵-۲ و حداکثر طول قابل قبول کابل یا خط هوایی از محل کلید تا محل ترانسفورمر

ولتاژ اسمی Un (KV)	قدرت ترانسفورمر (KVA) S	جریان بی باری % I <sub>x</sub>	طول کابل (m)		طول خط های (m)	
			اتصال ترانس Δ/Y	اتصال ترانس Δ/Y	اتصال ترانس Δ/Y	اتصال ترانس Δ/Y
۱۰	۷۵۰	۱/۵	۱۲/۵	۱۶/۹	۶/۲۸	۸۴۰
	۱۰۰۰	۱/۳	۱۴/۶	۱۹/۶	۷/۳	۹۷۵
۲۰	۱۵۰۰	۱/۲	۲۰/۴	۲۷	۱۰/۱	۱۳۵۰
	۲۰۰۰	۱/۲	۲۷	۳۶	۱۳۶۰	۱۸۱۰
	۵۰۰۰	۱/۰	۵۵	۷۰	۲۰۰۰	۳۷۴۰
	۱۰۰۰۰	۱/۰	۱۳۱	۱۵۰	۶۵۰۰	۹۰۵۰
	۱۵۰۰۰	۱/۰	۱۶۹	۲۲۵	۸۵۰۰	۱۱۳۰۰
	۷۵۰	۱/۵	۳/۹۶	۵/۲	۱۹۳/۵	۲۵۸
	۱۰۰۰	۱/۳	۴/۶	۶/۰	۲۲۴	۲۹۶
	۱۵۰۰	۱/۲	۶/۴	۸/۲۵	۳۱۲	۴۱۷
	۲۰۰۰	۱/۲	۸/۲۵	۱۱/۱	۴۱۵	۵۵۰
	۵۰۰۰	۱/۰	۳۹	۴۶	۱۷۲۰	۲۳۰۰
۳۳	۱۰۰۰۰	۱/۰	۳۹	۴۶	۱۷۲۰	۲۳۰۰
	۱۵۰۰۰	۱/۰	۵۲	۶۹	۲۵۸۰	۳۴۵۰
	۷۵۰	۱/۵	۲/۱۴	۲/۷۲	۱۰۰	۱۴۴
	۱۰۰۰	۱/۳	۲/۲۲	۳/۰۸	۱۱۷	۱۵۶/۵
	۱۵۰۰	۱/۲	۳/۳۶	۴/۴	۱۶۲	۲۱۶
	۲۰۰۰	۱/۲	۴/۲۷۰	۵/۷۶	۲۱۷	۲۹۰



شکل ۵-۲ مدار انجام آزمایشات در بروز پدیده فرورزونانس

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۳- اجتناب از پیش بیمی فیوز بین ترانسفورمر و کلید

۴- اجتناب از پیش بینی تجهیزات وصل مجدد تکفاز

۵- جلوگیری از ایجاد شرایط مناسبت بمنظور بروز پدیده رزونانس در قبال بارهای اهمی ناچیز

۶- انتخاب کلیدها با ترتیب مناسب وصل فازها

بدین ترتیب احتمال ظهور اضافه ولتاژهای فرورزونانس با انتخاب محل مناسب کلید کاهش می یابد همچنین ضروری خواهد تا ترانسفورمر واقع در انتهای خط توسط کلید واقع در ابتدای خط در فاصله دور از آن برقدار نشود .

۷- زمین نمودن نقطه نول ترانسفورمر با اتصال ستاره

در صورت زمین نمودن نقطه نول طرف اولیه ترانسفورمر ، خاصیت خازنی فازی که وصل نشده بطور موازی با ترانسفورمر واقع نشده ، احتمال بروز پدیده فرورزونانس وجود ندارد . در شبکه های توزیع بطور معمول طرف اولیه ترانسفورمر در زمین نمی شود ، در این ترانسفورمرها بمنظور جلوگیری از بروز فرو رزونانس لازم است از ترانسفورمر ستاره - ستاره زمین شده استفاده شود . متقابلاً بعلت عدم وجود سیم پیچی با اتصال مثلث امکان افزایش دمای ترانسفورمر ناشی از برقراری جریان عدم تعادل و مولفه صفر وجود خواهد داشت . راهکار مناسب ، استفاده از ترانسفورمر پنج بازویی می باشد بهمین علت ترانسفوررها با اتصال ستاره - ستاره زمین شده از نوع پنج بازویی انتخاب می شوند .

۸- زمین نمودن نقطه نول ترانسفورمر از طریق مقاومت اهمی .

ترانسفورمرها با اتصال ستاره — مثلث که از طریق خط هوایی بدون کلید ، برقدار می شوند ، مناسب خواهد بود در نقطه نول اتصال ستاره خود مجهز به مقاومت اهمی پیش بینی می شود . پیش بینی مقاومت در نقطه نول مانع از بروز پدیده فرورزونانس می شود طبق بررسی های انجام شده به مقدار مناسب مقاومت در حدود ۰.۵٪ راکتانس مغناطیس کننده ترانسفورمر خواهد بود با مقدار حداقل آن با توجه به تحمل حرارتی برقراری جریان اتصال اتصالی فاز - زمین انتخاب می شود .

در صورت برقراری جریان اتصال فاز - زمین ، ولتاژ قابل ملاحظه در دو سر مقاومت ظاهر می شود ، لذا بمنظور جلوگیری از صدمه به سیم پیچهای اولیه و اصلی ترانسفورمر ، مقاومت توسط ترانسفورمر ایزوله کننده به نقطه نول وصل می شود .

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

#### ۴-۲ کمیتهای موثر در بروز پدیده

بمنظور تعیین میزان تاثیر کمیتهای مختلف در بروز پدیده فرورزونانس، دامنه اضافه ولتاژهای ناشی از بروز پدیده برای مدار شکل (۵-۲) تعیین شده است. ترانسفورمرهای شبکه توزیع از طریق کابل تغذیه شده، طول کابل تغذیه بین ۳۰-۱۵۰ متر تغییر داده شده، ترانسفورمر بصورت متقارن سه فاز کامل و یا نامتقارن (وصل یک یا دو فاز) برقرار شده است در جدول ۱-۲ مشخصات مدار آزمایش ارائه می دهد.

ولتاژ اعمال شده بیش از ولتاژ اسمی یا معادل آن می باشد. در برخی آزمایشات بطور همزمان اتصالیهای فاز - زمین نیز ترتیب داده شده که نتایج حاصل از آزمایشات و احتمال ظهور اضافه ولتاژها و پدیده فرورزونانس در شکل (۶-۲) نشان داده شده است. منحنی های رسم شده بشرح ذیل می باشند.

- منحنی های ۱ و ۲ برای وصل و قطع ترانسفورمر از طریق کابل رژیمهای تکفاز و دو فاز

— منحنی های ۳ و ۴ برای وصل و قطع ترانسفورمرها از طریق کابل در شرایط تکفاز و دو فاز همراه با وجود اتصالی فاز - زمین در طرف تغذیه (قبل از کلید).

- منحنی ۵ برای وصل ترانسفورمر مجهز به کابل در سه فاز و وجود اتصالی فاز - زمین در شبکه تغذیه

مشخصات ترانسفورمر و کابل تغذیه در آزمایشات فوق در جدول (۲-۲) ارائه شده اند. بهترین روش بمنظور مقابله با پدیده فرورزونانس در شبکه ها با نقطه نول ایزوله، وصل مقاومت در نقطه نول می باشد، برای این منظور مقاومت بالغ بر چند ده کیلو اهم در نقطه نول نصب می شود. مقاومت با توجه به شرایط زیر انتخاب می شود:

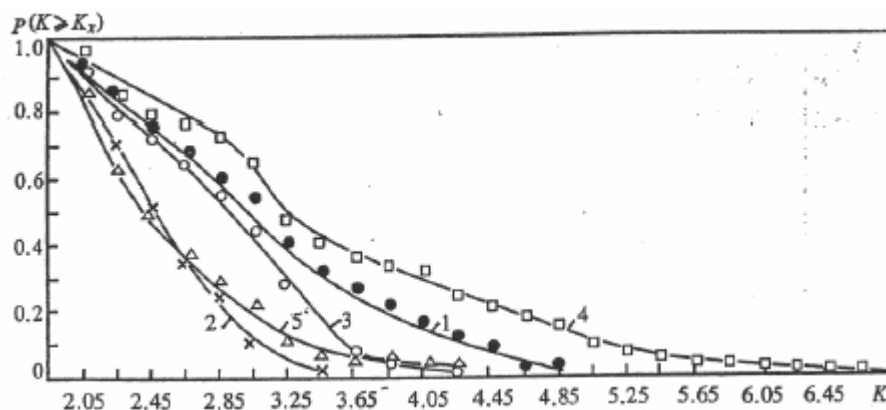
الف) ظرفیت خازنی کل شبکه در فاصله زمانی کمتر از  $0.01 <$  ثانیه توسط مقاومت فوق تخلیه شود.

ب) مقدار مقاومت لازم است کمتر مقدار بحرانی طبق  $Rc = 2\sqrt{\frac{L}{C}}$  نباشد،  $L$  و  $C$  اندوکتانس و

ظرفیت خازنی مدار دیده شده از نقطه نول.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

ج) وصل مقاومت در نقطه نول نباید موجب افزایش جریان اتصالی فاز - زمین را فراهم سازد. به عبارت دیگر شرایط کار نقطه نول شبکه را تغییر دهد. نصب مقاومت در نقطه نول سبب جلوگیری از بروز پدیده فرورزونانس اضافه ولتاژهای ناشی از عیوب توام با قوس را نیز موجب می شود.



شکل ۶-۲ منحنی احتمال بروز پدیده در شبکه توزیع و تغذیه ترانسفورماتور در شرایط گوناگون

جدول ۲-۲ مشخصات تجهیزات فشار قوی در مدار آزمایش شکل ۲-۵

مشخصات	مدار اول طبق شکل ۳-۱۹ (الف)	مدار دوم طبق شکل (ب)	مدار سوم طبق شکل (الف)	مدار چهارم طبق شکل (ب)
طول کابل (m)	۱۵۰	۱۵۰	۳۰	۳۰
نوع کابل	۳۰۷۰	۳۰۷۰	۳۰۵۰	۳۰۵۰
قدرت ترانسفورمر (KVA) S	۳۲۰	۳۲۰	۱۶۰	۱۶۰
ولتاژ تغذیه (KV) UN	۶	۶	۱۰	۱۰
تعداد فازهای مورد قطع و وصل	۲و۱	۳و۲و۱	۲و۱	۳و۲و۱
تعداد نمونه؟ و برداشت شده توسط اسیوگراف	۱۱۹	۹۷۸	۱۲۹	۲۵۸
ضریب اضافه ولتاژ (PU)	۴/۸	۶/۴	۶	۷

### ۲-۵ نتایج

با توجه به تنوع زیاد در مدارها، بروز پدیده در شبکه های توزیع و تاثیر عوامل متعدد، ارائه نتیجه کلی و مشخص در مورد شرایط بروز پدیده و کمیات موثر در آن دشوار و غیر ممکن است. با این



## برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

همه احتمال بروز پدیده در برخی مدارها افزایش نشان می دهد. آگاهی از نوع مدارها و مشخصات آنها، امکان جلوگیری از پدیده را میسر می سازد.

خصوصیات کلی پدیده به شرح ذیل است:

۱- پدیده روزنانس و فرو رزونانس بصورت اضافه ولتاژ با فرکانس کمتر و یا بیشتر از فرکانس ۵۰ با دامنه ثابت و یا متغیر در ولتاژهای فاز - فاز و یا فاز - زمین ظاهر می شوند، دامنه اضافه ولتاژ در فاصله  $2-5 p.u$  متغیر است.

۲- در معمولترین حالت پدیده تحت ولتاژ فرکانس ۵۰ روی داده دامنه ولتاژ بتدریج افزایش، سپس کاهش و مجدداً افزایش می یابد. افزایش و کاهش دامنه ولتاژ بصورت منظم و هماهنگ تکرار شده، منحنی پوششی بصورت ولتاژ ضربانی ظاهر می شود که پیوند نوسانهای آن ۱-۰/۵ سیکل بر ثانیه است.

۳- در حالت معمول دیگر اضافه ولتاژ تحت ولتاژ فرکانس ۵۰ با دامنه ثابت بالغ بر  $2-5 p.u$  ظاهر می شود.

۴- در حالت دیگر اضافه ولتاژ فرکانس ۵۰ بصورت غیر منظم ظاهر می شود، در این حالت فاصله پریودهای اضافه ولتاژ ضربانی بتدریج کاهش یا افزایش می یابد این حالت بعنوان نوسانهای ناهماهنگ جابجا شونده (Erratic) موسوم است.

۵- اضافه ولتاژ در سیم پیچی با هسته اشباع شده واقع در مدار فرورزونانس، چگالی بالای فوران را موجب می شود. چگالی بالای فوران بصورت صدای قابل ملاحظه و یا لرزش هسته و سیم پیچی ظاهر می شود صدا بصورت های گوناگون نظیر انفجار، و یا صدای سوت شنیده می شود.

۶- اضافه ولتاژ در سایر موارد با جریان قابل ملاحظه همراه است.

شرایط بروز پدیده و راه های مناسب مقابله با آن در دستورالعمل های استاندارد به شرح ذیل می باشد:

۱- در شبکه های توزیع در پی سوختن فیوز و با قطع یک یا دو فاز مربوط به کابل تغذیه ترانسفورمرها در سمت فشار قوی، احتمال بروز پدیده بشرح زیر افزایش می یابد:

الف) هنگامی که همزمان با سوختن فیوز بار ترانسفورمر ناچیز باشد (شرایط بی باری ترانسفورمر)

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

ب) ترانسفورمر در طرف فشار ضعیف و فشار قوی دارای اتصال مثلث بوده ، در سیم پیچی دایره دارای اتصال ستاره زمین شده نباشد .

ج) ترانسفورمر از نوع پنج هسته ای ( 5 leg ) باشد .

۲- در بند (۱) احتمال بروز پدیده با افزایش ردیف ولتاژ اسمی افزایش می یابد ، طبق بررسی های انجام شده در ردیف ولتاژهای اسمی کمتر از ۱۲ KV احتمال بروز پدیده ناچیز است .

۳- در بند (۱) احتمال بروز پدیده با کاهش قدرت ترانسفورمر توزیع ( ۷۵ - ۵۰ KVA ) افزایش می یابد .

۴- احتمال بروز پدیده با افزایش خاصیت خازنی رساناها و یا وجود بانک خازنی افزایش می یابد .

۵- احتمال بروز پدیده در صورت تغذیه ترانسفورمر با اتصال ستاره زمین شده با نول ایزوله افزایش می یابد .

۶- احتمال بروز پدیده در ترانسفورمرها با اتصال زیگزاک تقلیل می یابد .



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

# فصل سوم

## اولویت بندی شرایط اضطراری

## هنگام اضافه بار و افت ولتاژ در شبکه

WikiPower.ir

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازم

### ۳-۱ مقدمه

در این فصل سعی بر آن است که الگوریتم هایی کار ساز برای انتخاب بدترین شرایط اضطراری یا اولویت بندی شرایط اضطراری از دیدگاه اضافه بار خطوط و افت ولتاژ در شبکه های برق معرفی می گردد. این روشها برای شبکه KV ۱۳۲ شمال استان خراسان پیاده شده و نتایج آن ارائه می گردد. با توجه به این نتایج می توان آن دسته از خطوطی را که در اثر خروج، سوء ترین اثرات را در شبکه پدید می آورند مشخص نمود.

در بررسی و مطالعه مقوله امنیت شبکه های برق، هدف تعیین وقایعی است سکه باعث می شود تا دامنه ولتاژ در شین ها و توان انتقالی از خطوط از حد مجاز فراتر روند. با توجه به گستردگی شبکه ها محاسبات لازم برای چنین تحلیلی حتی توسط روشهای سریع مانند پخش بار خطی بسیار پر حجم و زمان بر است. از طرفی تمام خروجیهای محتمل در شبکه منجر به نقض حدود مجاز نمی شود. لذا لزومی به شبیه سازی و بررسی این خروجی ها نبوده و فقط آن دسته از خروجی ها که باعث انحراف شدید نقطه کار شبکه می شود باید مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرند. بر این اساس روشهایی توسعه و تکامل یافته اند که شرایط اضطراری را اولویت بندی می کند تا فقط اثر خروجی های سوء مورد توجه پرسنل بهره بردار و طراح قرار گیرد. لذا آن دسته از خروجیها که فشار چندانی بر شبکه وارد نمی سازند از حیث مطالعه و بررسی خارج می شوند.

تمامی روشها جهت اولویت بندی شرایط اضطراری بر اساس تعریف یک شاخص عملکرد استوارند (PI). باید گفت PI می تواند معرف اضافه بار خطوط، خروج دامنه ولتاژ شین ها از حدود مجاز، اضافه بار ژنراتور و نیز نقض حدود توان راکتیو ژنراتورها باشد. در هر صورت با مقایسه PI پس از خروج با PI در حالت مبنا (PIbase) وقایع محتمل اولویت بندی می گردند. سپس شبیه سازی و مطالعه از اولین واقعه با بیشترین PI آغاز گشته و تا آنجا ادامه می یابد که  $PI < PI_{base}$  گردد.

از این پس لزومی به شبیه سازی و بررسی وقایعی که PI آنها کمتر از  $PI_{base}$  است نخواهد بود. نتیجه آنکه تعداد شبیه سازی ها به میزان قابل توجهی کاهش می یابد. در این فصل فقط خروج های اضطراری خطوط در مد نظر قرار گرفته و اثرات آن بر روی اضافه بار سایر خطوط و تغییر ولتاژها در نقاط مختلف شبکه اولویت بندی می گردد. لازم به تذکر است در این مطالعه فقط شرایط اضطراری

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

یگانه در مد نظر بوده است. این بدان معنی است که در هر حالت از مرحله اولویت بندی فرض بر آن است که یک خط (یک مدار سه فاز) از سیستم خارج شده است.

۳-۲ اولویت بندی سوء ترین خروج احتمالی خط در شبکه و اثر آن بر روی اضافه بار سایر خطوط

۳-۲-۱ الگوریتم اول

این الگوریتم بر اساس معادلات پخش بار خطی استوار است. در معادلات پخش بار خطی از مقاومتهای خطوط صرف نظر شده و ولتاژ تمام نقاط شبکه 1 PU در نظر گرفته می شود. پس در شبکه ای با n شین که در آن شین شماره (۱) شین مبنا می باشد، داریم:

$$[P] = [B][\delta] \quad (3-1)$$

$$[P] = [P_1 P_2 \dots P_n]^T \quad (\text{بردار } n \times 1 \text{ توانهای اکتیو تزریقی به شین ها}) \quad (3-2)$$

$$[\delta] = [0 \quad \delta_n \dots \delta_n]^T \quad (\text{بردار } n \times 1 \text{ زوایای شینها}) \quad (3-3)$$

$$[B] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & B_{22} & \dots & B_{2n} \\ 0 & B_{n2} & \dots & B_{nn} \end{bmatrix} \quad (n \times n \text{ ماتریس}) \quad (3-4)$$

عناصر ماتریس [B] این چنین به دست می آیند:

$$B_{ii} = \sum_j 1/X_{ij} \begin{bmatrix} i \neq j & \text{[شماره کلیه شین هایی است]} \\ i \neq 1 & \text{[که تو سط خط به شین } i \text{ و صاب م]} \end{bmatrix} \quad (3-5)$$

$$B_{ij} = -1/X_{ij} \begin{bmatrix} i \neq j \\ i \neq 1 \\ j \neq 1 \end{bmatrix} \quad (\text{عناصر غیر قطری}) \quad (3-6)$$

راکتانس خط بین شین  $i, j$   $X_{ij}$

رابطه (۳-۱) را این چنین می نویسیم:

$$[\delta] = [\tilde{X}][P] \quad (3-7)$$

که:

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$[\dot{X}] = \begin{bmatrix} 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \tilde{X}_{22} & \dots & \tilde{X}_{2n} \\ 0 & \tilde{X}_{n2} & \dots & \tilde{X}_{nn} \end{bmatrix} \quad (\text{ماتریس } n \times n) \quad (3-8)$$

باید دانست :

$$\begin{bmatrix} \tilde{X}_{22} & \dots & \tilde{X}_{2n} \\ \vdots & & \\ \tilde{X}_{n2} & \dots & \tilde{X}_{nn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B_{22} & \dots & B_{2n} \\ \vdots & & \vdots \\ B_{n2} & \dots & B_{nn} \end{bmatrix} \quad (3-9)$$

حال طبق شکل (۳-۱) دو خط از سیستم را در نظر می گیریم ، در این سیستم قبل از وقوع شرایط

اضطراری توانهای  $P_k^0, P_g^0$  می گذرد ، با توجه به نتایج پخش بار خطی قبل از بروز حادثه داریم:

$$P_g^0 = (\delta_i - \delta_j) / X_{ij} = (\delta_j - \delta_i) B_{ij} \quad (3-10)$$

$$P_k^0 = (\delta_m - \delta_n) / X_{mn} = (\delta_n - \delta_m) B_{mn} \quad (3-11)$$

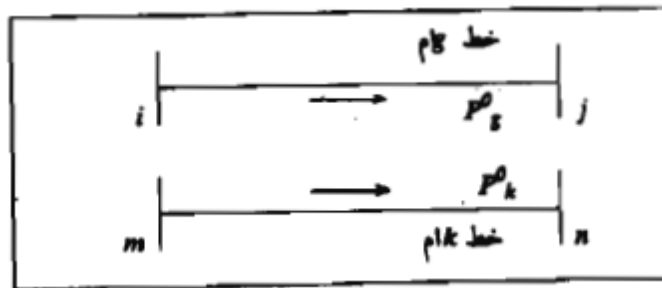
گیریم خط K ام از سیستم خارج شود ( شکل ۳-۱). در این صورت توان اکتیو انتقالی در خط

g ام به میزان  $\Delta P_g$  تغییر می کند و این تغییرات این چنین حساب می شود .

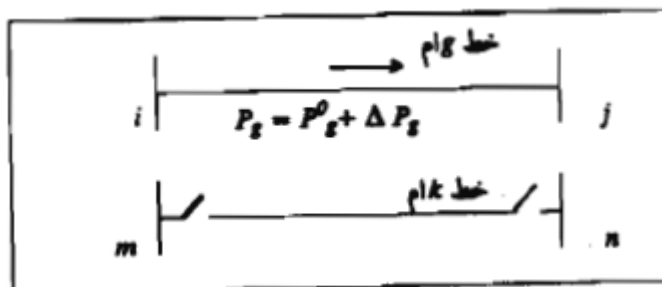
$$\Delta P_g = \frac{(\tilde{X}_{im} + \tilde{X}_{in} - \tilde{X}_{im} - \tilde{X}_{in}) B_{ij}}{(\tilde{X}_{mn} + \tilde{X}_{mn} - 2\tilde{X}_{mn} - 1/B_{mn}) B_{mn}} \times P_k \quad (3-12)$$

کمیت های  $\tilde{X}$  و B در رابطه (۳-۱۲) از روابط (۳-۸) و (۳-۹) مربوط به شرایط سیستم در قبل

از خروج خط k ام به دست می آیند .



شکل ۳-۱



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شکل ۳-۲

لذا توان اکتیو خط  $g$  ام پس از خروج خط  $k$  ام این چنین به دست می آید :

$$P_g = P_g^0 + \Delta P_g \quad (3-14)$$

از آنجایی که در رابطه (۳-۱۲) از نتایج پخش بار خطی قبل از خروج استفاده می شود ، لذا کافی است یک بار پخش بسیار خطی را انجام داده و به سرعت  $P_g$  را برای تمام خطوط در اثر خروج یک خط به دست آورد (رابطه ۳-۱۴) . برای اولویت بندی شرایط اضطراری شاخص عملکرد (PI) را این چنین تعریف می کنیم .

$$PI = \sum_{j=1}^L (P_j / P_{jmax})^2 W_j \quad (3-15)$$

که :

$L$  : تعداد کل خطوط شبکه

$J$  : شماره خط

$P_j$  : توان اکتیو خط  $J$  ام

$P_{jmax}$  : حد مجاز توان اکتیو خط  $J$  ام

$W_j$  : ضریب وزنی خط  $J$  ام .

لذا برای هر خروج ،  $PI$  رابطه (۳-۱۵) را با توجه به روابط (۳-۱۲) و (۳-۱۴) حساب کرده و آنها را اولویت بندی می کنیم .

### ۳-۲-۲ الگوریتم دوم

در این الگوریتم مجدداً از شاخص عملکردی مطابق رابطه (۳-۱۵) استفاده می شود :

$$PI = \sum_{j=1}^L (P_j / P_{jmax})^2 W_j \quad (3-16)$$

در این الگوریتم ابتدا  $PI$  برای حالت مبنا حساب می شود . حال گیریم خط  $k$  ام بین دو شین  $m$

و  $n$  از مدار خارج شود ، در این صورت تغییرات شاخص عملکرد ( $\Delta PI$ ) در اثر خروج  $k$  ام به قرار زیر است :

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$$\Delta PI = \frac{U_k P_k^2}{(1 + B_{mn} \tilde{X}_k)^2} + \frac{2\hat{\theta}_k P_k}{(1 + B_{mn} \tilde{X}_k)} - W_k \left( \frac{P_k}{P_{k \max}} \right)^2 \times \frac{1}{(1 + B_{mn} \tilde{X}_k)^2} \quad (3-17)$$

که :

$P_k$ : توان اکتیو خط  $k$  ام در شرایط مبنا که از نتایج پخش بار خطی قبل از بروز شرایط اضطراری حاصل می شود.

$B_{mn}$ : از ماتریس مربوط قبل از شرایط اضطراری به دست می آید.

$P_k \max$ : حد مجاز توان در خط  $k$  ام.

$$\tilde{X}_k = \tilde{X}_{nm} + \tilde{X}_{nn} - 2\tilde{X}_{mn} \left[ \begin{array}{c} \tilde{X} \\ \text{(عناصر ماتریس)} \end{array} \right] \quad (3-18)$$

$$U_k = \tilde{T}_{mm} + \tilde{T}_{nn} - 2\tilde{T}_{mn} \quad \left( \begin{array}{c} \tilde{T} \\ \text{(عناصر ماتریس)} \end{array} \right)$$

باید دانست :

$$[\tilde{T}] = [\tilde{X}][W][\tilde{X}] \quad (3-19)$$

$$[W] = [A]^t [W_d] [A]$$

$$[W_d] = \text{diag} [W_1 / K_1^2 \quad W_2 / K_2^2 \cdots W_L / K_L^2]$$

$$K_L = P_{L \max} / B_{ij} \quad (\text{ا و j شینهای ابتدا و انتهای خط L ام})$$

$$W_L = \text{ضریب وزنی خط L ام}$$

ماتریس اتصالات شبکه است. این ماتریس  $L \times n$  بوده که  $n$  تعداد شین ها و  $L$  تعداد خطوط

است و داریم :

$$A_{il} = + 1 \quad (\text{اگر خط L ام از شین i خارج شود})$$

$$A_{il} = - 1 \quad (\text{اگر خط L ام به شین i وارد شود})$$

$$A_{il} = 0 \quad (\text{اگر خط L ام نه به شین i وارد و نه از آن خارج شود})$$

در رابطه (۳-۱۷) همچنین داریم :

$$\hat{\theta}_k = \hat{\delta}_m - \hat{\delta}_n \quad (3-20)$$

$$[\hat{\delta}] = [X][W][\delta]$$

$\Delta PI$  در رابطه ۳-۱۷ برای هر خروج به سرعت حساب می شود و علت سرعت این است که

کلیه عناصر ماتریسهای به کار رفته در این شرایط مربوط به حالت قبل از بروز حادثه است.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

سپس در هر حالت  $\Delta PI$  را با  $PI$  حالت مبنا (رابطه ۱۵-۳) جمع کرده و شرایط اضطراری را اولویت بندی می کنیم .

۳-۳ اولویت بندی سوء ترین خروج احتمالی خط در شبکه و اثر آن بر روی تغییر ولتاژ شین های مختلف شبکه

در این روش برای سرعت بخشیدن از روش  $[Z_{bus}]$  استفاده می شود، گیریم سیستم در حالت قبل از بروز حادثه باشد (شکل ۳-۳) پس :

$$[E] = [Z_{bus}]_{old} [I] \quad (3-21)$$

که :

$$[E] = [E_1 \dots E_n]^t \quad (\text{بردار ولتاژ شینها}) \quad (3-22)$$

$$[I] = [I_1 \dots I_n]^t \quad (\text{بردار جریانهای تزریقی به شینها}) \quad (3-23)$$

$$[Z_{bus}] = \begin{bmatrix} Z_{11} & \dots & Z_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ Z_{n1} & \dots & Z_{nn} \end{bmatrix} \quad (\text{ماتریس } n \times n) \quad (3-24)$$

اگر خط  $K$  ام از مدار بیرون رود، اثر این خروج را می توان با تزریق دو جریان در شین های  $i$  و  $j$  همچون شکل ۳-۴ مدل سازی نمود. لذا تغییرات ولتاژ در اثر این خروج در سایر شینها بقرار زیر است :

$$[\Delta E] = [Z_{bus}]_{now} [I] \quad (3-25)$$

که :

$$[\Delta E] = [\Delta E_1 \dots \Delta E_n]^t \quad (3-26)$$

$$[I] = [0 \dots -I_{ij} - I_{ji} \dots 0]^t \quad (3-27)$$

(عنصر  $j$  ام) (عنصر  $i$  ام)

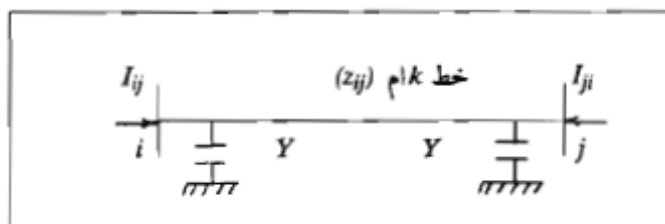
لذا ولتاژ نهایی شین ها د راثر این خروج به قرار زیر است :

$$[E]^t = [E] + [\Delta E] \quad (3-28)$$

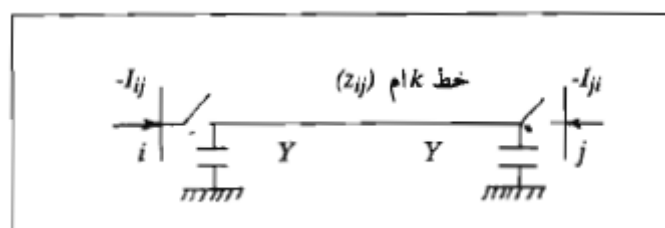
که :

$$[E]^t = [E_1^t \dots E_n^t]^t \quad (\text{بردار ولتاژ نهایی شین ها})$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۳-۳



شکل ۳-۴

حال شاخص عملکرد زیر را حساب می کنیم :

WikiPower.ir (۳-۲۹)

که :

$q$  : تعداد شین های بار bus (PQ)

$W_i$  : ضریب وزنی

$|E_i|^f$  : دامنه ولتاژ شین  $i$  پس از خروج خط

$|E_i|^a$  : دامنه ولتاژ مطلوب در شین  $i$

$\Delta E_{i \max}$  : حد مجاز تغییرات ولتاژ در شین  $i$

باید متذکر شد که PI رابطه (۳-۲۹) فقط برای شین های باز محاسبه می شود و شینهای نیروگاهی

(PV bus) بخاطر ثابت بودن ولتاژ بدلیل عملکرد سیستم های کنترل در PI (رابطه ۳-۲۹) ظاهر نمی

شوند .

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

#### ۴-۳ نتایج عددی

بر اساس الگوریتم های مندرج در این فصل یک برنامه کامپیوتری بر روی IBM | PC تکامل یافته که بر روی شبکه های استاندارد IEEE تست گردیده و با نتایج مطلوب همراه بوده است. در این فصل این برنامه بر روی شبکه ۱۳۲ KV شمال خراسان بکار برده شده و نتایج آن به شرح زیر ارائه می گردد

الف) جدول (۱) اولویت بندی شرایط اضطراری از دیدگاه اضافه بار خطوط در هنگام خروج یک خط از سیستم را برای شبکه خراسان نشان می دهد. این نتایج توسط الگوریتم اول (پخش بار خطی) حاصل گشته است.

ب) جدول (۲) اولویت بندی شرایط اضطراری از دیدگاه نقض محدوده بار خطوط را در هنگام خروج یک خط از سیستم خراسان نشان می دهد. این نتایج توسط الگوریتم دوم بدست آمده است.

ج) جدول (۳) اولویت بندی شرایط اضطراری از دیدگاه نقض محدوده ولتاژ شینها را در هنگام خروج یک خط از سیستم خراسان نشان می دهد.

د) با توجه به نتایج جدول (۱) و (۲) مشاهده می شود که از هر دو روش تقریباً به یک جواب می رسیم.

ه) خطوطی که در جداول (۱) و (۲) نیامده اند به معنای آن است که خروج آنها PI کمتری نسبت به PIbase ایجاد می کنند لذا بررسی آنها اهمیت خود را از دست می دهد.

و) خطوطی که در جدول (۳) نیامده اند به معنای آن است که خروج آنها PI بسیار ناچیزی ایجاد می کنند و شبیه سازی آنها بی مورد است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

# فصل چهارم

## اضافه ولتاژهای موجی در شبکه

## توزیع فشار ضعیف و حفاظت مصرف

## کنندگان در برابر آن

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

#### ۴-۱ مقدمه

در بسیاری از موارد شاهد آسیب دیدن تجهیزات و دستگاههای حساس در منازل و کارگاهها در مواقعی از قبیل زمان وقوع رعد و برق هستیم. این امر نشان دهنده ایجاد برخی از اضافه ولتاژها با دامنه بزرگتر از حد تحمل عایق دستگاهها در مدار مصرف کنندگان فشار ضعیف است. بسیاری از این اضافه ولتاژها از مدار طرف فشار قوی ترانسفورماتورهای توزیع به طرف فشار ضعیف آنها منتقل می شوند. در این مقاله ضمن بیان نحوه ایجاد این اضافه ولتاژها، پیشنهاد استفاده از برقگیرهای فشار ضعیف جهت حفاظت مصرف کنندگان در مقابل آنها مطرح می شود.

اضافه ولتاژهای ایجاد شونده در شبکه توزیع فشار ضعیف را می توان به دو دسته طبقه بندی کرد:

#### ۴-۱-۱ اضافه اضافه ولتاژهای موقت با فرکانس ۵۰ هرتز

این نوع اضافه ولتاژها، که می توانند زمانی از کسری از ثانیه تا مدت های طولانی را دارا باشند، عللی از این قبیل دارند:

۴-۱-۱-۱ خرابی عایق بین سیم پیچ های فشار قوی و فشار ضعیف در اثر ایجاد یک خطا در درون ترانسفورماتور.

۴-۱-۲-۱ پاره شدن هادی شبکه فشار متوسط و افتادن آن بر روی شبکه فشار ضعیف.

۴-۱-۳-۱ انتقال اضافه ولتاژ از طریق تزویج و القاء بین اتصالات زمین ترانسفورماتور و شبکه در موارد طراحی و اجرای ناصحیح یا خطاهای نامتقارن.

۴-۱-۴-۱ وصل فیوزهای کات اوت سه فاسمت فشار متوسط با فواصل زمانی طولانی و در نتیجه تکفاز یا دو فاز باقی ماندن شبکه.

۴-۱-۵-۱ اتصالاتی های نامتقارن.

۴-۱-۶-۱ بارهای شدید نامتقارن.

۴-۱-۷-۱ وقوع تشدید (رزونانس) و تشدید آهنی (فرورزونانس).

۴-۱-۸-۱ قطع بار ناگهانی.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

## ۴-۲-۱ اضافه ولتاژهای گذرا با فرکانسهای کیلوهرتز تا مگاهرتز

این اضافه ولتاژها می توانند در اثر عواملی بشرح زیر ایجاد شوند:

۴-۲-۱-۱-۱ اصابت مستقیم صاعقه به خط فشار ضعیف که البته احتمال آن کم است. زیرا خطوط فشار ضعیف ارتفاع کمی دارند و در موارد زیادی توسط ساختمانها یا اشیاء بلندتر احاطه شده اند.

۴-۲-۱-۲-۱ تخلیه جریان صاعقه به زمین در نزدیکی خط توزیع برق که می تواند در آن اضافه ولتاژهای قابل ملاحظه ای القاء نماید (شکل ۴-۱)

۴-۲-۳-۱ انتقال اضافه ولتاژ از طرف فشار قوی به طرف فشار ضعیف ترانسفورماتورهای توزیع که می تواند به صورت الکتروستاتیکی و یا الکترومغناطیسی باشد.

۴-۲-۴-۱ کلید زنی نامناسب از قبیل وصل ناهمزمان قطب های کلید.



شکل ۴-۱-۱ اصابت صاعقه به نقطه ای در نزدیکی یک خط توزیع نیروی برق

به راه افتادن اضافه ولتاژهای موجی یا موقت در شبکه فشار ضعیف و رسیدن آنها به منازل و کارگاهها می تواند خطراتی را متوجه تجهیزات و انسانها نماید. عایق بندی دستگاههای فشار ضعیف باید طوری باشد که بتواند ولتاژ  $(2U_n + 1000)$  ولت را تحمل کند که در اینجا ولتاژ نامی دستگاه یعنی 220 ولت تکفاز است. بنابراین با توجه به حاشیه اطمینان لازم باید اضافه ولتاژهای گذرای بیشتر از 1000 ولت حذف شوند و از ورود آنها به مدارهای داخلی منازل و کارگاهها جلوگیری بعمل آید.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

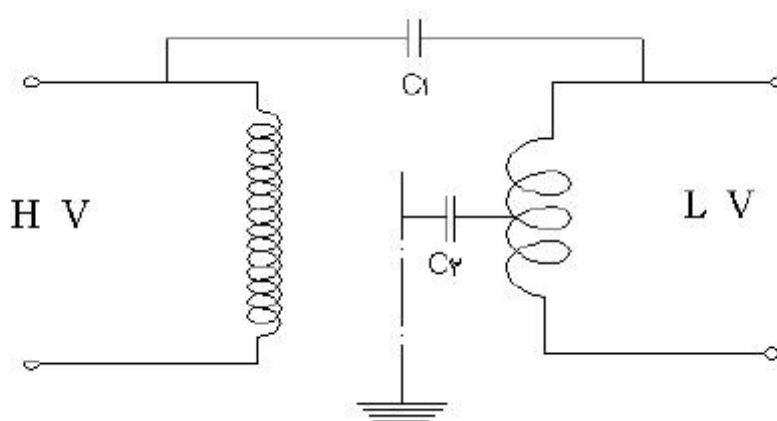
یکی از منابع مهم ایجاد اضافه ولتاژهای ضربه ای در شبکه فشار ضعیف انتقال آنها از شبکه فشار قوی از طریق ترانسفورماتورهای توزیع است. موج های ولتاژ ضربه می توانند در داخل ترانسفورماتور با دو مکانیزم از یک سیم پیچ به سیم پیچ دیگر منتقل شوند:

۱- الکترواستاتیکی

۲- الکترومغناطیسی. اکنون به تشریح این دو مکانیزم می پردازیم:

۲-۴ مکانیزم الکترواستاتیکی انتقال موج ضربه:

هنگامی که یک موج ولتاژ ضربه، مانند موجی که از برخورد مستقیم صاعقه به خط فشار متوسط برق بر روی شبکه توزیع به راه می افتد، به ترانسفورماتور می رسد در اولین لحظه تنها خازن های ذاتی سیم پیچ دخالت دارند و نقش توزیع و تقسیم ولتاژ بر روی سیم پیچ فشار قوی را بازی می کنند. سیم پیچ فشار ضعیف که به هسته زمین شده ترانسفورماتور نزدیکتر است، یک خازن کلی C2 با زمین می سازد و سیم پیچ فشار قوی، که بر روی سیم پیچ فشار ضعیف واقع شده، یک ظرفیت خازنی کلی C1 با این سیم پیچ تشکیل خواهد داد (شکل ۲-۴)



شکل ۲-۴ ظرفیت های خازنی کلی C1 بین سیم پیچها و C2 بین سیم پیچ فشار ضعیف و هسته.

ظرفیت خازنی بین سیم پیچ های فشار قوی و بدنه به لحاظ زیادی فاصله بین آن دو کوچک بوده و قابل صرف نظر است. با توجه به مدار شکل ۲-۴ مدار در این حالت بصورت مقسم خازنی عمل کرده

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

و دامنه ولتاژ صاعقه به نسبت عکس ظرفیت های خازنی بین آنها تقسیم خواهد شد. بنابراین ولتاژی معادل  $V_2$  در رابطه (۱-۴) از طریق خازنی به طرف فشار ضعیف منتقل خواهد شد.

$$V_2 = V_1 \frac{C_1}{C_1 + C_2} \quad (۱-۴)$$

در این حالت دامنه اضافه ولتاژ منتقل شده به ثانویه، ارتباطی به نسبت تبدیل مربوط به تعداد دور سیم پیچ های ترانسفورماتور یعنی  $N1/N2$  نداشته و تابع شکل ساختمانی سیم پیچ ها، جنس عایق ها و فواصل عایقی ترانسفورماتور خواهد بود.

القاء الکترواستاتیکی موج ولتاژ ضربه از سمت فشار قوی به طرف فشار ضعیف دارای مدت زمان بسیار کوتاهی است. زیرا سایر اجزاء مدار یعنی سلفها و مقاومتها سریعا وارد بازی شده نقش خود را در میرایی اضافه ولتاژ به انجام می رسانند. اما با اینحال شیب افزایش ولتاژ و زمانی که اضافه ولتاژ در مدار ثانویه باقی می ماند و بر روی آن سیر می کند به قدر کافی بزرگ هست که حتی اگر عایق خود سیم پیچ فشار ضعیف را دچار خرابی نکند، تجهیزات متصل شده به آن را گرفتار مشکل نماید. این امر بخصوص در ترانسفورماتورهای توزیع با نسبت تبدیل بزرگ بخاطر شکل ساختمانی خاصی که دارند می تواند مساله زا باشد. برای کاهش دامنه اضافه ولتاژ ضربه ای منتقل شده به ثانویه ناشی از القاء خازنی با در نظر گرفتن رابطه (۱-۴) می توان به دو طریق عمل کرد. طریق اول آنست که ظرفیت خازن  $C_2$  را با نصب خازن اضافی بین ترمینالهای ثانویه و زمین بزرگتر نمائیم. روش دوم آنست که حفاظ زمین شده (Earthed shield) در کارخانه بین سیم پیچ های اولیه و ثانویه قرار داده شود. این کار منجر به کوچکتر شدن خازن  $C_1$  گردیده، دامنه ولتاژ انتقال  $V_2$  را کاهش خواهد داد. لازم به ذکر است که تا کنون از هر دو روش در صنعت برق استفاده شده است می توان طراحی و اجرای یک نمونه حفاظ زمین شده بین سیم پیچ های اولیه و ثانویه را ملاحظه نمود. هر دو راه ذکر شده دارای هزینه های خاص خود بوده و به لحاظ اقتصادی قابل استفاده عملی در شبکه های توزیع به نظر نمی رسند.

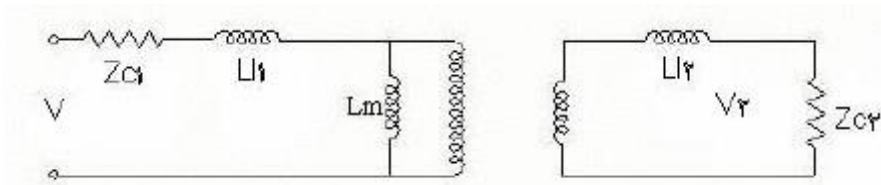
### ۳-۴ مکانیزم الکترو مغناطیسی انتقال منبع ولتاژ ضربه به ثانویه

مدار معادل معمولی ترانسفورماتور دارای دو سلف سری و یک سلف موازی است (شکل ۳-۴) سلف های سری که  $L_{11}, L_{12}$  نامیده می شوند. بیانگر پراکندگی فوران مغناطیسی در فضای سیم پیچ ها و



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

کانال عایق بین آنها هستند. سلف موازی که  $L_m$  نام دارد، نشان دهنده فوران مغناطیسی اصلی عبوری از هسته ترانسفورماتور است. در شکل ۳-۴  $Z_{c2}, Z_{c1}$  عبارت از امپدانس های موجی شبکه طرف اولیه و ثانویه ترانسفورماتور هستند.



شکل ۳-۴ مدار معادل ترانسفورماتور همراه با امپدانس موجی خطوط دو طرف

همانگونه که ذکر شد در اولین لحظه ورود موج ضربه به ترانسفورماتور، توزیع ولتاژ و انتقال آن به ثانویه تنها تابع ظرفیت های خازنی ترانسفورماتور است. اما پس از گذشت لحظه کوتاهی، به تدریج سلف های مربوط به پراکندگی و هسته ترانسفورماتور نیز وارد مدار می شوند و موج ضربه ای به طریق الکترومغناطیسی نیز به ثانویه منتقل می گردد. در این مکانیزم، علاوه بر سلف های مربوط به ترانسفورماتور، امپدانس های موجی خطوط متصل به اولیه و ثانویه نیز دخالت می نمایند. در این حالت از خازن های ذاتی سیم پیچ های ترانسفورماتور صرف نظر می شود. زیرا فرکانس غالب موج ضربه ای به حدود کیلو هرتز رسیده است. امپدانس موجی خطوط (Surge impedance) طبق رابطه ۲-۴ تعریف می شود که در آن  $C, l$  به ترتیب اندوکتانس سری و خازن موازی خط در واحد طول آن هستند.

$$Z_c = \sqrt{\frac{l}{C}} \quad (۲-۴)$$

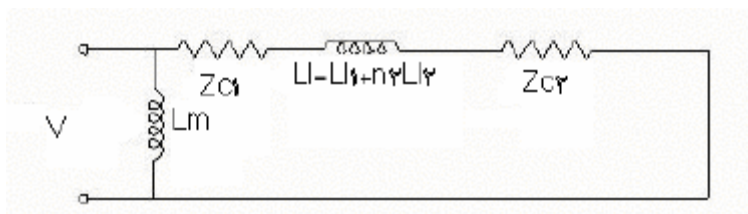
همانگونه که از تئوری انتشار امواج ضربه ای (۱) می دانیم، امپدانس های موجی خطوط، اثر خود را مشابه مقاومت های اهمی ظاهر نموده، در ثابت های زمانی مربوط به انتشار امواج نقش بازی می کنند. ولتاژ دو سر یک سلف  $L$  که موج ولتاژ ضربه ای با دامنه  $V$  به ترمینالهای آن میرسد، طبق رابطه (۳-۴) غیر خواهد نمود:

$$V_L = -V \left( 1 - 2e^{-\frac{Z_{c1}}{L} t} \right) \quad (۳-۴)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

با فرض نسبت تبدیل دورها برابر با  $n = \frac{N_1}{N_2}$  مدار معادل شکل ۲ را می توان به تقریب به صورت

شکل فرض نمود:



شکل ۴-۴ مدار معادل تقریبی ترانسفورماتور

با استفاده از این مدار معادل دامنه ولتاژ ضربه منتقل شده به سمت فشار ضعیف به طریقه الکترومغناطیسی، پس از برخورد یک اضافه ولتاژ پله ای با دامنه  $V$  به سیم پیچ فشار قوی ف برابر خواهد بود با:

$$V_2 = \frac{2nZ_{c2}V}{Z_{c1} + n^2Z_{c2}} \left[ \exp\left[\frac{-Z_{c1}n^2Z_{c2}t}{L_m(Z_{c1} + n^2Z_{c2})}\right] - \exp\left[\frac{-Z_{c1}n^2Z_{c2}}{L_{l1} + n^2L_{l2}}\right] \right] \quad (4-4)$$

در تشریح این پدیده باید گفت که پس از مرحله اولیه که القاء فقط بصورت خازنی است، با ایجاد جریان در اثر موج صاعقه در سیم پیچ اولیه، القاء ولتاژ به ثانویه از طریق میدان مغناطیسی بیرون هسته آغاز و پیشانی موج ولتاژ ثانویه ساخته می شود. پس از لحظاتی کوتاه میدان مغناطیسی در هسته نیز ایجاد گردیده و با فعال شدن شاخه موازی مدار معادل پشت موج القاء شده به ثانویه ساخته می شود. انتقال موج ضربه به ثانویه در اثر القاء خازنی به صورت بسیار سریع صورت می گیرد و می تواند برای عایق های طرف ثانویه و تجهیزات متصل به شبکه فشار ضعیف خطر آفرین باشد. دامنه ولتاژ القاء شده در ثانویه در شبکه های توزیع تا ۱۵ در صد دامنه اولیه نیز گزارش شده است تحمل عایقی سمت فشار قوی ترانسفورماتورهای توزیع در برابر ولتاژهای ضربه ای بسته به کلاس عایقی مربوطه برابر با ۹۵ یا ۱۲۵ کیلو ولت است.

در عمل به وجود آمدن اضافه ولتاژهای موجی صاعقه با دامنه هایی تا حدود ۹۰ کیلو ولت و بالاتر در سمت فشار قوی امری محتمل است. در این صورت امکان انتقال یک موج ولتاژ با دامنه تا حدود ۱۰ کیلو ولت به سمت فشار ضعیف وجود دارد و انتقال چنین اضافه ولتاژی به مدارهای مصرف کنندگان می

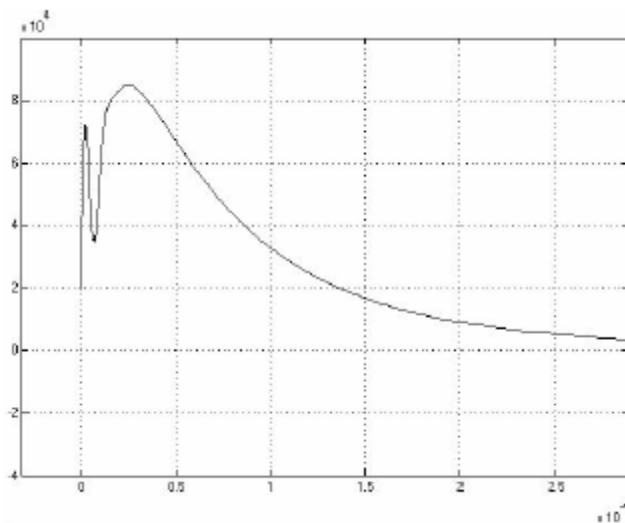
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

تواند باعث خرابی عایق تجهیزات و لوازم برقی ایشان گردد. بنابراین با توجه به امکان القاء اضافه ولتاژهای ضربه ای با دامنه غیر مجاز و خطرناک به شبکه های فشار ضعیف توزیع انرژی الکتریکی، نصب برقگیرهای فشار ضعیف اکسید روی در سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور یا ترجیحا در ورودی مشترکین برق در برخی از کشورها توصیه گردیده و یا اجباری شده است.

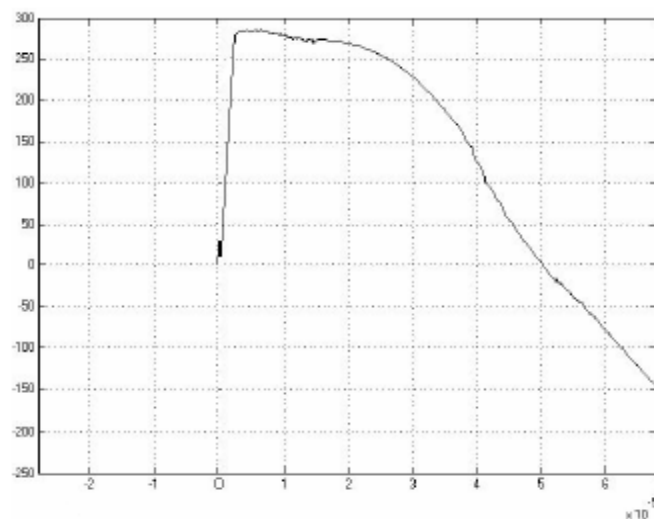
#### ۴-۴ بررسی تاثیر قرار دادن برقگیر در سمت فشار ضعیف ترانسفورماتور:

در اینجا با بررسی یک مورد عملی، تاثیر قرار دادن برقگیر اکسید روی در ثانویه یک ترانسفورماتور توزیع ۲۰ کیلو ولت به ۴۰۰ ولت را مورد ملاحظه قرار می دهیم. یک اضافه ولتاژ ضربه ای ناشی از صاعقه به دامنه بیش از ۸۰ کیلو ولت به ترمینال اولیه این ترانسفورماتور رسیده است. در شکل ۵-۴ موج ضربه ولتاژ اعمالی به اولیه ترانسفورماتور دیده می شود. ترانسفورماتور مزبور در سمت فشار ضعیف خود دارای برقگیر بوده است. در این تحقیق مدار ترانسفورماتور و برقگیر مذکور با استفاده از مدل مشروح سیم پیچها شبیه سازی گردید. و اضافه ولتاژ انتقال یافته به ثانویه محاسبه شد که بعلت محدود بودن حجم مقاله از آوردن مشروح آن در اینجا خودداری می شود. در شکل ۶-۴ موج ضربه ولتاژ القاء شده به ثانویه این ترانسفورماتور در حالتی که در سمت ثانویه آن برقگیر وجود دارد. مشاهده می گردد. همانگونه که در شکل ۶-۴ ملاحظه می شود دامنه این اضافه ولتاژ با توجه به نوع برقگیر انتخاب شده به کمتر از 300 ولت رسیده است که به هیچ وجه برای عایق تجهیزات فشار ضعیف خطرناک نیست. لازم به ذکر است که طراحی و انتخاب برقگیرهای فشار ضعیف باید به طور خاص انجام شود. به طوری که بتوانند در عین حفاظت مدار در مقابل اضافه ولتاژها، خودشان نیز آسیبی ندیده و گرمای حاصله از تخلیه جریان صاعقه و نیز جریان نشتی با فرکانس قدرت را به خوبی دفع نمایند. برقگیرهای فشار ضعیف بر خلاف برقگیرهای شبکه فشار متوسط، باید بتوانند اضافه ولتاژهای موقت (TOV) را به مدت طولانی بدون ایجاد ناپایداری حرارتی در آن تحمل نماید.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۴-۵ موج اضافه ولتاژ رسیده به ترمینال فشار قوی یک ترانسفورماتور توزیع (محور افقی زمان به ثانیه، محور قائم: ولتاژ به ولت)



شکل ۴-۶ موج ولتاژ ضربه القاء شده از سمت فشار قوی به طرف فشار ضعیف ترانسفورماتور توزیع مذکور در شکل ۴-۵ حالت وجود برقگیر اکسید روی در ترمینالهای فشار ضعیف آن (محور افقی: زمان به ثانیه، محور قائم: ولتاژ به ولت).

سوالی که اینجا مطرح است آن است که برقگیر فشار ضعیف را در کجا باید قرار داد. گزینه های مختلفی می تواند مطرح باشد. اولین گزینه آن است که برقگیر در ترمینالهای فشار ضعیف ترانسفورماتور توزیع قرار گیرد. گزینه دوم آنکه برقگیر را در محل انشعابات فشار ضعیف قرار دهیم. و بالاخره گزینه

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

سوم آن است که برقیهای فشار ضعیف در ورودی مشترکین قرار گیرند. به منظور مقایسه این سه حالت آزمایش عملی انجام گردید. یک کابل فشار ضعیف به طول ۱۰۰ متر به عنوان معادل فیزیکی یک خط توزیع انتخاب گردید به وسط آن کابل دیگری به طول ۱۰ متر به عنوان انشعاب متصل شد. از یک منبع تولید موج ضربه جریانی جهت ایجاد موج مشابه صاعقه بر روی خط استفاده به عمل آمد.

با استفاده از این مدار و مولد موج ضربه مذکور و با قرار دادن برقیگر اکسید روی فشار ضعیف در قسمتهای مختلف مدار نتایج جالبی به دست آمد که بعلاوه محدودیت صفحات مقاله از درج مشروح آنها در اینجا خودداری به عمل می آید. نتایج این آزمایشها نشان می دهد که نصب برقیگر در ترمینالهای فشار ضعیف ترانسفورماتور باعث عبور جریان زیاد صاعقه از آن می گردد لذا برقیگر انتخاب شده باید دارای ظرفیت تحمل قدرت بالا باشد که قیمت چنین برقیگری گرانتر است. مزیت این گزینه آنستکه تنها با قرار دادن برقیگر روی ترمینالهای ترانسفورماتور در سمت فشار ضعیف آن خود ترانسفورماتور و نیز کل خط توزیع متصل به آن حفاظت می شود. اما طبق نتایج آزمایشهای به عمل آمده این روش از جهت بزرگی دامنه اضافه ولتاژ رسیده به محل مشترکین کمترین حفاظت را خواهد داشت و شرکت برق نیز متحمل انتخاب و خرید برقیگرهای با ظرفیت زیادتر جهت نصب بر روی ترانسفورماتور خواهد گردید.

گزینه دوم نصب برقیگر در محل انشعابات است. در این حالت تنش کمتری به برقیگر وارد می شود. به علاوه این مزیت را دارد که چندین انشعاب با هم مورد حفاظت قرار می گیرند. اما در این گزینه نیز شرکت برق متحمل خرید برقیگرهای زیادی خواهد گردید. گزینه آخر نصب برقیگر در محل ورودی مشترکین است. بر اساس نتایج آزمایش این روش بهترین حالت حفاظت را برای مشترکین تامین نموده برقیگر نیز کمترین تنش را تحمل خواهد کرد و لذا انتخاب برقیگر با ظرفیت انرژی کمتر و در نتیجه قیمت ارزانتر ممکن خواهد بود. می توان هزینه خرید و نصب برقیگر را در این گزینه به عهده مشترکین گذاشت.

#### ۴-۵ خلاصه و نتیجه گیری

در این مقاله موضوع به وجود آمدن اضافه ولتاژهای گذرا و موقت در ورودی مدار مشترکین فشار ضعیف شبکه مورد بحث قرار گرفت. نمونه هایی از اضافه ولتاژهای گذرا از طریق شبیه سازی و آزمایش مطالعه گردید. و برخی از راههای ممکن جهت کاهش دامنه این اضافه ولتاژها و نگه داشتن آنها در حد مجاز ذکر شد. پیشنهاد می گردد که شرکتهای توزیع برق نصب برقیگرهای فشار ضعیف در ورودی منازل

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

و کارگاهها را به عنوان یک عمل ضروری در جهت تحویل برق ایمن و با کیفیت به مشتریان خود مورد بررسی و در مد نظر قرار دهند.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

# فصل پنجم

## اضافه ولتاژ نوع کلیدزنی



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

## ۵-۱ مقدمه

در این فصل اضافه ولتاژهای داخلی در خطوط انتقال قدرت جریان مستقیم ولتاژ بالا (HVDC). شامل اضافه ولتاژهای نوع کلیدزنی، نوع AC و نوع DC مورد بررسی قرار گرفته است. منشاء این اضافه ولتاژها در واقع خطاهای مختلف از جمله خطای تک قطب به زمین در سیستم های دو قطبی، خطای آتش، خطای کموتاسیون، هدایت ناخواسته والوهای تریستوری، بلکه شدن مبدل های اینورتری و راه اندازی ناهماهنگ و کنترل نشده مبدل های یکسو کننده و اینورتر می باشد. برای بررسی این اضافه ولتاژها ابتدا حالت های مختلف خطا به کمک ابزارهایی نظیر تئوری امواج بسیار و تئوری مودال مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته و سپس با توجه به عملکرد سیستم کنترلی مدار معادل ساده شده سیستم در حین خطا ارائه گردیده است. در ادامه با شبیه سازی یک سیستم تست HVDC با نرم افزار PSCAD/EMTDC، تاثیر پارامترهای مختلف روی دامنه و شکل اضافه ولتاژها مورد بررسی قرار گرفته و مشخصات کلی آنها بدست آمده است.



طراحی عایقی در خطوط انتقال قدرت HVDC و همچنین ایستگاه های مبدل آن وابستگی زیادی به دامنه و شکل اضافه ولتاژهای داخلی سیستم دارد. این اضافه ولتاژها را که تا حدود زیادی با اضافه ولتاژهای شناخته شده در سیستم های جریان متناوب متفاوت می باشند، می توان به سه دسته اصلی تقسیم بندی نمود:

### ۱- اضافه ولتاژ نوع کلیدزنی



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

۲- اضافه ولتاژ نوع AC

۳- اضافه ولتاژ نوع DC

اضافه ولتاژ نوع کلیدزنی بر خلاف آنچه از نامش بر می آید منشاء متفاوتی نسبت به اضافه ولتاژهای کلیدزنی در سیستم های AC داشته و در اثر خطای تک قطب به زمین در سیستم های دو قطبی HVDC و در قطب سالم روی می دهد. مطالعات اولیه روی این اضافه ولتاژ که با استفاده از شبیه سازهای فیزیکی DC و آنالیزگرهای شبکه گذرا صورت گرفته، مقدار آن را در حدود ۱/۷ پریونیت نشان دادند. اما تحلیل کیمبارک و پس از آن آنالیز کامپیوتری هینگورانی نشان داد که حداکثر دامنه این اضافه ولتاژ بسته به امپدانس انتهای خط و مکان وقوع خطا می تواند حتی به ۲/۲ پریونیت برسد. در واقع اختلاف بوجود آمده در نتایج این مطالعات را می توان ناشی از یکسری فرض های ساده کننده و محدودیت های عملی شبیه سازها بویژه شبیه سازهای فیزیکی دانست. زیرا این سیستم ها دارای پاسخ فرکانسی محدود بوده و وابستگی فرکانسی پارامترهای خطوط انتقال در آن لحاظ نشده است. در مطالعات کیمبارک و هینگورانی هر چند تاثیر فرکانس روی پارامترهای خط (سرعت موج و ضریب میرایی) بررسی شده، اما در عمل برای تحلیل و شبیه سازی با تقریب از یک مدل ساده تک فرکانسی و بدون تلفات خط استفاده گردیده و نتایج ارائه شده بر اساس آن می باشد.

این اضافه ولتاژ در سیستم های هیبریدی و در یک سیستم سه پایانه ای نیز مورد بررسی قرار گرفته است. اضافه ولتاژ نوع AC در اثر خطاهای مختلف در مبدل ها و تزریق مستقیم ولتاژ سیستم متناوب به خط DC روی می دهند. این امر علاوه بر اینکه خود می تواند ولتاژ خط انتقال را از مقدار نامی فراتر برد، ممکن است اسباب تشدید خطوط HVDC بلند را با راکتورهای هموار ساز در پایانه مبدل فراهم سازد. در چنین شرایطی اضافه ولتاژ بزرگتری سیستم را تهدید می نماید.

اضافه ولتاژ دیگر که به نوع DC موسوم است زمانی روی می دهد که راه اندازی اینورتر نسبت به یکسو کننده با تاخیر صورت گیرد. این امر سبب می شود تا انتهای خط انتقال از دید موج سیار ولتاژ بصورت مدار باز دیده شده و منجر به وقوع اضافه ولتاژهای برگشتی با دامنه زیادتر گردد. در ارتباط با این نوع اضافه ولتاژها نیز مطالعات محدودی صورت گرفته است. در این مطالعات مقداری بین ۱/۵ تا ۲ پریونیت برای اضافه ولتاژهای AC و ۱/۵ تا ۲/۳ پریونیت برای اضافه ولتاژهای نوع DC ذکر شده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

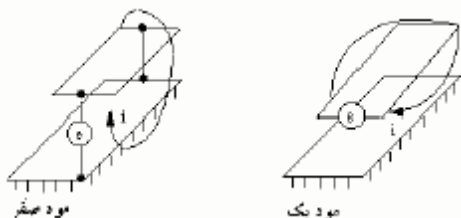
ضرورت بررسی اضافه ولتاژهای داخلی از آنجا ناشی می شود که مقدار آنها بستگی زیادی به سیستم مورد مطالعه و مشخصات کنترلی آن دارد. در این فصل ضمن تحلیل کامل و برشمردن موارد خطا، با توجه به عملکرد قابل پیش بینی سیستم کنترل در هر مورد، مدار معادل ساده شده سیستم در حین خطا ارائه گردیده است. در ادامه با شبیه سازی یک سیستم دو قطبی کامل HVDC با سیستم کنترل مرسوم و تجهیزات پایانه، تاثیر پارامترهای مختلف، با هدف ایجاد یک ساختار کلی و هدفمند جهت برآورد این اضافه ولتاژها مورد بررسی قرار گرفته است. این امر با استفاده از امکانات نرم افزار EMTDC/PSCAD که یک برنامه تحلیل گذرای الکترومغناطیسی بوده و دارای مدل های مختلف و دقیق خط انتقال قدرت می باشد، میسر گردیده است.

## ۲-۵ اضافه ولتاژ نوع کلیدزنی

برای تحلیل اضافه ولتاژهای تک قطب به زمین مانند صاعقه می توان از تئوری امواج سیار کمک گرفت. اما تئوری امواج سیار و روابط آن در خطوط تکفازه صادق بوده و برای خطوط چند فازه که بین فازهای مختلف تزویج وجود دارد، نمی توان از روابط مربوط به حالت تکفازه استفاده نمود. در چنین شرایطی بایستی با استفاده از ماتریس های تبدیل مودال نظیر ماتریس کلارک، معادلات چند فازه را قطری نموده و آن را به چند مد انتشار مستقل بصورت زیر تبدیل نمود.

$$[F_{phase}] = [T][F_{mode}] \quad (5-1)$$

هر مد مانند یک خط تکفازه رفتار نموده و دارای امپدانس مشخصه و زمان سیر مخصوص به خود می باشد. برای خطوط انتقال با دو هادی نظیر خطوط دو قطبی DC دو مسیر برگشت وجود دارد. این مسیرها در شکل (5-1) نشان داده شده است.



شکل 5-1 مودهای مختلف سیستم دو قطبی HVDC

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در مود صفر یا مود زمین جریان از هر دو هادی به طرف زمین انتقال می یابد ، ولی در مود یک یا مثبت جریان بین دو هادی بصورت رفت و برگشت جاری می شود . با مشخص نمودن جهت جریان با +۱ و -۱ ماتریس مودال را می توان بصورت زیر در نظر گرفت :

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & -1 \end{bmatrix} \quad (5-2)$$

در یک خط دو قطبی که هادی های آن بطور متقارن نسبت به زمین واقع شده اند ، معادلات ماتریسی جریان و ولتاژ بصورت زیر می باشد :

$$-\frac{\partial}{\partial x} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{aa} & M_{ab} \\ M_{ab} & L_{bb} \end{bmatrix} \frac{\partial}{\partial t} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \end{bmatrix} \quad (5-3)$$

$$-\frac{\partial}{\partial x} \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_{aa} & -C_{ab} \\ -C_{ab} & C_{bb} \end{bmatrix} \frac{\partial}{\partial t} \begin{bmatrix} V_a \\ iV_b \end{bmatrix} \quad (5-4)$$

با اعمال ماتریس تبدیل مودال (رابطه ۵-۲) ، تبدیل مودال معادلات (۵-۳) و (۵-۴) بصورت زیر می باشد .

$$-\frac{\partial}{\partial x} \begin{bmatrix} V_1 \\ V_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (L_{aa} - M_{ab}) & 0 \\ 0 & (L_{aa} + M_{ab}) \end{bmatrix} \frac{\partial}{\partial t} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_0 \end{bmatrix} \quad (5-5)$$

$$-\frac{\partial}{\partial x} \begin{bmatrix} i_1 \\ i_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (c_{aa} + c_{ab}) & 0 \\ 0 & (c_{aa} - c_{ab}) \end{bmatrix} \frac{\partial}{\partial t} \begin{bmatrix} v_1 \\ v_0 \end{bmatrix} \quad (5-6)$$

شکل امپدانس معادلات (۵-۵) و (۵-۶) به صورت زیر خواهد بود :

$$V_a = Z_s I_a + Z_m I_b \quad V_b = Z_m I_a + Z_s I_b \quad (5-7)$$

$$I_a = Y_s V_a + Y_m V_b \quad I_b = Y_m V_a + Y_s V_b \quad (5-8)$$

که پس از تبدیل مودال به صورت زیر در خواهند آمد :

$$V_0 = Z_0 I_0 \quad V_1 = Z_1 I_1 \quad (5-9)$$

$$I_0 = Y_0 V_0 \quad I_1 = Y_1 V_1 \quad (5-10)$$

با توجه به روابط اخیر امپدانس و ادمیتانس مود صفر و مود یک بصورت زیر تعریف می شوند :

$$Z_0 = Z_s + Z_m \quad Z_1 = Z_s - Z_m \quad (5-11)$$

$$Y_0 = Y_s + Y_m \quad Y_1 = Y_s - Y_m \quad (5-12)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

$Z_m$  و  $Z_s$  امپدانس  $Y_m$  و  $Y_s$  ادmittانس خودی و متقابل می باشند. مقدار دقیق این پارامترها با در نظر گرفتن اثر زمین استاتیکی و مغناطیسی از روابط کارسون بدست می آید.

دو خط انتقال یک سیستم انتقال DC دو قطبی دارای تزویج الکترواستاتیکی و الکترومغناطیسی می باشند. بنابراین با بروز خطای قطب به زمین در یک قطب اضافه ولتاژهایی در قطب سالم رخ می دهد. موج اضافه ولتاژ از نقطه بروز خطا بسوی دو انتهای خط حرکت نموده و پس از برخورد به انتهای خط منعکس می گردد.

اگر قطب منفی که دچار خطا شده با اندیس  $a$  و قطب مثبت یا قطب سالم با اندیس  $b$  نامیده شوند، با توجه به روابط مودال و فاز داریم.

$$i_b = (i_0 - i_l) \quad , \quad v_a = (v_0 - v_1)$$

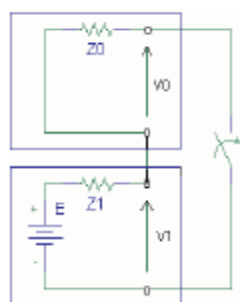
در شرایط خطا،

$$v_a = 0 \quad , \quad i_b = 0$$

بنابراین،

$$v_0 = -v_l \quad , \quad i_b = 0$$

در نتیجه با استفاده از روابط (۵-۹) و (۵-۱۱) مدار معادل سیستم در حین خطا بصورت شکل (۵-۲) خواهد بود.



شکل (۵-۲) مدار معادل مودال سیستم در حین خطای تک قطب به زمین

تغییرات ولتاژ ظاهر شده دو سر هر شبکه پس از خطا متناسب با امپدانس تونن آن است در نتیجه:

$$\Delta v_1 = E \frac{Z_1}{Z_1 + Z_0} \quad (5-13)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

$$\Delta v_0 = E \frac{Z_0}{Z_1 + Z_0} \quad (5-14)$$

در این روابط ،  $Z_0$  و  $Z_1$  به ترتیب امپدانس مشخصه مود صفر و یک و  $E$  ولتاژ سیستم قبل از خطا می باشد . با توجه به روابط فوق و تبدیل مودال ، تغییر ولتاژ (پرش اولیه) روی قطب سالم پس از خطا از رابطه زیر بدست می آید .

$$\Delta v_b = \Delta v_1 - \Delta v_0 = \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1 + Z_0} E \quad (5-15)$$

این رابطه برای قطبی که دچار خطا شده بصورت زیر می باشد .

$$\Delta v_a = \Delta v_1 + \Delta v_0 = E \quad (5-16)$$

حال اگر این تغییرات به مقادیر قبل از خطا در قطب ها اضافه شود ، مقدار واقعی ولتاژها بدست می آید .

$$v_a = -E + E = 0 \quad (5-17)$$

$$v_b = E + \frac{Z_0 - Z_1}{Z_0 + Z_1} E = \frac{2Z_0 E}{Z_0 + Z_1} \quad (5-18)$$

در بخش شبیه سازی نتایج بدست آمده روی یک سیستم تست با نتایج روابط فوق قابل مقایسه است .

WikiPower.ir

### ۳-۵ اضافه ولتاژهای نوع AC

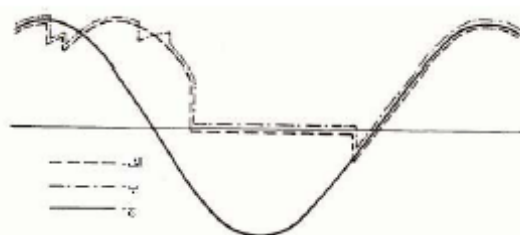
این اضافه ولتاژها همانطور که اشاره شد بر اثر تزریق ولتاژ متناوب به خط در اثر خطاهای مختلف ایستگاه مبدل بوجود می آیند .

#### ۱-۳-۵ موارد خطا

ولتاژ متناوب شبکه AC در صورتی به خط انتقال DC منتقل می گردد که ترتیب کموتاسیون در پل های تریستوری دچار اغتشاش گردد . یکی از عوامل این امر نقص متوالی یک یا چند والو در حین آتش شدن می باشد که ممکن است در اثر مشکلات مدار آتش رخ داده باشد . البته احتمال این نوع خطا بسیار کم است .

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

عامل دیگری که باعث نقص کموتا سیون می شود و احتمال بروز بیشتری نیز دارد. ادامه هدایت ناخواسته والوهای تریستوری در عملکرد اینورتری، ناشی از کوچک بودن بیش از اندازه زاویه خاموشی می باشد. روشن شدن بی موقع در والوهای قوس جیوه ای نیز می تواند نتایج مشابهی داشته باشد و از همه مهمتر خروج یک یا چند و یا همه مبدل های اینورتری از مدار به علت قطع پالس های آتش آنها می باشد. موارد فوق در شکل ۳-۵ نشان داده شده است. در همه این خطاها ولتاژ سیستم شامل یک جزء AC است که فرکانس اصلی آن فرکانس سیستم قدرت می باشد.



شکل ۳-۵ ولتاژ سمت اینورتر در حالت های الف) نقص آتش. ب) نقص کموتا سیون و ج) بلوکه شدن اینورتر

اضافه ولتاژهای ناشی از بلوکه شدن اینورتر را می توان به دو حالت زیر تقسیم بندی نمود.

الف) اضافه ولتاژ ناشی از بلوکه شدن یک یا چند مبدل اینورتری

ب) قطع پالس های آتش در مبدل های اینورتر

اگر پالس های آتش کنترلی در یکی از گروه های والو اینورتر از دست برود. از آنجایی که هیچ والو جدیدی آتش نمی شود. دو والوی که قبل از بروز خطا هدایت می کردند به هدایت خود ادامه می دهند. در نتیجه ولتاژ خط سیستم AC مستقیماً به سمت DC منتقل می گردد. در چنین شرایطی از آنجا که سایر مبدل های اینورتر و یکسو کننده به کار خود ادامه می دهند. ولتاژ خط انتقال نوسانی با بایاس DC می باشد. حالت های مختلف نقص کموتانسیون (نقص آتش، ادامه هدایت و هدایت بی موقع) که در آنها نیز ولتاژ خط نوسانی با ولتاژ DC است. قابل تعمیم به این حالت می باشد اگر پالس های آتش کل مبدل اینورتری بر اثر بروز خطا قطع شود، سیستم تمایل دارد که مانند حالت قبل با جریان و ولتاژ نوسانی به کار خود ادامه دهد. اما در این شرایط چون بایاس DC جریان و ولتاژ در خط انتقال وجود ندارد، جریان پس از چند سیکل قدرت به صفر می رسد. در لحظه صفر شدن جریان چون

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

یکسو کننده هنوز فعال فعال بوده و به سیستم انرژی تزریق می نماید ، اضافه ولتاژ شدیدی رخ می دهد.

## ۲-۳-۵ تشدید

یک سیستم HVDC که شامل امپدانس های خط انتقال و پایانه مبدل بویژه راکتور هموارساز است . دارای یک فرکانس طبیعی یا فرکانس تشدید خواهد بود . در این فرکانس نسبت بین ولتاژ و جریان تزریقی به سیستم بدون در نظر گرفتن عملکرد سیستم کنترل حداکثر مقدار خود را خواهد داشت . بسیاری از سیستم های HVDC دنیا که امروزه مشغول به کار می باشند ، بواسطه طول بلند خطوط قدرت آنها ، فرکانس طبیعی نزدیک به فرکانس شبکه AC دارند ، در نتیجه وقوع خطای نوع AC می تواند سبب تشدید و بروز اضافه ولتاژهایی با دامنه زیاد شود . البته همانطور که بعداً نشان داده خواهد شد با عملکرد سیستم کنت - رل تقویت ولتاژ متناوب تزریقی کاهش می یابد .

## ۴-۵ اضافه ولتاژ نوع DC

در شرایطی که انتهای خط DC باز است و در واقع اتصال اینورتر به خط DC به هر دلیلی برقرار نشده ، اتصال ناگهانی یکسوکننده با زاویه آتش پایین به خط DC می تواند باعث بروز اضافه ولتاژهایی شدیدی گردد . اندازه این اضافه ولتاژ با توجه به تئوری امواج سیار بایستی دو برابر ولتاژ نامی باشد ، اما در عمل بر اثر انعکاس متوالی موج ولتاژ مقدار اضافه ولتاژ بدون در نظر گرفتن تاثیر سیستم کنترل ممکن است از این مقدار فراتر رود . در عمل سیستم کنترل طوری طراحی می گردد که در عملکرد عادی سیستم ، شروع انتقال ، برقرار نمودن مجدد خط DC پس از خطا و قطع نمودن پل های مبدل با یک ولتاژ کنترل شده صورت گیرد . در نتیجه حتی اگر خط DC بطور اتفاقی در سمت اینورتر مدار باز باشد ، افزایش ولتاژ قابل کنترل است .

با توجه به تئوری امواج سیار ، پرش اولیه ولتاژ در ابتدای فرستنده خط DC در حوزه لاپلاس از رابطه زیر بدست می آید :

$$V_F(s) = E(s) \cdot \frac{Z_c}{Z_c + Z_G(s)} \quad (5-19)$$

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

در این رابطه E و ZG ولتاژ و امپدانس منبع DC در مدار معادل تونن از دید ابتدای خط و ZC امپدانس مشخصه خط انتقال است.

پس از رسیدن موج ولتاژ به انتهای خط با ضریب شکست منعکس می گردد (چون انتهای خط باز است). موج پیشرو جریان در خط DC از رابطه زیر بدست می آید.

$$I_f(s) = \frac{V_f(s)}{Z_c} = E(s) \cdot \frac{1}{Z_c + Z_G(s)} \quad (5-20)$$

برای کاهش دامنه اضافه ولتاژهای DC با توجه به رابطه (۵-۱۹) بایستی پرش اولیه ولتاژ (E) کاهش یابد. برای این منظور افزایش تدریجی و کنترل شده ولتاژ سمت فرستنده می تواند مورد توجه قرار گیرد.

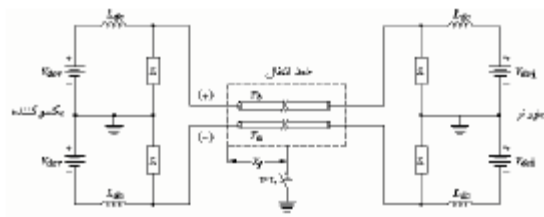
#### ۵-۵ مدار معادل

با توجه به ویژگی های ارائه شده برای هر یک از اضافه ولتاژهای داخلی مدار معادل ساده پیشنهادی برای هر یک از آنها در شکل ۴-۵ نشان داده شده است.

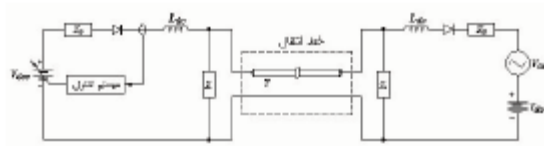
WikiPower.ir



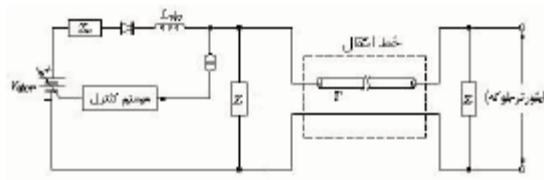
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



(الف)



(ب)



(ج)

شکل ۴-۵ مدار معادل سیستم برای الف — اضافه ولتاژ کلیدزنی ، ب) اضافه ولتاژ نوع AC و ج) اضافه ولتاژ نوع DC

پاسخ سیستم کنترل مبدل های HVDC در مقابل خطای اتصال کوتاه مدت کند است . بنابراین می توان با حذف اثر کنترل ، مبدل ها را با منابع ولتاژ ثابت جایگزین نمود . در اضافه ولتاژهای نوع AC عملکرد کنترل جریان و در اضافه ولتاژهای نوع DC عملکرد کنترل ولتاژ سیستم کنترلی اهمیت دارد . همچنین در این مدل ها تزریق ولتاژ متناوب با منبع AC و اینورتر بلوکه بامدار باز مدل شده اند . در این مدل ها تجهیزات پایانه شامل امپدانس منابع  $(Z_{sr}, Z_{si})$  . راکتور هموارساز  $(Ldc)$  . فیلترهای DC  $(Zf)$  و خط انتقال  $(T)$  نیز در نظر گرفته شده است .

۵-۶ معرفی سیستم تست

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

برای مطالعه کمی و کیفی روی اضافه ولتاژها، یک سیستم دو قطبی ۱۲ پالسه به همراه سیستم کنترل پایانه و خط شبیه سازی شده است. این سیستم در واقع مبنی بر سیستم نمونه تک قطبی سیگره می باشد. با این تفاوت که یک خط انتقال بلند واقعی بجای مدل ساده خط انتقال آن جایگزین شده و در پایانه های DC آن فیلتر نصب شده است. این سیستم در شین AC مجهز به فیلترهای بالاگذر، پایین گذر و بانک خازنی می باشد.

### ۱-۶-۵ خط انتقال انتخابی

برای مطالعه اضافه ولتاژها از مشخصات یک خط انتقال واقعی مربوط به سیستم Pacific HVDC Intertie بین Colilo و Sylmar در آمریکا و به طول ۱۳۵۲ کیلومتر استفاده شده است. مقادیر امپدانس مشخصه (Z)، زمان سیر (T) و نسبت تضعیف (A) برای مودهای مختلف در فرکانس ۲۰۰ هرتز بصورت زیر می باشد:

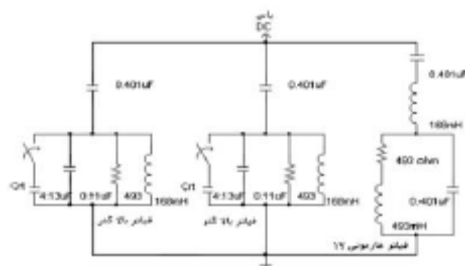
$$\begin{aligned} Z_0 &= 507(\Omega) & T_0 &= 5.67(ms) & A_0 &= 0.56 \\ Z_1 &= 281(\Omega) & T_1 &= 4.48(ms) & A_1 &= 0.95 \end{aligned}$$

همانطور که ملاحظه می شود، امپدانس مشخصه، زمان سیر و درصد تضعیف مود صفر بیشتر از مود یک می باشد.

### ۲-۶-۵ فیلتر DC

برای مطالعه اثر تجهیزات انتهای خط روی اضافه ولتاژ تک قطب به زمین، یک نمونه فیلتر DC در انتهای خطوط در نظر گرفته شده است. ترکیب کلی فیلتر DC استفاده شده در شکل ۵-۵ نشان داده شده است. فیلترهای بالاگذر با اتصال خازن CRT تبدیل به فیلتر مرتبه ۱۲ می شود. با استفاده از این خازن، شاخه های فیلتری و راکتور هموارساز DC می توان ترکیبات مختلف سلفی و خازنی را در انتهای خط ایجاد نمود.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آر م سایت و به همراه فونت های لازمه

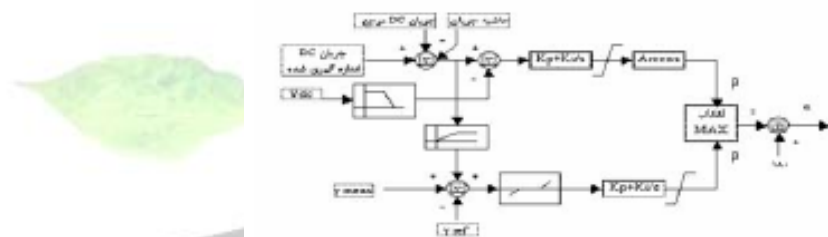


شکل ۵-۵ ترکیب کلی فیلتر DC

### ۳-۶-۵ سیستم کنترلی

بلوک دیاگرام ساده شده سیستم کنترل در شکل ۵-۶ نشان داده شده است. این بلوک دیاگرام

کلی، سیستم کنترل یکسو کننده و هم اینورتر را با هم شامل می گردد.



شکل ۵-۶ بلوک دیاگرام ساده شده مدار کنترل

این سیستم مجهز به یک سیستم کنترل جریان بوده و با تنظیم فرمان آتش مبدل ها سبب می شود تا جریان ثابت نگه داشته شود. این مود کنترلی معمولاً در یکسو کننده فعال می باشد. در هنگامی که ولتاژ سیستم افت نماید، مشخصه حد وابسته به ولتاژ فرمان جریان (VDCOL) باعث می شود تا فرمان جریان متناسب با ولتاژ سیستم کاهش یابد. مسیر دیگر مدار کنترل، زاویه خاموشی ( $\gamma$ ) مبدل اینورتر را در یک مقدار از پیش تعیین شده تنظیم می نماید. انتخاب بین مود کنترل جریان ثابت و زاویه خاموشی ثابت با تعیین فرمان زاویه آتش کمتر بین دو فرمان زاویه آتش صورت می گیرد.

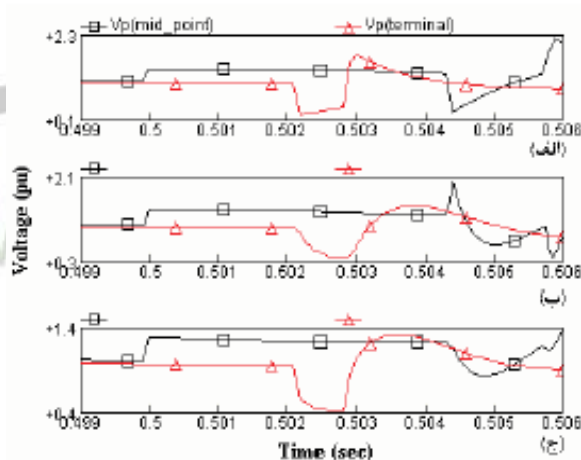
### ۷-۵ نتایج شبیه سازی

#### ۱-۷-۵ شبیه سازی اضافه ولتاژ نوع کلیدزنی

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

برای شروع مطالعه ابتدا از مدار معادل ساده شده شکل (۳-۵ الف) استفاده می شود. در مرحله اول خط با مدل تک فرکانسی برزرون و بدون تلفات در نظر گرفته شده است. نتایج بدست آمده برای ترکیبات مختلف انتهای خط در شکل (۵-۷) نشان داده شده است. در لحظه بروز خطا یک پرش اولیه  $0.3 \text{ pu}$  که با رابطه (۵-۱۵) و مشخصات خط انتقال انتخابی تطابق دارد در وسط خط و در قطب سالم ایجاد می گردد. موج مود یک سریعتر و پس از سپری شدن زمان  $2/19$  میکروثانیه ( $T/2$ ) به انتهای خط می رسد و به عنوان نمونه در انتهای سلفی با پرش اولیه  $2\Delta V_1 = -0.71 \text{ pu}$  (رابطه ۵-۱۳) منعکس می گردد.

موج مود صفر با اندکی تاخیر و پس از زمان  $2/91$  میکروثانیه ( $T/2$ )، به انتهای سلفی می رسد و موج برگشتی آن  $2\Delta V_0 = 1.29 \text{ pu}$  می باشد. این امواج پس از طی مسافتی به اندازه طول یک خط کامل دوباره به وسط خط می رسند و حداکثر اضافه ولتاژ را در آن نقطه ایجاد می نمایند. اثر این دو مود در شکل (۵-۷) بوضوح قابل مشاهده است.



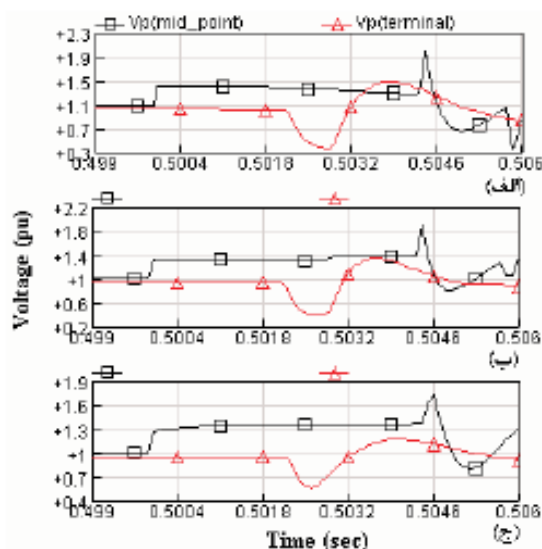
شکل ۵-۷ اضافه ولتاژها ناشی از خطای تک قطب به زمین در وسط خط برای الف) انتهای سلفی، ب) انتهای خازنی و ج) انتهای مقاومتی

با دقت در شکل ملاحظه می شود در حالت خازنی اضافه ولتاژ ایجاد شده مربوط به مود یک و در حالت سلفی مربوط به مود صفر است که ذاتاً دارای تضعیف بیشتری است. در حالت مقاومتی ( $R=Z_1$ ) شرایط از دو حالت قبلی بهتر است. این حالت با گذاردن مقاومت در فیلتر DC بالاگذر ایجاد گردیده

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

است. حداکثر دامنه اضافه ولتاژها در این شکل بین ۲ و ۲/۲ پریونیت می باشد، که با نتایج به دست آمده توسط کیمبارک و هینگورانی کاملاً تطبیق دارد.

برای نزدیک شدن به شرایط واقعی خط انتقال بایستی تلفات و وابستگی پارامترهای آن به فرکانس مدنظر قرار گیرد. برای این منظور مدل خط وابسته به فرکانس و با تلفات انتخاب می گردد. نتایج در حالت خازنی در شکل (۵-۸) نشان داده شده است. مقاومت خط سبب می شود تا دامنه و شیب اضافه ولتاژ کاهش یابد. اما تاثیر وابستگی پارامترهای خط انتقال به فرکانس در این راستا بیشتر می باشد. دامنه اضافه ولتاژ در اثر این دو عامل به ترتیب از ۲/۰۴ به ۱/۹۱ و سپس به ۱/۷۳ پریونیت کاهش می یابد. در حالت (ج) که به واقعیت بسیار نزدیک است، تفکیک بین مودهای صفر و یک بخاطر اثر فرکانس های بالا امکانپذیر نیست.

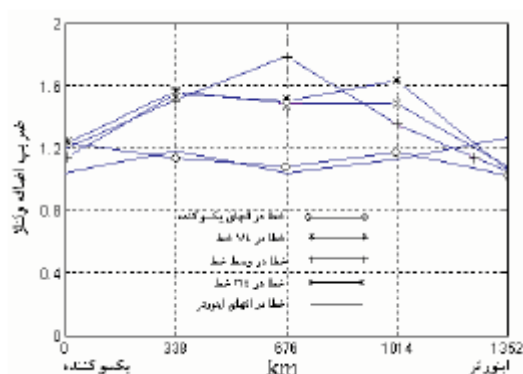


شکل ۵-۸ اضافه ولتاژها ناشی از خطای تک قطب به زمین در حالت خازنی الف) خط بودن تلفات و مدل تک فرکانسی، ب) خط با تلفات و مدل تک فرکانسی و ج) خط با تلفات و مدل وابسته به فرکانس

۵-۷-۱-۱ مکان خطا

برای نشان دادن تاثیر مکان خطا، در سیستم تست خط انتقال به چهار مقطع مساوی (۳۳۸ km) تقسیم گردیده است. حداکثر اضافه ولتاژهای ناشی از خطا در مقاطع مختلف بصورت منحنی در شکل (۵-۹) نشان داده شده است.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۹-۵ حداکثر اضافه ولتاژها ناشی از خطای تک قطب به زمین در فواصل مختلف ( $L_{dc} = 0.5 H$ )

مشاهده می شود که حداکثر اضافه ولتاژ در وسط خط و ناشی از خطا در همان نقطه روی می دهد. همچنین حداکثر دامنه اضافه ولتاژها در نقاط غیر از وسط خط در نقطه قرینه نسبت به وسط خط روی می دهد. علت این امر این است که در نقطه قرینه موج پیشرو و برگشتی تقریباً بطور همزمان به هم می رسند و باعث افزایش دامنه ولتاژ می شوند.

#### ۲-۱-۷-۵ حساسیت به ترکیبات مختلف فیلتر

در جدول (۱-۵) حداکثر اضافه ولتاژها برای ترکیبات مختلف فیلتر درج گردیده است. مشاهده می شود که حداکثر اضافه ولتاژ در قطب سالم در حالت (الف) که انتهای خط بیشترین خاصیت خازنی را دارد رخ می دهد و در این راستا شاخه های بالاگذر بیشترین تاثیر را دارا می باشند. از حالت (ه) به بعد خاصیت انتهای خط از حالت خازنی به حالت سلفی تغییر می یابد و اثر راکتور هموارساز غالب می شود.

جدول (۱-۵) دامنه اضافه ولتاژ برای ترکیبات مختلف فیلتر

ترکیب	توضیحات	دامنه اضافه ولتاژ (pu)
الف	وصلی همه شاخه های فیلتر	1/82
ب	حالت الف بدون خازنهای C11	1/79
ج	حالت الف بدون یکی از شاخه های بالاگذر	1/58
د	حالت ج بدون خازن C11 در شاخه بالاگذر	1/54
ه	قطع هر دو شاخه بالاگذر	1/66
و	قطع تمام شاخه های فیلتر	1/52

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

شیب اضافه ولتاژها در نقاط دور از خطا به واسطه تضعیف و اعوجاج کمتر از نزدیک به خطا می باشد. حداقل زمان پیشانی موج در این حالت ها به ترتیب ۲۰۰ و ۹۵۰ میکروثانیه مشاهده شده است

### ۳-۱-۷-۵ تاثیر اندوکتانس راکتور هموارساز (LDC)

تغییر اندوکتانس راکتور هموارساز در حالت (و) از مقدار  $0.1 H$  تا  $1 H$  حداکثر اضافه ولتاژ را از  $1/74 pu$  تا  $1/35 pu$  کاهش می دهد. افزایش راکتور هموارساز نرخ تغییرات جریان را محدودتر می نماید، بنابراین باعث کاهش دامنه اضافه ولتاژ می شود.

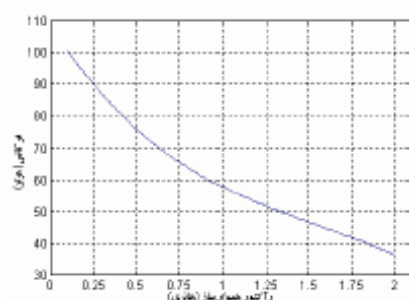
### ۴-۱-۷-۵ تاثیر مقاومت خطا (RF) و اثر مقاومت خاک

مقاومت خطا ناشی از مقاومت قوس الکتریکی و یا دکل در عمل وجود دارد. در حالت (و) ( $H$ )  $LDC = 0.1$ ، با افزایش مقاومت خطا از صفر تا  $100 \Omega$  دامنه اضافه ولتاژ از  $1/74 pu$  به  $1/5 pu$  کاهش می یابد. مقاومت خطا دامنه جریان مود صفر را محدود ساخته و ضریب میرایی آن را افزایش می دهد. با تغییر مقاومت خاک از  $10 (\Omega m)$  تا  $1000 (\Omega m)$  تاثیر چندانی بر اندازه اضافه ولتاژها مشاهده نگردید (کمتر از ۳ درصد).

### ۲-۷-۵ شبیه سازی اضافه ولتاژ نوع AC

برای مطالعه اثر تشدید در حین بروز اضافه ولتاژهای نوع AC روی خط انتقال، رفتار فرکانس تشدید سیستم با تغییر مقدار راکتور هموارساز بررسی شده است. برای این منظور از امکانات موجود در نرم افزار EMTDC (بلوک های Current injection FFT و Harmonic) استفاده شده است. فرکانس تشدید سیستم بر حسب مقادیر مختلف اندوکتانس بصورتی که در منحنی شکل (۱۰-۵) نشان داده شده، تغییر می نماید.

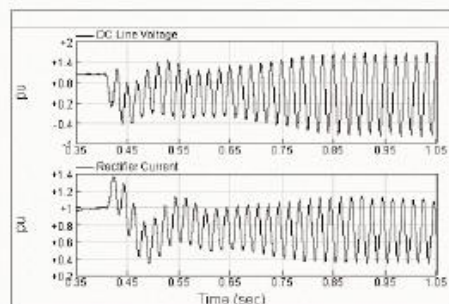
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۱۰-۵ تغییرات فرکانسی تشدید با اندوکتانس راکتور هموارساز

مشاهده می گردد که فرکانس تشدید خط انتخابی با راکتور هموار ساز  $1/35$  هانری، تقریباً برابر  $50$  هرتز می باشد. بنابراین انتظار می رود در صورت بروز خطا در مبدل حداکثر اضافه ولتاژها در این مقدار صورت گیرد.

نتایجی که ابتدا ارائه می شود، مربوط به حالتی است که پالس های آتش در یکی از مبدلهای سری اینورتری قطع گردد. در شکل (۱۱-۵) منحنی های جریان و ولتاژ خط DC با  $L_{DC} = 1H$  پس از خطا نشان داده شده است. در این شکل ها حداکثر اضافه ولتاژ  $1/7$  پریونیت می باشد و این در حالی است که متوسط ولتاژ در حدود  $0.5 pu$  (چون نیمی از اینورتر بلوکه شده است) و متوسط جریان DC بلحاظ عملکرد تابع VDCOL و کنترل جریان در  $0.75 pu$  محدود شده است.



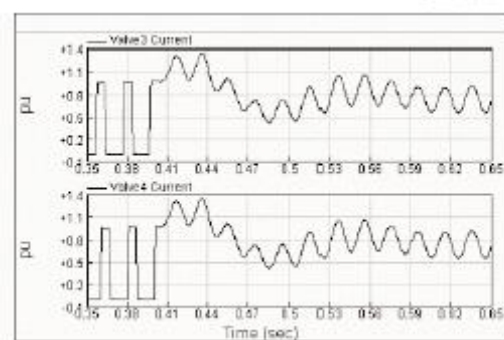
شکل ۱۱-۵ ولتاژ و جریان خط DC پس از قطع پالس های آتش یکی از مبدل های اینورتر

در شکل (۱۲-۵) جریان والوهای ۳ و ۴ که قبل از بروز خطا هدایت می کرده اند و پس از خطا

نیز به هدایت خود ادامه می دهند، نشان داده شده است.

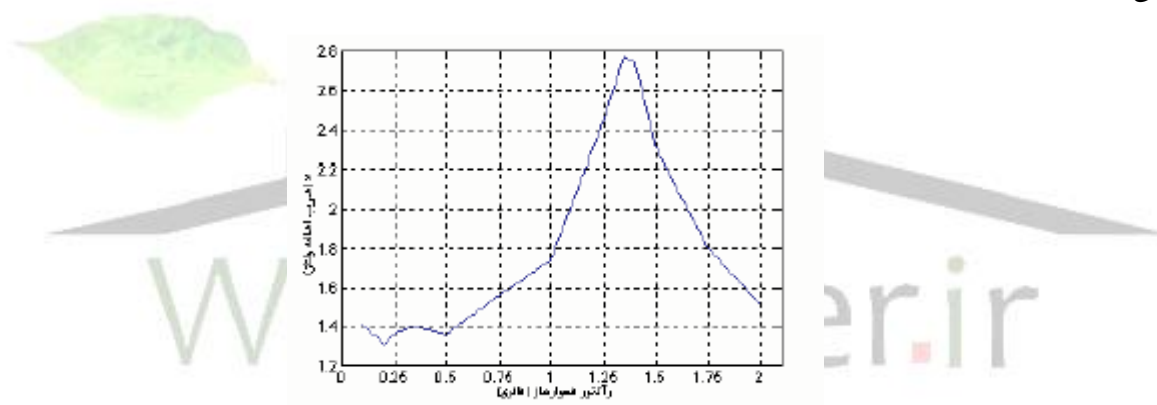


برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



شکل ۱۲-۵ جریان والوها پس از خطا

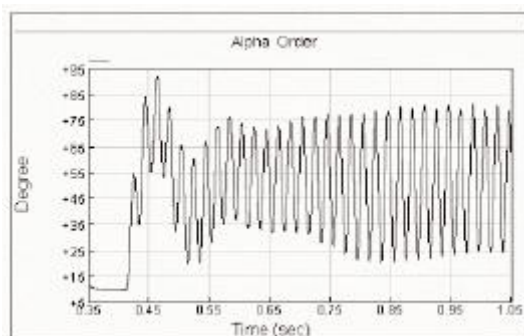
در ادامه برای مقادیر مختلف راکتور هموار ساز حداکثر اضافه ولتاژهای AC روی خط DC تعیین گردیده که نتایج آن در شکل (۱۳-۵) نشان داده شده است. ضریب  $n$  نسبت اضافه ولتاژ به ولتاژ مستقیم نامی است.



شکل (۱۳-۵) تغییرات ضریب اضافه ولتاژ  $n$  بر حسب مقدار راکتور DC

همانطور که انتظار می رفت در به سبب بروز تشدید دامنه اضافه ولتاژ حداکثر مقدار خود را ادامه می باشد. بعلاوه این منحنی نشان می دهد که برای مقادیر حداکثر دامنه اضافه ولتاژها زیر  $1/5 pu$  است. برای نشان دادن تاثیر عملکرد سیستم کنترل، فرمان زاویه آتش مبدل یکسو ساز که توسط کنترل کننده صادر شده، در شکل (۱۴-۵) نشان داده شده است.

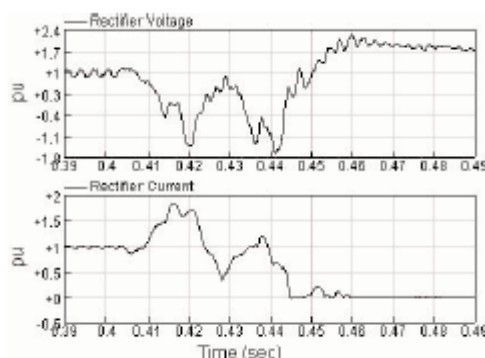
برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



شکل ۱۴-۵ فرماو زاویه آتش کنترل کننده پس از بروز خطا در مبدل

کنترل کننده برای تنظیم جریان در مقدار مشخص شده، با فرکانس تغییرات جریان، مقدار زاویه را تغییر می دهد. البته در چنین شرایط مشخصات دیگر کنترلی نظیر محدودیت در نرخ تغییر زاویه آتش مبدل نیز بسیار با اهمیت است. مشاهده اضافه ولتاژهای حالت (ب) در بخش (۱-۳-۵) مستلزم این است که طول خازن انتقال و مقدار راکتور هموار ساز کمتر انتخاب شود. زیرا در غیر این صورت سیستم کنترل با کمک اندوکتانس های خط و راکتور جریان را محدود نموده و از قطع شدن جریان جلوگیری می نماید.

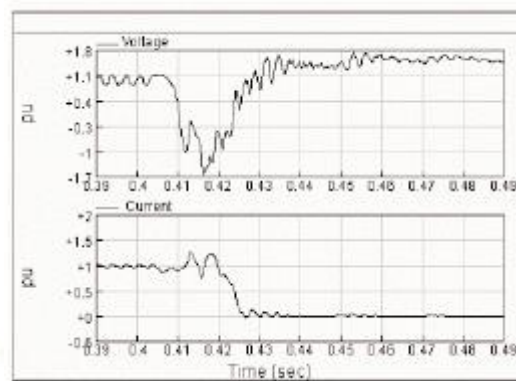
در این حالت طول خط انتقال به ۴۰۰ km کاهش یافته و مقدار راکتور،  $H = 0.25$  در نظر گرفته شده است. در شکل (۱۵-۵) منحنی های جریان و ولتاژ طرف یکسو کننده پس از بلوکه شدن اینورتر نشان داده شده است. حداکثر اضافه ولتاژ در این حالت  $pu = 2/4$  می باشد که بعد از صفر شدن جریان رخ می دهد. عملکرد سیستم کنترل در هنگام بروز چنین خطایی نیز بسیار معین کننده است. بعنوان مثال اگر بلافاصله پس از خطا فرمان جریان کاهش یابد، دامنه اضافه ولتاژ کاهش می یابد.



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

شکل (۵-۱۵) جریان ولتاژ طرف یکسو کننده پس از بلوکه شدن اینورتر (کنترل عادی)

در شکل (۵-۱۶) این کاهش با تغییر فرمان جریان ۷ میلی ثانیه پس از بروز خطا از ۱ pu به ۰/۳ نشان داده شده است. همانطور که دیده می شود این عمل دامنه اضافه ولتاژها را تا زیر ۱/۷ pu کاهش می دهد.



شکل ۵-۱۶ جریان ولتاژ در طرف یکسو کننده پس از بلوکه شدن کامل اینورتر (کنترل با کاهش فرمان جریان)

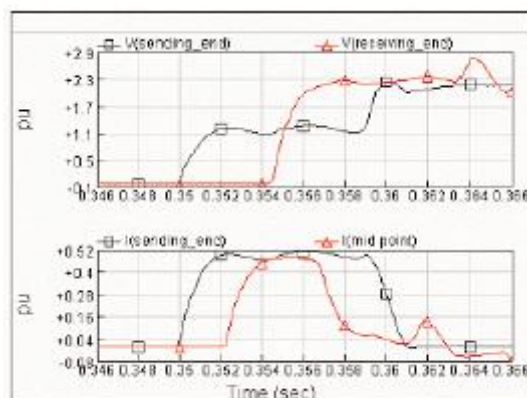
یک راه دیگر کاهش دامنه اضافه ولتاژ این است که بلافاصله پس از بروز خطا یکی (یا بیشتر) از گروه های والو یکسو کننده نیز بلوکه شود. در این حالت دامنه اضافه ولتاژ به زیر ۱/۹ pu کاهش می یابد. هر چه سرعت عمل کننده بیشتر باشد، میزان کاهش اضافه ولتاژ بیشتر خواهد بود. به عنوان مثال اگر عکس العمل کنترل کننده کمتر از ۲ میلی ثانیه طول بکشد، هیچ گونه اضافه ولتاژی روی نخواهد داد.

### ۳-۵-۷ شبیه سازی اضافه ولتاژ نوع DC

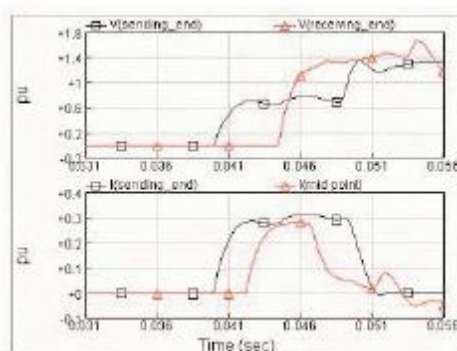
برای بررسی اضافه ولتاژهای نوع DC در هنگام راه اندازی سیستم تست، فیلترهای DC حذف و  $L_{DC} = 0.25H$  در نظر گرفته شده است. در ابتدا ولتاژ یکسو کننده در شرایطی که مقدار آن در حد ولتاژ

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

نامی است ، قبل از ارسال پالس های اینورتر به خط DC اعمال می گردد . شکل موج ولتاژ و جریان DC در ابتدا ، وسط و انتهای خط در شکل (۱۷-۵) نشان داده شده است .



شکل ۱۷-۵ شکل موج جریان ولتاژ در ابتدا ، وسط و انتهای خط DC در شرایط راه اندازی با انتهای باز مشاهده می شود پس از راه اندازی ، پرش اولیه ولتاژ در ابتدای خط در حدود  $1/15 \text{ pu}$  می باشد این موج پس از  $2/2$  میلی ثانیه به وسط خط و پس از  $4/4$  میلی ثانیه به انتهای خط می رسد . در انتهای خط ولتاژ دو برابر شده ( $2/3 \text{ pu}$ ) و دوباره به سمت یکسو کننده بر می گردد . دامنه موج بر اثر انعکاسات متوالی در دو انتهای خط افزایش یافته و در انتهای خط مقدار آن به  $2/8 \text{ pu}$  می رسد . با توجه به مقدار  $Z_c = 281 \Omega$  پرش اولیه جریان با رجوع به رابطه (۲۰-۵)  $1.15/2.25 = 0.51 \text{ pu}$  می باشد که نتایج شبیه سازی نیز این موضوع را تایید می کند (پایین شکل ۱۷-۵) . در راه اندازی تدریجی پرش اولیه ولتاژ و جریان کمتر است . در نتیجه حتی پس از انعکاسات متوالی مقدار آن افزایش چندانی پیدا نمی کند . در شکل (۱۸-۵) به ترتیب منحنی های ولتاژ و جریان در راه اندازی تدریجی نشان داده شده است .



شکل ۱۸-۵ شکل موج ولتاژ و جریان در خط DC در شرایط راه اندازی کنترل شده

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

پرش اولیه ولتاژ و جریان به ترتیب  $0.7 \text{ pu}$  و  $0.3 \text{ pu}$  کاهش یافته است. در نتیجه ولتاژها در انتهای خط از  $1/6 \text{ pu}$  فراتر نمی رود. زمان پیشانی این اضافه ولتاژها بین ۲ تا  $13/5$  میلی ثانیه مشاهده گردیده که بستگی به امپدانس مشخصه خط و امپدانس های پایانه دارد.

#### ۸-۵ نتیجه گیری

در این فصل انواع اضافه ولتاژهای داخلی در سیستم HVDC که خطوط انتقال DC را تحت تاثیر قرار می دهند، تجزیه و تحلیل و از جنبه های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. مشاهده گردید که مشخصات اضافه ولتاژ نوع کلیدزنی وابستگی زیادی به امپدانس های انتهای خط، مکان وقوع خط، فاصله از خط، مقاومت خطوط، وابستگی فرکانسی پارامترهای خط انتقال دارد. زمان پیشانی (نیم موج) این اضافه ولتاژ به زیر  $500 \mu\text{s}$  نیز ممکن است برسد و از این جهت مشابه اضافه ولتاژ کلیدزنی در سیستم های متناوب است.

بیشترین مقدار آن در وسط خط و ناشی از خطا در وسط قطب معیوب بروز می کند که در شبیه سازی ها انجام شده  $1/8$  پریونیت مشاهده گردید. در اضافه ولتاژهای نوع DC و AC نیز تاثیر امپدانس های موجود و فرکانس تشدید سیستم تعیین کننده است. اما عامل مهمتر در این حالت عملکرد سیستم کنترلی می باشد. بدترین اضافه ولتاژ نوع AC در شرایط اینورتر بلوکه شده و پس از صفر شدن جریان اینورتر رخ می دهد. اما با عملکرد کنترل جریان سیستم مقدار آن را می توان به زیر دو پریونیت کاهش داد.

در این فصل ساختار کلی برای مطالعه اضافه ولتاژهای داخلی ترسیم گردیده است. در این راستا استفاده از مدل های ساده شده پیشنهادی، انجام این مطالعات را بدون شبیه سازی مبدل های الکترونیک قدرت میسر می سازد.

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



آزمایشگاه ولتاژ بالا ( High Voltag Lab )

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

# پیوستها



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



WikiPower.ir



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم

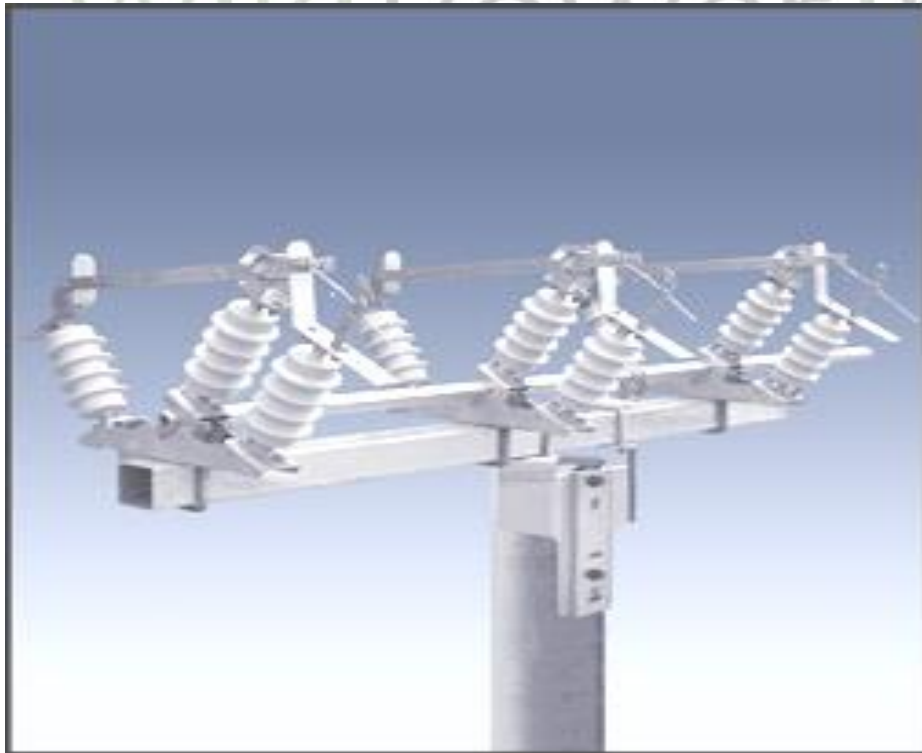


برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

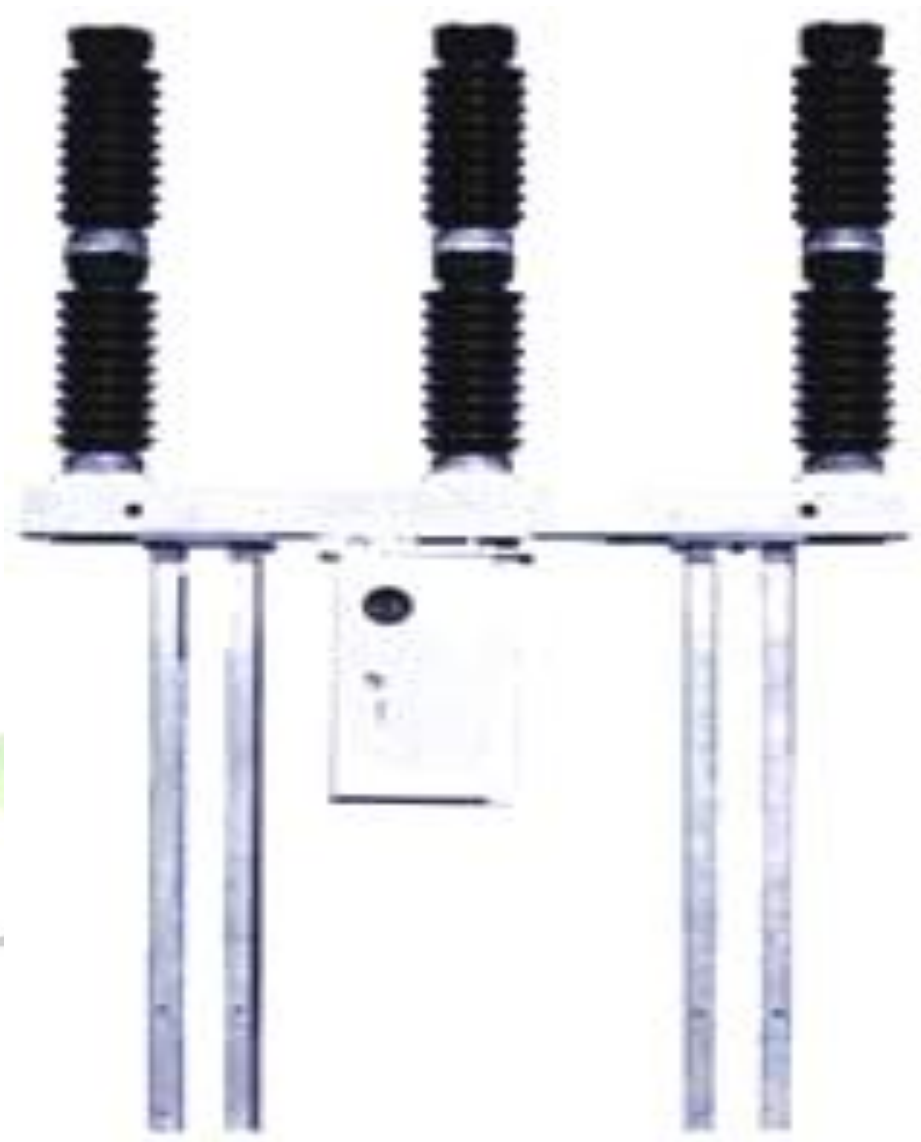


www.wikiPower.ir

برای دریافت فایل Word پروژه به سایت ویکی پاور مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازم



برای دریافت فایل Word پروژه به سایت **ویکی پاور** مراجعه کنید. فاقد آرم سایت و به همراه فونت های لازمه

#### منابع :

۱- تحلیل و بررسی جامع انواع اضافه ولتاژهای داخلی و خطوط انتقال قدرت ، سعید اسماعیلی جعفر آبادی ، عباس شولایی ، مجله انجمن مهندسين برق و الكترونيك ايران ، سال اول ، شماره سوم ، زمستان ۸۳ .

۲- مجموعه مقالات کنفرانس شبکه های توزیع نیروی برق ، کنفرانسهای سوم ، نهم ، دهم .

3- R.Verdolin , A.M. Gole , “Induced Overvoltages on an AC-DC Hybrid Transmission System “ , IEEE Trans. On Power Delivery , Vol . 10, No, 3, pp, 1514-1521, July 1995 .

4- www.SID.ir

