

دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

کارشناسی برق قدرت

پایان نامه‌ی کارشناسی

**عنوان: کنترل گسترده جریان خطا برای محاسبات حالت**

**گذرای سیستم های صنعتی قدرت**

دانشجو

**محمد حسین اصغری نژاد کیسیمی - امیر سامان گدازی لنگرودی**

استاد راهنما

دکتر مظلومی

شهریور ۱۳۹۵



## پیش‌گفتار

دو کس رنج بیهوده بردند و سعی بی فایده کردند: یکی آن که اندوخت و نخورد و دیگر آنکه آموخت و نکرد.

علم چندان که بیشتر خوانی چون عمل در تو نیست نادانی

هر که علم خواند و عمل نکرد، بدان ماند که گاو راند و تخم نیفشاند.

یکی را گفتند: عالم بی عمل به چه ماند؟ گفت: به زنبور بی عسل.

تلمیذ بی ارادت، عاشق بی زر است و رونده بی معرفت، مرغ بی پر و عالم بی عمل، درخت بی بر و زاهد بی

علم، خانه بی در.

علم از بهر دین پروردن است، نه از بهر دنیا خوردن.

سه چیز پایدار نماند: مال بی تجارت و علم بی بحث و ملک بی سیاست.

هر که با داناتر از خود جدل کند تا بداند که داناست، بداند که نادان است.

چون در آید مه از تویی به سخن گر چه به دانی، اعتراض مکن

مُشک آن است که خود ببوید نه آنکه عطار بگوید؛ دانا چو طبله عطارست خاموش و هنرنمای و نادان چو طبل برده بر

غازی، بلند آواز و میان تهی.

## چکیده

سیستم های قدرت صنعتی ایزوله شده یا با خود تولیدی<sup>۱</sup> بالا، هردو با ژنراتورهایی که از نظر الکتریکی نزدیک به بارها هستند، دارای مشخصه هایی از جریان های خطا بالا و نرخ X/R می باشند. این مشخصه ها نشان دهنده فشارهای بالای الکتریکی و الکترومکانیکی روی اجزای سیستم ها مانند تاسیسات توزیع برق (تابلوها)، باس بارها، قطع کننده های مدار و ترانسفورماتورهای جریان (CTS) می باشند. این جریان های خطا بالا ممکن است باعث استفاده از تجهیزات گران قیمت گردند و سرمایه گذاری را غیر ممکن کنند. در اینجا محدود کننده های جریان خطا (FCLها) استفاده میگردند.

در این پروژه از دو FCL، یکی به صورت سویچ همراه با راکتور سری و همچنین یک سیستم پایروتکنیک برای محدود کردن جریان استفاده شده است.

مدل این FCL روی پلتفرم سیمولینک اجرا شده و نتایج آرایه شده با رفتار دقیق جریان که در این پروژه ارائه شده است مقایسه میگردد.

## کلمات کلیدی:

محدود کننده جریان خطا، محافظت سیستم های قدرت صنعتی، برنامه گذار الکترومغناطیسی<sup>۲</sup>، محاسبات

خطا

<sup>1</sup> Self generation

<sup>2</sup> Electro Magnetic Transients Program

فصل اول	۱
معرفی	۱
فصل دوم	۲
تاثیر های اصلی نرخ X\R و جریان های اتصال کوتاه شدید روی سیستمهای قدرتی صنعتی	۲
فصل سوم	۴
تکنولوژی های اصلی FCL ها	۴
۱-۳ راکتورها	۴
۲-۳ ابرهادی ها	۴
۳-۳ ادوات الکترونیک قدرت	۵
۴-۳ دستگاه های پایروتکنیکی (PDها)	۶
فصل چهارم	۷
یک مدل پیشنهادی برای FCL با استفاده از راکتور سری در سیمولینک	۷
۱-۴ خلاصه عملکرد یک FCL با سویچ و راکتور سری	۷
۲-۴ مدل یک FCL به صورت سویچ و راکتور سری در سیمولینک	۸
فصل پنجم	۱۱
نتایج شبیه سازی مدل یک FCL به صورت سویچ و راکتور سری	۱۱
۱-۵ مشخصات سیستم شبیه سازی شده	۱۱
۲-۵ عملکرد سیستم هنگام بروز خطای تکفاز بدون FCL	۱۱
۳-۵ عملکرد سیستم هنگام بروز خطای تکفاز با وجود FCL	۱۳
۴-۵ نتیجه گیری	۱۷
فصل ششم	۱۸
مدل یک FCL با روش پایروتکنیک در محیط سیمولینک	۱۸
فصل هفتم	۲۲
نتایج شبیه سازی FCL پایروتکنیک	۲۲
فصل هشتم	۲۷
نتیجه گیری	۲۷
منابع	۲۸

## فصل اول

### معرفی

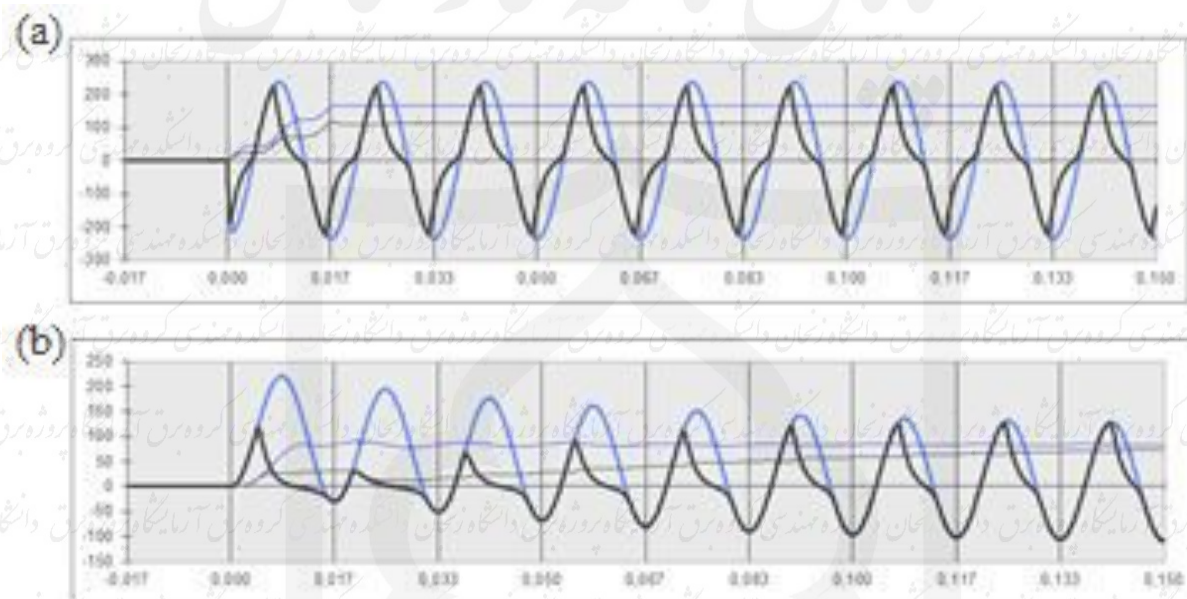
با افزایش هزینه های انرژی الکتریکی، کاهش ارزش سیستمهای تولیدی و تقاضا برای بالارفتن قابلیت اطمینان منابع قدرت، صنایع روی self-generation سرمایه گذاری میکنند به ویژه در مواردی که در آن منبع مورد استفاده برای تولید برق بوده که قبلا به عنوان بخشی از فرآیند های صنعتی در دسترس بوده است (مانند پالایش روغن). برای سیستم های قدرت ایزوله شده شبکه ای که در آن اتصال برای بهره مندی است غیر قابل دوام یا حتی غیرممکن است، استفاده از self-generation الزامی است. در طول گسترش مراحل، کارخانه های صنعتی ممکن است نیاز به تاسیسات اضافی ترانسفورماتور قدرت و (یا) ترانس های با ظرفیت بالا داشته باشند.<sup>۳</sup>

هر سه موقعیت ذکر شده قبل از نتیجه در جریان های اتصال کوتاه بالا و به طور نمونه در یک سیستم خود تولید دارای نرخ X/R بالا است. این شرایط منجر به فشارهای حرارتی و الکترومکانیکی بالا روی اجزای سیستم میشود. تابلوها، باس بارها، CTها، قطع کننده های مدار و... برای کارخانه های صنعتی در حال توسعه، جریان های اتصال کوتاه ممکن است از ظرفیت در نظر گرفته شده دستگاه های نصب شده تجاوز کند و منجر به افزایش هزینه ها گردد. برای بعضی کارخانه های صنعتی نیاز به ظرفیت بالای دستگاه ها ممکن است سرمایه گذاری های مالی را ناممکن کند. این زمینه برنامه های اصلی FCLها را یعنی کاهش جریان های اتصال کوتاه به حدود قابل پذیرش و مقرون به صرفه کردن سرمایه گذاری ها نشان می دهد.

## فصل دوم

### تاثیر های اصلی نرخ $X/R$ و جریان های اتصال کوتاه شدید روی سیستم های قدرتی صنعتی

تابلوها، باس بارها، فیوزها و قطع کننده های مدار معمولاً بر اساس نرخ  $X/R$  و جریان های اتصال کوتاه کوتاه متقارن پایه ریزی شده اند. استاندارد فنی مورد استفاده در طراحی این دستگاه ها مشخص کننده نرخ  $X/R$  ماکزیمم برای عملکرد تضمین شده صحیح در رابطه با جریان اتصال کوتاه متقارن است.



شکل ۱. (a) اشباع متناوب ترانس جریان (b)؛ اشباع مستقیم ترانس جریان. سیگنال بدون اشباع شدن به رنگ آبی نمایش داده شده است، و مشکی سیگنال با وجود اشباع شدن هسته هم در حالت اندازه گیری حقیقی و هم در حالت مقدار موثر  $X/R$  نمایش داده شده است. [7]

افزایش نرخ  $X/R$  این مفهوم را القا میکند که تجهیزات DC در جریان اتصال کوتاه با داشتن پیک  $I_{sc}$  و ولتاژ به آرامی خراب می شوند. ادر نتیجه ممکن است فشارهای حرارتی و (یا) الکترومکانیکی از ظرفیتی که دستگاه برای آن طراحی شده تجاوز کند. برای مثال قطع کننده های مدار ولتاژ بالا بر اساس استاندارد IEEE طراحی شده اند و در نرخ  $X/R$  17 در 60 هرتز تست شده اند (در مدت 45 میلی ثانیه). در سیستم های قدرت با نرخ  $X/R$  بالا لازم است یک معیار تعیین کننده مورد بررسی قرار بگیرد تا مطمئن شویم که هنوز نیازمندی های جریان سیستم برآورده شده اند یا خیر. ایده یکسانی برای تابلوها (تست شده به مدت 45 میلی ثانیه) و فیوزها (زمانهای ثابت مختلف توسعه یافته در کلاس 5) به کار می رود.

برای مشخصات CT مشکل اصلی مربوط به اشباع AC و DC می باشد. جریان های متقارن شدید ممکن است سبب اشباع CT شوند که مقدار RMS را روی CT دوم کاهش میدهد که به دلیل اعوجاج شکل موج در حالت پایدار مدار (نشان داده شده در شکل (a) ۱) می باشد. نرخ X/R بالا سبب اشباع شدید در طول دوره گذرا میشود که به دلیل جریان DC تجهیزات است. همانطور که در شکل ۱(b) هنگامی که اعوجاج سیگنال مقدار اندازه گیری شده RMS توسط رله مربوطه را می کاهد؛ حفاظت اضافه جریان ها ممکن است کار نکرده (در نتیجه تاخیر در حفاظت اضافه جریان انی در طول دوره گذرا) و ممکن است سبب ناهماهنگی و یا باعث تخریب تجهیزات حفاظت شده بشود. برای به حداقل رساندن اشباع DC میتوان از ضریب افزایش اندازه  $X/R+1$  استفاده کرد. اگرچه در نمونه های مشابه این فاکتور باعث استفاده از CT های گران قیمت شده است که ممکن است مناسب تابلو مورد نظرمان نباشد.

مسائل کاربردی و اقتصادی، کاربرد FCL ها را در سیستمهای قدرت صنعتی توجیه می کنند. در هر حال این مهم است که تاثیر استفاده از FCL ها را بدانیم. فعل و انفعال سیستم با FCL ها بر روی سیستم حفاظتی تاثیر می گذارد. اصلاح کردن تیپولوژی سیستم و کاهش جریان اتصال کوتاه تاثیر مستقیمی در اضافه جریان و فاصله عملکرد حفاظت ها و هماهنگی آن ها دارد. در سیستم های قدرت صنعتی که تیپولوژی مداری خود را به صورت مداوم وابسته به عملکرد کارخانه تغییر می دهند روی SC ها به طور دقیق مطالعه می کنند، زیرا برای بررسی شرایطی که در آن FCL ها عمل میکنند لازم بوده و ممکن است شرایطی باشد که در آن غیرفعال گردند. مطالعات گذرای الکترومغناطیسی برای آنالیز رفتار ولتاژ که سبب عملکرد FCL ها میباشند بسیار مهم هستند. قسمت بعدی؛ تکنولوژی اصلی FCL ها و همچنین توجیه انتخاب ابزار پایروتکنیکی را نشان می دهد.





## فصل هشتم<sup>۷</sup>

### نتیجه گیری

محاسبات گذرا با استفاده از سیمولینک پیشنهاد کرده است.

به طور خلاصه در این پروژه به بررسی لزوم FCL ها در مدار و شبیه سازی ۲ مدل FCL در محیط سیمولینک

مزیت مدل PD FCL پیشنهادی در مقابل مدل راکتور سری امکان عملکرد آن در توپولوژی های سیستمهای متفاوت بوده و این مدل برای تمامی نمونه های خطها در تمامی لحظات زمان کار می کند. اصلاح و سیمولینک

از معایب PD FCL می توان به لزوم تعویض پس از یک بار عمل کرد اشاره و عیب اصلی آن محدودیت ها و پیچیدگی مدل کردن سیستم های قدرت بزرگ در سیمولینک است.

<sup>7</sup> [1] T. C. Dias, B. D. Bonatto, J. M. C. Filho, A Pyrotechnic Fault Current Limiter Model for Transient

Calculations in Industrial Power systems

[1] T. C. Dias, B. D. Bonatto, J. M. C. Filho , A Pyrotechnic Fault Current Limiter Model for Transient Calculations in Industrial Power systems

[2] G. Ganev, K. Hinov, N. Karadzhov, "Fault Current Limiters – Principles and Application", Technical University-Sofia report, 2012;

[3] CIGRÉ WG A3.10, "Fault Current Limiters in Electrical Medium and High Voltage Systems", 2003;

[4] IEEE Application Guide for AC High-Voltage Circuit Breakers Rated on a Symmetrical Current Basis, IEEE Standard C37.011, R2005.

[5] IEEE Standard of Common Requirements for High Voltage Power Switchgear Rated Above 1000V, IEEE Standard C37.100, 2007.

[6] IEEE Guide for the Application, Operation, and Coordination of High-Voltage (> 1000V) Current-Limiting Fuses, IEEE Standard C37.48, 2011.

[7] IEEE Guide for the Application of Current Transformers Used for Protective Relaying Purposes, IEEE Standard C37.110, 2007.

[8] IEEE Power Systems Relaying Committee, "CT Saturation Calculator", 2002.

[9] CIGRÉ WG A3.16, "Guideline on the Impacts of Fault Current Limiting Devices on Protection Systems", 2008;

[10] S. Orpe, N. C. Nair, "State of Art of Fault Current Limiters and their Impact on Overcurrent Protection", published in the Power & Energy Society General Meeting, 2009.

[11] X. Jin, C. Dai, P. Ji, S. Wu, P. Jing, "Research of Fault Current Limiter for 500kV Power Grid", presented in the International Conference on Power System Technology, 2010.

[12] M. S. Hibbert, K. S. Smith, "Analysis of Unexpected Fault Current Limiter Operation using EMT Programs", Proceedings of IPST, 2005.

[13] S. H. Lee, "Application of High Voltage Current Limiting Fuse Model Using ATP-Draw", IEEE Trans. On Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 17, no. 6, Dec. 2010.

[14] A. Petit, G. St-Jean, G. Fecteau, "Empirical Model of a Current-Limiting Fuse using EMTF", IEEE Trans. On Power Delivery, Vol. 4, No. 1, Jan. 1989.