الجمهورية العربية السورية
جامعة دمشق
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
قسم هندسة الطاقة الكهربائية

تقييم أداء حماية خط النقل بوجود نظام التحكم الموحد بجريان الاستطاعة

أطروحة مقدمة لنيل درجة الدكتوراه في هندسة نظم القدرة الكهربائية

إعداد

م. هاني إبراهيم

المشرف العلمي

د.م. مصطفى الحزوري

الأستاذ في قسم هندسة الطاقة الكهربائية
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
جامعة دمشق

المشرف المشارك

د.م. حسان سويدان

الأستاذ في قسم هندسة الطاقة الكهربائية
كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
جامعة دمشق

2025 - 2024

الملخص

يعتبر نظام القدرة الكهربائية من الأنظمة الضـــخمة والمعقدة لاحتوائه على عدد كبير من محطات التوليد والتحويل وخطوط النقل والتوزيع وأجهزة الحماية والتحكم، يخضـــع هذا النظام إلى تغييرات مفاجئة في مســتويات الحمل، ومع هذه التغييرات أصـبح من المهم جداً تحسـين اسـتقرار نظام القدرة الكهربائية، التطور الحديث في نظام القدرة الكهربائية ينصـب على إضـافة أنظمة (أجهزة) نقل التيار المتناوب المرنة في أماكن مناسـبة، حيث تسـاهم هذه الأجهزة في تحســين تدفق القدرة الكهربائية إلى جانب تحســين الاســتقرار، يعد ربط هذه الأجهزة مع منظومة نقل القدرة الكهربائية من الموضــوعات المعاصــرة والتي ما تزال محط اهتمام الباحثين، يأتي هذا البحث ليضـــيء على أحد المواضـــيع العلمية لربط أحد أهم أجهزة نقل التيار المتناوب المرنة وهو نظام (جهاز) التحكم الموحد بجريان الاستطاعة وتأثيره على نظام الحماية لخطوط نقل القدرة الكهربائية.

يســـتخدم نظام التحكم الموحد بجريان الاســـتطاعة في نظام القدرة الكهربائية الحديث بكثرة بغرض زيادة ســـعة النقل في منظومة نقل القدرة الكهربائية وتحقيق مرونة أكبر في التحكم بنقل القدرة الكهربائية في خطوط النقل، وتخفيض تكلفة التوليد وزيادة أمان واســـتقرار نظام القدرة الكهربائية، ولكن إضـــافتها إلى خطوط النقل الكهربائية أدى إلى بعض التحديات المرتبطة باســـتجابة حاكمة الحماية المســـافية، والتي تعد حاكمة الحماية الأســـاســـية لخطوط نقل القدرة الكهربائية، تتغيّر قيم بعض محددات خط النقل (التوتر، الممانعة، زاوية الطور) عند إضـــافة نظام التحكم الموحد بجريان الاســـتطاعة، ممّا يؤدي إلى خطأ في قيمة الممانعة المقاســـة من قبل حاكمة الحماية المســـافية، يتعلق هذا الخطأ ببعض العوامل منها نمط عمل وموقع نظام التحكم الموحد بجريان الاستطاعة، ونوع وموقع العطل الحاصل، هذا الخطأ يمكن أن يسبب فصل غير مناسب أو عمل حاكمة الحماية المسـافية وفق فوق أو تحت الوصـول، مما ترتب على ذلك تحدي تصـحيح اسـتجابة الحاكمة المسـافية التقليدية بوجود نظام التحكم الموحد بجريان الاسـتطاعة، و اسـتوجب إجراء بحث جديد لضـبط حاكمة الحماية المسـافية مع

وجود نظام التحكم الموحد بجريان الاستطاعة وتحسين استجابة حاكمة الحماية المسافية التقليدية في خطوط نقل القدرة الكهربائية التي تتضمن نظام التحكم الموحد بجريان الاستطاعة.

تناولت الأطروحة تحليل تأثير إضافة نظام التحكم الموحد بجريان الاستطاعة على حاكمة الحماية المسافية باستخدام التحليل الرياضي والنمذجة والمحاكاة، وتقييم أداء واستجابة حاكمة الحماية المسافية قبل/ بعد إضافة نظام التحكم الموحد بجريان الاستطاعة مع تغيّر موقع ونوع العطل الحاصل على خط النقل، وتحسين وتسريع استجابة حاكمة الحماية المسافية وفق الطريقة المقترحة Pilot Scheme في خط النقل المزود بنظام التحكم الموحد بجريان الاستطاعة، لحل مشكلة فوق/تحت الوصول الناتجة عن نظام التحكم الموحد بجريان الاستطاعة، ومقارنة استجابتها عند عملها وفق الطريقة الأساسية (التقليدية) Basic Scheme .

تم التعرف على طرق استجابة حاكمة الحماية المسافية وفق Pilot Scheme، كما تم محاكاة الشبكة الكهربائية المدروسة وحاكمة الحماية المسافية ونظام التحكم الموحد بجريان الاستطاعة وتم دراسة حالات حدوث أعطال مختلفة على خط النقل في مواقع مختلفة في بيئة المحاكاة MATLAB/Simulink، كما تم إنجاز برنامج Editor-M-File في بيئة برنامج الـــ MATLAB مرتبط بحاكمة الحماية المسافية لإظهار استجابة الحاكمة حسب نوع وموقع العطل ورسم خصائص الحاكمة.

وقد وجد من خلال نتائج النمذجة والمحاكاة أن إضافة نظام التحكم الموحد بجريان الاستطاعة فرض تغيرات واضحة على استجابة حاكمة الحماية المسافية التقليدية حسب نوع وموقع العطل الحاصل، كما أظهرت النتائج تحسن استجابة حاكمة الحماية المسافية عند عمل الحاكمة وفق ميزة الطريقة المقترحة Pilot Scheme عند تحقق الشروط المناسبة والتغلب على مشكلة فوق/تحت الوصول الناتجة عن وجود نظام التحكم الموحد بجريان الاستطاعة في حلقة العطل، أثبتت النتائج جدوى وفاعلية الحل المقترح في هذا البحث.

الكلمات المفتاحية: نظام التحكم الموحد بجريان الاستطاعة، حاكمة الحماية المسافية، Pilot Scheme ، Basic Scheme، خط نقل، عطل، ممانعة مقاسة، فوق/تحت الوصول، محاكاة حاكمة الحماية المسافية، محاكاة نظام التحكم الموحد بجريان الاستطاعة، برنامج الـ MATLAB.

Abstract

The electrical power system is considered a large and complex system because it contains a large number of generation and transformation stations, transmission and distribution lines, and protection and control devices, this system is subject to sudden changes in load levels, with these changes, it has become very important to improve the stability of the electrical power system, the modern development in the electrical power system focuses on installing Flexible AC transmission devices in suitably locations, these devices contribute to improving the flow of electrical power in addition to improving stability, Connecting these devices to the electrical power transmission system is a contemporary topic that is still a focus of interest for researchers, this research comes to light on a scientific topic related to the connection between one of the most important Flexible AC transmission devices, the Unified Power Flow Control system, and its impact on the protection system for electric power transmission lines.

The UPFC system is widely used in modern electric power systems to increase transmission capacity in the electric power transmission system and achieve greater flexibility in controlling the transmission of electric power on transmission lines, reducing the cost of generation and increasing the safety and stability of the electrical power system, but adding it to the electrical transmission lines led to some challenges related to the operation of the distance relay, which is the basic protection relay for electrical transmission line, the values of some transmission line parameters (voltage, current, impedance, phase angle) change when adding the UPFC system, Which leads to an error in the impedance value measured by the distance relay, this error is related to some factors, including the type and location of the UPFC system addition, and the type and location of the fault that occurred, this error can cause operation of the distance relay according to over or under reach, this resulted in the challenge of correcting the response of the traditional distance relay in the presence of the UPFC system, and required conducting new research to adjust the distance relay

with the presence of the UPFC system and improve the response of the traditional distance relay in electric power transmission lines that include the UPFC system.

The thesis dealt with analyzing the impact of adding a UPFC system on the distance relay using mathematical analysis, modeling and simulation, and evaluating the performance and response of the distance relay before/after adding the UPFC system with changes in the location and type of fault on the transmission line, improving and accelerating the response of the distance relay according to the proposed Pilot Scheme method in the transmission line equipped with the UPFC system, to solve the over/under reach problem resulting from the UPFC system, and comparing its response when operating according to the Basic Scheme method.

The response methods of the distance relay were identified according to the Pilot Scheme, the studied electrical network, the distance relay, and the UPFC system were simulated, and various fault occurrences on the transmission line at different locations were studied in the MATLAB/Simulink environment, Editor-M-File program was created in the MATLAB environment linked to the distance relay to show the relay's response according to the type and location of the fault and to draw the relays characteristics.

The results of modeling and simulation showed that the presence of the UPFC system imposed clear changes on the response of the distance relay to the type of fault occurring, the results also showed an improvement in the response of the distance relay when the relay operates according to the proposed method Pilot Scheme, and overcoming the over/under reach problem resulting from the presence of the UPFC system, the results proved the feasibility and effectiveness of the solution proposed in this research.

Keywords: **Unified Power Flow Control system, Distance relay, Pilot Scheme, Basic Scheme, Transmission line, Fault, Measured impedance, Over/Under reach, Simulation, MATLAB.**

Syrian Arab Republic

Damascus University

Faculty of Mechanical and Electrical Engineering

Department of Electrical Power Engineering

Performance Evaluation of Transmission Line Protection in the Presence of Unified Power Flow Controller (UPFC)

A Dissertation Submitted in Fulfilment of the Requirements for The Degree of PhD in Electrical Power Systems Engineering

By

Eng. Hani Ibrahim

Supervisor

Dr.Eng. Mustafa Alhazuri

Professor in Department of Electrical Power Engineering

Faculty of Mechanical and Electrical Engineering

Damascus University

Co-Supervisor

Dr.Eng. Hassan Sowidan

Professor in Department of Electrical Power Engineering

Faculty of Mechanical and Electrical Engineering

Damascus University

2025 - 2024