



Resum de la Memòria del PFM:

Les descàrregues atmosfèriques, són un fenomen complex i han calgut molts anys d'estudiar-lo per arribar a modelitzar-lo. S'ha observat que el llamp té un efecte molt gran sobre les línies elèctriques, especialment les de distribució, i aquest efecte provoca danys importants en el sistema elèctric. Hi ha 5 tipus de llamps, però el més estudiat pel seu impacte és la descàrrega núvol-terra, malgrat ser només un 25% del total dels llamps que es produeixen. Una descàrrega núvol terra es comença a formar a l'interior del núvol, llavors crea un líder descendent que quan arriba a les proximitats de terra s'hi uneix i es produeix la primera descàrrega de retorn. Posteriorment poden aparèixer o no altres descàrregues subseqüents.

Al llarg de diversos estudis, s'ha observat i comprovat, que on hi ha el màxim corrent del llamp és durant la primera descàrrega de retorn. En aquest moment, apareix el que s'anomena corrent de retorn amb valors de pic d'intensitat de desenes de kA. Aquesta intensitat, té influència sobre les persones i sistemes elèctrics i electrònics propers degut als camps electromagnètics associats. Per aquest fet, el corrent de retorn és el que s'ha modelitzat i estudiat amb més deteniment.

Cal diferenciar entre el corrent de retorn a la base del canal del llamp i el corrent de retorn al llarg del canal. Primer es va estudiar el corrent a la base del canal. Després de diversos resultats es va trobar que la funció matemàtica que millor s'aproximava al comportament del corrent era la funció de Heidler. Aquesta funció és fàcilment ajustable i compleix la condició que té pendent nul a l'instant zero (derivada respecte al temps igual a zero en $t=0$).

Llavors es va observar que el corrent de retorn no era el mateix al llarg de tot el canal i a més, que aquest corrent tenia associat un camp magnètic i elèctric que també era diferent en funció del punt del canal. Per tant, es van desenvolupar diversos models per tal d'obtenir el valor del corrent al llarg del canal, i posteriorment, a partir d'aquest model també determinar el del camp magnètic i elèctric en qualsevol punt del canal i en qualsevol instant de temps.

El models més utilitzats són els models d'enginyeria, que malgrat haver-n'hi cinc, els més emprats en són tres: El model de línia de transmissió (TL), el model de línia de transmissió lineal (MTLL) i el model de línia de transmissió exponencial (MTLE). Aquest últim és el que s'ajusta més a la realitat.

Tal com s'ha dit, l'impacte d'un llamp genera una pertorbació electromagnètica que pot ser perjudicial per una persona, un dispositiu, un equip elèctric o electrònic o pels sistemes de transmissió i distribució elèctrica. Per aquest motiu, a partir dels models d'enginyeria, es van desenvolupar les expressions matemàtiques per donaven el camp magnètic i elèctric en funció del corrent a qualsevol punt del canal i en qualsevol moment. Amb aquesta última expressió, apareixen tres termes importants. El primer (camp electrostàtic) afecta a distàncies molt curtes respecte el canal, el segon terme (camp induït elèctric), afecta per distàncies menors a 10 km i permet torbar les tensions induïdes a les línies elèctriques. Finalment, el tercer terme (camp elèctric radiat) determina l'afectació del llamps fins a 1000 km de distància.

Amb tots aquests estudis, s'observa que quan un llamp impacte de manera directe o indirecte sobre un sistema elèctric de transmissió o distribució, a part del dany material que pot ocasionar, provoca una sobretensió a la línia degut a la influència del camp elèctric produït pel corrent de retorn. Aquestes sobretensions s'anomenen també de front ràpid, la seva duració és de pocs microsegons, però els pics de tensió associats poden arribar als 10 p.u.

En el cas d'impacte directe sobre el sistema elèctric, el valor de sobretensió associat és tant elevat, que ni tant sols els nivells d'aïllament dels sistemes de transport poden suportar-ho i es produeixen pèrdues d'aïllament del material (reversible o no) amb les conseqüències de falta a terra que això comporta i els danys materials de la línia. En el cas dels impactes indirectes, com que els valors de pic de tensió no acostumen a superar els 200 kV, els sistemes més afectats són els de distribució.

Se sap que quan una línia es veu il·luminada per un camp electromagnètic, aquesta respon amb un camp electromagnètic igual reflectit. Això ha permès definir els models d'acoblament que permeten determinar el valor de sobretensió que un impacte indirecte genera. El model més estès és el model d'Agrawal. Aquest model és força complex matemàticament, és per això, que per tal de determinar els impactes dels llamps i les seves conseqüències, institucions científiques com la IEEE i el CIGRE, han estudiat tots aquests models i han desenvolupat mètodes per predir de forma determinística els impactes sobre les línies i els valors de sobretensió basats amb les fórmules de Rusck, les taxes d'encebament invers i encebament per falta d'apantallament.

Amb aquest mètode, es poden obtenir estudis de risc per tal de determinar la probabilitat de pèrdua d'aïllament d'un sistema elèctric en front de d'una descàrrega. Amb aquest estudi, es poden determinar molt millor el nivell d'aïllament del sistema i de les proteccions, i conseqüentment, millorar la xarxa.

Per arribar a l'estudi de risc, cal determinar el número de descàrregues sobre una línia a partir de la densitat de llamps a terra de la regió en qüestió i dels paràmetres de la línia. En segon lloc determinar el radi de captació de la línia mitjançant els models electromagnètics. El radi de captació, és un radi al voltant de línia que té risc d'impacte directe de llamp si és d'un conductor de fase, o dona protecció respecte l'impacte directe de llamp sobre els conductors actius si és del cable de guarda. Si bé és cert que el cable de guarda pot protegir els conductors actius de l'impacte directe del llamp, també és cert, que malgrat el seu radi de captació, pot deixar una distància petita sense protegir. En el moment que un llamp impacte en un conductor degut a aquesta distància sense protegir es produeix una fallada d'apantallament. Aquest paràmetre també cal tenir-lo en compte.

Amb tot això i a partir de la combinació de la funció de distribució de fallada d'un aïllador, i la funció de distribució dels valors de sobretensió per impacte directe i per impacte indirecte, es determina una àrea de risc que permet trobar el tant per cent de risc de fallada de la línia en estudi. Tots aquests valors es determinen a partir de la generació aleatòria dels paràmetres que conformen el llamp (corrent, velocitat de descàrrega, etc). Amb aquest estudi, es podrà determinar el millor nivell d'aïllament per cada línia tenint en compte tots els seus paràmetres i característiques. Això permetrà

millorar la coordinació d'aïllament en front de les descàrregues i conseqüentment la qualitat de subministrament.

Un cop vista la complexitat del fenomen del llamp i veient la influència que exerceixen sobre les línies elèctriques, s'ha volgut estudiar, les característiques de les Smart Grids i si poden ajudar a millorar, mitigar i/o prevenir dels danys ocasionats pels llamps.

Les xarxes intel·ligents són una modernització de les xarxes de transport i distribució per mantenir una infraestructura fiable i segura que pugui absorbir el creixement de la demanda i millorar la qualitat i l'eficiència del sistema. Es caracteritzen per incorporar gran quantitat de fonts de generació renovables i intercanvi d'informació entre tots els elements del sistema. Aquest intercanvi d'informació és bidireccional, és a dir, des de qualsevol element a qualsevol element en ambdues direccions. Hi ha molts reptes a afrontar per tal d'obtenir una xarxa verdaderament intel·ligent: gran volum d'informació a gestionar, emmagatzematge d'energia, vehicle elèctric, etc.

Cal, doncs, veure el sistema elèctric com un ecosistema. Es tracta de comunicar totes les parts integrants del sistema, des de la generació fins a l'usuari final. Per donar intel·ligència a un sistema elèctric i automatitzar-lo, cal tenir processadors independents a cada component, a cada subestació i central elèctrica i a més, equips de monitorització, mesura i control intel·ligents.

Els processadors han de tenir un sistema operatiu robust i ser capaços d'actuar com a agents independents que puguin comunicar-se i operar amb altres elements. La majoria d'aquesta comunicacions es fan de manera remota, això és una avantatge important ja que el dany a qualsevol cable del sistema, no afecta a la comunicació i es pot continuar gestionant el sistema.

En la part de generació s'incrementen la incorporació de les fonts d'energia renovables. Aquest fet, comporta la necessitat de millorar la comunicació del sistema per permetre l'entrada d'aquest tipus de generació distribuïda i combinar-la amb la convencional. A més, la generació distribuïda, no només queda ubicada a la part alta del sistema, sinó que també es permet la integració de la generació distribuïda a petita escala. És a dir, els usuaris finals poden utilitzar fonts d'energia renovable per autoalimentar-se i a la vegada vendre l'excedent d'energia al sistema. Aquest fet, comporta un canvi en el sistema de la gestió i la comunicació de l'energia.

Pel que fa al transport, els canvis no són massa importants. Cal que sigui mallat i incorpori gran quantitat d'elements per facilitar la comunicació i el flux d'informació entre la generació i la xarxa de distribució.

Les TIC tenen un paper important en la distribució. En aquest sistema, és de vital interès conèixer la càrrega de la xarxa a cada moment per gestionar l'energia de la manera més adequada possible. Evidentment, també cal que el sistema de distribució sigui mallat i que cada element i component sigui intel·ligent i es pugui comunicar amb qualsevol altre. D'aquesta manera es pot reconfigurar amb rapidesa i flexibilitat.

En aquest punt, també, és on apareix el concepte de microxarxa. Tal com s'ha mencionat, les xarxes intel·ligents estan formades per gran nombre d'elements comunicats entre si. Acaba sent un sistema realment complex i amb molts aspectes a tenir en compte. És per aquest motiu, que en la part de distribució es divideix en microxarxes. Aquestes es comuniquen amb la xarxa general a través d'un controlador central. Això simplifica el control total del sistema perquè aquesta petita xarxa queda representada per un sol element.

Aquestes microxarxes poden tenir qualsevol dels elements típics d'una xarxa elèctrica: generació, consumidors petits i grans i emmagatzematge d'energia. La gestió de la microxarxa està enfocada a optimitzar els recursos i necessitats de la regió i, a través de la central virtual, gestionar els excessos i dèficits d'energia amb la xarxa global. Amb l'adopció del sistema de microxarxes s'incrementa la penetració de les energies renovables dins el sistema de distribució.

Respecte el consumidor final, passa de ser un element passiu a ser un element actiu del sistema. El consumidor pot controlar el consum de casa seva, veure d'on prové la seva energia i gestionar-la. A més, amb l'entrada de les Smart Grids, els elements de l'interior de la vivenda seran capaços de connectar-se o desconnectar-se en funció de les necessitats. I a través de les comunicacions, els operadors del sistema, podran veure el consum real que es necessita. El que cal remarcar en aquest punt és l'estalvi important d'energia que es produeix ja que no es manté disponible la potència total contractada per cada usuari, sinó que només es genera la potència que realment es necessita a cada moment gràcies als comptadors intel·ligents i als xips incorporats a les zones habitades.

Hi ha un altre concepte important relacionat amb les Smart Grids i és el fet de l'emmagatzematge d'energia. Quan es disposi de vehicles elèctrics a més de les fonts d'energia com són la solar fotovoltaica, permetrà tenir emmagatzematge d'energia per cobrir els pics de demanda. Això també ajuda a un estalvi important de subministrament elèctric.

Finalment, una altra característica molt important que incorporen les Smart Grids i que té una relació més directa amb l'efecte dels llamps és la següent: les xarxes convencionals no proporcionen cap tipus de sistema de sanament de faltes en temps real. Quan es produeix un defecte, es repara a posteriori. Les xarxes intel·ligents, incorporen la tecnologia self-healing, és a dir, sanament dels defectes en temps real. Quan es produeix un defecte a la xarxa, gràcies a tots els processadors i elements intel·ligents a tots els punts, aquests són capaços de detectar la falta i gestionar i reconduir el flux energètic. Això permet patir el mínim de perturbacions en el sistema i apagades en el subministrament. El problema que presenta és que actua un cop la falta s'ha produït.

És per tot això que s'ha conclòs que les Smart Grids no poden solucionar els defectes dels llamps ni prevenir-los. Amb aquesta finalitat, en les conclusions del projecte s'ha exposat una sèrie de possibles solucions a desenvolupar i estudiar per poder millorar aquest aspecte de les xarxes intel·ligents.

A partir de les dades obtingudes pel sistema de detecció de llamps en temps real, es pretén estudiar les afectacions dels llamps i crear un programa de manteniment preventiu. Es tractaria de posar a disposició de la companyia elèctrica el sistema de detecció de llamps per poder gestionar el programa de manteniment i evitar possible danys a la xarxa.

Un altre aspecte que s'ha pensat que es pot desenvolupar amb bon resultat és crear el concepte de self-prevention. Ja que la xarxa intel·ligent, encara no és capaç de preveure els problemes, a través del programa de detecció de llamps, es tractaria d'enviar una alarma al sistema perquè en les proximitats d'una tempesta es gestionés el flux energètic per minimitzar els danys que es puguin ocasionar.

Aquest doncs, és el resum del projecte final de màster que he dut a terme i que ha estudiat el fenomen del llamp i les característiques de les Smart Grids i per poder veure el possible nexa d'unió entre ambdues per tal de millorar la qualitat de subministrament i minimitzar els danys ocasionats pels llamps en els sistemes elèctrics.