



- Power Quality Assesment Project -

Fecha: Enero 21 de 2002

Autores: Juan José Mora F, David Llanos R, Magda L. Ruiz

Para: Dr. PhD. Joaquim Meléndez Frigola

Alcance:

El presente informe hace referencia al análisis preliminar de las consultas bibliográficas relacionadas con *Power Quality Assesment*, realizadas hasta el 20 de Enero del 2002, en el marco del proyecto **Supervisión Experta de la Calidad del Servicio Eléctrico SECSE**. A partir de la revisión minuciosa de la bibliografía presentada, se determinará el estado del arte en el tema bajo estudio.

Referencia de artículos consultados:

A method of characterisation of three-phase Unbalanced Dips (sags) from recorded Voltage Wave shapes [Lindong Zhang, Math J. Bollen] IEEE-1999

Consiste en una propuesta de caracterización de los sags de voltaje para un sistema trifásico. El metodo se basa fundamentalmente en la técnica de las componentes simétricas. El resultado inicial de este método es la llamada “Magnitud Característica” la cual corresponde a la magnitud del sag, como el usado para los métodos existentes para caracterizar los sags que se presentan en las cargas monofásicas. El método propuesto en éste artículo puede extenderse con parámetros adicionales que incluyen el voltaje de secuencia cero. Para los sags trifásicos balanceados, el método propuesto es similar a los métodos normalmente usados y recomendados en los estándares internacionales.

Analysis of voltage dips for event identification [Math J. Bollen] IEEE-2000

Este artículo está focalizado en una gran cantidad de eventos que aparecen en el sistema de potencia, especialmente aquellos en la cual la principal característica es un decremento temporal en la frecuencia fundamental del voltaje (Voltaje *dip*) en una o más fases. Los *dips* de voltaje son particularmente importantes debido principalmente

a la cantidad de problemas que causan en los equipos tales como variadores de velocidad, computadores, sistemas de control industrial. Este tipo de problemas son causados generalmente por el arranque de grandes motores de inducción. Se presenta en la parte final del artículo algunas de las clasificaciones de eventos presentados en redes eléctricas de Suecia y Noruega.

Classification of Power Systems Event: Voltage Dips [Emmanouil Styvaktakis, Math J. Bollen] IEEE-2000

Este artículo está enfocado en los eventos que causan un decremento temporal en la magnitud de la frecuencia fundamental del voltaje. Se muestra como a partir de análisis de los registros de los alimentadores en redes de medio y bajo voltaje, se puede introducir una nueva clase de *sag* de voltaje para caracterizar los eventos capturados en los monitores de calidad de potencia. El ánimo de este artículo es mostrar las características distintivas de cada una de las clases y dar una guía para el procesamiento automático de los registros. Finalmente, se clasifican un gran número de registros de una red de medio voltaje, usando las características mencionadas.

Harmonic active power flow in low and medium voltage distribution systems [J. Lundquist, Math J. Bollen] IEEE-2000

En este artículo se presentan los principios de cómo varía el flujo de potencia armónica activa en una red de bajo y medio voltaje, dada la interacción entre las cargas y el sistema de potencia. La interacción es debida al cambio en la impedancia de la fuente, causada por los filtros armónicos o los bancos de capacitores y una mezcla de cargas no lineales trifásicas y monofásicas.

El flujo de potencia armónica en un cierto punto de un sistema de potencia, con cargas no lineales, no representa el flujo de las cargas en el sistema. La potencia armónica activa es parcial o completamente incluida en la potencia activa fundamental, dependiendo de la mezcla de cargas.

Algunos de los ejemplos básicos se presentan adicionalmente con las medidas del lado del sistema de bajo voltaje, que está equipado con filtros armónicos, alimentando una carga no lineal.

Time-Frequency and Time-Scale Domain Analysis of Voltage Disturbances [YuHua Gu, Math J. Bollen] IEEE-2000

Este artículo discute el análisis de los registros de disturbios en la señal de voltaje en el dominio de tiempo-frecuencia y en el dominio de Escala-tiempo. La transformada

Discreta de Fourier para corto tiempo (STFT) es usada en el dominio del tiempo y de la frecuencia en los filtros Ondelet Dyadic y árbol binario para el dominio del escala-tiempo. En este artículo se explica la teoría con un énfasis especial en análisis de los datos de disturbios de voltaje.

Los filtros Ondelet Dyadic no son recomendados para el análisis de registros de disturbios armónicos. La frecuencia central y el ancho de banda del filtro no se pueden mover, y los resultados no muestran claramente el comportamiento temporal de los armónicos.

De otra parte, las salidas de los filtros pasa banda de la STFT discreta, son fácilmente asociables con los armónicos y por lo tanto es mucho más útil en el análisis del sistema de potencia. Con un tamaño de ventana adecuado, la STFT es muy útil para detectar y analizar transitorios en un disturbio de voltaje. En general, y según el artículo, la STFT es mucho más conveniente que los filtros Ondelet para el análisis de los disturbios de voltaje.

Quantifying the potential impacts of disturbances on power system protection [F. Wang, Math J. Bollen] IEE-2001

En este artículo se hace notar la importancia que tiene al sistema de protección en la seguridad y la confiabilidad del sistema de potencia. La presencia de disturbios puede afectar la operación de los relés de protección, y de esta forma poner en peligro la seguridad y la confiabilidad de la fuente. El efecto de los disturbios en el sistema de operación se incrementa cuando mas rápidos y sensitivos son los algoritmos utilizados. En este artículo se presentan dos métodos para cuantificar el impacto potencial de los disturbios medidos en la operación del relé.

Un disturbio puede causar que erroneamente entre en el rango de disparo, llevando potencialmente a un mal disparo. Este efecto es denominado en este artículo como el de cuantificación basada en la calibración del relé.

Los disturbios también pueden afectar la operación del relé de la siguiente manera: Un relé, especialmente un relé digital, puede ser visto como un filtro que extrae la componente deseada desde los voltajes o corrientes medidas. La presencia de un disturbio puede llevar a un error en la extracción del componente deseado. Esto se denomina "Cuantificación basada en el diseño". Se puede asumir que el componente deseado, sea la componente fundamental, o componentes no deseadas como armónicos, ínter armónicos, componente dc, transitorios, etc.

Power Quality Following Deregulation [Jos Arrillaga, Math J. Bollen] IEEE-2000

Este artículo hace énfasis en que la derregulación del sector eléctrico puede tener efectos tangibles e intangibles en los requerimientos referentes a calidad de potencia, de tal forma que se deben establecer estándares adecuados.

De otra parte el incremento en el uso de controles electrónicos de potencia en la generación y en la transmisión y la utilización de sistemas siguiendo la derregulación, tiene una implicación en la calidad de potencia, lo cual puede afectar los estándares, la simulación del sistema y las herramientas de monitorización. En este artículo se revisan los métodos disponibles actualmente, para alcanzar niveles específicos de calidad de potencia en un ambiente derregulado.

Tutorial on Voltage Sag Analysis [Math J. Bollen, Emmanouil Styvaktakis] IEEE-2000

El artículo plantea el problema de los sags de voltaje como un serio problema que causa la mala operación de equipos como computadores, controladores de procesos y variadores de velocidad. En este artículo que se presenta a forma de tutorial, se presentan varias técnicas de análisis de sags de voltaje: la caracterización de sags individuales a partir de las medidas como a partir de cálculos teóricos, predicción y monitorización, efectos en los equipos, y las estrategias de mitigación de los efectos. Las técnicas se presentan tanto para sistemas monofásicos como sistemas trifásicos.

Power Quality Engineering [G.T. Heydt] IEEE-2001

Este artículo sirve como introducción a otros artículos relacionados con Power Quality que aparecen en la revista IEEE Power Engineering Review. Muestra de forma introductoria los conceptos básicos sobre calidad de potencia, los problemas y las consecuencias en los equipos. Presenta además una referencia bibliográfica sobre los documentos relacionados con Calidad De Potencia a Noviembre de 2001.

Power Acceptability [G.T. Heydt, R. Ayyanar, R. Thallam] IEEE-2001

En este artículo se presenta como esencia fundamental del estudio de la calidad a la habilidad para aceptar desde una barra de distribución una cantidad de energía que sea compatible con las características requeridas por la carga. Uno de los métodos para examinar la calidad de potencia en una barra, involucra el examen de la amplitud de eventos momentáneos, bajos voltajes, sobrevoltajes, y la duración de estos eventos. Esta aproximación general se denomina *aceptabilidad de potencia* o *tolerancia del voltaje de barra*. El principal objetivo poder distinguir los casos en los

cuales la potencia recibida puede ser o no utilizada. Se presenta asimismo una propuesta de utilización de las curvas de aceptabilidad de potencia y de cómo calcular los sags de voltaje en el barraje.

Understanding Power Quality Problems [Math J. Bollen] IEEE-2000

Este libro elaborado por el Ingeniero en Sistemas de Potencia Mathias J. Bollen, en el cual los ingenieros y estudiantes de potencia eléctrica pueden encontrar una fundamentación teórica necesario para el entendimiento de cómo analizar, predecir y mitigar dos de los más severos disturbios de un sistema de potencia: Los sags de voltaje y las interrupciones.

Los aspectos importantes que recoge este libro son:

- a) Varios tipos de fenómenos asociados con calidad del servicio eléctrico y además los estándares de clasificación de dichos fenómenos.
- b) Métodos para la evaluación de la confiabilidad del sistema de potencia.
- c) Orígenes de los sags de voltaje y de las interrupciones.
- d) Análisis esencial de los sags de voltaje para la caracterización y predicción del comportamiento del equipo y para predicción estocástica.
- e) Métodos de mitigación contra los sags de voltaje y las interrupciones

Understanding Power Systems Harmonics [W. Mack Grady, Surya Santoso] IEEE-2001

Este artículo básico que presenta un marco conceptual sobre el origen de los armónicos, las definiciones básicas asociadas con distorsión armónica, las fuentes mas importantes de producción de armónicos, las características de respuesta del sistema y el impacto de los armónicos, así como un esbozo teórico de las alternativas de control de los mismos.

Power Quality and the Security of Electricity Supply [Daniel J. Ward] IEEE-2001

Considerando la alta tecnología y los negocios orientados al conocimiento en el siglo 21, se requiere una alta calidad y ultra confiabilidad en la energía eléctrica, en las cantidades y en los tiempos en los cuales antes no se habían tenido en cuenta. Para sistemas de información con misión crítica, la disponibilidad de la potencia eléctrica es una consideración mucho más importante que el costo de la electricidad. En este artículo se presenta un resumen de estas necesidades así como las prácticas de

empresas del sector eléctrico y otras industrias alrededor de los EEUU, para cumplir la demanda de alta calidad de potencia.

Redefined Power Quality Indices [M.S. Kandil, S.A. Farghal and A. Elmitwally] IEEE-2001

En este artículo se hace referencia y se discuten los índices más importantes en potencia eléctrica tales como distorsión armónica total, factor de potencia, entre otros. Se presentan de igual manera las limitaciones, las deficiencias y la dificultad de las aplicaciones prácticas de estos índices basados en la FFT en la cuantificación de la calidad de potencia en sistemas trifásicos. Se sugieren algunas versiones modificadas de cada uno de los índices que evitan estas circunstancias no deseadas, utilizando principalmente el potencial de la descomposición de la señal multiresolución Ondelet. Se propone también un indicador de no linealidad que se presenta como un nuevo índice de calidad de potencia. En el artículo también se comparan las ventajas de los nuevos índices con los índices existentes.

Impact Of Grounding System Design on Power Quality [A.P. Sakis Meliopoulos] IEEE-2001

Inicialmente en este documento se hace mención a los disturbios que pueden afectar la calidad de potencia, tales como: Descargas atmosféricas, conmutación de circuitos, fallas, corrientes de energización, arranque de motores, desbalance de carga, armónicos y resonancia, interferencia electromagnética, etc. Estos efectos vistos desde el usuario final, se manifiestan como distorsión de voltaje, *sags* de voltaje, *swell* de voltaje, salidas de circuitos, desbalance de voltaje, etc. Los efectos de estos fenómenos pueden ser muy diferentes dependiendo de la susceptibilidad del equipo afectado. Para un equipo en especial, el impacto de estos disturbios puede ser mitigado con un adecuado diseño del circuito de alimentación, sistema de puesta a tierra, protección de sobrevoltaje, filtros, ductería de acero, uso de transformadores adicionales, etc.

Específicamente en este artículo se hace énfasis en un método con la capacidad de modelar sistemas trifásicos trifilares, trifásicos tretrafilares (tres fases y el neutro o línea de tierra), Trifásicos pentafileares (tres fases y el neutro y la línea de tierra), uno o dos circuitos de fase, puntos de tierra o de unión, sistemas de puesta a tierra, etc.. Una característica adicional del método presentado es que los modelos de los componentes del sistema de potencia están basados en modelos físicos propios de la construcción del elemento. Este modelo especial permite establecer relaciones entre los

parámetros físicos y la calidad de potencia. Adicionalmente en este artículo se presentan resultados de algunas pruebas realizadas.

Voltage Sag Stochastic Estimate [Mario F. Alves] IEEE-2001

La naturaleza probabilística de los fenómenos electromagnéticos que caracteriza un *sag* de voltaje ocasiona el establecimiento de tendencias basadas sólo en la supervisión de los resultados, esto es un trabajo difícil de realizar. Las simulaciones de los cortos circuitos predicen su conducta en los varios tipos y situaciones de posibles cortos circuitos. Se usan los resultados de estas simulaciones para construir una base de datos cuya información puede ser tratada estocásticamente. Esto permitirá una interface más rápida de la medida de ocurrencias de *sags* de voltaje. Este artículo describe la metodología de estimación estocástica de la cantidad y característica de *sag* de voltaje que pueden afectar un rango de consumidores. Un ejemplo se usa para demostrar la aplicación de la metodología que se presenta en este artículo.

Voltage Sags in Three-Phase Systems [M.H.J. Bollen] IEEE-2001

Un *sag* de voltaje es una reducción del voltaje de corta duración (unos cuantos segundos). El voltaje cae temporalmente a un valor más bajo, por ejemplo, de 230 V baja a 170 V, y regresa de nuevo después de aproximadamente 150 ms. A pesar de su corta duración, tales eventos pueden causar serios problemas para una gama amplia de equipos.

Los *sags* de voltaje es un fenómeno trifásico, en el que todos los voltajes de las tres fases están involucrados y a veces incluso el voltaje neutra - tierra. En este artículo, se considera sólo los voltajes de fase.

Note que la mayoría de las publicaciones introducen un *sag* de voltaje como un pulso en el voltaje de una fase. Los aspectos trifásicos son introducidos como una clase de anomalía.

La mayoría del sistemas de potencia son trifásicos, y las cargas que tienen mayor problema con los dips de voltaje por ejemplo los controladores de velocidad, son cargas trifásicas. En estos casos se necesita una descripción más general. En este artículo, se tratarán los *sags* de voltaje como un fenómeno trifásico desde el comienzo. De esta forma le será más fácil entender lo que ocurre con las cargas de una sola fase.

Reducing Voltage Sags Through Fault Current Limitation [Fabio Tosato and Stefano Quaia] IEEE-2001

La limitación de la corriente en corto circuito en las utilidades de distribución puede ser una manera eficaz de mejorar la calidad de potencia, a partir de la amplitud de sag de voltaje esperado durante los fallos, puede ser dramáticamente reducido.

Un simple circuito serie LC puesto a punto a la frecuencia neta, con el condensador desviado por un varistor de óxido de metal (MOV), demuestra ser un buen limitador para alcanzar el objetivo. En el papel, las propiedades de este circuito se analizan y su funcionamiento se investiga a través de la simulación de la computadora. Los pro y contra son discutidos.

Influence of RMS variation measurement protocols on electrical system performance indices for voltage sags and swells [N. Kagan, E.L. Ferrari, N. M. Matsuo] IEEE-2001

Este artículo presenta un estudio de evaluación para los protocolos de medida de parámetros característicos relacionados con las variaciones de voltaje de corta duración "short duration voltage variations" (SDVs). La evaluación de posibles diferencias en la magnitud y la duración de los SDVs producidas por los diferentes protocolos, es de gran importancia para los índices de actuación del sistema eléctrico relacionados con los sags de voltaje y los swells son en la práctica, obtenidos mediante los instrumentos de medida. El estudio realizado utiliza un simulador digital que genera las condiciones de voltaje resultante para fallas en una red de distribución. Fueron aplicados varios protocolos para la medida de SDVs y se realizó una comparación global.

Solutions to the power quality problem [Prof. Ray Arnold] IEEE-2001

Los problemas de calidad de potencia son diversos por naturaleza y también por lo que se refiere a los sistemas de potencia que deben ser considerados. Desde los sistemas de transmisión de alto voltaje hasta suministro doméstico, problemas debido a los fenómenos naturales e interferencia de las cargas contaminantes; requieren una amplia gama de soluciones. Estas soluciones son ahora adecuadas y disponibles con el desarrollo de nuevos y más robustos dispositivos de estado sólido - transistorizados.

Component Modeling Issues for Power Quality Assessment [Wilsun Xu] IEEE-2001

La simulación es uno de los métodos más comunes para la investigación de los problemas de calidad de potencia. La aplicación exitosa de técnicas de simulación depende de dos factores: Uno es el algoritmo de la simulación, y el otro son los modelos del componente usados para el algoritmo.

En este artículo, se discutirá el aspecto relacionado con el modelo. Un modelo representa las respuestas características del componente a las perturbaciones. El objeto de la componente del modelo es por consiguiente importante no sólo para los estudios de la simulación sino también para entender las características de la propagación de perturbaciones.

Hay varios tipos de perturbaciones de calidad de potencia. Las perturbaciones son clasificadas típicamente de acuerdo con su duración y sus componentes de frecuencia. Por ejemplo, los sags de voltaje ocasionan la reducción de los valores rms durante unos ciclos. Los armónicos por otro lado, producen las distorsiones en las formas de onda sostenidas. De acuerdo con las respuestas de las componentes de sistema de potencia y sus modelos asociados pueden ser muy diferentes para los diferentes tipos de perturbación. No es posible cubrir los problemas modelados para todos los tipos de perturbación en este artículo.

El artículo se centra en las tres perturbaciones más comunes: los armónicos, transitorios y los *sags/swells*, con los armónicos como el enfoque principal.

El modelo también puede ser dividido conforme a los tipos de componentes de sistema de potencia. Los componentes mas comúnmente encontrados para el análisis de calidad de potencia son: líneas aéreas, los cables subterráneos, los transformadores, las máquinas rotatorias, equipos electrónicos de potencia, las cargas adicionales, y los sistemas externos. Los modelos relacionados con estos componentes incluyen:

- Análisis armónico que está principalmente basado en el dominio de la frecuencia.
- Análisis transitorio que está principalmente basado en el dominio del tiempo.
- Análisis de sag/swell que está principalmente basado en el dominio de los fasores (frecuencia-dominio a 60/50 Hz).

Correlating Voltage sags with line faults and Lightning [Fred Elmendorf, Lee King, Michael Ingram] IEEE-2001

Para tener una posición competitiva en el mercado de la energía, las empresas electrificadoras deben juiciosamente mejorar su transmisión y los sistemas de distribución deben proporcionar a los clientes la mayor calidad de potencia. En este

orden, el conocimiento particular de lo que causó el sag de voltaje puede ser inestimable decidiendo dónde gastar un presupuesto de mejora.

Este artículo describe un sistema integrado de base de datos que correlaciona los sags de voltaje con la transmisión de fallos de la línea y la descarga atmosférica que causó el fallo. Determinando las zonas críticas susceptibles a los fallos inducidos por las descargas atmosféricas, pueden llevarse a cabo medidas tácticas para mejorar ambos, la protección de la descarga y la actuación del sistema ante el fallo. Además, perturbaciones no causadas por la descarga atmosférica pueden ser identificadas con el fin de determinar otros tipos de causas de fallos.

Assessment of Voltage Unbalance [Annette von Jouanne and Basudeb Banerjee] IEEE 2001

Este artículo se presenta un resumen comprensivo de las causas y efectos del desbalance de voltaje y discutir normas relacionadas, definiciones y técnicas de la mitigación.

Se presentan varias causas de desbalance de voltaje en el sistema de potencia y en los medios industriales, así como también el resultado de los efectos adversos en el sistema y en equipos como: motores de inducción, convertidores electrónicos de potencia y controladores. Las normas dirigidas al desbalance de voltaje son discutidas y aclaradas, y se sugieren varias técnicas de la mitigación para corregir los problemas de desequilibrio de voltaje. Este artículo deja en claro la importancia de identificar los problemas de desbalance de potencia para el beneficio de ambos, la empresa electrificadora y el cliente.