



UNIVERSIDAD DE JAÉN
Escuela Politécnica Superior de Linares

Trabajo Fin de Grado

APLICACIÓN EN LA ESTIMACIÓN DE FLUJO DE CARGAS

Alumno: José Nicolás de Diego León
Tutor: Francisco Jurado Melguizo
Depto.: Ingeniería eléctrica

Junio, 2017

Índice General

1 CAPÍTULO: EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN Y VARIABLES EN EL SISTEMA ELÉCTRICO.....	5
1.1 INTRODUCCIÓN.....	5
1.2 SUPOSICIÓN Y REFERENCIAS INICIALES.....	6
1.3 CONCLUSIONES DE LA EVALUACIÓN DE LA SITUACIÓN.....	14
1.4 RESUMEN.....	18
1.5 BIBLIOGRAFÍA.....	18
2 CAPÍTULO: PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN DE POSICIONES.....	22
2.1 INTRODUCCIÓN.....	22
2.2 MÍNIMOS CUADRADOS EQUILIBRADOS.....	24
2.3 ECUACIONES NORMALES CON RESTRICCIONES.....	26
2.4 CONVERSIONES ORTOGONALES.....	28
2.5 MÉTODO MIXTO.....	29
2.6 PROCEDIMIENTO MATRICIAL INCREMENTADO DE HACHTEL.....	29
2.7 PROCEDIMIENTO DE PETERS Y WILKINSON.....	30
2.8 PROCEDIMIENTO MATRICIAL INCREMENTADO POR CONJUNTOS.....	32
2.9 VALORES MÍNIMOS POSITIVOS.....	33
2.10 MÍNIMA MEDIA DE CUADRADOS.....	35
2.11 RESUMEN.....	36
2.12 BIBLIOGRAFÍA.....	36
3 CAPÍTULO: REPERCUSIÓN DE LAS FALTAS EN LAS VARIABLES SOBRE LA EVALUACIÓN DE ESTADOS.....	40
3.1 INTRODUCCIÓN.....	40
3.2 AMBIENTE DE REPRESENTACIÓN.....	41
3.3 NATURALEZA PARTICULAR DE LA REPERCUSIÓN DE LAS FALTAS EN LAS VARIABLES.....	44
3.4 ESTUDIO DEL GRADO DE FALTA EN LAS VARIABLES GRADUADAS.....	47
3.5 FALLOS EN CONDUCTANCIA Y SUSCEPTANCIA.....	51
3.6 REPERCUSIÓN DE LOS FLUJOS E INYECCIONES SOBRE LA ESTIMACIÓN DE LAS MEDIDAS.....	53
3.7 PESO DE LAS FALTAS EN LAS VARIABLES REGULADAS SOBRE LA EVALUACIÓN.....	54
3.8 RESUMEN.....	57
3.9 BIBLIOGRAFÍA.....	58
4 CAPÍTULO: EVALUACIÓN DE VARIABLES EN SISTEMAS ELÉCTRICOS.....	60
4.1 INTRODUCCIÓN.....	60
4.2 RECONOCIMIENTO DE ERRORES EN LOS PARÁMETROS.....	60
4.3 DISTRIBUCIÓN DE LOS PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN DE VARIABLES.....	61
4.4 EVALUACIÓN ON-LINE VS EVALUACIÓN OFF-LINE.....	62
4.5 NATURALEZA ESPECÍFICA DE LA EVALUACIÓN DE VARIABLES.....	63
4.6 RESUMEN.....	69
4.7 BIBLIOGRAFÍA.....	69
5 CAPÍTULO: PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN DE VARIABLES.....	72
5.1 INTRODUCCIÓN.....	72
5.2 PROCEDIMIENTOS FUNDAMENTADOS EN EL ESTUDIO DE EXCEDENTES DE RECEPTIBILIDAD.....	72
5.3 PROCEDIMIENTOS QUE INCREMENTAN EL SEGMENTO DE POSICIÓN.....	79
5.3. A SOLUCIÓN CON ECUACIONES CONVENCIONALES.....	79
5.3. B SOLUCIÓN FUNDAMENTADA EN LA HIPÓTESIS CORRESPONDIENTE AL FILTRO KALMAN.....	87

5.4 DEBATE	91
5.5 RESUMEN.....	92
5.6 BIBLIOGRAFÍA.....	93
6 CAPÍTULO: DATOS FINALES DE LA EVALUACIÓN DE POSICIONES Y LA ESTIMACIÓN DE VARIABLES.....	95
6.1 INTRODUCCIÓN.....	95
6.2 EVALUACIÓN CORRESPONDIENTE A ADMITANCIAS/IMPEDANCIAS	96
6.3 EFECTO DE LA CANTIDAD DE MODELOS USADOS.....	96
6.4 VÍNCULO CON EL NIVEL DE FALLO EN LAS MEDIDAS.....	97
6.5 EFECTO DEL CARÁCTER DE VARIABLES GRADUADAS QUE SE UTILIZAN	101
6.6 ESTIMACIÓN DE ALGUNOS PARÁMETROS DE FORMA SIMULTÁNEA.....	104
6.7 OPTIMIZACIÓN DE LAS VARIABLES ESTIMADAS	105
6.8 DATOS FINALES DEL EVALUADOR CON LAS VARIABLES MEJORADAS	107
6.9 RESUMEN.....	107
6.10 BIBLIOGRAFÍA.....	108
7 CAPÍTULO: ASPECTOS VINCULADOS A LA EVALUACIÓN	109
7.1 INTRODUCCIÓN.....	109
7.2 A. PRUEBA DE OBSERVABILIDAD	111
7.2 B. RECONOCIMIENTO DE REDES OBSERVABLES	112
7.2 C. LOCALIZACIÓN DE VARIABLES GRADUADAS	113
7.2 OBSERVABILIDAD.....	109
7.3 A. ESPECIFICACIÓN DE LAS FALTAS EXISTENTES.....	115
7.3 B. RECONOCIMIENTO DE VARIABLES GRADUADAS QUE SON EQUÍVOCAS	116
7.3 C. SUPRESIÓN DE MEDIDAS EQUÍVOCAS	118
7.3 FALTAS NO GAUSSIANAS.....	114
7.4 A. RECONOCIMIENTO Y EVALUACIÓN DE FALTAS TOPOLÓGICAS	120
7.4 FALLOS TOPOLÓGICOS.....	118
7.5 RESUMEN.....	125
7.6 BIBLIOGRAFÍA.....	125
A.1. PROGRAMA DE ESTIMACIÓN DE ESTADO (SE)	129
A.1.1. CARACTERÍSTICAS	129
A.1.2. LIMITACIONES	129
A.1.3. DEMOSTRACIÓN	130
A.2. ESTRUCTURA DE ARCHIVOS.....	136
APÉNDICE A: BREVE INTRODUCCIÓN AL PROGRAMA DE ESTIMACIÓN DE ESTADO.....	129
APÉNDICE B: MATRIZ HESSIANA	137
B.1. INTRODUCCIÓN.....	137
B.1.1. DEFINICIÓN.....	137
B.2. APLICACIÓN DE LA MATRIZ HESSIANA.....	138
B.2.1. CONCAVIDAD/CONVEXIDAD	138
B.2.2 MÉTODO PARA DETERMINAR EL CARÁCTER DE LOS PUNTOS CRÍTICOS	138
B.3. GENERALIZACIONES	139
B.3.1. MATRIZ HESSIANA ORLADA.....	139
B.3.2. APLICACIÓN BILINEAL HESSIANA	139
FIGURA 1. FALTA CORRIENTE DE CATEGORÍA.....	7
FIGURA 2. FALTA DE LINEALIDAD.....	8
FIGURA 3. FALTA DE REPRODUCIBILIDAD	8
FIGURA 4. FALTAS LÍMITES DE RELACIÓN PARA CONVERTIDORES DE CORRIENTE DE CATEGORÍA 0.5.....	9
FIGURA 5. FALTAS LÍMITES DE FASE PARA CONVERTIDORES DE CORRIENTE DE CATEGORÍA 0.5.....	10

FIGURA 6. FALTAS LÍMITES PARA CONVERTIDORES DE CORRIENTE DE CATEGORÍA 0.5.	10
FIGURA 7. RED IEEE-14	42
FIGURA 8. PESO DE LA FALTA COMPUESTA EN SUSCEPTANCIA Y CONDUCTANCIA DE LA RAMA EN RELACIÓN A LAS VARIABLES GRADUADAS: CORRESPONDIENTE A TODO EL SISTEMA (INTERRUMPIDO) Y ADYACENTES (FIJO)	45
FIGURA 9. PESO DE LA FALTA CORRESPONDIENTE A UNA RAMA EN RELACIÓN A LAS VARIABLES GRADUADAS A DIFERENTES LONGITUDES: FALTA DE LAS VARIABLES EVALUADAS CON FALTA EN UNA RAMA/FALTA DE LAS VARIABLES EVALUADAS SIN FALTA EN DICHA RAMA.....	46
FIGURA 10. PESO DE LA FALTA QUE LIGA SUSCEPTANCIA Y CONDUCTANCIA EN UNA RAMA EN RELACIÓN A LAS VARIABLES GRADUADAS COLINDANTES DE DIFERENTES CATEGORÍAS.....	48
FIGURA 11. PESO DE LA FALTA QUE APARECE EN UNA RAMA RESPECTO A LA VINCULACIÓN QUE UNE LAS FALTAS DE LAS VARIABLES GRADUADAS QUE SON EVALUADAS Y LAS MEDIDAS TELEDIRIGIDAS (COLINDANTES).	49
FIGURA 12. PESO DE LA FALTA EN UNA RAMA EN RELACIÓN A LAS VARIABLES GRADUADAS Y EVALUADAS DE LONGITUD 1 CON DIFERENTES CLASES: FALTA DE LAS VARIABLES GRADUADAS Y EVALUADAS CON FALLO EN LA RAMA/FALLO DE LAS VARIABLES GRADUADAS Y EVALUADAS SIN FALLO EN DICHA RAMA.	50
FIGURA 13. PESO DE LA FALTA SOBRE UNA RAMA EN RELACIÓN A LAS VARIABLES GRADUADAS Y EVALUADAS DE LONGITUD 2 CON DIFERENTES CLASES: FALTA DE LAS VARIABLES GRADUADAS Y EVALUADAS CON FALTA SOBRA UNA RAMA/FALTA DE LAS VARIABLES GRADUADAS QUE SON EVALUADAS SIN FALTA EN DICHA RAMA.	51
FIGURA 14. PESO DE LA FALTA EN SUSCEPTANCIA Y EN CONDUCTANCIA QUE PRESENTA LA RAMA EN RELACIÓN A LAS VARIABLES GRADUADAS Y COLINDANTES.	52
FIGURA 15. PESO DE LA FALTA EN SUSCEPTANCIA DE LA RAMA EN RELACIÓN A LAS VARIABLES GRADUADAS Y COLINDANTES CON DISTINTAS CLASES DE VARIABLES GRADUADAS.	54
FIGURA 16. PESO EN RELACIÓN A LAS VARIABLES GRADUADAS DE DIFERENCIA DE POTENCIAL COLINDANTES CUANDO TODAS LAS VARIABLES GRADUADAS SON PRECISAS SALVO LAS DE DIFERENCIA DE POTENCIAL. ..	55
FIGURA 17. PESO EN RELACIÓN A LAS VARIABLES GRADUADAS DE FLUJO COLINDANTES CUANDO TODAS LAS VARIABLES GRADUADAS SON PRECISAS SALVO LAS DE FLUJO.....	56
FIGURA 18. PESO EN RELACIÓN A LAS VARIABLES GRADUADAS DE FLUJO COLINDANTES CUANDO TODAS LAS VARIABLES GRADUADAS SON PRECISAS SALVO LAS DE FLUJO.....	57
FIGURA 19. RED IEEE-118.....	66
FIGURA 20. CONSECUENCIA DEL ESTUDIO DE AFECTIVIDAD DE LA RAMA QUE JUNTA EL LAZO 49 Y EL LAZO 51 EN EL SISTEMA IEEE-118.....	68
FIGURA 21. PROTOTIPO DEL CONVERTIDOR USADO.	75
FIGURA 22. MODELO DEL TRANSFORMADOR CONSIDERADO	79
FIGURA 23. FALLO EN LA SUSCEPTANCIA EVALUADA DE DICHA RAMA QUE JUNTA EL LAZO 7 Y EL LAZO 9 DEL SISTEMA IEEE-14 RESPECTO A LA IMPORTANCIA RELATIVA DE LA VARIABLE.	83
FIGURA 24. FALLO EN LA SUSCEPTANCIA EVALUADA DE DICHA RAMA QUE JUNTA EL LAZO 10 Y EL LAZO 11 DEL SISTEMA IEEE-14 RESPECTO A LA IMPORTANCIA RELATIVA DE LA VARIABLE.	84

FIGURA 25. VINCULACIÓN QUE EXISTE ENTRE EL FALLO DE LAS MEDIDAS Y EL FALLO DE LA VARIABLE ESTIMADA CONTRA EL NÚMERO DE ESTADOS TRATADOS DE MANERA SIMULTÁNEA.	96
FIGURA 26. EFECTO DEL FALLO EN LA SUSCEPTANCIA DE DICHA RAMA EN RELACIÓN A LAS VARIABLES GRADUADAS QUE SON LÍMITROFES, CON DIFERENTES CATEGORÍAS, EN EL MOMENTO DE RESOLVER UNA POSICIÓN.	98
FIGURA 27. EFECTO DEL FALLO EN LA SUSCEPTANCIA DE DICHA RAMA EN RELACIÓN A LAS VARIABLES GRADUADAS QUE SON LÍMITROFES, CON DIFERENTES CATEGORÍAS, EN EL MOMENTO DE RESOLVER 7 POSICIONES DE FORMA SIMULTÁNEA.	99
FIGURA 28. EFECTO DEL FALLO EN LA SUSCEPTANCIA DE DICHA RAMA EN RELACIÓN A LAS VARIABLES GRADUADAS QUE SON LÍMITROFES, CON DIFERENTES CATEGORÍAS, EN EL MOMENTO QUE (A): NO ES PRODUCIDA LA EVALUACIÓN DE VARIABLES; (B): SE EVALÚA CON 7 POSICIONES DE FORMA SIMULTÁNEA.	99
FIGURA 29. MEDIANA DE LA FALTA DE LAS VARIABLES GRADUADAS/FALLO DE LA VARIABLE ESTIMADA CONTRA EL CONJUNTO DE ESTADOS PROCESADOS DE FORMA SIMULTÁNEA CON DISTINTA REDUNDANCIA.	103
FIGURA 30. EFECTO DEL FALLO EN SUSCEPTANCIA CORRESPONDIENTE A 5 RAMAS SOBRE LAS VARIABLES GRADUADAS DE TODO EL SISTEMA, CON DIFERENTES CATEGORÍAS.	105
FIGURA 31. EFECTO DEL FALLO EN LA SUSCEPTANCIA DE CINCO RAMAS EN RELACIÓN A LAS VARIABLES GRADUADAS DE TODO EL SISTEMA, CON DIFERENTES CATEGORÍAS, EN EL MOMENTO QUE SE RESUELVEN 7 POSICIONES DE FORMA SIMULTÁNEA.	106
TABLA 1. FALTAS MÁXIMAS QUE SE ADMITEN EN LA NORMA CEI PARA CONVERTIDORES DE CORRIENTE.	9
TABLA 2. LÍMITES DEL ERROR DE RELACIÓN Y DEL DESFASE PARA TRANSFORMADORES DE TENSIÓN.	10
TABLA 3. EFECTO DEL FALLO EN LA SUSCEPTANCIA DE DICHA RAMA EN RELACIÓN A LAS VARIABLES GRADUADAS EN EL MOMENTO QUE SE EVALÚA LA VARIABLE.	97
TABLA 4. FALLOS DE LAS MEDIDA LÍMITROFES USADAS SIN ESTIMAR VARIABLES Y ESTIMÁNDOLO.	100
TABLA 5. FALLOS DE LAS VARIABLES ESTIMADAS PARA DISTINTOS GRADOS DE FALLOS EN LAS VARIABLES GRADUADAS Y REITERACIÓN PLENA. (A): MEDIA DE LAS FALTA EN LAS MEDIDAS TELEDIRIGIDAS (%); (B) FALLO DE LA VARIABLE ESTIMADA (%).	100
TABLA 6. EFECTO DEL FALLO EN LA SUSCEPTANCIA DE DICHA RAMA EN EL MOMENTO QUE ÚNICAMENTE SE TIENE LAS MEDIDAS DE DIFERENCIAS DE POTENCIAL E INYECCIONES Y SON EVALUADAS EN DICHA VARIABLE.	102
TABLA 7. EFECTO DEL FALLO EN LA SUSCEPTANCIA DE DICHA RAMA EN EL MOMENTO QUE ÚNICAMENTE SE TIENE LAS MEDIDAS DE DIFERENCIAS DE POTENCIAL Y FLUJOS Y SON EVALUADAS EN DICHA VARIABLE.	102
TABLA 8. VALORES ESTIMADOS DE LA VARIABLE PARA DIFERENTES VALORES DE INICIO DE ÉSTE.	106
TABLA 9. VALOR ESTIMADO DE LA VARIABLE EN EL MOMENTO QUE SE INICIA DE UN DATO NUMÉRICO QUE ES EVALUADO PREVIAMENTE.	107

1 Capítulo: Evaluación de la situación y variables en el sistema eléctrico

1.1 Introducción

Durante los años 60 tuvo lugar un accidente que causó la pérdida de alimentación eléctrica en la parte del norte de EEUU, el sector eléctrico se responsabilizó de que tenían que implementar mejoras para operar con un mayor nivel de seguridad en los sistemas eléctricos de potencia para así optimizar su servicio energético. Dando finalidad a viejos sistemas de operación que se llevaban a cabo desde entonces.

Se empezó a tratar temas como estudios de seguridad, registros de seguridad, perfeccionamiento de la seguridad, estudios de estabilidad, optimización y comenzaron a ponerse en funcionamiento distintos centros de control. En esa época, el mando y la toma de decisiones operativas consistían en un método de inspección, que manejaba las posiciones de los interruptores en las diferentes instalaciones eléctricas, por otro lado se encontraba un sistema aislado, normalmente parecido al antepuesto, que manejaba de forma mecánica la producción de energía y el estudio monetario. De este modo, las únicas referencias que poseía el encargado operativo en ese instante eran el posicionamiento de las llaves, la periodicidad de la red eléctrica y la suma evaluadas de potencias que eran necesarias para el manejo de la producción energética.

Tomando como origen este contexto el trabajo se focalizó en obtener durante poco tiempo, en instantes, el aviso de las llaves y también la relación de medidas que se podía manejar de la red eléctrica. Pudiendo obtener estos valores al instante en la base de datos se podía constatar la seguridad de forma continua, lo que es igual, era posible estudiar la situaciones de operación de todos los equipos de la red y obtener situaciones que no eran normales y de cierta alarma para el funcionamiento de la red. El proceso de obtención, localización e indicación de la red, más el uso de monitores gráficos y acumulación de todas las medidas, formó el método de inspección de registro y captación de referencias (SCADA).

Dicho esto, se meditó si se tenía una base de datos que podía actualizarse durante cierto tiempo de forma periódica, gracias al SCADA, se tenía la posibilidad de tener el rastreo y el manejo de la firmeza de la red eléctrica, únicamente había que incorporar a los programas de mando las medidas oportunas. Aunque esto no era del todo cierto y fue Schweppe quién tomo constancia que existían dos problemas para la toma en marcha de las funciones que llevaban el tema de seguridad.

Lo primero, aunque existían numerosas medidas siempre existía fragilidades, porque algunas medidas se perdían de forma temporal o existían medidas con errores de tipo no gaussianos. Por otra parte, las funciones de seguridad que aparecían nuevas necesitaban un punto inicial, una distribución de cargas de manera instantánea. A raíz de lo primero, los programas que llevaban en ese momento a cabo la distribución de las cargas no se podían utilizar a tiempo instantáneo, así que era imposible ejecutar aplicaciones de firmeza de manera práctica.

Schweppe hizo con la evaluación de estados la búsqueda de la solución al problema de los datos y también a la disposición a tiempo instantáneo. El tasador de estados es una distribución de flujos de forma instantánea. Schweppe confirmaba la actuación de las aplicaciones de firmeza mediante los puntos de mando y el SCADA fue remplazado por el EMS, que es lo que conocemos como sistema de gestión energética.

1.2 Suposición y referencias iniciales

Schweppe concretó la evaluación de la posición de la siguiente forma “una notación que procesa datos y los transforma en medidas reiterativas y otra indicación utilizable en una tasación de la posición de la red eléctrica”. Actualmente, la evaluación de la posición forma un trozo fundamental en las redes de distribución energéticas del planeta completo. Aún si cabe, es el epicentro de las nuevas redes de distribución y el beneficio y la utilidad de distintas funciones, como son estudio de estabilidad, estudio monetario, etc., necesitan en buena medida de la precisión de los antecedentes que ofrece el tasador de posiciones.

Los principios de exploración que necesita el tasador de posiciones son las siguientes:

- Los datos numéricos de las variables proyectadas (R,L, etc.)
- Los datos constitutivos (estado y situación de las llaves, etc.)
- El prototipo exacto de la red
- Las diferentes características de evaluación:
 - Medidas teledirigidas: se consiguen de forma instantánea a través de las lejanas instalaciones eléctricas por medio de un SCADA. Las referencias convencionales que se tienen son:
 - Las diferencias de potencial e introducciones de P y Q en los lazos
 - Las entradas de P y Q en las ramas
 - Medidas supuestas: resultados que se tienen basándose en los últimos datos que se tienen, estos presentan una precisión menor que si fueran medidas; cómo, la energía que se genera en los centros o la demandada en las instalaciones eléctricas
 - Medidas no reales: no hacen falta que sean medidas, como la introducción cero en las subestaciones de transporte

Lo que pasa que los datos telemedidos tienen errores debido a la poca exactitud que presentan los calibres de los transductores, la consecuencia de la conversión analógica-digital, el ruido de las líneas de comunicación, las fases desequilibradas, etc., la estimación de estado como se ha dicho que es el procedimiento capaz de borrar las referencias equívocas porque las variables apreciadas tienen relación entre sí por normas que engloban las instalaciones eléctricas. Si existe repetición con la sumatoria de variables computadas, se puede escoger un proceso que corrija de forma sistemática los errores.

La precisión en las medidas además de depender del convertidor de medición, además tomara importancia los actuadores eléctricos y transformadores teniendo en consideración como falta de las variables computadas un solo importe que será la unión de la adición almacenada de las faltas en los instrumentos que se interponen durante el procedimiento. Las variables que precisan la precisión en la computación son:

- Categoría: comprendido por categoría la falta mayor que el instrumento de medición alcanza en porcentaje, en relación a la señal nominal de salida o de fondo de escala, definidas por normas tanto nacionales como mundiales. En la

siguiente ilustración se plasma los valores reales en línea permanente y los computados mediante un zigzag interrumpido.

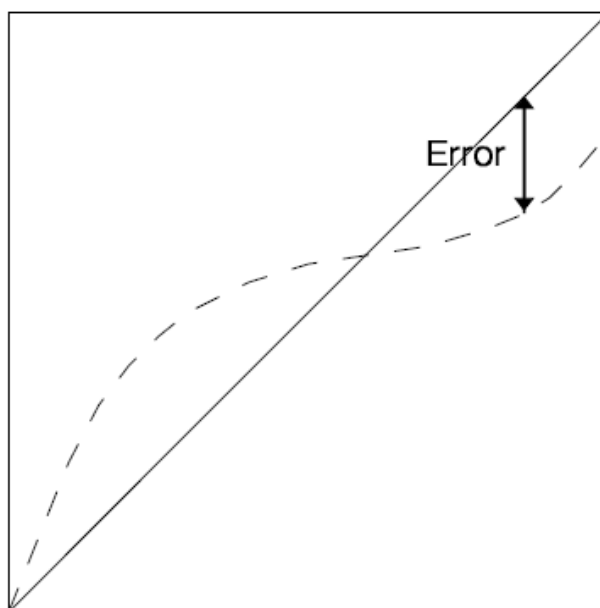


Figura 1. Falta corriente de categoría.

- Linealidad: la falta referente en porcentaje en relación al dato de final del nivel, que existe entre el dato real y el que se obtiene del dispositivo de medición graduado correctamente para la marca del nivel final, calibrado para que el inicio coincida precisamente con el final. La próxima ilustración se presentan los puntos reales con línea permanente y los computados con zigzag interrumpido
- Histéresis: falta que aparece por la discrepancia de los datos que se consiguen en un transformador de mediciones en las mismas situaciones atmosféricas, redundando las mediciones en situaciones dinámicas cambiantes, por ejemplo aumentando o disminuyendo las medidas como se puede ver en la ilustración 3

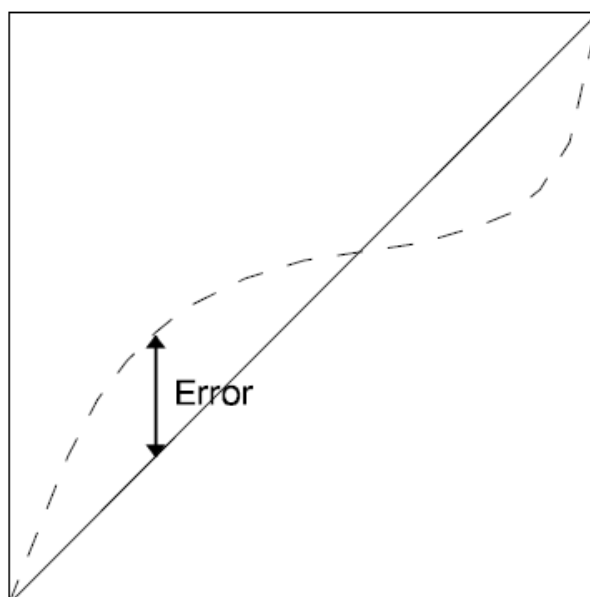


Figura 2. Falta de linealidad

- Deriva térmica: falta que aparece debido a la modificación térmica donde se ubica dicho aparato de mediciones, en relación a la temperatura que hay de referencia. Esta diferencia también se obtiene en porcentaje en relación al nivel final de graduación, pudiendo ser nulo si la marcha que ofrece el dispositivo de medición es nulo o también ser graduación completa si la marcha que ofrece el dispositivo es igual a la entrada nominal. Se suele dar en porcentaje por un grado o cada diez
- Otros: Destaca la frecuencia del sistema, tensión de alimentación, impedancias, que pueden tener alguna repercusión sobre los dispositivos de medida y sobre su exactitud, así que en algunos aparatos se puede reflejar dichas magnitudes

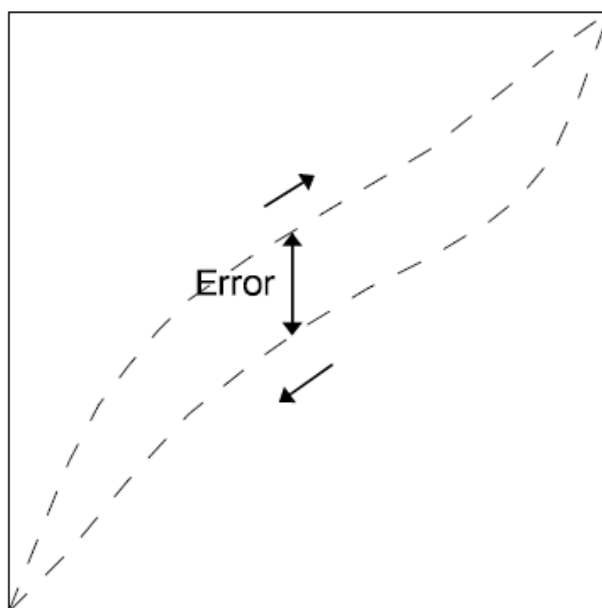


Figura 3. Falta de reproducibilidad

Hay que tener en cuenta que los porcentajes que se dan por modificación de las dimensiones pertenecen a los definidos límites de maniobra, normalmente no se pueden extrapolar a diferentes límites.

La categoría es la variable que más protagonismo toma en lo que se refiere a la precisión de medición y el exclusivo a analizar. Las categorías correspondientes a exactitudes nominativas de los convertidores de corriente son las siguientes 0.1, 0.2, 0.5, 1, 3 y 5. Los errores de corriente y fase no pueden pasar los límites establecidos en la Tabla 1 cuando esta carga de carácter secundario esté entre el 25-100 % de la carga exacta.

Teniendo en cuenta estos valores y distinguiendo cada clase de exactitud, se puede trazar una gráfica de errores límites de relación (Ilustración 4) y también de fase con los límites admisibles (Ilustración 5). Estas figuras corresponden a categoría 0.5. Las faltas que presenten un convertidor real tienen que quedar definida entre dos líneas quebradas.

Las Ilustraciones 4 y 5 se pueden unir en una sola como se puede ver en la Figura 6 donde las faltas admitidas para categoría 0.5 son las que se encuentran en mitad de los cuadriláteros.

Clase de precisión	Error de relación en % para los valores de intensidad expresados en % de la intensidad nominal $\pm\epsilon_1\%$					Errores de fase para los valores de la intensidad expresados en % de la intensidad nominal $\pm\delta_1$ (minutos)			
	10	20	50	100	120	10	20	100	120
0.1	0.25	0.2	-	0.1	0.1	10	8	5	5
0.2	0.5	0.35	-	0.2	0.2	20	15	10	10
0.5	1.0	0.75	-	0.5	0.5	60	45	30	30
1	2.0	1.5	-	1.0	1.0	120	90	60	60
3	-	-	3	-	3	-	-	-	-
5	-	-	5	-	5	-	-	-	-

Tabla 1. Faltas máximas que se admiten en la norma CEI para convertidores de corriente.

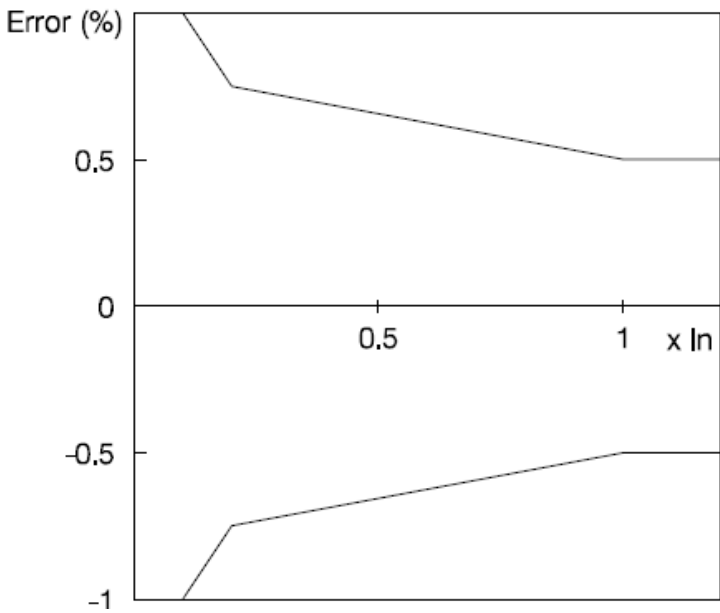


Figura 4. Faltas límites de relación para convertidores de corriente de categoría 0.5.

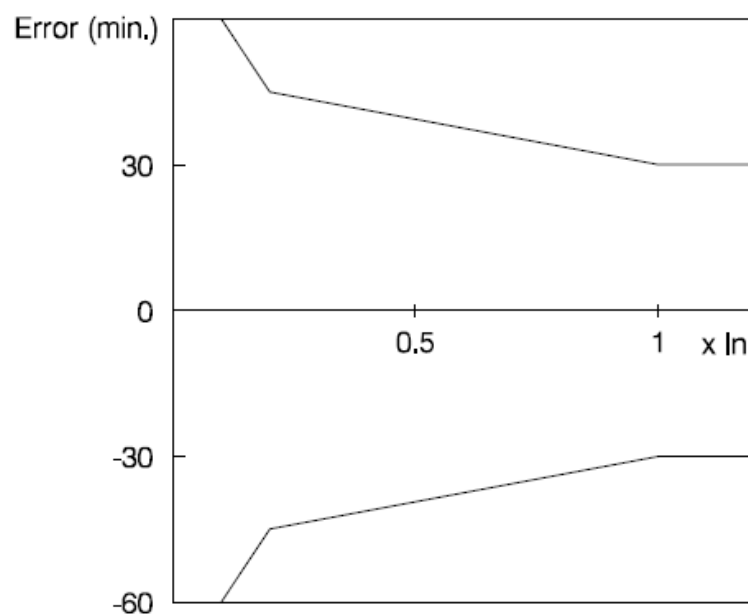


Figura 5. Faltas límites de fase para convertidores de corriente de categoría 0.5.

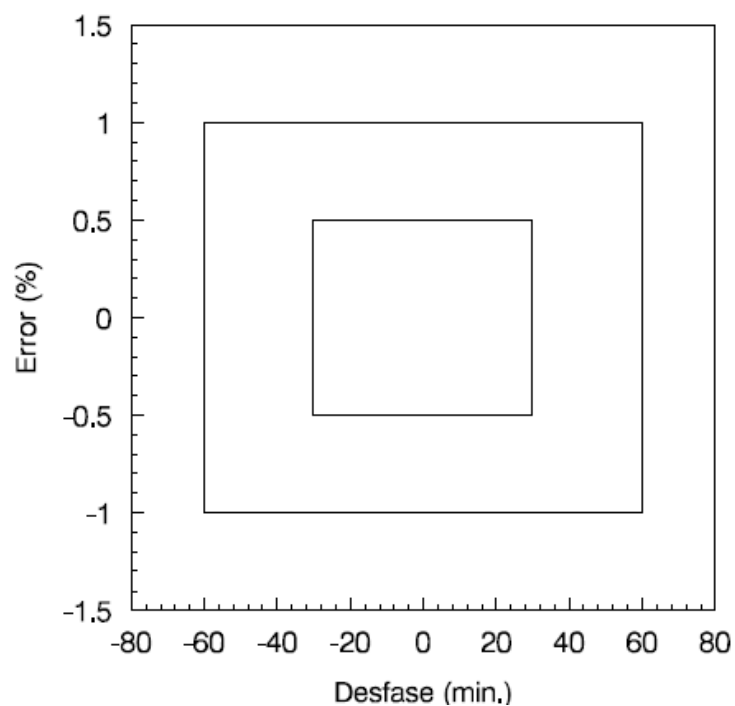


Figura 6. Faltas límites para convertidores de corriente de categoría 0.5.

Clase	Error de relación ($\epsilon_u\%$)	Desfase min. (δ_u)
0.1	± 0.1	± 5
0.2	± 0.2	± 10
0.5	± 0.5	± 20
1	± 1.0	± 40
3	± 3.0	No especificado

Tabla 2. Límites del error de relación y del desfase para transformadores de tensión

Salvo la regla ANSI, las reglas poseen los semejantes datos que las normas CEI. La primordial diferencia de las reglas UNE y VDE es que no recogen la clase 5. Además se tiene en consideración que tanto la regla CEI como la mayoría de reglas de nuestro continente instauran que las faltan que se indican no puede pasar la potencia que comprende la nominal y su cuarta parte, con coseno de phi igual a 0.8, por otro lado la norma ANSI únicamente demanda que se cumpla con exactitud que la potencia demandada sea la misma que la de teórica.

La categoría de exactitud para un convertidor de diferencia de potencial tiene que cumplir que las tensiones se comprenda entre el 80-120 % de la diferencia de potencial teórica y los flujos entre el 25-100%, con un f.d.p. del 0.8 inductivo. La Lista 2 representa tanto los límites del error de relación de los transformadores como su desfase. Esta petición de exactitud coexiste en todas las normas.

Una vez que están definidas las orígenes informativos que necesita el tasador de posición. Veremos que se realizan bajo una serie de supuestos:

- Los entornos de actuación son ecuanímes
- La red trifásica es configurable para su monofásico tipo
- Las medidas teledirigidas se recogen al instante
- Los errores en las medidas:
 - Su valor medio se toma como nulo
 - Variables aleatorias independientes: $E(e_i e_j) = 0$, así que su matriz de covarianzas R es una de valor en la diagonal principal

$$R = E(ee^T) = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \dots & \dots \\ \vdots & \sigma_i^2 & \vdots \\ \vdots & \dots & \sigma_m^2 \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

- Disposición gaussiana
- Estableciendo valor W_{ii} a la medición i fundamentado en su covarianza: $W_{ii} = \sigma_i^{-2}$. El valor indica la precisión que se espera con la medida correspondiente
- Los valores de la red se conocen y no varían con el paso del tiempo
- La posición de los interruptores que se obtiene mediante el SCADA son precisos, así que la topología del sistema también

El cómputo de la desviación típica del error que se presenta en las medidas i , σ_i , se propone de distintas formas dependiendo del autor y clasificable en cuatro grupos:

1. σ como factor invariable:

a) Se sugiere:

- Mediciones entrada: $\sigma=0.01$ p.u.
- Mediciones corrientes: $\sigma=0.008$ p.u.
- Mediciones diferencia de potencial: $\sigma=0.004$ p.u.

●
b) Se sugiere:

- Mediciones flujos energéticos: $\sigma=1$ MW/MVAR
- Mediciones diferencia potencial: $\sigma=0.01$ p.u.

c) Se sugiere:

- Mediciones flujos energéticos: $\sigma=0.02$ p.u. sobre una base de 100 MVA
- Mediciones diferencia potencial: $\sigma=0.002$ p.u.

d) Se sugiere:

- Mediciones flujos energéticos: $\sigma=1$ MW/MVAR
- Mediciones diferencia potencial: $\sigma=0.005$ p.u.

e) Se sugiere:

- Mediciones flujos energéticos: $\sigma=1.5$ MW/MVAR en 132 KV y $\sigma=0.8$ MW/MVAR en 33 KV
- Medidas diferencia potencial: $\sigma=0.005$ p.u.
- Medidas flujos de corriente cero: $\sigma=0.2$ MW/MVAR

f) Se sugiere:

- Medidas flujos energéticos: $\sigma=0.5/1.1$ MW/MVAR en 70 KV y $\sigma=1.2/5.5$ MW/MVAR en diferencias de potencial de mayor valor
- Medidas diferencia potencial: $\sigma=0.005$ p.u.
- Medidas flujos de corriente cero: $\sigma=0.3$ MW/MVAR en 70 KV y $\sigma=0.5$ MW/MVAR en diferencias de potencial de mayor valor

2. σ como valor que se mide:

- a) En [3, 28] se sugiere: $\sigma=1\%$ para todas las medidas
- b) En [21] se sugiere: $\sigma\leq 2\%$ para todas las medidas
- c) En [22] se sugiere $\sigma\leq 3\%$ para todas las medidas
- d) En [19, 24] se sugiere: $\sigma=2\%$ para todas las medidas
- e) En [31] se sugiere: $\sigma=0.01\%$ para todas las medidas

3. σ como valor del fondo de escala:

a) Se sugiere: el ruido gaussiano que se tiene de un alternador de cifras imprevisibles es aumentado en un tanto por ciento para todas las medidas sin concretar el final de nivel del dispositivo de medición.

b) Se sugiere:

- Medidas flujos energéticos: $\sigma=0.5\%$ del nivel final, considerando la potencia de 1000 MW
- Medidas supuestas: $\sigma=10/40\%$ del nivel final

c) Se sugiere: sumar a los estados precisos un error gaussiano que se obtiene con un alternador de cifras imprevisibles a raíz de la desviación particular que tenemos en las mediciones, concretando el final del nivel y la categoría del aparato de medición.

4. σ como valor regulado y de nivel final

a) Se sugiere:

$$\sigma = 0,0067 * VM + 0.00163 * FE \quad (1.2)$$

Dónde:

VM=valor regulado

FE=nivel final

b) Se sugiere:

$$\sigma = 0,015 * VM * \alpha + 0,003 * FE * \alpha \quad (1.3)$$

Siendo α un número al azar que da como media igual a cero y desviación típica igual a uno y los datos del nivel final:

- Medidas flujos energéticos:
 - Alternadores: 1.2 p.u. P y 0.2 p.u. Q
 - Flujo de cargas: 0.2 p.u. en P y 0.1 p.u. en Q
- Medidas diferencia de potencial: 1.5 p.u.

c) Se sugiere:

- Medidas flujos energéticos: $\sigma^2 = (0,006 * VM)^2 + (0,005 * FE)^2$
- Medidas de tensión: $\sigma = 0,005 * FE$

Sin especificar FE.

d) En [11, 12] se sugiere: en mediciones de corrientes de potencia

$$\sigma = \alpha * (0,02 * VM + 0,0035 * FE) \quad (1.4)$$

Siendo:

$$|\alpha| \leq 1$$

$$FE = 2000 \text{ MVA}$$

e) En [14] se sugiere:

- Medidas de potencia: $\sigma = \frac{1}{3} (0,005 * FE + 0,02 * VM)$
- Medidas de tensión: $\sigma = 0,001 * VM$

Sin especificar FE.

f) En [23] se sugiere:

$$\sigma = 0,012 * VM + 0,0035 * FE \quad (1.5)$$

Siendo FE=20 p.u.
g) En [33] se sugiere:

$$3 * \sigma = \alpha * VM + \beta * FE \quad (1.6)$$

Sin especificar FE y considerando:

- Medidas de potencia: $\sigma=0.02$, $\beta=0.0052$ y tanto VM como FE son valores que se dan en MVA
- Medidas diferencia de potencial: $\alpha=0.005$, $\beta=0.0026$, VM=1.0 p.u., FE=1.5 p.u.
- Medidas flujos de corriente cero: σ es mayor que el valor normal 20 veces más que el que se da en las medidas de inyección real

Los dispositivos industriales de medición hay una diferencia parecida en relación a la exactitud de los dispositivos. Teniendo en cuenta la marca y el tipo esta será ajustada a la medición, nivel final o a la adición de las dos, sin ser nunca constante.

1.3 Conclusiones de la evaluación de la situación

El tasador computa los datos que se encuentran aptos de la interconexión de la red y crea un centro de información para las aplicaciones de manejo y distribución. Lo que obtenemos al final de la evaluación de la situación son los resultados tasados de los parámetros no-constantes de la red eléctrica que incluyen la producción, las cargas tanto activas como reactivas, las potencias activas y reactivas de las líneas de transmisión, también las tensiones en los nudos en su magnitud y ángulo de fase.

Con estos datos se puede obtener por el análisis de sensibilidad, la manera en la que dañan las faltas del prototipo de la red a los datos finales de la evaluación de posición. Aparte, existe la posibilidad de obtener las matrices de covarianza tanto de la estimación como residual que te dan la posibilidad de examinar la sensibilidad de la estimación y también encontrar errores no gaussianos.

Igualmente, los resultados que te ofrece o que te puede ofrecer el estimador de estado, influye de la siguiente forma:

1. Funciones de manejo y control:

- Observación de flujos de carga y frecuencia eléctrica. Obligatorio tener la tasación de las potencia y de los flujos de corrientes, sobre todo las no medibles instantáneamente pero se estiman y actualizan de forma periódica por el operario
- Despacho económico de potencias activas y reactivas. Basado en los lazos de flujos de carga, donde el tasador puede realizar la evaluación de los flujos de cargas que no son medidas teledirigidas
- Inspección de la firmeza. El tasador tiene que ofrecer de forma instantánea los datos que sean necesarios para la supervisión de forma frecuencial de la

producción, flujo de cargas en las líneas, diferencias de potencial en los lazos, el equilibrio transitorio del sistema y el pronóstico de los posibles efectos que puede tener ciertas contingencias

- El avance en los métodos de firmeza. Crea una central de información instantánea que ofrece realizar un balance de seguridad y encontrar fallos o anomalías en la red para ser eliminadas
- El programa de descargas. Se basará en los datos finales que se consiguen de los estudios realizados en los que informan de las repercusiones que puede llegar a efectuar los parones en la firmeza de la red eléctrica. Las variables que han sido estimadas sirven de base para realizar estos informes

2. Operador:

- Ofrece junto a las desviaciones típicas, la estimación de flujos en las ramas, las filtradas de flujos de cargas y generadores, módulos de la diferencia de potencial y ángulos fasoriales, etc.
- Señala los fallos de la red y los localiza geográficamente informando de los inconvenientes del sistema
- Ofrece escapatorias que no han sido reconocidas y su ubicación para ayudar en la valoración de defectos
- Informa de los costes marginales referidos a los flujos energéticos en los lazos principales y también los de permuta
- Posibilita listas de firmeza como almacenamientos de producción y transferencia y facilita límites estables y transitorios para informarle cuando se ubique la red en una posición débil
- Ofrece funciones de carácter corrector para solventar los escenarios que no deseamos de flujos energéticos y diferencias de potencial además de los métodos restablecidos de la red

3. Esquema y proyecto de los programas informativos:

- Posibilita la evaluación de localizar y definir de manera precisa los sensores que son precisos para optimizar algunos parámetros de posición con el precio más barato

La evaluación de posición conseguirá el estado más óptimo estadísticamente hablando. Este estado forma la central de datos donde trabaja el excedente de operaciones de la base de mando que por el contrario tiene algunas limitaciones que el operario debe saber. Hay que conocer dichas limitaciones para evitar sorpresas y no desconfiar en la evaluación de la posición. Dichas restricciones son:

1. Modificaciones de posición que no han sido notificados en las zonas de no observabilidad y que originan conclusiones erróneas.
2. Las conclusiones correspondientes a la introducción en los lazos a veces no son reales, porque las introducciones compuestas en los lazos no puede ser tasadas una por una y no es detectable los errores gaussianos individualmente.
3. No se detectan los errores gaussianos en medidas críticas.
4. Se acepta el estado de los interruptores sin saber exactamente si serán las posiciones correctas.
5. El test de la χ^2 para detectar faltas no gaussianos podemos decir que es inseguro.

Se producirá un debate exhaustivo de estas limitaciones a continuación.

Áreas no observables

El prototipo de sistema utilizado por la estimación de estado incorpora de forma habitual redes que se encuentra fuera del ámbito influyente del área de manipulación. Estos centros llamados inobservables caben la posibilidad de ser trozos de sistemas de diferencias de potencial menores o enlazamientos con redes de fuera. En la evaluación de posiciones estas redes no se puede observar de manera constante. Aparte, algunas partes de la red que son controladas pueden llegar a ser no observables por la desaparición de una medida computada que era límite, una falta en el punto de conexión lejano o en las líneas de transmisión, o solo debido a que en la instalación eléctrica se está llevando a cabo actividades de conservación o reparación de tal instalación.

Mediante el objetivo de transformar la totalidad de las áreas inobservables en observables se usan las supuestas medidas, que depende de las últimas medidas y resultados históricos. Así que, el evaluador de la posición tiene la misma ocupación que puede ejecutar el operario de forma menos dinámica y transfiere unos datos al SCADA que no puede proporcionar.

Si el transcurso de tiempo en las que las áreas no observables es prolongado en este estado, la estimación de estado quizás no sea del todo óptima, no debido a las medidas estimadas, sería básicamente por el hecho de realizar modificaciones de estado en dicha área.

Cuando existe un área no observable que es causa de una red con una diferencia de potencial menor, si en el caso de la inobservabilidad es producida por la desaparición o porque no se dispone de ninguna variable recogida que sea límite, esto se soluciona notificando una permuta de posición de la instalación eléctrica al área de manipulación e inmediatamente actualizar la red.

Pero si la no observabilidad es debido a que no es posible acceder a la subestación por cualquier motivo, no se registran los cambios. Si el transcurso de no disponibilidad llegar a ser muy prolongado, el operador llegado ese caso puede recibir información vía telefónica por la persona encargada de mantenimiento de la subestación, además si fuera necesario tienen que hallarse algún operario que manejara de forma local en casos temporales.

Para concluir, si el área no observable no es muy grande, una permuta de cualquier interruptor se puede captar o hasta identificarse en áreas observables que están próximas

Datos obtenidos de la introducción de flujos de corriente en los lazos del evaluador de posición

Buscando la finalidad para que la persona final, como puede ser un operario del sistema, considere el valor de la estimación de estado y pueda a confiar en los datos que se han obtenido, hay que tener un extremado cuidado con el conocimiento y exposición de la introducción de flujos de corriente en los lazos y saber sin son escuetos o complejos.

En ciertas oportunidades, el reparto de los flujos de corriente que se estima en un lazo entre alternadores y flujos de cargas de dichos lazos puede llegar a casos incoherentes si no tomamos precauciones. Llegando a aparecer:

- Salidas de generadores que sea superiores a su capacidad

- Un generador absorba potencia del nudo
- Valores de carga muy elevados
- Una carga que aporte potencia al nudo
- Aparición de alguna carga que no exista

Cuando el evaluador de posiciones obtiene resultado, el reparto de la introducción de flujos en el lazo entre alternadores y flujos de cargas es la forma de evitar soluciones como las mencionadas antes. En las zonas donde la inyección que se ha estimado no se puede repartir de una forma realista será aconsejado realizar algún tipo de nota o comentario.

La notación del tasador estatal prevé la introducción de flujo en el lazo y no flujos que sean únicos. El reparto de la introducción de flujos entre los flujos únicos o solitarios se hace de forma proporcional a los valores que han sido medidos.

Esta aproximación es notable si no existe información con faltas no gaussianas en alguna inyección o en algunas otras. Si hay algún falta no gaussiana en la introducción de flujos es imposible reconocer en cuál de los flujos se ha introducido. Pero si sería posible mediante métodos heurísticos.

Medidas críticas

En la previsión de estados el fallo en una variable computada límite no es identificado. Esto lo llevará a cargo el operario de tomar la variable computada extrema como buena o errónea. Por esta causa, la exposición correspondiente a los datos obtenidos de la evaluación de posiciones, las variables computadas límites son identificadas de forma distinta.

De forma ideal habrá suficiente repeticiones en el cómputo de variablespreciadas de esta forma no habrá variables tomadas que sean límites. Bajo esto se afirma la abundancia particular en el sistema no obstante puede existir que luego en práctica haya algunas variables límites.

El conjunto de variables límites no es constante. Algunas de estas variables pueden pasar a límite debido que no se disponga de alguna variable o porque sea expulsada al ser descubierta como variable con falta no gaussiana.

La muestra al operario de estas variables límites le hace conocer en el supuesto de que haya una falta no gaussiana en las medidas será irreconocible.

Estudio del sistema

Con la evaluación de posiciones se considera que los datos recibidos en la central de información en relación al estado de las llaves e interruptores es la buena. Dicha hipótesis sería correcta si se examinada a través de un SCADA.

Se pueden crear errores en la estimación de estado provocado por la pérdida de conexión, problema de algún cable, fallo técnico de un relé, alguna tarjeta, etc. No suele llegar a producirse estos errores pero si ocurrieran esto daría lugar a que la configuración del sistema proporcionara un prototipo erróneo.

Si el interruptor o seccionador no se examina mediante el SCADA, su posición se actualizara de forma manual mediante el operario tras una serie de instrucciones que dicho operador debe seguir. Puede suceder que el operario se le pase actualizar el estado de los equipos, provocando un error tipológico en el sistema.

Dicho problema puede pasar por alto mediante el procesador del estimador de estado. Este procesador lo que hace es verificar todos los lazos y la parte que deja los flujos energéticos activos y reactivos para comprobar si superan el umbral, si supera dicho umbral llegará un mensaje al operador. Así que, si hubiera alguna falta en los datos obtenidos de cualquier llave, sería localizada mediante la reciprocidad que existe entre el estado de la llave y flujos de las líneas.

Identificación de faltas no gaussianas

Generalmente en las áreas de manipulación se realiza el examen de χ^2 que consigue la captación de faltas no gaussianas. Luego en la práctica no es siempre exacto este test, aunque existiera solo un dato que no es correcto, especialmente en redes mayores.

Si existieran muchas faltas no gaussianas el examen de χ^2 se lleva a cabo comprendido un término, por ejemplo, una vez expulsados las faltas que presentaban los excedentes más grandes, este examen mostraría que no hay más faltas y en verdad si existen más.

Por lo que es aconsejable que el monitor de exactitud de variables del tasador estatal facilite la posibilidad al operario de evitar la realización del test en estos casos. De esta forma el desarrollo irá de forma directa al hábito de reconocimiento con el test de los excedentes estandarizados.

Resalta que aunque no sean detectables la plenitud de las faltas no gaussianas el evaluador presenta una previsión parecida a la real.

1.4 Resumen

Se puso en liza el inconveniente existente dentro del marco operativo de las redes energéticas y la modificación de pensamiento de las novedosas redes que proporcionan mayor seguridad. Cuando se produjo esta evolución fue cuando se manifestó fuertemente la previsión de posiciones como remedio a inconvenientes en la falta de fiabilidad y consistencia en las redes.

Se ha analizado la información inicial que necesita el tasador de estados que aparte de los datos que se les dan mediante SCADA, requiere los datos numéricos de las variables, topología de la red, prototipo matemático del sistema y las pseudomedidas. También se han estudiado los parámetros que definen de manera precisa la variable preciada y se razonó el uso de la categoría como variable exclusiva que se puede definir.

Para acabar, se han estudiado los resultados obtenidos de la estimación de estado, razonando los motivos a la hora de llevarla a cabo, así como la relación que tiene sobre las funciones de control, el operario y su planificación. También se ha recalcado las restricciones que ostenta la evaluación y que tiene que resultar ampliamente nítido por el operario de manera que la finalidad sea la de poder solucionarlas sin ningún tipo de problema.

1.5 Bibliografía

[1] Abur A., "Un método de identificación de datos incorrecto para la programación lineal de estimación de estado" IEEE Operaciones en sistemas de potencia.

- [2] Abur A., Çelik M., "Un algoritmo rápido para el menor valor absoluto y ponderado de la estimación de estado". IEEE Operaciones en sistemas de potencia.
- [3] Allam M., Laughton M., "Un algoritmo genérico para estimar las variables del sistema de potencia y los parámetros de red". IEEE PES 1974 Encuentro de verano.
- [4] Allemong J., Radu L., Sasson A., "Un algoritmo rápido y seguro de estimación de estados para el nuevo centro de control de AEP". IEEE Operaciones en aparatos y sistemas eléctricos.
- [5] Baldick R., Clements K., Pinjo-Dzidal Z., Davis P., "Implementación de funciones objetivas y no cuadráticas para la estimación del estado y rechazo de datos incorrectos". IEEE Operaciones en sistemas de potencia.
- [6] Çelik M., Abur A., "Un fuerte estimador de estado WLAV que utiliza transformaciones". IEEE Operaciones en sistemas de potencia.
- [7] Clements K., Denison O., Ringlee R., "Los efectos de la no-simultaneidad en la medición, la parcialidad y la incertidumbre de los parámetros en la estimación de estado del sistema de potencia". Acta de congresos PICA.
- [8] Clements K., Ringlee R., "Tratamiento de los parámetros con cierta incertidumbre en la estimación de estado del sistema de potencia". IEEE Operaciones en aparatos y sistemas eléctricos, Anaheim, Cal., artículo C74 311-7, Julio 1974.
- [9] Clewer B., Irving M., Sterling M., "Estimación del estado topológicamente independiente". IFAC Reunión IFAC para sistemas de potencia. Aplicaciones de modelado y control, Bruselas.
- [10] Debs A., Litzenberger W., "El proyecto de estimación de estado BPA: ajuste del modelo de red". IEEE Operaciones en sistemas de potencia, artículo A 75448-1.
- [11] Dopazo J., Klitin O., Stagg G., Van Slyck L., "Cálculo estatal de sistemas de potencia a partir de mediciones de flujo en línea". IEEE Operaciones en aparatos y sistemas eléctricos.
- [12] Dopazo J., Klitin O., Van Slyck L., "Cálculo estatal de sistemas de potencia a partir de mediciones de flujo en línea, Parte 2". Acta de congresos PICA.
- [13] Dy Liacco T., "El papel y la implementación de la estimación del estado en un sistema de gestión energética". Potencia eléctrico y sistemas energéticos.
- [14] Falcão D., de Assis S., "Estimación de estado en programación lineal: análisis de error y error de identificación". IEEE Operaciones en sistemas de potencia.
- [15] Handschin E., Schweppe F. Kohlas J., Fiechter A., "Análisis de datos incorrectos para la estimación de estado del sistema de potencia". IEEE Operaciones en aparatos y sistemas de potencia.
- [16] Handschin E., Kliokys E., "Estimación de la toma de posición del transformador y detección de datos incorrectos mediante modelado dinámico de señales". IEEE Operaciones en sistemas de potencia.

- [17] Irving M., Owen R., Sterling M., "Estimación de estado del sistema de potencia mediante programación lineal". Reunión IEE, Vol. 125, pp. 879-885, Septiembre 1978.
- [19] Kotiuga W., Vidyasagar M., "Malas propiedades de rechazo de datos de las técnicas ponderadas de mínimo valor absoluto aplicadas a la estimación de estado estáticas". IEEE Operaciones en aparatos y sistemas de potencia.
- [20] Larson R., Tinney W., Hadju L., Piercy D., "Estimación de estados en sistemas de potencia. Parte 2: Implementación y aplicaciones". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [21] Liu W., Wu F., Lun S., "Estimación en los errores de los parámetros residuales de medida en la estimación del estado". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [22] Liu W., Lim S., "Identificación y estimación de error de los parámetros en la estimación del estado del sistema de potencia". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [23] Lo K., Ong P., McColl R., Moffatt A., Sulley J., "Desarrollo de un estimador de estado estático, Parte 1: Estimación y supresión de datos erróneos, Parte 2: Sustitución incorrecta de datos y la generación de pseudomedidas. IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia, Vol. PAS-102, pp. 2486-2500, 1983.
- [24] Masiello R., Schweppe F., "Una estimación de seguimiento de estado estático". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia, Vol. PAS-90, pp. 1025-1033.
- [25] Mili L., Van Cutsem T., Ribbens-Pavella M., "Identificación del ensayo de hipótesis: un nuevo método para el análisis de datos erróneos en la estimación del estado del sistema eléctrico". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [26] Mili L., Van Cutsem T., Ribbens-Pavella M., "Métodos de identificación de datos incorrecto en la estimación de estado del sistema de potencia". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [27] Mili L., Phaniraj V., Rousseeuw P., "Media de la estimación de los cuadrados en los sistemas de potencia". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [28] Quintana V., Van Cutsem T., "Procesamiento en tiempo real de las posiciones de los interruptores de transformador". Diario canadiense de ingeniería eléctrica.
- [29] Quintana V., Van Cutsem T., "Estimación de los parámetros de la red del sistema de potencia". Aplicaciones y métodos de control óptimo.
- [30] Ruiz J., Gómez A., "Una estimación de estados basada en la medida de corriente de línea". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [31] Van Cutsem T., Quintana V., "Estimación de parámetros de red utilizando datos en línea que son aplicados a la estimación de la posición de los interruptores del transformador". Reunión IEE.
- [33] Van Slyck L., Allemong J., "Experiencia operativa con el estimador de estados AEP". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.

[34] Wu F., "Estimación de estados para el sistema de potencia". Potencia eléctrica y Sistemas energéticos.

[35] Zarco P., Gómez A., "Determinación de los parámetros de red desconectados mediante la estimación de estados". 12º Reunión congresal de cálculo de los sistemas de potencia, pp. 1207-1213, Dresden, Alemania, Agosto 1996.

2 Capítulo: Procedimientos de Evaluación de posiciones

2.1 Introducción

La disposición de una red energética indica el requisito de ejecución, de forma matemática, todo el conjunto se puede calcular después de conocer los valores de las tensiones y de los desfases angulares. De este modo, el prototipo matemático de la estimación de estado se fundamenta en la relación matemática que existe con las variables y medidas de posición.

Si tomamos z como el segmento de medidas teledirigidas, x como el segmento de parámetros de posición, h las ecuaciones que relacionan las dos anteriores y v la magnitud de faltas de las variables reguladas. Por lo tanto, el segmento de las variables reguladas se configura:

$$z = h(x) + v \quad (2.1)$$

Al considerarse que los errores $v_1, v_2, \dots, v_m$ son variables al azar no dependientes con una colocación gaussiana con mediana nula, tomando m como el conjunto de variables reguladas. Con varianza (σ_i^2) de la falta medida v_i , facilita un aviso de la precisión de la variable regulada. Si tenemos varianza alta señala una medición no precisa y una varianza baja señala una medida precisa.

Considerando R es la matriz de covarianzas de faltas medidas:

$$R = E\{vv^T\} = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \dots & \dots \\ \vdots & \sigma_2^2 & \vdots \\ \vdots & \dots & \sigma_m^2 \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

En la primera ecuación, x es la variable real de posición que se desconoce y las faltas v son parámetros al azar, las variables reguladas z igualmente son aleatorias. Aún si cabe, cuando z presenta una colocación gaussiana de mediana $h(x)$ y covarianza R entonces se puede escribir la función de densidad probabilística de z como [2]:

$$f(z) = (\sqrt{2 * \pi})^{-m} |W|^{\frac{1}{2}} e^{-\frac{1}{2}[z-h(x)]^T W [z-h(x)]} \quad (2.3)$$

La realización con éxito de la evaluación de estados en las redes de distribución energéticas nuevas en estos tiempos atrás utilizando el procedimiento de mínimos cuadrados equilibrados ha empujado al descubrimiento de tasadores para englobar sistemas de mayores dimensiones. Esto conlleva a que se acreciente el porcentaje de la red externa.

Con la aparición de estos sistemas también se presenta una serie de problemas que antes no teníamos con los de menor tamaño. Uno de los problemas más importantes es un mal condicionamiento numérico. Cuando se encuentra el sistema en estas circunstancias existen dificultades de rapidez a lo que se refiere aproximación al resultado final además de faltas en la aproximación.

La manera para resolver esta dificultad es con la sucesión de variables $x_0, x_1, x_2, \dots$. Repitiendo el proceso iterativo se soluciona un trozo de la dificultad global en donde la siguiente variable x_{k+1} se evalúa a raíz de la variable x_k y de la estimación de la variable p . Podría figurar con estas igualdades: $x_1 = f(x_0, p)$, $x_2 = f(x_1, p), \dots$. El método concurre cuando x_n sea cercano al resultado x .

Seguidamente, debido a que el número x_1 se guarda como un acercamiento a x_1^* surge la falta de redondeo que sería la discrepancia entre los dos valores. La consecuencia la falta de redondeo se traducirá a no usar en los cálculos $x_2 = f(x_1, p)$ y utilizar $x_2^* = f(x_1^*, p)$.

Podemos decir que un algoritmo no está bien condicionado cuando en (x_1, p) , la discrepancia que hay con $f(x_1, p)$ y $f(x_1^*, p)$ o con $f(x_1, p)$ y $f(x_1^*, p)$ fuera elevada cuando se conoce que x_1 y x_1^* o p y p^* son valores muy cercanos y esto da una noción de cómo pueden estar de amplificadas los errores en la solución con respecto a las faltas en los valores iniciales. Esta situación defectuosa se presenta si:

- Hay diferencia en los componentes más importantes
- Gran conjunto de variables graduados de flujos de corriente
- Interconexión en ramas de comunicación de diferente

Cada medida tiene un factor de peso distinto dependiendo del nivel de confianza de cada una de ellas. Por lo tanto, un valor alto de este factor nos quiere decir que la medida es similar a su valor exacto y, por lo contrario, si el nivel de confianza que aporta la variable graduada es baja, el efecto de importancia será también pequeño. Una muestra de un establecimiento que no es óptimo sería cuando existen diferencias en los factores de peso asignando valores de gran tamaño a medidas virtuales, esto indica que se tiene variables graduadas más precisas, y valores diminutos para las supuestas medidas, tratándose de medidas menos precisas.

Se proponen numerosas técnicas que solucionan el inconveniente de un pésimo condicionamiento algebraico:

- Igualdades convencionales que presentan limitaciones
- Conversiones ortogonales
- Procedimiento mixto
- Procedimiento de matriz incrementada de Hachtel
- Procedimiento de Peters y Wilkinson
- Procedimiento de matriz incrementada mediante conjuntos

Se repasa los sistemas más importantes de determinación de problemas de evaluador de posiciones y se equiparan los sistemas que se presentan a continuación:

- Sistema de igualdades sencillas
- Sistema de igualdades normales que presentan limitaciones
- Sistema de conversiones ortogonales
- Sistema mixto
- Sistema de matriz incrementada de Hachtel

Teniendo en cuenta en los sistemas:

- Equilibrio numérico
- Eficacia computacional
- Dificultad en la ejecución

En este artículo [14] se llegó a la terminación en la que el procedimiento mixto y la matriz incrementada de Hachtel serían los sistemas que presentan más prestaciones entre equilibrio numérico y eficacia informática, pero el sistema de conversiones ortogonales sería más seguro a lo que viene siendo numéricamente, no es posible su ejecución con el método desacoplado rápido.

Otros métodos que no son tan conocidos y que son enfocados a la realización de mínimos cuadrados serían los valores absolutos de mínimos y la mediana de mínimos cuadrados.

2.2 Mínimos cuadrados equilibrados

Con el asunto de la evaluación de posiciones se obtienen una suma de medidas teledirigidas z que se consigue con el acto de evaluar el conjunto x . El estado x agiganta la ecuación probabilística anterior que es el que se estima de mayor probabilidad $\hat{x}$. Se fundamenta que si estas variables graduadas han sido examinadas es debido a que la posición que fraguó a estas medidas sería la más presumible, en caso contrario, habrá que examinar otras variables graduadas con una contingencia muy grande.

Considerando $\hat{x}$ el evaluado con una probabilidad mayor, tiene rasgos que se desea en un tasador en relación a la estadística convencional, donde se usa como ponderación de tolerancia la varianza. Se puede decir que el estimador tiene asintóticamente una serie de propiedades:

- No sesgado: $E(\hat{x}) = x$
- Apto: utiliza la información estadística al completo en la muestra
- Eficiente: Obtiene la cota de Cramer-Rao [16]

$$-E\left[\left(\frac{\partial \ln f(x, \theta)}{\partial \theta}\right)\left(\frac{\partial \ln f(x, \theta)}{\partial \theta}\right)^T\right] \quad (2.4)$$

- Resistente: $\hat{x}_m \rightarrow x$ si $m \rightarrow \infty$

Podemos afirmar, desde la visión estadística, que no se puede encontrar un estimador mejor que el de $\hat{x}$.

Ampliar $f(z)$ en la ecuación 3 es igual a disminuir la componente cuadrática de su factor exponencial.

$$J(x) = [z - h(x)]^T W [z - h(x)] \quad (2.5)$$

$$= \sum_{i=1}^m \frac{[z_i - h_i(x)]^2}{\sigma_i^2}$$

Considerando $J(x)$ el término objetivo.

En esta ocasión el evaluador de mayor probabilidad reduce el fallo cuadrático medurado a su mínima expresión mediante la precisión de las variables reguladas, considerándose el evaluado de mínimos cuadrados equilibrado.

El resultado del teorema de mínimos cuadrados equilibrados de la ecuación 5 ofrece la posición estimada $\hat{x}$ que complace el estado de perfeccionamiento siguiente:

$$\frac{\partial J(x)}{\partial x} = 0 \rightarrow g(\hat{x}) = H^T(\hat{x})W[z - h(\hat{x})] = 0 \quad (2.7)$$

Considerando la matriz del jacobiano:

$$H(x) = \frac{\partial h(x)}{\partial x} \quad (2.8)$$

De forma independiente del punto de vista estadístico del término $J(x)$ se puede dar otro punto analítico de esta opción. Debido a la similitud con mínimos cuadrados rectilíneos podría confirmarse que al empedueñecer ese término a su mínima expresión es hallar la posición que hace mínima la longitud entre las variables graduadas que han sido conseguidas y las tasadas.

El resultado $\hat{x}$ de la ecuación no lineal 2.7 se puede conseguir a través de un proceso de iteraciones en la que el segmento de posiciones en la k -ésima iteración es x^k además de dar en todos los pasos iterativos solución a la igualdad lineal siguiente:

$$A(x^k)\Delta x^k = -H^T(x^k)W[z - h(x^k)] \quad (2.9)$$

Dónde se consigue rectificación de $\Delta x^k = x^{k+1} - x^k$. En la ecuación 9 $A(x^k)$ se toma como matriz invertible que se fundamenta en el procedimiento usado y si durante la sucesión de elementos generados x^k mediante el procedimiento de iteración concurra, se aproximará al resultado de la ecuación 2.7. La sujeción que tiene x se suprimirá y así se acortará la ecuación.

Uno de los métodos que asegura la aproximación cuadrática particular es el procedimiento de iteración de Newton, donde la matriz $A(x)$ es:

$$A(x) = \frac{\partial g}{\partial x} \quad (2.10)$$

Siendo el elemento ij -ésimo:

$$\frac{\partial g_i}{\partial x_j} = \left(\frac{\partial^2 h(x)}{\partial x_i \partial x_j} \right)^T W [z - h(x)] - \left(\frac{\partial h}{\partial x_i} \right)^T W \left(\frac{\partial h}{\partial x_j} \right) \quad (2.11)$$

El procedimiento de Newton rechaza las expresiones de las derivadas segundas y quedaría:

$$A(x) = H^T(x)WH(x) \quad (2.12)$$

Así que la ecuación 2.9 se convierte en:

$$G(x)\Delta x = H^T(x)W[z - h(x)] \quad (2.13)$$

Dónde la matriz de ganancia es:

$$G(x) = H^T(x)WH(x) \quad (2.14)$$

Ésta es esparcida, hermitiana y proporcional, así garantiza que la red sea observable. La ecuación 13 es la ecuación convencional del teorema de mínimos cuadrados equilibrado de forma que tiene solución si se factoriza triangularmente la matriz de beneficio:

$$G = U^T U \quad (2.15)$$

Donde U es la matriz de orden mayor y triangular. Acto seguido hay que dar solución a Δx suprimiendo para delante y remplazando para detrás siendo $\Delta z = z - h(x)$:

$$(U^T U)\Delta x = H^T W \Delta z \quad (2.16)$$

2.3 Ecuaciones normales con restricciones

Si por algún motivo existen medidas virtuales, que forman relaciones matemáticas precisas, se pueden integrar de forma directa a la enumeración de la previsión de mínimos cuadrados dándoles un elemento de importancia grande, anteriormente se mencionó en el punto anterior que se analizó de forma práctica esta diferencia en los elementos de importancia que podría provocar un condicionamiento defectuoso.

Así se procede a fraccionar la suma de las variables graduadas:

$$\begin{aligned} \text{Medidas teledirigidas: } z &= h(x) + v \\ \text{Variables tomadas no reales: } c(x) &= 0 \end{aligned} \quad (2.17)$$

De este modo la matriz jacobiana se fracciona en H y C donde H sería la submatriz jacobiana correspondiente a las medidas teledirigidas exclusivamente y C las variables graduadas no reales. Al vincular k los elementos de importancia de las variables graduadas no reales y las medidas teledirigidas, de la ecuación 13 conseguimos:

$$\begin{bmatrix} H \\ C \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} H \\ C \end{bmatrix} \Delta x = \begin{bmatrix} H \\ C \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & k \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta z \\ \Delta c \end{bmatrix} \quad (2.18)$$

Donde $\Delta c = -c(x)$.

Para valores de k muy altos, kC^TC es dominante en la matriz, pero no suelen existir bastantes variables graduadas no reales de forma que la matriz C fuera de rango pleno y de este modo que sea observable. Así que para valores de k elevados, la matriz de coeficientes de la ecuación 2.18 se inclina a ser especial y provoca un condicionamiento que no es bueno.

Para eludir el asunto de las variables graduadas no reales podrían separarse de las medidas teledirigidas considerándose como limitación de identidad y las variables graduadas z introducirán únicamente las medidas teledirigidas y las medidas supuestas si existen. La cuestión que se propone en este supuesto es la de buscar un evaluado del segmento de posición x que reduzca el elemento objetivo de la ecuación 5 complaciendo la limitación $c(x) = 0$.

Al darle solución al teorema de minimización con limitaciones podría utilizarse el sistema multiplicador de Lagrange, consiguiéndose el evaluado $\hat{x}$ interviniendo un proceso de iteración donde la igualdad rectilínea da solución en cada proceso iterativo:

$$\begin{bmatrix} H^TWH & C^T \\ C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta x \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H^TW\Delta z \\ \Delta c \end{bmatrix} \quad (2.19)$$

Siendo:

$$F = \begin{bmatrix} H^TWH(x) & C^T \\ C & 0 \end{bmatrix} \quad (2.20)$$

Factorizando triangularmente se tiene:

$$F = U^TU \quad (2.21)$$

Con la supresión hacia adelante y el remplazo hacia detrás se obtiene Δx :

$$(U^TU) \begin{bmatrix} \Delta x \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H^T(x)W\Delta z \\ \Delta c \end{bmatrix} \quad (2.22)$$

2.4 Conversiones ortogonales

El término ecuánime del teorema correspondiente a mínimos cuadrados para cualquier proceso iterativo sería:

$$J(x) = (\Delta z - H\Delta x)^T W (\Delta z - H\Delta x) = (\Delta \tilde{z} - \tilde{H}\Delta x)^T (\Delta \tilde{z} - \tilde{H}\Delta x) = ||\Delta \tilde{z} - \tilde{H}\Delta x||^2 \quad (2.23)$$

Tomando:

$$\tilde{H} = W^{1/2} H \quad (2.24)$$

$$\Delta \tilde{z} = W^{1/2} \Delta z \quad (2.25)$$

Si I se considera la matriz unidad, Q será la matriz ortogonal, así que $Q^T Q = I$ de modo que:

$$\tilde{H} = Q^T \begin{bmatrix} U \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.26)$$

Teniendo:

$$J(x) = (\Delta \tilde{z} - \tilde{H}\Delta x)^T Q^T Q (\Delta \tilde{z} - \tilde{H}\Delta x) = ||Q\Delta \tilde{z} - Q\tilde{H}\Delta x||^2 = ||\Delta y_1 - U\Delta x||^2 + ||\Delta y_2||^2 \quad (2.27)$$

Dónde:

$$\begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \end{bmatrix} \Delta \tilde{z} = \begin{bmatrix} \Delta y_1 \\ \Delta y_2 \end{bmatrix} \quad (2.28)$$

El mínimo de la ecuación 2.27 se tiene cuando:

$$U\Delta x = \Delta y_1 \quad (2.29)$$

Lo que es igual a:

$$U\Delta x = Q_1 W^{1/2} \Delta z \quad (2.30)$$

De esta ecuación se obtiene Δx mediante resolución hacia atrás.

El método empieza formando las transformaciones ortogonales de las ecuaciones 2.26 y 2.28 de $\tilde{H}$ y $\Delta\tilde{z}$ y después se da solución a la ecuación 2.29 con sustitución hacia atrás. Así se elude formar G , siendo Q aún más compacta. Obtenemos resolución de Q usando el método de conversión de Givens.

2.5 Método mixto

Considerando la ecuación 2.26 obtenemos:

$$G = H^T W H = \tilde{H}^T \tilde{H} = U^T Q Q^T U = U^T U \quad (2.31)$$

Mediante el procedimiento mixto se da solución a las igualdades convencionales usando:

$$U^T U \Delta x = H^T W \Delta z \quad (2.32)$$

La parte fundamental de este método es la transformación ortogonal de la ecuación 2.26 de $\tilde{H}$, así se elude la utilización de G , y se resuelven las ecuaciones convencionales 2.32 por medio de la supresión adelante y suprimiendo a detrás obviando y sin considerar la acumulación de Q .

2.6 Procedimiento matricial incrementado de Hachtel

El inconveniente de la disminución límite mediante limitaciones de $\hat{x}$ es resuelto con el procedimiento matricial incrementado de Hachtel donde las igualdades se incrementan mediante el segmento residual dando solución a cada proceso iterativo del siguiente sistema:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & C \\ 0 & \alpha W^{-1} & H \\ C^T & H^T & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\alpha^{-1} \lambda \\ \alpha^{-1} W \Delta r \\ \Delta x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta c \\ \Delta z \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

Siendo:

$$\Delta r = \Delta z - H \Delta x \quad (2.34)$$

λ sería el factor que multiplica de Lagrange mientras α sería una constante que se utiliza para manejar la estabilidad numérica del problema [26].

Los parámetros que se obtiene además de Δx en cada proceso iterativo son:

$$\lambda' = -\alpha^{-1} \lambda \quad (2.35)$$

$$\Delta r' = -\alpha^{-1} W \Delta r \quad (2.36)$$

Precisando:

$$K(x) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & C \\ 0 & \alpha W^{-1} & H \\ C^T & H^T & 0 \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

Factorizando triangularmente se obtiene:

$$K = U^T U \quad (2.38)$$

Mediante la supresión adelante y suprimiendo a detrás se consiguen las rectificaciones:

$$(U^T U) \begin{bmatrix} \lambda' \\ \Delta r' \\ \Delta x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta c \\ \Delta z \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.39)$$

Si existe un caso especial en el que no haya limitaciones de igualdad las ecuaciones a solucionar son:

$$\begin{bmatrix} \alpha W^{-1} & H \\ H^T & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \alpha^{-1} W \Delta r \\ \Delta x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta z \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.40)$$

La desventaja de este método es que deshace la composición simétrica matricial debido a pivotamientos.

2.7 Procedimiento de Peters y Wilkinson

El procedimiento también es conocido con el nombre del método de pseudoinversas, consiste en efectuar la disminución límite de la falta de mínimos cuadrados con la próxima modificación del teorema modelo:

$$\tilde{H} = W^{-1/2} H \quad (2.41)$$

$$\Delta \tilde{z} = W^{-1/2} \Delta z \quad (2.42)$$

Así el problema se disminuye a:

$$J(x) = \tilde{r}^t \tilde{r} \quad (2.43)$$

Dónde:

$$\tilde{r} = \tilde{H} \Delta x - \Delta \tilde{z} \quad (2.44)$$

Con $\tilde{H}$ factorizado de forma que tenemos:

$$\tilde{H} = LU \quad (2.45)$$

Siendo L matriz de orden inferior trapezoidal y U matriz de orden superior triangular:

$$y = U \Delta x \quad (2.46)$$

El problema se disminuye a minimizar $\tilde{r}^t \tilde{r}$ dependiendo de:

$$\tilde{r} = Ly - \Delta \tilde{z} \quad (2.47)$$

Del problema convertido obtenemos y:

$$[L^T L]y = L^T \Delta \tilde{z} \quad (2.48)$$

Donde $L^T L$ esta mejor condicionado que G y se obtiene el resultado del teorema primario con la determinación del conjunto triangular de orden superior de igualdades:

$$U \Delta x = y \quad (2.49)$$

La determinación con limitaciones podría manifestarse con:

$$\begin{bmatrix} C \\ \tilde{H} \end{bmatrix} \Delta x = \begin{bmatrix} \Delta c \\ \Delta \tilde{z} \end{bmatrix} \quad (2.50)$$

Donde la factorización es la misma que la que se indicó en el procedimiento sin limitaciones. Formándose una matriz de orden superior de forma triangular U convencional y otra matriz de orden inferior trapezoidal llamada L, con esta forma:

$$\begin{bmatrix} L_{11} & 0 \\ L_{21} & L_{22} \end{bmatrix} \quad (2.51)$$

La finalización del método acaba calculando de forma previa una variable intermedia w con eliminación hacia delante de $L_{11} w = \Delta c$. Posteriormente se calcula otra variable y por medio de factorización dispersa:

$$L_{22}^T L_{22y} = L_{22}^T \Delta \tilde{z} \quad (2.52)$$

Para acabar se obtiene $U\Delta x$ y sustitución hacia atrás conseguimos Δx :

$$U\Delta x = \begin{bmatrix} w \\ y \end{bmatrix} \quad (2.53)$$

2.8 Procedimiento matricial incrementado por conjuntos

El planteamiento básico en este procedimiento sería estructurar la enunciación correspondiente del procedimiento matricial incrementado de Hachtel mediante una matriz de menor dimensión con la forma del método de la matriz incrementada por conjuntos adaptándose a una estructura similar a la de ocurrencias del sistema y a su vez una matriz esparcida/dispersa.

La información al completo que tiene relación con las medidas se asocia en flujos, donde se introduce diferencias de potencial y flujos de corrientes eliminando toda enunciación correspondiente a los flujos que determinan la red. Las exclusivas limitaciones obtenidas están relacionadas a flujos de corriente y de manera consecuente información de los nodos.

Se separa en las ecuaciones 2.33 la información correspondiente a la inyección o de flujos (subíndice i) y por otro las tensiones (subíndice f) y suponiendo $\alpha = 1$ para simplificar, se consigue:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & C \\ 0 & W_i^{-1} & 0 & H_i \\ 0 & 0 & W_f^{-1} & H_f \\ C^T & H_i^T & H_f^T & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -\lambda \\ W_i \Delta r_i \\ W_f \Delta r_f \\ \Delta x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta c \\ \Delta z_i \\ \Delta z_f \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.54)$$

De forma seguida, cambiando sobre el bloque matricial las componentes de las filas y columnas implicadas en las limitaciones y suprimiendo H_f^T :

$$\left[\begin{array}{c|ccc} W_f^{-1} & 0 & 0 & H_f \\ \hline 0 & W_i^{-1} & 0 & H_i \\ 0 & 0 & 0 & C \\ H_f^T & H_i^T & C^T & -H_f^T W_f H_f \end{array} \right] \begin{bmatrix} W_f \Delta r_f \\ W_i \Delta r_i \\ -\lambda \\ \Delta x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta z_f \\ \Delta z_i \\ \Delta c \\ -H_f^T W_f \Delta z_f \end{bmatrix} \quad (2.55)$$

En 2.55 se contempla que la ecuación que relaciona los restos correspondientes a las variables graduadas de flujos está desajustada de parte de la red, así la igualdad matricial a solucionar es:

$$\begin{bmatrix} W_i^{-1} & 0 & H_i \\ 0 & 0 & C \\ H_i^T & C^T & -H_f^T W_f H_f \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_i \Delta r_i \\ -\lambda \\ \Delta x \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \Delta z_i \\ \Delta c \\ -H_f^T W_f \Delta z_f \end{bmatrix} \quad (2.56)$$

La finalidad de reorganizar este conjunto de igualdades mediante la finalidad de conseguir una forma estructurada en grupos de forma que sea sencillo factorizar sería llevada a cabo a efecto de eludir el uso de rutinas singulares que guarden los pequeños pivotes o nulos que se necesitan para ejecutar una eliminación segura y eficaz.

El prototipo de la ecuación matricial 2.56 tiene una forma intermedia entre 2.19 y 2.33 donde $H_f^T W_f H_f$ es un pequeño grupo matricial de admitancia nodal y donde el conjunto de variables están vinculadas a los nodos del sistema. El posterior paso consiste en cambiar las filas y columnas que sean necesarias para juntar todo el conjunto de variables en un único nodo.

2.9 Valores mínimos positivos

El procedimiento estimado correspondiente a mínimos cuadrados fue profundizado de forma amplia por lo que la consistencia numérica y la eficacia informática fue acrecentada fuertemente. Luego se ha puesto en marcha el método de valores mínimos absolutos para darle solución a la dificultad que presenta la evaluación de posiciones.

Este es un procedimiento fuerte y la solución a dicho método se pone en manifiesto a continuación de forma detallada.

El prototipo del método el cual enlaza las variables graduadas con las posiciones que serán estimadas en la ecuación 2.1, de manera lineal en base al lugar de maniobra x_0 :

$$\Delta z = H(x_0) \Delta x + v \quad (2.57)$$

Dónde:

$$\Delta z = z - h(x_0) \quad (2.58)$$

$$H(x_0) = \left. \frac{\delta h}{\delta x} \right|_{x = x_0} \quad (2.59)$$

$$\Delta x = x - x_0 \quad (2.60)$$

El tasador correspondiente a los valores mínimos positivos es conseguido reduciendo al mínimo el próximo término objetivo:

$$J(x) = \sum_{i=1}^m w_i |\Delta z_i - H_i(x_0) \Delta x| \quad (2.61)$$

Este término puede reducirse a su mínima expresión de forma iterativa solucionando el próximo teorema de sistematización lineal:

$$\begin{aligned} &\text{Reducir al mínimo } J(x) = \sum_{i=1}^m w_i(u_i + v_i) \quad (2.62) \\ &\text{Relacionado con } \Delta z_o = H(x_o)\Delta x_u - H(x_o)\Delta x_v + u - v \end{aligned}$$

Dónde:

- $\Delta x_u, \Delta x_v, u, v \geq 0$
- $\Delta x_u(i) = \Delta x(i)$ si $\Delta x(i) \geq 0$ y nulo en el resto
- $\Delta x_v(i) = \Delta x(i)$ si $\Delta x(i) \leq 0$ y nulo en el resto
- u y v se tratan de magnitudes positivas de tamaño $m \times 1$ de esta manera tenemos $\min[u(i), v(i)] = 0$ y $\max[u(i), v(i)] = |\Delta z_i - H_i(x_o) \Delta x|$

El inconveniente de la sistematización lineal correspondiente a las igualdades 2.62 es solucionado en dos procesos. La etapa inicial destaca por aparecer un probable resultado fundamental mientras en la siguiente fase es efectuada la mejora iterativa mediante el procedimiento Simplex consiguiendo el resultado idóneo.

El primer proceso se inicia escogiendo como solución fundamental una matriz de forma diagonal de dimensión $m \times m$ y sus componentes serían más/menos 1, según sea la positividad del elemento proveniente de la componente independiente. Acto seguido, hay que imponer a la matriz de base el tener todas las filas verticales de $H(x_o)$. Así se consigue una suma de medidas observables sin que se estén en la base resultante las variables $u(i)$ y $v(i)$.

Con el proceso de la evaluación de posiciones, la suma de variables graduadas y observables que se obtiene en una composición de variables graduadas particulares es usada para comenzar con el tasador de valores mínimos positivos de forma que nunca se modifique la composición del método.

Las pautas que debemos tener en cuenta para dar solución a este teorema de sistematización lineal dando uso al procedimiento Simplex es posible simplificarlo como viene a continuación:

1. Escoger la base de inicio que halle una suma mínima de medidas que consiga que el sistema sea observable. Hay que hacer una factorización correspondiente a la base elegida de forma triangular.
2. Hallar el resultado fundamental, que quizás no tenga solución por algún $\Delta x(i)$ que no sea positivo. Si esto ocurre, hay que cambiar el signo que corresponda de la columna $H(x_o)$.
3. Definir el coste relativo de las variables que no son fundamentales o básicas. Si todas las variables son negativas, para el problema, se ha llegado a la solución más idónea. En caso opuesto, escoger la variable que presente el mayor coste relativo de signo negativo e incluirla para la base siguiente.
4. Hallar elemento del pivote. No admitir que abandone dicha base los parámetros de posición Δx .
5. Permutar las filas verticales de los parámetros integrados y que brotan en la base. Volver al punto 2.

Si es capaz de adaptarse de forma directa este procedimiento el teorema de sistematización lineal de la igualdad 2.62 se crea una compilación informática ineficaz, así que se determina un procedimiento resolutivo más efectivo.

2.10 Mínima media de cuadrados

El procedimiento de evaluación de posiciones correspondiente a la media de mínimos cuadrados consiste en evolucionar el procedimiento para prototipos que no son lineales, donde se utilizan procesos de matrices esparcidas así el periodo utilizado en el método algebraico se acorte lo máximo que se pueda.

Considerando N la suma total de lazos en el sistema y $n = 2N - 1$, si hay una única dimensión y de regresión simplificada, el estimador no minimiza la suma, lo que hace es minimizar la mediana de los cuadrados correspondiente a los residuos. Si hay una regresión de carácter compuesta el término objetivo a minimizar sería:

$$J(x) = r_{W(k)}^2 \quad (2.63)$$

Siendo:

$$k = \left\lfloor \frac{m}{2} \right\rfloor + \left\lfloor \frac{n+1}{2} \right\rfloor \quad (2.64)$$

$r_{W(k)}^2$ corresponde al k -ésimo resto cuadrado considerado, siendo el resto considerado:

$$r_W = \frac{r_i}{\sigma_i} \quad (2.65)$$

Y el residuo de las medidas es:

$$r = z - \tilde{z} \quad (2.66)$$

Siendo $\tilde{z}$ la medida estimada.

Lo primero que se hace es elevar a la segunda potencia los restos considerados y luego se organizan por tamaño del más pequeño al más grande dónde el k -ésimo sería el más grande de todos.

En la mínima mediana de cuadrados se usa un método combinacional repetido para escoger nuestras variables que pueden observarse en la red de longitud n . En cada modelo, el método no linealizado tiene solución con el sistema de Newton-Raphson, encontrando acto seguido los residuos ponderados, que se elevan a la segunda potencia y se ordenan por orden de tamaño del más grande al más pequeño. El tasador correspondiente a este método se consigue minimizando la función objetivo entre los modelos seleccionados.

Primeramente, la búsqueda combinacional incluye $\binom{m}{n}$ muestras, lo que lleva a tiempos operacionales elevados inclusive en sistemas pequeños. Pero, se pueden estimar algunos guarismos i de búsqueda al azar así la posibilidad P de que el mínimo de un modelo no sea corrompido por faltas no gaussianas es cercano a la unidad, se establece normalmente en 0.95.

Para encontrar P en función a i, es estimado ϵ que sería el fraccionamiento de las faltas no gaussianas frente a las m valoraciones. En el caso de que m fuera grande, ϵ sería la posibilidad de que aparezca una falta no gaussiana. Así que, la posibilidad de escoger n cifras correctas sería $(1 - \epsilon)^n$ mientras que la de escoger i muestras corrompidas de dicha longitud sería $(1 - (1 - \epsilon)^n)^k$.

Así que:

$$P = 1 - (1 - (1 - \epsilon)^n)^k \quad (2.67)$$

En P, n y ϵ datos podría hallarse la cifra menor de modelos i a considerar. De forma empírica, sería mejor tener varios grupos de prototipos así que se tiene 2xi.

2.11 Resumen

Se han puesto en liza en este punto 2 varios métodos para resolver de forma numérica la estimación de estado. El primero de ellos fue el de mínimos cuadrados ponderados, que es el que más uso se tiene por las propiedades estadísticas que se conocen al respecto.

Se han enseñado también otros procedimientos para solucionar el teorema de condicionamiento algebraico correspondiente a la evaluación de posiciones. Cada método da más importancia a uno de las siguientes características:

- Equilibrio numérico
- Eficacia computacional/operacional
- Dificultad en la ejecución

Para concluir, se han presentado también los procedimientos resolutivos de valores mínimos positivos así como la media mínima de cuadrados.

2.12 Bibliografía

[1] Abur A., Çelik M., “Un algoritmo rápido para el menor valor absoluto y ponderado de la estimación de estado”. IEEE Operaciones en sistemas de potencia.

[2] Allen A., “Probabilidad, estadística y teoría de espera: con aplicaciones informáticas”. Prensa académica.

[3] Alvarado F., Tinney W., “Estimación de estado usando matrices bloqueadas aumentadas”. IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.

[4] Amerongen R., “Análisis de convergencia y mejora de la convergencia de la estimación de estados de mínimos cuadrados”. IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.

- [5] Aschmoneit F., Peterson N., Adrian E., "Estimación de estados con restricciones de igualdad". Décima conferencia de debate PICA.
- [6] Barrodale I., Roberts F., "Un algoritmo mejorado para una aproximación lineal discreta". Revista de análisis numérico SIAM, Vol. 10, No. 5, pp. 839-848, Octubre 1973.
- [7] Björck A., Duff I., "Un método directo para la solución de problemas de mínimos cuadrados lineales dispersos". Algoritmos lineales y sus aplicaciones.
- [8] Clements K., Davis P., Frey K., "Un algoritmo eficiente para calcular la estimación del valor mínimo absoluto ponderado en la estimación de estados estático del sistema de potencia". Reunión internacional del IFAC para los sistemas de potencia y potencia en los sistemas de control. Seúl, Corea, pp. 785-790, Agosto 1989.
- [9] Clements K., Woodzell G., Burchett R., "Un nuevo método para resolver la estimación del estado estático del sistema eléctrico". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [10] Gjelsvik A., Aam S., Holten L., "Método de la matriz aumentada de Hachtel-Un método rápido que mejora la estabilidad numérica en la estimación del estado estático del sistema eléctrico". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [11] Gómez A., Martínez J., Romero E., Ruiz J., Durán J., Luque A., González F., "Desarrollo de un estimador de estado basado en mediciones de corriente de línea".
- [12] Gómez A., Abur A., Martínez J., Monroy D., Peças J., Van Cutsem T., "Estimación del estado del sistema eléctrico y evaluación de la seguridad.
- [13] Gu J., Clements K., Krumpholz G., Davis P., "La solución de los problemas de estimación del estado de sistema de potencia condicionado por el método de Peters y Wilkinson". Conferencia de debate PICA.
- [14] Holten L., Gjelsvik A., Aam S., Wu F., Liu W., "Comparación de diferentes métodos para la estimación del estado". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [15] Irving M., Owen R., Sterling M., "Estimación de estados del sistema de potencia utilizando programación lineal". IEE Conferencias.
- [16] Kashyap R., Rao A., "Modelos estocásticos y dinámicos a partir de datos empíricos". Prensa académica.

- [17] Kotiuga W., Vidyasagar M., "Malas propiedades de rechazo de datos de las técnicas ponderadas de valor mínimo absoluto aplicadas a la estimación de estado estático". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [18] Liu W., Wu F., Holten L., Gjelsvik A., Aam S., "Cuestiones computacionales en el método de matriz aumentada de Hachtel para la estimación del estado del sistema de potencia". Noveno conferencia de cálculo del sistema de potencia, Lisboa, Septiembre 1987.
- [19] Luenberger D., "Programación lineal y no-lineal".
- [20] Mili L., Phaniraj V., Rousseeuw P., "Mínima mediana de estimación de cuadrados en sistemas de potencia". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [21] Monticelli A., Murari C., Wu F., "Un estimador de estados híbrido: Resolución de las ecuaciones normales mediante transformaciones ortogonales". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [22] Nucera R., Gilles M., "Una formulación de matriz dispersa bloqueada para la solución de estimación de estado con restricciones de igualdad". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [23] Peters G., Wilkinson J., "Problemas de mínimos cuadrados y la pseudoinversa".
- [24] Rousseeuw P., Leroy A., "Regresión robusta y detección de valores atípicos".
- [25] Schweppe F., Douglas B., "Estimación de estados estáticos en los sistemas de potencia". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [26] Schweppe F., Handschin E., "Estimación de estados estáticos en los sistemas eléctricos de potencia".
- [27] Simões-Costa A., Quintana V., "Una técnica numérica robusta para la estimación del estado del sistema de potencia". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [28] Simões-Costa A., Quintana V., "Un algoritmo de procesamiento de filas ortogonales para la estimación del estado secuencial del sistema de potencia". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia, Vol. PAS-100, pp. 3791-3800, Agosto 1981.
- [29] Sun D., Ashley B., Brewer B., Hughes A., Tinney W., "Flujo de energía óptimo por enfoque de red". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [30] Wang J., Quintana V., "Un algoritmo de procesamiento desacoplado de filas ortogonales para la estimación de estado del sistema de potencia". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [31] Wu F., Liu W., Lun S., "Análisis de observabilidad y mal procesamiento de datos para la estimación del estado con restricciones de igualdad". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia, Reunión invernal.
- [32] Wu F., Liu W., Holten L., Gjelsvik A., Aam A., "Análisis de observabilidad y mal procesamiento de datos para la estimación de estado utilizando el método de

matriz aumentada de Hachtel". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia, Vol. 3, pp. 604-611 Mayo 1988.

3 Capítulo: Repercusión de las faltas en las variables sobre la evaluación de estados

3.1 Introducción

Las cifras de evaluación de posición que normalmente se usan están fundamentadas para la hipótesis de variables correspondientes a las líneas y la posición de los interruptores que son conocidas a la perfección, aunque no sea del todo verdad.

De modo que mientras los errores correspondientes a la posición de los interruptores perjudiquen a la topología del sistema provocando grandes inestabilidades en las medidas que se han estimado y siendo fácil su identificación, las faltas correspondiente a las impedancias de líneas están menos a la vista y podrían inducir faltas continuamente en la información que proporciona el tasador y además en tramos temporales bastantes largos sin ser captados.

Las faltas en las variables pueden ser las siguientes:

- Impedancias en las líneas erróneas
- Prototipo de los convertidores erróneos o postura de la permuta de tomas incorrecto

Debido estas faltas a:

- Datos que ofrecen el fabricante incorrectos
- Fallos de calibración
- Falta de entendimiento en la longitud de las líneas entre el modelo y la real
- Cambio de tomas en los transformadores por parte del operario sin haber recibido ninguna comunicación previa por parte del centro de control, etc.

Soliendo provocar:

- Una degeneración importante de la precisión de la solución final del evaluador de posiciones y a su vez de datos finales del programa ya que los datos de entrada del programa son los mismos que los que salen del evaluador
- Una localización de variables graduadas equívocas que realmente no son erróneas, provocado por la fragilidad de las variables incorrectas
- Una disminución relacionado con la confianza entre operario y el evaluador

Mirando de cara al evaluador, un fallo de una variable tendría la misma repercusión que una suma de errores relacionados que intervendrá sobre el conjunto de medidas que perjudican a la línea equivocada, lo que significa, las variables graduadas de flujo en la línea y los flujos de corriente en lazos exteriores, así que es de vital transcendencia en la evaluación de estado.

La bibliografía que se encuentra actualmente en correspondencia a la evaluación de variables hace un hincapié en la transcendencia de la evaluación con el objetivo de eludir la degeneración generada en la evaluación de los parámetros, aunque solo se efectúa una evaluación sobre la repercusión que las faltas en variables tanto medidas como no medidas tienen a la hora de dar el estimador de estado una solución.

El estudio que se hace en [7, 8] se acota a mostrar gráficamente dónde se enseña la repercusión provocada por las faltas en las variables y también las faltas en las variables graduadas, en base al término objetivo de la evaluación de posiciones. Esta

gráfica se creó añadiendo una falta persistente en todas las variables de línea o en todas las variables graduadas de manera independiente.

Las soluciones que se muestran indican que depende del error, los errores en las variables pueden provocar un impacto igual o mayor que los de las faltas de las variables graduadas. Por lo que las faltas en las variables que no han sido halladas podrían perjudicar de forma notoria la precisión correspondiente a funciones de seguridad y de perfeccionamiento del sistema.

Del mismo modo, se desarrolla un estudio de afectividad que examina la repercusión de algunas faltas en la evaluación de posiciones. En este análisis se efectúa una sola prueba en tres ramas diferentes de manera simultánea, consiguiendo resultados en relación a las tensiones, flujos de potencia y desviaciones típicas cuando existe un error en:

- Resistencia, inductancia o capacitancia de esas tres ramas
- Varianza de las faltas en las variables graduadas
- Entradas a los convertidores

La finalidad conseguida más significativa sería que la inductancia correspondiente a la rama incluye las faltas más grandes en los flujos energéticos, sin embargo, estas soluciones no podrían tomarse como muy importantes porque la dimensión de la muestra que ha servido para el análisis es muy pequeña.

No obstante, en [11] sí se efectúa un análisis más preciso de la repercusión de las faltas en las variables sobre la evaluación de posiciones, estudiando dicha repercusión de forma metódica. A continuación se va a estudiar en el siguiente apartado el entorno de simulación que utiliza.

Para acabar, este capítulo va a ayudar para unir la repercusión que existe entre las variables y la evaluación de posiciones.

3.2 Ambiente de representación

El análisis llevado a cabo en los próximos puntos será sobre el sistema de 14 lazos y 20 ramas IEEE-14 mostrado más adelante (figura 7). Para estudiar varios estados del sistema durante 24 horas fueron tomados 24 ejemplos, uno por cada hora del día, tensiones y desfases de las mismas en todos los nudos de la red [6] y se han mezclado otros setenta y cuatro ejemplos entre esas horas.

Con esta cantidad de muestras se han producido sus flujos e inyecciones oportunos a lo que se respecta en potencia activa y reactiva a través de las igualdades siguientes:

$$P_i = \sum_{j=1}^N V_i V_j (G_{ij} \cos(\theta_{ij}) + B_{ij} \sin(\theta_{ij})) \quad (3.1)$$



$$Q_i = \sum_{j=1}^N V(G_{ij} V_j (G_{ij} \sin(\theta_{ij}) - B_{ij} \cos(\theta_{ij})) \quad (3.2)$$

$$P_{ij} = V_i V_j (G_{ij} \cos(\theta_{ij}) + B_{ij} \sin(\theta_{ij})) - G_{ij} V_i^2 \quad (3.3)$$

$$Q_{ij} = V_i V_j (G_{ij} \sin(\theta_{ij}) - B_{ij} \cos(\theta_{ij})) + V_i^2 (B_{ij} - B_{ij}^c) \quad (3.4)$$

Siendo:

- V_i, V_j las diferencias de potencial modulares correspondiente a los lazos i y j
- θ_{ij} la diferencia angular en los lazos i y j
- $G_{ij} + B_{ij}$ la componente i y j correspondiente a la matriz admitancia nodal
- B_{ij}^c admitancia *shunt* de la línea que une i con j del prototipo en π

De esta manera se logran las diferentes posiciones precisas que se recorre por el sistema durante una jornada.

Las variables graduadas tomadas con mayor reiteración:

- Se ha obtenido las medidas individualizadas de cada nudo correspondiente a las diferencias de potencial como los flujos energéticos tanto activos como reactivos
- En todas las líneas hay constancia tanto de flujos energéticos activos como reactivos referenciados a los extremos

Como sabemos el sistema es de 14 lazos, y en cada posición se tiene 122 variables graduadas, si no se indica nada, se estimara que lo estados tiene la sumatoria de medidas al completo, por lo que habrá ciento veintidós medidas. Estos estados son los que se consideran precisos por los que cruza la red pero la verdad es que nunca se conocen por las distintas faltas introducidas en las medidas teledirigidas. Por este motivo, para efectuar la representación, se le ha sumado un error gaussiano a los estados precisos que se consigue mediante un productor de cifras al azar partiendo de la desviación típica σ en cada una de las variables graduadas.

Como fue mencionado en apartados anteriores, la categoría instrumental de la variable graduada es la variable con mayor repercusión obtenida en las faltas de las variables graduadas, y cómo se define, se trata de la máxima falta en relación con la indicación a plenitud de carga o fondo de graduación. Así que la tasación de σ estimada está relacionada con la señal a plena carga, tomado:

- Medidas de tensión: $\sigma = 0.1 * \gamma * FE$
- Medidas energéticas: $\sigma = \gamma * FE$

Definiendo:

- γ =categoría del aparato de graduación
- FE =fondo de graduación del dispositivo

En los aparatos que gradúan la diferencia de potencial se ha tenido en cuenta $FE = 1$.

La señal a plena carga supuestos en cada dispositivo de medida es diferentes y dependientes del valor máximo que se espera en cada punto medible. También, se han juntado estos valores alrededor de varios de ellos para que no exista mucha diferencia en los valores que se han utilizado. Por lo que la señal a plena carga considerados para las inyecciones nodales y los flujos en las líneas se dan en valores unitarios con una base correspondiente de 100 MVA. Los importes asociados a los flujos energéticos son aceptados para las dos puntas ramales.

Para acabar, con el objetivo de que los datos finales que se consiguen de los estudios que se van a desarrollar sean reveladores estadísticamente, cada prueba muestra la media de la operación correspondiente a 60 evaluaciones de posición, utilizando líneas distintas. Sus medidas fueron obtenidas de las distintas posiciones en un día entero y que de manera previa se han producido como se ha comentado.

La razón de que se haya usado sesenta estados y se ha tenido constancia de que el sistema IEEE-14 está formada por 20 lazos, nos indica que los lazos han sido estudiados hasta en tres ocasiones.

Con la finalidad de determinar los datos finales obtenidos, se usa la categoría de aparatos de graduación y también la falta media relativa de las variables graduadas que están dañadas en las 60 evaluaciones pertinentes. De la misma forma, el índice comparativo que se ha tomado es la falta media relativa de las variables graduadas que han sido evaluadas, así que el peso de las faltas en las variables se ve de manera nítida.

En las ilustraciones se ven diferentes tantos por ciertos de faltas en las variables. Con estas faltas se forman las evaluaciones de posición oportunas usándose el método de mínimos cuadrados discreto y mostrándose los datos finales que se han conseguido.

3.3 Naturaleza particular de la repercusión de las faltas en las variables

Con el objetivo de formular un análisis metódico del peso de las faltas en las variables se iniciará un estudio correspondiente a la repercusión específica de las faltas en las variables de red.

Para esto, al mencionarse al peso de las *variables graduadas en todo el sistema* se tomarán todas las variables graduadas que sean útiles, las usadas en la evaluación de posiciones. No obstante, si se trata de las *variables graduadas colindantes*, pese a que la plenitud de las variables graduadas del sistema tenga faltas, el estudio de las consecuencias es particular, lo que quiere decir que se estudiaran las variables graduadas que tiene vinculación directa con la rama que es problemática.

En la figura 8 se muestra el peso que tiene el error compuesto de la susceptancia y la conductancia si únicamente hay una rama equívoca. En línea interrumpida se representa el peso de las medidas de todo el sistema y en línea fija las variables graduadas colindantes a la línea.

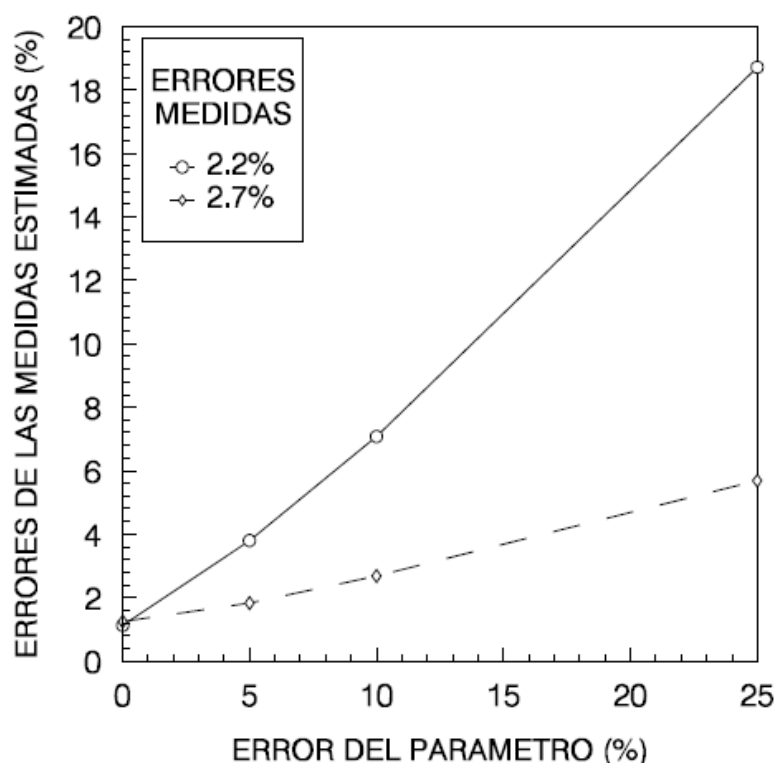


Figura 8. Peso de la falta compuesta en susceptancia y conductancia de la rama en relación a las variables graduadas: Correspondiente a todo el sistema (interrumpido) y adyacentes (fijo)

Sería conveniente distinguir de estas figuras que aunque exista un gran nivel de reiteración obtenido que esta reiteración es plena y que únicamente una variable que fuera evaluada erróneamente, es considerable para la imperfección producida por la variable a raíz de que el error en la variable se acreciente. Igualmente hay que destacar que los resultados numéricos de las faltas en las variables graduadas cuando se toma todo el sistema y cuando sólo se toman las medidas adyacentes sean diferentes, es causa de que las medidas adyacentes en un subgrupo de medidas de las que se tienen en la red.

En la siguiente figura se muestra la división del error en las variables graduadas cuando aparece una falta en la susceptancia correspondiente a una rama y cuando no aparece falta en esta rama. Esto a diferentes *longitudes* de la variable graduada equívoca y en el momento el cual los aparatos de variable graduada son de categoría 1.

Se llama variables graduadas de *longitud 1* a las colindantes a esta línea que comprende la variable equívoca, lo que significa que las diferencias de potencial y los flujos de corriente en los lazos exteriores a la línea y las corrientes específicas de línea. Por variables graduadas de *longitud 2*, a las colindantes de *longitud 1* y de forma sucesiva con las siguientes.

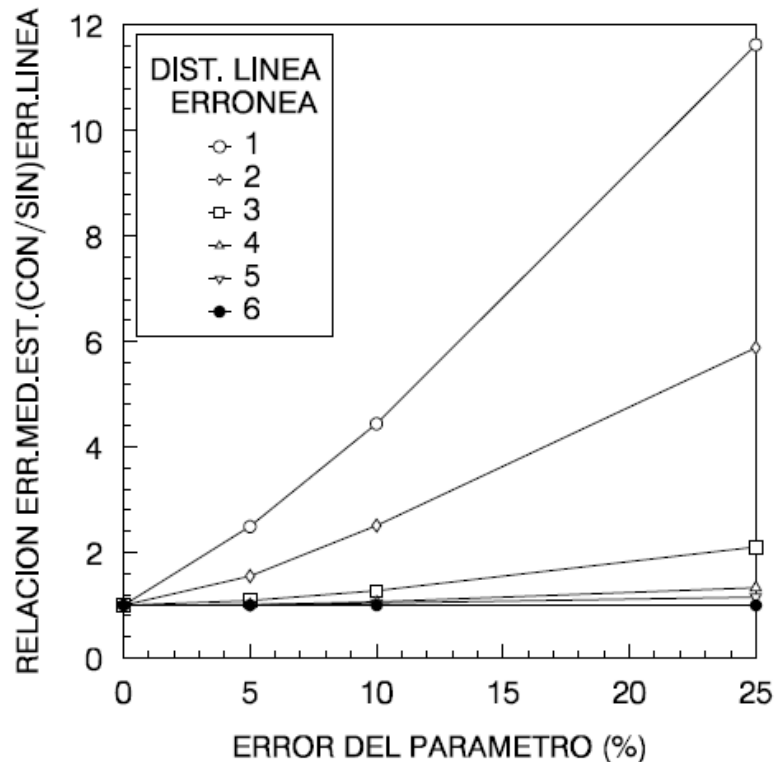


Figura 9. Peso de la falta correspondiente a una rama en relación a las variables graduadas a diferentes longitudes: Falta de las variables evaluadas con falta en una rama/falta de las variables evaluadas sin falta en dicha rama.

En esta figura representa cómo a raíz de que aumenta la longitud en la rama que comprende el parámetro equívoco dicho cociente suele tender a 1, que es lo mismo que decir, la conducta como si no hubiera ningún error, independientemente del error en dicha variable.

Cada uno de los puntos representados en la ilustración muestra la media correspondiente a las 60 evaluaciones de posición con distintas variables graduadas, todo ellos con la finalidad de tener los análisis realizados y que los resultados finales sean importantes desde el punto de vista estadístico.

Podemos terminar diciendo que:

- En las variables sin faltas, correspondiente al eje vertical correspondiente de la ilustración 8, el evaluador de posiciones puede disminuir la falta media de las variables graduadas por un valor aproximado a dos, para dicha reiteración.
- Aunque el elevado nivel de repetición que existe en el momento de usar los grupos al completo de las variables graduadas y que únicamente se toma una variable como equívoca, podría observarse un importante daño a raíz de que la falta en la variable crezca.
- Las parábolas exclusivas que toman las variables graduadas tienen relación de forma directa con las ramas inciertas que presentan una inclinación mayor en comparación con las curvas que consideran la totalidad de las variables graduadas del sistema. Por lo que podemos decir, que el error en la variable tiene más repercusión.
- Los datos que se recogen son específicamente correctos para cualquier red, manteniendo de forma parecida las curvas que aluden a las variables

- graduadas colindantes y que son más planas que las referidas a las variables graduadas correspondientes a todo el sistema a raíz de que estas se incrementan
- Los fallos en las variables graduadas que son evaluadas en el momento que hay alguna variable errónea tienden a ser iguales a las obtenidas si no aparece esta falta a raíz de que va creciendo la longitud a esta rama equivocada, considerando la solución correcta para un sistema cualquiera

3.4 Estudio del grado de falta en las variables graduadas

En el punto anterior se ha analizado el efecto que protagonizan los fallos en las variables a efectuar para la evaluación de posición, sobre todo en los lazos colindantes a los errores, llegando al término de decir que esta repercusión se merma con el aumento de la longitud, ahora se pondrá en liza el posible efecto que pueden presentar los errores de las telemedidas.

Puede pasar que el peso que tiene las faltas en las variables no dependa de las faltas en las variables graduadas, esto conllevaría a que la aptitud de las variables graduadas no sería primordial, o que se agrande o empequeñezca el peso en función de las telemedidas, lo que sí conllevaría que fuera primordial el peso de estos errores en las medidas.

Seguidamente se va a estudiar dicha repercusión. Para dicho análisis se tomarán grados de fallos causados mediante transductores de categoría 1, 3 y 5, esto posibilitará tapar un numeroso número de variables graduadas que son mayores que las que están de forma natural. También, se toma la categoría 0, correspondiente a las variables graduadas sin faltas, serían las variables graduadas y precisas. No obstante con el aviso de la clase del dispositivo de medida sería posible la práctica del análisis, donde se exponen asimismo las faltas medidas de las variables graduadas para tener una nitidez superior y un mayor entendimiento.

Como en el resto de puntos, cada punto mostrado en las ilustraciones corresponde al resultado medio correspondiente a la actuación de las 60 evaluaciones de posición distintas. También como fue mencionado, las variables graduadas que están vinculadas de forma directa a la rama equívoca están más dañadas por este fallo, únicamente se analizará este supuesto, porque la conducta expuesta si es tomada de cara al estudio de las variables graduadas de todo el sistema es parecida a la que surge si únicamente se toma la repercusión de las variables graduadas colindantes, sin embargo de una forma menos pronunciada. Como es obvio, considerando al conjunto de medidas de todo el sistema con errores gaussianos.

En la siguiente ilustración se muestra la repercusión de la falta ligada a la susceptancia y la conductancia únicamente si hay una rama equívoca, en relación a las variables graduadas colindantes a esa rama.

En esta ilustración podría verse un considerable daño a raíz de que la falta en la variable aumenta, este resultado es parecido al que se obtiene de la ilustración 8, donde fue conseguida mediante las medidas teledirigidas de categoría 1. También se puede ver que a medida que son más precisas las variables que disponemos, más grande será el peso que tienen las faltas en las variables.

Esta terminación final es presentada de manera más clara en la figura 11, donde se muestra la vinculación que hay entre las faltas de las variables graduadas y evaluadas y las faltas correspondientes a las medidas teledirigidas con el objetivo de regularizar estas parábolas para diferentes faltas en la variable.

Se puede apreciar que con la reiteración que tenemos, si las medidas teledirigidas son de categoría 5, con una falta media en la variable de una rama con un 11% las variables graduadas que son evaluadas presentan exactamente la misma falta que las iniciales. Las de categoría 3 son disminuidas hasta a un 7% y si son de categoría 1 a un 2%. Podemos decir, que para la clase 1 de medidas, lo que supone una falta del 2,2 % en dicho supuesto, solo teniendo una falta en una variable del 2% podría conseguirse una evaluación de las variables graduadas y colindantes del 2,2%, así que si la falta de la variable fuera superior, podría conseguirse unos resultados numéricos evaluados de las variables graduadas más malos en relación a los iniciales-

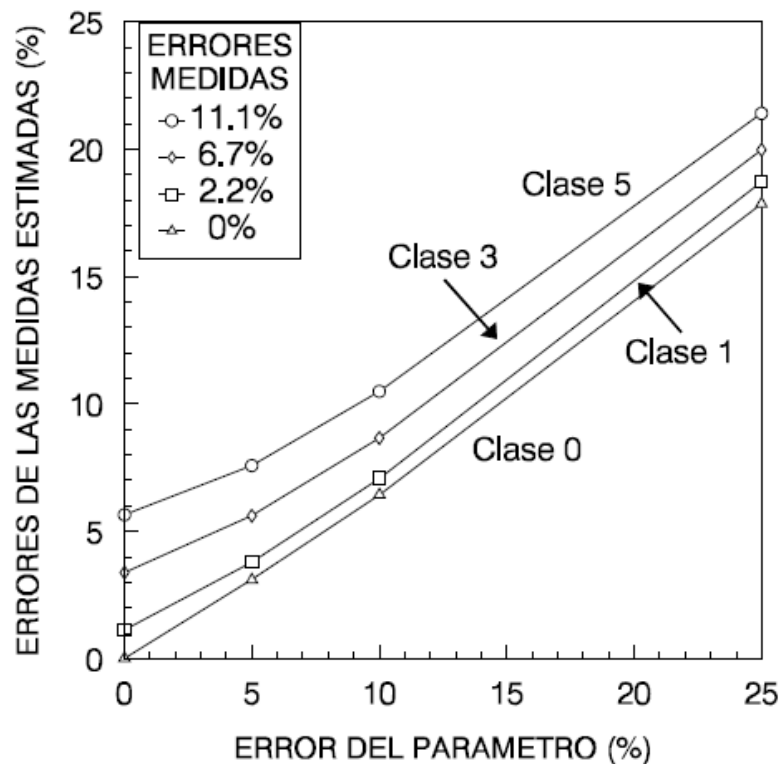


Figura 10. Peso de la falta que liga susceptancia y conductancia en una rama en relación a las variables graduadas colindantes de diferentes categorías.

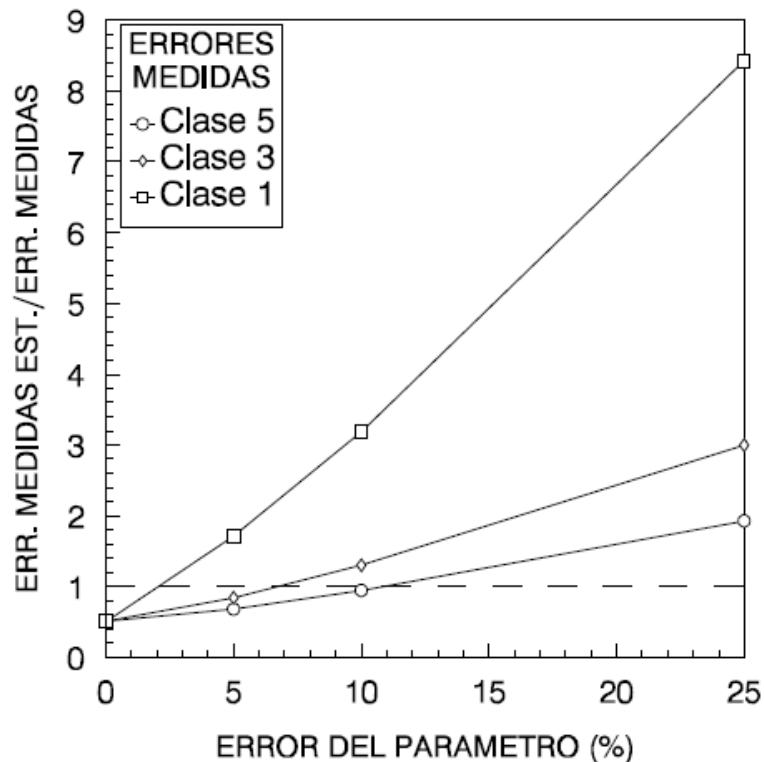


Figura 11. *Peso de la falta que aparece en una rama respecto a la vinculación que une las faltas de las variables graduadas que son evaluadas y las medidas teledirigidas (colindantes).*

Para acabar, las ilustraciones 12 y 13 mostrarían la razón entre la falta en las variables graduadas que son evaluadas en el momento que hay un fallo de susceptancia en la rama e igual si no hay ningún fallo en la rama a *longitudes* 1 y 2 de la variable graduada y equívoca respectivamente.

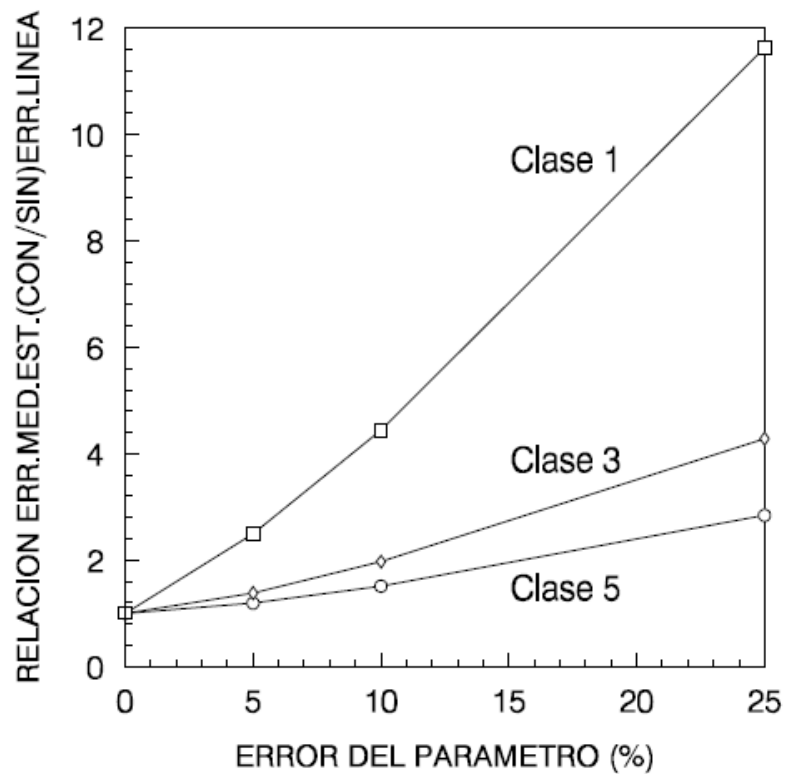


Figura 12. Peso de la falta en una rama en relación a las variables graduadas y evaluadas de longitud 1 con diferentes clases: falta de las variables graduadas y evaluadas con fallo en la rama/fallo de las variables graduadas y evaluadas sin fallo en dicha rama.

Del estudio correspondiente a las ilustraciones podría finalizarse diciendo:

- Los fallos en las variables tienen mayor trascendencia a raíz que son más precisas las variables graduadas que obtenemos
- Las conclusiones son aceptadas para cualquier sistema independientemente de su longitud

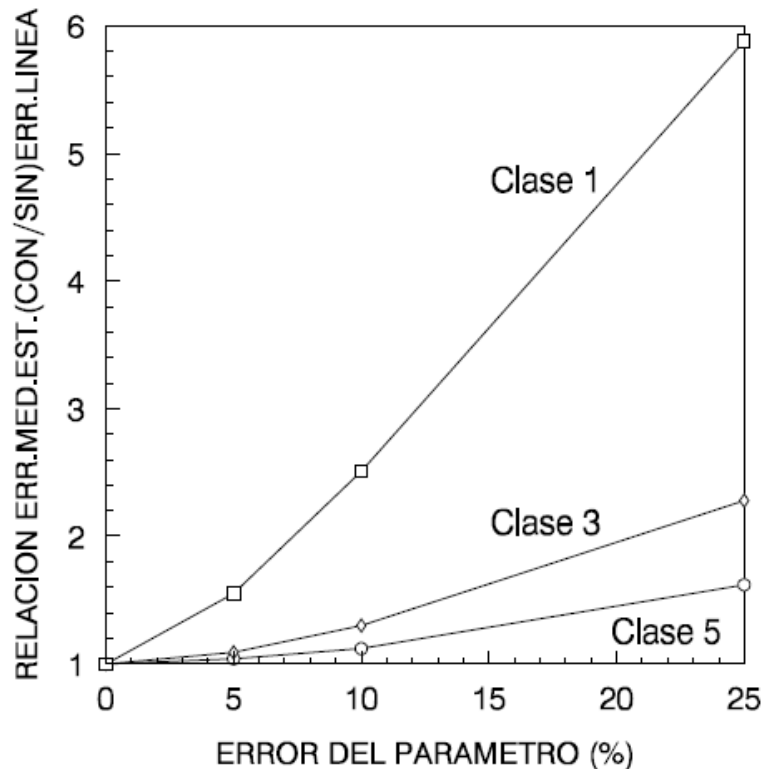


Figura 13. Peso de la falta sobre una rama en relación a las variables graduadas y evaluadas de longitud 2 con diferentes clases: falta de las variables graduadas y evaluadas con falta sobre una rama/falta de las variables graduadas que son evaluadas sin falta en dicha rama.

3.5 Fallos en conductancia y susceptancia

Hasta ahora, en este apartado fue examinado tanto el lugar de la consecuencia de las faltas en las variables sobre evaluación de posición y también la repercusión del grado de fallo en las variables graduadas, donde se ha presenciado la influencia de uno y otro. En estos análisis, en el momento que se estudió la falta en la variable fue estipulado que la susceptancia junto con la conductancia serían equívocas, sin distinciones entre una y otra.

En este apartado se estudiará la manera en la cual repercuten las faltas tanto en conductancia cómo en susceptancia sobre la tasación de manera independiente.

En lo referido a faltas en conductancia o en susceptancia, la bibliografía que existe de evaluación de variables haría alusión exclusivamente a la importancia de susceptancia. Se dice que sería lógico adjudicar en el ejercicio que no hay falta en conductancia y este argumento parecido es efectuado en otros artículos y documentos, en el cual se recoge que tanto las capacitancias *shunt* y las conductancias pequeñas que tienen las ramas provocan mínimas secuelas en la evaluación de posiciones. En muy pocos artículos se efectúa un análisis para justificar este pensamiento.

Considerando que el error de la variable es bastante notorio en relación a las variables graduadas que son colindantes en comparación con las variables graduadas del resto del sistema, tal como se ha terminado en el apartado 3 de este capítulo, en este apartado únicamente se estudiará dicho supuesto, debido a que el efecto que presentan las variables graduadas de todo el sistema es el mismo pero con un pronunciamiento más ligero.

De esta manera en la ilustración 14 es representado el peso de la falta tanto en conductancia cómo en susceptancia independientemente de una rama en relación a las variables graduadas y colindantes en el momento que se tiene transductores de categoría 1 y 5. Cómo es lógico, las parábolas que corresponde a categoría 1 serían las que presenta las faltas más pequeñas de las variables graduadas.

De esta ilustración podría terminarse diciendo que las faltas en conductancia serían de una importancia menor en relación a las de susceptancia, esto indica, que al incrementar la falta en conductancia, este incremento del peso en relación a las variables graduadas y colindantes sería bastante más pequeño del que se originaría si se incrementará la susceptancia.

También, contando que las componentes que repercuten sobre la conductancia serían:

- Impacto pelicular, ligado a la frecuencia
- Temperatura que presenta el cableado, condicionado por el calor que es disipado en la rama mediante convección como por radiación y sería el motivo que provocaría repercusiones mayores

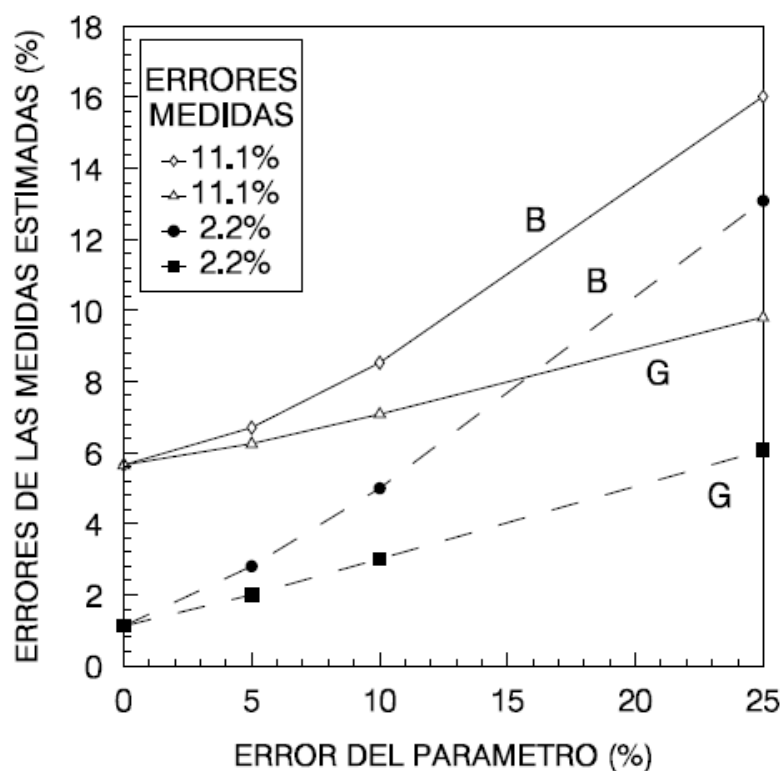


Figura 14. *Peso de la falta en susceptancia y en conductancia que presenta la rama en relación a las variables graduadas y colindantes.*

Los factores que repercuten la susceptancia serían:

- Filtración en cuanto a permeabilidad se refiere que presenta la composición del hilo conductor
- Configuración geométrica de la rama

La deducción expuesta con anterioridad de que las faltas en conductancia serían de una importancia menor que las existentes en la susceptancia es de una relevancia superior, debida a que los datos numéricos de conductancia, están ligados a alteraciones de forma periódica originadas por variaciones de calor, son las faltas que presentan menos importancia.

Esta transcendental finalidad posibilitará que las investigaciones puedan ser enfocadas sobre la evaluación de susceptancias equívocas del sistema.

3.6 Repercusión de los flujos e inyecciones sobre la estimación de las medidas

La sumatoria de medidas que se han tomado para formar el análisis del apartado anterior ha sido completa, con máxima redundancia. No obstante, es importante saber si las variables dañan de la misma forma cuando existe una clase de variables graduadas u otras. De esta manera se facilita datos informativos, al efectuarse la evaluación de posiciones, informándonos de la entrada de errores peligrosos o no provocado por los que ya se encuentran en las variables.

Para formar dicho estudio se equiparán las causas producidas, en relación a las variables graduadas y colindantes, por la falta de susceptancia en cualquier rama comparando dos sumatorias de variables graduadas diferentes:

- Diferencias de potencial y flujos energéticos
- Diferencias de potencial y flujos energéticos

Se examinará la hipótesis del fallo de susceptancia, en relación con la finalidad que hemos obtenido del apartado anterior, y sobre las medidas adyacentes, ya que como se vio en apartados anteriores, la repercusión sobre ellas es la misma que la que causa cuando se estudia la repercusión sobre las medidas de todo el sistema, aunque de una manera más pronunciada.

En la figura 15 se representa el peso de la falta ocasionada por una susceptancia equívoca de cualquier rama en relación a las variables graduadas y colindantes cuando únicamente se conoce las diferencias de potencial y el flujo energético como sumatorio de variables graduadas. De la misma manera que pasaba en la ilustración 14, los datos conseguidos teniendo en cuenta que existen transductores de clase 1 y 5, mostrándose que las parábolas de categoría 1 de errores son más pequeños que los de clase 5.

Es importante hacer alusión que de la misma forma que en las otras parábolas, las marcas que se señalan de la figura 15 muestran la mediana correspondiente a los datos conseguidos para 60 evaluaciones diferentes, esto supondría haber examinado de forma individual la línea hasta en 3 ocasiones.

De esta ilustración podría finalizarse diciendo de forma clara que cuando se tiene variables graduadas correspondientes a flujos energéticos, la repercusión de la variable equívoca es bastante más grande que al tener las medidas de flujos, considerando el peso de este último casi inexistente. Lo que quiere decir que las faltas en las variables graduadas que son evaluadas se consideran prácticamente imparciales de las variables, al menos cuando una única variable es equívoca. Se considera preciso por la exclusiva forma de las igualdades de los flujos y también de los flujos de potencia (3.1 a 3.4).

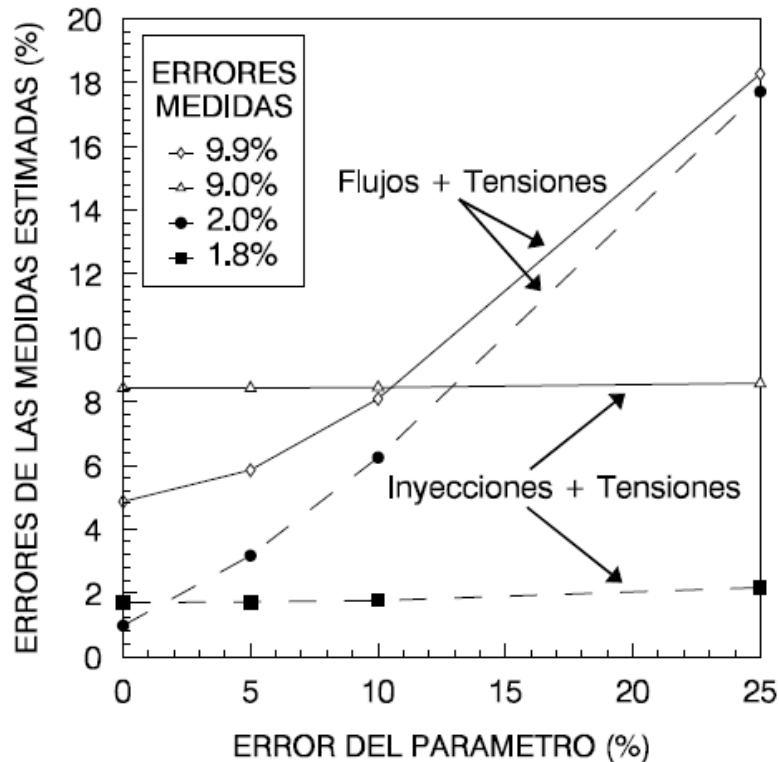


Figura 15. Peso de la falta en susceptancia de la rama en relación a las variables graduadas y colindantes con distintas clases de variables graduadas.

3.7 Peso de las faltas en las variables reguladas sobre la evaluación

Con el objetivo de analizar si las faltas en las variables actúan de la misma forma en las variables graduadas y evaluadas, se arrancará a estudiar esta repercusión dependiendo la clase de variable graduada.

Teniendo en cuenta esta finalidad y suponiendo que habrá alguna reiteración plena con diferentes escalones de faltas, se tomarán tres supuestos:

1. Repercusión en relación a las variables graduadas de diferencia de potencial colindantes cuando todas las variables graduadas son precisas salvo la de diferencia de potencial
2. Repercusión en relación a las variables graduadas y colindantes correspondientes a los flujos energéticos cuando todas las variables graduadas son precisas salvo las correspondientes a flujos
3. Repercusión en relación a las variables graduadas y colindantes de flujos energéticos cuando todas las variables reguladas son precisas salvo las correspondientes a flujos

La ilustración 16 muestra la repercusión en relación a las variables graduadas de diferencia de potencial. La ilustración muestra la misma conducta que la observada hasta el momento, esto indica:

- El desperfecto ocasionado en relación a las variables graduadas que son evaluadas se incrementa a raíz de que la falta en la variable se acreciente

- Las faltas de las variables presentan más importancia en relación a las diferencias de potencial evaluadas a raíz de que las variables reguladas sean de mayor precisión

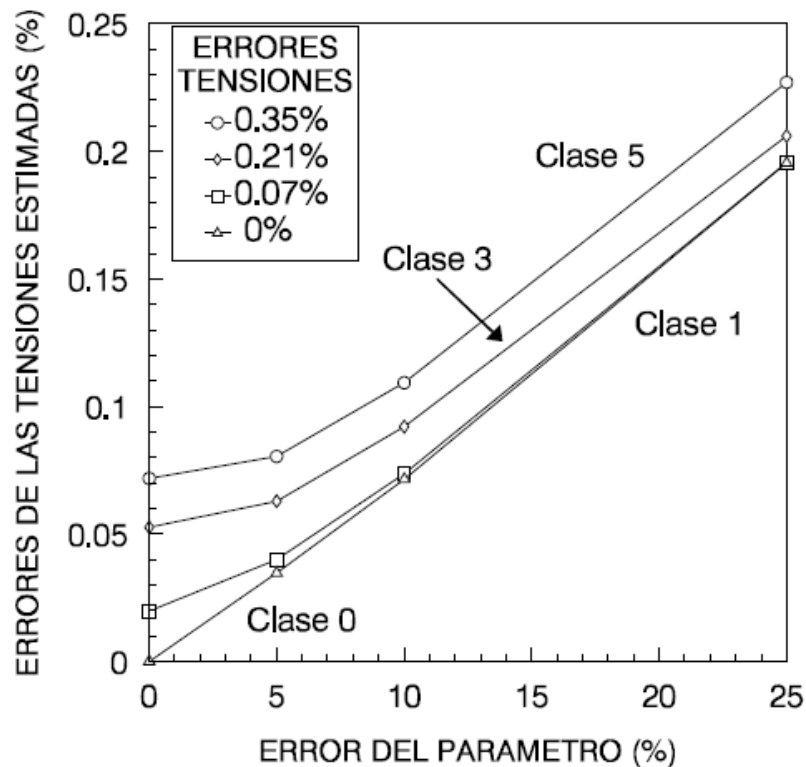


Figura 16. *Peso en relación a las variables graduadas de diferencia de potencial colindantes cuando todas las variables graduadas son precisas salvo las de diferencia de potencial.*

La ilustración 17 representa el peso en relación a las variables graduadas de flujos energéticos, tanto activa como reactiva, examinándose:

- A raíz de que la falta en la variable se acrecienta, el desperfecto ocasionado en las variables graduadas y evaluadas se incrementa
- A raíz de que las variables graduadas son de una precisión mayor, los fallos de las variables presentan menos importancia en relación a los datos numéricos de los flujos evaluados

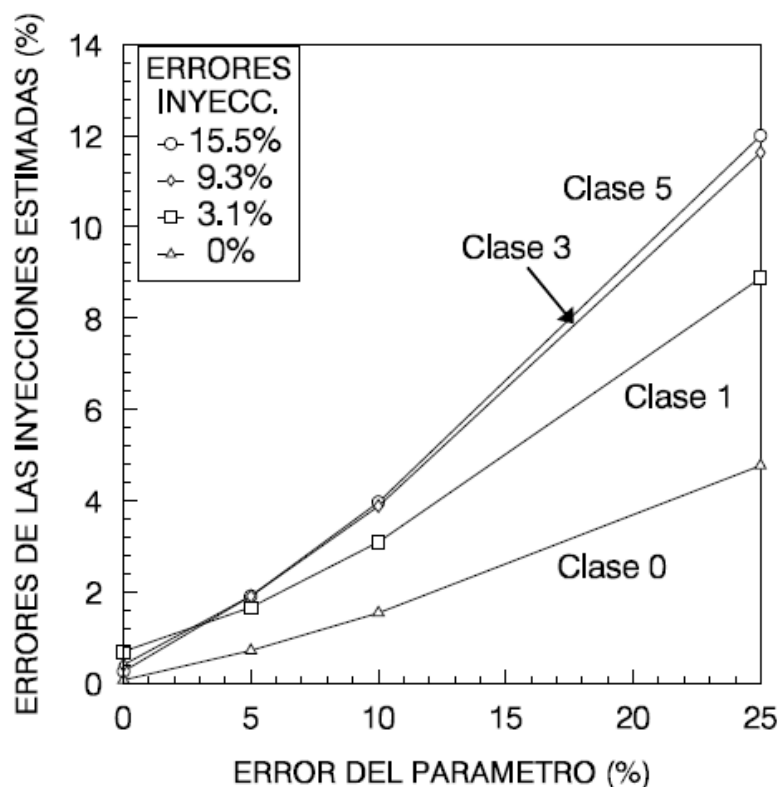


Figura 17. Peso en relación a las variables graduadas de flujo colindantes cuando todas las variables graduadas son precisas salvo las de flujo.

Para acabar, la ilustración 18 representa el peso sobre los flujos, pudiendo decir:

- De la misma forma que en anteriores supuestos, a raíz de que la falta en la variable se incrementa, el desperfecto ocasionado sobre las variables graduadas y evaluadas se acrecienta
- De manera independiente del grado de la falta en las variables graduadas, el efecto de las faltas de las variables es el mismo

Así que la figura 17 y 18 pertenecientes a los flujos e inyecciones, podrían sacarse las próximas deducciones:

- El efecto de la variable en relación a las variables graduadas de inyección, es significativo pero menos que las provenientes de flujo, de manera especial a raíz de que se reduzca la falta de inicio correspondiente a estas medidas
- El efecto que la variable tiene en relación a las variables graduadas de flujo es considerable y no presentan relación con la falta de inicio de estas variables graduadas

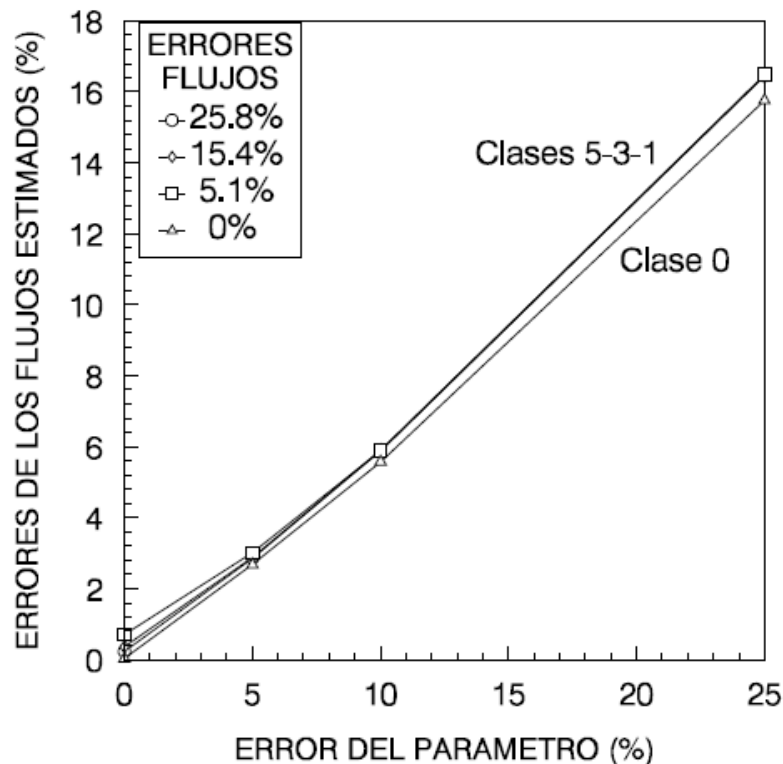


Figura 18. *Peso en relación a las variables graduadas de flujo colindantes cuando todas las variables graduadas son precisas salvo las de flujo.*

3.8 Resumen

En este punto hemos aprendido de una forma metódica la repercusión que presentan las faltas en las variables en relación a la evaluación de posiciones. Para tener esto, y mediante el objetivo de considerar a los datos conseguidos que sean importantes estadísticamente hablando, las pruebas individualizadas que se ha realizado y que después han sido representadas en distintas ilustraciones, mostraban el valor medios de la realización de sesenta estimaciones de estado, tomando una rama diferente cada vez. Cada una de ellas mostraba el estado distinto en un tiempo instantáneo de un día concreto y que de forma previa se ha producido.

La red que ha sido usada es la IEEE-14, presenta 20 líneas así que usando 60 posiciones diferentes, las ramas serán examinadas hasta en 3 ocasiones.

La determinación correspondiente a los datos conseguidos es efectuada por medio de la categoría que presentan los aparatos de variables reguladas, usando como marco relativo el fallo referente medio de las variables graduadas y evaluadas.

Para empezar, en el tercer apartado se ha estudiado algo considerado instintivo, la naturaleza particular de la influencia de las faltas sobre la evaluación, donde debido a los estudios que se han realizado ha posibilitado las siguientes conclusiones:

- El desperfecto producido sobre las medidas estimadas se incrementa de forma notoria a raíz que la falta en la variable se acrecienta
- El fallo en la variable actúa mayormente en torno a las variables graduadas que están vinculadas de forma directa a la rama conflictiva y no tanto sobre las otra del sistema

- Los datos conseguidos son específicamente correctos para un sistema/red cualesquiera, manteniendo parecidas las parábolas aludidas a las variables graduadas y colindantes que tienden a ser planas y haciendo referencia a las variables graduadas de todo el sistema a raíz que este se agranda, lo que corrobora la localidad del efecto de la falta en la variable
- Los fallos de las variables graduadas si existe alguna variable equívoca tiran a equipararse a los conseguidos en el momento en el que no hay ninguna variable equívoca a raíz que se acrecienta la longitud de la rama equívoca

Acto seguido, se estudia el efecto que puede tener el nivel de fallo en las medidas, resumiendo que:

- Conforme sean más precisas las variables graduadas que tengamos, las faltas en las variables tienen una repercusión más grande en las variables evaluadas
- Los fines serían aceptados para todo sistema sin depender de la longitud

Acto seguido, sobre el análisis relativo en referencia a la existencia de faltas en conductancia o en susceptancia, hemos visto que las faltas de conductancia serían de una importancia menor que las de susceptancia. Se debe a que los datos numéricos de conductancia tiene vinculación a alteraciones repetidas causadas por modificaciones caloríficas, y los valores de susceptancia únicamente depende de las componentes usadas en el hilo conductor además de su configuración geométrica de dicha rama, este dato conseguido sería de gran transcendencia y permite al análisis que sea focalizado en la evaluación de susceptancias equívocas del sistema.

En el apartado 6 se ha estudiado la consecuencia producida cuando la suma de medidas que existen son:

- Flujos y tensiones de potencia
- Inyecciones y tensiones de potencia

Finalizamos diciendo que la repercusión de la variable equívoca en relación a las variables graduadas que son evaluadas es mayor cuando hay medidas de flujos energéticos que en el momento que existen medidas de inyección, tomando las variables graduadas de flujos prácticamente como independientes de los errores de las variables.

En el último apartado se ha analizado el efecto de la variable de forma individualizada para cada variable graduada que se encuentra servible de forma independiente, aterrizando a semejantes terminaciones que anteriormente, excepto que:

- El efecto de la variable sobre las variables graduadas de flujos se reduce a raíz que la falta inicial de estas variables graduadas lo hace
- El efecto que la variable presenta en relación a las variables graduadas de flujo es indiferente de la falta inicial de estas variables graduadas

3.9 Bibliografía

[1] Arrillaga J., Arnold C., Harker B., "Modelado informático de sistemas de energía eléctrica". John Wiley e hijos Ltd., Gran Bretaña, 1983.

[2] Debs A., Litzenberger W., "El proyecto estimador BPA: ajuste del modelo de red". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia, Artículo A 75 448-1, Julio 1975.

- [3] Fletcher D., Stadlin W., "Estimación de posición de toma de transformador". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [4] Liu W., Lim S., "Identificación y estimación de error de parámetros en la estimación del estado del sistema de potencia". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [5] Reig A., Álvarez C., "Influencia de los errores de parámetros de red en resultados de estimación de estado".
- [6] Slutsker I., Mokhtari S., "Estimación integral en sistemas de potencia: estado, topología y estimación de parámetros" Conferencia de potencia americana.
- [7] Slutsker I., Clements K., "Estimación de parámetros recursivos en tiempo real en sistemas de gestión de energía". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia, Vol. 11, No. 3, pp. 1393-1399, Agosto 1996.
- [8] Stuart T., Herget C., "Un análisis de sensibilidad de la estimación del estado de mínimos cuadrados ponderados para sistemas de potencia". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [9] Wallach Y., "Cálculos y programas para redes de sistemas de potencia".
- [10] Zarco P., Gómez A., "Determinación fuera de línea de parámetros de red en la estimación de estado". Duodécima Conferencia de los sistemas computacionales de potencia, pp. 1207-1213, Dresden, Alemania, Agosto 1996.

4 Capítulo: Evaluación de Variables en Sistemas Eléctricos

4.1 Introducción

Refiriéndonos al punto 3 se estudió de un modo metódico el efecto de las faltas en las variables en relación a la evaluación de posiciones, de esta manera se corrobora la exigencia de tasar las variables con el objetivo de desarrollar una evaluación de posiciones óptima. Pero, la creación de tasadores de variables en las áreas de inspección no es del todo abundante, por otro lado los estimadores de posiciones si son copiosos.

Para efectuar la evaluación de posiciones sería obligatorio reconocer de forma previa los parámetros por medio de una de las técnicas que existen, debiendo evaluar de forma posterior exclusivamente los que son identificados.

En este capítulo se va a estudiar el reconocimiento de las variables dudosas y se ordenarán los diferentes sistemas que existen de evaluación de variables. Para finalizar, se analizará la naturaleza específica de la tasación de variables, algo que ya hemos realizado anteriormente.

4.2 Reconocimiento de errores en los parámetros

Como se mencionó anteriormente, un fallo en un parámetro tiene la misma repercusión que una sumatoria de errores relacionados que intervendrán en la totalidad de variables graduadas que repercuten a dicha línea equívoca. Podría suponerse operando el prototipo de graduación (ecuación 2.1):

$$z_s = h_s(x, p_o) + v_s = h_s(x, p) + [h_s(x, p_o) - h_s(x, p)] + v_s \quad (4.1)$$

Considerando p el dato numérico que es preciso de la variable del sistema, p_o el dato numérico equívoco de la variable del sistema mientras el subíndice s haría mención a las variables graduadas que están implicadas de forma exclusiva.

La expresión que se encuentra entre corchete haciendo referencia a la igualdad anterior se comporta como una falta más en la variable graduada. Si la falta de la variable es muy amplia, esta expresión inducirá su paro como variable graduada con falta no gaussiana y las variables graduadas se almacenaran dónde están los restos más abundantes. Esta falta podría linealizarse:

$$h_s(x, p_o) - h_s(x, p) \approx \left[\frac{\partial h_s}{\partial p} \right] e_p \quad (4.2)$$

Siendo $e_p = p_o - p$ el error de la variable.

Así que, aquellas líneas cuyas variables graduadas estén vinculadas y tenga un resto grande además de regularizado serán dudosas, lo que conllevaría a formalizar una evaluación sobre las mismas.

Se han efectuado hipótesis donde se expone que los apuntes o informes con faltas no gaussianas son detectados y suprimidos de manera previa así que la aparición

duradera de una expresión sesgada en algunos restos de medidas correspondiente a los datos obtenidos de la evaluación de posiciones sería un atisbo de existencia de faltas en las variables y podría usarse para captar esta aparición.

Otro procedimiento de reconocimiento planteado igualmente se fundamenta en la hipótesis correspondiente a un resto grande que no se espera y caracterizado puede señalar que alguna variable de las que existen en los aledaños de la variable graduada no sería válida. Cuando se capta un bloque de líneas dudosas se efectúa la evaluación de las variables.

Otro procedimiento que se pone en liza, es comprendido para considerar los accesos a los convertidores, se efectuará si la discrepancia entre la potencia reactiva de la medida teledirigida y la potencia reactiva computada de estos convertidores es mayor que el límite fijado.

Para acabar, en [1] se reconocen que las variables graduadas, variables y estructuras del sistema son introducidas en el evaluador de posiciones a través de ensayos de índole estadístico.

Así que el reconocimiento de faltas en las variables es fundamentado por el análisis de los restos de las variables graduadas.

4.3 Distribución de los procedimientos de evaluación de variables

Desde que la evaluación de posiciones es analizada con mucha profundidad, en el momento donde Schweppe difundió su estudio allá por los años 70, la evaluación de variables no es analizada y los estudios que analizan esta cuestión son parcialmente limitados. De todas maneras se agrupan en 3 grupos en referencia a los procedimientos de evaluación de variables:

1. La primera clasificación usada sería:

- Procedimientos que usan un solo segmento de variables graduadas:
 - Evaluación compatible de la posición y de la variable
 - Evaluación ordenada de la posición y de la variable
- Procedimientos que usan más de un segmento de variables graduadas:
 - Evaluador adaptable
 - Evaluación ordenada y compuesta de la posición y de la variable

2. La segunda clasificación que se hace sería:

- Procedimientos que usan un solo segmento de variables graduadas
- Procedimientos que usan más de un segmento de variables graduadas:
 - Evaluación de variables que no varían con el tiempo [10, 30]
 - Estimación de variables que varían con el tiempo [26]

3. En [31] la clasificación que se hace sería:

- Procedimientos fundamentados en el estudio de receptibilidad en los restos

- Procedimientos que agrandan el segmento de posición:
 - Determinación con igualdades simples
 - Determinación fundamentada en la hipótesis correspondiente al filtro de Kalman

La clasificación 1 y 2 son semejantes mientras que la última destacaría la discrepancia más característica de los procedimientos de forma individualizada, el aumento o no correspondiente al segmento de posición con la entrada de las variables erróneas como parámetros extras, y señalamiento inclusive de la sistemática que se usa en el dictamen.

4.4 Evaluación on-line vs evaluación off-line

El uso de un procedimiento de evaluación de variables *on-line/off-line* depende principalmente de la relevancia pretendida en relación al caso de contar con datos numéricos precisos de las variables de forma instantánea.

Si esta evaluación se lleva de manera instantánea sería una estimación *on-line*:

- Podría llevarse de forma continuada una búsqueda precisa de las variables del sistema que son cambiados por las modificaciones en cargas y también por circunstancias climáticas, por ejemplo resistencias eléctricas, pérdidas provocadas por efecto corona y los accesos en convertidores
- Las variables estimadas se pueden actualizar de forma independiente en la central de información pudiendo ser usadas para otras diligencias de perfeccionamiento y firmeza del sistema

La acción de hacer una búsqueda precisa de las variables del sistema no es una cuestión de vital importancia, porque no se modifican constantemente. Es más, los parámetros ligados a modificaciones continuas no contribuyen mucho en la evaluación de posiciones como fue explicada en el anterior capítulo. No obstante, sí es bueno hacer un seguimiento exhaustivo de las tomas de los transformadores.

Es decir, puede tomarse de manera distinta el método que debería adoptar la evaluación de las variables del sistema y de los accesos a los convertidores.

Con lo que respecta al desarrollo de la evaluación en condición *off-line*:

- Las variables graduadas que son tomadas mediante el SCADA podrían ser trasferidas a cualquier computador que se dedica de manera expresa al procesamiento de evaluación de variables u otras acciones sin la necesidad de una velocidad excesiva en su trabajo. Así no se interceptan los objetivos principales que son manejados en las áreas de control
- Los períodos usados en la transferencia de datos y en las operaciones numéricas no se consideran de gran importancia, así que podría usarse si fuera necesario, guarismos más exactos que suministran resultados más precisos.
- Por otro lado los fallos topológicos y las variables graduadas con faltas no gaussianas presentan una esencia estacional, esto indica, que cambian con el transcurso del tiempo, las faltas en las variables son puramente fijas. De esta manera, podrían escogerse los grupos de variables graduadas que sean usados en la evaluación de variables fundamentándose en los residuos caracterizados. Así se pueden escoger los *mejores* estados que tienen menos

errores y también los que presentan una redundancia mayor, así que sería imposible de manera *on-line*.

- Las variables del sistema que se consideren dudosas podrían ser reconocidos de forma satisfactoria fundamentándose en residuos caracterizados grandes que son reiterativos de forma continua y con influencia sobre las variables graduadas, práctica almacenada, etc.

4.5 Naturaleza específica de la evaluación de variables

Como pasaba con el peso de las variables en la evaluación de posiciones, que fue admitida por la totalidad de los expertos pero que únicamente realizó un análisis metódico y completo uno de ellos, con el emplazamiento de dicho efecto paso algo parecido.

Un autor hace mención que de forma intuitiva, las variables graduadas que se hallan retiradas de dichas ramas dudosas tiene un peso muy diminuto en relación a los datos conseguidos de la evaluación de la variable y únicamente se tiene en cuenta una zona del sistema completo en el momento de efectuar el guarismo correspondiente a la evaluación de posiciones.

El capítulo anterior se encargó de analizar la naturaleza específica que presentan la influencia de las faltas en las variables, contemplándose en ilustraciones que los fallos en las variables graduadas que son estimadas cuando hay alguna variable equívoca aspiran a ser iguales a las conseguidas en el momento que no concurre dicha variable errónea a raíz que se acrecienta la longitud a la rama equívoca.

Con el objetivo de terminar este estudio se analizará la naturaleza específica de la evaluación de variables por medio del estudio de receptibilidad. Este estudio, podría considerarse correlativo en comparación al efectuado en el punto 3 del capítulo anterior, podrá terminar diciendo que para ejecutar la evaluación de variables únicamente es preciso usar las variables graduadas en relación a la afectiva.

Para efectuar el análisis, se toma el segmento z y se suma una fila más que corresponde al dato numérico distinguido de la variable y conjuntamente la totalidad de las covarianzas iguales.

En el segundo capítulo se consiguió las igualdades simples del teorema de mínimos cuadrados examinados (ecuación 2.13):

$$G(x)\Delta_x = H^T(x)W[z - h_{(x)}] \quad (4.3)$$

Considerando que el segmento de posición estipulado sería:

$$\Delta\hat{x} = G^{-1}H^T(x)W[z - h_{(x)}] \quad (4.4)$$

Usando el prototipo linealizado del evaluador de posiciones, las medidas estimadas serían:

$$\Delta\hat{z} = H\Delta\hat{x} = S(W\Delta z) \quad (4.5)$$

Considerando S la matriz de afectividad entre las variables graduadas que son estimadas y las examinadas, $\Delta\hat{z}$ y $W\Delta z$ respectivamente:

$$S = HG^{-1}H^T \quad (4.6)$$

En el momento que Δz se convierta en nula, excepto en el punto k -ésimo, la fila vertical k -ésima S facilita las modificaciones de las variables graduadas que son estimadas al efectuarse una variación en la variable graduada k -ésima, así que esta fila vertical sería:

$$S_k = Se_k \quad (4.7)$$

Donde e_k es un segmento columna prácticamente obtuso salvo en la posición k -ésima que hay un 1.

Así que la fila vertical k -ésima S podría conseguirse de tal manera:

$$S_k = HG^{-1}H^Te_k \quad (4.8)$$

Mediante el siguiente procedimiento:

- 1) Efectuar la operación H^Te_k , que corresponde con encontrar la fila k -ésima de H
- 2) Encontrar y a raíz de :

$$Gy = H^Te_k \quad (4.9)$$

Con la eliminación hacia delante y sustitución hacia atrás.

- 3) Obtener:

$$S_k = H_y \quad (4.10)$$

Para efectuar el estudio de afectividad se utiliza el sistema de 118 lazos y 179 ramas IEEE-118 mostrada en la ilustración 19.

Como pasó con la red IEEE-14, con el objetivo de tomar diferentes estados del sistema a lo largo de un día, se han obtenido veinticuatro muestras iguales, cada una para una hora distinta estipulándose que la reiteración es máxima, así que la suma completa de variables graduadas en cada posición sería de 1070.

Estas posiciones son las posiciones precisas del sistema, no obstante no se conocen en realidad. Debido a esto y con el objetivo de representar la situación en la vida cotidiana, a las posiciones precisas se les ha añadido una falta gaussiana conseguido

mediante un productor de cifras al azar a raíz de tener la desviación típica σ en las variables graduadas.

El dato numérico σ que se toma está influenciado por el fondo de graduación, como se realizó con la producción de variables graduadas que son reales del sistema IEEE-14, usando:

- Variables graduadas correspondiente a diferencias de potencial: $\sigma = 0.1 * \gamma * FE$
- Variables graduadas correspondientes a flujos energéticos: $\sigma = \gamma * FE$

Tomando γ como la categoría del aparato de variables graduadas, y donde en este supuesto expresamente se toma como categoría 1, FE sería el fondo de graduación de este dispositivo, considerando los aparatos que registran las diferencias de potencial como 1.

Los fondos de nivel son tomados por cada dispositivo de graduación y están influenciados por el valor máximo que se desea en cada zona donde hay una variable graduada. Al ser diferentes, se organizan alrededor de algunos datos numéricos con el fin de no tener una gran discrepancia entre datos numéricos.

Tal y como se habló en el capítulo anterior se comprende por variables graduadas de *longitud 1* las colindantes a esa línea que tiene la variable equívoca, esto indica, las diferencias de potencial y los flujos en los lazos exteriores de esta línea junto a los flujos de dicha línea, por variables graduadas de *longitud 2* las colindantes a las situadas de *longitud 1*, así sucesivamente.

Con esta proposición se efectuó el análisis computando las afectividades en cada una de las variables graduadas y cuando ya se tiene recogida cual presenta el dato numérico que es máximo se han regularizado todas con ella, esto indica que se ha partido el dato numérico que es máximo entre cada uno de los datos numéricos de sensibilidad recogidos. Permitiendo saber si el conjunto de variables graduadas tiene una afectividad de 10, 15, 20,...veces menos que la tiene la sensibilidad máxima.

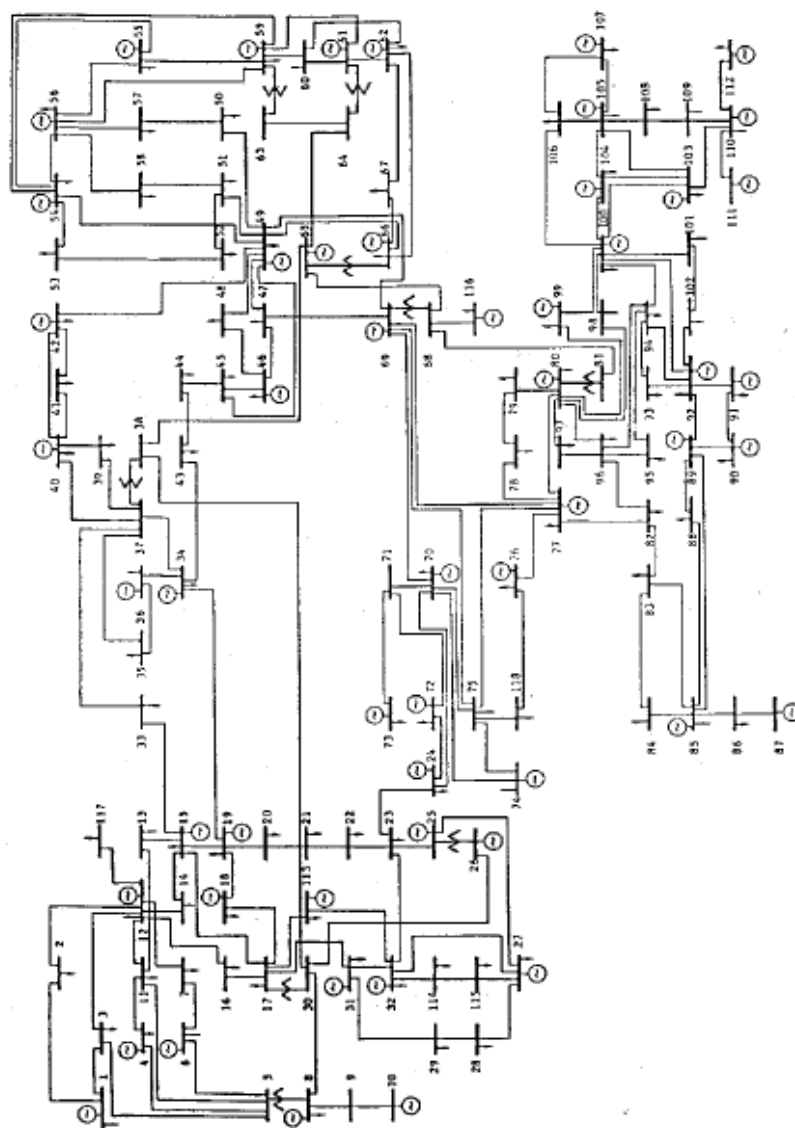


Figura 19. Red IEEE-118

Posteriormente, se asocian estos datos numéricos que son recogidos en relación a la *longitud* que son localizadas dichas variables graduadas en relación a la rama equívoca, pudiéndose conseguir, con distintas *longitudes*, el porcentaje de variables graduadas que tiene una sensibilidad de 10, 15, 20,...del valor menor en relación a la de sensibilidad máxima.

Esto se muestra en la ilustración 20 donde el eje X muestra la *longitud* a la rama equívoca, el Y muestra la correlación existente con las de mayor afectividad y las afectividades que son graduadas mientras el eje Z presenta el tanto por ciento de variables graduadas en relación a la global encontrada a dicha *longitud*.

De esta manera, podría mostrarse en dicha figura que lo que comprende el 0 y 1 correspondiente al eje X y entre el 0 y el 10 del eje Y se encuentran el 60 % de las variables graduadas halladas a una *longitud* 1.

La línea que abarca la variable errónea en esta ilustración sería la que junta el lazo 49 y el lazo 51. Esta línea tiene variables graduadas que podrían estar hasta a una *longitud* 10 a dicha línea, teniendo las halladas a *longitud* mayor a 5 presentan una afectividad 100 veces inferior que la variable graduada más afectiva, así que no sería representada.

En esta ilustración se contempla que:

- Las variables graduadas que están a longitudes más pequeñas serían las más afectivas
- Cuanto más pequeña sea la longitud, el tanto por ciento de variables graduadas con datos numéricos mayores de afectividad se incrementa
- Las variables graduadas que están a *longitud* mayor de 5, presentan una afectividad más de 100 veces mayor que la variable graduada más afectiva

Así que, podría terminarse diciendo:

- Las variables graduadas que están a una distancia considerable de las ramas con alguna variable equívoca tiene una repercusión muy diminuta sobre ella
- No hace falta utilizar todas las medidas que se tenga ni todo el sistema completo para efectuar la evaluación de variables, únicamente las variables graduadas y las ramas que estén más cercanas a la variable errónea, ya que se tratan de la más sensibles

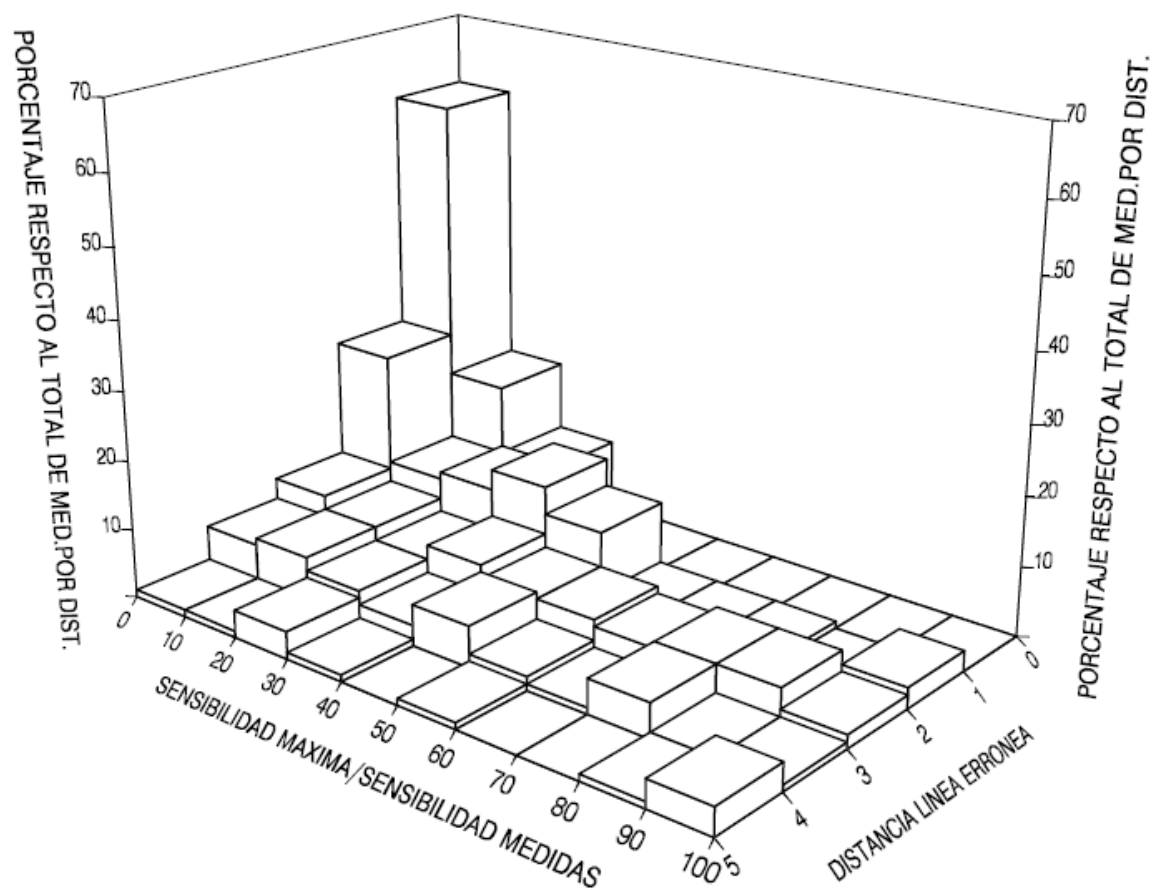


Figura 20. Consecuencia del estudio de afectividad de la rama que junta el lazo 49 y el lazo 51 en el sistema IEEE-118

Estas deducciones permitirán en el apartado 6 que en vez de utilizar el sistema IEEE-118 con el objetivo de la captación de datos finales empíricos, utilizar el sistema IEEE-14 considerándolo el subsistema más cercano a aquella rama con la variable equívoca.

Se puede transportar de un sistema a un subsistema, solo hay que meter los flujos de las ramas por donde se secciona el subsistema en los flujos de los lazos adyacentes.

4.6 Resumen

En el punto 4 hemos estudiado el problema que tienen las faltas en las variables, considerando tanto las tomas de transformadores como las de las ramas.

Primero se explicó la manera que tienen los distintos autores de reconocer las faltas de las variables, fundamentándose estos sistemas en la computación numérica de los restos.

Se mostró las clasificaciones que se han hecho hasta ahora sobre los métodos de estimación de parámetros siendo uno de estos parámetros el que más destaca sobre el resto en todos los sistemas estudiados, se ha considerado la magnitud del aumento o la reducción del segmento de posición conforme haya sido la entrada de las variables equívocas como parámetros adheridos:

- Métodos fundamentados en el análisis residual de sensibilidad
- Procedimientos que aumentan el segmento de posición:
 - Determinación con igualdades simples
 - Determinación fundamentada mediante la hipótesis del filtro Kalman

Además se han mostrado en el apartado las virtudes o defectos correspondientes a la evaluación *off-line* frente a la estimación *on-line*, para concluir se ha analizado la naturaleza específica de la evaluación de variables con el estudio de afectividad, consiguiendo llegar al siguiente desenlace:

- Las variables graduadas que están más alejadas de aquellas ramas con alguna variable equívoca tiene un efecto menor en ellas.
- No hace falta utilizar todas las medidas que se tenga ni todo el sistema completo para poder efectuar la evaluación de variables, únicamente hace falta las variables graduadas y las ramas que se encuentran cercanas a la que tiene el parámetro erróneo.

4.7 Bibliografía

[1] Aboytes F., Cory B., "Identificación de errores de medida, parámetros y configuración en la estimación del estado estático". Reunión de congresos PICA.

[2] Allam M., Laughton M., "Un algoritmo general para estimar las variables del sistema de potencia y los parámetros de la red".

[3] Allam M., Laughton M., "Algoritmos estáticos y dinámicos para la estimación de variables y parámetros del sistema de potencia". Quinta de Reunión de congresos del sistema computacional de potencia.

- [4] Alsac O., Vempati N., Stott B., Monticelli A., "Estimación generalizada del estado". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [5] Arafeh S., Schinzinger R., "Estimación de algoritmos para sistemas de energía a gran escala". IEEE Operaciones en los aparatos y en los sistemas de potencia.
- [6] Assadian M., Goddard R., Wayne H., French D., "Experiencias operacionales con el estimador de estado *on-line*". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [7] Clements K., Denison O., Ringlee R., "Los efecto de la no-simultaneidad de la medición, el sesgo y la incertidumbre de parámetros en la estimación del estado del sistema de potencia". Reunión de congresos PICA.
- [8] Clements K., Ringlee R., "Tratamiento de la incertidumbre de parámetros en la estimación del estado del sistema de potencia". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [9] Do Coutto, M., Leite A., Falcão D., "Bibliografía sobre la estimación de estado del sistema eléctrico (1968-1989)". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [10] Debs. A., "Estimación de los parámetros del modelo del sistema eléctrico en estado estacionario". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [11] Debs. A., Litzenberger W., "El proyecto estimador estatal BPA: ajuste del modelo de red". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia, Artículo A 75 448-1, Julio 1975.
- [12] Fletcher D., Stadlin W., "Estimación de la posición de toma de transformador". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [13] Gómez A., Abur A., Martínez J., Monroy D., Peças J., Van Cutsem T., "Estimación del estado del sistema eléctrico y evaluación de la seguridad".
- [14] Handschin E., Kliokys E., "Estimación de la posición de toma de transformador y detección de datos incorrectos mediante modelado dinámico de señales". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [15] Lebow W., Mehra R., Nadira R. Rouhani R., Usoro P., Bhavaraju M., Pal M., Sobieski D., "Optimización de fuentes reactivas de voltios-amperios (VAR) en la planificación del sistema. Volumen 1: Técnicas de solución, métodos de cálculo y resultados".
- [16] Liu W., Wu F., Lun S., "Estimación de errores de los parámetros en los residuos de medición de la estimación del estado". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [17] Liu W., Lim S., "Identificación y estimación de error de los parámetros en la estimación del estado del sistema de potencia". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [18] Mukherjee B., Fuerst G., "Experiencia de campo de la toma de transformadores". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [19] Quintana V., Van Cutsem T., "Procesamiento en tiempo real de posiciones de tomas de un transformador". Diario de ingeniería eléctrica canadiense.

- [20] Quintana V., Van Cutsem T., "Estimación de parámetros de red del sistema eléctrico. Aplicaciones y métodos óptimos de control".
- [21] Reig A., Álvarez C., "Técnicas de estimación de parámetros fuera de línea para el ajuste de datos del modelo de red".
- [22] Schweppe F., Douglas B., "Estimación del estado estático del sistema eléctrico". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [23] Schweppe F., Handschin E., "Estimación del estado estático en sistemas de energía eléctrica".
- [24] Slutsker I., Mokhtari S., "Estimación de parámetros en línea en sistemas de gestión energética". Conferencia Americana de potencia.
- [25] Slutsker I., Mokhtari S., "Estimación integral en sistemas de potencia: estado, topología y estimación de parámetros" Conferencia Americana de potencia.
- [26] Slutsker I., Clements K., "Estimación de parámetros recursivos en tiempo real en sistemas de gestión energética". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [27] Smith R., "Estimación de transformador en Florida Power Corporation" IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [28] Teixeira P., Brammer S., Rutz W., Merrit W., Salmonsén J., "Estimación estatal de los ajustes de tomas de transformadores de voltaje y de cambio de fase". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [29] Van Cutsem T., Quintana V., "Estimación de parámetros de red utilizando datos en línea aplicados a la estimación de posición de toma de transformador". Reunión IEEE.
- [30] Zarco P., Gómez A., "Determinación *off-line* de parámetros de red en la estimación de estado". Duodécima Reunión de congresos del sistema computacional de potencia.

5 Capítulo: Procedimientos de Evaluación de Variables

5.1 Introducción

El apartado anterior mostró las distintas clasificaciones que existe en la evaluación de variables, considerando más importantes la clasificación que se efectúa conforme al procedimiento de determinación de la igualdad propuesta.

Más adelante, se empezará a explicar los procedimientos de evaluación considerados más importantes fundamentándose en la clasificación del capítulo anterior. Para concluir, se debatirán las virtudes y defectos de todos los sistemas.

5.2 Procedimientos fundamentados en el estudio de excedentes de receptibilidad

Los procedimientos usan el segmento de posición normal sin ampliaciones con las variables erróneas y efectúan la evaluación de variables cuando se ha concluido la evaluación de variables.

El procedimiento expuesto por algunos autores es fundamentado por la vinculación de afectividad que existe entre fallos en las medidas y entre los residuos:

$$r = S_r v \quad (5.1)$$

Considerando S_r la matriz excedente de afectividad:

$$S_r = 1 - HG^{-1}H^TW \quad (5.2)$$

Dónde G es la matriz de ganancia:

$$G = H^TWH \quad (5.3)$$

Se puede implantar una correlación lineal entre el fallo del parámetro e_p y los residuos de las medidas dañadas, consiguiendo que:

$$r_s = \left((Sr)_{ss} \frac{\partial h_s}{\partial p} \right) e_p + \bar{r}_s \quad (5.4)$$

Considerando $(Sr)_{ss}$ el subsistema $(s \times s)$ de S_r referidas a las s variables graduadas que están implicadas y $\bar{r}_s$ el segmento excedente que conseguiríamos si no existe errores en las variables.

La ecuación 5.4 puede ser entendida como un prototipo lineal que engloba el error de la variable e_p con las medidas r_s existiendo el ruido $\bar{r}_s$, de manera que transforma el análisis correspondiente a e_p en un teorema de evaluación.

Otros autores exponen fundamentándose en la ecuación 5.4 que el evaluado optimizado de e_p sería $\hat{e}_p$:

$$\hat{e}_p = \left[\left(\frac{\partial h_s}{\partial p} \right)^T W_s (Sr)_{ss} \left(\frac{\partial h_s}{\partial p} \right) \right]^{-1} \left(\frac{\partial h_s}{\partial p} \right)^T W_s r_s \quad (5.5)$$

La determinación de dicha igualdad sería compleja, así que se plantea un procedimiento alternativo. Considerando la igualdad 5.2 obtenemos:

$$W_s (Sr)_{ss} = W_s - W_s H_s G^{-1} H_s^T W_s \quad (5.6)$$

Se determina el vector de dimensión n:

$$\delta_s = H_s^T W_s \left(\frac{\partial h_s}{\partial p} \right) \quad (5.7)$$

Los integrantes se obtendrían a partir:

$$\delta_{si} = \sum_{k=1}^s \frac{\partial h_k}{\partial x_i} \frac{\partial h_k}{\partial p} \frac{1}{\sigma_k^2} \quad (5.8)$$

Con $i=1, \dots, l$.

Usando la ecuación 5.6 y la ecuación 5.7, la igualdad 5.5 sería:

$$\hat{e}_p = \left[\left(\frac{\partial h_s}{\partial p} \right)^T W_s \left(\frac{\partial h_s}{\partial p} \right)^T W_s W_s H_s G^{-1} H_s^T W_s \left(\frac{\partial h_s}{\partial p} \right) \right]^{-1} \left(\frac{\partial h_s}{\partial p} \right)^T W_s r_s = \left[\left(\frac{\partial h_s}{\partial p} \right)^T W_s \left(\frac{\partial h_s}{\partial p} \right) - \delta_s^T G^{-1} \delta_s \right]^{-1} \left(\frac{\partial h_s}{\partial p} \right)^T W_s r_s \quad (5.9)$$

Pudiendo encontrar dos variantes:

1. Variante primera: Se calcula de forma previa y_s de:

$$G y_s = \delta_s \quad (5.10)$$

Con eliminación hacia delante y sustitución hacia atrás, el fallo de la variable estimada se consigue de:

$$\hat{e}_p = \left[\sum_{k=1}^s \left(\frac{\partial h_k}{\partial p} \right)^2 \frac{1}{\sigma_k^2} - \sum_{j=1}^l \delta_{sj} y_{sj} \right]^{-1} \sum_{k=1}^s \left(\frac{\partial h_k}{\partial p} \right) \frac{r_k}{\delta_k^2} \quad (5.11)$$

2. Variante segunda: Con la matriz G factorizada:

$$G = LDL^T \quad (5.12)$$

Considerando L la matriz inferior de base triangular, el fallo de la variable estimada se consigue de:

$$\hat{e}_p = [\sum_{k=1}^s (\frac{\partial h_k}{\partial p})^2 \frac{1}{\sigma_k^2} - \sum_{j=1}^l \delta_{sj} y_{sj}]^{-1} \sum_{k=1}^s (\frac{\partial h_k}{\partial p}) \frac{r_k}{\delta_k^2} \quad (5.13)$$

Consiguiendo $\bar{y}_s$ con eliminación hacia delante:

$$\sqrt{DL}\bar{y}_s = \delta_s \quad (5.14)$$

Haciendo un resumen del método, dada una rama equívoca o dudosa el método para estimar uno de sus variables y rectificar el estado estimado es:

1. Reconocer las medidas dañadas.
2. Si únicamente se halla dañada una medida y tiene el residuo estandarizado, la ecuación 5.5 pasa a:

$$\hat{e}_p = (\frac{\partial h_s}{\partial p})^{-1} \frac{r_s}{(Sr)_{ss}} \quad (5.15)$$

Conseguir $\hat{e}_p$ y pasar al punto 4.

3. Si no se halla únicamente dañada una medida:

- a. Hallar $\frac{\partial h_s}{\partial p}$, H_s , remplazar en la igualdad 5.7 para obtener δ_s
- b. Calcular $y_s/\bar{y}_s$ de la igualdad 5.10 o por el contrario de la igualdad 5.14
- c. Remplazar en la igualdad 5.11 o también en la igualdad 5.13 y así conseguir $\hat{e}_p$

4. Rehacer p^* con $p^* = p^* + \hat{e}_p$
5. Desarrollar una evaluación de posición nueva y un nuevo reconocimiento de variables erróneas. Si es eficaz volver al paso 2, si no detenerse.

El procedimiento planteado por otros autores igualmente se fundamenta en dicho estudio de excedente de receptibilidad a raíz del segmento sesgado, donde se mezcla la repercusión de las faltas de la variable y la posición del sistema. La tasación es efectuada en primera y segunda fase: primero se estipula el segmento sesgado y luego las faltas de las variables a raíz de un encadenamiento de segmentos sesgados conseguidos en diferentes fases. La distinción más importante de este procedimiento sería que el segmento sesgado es presentado como un flujo.

Otro procedimiento fundamentado en los excedentes es el extendido para la evaluación de accesos en los convertidores, sin embargo otros autores despliegan también su diligencia a variables del sistema.

El procedimiento presentado se fundamenta en la ensambladura que existe con el acceso al convertidor y el flujo energético reactivo. Así que lo que se estudia sería la distinción que existe entre flujo energético reactivo que ha sido calculado y el flujo de potencia reactivo medido por medio del convertidor. Se extiende adentro del dispositivo de evaluación.

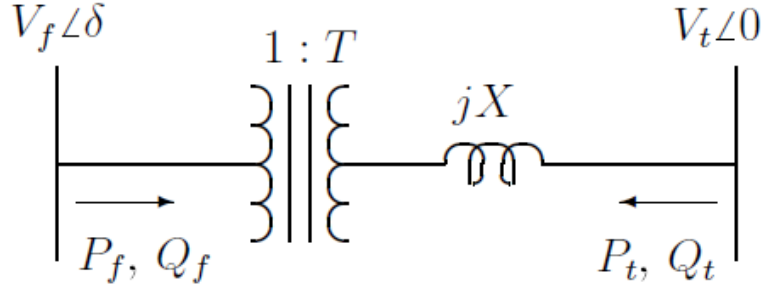


Figura 21 Prototipo del convertidor usado.

Suponiendo el prototipo del convertidor de esta ilustración 21 los flujos de potencia tanto de activa como reactiva comenzando por la zona sujeta (f) al acceso (t) serían:

$$P_f = \frac{V_f V_t T \sin(\delta)}{X} \quad (5.16)$$

$$Q_f = \frac{V_f^2 T^2}{X} - \frac{V_f V_t T \cos(\delta)}{X} \quad (5.17)$$

Considerando una modificación de ΔT además que las diferencias de potencial y los ángulos de los lazos no permutan:

$$\Delta P_f = \frac{V_f V_t T \sin(\delta)}{X} \Delta T \quad (5.18)$$

$$Q_f = \left[\frac{2V_f^2 T^2}{X} - \frac{V_f V_t \cos(\delta)}{X} \right] \Delta T \quad (5.19)$$

Considerando también que:

$$|\sin(\delta)| \ll |\cos(\delta)| \quad (5.20)$$

$$V_f \approx V_t \approx T \approx 1 \quad (5.21)$$

Entonces:

$$|\Delta P_f| \ll |\Delta Q_f| \quad (5.22)$$

$$\Delta Q_f \approx \frac{\Delta T}{X} \quad (5.23)$$

Usando una lógica parecida, la modificación del flujo energético reactivo en la zona de acceso al convertidor sería:

$$\Delta Q_t \approx -\frac{\Delta T}{X} \quad (5.24)$$

Esto podría conseguirse a modo de terminación correspondiente a:

- Los flujos energéticos reactivos son parcialmente afectivos a las modificaciones en las tomas
- Los flujos de potencia activa no son parcialmente sensibles a las modificaciones en los accesos
- Los flujos energéticos reactivos se consideran parcialmente lineales en relación a las modificaciones de los accesos con un baremo del $\pm 10\%$

Fundamentándose en el debate previo y elaborando las próximas descripciones:

- Q_t : Circulación de flujo energético reactivo obtenido en la parte del acceso
- Q_{mt} : Circulación de flujo energético reactivo medido en la parte del acceso
- Q_f : Circulación de flujo energético reactivo obtenido en la parte fija
- Q_{mf} : Circulación de flujo energético reactivo medido en la parte fija
- ΔT : Dimensión permutada en el acceso

Podría constituirse el próximo medio para la evaluación de accesos a los convertidores:

1. Teniendo una variable graduada en la parte del acceso:

- a) Con $Q_t - Q_{mt} < 0$ disminuyendo el acceso $-\Delta T$
- b) Con $Q_t - Q_{mt} > 0$ aumentando el acceso ΔT

2. Teniendo una variable graduada en la parte fija:

- a) Con $Q_f - Q_{mf} > 0$ disminuyendo el acceso $-\Delta T$
- b) Con $Q_f - Q_{mf} < 0$ aumentando el acceso ΔT

Como precepto práctico, al tener una desigualdad entre flujos energéticos reactivos graduados y hallados que es menor a un límite preestablecido, por poner un ejemplo 2 MVAR, no habrá que modificar el estado del acceso al transformador.

Para establecer dicho procedimiento a las variables del sistema se necesita que se satisfagan una serie de premisas:

- Debe haber un excedente considerado insensible a las modificaciones de las variables de dicha rama de transferencia
- Si hay más de un error deben tener poco efecto sobre el residuo escogido
- La medida del residuo escogido no debe presentar errores

Estimando que los flujos energéticos activos y reactivos entre un par de lazos sería:

$$P_{12} = \frac{V_1 V_2 \sin(\delta)}{X} \quad (5.25)$$

$$Q_{12} = \frac{V_1^2}{X} - \frac{V_1 V_2 \cos(\delta)}{X} - V_1^2 B_c \quad (5.26)$$

Considerando:

- P_{12} el flujo energético activo entre un par de lazos
- Q_{12} el flujo energético reactivo entre un par de lazos
- V_1 la diferencia de potencial correspondiente al primer lazo
- V_2 la diferencia de potencial correspondiente al segundo lazo
- δ desvaluación angular que existe entre un par de lazos
- B_c susceptancia *shunt* de dicha rama, considerando la mitad para cada uno de los extremos de la rama

Al tener el flujo energético activo parcialmente asentado, el excedente del flujo reactivo sería el que podría usarse para ejecutar el procedimiento planteado.

Lo que respecta a la susceptancia *shunt* de dicha rama:

$$\Delta Q_{12} = -V_1^2 \Delta B_c \quad (5.27)$$

Así que las faltas de corriente de los flujos energéticos reactivos se consideran de forma clara proporcionales a la susceptancia *shunt*. Con el objetivo de evaluar dicha variable es fundamental que la rama de transferencia esté levemente saturada de forma que el excedente esté requerido especialmente por las faltas de susceptancia.

Si queremos estudiar las faltas de reactancia serie de dicha rama, de las igualdades 5.25-5.26 obtenemos:

$$P_{12} \Delta x = V_1 V_2 \cos(\delta) \Delta \delta \quad (5.28)$$

$$(Q_{12} + V_1^2 B_c) \Delta x + X \Delta Q_{12} = V_1 V_2 \sin(\delta) \Delta \delta \quad (5.29)$$

Dónde:

$$\frac{\delta Q_{12}}{\delta X} = \frac{P_{12} \tan(\delta)}{X} - \frac{Q_{12} + V_1^2 B_c}{X} \quad (5.30)$$

$\frac{\delta Q_{12}}{\delta X}$ es el factor de sensibilidad que señala la modificación de la corriente de potencia reactiva respecto a la permuta de la reactancia de dicha rama. La carga correspondiente a dicha rama tiene que convertirse lo más grande que pueda para poner en liza el procedimiento de simplificación de excedentes.

Un procedimiento parecido al último sería el de evaluación de los accesos en convertidores. Se realiza afuera del hábito del tasador de posiciones y usa tanto las diferencias de potencial estimadas como las variables graduadas para producir un reciente grupo de accesos a los convertidores.

El prototipo del evaluador de posiciones debería introducir los lazos tanto de alta tensión como de baja tensión del convertidor o únicamente el de alta tensión usando el procedimiento descrito a continuación:

1. Considerando que el reemplazado de acceso al convertidor está ubicado en la zona de baja tensión del convertidor y se ubica en la muestra del evaluador, teniendo:

$$NT = VT \frac{V_{BM}}{V_{BE}} \quad (5.31)$$

Considerando NT como acceso nuevo, y VT como acceso viejo, V_{BM} la diferencia de potencial que se ha medido en la zona de baja del transformador y V_{BE} , la diferencia de potencial estipulada.

2. Considerando que el reemplazado de acceso está ubicado en la zona de baja tensión del convertidor y no se ubica en la muestra del evaluador, tenemos:

$$NT = \frac{V_{BM}}{V_{BC}} \quad (5.32)$$

Considerando V_{BC} la diferencia de potencial que se ha calculado en la zona de baja tensión del convertidor conforme es representado en la ilustración 22. Esta diferencia de potencial se obtiene a raíz de la diferencia de potencial estipulada, el acceso y los flujos de potencia estimadas, todo ellos de la zona de alta tensión.

Así, podría efectuarse el procedimiento pero se necesita lo siguiente:

- La variable graduada de la diferencia de potencial esté en la zona apropiada del convertidor
- Lo primero, si tenemos un acceso obsoleto es notoriamente distinto del dato numérico nuevo, la diferencia de potencial de la zona de baja tensión es captada como equívoca. No obstante, hasta en estos casos, la tensión que se

ha medido se usará para hallar un estado de acceso nuevo, cuando tengamos la diferencia de potencial en el interior de unos límites establecidos

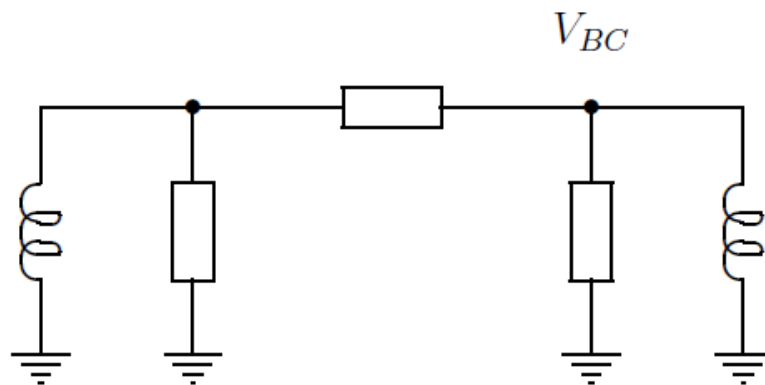


Figura 22. Modelo del transformador considerado

- En segunda lugar se necesita que en la zona de alta no halla inyecciones o si las hay que sean conocidas de forma que las corrientes de potencia de la zona de alta tensión se estipulen.

5.3 Procedimientos que incrementan el segmento de posición

Estos procedimientos introducen las variables dudosas en el segmento de posición de forma que fueran parámetros libres así que se resuelven las diferencias de potencial como los desajustes fasoriales de los lazos y también las variables.

Cuando ya se tiene incrementado el segmento de posición con las variables equívocas podría darse solución al conjunto de igualdades con dos maneras distintas:

- Con igualdades convencionales
- Con la hipótesis correspondiente al filtro Kalman

5.3. a Solución con ecuaciones convencionales

Los procedimientos que dan solución al método planteado con ecuaciones convencionales son los más intuitivos y sencillos de llevar a cabo.

Otro sistema presentado se encarga de ejecutar la evaluación de los accesos a los convertidores metiéndolas en el segmento de posición en forma de parámetros libres. Provocando un incremento de la cantidad de componentes correspondiente a la matriz jacobiana donde se meten número de filas verticales adicionales como componentes recientes se hayan metido en el segmento de estados y las componentes de estas filas verticales son las derivadas del segmento de variables graduadas entre los nuevos parámetros de estado:

$$H = \left[\begin{array}{c|c} & \\ \hline & \end{array} \right] \quad (5.33)$$

Suponiendo que existan variables graduadas que estén relacionadas a los accesos de los convertidores que se estipularán, se agregarán las del segmento de variables graduadas y en la matriz jacobiana como en la matriz de covarianzas de las variables graduadas mostrándose las filas nuevas como variables graduadas recientes que sean incorporadas al segmento de variables graduadas:

$$H = \left[\begin{array}{c|c} & \\ \hline & \\ \hline & \end{array} \right] \quad (5.34)$$

De forma inicial, las tomas de los transformadores se configuran como parámetros continuos, pasándose a obtener el mejor valor estipulado. De forma seguida, esta estimación se acerca al dato numérico del acceso más próximo, esto indica, que se transforma en ponderado y pasa a suprimirse el acceso al segmento de variables de posición. Para acabar, se obtiene solución de nuevo de las igualdades de posición con el dato numérico que está ponderado del acceso.

Este proceso podría solucionarse con un acceso o varios que sean equívocos de diferentes convertidores de manera simultánea.

Una distinción en relación al procedimiento sería con la singularidad de considerar que el incremento del segmento de posición se efectúa con la ampliación de los flujos energéticos y no con las variables erróneas. Así que lo estipulado serían dichas ampliaciones, pasando a resolver luego las variables equívocas.

Una nueva diferencia en relación al sistema sería en los que se estipulan la plenitud correspondiente a la matriz de admitancia de los lazos en modo polar.

Del mismo modo, el método que se describe en [4] es parecido pero adaptado a las variables del sistema.

Una nueva especie de procedimientos, planteados con el objetivo de efectuar la evaluación de variables firmes en estado *off-line*, trata de forma simultánea algunos modelos de variables graduadas de distintos momentos con el objetivo de agrandar la reiteración en torno a las variables dudosas. Los procedimientos están fundamentados en lo siguiente:

- La susceptancia se trata de la variable donde su fallo repercute mayormente en la estimación de medidas
- El efecto del error de la variable es local

También empleando en paralelo los diferentes modelos, la reiteración integral del conjunto podría conservarse si se incrementa el conjunto de modelos. Teniendo:

- m conjunto de variables graduadas
- n conjunto de parámetros de posición
- n_p conjunto de variables dudosas
- q conjunto de evaluaciones efectuadas a la misma vez

Si se utiliza una sola evaluación y el conjunto de variables dudosas es una únicamente, la reiteración sería:

$$K_1 = \frac{m}{n+1} \quad (5.35)$$

Si el conjunto de variables sospechosas se incrementan, siendo n_p , y queremos que la reiteración continúe siendo K_1 , solo hace falta tener el conjunto de evaluaciones ejecutadas a la vez cómo q, así que la redundancia pasará a ser:

$$K_q = \frac{m \cdot q}{n \cdot q + n_p} = \frac{m}{n + \frac{n_p}{q}} \quad (5.36)$$

Siendo $n_p = q$ y así tener que $K_1 = K_q$.

En estos procesos, al igual que en otros procesos cualquiera de la estimación de variables actuales, si el sistema se encuentra en estado crítico no se podrá estimar dicho sistema.

Si se usan q estados de forma simultánea para ejecutar la evaluación, el segmento de posición incrementado con las variables dudosas sería:

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_q | p]^t \quad (5.37)$$

Y el vector medidas:

$$z = [z_1, z_2, \dots, z_q]^t \quad (5.38)$$

Considerando x_i y z_i cómo los segmentos de posición y las variables graduadas del modelo i y p cómo el segmento de variables.

Conociendo alguna comunicación de forma anticipada en relación a las variables que serán estipuladas, algunos autores las introducen de la misma forma que las variables graduadas. No obstante, las variables estimadas se pueden ver afectadas de forma negativa por factores de importancia tomados al recoger estos datos.

Si queremos estudiar el provecho de sumar estos datos al término objetivo acaba transformándose:

$$J(x, p) = \sum_{i=1}^m w_i [z_i - h_i(x, p)]^2 + w_p (p - p_o)^2 \quad (5.39)$$

Aumentando el dato numérico disponible de la variable dudosa como si se considerara una medida extra y siendo p_o el valor que se conoce de la variable.

En esta ecuación está w_p , se trata del elemento de importancia que aparece con la atribución de un dato numérico acreditado de la variable. Un acuerdo clave es el dato numérico asignado a la medida supuesta que añadimos, en semejanza a los elementos de importancia correspondiente a las medidas teledirigidas w_i .

Si en el caso de atribuir a w_p un dato numérico bastante diminuto en comparación a w_i esto supondría apartar de forma íntegra la información disponible p_o , por lo tanto, el valor de la variable estimada $\hat{p}$ sería designado de forma exclusiva por las medidas teledirigidas que se encuentran útiles.

De forma contraria, usando un dato numérico de w_p bastante alto en comparación al de w_i , conseguiríamos una semejanza entre $\hat{p}$ y p_o de manera independiente de los datos numéricos de las medidas teledirigidas.

Podría corroborarse con la ilustración 23 dónde se representan las consecuencias que se han conseguido al evaluar la susceptancia correspondiente a la rama equívoca con la igualdad 5.39. El modelo mostrado se trata de la rama que junta el lazo 7 y el lazo 9 del sistema IEEE-14. La ilustración muestra la falta relativa de la variable estimada en comparación al cociente w_m/w_p , donde w_m se trata del dato numérico intermedio del conjunto de elementos de importancia w_i .

Las parábolas mostradas se han conseguido por medio de la suma de variables graduadas de categoría 1 teniendo una falta media del 3,23%, concediendo distintas faltas al dato numérico que se conoce de la variable p_o : $\pm 5\%$, $\pm 10\%$.

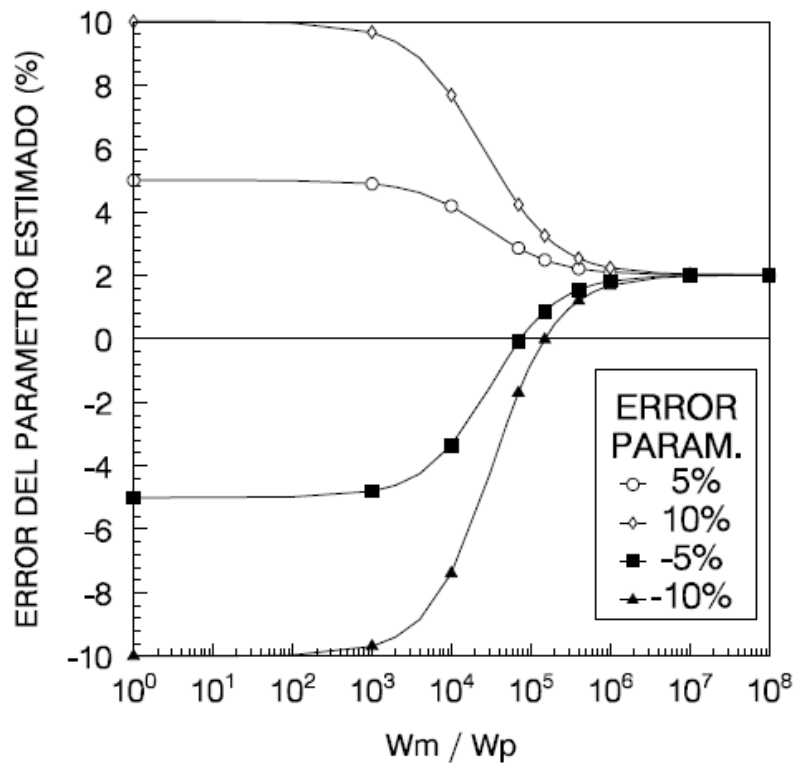


Figura 23. Fallo en la susceptancia evaluada de dicha rama que junta el lazo 7 y el lazo 9 del sistema IEEE-14 respecto a la importancia relativa de la variable.

En dicha ilustración se corrobora que:

- Si a w_p se le atribuye un valor muy diminuto en relación a w_m el valor de la variable estimada $\hat{p}$ se resuelve de forma exclusiva por las telemidas que se pueden usar
- Si a w_p se le atribuye un valor muy grande en relación a w_m se consigue un valor de $\hat{p}$ parecido al de p_o de forma independiente a los datos numéricos de las medidas teledirigidas.

Con la ilustración 22 suponemos que podrían aparecer dos contextos distintos:

- Suponiendo que la positividad/negatividad correspondiente al fallo ligado a p_o sería igual al de $\hat{p}$ en el momento que $w_p \approx 0$, esto pasa en las parábolas que aparecen arriba de la rama concreta, la solución óptima la conseguimos en el momento que $w_p = 0$, en la mayoría de los caso porque p_o no es más preciso que las telemidas, lo que no es razonable cuando se considera una variable graduada que es dudosa.
- Si la positividad/negatividad fueran distintas, esto ocurre en las parábolas de abajo, dónde hay un relativo dato numérico del elemento de importancia w_p por el que se estipula la variable precisa. No obstante, al no escoger este elemento eficaz, podría pasar que la variable estimada sea más deficiente que la que hubiéramos conseguido usando $w_p = 0$.

La figura 24 es parecida a la figura 23 pero para otra rama, en concreto a la rama que junta el nudo 10 y el nudo 11, y otro grupo de telemidas diferentes. En este caso la variable estimada en el momento que $w_p = 0$ se halla en el trozo inferior de la ilustración, consiguiendo semejantes resultados a las anteriores. Sólo encontramos

una diferencia en el momento que la figura 23 hace referencia al trozo de arriba de la imagen, en este caso la encontramos al revés.

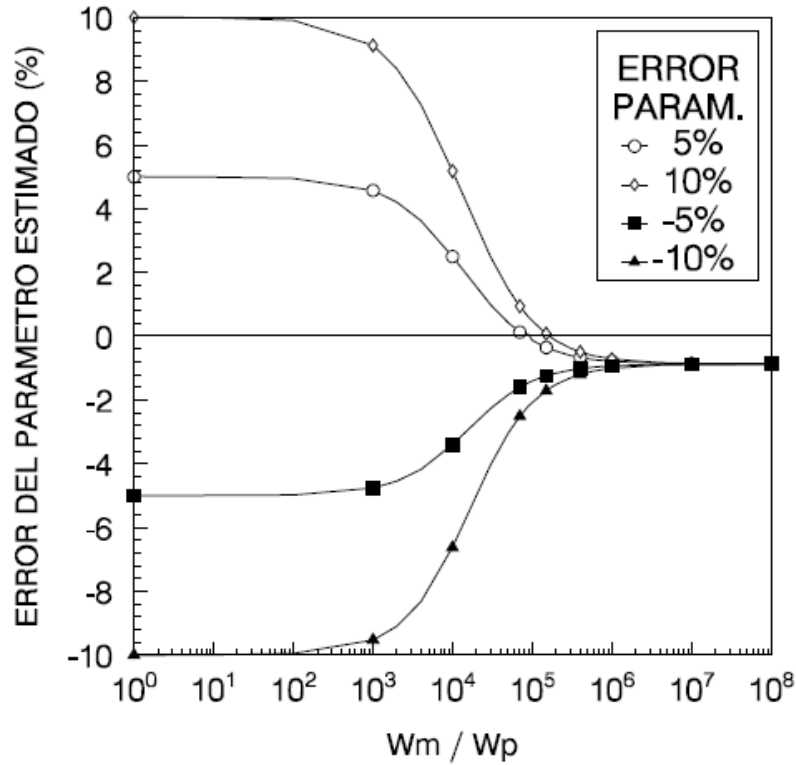


Figura 24. Fallo en la susceptancia evaluada de dicha rama que junta el lazo 10 y el lazo 11 del sistema IEEE-14 respecto a la importancia relativa de la variable.

Por lo tanto y ya que no se puede pronosticar el signo del fallo originado por la variable, no podría saberse el elemento de importancia eficaz w_p .

En el procedimiento expuesto por algunos autores, los segmentos de posición y las variables graduadas son las mostradas en la igualdad 5.37 y en la igualdad 5.38. Además, esta matriz jacobiana al sumarle las columnas nuevas que corresponde a las variables sospechosas y no sumarle ninguna fila complementaria como incorporación de la información que existe previamente sobre la variable:

$$\begin{bmatrix} H1 & \dots & \dots & h_{1p} \\ \vdots & H2 & \dots & h_{2p} \\ \dots & \dots & H_q & h_{qp} \end{bmatrix} \quad (5.40)$$

Remplazando en las igualdades simples de la evaluación de posición de la igualdad 2.13:

$$H^T W H \Delta_x = H^T(x) W \Delta_z \quad (5.41)$$

Se consigue que la matriz de ganancia G sea:

$$G = H^t W H = \begin{bmatrix} G_{11} & & & & g_{1p} \\ & G_{22} & & & g_{2p} \\ & & \ddots & & \vdots \\ & & & G_{qq} & g_{qp} \\ g_{1p}^t & g_{2p}^t & \cdots & g_{qp}^t & G_{pp} \end{bmatrix} \quad (5.42)$$

Considerando:

$$G_{ii} = H_i^t W_i H_i \quad (i = 1, 2, \dots, q) \quad (5.43)$$

$$g_{ip} = H_i^t W_i h_{ip} \quad (i = 1, 2, \dots, q) \quad (5.44)$$

$$G_{pp} = \sum_{i=1}^q h_{ip}^t W_i h_{ip} \quad (5.45)$$

El vector de términos independientes acaba:

$$H^t W \Delta_z = [b_1, b_2, \dots, b_q | b_p]^t \quad (5.46)$$

Siendo:

$$b_i = H_i^t W_i \Delta_{zi} \quad (i = 1, 2, \dots, q) \quad (5.47)$$

$$b_p = \sum_{i=1}^q h_{ip}^t W_i \Delta_{zi} \quad (5.48)$$

En cada proceso iterativo se necesita adaptar y factorizar la matriz de la igualdad 5.42 para el objetivo de conseguir la modificación del segmento de posición Δ_x . Esto en sistemas de grandes dimensiones sería imposible aun usando métodos de matrices esparcidas, sin embargo, el conjunto de variables estimadas es muy diminuto, se usará un procedimiento cuyo precio informático sería parecido al que necesitamos para dar solución a las posiciones libres y de forma secuencial.

Los puntos en que consiste el procedimiento planteado, fueron desarrollados y serían los siguientes:

1. Triangularización y supresión para delante. En todas y cada una de las agrupaciones diagonales ($i = 1, 2, \dots, q$):

a) Obtener:

$$\hat{h}_{ip} = W_i h_{ip} \quad (5.49)$$

$$\Delta_{zi} = W_i \Delta_{zi} \quad (5.50)$$

$$g_{ip} = H_i^t \hat{h}_{ip} \quad (5.51)$$

$$b_i = H_i^t \Delta_{zi} \quad (5.52)$$

b) Obtener G_{ii} además de calcular y_i y b_i' :

$$G_{ii} = H_i^t W_i H_i \quad (5.53)$$

$$G_{ii} y_i = g_{ip} \quad (5.54)$$

$$G_{ii} b_i' = b_i \quad (5.55)$$

c) Restaurar G_{pp} y b_p :

$$G_{pp} = G_{pp} + h_{ip}^t \hat{h}_{ip} - g_{ip}^t y_i \quad (5.56)$$

$$b_p = b_p + h_{ip}^t \Delta_{zi} - g_{ip}^t b_i' \quad (5.57)$$

2. Calcular Δ_p :

$$G_{pp} \Delta_p = b_p \quad (5.58)$$

3. Remplazamiento para detrás. En todas y cada una de las agrupaciones diagonales ($i = 1, 2, \dots, q$) conseguir Δ_{xi} :

$$\Delta_{xi} = b_i' - y_i \Delta_p \quad (5.59)$$

De esta manera, en el momento de conseguir Δ_p , podrían renovarse todos los parámetros del estado de manera independiente.

Con este procedimiento hay que detallar lo siguiente:

- Todas las columnas de h_{ip} son un segmento individualizado bastante esparcido, porque únicamente las variables graduadas próximas tienen derivadas en torno a p diferentes al valor nulo
- Los conjuntos diagonales G_{ii} son usados exclusivamente en 1.b), porque únicamente la matriz de ganancia corresponde a la misma posición que debería acopiarse en recuerdo de forma simultánea, así que el mismo área se usa de forma sucesiva para distintos estados.
- Si únicamente se estima una sola variable, h_{ip} sería un segmento de filas verticales y G_{pp} sería un vector escalar
- Considerando un perfil uniforme de diferencias de potencial y ángulos desfasados, en el primer proceso no es desarrollado la evaluación de variables, esto indica, que se toma el segmento de posición como que no es desarrollado por las variables dudosas y, de este modo, la matriz jacobiana no tiene gran cantidad de filas verticales extras h_{ip} y tampoco variables sospechosas en el primer proceso iterativo. Debido principalmente porque las filas verticales pasan a ser nulas debido al perfil uniforme de inicio. Por lo tanto, el procedimiento que usará después del primer proceso iterativo

Si suponemos que el conjunto de variables evaluadas es escaso, el costo excesivo de almacenamiento de información y el de rapidez de operación estaría provocado por las igualdades 5.49, 5.51, 5.54, 5.56, 5.57, 5.58 y 5.59 es bastante minúsculo comparado con el coste del proceso en cadena de los distintos estados, que viene señalado mayoritariamente por las ecuaciones 5.53, 5.54 y 5.55. El proceso es correcto si se usa el sistema completo o si se usa únicamente la zona del sistema que es importante, es decir, la que hay en torno a la variable sospechosa, lo que supone una notoria reducción del coste sin tener que reducir la calidad de la variable evaluada.

5.3. b Solución fundamentada en la hipótesis correspondiente al filtro Kalman

Los procesos de solución fundamentados en la hipótesis del filtro Kalman admiten usar una valoración recursiva dónde los datos que se tienen sobre el estado estimado se acoplan con las medidas para renovar la variable estimada.

En otro de los procesos expuestos se efectúa la evaluación de las variables correspondientes a las ramas de transferencia, admitancias cómo también acceso a los convertidores, desviaciones típicas correspondientes a fallos en las variables graduadas y sesgos en las mismas.

En cada modelo de tiempo k el vínculo que hay entre las medidas y los estados es:

$$z(k) = h(x(k), k, p) + v(k) \quad (5.60)$$

Habiéndose sometido h expresamente de k con el objetivo de manifestar las posibles modificaciones en el sistema en un instante a otro y tomando las variables firmes en el periodo transcurrido

Si queremos valorar el segmento de posición habrá que reducir al mínimo el término objetivo que es supuesto que sería:

$$J = \sum_{k=1}^m [z(k) - h(x(k), k, p)]^T W [z(k) - h(x(k), k, p)] \quad (5.61)$$

Si en el caso de tener datos del vector de variables p_o , dichos datos se pueden integrar al teorema tratándose de medidas que son supuestas:

$$p_o = p + e_p \quad (5.62)$$

Considerando e_p el segmento de fallo, la mediana nula y covarianza R_p . Teniendo esto, si es $R_p^{-1} = W_p$, el término objetivo es transformado en:

$$J_1 = (p - p_o)^T W_p (p - p_o) + J \quad (5.63)$$

La resolución al teorema propuesto se consigue con la solución mediante procesos iterativos de este algoritmo:

$$\begin{bmatrix} \hat{x}_k^{i+1}(k) \\ \hat{p}_k^{i+1}(k) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{x}_k^i(k) \\ \hat{p}_k^i(k) \end{bmatrix} + \Lambda^i(k) * \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \end{bmatrix} \quad (5.64)$$

Siendo $\hat{p}$ el vector de variables del sistema estimado e i el número de procesos iterativos:

$$\begin{aligned} A_1 &= H_x^T(k) W [z(k) - h(\hat{x}_k^i(k), k, \hat{p}_k^i(k))] \\ A_2 &= H_x^T(k) W [z(k) - h(\hat{x}_k^i(k), k, \hat{p}_k^i(k))] + W_{p,k-1} [\hat{p}_{k-1}^i(k-1) - \hat{p}_k^i(k)] \\ H_x(k) &= \frac{\partial h}{\partial x} \bigg|_{\hat{x}_k^i(k), k, \hat{p}_k^i(k)} \\ H_p(k) &= \frac{\partial h}{\partial p} \bigg|_{\hat{x}_k^i(k), k, \hat{p}_k^i(k)} \\ \Lambda^i(k) &= \begin{bmatrix} H_x^T(k) W H_x(k) & H_x^T(k) W H_p(k) \\ H_p^T(k) W H_x(k) & W_{p,k-1} + H_p^T(k) W H_p(k) \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} \Lambda_{xx}^i(k) & \Lambda_{xp}^i(k) \\ \Lambda_{px}^i(k) & \Lambda_{pp}^i(k) \end{bmatrix} \\ R_{p,k} &= \Lambda_{pp}(k) \end{aligned}$$

El guarismo está fundamentado por medio de la hipótesis del filtro Kalman, se trata de recursivo en la manera que el modelo de período k únicamente toma el segmento $z(k)$ ligado a los evaluados de las variables y a las covarianzas, renovadas anteriormente.

Un aumento del procedimiento descrito sería la técnica de forma simultánea de la totalidad de las medidas teledirigidas que están acumuladas en un espacio temporal que valora de forma conjunta las variables de estado y los parámetros, lo cual se estudia de forma real.

El caso expuesto por otro grupo de autores también sería recursivo y estaría fundamentado por el filtro Kalman consiguiendo su determinación. Meten varios cambios considerables en relación a los anteriores:

- Halla el teorema correspondiente a algunos subsistemas de pequeños tamaños y observables que tienen variables desconocidas
- Configura las variables como procesos de Markov como los parámetros de posición posibilitando la evaluación de variables que varían temporalmente

Debido a estas variaciones:

- Podría efectuarse una búsqueda de las variables del sistema que son modificadas de manera continua por las modificaciones en los contextos ambientales y de flujos
- La resolución no estaría dañada por modificaciones respecto al sistema ni tampoco por el estudio de las variables graduadas
- La solución sería más veloz al solucionar algunos inconvenientes de pequeño tamaño que no solo uno de un tamaño mayor
- No suponer que existen líneas sin faltas que podrían usarse dichas líneas previstas para la evaluación de distintas líneas equívocas
- Sería probable el aumento adaptativo de las zonas estudiadas de forma que sean evaluadas al inicio las líneas con una reiteración más grande de variables graduadas hasta instaurar sus variables y de forma continua se evalúan las demás, teniendo una reiteración menor

El guarismo de solución está fundamentado en el término de densidad probabilístico de las faltas en las variables estimadas en un período t_i , $f[p(t_i)]$, de los parámetros de posición, $f[x(t_i)]$ y las faltas en las variables graduadas gaussianas de mediana nula, así que, se podría suponer de la igualdad 2.3, el término de densidad probabilístico condicional $z(t_i)$ ligado a $x(t_i)$ y $p(t_i)$:

$$f[z(t_i)|x(t_i), p(t_i)] = (\sqrt{2 * \pi})^{-m} |W|^{\frac{1}{2}} e^{-\frac{1}{2}[z(t_i)-h(x(t_i), p(t_i))]^T W [z(t_i)-h(x(t_i), p(t_i))]} \quad (5.65)$$

De la proposición de Bayes, el término probabilístico de densidad junto a las variables y el estado fijado a las variables graduadas es directamente proporcional al resultado de los términos densidad, teniendo:

$$f[x(t_i), p(t_i)|z(t_1) \dots z(t_i)] = f[z(t_i)|x(t_i), p(t_i)]f[p(t_i)]f[x(t_i)] \quad (5.66)$$

El evaluado de probabilidad más grande se conseguirá al hallar el valor mayor del término probabilístico eventual y al ser este término gaussiano, es igual que si hallamos el exponente de valor mínimo de esta función, es decir:

$$\Phi[y(t_i)] = \frac{1}{2} [z(t_i) - h(x(t_i), p(t_i))]^T W [z(t_i) - h(x(t_i), p(t_i))] + \frac{1}{2} [y(t_i) - \bar{y}(t_i)]^T W_{xp} [y(t_i) - \bar{y}(t_i)] \quad (5.67)$$

Considerando:

$$y^T(t_i) = [x^T(t_i), p^T(t_i)] \quad (5.68)$$

El término que se necesita hallar el valor más pequeño sería:

$$\frac{\partial \Phi[y(t_i)]}{\partial y(t_i)} = -H[y(t_i)]^T W[z(t_i) - h(y(t_i))] + W_{xp}(t_i)[y(t_i) - \bar{y}(t_i)] = 0 \quad (5.69)$$

Dónde:

$$H[y(t_i)] = \frac{\partial h[y(t_i)]}{\partial y(t_i)} \quad (5.70)$$

La matriz $W_{xp}(t_i)$ sería la matriz inversa de covarianzas $y(t_i)$:

$$W_{xp}(t_i) = \begin{bmatrix} W_x(t_i) & 0 \\ 0 & W_p(t_i) \end{bmatrix} \quad (5.71)$$

Para pasar al resultado del método no lineal se usa el proceso de Newton:

$$C\Delta y(t_i) = H[y(t_i)^k]^T W[z(t_i) - h(y(t_i)^k)] - W_{xp}(t_i)[y(t_i)^k - \bar{y}(t_i)] \quad (5.72)$$

$$y(t_i)^{k+1} = y(t_i)^k + \Delta y(t_i) \quad (5.73)$$

Considerando:

$$C = H[y(t_i)^k]^T W H[y(t_i)^k] + W_{xp}(t_i) + Y[y(t_i)^k] \quad (5.74)$$

$$Y[y(t_i)^k] = -\sum_{j=1}^{m_p} \gamma_i[y(t_i)] \frac{\partial^2 h_j[y(t_i)]}{\partial y(t_i)^2} \bigg|_{y(t_i) = y(t_i)^k} \quad (5.75)$$

$$\gamma_i[y(t_i)] = \frac{z_j(t_i) - h_j[y(t_i)]}{R_{jj}} \quad (5.76)$$

Dónde j es una nomenclatura de las variables y m_p sería el conjunto de variables.

Para realizar la evaluación de las variables del sistema se fracciona en subsistemas de menor tamaño o subredes específicas dónde todos los procesos iterativos dan solución a las igualdades 5.72 hasta las 5.76 factorizando triangularmente la matriz C . Todos los subsistemas son diminutos trozos del sistema combinados de algunas líneas con la cantidad necesaria de variables graduadas que garantiza la observabilidad del sistema.

El procedimiento presentado estaría extendido para un evaluador de variables adaptable, dónde se empezaría por unas líneas que tienen bastantes medidas teledirigidas. Cuando se haya instaurado la impedancia en las líneas, se usarán para ampliar la evaluación de variables a las líneas dónde se encuentran menos medidas teledirigidas. La posterior solución tendrá todas las líneas de la red con telemedidas apropiadas, descartando únicamente las que no se puede efectuar una evaluación segura de la variable.

Los procedimientos expuestos se fundamentan además en dar solución por el filtro Kalman y expandir el segmento de posición con aquellas variables que facilitan un dato numérico alto en los excedentes o en la tesis de afectividad estatal [5].

5.4 Debate

De la totalidad de procedimientos que sugieren guarismos que efectúan la evaluación de variables, pudiendo ser ramas o entrada a transformadores, únicamente en algunos se referencia el fallos de las medidas, por lo que los datos obtenidos que se exponen en otros libros que estudian este inconveniente no presentan autenticidad plena porque el fallos de las medidas repercute bastante.

Así si una variable tiene un fallo de un 10% en relación al valor preciso de dicha variable y con uno de los algoritmos planteados se consigue una variable estimada con un fallo de un 2% en relación al valor preciso, esto no da ningún dato sobre si el procedimiento es correcto o no. Se necesitar saber además el fallo en las medidas teledirigidas efectuadas.

En el caso que las medidas teledirigidas no presenten fallo, el guarismo usado que consigue la variable estimada con el que obtenemos una discrepancia del 2% en relación al dato numérico preciso no sería óptimo, habría que conseguir un resultado numérico menor al 1%. No obstante, si las medidas teledirigidas presentan un fallo en torno al 2% podría tomarse como óptimo el guarismo usado. Esto cuando haya una reiteración adecuada, si no los datos finales que obtenemos son peores.

En relación a los procedimientos se puede decir que los que incrementan el vector de estado han adelantado de forma clara a los fundamentados en la tesis de excedentes de receptibilidad. Sin embargo, estas instrucciones se necesitan para reconocer líneas dudosas. Además sería lógico el uso de varios modelos de variables graduadas en distintos periodos de tiempo, de forma secuencial o simultáneamente, facilite una estructura más compacta de renovar de forma continua la central de datos [27].

No obstante, no está nítido que en todos los supuestos fuera preferible utilizar un guarismo de filtro recursivo o la representación general de igualdades simples. Podría declararse al filtro Kalman cómo más conveniente utilizarlo para evaluar variables que cambian con el transcurso temporal, por otro lado la sencillez del proceso correspondiente a mínimos cuadrados sería de más interés por el hecho de evaluar variables contantes con el paso del tiempo.

Cualquier procedimiento, sin tener en cuenta la destreza usada, requiere de una redundancia mínima de medidas locales, siendo el peso de las variables graduadas correspondiente a flujos energéticos normalmente importantes y por otro lado las inyecciones son menos importantes a nivel general.

Otra cuestión discutida sería si hay que evaluar únicamente unas mínimas variables que son elegidas o si el método de estimación se debe ir ampliando de forma adaptativa hasta meter la totalidad de las líneas del sistema que presente una

reiteración óptima. Para cualquier reiteración concreta las faltas de las variables estimadas serían directamente proporcionales al fallo medio de las variables graduadas, al tener variables graduadas bastante precisas, los datos numéricos de las variables estimadas sean posiblemente de mayor calidad que las que se tenían en la central de datos. No obstante, lo contrario también puede pasar, es decir, que una variable óptima sea renovada con un dato numérico de menor precisión que si la evaluación sea efectuada con variables graduadas de menor precisión. Así que, habrá que considerar dicho peligro cuando se escoja las variables que van a ser estimadas.

Si suponemos que hay faltas no gaussianas durante un periodo de tiempo prolongado en las zonas cercanas de las líneas que son estimadas y no se localicen, las variables estimadas serán de poca precisión de forma independiente al proceso usado.

Lo que respecta a facilidad de instalar los procesamientos de evaluación de variables en los evaluadores de estados que existen, los procedimientos fundamentados en los análisis de excedentes de receptibilidad podrían introducirse al final del método de evaluación de posiciones sin considerar cambios ningunos de los hábitos importantes que forman el evaluador. Dentro de las diferentes metodologías que agrandan el segmento de posición, las fundamentadas en las igualdades convencionales se tratan más fáciles de extender que las fundamentadas por el filtro Kalman y únicamente necesitarían pequeños cambios en la compilación informática que existe.

Cuando los datos que tenemos sobre el valor de la variable no son incorporados al prototipo tratándose de una variable graduada que es aditiva, la matriz jacobiana podría estar condicionada de manera errónea al principio, así que si queremos eludir el inconveniente potencial el segmento de posición debería estar expandido tras el primer proceso iterativo.

Para acabar, en el capítulo anterior se hace referencia de las virtudes y defectos de la estimación en modo *off-line* y en modo *on-line*. Se hizo hincapié en que la evaluación correspondiente a entradas a los convertidores sería un procesamiento *on-line*, por lo contrario en la evaluación de variables que normalmente persisten invariantes en el paso temporal, por ejemplo capacitancias o inductancias, es un transcurso que podría efectuarse de forma más adecuada de una forma *off-line*. Otra cosa a tener en cuenta, las variaciones en la resistencia de la rama provocada por variaciones caloríficas que podrían considerarse importantes, no obstante, las faltas que repercuten a esta variable presentan una trascendencia menor al efectuar la evaluación de posiciones. Si queremos enlazar la oposición eléctrica que se modifica con el transcurso del tiempo y el dato numérico que es continuo y corresponde a la temperatura de referencia, sólo haría falta inspeccionar cada grupo de medidas a la vez que recogen los valores de las temperaturas que existen.

5.5 Resumen

En este capítulo se ha llevado a cabo la exposición precisa de los métodos que existen.

En el punto 2 hemos expuesto las técnicas que no incrementan el segmento de posición. Fundamentados en la solución del estudio de excedentes.

De forma seguida, el punto 3 estudia las técnicas que incrementan el segmento de posición con las variables equívocas tratándolas como parámetros libres, así que se computan las diferencias de potencial y las diferencias fasoriales de los distintos lazos como las variables. Los procesos dan solución al sistema de ecuaciones que se plantea de dos maneras distintas:

- Con ecuaciones convencionales
- Con la hipótesis del filtro de Kalman

En el apartado 5.3. a se ha estudiado también la causa de introducir o no los datos que existen de forma previa sobre la variable. Se ha conseguido que, dependiendo de la componente de peso que se le atribuye a la variable que se va a estimar, los datos conseguidos al tener en cuenta los datos informativos previos pueden ser más óptimos o no que los conseguidos al no considerar dicha información previa.

Luego se han debatido los distintos procedimientos propuestos en los artículos que relación este tema, resumiendo los inconvenientes que se presentan.

5.6 Bibliografía

[1] Allam M., Laughton M., "Un algoritmo general para estimar las variables del sistema de potencia y los parámetros de la red". IEEE Reunión veraniega PES 1974.

[2] Allam M., Laughton M., "Algoritmos estáticos y dinámicos para la estimación de variables y parámetros del sistema de potencia". Quinta reunión de conferencias del sistema computacional de potencia.

[3] Arafeh S., Schinzinger R., "Algoritmos de estimación para sistemas energéticos a gran escala". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia, Vol. PAS-98.

[4] Clements K., Denison O., Ringlee R., "Los efectos de la no simultaneidad de medición, sesgo e incertidumbre de los parámetros en la estimación de estado del sistema de potencia". Reunión de congresos PICA.

[5] Clements K., Ringlee R., "Tratamiento de la incertidumbre de parámetros en la estimación de estado del sistema de potencia". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.

[6] Debs A., "Estimación de los parámetros del modelo del sistema de potencia en estado estacionario". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.

[7] Debs A., Litzenberger W., "El proyecto del estimador estatal BPA: ajuste del modelo de red". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia, Artículo A 75 448-1, Julio 1975.

[8] Fletcher D., Stadlin W., "Estimación de la posición de la toma del transformador". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.

[9] Handschin E., Schweppe F., Kohlas J., Fiechter A., "Análisis de datos incorrectos para la estimación de estado del sistema de potencia". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.

[10] Handschin E., Kliokys E., "Estimación de la posición de toma del transformador y detección de datos incorrectos mediante modelado dinámico de señales". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.

[11] Liu W., Wu F., Lun S., "Estimación de errores de los parámetros residuales de medición en la estimación de estado".

- [12] Liu W., Lim S., "Identificación y estimación de error de los parámetros en la estimación del estado del sistema de potencia". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [13] Mili L., Van Cutsem T., Ribbens-Pavella M., "Identificación de las pruebas de hipótesis: un nuevo método para el análisis de datos erróneos en la estimación del estado del sistema eléctrico". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [14] Mukherjee B., Fuerst G., "Experiencia de campo de la toma de transformadores". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [15] Quintana V., Van Cutsem T., "Procesamiento en tiempo real de las posiciones de tomas de un transformador". Diario canadiense de ingeniería eléctrica.
- [16] Quintana V., Van Cutsem T., "Estimación de parámetros de red del estado del sistema de alimentación". Aplicaciones y métodos óptimos de control.
- [17] Reig A., Álvarez C., "Técnicas de estimación de parámetros fuera de línea para el ajuste de datos del modelo de red".
- [18] Slutsker I., Mokhtari S., Clements K., "Estimación de parámetros en línea en sistemas de gestión energética". Conferencia de potencia americana.
- [19] Slutsker I., Mokhtari S., "Estimación integral en sistemas de potencia: estado, topología y estimación de parámetros". Conferencia de potencia americana.
- [20] Slutsker I., Clements K., "Estimación de parámetros recursivos en tiempo real en sistemas de gestión energética". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [21] Smith R., "Transformador de la estimación de aprovechamiento en Florida Power Corporation". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [22] Stuart T., Herget C., "Un análisis de sensibilidad de la estimación de estado de mínimos cuadrados ponderado para sistemas de potencia". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [23] Teixeira P., Brammer S., Merritt W., Salmonsén J., "Estimación estatal de los ajustes de toma del transformador de voltaje y de cambio de fase". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [24] Van Cutsem T., Quintana V., "Estimación de parámetros de red utilizando datos en línea aplicados a la estimación de la posición de toma de transformador". Reuniones IEEE.
- [25] Zarco P., Gómez A., "Determinación fuera de línea de parámetros de red en la estimación de estado". Duodécima Reunión de congresos del sistema computacional de potencia..
- [26] Zarco P., Gómez A., "Estimación del sistema eléctrico: una encuesta". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia, Artículo PE-330-PWRS-0-12-1998.

6 Capítulo: Datos finales de la evaluación de posiciones y la estimación de variables

6.1 Introducción

Este apartado expondrá los diferentes datos finales que se han conseguido usando el proceso de evaluación de variables y de posición expuesto, solucionado de forma numérica con el proceso de mínimos cuadrados equilibrado. Debido a que se trata del proceso expuesto por estos publicistas y del que se tienen un número de datos finales empíricos bastante grande.

Hay que tener consideración que en este método se amplía el vector de estado con las variables sospechosas y se tratan modelos de distintos tiempos de forma simultánea así que el teorema disminuye a solucionar algunos teoremas de evaluación de posición juntos. Así se valoran la posición y las variables dudosas a la vez.

Así que, los resultados empíricos mostrados en las gráficas son correctos para la evaluación de posiciones y también para las variables, considerando los datos finales que hemos conseguido en el momento que la falta en la variable es nula en tanto por ciento los obtenidos al efectuar solamente la evaluación de posiciones. La totalidad de los datos que se muestran en las propias ilustraciones con la finalidad de que se contemple la gran afinidad que se tienen la estimación de estado y las de variables.

Según los datos que se tienen en el punto 4.5, la estimación de variables tiene una naturaleza específica, así que se tomará el sistema IEEE-14 considerándola un subsistema donde se halla las variables erróneas y, por lo tanto, es ella la que se va a usar para enseñar los resultados empíricos conseguidos.

De la misma forma, los datos finales expuestos fueron conseguidos considerando que la falta se halla por medio de la susceptancia de dicha rama examinada, porque cómo vimos en el punto 3.5, el efecto de fallo en la susceptancia sería bastante superior que en el momento que aparece el fallo de conductancia, también no existiría modificación en el periodo temporal, suponiendo el fundamento del procedimiento expuesto.

En el apartado 3 se llevó a cabo con el objetivo de considerar importantes los datos conseguidos desde un punto de vista estadístico, cada muestra individual muestra el dato numérico mediano de la realización de 60 evaluaciones de posición distintas. También, y salvo que se señale de forma expresa, se usará una reiteración plena de las variables graduadas, esto quiere decir que cada posición tiene 122 variables graduadas diferentes.

Estas posiciones diferenciadas fueron logradas, como ya se mencionó en el punto 3.1, con 1800 posiciones diferentes y precisas, no conocidas, las cuales se les ha sumado faltas gaussianas que representen de forma real la posición de la red.

Para concluir, si queremos determinar los datos finales conseguidos se usa mayoritariamente la categoría de aparatos de variables graduadas, como también la falta media relativa de las variables graduadas que están dañadas en las 60 evaluaciones. También, la lista comparativa adoptada es la falta media relativa de las variables graduadas que son evaluadas.

6.2 Evaluación correspondiente a admitancias/impedancias

La evaluación de susceptancia equívoca podría efectuarse considerándola como admitancia o impedancia. Si se considera admitancia tendría una serie de ventajas:

- Procedimiento más pequeño, porque las igualdades son usadas como admitancias
- No hay distinciones, como por ejemplo pasa al tomar una rama dividida

También, con el dato numérico de la variable estimada conseguida al efectuar la estimación como admitancia o impedancia es igual tras una gran cantidad de verificaciones efectuadas, se va a efectuar la estimación considerando la admitancia como la variable errónea en vez de impedancia.

6.3 Efecto de la cantidad de modelos usados

El procedimiento usado para la evaluación de variables se fundamenta en el uso de resultados históricos de variables graduadas y utiliza la variable que no cambia con el paso del tiempo para efectuar su estimación utilizando algunos modelos de estados distintos por los que cruza el sistema durante el día.

Por lo tanto, es fundamental conocer cuál es el número correcto, si existe, de estados que hay que usar de forma simultánea para efectuar la estimación. Para estudiar esto, en la siguiente ilustración se muestra el factor entre el fallo medio de las telemidas y el fallo de la variable estimada en el momento en el que el conjunto de posiciones distintas que son usados cambia de 1 a 25 estados. Cada punto muestra la mediana correspondiente a las 60 pruebas distintas con una reiteración plena de las variables graduadas, tomando las de categoría 1 y habiendo un fallo de la variable del 10%.

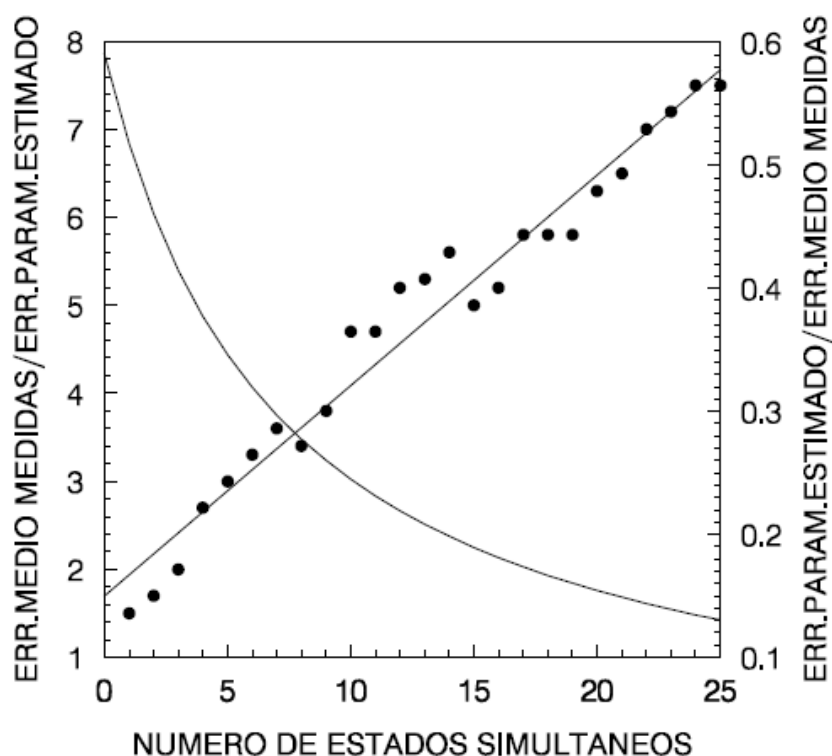


Figura 25. Vinculación que existe entre el fallo de las medidas y el fallo de la variable estimada contra el número de estados tratados de manera simultánea.

Número de estados	Error parám. (%)	Errores medidas est.(%)		Errores medidas (%)	
		Todas	Adyacentes	Todas	Adyacentes
1	0	1.27	1.26	2.7	2.8
	10	1.27	1.26		
	25	1.27	1.26		
7	0	1.31	1.26	2.9	2.8
	10	1.31	1.26		
	25	1.31	1.26		

Tabla 3. Efecto del fallo en la susceptancia de dicha rama en relación a las variables graduadas en el momento que se evalúa la variable.

El ratio usado en esta ilustración facilita una cuantificación de la habilidad del evaluador para evaluar una variable del sistema, pudiéndose contemplar que a raíz que se incrementa la cantidad de estados tratados de forma simultanea la estimación efectuada es mejor. Para poder considerar de una mejor manera estos resultados, se representa la línea rectilínea de retroceso conseguida con los elementos indicados, contemplándose que los datos finales que hemos conseguidos continúan una relación rectilínea, así que al tener más conjunto de posiciones tratadas de forma simultanea menor es el error de la variable estimada.

También, en la misma ilustración se ha mostrado la curva de regresión a la inversa, esto quiere decir, la división entre el fallo de la variable estimada y la falta media de las variables graduadas, obteniendo una curva. La hipérbola representa a medida que se incrementa el conjunto de evaluaciones usadas de forma simultánea la mejora conseguida es pequeña, mostrándose también que en la frontera el fallo de la variable estimada es cero.

De forma seguida, en la tabla 3 se representa el efecto de distintos fallos en la susceptancia de una rama cuando se usan en la estimación de la variable uno y siete estados distintos de forma simultánea y las variables graduadas serían de categoría 1; es representado el efecto en las variables graduadas de todo el sistema y también en las variables graduadas próximas a la línea, señalándose también el fallo de las variables graduadas que son usadas. Se desarrolla el método de 7 posiciones distintas de forma simultánea por valorar que la estimación conseguida con ellos es razonablemente óptima, teniendo en cuenta a la hipérbola mostrada en la figura 25.

En la tabla 3 se puede ver también que los estados evaluados son insensibles a los fallos en las variables, lo que es igual, el fallo en las medidas estimadas cuando hay un fallo del 25% en la variable es igual que cuando no existe este error.

6.4 Vínculo con el nivel de fallo en las medidas

En este punto se va a estudiar el efecto que presenta el grado de fallo en las variables graduadas, elaborándose este estudio exclusivamente en relación a las variables graduadas que son limítrofes a esta rama y que posee la variable equívoca porque teniendo en cuenta la finalidad conseguidas en el punto 3.3, el efecto de la falta en la variable es bastante mayor en las variables graduadas que son limítrofes a dicha rama dudosa, reduciéndose a raíz que incrementa la longitud.

Por esto, en la figura 25 y figura 26 se muestra el efecto de un fallo de un 10% en la susceptancia de una rama cuando se usan en la estimación uno y siete estados distintos de forma simultánea, las variables graduadas de la red son de categoría 0, 1, 3 y 5 y estudiando únicamente el efecto sobre las medidas limítrofes a la rama dudosa.

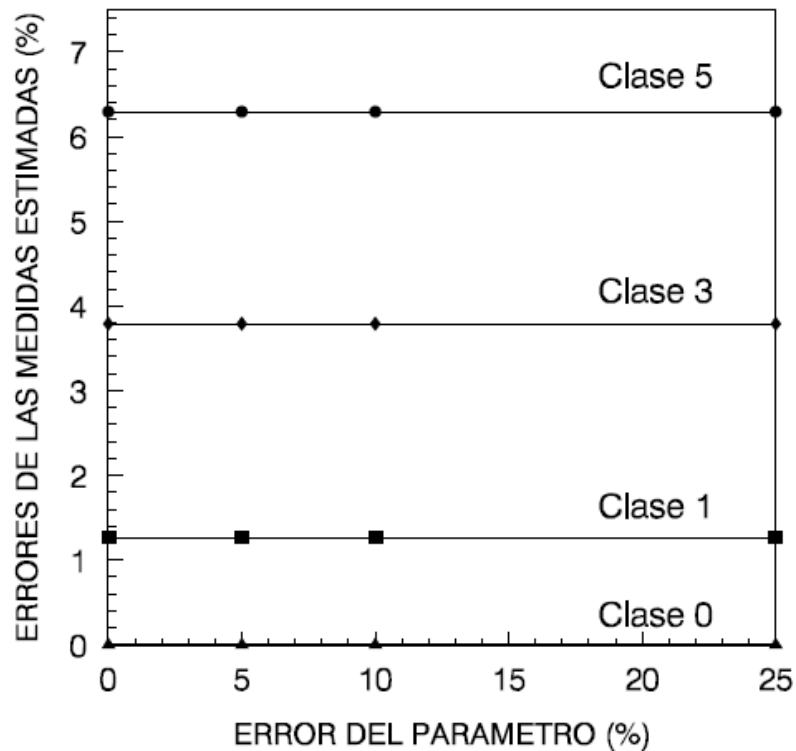


Figura 26. Efecto del fallo en la susceptancia de dicha rama en relación a las variables graduadas que son limítrofes, con diferentes categorías, en el momento de resolver una posición.

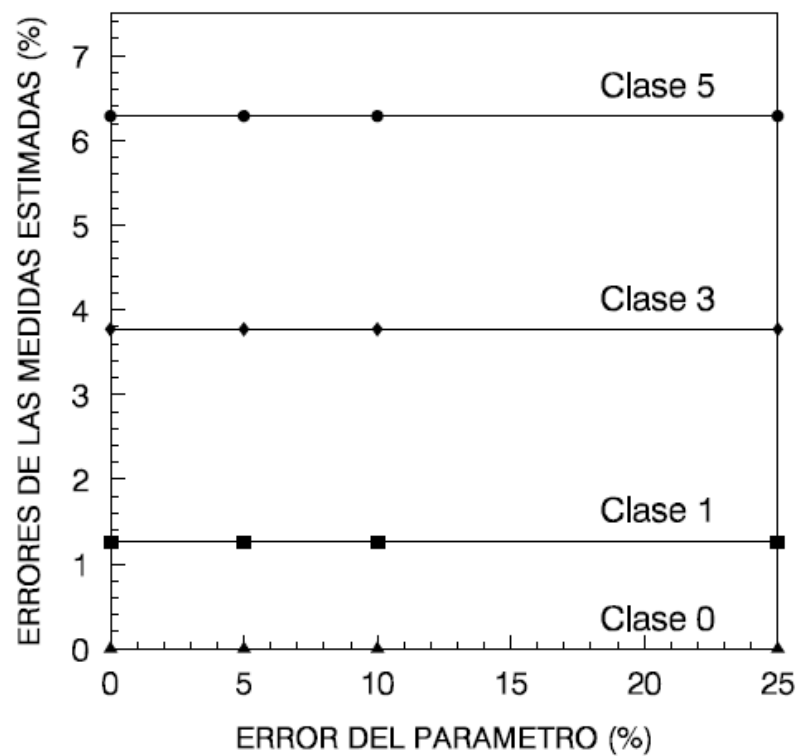


Figura 27. Efecto del fallo en la susceptancia de dicha rama en relación a las variables graduadas que son limítrofes, con diferentes categorías, en el momento de resolver 7 posiciones de forma simultánea.

La conclusión que se puede conseguir de estas ilustraciones es la misma que se consiguió en el punto anterior, esto indica, que las posiciones evaluadas se muestran indiferentes a las faltas en las variables y ello de forma independiente del grado de falta de las medidas teledirigidas. También, al incrementar los fallos de las variables graduadas obtenidas, los fallos de los datos numéricos que obtenemos una vez evaluados son a su vez más grandes.

Con el objetivo de considerar más nítidamente la influencia provechosa que la estimación aporta, la figura 28 representa el efecto sobre las variables graduadas que son limítrofes, para diferentes grados de fallos en las variables graduadas, en el momento en que únicamente hay falta en concepto de susceptancia de dicha rama:

- Sin evaluar la variable equívoca (trazo intermitente)
- Evaluando la variable equívoca usando siete estados de forma simultanea (línea continua)

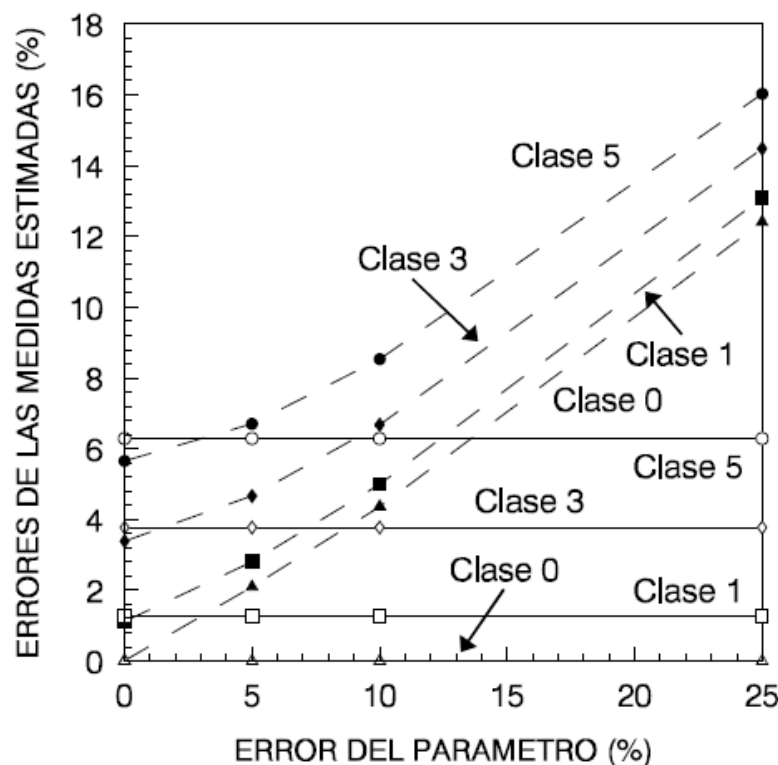


Figura 28. Efecto del fallo en la susceptancia de dicha rama en relación a las variables graduadas que son limítrofes, con diferentes categorías, en el momento que (a): no es producida la evaluación de variables; (b): se evalúa con 7 posiciones de forma simultánea.

En las figuras muestra la mediana correspondiente a la realización de 60 evaluaciones de posición.

Clase	Error medidas usadas sin est. parámetro	Error medidas usadas estimando parámetro
5	11.1	14.2
3	6.7	8.5
1	2.2	2.8
0	0.0	0.0

Tabla 4. Fallos de las medida limítrofes usadas sin estimar variables y estimándolo.

Núm. estados	(a)	(b)	(a/b)
7	14.26	3.27	4.4
	8.56	1.95	4.4
	2.85	.65	4.4
4	14.20	4.38	3.2
	8.52	2.65	3.2
	2.84	.90	3.2
1	13.53	8.73	1.5
	8.10	5.27	1.5
	2.70	1.70	1.6

Tabla 5. Fallos de las variables estimadas para distintos grados de fallos en las variables graduadas y reiteración plena. (a): Media de las falta en las medidas teledirigidas (%); (b) Fallo de la variable estimada (%).

Hay que apreciar en esta tabla que la no concurrencia de datos numéricos en el momento en la que la falta en la variable es del 0% sería porque los fallos en las variables graduadas utilizadas en el momento que no se evalúa la variable y en el momento que sí se evalúa son diferentes, cómo se aprecia en la lista 4. Sería normal porque en el momento que no se evalúa la variable se usan 60 posiciones diferentes como se indicó anteriormente, no obstante en el momento que sí se evalúa, el conjunto de posiciones usadas sería 7 veces más grande, porque para en cada evaluación de la variable se utilizan 7 posiciones diferentes.

Para acabar, la lista 5 muestra el fallo de la variable estimada y la correlación entre el fallo medio de las telemedidas y el fallo de la variable estimada, esto con distintos grados de fallos en las variables graduadas, diferente conjunto de posiciones usadas de forma simultánea y redundancia plena.

De las reseñas expuestas en dicha lista podría decirse que:

- El fallo de la variable estimada sería proporcional a la falta media correspondiente al grupo de variables graduadas. De esta manera, al tomar los datos conseguidos en el momento que se hace la evaluación usando 7 posiciones de forma simultánea, la correlación que hay con la falta media de

las medidas teledirigidas, divididas con los resultados de la fila vertical (a), sería casi la misma a la existente entre las faltas de la variable estimada, divididas con los resultados de la fila vertical (b)

Datos finales idénticos se consiguen al estudiar los datos numéricos conseguidos en el momento que se efectúa la evaluación usando 4 posiciones de forma simultánea y 1.

- El ratio usado, vincula la falta media de las variables graduadas y la falta de la variable evaluada, únicamente sería función de la cota de reiteración de las medidas teledirigidas, a considerar por el modelo de la fila vertical derecha con idéntico conjunto de posiciones

6.5 Efecto del carácter de variables graduadas que se utilizan

Anteriormente en 3.6 hemos estudiado el efecto que adquirirían el carácter de las variables graduadas que se utilizan y las faltas en las variables en relación a la evaluación de posiciones, concluyendo a decir que en el momento que se tiene medidas de flujos de potencia, el efecto correspondiente a la variable errónea es más grande que cuando hay variables graduadas correspondiente a inyecciones, considerando el efecto casi nulo en el último hecho mencionado.

Este punto representará los datos finales empíricos que hemos conseguido al efectuar la evaluación en el momento que se tienen diferentes tipos de variables graduadas. De esta manera, en la tabla 6 junto en la tabla 7 se representan los datos conseguidos al efectuar la estimación de variables cuando se tiene solamente variables graduadas de diferencias de potencial e inyecciones de flujos energéticos y en el momento que se tiene medidas de diferencias de potencial y flujos energéticos. En los dos supuestos con diferentes grados de fallos en las variables graduadas y en el momento que se usan 7 posiciones de forma simultánea para efectuar la evaluación.

De estas listas podría conseguirse como terminación que se consiguen datos finales bastantes buenos de manera independiente del fallo que se tenga en la variable de la rama sospechosa.

También, analizando exhaustivamente en las dos tablas la columna de fallos en las variables graduadas y en las variables graduadas que han sido estimadas se podría apreciar que la evaluación conseguida en el momento que hay variables graduadas de flujos sería superior a la conseguida en el momento que hay solamente medidas de inyecciones.

Clase	Error parám. (%)	Errores medidas estimadas (%)	Errores medidas utilizadas (%)
0	0	0.0	0.0
	10	0.0	
	25	0.0	
1	0	1.69	1.78
	10	1.69	
	25	1.69	
3	0	5.08	5.34
	10	5.08	
	25	5.08	
5	0	8.46	8.90
	10	8.46	
	25	8.46	

Tabla 6. Efecto del fallo en la susceptancia de dicha rama en el momento que únicamente se tiene las medidas de diferencias de potencial e inyecciones y son evaluadas en dicha variable.

Clase	Error parám. (%)	Errores medidas estimadas (%)	Errores medidas utilizadas (%)
0	0	0.0	0.0
	10	0.0	
	25	0.0	
1	0	1.64	2.95
	10	1.64	
	25	1.64	
3	0	4.93	8.37
	10	4.93	
	25	4.93	
5	0	8.22	14.73
	10	8.22	
	25	8.22	

Tabla 7. Efecto del fallo en la susceptancia de dicha rama en el momento que únicamente se tiene las medidas de diferencias de potencial y flujos y son evaluadas en dicha variable.

También es bueno saber qué datos se consiguen de la estimación en relación al número de modelos usados, tal y como se analizó en el punto 3, pero ahora desde el punto de mira de medidas que se pueden utilizar. Para ello en la figura 29 se muestra

la división entre el fallo medio de las medidas utilizadas y el fallo de la variable estimada en el momento que el conjunto de posiciones distintas que son usadas cambia comenzando en 1 y acabando en 25, como ya se realizó anteriormente en ilustración 25, no obstante sumando también las parábolas pertenecientes al momento que se tiene medidas de diferencias de potencial e inyecciones y en el momento que se tiene medidas de tensiones y corrientes de potencia.

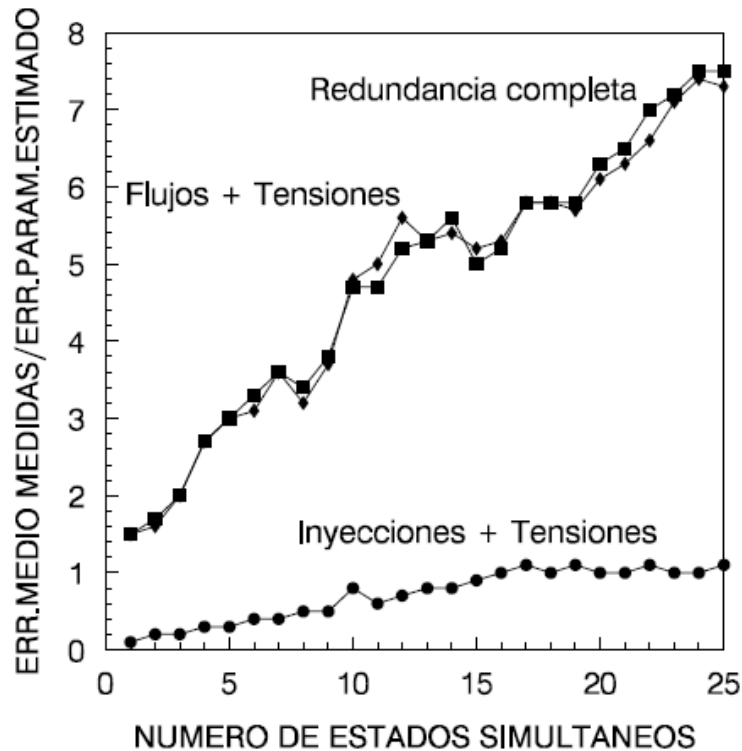


Figura 29. Mediana de la falta de las variables graduadas/Fallo de la variable estimada contra el conjunto de estados procesados de forma simultánea con distinta redundancia.

Las tres curvas se han mostrado en la misma ilustración para poder poner examinar de forma más nítida su efecto, pudiéndose decir que:

- A raíz que se amplía el conjunto de estados procesados de forma simultánea la estimación que se efectúa es mejor
- Las variables graduadas de inyecciones energéticas no serían las mejores para efectuar una optimación notable, como se vio en el capítulo 3 estas medidas son menos sensibles a los fallos en las variables que en las medidas de flujos. También, esta se puede afirmar de forma completa en la tabla 6 y tabla 7

6.6 Estimación de algunos parámetros de forma simultánea

Hasta el momento siempre se ha debatido sobre el efecto tan dañino que tiene los fallos en las variables sobre la estimación de estado. No obstante, este efecto únicamente se ha reflejado cuando había una única rama equívoca. También, los resultados empíricos conseguidos corresponden a una sola variable equívoca.

En este punto se va a enseñar lo que sucede cuando hay más de una variable errónea y los resultados empíricos conseguidos.

Específicamente, las ilustraciones que se exponen han sido analizadas, del mismo modo que el excedente que fue representado precedentemente, para diferentes grados de faltas en las variables graduadas, distintos fallos en las variables y simbolizando cada error la mediana correspondiente a 60 muestras efectuadas con la finalidad de tener un modelo que sea característico de forma estadística. También, en cada uno de los ensayos, se han escogido cinco ramas diferentes y elegidas al azar con un generador de números al azar. Así que, al tomar que son cinco las ramas equívocas que se poseen y realizarse la prueba en el sistema IEEE-14, dónde se tiene 20 ramas en su totalidad, estimamos que en torno al 25% del sistema completo es equívoco, así que lo consideramos una situación muy adversa, porque las ramas equívocas están localizadas bastantes próximas entre sí.

Si en el caso de haber usado el sistema IEEE-118, escogiendo al azar cinco ramas, lo más lógico es que estuvieran lejanas las unas de las otras y sus fallos sean independientes de una rama a otra, esto no podría pasar en IEEE-14.

La ilustración 30 muestra el efecto de las faltas correspondientes a las susceptancias en 5 ramas en las variables graduadas de todo el sistema en el momento que las variables no son evaluadas.

Los resultados que conseguimos de esta ilustración son semejantes a las conseguidas en el capítulo 3 cuando se estudió el efecto de una sola rama errónea, es decir:

- Existe un considerable daño a raíz que el fallo en la variable se incrementa
- Cuanto más precisas sean las medidas que se tenga, será más grande el efecto que tiene los fallos en las variables

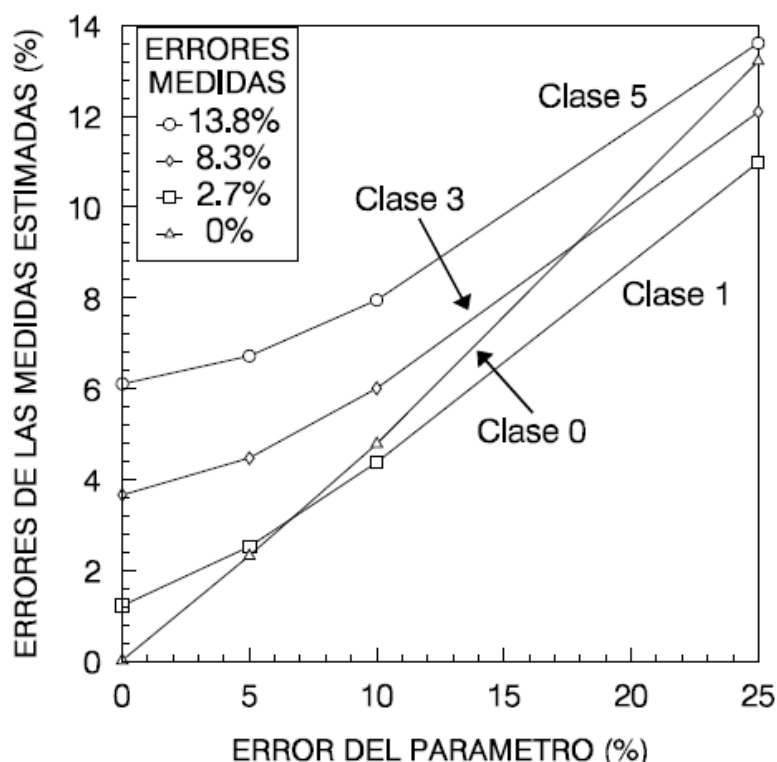


Figura 30. Efecto del fallo en susceptancia correspondiente a 5 ramas sobre las variables graduadas de todo el sistema, con diferentes categorías.

De forma específica, es de mencionar el gran efecto obtenido por el incremento de la falta en las variables en el momento que las medidas teledirigidas que podemos usar no presentan fallos, esto indicaría que son precisas al 100%.

Para acabar, la ilustración 31 muestra los datos conseguidos en el momento que se evalúan las variables correspondientes a las 5 ramas equívocas usando 7 posiciones distintas de forma simultánea.

La razón de usar siete estados distintos de forma simultánea, como se hizo antes, es porque se toma como una buena vinculación de la precisión de la evaluación con el período usado en la causa.

En esta ilustración podría verse que las posiciones estimadas no presentan sensibilidad a las faltas en las variables incluso siendo cinco las ramas equívocas y localizándose tan cercas unas de otras.

6.7 Optimización de las variables estimadas

Uno de los datos conseguidos de mayor trascendencia sería que para un número de variables graduadas con un cierto grado de fallo, los datos finales de las variables estimadas son iguales de forma independiente al valor de inicio de esta variable, lo cual es evidente, ya que esta información se ha utilizado únicamente en el primer jacobiano. Este valor de inicio de la variable vincula al dato que se sabe del mismo.

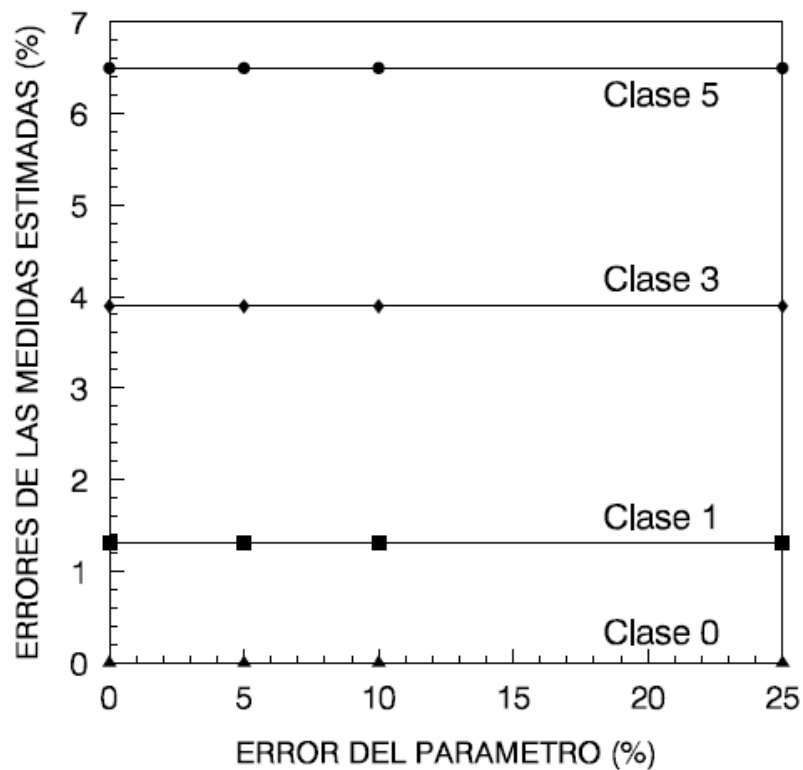


Figura 31. Efecto del fallo en la susceptancia de cinco ramas en relación a las variables graduadas de todo el sistema, con diferentes categorías, en el momento que se resuelven 7 posiciones de forma simultánea.

Parámetro de partida	Parámetro estimado
-8.806	-8.906
-8.900	-8.906
-9.000	-8.906
-9.090	-8.906
-9.270	-8.906

Tabla 8. Valores estimados de la variable para diferentes valores de inicio de éste.

Este dato final podría verse en la lista 8, dónde se observa los datos numéricos del estimador de dicha variable correspondiente a la rama que junta el nudo 7 con el nudo 9, con diferentes datos numéricos de inicio de esta variable, considerando las variables graduadas que están disponibles de categoría 1.

En particular, el dato numérico inicial -9.09 concuerda con el dato numérico preciso de la variable, así que podría verse que la falta cometida al efectuar su evaluación sería del 2.02%.

Esta lista y los resultados conseguidos en la lista 5, señalan que las variables estimadas serían buenas con un cierto grado de ruido y con una reiteración de las variables graduadas que son usadas. De esta manera, suponiendo un dato numérico de inicio de la variable que sea óptimo, es decir, prácticamente preciso en su plenitud, pero las variables graduadas obtenidas son malas, sería probable que la variable

estimada fuera más mala que las de inicio y al contrario. De ahí la consideración que se tiene de la elección previa de las líneas dudosas.

Esto es provocado por la razón de no haber usado la información previa que existía sobre la variable, tal y como se debatió en el capítulo anterior, y por lo tanto estimarse la variable en relación a los datos proporcionados por las teledirigidas que se tienen.

Parámetro de partida	Parámetro estimado
-8.906	-8.906

Tabla 9. Valor estimado de la variable en el momento que se inicia de un dato numérico que es evaluado previamente.

6.8 Datos finales del evaluador con las variables mejoradas

Cuando ya ha sido evaluada la variable equívoca de la rama concreta, puede ser viable el uso de un nuevo dato numérico para efectuar de nuevo la evaluación con el objetivo de conseguir una distinción más elevada de la variable estimada.

Esto se ha efectuado para la misma rama usada en el punto 7, es decir, la que junta el nudo 7 y el nudo 9, consiguiendo el dato numérico expuesto en la lista 9. Tiene un parecido notorio con la lista 8, pero usando de dato numérico inicial de la variable el idéntico que se consiguió de una evaluación preliminar y cómo conseguimos en el punto 7, sería altamente buena con un cierto grado de ruido y de reiteración de las variables graduadas que son usadas.

Podría verse que la nueva variable estimada es la misma que la estimada previamente ya que, como se dijo, no se ha usado la información que existía de forma previa sobre la variable.

Podría terminarse diciendo que en la hipótesis de usar el evaluador de variables que anteriormente ha sido evaluado, utilizando semejante reiteración y con similar límite de falta en las medidas teledirigidas, no es capaz de conseguir mejora alguna. Así que se está tomando la misma repercusión que el filtro de Kalman de manera recursiva.

6.9 Resumen

En esta sección se exponen los datos finales empíricos conseguidos al efectuar la evaluación de posiciones y de las variables.

Estos datos finales se consiguieron usando el sistema IEEE-14 de manera que se tratara de una subred dónde se hallasen las ramas dudosas con el objetivo de análisis. También, y de la misma forma que paso en el apartado 3, si queremos que los datos finales se tomarán como buenos estadísticamente hablando se han usado de forma individual para cada punto considerado y en todas las parábolas dibujadas la mediana correspondiente a las diferenciadas 60 evaluaciones.

Para empezar, lo que se efectuó en este episodio es razonar el uso de las variables de las ramas dudosas como admitancias con el objetivo de efectuar un menor manejo de las ecuaciones y eludir las probables peculiaridades que pudieran aparecer al tomar las ramas como abiertas.

En el punto 3 se ha estudiado el efecto del conjunto de muestras utilizadas, habiéndose conseguido como datos finales:

- A raíz que se incrementa el conjunto de posiciones resueltas de forma simultánea la evaluación efectuada es más óptima
- Las posiciones estimadas no presentan sensibilidad respecto a los fallos en los variables

Luego en el punto 4, se han analizado los resultados conseguidos considerando el nivel de fallo en las medidas, diciendo que:

- El fallo de la variable estimada es directamente proporcional a la falta media del número total de variables graduadas
- La correlación entre la falta media de las variables graduadas y la falta de la variable estimada sólo depende del nivel de redundancia de las telemedidas

A continuación, al analizar el efecto del tipo de medidas que se pueden utilizar, se ha conseguido que las variables graduadas correspondientes a las inyecciones de flujos energéticos no sean las más acertadas para efectuar una evaluación óptima, porque presentan una sensibilidad menor en las variables que las medidas de flujos.

En el supuesto de que haya algunas variables dudosas, éstos pueden estimarse a la vez, consiguiéndose unos resultados que son tan buenos como los conseguidos cuando sólo se estimaban una única variable. Para acabar, en el punto 7 y en el punto 8 se consiguió unas consecuencias bastantes trascendentes:

- Con un número de variables graduadas con un cierto grado de fallo, los datos numéricos de las variables estimadas serían iguales de forma independiente del valor de inicio de dicha variable
- Las variables estimadas son buenas con un cierto grado de ruido y con una reiteración de las variables graduadas que son usadas. Ocurre por no usar los datos previos que existía en relación a la variable, es decir, evaluar la variable en relación con la información que se tenían de las telemedidas
- No conseguimos mejora alguna en el caso de usar el evaluador con las variables que hemos evaluado de forma previa, si se tiene una redundancia semejante y se puede usar las telemedidas con el mismo nivel de fallo

6.10 Bibliografía

[1] Zarco P., Gómez A., "Determinación fuera de línea de parámetros de redes en la estimación de estado". Duodécima reunión de congresos del sistema computacional de potencia, pp. 1207-1213, Dresden, Alemania, Agosto 1996.

7 Capítulo: Aspectos vinculados a la evaluación

7.1 Introducción

Dentro de las ocupaciones de un área de inspección cualquiera, la más significativa sería la tesis de firmeza de la red. Para realizar dicha tesis se necesitan un orden de patrones dónde destacarían:

- Depuración de fallos considerables
- Evaluación de posiciones
- Observabilidad
- Procedimiento de faltas no gaussianas
- Topología del sistema
- Configuración del sistema externo
- Pronóstico de carga
- Distribución de carga
- Circunstancias de emergencia

Estrechamente vinculados con la evaluación de posiciones están los patrones del estudio de observabilidad, procedimiento de faltas no gaussianas cómo también fallos topológicos, estudiados a lo largo de este episodio.

Antes de efectuar la estimación de estado se necesita conocer si se puede efectuar, y conocer si el sistema fuera observable, o situación geográfica dónde pueda efectuarse la evaluación. De esta forma, considerando que el número de variables graduadas es apto, además de estar bien colocadas geográficamente, podría conseguirse una posición evaluada de la red y el sistema sería observable.

También, se necesita conocer si hay errores no gaussianos, ya que de forma implícita se estima que los fallos que existen son diminutos, pero de forma ocasional aparecen errores no gaussianos provocado por errores en las medidas u otro tipo de causas.

Otro punto íntimamente vinculado con la evaluación sería el reconocimiento y evaluación de las faltas topológicas con la finalidad de conseguir la estructura real del sistema.

7.2 Observabilidad

La evaluación de posiciones trata un número de variables graduadas que son reiterativas que posibilita evaluar la posición de la red. Se usan las variables graduadas que son analógicas unido a la composición de la red facilitada mediante el ordenador topológico, las variables del sistema y puede ser que varias medidas teledirigidas. Considerando un número de variables graduadas que son aptas en cantidad y geográficamente están bien esparcidas, el evaluador de posiciones facilitará un evaluado de la posición de la red y el sistema sería observable.

Por regla general una red es proyecta para considerarse observable en casi todas las circunstancias de manipulación, aunque de forma temporal podría no considerarse porque se pueden producir modificaciones imprevistas en la topología del sistema o errores en los sistemas comunicativos.

Un estudio de observabilidad debe contener:

- Prueba de observabilidad
- Reconocimiento de sistemas observables
- Localización de variables graduadas

La generalidad de los guarismos de observabilidad están fundamentados en un acercamiento al prototipo del sistema linealizado que está desajustado semejante al prototipo dónde se estudian de forma separada los trozos del sistema $(P - \theta)$ y $(Q - V)$. Así, en la práctica se estudian de forma separada la observabilidad de $(P - \theta)$ y $(Q - V)$, porque en circunstancias de manipulación convencionales únicamente existe una leve ensambladura entre fases y flujos energéticos reactivos y entre diferencias de potencial y flujos energéticos activos.

Así que, el segmento de posición podría fraccionarse en:

$$x = \begin{bmatrix} \theta \\ V \end{bmatrix} \quad (7.1)$$

Considerando θ el segmento fasorial correspondiente a las diferencias de potencial en los lazos cuyo tamaño sería $N - 1$ mientras que V sería el segmento de diferencias de potencial en los lazos cuyo tamaño sería N . De forma parecida, el segmento de medidas teledirigidas z podría fraccionarse en los subsegmentos z_p y z_q , abarcando z_p las medidas teledirigidas de flujos energéticos activos mientras que z_q los flujos energéticos reactivos así como las mediciones de las diferencias de potencial. De esta manera las igualdades de las variables graduadas serían:

$$\begin{bmatrix} z_p \\ z_q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_p(\theta, V) \\ h_q(\theta, V) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} v_p \\ v_q \end{bmatrix} \quad (7.2)$$

Igualmente, la matriz jacobiana se puede definir como:

$$H = \begin{bmatrix} H_{p\theta} & H_{pV} \\ H_{q\theta} & H_{qV} \end{bmatrix} \quad (7.3)$$

En circunstancias de manipulación convencionales dónde la dimensión de las diferencias de potencial del sistema están cercanas a la unidad en valores unitarios así como las desigualdades entre lazos limítrofes se consideran insignificantes hay una leve ensambladura entre z_p y V cómo ocurre también con z_q y θ . Así que, un acercamiento al prototipo del sistema desajustado lineal conforma de manera precisa las correlaciones entre estos conjuntos. En dicho prototipo esta matriz jacobiana correspondiente a las variables graduadas se acercaría con:

$$H \approx \begin{bmatrix} H_{p\theta} & 0 \\ 0 & H_{qV} \end{bmatrix} \quad (7.4)$$

De manera parecida, la matriz jacobiana con limitaciones podría acercarse mediante:

$$C \approx \begin{bmatrix} C_{p\theta} & 0 \\ 0 & C_{QV} \end{bmatrix} \quad (7.5)$$

El prototipo semejante desajusta las igualdades de las variables graduadas cómo también las limitaciones en las igualdades correspondientes a $(P - \theta)$ y $(Q - V)$:

$$\Delta_{zp} = H_{p\theta} \Delta\theta + v_p \quad (7.6)$$

$$0 = C_{p\theta} \Delta\theta \quad (7.7)$$

$$\Delta_{zQ} = H_{QV} \Delta V + v_Q \quad (7.8)$$

$$0 = C_{QV} \Delta V \quad (7.9)$$

Como resultado, la tesis de observabilidad de las igualdades $(P - \theta)$ cómo las de $(Q - V)$ podrían efectuarse de forma separada así que el estudio extendido más adelante hace mención a dicho inconveniente.

7.2 a. Prueba de observabilidad

Algunos autores presentan una prueba numérica de observabilidad fundamentada en el cálculo de la dimensión de H factorizando triangularmente la matriz de ganancia:

$$G = H^T W H = U^T U \quad (7.10)$$

Considerando que H fuera de dimensión N , tendríamos que G no sería particular y podría encontrarse la matriz triangular de orden mayor U teniendo $U_{ii} > 0$, $i = 1, 2, \dots, N$. Otra hipótesis sería, considerando que la dimensión de H es más pequeña que la de N , esta sería $N - l$, en ese momento el curso de la factorización acabará y U quedaría:

$$U = \begin{bmatrix} U_{11} & U_{12} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (7.11)$$

Considerando U_{11} cómo la matriz triangular de orden mayor con tamaño $(N - l) \times (N - l)$ y las componentes transversales positivas.

Otros autores exponen una manera de observabilidad aritmética fundamentada mediante la matriz con coeficientes del proceso de la matriz incrementada por Hachtel (ecuación 2.33):

$$K = \begin{bmatrix} 0 & 0 & C \\ 0 & \propto W^{-1} & H \\ C^T & H^T & 0 \end{bmatrix} \quad (7.12)$$

Si el sistema se considera observable, K no se toma cómo particular.

En la vida cotidiana, mediante operaciones de exactitud finita, las componentes de la matriz que teóricamente tienen valor nulo provocado por disminuciones no serán nulas precisamente. Debido a esto, se necesita una frontera aritmética para las componentes U cómo también manifestar que todas las componentes U que sus datos numéricos sean menores a este límite sean nulas. La selección de este límite depende del sistema y del procesador usado.

7.2 b. Reconocimiento de redes observables

Aun cuando el sistema no es observable es preferible halla un trozo de la posición que es evaluada. Podría hacerse:

- Usando medidas supuestas que incrementen las variables graduadas conseguidas al instante
- Obteniendo el estado estimado del trozo del sistema que sería observable

En primer lugar, aparte de las variables graduadas que conseguimos al instante se usan las supuestas medidas. Serían convencionalmente inyecciones en lazos donde los datos numéricos se prevén con cierto tipo de pronóstico de flujo en el lazo y hallados en las inyecciones no medibles.

En el momento que localizamos un sistema que no se puede observar podría usarse un guarismo observable que facilite resolver un conjunto de supuestas medidas que son aspirantes además de hallar el conjunto mínimo que se necesita para conseguir que el sistema fuera observable. Es fundamental conseguir que el grupo de supuestas medidas que usamos sea lo más pequeño posible ya que un conjunto grande podría disminuir la precisión de la evaluación del trozo que se puede observar del sistema. Otros autores mencionan distintos sistemas de desarrollo de las supuestas medidas.

Si hallamos el trozo que es observable del sistema y obtenemos la posición evaluada de ese terreno exclusivamente, podría usarse el sistema fundamentado en el momento que H no se considera de categoría completa, U tendría un grupo nulo en la zona de abajo. Usando como variables graduadas no reales los flujos energéticos considerados cómo 0 en el sistema, por lo que la plenitud de lazos que corresponden a una isla concreta y que se puede observar tienen semejante fase y calculando el método mediante supresión gaussiana conseguimos esta estructura de igualdades:

$$\begin{bmatrix} U_{11} & U_{12} \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \theta_1 \\ \theta_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (7.13)$$

$$U_{11}\theta_1 = -U_{12}\theta_2 \quad (7.14)$$

El conjunto de islas que son observables es semejante al tamaño de θ_2 , introduciendo las triviales que únicamente comprenden un lazo. Cuando se soluciona la igualdad de arriba con θ_1 , el conjunto de lazos que tienen semejante fase corresponden a una isla idéntica. La cohesión del conjunto de islas que se pueden observar comprende más de un lazo que reconoce el trozo observable del sistema.

El trozo del sistema que es observable podría conocerse asimismo usando un guarismo topológico como se exponen en otros artículos.

7.2 c. Localización de variables graduadas

Como mencionamos anteriormente, una tesis correspondiente a la observabilidad deber introducir además el análisis de la localización de las variables graduadas. El planteamiento de un conjunto de variables graduadas que efectué la evaluación de posiciones presenta una gran dificultad, además de la dimensión de la complicación, también las ordenanzas de precisión del evaluador, certeza con errores en transductores, comodidad de ajuste frente a modificaciones en la topología del sistema y reducción al mínimo del precio de la red.

Una enumeración exhaustiva de un requerimiento bueno de las variables graduadas se fundamentaría en la resolución correspondiente a un teorema binario de sistematización porque una cierta variable graduada en un lugar concreto tiene dos alternativas: hallarse o no. No obstante este ejemplo de teoremas en redes grandes son bastantes complejas de obtener de una forma precisa, porque las redes expuestas que son requeridas por las variables graduadas se fundamentan en la enumeración de teoremas exhaustivos, modelos de solución heurísticos o mitad de las dos.

Las primeras propuestas del problema que se formularon no facilitaron un sistema metódico que pudiera usarse en principio cómo buena disposición de las variables graduadas.

Otros autores desarrollan una técnica heurística, llamado procedimiento de supresión sucesiva, usada para hallar un número de variables graduadas. Se determina un segmento y con longitud k considerado desconocido debido a las faltas aleatorias existentes en las variables graduadas. Los elementos de este segmento se conocen cómo cuantía de provecho.

El procedimiento de variables graduadas es escogida mejorando la precisión correspondiente a y con la enunciación del próximo teorema de perfeccionamiento:

$$\begin{aligned} \text{Reducir al mínimo } J &= \sum_{i=1}^k \frac{\sigma_{yi}^2}{\beta_i^2} & (7.15) \\ \text{Ligado a: } \sigma_{yi}^2 &\leq \beta_i^2 \end{aligned}$$

Siendo:

- σ_{yi}^2 : la varianza del parámetro al azar y_i
- β_i^2 : un cierto margen mayor de σ_{yi}^2

Si queremos examinar J se necesita obtener las componentes de la diagonal correspondiente a las matrices de covarianzas y , P_y .

El método empieza usando medidas en todos los nudos existentes de la red y luego se van suprimiendo de forma sistemática las medidas de forma individual. Examinando un instante concreto del método, la variable graduada que origina el aumento mínimo de J sin provocar infracciones en las limitaciones de discrepancia será la que se suprime.

La supresión de las variables graduadas terminará en el momento que al suprimir una de las que persisten se origine una infracción en las limitaciones o en el momento que se llegue a una suma de medidas concretas.

Este método tiene dos inconvenientes: las limitaciones económicas no se configuran de forma directa y el método de optimización es heurístico. Consecuencia de este último inconveniente, no se asegura que se aterrice a un resultado óptimo en general.

Fundamentándose en cambios y ampliaciones de este procedimiento, otros autores desarrollan otro método de requerimiento de las variables graduadas. En vez de obtener P_y de forma analítica se usa una representación mediante el sistema de Monte Carlo, porque la obtención de P_y es bastante compleja para redes largas. La técnica expuesta se clasifica en 3 etapas.

La etapa 1 usaría el procedimiento que escoge las variables graduadas que serán suprimidas. La etapa sigue hasta conseguir un grado considerable de reiteración. En la etapa 2, un cierto grupo de variables graduadas extras son suprimidas usando el semejante sistema de supresión que el de la etapa primera. Se lleva a cabo con el objetivo de admitir la reinserción de variables graduadas en la etapa final del guarismo. La última etapa, las variables graduadas están incluidas con el objetivo de reducir la afectividad de J a la disminución de variables graduadas y datos con faltas no gaussianas. La última etapa sigue hasta el momento que el conjunto de variables graduadas que son incluidas sea semejante al conjunto suprimido de la etapa 2.

Esta manera se utiliza de forma amplia en el sistema de transporte noruego habiéndose conseguido óptimas consecuencias en lo que respecta al número de variables graduadas que son originales y en el momento que las circunstancias de flujos es modificada. No obstante, el procedimiento es sensible a la modificación topológica del sistema, así que sería aconsejable el uso correspondiente a puntos de medidas extras capaces de posibilitar a la red de variables graduadas para ser más estable frente a modificaciones en la topología de la red.

7.3 Faltas no gaussianas

Las faltas no gaussianas podrían causarse por:

- Faltas en las variables cómo puede ser una mala ubicación del intercambiador de accesos, configuración incorrecta de los convertidores o malas impedancias de líneas
- Topología del sistema errónea, provocado probablemente por la renovación realizada por el operario de los estados de los mandos o una mala representación topológica del sistema
- Aparatos de medidas equívocos o fallos en la transferencia de información

Las faltas de las variables graduadas se divide en las próximas 3 clasificaciones:

- Fallo extremo: $|media-valor\ preciso| > 20 * \sigma$

- Fallo grosero: $|\text{media-valor preciso}| = \left(\frac{5}{20}\right) * \sigma$
- Ruido común: $|\text{media-valor preciso}| < 5 * \sigma$

Aunque los fallos corresponden a la primera clasificación, si la reiteración específica es aceptada, podrían filtrarse por un estudio precedente y luego iniciar los procesos iterativos de la estimación de estado. Los fallos de la segunda clasificación son comprometidos porque puede llevar a resultados dudosos, por esto son los fallos encargados del módulo de estudio de faltas no gaussianas.

El estudio de faltas no gaussianas se divide en 3 clasificaciones:

1. Especificación correspondiente a la existencia de faltas no gaussianas
2. Reconocimiento de las variables graduadas que son equívocas
3. Supresión de las variables graduadas que son equívocas de la posición evaluada o de su remplazo

7.3 a. Especificación de las faltas existentes

La existencia de variables graduadas que son equívocas permanece manifestada por los excedentes de las variables graduadas, esto indica, la diferencia entre datos numéricos que son estimados y los valores de las telemidas, por lo que se propone considerándolo un teorema de estudio estadístico con estas suposiciones:

- H_0 : No hay variables graduadas equívocas
- H_1 : Hay variables graduadas equívocas

Para empezar a la admisión de una de las dos conjeturas se usa el test del índice $J(x)$:

$$J(x) = v^T W v \quad (7.16)$$

Considerando:

$$v = z - h(x) \quad (7.17)$$

Conseguimos $J(x)$ como adición de los cuadrados de los parámetros al azar que están libres con repartición convencional donde la mediana sería nula y la desviación típica sería σ , por lo tanto $J(x)$ sería una χ^2 de Pearson con k niveles de independencia:

$$\chi^2 = v_1^2 + v_2^2 + v_3^2 + \dots + v_k^2 \quad (7.18)$$

Siendo:

$$k = m - n \quad (7.19)$$

$$n = 2N - 1 \quad (7.20)$$

Suponiendo que el dato numérico obtenido de $J(x)$ fuera más pequeño que un valor límite χ_a es admitida la suposición de H_0 o por el contrario H_1 . El dato numérico χ_a es un valor fijo obtenido por la distribución χ^2 . Este valor fijo se escoge de manera que la posibilidad de repeler la suposición H_0 , presuntamente correcta, es $1 - \alpha$, considerando α la cota de confianza.

7.3 b. Reconocimiento de variables graduadas que son equívocas

Tras la captación de variables graduadas que son equívocas se pasaría a reconocer estas variables. El reconocimiento estaría fundamentado en estimar que la variable graduada que presenta un excedente mayor que está estandarizado sería equívoca.

Si r_x es el excedente de los parámetros de posición y r el excedente de las variables graduadas:

$$r_x = x - \hat{x} \quad (7.21)$$

$$r = z - \hat{z} \quad (7.22)$$

Considerando $\hat{x}$ y $\hat{z}$ que sería el parámetro y la media evaluada respectivamente.

Tomando:

$$z = h(x) + v \quad (7.23)$$

Considerando:

$$E(v) = 0 \quad (7.24)$$

$$E(vv^T) = R \quad (7.25)$$

Se puede argumentar en [14] que:

$$E(r_x) = 0 \quad (7.26)$$

$$E(r_x r_x^T) = P_x = (H^T W H)^{-1} = G^{-1} \quad (7.27)$$

$$E(r r^T) = P_r = r - H G^{-1} H^T \quad (7.28)$$

Donde P_x es la matriz de covarianzas y P_r la matriz residual de la estimación. Así que, los excedentes tendrían una repartición convencional con mediana nula y covarianza semejante a las componentes de la diagonal P_z , $J(x)$ sería una distribución χ^2 con $m - n$ niveles de independencia.

Considerando que $J(x)$ es mayor que $\chi_{m-n,p}^2$ podría intuirse mediante una posibilidad de fallo p , existiendo por lo menos una variable graduada que es equívoca, considerando la variable graduada que presenta un excedente mayor estandarizado r_N que es equívoca de la siguiente forma:

$$r_N = \frac{r_i}{\sqrt{(Pz)_{ii}}} \quad (7.29)$$

Para reconocer el dato equívoco se necesita obtener las componentes de la diagonal P_z :

$$(Pz)_{ii} = R_{ii} - \sum_j \sum_k H_{ij} (H^T W H)_{jk}^{-1} H_{ki}^T \quad (7.30)$$

De aquí se supone que las componentes necesarias $(H^T W H)_{jk}^{-1}$ son las que satisfacen que $H_{ij} H_{ij}^T \neq 0$, por lo que sólo están comprometidas las componentes de la matriz $H^T W H$ que son diferentes de cero antes dar la vuelta y podría usarse el proceso correspondiente a la matriz inversa esparcida que se especifica a continuación.

Si A es la matriz equilibrada y esparcida cuya matriz inversa fuera Z :

$$AZ = I \quad (7.31)$$

Remplazando A de la ecuación por su estilo factorizada:

$$LDL^T Z = I \rightarrow L^T Z = D^{-1} L^{-1} \quad (7.32)$$

Especificando la matriz $T = I - L^T$ podría expresarse la ecuación anterior como:

$$Z = D^{-1} L^{-1} + TZ \quad (7.33)$$

Donde D es una matriz diagonal, T es una matriz de orden mayor y triangular con la diagonal nula.

En referencia a este argumento habrá que tener en cuenta:

- La matriz L sería triangular y a su diagonal le corresponde el valor unidad, así que la inversa tendría semejantes características, esto indica, que la diagonal $D^{-1} L^{-1}$ sería igual que D^{-1}
- La matriz Z sería semejante porque A también es igual, así que si queremos conseguir Z sería suficiente con obtener la zona de arriba Z_s , esto indica, las componentes Z_{ij} de modo que $j \geq i$

Así que, L^{-1} no es usado para la obtención de Z_s , donde Z_s es:

$$Z_s = D^{-1} + TZ \quad (7.34)$$

Habría que hacer un hincapié por la especial configuración de la matriz T , la obtención de las componentes correspondientes a la fila k de Z_s únicamente precisa la utilización de las componentes de las filas tratadas con anterioridad:

$$z_{ii} = d_{ii} + \sum_k t_{ik} z_{ki} \quad (7.35)$$

$$z_{ij} = \sum_k t_{ik} z_{kj} \quad (7.36)$$

Siendo k mayor que i y que para obtener z_{ij} se necesita hallar de forma previa las componentes z_{kj} con k de forma que $t_{ik} \neq 0$.

7.3 c. Supresión de medidas equívocas

Se acaba el estudio de faltas no gaussianas pasando a suprimir las variables graduadas que son equívocas o remplazarlas por:

$$z_i^n = z_i^e - \frac{\sigma_i^2}{\sqrt{(Pz)_{ii}}} (z_i^e - \hat{z}_i) \quad (7.37)$$

Dónde:

- z_i^n : medida que se introduce
- z_i^e : medida equívoca
- $\hat{z}_i$: medida evaluada o supuesta

Hay varias maneras de remplazar o suprimir las variables graduadas que no son reales:

- Supresión ordenada
- Supresión clasificada

En la primera forma se remplaza la medida donde el excedente es superior y volvemos a evaluar la posición con la variable graduada que se introduce. Suponiendo que la localización sigue siendo positiva se remplaza la medida que tengo el residuo más grande y así de forma sucesiva.

En la segunda manera se remplazan todas las medidas que estén referidas a residuos que sean superiores a un cierto límite.

7.4 Fallos topológicos

El prototipo del sistema está fundamentado en los datos estáticos surtido en la inicialización de la central de datos y en los datos dinámicos obtenidos en el SCADA.

Los datos que detalla el sistema no se modifican por medio de la actuación de una evaluación de posición a otra, como pasa en los productores energéticos, ramas, convertidores, etc. Los datos dinámicos los facilita el SCADA señalando los estados de los mandos, las variables graduadas que son analógicas así como las entradas a los convertidores. Estos datos, que son dinámicos y también estáticos son los usados para estudiar el sistema.

Si los datos estáticos son errores el prototipo será malo. Un ejemplo característico de esto es la unión de una rama a un embarrado. Así, una rama que físicamente esta enlazada pero que se ha mostrado enlazada a la I B, se hallará realmente enlazada a la línea B en el momento de plegar el ajuste. Así que, de manera que el ajuste se halle abierto, topológicamente e sistema es equívoco.

El origen que presenta más fallos topológicos sería la conciencia o no equivocada de la posición de los interruptores. Esto originalmente pasa cuando se muestra intermitente la señalización del estado de los mandos, en el momento que se señala que está cerrado y abierto a la vez, o en el momento que se origina una falta en la transferencia o está incomunicada la central eléctrica en un espacio temporal, etc.

Podría pasar también que sea modificado el estado del mando de forma manual y el operario se le olvide renovar ese cambio. Esto también puede pasar en los seccionadores, que convencionalmente no se encuentra teledirigidos y su actuación se efectúa de forma local.

Esta imprecisión del estado del mando o seccionador provocaría que al estimar un estado del mando. El razonamiento tomado en este supuesto puede ser el tomar la posición de explotación convencional de esa componente o el estado más actual en el que se hallaba. Este supuesto es usado para ejecutar de forma precisa la operación de la evaluación sin comprometer, obviamente, que la posición del sistema sea la esperada.

Estas faltas topológicas dañan al evaluador de posición y conlleva a:

- Adquisición de un segmento de posición erróneo
- Localización errónea de variables graduadas que son equívocas
- Infracciones equívocas de restricciones
- Introducciones equívocas en otros cargos de estudio
- Prototipos del sistema dudosos

7.4 a. Reconocimiento y evaluación de faltas topológicas

Esta cuestión ha sido analizada con distintos enfoques. Algunos autores sugieren la observación fundamentándose en la modificación de la posición de dichas líneas que son dudosas, un punto de vista sería de forma individual, efectuando una evaluación de la posición para cada supuesto, una vez que se ha invertido la posición de dicha línea los excedentes conseguidos se encuentran dentro de una restricción, por lo que la posición inicial se trata como errónea.

Luego, en [20] se limita la zona de dificultad porque se escoge el conjunto de variables graduadas que son equívocas, captadas en los lazos limítrofes y son efectuadas diversas evaluaciones de posición para la totalidad de las supuestas conexiones de los mandos en una o varias de las instalaciones eléctricas dudosas. La conexión adecuada correspondiente a la posición de los mandos facilitara un excedente mínimo.

Otras técnicas están fundamentadas en una distribución de flujo específica y captan una falta topológica en el caso de que las listas obtenidas tras la distribución de flujos superan las restricciones marcadas.

La generalidad de las evoluciones relacionadas con la captación de faltas topológicas se lleva a cabo tras efectuarse la evolución de posiciones de forma eficaz aunque haya faltas topológicas. Suponiendo que la evaluación no confluya no habrá punto inicial alguno así que los procedimientos están influenciados por los requisitos y características de actuación.

También, los excedentes estarían dañados a gran escala por las faltas gaussianas y las no gaussianas de las variables graduadas que son analógicas. A veces las faltas no gaussianas de las variables graduadas que son analógicas podrían ocasionar que la exposición de excedentes no se considere segura.

Se hallan una serie de requisitos capacitados enfocados a la no captabilidad y no identificabilidad de faltas topológicas:

1. En el caso que una línea sea intrascendente, una falta topológica que daña a esta línea no es detectada
2. La estructura equívoca de dicha línea intrascendente no se detecta en el caso que la totalidad de las variables graduadas que se encuentran vinculadas a ella están en situación delicada o se transforman en situación delicada como resultado de una estructura equívoca
3. En el caso que un par de líneas conformen un par delicado de líneas, entonces una falta topológica que dañe a estas líneas no se percibe

Se comprende que:

- *Elemento del sistema* son las ramas de transferencia, transformadores, condensadores, reactancias
- Una componente sería *intrascendente* en el momento que no tenemos variable graduada alguna
- Una variable graduada estaría *ligada* con una componente del sistema si se refiere a una variable graduada de inyección correspondiente a un lazo final o de los flujos energéticos en dicha componente
- Una línea se considera una *línea crítica* de una variable graduada en un sistema que se puede observar cuando al suprimirla consigue que la totalidad del sistema no se pueda observar

- Un par de líneas producen un *par crítico de líneas* de una variable graduada en un sistema que se puede observar cuando al suprimirlas consiguen que la totalidad del sistema no se pueda observar, en cambio sí únicamente es suprimida una línea de las dos el sistema permanece observable

Como se ha mencionado, las tres circunstancias descritas están capacitadas para la no captabilidad y no identificabilidad. Para la defectibilidad únicamente se han supuesto circunstancias que se necesitan y suficientes en casos muy concretos [11], mientras que las circunstancias que se necesitan y que son suficientes para la captabilidad y/o identificabilidad no se han podido concluir ninguna aún.

Otros autores exponen una especie de preprocesador fundamentado en un orden de normas que son útiles para estudiar los contextos anteriores y posteriores de obstrucción del mando.

En este procedimiento se estudia si los datos finales conseguidos con las variables graduadas que son analógicas y la posición de los mandos son resistentes.

Otros autores prevén los flujos de potencia por medio de los mandos dudosos con el objetivo de eludir la impedancia nula ligada a ellos. También, se introducen un grupo de ecuaciones con restricciones con el objetivo de disminuir lo menos posible la reiteración existente.

Otro de los procedimientos expuestos se fundamenta en los factores multiplicadores de Lagrange que están estandarizados. El procedimiento es semejante al usado para el método de faltas no gaussianas.

También se plantea un guarismo para hallar una clasificación de reciprocidad entre las variables graduadas y las componentes dudosas. Estará introducido en una táctica convencional fundamentada en los períodos que aparecen a continuación:

1. Exámenes de validación efectuada en la fase de prefiltrado
2. Exámenes efectuados en la estimación
3. Procesamiento tras la estimación que use los datos conseguidos en las etapas anteriores

Pese a que en números casos los fallos topológicos se pueden captar y reconocer con los datos disponibles en la fase de prefiltrado, hay circunstancias sospechosas que necesitan de un guarismo con un confeccionamiento mayor realizados en la fase.2 Entre los guarismos se encuentra el que busca corroborar la existencia pésima de alguna configuración que se captaría en la fase 1 o determinar cualquier tipo de reparo que hubiera aparecido.

El procedimiento presentado busca el cuantificar la relación que existe entre los datos numéricos conocidos como variables graduadas con faltas no gaussianas, también llamadas *medidas características*, y las variables graduadas que, en algunas circunstancias de manipulación, está previsto ser las más dañadas dentro de las posibles faltas topológicas y se conocen como *medidas afectivas*. Las variables graduadas son halladas por medio de una tesis de afectividad de los excedentes en relación a los flujos de las componentes del sistema. El procedimiento propuesto se pondrá en marcha en el momento que se capte cualquier irregularidad tras efectuar las instrucciones de captación de faltas no gaussianas.

El creador de dicho procedimiento admite que hay circunstancias sospechosas como sería el tema de que haya algunas variables graduadas que son analógicas e

incorrectas y además concuerden con las sospechas de una falta topológica. Estos supuestos necesitan algún tipo de evaluación más adelante que posibilite reconocer el origen principal del inconveniente. Dichas evaluaciones realizadas con posterioridad podrían efectuarse de forma sistemática.

En otros artículos detallan qué faltas de la posición de los mandos podrían descubrirse y reconocer en disposición de las variables graduadas que son analógicas y equívocas usando métodos de evaluación de posiciones correspondiente a los valores mínimos absolutos y usando una evaluación bi-fasorial].

Sin embargo de forma intuitiva los mandos se conectan con líneas de impedancia nula, ciertamente hay supuestos:

- Mandos de ramas, componentes *shunt* y transformadores, ubicados en serie con impedancias que no tienen valor cero
- Mandos ubicados en instalaciones eléctricas que presentan una rama o más y se ocupan de enlazar unas con otras

El procedimiento expuesto en [18] es un sistema sencillo para estimar de forma precisa la posición abierta o cerrada de los mandos correspondientes al tipo 1, lo que indica, los que están ligados a impedancias con valores distintos de cero.

Cuando hay una redundancia apta y específica en el número de variables graduadas, podría estimarse la posición del mando en una cierta rama agregando únicamente una componente aditiva, k , al segmento de posición y remplazando las variables de línea G , B y B^{shunt} por kG , kB y kB^{shunt} , de manera respectiva, dónde se muestre estas circunstancias.

Considerando el dato numérico de k evaluado y que se encuentra cercano a la unidad el mando se encuentra errado y la rama operativa, no obstante suponiendo que el dato numérico conseguido se encuentra lejano al valor nulo, el mando estaría abierto. No obstante, en la vida real, el dato numérico esperado de k podría diferenciarse de forma significativa de los datos numéricos binarios provocado por los fallos de las medidas. Más si cabe, si hay faltas no gaussianas cerca de dicha rama sospechosa, el dato numérico esperado de k podría estar alrededor a 0.5, si es así, no podría saberse si el mando está abierto o por el contrario cerrado. Para acabar, y a raíz de lo anterior, considerando que el valor de k no coge el valor binario preciso que sería 0/1, los datos numéricos esperados del segmento de posición son de una precisión menor.

Con el objetivo de eludir dichos inconvenientes, se usa la próxima limitación de identidad:

$$k(1 - k) = 0 \quad (7.38)$$

Obligando a k escoger uno de los dos datos numéricos que son binarios.

Considerando que las variables graduadas que son limítrofes consiguen que k se pueda observar, la última limitación sería una serie de datos reiterativos dónde su única finalidad sería mejorar el dato numérico que es estimado de k . Por otra parte, si k no puede ser observable, la limitación de identidad que se propone no serviría porque según el origen de los procesos iterativos, se pueden conseguir los dos resultados probables. Esto pasa, en el momento que no se calculan tanto las

corrientes en la línea cómo las inyecciones en los lazos limítrofes. En ese caso, inclusive si las diferencias de potencial en los lazos exteriores de dicha línea se pueden observar, las inyecciones y la indiferente posición del mando seguirían imprecisas.

Dicho procedimiento muestra una serie de virtudes al relacionarlo con distintos procedimientos:

- Al prototipo de estimación solamente se le incorpora una componente más y de forma consecuente, una limitación de identidad. Es algo más natural que usar un par de flujos energéticos que muestran la posición de dicha línea que se trata de unos datos independientes
- Provocado por la limitación que se relaciona, avalamos el carácter discreto de la variable extra, por lo que no hay no manera de que la rama se halle cerrada, por ejemplo, al 90%, es decir, o la rama se halla abierta o cerrada

Por todo lo mostrado, el procedimiento propuesto se puede adaptar a cualquier procedimiento de estimación de estado. Así, aunque es natural usarlo en aquellos procedimientos que configuran de forma explícita las limitaciones de identidad, la igualdad 7.38 asimismo podría ser tomada como una variable graduada de una gran precisión, así que podría usarse una factorización ortogonal correspondiente a la matriz jacobiana con el objetivo de precaver un condicionamiento nefasto disponible al usar las igualdades convencionales en el momento que hay componentes de importancia importantes. El resultado aritmético expuesto más adelante se acomoda a al segundo procedimiento.

Considerando que vamos a evaluar la posición de dicha línea capaz de unir los lazos i y j , vendría simbolizado por el parámetro k , por lo tanto las exclusivas filas correspondiente a la matriz jacobiana que están vinculadas con el nuevo parámetro de posición son las que se encuentran sujetas a las corrientes de potencia por medio de la línea, las inyecciones energéticas en los lazos límites de esta línea y la variable graduada que no es real es facilitada por la igualdad 7.38.

Los flujos energéticos que pasan la línea y marchan del lazo i podrían reflejarse de la siguiente forma:

$$P_{ij}(k) = kP_{ij} \quad (7.39)$$

$$Q_{ij}(k) = kQ_{ij} \quad (7.40)$$

Donde P_{ij} y Q_{ij} son los flujos energéticos normales considerando $k = 1$.

Del mismo modo, las inyecciones energéticas en el lazo i podrían manifestarse en relación a k cómo viene a continuación:

$$P_{ij}(k) = \sum_{m \in i, m \neq j} P_{im} + kP_{ij} \quad (7.41)$$

$$Q_{ij}(k) = \sum_{m \in i, m \neq j} Q_{im} + kQ_{ij} \quad (7.42)$$

Permutando i por j en las ecuaciones 7.39, 7.40, 7.41 y 7.42 podría conseguirse los flujos energéticos por medio de dicha línea en dirección contraria y las inyecciones energéticas en el lazo j .

Las únicas componentes no nulas que se muestran en la fila vertical adicional correspondiente a la matriz jacobiana serían:

$$\frac{\partial |k(1-k)|}{\partial k} = 1 - 2k \quad (7.43)$$

Conseguido en la igualdad 7.38, también lo tendremos cómo:

$$\frac{\partial P_{ij}(k)}{\partial k} = \frac{\partial P_i(k)}{\partial k} = P_{ij} \quad (7.44)$$

$$\frac{\partial Q_{ij}(k)}{\partial k} = \frac{\partial Q_i(k)}{\partial k} = Q_{ij} \quad (7.45)$$

Y sus semejantes pertinentes al nudo j . También, de las ecuaciones mencionadas anteriormente se puede ver que las componentes de la matriz jacobiana de las variables en serie y las variables *shunt* de dicha línea dudosa deberían multiplicarse por k .

En dicho proceso P_{ij} y Q_{ij} no serían parámetros de posición, únicamente muestran las igualdades no lineales de los flujos energéticos de manera consistente.

En relación al valor inicial k_0 tomado para el parámetro k , los datos finales que son empíricos enseñan que el proceso de evaluación confluye de forma sistemática a $k = 1$ si k_0 es mayor a $\frac{1}{2}$ y a $k=0$ si k_0 es menor que $\frac{1}{2}$, a no ser que la igualdad 7.38 se comporte como una variable graduada extremadamente precisa. Debido a esto, se toma siempre el dato numérico de $k_0 = 1/2$, esto indica que la componente de la matriz jacobiana dada por la igualdad 7.43 sería cero. También, tanto Q_{ij} como P_{ij} están cercanos al valor nulo en el inicio de los procesos iterativos, la matriz jacobiana no está bien estipulada o se trata de una particular en su primer proceso iterativo. Por ello, la nueva variable k únicamente se introducirá después del primer proceso iterativo cómo proponen algunos autores.

El procedimiento presentado podría abreviarse de la próxima forma:

- Efectuar el primer proceso iterativo y modificar el segmento de posición. En este primer proceso iterativo, la distinción exclusiva con un estimador normal es la variable $k_0 = 1/2$, el cual repercute a las variables de la línea de cuya posición se sospecha
- Desde el segundo proceso iterativo hasta el final, incluir la limitación de igualdad al prototipo y añadir el factor k al vector de estado. La repercusión de esta limitación sólo tendrá efecto al final del tercer proceso iterativo, ya que el valor que presenta k es $\frac{1}{2}$ durante el segundo proceso iterativo

7.5 Resumen

Este apartado ha mostrado 3 factores estrechamente vinculados en relación a la evaluación de posiciones:

- Observabilidad
- Captación de faltas no gaussianas
- Faltas topológicas

El apartado 7.2 analizó los fragmentos que forman una tesis de observabilidad:

- Examen de observabilidad
- Reconocimiento de fallos que se puede observar
- Localización de variables graduadas

El apartado 7.3 analizó el origen que puede originar las faltas no gaussianas y fueron estudiadas las fases del estudio de faltas no gaussianas:

- Captación correspondiente a la existencia de faltas no gaussianas
- Localización de qué medidas son equívocas
- Supresión o remplazo de las medidas equívocas del estado estimado

Para concluir, en el punto 4 se han analizado la captación y estimación de fallos topológicos como uno de los puntos vinculados con la estimación de variables, habiéndose expuesto, entre otros, un procesamiento de estimación de fallos topológicos íntimamente vinculado tanto como la estimación de estado como con la de variables.

7.6 Bibliografía

[1] Aam S., Holten L., Gjerde O., “Diseño del sistema de medición para la estimación del estado en la red noruega de transmisión de alta tensión”. IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.

[2] Abur A., Çelik M., “Un algoritmo rápido para la estimación del estado de valor absoluto mínimo ponderado”. IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.

[3] Abur A., Kim H., Çelik M., “Identificación de los estados desconocidos del interruptor automático en redes eléctricas”. IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.

[4] Abur A., Gómez A., “Detección de múltiples soluciones en la estimación del estado en presencia de medidas de magnitud corriente”. IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.

[5] Allam M., Rashed A., “Detección e identificación de errores topológicos del sistema de alimentación”. Potencia eléctrica & Sistemas energéticos.

[6] Alvarado F., Tinney W., “Estimación de estado usando matrices bloqueadas y aumentadas”. IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.

[7] Ariatti F., Marzio L., Ricci P., “Diseñando la estimación del estado en vista de la fiabilidad”. Reunión congresal para la computación de los sistemas de potencia, Artículo 2.3/8.

- [8] Aschmoneit F., Peterson N., Adrian E., "Estimación estatal con restricciones de igualdad". Quinta Reunión congresal PICA, Toronto, pp. 427-430, Mayo 1977.
- [9] Broussolle F., "Estimación de estado en sistemas de potencia: detección de datos erróneos mediante el método de matriz inversa escasa". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [10] Clements K., Krumpholz G., David P., "Estimación del estado del sistema de potencia con deficiencia de medición: un algoritmo que determina la subred máxima observable". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [11] Clements K., Davis P., "Detección e identificación de errores de topología en sistemas eléctricos". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [12] Clements K., "Métodos de observabilidad y colocación óptima del medidor". Potencia eléctrica & Sistemas energéticos.
- [13] Clements K., Simões-Costa A., "Identificación de errores de topología utilizando multiplicadores de Lagrange normalizados". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [14] Dopazo J., Klitin O., Sasson A., "Estimación del estado para la detección del sistema de potencia de errores de medición brutos". Reunión congresal PICA, Minneapolis, 1973.
- [15] Edelmann H., "Una evaluación universal para la calidad superior de la distribución de puntos de medición para la estimación de estado en redes de alto voltaje". Reunión congresal del sistema computacional de potencia, Artículo 2.3/7.
- [16] Gjelsvik A., Aam S., Holten L., "Método de la matriz aumentada de Hatchel: un método rápido que mejora la estabilidad numérica en la estimación del estado estático del sistema de potencia.". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [17] Gómez A., Martínez J., Romero E., Ruiz J., Luque A., "Un algoritmo mejorado de observabilidad topológica". Undécima Reunión congresal del sistema computacional de potencia.
- [18] Gómez A., Zarco P., Quintana V., "Estimación precisa de las posiciones del interruptor automático". Reunión congresal de grandes sistemas de ingeniería en ingeniería energética.
- [19] Koglin H., "Sistema de medición óptimo para la estimación del estado". Reunión congresal del sistema computacional de potencia, Artículo 2.3/12.
- [20] Koglin H., Oeding D., Schmitt K., "Identificación de errores topológicos en la estimación del estado".
- [21] Krumpholz G., Clements K., Davis P., "Observabilidad del sistema de potencia: un algoritmo práctico que utiliza la topología de red". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [22] Lugtu R., Hackett D., Liu K., Might D., "Estimación del estado del sistema de alimentación: detección de errores topológicos". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.

- [23] Mili L., Van Cutsem T., Ribbens-Pavella M., "Métodos de identificación de datos incorrectos en la estimación del estado del sistema de potencia". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [24] Monticelli A., Wu F., "Observabilidad de la red: identificación de islas observables y colocación de medidas". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [25] Monticelli A., Wu F., "Observabilidad de la red: teoría". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [26] Monticelli A., Wu F., "Análisis de observabilidad para la estimación del estado basado en la transformación ortogonal". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [27] Monticelli A., Wu F., Yen M., "Identificación múltiple de datos erróneos para la estimación del estado mediante optimización combinatoria". IEEE Operaciones en la distribución de potencia.
- [28] Monticelli A., García A., "Modelado de ramas de impedancia cero en la estimación del estado del sistema de potencia". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [29] Monticelli A., "El impacto del modelado de ramas de cortocircuito en la estimación del estado". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [30] Monticelli A., "Modelado de disyuntores en la estimación de mínimos cuadrados ponderados". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [31] Mori H., Tsuzuki S., "Un método rápido para el análisis de observabilidad topológica usando una técnica de expansión mínima". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [32] Schweppe F., Douglas B., "Estimación del estado estático del sistema eléctrico". IEEE Operaciones en los aparatos y sistemas de potencia.
- [33] Simões-Costa A., Leão J., "Identificación de errores de topología en la estimación del estado del sistema de potencia". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [34] Singh N., Glavitsch H., "Detección e identificación de errores topológicos en análisis de potencia en línea". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [35] Takahashi, Fagan, Chen, "Formación de una matriz de impedancia de línea dispersa". Octava Conferencia PICA, Minneapolis.
- [36] Vempati M., Slutsker I., Tinney W., "Mejoras en las rotaciones de datos para la estimación del estado del sistema de potencia". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia.
- [37] Wood A., Wollenberg B., "Generación de energía, operación y control".
- [38] Wu F., Liu W., Holten L., Gjelsvik A., Aam A., "Análisis de la observabilidad y malo procesamiento de datos para la estimación del estado usando el método de la matriz aumentada de Hatchel". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia, Vol. 3, pp. 604-611, Mayo 1988.

[39] Wu F., Liu W., "Detección de errores topológicos por estimación de estado". IEEE Operaciones en los sistemas de potencia, Vol. 4, No. 1, pp. 176-183, Febrero 1989.

[40] Zollenkopf K., "Matriz de impedancia nodal dispersa generada por el método de bifactorización y aplicada a estudios de cortocircuitos". Reunión congresal del sistema computacional de potencia, Cambridge, Artículo 3.1/3, 1975.

Apéndice A: Breve introducción al programa de estimación de estado

A.1. Programa de estimación de estado (SE)

Este programa tiene la intención de mejorar el código de estimación de estado incluido en MATPOWER (en el sub-directorio 'extras \ state_estimator') mediante la definición de una interfaz genérica, la adición de comprobación de observabilidad del sistema y la reescritura de algunos de los códigos.

El libro "Métodos Computacionales para Sistemas de Energía Eléctrica" escrito por Mariesa Crow se hace referencia durante el libro de la implementación de los programas y las anotaciones están de acuerdo con las del libro.

Tenga en cuenta que la ejecución del programa requiere que el paquete MATPOWER esté incluido en la ruta de búsqueda del entorno de MATLAB.

El autor desea agradecer a Fangxing Li por su ayuda en el desarrollo del programa. Uno de sus cursos impartidos en la Universidad de Tennessee, Knoxville, "Métodos Computacionales para el Análisis del Sistema de Energía", ha sido una fuente valiosa.

A.1.1. Características

- ✓ Una interfaz genérica de la estimación del estado es definida
- ✓ Se soportan 8 tipos de mediciones, incluyendo el flujo real de la línea de alimentación desde el final, el flujo real de la línea de alimentación hasta el final, la salida de potencia real del generador, el ángulo de voltaje, el flujo de la línea reactiva desde el final, para finalizar, salida de potencia reactiva del generador, magnitud de voltaje (acortada para PF, PT, PG, Va, QF, QT, QG, Vm respectivamente)
- ✓ Las varianzas de medición para cada uno de los 8 tipos de mediciones podrían ser especificadas por separado
- ✓ La comprobación de la integridad de datos de entrada es proporcionada, como la verificación de integridad y consistencia
- ✓ Se proporciona una verificación de la observabilidad del sistema y se identifican posibles razones, como variables no observables, variables dependientes, etc. Este tipo de información puede guiar a los usuarios en el cambio de la configuración de medición para hacer que el sistema sea observable
- ✓ Los códigos fuente son autoexplicativos
- ✓ Se proporcionan comentarios suficientes en los códigos fuente

A.1.2. Limitaciones

- ✓ Actualmente no se implementa aún la detección incorrecta de datos
- ✓ Los índices de medición de la interfaz pueden mejorarse aún más para facilitar el uso del programa

A.1.3. Demostración

Ejecutar 'test_se.m' que generará las siguientes salidas. El caso de prueba es un sistema de 6 líneas, que se incluye en el paquete de programa de estimación de estado.

```
function test_se
%TEST_SE Test state estimation.
%   created by Rui Bo on 2007/11/12

%   MATPOWER
%   Copyright (c) 2009–2016, Power Systems Engineering Research Center (PSERC)
%   by Rui Bo

%   This file is part of MATPOWER.
%   Covered by the 3-clause BSD License (see LICENSE file for details).
%   See http://www.pserc.cornell.edu/matpower/ for more info.

%%-----
% using data in Problem 6.7 in book 'Computational
% Methods for Electric Power Systems' by Mariesa Crow
%%-----

%% which measurements are available
idx.idx_zPF = [1;2];
idx.idx_zPT = [3];
idx.idx_zPG = [1;2;3];
idx.idx_zVa = [];
idx.idx_zQF = [];
idx.idx_zQT = [];
idx.idx_zQG = [];
idx.idx_zVm = [2;3];

%% specify measurements
measure.PF = [0.12;0.10];
measure.PT = [-0.04];
measure.PG = [0.58;0.30;0.14];
measure.Va = [];
measure.QF = [];
measure.QT = [];
measure.QG = [];
measure.Vm = [1.04;0.98];

%% specify measurement variances
sigma.sigma_PF = 0.02;
sigma.sigma_PT = 0.02;
sigma.sigma_PG = 0.015;
sigma.sigma_Va = [];
sigma.sigma_QF = [];
sigma.sigma_QT = [];
sigma.sigma_QG = [];
sigma.sigma_Vm = 0.01;

%% check input data integrity
nbus = 3;
[success, measure, idx, sigma] = checkDataIntegrity(measure, idx, sigma, nbus);
if ~success
    error('State Estimation input data are not complete or sufficient!');
end

%% run state estimation
casename = 'case3bus_P6_6.m';
type_initialguess = 2; % flat start
[baseVA, bus, gen, branch, success, et, z, z_est, error_sqrsum] = run_se(casename, measure, idx, sigma, type_initialguess);
```

Newton's method is chosen to solve Power Flow.

Converged in 2.39 seconds

[iteration number]: 7

Generator Data				
Gen #	Bus #	Status	Pg (MW)	Qg (MVar)
1	1	1	575.72	-37.52
2	2	1	303.42	946.89
3	3	1	133.58	-527.25
Total:			1012.72	382.12

Bus Data						
Bus #	Voltage		Generation		Load	
	Mag (pu)	Ang (deg)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.000	0.000	575.72	-37.52	350.00	100.00
2	1.026	-0.975	303.42	946.89	400.00	250.00
3	0.979	0.042	133.58	-527.25	250.00	100.00
Total:			1012.72	382.12	1000.00	450.00

Branch Data								
Brnch #	From Bus	To Bus	From Bus Injection		To Bus Injection		Loss ($I^2 \cdot R$)	
			P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1	2	147.44	-295.77	-146.49	253.97	0.951	-41.80
2	1	3	78.28	158.25	-76.52	-179.21	1.764	-20.95
3	2	3	49.91	442.92	-39.90	-448.04	10.003	-5.13
Total:							12.717	-67.88

Comparison of measurements and their estimations			
NOTE: In the order of PF, PT, PG, Va, QF, QT, QG, Vm (if applicable)			
Type	Index (#)	Measurement (pu)	Estimation (pu)
PF	1	0.1200	0.1474
PF	2	0.1000	0.0783
PT	3	-0.0400	-0.0399
PG	1	0.5800	0.5757
PG	2	0.3000	0.3034
PG	3	0.1400	0.1336
Vm	2	1.0400	1.0258
Vm	3	0.9800	0.9790
[Weighted sum of squared errors]: 5.417915			

Ejecutar 'test_se_14bus.m' que generará las siguientes salidas. El caso de prueba es un sistema de 14 líneas, que se incluye en el paquete de programa de estimación de estado.

```

function test_se_14bus
%TEST_SE_14BUS Test state estimation on IEEE 14-bus system
% created by Rui Bo on Jan 6, 2010

% MATPOWER
% Copyright (c) 2009-2016, Power Systems Engineering Research Center (PSERC)
% by Rui Bo
%
% This file is part of MATPOWER.
% Covered by the 3-clause BSD License (see LICENSE file for details).
% See http://www.pserc.cornell.edu/matpower/ for more info.

%%-----
% using data for IEEE 14-bus system
%-----

% NOTE:
% 1) all eight members of 'idx', 'measure' and 'sigma' must be
% defined. They should be null vectors([]) if they do not have data
% 2) all data used in this code are for testing purpose only
%% which measurements are available
idx.idx_zPF = [1;3;8;9;10;13;15;16;17;19];
idx.idx_zPT = [4;5;7;11];
idx.idx_zPG = [1;2;3;4;5];
idx.idx_zVa = [];
idx.idx_zQF = [1;3;8;9;10;13;15;19];
idx.idx_zQT = [4;5;7;11];
idx.idx_zQG = [1;2];
idx.idx_zVm = [2;3;6;8;10;14];

```

```

test_se_14bus.m  x +
%% specify measurements
measure.PF = [1.5708;0.734;0.2707;0.1546;0.4589;0.1894;0.2707;0.0523;0.0943;0.0188];
measure.PT = [-0.5427;-0.4081;0.6006;-0.0816];
measure.PG = [2.32;0.4;0;0];
measure.Va = [];
measure.QF = [-0.1748;0.0594;-0.154;-0.0264;-0.2084;0.0998;0.148;0.0141];
measure.QT = [0.0213;-0.0193;-0.1006;-0.0864];
measure.QG = [-0.169;0.424];
measure.Vm = [1;1;1;1;1;1];

%% specify measurement variances
sigma.sigma_PF = 0.02;
sigma.sigma_PT = 0.02;
sigma.sigma_PG = 0.015;
sigma.sigma_Va = [];
sigma.sigma_QF = 0.02;
sigma.sigma_QT = 0.02;
sigma.sigma_QG = 0.015;
sigma.sigma_Vm = 0.01;

%% check input data integrity
nbus = 14;
[success, measure, idx, sigma] = checkDataIntegrity(measure, idx, sigma, nbus);
if ~success
    error('State Estimation input data are not complete or sufficient!');
end

%% run state estimation
casename = 'case14.m';
type_initialguess = 2; % flat start
[baseMVA, bus, gen, branch, success, et, z, z_est, error_sgram] = run_se(casename, measure, idx, sigma, type_initialguess);

```

```
>> test_se_14bus
```

Newton's method is chosen to solve Power Flow.

Converged in 2.23 seconds

[iteration number]: 7

Generator Data				
Gen #	Bus #	Status	Pg (MW)	Qg (MVA _r)
1	1	1	232.46	-13.83
2	2	1	40.18	43.51
3	3	1	0.00	24.10
4	6	1	0.09	43.85
5	8	1	0.00	-40.46
Total:			272.74	57.17

Bus Data						
Bus #	Voltage		Generation		Load	
	Mag(pu)	Ang(deg)	P (MW)	Q (MVar)	P (MW)	Q (MVar)
1	1.060	0.000	232.46	-13.83	-	-
2	1.044	-4.963	40.18	43.51	21.70	12.70
3	1.007	-12.703	0.00	24.10	94.20	19.00
4	1.015	-10.269	-	-	47.80	-3.90
5	1.018	-8.791	-	-	7.60	1.60
6	1.120	-14.115	0.09	43.85	11.20	7.50
7	1.071	-13.190	-	-	-	-
8	1.000	-13.190	0.00	-40.46	-	-
9	1.057	-14.698	-	-	29.50	16.60
10	1.000	-13.745	-	-	9.00	5.80
11	1.097	-14.473	-	-	3.50	1.80
12	1.104	-14.852	-	-	6.10	1.60
13	1.098	-14.905	-	-	13.50	5.80
14	1.000	-14.858	-	-	14.90	5.00
Total:			272.74	57.17	259.00	73.50

Branch Data								
Brnch #	From Bus	To Bus	From Bus P (MW)	Injection Q (MVar)	To Bus P (MW)	Injection Q (MVar)	Loss (I ² * Z)	
							P (MW)	Q (MVar)
1	1	2	156.75	-18.36	-152.47	25.58	4.279	7.22
2	1	5	75.71	4.53	-72.93	1.64	2.782	6.17
3	2	3	73.14	4.52	-70.81	0.68	2.328	5.20
4	2	4	55.98	-0.57	-54.31	2.04	1.672	1.47
5	2	5	41.83	1.28	-40.91	-2.15	0.920	-0.87
6	3	4	-23.38	4.42	23.76	-4.76	0.378	-0.34
7	4	5	-59.47	12.06	59.95	-10.55	0.477	1.51
8	4	7	27.09	-15.96	-27.09	17.89	0.000	1.92
9	4	9	15.37	-1.17	-15.37	2.38	0.000	1.20
10	5	6	45.03	-9.83	-45.03	14.32	0.000	4.49
11	6	11	8.10	8.87	-7.99	-8.64	0.109	0.23
12	6	12	7.74	3.18	-7.68	-3.04	0.069	0.14
13	6	13	18.08	9.98	-17.86	-9.54	0.225	0.44
14	7	8	-0.00	43.34	0.00	-40.46	0.000	2.88
15	7	9	27.07	14.52	-27.07	-13.61	0.000	0.90
16	9	10	5.23	69.14	-3.86	-65.50	1.369	3.64
17	9	14	9.43	17.74	-8.97	-16.76	0.459	0.98
18	10	11	-12.13	-45.39	13.94	49.63	1.811	4.24
19	12	13	2.05	1.34	-2.03	-1.33	0.011	0.01
20	13	14	11.97	24.91	-10.89	-22.70	1.084	2.21
Total:							17.973	43.64

Comparison of measurements and their estimations			
NOTE: In the order of PF, PT, PG, Va, QF, QT, QG, Vm (if applicable)			
Type	Index (#)	Measurement (pu)	Estimation (pu)
PF	1	1.5708	1.5675
PF	3	0.7340	0.7314
PF	8	0.2707	0.2709
PF	9	0.1546	0.1537
PF	10	0.4589	0.4503
PF	13	0.1834	0.1808
PF	15	0.2707	0.2707
PF	16	0.0523	0.0523
PF	17	0.0943	0.0943
PF	19	0.0188	0.0205
PT	4	-0.5427	-0.5431
PT	5	-0.4081	-0.4091
PT	7	0.6006	0.5995
PT	11	-0.0816	-0.0799
PG	1	2.3200	2.3246
PG	2	0.4000	0.4018
PG	3	0.0000	0.0000
PG	4	0.0000	0.0009
PG	5	0.0000	0.0000
QF	1	-0.1748	-0.1836
QF	3	0.0594	0.0452
QF	8	-0.1540	-0.1596
QF	9	-0.0264	-0.0117
QF	10	-0.2084	-0.0983
QF	13	0.0998	0.0998
QF	15	0.1480	0.1452
QF	19	0.0141	0.0134

QT	4	0.0213	0.0204
QT	5	-0.0193	-0.0215
QT	7	-0.1006	-0.1055
QT	11	-0.0864	-0.0864
QG	1	-0.1690	-0.1383
QG	2	0.4240	0.4351
Vm	2	1.0000	1.0438
Vm	3	1.0000	1.0070
Vm	6	1.0000	1.1198
Vm	8	1.0000	1.0000
Vm	10	1.0000	1.0000
Vm	14	1.0000	1.0000

[Weighted sum of squared errors]: 200.094487

Ejecutando 'test_se_14bus_err.m' se generará las siguientes salidas. El programa identifica algunas posibles razones para que el sistema no sea observable, que no son variables no observables. Este tipo de información puede guiar a los usuarios en el cambio de la configuración de medición para que el sistema sea observable.

```

function test_se_14bus_err
%TEST_SE_14BUS Test state estimation on IEEE 14-bus system.
% NOTE: This test shows system can be not observable due to measurement
% issues.
% created by Rui Bo on Jan 6, 2010

% MATPOWER
% Copyright (c) 2009-2016, Power Systems Engineering Research Center (PSERC)
% by Rui Bo
%
% This file is part of MATPOWER.
% Covered by the 3-clause BSD License (see LICENSE file for details).
% See http://www.pserc.cornell.edu/matpower/ for more info.

%%-----
% for IEEE 14-bus system
%%-----
% NOTE:
% 1) all eight members of 'idx', 'measure' and 'sigma' must be
% defined. They should be null vectors([]) if they do not have data
% 2) all data used in this code are for testing purpose only

%% which measurements are available
idx.idx_zPF = [1:3;8;9;10;13;15;19];
idx.idx_zPT = [4;5;7;11];
idx.idx_zPG = [1;2];
idx.idx_zVa = [];
idx.idx_zQF = [1:3;8;9;10;13;15;19];
idx.idx_zQT = [4;5;7;11];
idx.idx_zQG = [1;2];
idx.idx_zVm = [2;3];

```

```

%% specify measurements
measure.PF = [1.5708;0.734;0.2707;0.1546;0.4589;0.1834;0.2707;0.0188];
measure.PT = [-0.5427;-0.4081;0.6006;-0.0816];
measure.PG = [2.32;0.4];
measure.Va = [];
measure.QF = [-0.1748;0.0594;-0.154;-0.0264;-0.2084;0.0998;0.148;0.0141];
measure.QT = [0.0213;-0.0193;-0.1006;-0.0864];
measure.QG = [-0.169;0.424];
measure.Vm = [1;1];

%% specify measurement variances
sigma.sigma_PF = 0.02;
sigma.sigma_PT = 0.02;
sigma.sigma_PG = 0.015;
sigma.sigma_Va = [];
sigma.sigma_QF = 0.02;
sigma.sigma_QT = 0.02;
sigma.sigma_QG = 0.015;
sigma.sigma_Vm = 0.01;

%% check input data integrity
nbus = 14;
[success, measure, idx, sigma] = checkDataIntegrity(measure, idx, sigma, nbus);
if ~success
    error('State Estimation input data are not complete or sufficient!');
end

%% run state estimation
casename = 'case14.m';
type_initialguess = 2; % flat start
[baseMVA, bus, gen, branch, success, et, z, z_est, error_sqrsum] = run_se(casename, measure, idx, sigma, type_initialguess);

```

```

[Weighted sum of squared errors]: 5.417915
>> test_se_14bus_err
Warning: The following variables are not observable since they are not related with any measurement!
varNames =

    'Va8'    'Va10'    'Va14'    'Vm8'    'Vm10'    'Vm14'

idx_trivialColumns =

    4    9    13    17    22    26

Error using doSE (line 143)
doSE: system is not observable

Error in run_se (line 52)
[V, success, iterNum, z, z_est, error_sqrsum] = ...

Error in test_se_14bus_err (line 62)
[baseMVA, bus, gen, branch, success, et, z, z_est, error_sqrsum] = run_se(casename, measure, idx, sigma,
type_initialguess);

```

A.2. Estructura de archivos

La estructura de archivos es la siguiente.

- 1) Archivos de código fuente.
 - **run_se.m**: ejecución de la estimación del estado
 - **doSE.m**: realización de la estimación del estado
 - **outputsSoln.m**: muestra de los resultados de la estimación del estado en la pantalla
 - **checkDataIntegrity.m**: comprobación de la integridad de los datos de entrada
 - **isobservable.m**: comprobar si el sistema es observable a través de las mediciones proporcionadas
- 2) Archivos de datos de casos.
 - **case3bus_P6_6.m**: un sistema de 3 líneas en el problema 6.6 del libro 'Métodos Computacionales para Sistemas de Energía Eléctrica' escrito por Mariesa Crow
- 3) Archivos de prueba.
 - **test_se.m**: solucionador de prueba de estimación de estado en un sistema de 3 líneas
 - **test_se_14bus.m**: solucionador de prueba de estimación de estado en el sistema IEE 14-líneas
 - **test_se_14bus_err.m**: probación del estado de resolución de problemas en el sistema IEEE 14-líneas con problemas de medición que conduce al sistema no observable

Apéndice B: Matriz hessiana

B.1. Introducción

En Matemáticas, la matriz hessiana o hessiano de una función f de n variables, es la matriz cuadrada de $n \times n$, de las segundas derivadas parciales.

B.1.1. Definición

Dada una función real f de n variables reales:

$$\begin{array}{l} f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R} \\ \mathbf{x} \rightarrow f(\mathbf{x}) \end{array} \quad (\text{B.1})$$

Si todas las segundas derivadas parciales de f existen, se define la matriz hessiana de f como: $H_f(\mathbf{x})$, donde:

$$H_f(\mathbf{x})_{i,j} = \frac{\partial^2 f(\mathbf{x})}{\partial x_i \partial x_j} \quad (\text{B.2})$$

Tomando la siguiente forma:

$$H(f) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_n} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_2 \partial x_n} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n \partial x_2} & \frac{\partial^2 f}{\partial x_n^2} \end{bmatrix} \quad (B.3)$$

Además, se tiene que si: $f: A \subseteq \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ con A un conjunto abierto y f clase C^2 entonces la matriz hessiana está bien definida, y en virtud del teorema de Clairaut (ó teorema de Schwarz), es una matriz simétrica.

Esta matriz debe su nombre al matemático alemán Ludwig Otto Hesse y fue introducido por James Joseph Sylvester.

B.2. Aplicación de la matriz hessiana

B.2.1. Concavidad/Convexidad

Sea $A \subseteq \mathbb{R}^n$ un conjunto abierto y $f: A \rightarrow \mathbb{R}$ una función con segundas derivadas continuas:

1. f es convexa si y solo si, $\forall a \in A$, la matriz hessiana $H_f(a)$ es positiva-definida.
2. Si $\forall a \in A$ la matriz hessiana $H_f(a)$ es positiva-definida, entonces f es estrictamente convexa.
 - Si f es una función convexa, entonces cualquier punto en que todas las derivadas parciales son cero, es un mínimo local.
3. f es cóncava si y solo si, $\forall a \in A$ la matriz hessiana $H_f(a)$ es negativa-definida.
4. Si $\forall a \in A$ la matriz hessiana $H_f(a)$ es negativa-definida, entonces f es estrictamente cóncava.
 - Si f es una función cóncava, entonces cualquier punto en que todas las derivadas parciales son cero, es un máximo local.

B.2.2 Método para determinar el carácter de los puntos críticos

Se verá a continuación cómo hallar los puntos críticos (máximos, mínimos y puntos de inflexión -o silla o de ensilladura) de una función f de múltiples variables.

1. Se igualan las derivadas parciales primeras a cero.
2. Se resuelven las ecuaciones anteriores y se obtienen las coordenadas de los puntos críticos.
3. Se construye la matriz hessiana (derivadas segundas parciales).
4. Se sustituyen los puntos críticos en la matriz hessiana para obtener tantas matrices como puntos críticos tengamos.
5. Dependiendo del tipo de matriz resultante de evaluar la matriz Hessiana en los diferentes puntos críticos, estos puntos se pueden evaluar mediante el criterio de Sylvester:
 - Si todos los menores principales son mayores que 0, o sea, $|H_i| > 0 \forall i = 1, \dots, n$ f alcanza el mínimo relativo en el punto

- Si los menores principales de índice par son mayores que 0 y los de índice impar son menores que 0, o sea, $|H_{impar}| < 0$ y $|H_{par}| > 0 \forall i = 1, \dots, n$ f alcanza el máximo relativo en el punto.
- Si los menores principales son distintos de 0, es decir, $|H_i| \neq 0 \forall i = 1, \dots, n$ y no es ninguno de los casos anteriores, es un punto de silla.

Cuando algún $|H_i| = 0$ no se puede determinar nada, por lo que hace un estudio particular. Para $n = 2$, el criterio se mejora en el sentido de que si $|H_1| = 0$ y $|H_2| < 0$ f tiene un punto de silla en el punto.

De forma análoga podemos evaluar los extremos relativos de un campo escalar $f: \mathbb{R}^n \rightarrow \mathbb{R}$ estudiando los autovalores de su matriz hessiana.

Teorema 9.6 (CALCULUS volumen 2. Tom M.Apostol): "Sea f un campo escalar con derivadas parciales segundas continuas $D_{ii}f$ en una n -bola $B(a)$, y designemos con $H(a)$ la matriz hessiana en el punto estacionario a . Tenemos entonces:

- a) Si todos los autovalores de $H(a)$ son positivos, f tiene un mínimo relativo en a .
- b) Si todos los autovalores de $H(a)$ son negativos, f tiene un máximo relativo en a .
- c) Si $H(a)$ tiene autovalores positivos y negativos, f tiene un punto de ensilladura en a ."

En el caso particular en el que la función a evaluar grafica una superficie en $\mathbb{R}^3$, $f(x,y) = z$, y tiene segundas derivadas continuas, se pueden estudiar los puntos críticos evaluando la matriz hessiana en ellos y luego utilizando el criterio de determinación de extremos. Si (a,b) es un punto crítico de f , $(f_x(a,b) = 0$ y $f_y(a,b) = 0)$ entonces:

- Si el determinante de la matriz hessiana evaluado en el punto (a,b) es mayor que 0, $|H| > 0$, y $f_{xx}(a,b) < 0$, decimos que f alcanza un máximo relativo en (a,b) .
- Si el determinante de la matriz hessiana evaluado en el punto (a,b) es mayor que 0, $|H| > 0$, y $f_{xx}(a,b) > 0$, decimos que f alcanza un mínimo relativo en (a,b) .
- Si el determinante de la matriz hessiana evaluado en el punto (a,b) es menor que 0, $|H| < 0$, decimos que $f(a,b)$ es un punto de silla.
- Si el determinante de la matriz hessiana evaluado en el punto (a,b) es igual a 0, $|H| = 0$, el criterio no concluye resultado alguno.

B.3. Generalizaciones

B.3.1. Matriz hessiana orlada

La matriz hessiana orlada es una variante de la matriz hessiana utilizada en problemas de optimización restringida. El determinante de sus principales menores se utiliza como criterio para determinar si un punto crítico de una función es un mínimo, máximo, punto silla o no determinado (extremos condicionados).

B.3.2. Aplicación bilineal hessiana

El concepto de matriz hessiana puede generalizarse a espacios de dimensión infinita, concretamente a aplicaciones definidas sobre espacios vectoriales normados. Si una

aplicación (o funcional) está definida es diferenciable en el sentido de Fréchet y su diferencial jacobiana también es diferenciable en el sentido de Fréchet puede definirse una forma bilineal continua (y por tanto acotada) sobre el espacio normado que generaliza la matriz hessiana.

Se dice que una aplicación $f: \Omega \subset X \rightarrow Y$ entre espacios vectoriales normados X, Y es diferenciable si existe una aplicación lineal continua $L_a \in \mathcal{L}(X, Y)$ tal que:

$$\lim_{h \rightarrow 0} \frac{\|f(a+h) - f(a) - L_a(h)\|_Y}{\|h\|_X} = 0 \quad (\text{B.4})$$

En este caso se escribe:

$$Df(a)h \equiv L_a(h) \quad (\text{B.5})$$

Puede probarse que $\mathcal{L}(X, Y)$ es a su vez otro espacio vectorial normado con la norma:

$$\|A\|_{\mathcal{L}(X, Y)} := \sup_{0 \neq x \in X} \frac{\|Ax\|_Y}{\|x\|_X} \quad (\text{B.6})$$

La segunda derivadas cuando existe es:

$$D^2f(a) := D(Df(a)) \in \mathcal{L}(X, \mathcal{L}(X, Y)) \quad (\text{B.7})$$

La forma bilineal hessiana viene dada por:

$$H_f(a)(h, k) := (D^2f(a)h)k, \quad h, k \in X, H_f(a) \in \mathcal{L}(X \times X, Y) \approx \mathcal{L}(X, \mathcal{L}(X, Y)) \quad (\text{B.8})$$