

Requerimientos asociados al modelo electromagnético de parques solares fotovoltaicos a ser conectados en la red de UTE

Estudios y Proyectos de Trasmisión

Marzo 2017

Contenido

1	Introducción	4
2	Especificaciones	4
2.1	Requerimientos generales	4
2.1.1	Modelo Desagregado	4
2.1.2	Modelo Agregado.....	5
2.1.3	Código fuente y formato de archivos.....	5
2.2	Prestaciones de los modelos agregado y desagregado suministrados	5
2.2.1	Introducción	5
2.2.2	Alcance	6
2.2.3	Paso de integración	6
2.2.4	Tiempo de simulación	6
2.2.5	Control de tensión.....	6
2.2.6	Control de potencia reactiva.....	6
2.2.7	Control de potencia activa	7
2.2.8	Emulación de inercia (Synthetic inertia)	7
2.2.9	Punto de funcionamiento	7
2.2.10	Funciones de protección	7
2.2.11	Curva “Low Voltage Ride Through”	7
3	Documentación	8
3.1	Aspectos generales.....	8
3.2	Detalle de documentos requeridos para el modelo desagregado.....	8
3.2.1	Validación del modelo de una unidad generadora	8
3.2.2	Validación del modelo del parque	8
3.2.3	Manual de Usuario del modelo suministrado.....	8
3.2.4	Ejemplos de utilización.....	9
3.3	Detalle de documentos requeridos para el modelo agregado	9
3.3.1	Memoria de cálculo.....	9
3.3.2	Informe del rango de validez del modelo agregado	9
3.3.3	Validación del modelo de la unidad generadora equivalente y del equivalente del parque	9
3.3.4	Manual de Usuario del modelo suministrado.....	10
3.3.5	Ejemplos de utilización.....	10
4	Paquetes de archivos asociados a los modelos a ser suministrados	11

Anexo I: Procedimiento para crear un modelo de usuario en ATP	12
Código abierto Opción 1.....	12
Código abierto Opción 2.....	12
Código secreto.....	12
Anexo II: Detalle de los requerimientos asociados al modelo electromagnético de parques solares fotovoltaicos a ser conectados en la red de UTE	13
Detalle de los requerimientos generales	13
Información a suministrar	14
Manuales de usuario	15
Validación del modelo	15
Ejemplos de utilización.....	16

1 Introducción

El presente documento describe los requerimientos mínimos que debe cumplir el modelo de parque solar fotovoltaico utilizado en estudios de transitorios electromagnéticos, a ser entregado a UTE por parte del Generador.

En este documento se define como unidad generadora al inversor y los paneles fotovoltaicos asociados al mismo.

2 Especificaciones

2.1 Requerimientos generales

El modelado del parque solar fotovoltaico deberá permitir la realización de los estudios asociados a transitorios electromagnéticos que se describen en el presente documento. El modelado suministrado deberá ser apto para su utilización en el software EMTP en su versión ATP.

El modelado deberá ser desarrollado de forma tal que represente el comportamiento del parque solar fotovoltaico de forma fidedigna, para los diferentes estudios definidos en el punto 2.2.1.

Si el modelado incluye diferentes modos de control, asociados por ejemplo a la potencia reactiva, potencia activa, frecuencia, etc., los mismos deben poder activarse o desactivarse en función de las posibilidades de operación que el parque solar fotovoltaico posea; independientemente de las condiciones particulares en las cuales se conecte en una primera instancia al sistema eléctrico.

El modelado consistirá en un modelo agregado de parque y en otro desagregado, de acuerdo al siguiente detalle.

2.1.1 Modelo Desagregado

El modelo deberá contener: a) el modelo en detalle de la red colectora b) cada uno de las unidades generadoras modeladas individualmente c) los sistemas de control asociados a las unidades generadoras d) los sistemas de control asociados al parque.

2.1.2 Modelo Agregado

El modelo deberá contener: a) un modelo equivalente de la red colectora b) un modelo equivalente de todas las unidades generadoras del parque c) los sistemas de control asociados a la unidad generadora equivalente d) los sistemas de control asociados al parque.

Se deberá indicar el rango de frecuencias para el cual el modelo es válido.

2.1.3 Código fuente y formato de archivos

En cuanto al modelado específico de la unidad generadora, se aceptará un modelo del tipo “caja negra”. Este modelo debe haber sido validado por el fabricante, comparando los resultados del mismo con mediciones en campo.

Los modelos se suministrarán en los formatos *.acp, para que pueda ser utilizado por el programa ATPdraw, y *.DAT o *.ATP (archivo ASCII).

2.2 Prestaciones de los modelos agregado y desagregado suministrados

2.2.1 Introducción

Los modelos de parque solar fotovoltaico a suministrar serán utilizados para realizar diversos estudios sobre el sistema eléctrico al cual se conecta, con el objetivo de analizar el efecto de los mismos sobre el sistema eléctrico.

En función de lo expresado en el párrafo anterior, el modelo desagregado deberá ser apto para realizar, entre otros, los siguientes estudios:

- Análisis de recierres monofásicos y trifásicos en líneas cercanas.
- Análisis de cortocircuitos equilibrados y desequilibrados sobre el sistema eléctrico.
- Análisis de transitorios de maniobra.
- Coordinación de aislaciones.
- Análisis de TRV de interruptores.

En función de las prestaciones requeridas, el modelo deberá ser apto para la simulación de eventos en el rango de frecuencias de 0.1Hz a 100 kHz.

Con respecto al modelo agregado, de acuerdo al rango de frecuencias especificado para el cual es válido, se deberá indicar en cuales de los estudios anteriores se puede utilizar.

2.2.2 Alcance

- Los modelos deberán representar todos los elementos físicos que forman parte del parque solar fotovoltaico, de forma tal de cumplir con lo establecido en el punto 2.2.1 del presente documento.

Los modelos deberán contemplar al menos los siguientes elementos:

- Todas las unidades generadoras que componen el parque solar fotovoltaico y todos los transformadores elevadores correspondientes a las unidades generadoras.
 - La red colectora interna del parque fotovoltaico.
 - Sistemas de compensación de potencia reactiva.
 - Transformador de potencia ubicado en el puesto de conexión del parque fotovoltaico.
- Los modelos deberán representar todas las funciones de control implementadas tanto en forma individual para cada una de las unidades generadoras, así como aquellas implementadas en forma centralizada por parte de la unidad de control del parque solar fotovoltaico.

2.2.3 Paso de integración

Los modelos deberán admitir un paso de integración comprendido en el rango entre 1 microsegundo y 50 microsegundos.

2.2.4 Tiempo de simulación

El modelo desagregado deberá ser apto para representar fielmente el efecto del parque fotovoltaico sobre el sistema durante un tiempo de simulación de 5 segundos luego de aplicado algún tipo de perturbación.

Con respecto al modelo agregado, el mismo deberá ser apto para un tiempo de simulación de 5 segundos luego de aplicado algún tipo de perturbación.

2.2.5 Control de tensión

Los modelos deberán poder representar el modo de control asociado al control de tensión en el punto de conexión del parque solar fotovoltaico.

2.2.6 Control de potencia reactiva

Los modelos deberán poder representar todos los modos de control asociados a la potencia reactiva que posea el parque solar fotovoltaico y las unidades generadoras. Esto incluye los modos de control en condiciones “normales” de operación, así como los modos de control de la potencia reactiva utilizados durante huecos de tensión.

2.2.7 Control de potencia activa

Los modelos deberán poder representar todos los modos de control asociados a la potencia activa que posea el parque solar fotovoltaico y las unidades generadoras. Esto incluye los modos de control en condiciones “normales” de operación, así como los modos de control de la potencia activa utilizados durante huecos de tensión o durante desviaciones del valor de la frecuencia.

2.2.8 Emulación de inercia (Synthetic inertia)

En caso de que las unidades generadoras posean la capacidad de “emular inercia”, los modelos deberán poder representar esta característica.

2.2.9 Punto de funcionamiento

Los modelos deberán poder representar diferentes puntos de operación inicial del parque solar fotovoltaico, en particular deberán poder modelar el parque solar fotovoltaico en diferentes condiciones iniciales de inyección de potencia activa.

2.2.10 Funciones de protección

Los modelos deberán representar las funciones de protección tanto propias de las unidades generadoras como del parque solar fotovoltaico, que sean de interés para este tipo de estudios, esto incluye las protecciones contra sobretensión, subtenión, sobrefrecuencia y subfrecuencia.

2.2.11 Curva “Low Voltage Ride Through”

Los modelos deberán poder representar las diferentes características “Low Voltage Ride Through” que pueden ser implementadas en las unidades generadoras, independientemente de cómo sea configurado el parque solar fotovoltaico al momento de su entrada en servicio.

3 Documentación

3.1 Aspectos generales

Se deberá suministrar documentación que permita comprender el alcance de los modelos, las prestaciones, las limitaciones y las hipótesis de funcionamiento bajo las cuales los mismos son válidos.

Se aceptarán documentos en español, inglés y portugués.

3.2 Detalle de documentos requeridos para el modelo desagregado

La documentación entregada deberá incluir los siguientes aspectos:

3.2.1 Validación del modelo de una unidad generadora

Se deberán describir los ensayos y/o simulaciones realizados para la validación del modelo, indicando el procedimiento utilizado y el análisis realizado entre los resultados obtenidos a partir de mediciones y los resultados del modelo suministrado. Se deberá cumplir con lo establecido en el punto: Validación del modelo del Anexo II: Detalle de los requerimientos asociados al modelo electromagnético de parques fotovoltaicos a ser conectados en la red de UTE.

3.2.2 Validación del modelo del parque

Se deberán describir las simulaciones realizadas para la validación del modelo, indicando el procedimiento utilizado y el análisis realizado.

Se deberá cumplir con lo establecido en el punto: Validación del modelo del Anexo II: Detalle de los requerimientos asociados al modelo electromagnético de parques fotovoltaicos a ser conectados en la red de UTE.

3.2.3 Manual de Usuario del modelo suministrado

Este manual debe contener como mínimo la siguiente información:

- a) Introducción sobre el tipo de unidad generadora, principales características eléctricas, principales componentes.
- b) Descripción del modelo: la misma debe abarcar cada uno de los elementos que componen el modelo. Si se realizan simplificaciones en el modelado de algunos componentes las mismas deberán ser justificadas teóricamente o a través de comparaciones entre simulaciones y ensayos en campo.
- c) Descripción de las variables de entrada con sus correspondientes nombres y unidades.
- d) Descripción de las variables de salida con sus correspondientes nombres y unidades.

- e) Rango de variación del paso de integración.
- f) Descripción de la filosofía de cada uno de los controles implementados y diagramas de bloques indicativos.
- g) Indicación de cuales señales de referencia de los sistemas de control son ajustables por el usuario y rangos de variaciones asociados.
- h) Los valores de los ajustes de las funciones de protección, nombres de las señales de disparo e indicar cuáles son los interruptores a ser maniobrados.

3.2.4 Ejemplos de utilización

Deberá entregarse un documento que describa diferentes ejemplos de utilización del modelo suministrado, los mismos deberán ilustrar las prestaciones del mismo.

Se deberá cumplir con lo establecido en el punto: Ejemplos de utilización, del Anexo II: Detalle de los requerimientos asociados al modelo electromagnético de parques fotovoltaicos a ser conectados en la red de UTE.

3.3 Detalle de documentos requeridos para el modelo agregado

3.3.1 Memoria de cálculo

Este documento debe detallar los cálculos realizados para la obtención del modelo agregado de parque.

3.3.2 Informe del rango de validez del modelo agregado

Este documento debe describir el rango de frecuencias para el cual el modelo es válido.

3.3.3 Validación del modelo de la unidad generadora equivalente y del equivalente del parque

Se deberán describir las simulaciones realizadas para la validación del modelo, indicando el procedimiento utilizado.

Se deberá cumplir con lo establecido en el punto: Validación del modelo del Anexo II: Detalle de los requerimientos asociados al modelo electromagnético de parques fotovoltaicos a ser conectados en la red de UTE.

3.3.4 Manual de Usuario del modelo suministrado

Este manual debe contener como mínimo la siguiente información:

- a) Descripción del modelo: la misma debe abarcar cada uno de los elementos que componen el modelo. Si se realizan simplificaciones en el modelado de algunos componentes las mismas deberán ser justificadas teóricamente o a través de comparaciones entre simulaciones y ensayos en campo.
- b) Descripción de las variables de entrada con sus correspondientes nombres y unidades.
- c) Descripción de las variables de salida con sus correspondientes nombres y unidades.
- d) Rango de variación del paso de integración.
- e) Descripción de la filosofía de cada uno de los controles implementados y diagramas de bloques indicativos.
- f) Indicación de cuales señales de referencia de los sistemas de control son ajustables por el usuario y rangos de variaciones asociados.
- g) Los valores de los ajustes de las funciones de protección, nombres de las señales de disparo e indicar cuáles son los interruptores a ser maniobrados.

3.3.5 Ejemplos de utilización

Deberá entregarse un documento que describa diferentes ejemplos de utilización del modelo suministrado, los mismos deberán ilustrar las prestaciones del mismo.

Se deberá cumplir con lo establecido en el punto: Ejemplos de utilización, del Anexo II: Detalle de los requerimientos asociados al modelo electromagnético de parques fotovoltaicos a ser conectados en la red de UTE.

4 Paquetes de archivos asociados a los modelos a ser suministrados

Se deberán entregar al menos los siguientes archivos:

- Archivos asociados al modelo desagregado en EMTP-ATP del parque solar fotovoltaico, en los formatos mencionados en el ítem 2.1.
- Archivos asociados al modelo agregado en EMTP-ATP del parque solar fotovoltaico, en los formatos mencionados en el ítem 2.1.

Cada planta fotovoltaica deberá nombrar todos sus archivos .f, .c, .o, .a, .dll asociados a sus modelos de la siguiente forma:

Nombre del parquef

Nombre del parquec

Nombre del parqueo

Nombre del parquea

Nombre del parquedll

Esto es a los efectos de evitar que se repitan nombres de archivos.

- Archivos asociados a la documentación del modelo desagregado entregado según lo indicado en el punto 3.2.
- Archivos asociados a la documentación del modelo agregado entregado según lo indicado en el punto 3.3.

Anexo I: Procedimiento para crear un modelo de usuario en ATP

Código abierto Opción 1

Un usuario suministra un archivo *.dat/*.acp, con el formato de ATP, con la implementación de su modelo.

Código abierto Opción 2

Un usuario comienza por escribir un programa de su modelo en lenguaje Fortran o C, sea xxeolo.f por ejemplo.

Luego incorpora el modelo xxeolo.f en uno de los archivos: devt69.f (TACS), fgnmod.f (MODELS).

Escribe en un archivo *.dat/acp la llamada a su modelo.

En este caso el usuario suministra el archivo devt69.f/fgnmod.f y un archivo *.dat/*.acp con un ejemplo de llamada.

Código secreto

El usuario comienza por escribir un programa de su modelo en lenguaje Fortran o C, sea xxeolo.f por ejemplo.

Luego incorpora en uno de los archivos: devt69.f (TACS), fgnmod.f (MODELS) una llamada a su modelo, por ejemplo CALL xxeolo(arg1,.....argn). **No coloca el código de su modelo.**

Debe escribir en un archivo *.dat/acp la llamada a su modelo.

Crea el archivo objeto xxeolo.o **con el mismo compilador del ATP**. Este compilador es el MinGW, gratuito.

Se puede descargar del sitio:

<https://dl.dropboxusercontent.com/u/31810002/varios/MINGW5.ZIP>

En este caso el usuario suministra el archivo xxeolo.o , un archivo *.dat/*.acp con un ejemplo de llamada a su modelo y el archivo devt69.f/fgnmo.f con la llamada a su modelo.

Anexo II: Detalle de los requerimientos asociados al modelo electromagnético de parques solares fotovoltaicos a ser conectados en la red de UTE

En este anexo se detallan algunos de los requerimientos mencionados anteriormente.

Detalle de los requerimientos generales

De acuerdo al punto 2.1 “Requerimientos generales” se solicita que los siguientes ítems sean incorporados en los modelos suministrados por el Generador:

1. La Característica de Saturación (incluyendo la inductancia de núcleo de aire) de los transformadores elevadores de las unidades generadoras y del transformador ubicado en el punto de conexión.
2. Los sistemas de control de las unidades generadoras fotovoltaicas.
3. Los sistemas de control del parque solar fotovoltaico.
4. Modelo detallado de la Red Colectora y un circuito eléctrico equivalente de la misma.

Información a suministrar

De acuerdo a los puntos 3.2 y 3.3 y al Convenio de Uso, se solicita que la siguiente información sea incorporada a la documentación a suministrar por el Generador:

1. Protocolos de ensayo de los transformadores elevadores de las unidades generadoras. Se debe presentar la característica de sobreflujos soportados en función del tiempo (V/Hz), la inductancia de núcleo de aire y el knee point (el “knee point” es el valor del flujo tal que si se considera otro punto a la derecha del mismo en la característica Flujo vs Corriente, la pendiente de la recta determinada por esos dos puntos es la inductancia de núcleo de aire).
2. Protocolos de ensayo del transformador elevador ubicado en el punto de conexión. Se debe presentar la característica de sobreflujos soportados en función del tiempo (V/Hz), la inductancia de núcleo de aire y el knee point (el “knee point” es el valor del flujo tal que si se considera otro punto a la derecha del mismo en la característica Flujo vs Corriente, la pendiente de la recta determinada por esos dos puntos es la inductancia de núcleo de aire).
3. Parámetros de los circuitos eléctricos equivalentes de las celdas fotovoltaicas (PV cell equivalent circuit).
4. Descripción de los sistemas de control de las unidades generadoras fotovoltaicas.
5. Descripción de los sistemas de control de la planta solar fotovoltaica.
6. Descripción y parámetros de la red colectora del parque solar fotovoltaico.

Manuales de usuario

De acuerdo a los puntos 3.2.3 y 3.3.4, se solicita que la siguiente información sea incorporada a la documentación a suministrar por el Generador:

1. Se deben indicar las variables con sus nombres que definen el punto de operación para la unidad generadora fotovoltaica y para la granja. Para cada variable se indicará su rango de variación y dimensiones.
2. Para inicializar el modelo en un punto de operación, indicar qué variables debe ajustar el usuario.
3. Rango de variación del paso de integración del modelo.

Validación del modelo

De acuerdo a los puntos 3.2.1, 3.2.2 y 3.3.3, se solicita presenten:

1. Si el Generador suministra la Característica de Saturación (incluyendo la inductancia de núcleo de aire) de los transformadores elevadores de las unidades generadoras fotovoltaicas y del transformador ubicado en el punto de conexión: a) en un archivo .dat/.acp, UTE verificará dicha implementación b) en un modelo secreto, UTE solicita las “corrientes inrush” correspondientes a un estudio de energización de un transformador elevador y del transformador ubicado en el punto de conexión a la red de UTE.
2. UTE solicita las respuestas simuladas al escalón (aplicados a las distintas referencias de los sistemas de control) de los modelos de los controles de las unidades generadoras fotovoltaicas.

3. UTE solicita las respuestas al escalón en la señales de referencia de cada uno de los siguientes controles del parque solar fotovoltaico:
 - Control de tensión
 - Control de Potencia Activa
 - Control de Potencia Reactiva
 - Control del factor de potencia
4. UTE solicita un estudio de cortocircuito trifásico en los casos: a) en bornes del devanado de alta tensión del transformador elevador de la unidad generadora fotovoltaica b) en bornes del devanado de baja tensión del transformador ubicado en el punto de conexión. En ambos casos se deberán graficar las corrientes de cortocircuito.
5. Comparaciones entre las respuestas del modelo suministrado y mediciones/simulaciones (con otro software).
6. Otras validaciones que el Generador considere conveniente.

Ejemplos de utilización

De acuerdo a los puntos 3.2.4 y 3.3.5 se solicita presenten los resultados de los siguientes casos de simulación a los efectos de visualizar el desempeño del modelo del parque solar fotovoltaico.

Respuesta del modelo de la planta solar fotovoltaica frente a cortocircuitos trifásicos, bifásicos a tierra y una fase a tierra, aplicados en el punto de conexión con la red de UTE. Los cortocircuitos se simularán sólidos y también con impedancias de falta. Específicamente se deben suministrar las tensiones, las corrientes, las potencias activa y reactiva en el nodo de conexión.