

Documento de resumen

Inversores de cadenas para plantas de energía fotovoltaica

Módulos cristalinos

Mayo 2009

Índice

1	Introducción: Resumen	2
2	La elección de la mejor disposición de una planta de energía.....	4
2.1	Campos fotovoltaicos cuadráticos	4
2.2	Disposiciones de campo alternativas	5
2.3	Estación transformadora compacta	6
2.4	Disposición de los módulos	7
2.5	Conexión de datos.....	8
3	Servicio / fiabilidad	9
4	Apéndice A: diagramas de cableado.....	9
4.1	Cableado de un campo de 665 kWp.....	9
4.2	Cableado de una planta de 10 MWp.....	9
4.3	Disposición del equipo de conmutación de baja tensión	9

Documento de resumen: inversores de cadenas para plantas de energía fotovoltaica

1 Introducción: Resumen

El presente documento presenta nuevas ideas sobre la utilización de los inversores de cadenas en grandes plantas de energía fotovoltaica.

Está comúnmente aceptado que existe una relación entre el tamaño del inversor y el coste específico en €/kW. Por lo tanto, al construir plantas de energía fotovoltaica de última generación con la amplia gama MW, la norma ha consistido en utilizar inversores lo más grandes posibles con el fin de reducir los costes de la inversión. En la actualidad, hay disponibles inversores centrales que alcanzan potencias entre 1 y 2 MW. Sin embargo, la tendencia al desarrollo de inversores cada vez mayores está elevando los costes externos.

La naturaleza modular inherente de los módulos fotovoltaicos (el mayor aún se encuentra por debajo de los 500 W) implica la modularidad de una planta de energía fotovoltaica de cualquier tamaño. Por lo tanto, es conveniente buscar formas alternativas de estructurar una planta de energía fotovoltaica.

Con el uso de los inversores de cadenas como elementos modulares de la planta, sus funcionalidades incorporadas realizan muchas de las funciones adicionales requeridas al aplicar una estación de inversores centrales superflua.

Los actuales inversores de cadenas de gama alta incorporan tanto las ventajas principales de los inversores centrales como el amplio intervalo de tensión de un sistema de CC y la salida trifásica, sin comprometer la gran eficacia que caracteriza a los inversores de cadenas. De este modo se consigue reducir las pérdidas tanto en cableados de CA como de CC, lo que garantiza un mayor rendimiento. El número elevado de rastreadores de punto máximo de potencia asegura un mayor aprovechamiento de la energía de los paneles. Asimismo, los combinadores de cadenas y la monitorización de cadenas externa ya no son necesarios, de modo que es posible utilizar un cableado sencillo.

El uso de estaciones transformadoras compactas para conectar los inversores de cadenas a la red de media tensión implica que tanto las estaciones transformadoras como los inversores puedan colocarse entre las subestructuras de módulos fotovoltaicos con una baja incidencia. Además, los inversores de cadenas y las estaciones transformadoras compactas se caracterizan por su facilidad de instalación, su frecuente uso y sus cortos plazos de entrega.

No se requiere ninguna formación especial para la instalación, el mantenimiento o la sustitución de los inversores de cadenas, con lo que pueden evitarse los contratos de mantenimiento, habituales en el caso de los inversores centrales. Al no utilizar cajas de conexión, también se evita el mantenimiento relativo a la CC.

Este trabajo subraya el papel de los inversores de cadenas como alternativa atractiva a los inversores centrales en las plantas de energía. Para ello, se recurre al ejemplo de una planta de

10 MWp en Centroeuropa con 15 campos fotovoltaicos cuadráticos idénticos, 15 estaciones transformadoras individuales de 630 kVA y 15 x 42 inversores TripleLynx.

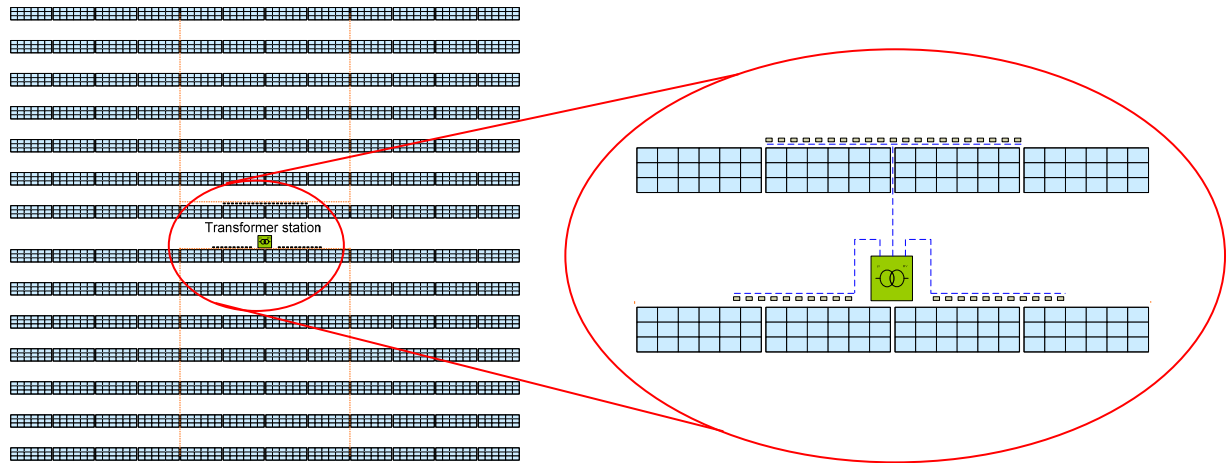


Figura 1: disposición de un campo fotovoltaico basado en módulos cristalinos

Este ejemplo muestra una disposición de 14 filas de subestructuras, cada una con 12 subestructuras (125 x 125 m, aprox.). Cada subestructura está equipada con 18 módulos orientados según el paisaje en 3 filas.

2 La elección de la mejor disposición de una planta de energía

El objetivo a la hora de proyectar una planta de energía fotovoltaica es conseguir el máximo rendimiento de la inversión. Por un lado, ello exige el uso de inversores y transformadores de media tensión con una eficiencia óptima, énfasis en la reducción de pérdida de cable y de pérdidas debidas a sombras, así como una monitorización en detalle de la planta.

Por otro lado, la planificación manual y los costes del material y la instalación deberían reducirse al máximo.

2.1 Campos fotovoltaicos cuadráticos

El uso de estaciones transformadoras compactas eficientes en términos de costes colocados de forma central en campos fotovoltaicos cuadráticos, reduce las pérdidas de cable en la zona de CC y en la zona de baja tensión de CA, ya que se reduce la longitud de los cables entre los módulos, el inversor y el transformador. Véase la figura 1: disposición de un campo de energía fotovoltaica.

El uso de inversores que pueden soportar una entrada de hasta 1000 V, cajas de conexión y varios combinadores de cadenas puede evitarse. Los cables de CC van directamente de la cadena de módulos al inversor.

Una estación transformadora de 630 kVA puede tener 42 inversores conectados directamente y el equipo de conmutación correspondiente, incluyendo el montaje del distribuidor de baja tensión en la zona de baja tensión de la estación transformadora.

Por otro lado, es posible construir mayores cantidades de campos de energía fotovoltaica de 665 kWp de diseño modular de forma rentable.

Véase el apéndice A donde se recoge un ejemplo de cableado.

A continuación; abordaremos las ventajas en mayor detalle:

2.1.1 Ventajas en la zona de CC

Los niveles máximo y mínimo de tensión de CC de los inversores de cadenas permiten utilizar una potencia en cadena de 5,28 kWp (conectando módulos de 220 Wp con 60 células por módulo). La consiguiente reducción del número de cadenas en relación con la potencia reduce los gastos de cable e instalación considerablemente.

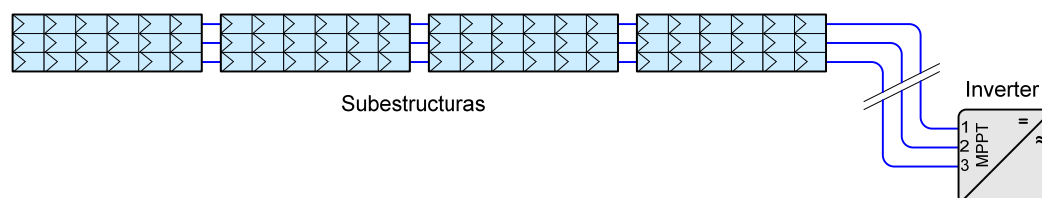


Figura 2: cableado de módulo basado en módulos cristalinos
Cada fila de módulos va conectada directamente a su propio MPPT.

La tensión de la cadena a la temperatura nominal de funcionamiento de la célula (NOCT) está muy por encima de $600 V_{CC}$, con lo que se consigue una eficiencia óptima. Por otro lado, la reducción del rendimiento debida a pérdidas de cables de CC desciende considerablemente.

El rastreamiento MPP individual de cada cadena (o de un grupo de cadenas cuando se utilizan módulos con menor corriente MPP), que es una de las principales ventajas de los inversores de cadenas, permite un rendimiento energético máximo por cadena.

Si además las tres filas de módulos por subestructura fotovoltaica se conectan a su propio rastreador MPP, los riesgos de pérdidas debidas a sombras se reducen en gran medida. Esto se debe al hecho de que cada grupo de cadenas cuenta entonces con su propio rastreador MPP independiente para controlar y optimizar la salida. Si una cadena se desconecta debido a la falta de radiación solar o a un fallo, el resto de cadenas siguen generando energía, de modo que se maximiza el rendimiento energético total.

2.1.2 Ventajas en la zona de CA:

Los inversores de cadenas con recinto IP54 resultan adecuados para instalaciones exteriores y no requieren protección adicional cuando se instalan en la sombra en la parte trasera de la subestructura del módulo.

El reducido peso y las dimensiones compactas de los inversores de cadenas permiten la colocación de la unidad en la construcción del módulo. Si la instalación del inversor se realiza cerca del transformador, el coste del cableado de CA de baja tensión se reduce en gran medida, evitándose las pérdidas de rendimiento debidas al cable de CA en su camino al transformador.

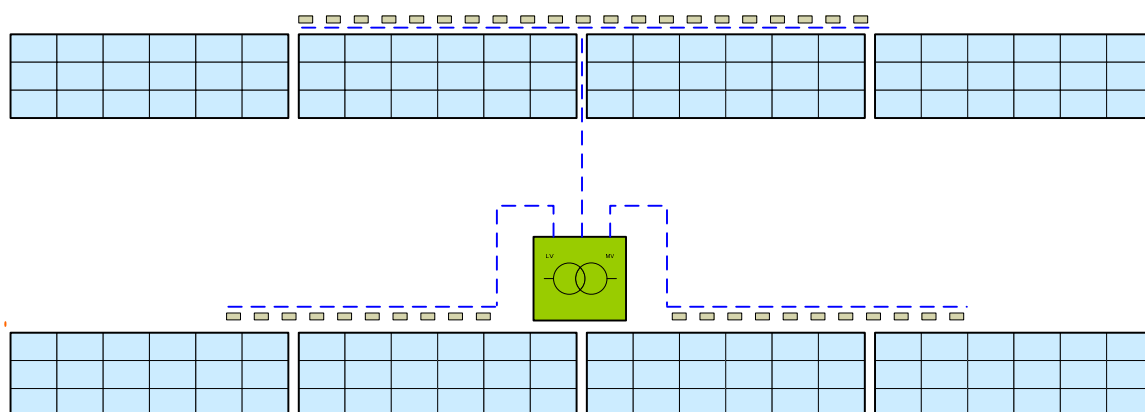


Figura 3: ubicación del inversor

Los inversores se montan en la parte trasera de las subestructuras de módulos, cerca de la estación transformadora.

La distribución de baja tensión de todos los inversores conectados se instala en la parte de baja tensión de la estación transformadora y puede ir preinstalada en la estación transformadora con anterioridad a su entrega. Véase el apéndice A 4.3.

2.2 Disposiciones de campo alternativas

Acabamos de describir un campo fotovoltaico cuadrático con inversores colocados de forma central. Las condiciones y resultados correspondientes podrían conseguirse también con una disposición rectangular con 21 filas de subestructuras con 8 subestructuras por fila.

De igual forma, es posible diseñar disposiciones en las que los inversores no estén colocados en el centro. En dicho caso, la solución óptima depende de los costes del material y de instalación del cableado de CC y de CA, y de las cajas de conexión para la agrupación y la protección del cableado de CA ponderados en relación con las pérdidas del cableado de CC y CA.

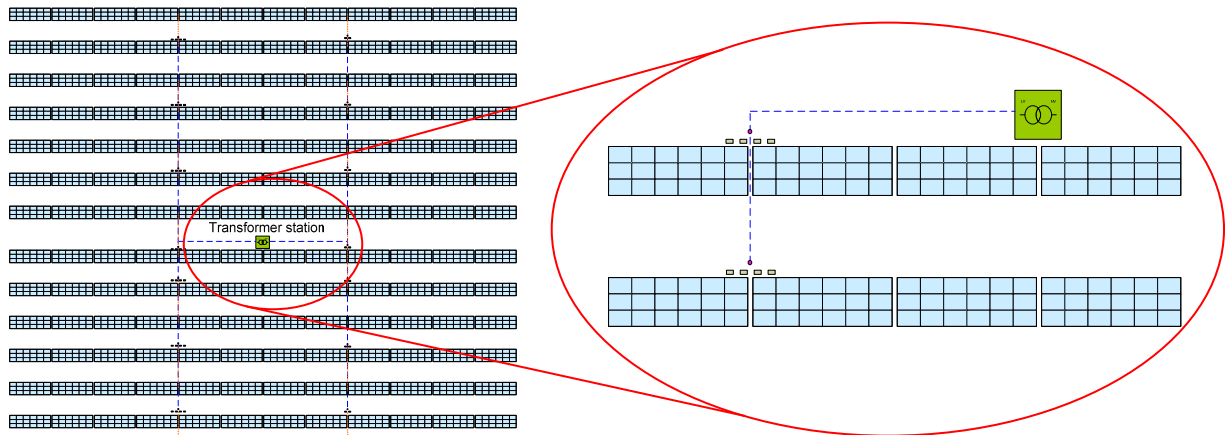


Figura 4: disposición de campo fotovoltaico con inversores repartidos

Este ejemplo es idéntico al de la Figura 1 en cuanto al montaje de los módulos, si bien los inversores se colocan cerca de éstos. Cada inversor se coloca en la zona de CA, conectado a una caja de conexión que se conecta a su vez a la estación transformadora.

2.3 Estación transformadora compacta

La estación transformadora de 630 kVA es una de las más utilizadas y, por lo general, cuenta con unos plazos de entrega cortos. Las dimensiones compactas y el reducido peso de la estación transformadora permiten suministrar dos unidades por entrega y utilizar camiones grúa más pequeños en su instalación. Dado que la altura de la estación transformadora es reducida (187 cm por encima del nivel del suelo), es posible colocarla por detrás de los módulos. La subestructura de módulos opuesta está solo ligeramente más a la sombra si no se modifican las distancias entre las subestructuras.

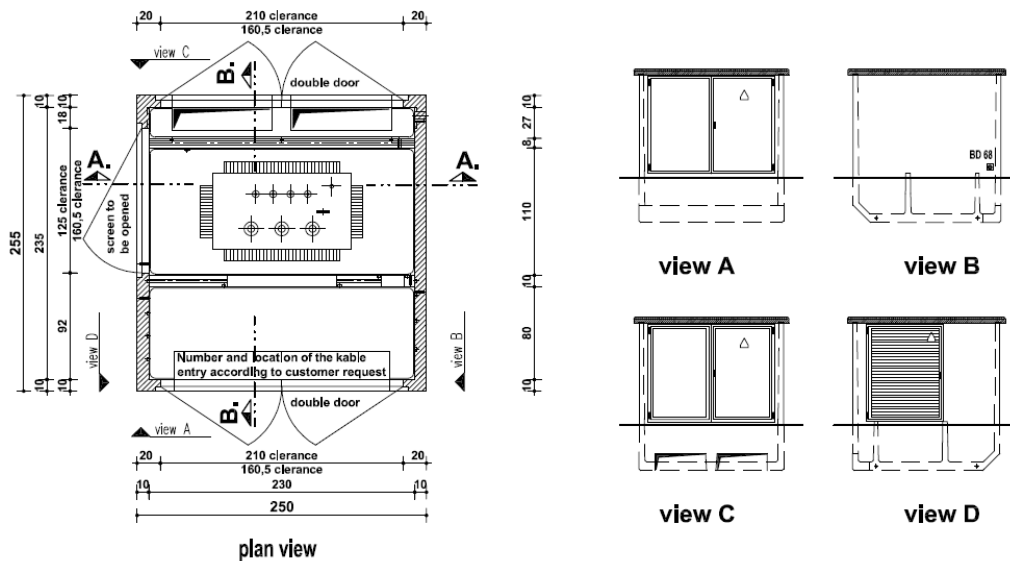


Figura 5: estación transformadora

El uso de un transformador con bajas pérdidas reduce el consumo eléctrico nocturno del transformador por debajo del 0,4 % de la producción anual. Por consiguiente, las pérdidas por cortocircuitos en el transformador no tienen grandes consecuencias sobre el rendimiento general.

En la zona de media tensión de los transformadores de este tamaño, pueden instalarse paneles de alimentación salientes con fusibles HH en lugar de los conmutadores de alimentación, mucho más caros. Toda la tensión del cableado largo se convierte a media tensión, con lo que se reducen las pérdidas.

2.4 Disposición de los módulos

Para ilustrar las anteriores ventajas, presentamos ahora un ejemplo de posible disposición modular.

Con el fin de reducir las pérdidas por sombras (sombra de cubierta) se recomienda montar 3 filas de módulos orientadas según el paisaje por cada subestructura. Conectar los módulos de forma que cada fila forme su propia cadena. Las tres cadenas se conectan entonces de forma individual a las tres entradas del inversor.

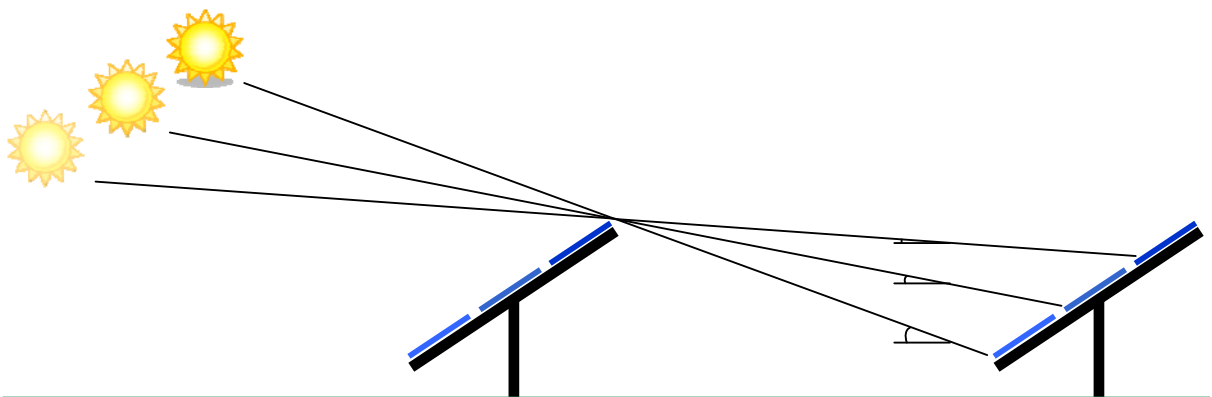


Figura 6: sombra sobre los módulos

Cuando el sol incide en una posición baja, solo los módulos de la misma cadena se ven afectados, ya que cada fila cuenta con MPPT independientes.

Dicha configuración proporciona además una ligera ventaja en los días de invierno, cuando los módulos inferiores están por lo general a la sombra. En los días de verano, sin viento y con alta irradiación, puede conseguirse una ventaja similar, ya que el módulo superior tendrá una temperatura ligeramente superior y, por lo tanto, una menor tensión MPP.

Los 3 rastreadores MMP optimizan así las filas individuales en lugar de utilizar una media combinada, como ocurriría si las cadenas estuviesen conectadas en paralelo.

La disposición con 5,28 kWp por cadena o 15,9 kWp en total, consigue un factor de disposición de $P_{\text{solar}}/P_{\text{inversor}} = 1,06$ que está dentro de las recomendaciones hechas por el Dr. Bruno Burger¹ para plantas ubicada en Centroeuropa. Se han tenido en cuenta la alta eficiencia del inversor y la menor temperatura del módulo, debida a su montaje en el suelo.

La disposición puede conseguirse de varias formas, si bien en todas debe utilizarse un voltaje de circuito abierto de 1000 V.

¹ Dimensionamiento de los inversores para plantas de energía fotovoltaica conectadas a red, Dr. en Ingeniería Bruno Burger, Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE, Heidenhofstraße 2, D-79110 Friburgo (Alemania).

http://www.ise.fraunhofer.de/veroeffentlichungen/nach-jahrgaengen/2005/auslegung-und-dimensionierung-von-wechselrichtern-fur-netzgekoppelte-pv-anlagen/at_download/file

Con respecto a los módulos monocristalinos o policristalinos con células de 156 x 156, existen dos opciones, dependiendo del número de células por módulo:

- 1 cadena de 24 módulos (220 W con 60 células) en cada una de las 3 entradas
- 1 cadena de 30 módulos (175 W con 48 células) en cada una de las 3 entradas

Para instalaciones en el sur de Europa, donde se recomienda un factor de disposición menor, la potencia puede reducirse con facilidad de la siguiente forma. Conectando menos módulos en una única cadena cuando se usen módulos policristalinos.

2.5 Conexión de datos

Los datos para la supervisión de la planta pueden enviarse a un servicio de almacenamiento de datos a través de webloggers colocados en cada estación transformadora. La corriente y módem utilizados por el weblogger pueden obtenerse del área de baja tensión del transformador, ya que solo se necesita una pequeña cantidad de corriente (<20 W).

Si se requiere acceso en línea a los datos, se recomienda conectar cada weblogger directamente a un puerto de ethernet, en lugar de utilizar un módem.

En caso de que la estación transformadora se desconecte y se apague el weblogger, los datos del inversor se recogerán del registrador de datos integrado en el inversor una vez restaurado el suministro eléctrico. El registrador de datos integrado conserva registros del inversor de los últimos 3 días en una memoria de anillo.

Con los inversores colocados en el centro cerca de la estación transformadora, es fácil realizar las conexiones para la transmisión de datos. Los inversores pueden conectarse en serie utilizando un cable estándar Cat 5. El cable puede conectarse directamente al inversor utilizando o bien terminales atornillados, o bien cables prefabricados con conectores RJ45.

Es posible monitorizar la tensión actual y la tensión MPP de todas las entradas de los inversores individualmente. Así, con 7 cadenas de módulos de CdTe es posible detectar un error en una cadena individual (720 Wp) en la entrada del inversor afectada (5 kWp) sin necesidad de equipamiento adicional. Véase la figura 2.

Los datos se graban cada 10 minutos y normalmente se transmiten al servicio de almacenamiento de datos diariamente.

El cableado de datos se reproduce en el apéndice A 4.1.

3 Servicio / fiabilidad

Los inversores de cadenas tienen la ventaja de ser un componente estándar disponible en el mercado. Por ello, es posible dejar que un instalador local o supervisor de planta sin formación específica realice el cambio del inversor en caso necesario. De este modo, los contratos de mantenimiento, habituales en el caso de los inversores centrales, no son necesarios en el caso de los inversores de cadenas. Además, puede contarse con inversores adicionales de repuesto de forma local.

Por otro lado, en caso de fallo, solo se verá afectada una parte más reducida del sistema. Por ejemplo, en una planta de 10 MW deben fallar por completo más de 6 inversores para que la pérdida alcance el 1 % de la producción.

Con las estaciones transformadoras compactas propuestas, el mantenimiento anual de la red de media tensión requiere algo más de esfuerzo, debido al número de estaciones transformadoras. Sin embargo, no se requiere mantenimiento en la zona de CC, ya que se eliminan las cajas de conexión. P. ej., no hay problemas debidos a fusibles de CC fundidos.

La garantía de cinco años no varía cuando los inversores se utilizan en aplicaciones de grandes plantas. Además, es posible ampliar la garantía a 10 años.

Para ayudar al instalador o supervisor de la planta a identificar cada inversor durante un fallo, se cuenta con un display.

4 Apéndice A: diagramas de cableado

4.1 Cableado de un campo de 665 kWp

Dibujo de Gräper

4.2 Cableado de una planta de 10 MWp

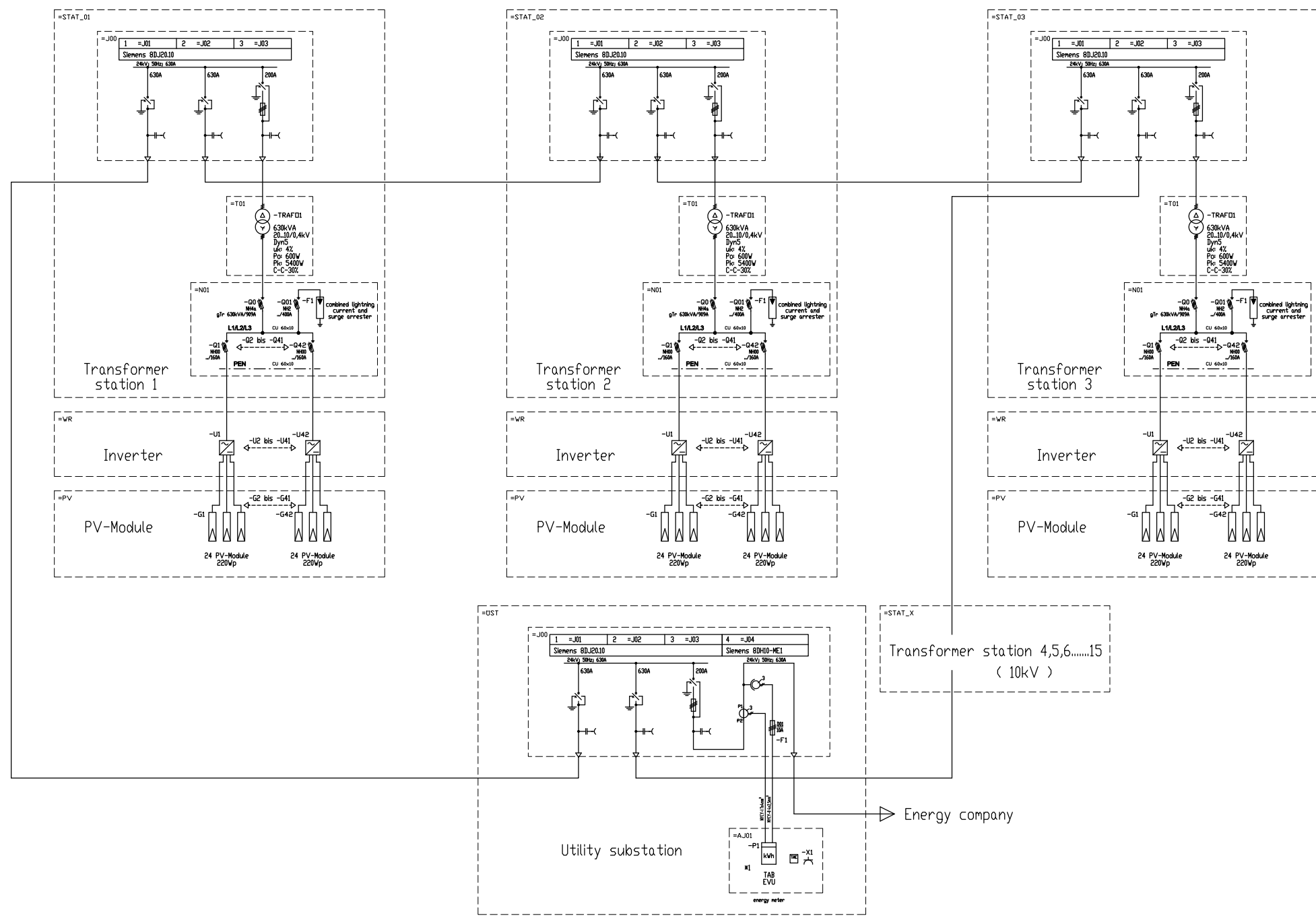
Dibujo de Gräper

4.3 Disposición del equipo de conmutación de baja tensión

Dibujo de Gräper

Observe protection mark according ISO 160161.

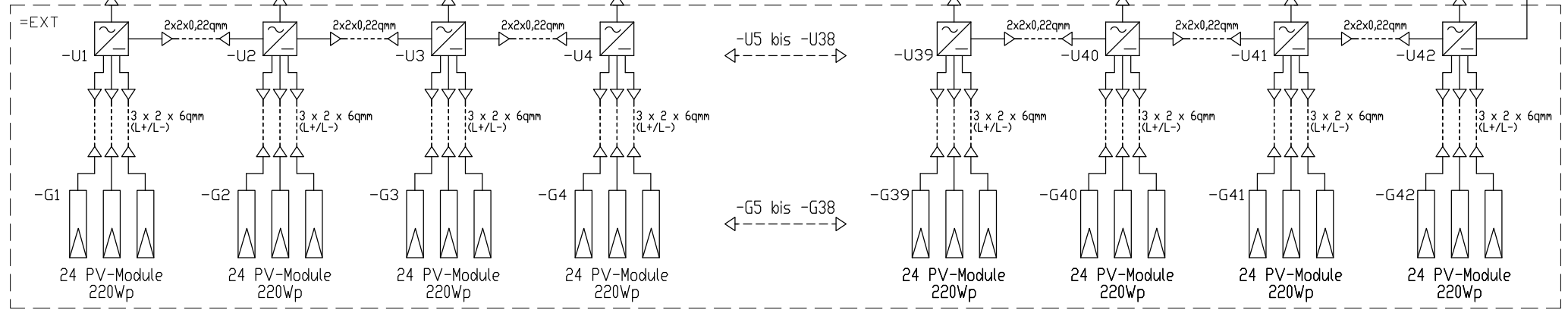
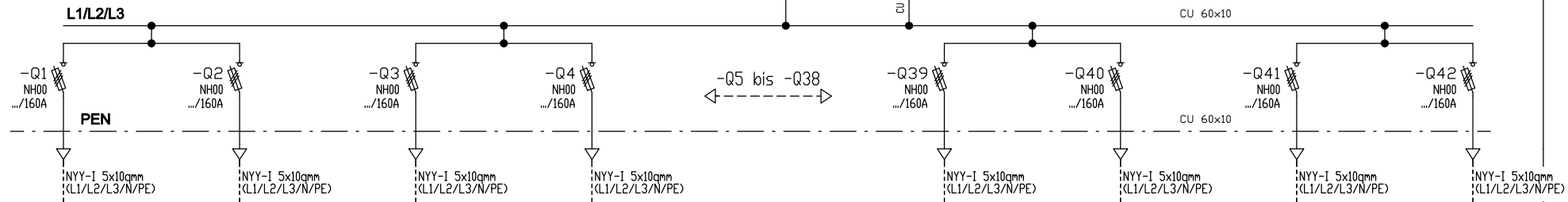
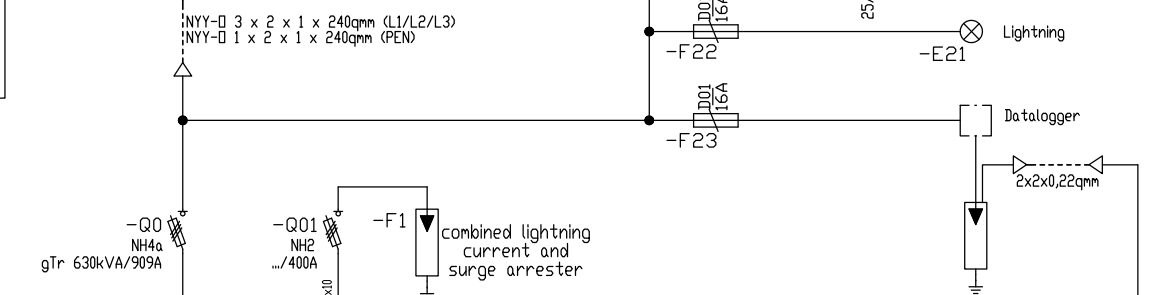
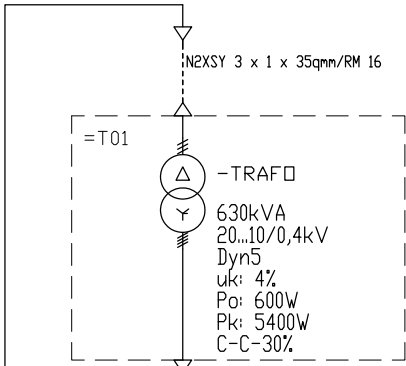
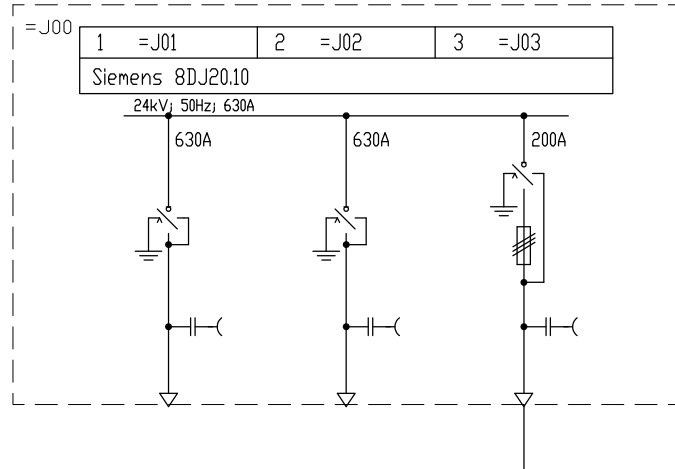
CAE - ecsad AERO III (Build 12.00.xxx)
 Project: DANFOSS-SOLAR_E_082545
 Plot: 20.01.09 09:42:22



Date: 19.01.09		GRÄPER	Beton- und Energietechnik Heinrich Gräper GmbH & Co. KG Ida Gräper Weg 26197 Großenkneten - Ahhorn		Overview wiring diagram PV powerplant concept		Projectdescription: Danfoss Solar Inverters A / S - "PV-Kraftwerk"		= A00	
Design: K. Freese			Source:		Rep.f:		Order No.: PR-082545		Drawing No.: 08/2.186-EA01	
Check: M. Coldewey			Rep.f:		Rep.f:		Page 02 - of 2			
Status	Revision	Date	Name	Stand.	Source:	Rep.f:	Rep.f:			

Observe protection mark according ISO 16016!

CAE - escad AERO III (Build 12.00.xxx)
 Project: DANFOSS-SOLAR_E_082545
 Plot: 20.01.09 09:41:29



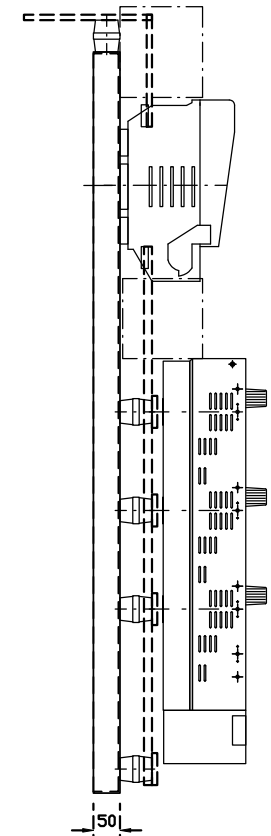
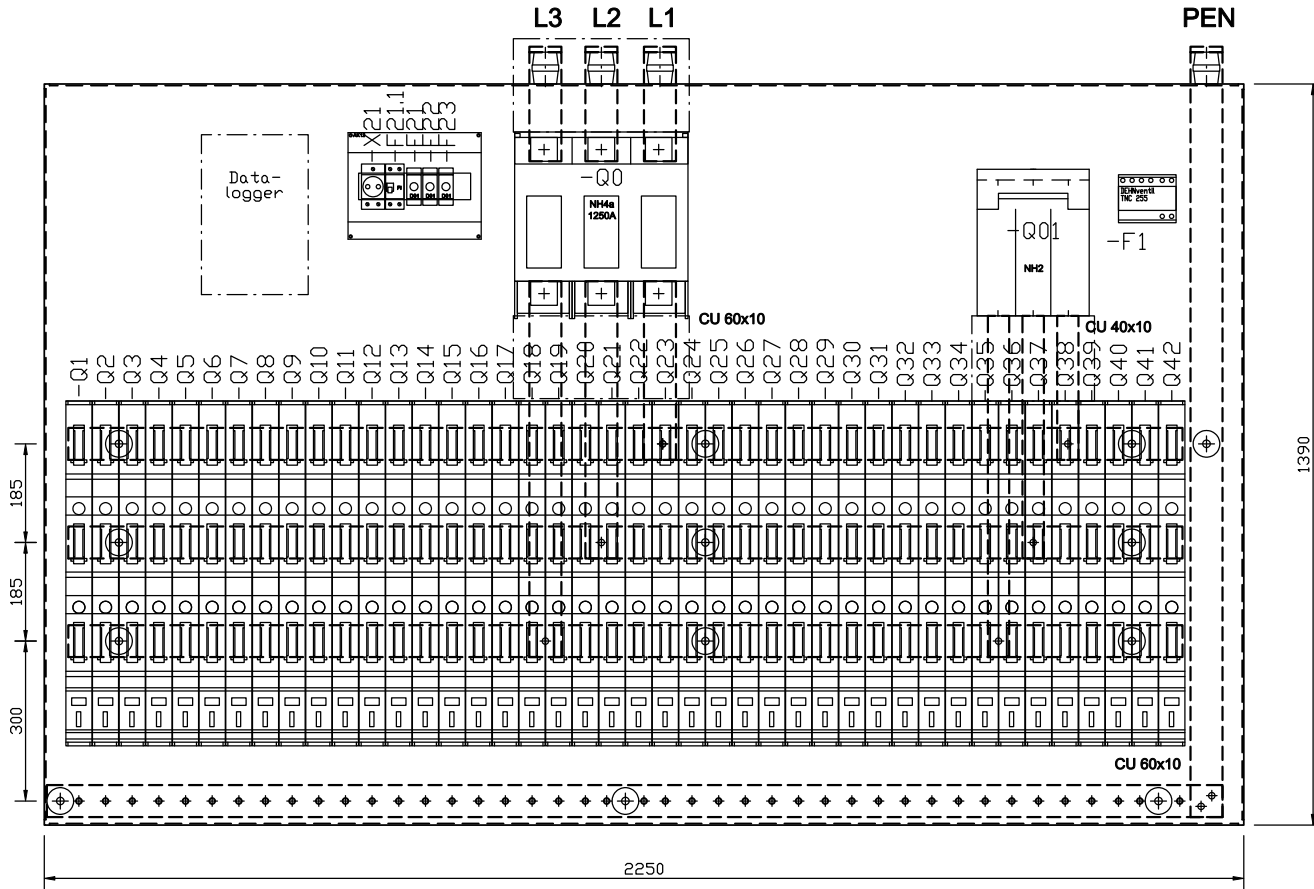
Date	19.01.09
Design	K. Freese
Check	M. Coldewey
Status	Revision
Date	Name
Stand.	Stand.

GRÄPER
 Beton- und Energietechnik
 Heinrich Gräper GmbH & Co. KG
 Ida Gräper Weg
 26197 Großenkneten - Ahlhorn
 Rep.by:

Overview wiring diagram
 low voltage switch gear in
 20kV-Transformer station

Projectdescription:	Danfoss Solar Inverters A / S - "PV-Kraftwerk"	= N01
Order No.:	PR-082545	Page 11 +
Drawing No.:	08/2.186-EA01	of 2

Observe protection mark according ISO 16016!



CAE - escad AERO III (Build 12.00.xxx)
 Project: DANFOSS-SOLAR_E_082545
 Plot: 20.01.09 09:40:25

low voltage switch gear						
Typ		busbar system				
G-SLTL1250-AL21		materials	construction	bus bar distance	current rating	
400/230V; 3-/PEN/50Hz; 4 polig		Kupfer	Flach	185/185/275mm	910A	
form	total dimension (B/H/T)	busbar dimension				
LV-sheet 2250x1390	ca. 2250x1350x300mm	60x10mm (L1/L2/L3/PEN)				
degree of protection	Normen	supply	cable tail	other		
IP20	DIN EN 60439-1 VDE 0680 Teil 500	up / back	under	-		

Technical Informationen

measuring						
Energy company	wire	counter cabinet	board	fuse	wire for voltage	wire for current
+	+	+	+	+	+	+



Danfoss Solar Inverters A/S

Jyllandsgade 28
DK-6400 Sønderborg
Denmark
Tel: +45 7488 1300
Fax: +45 7488 1301
E-mail: solar-inverters@danfoss.com
www.solar-inverters.danfoss.es

Danfoss can accept no responsibility for possible errors in catalogues, brochures and other printed material. Danfoss reserves the right to alter its products without notice. This also applies to products already on order provided that such alterations can be made without subsequential changes being necessary in specifications already agreed.
All trademarks in this material are property of the respective companies. Danfoss and the Danfoss logotype are trademarks of Danfoss A/S. All rights reserved.

L00410491-01 Rev. date 2009-05-01