

Information technique

## Courants de court-circuit

Informations sur les courants de court-circuit des onduleurs photovoltaïques SMA



### Contenu

Lors de perturbations sur le réseau, comme des creux de tension, tous les onduleurs photovoltaïques peuvent générer des courants légèrement supérieurs au courant maximal dans des conditions de fonctionnement normal. Ces courants sont utiles pour le bon dimensionnement du câblage et des dispositifs de protection au niveau de la centrale photovoltaïque comme du réseau. Il arrive fréquemment que les exploitants de réseau demandent aux fabricants d'onduleurs photovoltaïques de fournir les valeurs maximales des courants de court-circuit. Dans d'autres cas, on demande aux fabricants de fournir des valeurs caractéristiques (telles que  $I_{cc}$  et  $i_p$ ) ou des courants à des moments définis au cours des perturbations.

Cette information technique vise à fournir les valeurs caractéristiques des courants de court-circuit de chaque onduleur photovoltaïque SMA (valeurs déterminées lors de tests réalisés en conformité avec les normes internationales) et à indiquer la différence entre la contribution au courant de court-circuit d'un générateur électrique traditionnel et celle d'un onduleur photovoltaïque.

## 1 Réponse aux creux de tension

Les onduleurs photovoltaïques et les générateurs électriques traditionnels ne sont pas équivalents en termes de comportement pendant les creux de tension. La figure suivante montre un comparatif entre réponse réelle et réponse idéale aux creux de tension par les générateurs électriques :

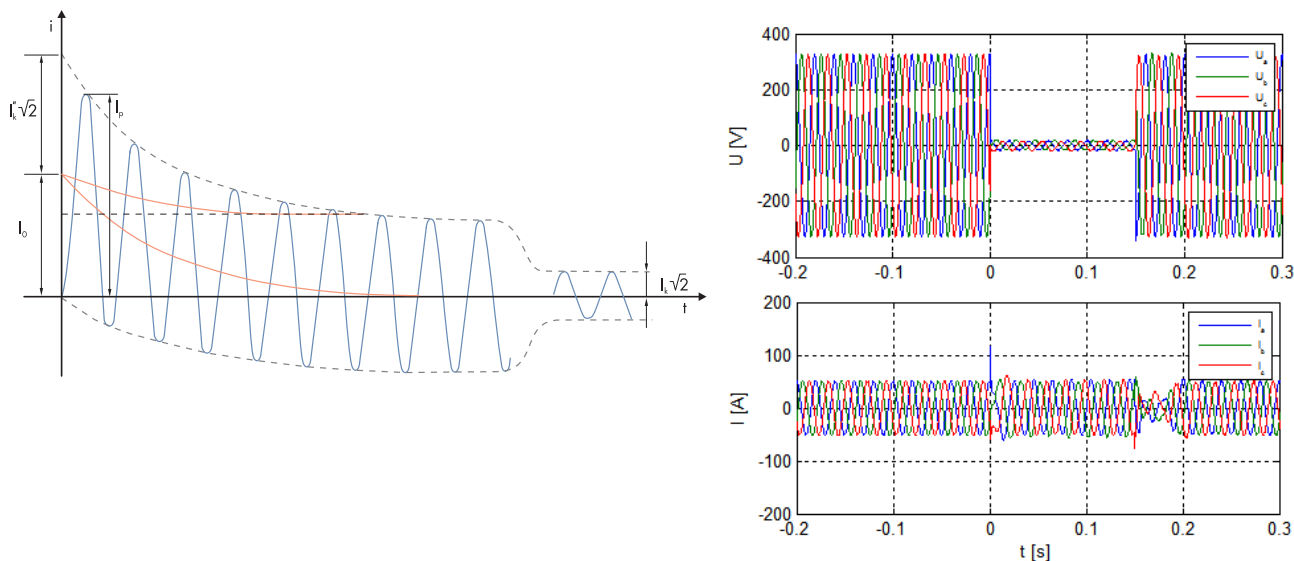


Figure 1 : Réponse idéale aux creux de tension par un générateur électrique (à gauche) et réponse réelle aux creux de tension par un onduleur photovoltaïque en mode de fonctionnement FRT (Fault Ride Through) « full » (à droite)

Comme on peut le voir sur la figure ci-dessous, le creux de tension entraîne une réaction immédiate de l'onduleur photovoltaïque, avec un pic de courant de courte durée causé par le filtre de sortie. Ensuite, l'onduleur régule le courant aussi vite que possible pour éviter de subir une surcharge thermique. Un tel comportement n'est pas comparable à la réponse idéale par un générateur électrique. On peut donc dire que ce comportement contient une partie statique et deux parties dynamiques, comme l'illustre la figure suivante.

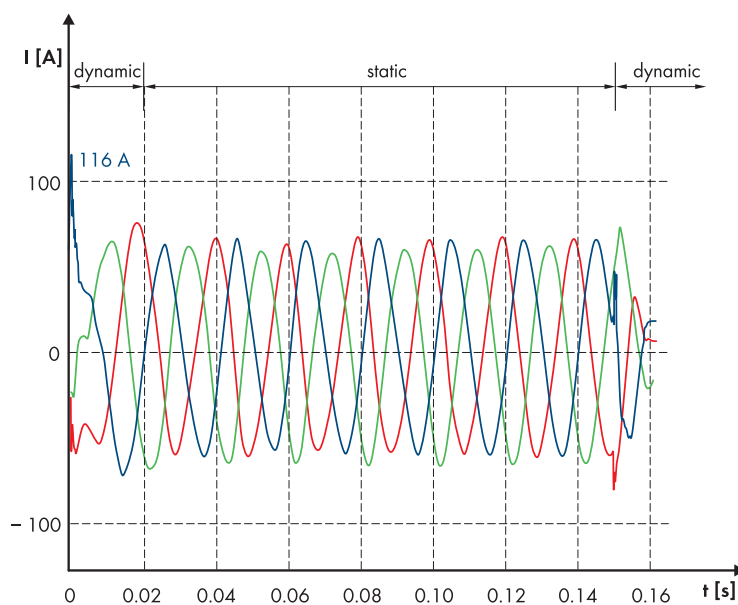


Figure 2 : Distribution de la réponse aux creux de tension (PV)

Les parties dynamiques contiennent les valeurs maximale et minimale du courant pendant une courte période, tandis que dans la partie statique, le courant reste dans les limites d'une plage tolérable.

Presque toutes les réponses en courant peuvent être décrites en termes de zones dynamiques et statiques consécutives. Cette approche est similaire au processus de validation de modèle dans le cadre de la certification BDEW.

## 2 Modes de fonctionnement pendant des creux de tension

La contribution au courant de court-circuit dépend du mode de fonctionnement de l'onduleur. Les modes de fonctionnement suivants peuvent survenir et influencer sur le courant de court-circuit permanent  $I_{cc}$ .

### 2.1 Mode de fonctionnement 1 : Fault Ride Through « full »

Le mode FRT « full » désigne le mode d'alimentation sans panne (Fault Ride Through) avec maintien de tension par injection de courant réactif. L'onduleur reste connecté au réseau électrique public et y injecte du courant réactif selon une certaine caractéristique.  $I_{cc}$  dépend de la tension résiduelle et de l'alimentation en puissance réactive avant défaut.

Le tableau suivant montre les valeurs maximales qui sont comparables au courant maximal asymétrique de court-circuit  $i_p$ , le courant de court-circuit symétrique initial  $I_{cc}''$  et le courant de court-circuit permanent  $I_{cc}$  des générateurs électriques traditionnels. Remarque : la valeur  $i_p$  est exprimée sous forme d'amplitude, tandis que  $I_{cc}''$  et  $I_{cc}$  sont des valeurs quadratiques moyennes. Vérifiez le tableau à la page 5 pour connaître la valeur exacte applicable à l'onduleur choisi.

$i_p$	$I_{cc}''$	$I_{cc}$
jusqu'à $5 \times i_{max}$	jusqu'à $1,4 \times I_{max}$	$1,0 \times I_{max}$

Tableau: 1 Valeurs maximales du courant maximal asymétrique de court-circuit  $i_p$ , du courant de court-circuit symétrique initial  $I_{cc}''$  et du courant de court-circuit permanent  $I_{cc}$

Le courant maximal asymétrique de court-circuit  $i_p$  est simplement un pic de 40  $\mu s$  maximum sans aire significative sous la courbe caractéristique du courant, il représente donc beaucoup moins d'énergie qu'un générateur électrique traditionnel.

Le courant de court-circuit symétrique initial  $I_{cc}''$  ne durera pas plus de 30 ms.

La valeur du courant de court-circuit permanent  $I_k$  sera atteinte au bout de 30 ms et se maintiendra pendant toute la durée du creux de tension.

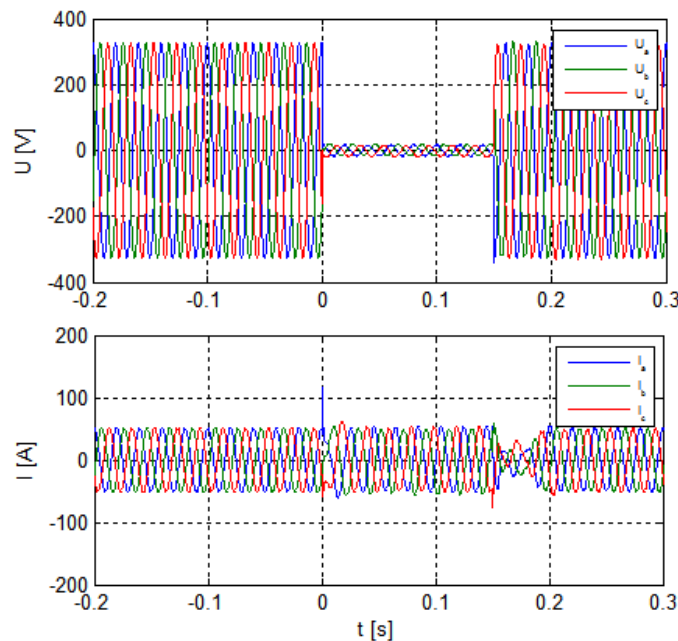


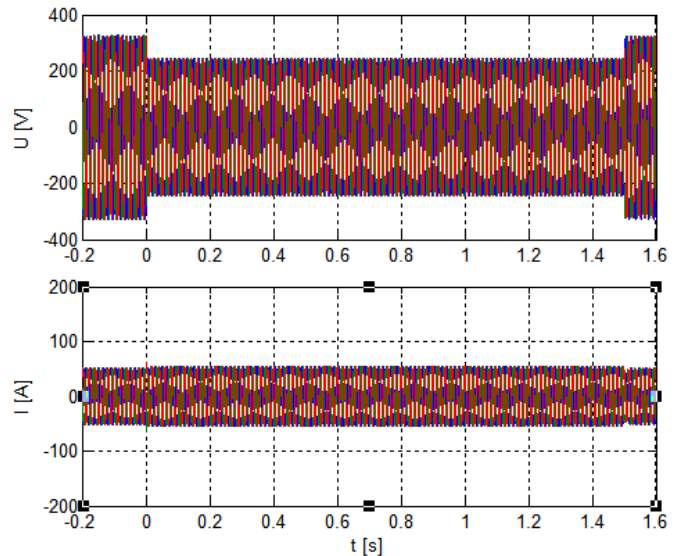
Figure 3 : Réponse réelle à un creux de tension de 5 % de  $V_n$  par l'onduleur photovoltaïque STP 25000TL-30 en mode de fonctionnement « full » FRT

## 2.2 Mode de fonctionnement 2 : Fault Ride Through « partial »

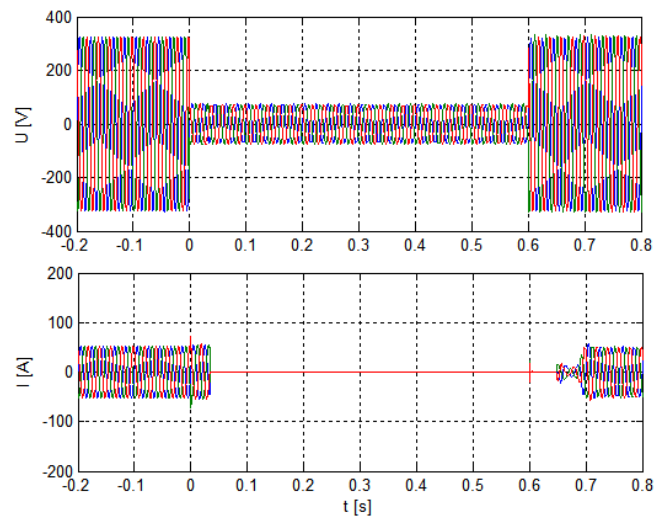
Le mode FRT « partial » désigne le mode d'alimentation sans panne (Fault Ride Through) sans alimentation en courant pendant le creux de tension. L'onduleur arrête l'injection de courant (actif et réactif) lorsque la tension du réseau chute sous un certain seuil. Mais l'onduleur ne se déconnecte pas (il reste prêt à fonctionner) et reprend l'injection de puissance dès que le défaut est éliminé.

En fonction de l'ampleur du creux de tension, on peut distinguer deux cas de figure au cours du creux de tension si le mode de fonctionnement de l'onduleur est réglé sur FRT « partial ».

1. Dans le cas où la tension est plus élevée que le seuil FRT, l'onduleur maintient l'alimentation pendant les creux tant que le courant maximal n'est pas atteint. La figure de droite montre la réponse réelle à un creux de tension de 75 %  $V_n$  par l'onduleur photovoltaïque STP 25000TL-30 avec un seuil FRT défini à 70 %  $V_n$ .



2. Dans le cas où le seuil de tension est atteint, l'onduleur arrête immédiatement l'injection du courant.  $I_{cc}$  sera de zéro. Puisque le courant provenant du filtre de sortie ne peut pas être régulé par l'onduleur,  $i_p$  peut survenir tel que décrit dans le tableau figurant à la page 3. Veuillez noter qu'aucune quantité d'énergie significative n'est stockée dans le filtre de sortie. La figure à droite montre la réponse réelle à un creux de tension de 30 %  $V_n$  par l'onduleur photovoltaïque STP 25000TL-30 avec un seuil FRT défini à 70 %  $V_n$ .



Les onduleurs SMA de la famille Sunny Tripower peuvent fonctionner dans les deux modes de fonctionnement cités précédemment.

Les onduleurs SMA de la famille Sunny Boy peuvent fonctionner uniquement dans le second mode de fonctionnement.

### 3 Contribution au courant de court-circuit pour les onduleurs SMA Sunny Tripower

Au niveau international, la norme IEC 61400-21 décrit les procédures d'essai pour les parcs d'éoliennes.

Ces procédures peuvent facilement s'appliquer aux onduleurs photovoltaïques. Dans certains pays, comme l'Allemagne (TR3, Directives techniques pour les unités de production, partie 3, FGW e.V., 2013) et l'Italie (CEI 0-21 et CEI 0-16), il existe certaines exigences normatives concernant les tests de capacité du maintien d'alimentation lors de creux de tension du réseau.

Les valeurs instantanées des courants AC et des tensions AC font l'objet d'un enregistrement synchrone avec une fréquence de 50 kHz (20  $\mu$ s). Les valeurs fondamentales de la séquence positive basées sur la mesure de tension et de courant instantanés sont calculées selon la norme IEC 61400-21 (2008). Tous les résultats sont mesurés sur des demi-périodes sous forme de valeurs quadratiques moyennes.

Le tableau suivant montre les résultats d'essai pour chaque onduleur SMA. Remarque : les valeurs  $i_p$  sont exprimées sous forme d'amplitude, tandis que les valeurs  $I_{cc}''$  et  $I_{cc}$  sont des valeurs quadratiques moyennes.

Type d'onduleur	Courant maximal asymétrique de court-circuit $i_p$ (A)	Courant de court-circuit symétrique initial $I_{cc}''$ (A)	Courant de court-circuit permanent $I_{cc}$ (A)		Courant maximal $I_{max}$ (A)
			Mode 1	Mode 2	
STP 5000TL-20	56,56	9,71	7,3	0	7,3
STP 6000TL-20	59,39	9,79	8,7	0	8,7
STP 7000TL-20	64,76	14,07	10,2	0	10,2
STP 8000TL-20	67,65	14,19	11,6	0	11,6
STP 9000TL-20	71,52	14,40	13,1	0	13,1
STP 10000TL-20	77,65	15,98	14,5	0	14,5
STP 12000TL-20	76,36	19,14	17,4	0	17,4
STP 10000TL-10	72,99	20,60	16,0	0	14,5
STP 12000TL-10	76,03	20,89	19,2	0	17,4
STP 15000TL-10	92,85	26,45	24,0	0	21,7
STP 17000TL-10	98,94	26,88	24,6	0	24,6
STP 15000TLEE-10	94,94	25,85	24,0	0	21,7
STP 20000TLEE-10	106,84	31,14	29	0	29
STP 20000TL-30	98,58	31,07	29	0	29
STP 25000TL-30	116,37	40,06	36,2	0	36,2
STP 12000TL-US-10	81,30	17,27	14,4	0	14,4
STP 15000TL-US-10	89,29	20,57	18	0	18
STP 20000TL-US-10	101,44	26,46	24	0	24
STP 24000TL-US-10	111,92	30,91	29	0	29
STP 30000TL-US-10	181	50,68	36,2	0	36,2
STP 60-10 / STP 60-US-10	201,2	106,6	87	0	87

Tableau: 2 Contribution au courant de court-circuit pour l'onduleur SMA Sunny Tripower

Les valeurs de  $I_{cc}$  et  $i_p$  ont été mesurées pendant le processus de certification par un institut d'essai accrédité (BDEW, CEIO-16) et sont comparables aux valeurs caractéristiques définies dans la norme DIN/EN 60909. Ces valeurs représentent les valeurs maximales de tous les tests.