

Swissgrid SA
Bleichemattstrasse 31
Casella postale
5001 Aarau
Svizzera

T +41 58 580 21 11
info@swissgrid.ch
www.swissgrid.ch

Requisiti tecnici minimi per il collegamento di sistemi di accumulo di energia basati su convertitori

Versione 1.0 dal 27 novembre 2025

Sommario

1	Introduzione	4
1.1	Obiettivo, campo di applicazione e destinatari	4
1.2	Necessità di requisiti aggiuntivi per i ssec	4
1.3	Requisiti del documento	4
1.3.1	Documenti di settore e di Swissgrid	4
1.3.2	Disposizioni ENTSO-E	4
1.3.3	Norme e standard	5
2	Principi generali e convenzioni	6
2.1	Elenco delle abbreviazioni	6
2.2	Definizioni	8
2.3	Convenzione dei segni	8
2.4	Convenzione operativa	8
3	Requisiti per il comportamento del ssec	9
3.1	Regolazione della potenza attiva e modalità operative	9
3.1.1	Comando della potenza attiva in regime normale	9
3.1.2	Modifica delle modalità di regolazione	9
3.2	Regolazione della potenza reattiva	9
3.2.1	Regolazione della tensione e della potenza reattiva	9
3.2.2	Capacità di potenza reattiva	9
3.2.3	Alimentazione di potenza reattiva	11
3.2.4	Resistenza alle sottotensioni e alle sovratensioni di breve durata	11
3.2.5	Ripristino della potenza attiva dopo una perturbazione della tensione	12
3.2.6	Controllo della tensione	12
3.3	Requisiti per la (ri)messa in servizio	13
3.4	Risonanze e interazioni con i regolatori	13
3.5	Proprietà grid-forming	13
3.5.1	Stabilità	15
3.5.2	Inerzia sintetica (Virtual Inertia)	15
3.6	Ripercussioni sulla rete	16
3.6.1	Aspetti generali	16
3.6.2	Valutazione delle ripercussioni sulla rete	16
3.6.3	Misure	16
4	Comportamento operativo	17
4.1	Confini di esercizio	17
4.2	Tensione di esercizio e banda di frequenze	17
4.3	Tasso di variazione della frequenza (RoCoF)	17
4.4	Richiusura dopo lo scollegamento dalla rete	18
4.5	Centro di contatto del gestore del ssec	18
4.6	Regolazione della frequenza	18
4.6.1	Sovrafrequenza	18

4.6.2	Sottofrequenza	19
4.7	Comportamento in caso di ripristino della rete	20
5	Esecuzione dell'allacciamento alla rete	21
5.1	Tecnologia primaria al punto di allacciamento	21
5.1.1	Aspetti generali	21
5.1.2	Impianto allacciato ssec	21
5.1.3	Configurazione del neutro	22
5.1.4	Interruttore	22
5.1.5	Convertitore	23
5.1.6	Scaricatore	23
5.1.7	Impianti di cablaggio	23
5.1.8	Impianto di terra	23
5.2	Tecnica secondaria	23
5.2.1	Aspetti generali	23
5.2.2	Sincronizzazione	23
5.2.3	Sovranità fiscale	24
5.2.4	Interfaccia di controllo della potenza attiva e reattiva	24
5.3	Protezione	24
5.3.1	Aspetti generali	24
5.3.2	Scarico automatico della frequenza	24
5.3.3	Rilevamento della rete a isola ed esercizio a isola	25
5.3.4	Analisi delle perturbazioni	25
5.4	Fabbisogno proprio ed energia ausiliaria	25
5.5	Comunicazione e sicurezza informatica	25
5.6	Accesso all'infrastruttura fisica	26
6	Studi e prove	27
6.1	Requisiti per gli studi dinamici	27
6.2	Requisiti di modellazione	27
6.2.1	Modelli armonici	28
7	Test di conformità	30
7.1	Procedura di omologazione	30
7.1.1	Messa in servizio	30
8	Allegato	33
8.1	Tabelle e formule	33
8.2	Figure	33
8.3	Studi	33
8.3.1	Stabilità transitoria	33
8.3.2	Studio sulla stabilità armonica	34
9	Indice bibliografico	36

1 Introduzione

1.1 Obiettivo, campo di applicazione e destinatari

Il presente documento definisce le condizioni tecniche e operative per l'allacciamento di sistemi di stoccaggio d'energia basati su convertitori (ssec) alla rete di trasmissione (RT) in Svizzera. L'obiettivo è fornire requisiti chiari, standardizzati e trasparenti che garantiscano la stabilità della rete nonché la sicurezza e l'efficienza dell'intero sistema.

Il campo di applicazione comprende tutti i ssec allacciati al livello di rete 1 della rete svizzera di trasmissione. I requisiti si applicano ai nuovi impianti e a quelli che subiscono modifiche significative che influiscono sull'allacciamento alla rete o sul comportamento di esercizio.

I destinatari del presente documento sono tutti gli utenti allacciati, in particolare gli sviluppatori di progetti, i gestori, i progettisti e i produttori di ssec, che ambiscono ad allacciarsi alla rete svizzera di trasmissione. Il documento funge da base vincolante per la pianificazione, la configurazione, l'autorizzazione e la messa in funzione di tali sistemi.

1.2 Necessità di requisiti aggiuntivi per i ssec

La crescente espansione dei sistemi di stoccaggio d'energia basati su convertitori (ssec) nella rete svizzera di trasmissione pone nuovi requisiti per la loro integrazione, in particolare per quanto riguarda la fornitura di prestazioni di servizio relative al sistema per garantire la qualità dell'approvvigionamento e la stabilità della rete. I ssec devono quindi avere proprietà utili al sistema per contribuire in modo economicamente efficiente alla stabilità del sistema elettrico nel corso della transizione energetica.

Poiché il rapido afflusso di ssec porta con sé nuove sfide tecniche, sono necessari ulteriori requisiti che approfondiscano quanto riportato nei documenti esistenti. I requisiti contenuti nel presente documento si applicano in aggiunta alle disposizioni elencate nel panorama contrattuale esistente di Swissgrid (cfr. capitolo 1.3.1). In caso di dubbio, si applica il requisito più severo.

Il presente documento è stato elaborato sulla base dell'esperienza delle condizioni di allacciamento esistenti per i ssec presso altri TSO e con riferimento alle condizioni quadro dei livelli di rete sottostanti.

1.3 Requisiti del documento

1.3.1 Documenti di settore e di Swissgrid

Inoltre, devono essere rispettati anche i seguenti documenti nelle rispettive versioni valide:

- Transmission Code, in seguito denominato TC [1];
- Contratto di allacciamento alla rete, di seguito denominato CAR [2];
- Condizioni generali per l'allacciamento alla rete svizzera di trasmissione (CGAR) [3];
- Contratti per le prestazioni di servizio relative al sistema e relativi requisiti;
- Piano per il mantenimento della tensione [4];
- Accordo operativo; [5]
- Accordo operativo di allacciamento;
- Manuale di gestione operativa o Manuale delle interfacce per la gestione operativa della rete (MIGOR);
- Tutti gli altri contratti con Swissgrid e i relativi documenti di settore.

1.3.2 Disposizioni ENTSO-E

Anche i requisiti ENTSO-E svolgono un ruolo importante nell'ambito dell'armonizzazione tecnica internazionale. I Requirements for Generators (RfG) definiscono i requisiti minimi per l'allacciamento alla rete dei produttori e il Demand Connection Code (DCC) per quello dei consumatori.

1.3.3 Norme e standard

Se nel documento non sono indicati standard espliciti, devono essere osservati i seguenti sistemi di standardizzazione nell'ordine di elencazione:

- leggi e norme svizzere (in particolare il Transmission Code);
- norme CENELEC;
- norme IEC;
- raccomandazioni della CIGRE;
- regole tecniche di allacciamento dei gestori di rete di trasmissione europei per gli impianti ad altissima tensione;
- standard e regole tecniche di allacciamento dell'IEEE.

2 Principi generali e convenzioni

2.1 Elenco delle abbreviazioni

ABBREVIAZIONE	SIGNIFICATO	DESCRIZIONE/SPIEGAZIONE
AOA	Accordo operativo di allacciamento	
AC	Alternating Current	Corrente alternata
AD	Autorizzazione a disporre	
AES	Associazione delle aziende elettriche svizzere	
AIS	Air-insulated switchgear	Stazione elettrica isolata in aria
AO	Accordo operativo	Regola la cooperazione operativa tra Swissgrid e l'utente allacciato
AVR	automatic voltage regulator	Regolatore di tensione automatico
CAR	Contratto di allacciamento alla rete	Contratto di allacciamento alla rete di trasmissione
CCD	Centro di comando della rete di distribuzione	Partner diretto di Swissgrid per il ripristino della rete
CCE	Centro di comando delle centrali elettriche	Partner diretto di Swissgrid per il ripristino della rete
CGAR	Condizioni generali per l'allacciamento alla rete di trasmissione svizzera	Parte integrante del contratto di allacciamento alla rete
CSV	Comma-separated values	Formato di file
DC	Direct current	Corrente continua
EMT	Electromagnetic transients	Processi transitori
EMTP	Electromagnetic transients program	Programma per l'analisi dei transitori elettromagnetici
FCR	Frequency Containment Reserve	Energia di regolazione primaria
FDNE	Frequency Dependent Network Equivalent	
FFR	Fast Frequency Response	Risposta di frequenza rapida
FRT	Fault ride through	Capacità di rimanere connessi alla rete in caso di errori e di contribuire attivamente al supporto della rete
FSM	Frequency sensitive mode	Regolazione della potenza attiva in funzione della frequenza

GRT	Gestore di rete di trasmissione	
IDDC	Intervento diretto nell'impiego delle centrali	
MIGOR	Manuale delle interfacce per la gestione operativa della rete	Descrive i processi rilevanti per l'esercizio tra Swissgrid e l'utente allacciato, parte dell'AO
P_{MAX,P}	Potenza attiva massima in modalità immissione	Potenza attiva massima che un sistema di stoccaggio può offrire
P_N	Potenza nominale	Potenza elettrica nominale (in MW o MVA) per la quale è stato progettato un sistema o un componente
PSRS	Prestazioni di servizio relative al sistema	
PSSE	Power System Simulator for Engineering	Software per la simulazione di sistemi energetici
RA	Reinserimento automatico	Funzione di protezione per la riattivazione del sistema dopo perturbazioni di breve durata
ROCOF	Rate of Change of Frequency	Tasso di variazione della frequenza, importante per i sistemi di protezione
RMS	Root mean square	Valore quadratico medio per confrontare valori oscillanti con un unico numero
RS	Risonanze subsincrone	Oscillazioni indesiderate < 50 Hz che potrebbero mettere a rischio la stabilità della rete o i generatori
RT	Rete di trasmissione	
RV	Restructured Version	
SOA	Safe Operating Area	Condizioni di tensione e di corrente in cui il ssec dovrebbe funzionare senza danni
SSCI	Subsynchronous Control Interactions	
SSEB	Sistema di stoccaggio di energia a batteria	
SSEC	Sistema di stoccaggio d'energia basato su convertitori	Accumulatore d'energia allacciato alla rete tramite convertitori elettronici di potenza
SSO	Subsynchronous Oscillations Studies	
SSTI	Subsynchronous Torsional Interactions	
TC	Transmission Code	Documento di settore, documento chiave
THDI	Total Harmonic Distortion Current	Misura della distorsione armonica nella corrente

THDV	Total Harmonic Distortion Voltage	Misura della distorsione armonica della tensione
-------------	-----------------------------------	--

Tabella 1: Elenco delle abbreviazioni

2.2 Definizioni

Per semplicità, ssec si riferisce ai sistemi di stoccaggio d'energia basati su convertitori, come i sistemi di stoccaggio d'energia a batteria (sseb) e i sistemi di stoccaggio d'energia alternativi (ad es. FlyWheel, accumulatori ad aria compressa, supercondensatori, ecc.) con accumulo diretto collegato. Gli impianti Power-to-X senza accumulo diretto non sono trattati nel presente documento.

2.3 Convenzione dei segni

In questo documento in linea di principio si utilizza la convenzione dei segni:

$Q < 0$, valore negativo: la fornitura di potenza reattiva induttiva alla rete di trasmissione porta a un aumento della tensione nel nodo elettrico, con un comportamento simile alla capacità;

$Q > 0$, valore positivo: il prelievo di potenza reattiva induttiva dalla rete di trasmissione comporta una riduzione della tensione nel nodo elettrico, con un comportamento simile all'induttanza.

Gli stessi segni si applicano alla fornitura di potenza attiva. La Tabella 2 contiene una panoramica della convenzione sui segni.

	Sovraeccitazione (comportamento capacitivo)	Sottoeccitazione (comportamento induttivo)
ssec modalità fabbisogno	$P > 0$, il ssec preleva potenza attiva dalla rete $Q < 0$, il ssec fornisce potenza reattiva alla rete	$P > 0$, il ssec preleva potenza attiva dalla rete $Q > 0$, il ssec preleva potenza reattiva dalla rete
ssec modalità produzione	$P < 0$, il ssec fornisce potenza attiva alla rete $Q < 0$, il ssec fornisce potenza reattiva alla rete	$P < 0$, il ssec fornisce potenza attiva alla rete $Q > 0$, il ssec preleva potenza reattiva dalla rete

Tabella 2: Panoramica della convenzione sui segni

2.4 Convenzione operativa

Nel presente documento viene utilizzata la seguente terminologia.

- Modalità fabbisogno: prelievo di potenza attiva dalla RT da parte del ssec;
- Modalità produzione: immissione di potenza attiva nella RT da parte del ssec.

3 Requisiti per il comportamento del ssec

3.1 Regolazione della potenza attiva e modalità operative

3.1.1 Comando della potenza attiva in regime normale

La regolazione della potenza attiva del ssec deve essere configurata in modo da essere coordinata con la regolazione grid-forming nel capitolo 3.5 per evitare interazioni e instabilità indesiderate. La reazione grid-forming rapida ha la priorità, mentre la regolazione della frequenza più lenta porta la potenza attiva al valore target specificato. Il valore di riferimento di potenza attiva deve essere regolabile in modalità produzione e in modalità fabbisogno, con una risoluzione minima di 0,1 MW. Il valore effettivo della potenza attiva non può superare il valore di riferimento, misurato come media mobile su 10 secondi.

Il ssec deve consentire una transizione fluida tra produzione e fabbisogno (esercizio bidirezionale). Deve essere possibile limitare il tasso di variazione della potenza attiva (Ramp Rate) sia per le modifiche del valore nominale che per gli adeguamenti dovuti alla frequenza. L'intervallo di regolazione delle rampe va da almeno il 10% al 100% della potenza nominale al minuto. Nell'AO [5] e negli allegati è specificata la variazione massima della potenza attiva. La variazione deve essere lineare e senza salti. Per il mercato delle prestazioni di servizio relative al sistema possono essere applicati requisiti più approfonditi.

3.1.2 Modifica delle modalità di regolazione

Deve essere possibile passare in qualsiasi momento da una modalità operativa all'altra e da un valore di riferimento all'altro, localmente e da remoto, senza causare brusche variazioni di potenza nella rete.

3.2 Regolazione della potenza reattiva

3.2.1 Regolazione della tensione e della potenza reattiva

Il ssec deve essere in grado di regolare la tensione o la potenza reattiva in modo automatico, continuo e senza intervalli; i dettagli sono riportati nell'attuale Piano per il mantenimento della tensione [4]. Le modifiche alla potenza reattiva nel punto di allacciamento devono essere effettuate per analogia al capitolo 3.1.1. La regolazione non deve essere influenzata da oscillazioni di frequenza e tensione o da perturbazioni di breve durata.

Il campo di regolazione deve corrispondere alla capacità di potenza reattiva effettiva del ssec e non deve essere limitato artificialmente. Le limitazioni necessarie sul piano tecnico devono essere documentate e giustificate.

La regolazione deve reagire in modo stabile a cambiamenti graduali, improvvisi e continui senza causare oscillazioni. Deve essere coordinata con la regolazione grid-forming, in modo che quest'ultima reagisca per prima e la regolazione della potenza reattiva guidi la potenza reattiva al valore target (regolazione a cascata).

Prima della messa in servizio devono essere concordati i piani di regolazione. La regolazione della tensione deve essere garantita fin dalla prima messa in funzione. Se necessario, le impostazioni di regolazione devono essere regolate durante l'esercizio per rispettare le normative vigenti.

3.2.2 Capacità di potenza reattiva

Per i ssec si applica il mantenimento attivo della tensione conformemente al capitolo 4.4.3 del TC. Il ssec deve essere in grado di immettere e prelevare potenza reattiva (Q).

Il ssec con impianto di stoccaggio d'energia e l'inverter è considerato un'unità singola e deve fornire risorse di potenza reattiva tenendo conto della Safe Operating Area (SOA) secondo la **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden..**

Per la potenza nominale, deve essere disponibile una potenza reattiva di almeno $\cos(\Phi) = 0,925$ in entrambe le direzioni, positiva e negativa. È necessario un diagramma di capacità di potenza reattiva analogo alla Figura 2 e Figura 3. È consentita e auspicata una fornitura di potenza reattiva più elevata.

In tutti gli stati d'esercizio, compreso in quelli di uno scambio di potenza attiva pari a zero, l'unità deve essere in grado di immettere o prelevare potenza reattiva in conformità con la SOA e il diagramma di capacità di potenza reattiva Figura 1.

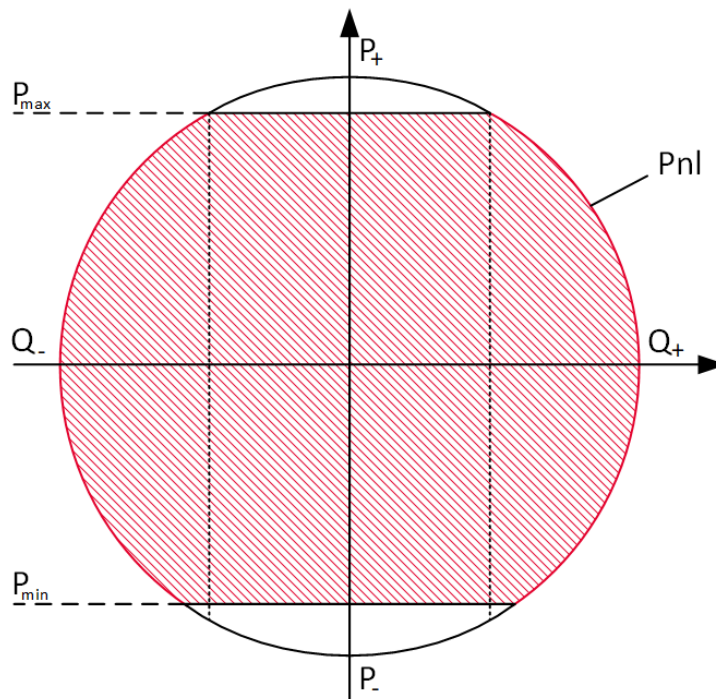


Figura 1: La potenza reattiva deve essere fornita tenendo conto della Safe Operating Area.

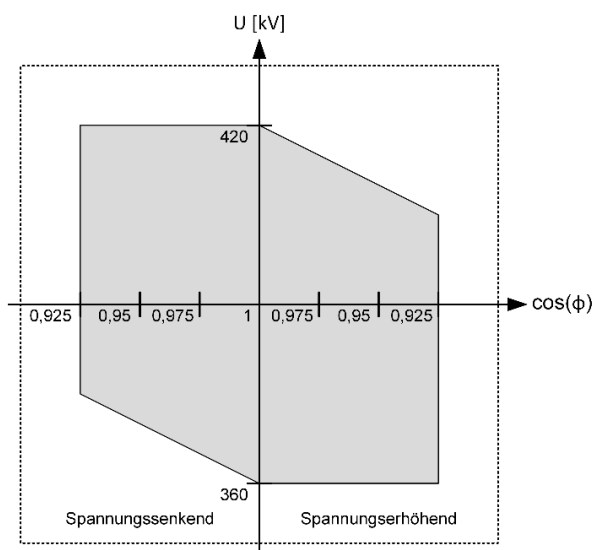


Figura 2: Diagramma di capacità di potenza reattiva 380 kV

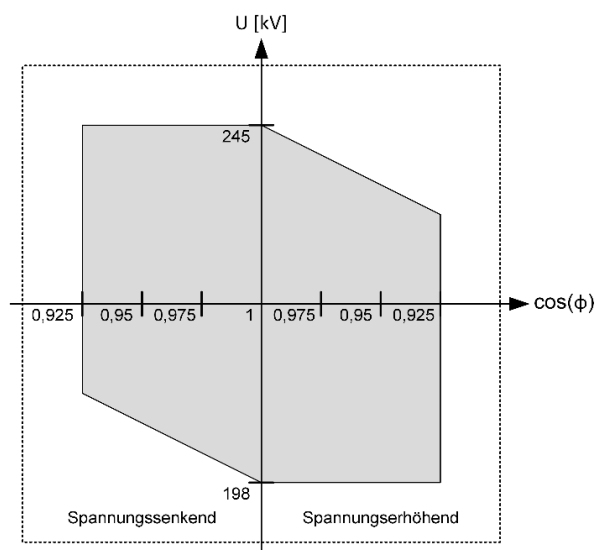


Figura 3: Diagramma di capacità di potenza reattiva 220 kV

3.2.3 Alimentazione di potenza reattiva

Un ssec è soggetto al mantenimento attivo della tensione in conformità al Piano per il mantenimento della tensione [4] e deve quindi essere prequalificato per il mantenimento attivo della tensione.

I partecipanti al mantenimento attivo della tensione devono fornire a Swissgrid informazioni operative sui loro impianti (compresi i diagrammi della potenza attiva e della potenza reattiva).

Un ssec deve immettere corrente reattiva capacitiva in caso di sottotensione (cioè inferiore al limite inferiore per l'esercizio continuo secondo il Manuale delle interfacce per la gestione operativa della rete (MIGOR)) e corrente reattiva induttiva in caso di sovratensione (cioè superiore al limite superiore per il funzionamento continuo secondo il MIGOR). In questi casi, l'immissione di corrente reattiva (I_q) deve avere la priorità sulla corrente attiva (I_p). Quando si opera nell'intervallo di tensione normale, l'immissione di corrente attiva (I_p) ha la priorità.

3.2.4 Resistenza alle sottotensioni e alle sovratensioni di breve durata

Il ssec deve essere in grado di continuare a funzionare nel punto di allacciamento in conformità ai capitoli 4.1 e **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** durante e dopo una sottotensione o sovratensione di breve durata, che può contenere altre componenti di frequenza, senza scollegarsi dalla rete. Il requisito di resistenza alla sottotensione e alla sovratensione si applica a tutti gli stati d'esercizio, ai guasti e alle operazioni di commutazione. Il requisito della rigidità dielettrica è definito dalle seguenti condizioni:

- prima della sottotensione o della sovratensione, la tensione nel punto di allacciamento del ssec rientra nel regime normale;
- prima della perturbazione di tensione, il ssec non immette potenza reattiva nel punto di allacciamento e non preleva potenza reattiva dal punto di allacciamento;
- prima che si verifichi la perturbazione di tensione, il regolatore di tensione automatico (AVR) del ssec è in funzione;
- si presume che la potenza di cortocircuito del punto di allacciamento prima e dopo la risoluzione della perturbazione sia all'estremità inferiore del range possibile.

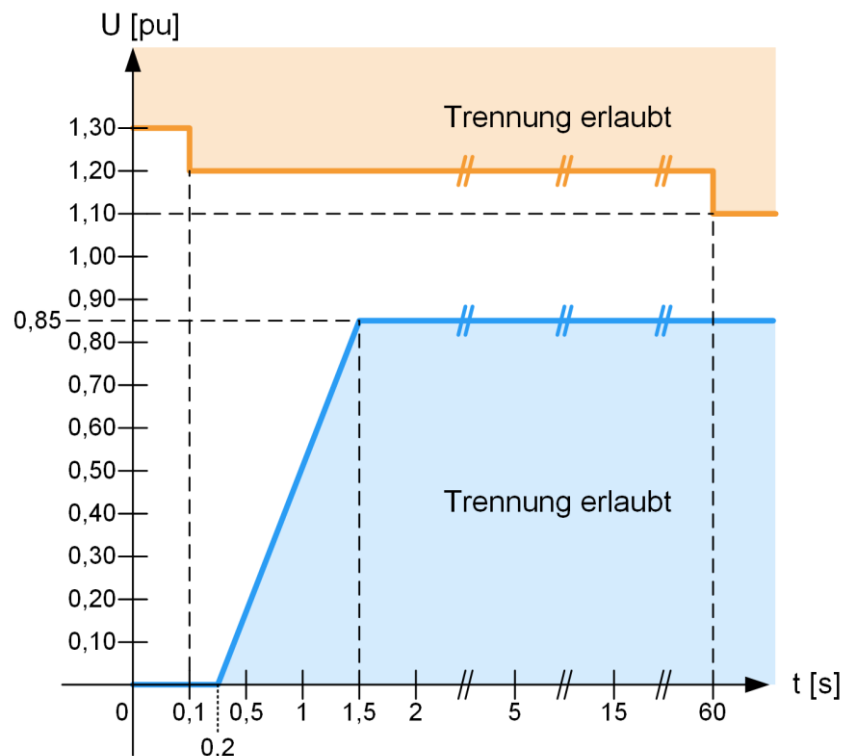


Figura 4: Comportamento per il bypass dall'errore in caso di sovratensioni o sottotensioni di breve durata

3.2.5 Ripristino della potenza attiva dopo una perturbazione della tensione

Dopo una perturbazione della tensione di breve termine, il ssec deve ripristinare la potenza attiva immessa o prelevata prima della perturbazione entro tre secondi. La potenza attiva si considera ripristinata quando raggiunge il livello precedente con una tolleranza del $\pm 5\%$ del valore di riferimento nel punto di allacciamento alla rete. Non sono ammesse deviazioni permanenti o modifiche della potenza a causa della perturbazione.

Se il ripristino della potenza attiva dipende dalla tensione, questa dipendenza deve essere documentata in modo trasparente e trasmessa a Swissgrid insieme a una descrizione tecnica degli effetti sul ripristino.

3.2.6 Controllo della tensione

Il ssec deve poter essere gestito in modo tale da poter seguire con precisione il piano di tensione di Swissgrid.

Il valore di riferimento per il controllo della tensione deve essere regolabile entro i limiti di tensione ammissibili del punto di allacciamento con incrementi non superiori a 0,1 kV. Le modifiche al valore di riferimento, effettuate in loco o in remoto, devono essere effettuate tramite una funzione rampa che limita il tasso medio di variazione della tensione a un massimo di 0,1 kV/s.

In caso di variazioni brusche di tensione al punto di allacciamento inferiori a $\pm 0,02$ p.u., il ssec deve reagire come segue:

1. il controllo della formazione della rete secondo il capitolo 3.5 Proprietà grid-forming controlla la rapida reazione iniziale della potenza reattiva;

2. il tempo di salita della risposta della potenza reattiva dallo 0% all'80% della variazione totale non può superare 1 s;
3. la sovraelongazione non può superare il 15% della variazione totale;
4. la reazione di potenza reattiva deve stabilizzarsi al valore target entro 5 s;
5. la deviazione nello stato stazionario non può superare il $\pm 5\%$ della variazione;
6. l'ora di inizio delle specifiche temporali è l'ora della modifica del valore di riferimento.

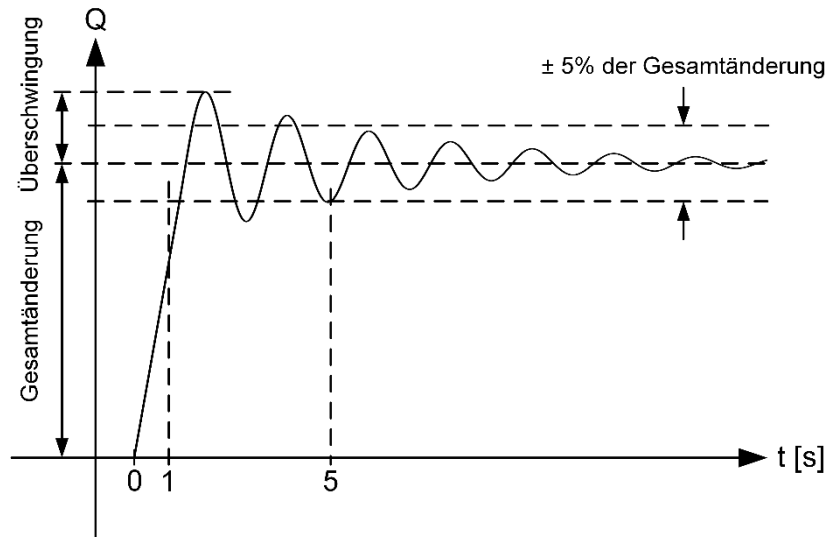


Figura 5: Controllo della potenza reattiva per variazioni brusche di tensione

In caso di modifiche agli impianti esistenti che influiscono sul controllo della tensione, Swissgrid determina i requisiti caso per caso.

3.3 Requisiti per la (ri)messa in servizio

Il prelievo o la produzione di potenza attiva del ssec dopo un'assenza di tensione della rete di trasmissione di almeno 5 minuti possono riprendere solo dietro autorizzazione verbale rilasciata da Swissgrid, da un centro di comando delle centrali elettriche (CCE) o da un centro di comando della rete di distribuzione (CCD).

Se durante una perturbazione di tensione si verifica uno spostamento vettoriale permanente (variazione brusca di fase) della tensione di rete fino a ± 30 gradi, il ssec non deve spegnersi. Lo stesso vale in caso di più perturbazioni di tensione consecutive.

3.4 Risonanze e interazioni con i regolatori

In qualsiasi stato operativo, il convertitore non può provocare oscillazioni armoniche che superino i valori li-

Figura 6: Controllo della potenza reattiva per variazioni brusche di tensione

mite ammissibili - IEC 61000-3-6 [6] nella rete Swissgrid. Il convertitore non può eccitare attivamente le risonanze elettriche nella rete Swissgrid, ossia non può utilizzare il controllo di retroazione.

3.5 Proprietà grid-forming

I ssec devono utilizzare convertitori in grado di operare in modalità grid-forming. Il seguente paragrafo specifica i requisiti generali che il ssec deve soddisfare in modalità grid-forming.

La regolazione grid-forming di un ssec deve soddisfare i seguenti requisiti.

- Il ssec deve essere sempre attivo e operativo non appena viene collegato alla rete elettrica. Le modifiche o le perturbazioni alla rete non devono influire sulle modalità operative.
- Il passaggio tra le modalità grid-forming e grid-following e viceversa deve avvenire senza interrompere l'esercizio.
- La regolazione deve inoltre essere operativa se il ssec viene operato entro i limiti della sua capacità nominale in qualsiasi momento sia in modalità produzione che in modalità fabbisogno, compresa la capacità di potenza reattiva richiesta.
- L'operatività deve essere garantita indipendentemente dallo stato di carica attuale del ssec.
- La regolazione deve funzionare senza limitazioni in tutte le modalità operative di regolazione della potenza attiva (ad es. regolazione della potenza costante, regolazione della frequenza).
- Anche la regolazione della potenza reattiva deve essere operativa conformemente al capitolo 3.2.
- Coordinamento con frontiere elettriche: la regolazione grid-forming del ssec deve essere configurata in modo che funzioni in modo affidabile e stabile anche quando sono attivati i limitatori di corrente. Qualsiasi limitazione necessaria della corrente non può interrompere la funzione di regolazione grid-forming né compromettere l'esercizio sicuro del ssec. Le frontiere elettriche specificate devono corrispondere all'efficienza effettiva dell'impianto e tenere conto della capacità di sovraccarico a breve termine dei componenti utilizzati. È necessario assicurarsi che la regolazione operi entro questi limiti in coordinamento con altri sistemi di controllo, al fine di garantire la fornitura continua di proprietà grid-forming, il ssec deve anche operare in modo coordinato alle frontiere elettriche dei convertitori in caso di guasti sulla rete o di variazioni dinamiche del carico. La limitazione della corrente non può comportare l'interruzione della funzione di regolatore della rete. Le frontiere elettriche stabilite per la regolazione devono corrispondere alla potenza effettiva dell'impianto e utilizzare la capacità di sovraccarico a breve termine degli apparecchi.
- La regolazione grid-forming deve essere coordinata con altri sistemi di controllo, sia a livello locale che a livello di impianto, per garantire un esercizio stabile ed evitare interazioni indesiderate.

Non è necessario sovradimensionare la capacità del ssec per via delle funzioni di regolazione grid-forming. Eventuali limitazioni risultanti devono essere comunicate a Swissgrid.

I seguenti requisiti funzionali si applicano ai sistemi di controllo grid-forming.

1) **Sostegno della tensione e della frequenza attivo e rapido**

Il ssec deve fornire un sostegno della tensione e della frequenza autonomo e praticamente privo di ritardi nella rete:

- a) se si verifica uno spostamento vettoriale graduale (variazione brusca di fase) della tensione di rete, il ssec deve contrastare questo spostamento fornendo potenza attiva e reattiva;
- b) se l'ampiezza della tensione di rete cambia, il ssec deve aumentare localmente la stabilità della tensione immettendo potenza reattiva, cfr. capitolo 3.2.3;
- c) la reazione ai due requisiti a) e b) deve avvenire entro 10 ms da una variazione della rete (la corrente deve adattarsi in base alla regolazione). L'obiettivo è mantenere costante l'indicatore di tensione della sorgente di tensione interna nell'intervallo di tempo sub-transiente con l'intera capacità di corrente disponibile.

2) **Smorzamento delle oscillazioni di rete e garanzia di stabilità dei piccoli segnali**

Secondo il TC, capitolo 6.5.6, la reazione del ssec alle oscillazioni della tensione e della frequenza della rete elettrica non deve amplificarle, ma smorzarle:

- a) il ssec deve funzionare con una stabilità dei piccoli segnali;

- b) lo smorzamento delle vibrazioni nelle seguenti bande di frequenza è particolarmente importante:
 - i) 0,1–1 Hz: oscillazioni della potenza (Inter-Area Oscillations);
 - ii) 1–2 Hz: oscillazioni locali;
 - iii) 2–15 Hz: oscillazioni della tensione e interazioni di controllo;
 - iv) 15–45 Hz: oscillazioni subsincrone e di risonanza;
- c) se il ssec non soddisfa questi requisiti per natura, è necessario implementare una regolazione ammortizzante adeguata.

3.5.1 Stabilità

Il ssec e il suo sistema di controllo devono essere configurati in modo da garantire un esercizio stabile anche in una rete con un'alta percentuale di ssec. In questo contesto, per stabile si intende che il ssec rimane permanentemente sincronizzato con la rete entro i limiti di tensione e frequenza specificati nel capitolo 4.1 Tensione di esercizio e banda di frequenze e funziona in modo costante e senza oscillazioni in ogni punto di funzionamento consentito.

In caso di perturbazioni della rete, come fluttuazioni di tensione o variazioni brusche di fase, il ssec deve contrastarli attivamente per smorzare le deviazioni e sostenere la stabilità della rete. Se la tensione ammessa nel punto di collegamento viene superata in modo permanente, il ssec può spegnersi automaticamente, cfr. Figura 6 nel capitolo 4.1. Il ssec deve rimanere collegato alla rete anche in caso di disconnessioni automatiche monofase o trifase sulle linee a maglia, a condizione che la propria sezione di rete non venga disconnessa. In caso di variazioni brusche e improvvise di fase della tensione di rete fino a ± 30 gradi e in un ampio intervallo di potenza di cortocircuito definito individualmente da Swissgrid per ogni allacciamento, il ssec deve continuare a funzionare in modo stabile e rimanere sincronizzato, cfr. capitolo 3.2.4 in Figura 4.

3.5.2 Inerzia sintetica (Virtual Inertia)

Il ssec deve essere in grado di fornire un'inerzia sintetica per sostenere la stabilità di frequenza della RT subito dopo improvvisi squilibri di potenza. Poiché i ssec, a differenza delle macchine sincrone, non hanno inerzia fisica, questa funzione deve essere simulata utilizzando strategie di regolazione adeguate, come l'inerzia virtuale, la Fast Frequency Response (FFR) o la Virtual Synchronous Machine (VSM).

La fornitura di inerzia sintetica deve iniziare entro un massimo di 10 ms dopo una perturbazione di frequenza e avere un effetto stabilizzante sulla rete. La reazione si ottiene con l'immissione o il prelievo selettivi di potenza attiva in modo proporzionale al tasso di variazione della frequenza (RoCoF).

Questa funzione deve essere attiva indipendentemente dalla modalità operativa (produzione o fabbisogno), deve essere coordinata con altri controlli (ad es. regolazione della frequenza e della potenza attiva) e deve tenere conto delle frontiere elettriche dei convertitori. Questo controllo viene modellato e verificato in modelli di simulazione (RMS e EMT) conformemente al capitolo 6.2.

3.6 Ripercussioni sulla rete

3.6.1 Aspetti generali

Il ssec deve essere progettato, costruito e gestito in modo tale che le ripercussioni sulla RT e sugli impianti di altri clienti siano limitati a un livello ammissibile.

Le ampiezze massime consentite per le correnti armoniche del ssec sono determinate da Swissgrid in base al progetto e dipendono dalla posizione del ssec e dalla natura della rete circostante.

Le basi sono in particolare:

- le norme tecniche DACHCZ per la valutazione delle ripercussioni sulla rete [7];
- i livelli di pianificazione secondo IEC/TR 61000-3-6 [6] e SN EN 50160 [8].

Swissgrid è responsabile del coordinamento delle grandezze perturbatrici a tutti i livelli della rete. L'ingresso di interferenza ammissibile di un ssec nella RT rappresenta quindi solo una parte del livello di compatibilità.

Se Swissgrid utilizza metodi più dettagliati e specifici per il progetto per determinare i valori limite, la loro applicazione deve essere favorita. Se è necessario un inasprimento, Swissgrid condivide con il cliente le prove tecniche (ad es. dati di rete, calcoli). Le deviazioni devono essere concordate per iscritto.

3.6.2 Valutazione delle ripercussioni sulla rete

Swissgrid effettua una misurazione della qualità della rete nel nodo di allacciamento previsto del ssec per determinare il livello di fondo. La misurazione viene ripetuta in condizioni analoghe (in particolare la potenza di cortocircuito al punto di allacciamento) durante l'esercizio del ssec. Gli stati operativi del ssec durante la misurazione devono essere concordati con Swissgrid. Sulla base delle misurazioni viene effettuata una valutazione delle ripercussioni sulla rete.

Per le misurazioni si devono sempre utilizzare metodi conformi alla norma SN EN 61000-4-30 (Classe A) [6].

3.6.3 Misure

Se si verificano ripercussioni inammissibili, l'utente allacciato è tenuto ad adottare misure adeguate per limitarle. Queste misure devono essere coordinate con Swissgrid.

Tutte le misure di riduzione delle ripercussioni sulla rete sono soggette a verifica e approvazione da parte di Swissgrid.

Dopo aver implementato le misure per ridurre le ripercussioni sulla rete, viene effettuata una misurazione della qualità della rete per valutare l'efficacia delle misure.

4 Comportamento operativo

4.1 Confini di esercizio

Il capitolo 6 [1] del TC stabilisce le condizioni di base per l'allacciamento alla RT. Analogamente al capitolo 6.5 del TC, questo capitolo descrive requisiti più precisi e aggiuntivi per i proprietari di ssec allacciati alla RT, non descritti nel TC. In caso contrario, si applica il TC.

I ssec devono poter funzionare nella forbice di valori indicati in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** per quanto riguarda la tensione e la frequenza di rete, ossia in questi range non devono poter essere scollegati automaticamente dalla rete mediante apparecchi sensibili alle variazioni della tensione o della frequenza. Inoltre, nessun ssec può scollegarsi dalla rete nell'area indicata come «permanente» e il ssec deve rimanere collegato alla rete per il rispettivo valore di tempo nelle aree contrassegnate con i tempi, nella misura in cui ciò sia tecnicamente possibile, ad esempio con un trasformatore con un regolatore a gradini automatici. Se la variazione di tensione o di frequenza è ancora maggiore (area grigia) la disconnessione immediata dalla rete è consentita. I valori di tensione sono quelli validi per il punto di allacciamento. Il ssec deve essere in grado di collegarsi alla RT tra 49 Hz e 51 Hz.

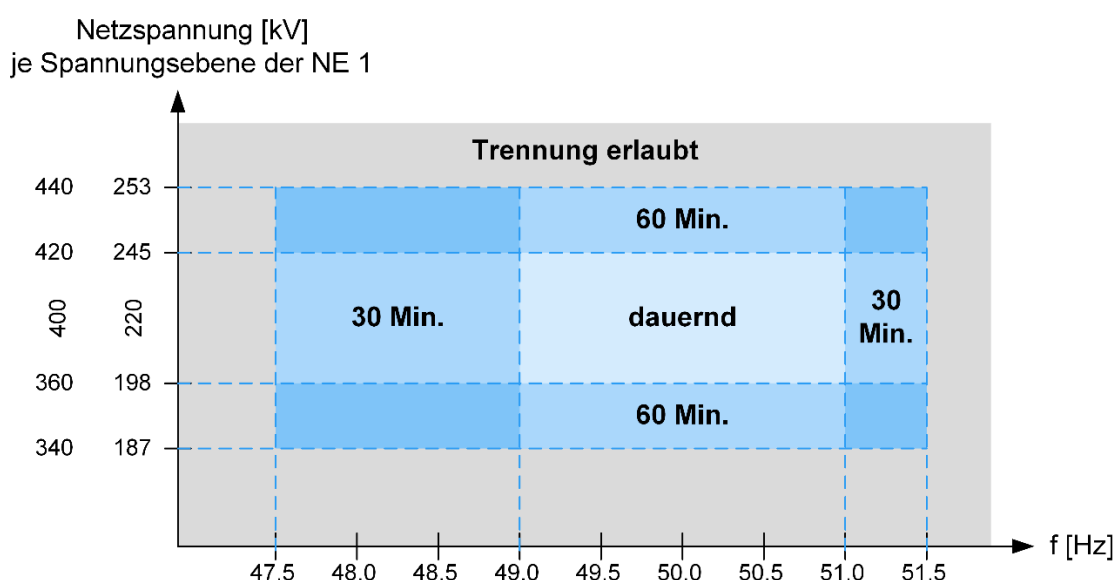


Figura 6: Intervallo di frequenza e tensione in cui il ssec non può più separarsi

4.2 Tensione di esercizio e banda di frequenze

Nel regime normale, il ssec deve essere in grado di funzionare in modo continuo nell'intervallo di tensione e frequenza specificato nel capitolo 4.1.

4.3 Tasso di variazione della frequenza (RoCoF)

Il ssec deve essere in grado di continuare a funzionare normalmente finché non viene superato il tasso di variazione medio della frequenza di $\pm 2,0$ Hz/s, determinato su una finestra temporale mobile di 500 ms.

La misura del tasso di variazione della frequenza non deve reagire a variazioni improvvise della curva della tensione dovute a perturbazioni nel sistema. Per ottenere un risultato robusto, è necessario effettuare una misurazione della frequenza ogni quinto periodo di tensione (100 ms) per il calcolo del tasso di variazione della frequenza.

4.4 Richiusura dopo lo scollegamento dalla rete

Lo scollegamento dalla rete del ssec dovuto a una perturbazione o un'interruzione programmata non deve comportare modifiche all'esercizio previsto del ssec dopo il ripristino dei collegamenti alla rete (ad es. ripristino delle configurazioni degli apparecchi alle impostazioni di fabbrica). Inoltre, la riconnessione dopo lo scollegamento dalla rete e la modalità operativa impostata devono essere eseguite conformemente al capitolo 3.3.

4.5 Centro di contatto del gestore del ssec

Il gestore del ssec deve disporre di un centro di comando delle centrali elettriche (CCE) conformemente all'AO [5] che sia informato in ogni momento (24 ore su 24, 7 giorni su 7, tutti i giorni dell'anno) sullo stato del ssec e possa controllarne l'esercizio in tempo reale – in loco o a distanza.

Il CCE deve:

- poter modificare lo stato operativo e la modalità di regolazione;
- autorizzare o limitare i comandi di controllo esterni;
- poter reagire senza ritardo in caso di intervento diretto nell'impiego delle centrali (IDIdC);
- disporre dei dati di misurazione pertinenti e di una tecnologia di controllo adeguata per il controllo remoto.

Su richiesta di Swissgrid, la gestione della rete del CCE deve essere in grado di modificare lo stato operativo o i valori di riferimento del ssec. La richiesta può essere inviata per via elettronica o telefonicamente.

4.6 Regolazione della frequenza

La regolazione della frequenza deve essere in grado di operare in modo continuo durante le transizioni tra le bande di frequenza e tra la modalità di produzione e di prelievo. Si noti che la statica è definita come segue:

$$Statik = \frac{\frac{\Delta f}{f_n}}{\frac{\Delta P}{P_N}} = - \frac{\frac{f - f_0}{f_n}}{\frac{P_{e,b} - P_0}{P_N}}$$

- f : frequenza [Hz]
- f_n : frequenza nominale [50 Hz]
- f_0 : frequenza target [Hz]
- P_e : potenza attiva del ssec in modalità produzione
- P_b : potenza attiva del ssec in modalità fabbisogno
- $P_{e,b}$: P_e o P_b , a seconda che si applichi la formula per la modalità produzione o fabbisogno
- P_0 : valore di riferimento di potenza attiva del ssec
- P_N : potenza nominale del ssec in modalità produzione

4.6.1 Sovrafrequenza

Il controllo della sovralfrequenza deve essere sempre attivato. Per frequenze di rete superiori a 50,2 Hz, il ssec deve:

- ridurre linearmente la sua potenza attiva in modalità produzione;
- aumentare linearmente l'energia attiva assorbita in modalità fabbisogno.

Tutti i ssec allacciati alla RT devono ridurre linearmente la potenza attiva a partire da una frequenza di 50,2 Hz con una statica compresa tra il 2% e il 12%. Il valore predefinito deve essere impostato sul 5%.

La reazione della potenza deve iniziare entro 1 secondo dal superamento di 50,2 Hz per evitare il superamento della frequenza critica di 51,5 Hz. Le misure di cui sopra si applicano in particolare se la RT si trova in una situazione critica ai sensi del capitolo 2 del TC. In questo caso, le istruzioni di cui sopra devono essere soddisfatte in aggiunta alle misure di cui al capitolo 5.3 del TC e si aggiungono all'energia di regolazione già fornita.

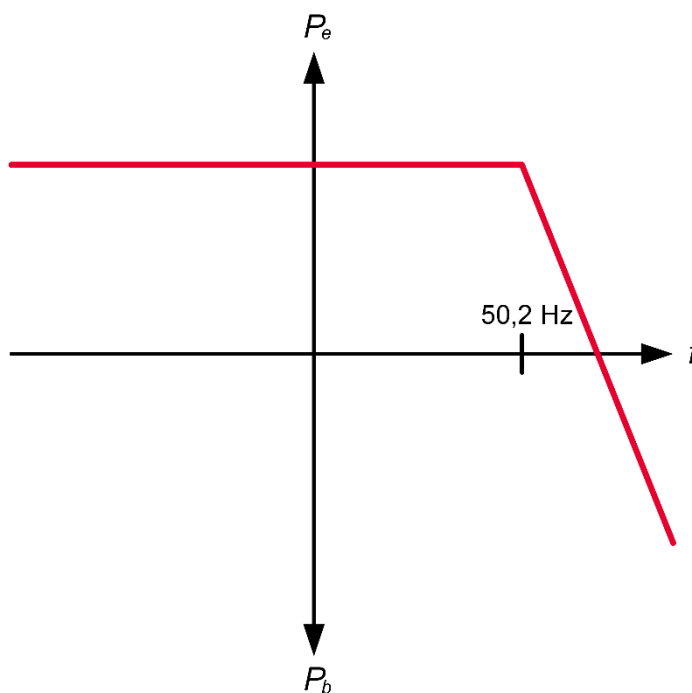


Figura 7: Dipendenza dalla frequenza in situazioni eccezionali – sovralfrequenza

4.6.2 Sottofrequenza

Con frequenze inferiori a 49,8 Hz, il ssec in modalità fabbisogno deve:

- ridurre linearmente l'energia attiva assorbita a 0 MW;
- se tecnicamente possibile, aumentare la fornitura di potenza attiva per stabilizzare la rete;
- rimanere operativo a 0 MW per poter immettere energia reattiva in base alle necessità della rete.

Tutti i ssec allacciati alla RT devono ridurre linearmente la potenza attiva assorbita a partire da una frequenza di 49,8 Hz con una statica compresa tra lo 0,2% e il 5%. Il valore predefinito deve essere impostato su 1,6%.

La reazione della potenza deve iniziare entro 1 secondo dal calo sotto i 49,8 Hz per evitare il calo della frequenza critica sotto i 48,5 Hz. Le misure di cui sopra si applicano in particolare se la RT si trova in una situazione critica ai sensi del capitolo 2 del TC. In questo caso, le istruzioni di cui sopra devono essere soddisfatte in aggiunta alle misure di cui al capitolo 5.3 del TC e si aggiungono all'energia di regolazione già fornita.

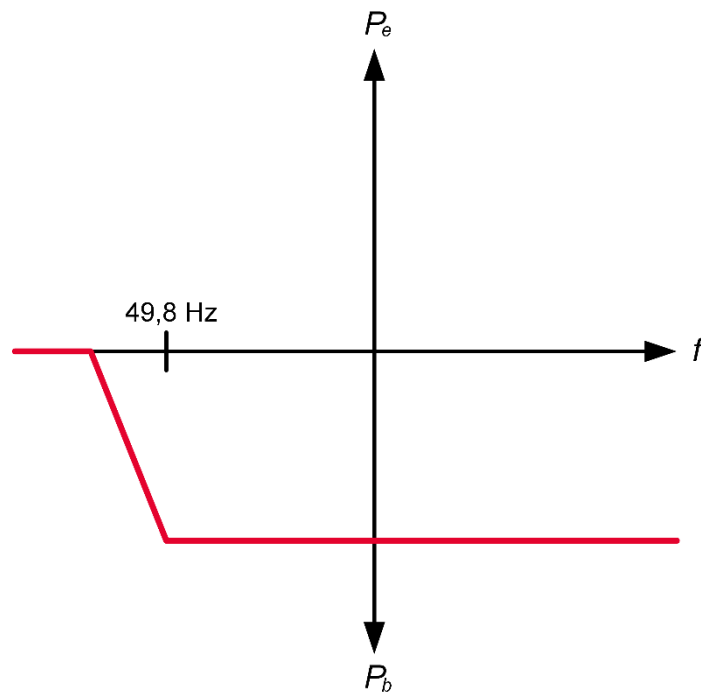


Figura 8: Dipendenza dalla frequenza in situazioni eccezionali – sottofrequenza

4.7 Comportamento in caso di ripristino della rete

Dopo un'interruzione della rete, i ssec non possono eseguire alcun processo di carica o di immissione al ritorno della tensione. Il prelievo e il rilascio di energia attiva e reattiva devono essere sempre coordinati con Swissgrid. Il ripristino controllato e stabile della rete a monte deve essere sempre prioritario. I ssec in funzione ad isola durante o dopo l'interruzione della rete si segnalano proattivamente a Swissgrid.

5 Esecuzione dell'allacciamento alla rete

5.1 Tecnologia primaria al punto di allacciamento

Gli standard di Swissgrid si applicano a tutti gli impianti e i componenti della tecnologia primaria. Questo capitolo descrive anche i requisiti specifici e le peculiarità dell'allacciamento di un ssec.

5.1.1 Aspetti generali

Swissgrid specifica i valori caratteristici necessari per il dimensionamento del ssec al punto di allacciamento alla rete. Queste prevedono tra l'altro:

- potenza apparente massima allacciabile;
- tensione nominale;
- tensione di taratura per gli strumenti operativi;
- campo di funzionamento della tensione;
- campo di funzionamento della frequenza;
- corrente massima di esercizio;
- correnti massime di messa a terra e di cortocircuito;
- livello di isolamento.

Inoltre, Swissgrid fornisce al ssec i seguenti dati per il dimensionamento dell'apparecchiatura di protezione dell'utente allacciato e per le considerazioni delle ripercussioni sulla rete:

- corrente alternata iniziale di cortocircuito minima prevista e l'angolo di impedenza rispetto alla rete Swissgrid nel punto di allacciamento alla rete;
- tempo di disattivazione totale per guasto della protezione principale della rete Swissgrid nel punto di allacciamento alla rete.

Le correnti di cortocircuito provenienti sia dalla rete Swissgrid che dal ssec devono essere prese in considerazione nella taratura degli strumenti operativi.

L'utente allacciato deve progettare gli impianti elettrici di sua proprietà per correnti di cortocircuito almeno nell'ambito della tenuta al cortocircuito degli impianti di Swissgrid all'allacciamento alla rete. In caso di correnti di cortocircuito rilevanti più elevate, Swissgrid specifica la tenuta al cortocircuito del ssec richiesta all'utente allacciato. Se un aumento della potenza di cortocircuito oltre la precedente tenuta al cortocircuito degli impianti del gestore all'allacciamento alla rete rende necessario un aumento della tenuta al cortocircuito del ssec esistente, la misura verrà concordata con Swissgrid.

5.1.2 Impianto allacciato ssec

L'allacciamento del ssec avviene nell'impianto di smistamento di Swissgrid tramite un campo di connessione conforme a **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** o, se ad esempio la potenza di allacciamento o i requisiti specifici di disponibilità lo rendono necessario, tramite più campi di connessione o un impianto di smistamento separato.

Il ssec viene allacciato al punto di allacciamento tramite un impianto lato cliente.

L'intero impianto di allacciamento deve essere installato in conformità alle norme vigenti e alle regole tecniche riconosciute. Deve essere possibile verificare che le sezioni che possono essere suddivise mediante dispositivi di isolamento siano prive di tensione e che possano essere messe a terra (punti di terra fissi o sezionatori di terra con azionamento manuale per distanze di allacciamento maggiori, per un allacciamento di trasformatori in AIS, cfr. Figura 9).

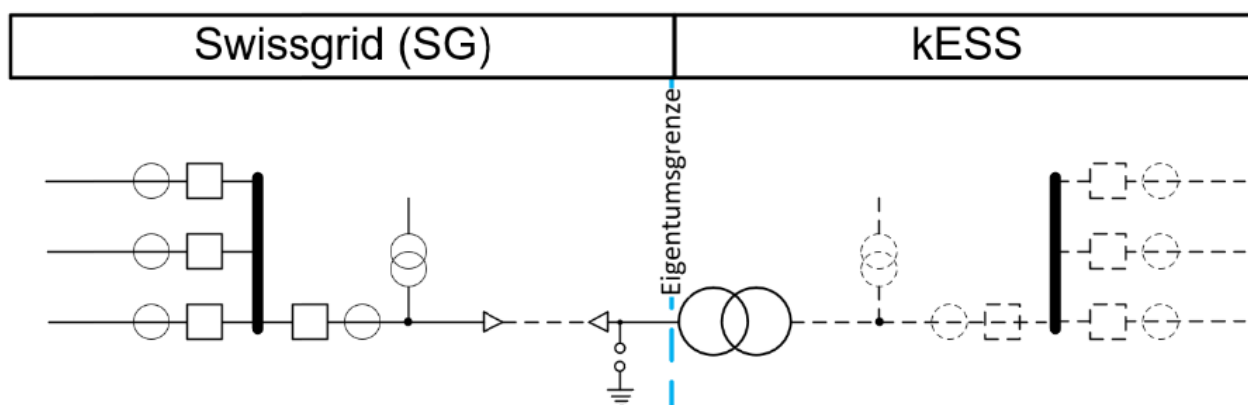


Figura 9: Allacciamento ssec sistematico

5.1.3 Configurazione del neutro

La configurazione del neutro per la RT è determinata da Swissgrid. Per tutti gli strumenti operativi dell'utente allacciato connesso galvanicamente alla RT di Swissgrid, quest'ultima stabilisce anche il tipo di configurazione del neutro.

Il centro stella lato altissima tensione dei trasformatori tra la RT e la rete del cliente deve essere individuato, progettato e attivato secondo le specifiche di Swissgrid (ciò vale anche per gli altri strumenti operativi che costituiscono il centro stella).

Il coordinamento dell'isolamento e il carico ammissibile del centro stella devono essere concordati tra Swissgrid e l'utente allacciato. Nel farlo, la configurazione del neutro lato altissima tensione non deve essere compromessa dal ssec.

Le ripercussioni delle avarie squilibrate dal ssec devono essere ridotte al minimo (in particolare, non devono essere trasmessi componenti omopolari dalla rete dell'utente associato). Non è pertanto consentita la messa a terra simultanea del centro stella (rigida o a limitazione di corrente) su più di un lato del trasformatore. Se è richiesto l'uso simultaneo di più centri stella su un trasformatore, è necessario coordinare e concordare un piano corrispondente con Swissgrid.

Swissgrid definisce la configurazione del neutro non solo sul piano tecnico ma anche su quello operativo, ossia stabilisce come i centri stella devono essere trattati e monitorati nell'esercizio continuo.

L'utente allacciato deve assicurarsi che durante l'esercizio del ssec non vengano immesse correnti DC non consentite nei centri stella degli avvolgimenti lato alta tensione.

5.1.4 Interruttore

Gli interruttori lato altissima tensione devono essere configurati per un'apertura sicura di tutte le possibili correnti di cortocircuito per avarie sia lato ssec sia lato rete.

Gli interruttori devono essere in grado di svolgere tutti gli ordini di manovra richiesti senza generare sovratensioni transitorie che potrebbero danneggiare i componenti degli impianti di Swissgrid.

I requisiti specifici di manovra devono essere concordati con Swissgrid.

5.1.5 Convertitore

La scelta e l'allacciamento dei convertitori devono essere concordati tra Swissgrid e il gestore del ssec.

5.1.6 Scaricatore

Il fabbisogno e le specifiche degli scaricatori per la protezione del ssec devono essere concordate con Swissgrid.

5.1.7 Impianti di cablaggio

Il trattamento della schermatura e la messa a terra degli impianti di cablaggio utilizzati per allacciare il ssec devono essere concordati con Swissgrid.

5.1.8 Impianto di terra

Il concetto di messa a terra del ssec deve essere concordato con Swissgrid

e deve essere dimensionato e installato in base ai dati di rete di Swissgrid per le correnti massime di cortocircuito e di guasto a terra. Il rispetto delle tensioni di contatto ammesse deve essere verificato mediante misurazione. I rapporti di misurazione della messa a terra, compreso il piano di messa a terra, devono essere presentati a Swissgrid in tempo utile prima della prima messa in tensione.

La messa a terra del ssec è collegata di serie alla messa a terra dell'impianto di Swissgrid. Le reti di accoppiamento devono avere la giusta dimensione per condurre in sicurezza le correnti di guasto e ridurre al minimo le differenze di potenziale tra le reti di messa a terra degli impianti.

5.2 Tecnica secondaria

5.2.1 Aspetti generali

Gli elementi di rete lato RT devono essere monitorati e, se necessario, controllati in base ai requisiti del manuale di gestione operativa o dell'AO/AOA [9], [5]. Ciò richiede uno scambio di segnali coordinato tra ssec e Swissgrid.

Lo scambio di segnali all'interfaccia tra il GRT e il ssec deve sempre essere conforme ai requisiti stabiliti nel manuale AES «Requisiti tecnici per le interfacce di protezione e di comando dei trasformatori verso la rete di trasmissione» e deve essere concordato tra i partner.

Se nel campo di connessione lato ssec sono presenti elementi controllati a distanza (ad es. sezionatori controllati a distanza con più trasformatori gestiti in parallelo lato ssec o con impianti fisicamente separati (valore di riferimento >300 m), il gestore del ssec deve prevedere locali separati per le apparecchiature di controllo, misurazione e protezione. Questi locali devono essere dotati di un approvvigionamento elettrico adeguato, essere sempre accessibili a Swissgrid e protetti da accessi non autorizzati.

5.2.2 Sincronizzazione

L'utente allacciato alla rete deve consentire un collegamento sincrono sicuro dei propri impianti alla RT (con dispositivi di commutazione propri).

Il gestore del ssec è responsabile delle apparecchiature di controllo e sincronizzazione del suo impianto. Il ssec deve essere sincronizzato da componenti primari di proprietà del gestore del ssec.

5.2.3 Sovranità fiscale

La sovranità fiscale al punto di allacciamento deve essere regolata tra Swissgrid e il gestore del ssec prima della messa in funzione del ssec e deve soddisfare i requisiti del manuale di gestione operativa e dell'AO/AOA.

5.2.4 Interfaccia di controllo della potenza attiva e reattiva

Il controllo del ssec deve disporre di un'interfaccia adeguata (ingressi analogici, binari o un'interfaccia di sistema) attraverso la quale Swissgrid possa influenzare il punto di lavoro del ssec (potenza attiva e reattiva) (ad es. per evitare un collasso della rete). Questo non è attualmente previsto e sarà definito in dettaglio nel concetto di esercizio del ssec. Inoltre, devono essere soddisfatti i requisiti per la regolazione della potenza reattiva descritti nel capitolo 3.2.

5.3 Protezione

5.3.1 Aspetti generali

I sistemi di protezione del ssec sono interamente garantiti dal gestore del ssec e devono soddisfare i requisiti del punto di allacciamento ed essere tecnicamente coordinati e compatibili con i concetti della protezione definiti negli standard di Swissgrid. La protezione dell'impianto del ssec deve essere garantita dal gestore del ssec.

I sistemi di protezione devono essere in grado di rilevare in modo affidabile i guasti elettrici lato ssec e di disattivarli in modo selettivo e senza ripercussioni. Devono essere rispettati i requisiti del «Manuale sulla sicurezza Svizzera» [10] dell'AES e le specifiche di cui al capitolo 6.3.7 del TC. Entro gli intervalli di tensione e frequenza consentiti, i sistemi di protezione non possono reagire alle normali fluttuazioni di rete (cfr. capitolo 4).

Per garantire un concetto della protezione selettivo, è necessario prevedere trasformatori di corrente adeguati.

I sistemi di protezione non possono interferire con i requisiti di superamento dei guasti della rete e devono essere configurati in modo da essere compatibili con i requisiti di regolazione dell'impianto in funzione della frequenza e da non ostacolare la risposta specifica a rapide variazioni di frequenza per sostenere la stabilità del sistema.

Anche i guasti al punto di allacciamento devono essere riconosciuti, in modo che il ssec possa scollegarsi dalla rete dopo un tempo definito. L'utente allacciato deve prevedere misure di protezione adeguate; ciò vale anche per l'esercizio in isola se il ssec è in grado di funzionare in isola. Inoltre, la protezione contro i guasti degli interruttori deve essere integrata in modo da tener conto dei guasti degli interruttori nel concetto di protezione.

Se il ssec viene scollegato dalla rete a causa di un'attivazione della protezione, può essere ricollegato solo dopo aver chiarito la causa del guasto e dopo l'approvazione di Swissgrid (nessuna RA).

La struttura e la progettazione dei convertitori necessari, in particolare il loro utilizzo congiunto, devono essere concordati tra le parti contraenti.

5.3.2 Scarico automatico della frequenza

Il gestore del ssec è responsabile di garantire che il ssec soddisfi i requisiti in conformità alla raccomandazione di settore «Esigenze tecniche concernenti il disinserimento automatico del carico per sottofrequenza considerando le prescrizioni modificate» [11] dell'AES. Si noti che i requisiti variano a seconda dello stato operativo e che devono essere osservati e rispettati i capitoli 4.6.1 e 4.6.2.

5.3.3 Rilevamento della rete a isola ed esercizio a isola

I ssec possono operare in isola senza collegarsi alla RT per coprire il proprio fabbisogno energetico in caso di guasti nella rete a monte. Il gestore del ssec è responsabile di tutte le precauzioni per il controllo dell'isola e della sicurezza operativa durante l'esercizio a isola.

Le precauzioni per la sincronizzazione (tecnica e organizzativa) dell'isola con la RT devono essere coordinate con Swissgrid; la sincronizzazione non deve avvenire tramite la tecnica primaria della RT.

La capacità di avviamento autonomo non è obbligatoria per il ssec. I ssec con capacità di avviamento autonomo possono partecipare alla gara d'appalto per PSRS per la capacità di avviamento e di esercizio in isola se soddisfano i requisiti di Swissgrid.

5.3.4 Analisi delle perturbazioni

Swissgrid esegue un'analisi sistematica delle perturbazioni nella RT e, sulla base dei risultati, sviluppa soluzioni adeguate per migliorare i processi esistenti con i gestori dei ssec interessati. Le informazioni necessarie (ad es. dati di misura, reazioni di protezione e registrazioni del comportamento del ssec nel corso della perturbazione) per il chiarimento di errori vengono scambiate su richiesta tra Swissgrid e i gestori dei ssec allacciati alla RT. Le parti coordinano in anticipo la comunicazione al pubblico riguardo le analisi delle perturbazioni.

5.4 Fabbisogno proprio ed energia ausiliaria

Il sistema di fabbisogno proprio del ssec deve disporre di un sistema a corrente trifase per l'alimentazione del fabbisogno proprio e di almeno un'alimentazione di emergenza indipendente dalla rete. Non è consentito operare il ssec senza un'alimentazione di emergenza funzionante.

Il gestore del ssec è responsabile del monitoraggio e della manutenzione del fabbisogno proprio e dell'approvvigionamento di energia ausiliaria.

Il funzionamento dell'apparecchiatura di protezione o lo scatto dei dispositivi di commutazione richiedono due alimentazioni ausiliarie indipendenti dalla tensione di rete (ad es. batteria, condensatore, convertitore di corrente). Lo stesso vale quando si utilizzano gli impianti per il controllo a distanza dei componenti primari.

Se l'alimentazione ausiliaria è necessaria per un periodo di tempo prolungato, la sua capacità deve essere misurata in modo che il ssec possa funzionare con tutte le apparecchiature di protezione, secondarie e di emergenza in conformità ai requisiti del ssec in assenza di tensione di rete. Si noti che eventuali requisiti per le PSRS possono prolungare il tempo di collegamento necessario.

5.5 Comunicazione e sicurezza informatica

Il gestore adotta misure tecniche e organizzative adeguate per garantire l'esercizio sicuro del ssec e impedire l'accesso non autorizzato, in particolare tramite connessioni di accesso remoto. Questo obbligo vale anche per i fornitori di servizi esterni che hanno accesso alle apparecchiature o ai sistemi informatici del ssec. Su richiesta, il gestore trasmette a Swissgrid rapporti periodici sulla sicurezza delle informazioni e sul collegamento di telecomunicazione; la forma e la portata sono concordate tra le parti.

In caso di perturbazione di ampia portata, il gestore si assicura che i dati rilevanti in tempo reale rimangano disponibili e recuperabili per almeno 72 ore per consentire un'analisi completa. Le misure di sicurezza devono essere costantemente adeguate allo stato dell'arte e devono garantire una protezione contro le minacce alla sicurezza delle informazioni commisurate all'importanza operativa del ssec. I rischi per la sicurezza delle informazioni devono essere attivamente identificati, valutati e affrontati in modo appropriato su base continuativa.

5.6 Accesso all'infrastruttura fisica

Il gestore del ssec e Swissgrid mettono a disposizione reciprocamente aree e/o locali idonei (ad es. per la tecnica secondaria) per l'installazione e l'ampliamento di impianti e apparecchiature necessari per la realizzazione e il mantenimento dell'allacciamento alla rete.

Il gestore del ssec e Swissgrid si concedono reciprocamente e concedono ai propri rappresentanti autorizzati l'accesso gratuito alle aree e/o ai locali utilizzati a turno.

I dettagli dell'esecuzione dei lavori delle aree e/o dei locali utilizzati a turno sono concordati contrattualmente tra Swissgrid e il gestore del ssec.

6 Studi e prove

Nell'ambito della procedura di allacciamento alla rete, sei mesi prima della prima immissione o del primo prelievo, è necessario presentare a Swissgrid un rapporto sugli studi effettuati sul ssec e sui modelli di simulazione utilizzati.

6.1 Requisiti per gli studi dinamici

L'utente allacciato del ssec è tenuto ad avviare, realizzare e coordinare tutti gli studi specifici necessari nell'ambito della progettazione preliminare. Swissgrid assume esclusivamente un ruolo di verifica e monitoraggio per valutare la conformità dell'impianto progettato ai requisiti di allacciamento alla rete.

Swissgrid raccomanda all'utente allacciato del ssec di attendere la valutazione dei requisiti di uno studio specifico prima di firmare un contratto d'appalto vincolante per i componenti principali del ssec. Questo perché studi specifici possono influenzare la selezione e il dimensionamento delle apparecchiature che producono energia e le tempistiche del progetto.

Per valutare adeguatamente l'impatto del ssec sulla rete sono necessari almeno i seguenti studi:

- stabilità transitoria;
- studio «Subsynchronous Oscillations»;
- studio sulla stabilità armonica.

Una descrizione dettagliata dell'ambito dei rispettivi studi è disponibile nell'allegato, cfr. capitolo 8.3.

Se le indagini specifiche richiedono misure speciali per l'allacciamento alla rete del sistema di stoccaggio di energia, tali misure sono considerate specifiche vincolanti e l'utente allacciato del ssec è responsabile della loro attuazione.

6.2 Requisiti di modellazione

Nell'ambito della pianificazione preliminare, l'utente allacciato del ssec è tenuto a fornire a Swissgrid un modello di simulazione completo e validato del ssec. Questo modello deve rappresentare in modo realistico e comprensibile le principali funzioni e proprietà del ssec, compreso il comportamento dinamico in caso di guasti sulla rete.

Swissgrid utilizza questo modello per i propri studi sulla rete per valutare il potenziale impatto del ssec sulla stabilità della rete, sulla dinamica del sistema e sulla conformità al presente documento. La fornitura del modello è un prerequisito per la realizzazione di questi studi e deve avvenire in tempo utile affinché i risultati possano essere integrati nella valutazione dell'allacciamento alla rete.

I modelli di simulazione devono includere tutti i componenti principali del ssec, compresi gli impianti di compensazione e i regolatori, i limitatori e le apparecchiature di protezione che influenzano l'esercizio del ssec nella rete. Deve essere possibile parametrizzare i modelli di simulazione in relazione alle caratteristiche che rientrano nell'ambito delle specifiche. I modelli di simulazione devono essere corredati da una documentazione completa che consenta di utilizzare e parametrizzare il modello per vari studi di situazioni di esercizio e di perturbazione. I modelli devono essere forniti in formato Root Mean Square (RMS) utilizzando il software Siemens PSSE e in formato Electromagnetic Transient (EMT) utilizzando il software EMTP. Swissgrid mantiene istruzioni dettagliate per la modellazione che descrivono le versioni del software attualmente utilizzate e le proprietà richieste dei modelli creati con esse. Questi sono forniti all'utente allacciato come aiuto alla realizzazione e devono essere rispettati.

6.2.1 Modelli armonici

6.2.1.1 Aspetti generali

- L'utente allacciato deve fornire modelli armonici che rappresentino ogni convertitore e tutti i sistemi ausiliari pertinenti collegati al punto di allacciamento alla rete.
- I modelli devono essere forniti in formato leggibile (ad es. testo, CSV o Excel) o in un altro formato richiesto da Swissgrid.
- I modelli devono essere basati su misurazioni e/o calcoli verificati.
- Se esistono asimmetrie, è necessario fornire modelli di sequenza positivi e negativi.
- L'analisi del sistema omopolare è necessaria solo su richiesta di Swissgrid.

6.2.1.2 Modello armonico stazionario

Il convertitore deve essere rappresentato come un equivalente Norton o Thevenin in funzione della frequenza e deve contenere i seguenti componenti.

6.2.1.2.1 Fonte di emissione armonica

- Le emissioni di tensione o corrente armoniche devono essere specificate per multipli interi di 50 Hz nell'intervallo da 100 Hz a 2500 Hz con una risoluzione di frequenza di 50 Hz.
- Le emissioni interarmoniche e ad alta frequenza devono essere documentate fino a 9 kHz in bande di 200 Hz.
- Per ogni punto di funzionamento devono essere fornite sia la quantità che la fase delle emissioni.

6.2.1.2.2 Impedenza dipendente dalla frequenza

- L'impedenza del convertitore (parte reale e immaginaria) deve essere specificata in funzione della frequenza, tenendo conto degli effetti di regolazione.
- L'impedenza deve essere specificata: in incrementi di 1 Hz da 100 Hz a 2500 Hz e in incrementi di 10 Hz da 2500 Hz a 9 kHz.
- I dati di impedenza devono essere forniti per stati operativi rappresentativi (ad es. 0%, 50% e 100% di potenza attiva e stati di potenza reattiva associati).
- Ogni deviazione con la potenza, la tensione o la modalità di regolazione inferiore al 10% o a 5 Ω deve essere giustificata per iscritto.

6.2.1.2.3 Strumenti operativi associati

Anche le impedenze in funzione della frequenza dei componenti primari, ad esempio trasformatori, filtri, cavi e riduttori del convertitore, devono essere fornite sulla base dei dati del produttore o di misurazione.

6.2.1.3 Modello di stabilità armonica

Deve essere fornito un modello di stabilità armonica che utilizzi la stessa struttura e la stessa gamma di frequenze del modello stazionario.

Se i valori di impedenza differiscono tra i due modelli, tali differenze e le relative ragioni devono essere documentate.

6.2.1.4 Modello con smorzamento attivo (se disponibile)

Se il convertitore dispone di una funzione di smorzamento attivo, è necessario fornire anche un modello armonico con smorzamento attivato.

Il modello deve contenere le seguenti informazioni:

- a) obiettivo e larghezza di banda dello smorzamento e;
- b) parametri utilizzati (ad es. resistenza virtuale).

6.2.1.5 Validazione

L'accuratezza del modello armonico deve essere verificata mediante convalida in base ai seguenti punti.

6.2.1.5.1 Fonti di convalida

Per la verifica devono essere utilizzate almeno due delle seguenti fonti (escluso il tipo di modello utilizzato per creare il modello):

- a) simulazione di transitori elettromagnetici (EMT);
- b) test di fabbrica;
- c) modello analitico;
- d) misurazione sul campo o della messa in funzione.

6.2.1.5.2 6.2.1.5.2 Validazione dell'impedenza

- a) La validazione deve essere effettuata sull'intera banda di frequenze da 100 Hz a 9 kHz.
- b) Dimensione dell'incremento di frequenza: ≤ 1 Hz a 2500 Hz e ≤ 10 Hz sopra i 2500 Hz.
- c) Il modello è considerato valido se le parti reali e immaginarie dell'impedenza si discostano dai dati validati di meno del 10% o di 5 Ω .

6.2.1.5.3 Convalida dell'emissione armonica

- a) Le emissioni armoniche devono essere convalidate per tutti i punti di funzionamento specificati.
- b) È necessario utilizzare almeno una fonte di convalida indipendente.
- c) Le deviazioni non devono superare il 10% in grandezza e 10° in fase.

6.2.1.6 Documentazione

Insieme al modello devono essere forniti una relazione e un manuale che devono includere i seguenti punti.

- a) Panoramica dei modelli: descrizione della struttura del modello, del circuito equivalente (Norton/Thevenin) e del formato del software.
- b) Fonte dei dati: indicazione della provenienza dei dati (misurati, simulati o forniti dai produttori).
- c) Metodologia: descrizione dei metodi utilizzati per determinare i dati di impedenza ed emissione, compresi eventuali filtri o medie.
- d) Riassunto della convalida: descrizione dei metodi di validazione utilizzati con diagrammi di confronto e deviazioni quantitative.
- e) Limitazioni: campo di applicazione, stati operativi e ipotesi semplificative.
- f) Rapporti di misurazione: se si utilizzano misure, è necessario allegare i rapporti di prova completi con i dati di calibrazione.

7 Test di conformità

7.1 Procedura di omologazione

È responsabilità dell'utente allacciato del ssec verificare che l'esercizio del ssec sia conforme ai requisiti del presente documento. I costi del processo di conformità sono a carico dell'utente allacciato del ssec. La conformità alle specifiche deve essere verificata in primo luogo mediante test durante la messa in funzione del ssec. Per essere autorizzati a fornire prestazioni di servizio relative alla rete, è necessario soddisfare anche le attuali condizioni di prequalificazione.

7.1.1 Messa in servizio

La messa in servizio viene effettuata nell'ambito di una collaborazione tra l'utente allacciato al ssec e Swissgrid. I rappresentanti di Swissgrid hanno il diritto di partecipare e accompagnare tutte le prove di messa in servizio.

L'utente allacciato del ssec deve redigere un piano di prova per la messa in servizio del ssec. I documenti devono essere presentati a Swissgrid in anticipo, almeno 3 mesi prima della messa in servizio. L'utente allacciato del ssec propone procedure di prova adeguate per dimostrare la soddisfazione dei requisiti necessari. Le prove possono includere documenti di progetto, studi, simulazioni, test durante la messa in funzione o test durante l'esercizio. Ove tecnicamente possibile, devono essere fornite prove in tempo reale. Swissgrid ha il diritto di annullare o modificare le tempistiche delle prove di messa in servizio se, a causa della situazione operativa della rete, non è possibile effettuare le prove al momento previsto.

Secondo il capitolo 6.4 del TC, le date dei test di conformità devono essere concordate per tempo con Swissgrid. Il superamento di tutti i test di conformità confermato da Swissgrid è un prerequisito per l'allacciamento definitivo alla RT.

Durante tutte le prove di messa in servizio devono essere misurate e registrate almeno le seguenti variabili:

- potenza attiva del ssec;
- potenza reattiva del ssec;
- tensione all'allacciamento;
- frequenza al punto di allacciamento.

Durante la prova di messa in servizio è necessario verificare le seguenti funzioni.

1) Tasso di variazione della potenza attiva:

- a) Lo scopo del test è dimostrare la capacità di modellare la potenza attiva in base all'intervallo operativo definito nel capitolo 3.1 e al tasso di variazione ivi specificato. Il test viene eseguito con due potenze attive: $0,1 \times P_{\max}/\min$ e il massimo tasso di variazione sia in modalità immissione che in modalità prelievo.
- b) Il test è superato se i parametri specificati nel capitolo 3.1 sono soddisfatti e non si verificano oscillazioni di potenza non smorzate.

2) Controllo della tensione costante:

- a) Il test dimostra la capacità tecnica del ssec di regolare la tensione e di funzionare in conformità ai requisiti specificati nel capitolo 3.2.
- b) Il test consiste in test di risposta brusca alla regolazione della tensione. I test hanno lo scopo di dimostrare le prestazioni di regolazione della tensione e la capacità di impostare il valore di riferimento e la pendenza richiesti.

- c) Il test è superato se i requisiti definiti nel capitolo 3.2 sono soddisfatti e il ssec può raggiungere un punto di funzionamento stabile dopo la risposta brusca senza oscillazioni di potenza reattiva o attiva scarsamente smorzate.
- 3) Regolazione costante della potenza reattiva:
 - a) Il test deve dimostrare la capacità tecnica del ssec di regolare la potenza reattiva e di funzionare in conformità ai requisiti specificati nel capitolo 3.2 quando il ssec è allacciato alla rete.
 - b) Il test deve includere una variazione graduale della potenza reattiva e si deve verificare se i valori di riferimento specificati possono essere mantenuti.
 - c) Il test si considera superato se sono soddisfatti i requisiti di cui al capitolo 3.2 e se il ssec può raggiungere un punto di funzionamento stabile con oscillazioni smorzate dopo la variazione graduale della potenza reattiva.
- 4) Regolazione costante del fattore di potenza:
 - a) Il test deve dimostrare la capacità tecnica del ssec di regolare il fattore di potenza misurato al punto di allacciamento in conformità ai requisiti di cui al capitolo 3.2.2.
 - b) Il test consiste in una variazione graduale della potenza reattiva utilizzando il fattore di potenza. I test devono dimostrare le prestazioni della regolazione del fattore di potenza e la capacità di impostare il valore di riferimento richiesto.
 - c) Il test è considerato superato se il ssec è in grado di raggiungere un punto di funzionamento stabile con oscillazioni smorzate dopo una variazione graduale del fattore di potenza.
- 5) Verifica della capacità di potenza reattiva e limitazione della potenza attiva:
 - a) Il test deve dimostrare che il ssec è in grado di immettere e prelevare potenza reattiva. Occorre inoltre verificare se la limitazione della potenza attiva funziona.
 - b) Il test deve essere eseguito alla massima potenza reattiva induttiva e capacitiva del ssec e in cinque diversi punti di funzionamento.
- 6) Controllare la frequenza al punto di allacciamento:
 - a) Le misure devono essere eseguite con una frequenza di campionamento di almeno 1 kHz e la frequenza di registrazione deve essere di almeno 50 Hz.
 - b) Fanno eccezione il test di messa in servizio della regolazione a tensione costante e le misure della tensione e della corrente su un modulo di convertitore, che devono essere registrate con una frequenza di campionamento e registrazione di almeno 2 kHz.
- 7) Avvio e arresto:
 - Il test deve dimostrare che l'accensione e lo spegnimento del ssec non provocano variazioni di qualità nella tensione e nella frequenza della rete.
- 8) Comportamento in caso di perturbazione della regolazione della tensione:
 - Il test deve dimostrare che la regolazione della tensione del ssec cambia correttamente modalità in caso di perturbazione.
- 9) Controllo remoto:
 - a) Il test deve dimostrare che il controllo remoto necessario per l'esercizio del ssec funziona correttamente.
 - b) Il test deve riguardare tutti i punti di controllo, compreso l'allacciamento elettronico di comando di Swissgrid. Si verifica inoltre se la prioritizzazione dei diritti di comando tra i centri di comando funziona correttamente.
 - c) Viene anche verificato se il segnale di comando emesso dalla parte con autorità primaria ha la priorità.

10) Risincronizzazione dopo una perdita di rete:

- Il gestore del ssec deve garantire che i suoi processi interni per la risincronizzazione dopo una perdita di rete siano impostati in conformità con il capitolo 3.3.

11) Stabilità dei piccoli segnali e smorzamento:

Il ssec deve dimostrare che esso e la sua regolazione non causano oscillazioni non smorzate in caso di piccoli guasti della rete e contribuiscono attivamente al loro smorzamento.

12) Obblighi di documentazione:

Gli obblighi generali di documentazione sono descritti nei capitoli 7 e 9 del contratto di allacciamento alla rete [2] e nel CGAR [3].

Le registrazioni dei test di messa in servizio servono come prova della correttezza e della validità dei risultati della simulazione specificati nel capitolo 6. L'utente allacciato del ssec è tenuto a riassumere queste prove in un rapporto di convalida formale che indichi:

- la corrispondenza dei dati di messa in servizio misurati e le simulazioni effettuate nel capitolo 6,
- la conformità a tutti i requisiti in conformità al capitolo 6 e al presente documento,
- la revisione e l'approvazione prima del rilascio dell'allacciamento definitivo.

8 Allegato

8.1 Tabelle e formule

Tabella 1: Elenco delle abbreviazioni	8
Tabella 2: Panoramica della convenzione sui segni	8

8.2 Figure

Figura 1: La potenza reattiva deve essere fornita tenendo conto della Safe Operating Area.	10
Figura 2: Diagramma di capacità di potenza reattiva 380 kV	11
Figura 3: Diagramma di capacità di potenza reattiva 220 kV	11
Figura 4: Comportamento per il bypass dall'errore in caso di sovratensioni o sottotensioni di breve durata	12
Figura 5: Controllo della potenza reattiva per variazioni brusche di tensione	13
Figura 6: Controllo della potenza reattiva per variazioni brusche di tensione	13
Figura 7: Dipendenza dalla frequenza in situazioni eccezionali – sovrافrequenza	19
Figura 8: Dipendenza dalla frequenza in situazioni eccezionali – sottofrequenza	20
Figura 9: Allacciamento ssec sistematico	22

8.3 Studi

Questo allegato descrive gli studi necessari per l'allacciamento di ssec alla rete Swissgrid. Questi requisiti devono essere intesi come orientamento. Swissgrid si riserva il diritto di adattare gli studi necessari o di imporre ulteriori requisiti a seconda del caso specifico.

8.3.1 Stabilità transitoria

Lo scopo dello studio di stabilità è verificare l'interoperabilità del ssec con la RT in condizioni transitorie. A tal fine, vengono utilizzate simulazioni RMS. Inoltre, è necessario dimostrare la conformità delle funzioni di sostegno alla rete del panorama contrattuale di Swissgrid e convalidarne la configurazione.

L'utente allacciato deve creare una matrice di test che elenchi tutti i casi di simulazione da considerare nello studio di stabilità. La matrice di test viene sviluppata dall'utente allacciato e da Swissgrid e deve essere approvata da Swissgrid prima dell'inizio dello studio. Se durante lo studio o l'analisi dei risultati vengono identificati ulteriori scenari critici o rilevanti o casi di errore, l'utente allacciato deve esaminarli e aggiungerli alla matrice di test originale.

8.3.1.1 Studio del cortocircuito

L'utente allacciato deve simulare diverse posizioni di cortocircuito nel modello di rete AC ridotto, tenendo conto dei seguenti parametri:

- cortocircuito al punto di allacciamento alla rete;
- cortocircuiti su tutte le linee AC provenienti dal sistema di stoccaggio a batteria, compreso il guasto delle linee interessate (linee singole e doppie);
- altri punti di errore nella rete AC, comprese le linee e le sbarre di distribuzione.

È necessario simulare cortocircuiti trifase simmetrici con diverse tensioni residue e durate di errori.

Nel punto di allacciamento alla rete è necessario tenere in considerazione almeno i seguenti punti di funzionamento e le seguenti condizioni:

- potenza attiva: 100%, 50%, 0% della $P_{\max}$, immissione e prelievo;
- potenza reattiva: massima capacitiva, massima induttiva, zero;
- diversi livelli di tensione nella rete AC al punto di allacciamento alla rete;
- potenze di cortocircuito diverse al punto di allacciamento alla rete.

8.3.1.2 Analisi delle modalità di regolazione della potenza reattiva

L'utente allacciato deve dimostrare la dinamica della regolazione della potenza reattiva.

L'utente allacciato deve dimostrare il comportamento del ssec quando vengono raggiunti i limiti di potenza reattiva per tutte le modalità di regolazione utilizzando un modello semplificato del sistema AC. L'ambito e l'estensione del modello AC semplificato sono stabiliti di comune accordo tra l'utente allacciato e Swissgrid. Inoltre, deve essere simulata una transizione dal massimo induttivo al massimo capacitivo nella modalità di regolazione «Q = costante», utilizzando anche il modello AC semplificato.

L'utente allacciato deve dimostrare come la regolazione della potenza reattiva contribuisca a stabilizzare il livello di tensione nella rete AC. Si tratta di analizzare come le modalità di regolazione e le relative impostazioni dei regolatori influenzino il comportamento in caso di guasti sulla rete (FRT) e la stabilità della tensione durante e dopo tali eventi.

Inoltre, va analizzato come la modalità di regolazione della tensione con la potenza reattiva statica contribuisca alla stabilizzazione della tensione dopo l'FRT. È inoltre necessario analizzare come questa modalità di regolazione supporti la stabilità della tensione durante gli eventi di rete che comportano variazioni di tensione.

8.3.2 Studio sulla stabilità armonica

8.3.2.1 Aspetti generali

- Lo studio sulla stabilità armonica serve a dimostrare che i ssec hanno un comportamento stabile nell'intervallo di frequenza previsto in tutte le condizioni di esercizio e di rete.
- L'obiettivo è identificare ed evitare interazioni indesiderate tra le regolazioni dei convertitori, le risonanze di rete e altri impianti connessi alla rete.
- L'analisi è suddivisa in uno studio di screening nella banda di frequenze e in uno studio EMT dettagliato nella fascia temporale. Lo studio deve essere effettuato in sequenza positiva e negativa; l'analisi del sistema omopolare è necessaria solo su richiesta di Swissgrid.
- La gamma di frequenze interessata va da 100 Hz a 2500 Hz.
- Swissgrid mette a disposizione dell'utente allacciato i dati necessari per l'esecuzione degli studi; la portata esatta di questi dati è stabilita negli accordi bilaterali.

8.3.2.2 Studio di screening

- Lo studio di screening è un'indagine basata sulla banda di frequenze per valutare le riserve di stabilità (riserva di fase e di ampiezza) nel punto di allacciamento alla rete.
- Il metodo si basa sul criterio dell'impedenza secondo J. Sun: «Impedance-Based Stability Criterion for Grid-Connected Inverters» [12].
- Lo studio deve essere eseguito nella misura in cui l'impianto non mostra un comportamento smorzato positivo dimostrabile per tutti gli stati di manovra interni.
- Le risposte in frequenza dell'impianto basate sul modello armonico devono essere fornite per giustificare un comportamento di smorzamento positivo. L'utente allacciato deve tenere conto di tutte le risposte di frequenza della rete (stati di manovra) fornite da Swissgrid.

- La riserva di fase e di ampiezza al punto di allacciamento alla rete deve essere calcolata e documentata. I valori inferiori a 15° di riserva di fase o a 15 dB di riserva di ampiezza sono considerati critici.
- L'analisi deve essere eseguita per tutti gli stati operativi pertinenti (variazioni di potenza attiva e reattiva, livelli di tensione, modalità di regolazione, configurazioni di manovra, stati di invecchiamento, stati di carica) se l'impedenza di uscita varia di oltre il 10% o 5 Ω nella parte reale o immaginaria.
- Le relative configurazioni di manovra dell'impianto devono essere specificate nel piano di studio e concordate con Swissgrid.

8.3.2.3 Studio EMT dettagliato

- Per tutti gli scenari con riserva di fase < 15° o riserva di ampiezza < 15 dB, è necessario eseguire uno studio EMT dettagliato nella fascia temporale.
- Le impedenze di rete dipendenti dalla frequenza che causano la riduzione delle riserve di stabilità devono essere integrate nel modello EMT (ad es. come modello EMTP-RV FDNE o a banda larga).
- La stabilità dell'intero sistema deve essere verificata senza interferenze esterne. Se il sistema rimane stabile, è necessario testare la robustezza nei confronti di piccole e grandi eccitazioni del segnale (ad es. variazioni brusche di tensione).
- Per verificare il comportamento dello smorzamento nei confronti delle oscillazioni forzate, è necessario effettuare un'iniezione di frequenza singola alle frequenze critiche identificate nello screening.
- Se sono necessarie contromisure, tutti i calcoli con le contromisure implementate devono essere ripetuti e i risultati devono essere confrontati con i calcoli originali.
- L'utente allacciato deve dimostrare che le contromisure proposte garantiscono un esercizio stabile.
- Tutte le contromisure devono essere coordinate con Swissgrid.

8.3.2.4 Criteri di valutazione

- Swissgrid valuta le risposte di frequenza a condizione che si assuma un comportamento smorzato positivamente.
- I risultati dello studio di screening vengono verificati rispetto alle riserve di stabilità definite.
- Se necessario, vengono valutati l'approccio di modellazione e i risultati di simulazione dello studio EMT dettagliato.
- Se necessario, le contromisure proposte vengono valutate in termini di efficacia e fattibilità.

8.3.2.5 Documentazione

- Prima dell'inizio dello studio, Swissgrid deve presentare e approvare un piano di studio.
- Il piano deve descrivere il metodo, le ipotesi, i punti di funzionamento considerati e gli scenari di rete.
- Dopo il completamento dello studio di screening, è necessario fornire una relazione con tutte le risposte in frequenza (stati operativi e configurazioni di manovra).
- Tutte le curve di impedenza devono essere fornite in formato leggibile (ad es. CSV).
- I rapporti degli studi di screening ed EMT devono contenere almeno i seguenti punti:
 - 1) panoramica del modello e del metodo;
 - 2) descrizione dei parametri di simulazione e dei casi operativi;
 - 3) visualizzazione delle riserve di stabilità (riserva di fase e di ampiezza);
 - 4) visualizzazione delle contromisure applicate (se presenti);
 - 5) valutazione dei risultati di stabilità e conclusioni.
- Il modello di simulazione deve essere fornito con ogni revisione dello studio.

9 Indice bibliografico

- [1] Swissgrid, «Transmission Code 2019,» Aarau, 2019.
- [2] Swissgrid, *Contratto di allacciamento alla rete (CAR)*, Laufenburg, 2017.
- [3] Swissgrid AG, *CAR Allegato 2: Condizioni generali per l'allacciamento alla rete di trasmissione*, Laufenburg: Swissgrid AG, 2017.
- [4] Swissgrid, *Concetto mantenimento della tensione - Piano per il mantenimento della tensione nella rete di trasmissione della Svizzera a partire dal 2020*, Aarau: Swissgrid , 2019.
- [5] Swissgrid, *Accordo operative con GCE per centrali elettriche direttamente allacciate alla rete di trasmissione*, Aarau: Swissgrid, 2010.
- [6] IEC, «Electromagnetic compatibility (EMC) - Part 3-6: Limits - Assessment of emission limits for the connection of distorting installations to MV, HV, and EHV power systems,» IEC, 2008.
- [7] VDE FNN, VSE, Oesterreichs Energie, CSRES, «Technische Regeln für die Beurteilung von Netzurückwirkungen. Teil A: Grundlagen,» VDE FNN, VSE, Oesterreichs Energie, CSRES, Aarau/ Berlin/ Prag/ Wien, 2021.
- [8] Electrosuisse, *Merkmale der Spannung in öffentlichen Elektrizitätsversorgungsnetzen*, Fehraltorf: Electrosuisse, 2020.
- [9] Swissgrid AG, *Anschlussbetriebsvereinbarung*, Aarau: Swissgrid, 2025.
- [10] VSE Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen, *Schutzleitfaden Schweiz*, Aarau: VSE, 2020.
- [11] VSE Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen, *Exigences techniques relatives aux interfaces de protection et de commande des transformateurs raccordés au réseau de transport*, Aarau: VSE, 2023.
- [12] J. Sun, «Impedance-Based Stability Criterion for Grid-Connected Inverters,» *IEEE Transactions on Power Electronics*, vol. 26, n. 11, pp. 3075-3078, 2011.
- [13] VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik, *Technische Regeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Höchstspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Höchstspannung)*, VDE Verband der Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik, 2018.
- [14] VSE Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen, *Exigences techniques relatives au délestage automatique de fréquence*, Aarau: VSE, 2025.