

# Spitzenleistung bei der Generatorsteuerung Erregersystem HyCon Thyristron



# Erregersystem

**Die Produktlinie für Erregersysteme HyCon Thyricon steht für die umfangreiche Erfahrung und das Wissen von Voith auf dem Gebiet der Wasserkraftgeneratoren. Statorspannung und Blindleistung werden dank der Spitzentechnologie unserer Produktlinie für Erregersysteme zuverlässig geregelt.**

Voith ist weltweit führend bei der Ausstattung von und Serviceleistungen für Wasserkraftwerke – bei Neubau- wie auch bei Modernisierungsprojekten. Seit fast 150 Jahren ist der Name Voith Synonym für Spitzenleistungen in der Wasserkraftindustrie. Dies belegen unsere ca. 40 000 installierten Generatoren und Turbinen weltweit.

Im Laufe der Geschichte haben wir immer wieder neue Rekorde aufgestellt, was Leistung und Größe von Wasserkraftanlagen und deren Komponenten betrifft. Daher verfügen unsere weltweit tätigen Mitarbeiter über fundierte Erfahrungen und hochspezialisierte Fachkenntnisse. Dies ermöglicht Voith, herausragendes Design und perfekte Lösungen auf der Basis modernster Entwicklungs- und Fertigungskompetenz zu liefern.

HyCon Thyricon, die Produktlinie für Erregersysteme von Voith, setzt neue Maßstäbe für die elektrische Regelung von Generatoren. Dieses modulare System kann kundenspezifisch angepasst werden, um eine optimierte Lösung für alle Arten von Synchrongeneratoren und -motoren zu bieten.

Es sind viele Konfigurationen erhältlich, einschließlich redundanter Steuerungen und voll- oder  $n + 1$  redundanter Thyristorbrücken. Alle Bauteile der Produktlinie HyCon Thyricon werden vor Auslieferung im Werk getestet. Die umfangreichen Steuerungsprogramme beinhalten spezielle Funktionen. So gibt es zum Beispiel die Datenschreiberfunktion, bei der über das Bedienfeld alle aktuellen Betriebswerte zugänglich sind und fortlaufend gespeichert werden. Eine weitere Funktion ist die Betriebsparametrierung, bei der alle Einstellparameter über das Bedienfeld zugänglich sind und ohne Betriebsunterbrechung im laufenden Betrieb geändert werden können. Zudem gibt es spezielle Programmmodule für Service- und Inbetriebnahmefunktionen.

---

Von der einfachsten Steuerung bis hin zu komplexen redundanten speicherprogrammierbaren Systemen und redundanten Gleichrichterbrücken



## Produktlinie HyCon Thyricon

Ein Erregersystem umfasst alle Vorrichtungen, die zur Erregerstromerzeugung für einen Synchrongenerator nötig sind, sowie die für die Regelung der Statorspannung (einschließlich Begrenzung und Schutz) erforderlichen Funktionen. Voith liefert Erregersysteme für eine Vielzahl von Wasserkraftgeneratoren. Diese haben gemeinsam, dass standardisierte, industrielle Steuerungen und Komponenten genutzt werden, für die weltweiter Service und Unterstützung gewährleistet ist.

## Erregersysteme für eine breite Palette von Wasserkraftgeneratoren.

### Die Produktlinie HyCon Thyricon umfasst:

Linie	Thyricon 300	Thyricon 400	Thyricon 500	Thyricon 600
Modul(e)	1	1 – 3	4 – 5	5 – 7
Gleichrichter-Typ	IGBT	Thyristor	Thyristor	Thyristor
Gleichrichter-Redundanz	Keine oder (1+1)	Keine	(1+1)	(n+1)
Art der Kühlung	Natürliche oder forcierte Luftkühlung	Natürliche oder forcierte Luftkühlung	Natürliche oder forcierte Luftkühlung	Forcierte Luftkühlung
Kühlungsredundanz	Optional	Optional	Optional	Optional
Leistungsschalter-Typ	Schütz oder Kompaktleistungsschalter	Leistungsschalter oder Gleichstromschütz mit Entregungskontakt	Leistungsschalter oder Gleichstromschütz mit Entregungskontakt	Leistungsschalter oder Gleichstromschütz mit Entregungskontakt
Leistungsschalter-Position	WS- oder GS-seitig	WS- oder GS-seitig	WS- und / oder GS-seitig	WS- und / oder GS-seitig
Max. Dauerstrom [A]	≤ 150	≤ 3 000	≤ 3 000	≤ 10 000
Max. Ausgangsspannung [V]	≤ 600	≤ 2 000	≤ 2 000	≤ 2 000
Steuerungsplattform	Siemens o. ä.	Siemens o. ä.	Siemens o. ä.	Siemens o. ä.
Redundante Steuerung	Optional	Optional	Optional	Optional

# Digitaler Spannungsregler

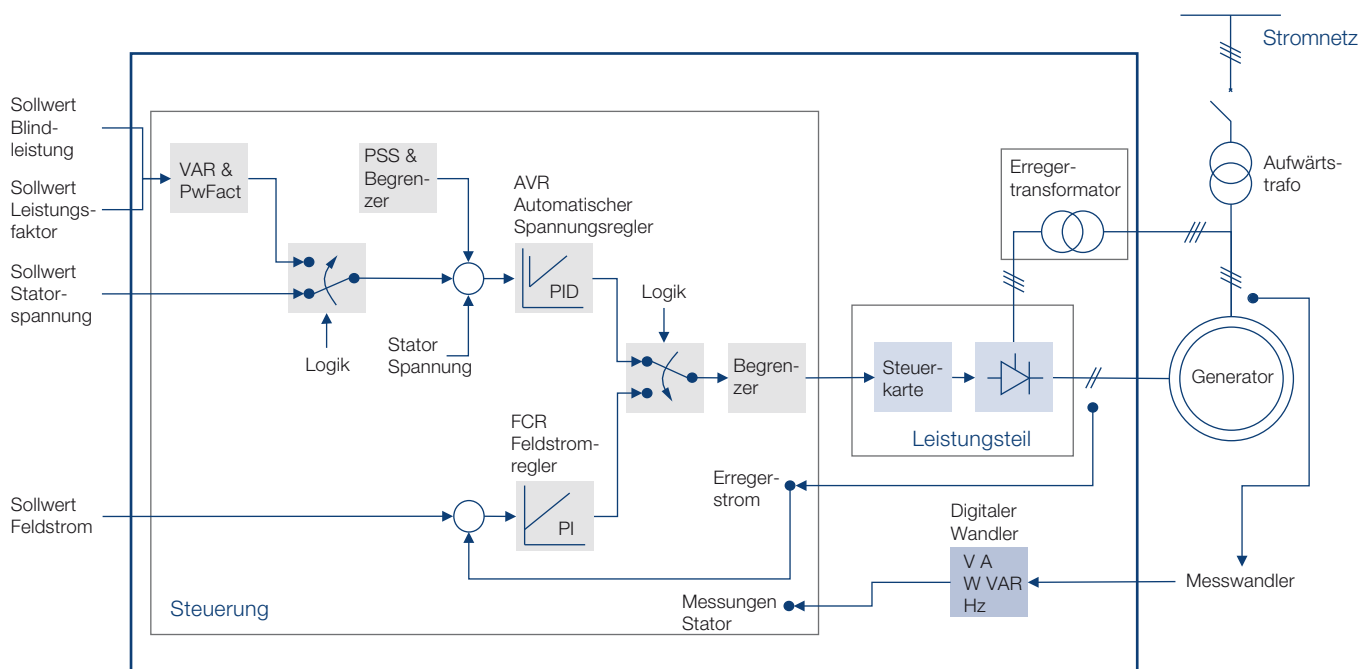
## Steuerungsfunktionen

Primäre Aufgabe des Spannungsreglers ist es, die Statorspannung des Generators konstant zu halten. Zudem dient er dazu, die Stabilität des Generators im stationären Zustand sowie bei transienten Störungen aufrechtzuerhalten. Der Spannungsregler deckt alle Steuerungsfunktionen ab, die für Erregersysteme benötigt werden. Mikroprozessorsteuerung ermöglicht präzise Steuerungsfunktionen, Digitaltechnik sorgt für nachhaltige zuverlässige Stabilität.

Das Thyristor-Erregersystem ist fit für die Zukunft: das hochflexible modulare Design macht Um- und Aufrüstungen und die Integration weiterer Komponenten einfach und unkompliziert. Die Programmlogik ist breitgefächert konfigurierbar und erlaubt die Anpassung an unterschiedliche Anwendungen und Kundenanforderungen. Außerdem kann das HyCon Thyristor Erregersystem ein bestehendes Erregersystem verbessern, modularisieren und modernisieren – ein echter Mehrwert für den Kunden!

## Erregersysteme HyCon Thyristor

Vereinfachtes Schema eines statischen Erregersystems am Synchron-Generator



### Digitale Messwertumformer

Die Messung von Statorspannung und -strom erfolgt durch schnelle A/D-Wandlung der einzelnen Phasenwerte mehrmals pro Periode. Der Echtzeit-RMS-Wert wird vom Messgerät berechnet.

### Automatischer Spannungsregler (AVR)

Der Spannungsregler mit PID-Charakteristik regelt die Statorspannung auf den gewünschten Sollwert. Ein spezieller Regelkreis von bürstenlosen, rotierenden Erregersystemen sorgt für optimales Ansprechverhalten.

### Feldstromregler (FCR)

Die Feldstromregelung erfüllt die Anforderungen einer manuellen Steuerung. Der Feldstromregler kann als Reservefunktion für den Spannungsregler genutzt werden, z.B. im Falle eines Fehlers bei den Statorspannungsmesskreisen.

### Blindleistungsregler (VAR)

Der Blindleistungsregler regelt die Statorblindleistung. Die Blindleistung wird durch einen langsam arbeitenden Dreipunktregler geregelt, der den Sollwert des Spannungsreglers anpasst. Dadurch bleiben die Vorteile des schnellen Spannungsreglers bei transienten Netzstörungen erhalten.

### Leistungsfaktorregelung (PF)

Die Leistungsfaktorregelung regelt den Leistungsfaktor am Stator. Der Leistungsfaktor wird durch einen langsam arbeitenden Dreipunktregler geregelt, der den Sollwert des Spannungsreglers anpasst. Dadurch bleiben die Vorteile des schnellen Spannungsreglers bei transienten Netzstörungen erhalten.

### Testmodi (FVR und FCS)

Das HyCon Thyricon Erregersystem verfügt über zwei Testmodi: Feldspannungsregler (FVR) und festes Steuersignal (FCS). Die Testmodi werden sowohl bei Werks-/Inbetriebnahmeprüfungen als auch im Rahmen der Wartung verwendet.

### Umschaltung zwischen den Regelungsarten

Das Umschalten zwischen den einzelnen Regelungsarten (Spannung, Feldstrom, Blindleistung und Leistungsfaktor) kann vom Bediener manuell vorgenommen werden oder wird bei bestimmten Fehlern automatisch durchgeführt. Der Übergang ist

fließend, sodass an den Generatorklemmen keine wahrnehmbaren Spannungssprünge auftreten („stoßfreier Übergang“).\*

\* interne Sollwertnachführung und stoßfreier Übergang zwischen den Regelungsarten.

Visible	Alarms	Warnings	Events	Timestamp	No.	Text	Status
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1/14/2019 5:46:28 PM.611	1	Alarms Reset, Messages Acknowledged	G
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1/14/2019 5:46:28 PM.127	1	Alarms Reset, Messages Acknowledged	C
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1/14/2019 5:46:23 PM.105	325	Limiters - Machine is in under-excitation	G
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1/14/2019 5:46:23 PM.126	321	Limiters - UEL is active	G
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1/14/2019 5:46:17 PM.725	321	Limiters - UEL is active	C
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1/14/2019 5:46:17 PM.725	325	Limiters - Machine is in under-excitation	C
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1/14/2019 5:45:57 PM.292	230	Sequence - Load state is active	C
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1/14/2019 5:45:57 PM.292	229	Sequence - No Load state is active	G
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1/14/2019 5:45:57 PM.215	83	GCB is closed	C
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1/14/2019 5:45:49 PM.492	37	Setpoint at min limit	G

Alarmer und Ereignisspeicherbildschirm lassen sich als Textdateien auf USB-Stick oder SD-Karte direkt vom Bedienfeld aus exportieren

### Zu den speziellen Betriebsarten zählen unter anderem:

- Elektrisches Bremsen
- Laden von langen Freileitungen
- Schwarzstart
- Anwurf mit zweiter Synchronmaschine (Back-to-Back Start)
- Anwurf mit statischem Frequenzumrichter
- Direktanwurf mit Dämpferkäfig
- Initiale Stoßerregung mit GS oder WS Hilfsspannung
- Natürliche oder forcierte Luftkühlung der Thyristorbrücken
- Redundante Thyristorbrücken und Steuerung
- Automatische Anpassung der Blindleistung nach der Synchronisierung auf parametrisierten Sollwert
- Automatische Blindleistungsreduzierung
- Netzspannungsnachführung
- Handhabung externer Sollwerte
- Auswahl der Regelungsarten, Thyristorbrücken und Regler mit interner Sollwertnachführung und stoßfreier Umschaltung

## Überwachung, Steuerung und Schutzfunktionen

Der Regler enthält alle notwendigen Logikfunktionen zur Steuerung und Überwachung der Erregereinrichtung bei Hochlauf, im Betrieb und bei Abschaltung des Generators. Die integrierten Generatorschutzfunktionen sind ebenfalls über die Erregersteuerung verfügbar und können als Reserveschutz für die Generator-Relaischutzfunktionen (V/Hz, Statorüberstrom/-überspannung, Erregerüberstrom/-überspannung, Feldstromverlust, usw.) eingesetzt werden.

## Überwachung der Generatorspannungsmessung

Das Messsignal für die Generatorspannung und die Versorgungsspannung der Gleichrichterbrücke können durch gegenseitigen Vergleich überwacht werden. Bei Unstimmigkeiten wird automatisch auf Feldstromregelung umgeschaltet.

## Störmeldesystem

Jeder einzelne interne und externe Alarm wird über das lokale Bedienfeld angezeigt. Wahlweise können Alarmer auch über LEDs, Relaiskontakte oder eine Fernwirkschnittstelle ausgegeben werden. Alarmmeldungen sind in „Ereignis“, „Warnung“ und „Störmeldung“ gegliedert. Diese Meldungsklassen helfen dem Betreiber, im Bedarfsfall sofort zu handeln und Wartungs- sowie Korrektur- oder Vorsorgemaßnahmen entsprechend zu planen.

## Selbstüberwachung und Diagnose

Die Selbstüberwachungsfunktionen der speicherprogrammierbaren Steuerung umfassen die Stromversorgung, den Prozessor, die Speicher, die E/A-Einheiten und die Kommunikation. Ein Teil der Überwachung kann zeitverzögert erfolgen. Dies ist notwendig, um eine ausreichende Spannungsregelung bei vorübergehenden Netzfehlern zu erreichen.

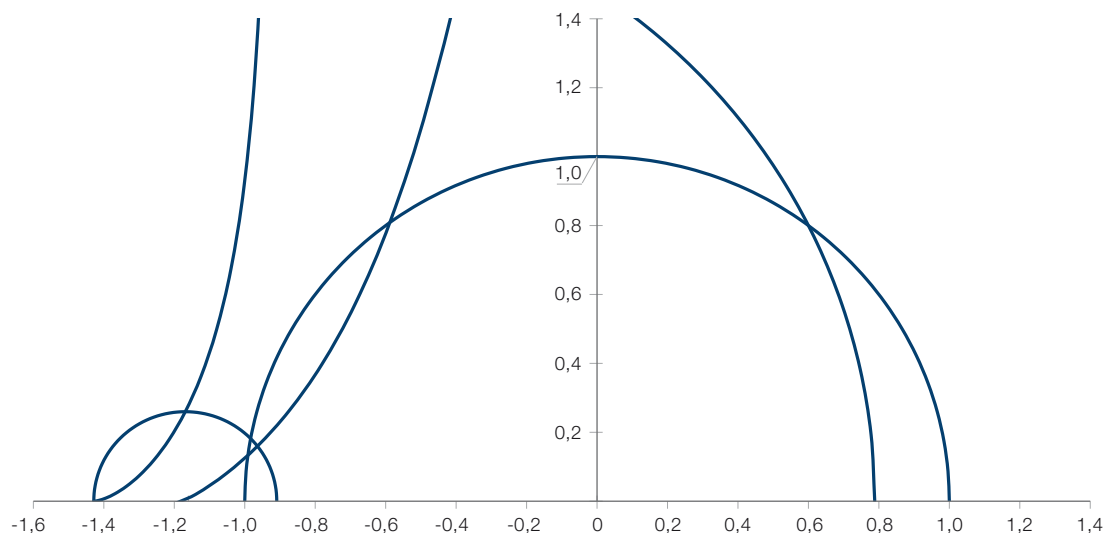
## Begrenzer und Regelungsfunktionen

Bei Spannungsänderungen im Netz stellt der Spannungsregler die Statorspannung wieder her, indem er den Feldstrom und damit auch die Blindleistung erhöht oder verringert. Je höher die Kurzschlussleistung des elektrischen Systems im Vergleich zur Generatorleistung ist, desto größer ist die Gefahr einer Überlastung des Generators. Die thermische Überlastung des Generators ist auf zu hohe Stator- oder Rotorströme zurückzuführen (zu hohe Blindleistung/Übererregung).

Die Begrenzer haben die Aufgabe, mittels Schutzfunktionen Ausfälle des Generators aufgrund thermischer Überlastung durch zu große Blindleistung (Übererregung) oder Instabilität bei Untererregung zu verhindern.

---

HyCon Thycon stellt sicher, dass der Generator innerhalb seiner zulässigen Leistungsgrenzen betrieben wird



### Reaktive und aktive Kompensation oder P-Grad

Zusätzlich zur AVR-Struktur gibt es noch P-Grad-Kompensation für Blindleistung und Wirkleistung. (P-Grad), P-Grad-Kompensationsleitung (LDC) und reaktive Differenzkompensation (RDC). Diese Funktionen kompensieren den durch Wirk- oder Blindleistung verursachten Spannungsabfall im Aufwärtstransformator und/oder in der Übertragungsleitung. Die P-Grad-Kompensation hilft auch bei der Blindleistungsanpassung von Synchronmaschinen, die ohne Zwischenschaltung eines Transformators parallel oder direkt an das Netz angeschlossen sind.

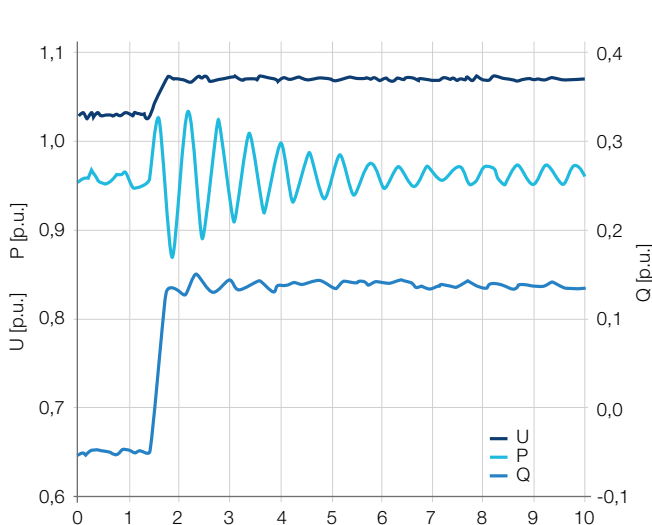
### Frequenzkompensation

Die Frequenzkompensation dient der Unterstützung schwacher Netze bei Übergängen. Die Generatorspannung wird synchron zur Abweichung der Frequenz verändert. Die durch die Spannungsänderungen an das schwache Netz abgegebene Wirkleistung trägt zur Schwingungsdämpfung bei.

### P-Grad-Kompensation (RDC)

Die P-Grad-Kompensation, auch Kreuzstromkompensation genannt, kompensiert den fallenden Spannungsverlauf und erzwingt eine Blindstromaufteilung zwischen synchron laufenden Maschinen, die auf eine gemeinsame Schiene speisen. Die RDC dient dazu, die Stabilität parallel laufender Stromerzeuger zu erhalten. Sie reduziert die Blindleistungsasymmetrie zwischen den Erzeugern und bietet auch Blindleistungsunterstützung im Falle eines Kurzschlusses. Die RDC kann für bis zu vier Maschinen verwendet werden, die parallel an den gleichen Aufwärtstransformator angeschlossen sind.

### Sprungantwort bei der Statorspannung, entsprechend Sprung bei Blindleistung Q und Schwingung bei Wirkleistung P



### Begrenzer Volt pro Hertz (V/Hz)

Der V/Hz-Begrenzer, auch Flussbegrenzer genannt, reduziert die Spannung bei Unterfrequenz. Zwei konfigurierbare Parameter, ein unverzögerter und ein zeitverzögerter, lassen sich einstellen, um den Stator sowie den Maschinentransformator gegen magnetische Sättigung zu schützen.

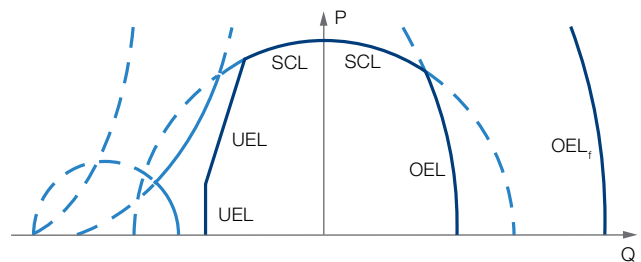
### Zeitverzögerter Übererregungsbegrenzer (OEL)

Der zeitverzögerte Übererregungsbegrenzer vermeidet in erster Linie eine thermische Überlastung der Rotorwicklung der Synchronmaschine. Der OEL verhindert auch eine Überhitzung der Gleichrichterbrücken im Erregersystem. Die zulässige Dauer für eine Erregerstromüberlastung ist umgekehrt proportional zur Höhe des Überlaststroms. Zur Koordination mit anderen Schutzfunktionen ist der zeitverzögerte Begrenzer entsprechend IEC 60255-3 und IEEE C37.112 implementiert. Der OEL ermöglicht die zeitverzögerte Überlast des Generators, was für die Stabilität des elektrischen Systems erforderlich ist.

### Unverzögerter Übererregungsbegrenzer (OELf)

Der unverzögerte Übererregungsbegrenzer hält den Erregerstrom unter einem vorgegebenen maximalen Grenzwert. Der unverzögerte Übererregungsbegrenzer wird hauptsächlich dazu verwendet, eine Überhitzung der Gleichrichterbrücken zu verhindern, die aufgrund ihrer kurzen thermischen Zeitkonstante leicht entstehen kann.

### Sicherer Betrieb von Erregersystem und Generator dank der Begrenzer des Systems HyCon Thyron



Die Regelkreise von AVR und FCR haben zwei unterschiedliche Parametersätze für NO LOAD und LOAD (insgesamt jeweils vier Sätze). Einige Begrenzer und Funktionen – wie OEL, OELf, SCL, UEL und PSS – verfügen über zwei Parametersätze, um eine perfekte adaptive Regelung entsprechend den Netzbedingungen und Kundenanforderungen zu ermöglichen.

### Untererregungsbegrenzer (UEL)

Der Untererregungsbegrenzer vermeidet Betriebsbedingungen, die zu Überhitzung oder zu Instabilität und Außertrittfall führen würden. Die Wirkung des UEL wird durch ermittelte Bereiche auf der Leistungskurve der Synchronmaschine bestimmt. Der Bereich für den Begrenzer wird in der Steuerung des HyCon Thyron parametrisiert und ist auf die Erregungsverlust-Funktion des Generatorschutzrelais abgestimmt. Die UEL-Kurve wird durch die Spannungsschwankung (linear oder quadratisch) dynamisch kompensiert und lässt sich mit bis zu sechs Punkten konfigurieren.

### Stator-Strombegrenzer (SCL)

Der Stator-Strombegrenzer verhindert eine Überhitzung des Stators durch einen Anstieg des Generatorstroms. Der SCL erkennt den Überstrom und vergleicht ihn mit dem Blindstrom, um zu bestimmen, wie der Spannungsregler arbeiten soll. Eine einstellbare reziprok abhängige Zeitkennlinie ermöglicht die Koordination mit dem PSS und erhöht somit die Netzstabilität. Der SCL ist besonders nach einer Erhöhung der maximalen Turbinenleistung nützlich, wenn keine entsprechende Erhöhung der Generatorleistung vorgenommen wurde.

### Rotortemperatur-Begrenzer (RTL)

Der Rotortemperatur-Begrenzer verhindert eine Überhitzung der Rotorwicklung. Der RTL erkennt eine Temperaturüberschreitung und wirkt auf den Feldstrom ein, um die Temperatur der Erregerwicklung zu senken.

### Netzspannungsnachführung

Die Netzspannung wird als Sollwert für den Spannungsregler bei der Synchronisation verwendet, was auch als Vorsynchronisation bezeichnet wird. Der Spannungsregler gleicht dann während der Synchronisationsphase die Statorspannung der Netzspannung an. Dadurch wird nicht nur die Synchronisationszeit verkürzt, sondern es werden auch transiente Vorgänge beim Schließen des Generatorschalters reduziert.

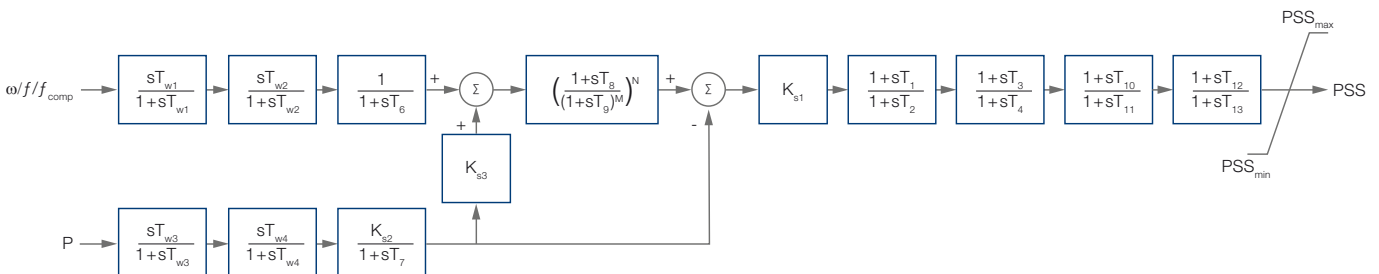
### Stabilisator für Leistungsschwabungen im Netz (PSS)

Das HyCon Thyron Erregersystem verfügt über zwei Eingänge zur Bildung des Integrals der Beschleunigungsleistung PSS2C und bietet den Mehrband-Netzstabilisator PSS4C. Vier separate Bänder – jeweils für sehr niedrige, niedrige, mittel- und hochfrequente Schwingungsmodi – können gleichzeitig durch PSS gedämpft werden. Die PSS-Modelle sind mit den in der Norm IEEE 421.5 beschriebenen Modellen kompatibel. Für beide PSS-Typen ist eine generatorseitig kompensierte Eingangsfrequenz verfügbar. Sie wird so berechnet, dass die interne Generatorspannung und die mechanische Schwingung der Generatorwelle korrekt nachgebildet werden, was die Wirksamkeit der PSS-Dämpfung verbessert.

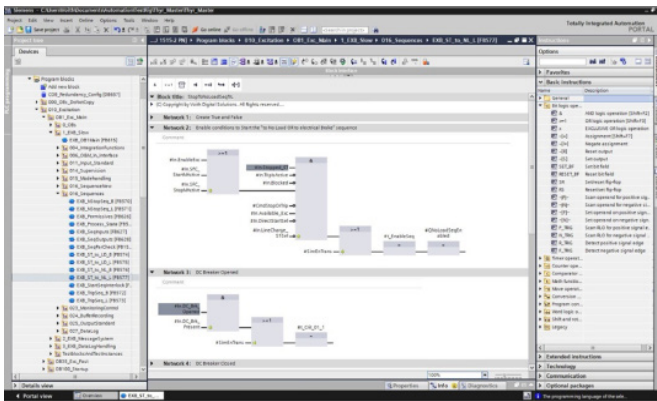
### Speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)

Die Hardwareplattform von HyCon Thyron ist als speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) ausgeführt. Für interne und externe Schnittstellen stehen digitale und analoge Ein-/Ausgabekarten sowie Kommunikationsmodule für die serielle Kommunikation zur Verfügung. Die Geräte werden normalerweise in einem Schaltschrank zusammen mit Netzgeräten, Messumformern und Schnittstellenrelais angeordnet.

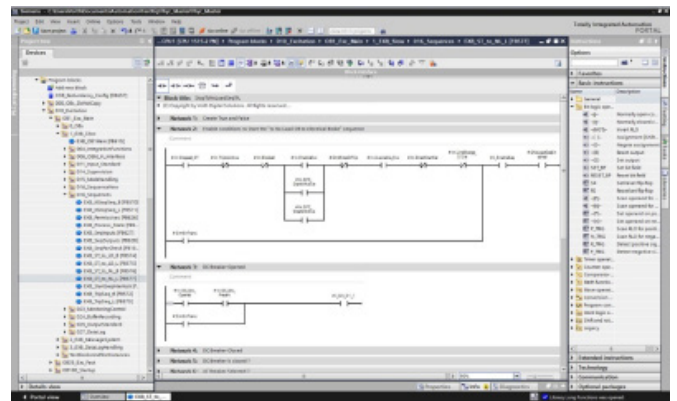
HyCon Thyron erhöht die Stabilität des elektrischen Systems durch die Verwendung des IEEE 421 Dual-Input Power System Stabilizer (PSS2C), der in der folgenden Abbildung dargestellt ist.







Benutzerfreundliche grafische Software. Zwischen den Programmiersprachen kann gewechselt werden – Funktionsbausteinsprache (FBS)



Benutzerfreundliche grafische Software. Zwischen den Programmiersprachen kann gewechselt werden – Kontaktplan (KOP)

### Anwendungssoftware

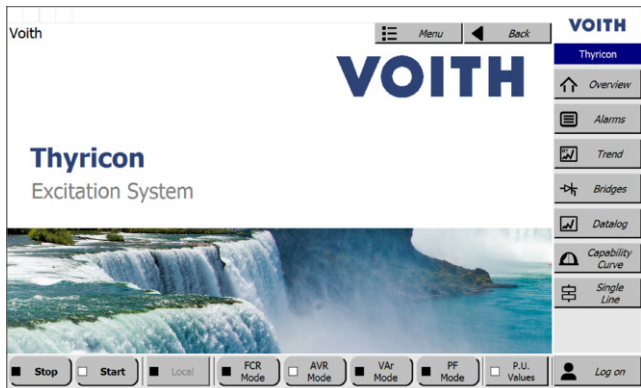
Die in den Spannungsregler integrierten Softwaremodule sind so strukturiert, dass eine sehr übersichtliche und detaillierte Ansicht der enthaltenen Module möglich ist. Alle Analogsignale werden im Per-Unit-System skaliert (1 pu = 100%).

Die Softwaremodule sind gemäß der Norm IEC 61131-3 aus Funktionsblöcken einer Bibliothek zusammengesetzt. Beispiele für Funktionsblöcke sind Und-Gatter und SR-Flip-Flops, arithmetische Blöcke, Steuer- und Filterblöcke, Zeitglieder und Oszillatoren.

Die Funktionsblöcke sind zur Erzielung der gewünschten Funktion im Programmmodul untereinander verbunden. Die Funktionsblöcke enthalten Parametereingänge zur Einstellung von Verstärkungen, Grenzwerten, Zeitverzögerungen usw. Die Software wird mit Programmierwerkzeugen programmiert, die objektorientierte Programmierung und vollständige Integration zwischen Steuerung und Bedienstation ermöglichen.

**Standardisierte, industrielle speicherprogrammierbare Steuerungen garantieren weltweiten Zugang zu Wartung und Ersatzteilen. Die im Bild dargestellte SPS Siemens S7-1500 dient als Anwendungsbeispiel; andere SPS-Systeme sind auf Anfrage erhältlich.**





Benutzerfreundliches Bedienfeld mit farbigem LCD-Touchscreen

### Kommunikationsprotokolle

Der Spannungsregler kann eigenständig arbeiten, und es lassen sich parallel über eine digitale und analoge Signal-schnittstelle sämtliche Arten von Steuer- und Fernbedienungsgeräten anschließen. Auch serielle Kommunikation über verschiedene Protokolle ist möglich. Das Erregersystem wird von der speicherprogrammierbaren Steuerung übernommen. Es werden nur wenige Ein- und Ausgangssignale benötigt.

### Bedienfeld oder Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI)

Das HyCon Thyricon Erregersystem ist mit einem lokalen Bedienfeld (HMI) ausgestattet, das in verschiedenen Größen erhältlich ist und normalerweise in einer der beiden Fronttüren eingebaut wird. Das Bedienfeld ist mit einem farbigen, berührungsempfindlichen Bildschirm ausgestattet. Unterschiedliche Benutzerebenen mit unterschiedlichen Passwörtern ermöglichen den Zugang zu den verschiedenen Funktionen des Bedienfelds.

HyCon Thyricon verfügt als Sicherheitsmaßnahme über ein integriertes Befehlsbestätigungssystem. Alle häufig verwendeten Befehle, die sich direkt auf den Zustand des Systems auswirken, unterliegen einer zweistufigen Bedienfolge.

---

### Typische Ein- und Ausgangssignale

- Erregung aus / ein
- Auswahl Betriebsmodus  
Spannungsregler / Blindleistungsregler / Leistungsfaktorregler
- Höher- / Tiefer-Signale zur SollwertEinstellung
- Signal für geschlossenen Generatorschalter
- Drehzahl > 90 %
- Begrenzer in Betrieb
- Erregung „startbereit“
- Sammelsignal „Warning“
- Sammelsignal „Trip Request“

---

**Das Risiko einer Fehlbedienung wird durch ein zweistufiges Befehlsbestätigungssystem im Bedienfeld reduziert.**

---

### Benutzerfreundliche Bedienoberfläche

Das benutzerfreundliche lokale Bedienfeld des HyCon Thyricon informiert über den allgemeinen Zustand des Erregersystems und die Generator-Messdaten. Die aktive Steuerungs- und Betriebsart sowie der aktuelle Zustand der Anlage ist in den entsprechenden Ausgabefeldern ersichtlich.

### Befehle lassen sich lokal oder von fern verriegeln

Das HyCon Thyricon Erregersystem lässt sich sowohl aus der Ferne vom Kontrollraum als auch über das lokale Bedienfeld bedienen. Die Sollwerte der Regelungsarten lassen sich bei Bedarf lokal verändern. Lokal gegebene Befehle und Befehle von fern sind sicher gegeneinander verriegelt, sodass Wartungspersonal bei Inspektionen und Service vor gefährlichen Auswirkungen von Fernzugriffen geschützt ist.

### Simulation

Das HyCon Thyricon Erregungssystem integriert leistungsfähige Inbetriebnahme-, Test- und Wartungswerkzeuge in das lokale Bedienfeld. Die Überwachung der digitalen und analogen Eingänge und Alarmer ist für alle Anwender zugänglich. Das gezielte Ansteuern von Eingängen, Ausgängen und Alarmen erfolgt passwortgeschützt. Für die Simulation geschlossener Regelkreise und für dynamische Tests steht ein vereinfachtes, in der Steuerung implementiertes Generatormodell zur Verfügung.

### Blockschaltbild und Parameteränderung

Die Parameter des HyCon Thyricon Erregersystems sind über das Bedienfeld zugänglich und können ohne Unterbrechung des Systembetriebs online geändert werden. Die Parameter sind in selbsterklärenden Gruppen organisiert. Versehentliche Änderungen werden durch Minimal- und Maximalgrenzen, Befehlsbestätigung und/oder Passwortschutz vermieden. Die Parameterliste mit aktuellen Werten kann direkt vom lokalen Bedienfeld aus als Textdatei auf USB-Speicher oder SSD-Karte exportiert werden.

### Datenlogging

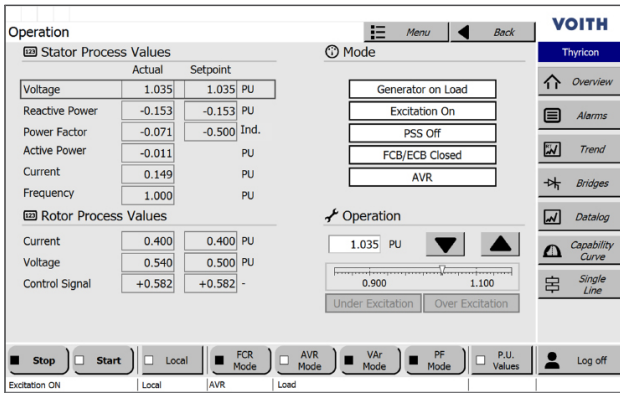
Das lokale Bedienfeld des HyCon Thyricon Erregersystems verfügt über ein leistungsfähiges Datenaufzeichnungswerkzeug. Die Anzahl der Messwerte, die Abtastrate und die Anzahl der zu protokollierenden Analogwerte sind konfigurierbar. Als Auslöser für die Datenaufzeichnung können verschiedene Ereignisse und Analogwerte ausgewählt werden.

Die Konfiguration für die Datenaufzeichnung wird über das lokale Bedienfeld durchgeführt, die eigentlichen Daten werden jedoch in der SPS gespeichert. Auf diese Weise gehen auch bei Stromausfällen die letzten gespeicherten Datentrends nicht verloren. Die Datenaufzeichnung kann so eingestellt werden, dass die Ereignisse der letzten Notabschaltung dauerhaft gespeichert werden. Die gespeicherten Daten können im Bedienfeld eingesehen werden.

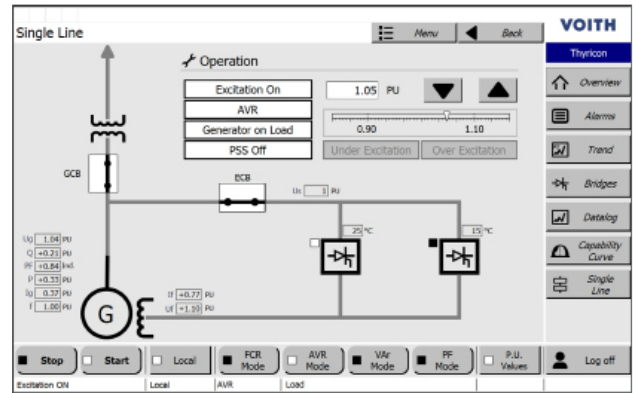
Dank der Möglichkeiten zur Parameteränderung und Datenerfassung kann die Inbetriebnahme des HyCon Thyricon Erregersystems ohne externe Programme und Hilfsmittel erfolgen. Die erfassten analogen und digitalen Werte können direkt vom Bediengerät aus als Textdatei auf USB-Speicher oder SSD-Karte exportiert werden. Die Anzahl der in der SPS gespeicherten Datenprotokolle ist begrenzt. Ein PC-basiertes Software-Werkzeug ist auf Anfrage erhältlich, um die Datenprotokolle abzurufen, zu analysieren, Berichte zu erstellen und zu speichern.

### Spezielle Test-Tools

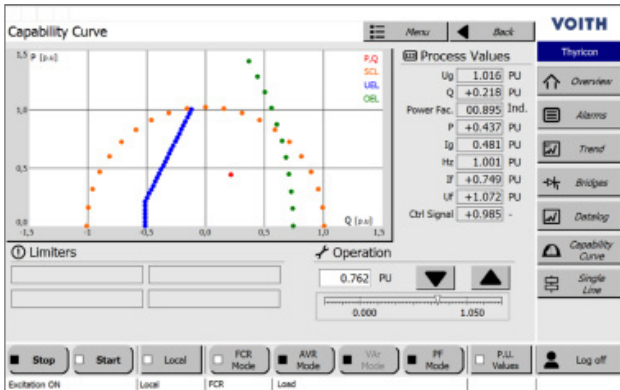
HyCon Thyricon enthält ein Wartungsprogramm zur Prüfung von Frequenzgang, Sprungantwort und Pseudorandom-Binärsequenzen (PRBS). Alle diese Hilfsprogramme und -werkzeuge sind über das lokale Bedienfeld verfügbar.



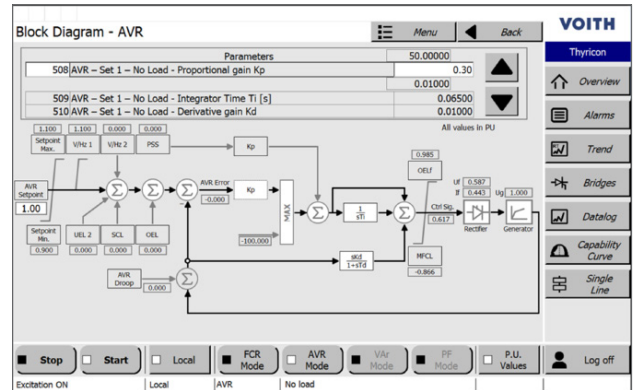
Benutzerfreundlicher Hauptbildschirm für Bedienung und Wartung



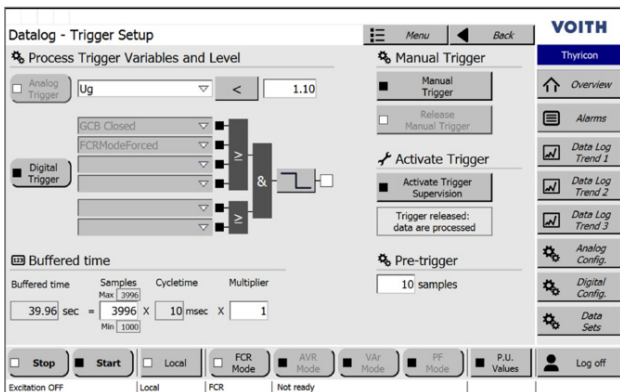
Klares aussagekräftiges einzeliges Bedienbild mit Erregereinrichtung



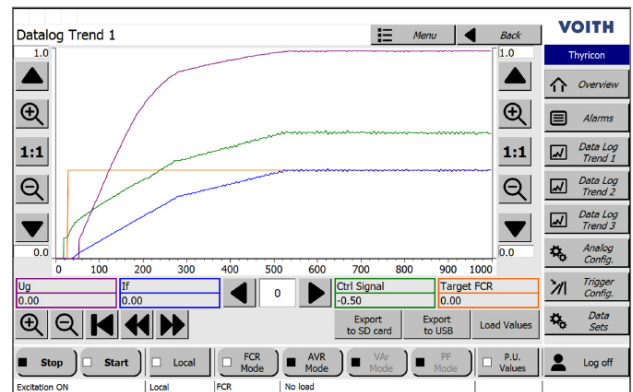
Dynamische Leistungskurve mit Anzeige des Betriebspunktes und HyCon Thyricon-Begrenzern



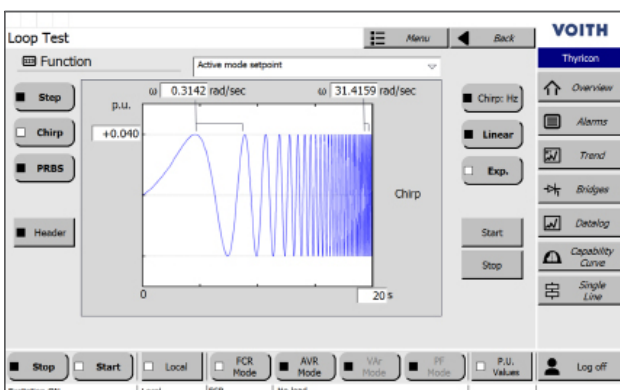
Bildschirm für Transfer-Funktionen mit realer und iterativer Darstellung der Spannungsregler-Schleife, Zugriff auf alle Parameter und die Möglichkeit der Parameteränderung über das Bedienfeld



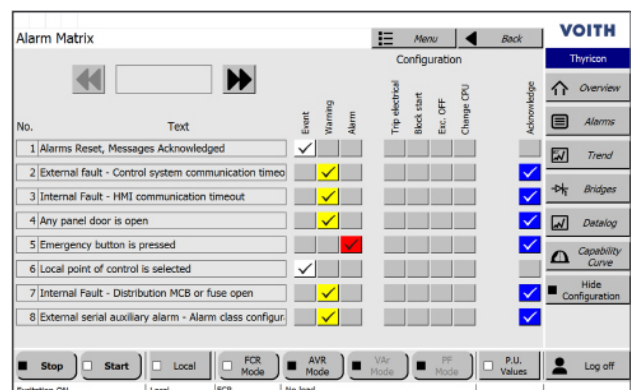
Hochflexibler Datenspeicher lässt sich so konfigurieren, dass er das Maschinen- und Erregungsverhalten bei jeder Bedingung, wie z.B. bei Schnellabschaltung oder transienten elektrischen Störgrößen, aufzeichnet



Integrierte Datenerfassung und Abrufen von Echtzeit-Trends über das Bedienfeld ermöglichen Testen des Systems ohne externe Datenspeicher oder Computer



Wellenformgenerator: In das lokale Bedienfeld integrierte Hilfswerkzeuge für Frequenzgang-, Sprungantwort- und PRBS-Analysen



Konfigurierbare Alarmmatrix, verfügbar über das Bedienfeld

# Statisches Erregersystem

Statische Erreger werden für Synchrongeneratoren in allen Arten von Stromerzeugungsanlagen eingesetzt: Wasser-, Wärme-, Gas-, Diesel- und Windkraftanlagen sowie für rotierende Phasenschiebermaschinen und Synchronmotoren.

Die Vorteile lassen sich in folgende Hauptpunkte zusammenfassen:

- Überlegene dynamische Steuerungseigenschaften
- Geringe Verluste
- Bei gegebener Erregerleistung ist die Größe unabhängig von der Drehzahl der Maschine

## Stromkreis

Die Hauptstromkreise des statischen Erregersystems bestehen aus:

- Erregertransformator
- Thyristor-Gleichrichterbrücke
- Geräte zur Entregung
- Geräte für Aufregung

Die Erregungsleistung entstammt in der Regel den Generatorklemmen im Nebenschluss und wird über die Gleichrichterbrücke in die Rotorwicklung der Synchronmaschine geleitet. Die für den Spannungsaufbau beim Start notwendige Energie wird über die Geräte für die Aufregung zugeführt.

Die Erregungsleistung kann auch aus einer lokalen Versorgung als fremdgespeiste Erregung oder einem geeigneten Punkt außerhalb des Maschinen-Leistungsschalters entstammen. Da die Anschlussstelle unabhängig von der eigenen Statorspannung unter Spannung steht, ist kein Gerät zur Aufregung erforderlich. Während der Entregung wird der Feldschalter geöffnet und das Feld der Maschine spannungsfrei geschaltet.

---

**Eine hohe Deckenspannungskapazität und ein weiter Betriebsspannungsbereich der Steuerkarte garantieren, dass das HyCon Thyricon auch bei starken Spannungseinbrüchen im elektrischen System weiter arbeitet.**

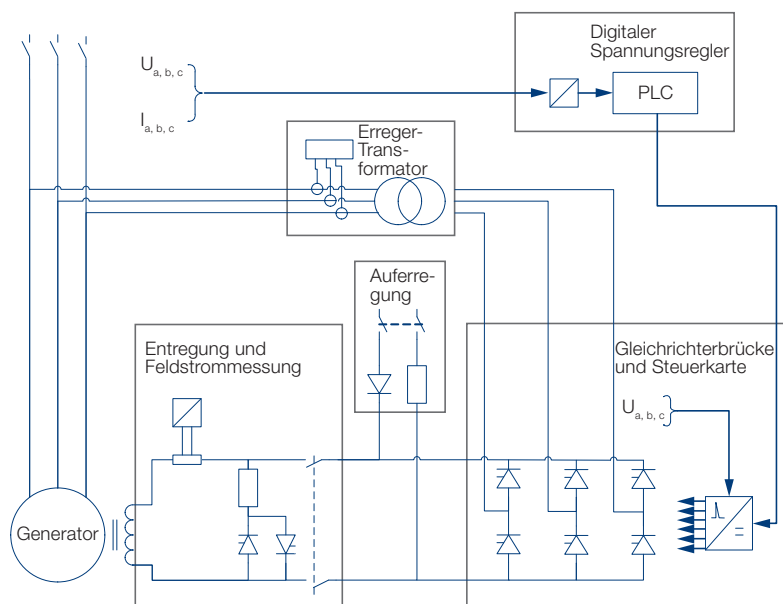
---

## Erregertransformator

Der Erregertransformator hat die Aufgabe, die Erregerspannungsvorsorgung an die Statorklemmenspannung anzupassen und die Erregerwicklung von der Statorwicklung zu isolieren. Die Transformatoren werden von unseren Experten so dimensioniert, dass sie den anspruchsvollsten Anforderungen der Kunden weltweit gerecht werden und den regionalen und globalen Standards entsprechen.

---

**Bei den meisten statischen Erregersystemen wird die Gleichrichterbrücke vom Generator im Nebenschluss selbst gespeist.**



## Thyristor-Gleichrichterbrücke

Der Umrichter, eine vollgesteuerte Brücke, besteht aus einem Thyristorsatz, einer Steuerkarte und den notwendigen Einrichtungen zur Überwachung und Kühlung. Jeder Thyristorsatz ist als dreiphasige, sechsspulige Gleichrichterbrücke geschaltet. Durch diese Verschaltung kann der Umrichter sowohl als Gleichrichter als auch als Wechselrichter betrieben werden.

Die Thyristoren sind in jedem Zweig oder jeder Phase mit einer flinken Sicherung gegen Kurzschluss geschützt. Der Schutz gegen transiente Spannungsspitzen wird durch RC-Beschaltungen (snubbers) erreicht. Zur effizienten Kühlung sind die Thyristoren in Kühlkörper eingepresst, die von der Umgebungsluft durchströmt werden (AN). Anspruchsvollere Systeme für höhere Leistungen werden mit einem geschlossenen Kühlsystem mit Ventilatoren ausgestattet. Der Thyristor-Umrichter wird vom digitalen Spannungsregler über die Steuerkarte geregelt. Diese Karte wandelt das Ausgangssignal des Reglers – mit korrekter Phasenverschiebung gegenüber der Versorgungsspannung – in Zündimpulse für die Thyristoren um.

Die Versorgungsspannung wird durch die erforderliche Deckenspannung des Thyristor-Umrichters bestimmt und im Einzelfall an die Maschinendaten angepasst. Die Deckenspannung ist entscheidend für das Einschwingverhalten der Generatorspannung und damit für den Beitrag des Generators zur Spannungsstabilität im Netz bei Störungen. Die Deckenspannung kann auf die Anforderungen von Kunde und Netzbetreiber zugeschnitten werden. Der Thyristor-Umrichter ist für den Dauererregestrom ausgelegt, der für die maximale Langzeitbelastung der Maschine notwendig ist.

Die Gleichrichterbrücke muss auch in der Lage sein, den bei Deckenspannung eingeprägten Erregerstrom wie oben beschrieben zu führen. Die normale Deckenerregungszeit beträgt 5 bis 60 Sekunden, abhängig von den spezifischen Anforderungen. Um eine höhere Zuverlässigkeit zu erreichen, können die Erregereinrichtungen über redundante Thyristorbrücken versorgt werden. Die Redundanz erfolgt entweder als 1 + 1 System mit einer Brücke in Betrieb und der zweiten in Hot Stand-by oder als N + 1 System, von dem eine Brücke abgekoppelt werden kann. Bei einem 1 + 1 System ist jede Brücke für die Nennlast ausgelegt. Bei einem N + 1-System sind die Brücken für die Nennlast bei einer außer Betrieb befindlichen Brücke ausgelegt.

## Auferregung

Wenn die Erregereinrichtung vom Generator im Nebenschluss versorgt wird, ist es notwendig, die Erregerwicklung der Maschine einige Sekunden lang mit geringem Hilfsstrom zu versorgen, um den Spannungsaufbau einzuleiten. Die spezielle Schaltung für die Auferregung speist Strom in die Rotorwicklung ein, bis die Spannung des Generators durch den Erregertransformator zur Versorgung des Umrichters ausreicht.

HyCon Thyriston benötigt nur einen außergewöhnlich niedrigen Erregerstrom während der Auferregung, wodurch die Batteriesysteme entlastet werden. Dies ist auf die Steuerkarte des HyCon Thyriston zurückzuführen, die über einen breiten Ansteuerbereich verfügt. Die Auferregungsspannung wird normalerweise von der Stationsbatterie bereitgestellt. Eine weitere Lösung ist die Bereitstellung der Auferregungsspannung aus dem Wechselstromnetz der Station über einen Hilfstransformator und eine Diodenbrücke.

---

## Beispiele für ein statisches Erregersystem vom Typ HyCon Thyriston



## Entregung

Es müssen besondere Maßnahmen getroffen werden, um den Gleichstrom zu unterbrechen und die in der Rotorwicklung der Maschine gespeicherte Energie zu entladen. Sonst treten sehr hohe Spannungen auf, die sowohl die Erregereinrichtung als auch die Rotorwicklung beschädigen können. Tritt ein elektrischer Fehler am Generator auf, ist es ebenfalls sehr wichtig, den Generator so schnell wie möglich zu entregen.

Es werden zwei verschiedene Methoden angeboten:

- Die Entregung erfolgt durch einen (wechselstrom- oder gleichstromseitig) am Umrichter geschalteten Erregungsschutzschalter und einen parallel zur Erregewicklung in Reihe mit dem Entregungswiderstand auf der Gleichstromseite geschalteten Entregungsthyristor.
- Die Entregung erfolgt durch einen Gleichstromfeldschalter in MBB-Ausführung („make before break“). Der Trennschalter schaltet über den MBB-Kontakt den Entregungswiderstand parallel zur Rotorwicklung bevor der Gleichrichter von der Rotorwicklung getrennt wird.

Der Entregungswiderstand kann sowohl in linearer als auch in nichtlinearer Ausführung geliefert werden. Der nichtlineare Typ ist spannungsabhängig und entregt das letzte Drittel der Feldenergie schneller als ein linearer Widerstand. Die Entregung bei einer normalen Abschaltung der Maschine wird durch Umkehrung der Feldspannung erreicht. Der Erregungsschalter wird geöffnet, wenn der Feldstrom null ist, wodurch der Verschleiß der Schalterpole reduziert wird.

## Rotor-Überspannungsschutz

Der Rotor-Überspannungsschutz (crowbar) soll verhindern, dass bei bestimmten ungünstigen transienten Fehlerzuständen (z.B. bei falscher Synchronisierung oder Außertrittfall) zu hohe Spannungen im Rotorstromkreis entstehen. Der Überspannungsschutz ist in die Entregungseinrichtung integriert. Sie besteht aus zwei antiparallel in Reihe mit dem Entladewiderstand geschalteten Thyristoren und einer Überspannungserkennung (BOD). Die BOD löst den Thyristor aus, wenn die Spannung in beiden Richtungen über der Erregewicklung den mit der Auslöseeinheit gewählten Schutzpegel überschreitet und schließt die Rotorwicklung über den Entladewiderstand kurz. Die BOD ist ein unabhängiges Gerät, das keine Stromversorgung benötigt und binnen Mikrosekunden reagiert.

## Schutz

Zusätzlich zu dem oben beschriebenen Schutz für verschiedene Teile des Hauptstromkreises sind spezielle Geräte, eingebaute Funktionen oder eigenständige elektrische Schutzrelais verfügbar:

- Erregertransformator Überstrom / Kurzschluss
- Erregertransformator Übertemperatur
- Rotor-Erdschluss
- Erregerüberstrom

---

## Beispiel für ein bürstenloses Erregersystem vom Typ HyCon Thyricon



---

Die Betriebsspannung der Steuerkarte lässt sich in einem weitem Bereich variieren. Dadurch kann der HyCon Thyricon allein mit der remanenten Spannung anfahren. Trotzdem wird ein Auferregungssystem benötigt, da die remanente Spannung nach längerer Zeit ohne Betrieb bei Null sein kann.

---

# Bürstenloses Erregersystem

Bei manchen Stromerzeugern besteht das Erregersystem aus einer rotierenden elektrischen Maschine. Auch für diese Anwendung hat Voith mit der VBE-Serie Produkte im Portfolio, um die Kundenanforderungen abzudecken. Der Hauptvorteil dieser Lösung im Vergleich zu rotierenden Gleichstromerregemaschinen und kleinen statischen Erregern besteht darin, dass Probleme im Zusammenhang mit Kommutator oder Bürsten vollständig eliminiert werden können. Im bürstenlosen System entfallen die Schleifringe und damit alle stromführenden Bürsten, was die Entstehung von Kohlestaub verhindert. Auch der Platzbedarf wird reduziert. Da alle Leistungsteile mit dem Generator rotieren, ist nur ein kleiner Spannungsregler erforderlich. Das bürstenlose Erregersystem kann für jeden Synchrongenerator oder -motor mit rotierender Erregemaschine und rotierenden Gleichrichtern verwendet werden.

## Hauptkomponenten

Die Hauptstromkreise des bürstenlosen Erregersystems bestehen aus:

- Stromversorgung
- Rotierender Diodengleichrichter
- Digitaler Spannungsregler mit kleinem Gleichrichtermodul
- Rotierender bürstenloser Erreger

Die Hilferregerleistung entstammt in der Regel einem PMG (Pilot-Permanentmagnet-Wechselstromerregter) und wird über die geregelte Umrichtereinrichtung in die Erregerwicklung der Haupterregemaschine geleitet.

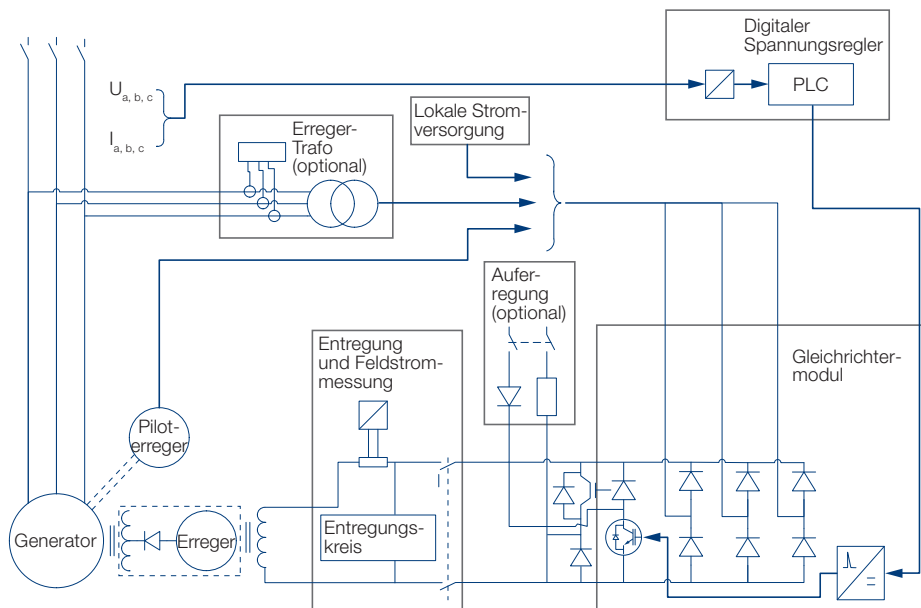
Die Erregungsversorgung kann auch über einen geeigneten Transformator zur Entkopplung und Spannungsanpassung aus dem örtlichen Netz oder den Generator клемmen am Stator abgezweigt werden. Bei Speisung über den Generator-Stator muss die Hilfsenergie für den Spannungsaufbau beim Start über eine Auferregungseinrichtung zugeführt werden. Der gesteuerte Gleichrichter versorgt die Erregerwicklung der Haupterregemaschine mit ausreichender Erregerleistung. Der rotierende Diodengleichrichter erlaubt es nicht, dass die Haupterregemaschine das Generatorfeld mit negativer Spannung oder Strom versorgt. Bei der Entregung wird der Erregerfeldschalter der Haupterregemaschine geöffnet und das Erregerfeld durch den Entladestromkreis entregt. Die Erregerwicklung des Synchrongenerators wird dann über den auf der Generatorwelle montierten Diodengleichrichter stromlos gemacht. Der AVR besteht aus einer Steuerung mit einem kleinen Leistungswandler, der auf einem Ein- oder Zweiquadranten-Gleichstromsteller basiert.

## Schutz

Üblicherweise verfügbare Schutz- und Überwachungsgeräte:

- Erkennung von Diodenfehlern im rotierenden Gleichrichter der Haupterregemaschine
- Erregerüberstrom-Schutz im Erregerkreis der Haupterregemaschine
- Erdschlussschutz; anzuschließen an einen Hilfsschleifring im Hauptgeneratorfeld
- Ausfall des Spannungswandlers für den Spannungsregler

## Schema des bürstenlosen Erregersystems HyCon von Voith





# Dokumentation und Qualitätssicherung

Das Erregersystem wird in einer Anleitung und in Zeichnungen beschrieben. Zusätzliche Dokumente können je nach Projektanforderungen geliefert werden.

- Betriebs- und Wartungshandbuch mit
  - technischen Daten
  - Geräteklassen
  - funktioneller Beschreibung
  - Bedienungsanleitung
  - Anleitung zur Fehlerbehebung
- Aufbauplan
- Schaltbild
- Testberichte

Die Spezifikation, Konstruktion, Fertigung, Prüfung und Inbetriebnahme des Spannungsreglers sowie des kompletten Erregungssystems erfolgt unter hohen Qualitätsstandards und Anforderungen. Jedes System wird vor der Auslieferung einem Test- und Prüfverfahren unterzogen. Die Verifizierung umfasst jede Einheit nach einem vordefinierten Prüf- und Testplan.

Das HyCon Thyricon Erregersystem wurde von unabhängigen auf die Steuerung von Stromnetzen spezialisierten Drittfirmen evaluiert. Es wurde durch Hardware-in-the-Loop-Simulation eingehend getestet und bewertet. Die Ergebnisse wurden mit mathematischen Modellen aus einem unabhängigen Simulationsstool verglichen. HyCon Thyricon erfüllt oder übertrifft die strengsten Anforderungen an schnell ansprechende Erregersysteme, sowohl für rotierende als auch für statische Anwendungen. Die implementierten Regelkreise können vollständig mit vordefinierten Modellen nach IEEE 421 modelliert werden.

# Technische Daten

Allgemeine Daten für Steuer- und Regelkreise. Bezüglich der Daten für den Hauptkreis siehe die für das Projekt verfügbare Spezifikation.

## Technische Daten

<b>Hilfs- / Elektronik-Versorgungsspannung</b>	Gleichstrom	24 V oder 48 – 250 V GS
	Wechselstrom	110 – 240 V WS
<b>Messkreise</b>	Spannung 1, 2 oder 3 Phasen	Max. 500 V
	Strom, 1, 2 oder 3 Phasen	Max. 100 A pro 1 s
	Frequenz	50 / 60 Hz
	Bürde	< 0.1 VA / Phase
<b>Regelgenauigkeit</b>	–	+/- 0.1 %
<b>Umgebungstemperatur</b>	Lagerung	-40 – +70 °C
	Betrieb	0 – +50 °C
<b>Schutzgrad</b>	Bei natürlicher Kühlung (AN)	Max. IP32
	Bei Luft-Zwangskühlung (AF)	Max. IP43
	bei Luft-Zwangskühlung mit Wasser-Rückkühlung (AF / WF)	Max. IP54
<b>Umgebungsbedingungen</b>	Nicht kondensierend	95 % (Schaltschrankheizungen werden nach Bedarf hinzugefügt, um diese Bedingung zu erreichen)
	Frei von Nagetieren und Termiten	–
	Bis zu 1 000 m. ü. NN	Größere Höhen auf Anfrage
<b>Eingang Leistungsteil</b>	Spannungsbereich	5 – 2 000 V
	Frequenz	5 – 500 Hz
<b>Anwendbare Normen</b>	IEEE Std. 421.1-2007	Kriterien und Definitionen
	IEEE Std. 421.2-2014	Leitfaden zur Bestimmung der dynamischen Leistung
	IEEE Std. 421.3-2016	Norm für die Anforderungen der Hochspannungsprüfung für die Erregung
	IEEE Std. 421.4-2014	Leitfaden für die Erstellung der Spezifikation des Erregersystems
	IEEE Std. 421.5-2016	Erregersystemmodelle für PSS-Studien
	IEC 60034-16-1 (2011)	Erregersysteme für Synchronmaschinen

# Referenzen der letzten Jahre

- |   |  |
|---|--|
| <b>2013</b> Lanforsen, Schweden<br>4 x 14 MVA, HyCon Thyricon 400                   | <b>2017</b> Yacyreta, Argentinien<br>2 x 172.5 MVA, HyCon Thyricon 600 |
| <b>2013</b> Agua Vermelha, Brasilien<br>5 x 250 MVA, HyCon Thyricon 500             | <b>2017</b> Coo, Belgien<br>6 x 230 MVA, HyCon Thyricon 600            |
| <b>2014</b> Ingula, Südafrika<br>4 x 373 MVA, HyCon Thyricon 600                    | <b>2018</b> LTK, Thailand<br>2 x 282 MVA, HyCon Thyricon 500           |
| <b>2014</b> Beyhan I, Turkey<br>3 x 235 + 1 x 38 MVA, HyCon Thyricon 600            | <b>2018</b> Tarbela 4, Pakistan<br>3 x 522 MVA, HyCon Thyricon 600     |
| <b>2015</b> Red Rock, USA<br>3 x 27 MVA, HyCon Thyricon 400                         | <b>2019</b> Tucuruí, Brazil<br>11 x 390 MVA, HyCon Thyricon 600        |
| <b>2015</b> Teles Pires, Brasilien<br>3 x 404 MVA, HyCon Thyricon 600               | <b>2019</b> Tatev, Armenia<br>3 x 67 MVA, HyCon Thyricon 600           |
| <b>2016</b> Stornorrfors, Schweden<br>3 x 155 MVA + 1 x 206 MVA, HyCon Thyricon 300 | <b>2020</b> Brekke, Norway<br>2 x 4.5 MVA, HyCon Thyricon 400          |
| <b>2016</b> Paute Molino, Ecuador<br>5 x 111 MVA, HyCon Thyricon 500                | <b>2020</b> Kirchbichl, Austria<br>1 x 20 MVA, HyCon Thyricon 300      |

- 1 Red Rock, USA
- 2 Tarbela, Pakistan



Voith Group  
Voith Hydro Holding GmbH & Co. KG  
Alexanderstr. 11  
89522 Heidenheim, Deutschland

Kontakt:  
Tel. +49 7321 37-9990  
[digital-hydro@voith.com](mailto:digital-hydro@voith.com)  
[www.voith.com/digitalhydro](http://www.voith.com/digitalhydro)



**VOITH**