

Zeitschrift: bulletin.ch / Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse
Band: 101 (2010)
Heft: 5

Artikel: AC-Erregung mit ANPC-Stromrichtertechnologie
Autor: Hämmerli, Andreas / Ødegård, Bjørn
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-856077>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 02.04.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

AC-Erregung mit ANPC-Stromrichter-technologie

Einsatz von ANPC-Stromrichtern für Pumpspeicherwerke

Modulare Stromrichtersysteme auf der Basis der ANPC-Technologie (Active Neutral Point Clamped) ermöglichen in Verbindung mit einer neuen Generation von IGCT-Leistungshalbleitern eine deutliche Steigerung der Ausgangsleistung im Vergleich zu bisherigen Einheiten. Ausserdem wird eine hervorragende Gleichstromfähigkeit erreicht, die zusätzliche Vorteile bietet, wenn Gleichstrom oder niederfrequenter Wechselstrom benötigt wird. Letzteres ist bei AC-Erregungssystemen von Varspeed-Antrieben der Fall, die zunehmend in modernen Pumpspeicherkraftwerken eingesetzt werden.

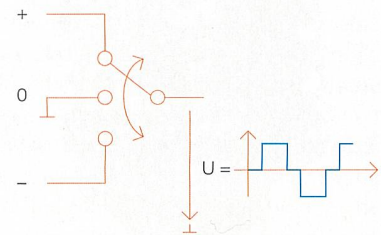


Bild 1 Prinzip eines 3-Punkt-Stromrichters mit Spannungszwischenkreis.

Andreas Hämmerli, Bjørn Ødegård

Seit etwa 10 Jahren werden IGCT-Leistungshalbleiter (Integrated Gate-Commutated Thyristor) verbreitet in Mittelspannungs-Hochleistungsanwendungen in der Industrie und der Energieversorgung eingesetzt. Bei den meisten dieser Anwendungen dient der IGCT als Hauptschalter in einem 3-Punkt-Stromrichter mit Spannungszwischenkreis. Wie der Name sagt, wird die Ausgangsspannung des Stromrichters durch die jeweils richtige Kombination von 3 Spannungsstufen gebildet (**Bild 1**).

Diese Art von Stromrichter wird bevorzugt für Anwendungen mit hohen Leistungen eingesetzt, da sich eine hohe Ausgangsspannung ohne direkte Reihenschaltung von Halbleiterelementen erzielen lässt und der Ausgangsstrom eine relativ geringe Welligkeit im Vergleich zu einem 2-Punkt-Stromrichter aufweist.

Der 3-Punkt-Stromrichter wird auch als NPC-Stromrichter (von engl. «Neutral Point Clamped») bezeichnet. Diese Bezeichnung stammt von den beiden Dioden in Antiparallelschaltung, mit denen die Ausgangsspannung an den Nullpunkt des Gleichstromkreises «geklemmt» wird, wenn ein Nullzustand gefordert ist. Je nach Richtung des Ausgangsstroms fliesst der Nullpunktstrom in **Bild 2** durch den oberen oder unteren Pfad.

ANPC-Stromrichtertechnologie

Durch das Hinzufügen zweier Schalter in der Nullpunktverbindung ergibt sich eine interessante Alternative zum 3-Punkt-NPC-Stromrichter (**Bild 3**). Mit einer geeigneten Schaltstrategie für die zusätzlichen Nullpunktschalter S5 und S6 kann der Ausgang «aktiv» an den Nullpunkt des Gleichstromkreises geklemmt werden. Daher wird diese neue Stromrichtertechnologie auch als ANPC (Active Neutral Point Clamped) bezeichnet.

Die durch die zusätzlichen Schalter S5 und S6 gewonnene Flexibilität ermöglicht eine günstige Verteilung der Leit- und Schaltverluste innerhalb des Stromrichters. 2 der daraus resultierenden Hauptvorteile sollen im Folgenden näher beschrieben werden.

Verteilung des Stroms zwischen den Nullpunktpfaden

Die Strompfade am Nullpunkt des NPC-Stromrichters sind unidirektional (**Bild 2**). Die Richtung des Laststroms bestimmt den Pfad, durch welchen der Strom fliesst. Bei einem ANPC-Stromrichter kann nach Bedarf der obere oder untere Pfad gewählt werden (**Bild 3**).

Auch im Gleichstrombetrieb kann der Strom gleichmässig zwischen dem oberen und unteren Pfad aufgeteilt wer-

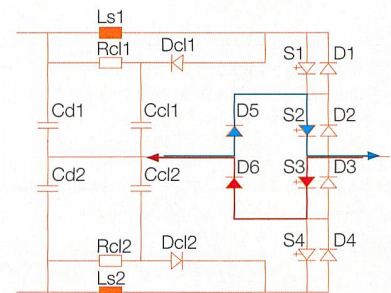


Bild 2 Spannungszwischenkreis-Umrichter in NPC-Ausführung mit unidirektionalen Strompfaden zwischen Phasenausgang und Nullpunkt.

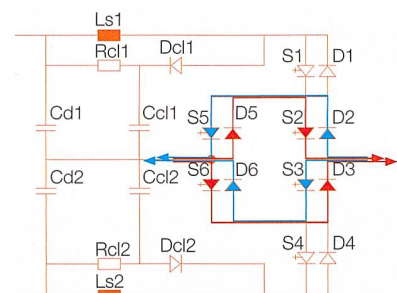


Bild 3 Spannungszwischenkreis-Umrichter in ANPC-Ausführung mit bidirektionalen Strompfaden zwischen Phasenausgang und Nullpunkt.

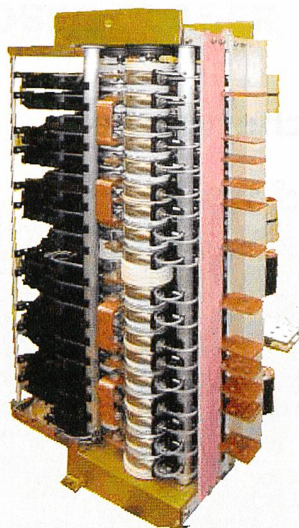


Bild 4 Der ANPC-PEBB eignet sich für den Einsatz in einer H-Brücken-Konfiguration.

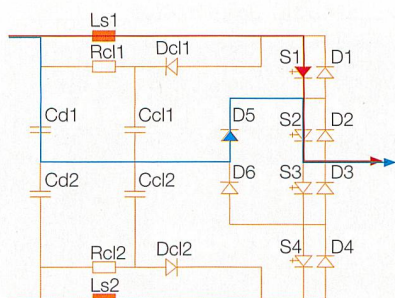


Bild 5 NPC-Stromrichter: Nur S1 kann Schaltverluste beim Schalten von positiv zu neutral aufnehmen.

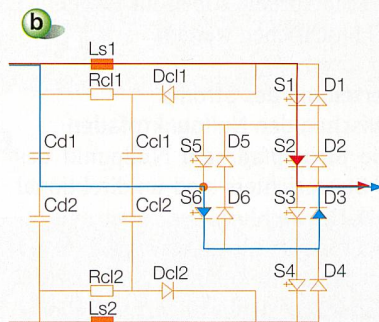
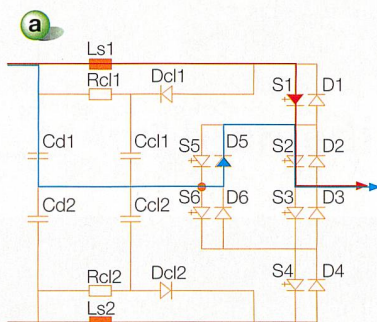


Bild 6 ANPC-Stromrichter: S1 oder S2 kann Schaltverluste beim Schalten von positiv zu neutral aufnehmen. a) S1 schaltet ab: Der Ausgangsstrom fließt über den oberen Nullpunkt看pfad; b) S2 schaltet ab: Der Ausgangsstrom fließt über den unteren Nullpunkt看pfad.

Funktionen

Vom PCS-8000-AC-Erregungssystem unterstützte Betriebsarten

Turbinenbetrieb	Einspeisung von elektrischer Energie in das 110-kV-Netz – Synchronisation mit dem Netz (Spannung, Frequenz) – Blindleistungsregelung
Pumpbetrieb	Pumpen von Wasser aus dem Fluss Soške in das 500 m oberhalb des Werks gelegene Oberbecken – Sanftes Anlaufen ohne Last – Drehzahlregelung im Pumpbetrieb
Blindleistung	Bereitstellung oder Aufnahme von Blindleistung. Kein Wasser erforderlich für die Betriebsart

Ausserdem stellt das AC-Erregungssystem wichtige Funktionen für einen sicheren Betrieb zur Verfügung:

- Schutz gegen Rotorüberspannung bei Störungen im Netz
- Schutz gegen Rotorströme
- Schutz gegen Überhitzen der Wicklungen

Weitere Funktionen schützen die verschiedenen Module des Systems sowie die Kühlung und fungieren als «Wächter» für das Leitsystem.

den. Dabei fließt der Strom die Hälfte der Zeit durch den oberen Pfad und die andere Hälfte der Zeit durch den unteren Pfad. Dadurch erhöht sich die Gleichstromfähigkeit im Vergleich zur NPC-Technologie um 33%.

Verteilung von Schaltverlusten

Beim Hin- und Herschalten zwischen der positiven Zwischenkreisschiene und dem Nullpunkt bzw. zwischen der negativen Zwischenkreisschiene und dem Nullpunkt bestimmt die Richtung des Ausgangsstroms die Verteilung der Schaltverluste auf die Elemente im NPC-Stromrichter (**Bild 5**).

In den **Bildern 5 und 6** ist der Stromfluss vor dem Schaltvorgang rot und nach dem Schaltvorgang blau dargestellt. Das rote Halbleiterelement wird ausgeschaltet und nimmt somit die anfallenden Schaltverluste auf, während das blaue Element eingeschaltet wird.

Auch hier erlaubt die Möglichkeit des ANPC-Stromrichters, den Nullpunkt看pfad für den Ausgangsstrom zu wählen, eine günstige Verteilung der Schaltverluste innerhalb des Stromrichters. Bei dem in **Bild 6** dargestellten Beispiel nimmt S1 die Schaltverluste beim Umschalten auf den oberen Strompfad auf, während S2 die Verluste beim Schalten auf den unteren Pfad aufnimmt.

Eine ähnliche Aufteilung der Verluste wird auch bei den anderen Schaltvorgängen innerhalb des Schaltschemas erreicht. Dies trägt im Vergleich zur NPC-Technologie zu einer deutlichen Erhöhung der Ausgangsleistung sowohl im Gleichrichter- als auch im Wechselrichterbetrieb bei.

Das Stromrichtermodul PCS 8000

Auf der Basis der ANPC-Stromrichtertechnologie hat ABB einen neuen leistungselektronischen Baustein (Power Electronic Building Block, PEBB) mit 2 Phasenzweigen entwickelt, der für den Einsatz in einer H-Brücken-Konfiguration geeignet ist (**Bild 4**). Der neue Baustein verfügt zusätzlich über neue IGBT-Halbleiterelemente mit einer höheren Abschaltfähigkeit und ist mit einem du/dt-Snubbernnetzwerk zur weiteren Erhöhung der Abschaltfähigkeit und Reduzierung der Schaltverluste ausgestattet.

Der ANPC-PEBB ist in das PCS-8000-Leistungsmodul integriert, das folgende Bemessungsdaten aufweist:

- Ausgangsspannung: 3600 V_{AC} (effektiv)
- Ausgangsstrom: 2600 A_{AC} (effektiv)
- Gleichstromfähigkeit: 2750 A_{DC}

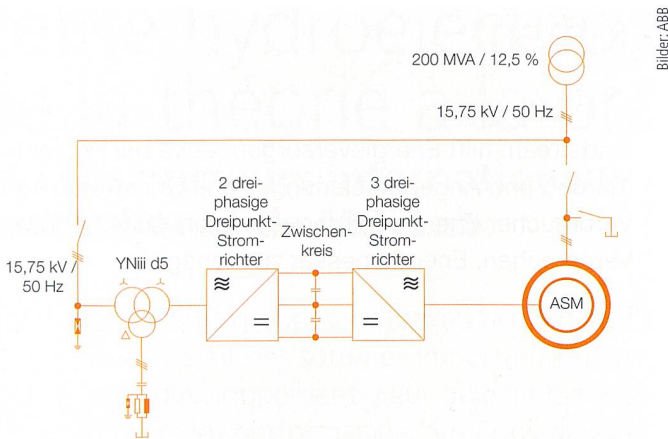


Bild 7 Prinzipschaltbild eines Varspeed-Antriebssystems mit PCS-8000-AC-Erregungssystem.

Pumpspeicherkraftwerke

Pumpspeicherkraftwerke spielen bei der Deckung des Spitzenstrombedarfs weltweit eine wichtige Rolle. Sie speisen nicht nur Strom in das öffentliche Netz, sondern pumpen auch Wasser in Speicherbecken zurück, um die Verfügbarkeit zu Spitzenlastzeiten zu erhöhen.

Ein besonderes Merkmal solcher Systeme ist, dass die Drehzahl, bei der der grösste Wirkungsgrad der Pumpen erreicht wird, im Pumpbetrieb höher ist als im Turbinenbetrieb. Zusätzlich variiert die optimale Drehzahl mit der Last.

In Systemen mit Francisturbinen werden zunehmend sogenannte Varspeed-Systeme eingesetzt, um einen optimalen Wirkungsgrad über den gesamten Betriebsbereich hinweg zu erreichen. Wie der Name sagt, können diese Systeme die Turbindrehzahl innerhalb eines bestimmten Bereichs anpassen, um einen Betrieb bei maximaler Turbineneffizienz unabhängig von den Lastverhältnissen und der Betriebsart zu ermöglichen. Dabei werden statt Synchronmaschinen Asynchronmaschinen mit gewickelten Läufern verwendet.

Dies bedeutet, dass die Rotordrehzahl von der durch die Frequenz des öffentlichen Netzes vorgegebenen Synchrondrehzahl abweicht. Ermöglicht wird dies durch das Erregungssystem des Antriebs, das nicht nur Gleichströme, sondern auch niederfrequenten Wechselstrom (0 bis ca. 5 Hz) an die Rotorwicklungen des Pumpenmotors liefern kann. Somit ist die Rotordrehzahl nicht strikt an die Frequenz des öffentlichen Netzes gebunden, sondern kann innerhalb eines begrenzten Be-

reichs um die Synchrondrehzahl der Netzfrequenz geregelt werden.

Darüber hinaus bietet das System die Möglichkeit zur Leistungs-/Frequenzregelung sowohl im Pump- als auch im Turbinenbetrieb, woraus sich zusätzliche Geschäftsmöglichkeiten mit Übertragungsnetzbetreibern ergeben. Bei herkömmlichen Pumpspeicherkraftwerken ist dies nur im Turbinenbetrieb möglich.

Bild 7 zeigt das Prinzipschaltbild eines solchen Erregungssystems. In diesem Fall ist der statische Frequenzumrichter über Schleifringe mit der Rotorwicklung verbunden.

Beispiel: AC-Erregungssystem für Avče

Ein Beispiel für eine Anwendung mit einem PCS-8000-AC-Erregungssystem ist das zurzeit im Bau befindliche Pumpspeicherwerk Avče von Soške Elektranne Nova Gorica in Slowenien.

Die für eine Leistung von rund 180 MVA ausgelegte Anlage soll an ein relativ schwaches 110-kV-Netz angebun-

den werden. Eine der Anforderungen ist, dass das neue Kraftwerk die Spannungs- und Frequenzstabilität des Netzes nicht gefährdet. Daher wird eine moderne, doppelt gespeiste Asynchronmaschine mit variabler Drehzahl installiert, deren Rotor von einem Stromrichter des Typs ABB PCS 8000 gespeist wird (siehe Infobox vorhergehende Seite).

Das AC-Erregungssystem wird über einen vom 110-kV-Netz gespeisten 11,6-MVA-Transformator versorgt. Der statische Stromrichter besteht aus einem Gleichrichter und einem Wechselrichter, die über einen Gleichstrom-Zwischenkreis miteinander verbunden sind.

Der statische Stromrichter ist zusammen mit seiner Bedienungseinheit, dem Online-Steuerungssystem sowie dem leistungsstarken Kühlsystem für die Halbleiter vollständig in einem Container untergebracht. Dieser modulare Aufbau ermöglicht eine deutlich verkürzte Montage, Installation und Inbetriebnahme, da sämtliche Funktionen bereits im Werk geprüft und eingestellt werden können.

Weiterführende Literatur

- T. Brückner, S. Bernet: Loss balancing in three-level voltage source inverters applying active NPC switches. Proc. IEEE-PESC 2001, Vancouver, Kanada, S. 1135–1140.
- O. Apeldoorn, B. Ødegård, P. Steimer, S. Bernet: A 16 MVA ANPC PEBB with 6 kA IGCTs. Proc. IAS 2005, Schanghai, China.

Angaben zu den Autoren

Andreas Hämmerli hat an der Ingenieurschule Grenchen-Solothurn (FH) Elektrotechnik mit Fachrichtung Energietechnik studiert und leitet bei ABB Advanced Power Electronics leistungselektronische Projekte.

ABB Schweiz AG, 5300 Turgi
andreas.haemmerli@ch.abb.com

Bjørn Ødegård hat Elektrotechnik an der Universität in Trondheim in Norwegen studiert und leitet Entwicklungsprojekte in der Abteilung ATPT Leistungselektronik bei der ABB in Turgi.

ABB Schweiz AG, 5300 Turgi
bjoern.oedegard@ch.abb.com

Résumé L'excitation en courant alternatif par la technologie à convertisseurs ANPC

Utilisation des convertisseurs ANPC pour centrales hydrauliques à pompage
Utilisation des convertisseurs ANPC dans les systèmes d'excitation CA pour centrales hydrauliques à pompage. Des systèmes convertisseurs modulaires à base de technologie ANPC (Active Neutral Point Clamped) permettent, conjointement à une nouvelle génération de semi-conducteurs IGCT, une nette amélioration de la puissance de sortie par rapport aux unités actuelles. En outre, ils permettent une excellente compatibilité au courant continu qui offre des avantages supplémentaires lorsque l'on a besoin de courant continu ou de courant alternatif à basse fréquence. Ceci est le cas avec les systèmes d'excitation CA Varspeed, qui sont de plus en plus employés dans les centrales hydrauliques modernes.

No

Wir schaffen Energieeffizienz

mit intelligentem Energiemanagement

Landis+Gyr – der Name steht für Energiezähler, Zählsysteme und intelligente Metering-Lösungen – Grundlage für mehr Energieeffizienz, Baustein zum intelligenten Versorgungsnetz.

Wir entwickeln und liefern modernste Technologie. Zum Beispiel Gridstream – ein Set interoperabler Lösungen für gesteigerte Prozesseffizienz und intelligenteres Energiemanagement.

Gridstream hilft Energieversorgern etwa bei Prozessführung und Angebotsplanung. Dank Gridstream können Verbraucher Energie effizienter nutzen. Damit erfüllen wir Versprechen, Energie besser zu managen.

Mehr Informationen finden Sie unter www.landisgyr.ch



Besuchen Sie uns auf den Powertagen
von 01.-03. Juni 2010
Halle 5, Stand E25

**Landis
Gyr+**
manage energy better