Zeitschrift: Bulletin Electrosuisse
Herausgeber: Electrosuisse, Verband für Elektro-, Energie- und Informationstechnik
Band: 110 (2019)
Heft: 3

Artikel: Der Borgna-Konverter
Autor: Borgna, Luciano / Gfeller, Daniel / Muntwyler, Urs
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-855925

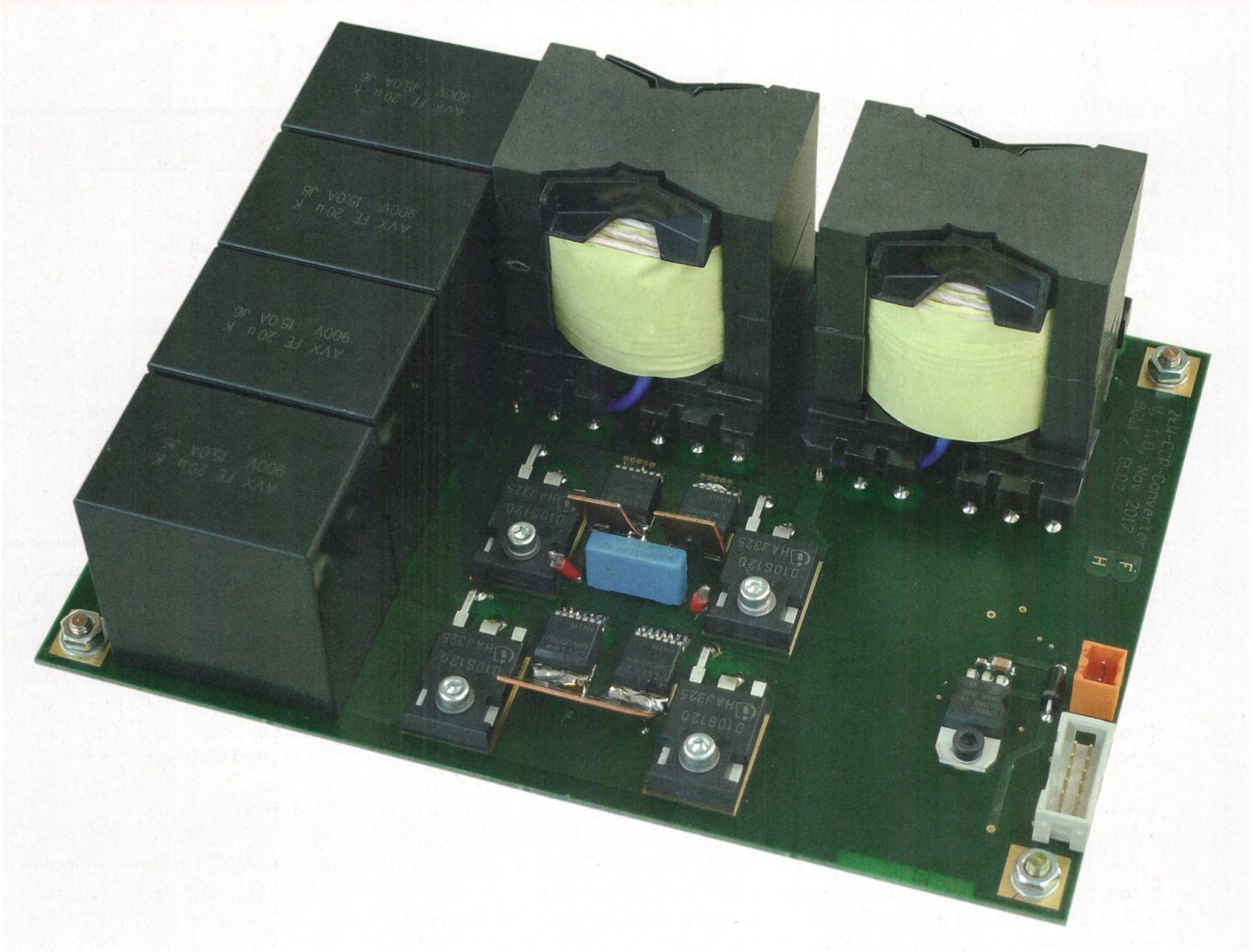
Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. 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: 03.07.2025

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



Prototyp eines bidirektionalen Borgna-Konverters mit 2 kW Nennleistung.

Der Borgna-Konverter

Eine neue Topologie für hocheffiziente Schaltregler | Elektronische Schaltregler sind aus der heutigen Zeit nicht mehr wegzudenken. Sei es in Ladegeräten für Smartphones, in PV-Anlagen oder in Ladestationen für Elektroautos – überall werden Spannungswandler benötigt. Obschon Schaltregler heute effizient sind, entstehen in den Leistungshalbleitern Schaltverluste. Eine neue Topologie eliminiert die Schaltverluste fast vollständig.

LUCIANO BORGNA, DANIEL GFELLER, URS MUNTWYLER

Die meisten heute eingesetzten Schaltregler basieren auf Gleichspannungswandlern, für die es drei Grundfunktionen gibt. Der Abwärtswandler setzt eine Spannung auf einen tieferen Wert hinunter, der Aufwärtswandler erhöht die Spannung und der Inverswandler erzeugt aus einer positiven Eingangsspannung eine negative Ausgangsspannung. In ihren Grundformen verfügen diese Gleichspannungswandler über keine galvanische Trennung zwischen Ein- und Ausgang. Es gibt zudem galvanisch getrennte Schaltregler, wie beispielsweise den Sperrwandler, der in Schaltnetzteilen weit verbreitet ist.

Alle Schaltregler basieren auf dem Grundprinzip, dass die Eingangsspannung durch Transistoren wie MOSFET oder IGBT zerhackt wird. Diese zerhackte Spannung wird anschliessend durch eine Spule und Kondensatoren wieder geglättet. Das Zerhacken erfolgt durch Pulsbreitenmodulation mit einer Schaltfrequenz von typischerweise einigen 10 kHz. Bei jedem Schaltvorgang entsteht in den Schalttransistoren kurzzeitig eine hohe Verlustleistung. In einem ausgewogen dimensionierten

Bilder: Berner Fachhochschule

Schaltregler machen diese Schaltverluste ungefähr die Hälfte der gesamten Verlustleistung aus. Die Schaltverluste können verringert werden, indem die Transistoren möglichst schnell schalten. Das schnelle Schalten hat jedoch einen Nachteil: Es werden Wechselströme mit hohen Frequenzen generiert, welche sich in Form von elektromagnetischen Störungen äussern. Da diese gewisse normative Grenzwerte nicht überschreiten dürfen, muss bei vielen Schaltreglern ein erheblicher Aufwand zur Entstörung betrieben werden.

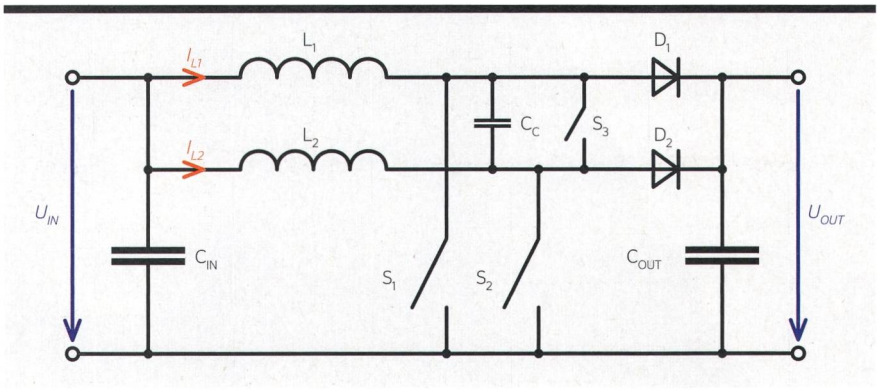


Bild 1 Topologie des Borgna-Aufwärtswandlers.

Grundprinzip des Borgna-Konverters

Beim Borgna-Konverter werden Schaltverluste vermieden, indem die Transistoren nur im strom- bzw. spannungslosen Zustand geschaltet werden. Dieses sogenannt sanfte Schalten wird heute bereits bei Resonanzwandlern angewendet. Diese sind aber sehr komplex und stellen hohe Ansprüche an die Regelung. Im Vergleich dazu ist der Borgna-Konverter in seinem Aufbau simpel und einfach zu regeln. Das Grundprinzip des Borgna-Konverters wird hier am Beispiel des Borgna-Aufwärtswandlers erläutert **(Bild 1)**. Der Übersichthalber werden die Schalttransistoren in den Bildern durch elektromechanische Schalter dargestellt.

Der Borgna-Aufwärtswandler besteht aus zwei klassischen Aufwärtswandlern im Parallelbetrieb. Die Innovation besteht im Koppelkondensator C_C, mit dem die zerhackten Spannungen der beiden Teilwandler verbunden werden. S_3 ist ein kleiner Kurzschlussschalter, der zu Beginn eines Schaltzyklus eingeschaltet ist. Die beiden Teilwandler arbeiten im lückenden Betrieb. Das bedeutet, dass die Spulenströme während der Ausschaltphase der Schalttransistoren bis auf null absinken. Die Schalttransistoren der beiden Teilwandler werden gleichzeitig eingeschaltet. Da die Spulen im Einschaltmoment stromlos sind, ist dieser Einschaltvorgang strom- und somit verlustlos. Nach dem Einschalten steigt der Strom in den Spulen an **(Bild 2a)**. Während des Aufladevorgangs wird der Kurzschlussschalter ausgeschaltet. Sobald der erste Spulenstrom seinen Sollwert erreicht, werden die beiden Schalttransistoren leicht zeitversetzt ausgeschaltet. Nach dem Öffnen des ersten Schalttransistors wird der Strom der ersten Spule in den Koppelkondensator umgeleitet, welcher dadurch aufgeladen wird **(Bild 2b)**. Dieser Aufladevorgang dauert deutlich länger als das Ausschalten des Transistors. Deshalb ist der erste Schalttransistor ausgeschaltet, bevor seine Spannung nennenswert angestiegen ist. Somit ist dieser Abschaltvorgang nahezu verlustlos. Sobald die Spannung über dem Koppelkondensator die Ausgangsspannung erreicht, beginnt die erste Diode zu leiten **(Bild 2c)**. Nun wird der Schalttransistor des zweiten Teilwandlers ausgeschaltet. Damit wird der Strom der zweiten Spule in den Koppelkondensator umgeleitet, wodurch dieser wieder entladen wird **(Bild 2d)**. Auch dieser Entladevorgang dauert viel länger als das Ausschalten des Transistors, weshalb der zweite Schalttransistor ebenfalls nahezu verlustlos ausschaltet. Wenn der Koppelkondensator wieder entladen ist, wird die zweite Diode leitend. Beide Spulen entladen sich daraufhin in den Ausgang. Gleichzeitig wird der Kurzschlussschalter wieder eingeschaltet **(Bild 2e)**. Da der erste Teilwandler früher abgeschaltet wurde, erreicht sein Spulenstrom zuerst den Wert null und seine Diode beginnt zu sperren. Da die zweite Diode aber noch leitend ist, beginnt nun ein geringer Ausgleichsstrom vom zweiten in den ersten Teilwandler zu fliessen **(Bild 2f)**. Der Kurzschlussschalter verhindert jedoch, dass der Koppelkondensator durch diesen Ausgleichsstrom erneut aufgeladen wird. Wenn der Strom der zweiten Spule genügend weit abgesunken ist, beginnt auch die zweite Diode zu sperren. Bis auf den kleinen Ausgleichsstrom, der nun durch die beiden Spulen und den

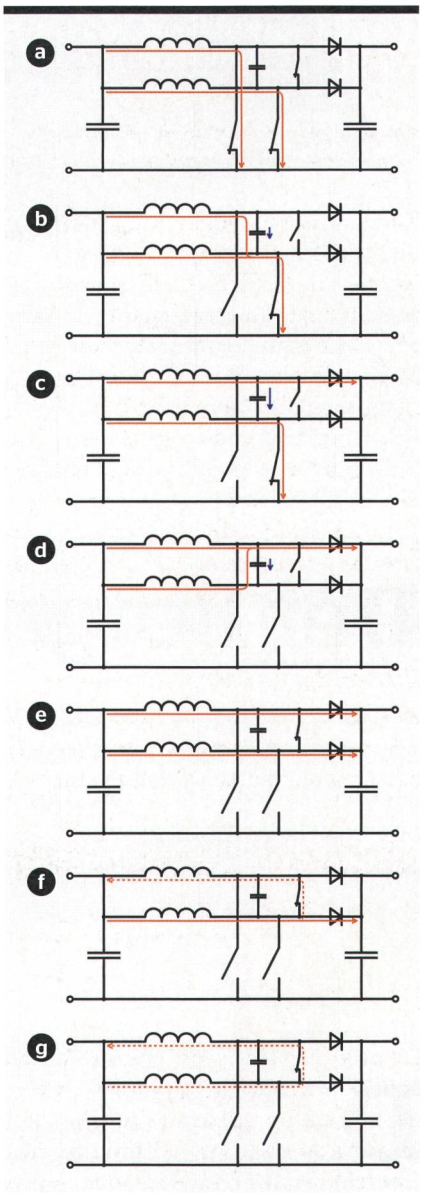


Bild 2 Arbeitsschritte des Borgna-Aufwärtswandlers.

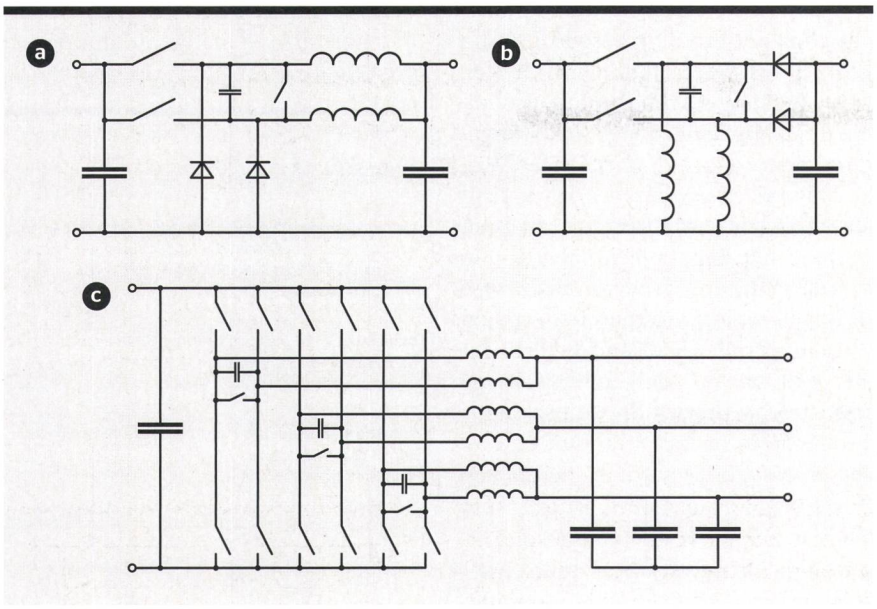


Bild 3 Mögliche Topologien von Borgna-Konvertern (Auswahl). a) Abwärtswandler, b) Inverswandler, c) dreiphasiger Wechselrichter.

Kurzschlussschalter im Kreis fliesst, ist die Schaltung stromlos **(Bild 2g)**. Nun werden die beiden Schalttransistoren wieder simultan eingeschaltet und der nächste Zyklus beginnt. Da jedoch der zweite Teilwandler mit einem geringfügig positiven Spulenstrom in diesen Zyklus startet, wird diesmal der zweite Schalttransistor zuerst ausgeschaltet. Die Reihenfolge beim Ausschalten der Teilwandler und die Polarität, mit der der Koppelkondensator aufgeladen wird, alterniert deshalb von Zyklus zu Zyklus.

Varianten und Einsatzgebiet

Das Grundprinzip des Borgna-Aufwärtswandlers – das Vermeiden von harten Schaltflanken durch den Einsatz von zwei Teilwandlern im lückenden Betrieb und den Koppelkondensator in Kombination mit dem zeitversetzten Abschalten der Schalttransistoren – lässt sich direkt auf den Abwärtswandler **(Bild 3a)** und den Inverswandler **(Bild 3b)** übertragen. Wenn zudem die Dioden beim Auf- oder Abwärtswandler durch zwei weitere Schalter ersetzt werden, erhält man einen bidirektionalen Borgna-Konverter, der die Energie in beide Richtungen übertragen kann. Obschon die bisher genannten Topologien grundsätzlich Gleichspannungswandler sind, können sie durch Modulation der Ausgangsspannung auch als Wechselrichter eingesetzt werden. So lassen sich beispielsweise drei bidirektionale Borgna-Konverter zu einem dreiphasigen Wechselrichter **(Bild 3c)** kombinieren. Durch diese zahlreichen Varianten eröffnet sich dem Borgna-Konverter eine Vielzahl von Anwendungsgebieten.

Ein Einsatzbereich, für den der Borgna-Konverter prädestiniert ist, sind Wechselrichter in Solaranlagen. Die Autoren schätzen, dass sich damit die Verluste eines Solarwechselrichters gegenüber dem heutigen Marktstandard ungefähr halbieren lassen. In einem kostensensitiven Bereich wie Solarwechselrichtern stellt sich natürlich die Frage nach der Wirtschaftlichkeit. Die Kosten für die Elektronikkomponenten des Borgna-Konverters sind höher als bei konventionellen Wandlern. Durch die stark reduzierten Verluste sinkt jedoch der Aufwand für die Kühlung. Ausserdem führt das sanfte Schalten zu einem sehr vorteilhaften EMV-Verhalten, weshalb auch bei der Entstörung Kosten eingespart werden können. Wenn zudem noch die Ersparnisse beim Energieverbrauch miteingerechnet werden, so bieten Borgna-Konverter in vielen Applikationen nicht nur technische, sondern auch wirtschaftliche Vorteile. Damit bilden sie in vielen Bereichen der Leistungselektronik eine interessante Alternative zu konventionellen Schaltreglern.

Erfahrungen aus der Praxis

Die Autoren haben, gefördert durch die schweizerische Agentur für Innovationsförderung, Innosuisse, und die Swiss Competence Centres in Energy Research on the Future Swiss Electrical Infrastructure (SCCER-FURIES),

RÉSUMÉ

Le convertisseur Borgna

Une nouvelle topologie pour un régulateur à découpage à haute efficacité

De nos jours, les régulateurs électroniques à découpage sont devenus indispensables. Que cela soit dans les chargeurs de smartphone, dans les installations photovoltaïques ou dans les stations de recharge pour voitures électriques, les convertisseurs sont utilisés partout afin de convertir une tension en une autre. Bien que les régulateurs à découpage modernes soient très efficaces, des pertes de commutation considérables se produisent parfois dans les semi-conducteurs de puissance utilisés.

Une nouvelle topologie pour les régulateurs de commutation a récemment été inventée au Laboratoire pour les systèmes photovoltaïques de la Haute école spécialisée bernoise. Celle-ci élimine pratiquement les pertes de commutation en commutant les transistors uniquement en l'absence de courant ou de tension. Ce convertisseur Borgna séduit par une structure très simple ainsi que des frais de refroidissement et d'antiparasitage (CEM) plus bas qu'avec les convertisseurs conventionnels. Avec une régulation optimisée, le régulateur devrait atteindre à l'avenir un rendement stable supérieur à 99 % sur une grande plage de charge. NO

im Rahmen eines Forschungsprojekts einen Prototyp von einem bidirektionalen Borgna-Konverter mit 2 kW Nennleistung **(Einstiegsbild)** dimensioniert, gebaut und getestet. Das Gerät erreicht einen beachtlichen Spitzenwirkungsgrad von 99,4 %. Das Störverhalten des Prototyps ist ebenfalls sehr erfreulich. Obschon auf jegliche Entstörmassnahmen verzichtet wurde, liegen die leitungsgebundenen Störspannungen bei einer Quasipeak-Messung im normativen Frequenzbereich von 0,15–30 MHz durchgehend unter 80 dBµV. Solche Werte können bei vielen konventionellen Schaltreglern nur mit aufwendigen Filterschaltungen erreicht werden.

Ausblick

Obschon der Prototyp bereits jetzt ein sehr gutes Verhalten zeigt, laufen Untersuchungen, um die Eigenschaften durch Optimierungen in der Regelung weiter zu verbessern. Der Wirkungsgrad des Prototyps ist derzeit stark von der Last abhängig. Mit einer optimierten Regelung soll jedoch ein stabiler Wirkungsgrad von über 99 % in einem weiten Lastbereich erreicht werden. Parallel dazu sind die Erfinder auf der Suche nach interessierten Industriepartnern, die diese neue Technologie in ihren Produkten einsetzen wollen. Das Schaltungsprinzip des Borgna-Konverters wurde zum Patent angemeldet. Lizenzen am Patent sind zu günstigen Konditionen erhältlich.

Link
→ www.pvtest.ch

Autoren
Luciano Borgna ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Labor für PV-Systeme sowie Erfinder des Borgna-Konverters.
→ Berner Fachhochschule, 3400 Burgdorf
→ luciano.borgna@bfh.ch

Daniel Gfeller ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Labor für PV-Systeme.
→ daniel.gfeller@bfh.ch

Prof. **Urs Muntwyler** leitet das Labor für PV-Systeme der Berner Fachhochschule.
→ urs.muntwyler@bfh.ch