

SERVICE UND ZUVERLÄSSIGKEIT

IGBT-Stromrichter verlängern die Lebensdauer der Lokomotiven Re460

ABB liefert moderne IGBT-Stromrichter für die Modernisierung und Verlängerung der Lebensdauer der Lokomotiven vom Typ Re460 der Schweizerischen Bundesbahnen (SBB).



Thomas Huggenberger
ABB Discrete
Automation and Motion,
Power Conversion

Turgi, Schweiz
thomas.huggenberger@
ch.abb.com

Das Bahnnetz der Schweiz ist weltberühmt. Es befördert weit über eine Million Passagiere am Tag und zeichnet sich besonders durch seine Dichte, Pünktlichkeit und Taktfrequenz aus. Um die Attraktivität des Bahnnetzes zu sichern und es für zukünftige Anforderungen zu rüsten, wurde Ende der 1980er Jahre das ehrgeizige Programm „Bahn 2000“ ins Leben gerufen. Hauptziel des Projektes war die Erhöhung der Kapazität und Verkürzung der Fahrzeiten. Ein zentraler Aspekt des Plans war die Einführung der Lokomotive der Baureihe Re460, von der in den Jahren 1992 bis 1996 insgesamt 119 in Betrieb gingen →1. Die Lokomotiven waren mit GTO-Drehstromumrichtern (Gate Turn-Off Thyristor) und Asynchronmaschinen als Fahrmotoren ausgerüstet. Beide stammten von ABB und entsprachen seinerzeit dem neuesten Stand der Technik.

Nach über 20 Jahren leisten die Re460 noch immer hervorragende Dienste und absolvieren etwa die Hälfte aller von den SBB erbrachten Personenkilometer. Jede Lokomotive hat bisher im Durchschnitt etwa 5,5 Millionen Kilometer zurückgelegt. Dies entspricht etwa sieben Reisen zum Mond und zurück.

Obwohl die Re460 robust gebaut und für eine lange Lebensdauer ausgelegt sind, ist die installierte Leistungselektronik angesichts der enormen Fortschritte in den vergangenen Jahrzehnten veraltet.

So wurden GTO-Thyristoren in Traktionsanwendungen weitgehend durch flexiblere IGBT (Integrated Gate Bipolar Transistor) verdrängt. Die SBB haben sich entschlossen, die in der Mitte ihrer vorgesehenen Einsatzdauer befindlichen Lokomotiven im Rahmen eines Mid-Life-Refits nachzurüsten. Die Modernisierung, die eine Optimierung des gesamten elektrischen Systems beinhaltet, soll die Lokomotiven für mindestens weitere 20 Jahre Betrieb ertüchtigen. Gleichzeitig sollen die Energieeffizienz und die Instandhaltung optimiert werden. Erwartet werden Einsparungen von rund 27 GWh im Jahr, was etwa dem Stromverbrauch von 6.750 Schweizer Haushalten entspricht.

ABB-Kompetenz

ABB gehört zu den führenden Unternehmen in der Forschung, Entwicklung und Fertigung energieeffizienter Traktionsstromrichter, -motoren und -transformatoren. Das Unternehmen kann auf über 100 Jahre Erfahrung auf dem Gebiet der elektrischen Eisenbahnen weltweit zurückblicken.

Neben der Bereitstellung neuer Technik besitzt ABB umfangreiche Erfahrung im Support von Rollmaterial über den gesamten Lebenszyklus hinweg. Im Jahr 2008 rüstete ABB z. B. die thyristorbasierten Antriebsstränge der ICE 1-Flotte der Deutschen Bahn vollständig auf modernste IGBT-Stromrichter um. Aufgrund der besonderen Kundenorientierung, des umfangreichen Know-hows und der Erfahrung



01

—
01 SBB-Lokomotive der Baureihe Re460
[Foto: SBB CFF FFS].

—
02 Schaltungsprinzip und zeitlicher Verlauf von Spannung (schwarz) und Strom (rot) bei Zweipunkt- und Dreipunkt-IGBT-Stromrichtern.

—
03 ABB Dreipunkt-IGBT-Phasenmodul wie es bei der Modernisierung der Re460 eingesetzt wurde.

des Unternehmens erhielt ABB 2014 einen Auftrag in Höhe von 70 Millionen CHF zur Bereitstellung von Traktionsstromrichtern der neuesten Generation für die Re460-Flotte der SBB. Ziel der Modernisierung war die Steigerung der Energieeffizienz, Erhöhung der Zuverlässigkeit und Verbesserung der Instandhaltungsfreundlichkeit.

Anforderungen an die Modernisierung

Die modernisierten Lokomotiven sollten eine Reihe von besonderen Anforderungen erfüllen, die u. a. vom anspruchsvollen Höhenprofil auf der Züricher Durchmesserlinie und den Umweltbedingungen im

durch Temperatur und Feuchtigkeit sowie neueste Brandschutzbestimmungen zu berücksichtigen.

Technische Lösung

Da sich die Fahrmotoren, Transformatoren und die Fahrzeugleittechnik der Lokomotiven in einem guten Zustand befanden, sollten diese Komponenten erhalten bleiben, wobei deren Parameter das Design der neuen Stromrichter vorgeben. Die Spannung im Antriebstrang war damit ebenfalls gegeben und beträgt am Zwischenkreis 3,5 kV DC.

Damit kamen zwei Stromrichterschaltungen mit IGBT in Frage →2: eine Zweipunkt-Schaltung mit IGBT der 6,5-kV-Klasse oder eine Dreipunkt-Schaltung mit IGBT der 3,3-kV-Klasse. Bei letzterer besteht der Zwischenkreis aus zwei seriell verbundenen Einheiten, die jeweils die halbe Spannung tragen. Diese Technologie wird von ABB bei der Nachrüstung von Lokomotiven mit IGBT-basierten Stromrichtern bevorzugt und wurde auch für die Re460 gewählt.

—
Höhere Schaltfrequenzen hätten höhere Schaltverluste und Isolationsbelastungen mit sich gebracht.

Gotthard-Basistunnel (die es bei der Einführung der Re460 beide noch nicht gab) bestimmt werden. Auf der Durchmesserlinie ist aufgrund der hohen Steigung ein Redundanzkonzept erforderlich, da ein Zugausfall auf der stark frequentierten Strecke netzweite Auswirkungen hätte. Das implementierte Konzept ermöglicht das Ausgruppieren eines defekten Fahrmotors und die Weiterfahrt mit den drei übrigen Motoren. Im neuen Gotthard-Basistunnel sind zusätzlich die hohe Belastung

Die Dreipunkt-Schaltung erzielt eine bessere Angleichung der Ströme an die Sinusform. Dies ist hier besonders wichtig, da der ursprüngliche GTO-Stromrichter ebenfalls in Dreipunkt-Topologie realisiert ist und Fahrmotor und Transformator dementsprechend auf den Betrieb mit niedrigen Oberschwingungen ausgelegt wurden. Eine Zweipunkt-Schaltung hätte für eine vergleichbare Stromqualität deutlich höhere Schaltfrequenzen benötigt, was höhere Schaltverluste und Isola-

tionsbelastungen mit sich gebracht hätte. Neben den elektrischen und energetischen Vorteilen zeichnet sich die gewählte Lösung durch eine geringe Geräuschentwicklung aus.

Mit 3,3-kV-IGBT in Dreipunkt-Schaltung lassen sich deutlich höhere Ströme ohne Parallelschaltung der IGBT erreichen. Die netzseitigen Stromrichter (jeweils einer für jedes der beiden Drehgestelle) bestehen aus insgesamt vier und die beiden motorseitigen Stromrichter aus jeweils drei Phasenmodulen →3. Anders als bei einer parallelen Verschaltung ist kein Matching der IGBT-Module erforderlich.

Hauptschaltkreis

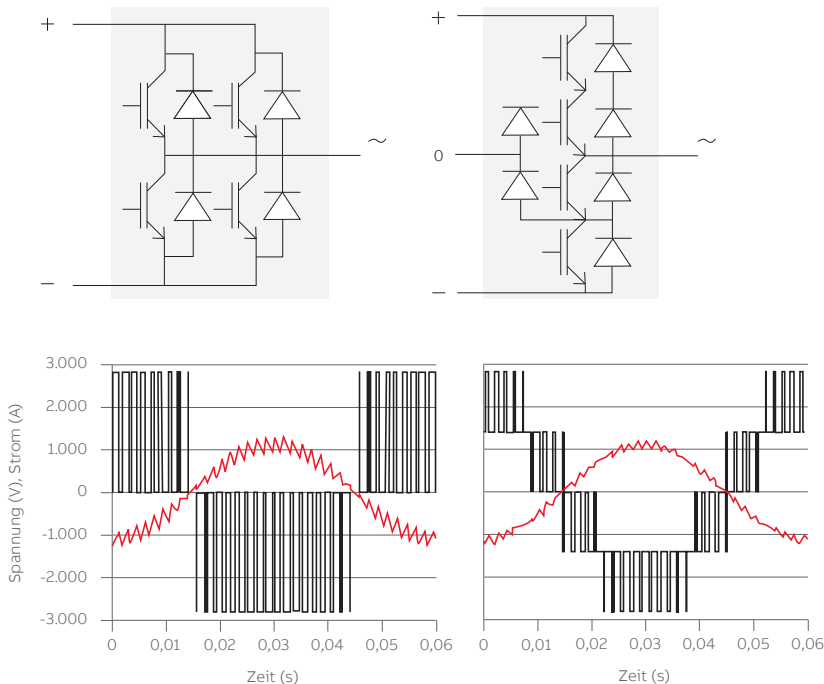
Abgesehen von der IGBT-Technologie entspricht der elektrische Hauptschaltkreis weitgehend dem Original. Die wassergekühlten IGBT-Phasenmodule basieren auf der BORDLINE-Stromrichterplattform von ABB. Sie werden in identischer Ausführung sowohl auf der Netz- als auch auf der Motorseite verwendet und wurden auch in anderen Retrofit-Projekten, z. B. beim deutschen ICE 1, eingesetzt.

Der Transformator verfügt über vier Traktionswicklungen, wovon jeweils zwei einen der beiden Stromrichter speisen →4. Jede Wicklung ist an einen aktiven Gleichrichter angeschlossen, der Leistung vom Transformator bezieht, aber auch wieder ins Netz zurückspeisen kann, wenn die Lokomotive bremst.

Die gleichgerichtete Spannung steht an den Zwischenkreiskondensatoren an und wird dort mit Hilfe eines auf 33,4 Hz abgestimmten Saugkreises geglättet. Dies ist notwendig, da das einphasige 16,7-Hz-Bahnnetz keine kontinuierliche Speisung ermöglicht, sondern die Leistung mit doppelter Netzfrequenz pulsformig in den Stromrichter fließt.

Die Gleichspannung wird mithilfe der drei motorseitigen Phasenmodule wieder in Wechselspannung umgewandelt. Spannung und Frequenz werden dabei so geregelt, dass an den Asynchronfahrmotoren das gewünschte Drehmoment entsteht.

Jeder der beiden Traktionsstromrichter speist die beiden Motoren eines Drehgestells in parallel geschaltetem Gruppenantrieb, wobei Motortrenner die Ausgruppierung eines defekten Motors ermöglichen.

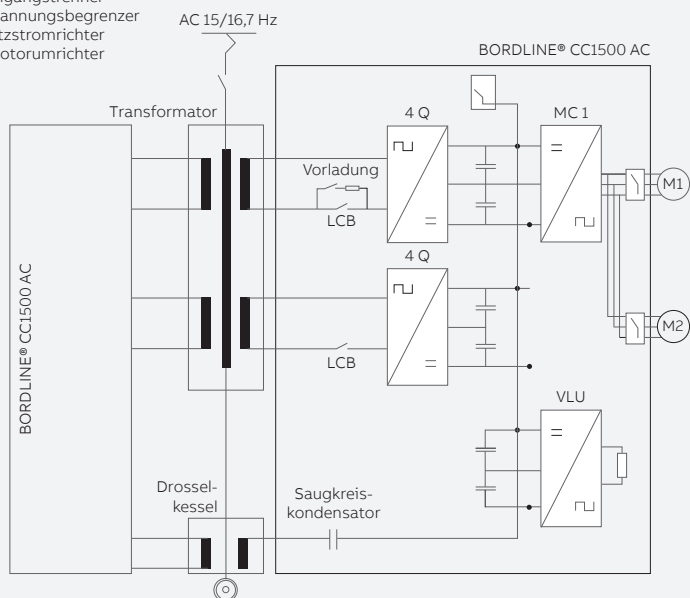


02



03

LCB = Eingangstrenner
 VLU = Spannungsbegrenzer
 4 Q = Netzstromrichter
 MC 1 = Motorumrichter



04

—
 04 Schaltbild des Stromrichters.

—
 05 Stator eines Re460-Motors auf dem Leistungsprüfstand bei ABB in Turgi zur Bestimmung der Spannung an der Wicklung bei Schaltvorgängen.

—
 06 Messergebnisse der Statorprüfung. Das Diagramm zeigt das transiente Überspringen lokaler Wicklungsspannungen beim Schalten des IGBT. Diese müssen begrenzt werden, um eine Schädigung des Motors zu vermeiden.

Mechanischer Aufbau

Gekühlt werden die neuen kompakten Stromrichter mit Wasser, d. h. der alte Ölkreislauf wird vollständig durch ein wassergekühltes System ersetzt. Das neue System senkt nicht nur den Energieaufwand, sondern ist auch ökologischer und sicherer.

Da das neue Kühlsystem leichter und kompakter ist, bleibt mehr Platz für zusätzliche Komponenten oder spätere Nachrüstungen. Um den Nachteil des reduzierten Fahrzeuggewichts hinsichtlich der Adhäsion (Schienenhaftung) auszugleichen, wird der Stromrichter zusätzlich ballastiert.

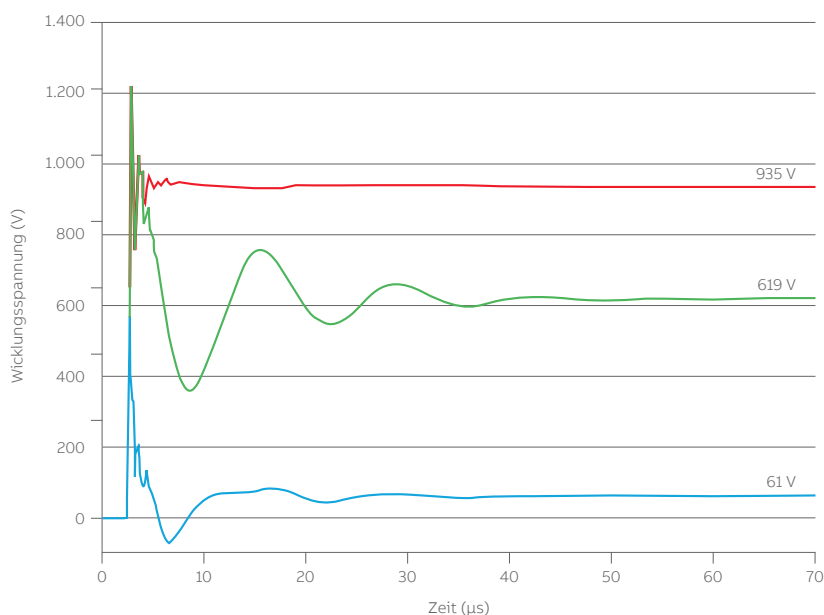


05

Leittechnik

Der neue Stromrichter arbeitet mit einem ABB-Leittechnikrechner vom Typ AC800 PEC, einer der leistungsstärksten Leittechnikplattformen auf dem Markt. Nach außen hin stellt er eine zu seinem Vorgänger identische MVB-Schnittstelle (Multifunctional Vehicle Bus) zur Verfügung. Auch die funktionalen Anpassungen sind minimal (eine der wenigen Änderungen ist die neue Logik zur bereits erwähnten Abtrennung einzelner Fahrmotoren).

Intern jedoch verfügt der PEC-Hauptrechner über eine hohe Leistungsfähigkeit, womit sich anspruchsvolle Regelverfahren im Hinblick auf das dynamische Verhalten der Fahrmotoren und die Energieeffizienz realisieren lassen. Die Software



06 — V_U : Am Motor anliegende Prüfspannung
 — V_{WM} : Gemessene Spannung über eine Motorwicklung
 — V_{coll} : Gemessene Spannung über der ersten Windung einer Wicklung

— Dieser Artikel ist in ähnlicher Form erstmalig erschienen in: eb – Elektrische Bahnen 114, Ausgabe 8–9 (2016), S. 485–489.

— **Weiterführende Literatur**
Pressemitteilung „ABB erhält Auftrag über CHF 69,2 Millionen zur Modernisierung von Lokomotiven der Schweizer Bundesbahnen SBB“. 23. September 2014.

Hepp, H.: „Eine maßgeschneiderte Lösung“. ABB Technik 2/2010, S. 60–65.

Isberg, J., Curtis M.: „Standardisierung des Traktionsmotors“. ABB Technik 2/2010, S. 66–69.

Moine, V., Hepp, H., Maciocia, S.: „Umfassen der Service“. ABB Technik 2/2010, S. 70–76.

Aktionsplan SBB 2015. www.energie.vorbild.admin.ch (abgerufen Januar 2017).

SBB Geschäftsbericht 2015

wurde mithilfe von MATLAB/Simulink® erstellt, was eine effiziente und intuitive Implementierung ermöglicht und zukünftige funktionale Anpassungen der Lokomotiven vereinfacht.

Erprobung

Zur Absicherung der Auslegung und Kompatibilität mit den bestehenden Komponenten wurden im ABB-Leistungslabor im Schweizerischen Turgi umfassende Tests und Messungen unter Nachbildung der realen Betriebsbedingungen durchgeführt

Der Komplettersatz der GTO-Antriebsumrichter durch neue IGBT-Stromrichter ist eine effiziente und wirtschaftliche Maßnahme zur Verlängerung der Lebensdauer dieser Lokomotiven.

Da die bestehenden Fahrmotoren für die ursprünglichen GTO-Stromrichter der Lokomotive entwickelt wurden, musste die Kompatibilität der neuen IGBT-Stromrichter mit diesen Motoren getestet werden →5. Ein kritischer Punkt ist die Verträglichkeit der neuen Ausgangsspannungen mit der alten Motorisolation. Da weiterhin ein Dreipunkt-Stromrichter eingesetzt wird, bleiben die grundsätzlichen Pulsmuster sehr ähnlich. Zusätzlich war zu

prüfen, ob durch die IGBT-Schaltspannungsflanken keine unzulässigen Überspannungen entstehen →6. Auch diese Verträglichkeit wurde bestätigt.

Die ersten beiden Stromrichter wurden im SBB-Werk in Yverdon-les-Bains erfolgreich in eine Re460 installiert. Die Lokomotive wird zurzeit ein Jahr lang auf dem SBB-Netz getestet. Bis zum Abschluss des Modernisierungsprogramms im Jahr 2022 sollen insgesamt 202 wassergekühlte IGBT-Stromrichter mit der Option auf 38 weitere Einheiten von ABB bereitgestellt und von den SBB installiert werden.

Bereit für die Zukunft

Die vor über 25 Jahren in Bahnantrieben eingeführte Drehstromstromtechnik zeichnet sich weiterhin durch Energieeffizienz und geringe Instandhaltungskosten aus. Wie die Re460 können viele Fahrzeuge von ihrer Grundkonzeption und ihrem mechanischem Zustand her mindestens weitere 20 Jahre betrieben werden. Probleme treten aber vermehrt an den veralteten Umrichtern auf, was zu reduzierter Verfügbarkeit, hohen Instandhaltungskosten und einer schwierigen Ersatzteilversorgung führt. Der Komplettersatz der GTO-Antriebsumrichter durch neue IGBT-basierte Stromrichter ist eine effiziente und wirtschaftliche Maßnahme zur Verlängerung der Lebensdauer dieser Lokomotiven. Die IGBT-Technologie bringt das System bezüglich Energieeffizienz, Kraftschlussregelung und Instandhaltungsfreundlichkeit auf den Stand von Neufahrzeugen. ●

Impressum

Editorial Board

Bazmi Husain
Chief Technology Officer
Group R&D and Technology

Adrienne Williams
Senior Sustainability
Advisor

Christoph Sieder
Head of Corporate
Communications

Reiner Schoenrock
Technology and Innovation
Communications

Ernst Scholtz
R&D Strategy Manager
Group R&D and Technology

Andreas Moglestue
Chief Editor, ABB Review
andreas.moglestue@ch.abb.com

Herausgeber

Die ABB Review wird herausgegeben von ABB Group R&D and Technology.

ABB Switzerland Ltd.
ABB Review
Segelhofstrasse 1K
CH-5405 Baden-Dättwil
Schweiz
abb.review@ch.abb.com

Die ABB Review erscheint viermal pro Jahr in Englisch, Französisch, Deutsch und Spanisch. Die ABB Review wird kostenlos an Personen abgegeben, die an der Technologie und den Zielsetzungen von ABB interessiert sind.

Wenn Sie an einem kostenlosen Abonnement interessiert sind, wenden Sie sich bitte an die nächste ABB-Vertretung, oder bestellen Sie die Zeitschrift online unter www.abb.com/abbreview.

Der auszugsweise Nachdruck von Beiträgen ist bei vollständiger Quellenangabe gestattet. Ungekürzte Nachdrucke erfordern die schriftliche Zustimmung des Herausgebers.

Herausgeber und Copyright © 2017 ABB Switzerland Ltd. Baden/Schweiz

Satz und Druck

Vorarlberger
Verlagsanstalt GmbH
6850 Dornbirn, Österreich

Layout
DAVILLA AG
Zürich/Schweiz

Übersetzung

Thore Speck,
Dipl.-Technikübersetzer
(FH)
24941 Flensburg,
Deutschland

Haftungsausschluss

Die in dieser Publikation enthaltenen Informationen geben die Sicht der Autoren wieder und dienen ausschließlich zu Informationszwecken. Die wiedergegebenen Informationen können nicht Grundlage für eine praktische Nutzung derselben sein, da in jedem Fall eine professionelle Beratung zu empfehlen ist. Wir weisen darauf hin, dass eine technische oder professionelle Beratung vorliegend nicht beabsichtigt ist.

Die Unternehmen der ABB-Gruppe übernehmen weder ausdrücklich noch stillschweigend eine Haftung oder Garantie für die Inhalte oder die Richtigkeit der in dieser Publikation enthaltenen Informationen.

ISSN: 1013-3119

<http://www.abb.com/abbreview>



Tablet-Ausgabe

Die ABB Review ist auch als Tablet-Version verfügbar.

Besuchen Sie abb.com/abbreviewapp

Blieben Sie auf dem Laufenden ...

Haben Sie eine ABB Review verpasst? Melden Sie sich unter abb.com/abbreview für unseren E-Mail-Benachrichtigungsservice an und verpassen Sie nie wieder eine Ausgabe.

Nach der Anmeldung erhalten Sie per E-Mail einen Bestätigungslink, über den Sie Ihre Anmeldung bestätigen müssen.

