

Bahnumrichteranlage für 16.7 Hz und DC Zwischenkreis

Leistungöltransformator 50 Hz

Leistungsstromrichter 16,7 Hz

4QS Umrichter

Projektierung Bahnumricheranlage

an der

Hochschule für Technik und Wirtschaft Berlin

Fachbereich II

Studiengang Elektrotechnik

Betreuer:

Eingereicht von: Milan Daniel Larsen

Matrikelnummer: 581929

Datum der Abgabe: 30.1.2022

Inhaltsverzeichnis

1	Allgemeine Projekt Beschreibung	1
2	Konzeptvergleich: Bahnumrichteranlagen	2
3	Drehstrom-Leistungstransformator 50 Hz	3
3.1	Allgemeine Merkmale	3
3.2	Bemessungsdaten:	4
4	Einphasen-Stromrichteröltrafo 16.7 Hz	6
4.1	Allgemeine Merkmale	6
4.2	Bemessungsdaten:	7
4.2.1	Kurzschlussspannung, Impedanzen	7
5	Anforderungen an 50Hz und 16,7 Hz-Transformatoren	9
6	Stromrichter	16
6.1	Allgemeine Merkmale	16
6.2	Bemessungsdaten Umrichter	17
6.3	Funktionsprüfung	17
7	Berechnungen	18
	Normen	A
A	Anhang	B
A.1	Anforderungen der DB AG	B
A.2	Harmonische von Umrichterspannungen und Umrichterströmen	D
A.2.1	Oberschwingungsamplituden der Drehstromseite	D
A.2.2	Oberschwingungsamplituden der Bahnnetzseite	E

A.3 CAD	H
-------------------	---

1 Allgemeine Projekt Beschreibung

In der folgenden Konzeptionierung wird eine Umrichteranlage an 110 kV, im 50 Hz Drehstrom Netz für das 110 kV, 16.7 Hz Bahnnetz ausgelegt. Die Einspeisung aus dem Drehstromnetz erfolgt über einen Netztrafo, dessen sekundäre Wicklungen jeweils mit Vierquadrantensteller (4QS) verknüpft sind.

Der Zwischenkreis verfügt über einen Widerstandssteller, Zwischenkreiskondensatoren und einem 33.3 Hz Saugkreisfilter. Die Einspeisung ins 110 kV Bahnnetz erfolgt über einen Bahntransformator mit jeweils vier Wicklungen auf der Primär- und Sekundärseite. Der Bahntransformator wird vom Zwischenkreis über jeweils einen 4QS pro Wicklung gespeist.

Für den Zwischenkreis ist zusätzlich ein Vorladungs- und Erdungssystem vorgesehen, das aus einem Gleichrichter, der aus dem 400 V Drehstromnetz gespeist wird, und einem Leistungsschalter gegen Erde besteht. Ein Übersichtsschaltplan der Anlage ist im Anhang hinterlegt.

2 Konzeptvergleich: Bahnumrichteranlagen

Für eine Umrichteranlage zur Versorgung des Bahnstromnetzes aus dem Drehstromnetz, können verschiedenen Konzepte zum Einsatz kommen. Im Folgendem sollen diese Konzepte aus technischer und kommerzieller Sicht verglichen werden.

Es soll hier auf zwei Prinzipien eingegangen werden:

Rotierender Umformer:

Bei rotierenden Umformern werden in der Regel auf der Drehstromseite eine Dreiphasen-Asynchronmaschine mit der dreifachen Polzahl gegenüber der Einphasen-Synchronmaschine auf der Bahnnetzseite verwendet.

Stationäre Umrichter:

Bei stationären Umrichtern kommt Halbleitertechnik zum Einsatz, um die benötigten Spannungen zu erzeugen. Bei indirekten Umrichtern wird, bei einem Energiefluss ins Bahnnetz, mit einer Gleichrichter-Zwischenkreis-Wechselrichter Topologie gearbeitet.

Vergleich der Konzepte:

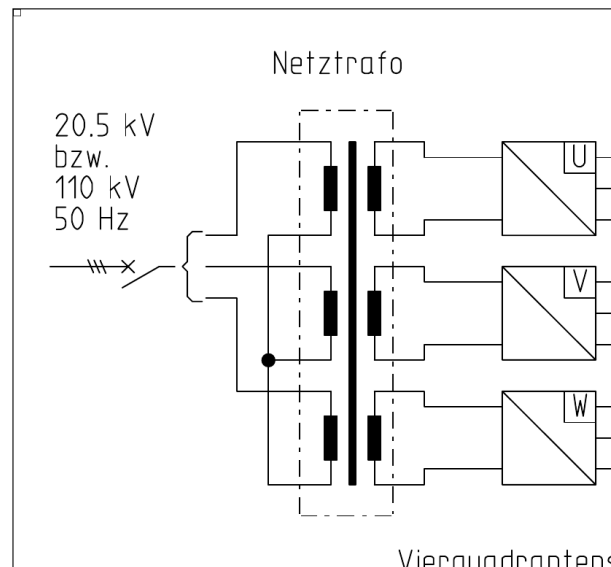
Rotierender Umformer	Stationäre Umrichter
<ul style="list-style-type: none"> • Komplexes bauliches Projekt (rotierende Massen) • Hoher Wartungsaufwand (bemannt) • Verfügbarkeit $\approx 93\%$ • Wirkungsgrad $\approx 92\%..95\%$ • Dynamik begrenzt (rotierende Massen) $\approx 10 \text{ MW s}^{-1}$ • Überlastbar (Netzstabilisierend) • 4-Facher Kurzschlussstrom 	<ul style="list-style-type: none"> • Einfacher Aufbau z.B. Container • Geringer Wartungsaufwand • Verfügbarkeit $\approx 98\%$ • Wirkungsgrad $\approx 97.5\%$ • Hohe Dynamik $< 500 \text{ MW s}^{-1}$ • Geringe Überlastbarkeit • 1.3-Facher Kurzschlussstrom

Der Stationäre Umrichter bietet gegenüber dem rotierenden Umformer viele technische sowie monetäre Vorteile. Besonders der wartungsarme Betrieb und der bessere Wirkungsgrad wirken sich auf die laufenden Kosten aus. Bei einem Unterschied von $\Delta\eta \approx 5\%$ und einer Nennleistung von $P = 17.5 \text{ MW}$ hat der rotierende Umformer einen zusätzlichen Verlust von $\Delta P = 875 \text{ kW}$. In einem Jahr Betrieb fallen damit $W = 7.665 \text{ GWh}$ zusätzliche Verlustleistung an.

3 Drehstrom-Leistungstransformator 50 Hz

Der Transformator soll für die Außenaufstellung ausgelegt werden und wird von 3 AC 50 Hz, 110 kV gespeist. Der Transformator soll ölgefüllt und selbstkühlend sein.

Schaltbild



3.1 Allgemeine Merkmale

Aufstellung	Freiluftaufstellung
Verschmutzung	Verschmutzungsgrad III (stark)
Aufstellungshöhe	< 1000 m üNN
Umgebungstemperatur	-30°C bis 40°C
Klimabedingungen	Normal
Dokumentationen	<ul style="list-style-type: none"> • Technische Zeichnungen und CAD • Montageplan, Wartungsplan, Dokumentationen • Prüfprotokoll der zu erfüllenden Prüfungen

Normen

- DIN VDE 0532-76-1: Leistungstransformatoren
- DIN EN 61378-1 Stromrichtertransformatoren - Teil 1: Transformatoren für industrielle Anwendungen
- DIN EN 60076-3 Leistungstransformatoren Teil 3: Isolationspegel, Spannungsprüfungen und äußere Abstände in Luft

3.2 Bemessungsdaten:

Schaltgruppe	OS	US
	Y(N)	i0i0i0
Nennleistung ohne Leistung der Filterwicklung	17.68 MVA	
Nennspannung OS (Klemmenspannung)	110 kV	
Max. Spannung OS (Klemmenspannung)	123 kV	
Nennspannung US (Klemmenspannung)	3536 V	
Nennstrom der US bei Nennspannung	1.667 kA	

Relative Kurzschlussspannungen:

- Bezugsgrößen:
bezogen auf Nennleistung bei 75°C; eine US Wicklung kurzgeschlossen; alle anderen Wicklungen offen; Speisung in OS Wicklung
- Werte
 $uk_{OS_iUS_i}$ (mit $i = 1...3$) = 20%(20.9%...23.1%); bezogen auf Nennleistung
 $uk_{US-US} > 22\%$ (für alle Paarungen)

Verluste

	Grundschwingung	Umrichterbetrieb (Zusatzverluste)
Leerlaufverluste bei Nennspannung	tbd. kW	<1% von der Grundschwingung
Kurzschlußverluste bei 75 °C	tbd. kW	<1% von der Grundschwingung

Stromwandler OS-Seite	3xtbd/1A; 15VA; 10P10
	3xtbd/1A; 15VA; 0,5 FS10

Stromwandler

Isolation (nach Prüfungsnorm in [1]):

	OS	US gegen Erde
max. Betriebsspannung	123 kV	7.2 kV
Nennstehwechselspannung	$U_1 = 185 \text{ kV}; U_2 = 230 \text{ kV}$	20 kV
Nennstehblitzspannung	$U_1 = 450 \text{ kV}; U_2 = 550 \text{ kV}$	$U_1 = 40 \text{ kV}; U_2 = 60 \text{ kV}$

Sternpunktausführung

Der Sternpunkt OS ist aus der Wicklung herauszuführen und eine spätere Verwendung vorzubereiten. Durchführung und Isolator sind nicht erforderlich, der Sternpunkt kann blind verflanscht werden.

Kapazitive Kopplung

Eine kapazitive Übertragung von Blitzüberspannungen von der OS-Wicklung auf die US-Wicklung ist zu vermeiden. Bisherige Transformatoren in Bahnkupplungen hatten zu diesem Zweck Schirmwicklungen.

Geräuschpegel

Aufstellungsort: Allgemeines Wohngebiet gemäß § 1 BImSchG $L_{p\max} = 40 \text{ dB}(A)$. Grenzwert darf im Fernfeld(5m) mit Messung nach DIN EN 60076-10 nicht überschritten werden.

4 Einphasen-Stromrichteröltrafo 16.7 Hz

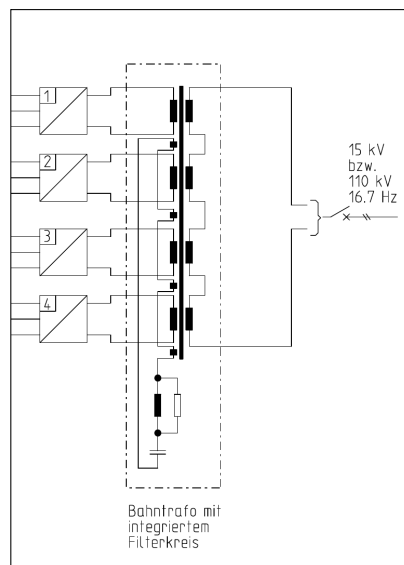
Der 16.7 Hz Transformator ist ein Summiertransformator und addiert die Teilspannungen der Umrichter auf die Bahnspannung 2 AC 110 kV. Der Transformator ist ölgefüllt, selbstkühlend und für die Aussenaufstellung ausgelegt.

4.1 Allgemeine Merkmale

Aufstellung	Freiluftaufstellung
Verschmutzung	Verschmutzungsgrad III (stark)
Aufstellungshöhe	< 1000 m üNN
Umgebungstemperatur	-30°C bis 40°C
Klimabedingungen	Normal
Dokumentationen	<ul style="list-style-type: none"> • Technische Zeichnungen und CAD • Montageplan, Wartungsplan, Dokumentationen • Prüfprotokoll der zu erfüllenden Prüfungen

Normen:

Schaltbild



Schaltgruppe	OS	US
		i0i0i0
Nennleistung ohne Leistung der Filterwicklung	20 MVA	
Leistung US Wicklung	4 · 5.125 MVA	
Nennfrequenz nach DIN EN 50163/A1 [2]	16.7 Hz – 6% + 4%	
Nennspannung der OS-Wicklung	110 kV	
Nennspannung einer US Wicklung bei 110 kV	4 · 3535 kV	
Nennstrom US-Wicklung bei Nennspannung	1414 A	
Filterwicklung (HW) Nennleistung	4.8 MVA	
Filterwicklung (HW) Nennspannung	6 kV	

4.2 Bemessungsdaten:

4.2.1 Kurzschlussspannung, Impedanzen

- 112 MVA; 110kV, beide US-Wicklungen kurzgeschlossen 75°C

OS-HW	$15 \pm 5 \% (14.225 \% \dots 15.75 \%)$
US-HW	9.4 %
US-HW	5.6 %

Verluste

	Grundschwingung	Umrichterbetrieb(Zusatzverluste)
Leerlaufverluste bei Nennspannung	tbd. kW	< 1 % von der Grundschwingung
Kurzschlussverluste bei 75°C	tbd. kW	< 1 % von der Grundschwingung

Isolation

Die Blitzstoß- so wie die angelegte Stehwechselspannungsprüfung (ACSD) muss als Stückprüfung nach DIN EN 60076-3[1] für alle Wicklungen des Transformators durchgeführt werden.

	OS	US	FW
max. Betriebsspannung Leiter gegen Erde	123 kV	17.5 kV	7.2 kV
Nennstehwechselspannung gegen Erde	$U_1 = 185 \text{ kV}; U_2 = 230 \text{ kV}$	38 kV	20 kV
Nennstehblitzspannung	$U_1 = 550 \text{ kV}$ $U_2 = 450 \text{ kV}$	$U_1 = 95 \text{ kV}$ $U_2 = 75 \text{ kV}$	$U_1 = 60 \text{ kV}$ $U_2 = 40 \text{ kV}$

Kapazitive Kopplung

Eine kapazitive Übertragung von Blitzüberspannungen von der OS-Wicklung auf die US-Wicklung ist zu vermeiden. Bisherige Transformatoren in Bahnkupplungen hatten zu diesem Zweck Schirmwicklungen.

Anschlüsse

		OS	US	FW
Anzahl der Durchführungen	Klemme	2	4x2	2
Art der Durchführung	Klemme	Porzellan	Porzellan	Porzellan

Anschlusskabel Filter in einem Klemmkasten; 1 Kabel á 50 mm² je Anschluss Filterwicklung

Stromwandler

5 Anforderungen an 50Hz und 16,7 Hz-Transformatoren

Allgemeine technische Anforderungen

Aufstellung	Freiluftaufstellung
Verschmutzung	Verschmutzungsgrad III (stark)
Aufstellungshöhe	< 1000 m üNN
Umgebungstemperatur	-30°C bis 40°C
Klimabedingungen	Normal gem. VDE 0532(IEC76-1) für Freiluftaufstellung
Dokumentationen	• Technische Zeichnungen und CAD
	• Montageplan, Wartungsplan, Dokumentationen
	• Prüfprotokoll der zu erfüllenden Prüfungen
maximale Kühlmitteltemperatur	40°C
mittl. Wicklungsübertemperatur	65 K bei Nennleistung
Übertemperatur Öl oben	60 K
Schalldruckpegel Mittelwert; in 1m Abstand; nach DIN 60551/45635 Teil 30; Nachweis nach VDE0532 Teil 7; IEC 551 mit Messung bei Leerlauf.	55dB(A) Tol.0 %
Schalldruckpegel Maximalwert (Einzelwert) ; in 1 m Abstand nach DIN 60551/45635 Teil 30 Nachweis nach VDE0532 Teil 7; IEC 551 mit Messung bei Leerlauf.	60dB(A) Tol.0 %
Betriebsart	Dauerbetrieb ;Stromrichterbetrieb
mittl. Wicklungsübertemperatur (Erfahrungswert, durch Hersteller festzulegen)	65 K
Übertemperatur Öl oben (Erfahrungswert, durch Hersteller festzulegen)	65 K

Kühlung

Kühlung: ONAN; ONAF vorbereitet (an den Kühlern wird eine Halterung vorgesehen, an der geeignete Lüfter installiert werden können; keine Leistungssteigerung)

Kühlungsvariante	Innerer Kühlkreislauf	Äußerer Kühlkreislauf
ONAN	natürliche Konvektion Öl (Oil Natural)	natürliche Konvektion Umgebungsluft und Wärmestrahlung der Oberfläche (Air Natural)
ONAF	natürliche Konvektion Öl (Oil Natural)	erzwungene Konvektion Umgebungsluft und Wärmestrahlung der Oberfläche (Air Forced)

Blechqualität

durch Hersteller festzulegen

Induktion

bei Nennleerlaufspannung: $B = 1.6 \text{ T}$

Sättigungskennlinie ist zu liefern

Halterungen für eine Traverse für die Kabel zum Umrichter

Am Transformatorkessel soll eine Traverse montiert werden, auf der die Kabel zum Umrichter verlegt werden.

Angaben zur Betriebsweisen

- Beide Transformatoren werden im gesamten Bereich $\cos(\phi) = 0.8 \dots -0.8$ betrieben. Die Transformatoren können sowohl mit gleichförmiger als auch mit stark wechselnder Last beaufschlagt werden (z.B. häufiges Anfahren und Bremsen von Schienenfahrzeugen).
- Die Transformatoren sind über Vakuum Schnellschalter mit dem 110kV 50 Hz bzw. 16,7 Hz Netz verbunden. Die Verbindung kann dabei sowohl über eine Freileitung als auch ein Kabel erfolgen. Im Normalfall werden die Transformatoren nur lastlos abgeschaltet. Schutzabschaltungen können unter Volllast vorkommen und dürfen nicht zu einer Beschädigung der Wicklungen führen.

- Transformator kann über Schnellschalter mit den angeschlossenen Lasten verbunden werden.
- Betriebsweise 16,7Hz 110kV Netz: Das Netz wird mit Resonanter Sternpunktterdung betrieben.
- Kurzschlüsse in den angeschlossenen Netzen können betrieblich vorkommen.

Kessel

- Vakuumfeste und öldichte Ausführung (mit Nachweis)
- Wandstärke Kessel : bitte angeben Erfahrungswert : mind. 8 mm
- Wandstärke Boden und Deckel : bitte angeben Erfahrungswert: mind. 10 mm
- Ausführung als Kasten mit Deckel
- Umsetzbares Fahrgestell mit 4 Einfachrollen (einzeln umsetzbar)
- Die Lage des Ausdehnungsgefäßes ist gem. den örtlichen Gegebenheiten abzustimmen.

Kesselzubehör

- Ölausdehnungsgefäß mit Luftentfeuchter, Ölstandsanzeiger, Absperr- und Entleerungshahn
- Anschlussschieber für eine Ölreinigungsanlage (NW 80)
- Ölablasshähne für Probeentnahme (oben, mittig, unten)
- Ölablassschieber NW 65
- Restölablass
- Ansatzstellen für hydraulische Hebeböcke in 420 mm Höhe der Ladefläche
- Zugösen für alle 4 Fahrtrichtungen
- Kranösen
- Erdungsschrauben
- Sicherheitseinrichtung für das Arbeiten auf dem Deckel

Ausführung Isolation zwischen Spurkranzrollen und Kessel

Die Spurkranzrollen sind zum Kessel hin isoliert anzubringen. Bei einer Messspannung von 1 kV muss der Widerstandswert mindestens 10 M Ω betragen. Die Isolierung ist über die gesamte Lebensdauer des Transformators zu gewährleisten.

Kabeltrassen

Sofern vorhanden sollen am Transformatorkessel Auflagerpunkte für die Kabeltrassen zum Umrichter vorgesehen werden. Auflagerpunkte sind Lieferumfang, Kabeltrassen sind nicht Lieferumfang

Fahrgestelle

Die Bodenfreiheit tragender Teile muss mind. 50 mm über SO liegen. Für die Spurkanzrollen wird eine Feststellvorrichtung bei Aufstellung auf dem Fundament vorgesehen. Korrosionsschutz nach DIN 55928 T 1 - 8.

Verzinkung

Siehe Anlage, Spezifikation der DB AG

Beschichtungsaufbau

Siehe Anlage, Spezifikation der DB AG

Überwachungseinrichtungen

- Buchholz-Zweischwimmerrelais für den Kessel mit Warnung und Auslösung 2x(Ö+S)
- Luftentfeuchter für den Kessel
- Wicklungstemperaturanzeige mit Meßumformer (4...20mA) mit Warnung und Auslösung 2x(Ö+S)
- Ölstandsmelder mit Min./Max.-Kontakt Ö+S
- Öltemperaturanzeige (4...20mA) und mit Auslösekontakt Ö+S
- Thermometertaschen an verschiedenen Stellen des Deckels
- Druckentlastungsventile mit Meldekontakt Ö+S
- Stromrelais für Kesselschutz und Meldekontakte 2x(Ö+S)

Kesselschutz / Erdung

Der Erdungsanschlusspunkt und der Kesselschutzwandler soll in unmittelbarer Nähe zum Klemmkasten angeordnet sein. Anlagenseitig wird das Erdungskabel durch den am Trafo montierten Wandler geführt und am Erdungspunkt angeschlossen.

Anschlusskasten

Die Verdrahtung der Schutz- und Überwachungsgeräte des Transformators muss geschützt verlegt und in einem spritzwassergeschützten Anschlusskasten IP54 eingeführt werden. Die Gerätebestückung sowie die Anschlussklemmleiste soll den Vorschriften der Deutschen Bahn entsprechen. Die Lage des Kastens ist abzustimmen. Isolierter Aufbau gegenüber dem Kessel. Ausführungsbeispiel Klemmkasten der DB siehe Anhang.

Isolieröl

Alterungsbeständiges Neuöl, mindestens entsprechend VDE 0370. Das verwendete Öl darf beim Alterungstest nach Baader, DIN 51 554, abgewandelt (110°C, Luft, Cu, 28d) folgende Grenzwerte nicht überschreiten: Das Trafoöl muss PCB und Chlorfrei sein. Das zugehörige EG-Sicherheitsdatenblatt ist beizulegen.

Typ: SHELL-Diala-DX (bevorzugt) oder Nytro Lyra X

Lebensdauer

Die deutsche Bahn erwartet für alle Komponenten der Umrichteranlage eine Lebensdauer von >20 Jahren. Angaben zur lastabhängigen Lebensdauer des Transformators sind zu machen.

Schallschutz

Zusatzmaßnahmen zum Schallschutz (z.B. Gummieinlagen, Schenkel lackieren) sind einzubringen

Normen

Ausführung und Prüfung des Transformators nach DIN VDE 0532 /IEC76

Prüfungen gemäß DIN VDE 0532- 76-1/ IEC 76

Prüfungen sind bei Umgebungstemperaturen zwischen 10 °C und 40 °C durchzuführen sowie bei einer Temperatur des Kühlwassers (falls erforderlich), die $\leq 25^{\circ}\text{C}$.

Die Prüfungen sind im Herstellerwerk vorzunehmen, falls nicht anders zwischen Hersteller und Abnehmer vereinbart.

Alle äußeren Bestand- und Zubehörteile, die das Verhalten des Transformators bei der Prüfung beeinflussen können, sind anzubauen.

Für alle Eigenschaften außer der Isolation bilden die Bemessungswerte die Grundlage, wenn nicht die betreffende Prüfvorschrift anderes festlegt.

Sämtliche bei den Prüfungen verwendeten Messeinrichtungen müssen eine bescheinigte, nachprüfbare Genauigkeit haben und einer regelmäßigen Kalibrierung unterliegen, entsprechend den Regeln nach ISO 9001, 4.11.[3]

Stückprüfungen

- Messung des Wicklungswiderstands
- Messung der Übersetzung und Nachweis der Phasendrehung
- Messung der Kurzschlussimpedanz und der Kurzschlussverluste
- Messung der Leerlaufverluste und des Leerlaufstroms
- Spannungsprüfungen (IEC 60076-3)
 - Blitzstoßspannung
 - Angelegte Stehwechselspannung (ACSD)
 - Kurzeit-Wechselspannung (ACSD)
- Prüfungen an Stufenschaltern, falls vorhanden

Typprüfungen

- Erwärmungsprüfung (IEC 60076-2)

Sonderprüfungen

- Spannungsprüfungen (IEC 60076-3)
 - Langzeit-Wechselspannung (ACLD)
- Bestimmung der Kapazitäten der Wicklungen gegen Erde und zwischen den Wicklungen
- Bestimmung des Übertragungsverhaltens von transienten Spannungen
- Messung der Nullimpedanz(en) von Drehstromtransformatoren
- Nachweis der Kurzschlussfestigkeit
- Bestimmung der Geräuschpegel
- Messung der Oberschwingungen des Leerlaufstroms
- Messung des Isolationswiderstands der Wicklungen gegen Erde und/oder Messung des Verlustfaktors ($\tan \theta$) der Kapazitäten des Isoliersystems

Dokumentation

Sprache: deutsch

zweifache Ausführung in Ordnern

zweifache Ausführung elektronisch (CD-ROM)

Umfang:

- technische Daten
- Prüfnachweise
- Inbetriebnahmeanweisung
- Wartungsanweisung
- Montageanleitung
- Beschreibung inklusive Zeichnungen und Stromlaufplan

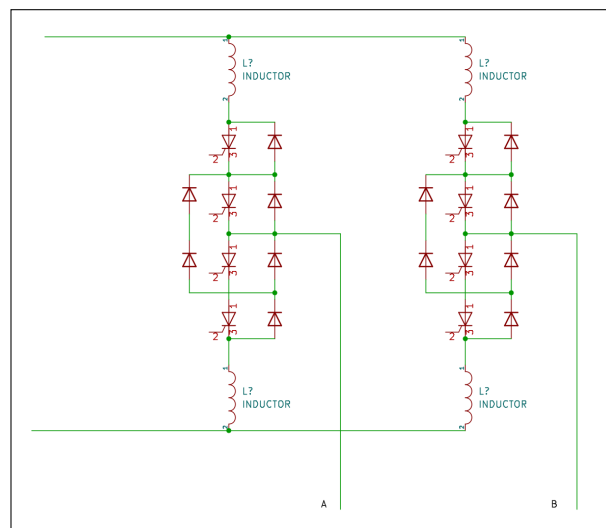
6 Stromrichter

Die Leistungselektronik wird in einem mobilen Container, der für die Außenaufstellung ausgelegt wird untergebracht und verbindet die beiden Transformatoren. Die Zwischenkreiskomponenten wie die Drosseln, Kondensatoren und Widerstände werden ebenfalls außen aufgestellt und mit dem Container verbunden.

6.1 Allgemeine Merkmale

Aufstellung	Container(Innenraum)
Verschmutzung	Verschmutzungsgrad II (normal)
Aufstellungshöhe	< 1000 m üNN
Umgebungstemperatur	-30°C bis 40°C
Klimabedingungen	Normal
Dokumentationen	<ul style="list-style-type: none"> • Technische Zeichnungen und CAD • Montageplan, Wartungsplan, Dokumentationen • Prüfprotokoll der zu erfüllenden Prüfungen

Schaltbild



Nennleistung	5 MVA
Nenningangsspannung DC	5000 V
Nennausgangsspannung AC (RMS)	3535 V
Nennfrequenz AC-Seite	16.7 Hz
Wirkungsgrad	> 95%
max. Strombelastung Halbleiter	1714 A
max. Spannungsbelastung Halbleiter	2500 V

6.2 Bemessungsdaten Umrichter

Kühlung

Die Wechselrichter werden über ein autake Wasserkühlung gekühlht. Pumpen befördern das Kühlwasser von den Halbleitern zum Wärmetauscher. Über diesen Wärmetauscher werden die Verluste des Wechselrichters an die Umgebung abgegeben.

6.3 Funktionsprüfung

- Spannungsprüfungen nach Isolationskoordinaten
-

7 Berechnungen

Nennleistung ohne Leistung der Filterwicklung:

$$S_N = \frac{P_N}{\cos\Phi_{\max}} = \frac{16 \text{ MW}}{0.8} = 20 \text{ MVA} \quad (1)$$

Normen

- [1] DIN EN 60076-3 VDE 0532-76-3:2019-03, *Leistungstransformatoren: Teil 3: Isolationspegel, Spannungsprüfungen und äußere Abstände in Luft*.
- [2] Deutsches Institut für Normungen e.V., *Bahnanwendungen: Speisespannungen von Bahnnetzen*, 2008-02.
- [3] DIN EN 60076-1, *Leistungstransformatoren: Teil 1: Allgemeines*.

A Anhang

A.1 Anforderungen der DB AG

Anforderungen an die Transformatoren aus der Technischen Spezifikation der Frequenzrichter der DB AG vom 07.05.2009: "5.9 Transformatoren und Trafowannen"

Korrosionsschutz (Anstrich)

Zur Gewährleistung der Mindestlebenserwartung von 30 Jahren ist eine Oberflächenbehandlung von Kessel, Ausdehnungsgefäß, Radiatoren und Rohrleitungen notwendig. Die Anstriche sind nach TL 918 300, Bl. 87 auszuführen. Korrosionsbeständige Bauteile sind ebenfalls in die Oberflächenbehandlung mit einzubeziehen (Grund- / Haftbeschichtung und die beiden Deckanstriche). Feuerverzinkte Bauteile sind besonders sorgfältig zu behandeln. Die Verwendung von alternativen Farbherstellern oder das Aufbringen von Wasserlacken ist mit der DB Energie abzustimmen.

Oberflächenbehandlung von Kessel, Ausdehnungsgefäß, Radiatoren und Rohrleitungen

Die Komponenten sind mit einer Spritzverzinkung in der Mindestschichtdicke von 100 µm, nach DIN-VDE 55 928 Teil 5 oder mit einer Epoxyd-Zinkstaubfarbe, DB Mat.-Nr. 687.03, mit einer abschließenden Mindestdrockenschichtdicke von 80 µm, zu behandeln. Nach dem metallischen Überzug ist eine Grund- / Haftbeschichtung aufzutragen.

Erste Deckbeschichtung

Die erste Deckbeschichtung ist mit Epoxyd-Eisenglimmer Anstrich in der Farbe grau, Farbton DB 702, Mat.-Nr. 687.12, auszuführen. Die Mindestdrockenschichtdicke beträgt 80 µm.

Zweite Deckbeschichtung

Die zweite Deckbeschichtung ist mit PUR-Eisenglimmer Anstrich in der Farbe grün, Farbton DB 601, Mat.-Nr. 687.61, auszuführen. Die Mindesttrockenschichtdicke beträgt 80 µm.

Dichtigkeit

Für die Öldichtigkeit beträgt die Verjährungsfrist für Sachmängel 5 Jahre nach Inbetriebnahme. Desgleichen beträgt die Verjährungsfrist für Sachmängel 5 Jahre für den aufgetragenen Korrosionsschutz

Beschilderung

Die Beschilderung der Armaturen hat entsprechend DIN 42513 "Bauteilkennzeichnung für Transformatoren und Drosselspulen" zu erfolgen. Es sind alterungsbeständige Kennzeichnungsschilder zu verwenden.

Alterungsbeständigkeit

Alle eingesetzten Kunststoffe müssen UV-, alterungs- und wetterbeständig ausgeführt sein. Dies gilt insbesondere für eingesetzte Kabel, Kabelbinder und angebrachte Kennzeichnungsschilder.

Überspannungsschutz

Für den Überspannungsschutz der Umrichtertrafos und -komponenten sind auf der 50-Hz- und 16,7-Hz-Seite Metalloxid-Überspannungsableiter vorzusehen. Sollten diese aus Sicht des Herstellers nicht notwendig sein, ist dies schriftlich gegenüber dem Auftraggeber zu begründen (Siehe auch 7.3).

Absturzsicherung

Für alle Bauteile (Trafos, Container, etc.) ist eine Absturzsicherung mitzuliefern. Die Bestimmungen des Arbeitsschutzes sind einzuhalten.

Luftabschluss

Alle Transformatoren sind mit Luftabschlusssystemen (Luftsack, Ausdehnung über Radiatoren) zu versehen.

Transformator - Ölauffangwanne

Ausführung gemäß den gelten Gesetzen (z. B. Wasserhaushaltsgesetz) als Fertigwannen. Transformatorenfundament aus werksmäßig hergestellten Fertigelementen aus Stahlbeton gem. DIN 1045 C35/45 FD mit den Expositionsklassen XC4, XF3, XA2, Dichtigkeitsnachweis gem. DafStb-Richtlinie "Betonbau beim Umgang mit Wassergefährdenden Stoffen", monolithisch hergestellt, Boden und Umfassungswände fugenlos aus einem Guss. Die Auffangwannen erfüllen die Anforderungen des Wasserhaushaltsgesetzes (WHG) §19."

A.2 Harmonische von Umrichterspannungen und Umrichterströmen

A.2.1 Oberschwingungsamplituden der Drehstromseite

Unten werden die maximalen Oberschwingungsamplituden b_k der Spannung angegeben, die vom Umrichter an den umrichterseitigen Wicklungssystemen des Drehstromtransformators eingeprägt werden. Der zugehörige Zeitverlauf ergibt sich aus:

$$u_k(t) = b_k \sin(k \cdot \Omega t)$$

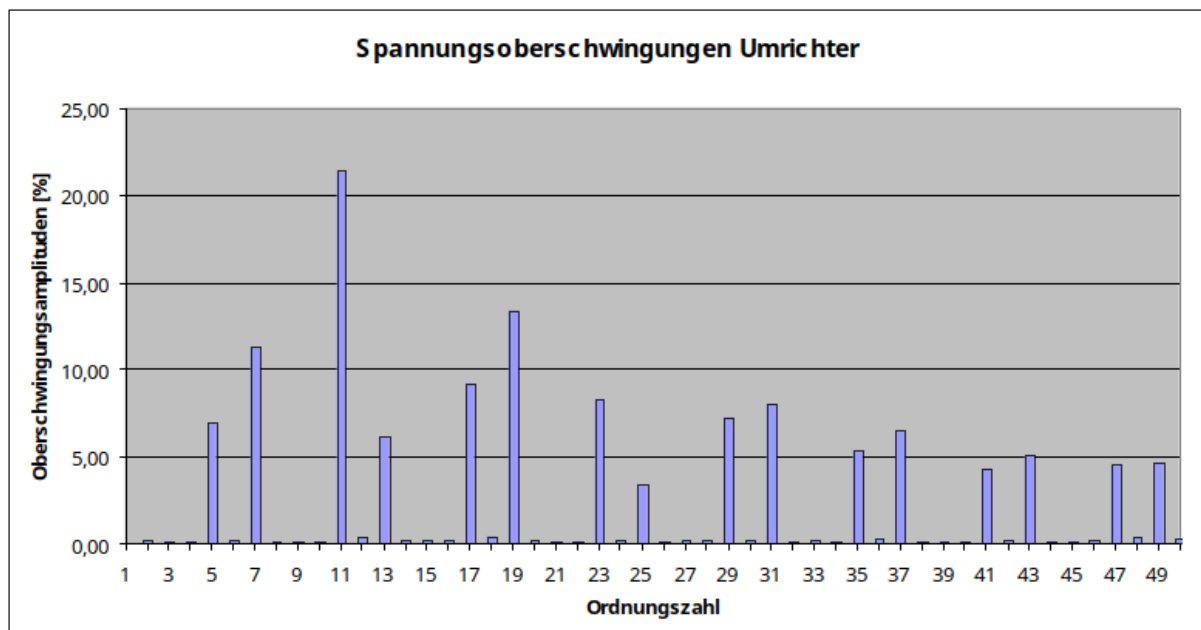


Abbildung 1: Maximale Oberschwingungsamplituden der Umrichterspannung der Drehstromseite über den Aussteuerungsbereich von 0,9 ... 1,1 (100% entsprechen 3062V verkettet effektiv)

A.2.2 Oberschwingungsamplituden der Bahnnetzseite

Die an den umrichterseitigen Wicklungen des Bahnnetztrafos anliegenden Spannungsüberschwingungen sind im nächsten Bild dargestellt. Weiterhin sind die Spannungsüberschwingungen der mittleren Spannung der beiden umrichterseitigen Wicklungen dargestellt. Die Spannungen an den beiden Wicklungen sind zueinander so versetzt, dass sich viele Oberschwingungen in der Summenspannung reduzieren oder auslöschen. Dieser Mittelwert ist die wirksame Gesamtspannung.

Tabelle 1: Der Gesamt-THD beträgt etwa 29 % je Wicklung. Die Spannungsamplituden sind zusätzlich als verkettete Effektivwerte angegeben.

Ordnungszahl	Oberschwingungsamplitude [%]	Oberschwingungsamplitude [V]
5	6.98	213.72
7	11.30	345.99
11	21.38	654.63
13	6.15	188.30
17	9.22	282.30
19	13.40	410.29
23	8.28	253.52
25	3.39	103.80
29	7.27	222.60
31	8.01	245.26
35	5.37	164.42
37	6.48	198.41
41	4.33	132.58
43	5.06	154.93
47	4.50	137.78
49	4.64	142.07
Ordnungszahl	Oberschwingungsamplitude [%]	Oberschwingungsamplitude [V]
3	31.67	1119.76
9	36.02	1273.60
15	15.15	535.67
21	13.43	474.85
27	8.80	311.17
33	9.02	318.75
39	5.40	190.97
45	5.30	187.27

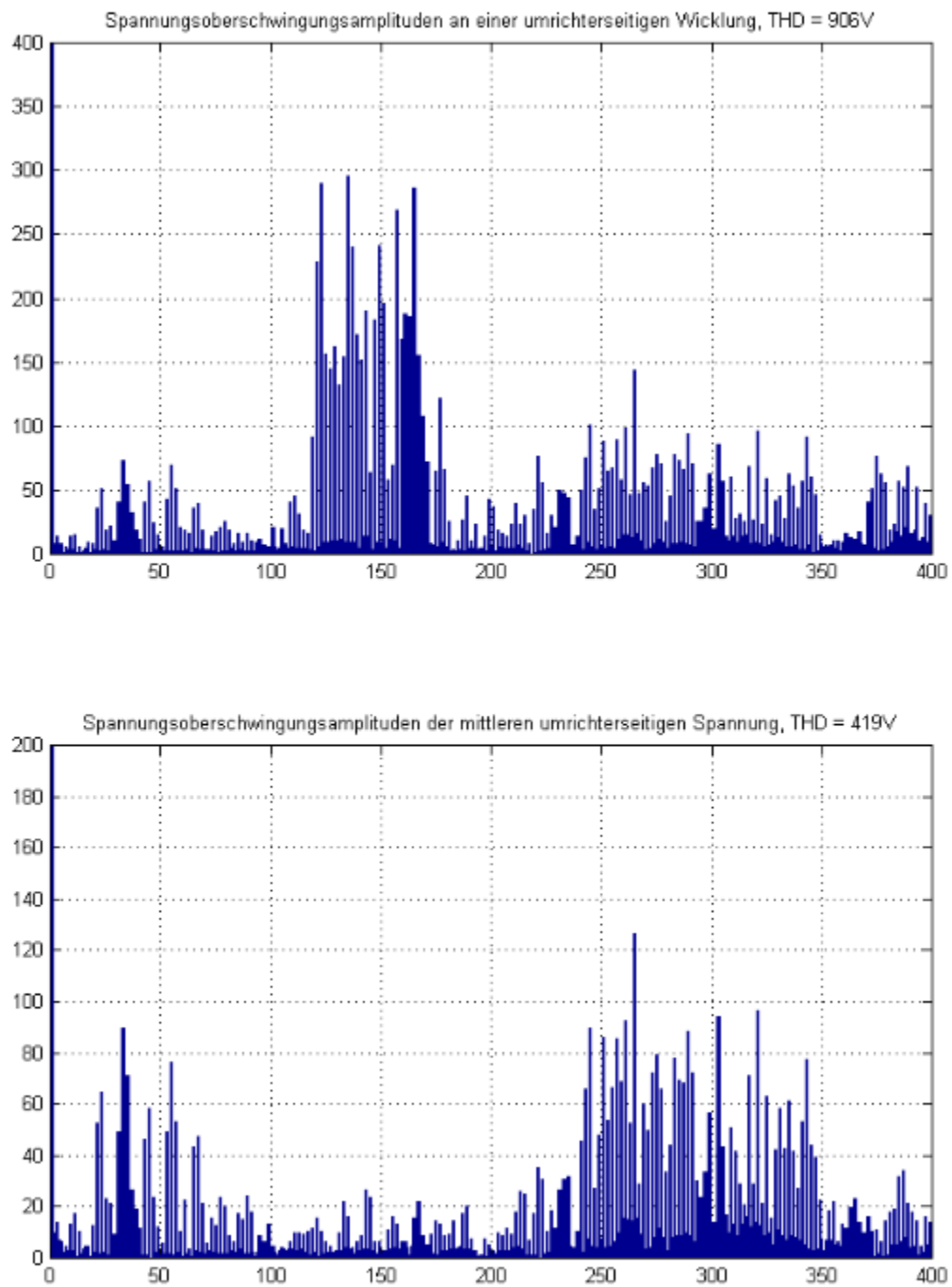


Abbildung 2: Oberschwingungsspektrum der Umrichterspannung der Bahnnetzseite an einer umrichterseitigen Wicklung und mittlere Gesamtspannung der beiden Wicklung

A.3 CAD



Projekt: Bahnumrichter

Kunde: HTW Berlin FB1
Wilhelminenhofstr. 75A
12459 Berlin

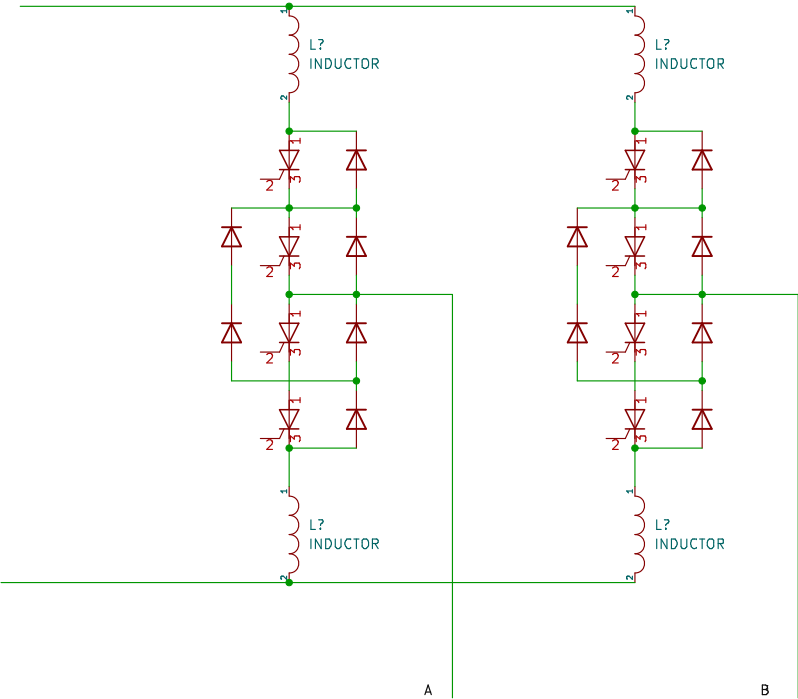
Schutzvermerk nach DIN ISO 16016 beachten!

vorherige Seite:							Kunde		Projektbeschreibung		Blattbeschreibung		nächste Seite:		
Zustand	Änderung	Datum	Name	Projekt	Datum	Name	HTW Berlin FB1		Bahnumrichter		Deckblatt		Proj.-Nr.:		Anlage:
			Zielstor	Bearb.	18/06/2022	Zielstor	fWilhelminenhofstr. 75A						Bahnumrichter		Ort:
				Gepr.			12459 Berlin						Standort	Zeichng.-Nr.:	Blatt: 1
				Norm			Urspr.		Ers.f		Ers.d				von 1

0												1												2												3												4												5												6												7												8												9																																																																																																																																			
A												Inhaltsverzeichnis												A																																																																																																																																																																																																																							
Anlage (=)												Seite												Dokumentart												Beschreibung												Index												Rev. Datum												A																																																																																																																																																																							
												1												Deckblatt												Deckblatt																																																																																																																																																																																																											
												2												Inhaltsverzeichnis												Inhaltsverzeichnis																								18/06/2022																																																																																																																																																																																			
												3												Stromlaufplan												Uebersichtsschaltbild																																																																																																																																																																																																											
												4												Bauteilliste												Bauteilliste																																																																																																																																																																																																											
												5												Bauteilliste												Bauteilliste																																																																																																																																																																																																											
B																																																																								B																																																																																																																																																																							
C																																																																								C																																																																																																																																																																							
D																																																																								D																																																																																																																																																																							
E																																																																								E																																																																																																																																																																							
F												vorherige Seite:												Kunde												Projektbeschreibung												Blattbeschreibung												n_ chste Seite:												F																																																																																																																																																																							
												Zustand												Änderung												Datum												Name												Projekt												Datum												Name												HTW Berlin FB1												Bahnnummer												Inhaltsverzeichnis												Proj.-Nr.:												Anlage:																																																																																															
																																																																								Bearb.												18/06/2022												Zielsetzung												fWilhelminenhofstr. 75A																																				Bahnnummer												Ort:																																																																																			
																																																																																																												Gepr.																																				12459												Berlin																																				Standort												Zeichng.-Nr.:												Blatt:												1											
																																																																																																																																																																																																von												1																																			
												0												1												2												3												4												5												6												7												8												9																																																																																																																							

		0		1		2		3		4		5		6		7		8		9			
A		Bauteilliste																				A	
		Dokumentart		Anlage (=)		Ort (+)		Bauteilname (-)		Typ		Beschreibung / Funktion				Hersteller		Blatt / Index		Pfad			
B		Stromlaufplan						R1										2		1		B	
		Stromlaufplan						R2										2		1			
		Stromlaufplan						R3										2		1			
		Stromlaufplan						Q1										2		1			
C		Stromlaufplan						4QS3										2		2		C	
		Stromlaufplan						R4										2		2			
		Stromlaufplan						R5										2		2			
		Stromlaufplan						R6										2		2			
D		Stromlaufplan						4QS1										2		2		D	
		Stromlaufplan						4GS2										2		2			
		Stromlaufplan						S5										2		3			
		Stromlaufplan						R10										2		3			
E		Stromlaufplan						R9										2		3		E	
		Stromlaufplan						R8										2		3			
		Stromlaufplan						S6										2		3			
		Stromlaufplan						R7										2		3			
F		Stromlaufplan						S4										2		3		F	
		Stromlaufplan						C1										2		4			
		Stromlaufplan						C2										2		4			
		Stromlaufplan						Q2										2		4			
G		Stromlaufplan						W1										2		4		G	
		Stromlaufplan						R12										2		5			
		Stromlaufplan						R11										2		5			
		Stromlaufplan						C3										2		5			
H		Stromlaufplan						C4										2		5		H	
		Stromlaufplan						QS7										2		6			
		Stromlaufplan						4QS4										2		6			
		Stromlaufplan						QS5										2		6			
I		Stromlaufplan						QS6										2		6		I	
J																						J	
K																						K	
L																						L	
M																						M	
N																						N	
O																						O	
P																						P	
Q																						Q	
R																						R	
S																						S	
T																						T	
U																						U	
V																						V	
W																						W	
X																						X	
Y																						Y	
Z																						Z	
AA																						AA	
AB																						AB	
AC																						AC	
AD																						AD	
AE																						AE	
AF																						AF	
AG																						AG	
AH																						AH	
AI																						AI	
AJ																						AJ	
AK																						AK	
AL																						AL	
AM																						AM	
AN																						AN	
AO																						AO	
AP																							

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9						
A	Bauteilliste											A				
	Dokumentart	Anlage (=)	Ort (+)	Bauteilname (-)	Typ	Beschreibung / Funktion	Hersteller	Blatt / Index	Pfad							
	Stromlaufplan			R22				2	7							
	Stromlaufplan			C5				2	7							
	Stromlaufplan			R23				2	7							
	Stromlaufplan			R27				2	7							
	Stromlaufplan			R21				2	7							
	Stromlaufplan			R29				2	7							
	Stromlaufplan			R16				2	7							
	Stromlaufplan			R28				2	7							
	Stromlaufplan			R20				2	7							
	Stromlaufplan			R19				2	7							
	Stromlaufplan			R17				2	7							
	Stromlaufplan			R15				2	7							
	Stromlaufplan			R14				2	7							
B	Stromlaufplan			R13				2	7							
	Stromlaufplan			R18				2	7							
	Stromlaufplan			Q3				2	8							
	C															
D																
	E															
F		vorherige Seite: 4											F			
	Zustand		Änderung		Datum	Name	Projekt	Datum	Name	Kunde	Projektbeschreibung	Blattbeschreibung		nächste Seite:		
							Bearb.	18/06/2022	Zielort	HTW Berlin FB1	Bahnnumrichter	Bauteilliste		Proj.-Nr.:	Anlage:	
							Gepr.			12459 Berlin				Bahnnumrichter	Ort:	
							Norm			Urspr.	Ers.f	Ers.d		Standort	Zeichng.-Nr.:	Blatt: 5
																von 2
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9					



Sheet: /
File: umrichter.kicad_sch

Title:

Size: A4
KiCad E.D.A. kicad (6.0.6)

Date:

Rev:

Id: 1/1