

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: Prof. Dr. S. Krämer

Eingereicht von: Sascha Schiebler 569314

Aaron Zielstorff 567183

Sebastian Richter 572906

Milan Daniel Larsen 581929

Datum der Abgabe: 30.06.2022

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 | 7 |
| 4.1 | Allgemeine Merkmale | 7 |
| 4.2 | Bemessungsdaten: | 9 |
| 5 | Anforderungen an 50Hz und 16,7 Hz-Transformatoren | 12 |
| 5.1 | Allgemeine technische Anforderungen | 12 |
| 5.2 | Funktionsprüfungen | 17 |
| 6 | Stromrichter | 19 |
| 6.1 | Allgemeine Merkmale | 19 |
| 6.2 | Bemessungsdaten Umrichter 16.7 Hz | 21 |
| 6.3 | Bemessungsdaten Umrichter 50 Hz als Gleichrichter | 21 |
| 6.4 | Funktionsprüfung | 21 |
| | Normative Verweise | 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.

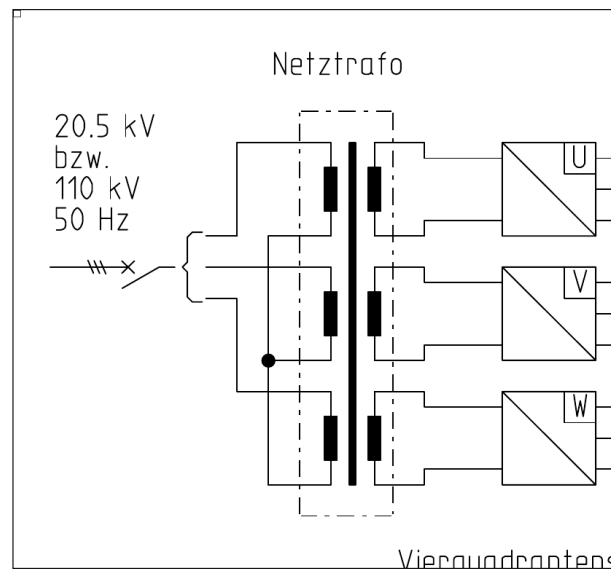
3.1 Allgemeine Merkmale

| | |
|---------------------|--|
| 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[1]
- DIN EN 60076-3 Leistungstransformatoren Teil 3: Isolationspegel, Spannungsprüfungen und äußere Abstände in Luft [2]
- DIN 60076-4 Leistungstransformatoren Teil 4: Leitfaden zur Blitz- und Schaltstoßspannungsprüfung von Leistungs- transformatoren und Drosselspulen[3]
- DIN 60076-10 Leistungstransformatoren Teil 10: Bestimmung der Geräuschpegel[4]
- DIN EN 60071-1 Isolationskoordination Teil 1: Begriffe, Grundsätze und Anforderungen[5]

Schaltbild



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

| | |
|---------------------------|--------------------------|
| Stromwandler OS-Seite | 3xtbd/1A; 15VA; 10P10 |
| | 3xtbd/1A; 15VA; 0,5 FS10 |
| Stromwandler US-Seite | 3x tbd/1A;15VA;10P10 |
| Stromwandler Kesselschutz | 1x 100/1A;3VA;5P20 |

Durchführungen

| | |
|----|--|
| OS | 3 (+1 optional Sternpunkt herausführbar) |
| US | 3x2 |

Isolation (nach Prüfungsnorm in [2]):

| | 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 $L_{\text{pmax}} = 40 \text{ dB}(A)$. 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 ölfüllt, selbstkühlend und für die Aussenaufstellung ausgelegt.

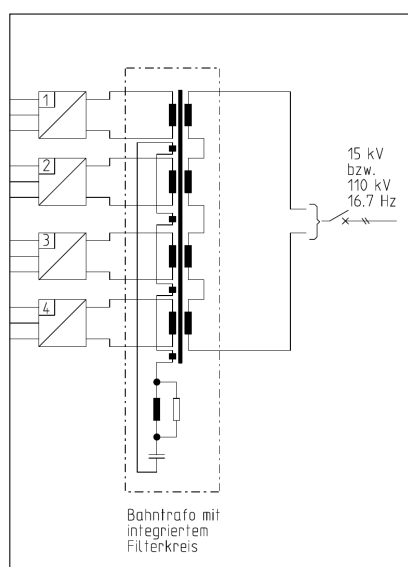
4.1 Allgemeine Merkmale

| | |
|---------------------|--|
| 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

- DIN VDE 0532-76-1: Leistungstransformatoren[1]
- DIN EN 61378-1 Stromrichtertransformatoren - Teil 1: Transformatoren für industrielle Anwendungen [6]
- DIN EN 60076-3 Leistungstransformatoren Teil 3: Isolationspegel, Spannungsprüfungen und äußere Abstände in Luft [2]
- DIN 60076-4 Leistungstransformatoren Teil 4: Leitfaden zur Blitz- und Schaltstoßspannungsprüfung von Leistungs- transformatoren und Drosselspulen[3]
- DIN 60076-10 Leistungstransformatoren Teil 10: Bestimmung der Geräuschpegel[4]
- DIN EN 60071-1 Isolationskoordination Teil 1: Begriffe, Grundsätze und Anforderungen[5]

Schaltbild



4.2 Bemessungsdaten:

| Schaltgruppe | OS | US |
|---|-------------------|--------|
| | | i0i0i0 |
| Nennleistung ohne Leistung der Filterwicklung | 20 MVA | |
| Leistung US Wicklung | 4 · 5.125 MVA | |
| Nennfrequenz nach DIN EN 50163/A1 [7] | 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 | |

Kurzschlussspannung, Impedanzen

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

| | |
|-------|-------------------------------|
| OS-HW | 15 ± 5 % (14.225 %...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[2] 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

| | |
|-------------------------------|---------------------|
| 4 Stromwandler sekundärseitig | tbd/1A;15VA; 10P10 |
| 1 Stromwandler Filterseitig | tbd/1A; 15VA; 10P10 |
| 1 Stromwandler primärseitig | tbd/1A; 15VA; 10P10 |
| 1 Stromwandler Kesselschutz | tbd/1A; 3VA; 5P20 |

Kessel

Ausführung: Kasten, Deckel

Umsetzbares Fahrgestell mit 4 Einfachrollen (einzeln umsetzbar)

- Spurweite für Längsfahrt[mm] : tbd.

- Spurweite für Querfahrt[mm]: tbd.

Kühlanlage und Ausdehnungsgefäß (über Deckelbereich) am Transformator angebaut. Sicherheitseinrichtung für das Arbeiten auf dem Deckel.

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

5.1 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 VDE0532Teil 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 VDE0532Teil 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 Vollast 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

5.2 Funktionsprüfungen

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 Zubehöerteile, 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.[1]

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 |

Halbleiter IGBT 4,5kV 4kA

- Leistungshalbleiter im Presspack
- Ansteuerung über LWL
- Mit Treiberstufe
- Pulsfrequenz : 150 Hz
- 6 Schaltwinkel für Pulsmusteroptimierung
- Freilaufdioden für Entlastung der Halbleiter

Kühlung

Die Wechselrichter werden über ein autake Wasserkühlung gekühlt. Pumpen befördern das Wasser-Glykol-Gemisch von den Halbleitern zum Wärmetauscher. Über diesen Wärmetauscher werden die Verluste des Wechselrichters an die Umgebung abgegeben. Für die Konvektion durch den Wärmetasucher werden drehzahlvariable Ventilatoren vorgesehen.

Schaltbild

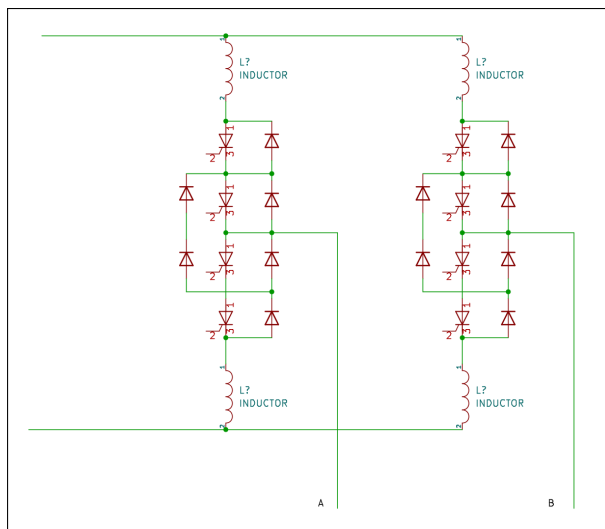


Abbildung 1: 3-Level 4QS

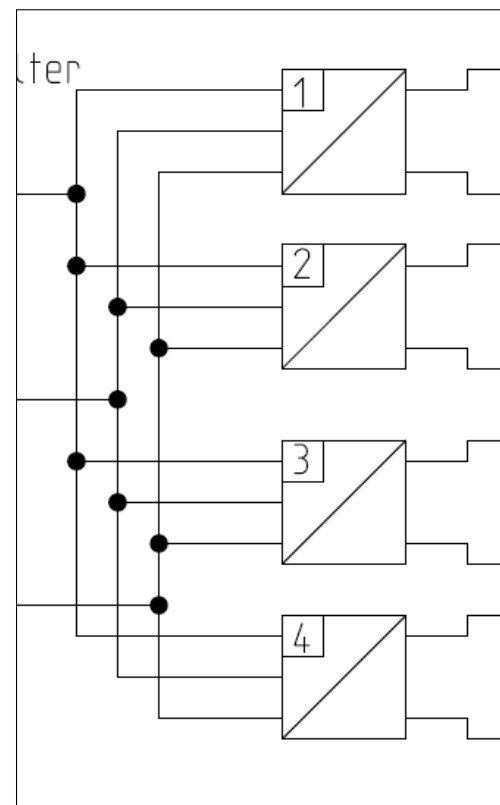


Abbildung 2: Anschluss der Umrichter an Zwischenkreis und Summiertrafo

6.2 Bemessungsdaten Umrichter 16.7 Hz

Tabelle 1: Umrichter 16.7 Hz

| | |
|--|----------------------|
| Nennscheinleistung pro Umrichter | 5 MVA |
| Nennwirkleistung pro Umrichter | 4 MW |
| Nenneingangsspannung DC | 5000 V |
| Nennausgangsspannung AC (RMS) | 3535 V |
| Nennfrequenz AC-Seite | 16.7 Hz – 6% + 4%[7] |
| Wirkungsgrad | > 95% |
| Nennstrom DC pro Umrichter | 1.4 kA |
| max. Strombelastung Halbleiter (WS Seitig) | 1714 A |
| max. Spannungsbelastung Halbleiter (WS Seitig) | 1767 V |
| Sicherheitsfaktor f_I | 1.65 |
| Sicherheitsfaktor f_u | 1.8 |

6.3 Bemessungsdaten Umrichter 50 Hz als Gleichrichter

Tabelle 2: Umrichter 50 Hz

| | |
|--|----------|
| Nennwirkleistung pro Umrichter | 5.8 MW |
| Nenneingangsspannung AC | 3537 V |
| Nennausgangsspannung DC | 5000 V |
| Nennfrequenz AC-Seite | 50 Hz |
| Wirkungsgrad | > 95% |
| Nennstrom DC pro Umrichter | 1.667 kA |
| max. Strombelastung Halbleiter (WS Seitig) | 1714 A |
| max. Spannungsbelastung Halbleiter (WS Seitig) | 1767 V |
| Sicherheitsfaktor f_I | 1.65 |
| Sicherheitsfaktor f_u | 1.8 |

6.4 Funktionsprüfung

Typprüfung

- Sichtprüfung
- Überprüfung von Hilfsgeräten
- Isolationsprüfung

- Überprüfung von Schutzeinrichtungen
- Schwachlast- und Funktionsprüfung
- Prüfung der Bemessungs-Ausgangsleistung
- Überstromprüfung
- Erwärmungsprüfung
- Bestimmung der Verlustleistung
- Messung der Ausgangsspannung
- Bestätigung des Einstellbereiches der Ausgangsspannung
- Bestätigung des Einstellbereiches der Ausgangsfrequenz
- Überprüfung der automatischen Steuerung und Regelung

Stückprüfung

- Sichtprüfung
- Überprüfung von Hilfsgeräten
- Isolationsprüfung
- Überprüfung von Schutzeinrichtungen
- Schwachlast- und Funktionsprüfung
- Messung der Ausgangsspannung
- Bestätigung des Einstellbereiches der Ausgangsspannung

Zusätzliche Prüfungen

- Kurzschlussprüfung
- Messung hörbarer Geräusche
- Störfestigkeitsprüfung
- Emissionsprüfung
- Messung der überlagerten Wechselspannung und des überlagerten Wechselstromes

Normen

- DIN EN 60146-2: Halbleiter-Stromrichter Teil 2: Selbstgeführte Halbleiter-Stromrichter einschließlich Gleichstrom-Direktumrichter

Normative Verweise

- [1] DIN EN 60076-1, *Leistungstransformatoren: Teil 1: Allgemeines*.
- [2] DIN EN 60076-3 VDE 0532-76-3:2019-03, *Leistungstransformatoren: Teil 3: Isolationspegel, Spannungsprüfungen und äußere Abstände in Luft*.
- [3] DIN EN 60076-4, *Leistungstransformatoren: Teil 4: Leitfadens zur Blitz- und Schaltstoßspannungsprüfung von Leistungstransformatoren und Drosselspulen*, 2003.
- [4] DIN EN 60076-1, *Leistungstransformatoren: Teil 10: Bestimmung der Geräuschpegel*, 2002. (besucht am 2002).
- [5] DIN EN 60071-1, *Isolationskoordination: Teil 1: Begriffe, Grundsätze und Anforderungen*, 2010.
- [6] DIN EN 61378-1, *Stromrichtertransformatoren: Teil 1: Transformatoren für industrielle Anwendungen*.
- [7] Deutsches Institut für Normung e.V., *Bahnanwendungen: Speisespannungen von Bahnnetzen*, 2008-02.

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 Mindestdschichtdicke 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:

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

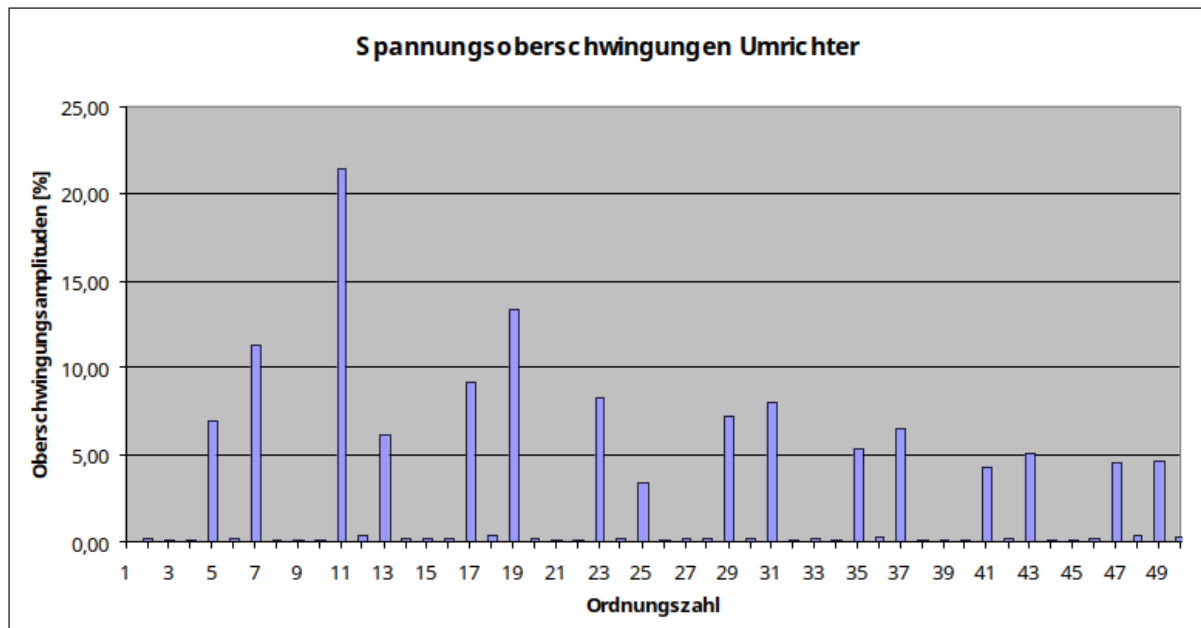


Abbildung 3: Maximale Oberschwingungsamplituden der Umrichterspannung der Drehstromseite über den Aussteuerungsbereich von 0,9 ... 1,1 (100% entsprechen 3062V verkettet effektiv)

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 3: 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 |

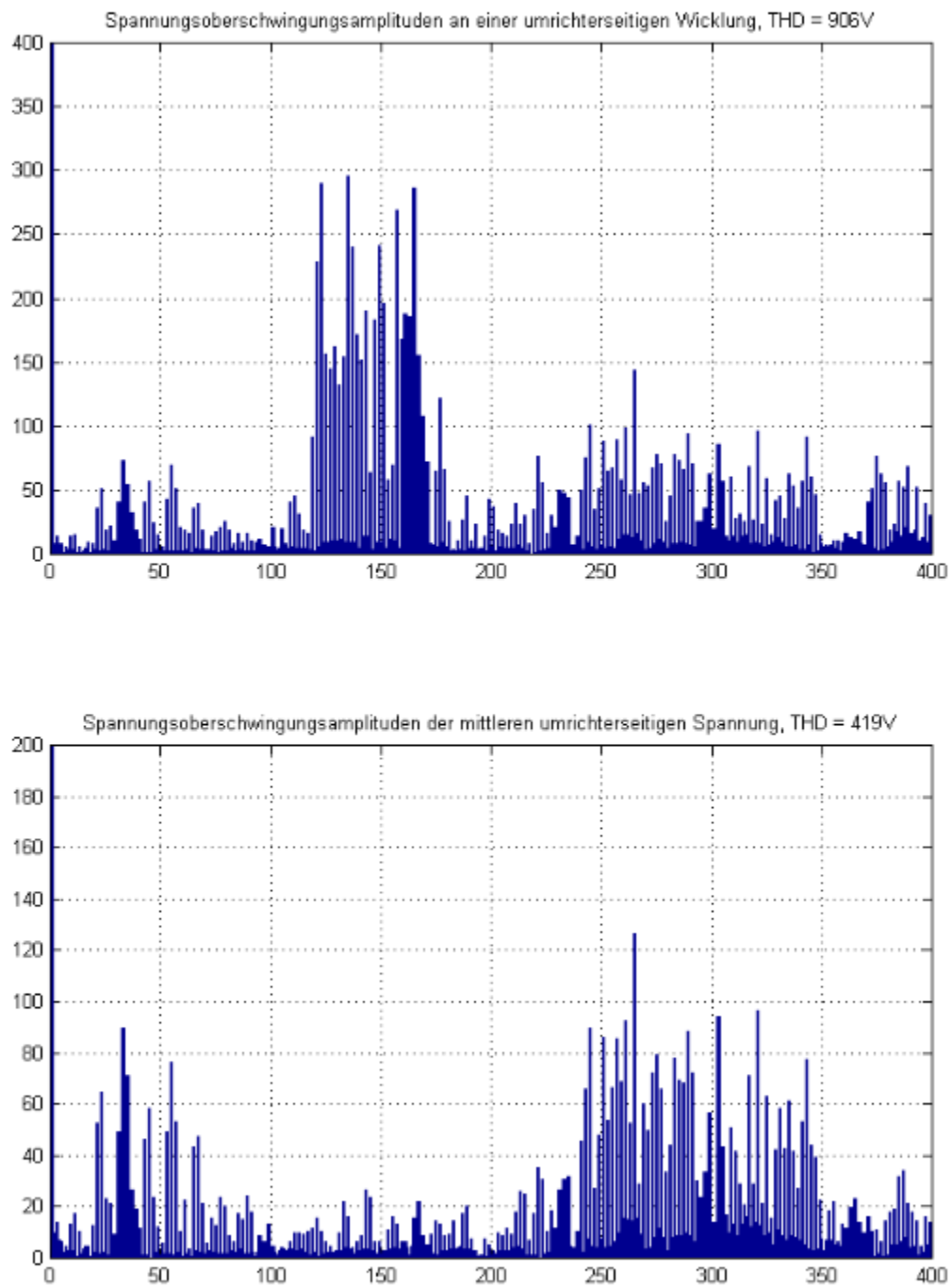


Abbildung 4: Oberschwingungsspektrum der Umrichterspannung der Bahnnetzseite an einer umrichterseitigen Wicklung und mittlere Gesamtspannung der beiden Wicklung

A.3 CAD



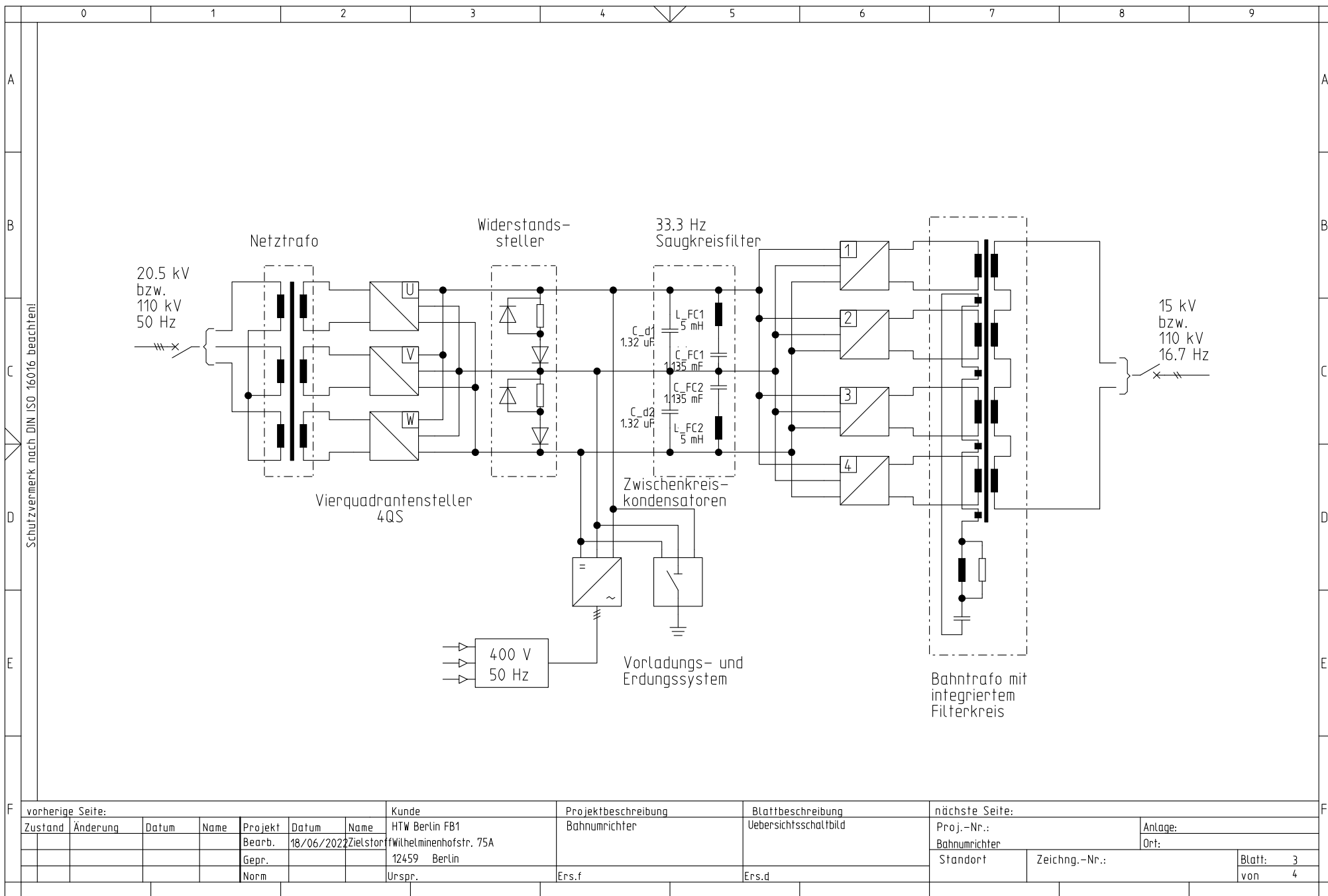
Projekt: Bahnumrichter

Kunde: HTW Berlin FB1
Wilhelminenhofstr. 75A
12459 Berlin

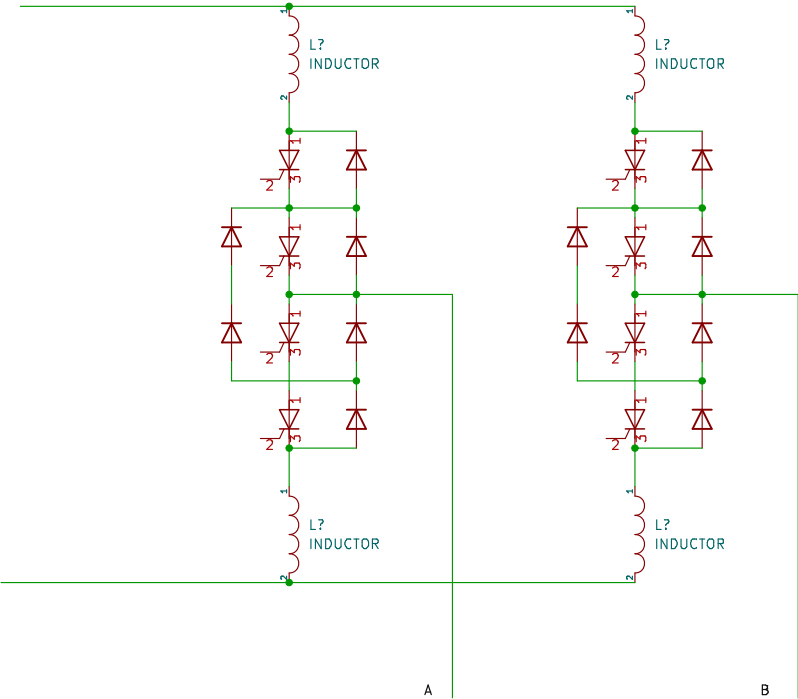
Schutzvermerk nach DIN ISO 16016 beachten!

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|----------|-------|----------|---------|------------|----------|--|---------------------|-----------|-------------------|--|----------------|--|---|--|---|--|---|--|
| F | vorherige Seite: | | | | | | | Kunde | Projektbeschreibung | | Blattbeschreibung | | nächste Seite: | | | | | | | |
| | Zustand | Änderung | Datum | Name | Projekt | Datum | Name | HTW Berlin FB1 Wilhelminenhofstr. 75A 12459 Berlin Urspr. | Bahnumrichter | Deckblatt | Proj.-Nr.: | | Anlage: | | | | | | | |
| | | | | Zielstor | Bearb. | 18/06/2022 | Zielstor | | | | Bahnumrichter | | Ort: | | | | | | | |
| | | | | | Gepr. | | | | | | Standort | | Zeichng.-Nr.: | | | | | | | |
| | | | | | Norm | | | | | | Ers.f | | Ers.d | | | | | | | |
| | 0 | | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | |

| | | | | | | | | | | | | |
|------------------|--------------------|-------|--------------------|-----------------------|------------|------------|----------------|---------------------|--------------------|----------------|---------------|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | |
| A | Inhaltsverzeichnis | | | | | | | | | | | A |
| | Anlage (-) | Seite | Dokumentart | Beschreibung | | | | Index | Rev. Datum | | | |
| B | | 1 | Deckblatt | Deckblatt | | | | | | | | |
| | | 2 | Inhaltsverzeichnis | Inhaltsverzeichnis | | | | | | | | |
| | | 3 | Stromlaufplan | Uebersichtsschaltbild | | | | | | | | |
| | | 4 | Bauteilliste | Bauteilliste | | | | | | | | |
| C | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| D | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| E | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| F | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| vorherige Seite: | | | | | | | | | | | | F |
| Zustand | Änderung | Datum | Name | Projekt | Datum | Name | Kunde | Projektbeschreibung | Blattbeschreibung | nächste Seite: | | |
| | | | | Bearb. | 26/06/2022 | Zielstorff | HTW Berlin FB1 | Bahnumrichter | Inhaltsverzeichnis | Proj.-Nr.: | Anlage: | |
| | | | | Gepr. | | | 12459 Berlin | | | Bahnumrichter | Ort: | |
| | | | | Norm | | | Urspr. | Ers.f | Ers.d | Standort | Zeichng.-Nr.: | |
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | | |



| | | | | | | | | | |
|---|---------------|------------|---------|-----------------|-----|-------------------------|------------|---------------|------|
| Bauteilliste | | | | | | | | | |
| | Dokumentart | Anlage (=) | Ort (+) | Bauteilname (-) | Typ | Beschreibung / Funktion | Hersteller | Blatt / Index | Pfad |
| | Stromlaufplan | | | Q1 | | | | 3 | 1 |
| | Stromlaufplan | | | T1 | | | | 3 | 2 |
| | Stromlaufplan | | | 4QS1 | | | | 3 | 2 |
| | Stromlaufplan | | | 4GS2 | | | | 3 | 2 |
| | Stromlaufplan | | | 4QS3 | | | | 3 | 2 |
| | Stromlaufplan | | | D2 | | | | 3 | 3 |
| | Stromlaufplan | | | S6 | | | | 3 | 3 |
| | Stromlaufplan | | | D1 | | | | 3 | 3 |
| | Stromlaufplan | | | D3 | | | | 3 | 4 |
| | Stromlaufplan | | | R2 | | | | 3 | 4 |
| | Stromlaufplan | | | W1 | | | | 3 | 4 |
| | Stromlaufplan | | | D4 | | | | 3 | 4 |
| | Stromlaufplan | | | R1 | | | | 3 | 4 |
| | Stromlaufplan | | | L_FC2 | | 5 mH | | 3 | 5 |
| | Stromlaufplan | | | C_d1 | | 1.32 uF | | 3 | 5 |
| | Stromlaufplan | | | C_d2 | | 1.32 uF | | 3 | 5 |
| | Stromlaufplan | | | L_FC1 | | 5 mH | | 3 | 5 |
| | Stromlaufplan | | | C_FC2 | | 1.135 mF | | 3 | 5 |
| | Stromlaufplan | | | Q2 | | | | 3 | 5 |
| | Stromlaufplan | | | C_FC1 | | 1.135 mF | | 3 | 5 |
| | Stromlaufplan | | | 4QS4 | | | | 3 | 6 |
| | Stromlaufplan | | | 4QS5 | | | | 3 | 6 |
| | Stromlaufplan | | | 4QS6 | | | | 3 | 6 |
| | Stromlaufplan | | | 4QS7 | | | | 3 | 6 |
| | Stromlaufplan | | | T2 | | | | 3 | 7 |
| | Stromlaufplan | | | L1 | | | | 3 | 7 |
| | Stromlaufplan | | | R3 | | | | 3 | 7 |
| | Stromlaufplan | | | C1 | | | | 3 | 7 |
| | Stromlaufplan | | | Q3 | | | | 3 | 8 |
| <div> <div>vorherige Seite:</div> <div> <div>Zustand</div> <div>Änderung</div> <div>Datum</div> <div>Name</div> <div>Projekt</div> <div>Datum</div> <div>Name</div> </div> <div>Kunde</div> <div>Projektbeschreibung</div> <div>Blattbeschreibung</div> <div>nächste Seite:</div> </div> <div> <div> <div>HTW Berlin FB1</div> <div>Bahnnumrichter</div> </div> <div> <div>Proj.-Nr.:</div> <div>Anlage:</div> </div> <div> <div>Bearb. 26/06/2022</div> <div>Zielort</div> <div>Gepr.</div> <div>Urspr.</div> </div> <div> <div>12459 Berlin</div> <div>Ers.f</div> <div>Ers.d</div> </div> <div> <div>Standort</div> <div>Zeichng.-Nr.:</div> <div>Blatt:</div> <div>von</div> </div> <div> <div>4</div> <div>4</div> </div> </div> | | | | | | | | | |



Sheet: /
File: umrichter.kicad_sch

Title:

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

Date:

Rev:

Id: 1/1