

Technischer Bericht

Erdungskurzschließer EKS

Erdungskurzschließer EKS

Beim Betrieb von Gleichstrombahnen mit Rückleitung über die Fahrschienen entstehen durch unterschiedliche Erdungswiderstände Spannungen, die für Menschen und Bauwerke gefährlich sein können. Eine der Maßnahmen zur Abwehr der Gefahr für Menschen (Berührungsschutz) ist der zeitlich befristete Kurzschluss der verschiedenen

Erdungssysteme. Die vorliegende Vertriebsinformation beschreibt den automatischen Erdungskurzschließer, der von den Berliner Verkehrsbetrieben im U-Bahnnetz eingesetzt wird. Die Besonderheiten dieses Geräts sind die prellfreie Schaltung sowie die kurze Schaltzeit, die die gemäß VDE 0115 noch zulässige Zeit deutlich unterschreitet.

Aufgabe

Die Berliner Verkehrsbetriebe betreiben ihre U-Bahn mit Gleichspannung über Stromschienen mit Schienenrückleitung. Für das Netz gelten die einschlägigen Bestimmungen für Gleichstrombahnen, insbesondere VDE 0115 und DIN EN 50122.

Die in der vorliegenden Vertriebsinformation verwendeten Begriffe aus diesen Bestimmungen sind folgende (Definitionen in Anlehnung an VDE 0115):

- Bahnerde ist die als Rückleitung dienende Fahrschiene so- wie die mit ihr verbundenen leitfähigen Teile.
- Tunnelerde ist die leitende Durchverbindung der Bewehrung von Stahlbetontunneln und bei anderen Bauweisen die leitende Durchverbindung der metallenen Tunnelbauteile.
- Wassererde ist das Erdpotential des Primärnetzes des örtlichen EVU, das die Unterwerke der BVG mit Strom versorgt (wird in VDE 0115 nicht erwähnt).
- Streustrom ist der in einem Elektrolyten (Erdboden, Wasser) fließende Strom, soweit er von im Elektrolyten liegenden Leitungen stammt und von elektrischen Anlagen geliefert wird.

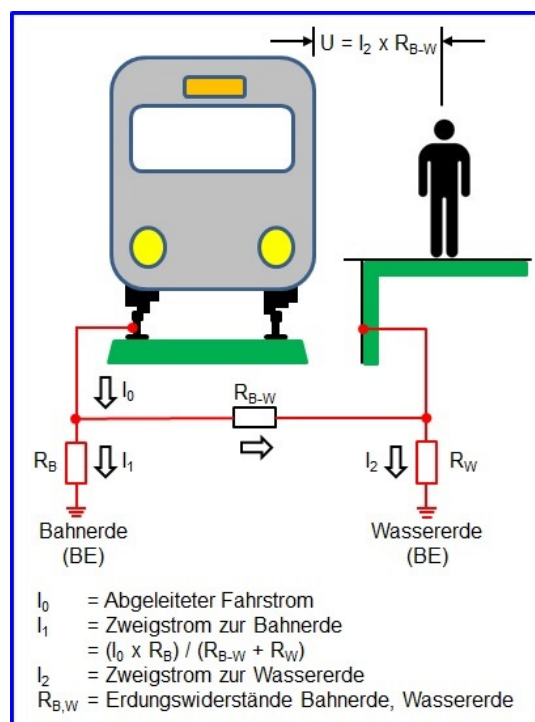


Abbildung 1: Gefahr für Menschen durch Potentialdifferenzen zwischen Bahn- und Wassererde

Ein Streustrom kann metallene, nicht zum Strom führen bestimmte Leiter benutzen. Gleichstrom verursacht bei seinem Austritt aus diesen Leitern in den Erdboden Streustromkorrosion.

Gefahren

Die Betreiber von Gleichstrombahnen treffen die folgenden Schutzmaßnahmen:

- Abwehr von Gefahren für Menschen z.B. durch Potentialdifferenzen zwischen Bahn- und Wassererde, vgl. Bild 1 auf Seite 1
- Abwehr von Gefahren für Bauwerke durch Streustromkorrosion

Schutzmaßnahmen

Die über dem Schienenpotential abgreifbaren Spannungen dürfen die Werte nach Bild 2 nicht überschreiten. Bild 3 zeigt einen typischen Spannungsverlauf bei Normalbetrieb.

Zur Verringerung des Schienenpotentials oder zur Verringerung zu hoher Spannungen sind bei Gleichstrombahnen die folgenden Maßnahmen möglich:

- Selbsttätiger Potentialausgleich über Spannungsbegrenzungseinrichtung oder Kurzschließer
- Verstärkte Rückleitungen
- Isolierung des Standorts
- Hinreichend kurze Ausschaltzeit der Fahrleitungsspannung im Kurzschlussfall

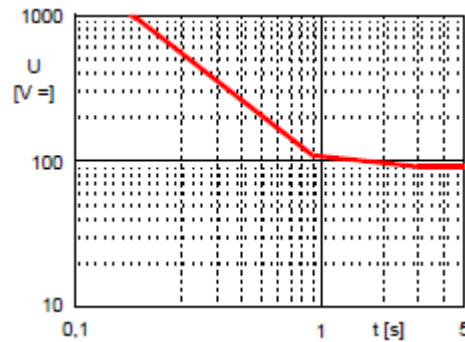


Abbildung 2: Höchstwerte der abgreifbaren Spannung U aus dem Schienenpotential in Abhängigkeit von der Dauer t (Kurve gilt für gleichstrombetriebene Bahnen)

Maßnahmen der Berliner Verkehrsbetriebe

Die BVG verwenden für ihre U-Bahn den selbsttätigen Potentialausgleich mit Kurzschließer. Bei dieser Schutzmaßnahme ist u.a. folgendes zu beachten (Zitat aus VDE 0115):

»Werden gegen unzulässig abgreifbare Spannungen ... als Schutzmaßnahme Kurzschließer zwischen den Fahrschienen und den Bauteilen aus Metall des Tunnelkörpers eingebaut, so sind die folgenden Bedingungen zu erfüllen:

- Die Kurzschlussverbindung muss nach spätestens 10 s selbsttätig aufgehoben werden. Steht bei

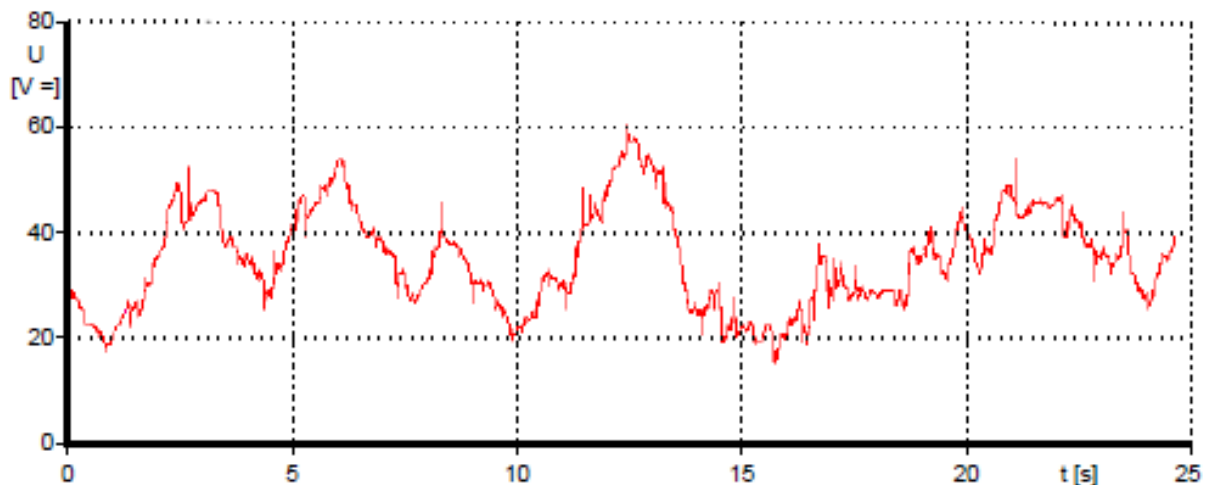


Abbildung 3: Typischer Verlauf der zwischen Tunnel- und Bahnerde abgegriffenen Spannung. Messung in einem Gleichrichterwerk der Berliner Verkehrsbetriebe bei Normalbetrieb

Erdungskurzschließer EKS

Aufhebung der Verbindung die zu hohe abgreifbare Spannung erneut an, stellt der Kurzschließer die Kurzschlussverbindung wieder her.

- Kurzschließer, die blockieren, müssen an eine ständig besetzte Stelle gemeldet werden, die die unverzügliche Beseitigung der Ursache veranlasst.

In Tunnelbauwerken, die leitend mit anderen Bauwerken verbunden sind (Gemeinschaftsbauwerke), muss zur Verringerung der Korrosionsgefahr durch Streuströme das Erdungssystem der Gleichstrombahn überwacht werden, um das Auftreten niederohmiger leitender Verbindungen zwischen dem Rückleitungssystem und dem Bauwerk zu erkennen. Diese Verbindungen sind unverzüglich zu beseitigen.« (Zitatende)

Lastenheft für die Entwicklung

Die im Lastenheft des Erdungskurzschließers niedergelegten Anforderungen ergaben sich aus den oben beschriebenen Sachverhalten sowie aus weitergehenden Bedingungen der BVG wie folgt (Auszug):

- Gewährleistung von Sicherheit und Ausfallsicherheit des Systems entsprechend den allgemeinen Bestimmungen der VBG 4 sowie den besonderen Sicherheitsvorschriften der BVG.
- Einhaltung der Bestimmungen VDE 0100 und 0115 sowie der darin zitierten

weiteren Bestimmungen VDE 0101, 0102, 0105, 0110, 0111, 0141, 0150, 0160, 0228, 0432, 0660 und 0670 sowie DIN 40050.

- Für Gleich- und Wechselstrom getrennt einstellbare Schaltschwellen im gesamten vorkommenden Spannungsbereich.
- Prellfreie Schaltung, Schaltzeiten deutlich unterhalb der in Bild 2 auf Seite 2 gezeigten Kurve.

Bereits zu Beginn des Projekts stellte sich heraus, dass die geforderte kurze Schaltzeit nicht ohne eine Mikroprozessorsteuerung zu verwirklichen war. Die typische Einsatzumgebungen der Erdungskurzschließer sind Schaltstellen und Unterwerke, in denen besonders im Störfall hohe Ströme und Magnetfelder auftreten. Die Wirkungen dieser elektronikfeindlichen Bedingungen mussten während aller Projektphasen besonders beachtet werden. Sie führten u.a. dazu, dass die Steuerung zwei Mikroprozessoren zur Steuerung und Überwachung enthält.

Funktion

Der Erdungskurzschließer besteht aus mehreren Modulen sowie aus zwei Baugruppen mit Thyristoren und Schützen in einem Schaltschrank. Bild 4 auf Seite 3 zeigt die Details, soweit sie zum Verständnis der Funktion des Erdungskurzschließers erforderlich sind.

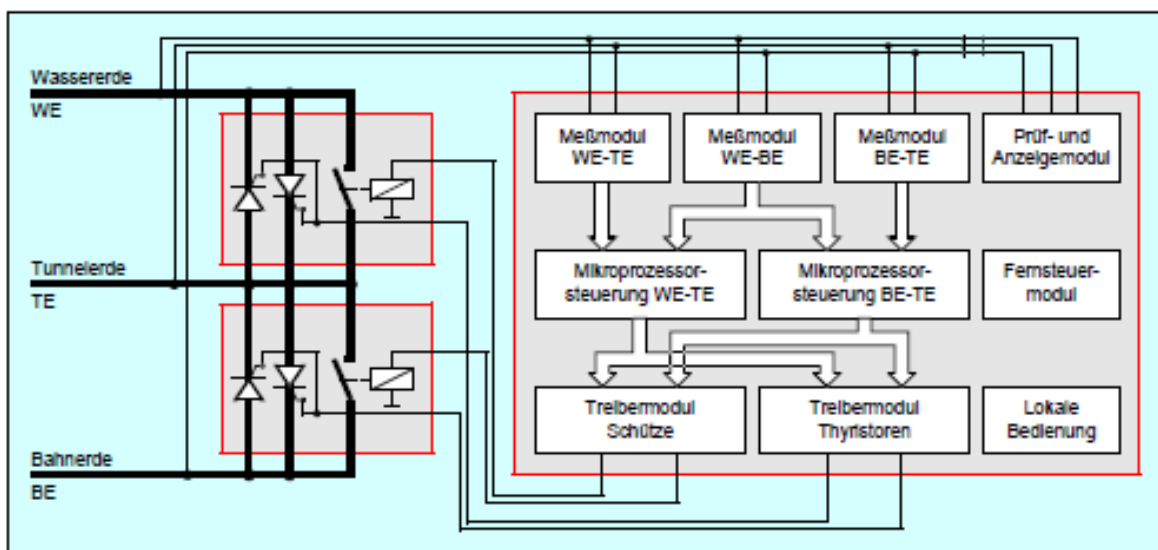


Abbildung 4: Aufbau des EKS

Technische Lösung

Die zwischen den drei Erden abgreifbaren Spannungen werden an die drei Messmodule WE-TE, WE-BE und TE-BE geführt und dort mit zuvor eingestellten Werten verglichen. Beim Auftreten einer Spannung über dem eingestellten Wert gibt das entsprechende Messmodul ein Signal an die Mikroprozessorsteuerung.

Die Messmodule werten Gleich- und Wechselspannungen getrennt aus und haben deshalb je zwei Möglichkeiten zur Voreinstellung der Vergleichswerte.

Die Signale der Messmodule erreichen die Mikroprozessorsteuerung, die über die Treibermodule die Thyristoren und Schütze steuert. Wenn z.B. das Signal vom Messmodul WE-TE kommt, zündet die Mikroprozessorsteuerung den Thyristor und schließt das Schütz zwischen Wasser- und Tunnelerde.

Bei einem Signal vom Messmodul WE-BE zündet die Mikroprozessorsteuerung beide Thyristoren und schließt beide Schütze. Die Mikroprozessorsteuerung setzt die Zündsignale für die Thyristoren nach Schließen der Schütze zurück. Die Schütze selbst werden wie folgt wieder geöffnet:

- Einschaltkriterium war eine Gleichspannung: Automatisch nach einer im Bereich von 0 s ... 10 s einstellbaren Zeit
- Einschaltkriterium war eine Wechselspannung: Mit einem Handtaster in der Tür oder mit einem Ausschaltsignal am Fernsteuermodul.

Störmeldungen, Fernsteuerung

Die Mikroprozessorsteuerung erfasst laufend alle Statussignale des Erdungskurzschließers und meldet auftretende Fehler über das Prüf- und Anzeigemodul an eine Fernwarte. Diese Fernwarte kann das Schließen und Öffnen der Thyristoren und Schütze unabhängig von den Signalen der Messmodule auslösen.

Schaltzeit

Die Schütze haben eine Schließzeit (Closing time) von typisch 90 ms. Diese Zeitdauer führt dazu, dass bei sehr steilem Anstieg der zwischen zwei Erden abgreifbaren Spannung

die Werte der in Bild 2 auf Seite 2 gezeigten Kurve eventuell kurzzeitig überschritten werden. Zur Vermeidung der daraus resultierenden Spannungsspitzen übernimmt der parallel zum Schütz geschaltete Thyristor den Kurzschlussstrom für die Schließzeit des Schützes. Die thermische Belastung des Thyristors ist aufgrund der kurzen Schließzeit des Schützes innerhalb des für den Thyristor zugelassenen Bereichs.

Abgleich der Messmodule

Die Messmodule werden mit Hilfe des Prüf- und Anzeigemoduls abgeglichen. Während des Betriebs hat das Messmodul keine Wirkung auf die anderen Module des Erdungskurzschließers.

Anwendung für andere Gleichstrombahnen

In Berlin fahren Straßen- und U-Bahn sowie – auf parallel laufenden Trassen – Fernbahn und S-Bahn, was zu sehr verwickelten Erdstromverhältnissen führt. Vor diesem Hintergrund entschieden sich die Berliner Verkehrsbetriebe für die beschriebene Überwachung von drei Erden. Bei anderen Gleichstrombahnen sind die Verhältnisse übersichtlicher, so dass dort die Überwachung von zwei Erden mit einer einfacheren Ausführung des Erdungskurzschließers genügen kann. Weitere Änderungen der Leistungsmerkmale des Geräts sind technisch möglich und wirtschaftlich in Reichweite, z.B.

- Öffnung der Schütze nach Unterschreitung eines einstellbaren Wertes für den Kurzschlussstrom.
- Zählung der Schaltungen und Meldung des Zählerstandes vor dem Ende der Schützlebensdauer.
- Speicherung und ggf. Analyse der Stromkurvenverläufe, Meldung der Analyseergebnisse.

Die vorstehend genannten und weitere Varianten sind aufgrund des modularen Aufbaus des Erdungskurzschließers und der Programmierbarkeit seiner Mikroprozessorsteuerung machbar. Damit ist das Gerät für die Lösung vieler Erdungsaufgaben im Bereich der Bahnstromversorgung geeignet.