

Symmetrische Motoranschlussleitungen

Betrachtung zum Störverhalten und zur elektrischen Sicherheit
von Kabeln mit gedrittelten Schutzleitern

Dr.-Ing. Wolfram Sorge

24. März 2025

HzDR

 **HELMHOLTZ**
ZENTRUM DRESDEN
ROSSENDORF

- 1 Einführung
- 2 Simulationen
- 3 Messungen
- 4 Elektrische Sicherheit
- 5 Ergebnis
- 6 Ausblick

Aufgaben von Motoranschlussleitungen:

- Effizientes Übertragen von elektrischer Energie.
- Gewährleisten von elektrischer Sicherheit.
- Schutz des Systems wie auch der Umwelt vor Störeinflüssen.

Mittel zum Schutz vor Störeinflüssen:

- Potentialausgleich durch geeignete Schirme
- Störungskompensation durch geeignete Schutzleiteranordnungen

Einführung

Wirkungen der Schutzerdung

Schutzerdung:

Erdung eines Punktes oder mehrerer Punkte eines Netzes, einer Anlage oder eines Betriebsmittels zu Zwecken der elektrischen Sicherheit.

Funktionserdung:

Erdung eines Punktes oder mehrerer Punkte eines Netzes, einer Anlage oder eines Betriebsmittels zu anderen Zwecken als der elektrischen Sicherheit.

Funktionen von Schutzerden:

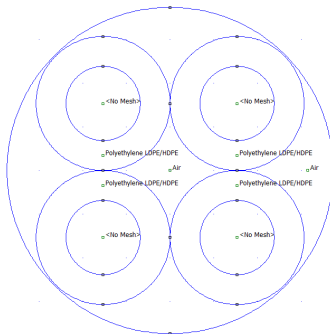
Eine Erdung zur elektrischen Sicherheit kann die Störfestigkeit zu verbessern helfen (z. B. Potentialausgleich), jedoch auch Störungen ein-koppeln.

Simulationen

Anordnungen

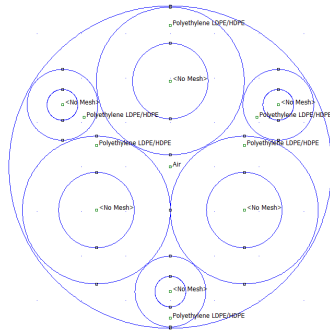
Zweidimensionaler Querschnitt mit FEMM [Mee19]

4 G 1,5:



$$C' = 13,6 \text{ pF/m}$$

3 x 1,5 + 3 G 0,25:



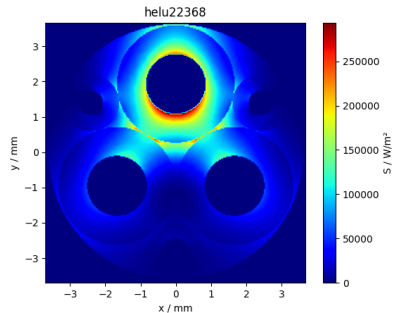
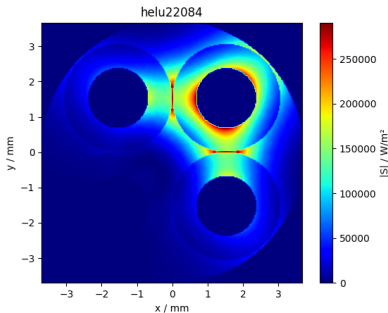
$$C' = 33,1 \text{ pF/m}$$

Kapazitäten zwischen PE und nahem Außenleiter

Simulationen

Verteilung der Nutzenergie im Kabel

Günstigere Energieverteilung in einem symmetrisch aufgebauten Kabel:

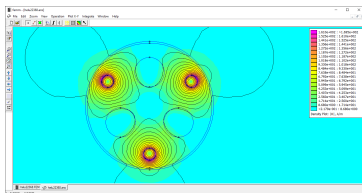
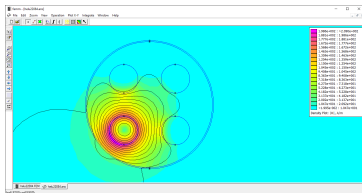


Energiedichte bei $f = 50 \text{ Hz}$ und $\cos\varphi = 1$:

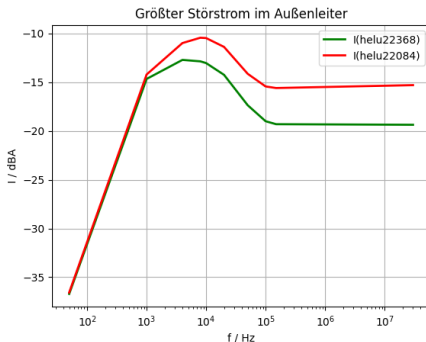
Simulationen

Störeinkopplungen über den Schutzleiter

Vergleich zwischen Kabeln mit einem und drei Schutzleitern:



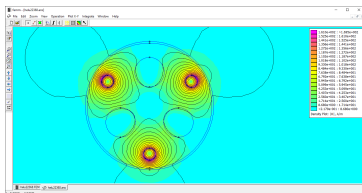
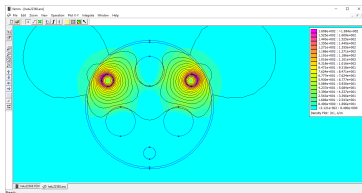
Störfeld bei $f = 100$ kHz



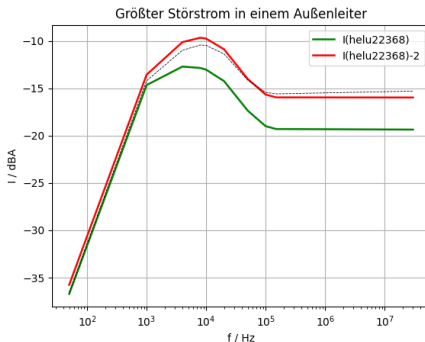
Simulationen

Störeinkopplungen über den Schutzleiter

Vergleich bei Anschluss von zwei und drei Schutzleitern:

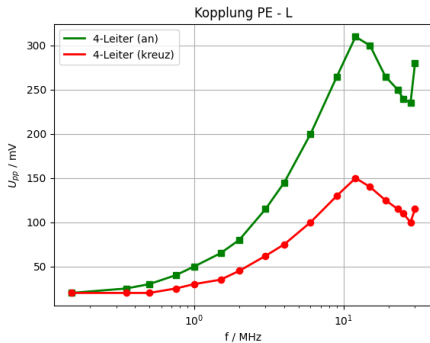
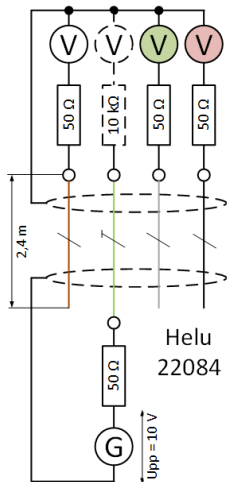


Störfeld bei $f=100$ kHz



Messungen

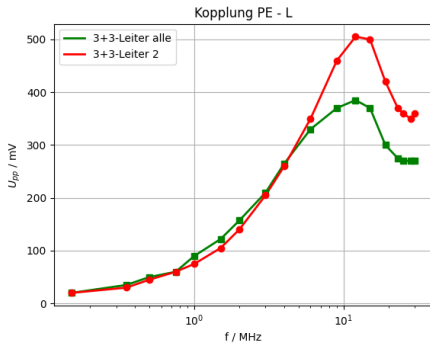
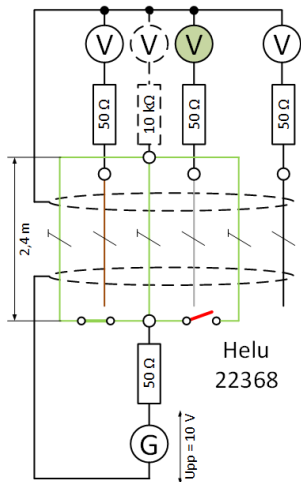
Kopplungen zwischen Schutz- und Außenleiter



Leitung einseitig offen

Messungen

Kopplungen zwischen Schutz- und Außenleitern



Leitung einseitig offen

Elektrische Sicherheit

Querschnitt von Schutzleitern

Blick ins Datenblatt

z. B. TOPFLEX®-EMV-3-PLUS-2YSLCY-J [Hel24]:

Adern	Querschnitt L	Querschnitt PE
3 x 1,5 + 3 G 0,25	je 1,5 mm ²	0,75 mm ²
3 x 2,5 + 3 G 0,5	je 2,5 mm ²	1,5 mm ²
3 x 4 + 3 G 0,75	je 4 mm ²	2,25 mm ²
3 x 6 + 3 G 1	je 6 mm ²	3 mm ²
3 x 10 + 3 G 1,5	je 10 mm ²	4,5 mm ²

„Der Mindestquerschnitt des PE-Leiters von 0,75 mm² entspricht den Anforderungen nach DIN EN 60204 Teil 1.“ [Hel24]

Elektrische Sicherheit

Querschnitt von Schutzleitern

Vorgaben aus DIN EN 60204-1 [DKE19]:

Mindestquerschnitte für mehradrige Stromkreise aus Kupferleitern
nach DIN EN 60204-1, Tabelle 5:

Anwendung	Leiterquerschnitt
Hauptstromkreise	0,75 mm ²
Steuerstromkreise	0,20/0,50 mm ²
Datenübertragung	0,08 mm ²

Mindestquerschnitte für Schutzleiter nach DIN EN 60204-1 [8.2.2; DKE19]:

Der Querschnitt der Schutzleiter muss entweder in Übereinstimmung mit IEC 60364-5-54:2011, 543.1.2, berechnet werden, oder in Übereinstimmung mit Tabelle 1 ausgewählt werden. (Die Werte sind direkt aus DIN EN 60204-1 zu entnehmen!)

Querschnitt der Außenleiter	Mindestquerschnitt des zugehörigen Schutzleiters
bis 16 mm ²	wie Außenleiter
über 16 mm ² bis 35 mm ²	16 mm ²
über 35 mm ² bis 400 mm ²	0,5 x Außenleiter

Ergebnis

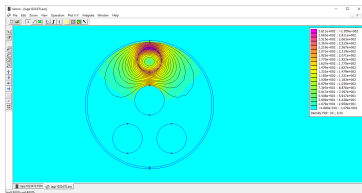
Vor- und Nachteile von geteilten Schutzleitern

Kabel mit dreiteiligen symmetrischen Schutzleitern:

- Vorteile:**
- Geringere magnetische Kopplung zwischen Außen- und Schutzleiter
 - Evtl. verlustärmere Energieübertragung

- Nachteile:**
- Höherer Preis der Kabel
 - Schutzleiterquerschnitt insgesamt kleiner als der eines Außenleiters.

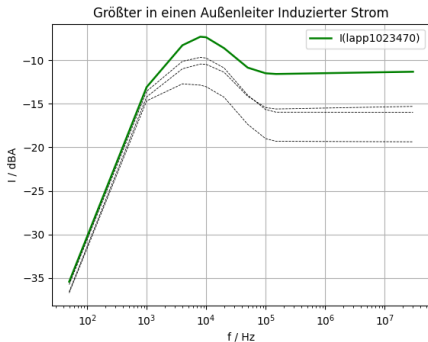
Innovatives Kabeldesign vermindert Ableitströme [Hil]:



Störfeld bei $f=100$ kHz

Kapazität zwischen PE und nahem Außenleiter: $C' = 74,0 \text{ pF/m}$

Die Simulation errechnet mehr Induktion im Außenleiter als bei den besprochenen Kabeln. Verdrillen der Außenleiter bzgl. PE verringert diese.



Referenzen (I)

- [DKE19] DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Hrsg. *Sicherheit von Maschinen - Elektrische Ausrüstung von Maschinen - Teil 1: Allgemeine Anforderungen. DIN EN 60204-1*. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Juni 2019.
- [Hel24] Helukabel, Hrsg. *TOPFLEX[®]-EMV-3 PLUS 2YSLCY-J*. M22368. Datenblatt. HELU KABEL GmbH. 5. Juni 2024. URL: https://assets-cdn.helukabel.com/suppliers/Helukabel/documents/db/HELUKABEL_M22368_DE.pdf.
- [Hil] Stefan Hilsenbeck. *Neue zeroCM[®]-Technologie reduziert Störströme*. U.I. Lapp GmbH. URL: <https://lappconnect.lappgroup.com/de/expertise/neue-zerocm-technologie/> (besucht am 12.03.2025).

Referenzen (II)

- [Mee19] David Meeker. *Finite Element Method Magnetics. FEMM 4.2 Magnetics, Electrostatics, Heat Flow, and Current Flow*. 21. Apr. 2019. URL: <https://www.femm.info/wiki/HomePage>.

Referenzen (III)

Vielen Dank.