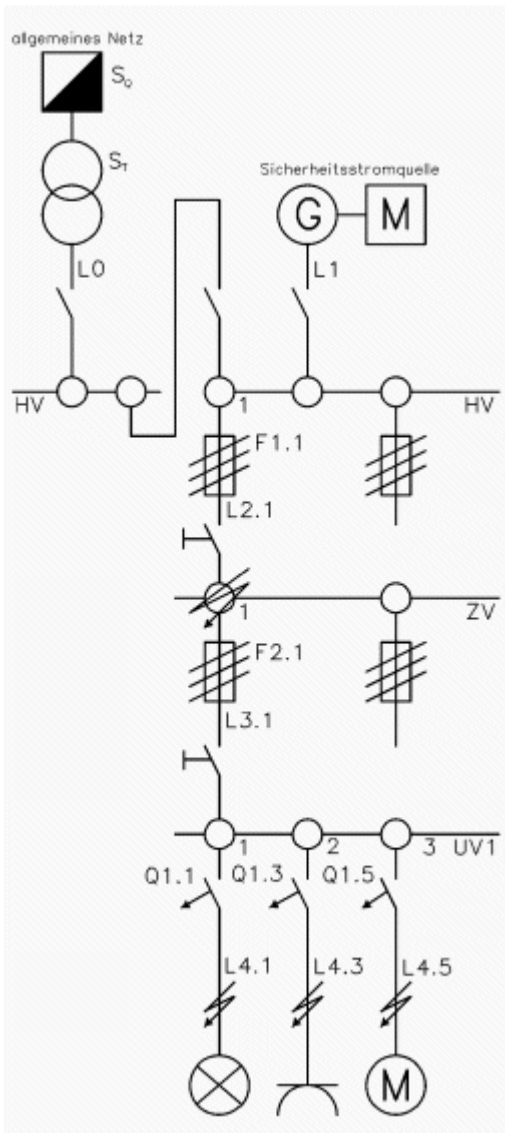


Elektromanager 3.31

Beispiel aus dem Programmbereich "Geschäftsberechnungen" zu: Einpolige Kurzschlussstromberechnung



Für die Ermittlung des einpoligen Kurzschlußstroms in der Fehlerschleife gilt:

$$I_k = \frac{c \cdot U_{ph}}{Z_k}$$

- I_k drei-/einpoliger Kurzschlußstrom,
- c Spannungsfaktor zur Berechnung des „kleinsten“ Kurzschlußstroms nach DIN VDE 0102 (0,95 bei 230/400 V Betriebsspannung, 1,00 bei höheren Spannungen),
- U_{ph} Phasen- oder Strangspannung (Spannung zwischen Außenleiter und Neutraleiter oder Sternpunkt des Systems),
- Z_k Summe aller Impedanzen in der Kurzschlussschleife beim einpoligen bzw. dem Strang bis zur Kurzschlussstelle beim dreipoligen Kurzschluss.

Ermittlung der Impedanzen

Der Wert der Impedanzen Z_k in der Kurzschlussschleife ergibt sich aus den ohmschen und induktiven Widerständen aller Betriebsmittel, durch die der Kurzschlußstrom fließt. Im Fall der Versorgung aus dem allgemeinen Netz bedeutet dies die Einbeziehung des vorgelagerten Netzes (in aller Regel ein EVU-Netz), der Einspeisetransformatoren und aller Kabel- und Leitungsverbindungen. Bei Versorgung aus der Sicherheitsstromquelle sind deren Impedanz zu berücksichtigen und die Impedanz aller Kabel- und Leitungsverbindungen.

Impedanz des vorgelagerten Netzes

$$Z_Q = \frac{1,0 \cdot U_N^2}{S_k \cdot 10^{-3}}$$

- Z_Q Impedanz des Netzes
- U_N Netznominalspannung (verkettete Spannung) in V, z. B. bei Niederspannung 400V
- S_k Anfangskurzschlussleistung des EVU-Netzes oder des eigenen Kraftwerks in MVA. Dieser Wert muß in der Regel erfragt werden.

Auf die Berücksichtigung der Netzimpedanz kann bei der Kurzschlussberechnung dann verzichtet werden, wenn eine Kurzschlussleistung von mehr als 50 MVA vorliegt. Der Wert von Z_Q liegt dann unter 5 mOhm und ist im Regelfall unbedeutend im Vergleich zu den Leitungsimpedanzen.

Versorgung der Sicherheitsstromversorgung aus dem allgemeinen Netz und der Sicherheitsstromquelle Stromerzeugungsaggregat

Anfangskurzschlussleistung des EVU-Netzes	$S_k = 250 \text{ MVA}$
---	-------------------------

Netztransformatoren Nennleistung	2 x 500 kVA
uz	6 %
Nennspannung	10 kV/230/400 V
Sicherheitsstromquelle (Transformator)	150 kVA
Nennstrom	216 A
Dauerkurzschlussstrom	800 A bei dreipoligem Fehler laut Hersteller
Dauerkurzschlussstrom	1280 A bei einpoligem Fehler laut Hersteller
Leitungsverbindung L 0	A 3 Systeme 4 x 1 x 185 mm ² Cu, 20 m
Leitungsverbindung L 1	4 x 120 mm ² Cu, 10 m
Leitungsverbindung L 2.1	4 x 70/35 mm ² Cu, 30 m
Sicherung F1.1	100 A gl
Leitungsverbindung L 3.1	5 x 16 mm ² Cu, 50 m
Sicherung F2.1	50 A gl
Stromkreis 1 von UV 1 Leitungsverbindung L 4.1	3 x 1,5 mm ² Cu, 80 m
Leitungsschutzschalter Q 1.1	10 A/B
Stromkreis 3 von UV 1 Leitungsverbindung L 4.3	3 x 2,5 mm ² Cu, 50 m
Leitungsschutzschalter Q 1.3	16 A/B
Stromkreis 5 von UV 1 Leitungsverbindung L 4.5	5 x 2,5 mm ² Cu, 40 m
Leitungsschutzschalter Q 1.5	16 A/C

Es sollen die Abschalt- und Selektivitätsbedingungen für den Abgangskreis 1 vom HV und die Endstromkreise 1, 3 und 5 vom Verteiler UV I überprüft, d. h. deren Einhaltung nachgewiesen werden.
Ermittlung der "kleinsten" Kurzschlussströme.

Impedanzen der Kabel-/Leitungsverbindungen

Bei der Ermittlung der Impedanzen der in Reihe liegenden Kabel- bzw. Leitungsverbindungen innerhalb der Fehlerschleife ist der Querschnitt der Außenleiter und des Schutzleiters zugrunde zu legen. Hierbei ist der ohmsche und der induktive Widerstandsanteil der Leiterschleife zu berücksichtigen. In der Tabelle sind die Werte für übliche Leiterquerschnitte zusammengestellt. Die angegebenen Werte bei 80 °C Leitertemperatur für den ohmschen Widerstandsanteil r, den induktiven Widerstandsanteil x bei symmetrischen Aufbau des Kabels und den Scheinwiderstand z beziehen sich auf einen laufenden Meter eines Kabels oder Leitung. Symmetrischer Aufbau bedeutet Mehraderkabel/-Leitung oder symmetrische Leiteranordnung bei Einleiterkabeln.

Nennquerschnitt mm²	Wirkwiderstand r mΩ/m	Induktiver Widerstand X mΩ/m	Impedanz Z mΩ/m
4 x 1,5	15,05	0,115	15,050
4 x 2,5	9,05	0,110	9,051
4 x 4	5,654	0,107	5,655
4 x 6	3,757	0,100	3,758
4 x 10	2,244	0,094	2,246
4 x 16	1,415	0,090	1,418
4 x 25	0,898	0,086	0,902
4 x 35	0,652	0,083	0,657
4 x 50	0,482	0,083	0,489
4 x 70	0,336	0,082	0,346
4 x 95	0,244	0,082	0,257
4 x 120	0,195	0,080	0,211
4 x 150	0,155	0,080	0,174
4 x 185	0,125	0,080	0,148
4 x 240	0,099	0,079	0,127
4 x 300	0,078	0,079	0,111

Im ersten Schritt werden die Kurzschlussströme in den zu betrachtenden Stromkreisen ermittelt.

Ermittlung des höchsten und niedrigsten Kurzschlussstroms bei einem Fehler Stromkreis des Hauptverteilers:

Impedanzen bei Netzbetrieb und dreipoligem Fehler (niedrigste Impedanz)

$$Z_{k1} = Z_Q + Z_T + Z_{L0}$$

$$Z_Q = \frac{1,0 \cdot U^2}{S_k \cdot 10^3} = \frac{1,0 \cdot 400^2 V}{250 \text{ MVA} \cdot 10^3} = 0,63 \Omega$$

$$Z_T = \frac{u_z \cdot U^2}{S_T \cdot 10^2} = \frac{6 \cdot 400^2 V}{2 \cdot 500 \text{ kVA} \cdot 10^2} = 9,6 \Omega$$

$$Z_{L0} = z_0 \cdot l_0 = \frac{1}{3} \cdot 0,418 \text{ m}\Omega / \text{m} \cdot 20 \text{ m} = 0,99 \Omega$$

$$\sum Z_{k3L0} = 0,63 \Omega + 9,6 \Omega + 0,99 \Omega = 11,22 \Omega$$

(Impedanz am Stromkreisanzfang)

Impedanz bei Sicherheitsstromquellenbetrieb und dreipoligem Fehler (höchste Impedanz)

$$Z_{k3} = Z_G + Z_{L1} + Z_{L2.1}$$

$$Z_{G3} = \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot I_{kD3}} = \frac{400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 800 \text{ A}} = 288,67 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{L1} = z_1 \cdot l_1 = 0,211 \text{ m}\Omega / \text{m} \cdot 10 \text{ m} = 2,11 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{L2.1} = z_{2.1} \cdot l_{2.1} = 0,346 \text{ m}\Omega / \text{m} \cdot 30 \text{ m} = 10,38 \text{ m}\Omega$$

$$\sum Z_{k3L2.1} = 288,67 \text{ m}\Omega + 2,11 \text{ m}\Omega + 10,38 \text{ m}\Omega = 301,16 \text{ m}\Omega$$

(Impedanz am Stromkreisende 3poliger Kurzschluss)

Impedanz bei Sicherheitsstromquellenbetrieb und einpoligem Fehler (höchste Impedanz)

$$Z_{k1} = Z_G + Z_{L1} + Z_{L2.1}$$

$$Z_{G1} = \frac{U_N}{\sqrt{3} \cdot I_{kD1}} = \frac{400 \text{ V}}{\sqrt{3} \cdot 1280 \text{ A}} = 180,42 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{L1} = z_1 \cdot 2 \cdot l_1 = 0,211 \text{ m}\Omega / \text{m} \cdot 2 \cdot 10 \text{ m} = 4,22 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{L2.1} = l_{2.1} (z_{2.1Ph} + z_{2.1PE}) = 30 \text{ m} (0,346 \text{ m}\Omega + 0,657 \text{ m}\Omega) = 30,09 \text{ m}\Omega$$

$$\sum Z_{k1L2.1} = 180,42 \text{ m}\Omega + 4,22 \text{ m}\Omega + 30,09 \text{ m}\Omega = 214,73 \text{ m}\Omega$$

(Impedanz am Stromkreisende bei einpoligem Kurzschluss)

Höchster und niedrigster Kurzschlussstrom im Stromkreis 1 des Hauptverteilers Die niedrigste Fehlerimpedanz im vorliegenden Beispielfalle ist: $11,22 \text{ m}\Omega$ (dreipoliger Fehler bei Netzbetrieb).
Die höchste Fehlerimpedanz ist: $301,16 \text{ m}\Omega$ (dreipoliger Fehler bei Aggregatsbetrieb).

Daraus errechnen sich die Kurzschlußströme zu:

$$I_{kl1.1} = \frac{1,0 \cdot 230 \text{ V}}{11,22 \text{ m}\Omega} = 20,50 \text{ kA} \quad (\text{höchster Kurzschlussstrom})$$

$$I_{kl2.1} = \frac{0,95 \cdot 230 \text{ V}}{301,16 \text{ m}\Omega} = 726 \text{ A} \quad (\text{niedrigster Kurzschlussstrom})$$

Ermittlung des höchsten und niedrigsten Kurzschlussstroms bei einem Fehler in den Stromkreisen des Unterverteilers UV1

Anmerkung zum höchsten Kurzschlussstrom:

Bei einem Fehler direkt im Unterverteiler, z. B. an den Abgangsklemmen der Schutzeinrichtungen, treten naturgemäß die höchsten Kurzschlussströme auf. Diese Stromhöhe ist für alle Stromkreise des Verteilers gleich. Der Widerstand der Fehlerschleife von der Quelle bis zur betrachteten Schutzeinrichtung wird üblicherweise "Vorimpedanz" genannt.

Ermittlung der Vorimpedanz des Verteilers UV1 und der höchsten dreipoligen und einpoligen Kurzschlussströme in den Abgangsstromkreisen *siehe Rechnung*

Impedanz bei Netzbetrieb und **dreipoligem** Fehler (*niedrigste Impedanz*)

$$Z_{k3} = Z_Q + Z_T + Z_{L2.1} + Z_{L3.1}$$

$$Z_{k(L0)} = 11,22 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{L2.1} = z_{2.1} \cdot l_{2.1} = 0,346 \text{ m}\Omega / \text{m} \cdot 2 \cdot 30 \text{ m} = 10,38 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{L3.1} = z_{3.1} \cdot l_{3.1} = 1,418 \text{ m}\Omega / \text{m} \cdot 50 \text{ m} = 70,90 \text{ m}\Omega$$

$$\sum Z_{k3L3.1} = 11,22 \text{ m}\Omega + 10,38 \text{ m}\Omega + 70,90 \text{ m}\Omega = 92,50 \text{ m}\Omega$$

(Impedanz am Stromkreisanzfang/Vorimpedanz)

Impedanz bei Netzbetrieb und **einpoligem** Fehler (*niedrigste Impedanz*)

$$Z_{k1} = Z_Q + Z_T + Z_{L0} + Z_{L2.1} + Z_{L3.1}$$

$$Z_Q \text{ (siehe Rechnung)} = 0,63 \text{ m}\Omega$$

$$Z_T \text{ (siehe Rechnung)} = 9,6 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{L0} = z_0 \cdot 2 \cdot l_0 = \frac{1}{3} \cdot 0,148 \text{ m}\Omega / \text{m} \cdot 2 \cdot 20 \text{ m} = 1,97 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{L2.1} \text{ (siehe Rechnung)} = 30,09 \text{ m}\Omega$$

$$Z_{L3.1} = z_{3.1} \cdot 2 \cdot l_{3.1} = 1,418 \text{ m}\Omega / \text{m} \cdot 2 \cdot 50 \text{ m} = 141,80 \text{ m}\Omega$$

$$\sum Z_{k1L3.1} = 0,63 \text{ m}\Omega + 9,6 \text{ m}\Omega + 1,97 \text{ m}\Omega + 30,09 \text{ m}\Omega + 141,80 \text{ m}\Omega = 184,09 \text{ m}\Omega$$

(Impedanz am Stromkreisanzfang/Vorimpedanz)

Höchste dreipolige/einpolige Kurzschlussströme

Aus den Werten der Vorimpedanz errechnen sich die Kurzschlussströme zu:

$$I_{k3} = \frac{0,95 \cdot 230 V}{92,50 m\Omega} = 2,36 kA$$

$$I_{k1} = \frac{0,95 \cdot 230 V}{184,09 m\Omega} = 1,19 kA$$

Dies sind die höchsten Kurzschlussströme, die bei einem entsprechenden Fehler in den Abgangstromkreisen der UV1 auftreten können.

Ermittlung der niedrigsten Kurzschlussströme in den Stromkreisen 1, 3 und 5 des Unterverteilers UV1

Daraus ergaben sich als Kurzschlussströme die Werte:

$$I_{k1L4.1} = 79 A$$

$$I_{k1L4.3} = 173 A$$

$$I_{k1L4.5} = 202 A$$

Offen ist noch die Ermittlung des dreipoligen Kurzschlussstroms bei einem entsprechenden Fehler am Ende von Stromkreis 5

Hierfür gilt:

$$Z_{k3} = Z_G + Z_{L1} + Z_{L2.1} + Z_{L3.1} + Z_{L4.5}$$

$$Z_{kL2.1} \text{ (siehe Rechnung)} = 301,16 m\Omega$$

$$Z_{L3.1} = z_{3.1} \cdot l_{3.1} = 1,418 m\Omega / m \cdot 50 m = 70,90 m\Omega$$

$$Z_{L4.5} = z_{4.5} \cdot l_{4.5} = 9,051 m\Omega / m \cdot 40 m = 362,04 m\Omega$$

$$\sum Z_{k3L4.5} = 301,16 m\Omega + 70,90 m\Omega + 362,04 m\Omega = 734,1 m\Omega$$

Der Kurzschlussstrom bei einem dreipoligen Fehler am Stromkreisende ist danach:

$$I_{k3L4.5} = \frac{0,95 \cdot 230 V \cdot 1000}{734,1 m\Omega} = \underline{\underline{297,64 A}}$$

Der Elektromanager 3.31 erledigt diese als auch alle anderen im Programmteil "Geschäftsberechnungen" enthaltenen Berechnungen schnell und zuverlässig.

**Alle erforderlichen Eingabedaten werden abgefragt.
Sie sparen Zeit und vermeiden Flüchtigkeitsfehler.**

