

Berechnungsalgorithmus

zur kurzschlussfesten Bündelung von XLPE isolierten Einleiternittelspannungskabeln.

Die durch die Kurzschlussströme verursachten Kräfte sind bei der Bemessung der Kabel und deren Befestigung (Kabelbündelung) zu beachten. Zwischen zwei parallelen stromdurchflossenen Leitern wirkt die Stromkraft F , sie ergibt sich für die parallele Anordnung als Stromkraftbelag zu:

$$\text{Stromkraftbelag} \quad F' = \alpha \cdot \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{i_p^2}{a} \quad \left[\frac{N}{m} \right] \quad (1)$$

$$\text{Faktor für die mech. Beanspruchung} \quad \alpha \quad (2)$$

- 2-poliger Kurzschluss $\alpha = 1$
- 3-poliger Kurzschluss $\alpha = \frac{\sqrt{3}}{2}$

$$\text{Stosskurzschlussstrom (Scheitelwert)} \quad i_p \quad [A] \quad (3)$$

$$\text{Achsenabstand der Leiteranordnung} \quad a \quad [m] \quad (4)$$

$$\text{Außendurchmesser der Leitung} \quad d \quad [m] \quad (5)$$

$$\text{Größte zulässige Einspannlänge} \quad l_z \quad [m] \quad (6)$$

$$\text{Magnetische Feldkonstante} \quad \mu^0 = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \quad \left[\frac{H}{m} \right] \text{ oder } \left[\frac{V \cdot s}{A \cdot m} \right] \quad (7)$$

$$\text{Leiter-Widerstandsmoment bei Biegung} \quad W = \frac{\pi \cdot d^3}{32} \quad [m^3] \quad (8)$$

Zulässige axiale Belastung für den Leiter

$$\sigma_{zul} = \alpha \cdot \frac{F' \cdot l_z^2}{12 \cdot W} = \alpha \cdot \frac{F' \cdot l_z^2 \cdot 32}{12 \cdot \pi \cdot d^3} = \alpha \cdot \frac{\mu_0}{2 \cdot \pi} \cdot \frac{i_p^2}{a} \cdot \frac{l_z^2 \cdot 32}{12 \cdot \pi \cdot d^3} \quad \left[\frac{N}{m^2} \right] \quad (9)$$

vereinfacht unter einsetzen von (7,8 und 9)

$$\sigma_{zul} \approx \alpha \cdot 1,7 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{i_p^2 \cdot l_z^2}{a \cdot d^3} \quad \left[\frac{N}{m^2} \right] \quad (10)$$

Einheitenkontrolle

$$(V \cdot A \cdot s = N \cdot m) \quad \left[\frac{V \cdot s}{A \cdot m} \cdot \frac{A^2 \cdot m^2}{m \cdot m^3} \right] = \left[\frac{V \cdot A \cdot s}{m^3} \right] = \left[\frac{N \cdot m}{m^3} \right] = \left[\frac{N}{m^2} \right] \quad (11)$$

Im Prüffeld für elektrische Hochleistungstechnik bei der IPH in Berlin, Prüfbericht Nr.: 1666.0301.2.281, wurden Kurzschlussversuche durch den Auftraggeber 3M Laboratories (Europe), Zweigniederlassung der 3M Deutschland GmbH, in D-41453 Neuss, durchgeführt. Hierbei wurde die größte zulässige Einspannlänge bei dem die Leitungen/Kabel nicht beschädigt werden, ermittelt.

Bemessungswerte:	$i_p = 126 \text{ kA}$	$d = 3 \text{ cm}$	$l_z = 20 \text{ cm}$
------------------	------------------------	--------------------	-----------------------

Unter Einbeziehung dieser Werte, kann die maximal zulässige Belastung für den Leiter wie folgt ermittelt werden.

Zulässige Belastung für den Leiter $\sigma_{zul} \approx \alpha \cdot 1,7 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{i_p^2 \cdot l_z^2}{a \cdot d^3}$ $\left[\frac{N}{m^2} \right]$ (12)

$$\sigma_{zul} \approx 1 \cdot 1,7 \cdot 10^{-7} \cdot \frac{(126 \cdot 10^3)^2 \cdot 0,2^2}{0,03 \cdot 0,03^3} \approx 133.280.000$$
 $\left[\frac{N}{m^2} \right]$ (13)

gerundet $\sigma_{zul} \approx 13.300$ $\left[\frac{N}{cm^2} \right]$ (14)

Mit diesem Wert, kann die größte zulässige Einspannlänge wie folgt berechnet werden.

Größte zulässige Einspannlänge $l_z = \sqrt{\frac{\pi \cdot d^3 \cdot 12 \cdot \sigma_{zul}}{32 \cdot F' \cdot \alpha}}$ $[cm]$ (15)

$$l_z = \sqrt{\frac{\pi \cdot d^3 \cdot 12 \cdot \sigma_{zul} \cdot 2 \cdot \pi \cdot a}{32 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot i_p^2 \cdot \alpha}} = \sqrt{\frac{\pi \cdot 12 \cdot 13300 \cdot 2 \cdot \pi}{32 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7} \cdot \alpha}} \cdot \left(\frac{d^2}{i_p} \right)$$
 $[cm]$ (16)

($d = a$)

vereinfacht $l_z \approx 280 \cdot \frac{d^2}{i_p}$ $[cm]$ (17)

Bruchkraft des Bandes (Scotch 45) $\sigma_B = 700$ (700 N pro 10 mm) $\left[\frac{N}{cm} \right]$ (18)

Breite des Scotch-Bandes $b = 1,9$ oder $b = 2,5$ $[cm]$ (19)

Anzahl der Bandlagen für l_z $n_{max} = \frac{i_p^2 \cdot l_z}{7000 \cdot d \cdot b} + 1$ (20)

aufgerundeter ganzzahliger Anteil $n_{max} = INT(n_{max} + 0,5)$ (21)

Gebündelte Anordnung, Befestigung und Einspannlänge für den aktuellen Bedarfsfall festlegen, z. B. auf einer Kabelpritsche, Steigetrasse etc., hierbei sind folgende Bedingungen $l \leq l_z$ und $l \geq d \cdot 6$ unbedingt einzuhalten.

Anzahl der Bandlagen für die festgelegte Einspannlänge l

$$n = \frac{i_p^2 \cdot l_z}{7000 \cdot d \cdot b} + 1 \quad (22)$$

aufgerundeter ganzzahliger Anteil

$$n = INT(n_{\max} + 0,5) \quad (23)$$

Literaturverzeichnis:

- IPH Berlin, Prüfbericht Nr.: 1666.0301.2.281, August 2002
- Siemens - Kabel und Leitungen für Starkstrom, Teil 1, 4. Auflage 1987
- ABB Calor Emag Taschenbuch Schaltanlagen, 10. Auflage 1999