

TECHNISCHE VORAUSSETZUNGEN FÜR DEN EINSATZ VON HOCHSPANNUNGSKABELN IN ELEKTRISCHEN NETZEN

**Redzo MURATOVIC¹, Ernst SCHMAUTZER¹, Rudolf WOSCHITZ²,
Wolfgang EMMER¹, Klemens REICH³, Michael KLEIN⁴, Georg SVEJDA⁵**

Inhalt

In zunehmendem Maß müssen Betreiber von Übertragungs- und Verteilernetzen überlegen, ob für den Transport elektrischer Energie Hochspannungskabelsysteme anstatt von Freileitungen eingesetzt werden können oder müssen. Unabhängig von der Frage der Investitions- bzw. Lebenszykluskosten ist eine Reihe von technischen Fragestellungen zu klären, um einen sicheren und vergleichsweise zuverlässigen Betrieb von Kabelsystemen gewährleisten zu können.

Im folgenden Beitrag werden grundsätzliche technische Voraussetzungen für die Errichtung von 380-kV-Höchstspannungsfreileitungs- und Höchstspannungskabelsystemen dargestellt und die Besonderheiten bei der Errichtung von Höchstspannungskabelanlagen beschrieben. Dazu gehören die Übertragungseigenschaften, das Impedanzverhalten, thermische Aspekte sowie der Einfluss von Parametern wie spezifischer Bodenwiderstand, Verlegearten, Schirmbehandlung auf die wechselseitige induktive und ohmsche Beeinflussung sowie die Beeinflussung anderer technischer Systeme.

Hinsichtlich der Übertragungseigenschaften von Kabeln im Vergleich zu Freileitungssystemen ist zu beachten, dass Kabel bei gleicher Übertragungskapazität deutlich kleinere Impedanzen aufweisen und der Lastfluss in einem vermaschten Höchstspannungsübertragungsnetz dadurch wesentlich beeinflusst wird. Durch die kleinere Impedanz kommt es zu einer Konzentration des Lastflusses im Bereich der Kabel. Höherimpedante parallele Leitungszüge mit Freileitungen werden hingegen entlastet. Dies bedarf sowohl für den Normalbetrieb als auch für den Fehlerfall einer Überarbeitung des Energieübertragungs- und des Schutzkonzeptes.

Aufgrund von umweltpolitischen Aspekten, vorwiegend optischer Natur, wird heute bei neuen Projekten immer häufiger gefordert Kabel statt Freileitungen zu errichten. Diese Tatsache macht es erforderlich sich mit dem Thema wissenschaftlich zu beschäftigen. Im Rahmen eines wissenschaftlichen Forschungsprojektes, das gemeinsam von der Austrian Power Grid AG, der Wiener Netze GmbH, der TenneT TSO B.V. und der Technischen Universität Graz durchgeführt wurde, wurden die Aspekte der induktiven und der ohmschen Beeinflussung sowie deren thermische Effekte bei 400-kV-Kabelsystemen untersucht. In der vorliegenden Veröffentlichung wird die wechselseitige induktive Beeinflussung mit dem Fokus auf den, beim Betreiben von 400-kV-Kabelsystemen möglichen Fall eines Crossbonding-Fehlers behandelt.

Grundsätzlich hängt die Höhe der durch die induktive Kopplung induzierten Größen, d.h. der Spannungen und Ströme bei 400-kV-Kabelsystemen von den nachfolgenden Faktoren ab:

- Abstände zwischen den Systemen sowie zw. den einzelnen Phasen eines Systems
- Anzahl der Abschnitte (abhängig von der Gesamtleitungslänge und der lieferbaren und transportfähigen Kabellänge einer Trommel)

¹ Technische Universität Graz, Institut für Elektrische Anlagen, Inffeldgasse 18, 8010 Graz,
Fax: +43 316 873-7553, www.ifea.tugraz.at,
{Tel.: +43 316 873-7556, redzo.muratovic@tugraz.at},
{Tel.: +43 316 873-7555, schmautzer@tugraz.at},
{Tel.: +43 316 873-8065, emmer@tugraz.at}

² Technische Universität Graz, Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement, Inffeldgasse 18,
8010 Graz, Tel.: +43 316 873-7410, Fax: +43 316 873-7408, woschitz@tugraz.at, www.hspt.tugraz.at

³ Austrian Power Grid AG, Wagramer Straße 19, IZD Tower, 1220 Wien, Tel.: +43 50 320-56368,
Fax: +43 50 320-156368, klemens.reich@apg.at, www.apg.at

⁴ Wiener Netze GmbH, Erdbergstraße 236, 1110 Wien, Tel.: + 43 1 90190-32215, Fax: +43 1 90190-9932215,
michael.klein@wienernetze.at, www.wienernetze.at

⁵ Gerichtssachverständiger für 110kV und 380kV Kabelanlagen, Gogolgasse 56, 1130 Wien,
Tel.: +43 660 6232626, georg.svejda@gmx.at

- Anzahl der Kabelsysteme bzw. der Leiter (Phasenleiter, Schirm, Begleiterder)
- Betriebszustände (Normalbetrieb, Grenzlast, Fehlerfall, Kühlung)
- Elektrische Symmetrie der Kabelsysteme (System-, Crossbonding Hauptabschnitts- und Unterabschnittslänge)
- Erdungsbehandlung der Kabelschirme, Begleiterder
- Erdungswiderstände (Auswirkung der Alterung bzw. Korrosion)
- Spezifischer Bodenwiderstand
- Verdrillungskonfigurationen (Crossbonding)
- Verlegearten (Dreieck, flach [horizontal, vertikal])
- Verlegetiefe
- Querschnittsfläche der Leiter
- Leiterform (Kabelschirm (Hohlleiter), Phase (Rundleiter))
- Leitermaterialien
- Leitergeometrie

Die Verlegung von 400-kV-Kabelsystemen wird in der Regel so durchgeführt, dass die einzelnen Leiter flach oder im Dreieck verlegt und gegebenenfalls zusätzlich zu den Kabelschirmen auch die Phasenleiter verdrillt werden. Das Verdrillen von Kabelschirmen entlang einer Kabeltrasse in der Art und Weise sodass jeder Kabelschirm jeden der drei Phasenleiter innerhalb eines Hauptabschnittes einmal umgibt wird als Crossbonding bezeichnet.

Im Normalbetrieb oder im Kurzschlussfall können hohe induzierte Kabelschirmspannungen gegenüber der Erde bzw. hohe induzierte Ströme in den Kabelschirmen auftreten.

Im Detail wird in der vorliegenden Veröffentlichung auf den sogenannten Crossbonding-Fehler (= direkte Erdung eines Crossbonding-Unterabschnitts) und dessen Auswirkungen auf das thermische Verhalten des Kabels, das heißt die Einhaltung der maximal zulässigen Leitertemperatur, die Magnetfelder und die induktive und ohmsche Beeinflussung eingegangen. Es werden verschiedene Betriebszustände der Kabelanlage berechnet um Gefährdungen von Personen und Betriebsmitteln zu analysieren und Vorschläge zur Lösung der möglichen Probleme darzustellen.

Simulation	Simulation 1			Simulation 2			Simulation 3			Simulation 4			
Crossbonding-Fehler	Nein			Zwischen A1 und A2 im System 1 Kabelschirm 1			Zwischen A1 und A2 im System 2 Kabelschirm 3			Zwischen A1 und A2 im System 3 Kabelschirm 1			
Abschnitt		A1	A2		A1	A2		A1	A2		A1	A2	
		Leiter	Schirm		Leiter	Schirm		Leiter	Schirm		Leiter	Schirm	
		A	A		A	A		A	A		A	A	
System 1	L1	1035	91	91	1035	309	62	1035	86	86	1035	86	86
	L2	1035	93	93	1035	92	92	1035	90	90	1035	92	92
	L3	1035	94	94	1035	89	89	1035	98	98	1035	90	90
System 2	L1	1035	7	7	1035	11	11	1035	11	11	1035	5	5
	L2	1035	10	10	1035	3	3	1035	13	13	1035	8	8
	L3	1035	7	7	1035	6	6	1035	208	73	1035	16	16
System 3	L1	1035	12	12	1035	10	10	1035	13	13	1035	212	70
	L2	1035	11	11	1035	12	12	1035	9	9	1035	6	6
	L3	1035	9	9	1035	14	14	1035	8	8	1035	13	13
System 4	L1	1035	91	91	1035	93	93	1035	88	88	1035	93	93
	L2	1035	91	90	1035	92	92	1035	89	89	1035	92	92
	L3	1035	90	90	1035	93	93	1035	91	91	1035	93	93

Tabelle 1: In der obigen Tabelle sind die induzierten Kabelschirmströme im fehlerfreien Normalbetrieb (Simulation 1) und bei Crossbonding-Fehler von 3 unterschiedlichen Kabelschirmen, angegeben.

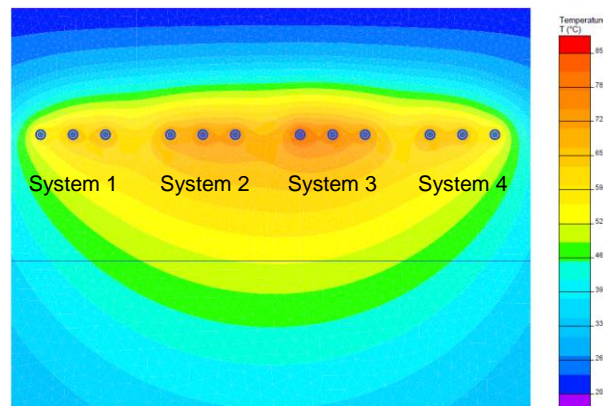


Abbildung 1: Im fehlerfreien Fall (Simulation 1) liegt die maximale Leitertemperatur bei 76,1 °C (bei 1035 A pro Kabelphase) und beim Crossbonding-Fehler vom Kabelschirm 1 des Systems 3 liegt die maximale Leitertemperatur bei 84,9 °C (siehe oben).