

Der Nullstromdifferenzialschutz als Erweiterung des Transformatorenschutzes

Walter Schossig, VDE Thüringen
Dr. Peter Meinhardt, OMICRON



Der Nullstromdifferenzialschutz als Erweiterung des Transformatorenschutzes

OMICRON-Anwendertagung am 22./23.05.2007 in Kassel

Walter Schossig
VDE Thüringen
info@walter-schossig.de
www.walter-schossig.de
Tel.: +49 3621 701016

Dr. Peter Meinhardt
OMICRON electronics GmbH
peter.meinhardt@omicron.at
www.omicron.at
Tel.: +43 5523 507 452

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

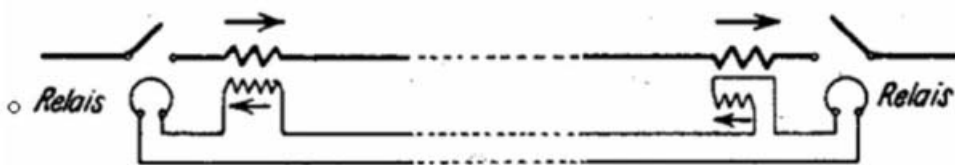
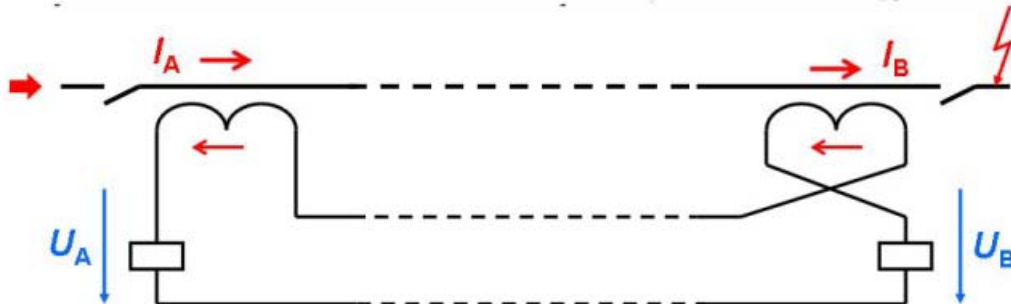


Abb. 161. Grund-Schema der Merz-Price-Schaltung, 1904.



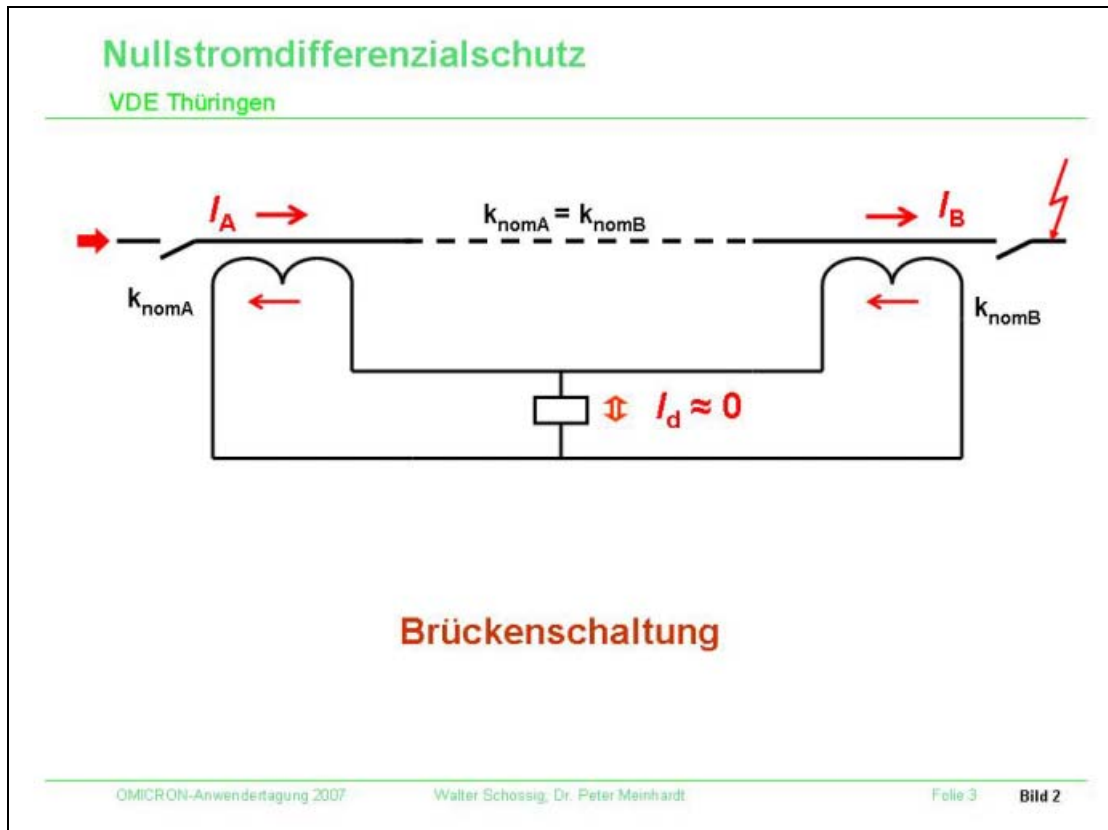
Geburtsstunde des Differentialschutzes

OMICRON-Anwendertagung 2007

Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt

Folie 2

Bild 1



Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

Anwendungsfälle des Differenzialschutzes:

- als Leitungsschutz bedingt durch erforderliche Wirkverbindung vorwiegend nur
 - - im HöS-Netz, z.B. in Verbindung mit Distanzschutz als Reserveschutz und
 - - im MS-Netz bei kurzen Kabelstrecken
- bei Generatoren, Motoren und insbesondere Transformatoren als Hauptschutz

OMICRON-Anwendertagung 2007 Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt Folie 4

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

-T1 100/1 A -T101 YNyn0/6(d) -T1 100/1 A

ü = 1

-R21

-F321

$I_d > 0$

Fehlansprechen des Diff.-Schutzes bei NOSPE o. SSPE

OMICRON-Anwendertagung 2007 Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt Folie 5 Bild 3

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

-T1 100/1 A -T101 YNyn0/6(d) -T1 100/1 A

ü = 1

-R21

-F321 -T321

$I_d \approx 0$

Nachbildung der primären Tertiärwicklung durch entsprechende Zwischenwandler bei NOSPE o. SSPE

OMICRON-Anwendertagung 2007 Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt Folie 6 Bild 4

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

Nachbildung der primären Tertiärwicklung durch entsprechende Zwischenwandler im RSPE-Netz u. Erdschluss

OMICRON-Anwendertagung 2007
Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt
Folie 7 **Bild 5**

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

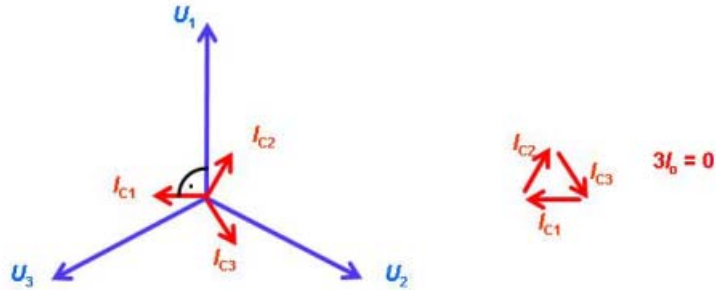
Ladestrom im Normalbetrieb, d.h. erdschlussfreier Betrieb

OMICRON-Anwendertagung 2007
Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt
Folie 8

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

Vektorielle Darstellung



Spannung und Ladestrom I_C im Normalbetrieb

OMICRON-Anwendertagung 2007

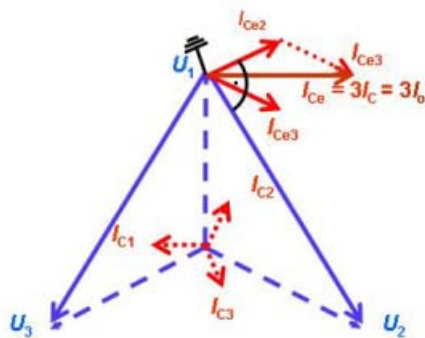
Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt

Folie 9

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

Vektorielle Darstellung



Spannung und Erdschlussstrom im Erdschlussfall

OMICRON-Anwendertagung 2007

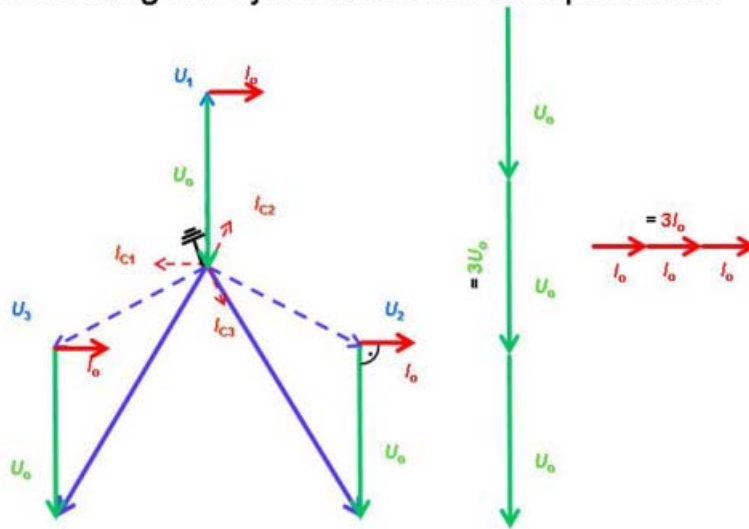
Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt

Folie 10

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

Betrachtung mit symmetrischen Komponenten



Spannung und Erdschlussstrom im Erdschlussfall

OMICRON-Anwendertagung 2007

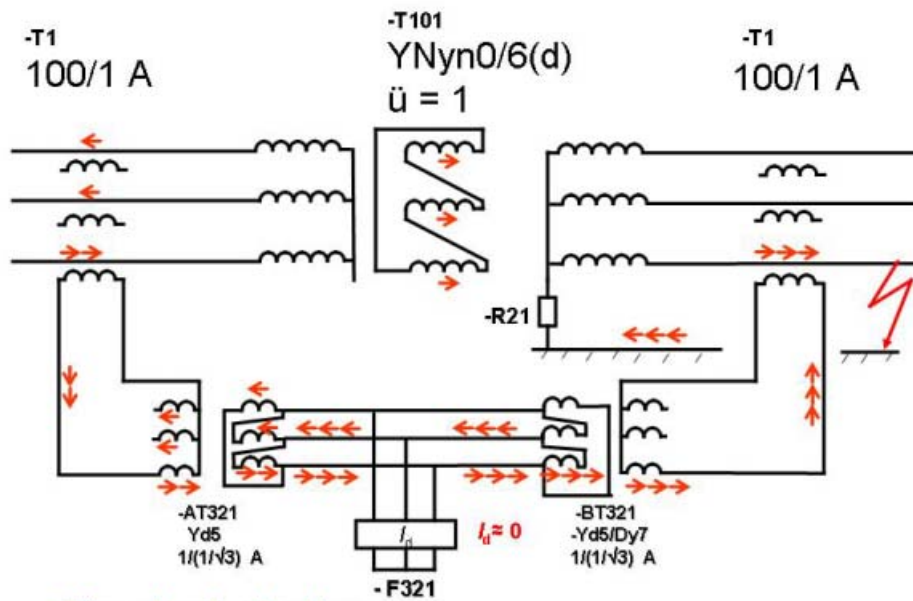
Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt

Folie 11

Bild 6

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen



Standardschaltung

OMICRON-Anwendertagung 2007

Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt

Folie 12

Bild 7

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

Digitaler „klassischer“ Differenzialschutz:
Zwischenwandler entfallen, indem

- Schaltgruppen,
- Wandleranpassung und
- Nullstromfilterung

parametriert werden

Nullfilterung bedeutet:

beim einpoligen Fehler geht gegenüber dem mehrpol. Fehler die Empfindlichkeit auf $\frac{2}{3}$ zurück, da $I_o = \frac{1}{3} I_k$

Besonders kritisch wird dies bei NOSPE oder SSPE, wenn sich der Fehler im Trafo dem Sternpunkt nähert

Hinzu kommt der Einfluss der Stufenstellung bzw. der Last durch Kennlinienanstieg beim Diff.-Schutz

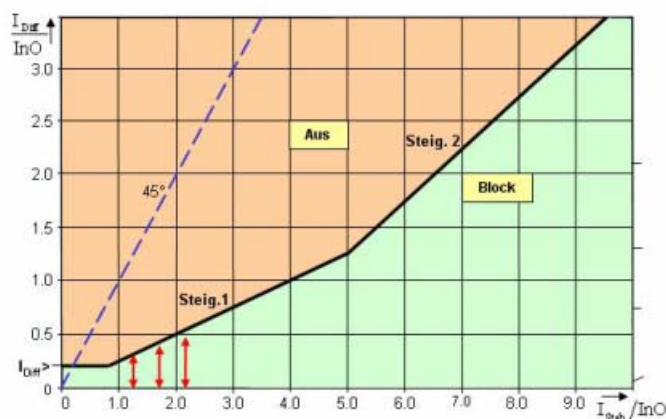
OMICRON-Anwendertagung 2007

Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt

Folie 13

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen



Auslösekennlinie: ■ $I_{Diff} = f(I_{Stab})$
 ■ $I_{Stab} = |I_1| + |I_2|$

Verringerung der Empfindlichkeit bei Betriebslast
und einp. Fehler durch Stabilisierung beim I_d

[8]

OMICRON-Anwendertagung 2007

Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt

Folie 14 Bild 8

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

I_{od} -Schutz bei ED im Netz u. NOSPE

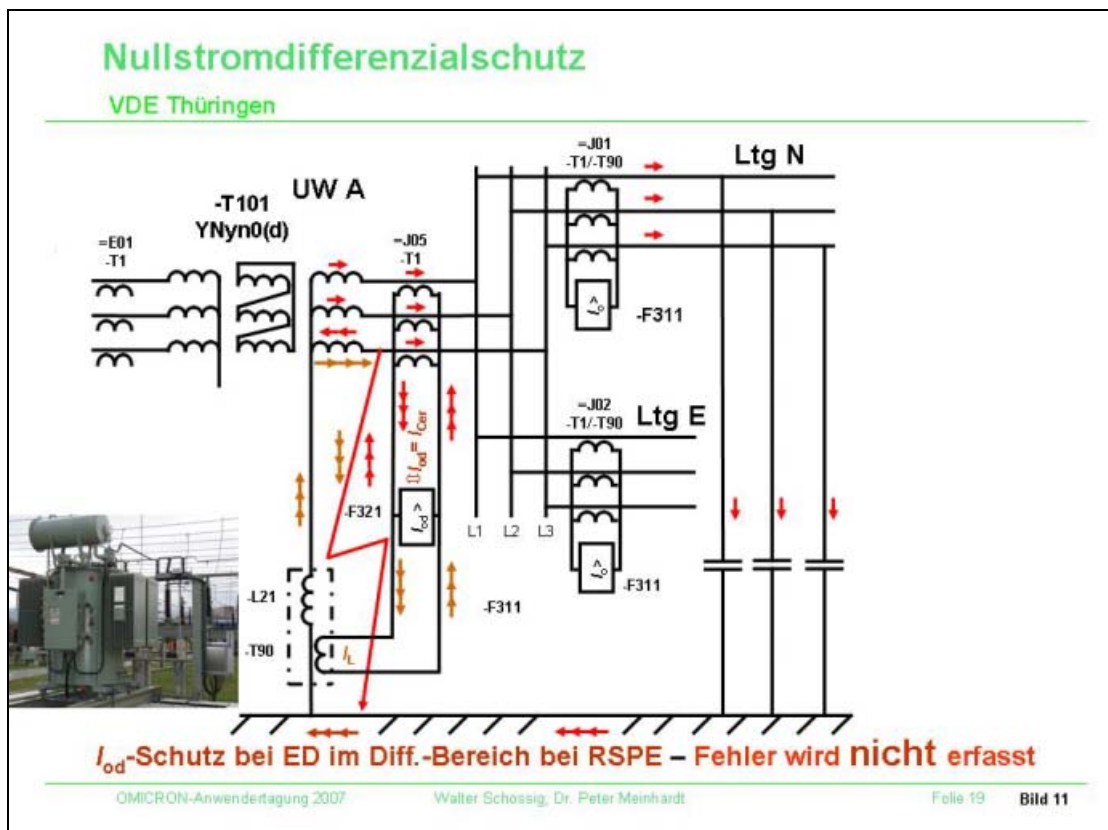
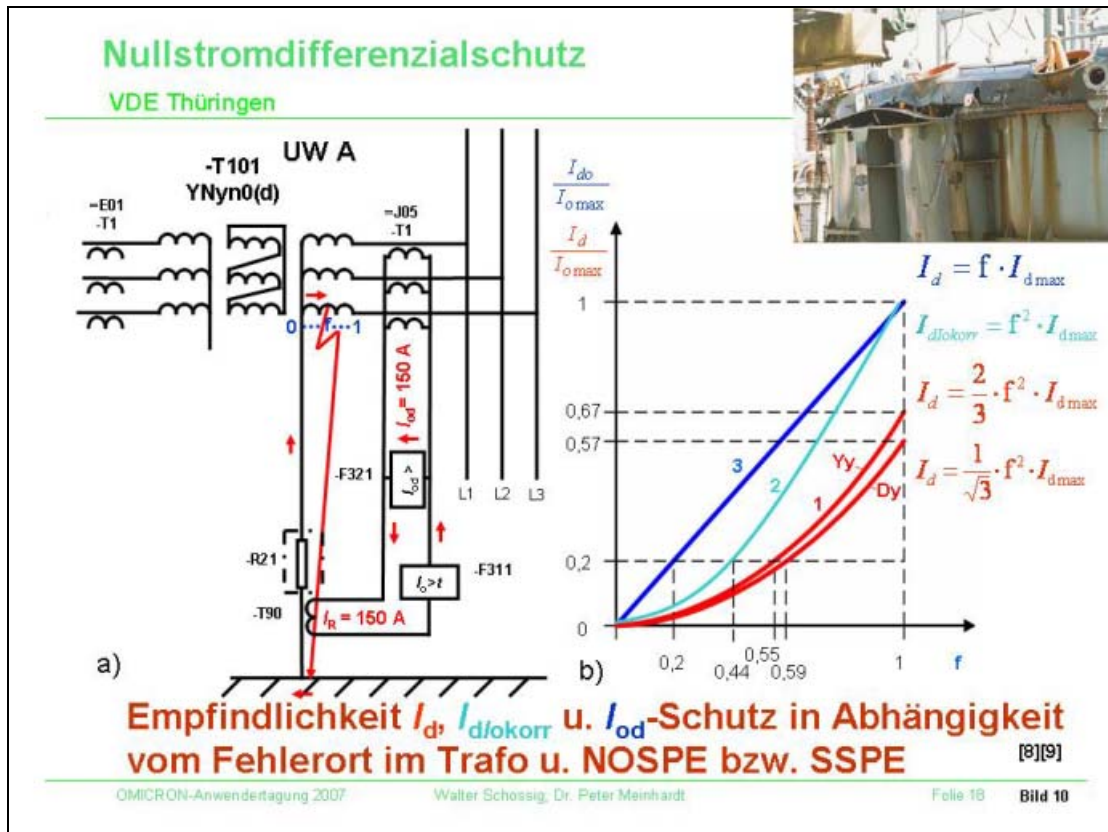
OMICRON-Anwendertagung 2007 Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt Folie 16 Bild 9

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

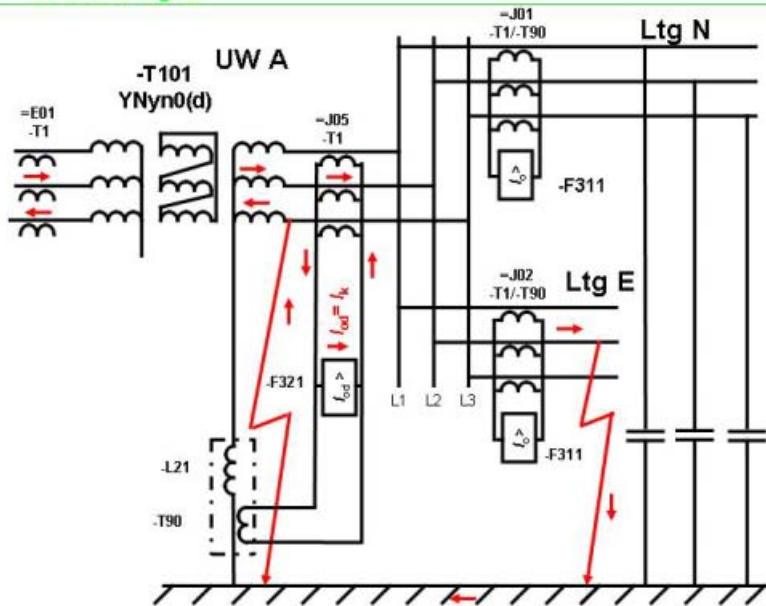
I_{od} -Schutz bei ED im Diff.-Bereich bei NOSPE

OMICRON-Anwendertagung 2007 Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt Folie 17



Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen



I_{od} -Schutz bei ED im RSPE-Netz u. weiterer Fußpunkt im Diff.

OMICRON-Anwendertagung 2007

Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt

Folie 20

Bild 12

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen



Wahlweise Anschließung einer E-Spule beachten

OMICRON-Anwendertagung 2007

Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt

Folie 24

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

Falschstromstabilisierung:

Erforderlich wegen unterschiedlichem Übertragungsverhalten (Betrag und Winkel)

- bei der Summenstrom- und Sternpunktstromgewinnung und
- der einzelnen Wandler zur Summenstromgewinnung bei mehrpol. Fehlern

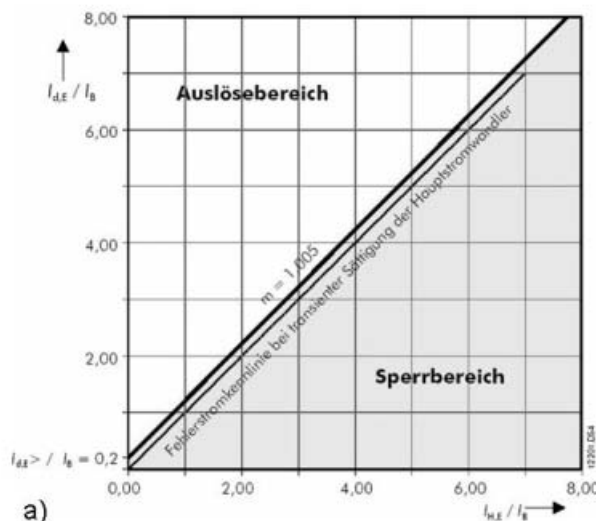
Vom Hersteller unterschiedlich werden

- die Leiterströme,
- die Beobachtung des Gegensystems im Wandler-Sekundärkreis oder
- die Richtung des Differenzstromes zum Sternpunkt- bzw. Haltestrom zur Stabilisierung herangezogen.

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

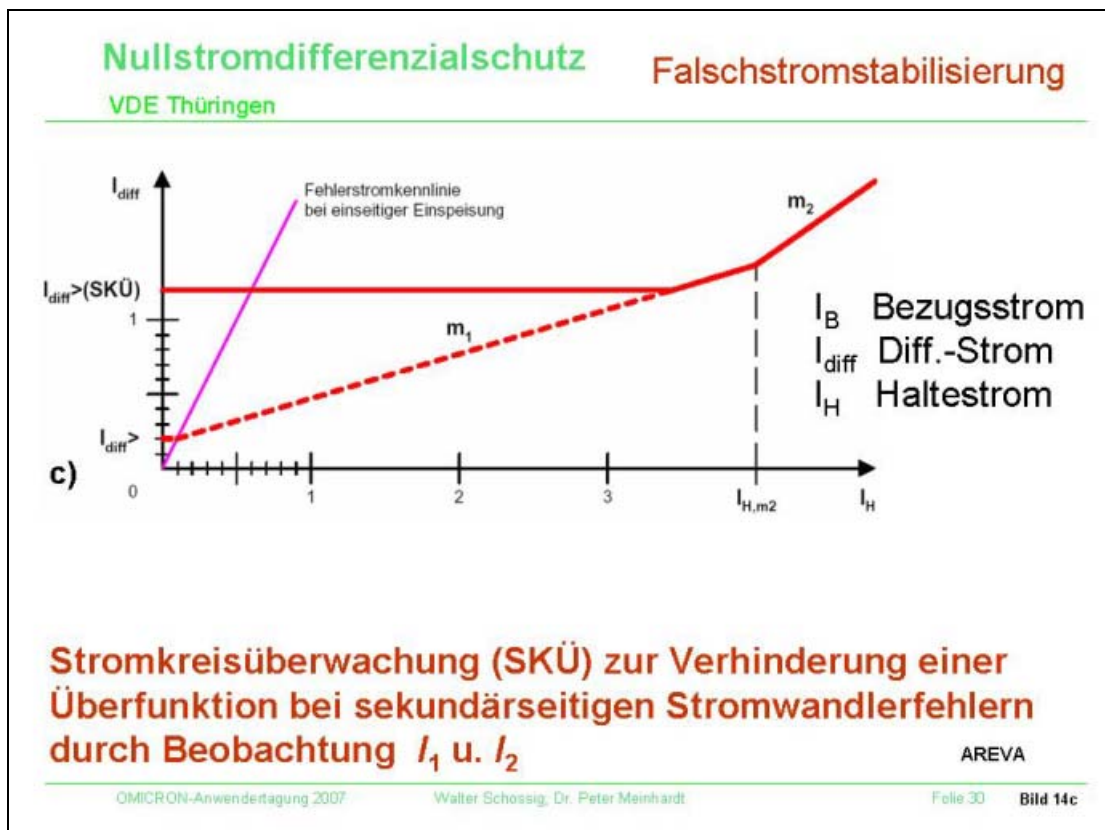
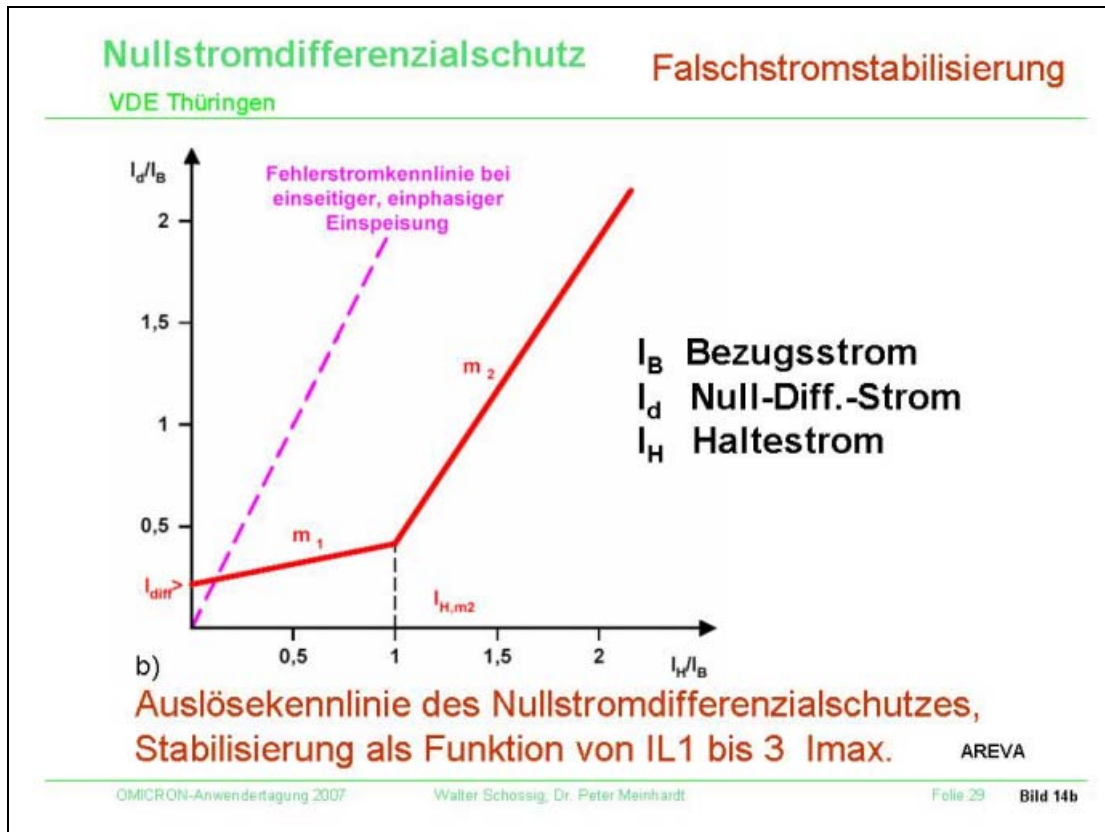
Falschstromstabilisierung

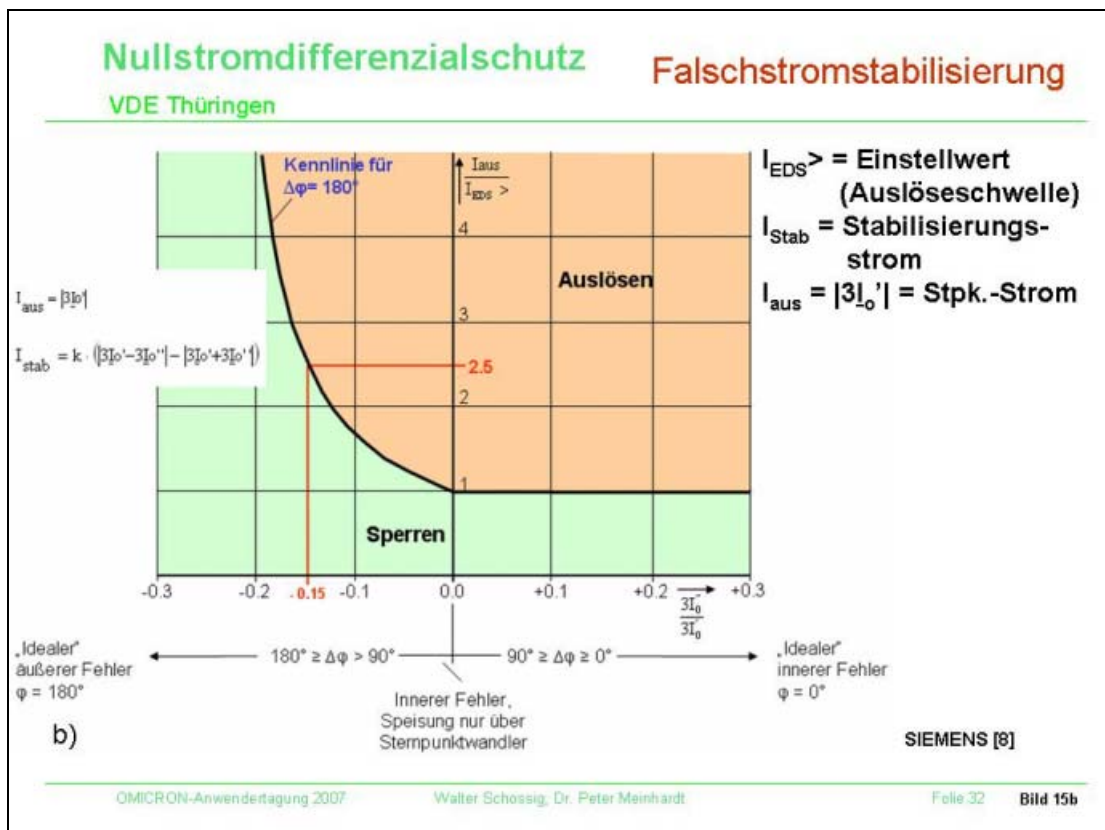
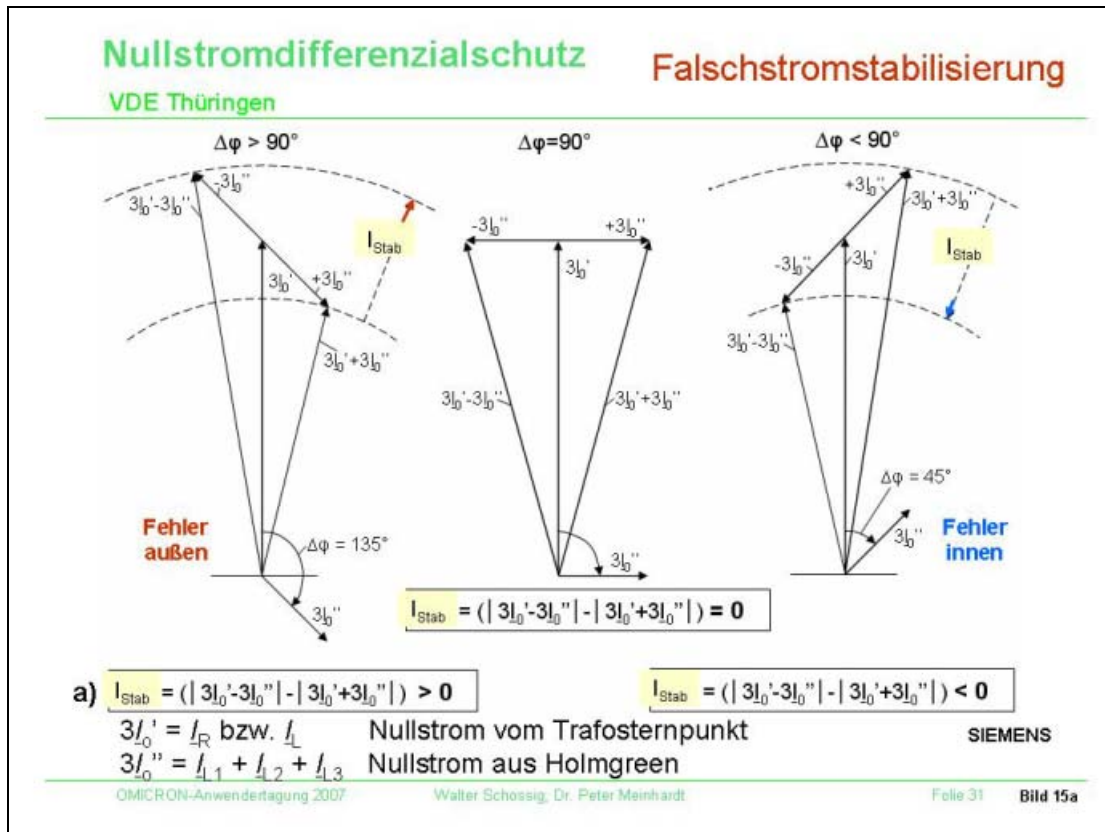


I_B Bezugsstrom
 $I_{d,E}$ Null-Diff.-Strom
 $I_{H,E}$ Haltestrom

Auslösekennlinie des Nullstromdifferenzialschutzes, Stabilisierung als Funktion von $\Sigma IL1$ bis 3

AREVA





Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

I_d Differenzstrom, berechnet aus der Nullkomponente der Phasenströme und des Nullstroms

φ Phasenwinkel zwischen berechnetem und gemessenem Strom

I_b Stabilisierungsstrom, berechnet aus den Phasenströmen

I_n Nennstrom

Auslösekennlinie des Nullstromdifferenzialschutzes, Stabilisierung $I_d \cos \varphi$ als Funktion von den Leiterströmen (SPAD, ABB)

ABB

OMICRON-Anwendertagung 2007
Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt
Folie 33
Bild 16

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

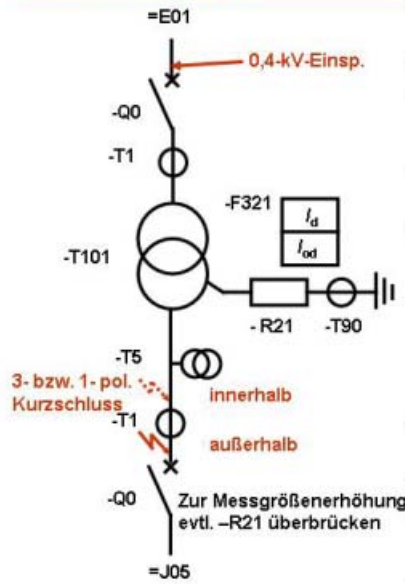
I_{od} -Schutz bei ED im KNOSPE-Netz

OMICRON-Anwendertagung 2007
Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt
Folie 34
Bild 17

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

Messergebnis bei Kurzschluss außerhalb



Leiterstrom OS	Leiterstrom US	Diff.-Strom	Fehler
100 %	100 %	0 – 20 %	Schaltung i.O.
100 %	0	100 %	Unterbrechung eines Wandlerkreises oder versehentlich KS innerhalb
100 %	100 %	200 %	180°-Verdrehung eines Wandlers bzw. einer Wandlergruppe
100 %	100 %	173 %	Zyklische Verdrehung zwischen den Wandlern einer Gruppe
100 %	100 %	100 %	180°-Verdrehung eines Wandlers bzw. einer Wandlergruppe und zyklische Verdrehung zwischen den Wandlern dieser Gruppe
Leiterstrom US	Sternpunkt-Strom	Diff.-Strom	Fehler
100 %	100 %	0 – 20 %	Schaltung i.O.
100 %	0	100 %	Unterbrechung eines Wandlerkreises oder versehentlich KS innerhalb
100 %	100 %	200 %	180°-Verdrehung eines Wandlers

OMICRON-Anwendertagung 2007

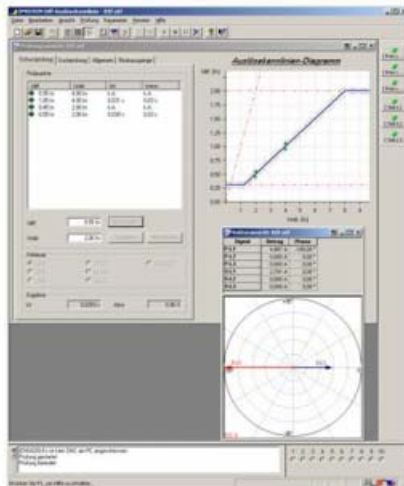
Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt

Folie 35

Bild 18

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen



Prüfung eines Nullstromdifferenzialschutzes mit dem Modul „Diff Auslösekennlinie“

OMICRON-Anwendertagung 2007

Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt

Folie 36

Bild 19

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

Lösungen im Ausland

Nullstromdifferenzialschutz/Restricted Earthfault Protection (REF)/ low impedance protection/Low-Impedance-Meßprinzip bzw.

Hochimpedanzschutz / High-Impedance-Meßprinzip

• **ist Praxis in den angelsächsischen Ländern und den USA**

• **festgeschrieben im Standard, im GridCode oder in Regulatorrichtlinie**

- <AU>** -; High Impedance Differential Relay 2V73 User Guide. relay monitoring systems pty ltd. http://www.rmspl.com.au/userguide/2V73_User_Guide.pdf
- <Chile>** -; Three-Phase Thermal+Overcurrent+Earth Fault Relay IM30-T. www.bmv.cl/web/html/downloads/catalogos/ms/Reles_prote_trafos.pdf
- <GR>** Tsili,M.A.; Pathanassiou,S.A.: Analysis of a three-limb core power transformer under earth fault. http://users.ntua.gr/stpapat/Paper_2.44.pdf
- <Indien>** -; Gujarat Arat Electricity Regulatory Commission (GERC) Grid Code. No. 5 of 2004. www.gercin.org/main/Final%20Regulations/GRID_CODE.DOC

OMICRON-Anwendertagung 2007

Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt

Folie 37

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

- <IRL>** -; INSPECTION STANDARD FOR PRECOMMISSIONING ELECTRICAL TESTS. IPS-I-EL-217. <http://igs.nigc.ir/STANDARD/IPS/EL/I-EL-217.PDF>
- <CDN>** Chano,S.: Transformer Protection, Monitoring and Control. Special Report for Preferential Subject 1. Cigre 100, 2005 September 14-16, Calgary, CANADA. http://sage.cepel.br/ceb5/arquivos/artigos_e_documentos/coloquio_de_calgary/100.pdf
- <Kuwait>** -; Example for 132 KV Transformer protection scheme. www.sayedsaad.com/Protection/files/protection_schemes/2_protection_schem.htm
- <N>** - ; Norsok Standard. Common Requirements Electrical Systems. E-CR-001. Rev. 1, December 1994 www.standard.no/pronorm-3/data/fi/0/01/32/3_10704_0/E-CR-001r1.pdf
- <NZ>** Stewart,B. u.a.: Asset Management Plan 1 April 2005 to 31 March 2015. Eastland Network Ltd. 30 June 2005. www.e-c.co.nz/eastlandinfrastructure/myfiles/AMP_2005.pdf
- <P>** TP 420. www.efacec.pt/PresentationLayer/ResourcesUser/CatalogoOnline/PDFs/Gama%20420_folheto.pdf
- <SF>** Maasulkusuojaus. ABB:n TTT-käsikirja 2000-07. www.abb.fi/global/fiabb/fiabb255.nsf/viewunid/C46D5509D325D21AC225695B002FB07B/Sfile/080_0007.pdf

OMICRON-Anwendertagung 2007

Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt

Folie 38

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

- <Uganda> Rural electrification in Uganda. Powering the Masindi district. Spring 2004.
www.ntnu.no/~lekangso/filer/Rural%20electrification%20in%20Uganda.pdf
- <H> Védelem, automatika és irányítástechnika Sepam készülékcsalád, Sepam 2000. www.mediastorm.hu/schneider/letoltes/mg050.pdf
- <Sri Lanka> Tender Document Vavuniya Kilinochchi Transmission Projekt. Ceylon Electricity Board, Sri Lanka, November 2005.
www.ceb.lk/Tender/tender%20notices/kilinochchi/Volume%203.pdf
- <ZA> The Zambian Grid Code. The Network Code. DRAFT, March 2006
www.erb.org.zm/downloads/gridcode/zmgc-NetworkCode.pdf
- <UK> IAG 7014.
www.ceerelays.co.uk/brochures/CEE/IAG7014%20&%20IAG7034.pdf
- <US> Transformer Protection Relay M-3311. Beckwith Electric Co.
[www.beckwithelectric.com/relays/m3311/IB/M-3311-IB-02%20\(07-05\)%20Screen.pdf](http://www.beckwithelectric.com/relays/m3311/IB/M-3311-IB-02%20(07-05)%20Screen.pdf)
- <Vietnam> H I N T NG NH Y V T T HOÁ O V SO L CH VÀ CH NG CH M T CHO MÁY BIẾN ÁP. www.ctu.edu.vn/colleges/tech/bomon/dien/Bai%20giang/file%20PDF/ROLEPDF/BAI%205.pdf

<A>, <D>, <CH> ?

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

Australien

4.2 Modern Equivalent Assets

The Modern Equivalent Assets assumed for the DORC methodology are as listed below:

a) Sub-Transmission System

22/33 kV urban lines: concrete or steel poles
 44kV rural lines: 66 rural kV lines

Major Substations

33 kV circuit breakers : outdoor SF6 or vacuum type
 22 kV and 11 kV circuit breakers : indoor metal clad switchgear, SF6 or vacuum type
 Power transformers : ONAN/ONAF low noise type
 Feeder protection : multifunction relay
 Bus protection : duplicate differential protection
 Transformer protection : duplicated differential protection with **restricted earth fault**

www.energyregulator.tas.gov.au

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

关于零差保护

Restricted Earth Fault Protection

<<东方电气评论 >>2005年04期
 单凯, 陈保瑜, 陈明世, 王超, SHAN Kai, CHEN Bao-yu, CHEN Ming-shi, WANG Cong

零差保护具有很高的灵敏度,广泛应用于发电机、变压器、电抗器等元件作为内部绕组接地故障保护.由于零差保护的的特殊性,零差继电器本身就是一只灵敏电流继电器或动作功率很小的电压继电器.那么零差保护如何躲外部故障的不平衡电流呢?传统零差保护均使用高阻继电器,高阻继电器有很高的超越不平衡电流的能力.但是使用高阻继电器时,CT的励磁电流降低了保护的灵敏度,所以低阻继电器又重新被启用.但必须从外部引入闭锁信号或启动信号或延时,以便超越外部故障的不平衡电流.在上述条件均满足的条件下,零差保护的整定值仅考虑元件内部绕组接地故障的灵敏度.图 4参 3

关键词: 零差保护, 高阻继电器, 低阻继电器, 整定计算, 灵敏度

<http://scholar.ilib.cn/Abstract.aspx?A=dfdqpl200504013>

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen



Neuseeland

ASSET MANAGEMENT PLAN

1 April 2005 to 31 March 2015

Standards

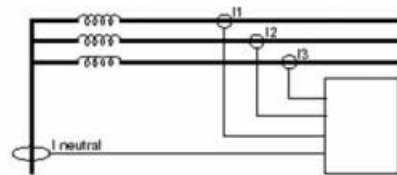
For Transformers up to 5MVA Over current /Earth Fault protection is sufficient.
 Transformers over 5MVA are to have Restricted Earth fault and Differential Protection.
 Tap changer controls shall be capable of Master/ Follower or circulating current operation to cope with unbalanced conditions.
 Typically 110V battery is single unit.
 Dual 24V Battery systems are to be used where installed CB's operate on 24V and no 110V systems are installed. 24/12-volt DC-DC converters used for Radio equipment power supply.
 Battery chargers and batteries including rationalisation of various supply voltages to a common voltage (i.e. 12 volt, 48 volt supplies standardised at 24volts)
 Battery Monitors accessed via Telephone line for 110V batteries are installed to ensure close monitoring of the critical supplies for CB tripping circuits.

[WWW.E-C.CO.NZ](http://www.e-c.co.nz)

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

Ungarn



Különbözeti földzárlat védelem

Különbözeti földzárlat védelem a szinkronhelyzet ellenőrzési funkciót.

Ha az adott Sepam készülék egyéb, ezen ellenőrzési funkciójától független funkciókat (feszültségmérés, teljesítménymérés, irányított védelmek, feszültségvédelmek, stb.) is ki akarjuk használni, akkor az U feszültségként az U_{21} és U' feszültségként az U_{21}' feszültséget kell a készülékhez csatlakoztatni.

Százalekos korlátozású különbözeti földzárlatvédelem (ANSI 64REF)

Védelem célja a földelt csillagpontú háromfázisú rendszerek fázis - földzárlatainak elhárítása. A védelmi funkció az I_0 maradékáram ($I_0 = I_1 + I_2 + I_3$; a fázisáramok vektoriális összegének) és az $I_{neutral}$ csillagponti áram értékeinek folyamatos

www.mediastorm.hu

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

UP ELECTRICITY GRID CODE-2006

Indien

10.13 Transformer Requirements

10.13.1 400 kV class Power Transformers: - These shall be provided with differential protection, restricted earth fault protection, Buchholz protection, and winding temperature protection along with backup directional HV & LV-DMMT over current protection.

10.13.2 220 kV, 132 kV and 66 kV class Power Transformers: -These shall have differential protection, restricted earth fault protection, Buchholz protection, and winding/oil temperature protection. They shall also have directional over current as backup protection with an instantaneous element. In addition to the above, Over Fluxing Relays, Pressure Relief valves/diaphragms shall be provided for all the power transformers. Appropriate fire protection for all the power transformers as per CBIP specifications and tariff advisory committee recommendations shall be provided. Over fluxing relays shall be provided on transformers having rating more than 100 MVA.



U. P. ELECTRICITY REGULATORY COMMISSION
2nd Floor, Khan Mandi Bhawan, Vibhuti Khand, Gomiaagar, Lucknow.

Nullstromdifferenz

VDE Thüringen

Irland

IPS-I

INSPECTION STANDARD FOR PRECOMMISSIONING ELECTRICAL TESTS

OMICRON-Anwendertagung 2007

9. TRANSFORMER PROTECTION

Some or all of the following protection systems:

- Differential
- Restricted Earth Leakage
- Overload and Earth Fault-As Back-up
- Buchholz
- Temperature

Before commissioning, the following tests are re

9.1 Operation Tests

9.1.1 Differential protection

According to relay manufacturers publication the polarity of the current transformers should be checked and shall be injected through any one current transformer and the tripping of the differential protection relay is t

9.1.2 Restricted earth fault

After polarity check as above, a c current shall be injected into the neutral current transformer and the tri restricted earth fault relay noted.

9.1.3 Overload and earth leakage

a.c current shall be injected into one CT and a short circuit placed on the earth leakage coil. For various v mary current note the times required for the overload relay to operate. Remove the short circuit from the e coil and short the overload coils. For various values of primary current note the times required for the c relay to operate. The setting of time multipliers shall be done according to manufacturer instruction.

9.1.4 Temperature detector device

The temperature detector device shall be checked according to manufacture instruction and test procedure.

9.2 Stability Tests

9.2.1 Differential

A short circuit shall be placed on the three phases outside the protected zone. The current shall be built up t which value the relay should not operate and the low impedance milliammeters placed in circuit should n than 10 mA out of balance.

9.2.2 Restricted earth fault

Inject current through a phase CT and the neutral CT and check that no influence occurs to the earth fault

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

OMICRON-Anwendertagung 2007

موقع نظم القوى الكهربائية الحديثة

Recent Electrical Power Systems (REPS)

Eng. Sayed Saad Amin
Protection Systems Engineer
Primary Substation Maintenance Dep.
(PSMD)
Ministry Of Energy - Kuwait

هندسة الوقاية

Protection of Power System

- Basic of protection
- Short circuit calculation.
- Instrument Transformer.
- Protection schemes.

OMICRON-Anwendertagung 2007

Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt

Folie 48

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

NORSOK STANDARD

COMMON REQUIREMENTS
ELECTRICAL SYSTEMS

E-CR-001
Rev. 1, December 1994

Norwegen

Protective function	Low voltage motor	High voltage motor	Power transformer	Local and Remote Alarm
Differential protection			X (4)	X
Overload	X	X		X
Shortcircuit	X	X	X (7)	X
Earth fault	X	X	X (5)	X
RTD, temp. high		X (1)	X (1)	X
RTD, temp. high high		X (2)	X	X
Stalled rotor	X (3)	X		X
No. of start attempts/thermal state		X		X
Negative sequence		X		X

Notes:

- Alarm only.
- Should the RTD detect overtemperature in motors driving fire water pumps, an alarm only shall be annunciated while the operation shall be continued in emergency mode.
- Stalled rotor protection shall be provided for all submerged pump motors.
- Differential protection shall be provided for transformers ≥ 4 MVA.
- Earth fault protection shall be provided:
 - for protection of the primary winding against internal faults
 - for protection of the switchboard connected to the secondary winding, and internal faults when the neutral point is earthed across a neutral resistor
- Restricted earth fault protection shall be provided for transformers with solidly earthed neutral.
- Shall protect the primary and secondary windings, and the busbar of the switchboard connected to the secondary winding.

<http://www.standard.no>

OMICRON-Anwendertagung 2007

Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt

Folie 49

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

Tender Document

Vavuniya Kilinochchi Transmission Project

1. Construction of New 132/33kV Grid Substation at Kilinochchi

2. Construction of New 132kV Double Circuit Transmission Line from Vavuniya to Kilinochchi

3. Replacement of Steel Ground Wire with Optical Fiber Ground Wire (OPGW) of Existing 132 kV Transmission Line from New Anuradapura GSS to Vavuniya GSS

VOLUME 3
Section 4 - Technical Specifications - Part 2
Employer's Specifications
Grid Substations
Transmission Line

Transmission Division
Ceylon Electricity Board,
P.O. Box 540, Colombo 02,
Sri Lanka
November 2005

Sri Lanka

Technical Specifications – Grid Substation *Revision 2*

5.11 TRANSFORMER PROTECTION (INCLUDING EARTHING & AUXILIARY TRANSFORMERS)

5.11.1 General

Power transformers shall be protected by the usually applied gas- and oil-surge and pressure detectors, oil- and winding-temperature monitoring devices, including the monitoring and protection of the tap changer and/or the cable connection chambers in the similar manner, all as specified below of this Specification.

Beside these protection systems as built into or mounted on the power transformers, at least the following electrical protection relays shall be provided, but shall not be limited to:

- differential protection, which internally facilitate the ratio and vector group compensation.
- restricted earth fault (REF) protection, which also facilitate internal current transformer ratio compensation.
- earth fault protection (–stand by earth fault for low voltage winding, Neutral earth fault for high voltage winding etc.)
- back-up over current protection for all voltage levels.
- Over Voltage, Under Voltage and over fluxing protection for each winding

<http://www.ceb.lk>

OMICRON-Anwendertagung 2007

Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt

Folie 50

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

The Network Code

Südafrika

DRAFT

March 2006

6.1.4.5 Transformer Current Differential Protection

This is the main transformer protection for E/F and phase to phase faults. Maximum sensitivity is required, while ensuring no incorrect operation for load, for through fault conditions or for magnetising inrush current, with its attendant decaying offset.

6.1.4.6 Transformer High Impedance Restricted E/F

This protection is an additional protection for the transformer differential relay to cater for earth faults close to the star point of the transformer winding, where phase to phase faults are most unlikely to occur.

Enquiries: Energy Regulation Board

<http://www.erb.org.zm>

OMICRON-Anwendertagung 2007

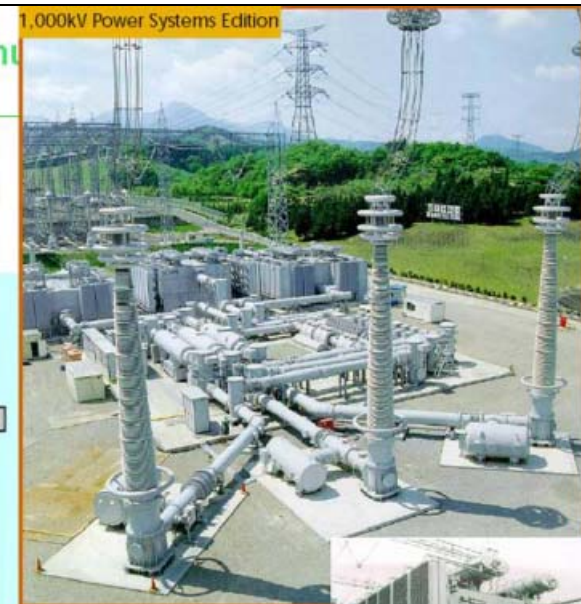
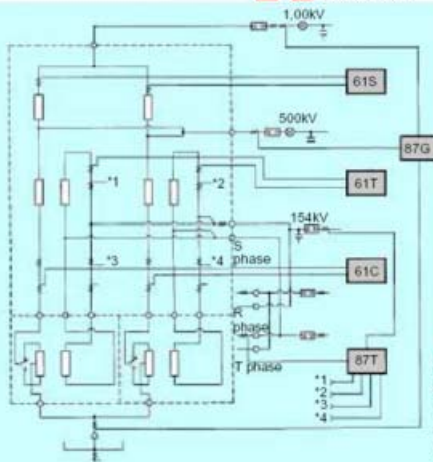
Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt

Folie 51

Nullstromdifferenzialschutz

VDE Thüringen

1050/525 kV, 3.000/3 MVA
Diff- u. Nullstromdiff-Schutz
TEPCO (J)



Key
61 Current comparison relay
S: For Series windings
T: Tertiary windings
C: Shunt windings
87G Current differential relay for ground fault
87T Current differential relay for tertiary circuit

Configuration of a 1,000kV transformer and the current transformer arrangement for its protection.

Fig. 5 The 1,000kV transformer installed on site

OMICRON-Anwendertagung 2007

Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt

Folie 53

112 III. Transformatorenschutz.

Abb. 37. Zweiphasiger Differentialstromschutz eines Transformators mit Erdschlußspule.

d) Transformator mit Erdschlußspule.

Ist an einen der Sternpunkte des Transformators eine Erdschlußspule angeschlossen, so fließt bei einem Erdschluß über die entsprechende Wicklung des Transformators ein Erdschlußstrom, der auf der Sekundärseite des Hilfswandlers als Fehlerstrom erscheint. Um zu verhindern, daß hierdurch bei außenliegenden Erdschlüssen Falschauslösungen des Transformators hervorgerufen werden, kann eine auf dem Hilfswandler aufgebrauchte Kompensationswicklung verwendet werden, die an die Sekundärseite eines im Stromkreis der Erdschlußspule liegenden Stromwandlers angeschlossen wird (Abb. 37). Es kann auf dem Hilfswandler auch eine Dreiecksausgleichwicklung aufgebracht werden, welche die gleiche Wirkung hat.

VDEW-Relaisbuch 1930

OMICRON-Anwendertagung 2007

Walter Schossig, Dr. Peter Meinhardt

Folie 54

Der Nullstromdifferenzialschutz als Erweiterung des Transformatorenschutzes

Walter Schossig, VDE Thüringen
Dr. Peter Meinhardt, OMICRON

Einleitung

An Transformatoren, deren Sternpunkt beschaltet ist, muss der Nullstrom für den Differenzialschutz eliminiert werden. Dies hat zur Folge, dass beim einpoligen Fehler eine Verringerung der Ansprechempfindlichkeit auf $\frac{2}{3}$ gegenüber dem mehrpoligen Fehler eintritt. Durch einen Nullstromdifferenzialschutz kann die Empfindlichkeitseinbuße verhindert werden. Durch ihn wird sogar eine höhere Empfindlichkeit für einpolige Fehler gegenüber mehrpoligen Fehlern erreicht.

Einsatz des Differenzialschutzes

Wenn man bedenkt, dass zu Beginn der Energieübertragung also am Anfang des vorigen Jahrhunderts Abschaltzeiten von zehn und mehr Sekunden Stand der Technik waren, kann man am Besten erkennen, was das Patent der Engländer *Merz* und *Price* für eine Pionierleistung war (Bild 1).

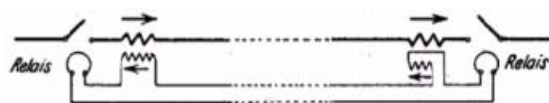


Bild 1 Prinzip der Merz-Price-Schaltung, 1904

Hiermit war ein schnellschaltender und 100 % der Strecke erfassender empfindlicher Schutz möglich. Die Schaltung hatte den Nachteil, dass die Wandler praktisch im Leerlauf - also offen - betrieben wurden, was zu hohen Spannungen im Wandlersekundärkreis führte. Man ging deshalb dazu über die heute noch übliche Brückenschaltung - auch Diagonalschaltung genannt - einzuführen (Bild 2).

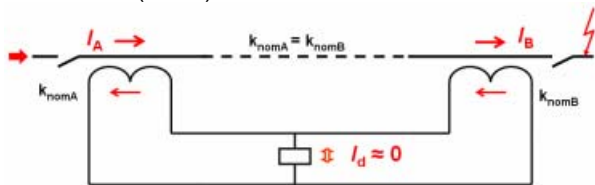


Bild 2 Brückenschaltung

Durch die erforderliche Wirkverbindung zwischen den beiden Wandlergruppen wird der „Diff.“ als Leitungsschutz – abgesehen von kurzen Mittelspannungskabeln – nur im Hoch- bzw. Höchstspannungsnetz eingesetzt. Für Transformatoren, Generatoren und Motoren stellt der Differenzialschutz jedoch den Hauptschutz dar. Die bei Transformatoren erforderliche Angleichung der Stromwandlernennströme, der von 0 oder 6 abweichenden Schaltgruppe und die Elimination der Nullströme erfolgte beim elektromechanischen bzw. stati-

schen Schutz durch den Einsatz von Zwischenwandlern – auch Ausgleichswandler genannt. In Bild 3 ist ersichtlich, dass trotz des angenommenen Übersetzungsverhältnisses von 1 und Schaltgruppe 0 bzw. 6 ein direkter Vergleich der Sekundärströme der Hauptwandler –T1 im Netz mit niederohmiger (NOSPE) oder starrer Sternpunktterdung (SSPE) zu einer Differenz und somit zum Fehlansprechen führen würde.

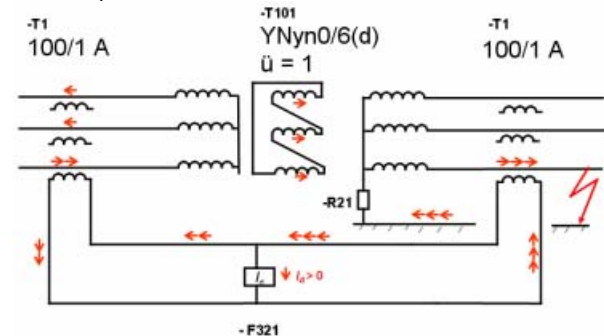


Bild 3 Fehlansprechen bei Erdkurzschluss im Netz mit NOSPE bzw. SSPE

Durch den Einsatz von Zwischenwandlern wird die Transformatorenschaltung nachgebildet und das Gleichgewicht der Ströme bei außen liegendem Fehler hergestellt (Bild 4)

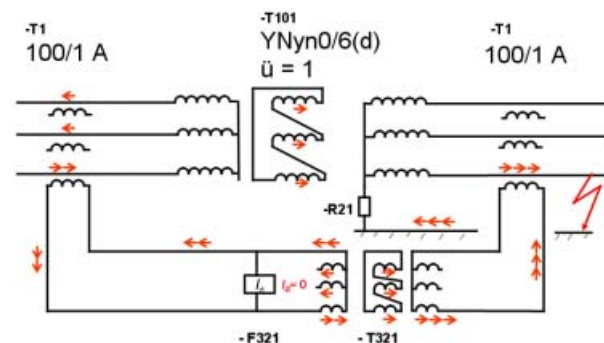


Bild 4 Erdkurzschluss im Netz mit NOSPE bzw. SSPE bei Einsatz von Zwischenwandlern

Im Netz mit Resonanzsternpunktterdung (RSPE), auch gelöstes Netz genannt, muss beachtet werden, dass der Erdschlussspulenstrom nur auf der Seite fließt, auf der die Erdschlussspule angeschlossen ist. Dieser Nullstrom muss zur Vermeidung von Überfunktionen bei außenliegenden Fehlern eliminiert werden (Bild 5).

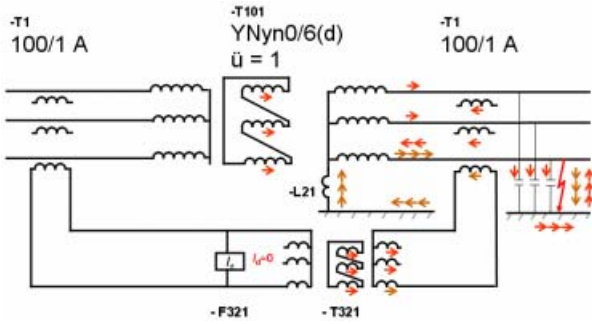


Bild 5 Erdschluss im RSPE-Netz

Bei der Stromfelderdarstellung wurden die sich beim Nullsystem anbietenden symmetrischen Komponenten (Bild 6) gewählt.

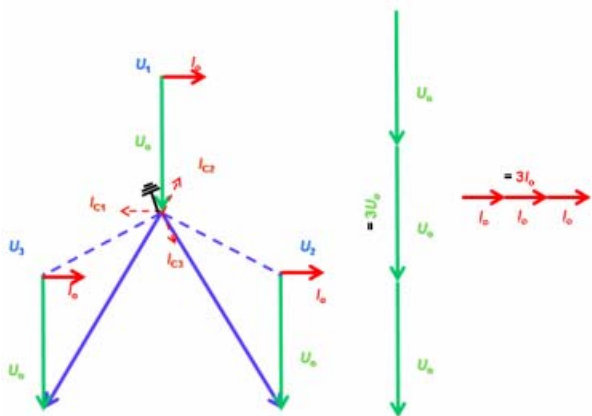


Bild 6 Nullsystem bei Erdschluss L1

Als Standardschaltung der Zwischenwandler hat sich beim elektromechanischen und statischen Differenzialschutz der Einsatz der yd-Schaltung (Bild 7) durchgesetzt.

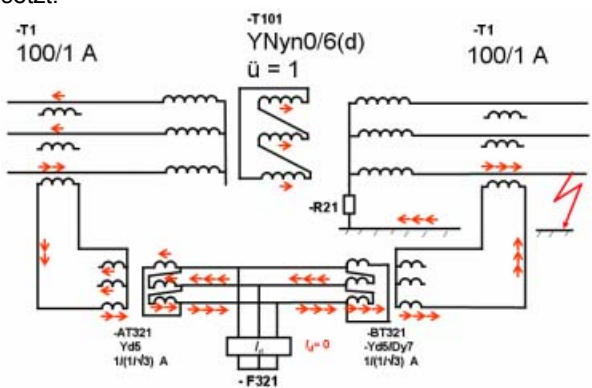


Bild 7 Standardschaltung der Zwischenwandler

Durch die Parametrierung der Transformatoren- und Wandlerdaten und Aktivierung des Nullfilters entfallen die Zwischenwandler beim digitalen Schutz. Für einpolige Fehler geht jedoch die Empfindlichkeit des Schutzes gegenüber dem mehrpoligen Fehler auf $\frac{2}{3}$ zurück. Besonders kritisch wird dies in niederohmig bzw. starr geerdeten Netzen, wenn sich der Fehler im Transformator dem Sternpunkt nähert (Bild 10). Der Strom auf der Sekundärseite des Transformators geht linear mit den kurzgeschlossenen Windungen zurück, während

der für das Ansprechen des Differenzialschutzes ausschlaggebende Strom auf der Einspeiseseite quadratisch mit der kurzgeschlossenen Windungszahl abnimmt (Kurve 1 in Bild 10b) [1][2][3].

Hinzu kommt, dass je nach Stufenstellung bzw. Transformatorbelastung eine Verringerung der Empfindlichkeit des Differenzialschutzes eintritt, die bei stromschwachen (Erd-) Fehlern zur Nichtauslösung führen kann (Bild 8).

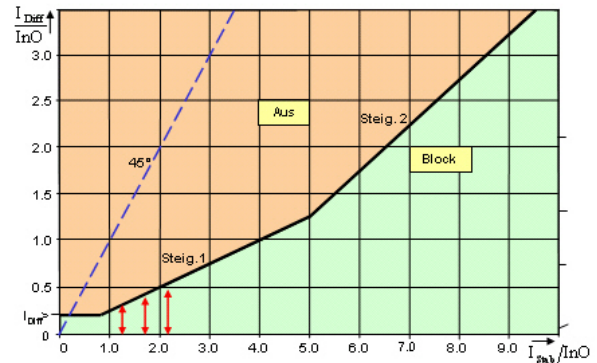


Bild 8 Verringerung der Empfindlichkeit bei Last durch Kennlinienanstieg beim Differenzialschutz [8]

Durch die zusätzliche Heranführung des Stromes im Sternpunkt des beschalteten Transformators an das digitale Differenzialschutzrelais kann eine I_0 -Korrektur vorgenommen werden, sodass bei $f = 1$ die gleiche Ansprechempfindlichkeit bei ein- und mehrpoligen Fehlern gegeben ist (Kurve 2 in Bild 10b).

Erweiterung durch Nullstromdifferenzialschutz

Beim Nullstromdifferenzialschutz wird der Strom im Sternpunkt des Transformators mit dem in der Holmgreenschaltung gewonnenen Wicklungsstrom verglichen (Bild 9). Beim digitalen Schutzrelais muss nicht explizit die Holmgreenschaltung ausgeführt werden, sondern es erfolgt zur I_0 -Ermittlung eine geometrische Addition der für den „normalen“ Differenzialschutz verwandten Leiterströme. Zur Darstellung des Nullstromdifferenzialschutz-Prinzips wird in den Bildern die Holmgreendarstellung beibehalten.

Im Bild 9 ist die Stromverteilung bei einem einpoligen Fehler auf einer Leitung dargestellt. Der im Differenzialrelais fließende Strom ergibt sich zu 0.

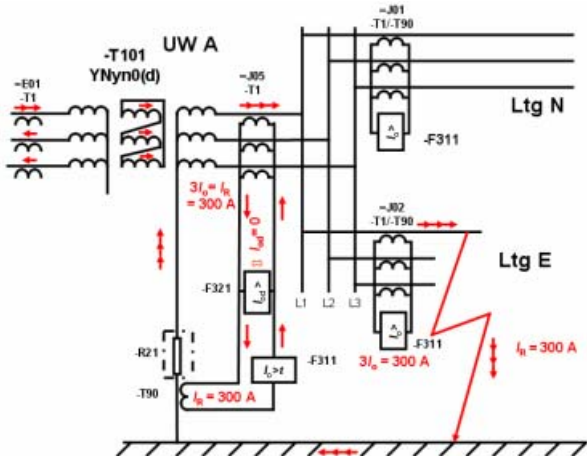
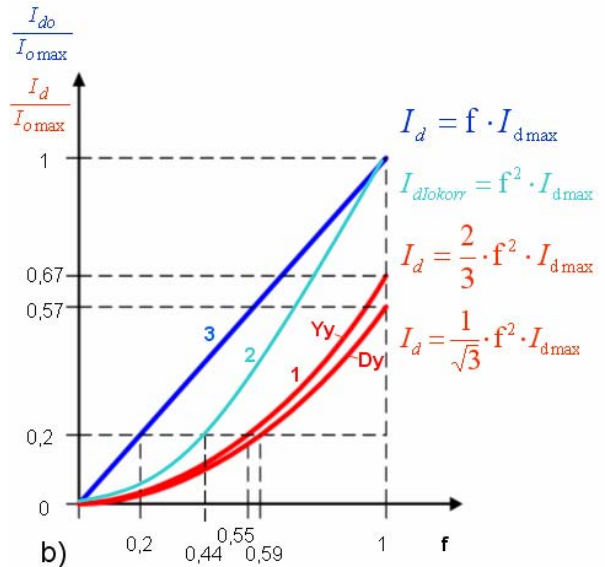


Bild 9 Nullstromdifferenzialschutz bei außenliegendem Fehler

Bei einem innen liegenden Fehler bestimmt der NOSPE-Widerstand die Größe des fließenden primären Fehlerstromes. Bei einem Fehler in Wicklungsmitte ($f = 0,5$ in Bild 10a) fließt an der Fehlerstelle noch die Hälfte des Nennwertes, aber der auf der Transformatorprimärseite zur Anregung verwertbare Strom ist wesentlich niedriger (s. Kurven 1 in Bild 10b).

Mit dem Nullstromdifferenzialschutz wird beim einpoligen Fehler also nicht nur die gleiche Empfindlichkeit beim Klemmenkurzschluss wie beim mehrpoligen Fehler erreicht, sondern es kommt zusätzlich noch zu einer linearen Abhängigkeit des Differenzstromes vom Fehlerort (Kurve 3 in Bild 10b).

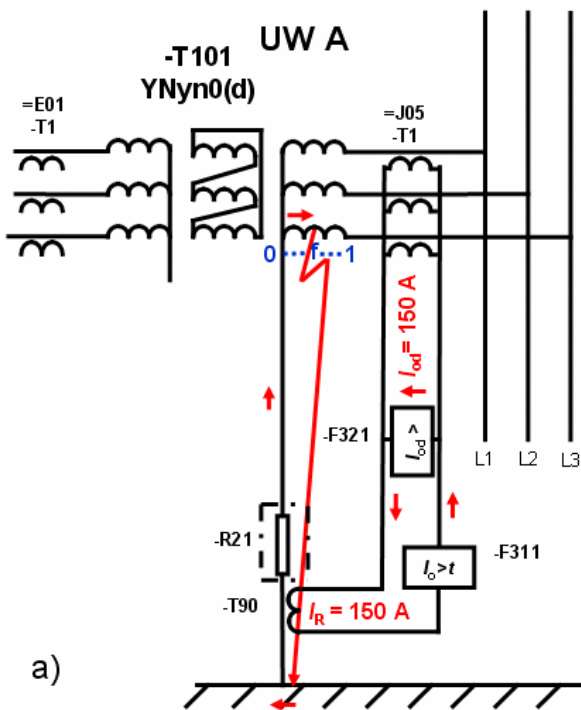


b) Bild 10 Nullstromdifferenzialschutz bei innenliegendem Fehler im Netz mit NOSPE bzw. SSPE [8] [9]
 a) Windungsschluss in Wicklungsmitte, $f = 0,5$
 b) Empfindlichkeit
 Kurven 1 Differenzialschutz
 Kurve 2 Differenzialschutz mit I_o -Korrektur
 Kurve 3 Nullstromdifferenzialschutz

Man kann sogar eine höhere Empfindlichkeit beim einpoligen Fehler einstellen. Während für den Differenzialschutz ein Einstellwert von $0,2 I_{nom}$ üblich ist, kann beim Nullstromdifferenzialschutz z.B. auf $0,15 I_{nom}$ [2] zurückgegangen werden.

Der bisher zum Schutz des NOSPE-Widerstandes zwischen dem Transformatorsternpunkt und dem Widerstand eingebaute Wandler wurde in den Bildern in Richtung Erdverbindung eingebaut, um Isolationsfehler gegen Masse vom Nullstromdifferenzialschutz zu erfassen. Dies ist jedoch, wie unten noch erläutert, bei Hinzuziehung der I_{od} -Richtung bzw. die Verwendung des Sternpunktstromes als Referenzwert nicht gegeben. Für den einpoligen Sammelschienenfehler bzw. als Reserveschutz für die Leitungsabgänge oder dem Fall der Überbrückung im NOSPE-Widerstand wirkt der ebenfalls vom -T90 gespeiste Nullstromzeitschutz.

Im Netz mit RSPE kommt beim Erdschluss im Diff.-Bereich jedoch nur der Erdschlussreststrom $I_{od} = I_{Cer}$ zum Fließen, sodass dieser Fehler auch nicht vom Nullstromdifferenzialschutz erfasst wird (Bild 11).



a)

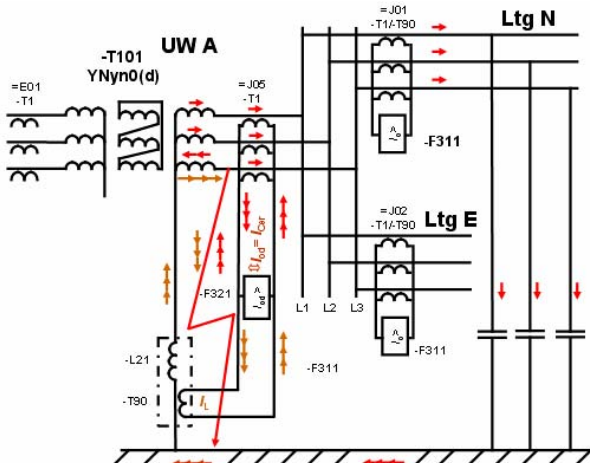


Bild 11 Verhalten des Nullstromdifferenzialschutzes im Netz mit RSPE

Trotzdem kann auch im Netz mit RSPE die Anwendung des Nullstromdifferenzialschutzes aus folgenden Gründen sinnvoll sein:

- Kommt es als Folge eines Erdschlusses im Netz zu einem Doppelerdschluss mit zweitem Fußpunkt im Diff.-Bereich (Bild 12) wirkt der empfindliche Nullstromdifferenzialschutz. Dies trifft jedoch bei der Stabilisierung mit Referenzbezug wegen des hierfür erforderlichen Sternpunktstromes nicht zu.

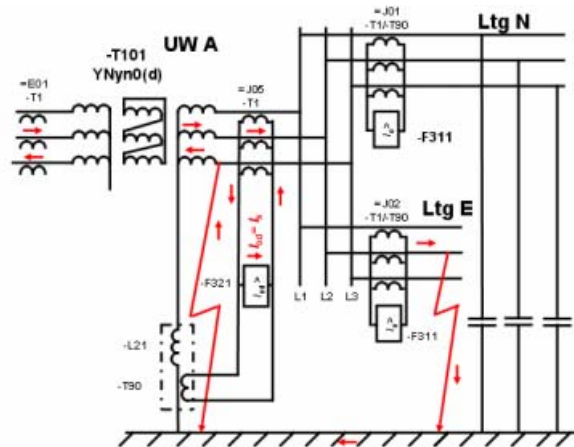


Bild 12 Doppelerdschluss im Netz mit RSPE

- Kommt es beim Einschalten eines leer laufenden Transformators mit angeschlossener Erdschluss-Spule zu einem Erdschluss im Diff.-Bereich, wird dieser ebenfalls vom Nullstromdifferenzialschutz erfasst ($I_{od} = I_L$).

Beim Einsatz eines Sternpunktbildners ist dieser in den Nullstromdifferenzialschutz einzubeziehen (Bild 13).

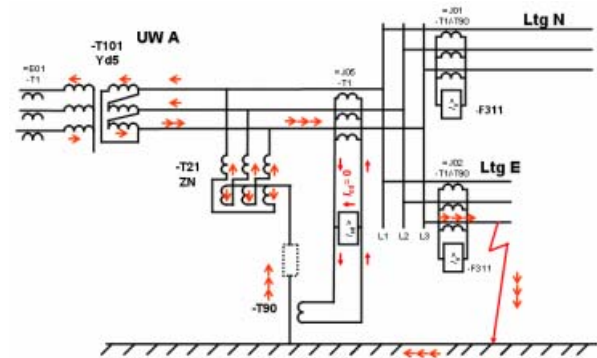


Bild 13 Sternpunktbildner und Nullstromdifferenzialschutz

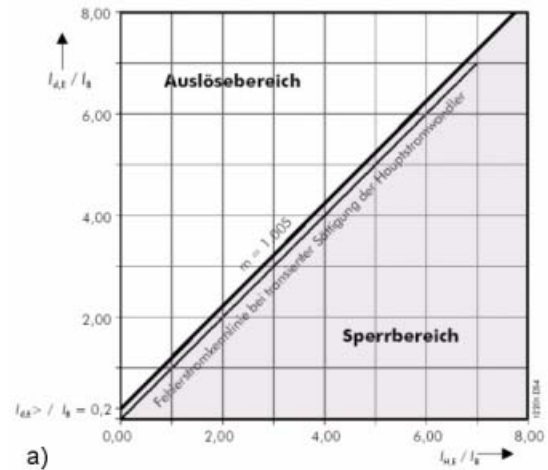
Falschstromstabilisierung

Bei einem außen liegenden ein- und mehrpoligen Fehlern kann es durch unterschiedliches Wanderverhalten zu Betrags- und Winkelfehlern kommen. Deshalb muss auch beim Nullstromdifferenzialschutz eine Falschstromstabilisierung erfolgen. Üblich ist hierbei

- die Leiterströme,
- die Beobachtung des Gegensystems im Wandlersekundärkreis oder
- die Richtung des Differenzstromes zum Sternpunkt- bzw. Haltestrom

zur Stabilisierung heranzuziehen.

Dies soll an nachstehenden Beispielen aus den Herstellerunterlagen gezeigt werden.



a)

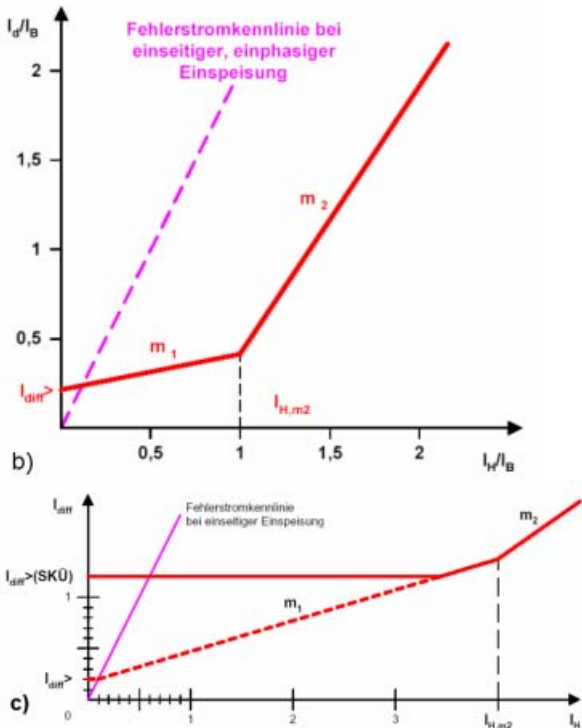
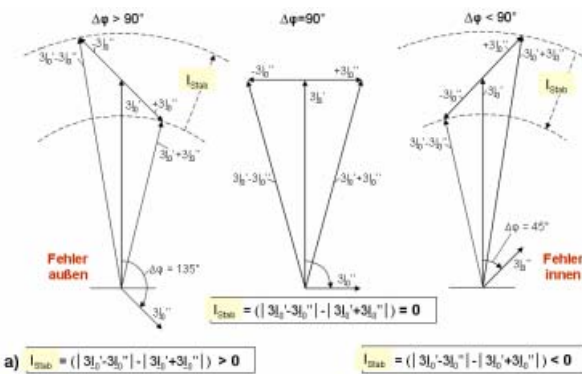


Bild 14 Stabilisierung P63x, AREVA [6] [7]
 a) Summenstrom L1 bis 3
 b) maximaler Leiterstrom
 c) Stromkreisüberwachung



a) $I_{stab} = (|3I_b' - 3I_b''| - |3I_b' + 3I_b''|) > 0$ $I_{mis} = (|3I_b' - 3I_b''| - |3I_b' + 3I_b''|) < 0$

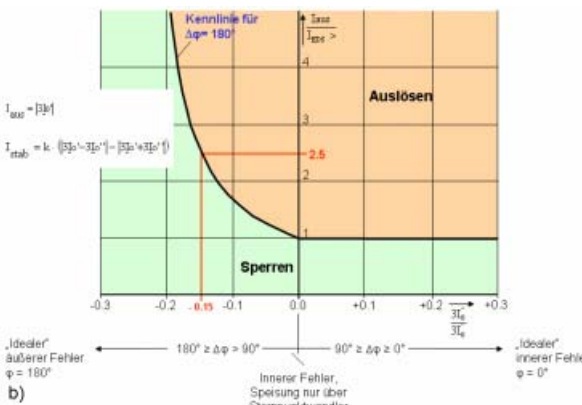


Bild 15 Stabilisierung 7UT6xx, SIEMENS [2][8]
 a) Zeigerdiagramm bei Fehler innerhalb und außerhalb des Schutzbereiches
 b) Auslösekennlinie

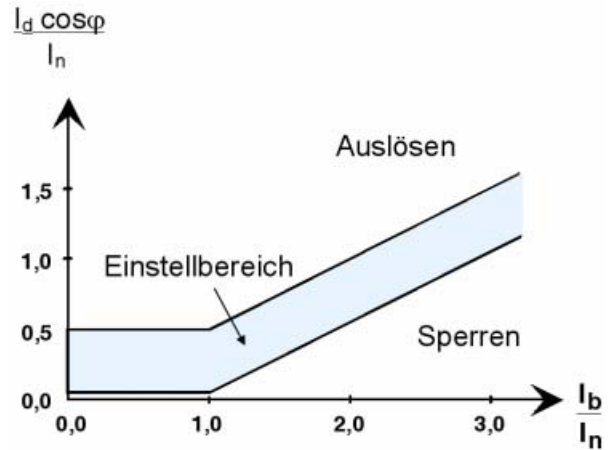


Bild 16 Stabilisierung SPAD, ABB [10]

Hinweise für die Planung von Nullstromdifferenzialschutzseinrichtungen

- In den neuen Serien der Schutzrelaishersteller ist die Option Nullstromdifferenzialschutz enthalten
 ABB: RET543, RET6 und SPAD,
 AREVA: P632, P633, P634 und PQ721,
 SIEMENS: 7UT513, 7UT612, 7UT613, 7UT633, 7UT635, 7SD61, 7SD52 und 7SD53
 bzw. vorgesehen
 Sprecher Automation: DQ6.
- An den Stromwandler im Transformatorsternpunkt werden bei der NOSPE wegen der Strombegrenzung durch den Widerstand keine besonderen Anforderungen gestellt.
- Bei RSPE kann der in der Erdschlussdrossel eingebaute Wandler verwendet werden.
- Der bisher übliche Einbau des Wandlers zwischen Transformatorsternpunkt und NOSPE-Widerstand wird bei einer Stabilisierung ohne Betragsabfrage des Sternpunktstromes bzw. der Richtung des Differenzstromes durch Einsatz des Wandlers in der Verbindung zur Erde ersetzt.
- Ist ein Sternpunkt des betreffenden Transformators nicht beschaltet (also auch bei Netzen mit SSPE, NOSPE oder RSPE) ist der Nullstromdifferenzialschutz nicht möglich. In diesem Fall ist der Nullstromfilter für diese Wicklung nicht zu aktivieren.
- Ist eine Erdschusspule nicht fest dem Transformator zugeordnet, sodass sie wahlweise den Transformatoren zugeschaltet werden kann, müssen Maßnahmen getroffen werden, damit kein Fehlansprechen auf Grund des falschen Sternpunktstromes eintritt. Eine Möglichkeit für den letzteren Fall ist eine Parameterumschaltung auf „Nullstromfilter aktiv“ oder Einbau der Wandler am Transformatorsternpunkt.
- Bei einer kurzzeitigen niederohmigen Sternpunktterdung (KNOSPE) müssen die Wandlerströme von der Erdschlusspule und dem Erdungswiderstand parallel geschaltet werden (Bild 17).

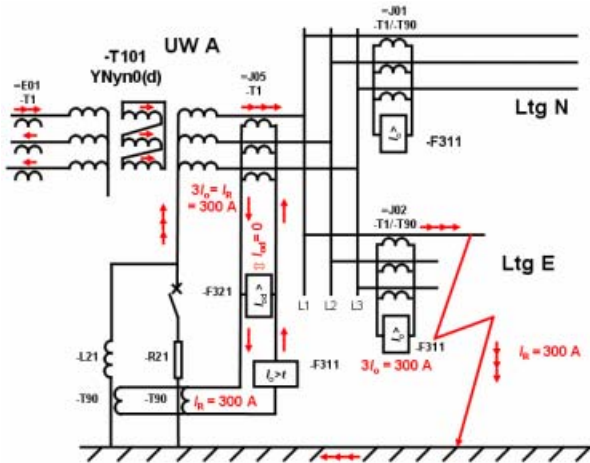


Bild 17 Nullstromdifferenzialschutz im Netz mit KNOSPE

Prüfung des Nullstromdifferenzialschutzes

Bei der zur Inbetriebsetzungsprüfung dringend empfohlenen 400-V-Prüfung wird auf der Unterspannungsseite ein dreipoliger Kurzschluss außerhalb bzw. innerhalb des Differenzialschutzbereiches eingebaut und überspannungsseitig mit 400 V zur Kontrolle der Verdrahtung und Relaiseinstellung des Differenzialschutzes eingespeist (Bild 18). Für den Nullstromdifferenzialschutz wird nach Einbau eines einpoligen Fehlers analog verfahren.

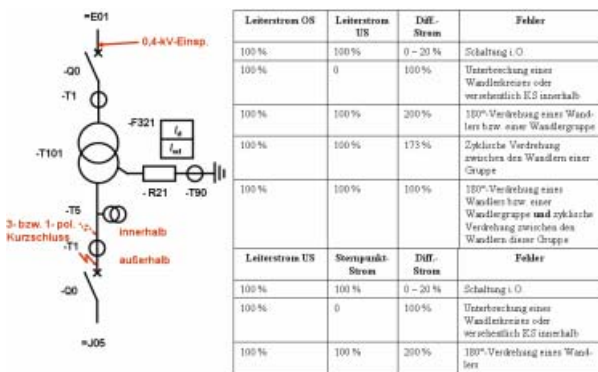


Bild 18 Messanordnung und Messwerte bei Kurzschluss außerhalb des Schutzbereiches

Für die Sekundärprüfung bietet sich der Einsatz des Moduls "Diff Auslösekennlinie" im OMICRON Test Universe an (Bild 19). Dabei sind im Unterschied zur Trafo-Prüfung über zwei Wicklungen hinweg die folgenden Punkte zu beachten:

- Um für die Nullstromdifferenzialschutz-Prüfung die Unterdrückung des Nullsystems zu verhindern, die automatisch für das Betriebsmittel "Transformator" vorgenommen wird, ist ein anderes Betriebsmittel (z.B. "Generator") zu wählen.
- Die Transformator-Daten für Primär- und Sekundärseite sind gleich einzustellen, da sich die Ströme auf nur eine Seite des Transformators beziehen.
- Gegebenenfalls vorhandene Unterschiede im Übersetzungsverhältnis zwischen Sternpunkt- und

Abgangs-Stromwandler werden wie gewohnt in den Prüfobjekt-Daten eingestellt.

- Die Kennlinie des Nullstrom-Differenzialschutzes lässt sich wie gewohnt im Prüfobjekt definieren.
- Falls alle drei Phasen der Abgangs-Anschlüsse am Relais ohne Umverdrahtung geprüft werden sollen, können entweder die drei Phasenanschlüsse des für den Sternpunkt-wandler gedachten Ausgangstripels der 6-phasig zu betreibenden Prüfeinrichtung parallel auf den Sternpunkt-wandlereingang der Schutz-einrichtung geschaltet werden, oder es wird für jede Prüfschleife eine eigene Hardware-Konfiguration zum jeweiligen Prüfmodul im Prüfdokument verwendet, die den jeweiligen Leiterstrom auf den immer gleichen Stromausgang der Prüfeinrichtung leitet, der an den Sternpunkt-wandlereingang der Schutz-einrichtung angeschlossen wird. Als Fehlerart wird Leiter-Erde für die jeweilige Phase gewählt.

Damit können die Vorteile des Prüfmoduls, Prüfen in der Relais-Kennlinien-Darstellung und automatische Ergebnis-Bewertung gemäß Kennlinien- und Toleranzvorgabe, auch für den Nullstromdifferenzialschutz genutzt werden.

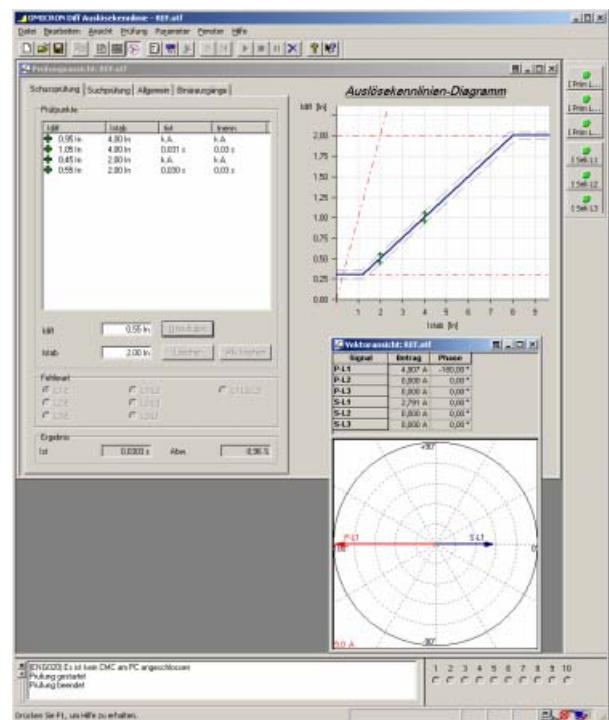


Bild 19 Prüfung eines Nullstromdifferenzialschutzes mit dem Modul „Diff Auslösekennlinie“

Internationale Praxis

Der Nullstromdifferenzialschutz (Bild 20) - auch Restricted Earth Fault Protection (REF) oder Low Impedance Protection genannt - ist Praxis in den angelsächsischen Ländern und in den USA. Eine auch anzutreffende Differenzialschutzlösung ist der Hochimpedanzschutz - High-Impedance-Protection - (Bild 21), die jedoch

gleiche Wandler in der Transformatoreneinspeisung und im Sternpunkt erfordert. [1]

In den Standards, GridCodes bzw. Regulatorrichtlinien verschiedener Länder aller Kontinente wird der Einsatz, des Nullstromdifferenzialschutzes direkt gefordert.

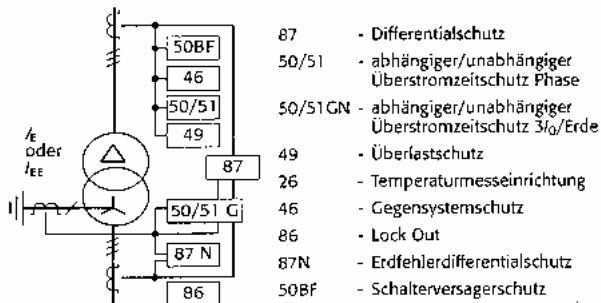


Bild 20 Übersicht der Schutzfunktionen [4]

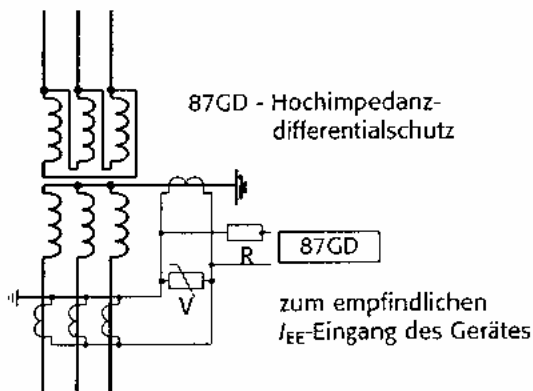


Bild 21 Hochimpedanzdifferentialschutz [4]
R ohmscher Widerstand, V Varistor

Bei weiterem Interesse sei auf die angegebene Literatur verwiesen.

Zusammenfassung und Ausblick

Mit der Einführung des Nullstromdifferenzialschutzes wird die Empfindlichkeitseinbuße beim einpoligen Fehler durch die bei einer Beschaltung eines Transformatorensternpunktes erforderliche Nullstromeliminierung vermieden. Darüber hinaus wird für einen Fehler in der Transformatorwicklung eine lineare Abhängigkeit des Ansprechstromes vom Fehlerort erreicht. Die in den angelsächsischen Ländern und den USA übliche Praxis sollte auch – soweit nicht schon genutzt - im deutschsprachigen Raum zum Diskussionsthema werden. Anwendungsbeispiele sind als Linkhinweise in beliebigen Folien aufgeführt.

Literatur

[1] Ziegler, G.: Digitaler Differentialschutz. Grundlagen und Anwendung. SIEMENS: 2004, Verlag: Publicis Corporate Publishing, Erlangen

[2] Schutz eines Dreiwickler-Transformators. Applikations-Beispiele für SIPROTEC-Schutzgeräte. SIEMENS 2005, http://siemens.siprotec.de/download_neu/applications/SIPROTEC/deutsch/Appl_17_Dreiwickler_Trafo_schutz_de.pdf

[3] MICOM 30 REIHE Transformator-Differentialschutz Applikationshilfe. Ausgabe F+, März 2004, AREVA

[4] Schuster, N.; Schiel, L.: Multifunktionsschutz für Zweiwicklungs-Transformatoren. ew 100(2001)11, 40-44

[5] Schiel, L.; Schuster, N.: Umfassendes Konzept für den Transformatorschutz. etz 115(1994)9, 496-502

[6] MiCOM P631/P632/P633/P634 Transformator-Differentialschutzeinrichtungen. Betriebsanleitung P63X/DE M/A54. P63x_DE_M_A54-601-605 ohne Adressenliste.pdf

[7] P631/P632/P633/P634 Transformator-Differentialschutzeinrichtungen. Änderungsdokumentation. P63xA03b.pdf

[8] Kerl, F.: Erdfehler-Differentialschutz EDS (REF). SIPROTEC-Schutzsymposium 06/2005 Bamberg

[9] Seifert, D.: EDIFF. ALSTOM, VDE AK Mittelspannungsschutz, Tagung 1/2003

[10] Differentialschutz, Digitale Schutztechnik. ABB, DE_2001, UTP-SPAD_mod.ppt

[11] Network Protection & Automation – Guide. ALSTOM 2006

[12] Elmore, W.A.: Protective Relaying Theory and Applications. Second Edition, Revised and Expanded. ABB, New York, Basel, Marcel Dekker, Inc., 2004

Anlagen

vorangestellte Vortragsfolien (Auszug)