

Kostengünstige Betriebsmittelkombinationen rechnerisch überprüfen

Absicherung eines Mittelspannungs- transformators mittels HH-Sicherung

Dieser Beitrag richtet sich vor allem an jüngere Ingenieure aus EVUs, Planungsbüros oder vom TÜV sowie an alle interessierten Fachleute. Die Komplexität des Themas wird ständig unterschätzt. An einem konkreten Beispiel wird hier die korrekte Dimensionierung der notwendigen Sicherungen beschrieben.

Die Norm DIN VDE 670-402 »Wechselstromschaltgeräte für Spannungen über 1 kV – Auswahl von strombegrenzenden Sicherungseinsätzen für Transformatorstromkreise« beschreibt unter Punkt 4 die Anforderungen hinsichtlich Schmelzstrom und Auslösezeit von Hochspannungssicherungen und merkt dazu an: »*Transformatoren müssen einem durch einen metallischen Kurzschluss an den niederspannungsseitigen Klemmen bewirkten Kurzschlussstrom (sog. Klemmenkurzschluss) für eine festgelegte Kurzschlussdauer standhalten (...)*«. Die dazugehörige Kurzschlussdauer ist mit 2 s angegeben. Als Beispiel gibt Tabelle 2b dieser Norm für einen Transformator von 1000 kVA, 20/0,4 kV, $u_k = 6\%$, einen zugehörigen Bemessungsstrom der Sicherung von 63 A an.

Im Folgenden wollen wir beispielhaft von einer Netznachbildung mit folgenden Kenndaten ausgehen:

- Netz: $S_{k_{max}} = 300 \text{ MVA}$, $S_{k_{min}} = 200 \text{ MVA}$,
- Transformator: 1000 kVA, 20/0,4 kV, $u_k = 6\%$.

Für diesen Fall will ein Anlagenplaner hauptsächlich den einpoligen Fehler betrachten. Der

fiktive Fehlerort befindet sich auf einer Stromschiene (Cu blank, Länge ca. 5 m, Strombelastbarkeit 2000 A) zwischen Trafoklemme (US) und den Eingangsklemmen des Leistungsschalters. Im Abgleich mit der Kennlinie der entsprechenden SIBA-Sicherung HH 63 A ermittelt der Planer nun eine Fehlerklärungszeit von ca. 13 s. DIN VDE 0100-410 legt jedoch unter Abschnitt 411 als maximale Abschaltzeit für Verteilstromkreise 5 s fest. Somit sieht der Planer den Einsatz einer HH-63-A-Sicherung als kritisch an. Was kann er tun, um eine Entscheidung treffen zu können?

Praxis: Auswahl kostengünstiger Betriebsmittelkombinationen

Der zuvor beschriebene 20 kV/0,4 kV-Transformator ist ein Verteiltransformator (nachfolgend nur als Transformator bezeichnet) und verbindet die 20 kV-Mittelspannungsebene mit dem Niederspannungsnetz. Er hat eine Bemessungsscheinleistung von 1000 kVA und einen Bemessungswert der relativen Kurzschlussspannung von 6 % und soll durch Hochspannungs-Hochleistungs-Schmelz-

sicherungen (HH-Sicherungen) abgesichert werden.

In Deutschland werden aus Kostengründen – wenn keine hohe Schalthäufigkeit zu erwarten ist – sowohl in den Netzortstationen der Verteilungsbetreiber (VNB) als auch in der Industrie i. d. R. strombegrenzende Teilbereichs-HH-Sicherungen in Reihe mit einem Lastschalter als Lastschalter-HH-Sicherungs-Kombination eingesetzt. Hierbei ist der Lastschalter in Energieflussrichtung gesehen den HH-Sicherungen vorgeordnet. Die Aufgabe des Lastschalters ist dabei das betriebsmäßige Schalten des Transformators – de facto also das Schalten der Last. Kurzschlüsse müssen ausschließlich die HH-Sicherungen abschalten, weil der Lastschalter kein Leistungsschalter ist und somit über ein nur begrenztes Ausschaltvermögen verfügt.

Planerisches Herangehen

Die HH-Sicherungen und der Lastschalter müssen sich die genannten Aufgaben also zwangsläufig teilen. Für die korrekte Aufteilung der Aufgaben bzw. die entsprechende Auswahl der HH-Sicherung und des Last-



Quelle: Sofic (alle Bilder)

schalters zur Absicherung des Transformators sind neben weiteren wichtigen Bemessungsdaten (siehe **Kasten rechts**) noch folgende Merkmale zu berücksichtigen:

- 1) Ausgleichsvorgang beim Einschalten des Transformators
- 2) Erfassung und die ordnungsgemäße Abschaltung der Erdkurzschlussströme auf der Primärseite (Oberspannungsseite) des Transformators, wenn der Sternpunkt des speisenden 110 kV/20 kV-Umspanners niederohmig geerdet ist
- 3) Erfassung und die ordnungsgemäße Abschaltung der Kurzschlüsse auf der Sekundärseite (Unterspannungsseite) des Transformators
- 4) Zulässige Leistungsabgabe bei Einbau der HH-Sicherungen in einem Behälter
- 5) Selektivitätsverhältnisse zu vor- bzw. untergeordneten Überstromschutzeinrichtungen
- 6) Zusammenspiel zwischen den HH-Sicherungen und dem Lastschalter.

Einhaltung von Vorschriften

Die wichtigsten normativen Vorgaben finden sich in:

- DIN EN 60282-1 (VDE 0670-4): Hochspannungssicherungen – Teil 1: Strombegrenzende Sicherungen.
- DIN VDE 0670-402: Wechselstromschaltgeräte für Spannungen über 1 kV – Auswahl von strombegrenzenden Sicherungseinsätzen für Transformatorstromkreise.
- DIN EN 62271-105 (VDE 0671-105): Hochspannungs-Schaltgeräte und – Schaltanlagen – Teil 105: Wechselstrom-Lastschalter-Sicherungs-Kombinationen für Bemessungsspannungen über 1 kV bis einschließlich 52 kV.

Während sich in VDE 0670-4 ausführliche Festlegungen über die HH-Sicherungen finden, enthält DIN VDE 0670-402 unter anderem auch die Empfehlungen über die Zuordnung der Bemessungsströme der HH-Sicherungseinsätze zu den Bemessungsscheinleistungen, den Oberspannungen und den Bemessungskurzschlussspannungen der Transformatoren. Darüberhinaus berücksichtigt sie die Selektivität zu den niederspannungsseitigen NH-Sicherungen der Betriebsklasse gTr. VDE 0671-105 hingegen regelt das funktionale Zusammenwirken zwischen dem Lastschalter und den HH-Sicherungen.

Unser eingangs erwähntes Beispiel bezieht sich auf das unter dem im vorhergehenden Abschnitt unter Punkt 3) erwähnten Merkmal. Das **Bild 1** veranschaulicht die Netztopologie der elektrischen Verbindung des MS mit dem NS-Netz mittels des Transformators.

HH-Sicherung und Lastschalter

Zur Berechnung benötigt der Planende eine Reihe wichtiger Daten:

Bemessungsdaten des Transformators

- Bemessungsüberspannung
- Bemessungsscheinleistung
- Bemessungswert der relativen Kurzschlussspannung
- Bemessungskurzschlussverluste

Kenndaten des Transformators

- zulässige Überlast inklusiv Oberschwingungen
- Einschaltstrom (Einschalt-Rush) sowie die Halbwertszeit

Bemessungsdaten der Teilbereichs-HH-Sicherung

- Bemessungsspannung
- Bemessungsstrom
- Bemessungswert »Größter Ausschaltstrom« (der Bemessungsausschaltstrom)
- Bemessungswert Mindestausschaltstrom (der Bemessungsmindestausschaltstrom)

Kenndaten der HH-Sicherung

- Schaltspannung
- Zeit-Strom-Kennlinie
- Durchlassstromkennlinie
- das Schmelz- bzw. das Ausschaltintegral
- Leistungsabgabe

Lastschalter

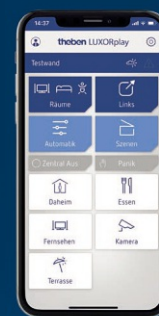
- Bemessungsspannung
- Bemessungsstrom
- Bemessungs-Übergangsstrom
- Schaltereigenzeit

Zur Art des Kurzschlusses

In der oben zitierten Anmerkung aus Punkt 4 der VDE 0670-402 ist der dreipolige sekundärseitige Klemmenkurzschluss gemeint. In **Bild 2** stellt das die Fehlerstelle F2 dar. Betrachten wir nun den auf die Primärseite bezogenen 2-sekundigen Kurzschlussstrom (also den auf der Primärseite fließenden Fehlerstrom) während des dreipoligen, sekundärseitigen, galvanischen Klemmenkurzschlusses des Transformators. Dieser wird bei der Planung oft zusammen mit dem Einschaltstrom des Transformators als das Zwölfwache des Transformatorbemessungsstromes für die Dauer von 100 ms herangezogen. Hieraus entnimmt der Planer zwei wichtige »Eckpunkte« zur Auswahl des HH-Sicherungseinsatzes für die Eintragung in das Diagramm der Zeit-Strom-Kennlinien der HH-Sicherungseinsätze. Nur die HH-Sicherungseinsätze, deren Zeit-Strom-Kennlinien innerhalb dieses »Tores« verlaufen, kommen



LUXORliving steuert ihr Zuhause Das clevere Smart Home-System



LUXORliving ist das einfache Smart Home-System von Theben, das alles bietet, was Eigenheime gemütlicher macht: Licht an, Licht aus. Dimmen. Heizung steuern und Jalousien regeln.

Und das Beste: LUXORliving ist einfach montiert, installiert und in Betrieb genommen. Ideal für Neubau und Komplettrenovierung.

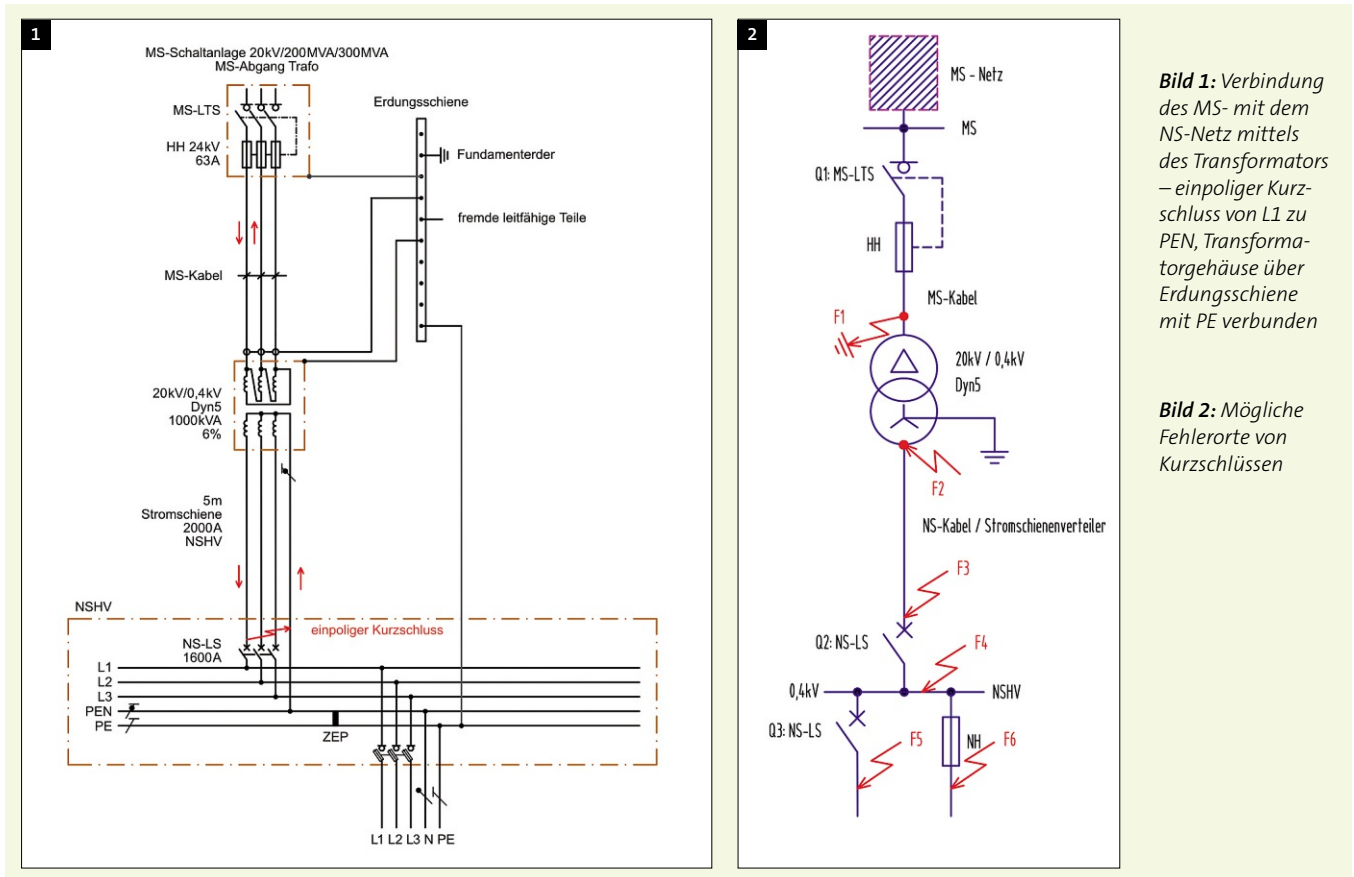


Bild 1: Verbindung des MS- mit dem NS-Netz mittels des Transformators – einpoliger Kurzschluss von L1 zu PEN, Transformatorgehäuse über Erdungsschiene mit PE verbunden

Bild 2: Mögliche Fehlerorte von Kurzschlüssen

nach dieser Betrachtungsweise in die nähere Auswahl zur Absicherung des Transformators.

Ermittelt man für den Transformator (20 kV/0,4kV; 1000 kVA; 6%) die beiden genannten Eckpunkte, so stellt man fest, dass diese außerhalb des Zeit-Strom-Bereiches des 63 A-HH-Sicherungseinsatzes aus dem Bild 3 der VDE 0670-402 liegen. Allerdings ist der Eckpunkt des dreipoligen Kurzschlussstromes für 2 s nur sehr knapp.

Der erste »Eckpunkt«: (481 A; 2 s) kann sich nach dem Punkt 8.101.3 der VDE 0671-105 wie folgt ergeben:

$$I_{rTHV} = \frac{S_{RT}}{\sqrt{3} \cdot U_{rTHV}} = \frac{1000 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 20 \text{ kV}} = 28,868 \text{ A}$$

$$I_{ksp} = \frac{100 \cdot I_{rTHV}}{u_{kr}} = \frac{28,868 \text{ A}}{6/100} = 481,1 \text{ A}$$

Dabei wird die Nomenklatur aus DIN EN 60909-0 (VDE 0102) »Kurzschlussströme in Drehstromnetzen Teil 0: Berechnung der Ströme« verwendet. Nach dieser Norm lautet die Bezeichnung eines Kurzschlussstromes I_k und nicht I_{sc} . Die Kurzschlussspannung in % wird hier dementsprechend mit u_{kr} und nicht mit Z angegeben. Hierbei stellt $I_{rTHV} = 28,868 \text{ A}$ den Bemessungsstrom des

Transformators auf der Primärseite und 6% den Bemessungswert der relativen Kurzschlussspannung des Transformators dar. Der errechnete Wert $I_{ksp} = 481,125 \text{ A}$ ist der Kurzschlussstrom (Effektivwert) auf der Primärseite bei einem dreipoligen, sekundärseitigen Klemmenkurzschluss.

Der zweite »Eckpunkt«: (346 A; 0,1 s) ergibt sich nach: $I_{Rush} = 12 \cdot I_{rTHV} = 12 \cdot 28,868 \text{ A} = 346,41 \text{ A}$, wobei I_{Rush} der Einschaltstrom des Transformators ist. Die Zeit-Strom-Kennlinien der 63 A-HH-Sicherungseinsätze aller Fabrikate müssen innerhalb des Zeit-Strom-Bereiches des 63 A-HH-Sicherungseinsatzes gemäß Bild 3 der VDE 0670-402, »Zeit/Strom-Bereiche für Hochspannungssicherungseinsätze für Transformatorstromkreise« liegen. Dies bedeutet, dass jeder beliebige 63 A-HH-Sicherungseinsatz beim dreipoligen galvanischen bzw. lichtbogenfreien sekundärseitigen Klemmenkurzschluss des 20kV/0,4kV-Transformators mit der Bemessungsscheinleistung 1000kVA und dem Bemessungswert der relativen Kurzschlussspannung 6% ordnungsgemäß innerhalb von 2 s auslöst. Die VDE 0671-105 fordert, dass dieser Fehlerstrom von den HH-Sicherungen – ohne Mitanspruchnahme des Lastschalters – abgeschaltet wird.

Bewertung der Netznachbildung

Im nächsten Schritt berücksichtigen wir auch den auf die Primärseite bezogenen Kurzschlussstrom (auf der Primärseite fließenden Fehlerstrom) beim einpoligen, sekundärseitigen, galvanischen Transformator клемmenkurzschluss (Außenleiter gegen Sternpunkt). Gemeint ist hier die Fehlerstelle F2 in Bild 2. Außerdem berücksichtigen wir nun den auf die Primärseite bezogenen Kurzschlussstrom (auf der Primärseite fließenden Fehlerstrom) bei dem einpoligen Kurzschluss an der Fehlerstelle F3. Dies ist im Bild 2 der Fehler zwischen Außenleiter L1 gegen PEN- bzw. PE-Leiter. Das ist die einzige Fehlerstelle gemäß Bild 1 vor Q2: NS-LS (Niederspannungstransformator-Leistungsschalter). Hierbei stellt man fest, dass sich wesentlich kleinere Kurzschlussströme im Vergleich zum dreipoligen sekundärseitigen galvanischen Transformator клемmenkurzschluss ergeben.

Die Schaltgruppe Dyn5 des Transformators ist die Ursache für die im vorherigen Absatz geschilderten Zustände. Transformatoren, die die MS-Ebene mit dem NS-Netz verknüpfen, werden in der Regel als Dyn5-Transformatoren ausgeführt. Die Schaltungsart der Primär- und der Sekundärseite des Transformators bestimmt dabei das Übersetzungsverhältnis, die Phasenlage des

Sekundärnetzes sowie die Schiefastfähigkeit des Transformators.

In Bild 3 sind die Zeigerdiagramme der Primär-(Ober-) und der Sekundär-(Unter-) Spannungen des Dyn5-Transformators dargestellt. Die Beträge der Spannungszeiger sind zur Illustration nicht maßstabsgetreu dargestellt – alle Phasenverschiebungen sind jedoch korrekt. Der fiktive Sternspannungszeiger des Außenleiters L1 der Primärseite wurde willkürlich als Referenz- bzw. Bezugsgröße gewählt. Da er fiktiv ist, genauso wie die Sternspannungszeiger der Außenleiter L2 und L3 der Primärseite, sind alle drei gestrichelt dargestellt. Man könnte z.B. auch den Sternspannungszeiger des Außenleiters L1 der Sekundärseite als Bezugsgröße verwenden. Die vorhandenen Phasenverschiebungen der einzelnen dargestellten Zeiger von Stern- und Außenleiterspannungen untereinander sowie zwischen den Sternspannungszeigern und den Außenleiterspannungszeigern würden sich bei dieser Betrachtungsweise natürlich nicht ändern.

In der Schaltgruppe Dyn5 bedeutet

- D, dass die Primärseite des Transformators in Dreieck geschaltet ist,
- y, dass die Sekundärseite in Stern geschaltet ist,
- n, dass der Sternpunkt der Unterspannungswicklung herausgeführt ist.
- die Ziffer 5 ist die Kennzahl und deklariert, dass eine Phasenverschiebung zwischen der Ober- und der Unterspannung besteht, wobei diese $5 \cdot 30^\circ = 150^\circ$ beträgt und die Oberspannung der Unterspannung voreilt.

Das Übersetzungsverhältnis eines Transformators berechnet man mit:

$$t_r = \frac{N_1}{\sqrt{3} \cdot N_2} \cdot e^{j150^\circ}$$

Das Übersetzungsverhältnis des Dyn5-Transformators ist somit eine komplexe Größe. Sie besteht aus Betrag und Argument. Hierbei ist N_1 die Windungszahl der Primärwicklung und N_2 die Windungszahl der Sekundärwicklung. Der Betrag des Übersetzungsverhältnisses ergibt sich aus der Division der Außenleiterspannungen der Primär- und der Sekundärseite. Für den 20kV/0,4kV-Dyn5-Transformator ergibt sich somit das komplexe Übersetzungsverhältnis zu

$$t_r = \frac{20\text{kV}}{0,4\text{kV}} \cdot e^{j150^\circ} = \underline{\underline{50 \cdot e^{j150^\circ}}}$$

Diese Verhältnisse gelten in ähnlicher Weise auch für die Ströme der Primär- und der Sekundärseite des Dyn5-Transformators.

In Netzen mit hohen Spannungen wird die Sternschaltung bevorzugt, weil die Isolation nur dem $1/\sqrt{3}$ -fachen der Außenleiterspannung standhalten und demzufolge auch nur dafür dimensioniert werden muss. In Netzen mit hohen Strömen wird dagegen die Dreieckschaltung bevorzugt, weil die Ströme in der Dreieckschaltung nur das $1/\sqrt{3}$ -fache der Außenleiterströme betragen.

Da in der NS-Ebene Wechselstromverbraucher existieren, erfordern diese, dass die Unterspannungsseite des 20kV/0,4kV-Transformators immer in Stern geschaltet wird und die Dyn5-Schaltgruppe hat. Fragen der Wirtschaftlichkeit müssen in diesem Falle zurückstehen.

Ermittlung der Kurzschlussströme

Kommen wir nun zur annähernden Ermittlung der Kurzschlussströme bei sekundärseitigen Transformator клемmenkurzschlüssen, bezogen auf die Primärseite. Dreipolige Kurzschlüsse sind symmetrische Kurzschlüsse. Es fließen dabei Fehlerströme in allen drei Außenleitern mit dem gleichen Effektivwert bzw. der gleichen Amplitude, aber phasenverschoben um je 120° (wie in einem symmetrischen Drehstromsystem üblich):

$$I_{k3p} = \frac{I_{rTLV}}{t_r \cdot u_{kr}} = \frac{1443\text{ A}}{50 \cdot \frac{6}{100}} = \underline{\underline{481\text{ A}}}$$

Dabei sind:

- I_{k3p} – der Kurzschlussstrom (Effektivwert) bezogen auf die Primärseite bei dem dreipoligen sekundärseitigen galvanischen Klemmenkurzschluss in Ampere, der schon gemäß dem Punkt 8.101.3 der VDE 0671-105 ermittelt wurde
- I_{rTLV} – der Transformatorbemessungsstrom auf der Sekundärseite in A
- t_r – der Betrag des komplexen Bemessungsübersetzungsverhältnisses des Transformators
- u_{kr} – der Bemessungswert der relativen Kurzschlussspannung des Transformators in %.

Die weitere Berechnung ergibt:

$$\begin{aligned} I_{k1p} &= \frac{1}{\sqrt{3} \cdot t_r} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot U}{2 \cdot Z_T + Z_{OT}} \\ &= \frac{1}{\sqrt{3} \cdot t_r} \cdot \frac{\sqrt{3} \cdot U}{Z_T \cdot \left(2 + \frac{Z_{OT}}{Z_T}\right)} \\ &= \frac{1}{\sqrt{3} \cdot t_r} \cdot \frac{3 \cdot I_{k3s}}{2 + 0,95} \end{aligned}$$

ZIEMLICH SMARTE FREUNDE

Ein filmreifes Team – ise und Panasonic integrieren jetzt gemeinsam TV-Geräte in Ihr smartes Zuhause.



NEU!



+ Besuch steht vor der Tür
Bilder der IP-Kamera übertragen



+ Waschmaschine ist fertig!
Selbstdefinierte Nachrichten anzeigen lassen

www.ise.de/panasonic



Mehr entdecken

Erleben Sie unsere Produkte auf der

light+building

Frankfurt am Main
8. – 13. 3. 2020

ise ist Mitasteller bei
Axis Communications – 11.1 C07
GIRA – 11.1 B32
KNX – 12.0 A30

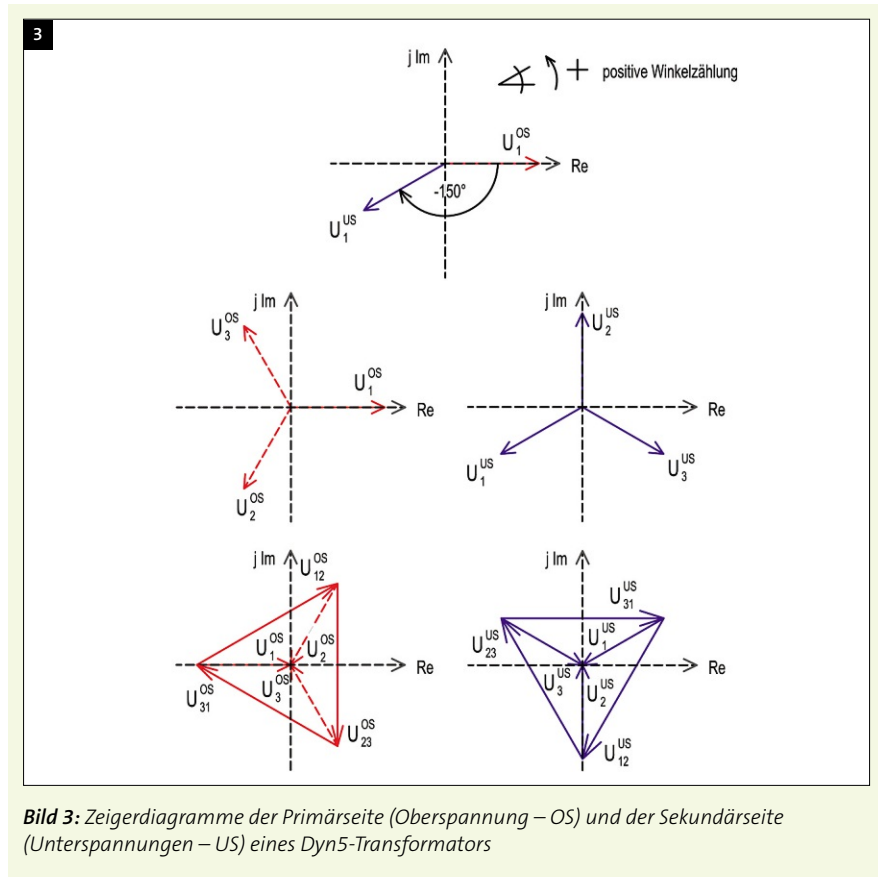


Bild 3: Zeigerdiagramme der Primärseite (Oberspannung – OS) und der Sekundärseite (Unterspannungen – US) eines Dyn5-Transformators

$$I_{k3s} = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot Z_T} = \frac{100 \cdot I_{rTLV}}{u_{kr}} = \frac{100 \cdot 1443 \text{ A}}{6} = 24050 \text{ A}$$

$$I_{k1p} = \frac{1}{\sqrt{3} \cdot 50} \cdot \frac{3 \cdot 24050 \text{ A}}{2 + 0,95} = \underline{\underline{282,4 \text{ A}}}$$

Dabei sind:

- I_{k1p} – der Kurzschlussstrom (Effektivwert) bezogen auf die Primärseite bei dem einpoligen sekundärseitigen Klemmenkurzschluss in A,
- U – die Außenleiterspannung sekundärseitig in V,
- Z_{OT} – die Transformatorimpedanz auf der Sekundärseite im Nullsystem in Ω ,
- Z_T – die Transformatorimpedanz auf der Sekundärseite im Mitsystem in Ω ,
- $\frac{Z_{OT}}{Z_T} \approx 0,95$
- t_r – der Betrag des komplexen Bemessungsübersetzungsverhältnisses des Transformators,
- u_k – der Bemessungswert der relativen Kurzschlussleistung des Transformators in %,
- I_{k3s} – der Kurzschlussstrom (Effektivwert) bei dem dreipoligen sekundärseitigen Klemmenkurzschluss in A.

Interpretation der Ergebnisse

Zweipolige Kurzschlüsse auf der Sekundärseite des Dyn5-Transformators rufen primärseitig fließende Kurzschlussströme in drei Außenleitern hervor. Im ersten primärseitigen Außenleiter weist der Kurzschlussstrom dabei den gleichen Effektivwert auf wie bei dreipoligen Kurzschlüssen auf der Sekundärseite des Transformators. In den anderen zwei Außenleitern fließen primärseitig Kurzschlussströme des halben Effektivwerts.

Wenn also beim genannten 20kV/0,4kV-Dyn5-Transformator mit der Bemessungsleistung 1000kVA und dem Bemessungswert der relativen Kurzschlussleistung 6% sekundärseitig ein zweipoliger Klemmenkurzschluss (Außenleiter gegen Außenleiter) entsteht, fließt primärseitig in einem Außenleiter ein Fehlerstrom des gleichen Effektivwerts wie beim schon betrachteten sekundärseitigen dreipoligen Klemmenkurzschluss 481 A. In den anderen

zwei Außenleitern primärseitig fließen Fehlerströme des halben Effektivwerts 240,5 A. Dies bedeutet wiederum, dass der 63 A-HH-Sicherungseinsatz (egal welchen Fabrikates) den im Außenleiter fließenden vollen Fehlerstrom ordnungsgemäß innerhalb ≤ 2 s auslöst. Dies stellten wir oben schon fest. Nach dieser Abschaltung des Außenleiters, der den vollen Fehlerstrom führt, fließt dann kein Fehlerstrom mehr.

Somit kann ein zweipoliger sekundärseitiger galvanischer bzw. lichtbogenfreier Klemmenkurzschluss am 20kV/0,4kV-Dyn5-Transformator mit der Bemessungsleistung 1000kVA und dem Bemessungswert der relativen Kurzschlussleistung 6% primärseitig einphasig durch die 63 A-HH-Sicherung ordnungsgemäß innerhalb ≤ 2 s abgeschaltet werden. Das Fabrikat der HH-Sicherung spielt auch hierbei keine Rolle.

Im hier betrachteten Beispiel sind die sekundärseitigen dreipoligen und zweipoligen Transformator-Klemmenkurzschlüsse unkritisch. Sie lassen sich also im Zeitraum ≤ 2 s abschalten. Aufgrund der elektrischen Nähe von Q2: NS-LS (siehe Bild 2) zum Transformator bzw. durch die kurze Stromschiene bzw. Kabelanlage (5 m) kann man davon ausgehen, dass wegen der kleinen Dämpfung in dem Beispiel drei- und zweipolige Kurzschlüsse auch an der Fehlerstelle F3 (Bild 2 vor Q2: NS-LS) unproblematisch sind.

Sekundärseitiger einpoliger Klemmenkurzschluss

Probleme können jedoch beim sekundärseitigen einpoligen Klemmenkurzschluss auftreten. Mit seinem Effektivwert von 282,412 A kann bei der 63 A-HH-Sicherung eine Abschaltung ≤ 2 s problematisch werden. Natürlich handelt es sich hierbei um den annähernd ermittelten Wert.

Gemäß VDE 0102 rechneten wir hier zunächst mit dem alten $c_{\min} = 0,95$ (Spannungsfaktor: Verhältnis zwischen der Ersatzspannungsquelle und der Netznominalspannung, dividiert durch $\sqrt{3}$, zur Berechnung der minimalen Kurzschlussströme). Dieser Wert des Spannungsfaktors von 0,95 war gültig bis Dezember 2016. Bei der Kurzschlussstromberechnung ergeben sich hierbei ca. 240 A. Verwendet man nun den aktuellen Spannungsfaktor $c_{\min} = 0,9$, so ergeben sich ca. 227 A. Man kann allgemein sagen, dass einpolige Kurzschlüsse sekundärseitig bis vor Q2: NS-LS als kritisch zu betrachten sind. Sie müssen daher unbedingt berücksichtigt werden. Das ist auch im Sinne der DIN VDE 0670-402.

Anzeige

Was bringt Ihnen die BG ETEM wirklich?
<http://de.check-die-bgetem.de>

Einpolige Kurzschlüsse auf der Sekundärseite des Transformators zwischen einer Außenleiterklemme und dem Transformatorgehäuse sind noch kritischer, weil sich in der Kurzschlusschleife zusätzlich die Impedanz des Gehäuses des Transformators befindet. Auch dieser Umstand muss vom Planer berücksichtigt werden. Diese Konstellation liefert noch kleinere Werte des einpoligen Kurzschlussstromes und lässt sich weder nach VDE 0102 noch mit einem Berechnungsprogramm berechnen. Die Berechnung kann hier nur manuell erfolgen und erfordert vom Planer entsprechendes Fachwissen.

Ansätze zur Problemlösung

Kommen wir zurück zu unserem Beispiel. Im Folgenden greifen wir auf die im obigen Abschnitt **Planerisches Herangehen** genannten Punkte zurück. Folgende Möglichkeiten bestehen nun also, dieses Problem zu lösen:

- a) Zunächst lohnt eine Recherche, ob ein anderer Typ bzw. ein anderes Fabrikat des 63A-HH-Sicherungseinsatzes eine flinkere Zeit-Strom-Kennlinie hat, die eine Abschaltung ≤ 2 s ermöglicht.
- b) Anderenfalls kann der Planer prüfen, ob ein 50 A-HH-Sicherungseinsatz in Frage kommen kann. Löst dieser im Zeitfenster ≤ 2 s aus, muss die Prüfung zu Punkt 1) vorgenommen werden. Der 50 A-HH-Sicherungseinsatz darf beim Einschaltvorgang des Transformators weder ansprechen noch beschädigt werden. Das Joulesche-Integral (die freigesetzte spezifische Joulesche-Wärme), welches durch den Transformatoreinschaltvorgang hervorgerufen wird, muss kleiner als das Schmelzintegral des 50 A-HH-Sicherungseinsatzes sein. Praktisch reicht es, wenn der Einschaltstrom des Transformators, bezogen auf 100 ms, einen 20%-igen Abstand zur unteren Toleranzgrenze der Zeit-Strom-Kennlinie des 50 A-HH-Schmelzeinsatzes in Richtung Stromachse aufweist.
- c) Man prüft, ob der Transformator mit einem kleineren Bemessungswert der relativen Kurzschlussspannung (z. B. 5 %) passt bzw. ausgeführt werden kann. Die Kurzschlussspannung ist die Spannung in V, die primärseitig gelegt wird, dass bei der kurzgeschlossenen sekundärseitigen Transformatorwicklung (dreipoliger sekundärseitiger Klemmenkurzschluss) primärseitig der Bemessungsstrom des Transformators fließt. Die Kurzschlussspannung bestimmt:

- den komplexen Scheinwiderstand (die komplexe Impedanz) des Transformators,
 - den Spannungsfall am Transformator bei Belastung (für dessen Erklärung dient das Kappsche-Diagramm),
 - die Höhe der Kurzschlussströme, an den Fehlerstellen F2 – F6; je kleiner die Kurzschlussspannung ist, desto höher sind die Effektivwerte der Kurzschlussströme.
- d) Alternativ könnte man prüfen, ob eine Vielbereichssicherung passen könnte.
 - e) Die Kombination aus einem MS-Leistungsschalter, einem Schutzrelais und einem Stromwandler kann die beschriebenen kleinen einpoligen Kurzschlussströme erfassen und abschalten. Es muss trotzdem erwähnt werden, dass diese Kombination bei sehr hohen Kurzschlussströmen »keine Chance« gegen die HH-Sicherungen hat.

Während die HH-Sicherungen sehr hohe Kurzschlussströme in wenigen Millisekunden also innerhalb der ersten Halbschwingung abschalten, das Erreichen des Scheitelwertes verhindern und die freigesetzte Kurzschlussenergie drastisch verringern (und dadurch die Anlage thermisch und elektrodynamisch hervorragend schützen), benötigt die genannte Kombination des MS-Leistungsschalters zur Abschaltung eine Zeit im zweistelligen Millisekundenbereich. Daher kommt keine kurzschlussstrombegrenzende Wirkung der HH-Sicherungen zustande.

Bewertung einiger Lösungen

Wir haben uns vordergründig mit dem Merkmal unter dem Punkt 3) befasst. Daraus kann man schließen, dass der Punkt 3) den maximal möglichen HH-Sicherungseinsatz liefert. Der Punkt 1) liefert dagegen den minimal möglichen HH-Sicherungseinsatz. Die zum Transformatorschutz eingesetzten HH-Sicherungen verfügen als Teilbereichssicherungen definitionsgemäß über das gemäß ihren Zeit-Strom-Kennlinien definierte Auslöseverhalten (Schmelzverhalten) zwischen dem Bemessungsmindestausschaltstrom und dem Bemessungsausschaltstrom. Dies gilt jedoch nicht für den Bereich zwischen dem Bemessungsstrom und dem Bemessungsmindestausschaltstrom in dem sogenannten »verbotenen Bereich«. HH-Sicherungen dienen dem Kurzschlussschutz.

Wird die HH-Sicherung mit einem Strom aus dem »verbotenen Bereich« durchflossen, wird sie heiß, der Porzellankörper platzt und sie gefährdet ihre Umgebung. Um das zu



CES OMEGA FLEX

So sicher kann Individualität sein

Praxisgerecht kombinierbar, einfach zu montieren und flexibel zu integrieren – dafür stehen die elektronischen Zutrittslösungen von CES OMEGA FLEX. Online, offline oder im V-NET.

Besuchen Sie uns!

light+building

08.03. – 13.03.2020, Messe Frankfurt
Halle 9.1 – Stand A66

Weitere Informationen auf ces.eu

Elektrische Anlagen

verhindern haben die Hersteller der HH-Sicherungen eine thermische Überwachung entwickelt. Somit verfügen moderne HH-Sicherungen über einen thermischen Schutz. Bei Strömen, die zwischen dem Bemessungsstrom der HH-Sicherung und ihrem Bemessungsmindestausschaltstrom (also im »verbotenen Bereich«) liegen, löst der »Thermoschlagstift« der HH-Sicherung bei einem bestimmten Temperaturwert den Lastschalter aus. Dieser schaltet dann die Lastschalter-HH-Sicherungs-Kombination allpolig aus.

Besonders wichtig ist es, dass der Planer den Punkt 6) (s. S.23) berücksichtigt. Die VDE 0671-105 liefert hierzu ein geeignetes Iterationsverfahren, nach dem die Abstimmung des HH-Sicherungseinsatzes auf das schon genannte begrenzte Schaltvermögen des Lastschalters festgelegt wird.

Bei einem dreipoligen Kurzschluss schmelzen – bedingt durch die Fertigungstoleranzen – nicht alle drei HH-Sicherungen gleichzeitig. Es gibt immer eine Zeitdifferenz zwischen der flinksten und der trägsten HH-Sicherung. In der Lastschalter-HH-Sicherungs-Kombination ist entscheidend, dass diese Zeitdiffe-

renz kürzer als die Eigenzeit des Lastschalters ist. Ist dies sichergestellt, schmelzen beim dreipoligen Kurzschluss alle drei HH-Sicherungen und unterbrechen die Kurzschlussbahnen bevor der Lastschalter schaltet. Der Lastschalter schaltet dann dreipolig stromlos.

Ist der Lastschalter schneller (d.h. seine Eigenzeit ist kürzer als die Zeitdifferenz zwischen der flinksten und der trägsten HH-Sicherung), so spricht zuerst die flinkste HH-Sicherung an und löscht in ihrem Außenleiter. Ferner löst der Schlagstift der flinksten HH-Sicherung den Lastschalter aus. Der Lastschalter schaltet dann dreipolig und muss dabei zweipolig löschen. Der Lastschalter kann das nur dann erfolgreich ausführen, wenn sein Bemessungs-Übergangstrom (Bemessungsausschaltvermögen) größer als der tatsächliche Übergangstrom der Lastschalter-HH-Sicherungs-Kombination ist und er die dabei eventuell auftretende steile Einschwingspannung beherrscht.

Die VDE 0671-105 fordert, dass der nach dem Anhang B bestimmte Übergangstrom (I_{transfer}) kleiner als der Bemessungs-Übergangstrom des Lastschalters ist. Diese Norm fordert auch, dass der tatsächliche Über-

gangstrom der Lastschalter-HH-Sicherungs-Kombination kleiner ist als der an der Primärseite fließende Fehlerstrom bei dem dreipoligen galvanischen bzw. lichtbogenfreien Klemmenkurzschluss auf der Sekundärseite des Transformators. ●

FÜR SCHNELLESER

Einsatz kostengünstiger Betriebsmittel

Wenn keine hohe Schalthäufigkeiten zu erwarten sind, kommen häufig strombegrenzende Teilbereichs-HH-Sicherungen in Reihe mit einem Lastschalter als Lastschalter-HH-Sicherungs-Kombination zum Einsatz. Hierbei ist der Lastschalter in Energieflussrichtung gesehen den HH-Sicherungen vorgeordnet.

Planer muss rechnen

Anhand eines fiktiven Beispiels geht der Beitrag alle notwendigen Schritte durch, die beim Nachweis der Tauglichkeit kostengünstiger HH-Sicherungen notwendig sind.

Autor:

Dipl.-Ing. Dragan Sofic,
Abteilungsleiter Netzberechnung/Netzanalyse,
EAB Elektroanlagen GmbH Rhein/Main,
Dietzenbach



ENDLICH NEO!
NICHT GUCKEN.
AUSPROBIEREN!



cee-neo.de

JETZT PRODUKTVIDEO ANSEHEN
UND MUSTER SICHERN!*

*Nur solange der Vorrat reicht.

NEO

One - Touch