Planung/Projektierung einer Energieverteilung (3)

G. Pikulicki , Erlangen

An Hand einer Beispielanlage werden die folgenden Projektierungsschritte dargelegt. Die behandelten Arbeitsabläufe erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit. Sie sollen lediglich aufzeigen, welcher Aufwand darin steckt, eine Schaltanlage zu projektieren. Sicherlich gibt es auch weitere, hiervon abweichende Lösungen, die zum gleichen Ergebnis führen.
Nicht betrachtet wird die Kostenseite. Klar ist, es gibt kaum zwei unterschiedliche Lösungen mit den gleichen Kosten. Alle Lösungen haben aber die selbe Voraussetzung: Erstellen einer NS-Schaltanlage nach DIN EN 60 439.

Ablaufplan

1. Berechnung der Kurzschlussverhältnisse in Niederspannungsnetzen
2. Feststellen der Umgebungstemperatur außerhalb und innerhalb des Schaltanlagengehäuses
3. Ermittlung der Bemessungsbetriebsströme unter Berücksichtigung der Lufttemperaturen innerhalb der Gehäuse und der Kurzschlussströme
4. Blanke Leiter, Sammelschienen
5. Blanke Leiter, Geräteanschlussschienen
6. Bemessung auf dynamische Kurzschlussfestigkeit (nach DIN VDE 0103)
7. Ermittlung der Abschaltbedingung
8. Ermittlung der Berührungsspannung
9. Wirksame Verlustleistung innerhalb der Gehäuse

Bild ❶ zeigt ein Single line Diagramm der betrachteten Anlage, in dem bereits wichtige Informationen stecken. Folgende technische Daten gibt der Besteller vor:

- Schaltanlage für Innenraum
- Umgebungstemperatur der Schaltanlagenschränke 35 °C
- Schutzart IP 40
- 4-Leitersystem
- Einspeisung über Trafo mit 2000 kVA, u_{kr} = 6 % aus 20 kV mit S_n = 500 MVA.

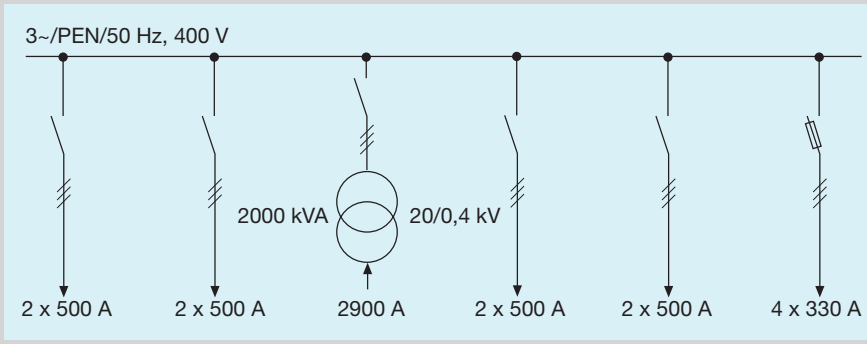
Aus der Angabe 4-Leitersystem und dem Single line Diagramm lässt sich folgern, dass das vorhandene Netzsystem ein TN-C-System ist (siehe Bild ❷).
Ablaufplan siehe nebenstehenden Kasten.

1 Berechnung der Kurzschlussverhältnisse in Niederspannungsnetzen

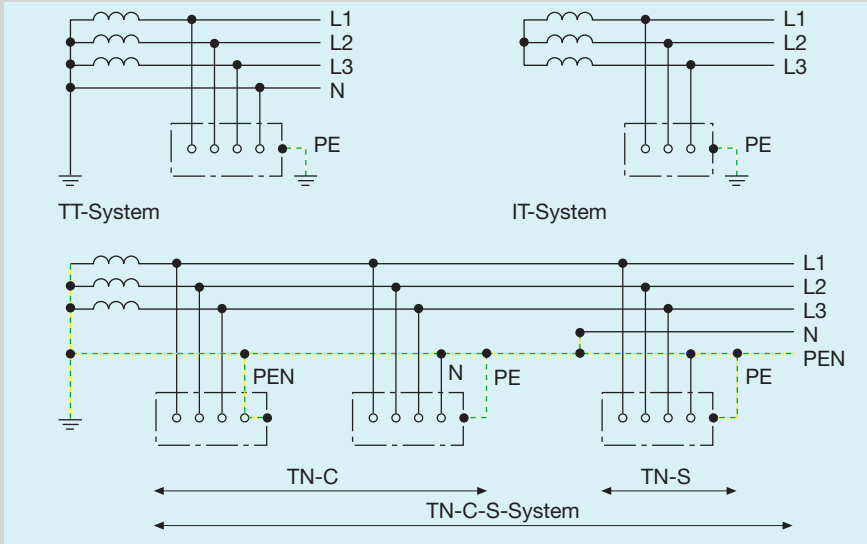
Es muss an allen notwendigen Punkten im Niederspannungsnetz der max. und min. Kurzschlussstrom als Effektivwert I''_{keff} ermittelt werden – als ein-, zwei- und dreipolige Kurzschlussströme. Für die Dimensionierung der Schienen und Leitungen ist der max. Scheitelwert i_p zu ermitteln.
Der max. Kurzschlussstrom dient der Auswahl und der Bemessung der Betriebsmittel wie Schaltgeräte und Sammelschienen. Das heißt, die entsprechenden Kennwerte der Betriebsmittel müssen größer oder gleich dem so ermittelten Wert sein. Der minimale Kurzschlussstrom dient zur Festlegung der min. Ansprechwerte der Schutzeinrichtungen. Einfach ausgedrückt, die Schutzgeräte müssen den kleinsten Kurzschlussstrom noch als Kurzschlussstrom sicher erfassen und in der vorgegeben Zeit sicher abschalten.
Die Höhe des Kurzschlussstroms ist abhängig von der anstehenden min. bzw. max. Kurzschlussbelastung im Hochspannungsnetz (S''_k), dem verwendeten Trafo (S_n; u_{kr}) und den verlegten Leitungen (Impedanzen) und deren Länge. Allgemein gilt, je länger die Leitung und je kleiner der Querschnitt, desto größer die Leitungsimpedanz und, je größer die Leitungsimpedanz, desto kleiner der Kurzschlussstrom.
Die max. Kurzschlussströme müssen überall dort ermittelt werden, wo Schaltgeräte/Schutzgeräte eingebaut werden oder wo sich Verbindungsquerschnitte oder die Art der Verbindung ändern. Die min. Kurzschlussströme sind jeweils am Ende des Stromkreises oder am Ende der zu schützenden Verbindung zu ermitteln. Dies kann direkt an den Eingangsklemmen des nächsten Schutzgeräts oder des Verbrauchers sein.

Autor

Dipl.-Ing. (FH) *Gustav Pikulicki* ist Mitarbeiter der Siemens AG, Erlangen.



❶ **Single line Diagramm der zu projektierenden Anlage**



❷ **Systeme nach Art der Erdverbindung**

Der Kurzschlussstrom kann mit Hilfe von Tabellen oder Programmen berechnet werden. Diese Berechnungsmethoden stützen sich auf die derzeit gültige Bestimmung DIN VDE 0102. Im Beispiel wird Bild ❸ verwendet.

Es ergibt sich ein max. Kurzschlussstrom von 41 kA an den Einspeiseklemmen der Schaltanlage. Da innerhalb der Schaltschränke meist Stromschienen verlegt werden und die Längen klein im Vergleich zur Verkabelung außerhalb sind, kann dieser Wert auch an den Abgangsklemmen der Schaltschränke angenommen werden. Der min. Kurzschlussstrom innerhalb der Schaltanlage beträgt 35 kA.

Der min. Kurzschlussstrom am Ende der angeschlossenen Leitung muss entsprechend den tatsächlich vorkommenden Verhältnissen ermittelt werden. Bei einer angenommenen Leitungslänge von 50 m zum Verbraucher ergibt sich ein min. Kurzschlussstrom am Verbraucher von ca. 15 kA bei einem Leitungsquerschnitt von 2/120/120 mm² (=> zwei Adern pro Phase und 120 mm² je Phase + 120 mm² für den PEN). Der Scheitelwert i_p der Anlage beträgt am Eingangspunkt zur Schaltanlage 96 kA bei einem Kappa von 1,65. Der Scheitelwert ist ein direktes Maß für die dynamische Belastung der Sammelschienen.

2 Umgebungstemperatur

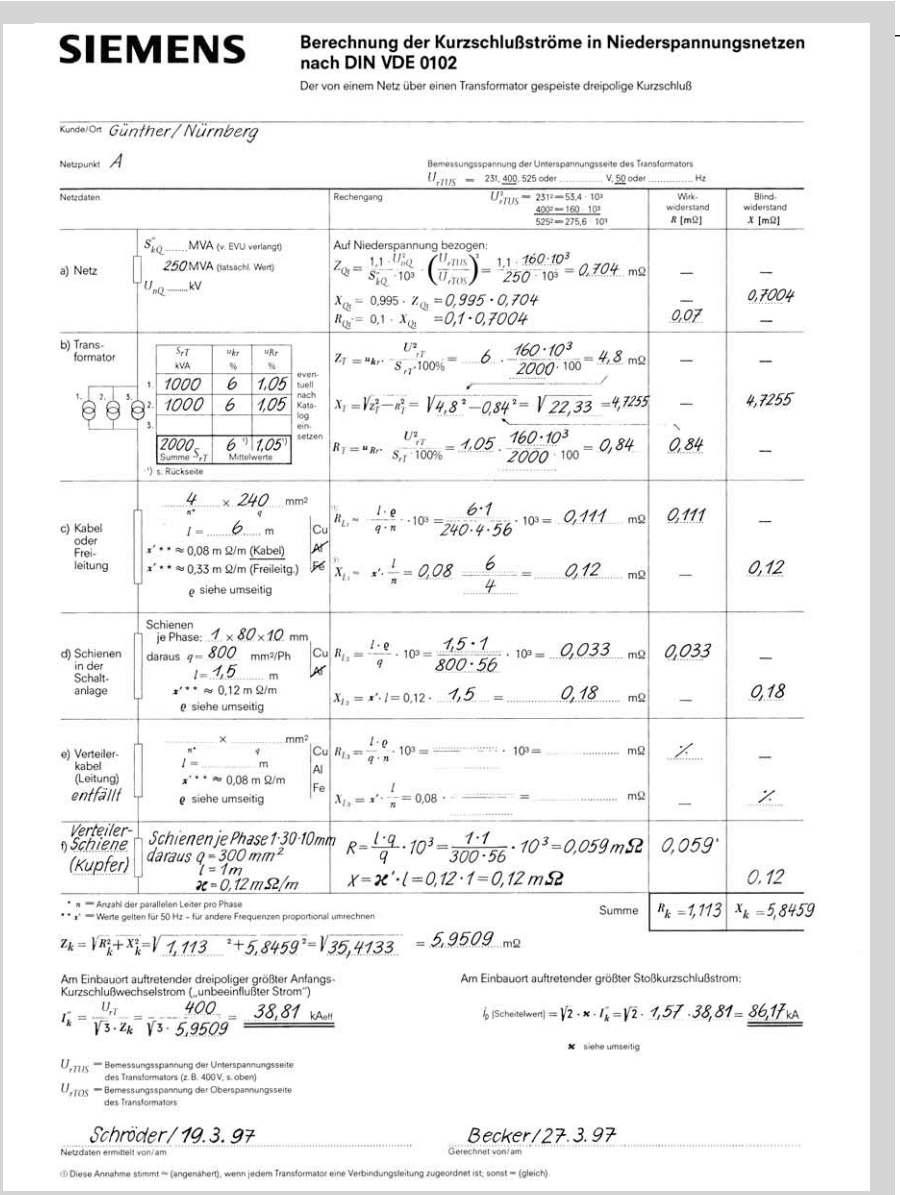
2.1 Außerhalb des Schaltanlagengehäuses

Diese Temperatur wird meist durch die Gebäudekonstruktion und durch den Aufstellort der Schaltschränke vorgegeben. Wesentlich ist auch, ob die Schalträume an die Gebäudeklimaanlage angeschlossen sind. Die Außentemperatur beträgt im Beispiel 35 °C.

2.2 Innerhalb des Schaltanlagengehäuses

Diese Temperatur wird durch die einzubauenden Geräte und deren max. Belastung bestimmt. Es dürfen nur Geräte eingesetzt werden, die oberhalb dieser Temperatur betrieben werden können.

Da es sich um eine reine Energieverteilungsanlage handelt, können durchaus 55 °C als Innentemperatur der Schaltanlage vorgeben werden. Daraus ergibt sich, dass alle Geräte und Teile, die in die Schaltschränke eingebaut werden, mindestens einer Dauertemperatur von 55 °C standhalten müssen. Weiterhin ist der Abstand zwischen Innen- und Außentemperatur mit 20 K relativ güstig. Aus Erfahrung lässt sich sagen, dass eine Differenz von weniger als 15 K meist zu einer forcierten Kühlung führt. Forcierte Kühlung bedeutet Filterlüfter oder sogar Klimageräte.



SIEMENS

Berechnung der Kurzschlußströme in Niederspannungsnetzen nach DIN VDE 0102

Der von einem Netz über einen Transformator gespeiste dreipolige Kurzschluß

Kunde/Ort: Günther/Nürnberg

Netzpunkt: A

Bemessungsspannung der Unterspannungsseite des Transformators U_{rTUS} = 231, 400, 525 oder ..... V, 50 oder ..... Hz

Netzdaten	Rechengang	Wirkwiderstand R [mΩ]	Blindwiderstand X [mΩ]
a) Netz	Auf Niederspannung bezogen: $Z_Q = \frac{1{,}1}{S''_{kQ}} \cdot \frac{U^2_{nQ}}{10^3} \left(\frac{U_{rTUS}}{U_{rTOS}}\right)^2 = \frac{1{,}1}{250} \cdot \frac{160 \cdot 10^3}{10^3} = 0{,}704$ mΩ; $X_Q = 0{,}995 \cdot Z_Q = 0{,}995 \cdot 0{,}704$; $R_Q = 0{,}1 \cdot X_Q = 0{,}1 \cdot 0{,}7004$	—; 0,07	—; 0,7004
b) Transformator	$Z_T = u_{kr} \cdot \frac{U^2_{rT}}{S_{rT} \cdot 100\%} = 6 \cdot \frac{160 \cdot 10^3}{2000 \cdot 100} = 4{,}8$ mΩ; $X_T = \sqrt{Z_T^2 - R_T^2} = \sqrt{4{,}8^2 - 0{,}84^2} = \sqrt{22{,}33} = 4{,}7255$; $R_T = u_{Rr} \cdot \frac{U^2_{rT}}{S_{rT} \cdot 100\%} = 1{,}05 \cdot \frac{160 \cdot 10^3}{2000 \cdot 100} = 0{,}84$	—; 0,84	—; 4,7255
c) Kabel oder Freileitung	$R_{L_1} \approx \frac{l \cdot \varrho}{q \cdot n} \cdot 10^3 = \frac{6 \cdot 1}{240 \cdot 4 \cdot 56} \cdot 10^3 = 0{,}111$ mΩ; $X_{L_1} \approx x' \cdot \frac{l}{n} = 0{,}08 \cdot \frac{6}{4} = 0{,}12$ mΩ	0,111; —	—; 0,12
d) Schienen in der Schaltanlage	$R_{L_2} = \frac{l \cdot \varrho}{q} \cdot 10^3 = \frac{1{,}5 \cdot 1}{800 \cdot 56} \cdot 10^3 = 0{,}033$ mΩ; $X_{L_2} = x' \cdot l = 0{,}12 \cdot 1{,}5 = 0{,}18$ mΩ	0,033; —	—; 0,18
e) Verteilerkabel (Leitung) entfällt	$R_{L_3} = \frac{l \cdot \varrho}{q \cdot n} \cdot 10^3 = \cdot 10^3 =$ mΩ; $X_{L_3} = x' \cdot \frac{l}{n} = 0{,}08 \cdot =$ mΩ	⁄; —	—; ⁄
f) Verteilerschiene (Kupfer)	Schienen je Phase 1·30·10 mm, daraus $q = 300$ mm², $l = 1$ m, $\varkappa = 0{,}12$ mΩ/m; $R = \frac{l \cdot \varrho}{q} \cdot 10^3 = \frac{1 \cdot 1}{300 \cdot 56} \cdot 10^3 = 0{,}059$ mΩ; $X = \varkappa' \cdot l = 0{,}12 \cdot 1 = 0{,}12$ mΩ	0,059*;	—; 0,12
	Summe	R_k = 1,113	X_k = 5,8459

* n = Anzahl der parallelen Leiter pro Phase
** x = Werte gelten für 50 Hz – für andere Frequenzen proportional umrechnen

$Z_k = \sqrt{R_k^2 + X_k^2} = \sqrt{1{,}113^2 + 5{,}8459^2} = \sqrt{35{,}4133} = 5{,}9509$ mΩ

Am Einbauort auftretender dreipoliger größter Anfangs-Kurzschlußwechselstrom („unbeeinflußter Strom"): $I''_k = \frac{U_{rT}}{\sqrt{3} \cdot Z_k} = \frac{400}{\sqrt{3} \cdot 5{,}9509} = 38{,}81$ kA$_{eff}$

Am Einbauort auftretender größter Stoßkurzschlußstrom: i_p (Scheitelwert) $= \sqrt{2} \cdot \varkappa \cdot I''_k = \sqrt{2} \cdot 1{,}57 \cdot 38{,}81 = 86{,}17$ kA

* siehe umseitig

U_{rTUS} = Bemessungsspannung der Unterspannungsseite des Transformators (z. B. 400 V, s. oben)
U_{rTOS} = Bemessungsspannung der Oberspannungsseite des Transformators

Netzdaten ermittelt von/am: Schröder/19.3.97

Gerechnet von/am: Becker/27.3.97

① Diese Annahme stimmt = (angenähert), wenn jedem Transformator eine Verbindungsleitung zugeordnet ist; sonst ≈ (gleich).

❸ **Berechnungsbogen aus [1] – Beispiel für die Berechnung der dreipoligen Kurzschlussströme in einem Niederspannngsabzweig**

3 Bemessungsbetriebsströme

Im Beispiel sind die Bemessungsbetriebsströme direkt als Ampere-Wert vorgegeben. Sind die Belastungswerte als Leistung angegeben, so müssen diese gemäß den Werten des Verbrauchers (cos φ) auf Ampere umgerechnet werden. Sofern Motoren als Last dabei sind, ist auch hier zusätzlich der Anlaufstrom zu berücksichtigen. Den Anlaufstrom muss das Schaltgerät während der Anlaufzeit führen können.

Einspeisung 2 900 A. Gewählt wird ein Leistungsschalter mit einem max. Einstellstrom I_r = 3 200 A. Im Beispiel muss I_r auf den Faktor 0,9 oder auf den Wert 2 900 A eingestellt werden (je nach Auslösertyp als Vielfaches des Geräte-Bemessungsstroms oder direkter Ampere-Wert).

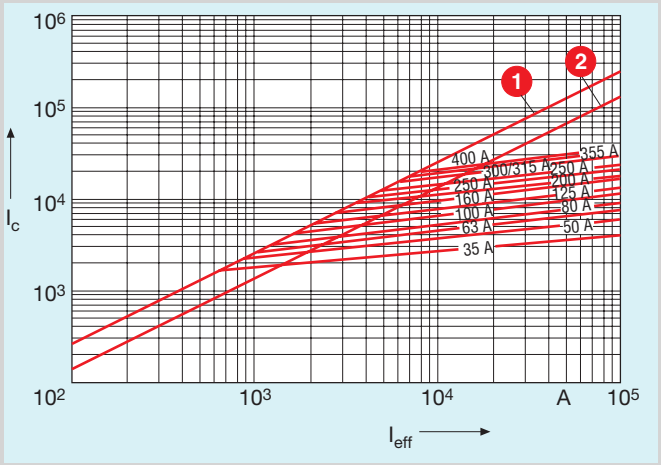
8 Abgänge je 500 A. Möglich sind die Schaltertypen

- Kompaktleistungsschalter (z. B. 3VF)
- offener Leistungsschalter (z. B. 3WN6).

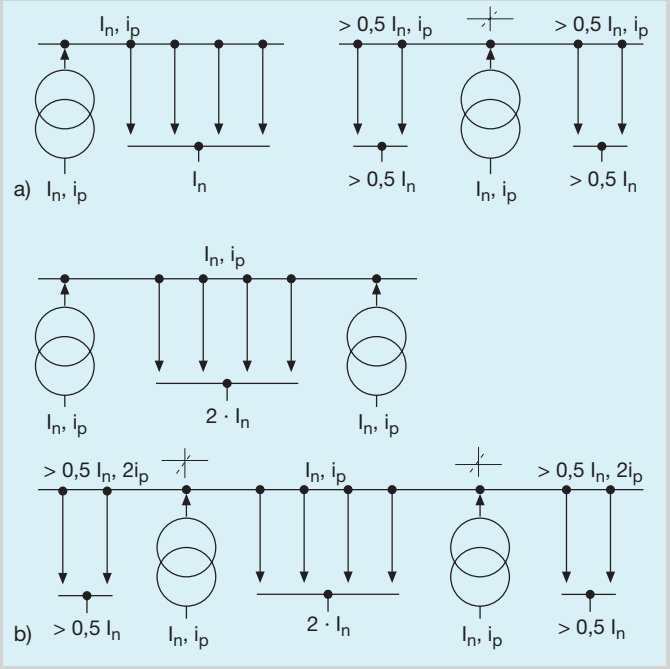
Kompaktleistungsschalter sind für ein sehr schnelles Abschalten gebaut, d. h., Zeitverzögerungen in den Auslösungen (zur Selektivitätsstaffelung notwendig) sind nur mit teuren, elektronischen Auslösebausteinen möglich. Die offenen Schalter sind für eine zeitselektive Staffelung gebaut, d. h., sie können die max. Kurzschlussströme für eine gewisse Zeit tragen (in der Regel bis 400 ms, Ausnahmen gehen bis 4000 ms). Nach der ersten Verteilung, die sich direkt nach dem Trafo befindet, wird es noch weitere Unterverteilungen geben. Aus diesem Grund wird ein Schaltertyp gewählt, mit dem eine zeitselektive Staffelung aufgebaut werden kann.

Geeignet ist z. B. der Schaltertyp 3WN60 mit 630 A Nennstrom. Für unsere Zwecke muss auch dieser Schalter mit I_r auf den Faktor 0,9 bzw. auf 500 A (je nach Auslösertyp) eingestellt werden.

Das Ausschaltvermögen der beiden Schalter liegt bei I_{cu} / I_{cs} bei 65 kA/80 kA (Bemessungsgrenz-/ Bemessungsbetriebs-Kurz-



❹ **Durchlasskennlinien von Sicherungen des Typs 3NA32 aus [2]**



❺ **Lage der Einspeisung**
a) bei einem Transformator; b) bei zwei Transformatoren

Tafel ❶ Aufstellung der gewählten Geräte

Geräte-typ	Nenn-strom	Einstell-strom	Ausschalt-vermögen I_{cu}/I_{cs}	Max. Kurz-schluss-strom	Einschalt-strom I_{cm}	Scheitel-wert	Bemerkung
3WN67	3200 A	2900 A 0,9 x I_n	80 kA	41 kA	176 kA	96 kA	Leistungsschalter Einspeisung
3WN60	630 A	500 A 0,9 x I_n	65 kA	41 kA	147 kA	96 kA	Leistungsschalter Abgang 500 A
3NP437	400 A		50 kA[1)]	41 kA	35 kA[2)]	96 kA	Sicherungslasttrenn-schalter Abgang 330 A
3NA32	355 A		120 kA	41 kA	25 kA[3)]	96 kA	Sicherungslasttrenn-schalter Abgang 330 A

1) Bedingter Kurzschlussstrom unter Berücksichtigung der strombegrenzenden Wirkung des Sicherungseinsatzes
2) Bedingter Bemessungskurzschlussstrom mit Sicherungen, hier der Durchlassstrom der Sicherung als Scheitelwert (bei zügigem Schalten)
3) Der Durchlassstrom der Sicherung muss kleiner sein als der vom Schaltgerät vorgegebene Durchlassstrom der Sicherung. Hier: 35 kA vom Schaltgerät und 25 kA Durchlassstrom der Sicherung (siehe Durchlasskennlinie der Sicherung Bild ❹).

schlussausschaltvermögen). Verglichen mit dem Kurzschlussstrom innerhalb der Schaltschränke (41 kA) folgt, dass der gewählte Schalter ausreichend groß ist. Das Einschaltvermögen I_{cm} liegt bei 147 kA/176 kA (=> $I_{cm\ \text{Schalter}} > i_{p\ \text{Anlage}}$).

4 Abgänge je 330 A. Für diese Abgänge eignen sich z. B. Sicherungslasttrennschalter vom Typ 3NP437.
Die Aufstellung der gewählten Geräte enthält Tafel ❶.

4 Blanke Leiter, Sammelschienen

Da keine andere Angabe in den Spezifikationen des Kunden zu finden ist, wird davon ausgegangen, dass in der Schaltanlage blanke Kupferschienen verwendet werden.
Zu ihrer Dimensionierung sind der durch die Schienen fließende Betriebsstrom und der Kurzschlussstrom (Effektivwert = thermische und Scheitelwert = dynamische Belastung) notwendig.

Einspeisepunkte. Zur Bestimmung des Betriebsstroms werden die möglichen Einspeisepunkte betrachtet (Bild ❺a,b). Je nachdem wo die Einspeisung liegt (Mitte der Sammelschiene oder an einem Ende), ergeben sich unterschiedliche Belastungsströme der Hauptsammelschiene. Mittige Einspeisung sollte sich immer auf die strommäßige Belastung beziehen, nicht auf die geometrische Lage. Die Lage der Einspeisungen richtet sich in vielen Fällen aber auch nach den baulichen Gegebenheiten. Diese müssen vor der Berechnung der Hauptsammelschiene geklärt sein.
Sollte diese bauliche Klärung nicht möglich sein, ist es ratsam, die Hauptsammelschiene nach der Summe der Einspeiseströme zu dimensionieren.
Vorteil: Klärungsarbeit zu Beginn der Planung entfällt (Möglichkeit, Aufwand, Kosten), weiterhin ist man damit auch flexibel, was die Aufteilung der Felder und eventuelle spätere Erweiterungen anbelangt.

Nachteil: Die Sammelschiene muss erheblich größer ausgelegt werden (Kosten in der Fertigung der Schaltanlage), als dies sein müsste. Dies gilt jedoch nur, wenn nicht schon aufgrund der thermischen oder dynamischen Kurzschlussstrombelastung ein Querschnitt zu verlegen ist, der dieser Strombelastung entspricht.
Nehmen wir also an, wir hätten die Freiheit, die Einspeisung an den günstigsten Punkt (mittig) zu legen (Bild ❶).

Nennbemessungsbelastungsfaktor. Ist vom Planer nichts anderes genannt, so kann der Normwert angesetzt werden. Gemäß den gewählten Geräten bedeutet dies, dass nur die Sicherungslasttrennschalter (3NP) gemeinsam in einem Feld (Breite 1000 mm) untergebracht werden können. Bei den offenen Leistungsschaltern ist jeder in einem eigenen Feld (Breite 600 mm) angeordnet. Der Leistungsschalter 3WN67 benötigt ebenfalls ein eigenes Feld (Breite 800 mm).
Gemäß der Vorgabe des Betreibers legen wir die Hauptsammelschiene für 2000 A aus. Es wäre möglich, die Sammelschienen je nach tatsächlicher Belastung abzustufen. Das heisst, im Sammelschienenverlauf würden dann verschiedene Querschnitte auftreten. Dies ist jedoch aufwendig zu berechnen, da jeder Schienenabschnitt separat berechnet werden muss (thermische Belastung, mechanische Belastung im Kurzschlussfall und thermische Belastung und Wärmeabfuhr im Nennbetriebsfall).

Auslegung der Hauptsammelschiene für 2000 A. Die Schienenendtemperatur legen wir auf 85 °C fest. Die Auswahl der Schienenquerschnitte erfolgt gemäß DIN 43 671. Die darin enthaltenen Tabellen gelten für genau festgelegte Betriebs- und Temperaturverhältnisse. Damit die Tabellen für alle Betriebsfälle verwendet werden können,

gibt es Umrechnungsfaktoren (diese sind in der Norm im Anhang zu den Tabellen genau erklärt). Für abweichende Temperaturen gilt der Faktor K2. In unserem Fall ist K2 = 0,97. Dieser Faktor wird durch Normbetriebs- und Umgebungstemperatur zu tatsächlicher Betriebs- und Umgebungstemperatur grafisch bestimmt.

$I_{Schiene} = I_B$ / K2 = 2 000 A / 0,97 = 2 060 A

Für 2 060 A muss ein Schienensystem in der Normtabelle gefunden werden. Wir wählen 2 mm x 80 mm x 10 mm (2 110 A Betriebsstrom) für dieses Schienensystem.

5 Blanke Leiter, Geräteanschlussschienen

Als nächstes sind die Geräteanschlussschienen zu bestimmen. Dies erfolgt nach der gleichen Methode. Ergebnis:

- Einspeiseschalter 2 900 A:
  3 mm x 100 mm x 10 mm
- Abzweig mit 500 A:
  1 mm x 30 mm x 10 mm
- Feldschienen für NH-Trenner-Feld:
  (da vier Abzweige vorliegen, ist ein Nennbelastungsfaktor von 0,8 zu berücksichtigen – Tafel ❷)
  0,8·4·330 A = 1 189 A:
  2 mm x 40 mm x 10 mm
- Abzweig mit 330 A:
  1 mm x 20 mm x 10 mm.

6 Dynamische Kurzschlussfestigkeit

Die Berechnung erfolgt anhand der Formeln aus DIN VDE 0103. Es müssen die Hauptsammelschiene, die Feldschienen und die Geräteanschlussschienen berechnet werden.

Überprüft wird zuerst das Feld mit einer Breite von 800 mm. Ist dieses in Ordnung, so sind die 600 mm breiten Felder ebenfalls in Ordnung, da dort die Stützweite kleiner ist. Für das 1000 mm breite Feld wird eine Stützweite von 500 mm angenommen, ebenso wie für die Feldschienen. Diese liegt damit ebenfalls unter den der 600 mm breiten Feldern.

Die Rechnung gemäß den Normformel ergibt für unser Beispiel, dass die dynamische Kurzschlussfestigkeit in allen Feldern gegeben ist.

7 Abschaltbedingung

Einzuhalten ist „Schutz gegen elektrischen Schlag bei indirektem Berühren“ oder Vereinfacht „Überprüfen der Abschaltbedingung“, da dies die Maßnahme Schutz durch automatisches Abschalten innerhalb vorgegebener Zeiten in Netzen mit TN-System ist. Wie bereits erwähnt muss jedes Schutzgerät den kleinsten Kurzschlussstrom als solchen erkennen und behandeln. Dies heißt, er muss innerhalb einer bestimmten Zeit abgeschaltet sein. Die Zeit wird durch den verwendeten Querschnitt der Verbindung und durch die anzuwendende Norm festgelegt. Für die Leitungen gilt die Formel

$I^2t = S^2K^2$

I auftretender Kurzschlussstrom
t Auslösezeit des Schutzgerätes bei dem jeweiligen Strom
S Leiterquerschnitt
K Materialkonstante.

Diese Formel gilt im Zeitintervall zwischen $0\,s \le t \le 5\,s$. Das bedeutet, die erhöhte Kurzschlusstemperatur z. B. von 160 °C ist bei PVC-Isolierung in diesem Zeitintervall zulässig.

Werden folgende Bedingungen eingehalten, so ist der Kurzschlussschutz gegeben.

a) Es muss bei max. Kurzschlussstrom am Anfang der Leitung $K^2S^2 \ge I_k^2t$ eingehalten werden. Dabei ist t die Stromflusszeit des Kurzschlussstroms, also Ausschaltzeit des Schalt- und Schutzgeräts plus Schaltlichtbogenlöschzeit. Obige Formel darf nur bei Kurzschlussausschaltzeiten ≤ 0,1 s angewandt werden. Bei Ausschaltzeiten ≥ 0,1 s ist die Durchlassenergie des Schaltgeräts zu berücksichtigen (Durchlass-I^2t-Wert). Dies gilt insbesondere dann, wenn strombegrenzende Geräte eingesetzt werden oder wenn offene Leistungsschalter mit Kurzschlussschnellauslöser eingesetzt werden (I_i nicht auf unwirksam).

b) Bei kurzschlussartigen Fehlern am Ende der Stromkreise (kleinste Fehlerströme) ist außerdem zu gewährleisten, dass diese Fehler in Zeiten kleiner 5 s abgeschaltet werden.

Des weiteren muss geprüft werden, ob das Schutzgerät den min. Kurzschlussstrom innerhalb der nach den Normen vorgegebenen Zeit abschaltet. Hierzu muss bei einstellbaren Kurzschlussauslösern der Ansprechwert des Auslösers kleiner sein als der tatsächliche Kurzschlussstrom. Die zulässigen Zeiten hängen von dem System nach Art der Erdverbindung (IT-,TT- bzw. TN-System), dem versorgten Endstromkreis (fester Verbraucher, Steckdosen- oder Lampenstromkreis usw.) ab.

In unserem Beispiel beträgt der min. Kurzschlussstrom am Ende der Leitung 15 kA. Daraus folgt:

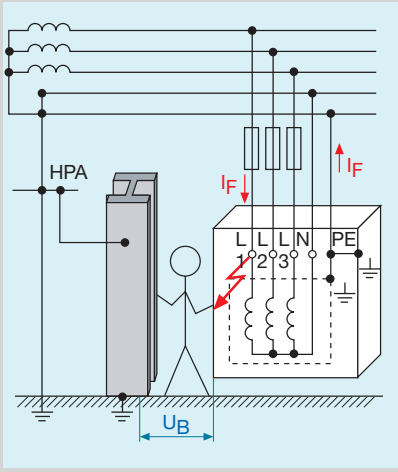
- Auslösezeit Leistungsschalter 3WN6: < 50 ms
- Auslösezeit Sicherung: < 40 ms

Sollten beide Bedingungen mit der vorhandenen Kombination nicht erfüllbar sein, so kann wie folgt Abhilfe geschaffen werden:

- Anderes Schaltgerät wählen.
- Leitung mit höherem Querschnitt wählen.
- Einsatz eines FI-Schutzschalters.

Tafel ❷ Nennbelastungsfaktor

Zahl der Stromkreise	Nennbelastungsfaktor α
2 bis 3	0,9
4 bis 5	0,8
6 bis 9	0,7
10 und mehr	0,6



❻ Berührungsspannung

8 Berührungsspannung am Fehlerort

Die max. zulässige Berührungsspannung (Bild ❻) beträgt bei:

- trockener Umgebung: AC 50 V
- feuchter Umgebung: AC 25 V
- im Wasser untergetauchten Gerät: AC 12 V.

Wenn in einem TN-System die Abschaltbedingung eingehalten wird, darf die max. zulässige Berührungsspannung von 50 V überschritten werden. Nur wenn beides nicht eingehalten wird – die Abschaltbedingung in Abhängigkeit vom System nach Art der Erdverbindung oder 50 V – muss eine der nachfolgenden Bedingungen erfüllt werden:

- Berührbare Fläche isolieren.
- Leitung mit höherem Querschnitt wählen, so dass die Abschaltbedingung erfüllt wird.
- Einsatz eines FI-Schutzschalters. Durch dessen niedrige Ansprechwerte (30 mA) ist die Abschaltbedingung quasi immer erfüllt.
- Verlegen eines örtlichen Potentialausgleichs.
  Bedingung $I_{ab} \cdot Z_{pa} \le 50$ V
  I_{ab} Strom, der zur Abschaltung durch das Schutzgerät in der vorgeschriebenen Zeit führt
  Z_{pa} Impedanz der Potentialausgleichsleitung.

Hiervon ausgenommen sind Räume mit besonderen Anwendungen (z. B. Nassräume wie Badezimmer usw.).

9 Wirksame Verlustleistung innerhalb der Gehäuse

Die Wärmeberechnung erfolgt nach DIN VDE 0660 Teil 507 (identisch zu IEC 890). Es müssen jedoch immer die Angaben der Schrankhersteller berücksichtigt werden. Viele Hersteller von Leerschränken bieten hier auch Software an, um dies zu berechnen (bei Siemens z. B. das Programm ERNA).

Ermittlung der Verlustleistung

Zur Ermittlung der Verlustleistung innerhalb von Gehäusen sind notwendig:

- Verlustleistung der eingebauten Geräte. Diese muss zum Teil umgerechnet werden auf den tatsächlichen Betriebsstrom. Die Angaben in den techn. Tabellen der Hersteller beziehen sich immer auf den Nennstrom der Geräte.
- Verlustleistung der verwendeten Schienen und Leitungen.
  Hier können im Bereich der Energieverteilung die Steuerleitungen vernachlässigt werden.

Es gibt drei verschiedene Gruppen von Verlustleistungen:

Gruppe 1: Verlustleistung ändert sich mit dem Quadrat des Stroms
Hauptstrombahnen der Schalt- und Schutzgeräte; Transformatoren; Stromschienen.

Gruppe 2: Verlustleistung ist direkt proportional zum Strom
Gleichrichter, Thyristoren, Motoranlaufgeräte.

Gruppe 3: Verlustleistung ist konstant
Schützspulen, Meldeleuchten, Zähler.

Verlustleistungen in unserem Beispiel:

a) Der 630-A-Leistungsschalter 3WN60 hat eine Verlustleistung von 40 W bei 630 A. Umgerechnet auf 500 A somit 25,2 W.
$P_{VB} = P_{VN} \cdot (I_B / I_N)^2$
$P_{VB} = 40\ \text{W} \cdot (500\ \text{A}/630\ \text{A})^2 = 25{,}2\ \text{W}$
Für den 3200-A-Leistungsschalter ergibt sich eine wirksame Verlustleistung von 345 W.

b) Die Verlustleistung der Sammelschiene errechnet sich wie folgt:
$P_{VS} = I^2 \cdot R_S$ + Summe aller $P_{V\,Verb.}$
$P_{V\,Verb.} = I^2 \cdot R_{Verb.}$
P_{VS} Verlustleistung der Schiene
R_S Widerstand der Schiene
$P_{V\,Verb.}$ Verlustleistung von Schienenverbindungen und Geräteanschlüssen
R Übergangswiderstand der Verbindung.

Als Stromwert muss der jeweils zum Tragen kommende Strom eingesetzt werden.
Die Summe aus a) und b) ergibt die effektive Verlustleistung, die im Gehäuse auftritt. Als Gehäuse gilt der Raum, der in der Breite durch senkrechte Trennwände und in der Höhe durch waagrechte Trennbleche begrenzt wird.

Abführbare Verlustleistung des Gehäuses

Die max. abführbare Verlustleistung kann berechnet oder durch den Gehäuselieferanten ermittelt werden. Hierzu sind ihm folgende Angaben notwendig:

- Aufstellung der Schaltanlage
  Mögliche Varianten sind: Mit dem Rücken an die Gebäudewand, einzelne Schränke freistehend, links angebaut, rechts angebaut, oder beidseitig eingebaut.
- Sind mindestens 60 % der Dachfläche frei, d. h. Abstand zur Decke > 400 mm?
- Schutzart
- Außentemperatur (Umgebungstemperatur des Gehäuses) und Innentemperatur des Gehäuses.

Ist die max. abführbare größer als die auftretende Verlustleistung, so ist das Gehäuse sinnvoll dimensioniert.

Abhilfemaßnahmen, falls die max. abführbare kleiner als die auftretende wirksame Verlustleistung ist:

- Vergrößerung des Gehäuses.
- Andere, günstigere Aufstellung.
- Reduzierung der Schutzart.
  In den meisten Fällen sind die Schaltschränke in elektrischen Betriebsräumen untergebracht, so dass kein besonderer Wasserschutz ergriffen werden muss und eine Schutzart von IP30 oder IP40 ausreichen müsste.
- Weniger Geräte einbauen.
- Geräte so anordnen, dass diese innerhalb eines Gehäuses nicht gleichzeitig betrieben werden.
- Einbau von Filterlüftern oder Klimageräten.

Dies muss jedoch mit zusätzlichen Maßnahmen verbunden sein: Überwachung der Innentemperatur, Reinigen der Filter, bei Klimageräten ist die Entwässerung zu beachten. Betrachtet man die Lebensdauer von Lüftermotoren, so ergibt sich bei einer durchschnittlichen Betriebsdauer von Energieversorgungsanlagen eine Lebensdauer der Lüfter von etwa 4 bis 5 Jahren, danach muss dieser gewechselt werden. Betrachtet man den Energiebedarf für einen einfachen Filterlüfter so liegt dieser bei ca. 80 kWh pro Jahr.

Zur Projektierung einer Schaltanlage gehören sicherlich noch weitere Punkte. Aufgeführt wurden die Berechnungen und Überlegungen, die immer vorkommen. Die weiteren hier nicht aufgeführten Punkte sind von Fall zu Fall verschieden und je nach Auftrag anzuwenden.

Literatur

[1] Schalten, Schützen und Verteilen in Niederspannungsnetzen. 4. Auflage. Erlangen-München: Publicis MCD Verlag 1997.
[2] Programm zur Berechnung der Kurzschlussströme (KUBS). Fa. Siemens. Lieferbar aus dem Siemens Lieferzentrum Fürth.

Im nächsten Beitrag werden die restlichen Punkte der Planung einer Schaltanlage erläutern.