

Koordination von AMZ-Kennlinien mit Sicherungen

■ 1. Einleitung

Die Aufgabe von Schutzeinrichtungen ist, betriebsmäßig auftretende Überströme zwar zuzulassen, aber eine unzulässige Belastung von Leitungen und Geräten zu vermeiden. Wegen gefährlicher Auswirkungen im Kurzschlussfall müssen die betroffenen Betriebsmittel innerhalb kürzester Zeit abgeschaltet werden. Andererseits soll durch einen Fehler nur für möglichst wenige Verbraucher die Versorgung unterbrochen werden. Hierzu müssen die im Netz vorhandenen Schutzgeräte den Fehler erkennen, selbst abschalten oder Auslösebefehle für die zugehörigen Schalter abgeben.

Die Schutzgeräte sollen so eingestellt werden, dass ein selektives Abschalten möglich ist. Absolute Selektivität ist nicht immer gewährleistet. Selektivität bedeutet, dass das dem Fehler am nächsten vorgeschalteten Schutzgerät die fehlerbehafteten Leitungen/Geräte zuerst abschaltet. Weiter vorn liegende Schutzgeräte erkennen den Fehler zwar, schalten jedoch erst nach einer Zeitverzögerung ab (Reserveschutz).

Im nachfolgenden, soll der Einsatz von HH-Sicherungen (Hochspannungs-Hochleistungs-Sicherungen) und AMZ-Schutzgeräten (Abhängiger Maximal-Stromzeitschutz) sowie deren Zusammenspiel gezeigt werden, siehe Bild 1.

■ 2. Schutzgeräte

2.1 HH-Sicherungen

Die Hochspannungs-Hochleistungs-Sicherung ist ein für einmaliges Ausschalten geeignetes Schutzgerät für Mittelspannungsanlagen, in dem der Strom durch Schmelzen eines in Sand eingebetteten Schmelzleiters unterbrochen wird.

HH-Sicherungen werden als Kurzschlusschutz in Mittelspannungsschaltanlagen verwendet. Vor Transformatoren, Kondensatoren und Kabelabzweigen eingesetzt, schützen sie Geräte und Anlagenteile vor der dynamischen und thermischen Wirkung hoher Kurzschlussströme, indem sie diese bereits im Entstehen abschalten.

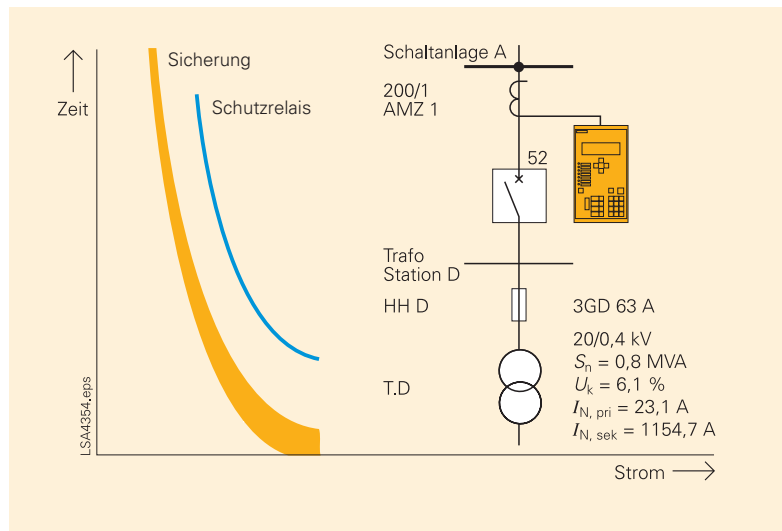


Bild 1 Prinzipschaltbild

Sie eignen sich jedoch nicht als Überlastschutz, da sie erst ab ihrem Mindestausschaltstrom mit Sicherheit ausschalten können. Für die überwiegende Anzahl der HH-Sicherungseinsätze beträgt der kleinste Ausschaltstrom $I_{\min} = 2,5$ bis $3 \times I_N$.

Bei Betrieb mit Strömen zwischen I_N und I_{\min} der Sicherung ist ein definiertes Ansprechen der HH-Sicherung nicht zu erwarten.

Bei der Auswahl der HH-Sicherungseinsätze ist auch die Beanspruchung der Sicherung durch einen möglicherweise auftretenden Erdschluss- oder Erdschlussreststrom zu berücksichtigen.

Die HH-Sicherungseinsätze werden in Verbindung mit Hochspannungs-Sicherungsunterteilen in die Schaltanlage eingebaut. Sie können auch in dafür vorgesehenen Anbauten von Lasttrennschaltern eingesetzt werden. Durch die Kombination Lasttrennschalter und HH-Sicherung kann auch der für die Sicherung kritische Strom I_N bis I_{\min} sicher abgeschaltet werden. Der Schalter wird durch die Schlagvorrichtung der Sicherung ausgelöst und schaltet den Überstrom dreipolig ab. Einige typische Ausschaltkennlinien sind im Bild 2 dargestellt.

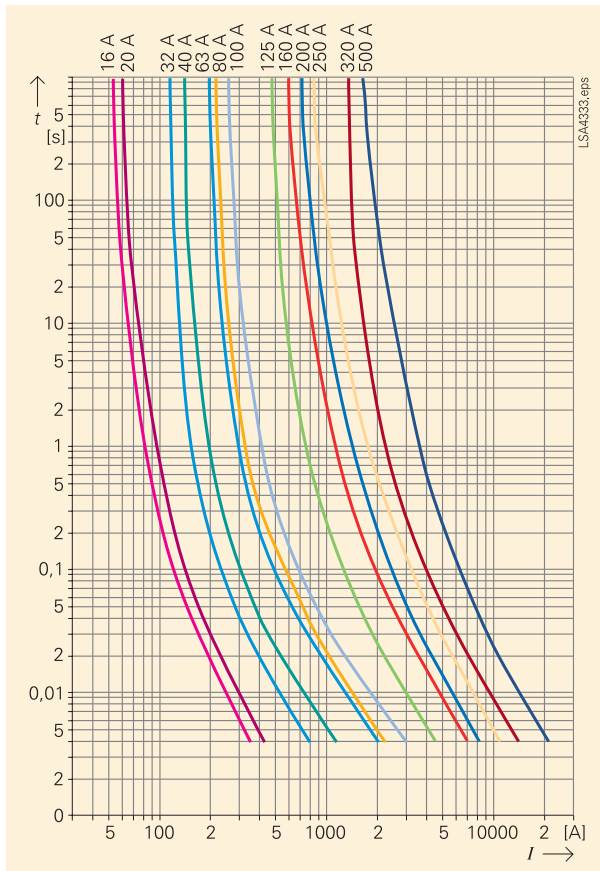


Bild 2
Ausschaltkennlinien
HH-Sicherungen

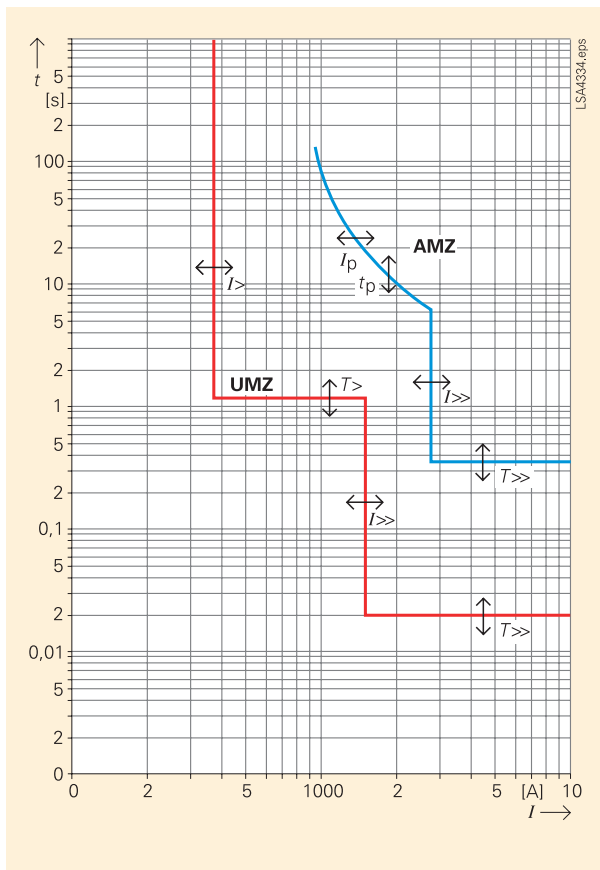


Bild 3
Kennlinien
von UMZ und
AMZ Relais

2.2 AMZ-Schutz

Der Überstromzeitschutz ist die Hauptschutzfunktion der 7SJ6-Gerätereihe. Er kann getrennt für Phasen- und Erdströme ein- und ausgeschaltet werden.

Die Hochstromstufe $I >>$ und die Überstromstufe $I >$ arbeiten immer mit stromunabhängiger Kommandozeit (UMZ).

Bei der stromabhängigen Stufe I_p (AMZ) ist die Kommandozeit abhängig von der Höhe des Kurzschlussstroms.

Für die AMZ-Funktion (I_p -Stufe) lassen sich unterschiedliche Auslösekennlinien einstellen.

- Normal Invers (NI)
- Stark Invers (SI)
- Extrem Invers (EI)
- Langzeit Invers (LI)

Alle Kennlinien werden durch nachstehende Formeln beschrieben. Dabei unterscheidet man außerdem nach:

| | IEC/BS | ANSI |
|----|---|--|
| NI | $t = \frac{0,14}{(I/I_p)^{0,02} - 1} \cdot T_p$ | $t = \left(\frac{8,9341}{(I/I_p)^{2,0938} - 1} + 0,17966 \right) \cdot D$ |
| SI | $t = \frac{13,5}{(I/I_p) - 1} \cdot T_p$ | $t = \left(\frac{3,922}{(I/I_p)^2 - 1} + 0,0982 \right) \cdot D$ |
| EI | $t = \frac{80}{(I/I_p)^2 - 1} \cdot T_p$ | $t = \left(\frac{5,64}{(I/I_p)^2 - 1} + 0,02434 \right) \cdot D$ |
| LI | $t = \frac{120}{(I/I_p) - 1} \cdot T_p$ | $t = \left(\frac{5,6143}{(I/I_p) - 1} + 2,18592 \right) \cdot D$ |
| | t = Auslösezeit T_p = Einstellwert des Zeitmultiplikators I = Fehlerstrom I_p = Einstellwert des Stromes | |

Tabelle 1 Auslösekennlinien gemäß IEC/BS und ANSI

Der generelle Verlauf von IEC/BS ist im Bild 4, der von ANSI im Bild 5 dargestellt.

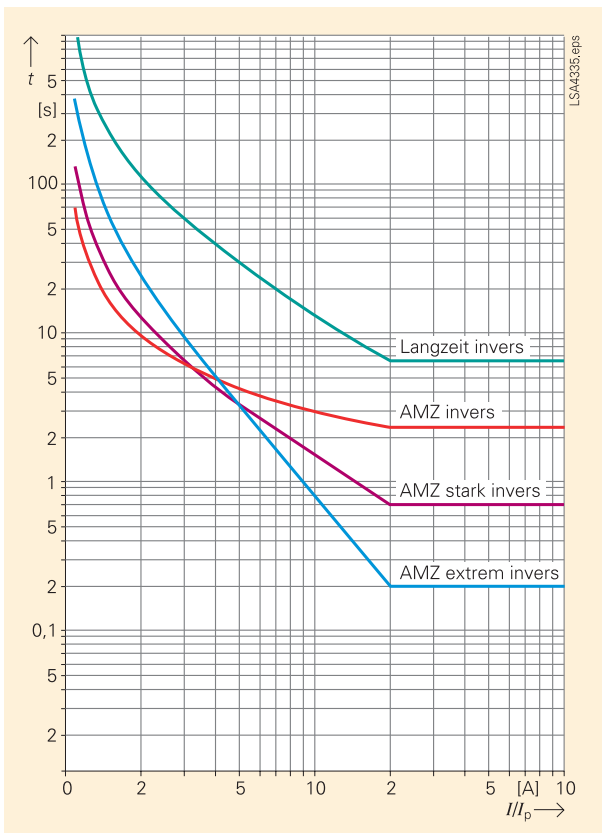


Bild 4 IEC/BS Kennlinien

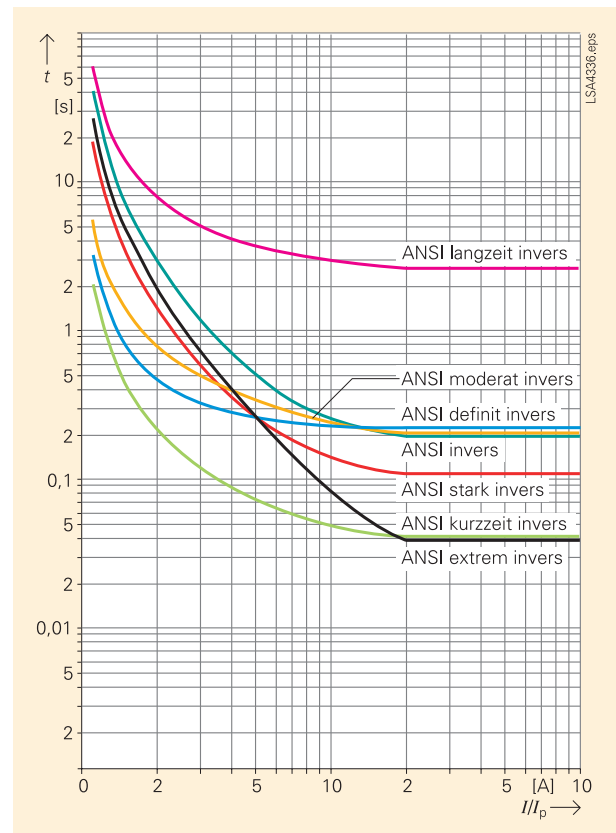


Bild 5 ANSI Kennlinien

■ 3. Netzschaltung und Schutzkonzept

Der Aufbau eines Verteilungsnetzes sollte möglichst einfach und übersichtlich sein und eine sichere Versorgung gewährleisten.

Über Ringkabel werden die einzelnen Transformatorstationen gespeist. Ein Beispiel eines Ringnetzes ist im Bild 6 dargestellt.

Damit im Fehlerfall nicht der gesamte Ring mit allen Stationen ausfällt, ist eine „offene“ Betriebsweise üblich. In diesem Beispiel werden die Transformatoren zur Niederspannung (NS)-Seite mit HH-Sicherungen und das Ringkabel selber mit AMZ-Relais geschützt.

3.1 Ermittlung der relevanten Netzströme

Der gesamte Laststrom und die Kurzschlussfestigkeit sind die Auswahlkriterien für die zu verwendenden Kabel. Die Wandlernennströme sollten nicht zu stark von den Nennströmen der eingesetzten Kabel abweichen.

Damit die Einstellwerte der Relais vorgenommen werden können, müssen die in diesem Netzteil auftretenden maximalen und minimalen Kurzschlussströme (3, 2, 1-polige) errechnet werden. Hierbei sind auch NS-seitige Kurzschlussströme zu berücksichtigen.

Sinnvoller Weise werden für die Berechnung der Kurzschlussströme Programme wie SINCAL verwendet.

■ 4. Auswahl und Einstellungen der Schutzkomponenten

Die Auswahl der HH-Sicherungen wird mit Hilfe von Tabellen die die Transformatorleistung (S_n), die Kurzschlussspannung (U_k) und den Nennspannungswert der Oberspannungsseite berücksichtigt, vorgenommen. Mit Hilfe der ermittelten Kurzschlussströme kann ein Vorschlag zur selektiven Schutzeinstellung der AMZ-Funktion erarbeitet werden:

- I_p muß über dem zulässigen Nennstrom des Kabels liegen (ca. $1,5 \times I_N$ Kabel)
- $I >>$ darf bei einem unterspannungsseitigen Fehler nicht auslösen
- Der Zeitmultiplikator muss so eingestellt werden, dass bei maximalen Kurzschlussstrom im MS-Netz die AMZ-Kennlinie möglichst einen Abstand von 100 ms zur Auslösekennlinie der HH-Sicherung hat.

An dieser Stelle sei noch mal darauf hingewiesen, dass der Wert des Zeitmultiplikators (bei 7SJ6 von 0,05 s bis 3,2 s) nicht der echten Auslösezeit der Kennlinie entspricht. Vielmehr kann durch diesen Wert, die AMZ-Kennlinie parallel in der Zeitachse verschoben werden.

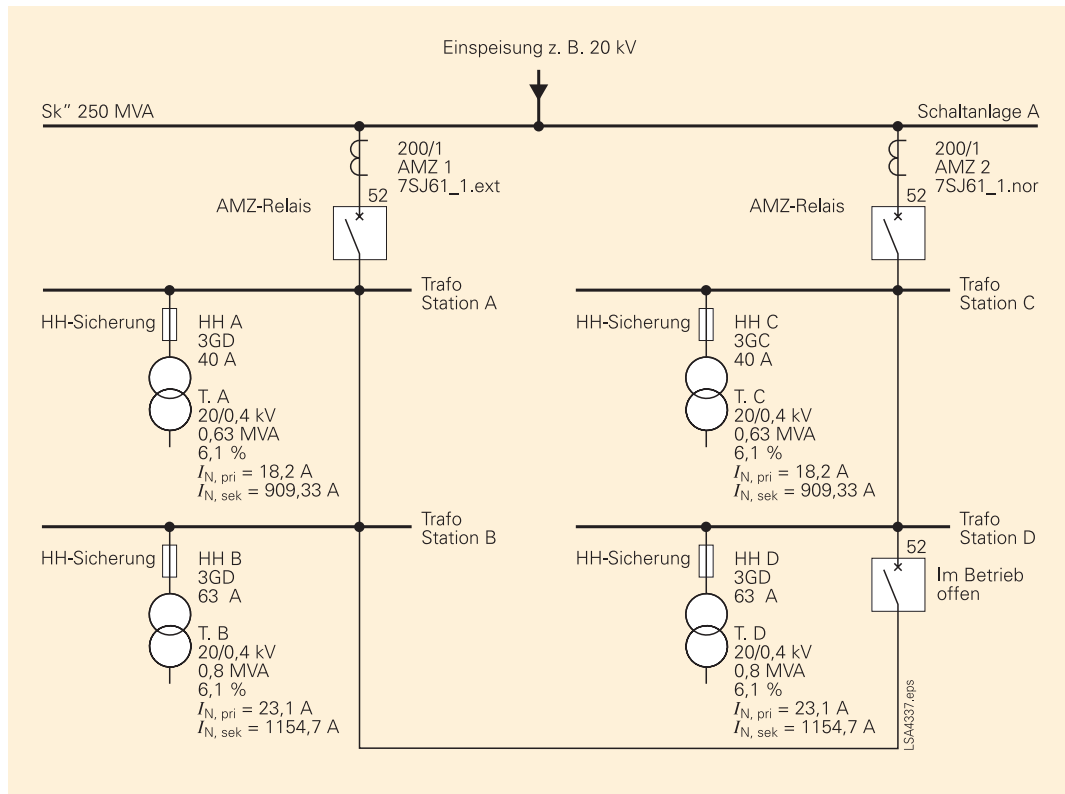


Bild 6 Beispiel eines 20-kV-Ringverteileretzes

5. Nachweis der selektiven Auslösung

Wie anfangs erwähnt, bedeutet Selektivität dass nur der Schutz, der direkt dem fehlerbehafteten Netzteil zugeordnet ist, auslöst. Weiter vorgeschaltete Schutzeinrichtungen dürfen den Fehler zwar registrieren, aber erst nach einer Verzögerungszeit auslösen. Typischerweise wird der Nachweis der selektiven Auslösung in einem Strom-Zeit-Diagramm mit Doppellogarithmischen Maßstab dargestellt. Dafür werden Programme wie SIGRADE eingesetzt.

Für die betrachteten Netzbereiche werden typische bzw. kritische Staffeldiagramme (Staffelwege) ausgewählt.

Jedes Schutzgerät erhält einen Eigennamen, der den Einbauort beschreibt (AMZ1, HHA, usw.). Gleiche Netz- und Schutzelemente, die in mehreren Staffeldiagrammen gezeigt werden, haben überall den gleichen Namen.

Die Farbe des Namens im Staffelpfad (linke Seite des Diagramms) stimmt mit der Farbe der eingestellten Kennlinie (im Staffeldiagramm auf der rechten Seite) im Strom-Zeit-Diagramm, überein. Auf der linken Seite, neben dem einpoligen Schaltbild (Staffelpfad) werden für jedes Schutzgerät der Typname, der Einstellbereich und die eingestellten Werte angegeben.

Im Strom-Zeit-Diagramm werden neben den Kennlinien der Schutzgeräte zusätzlich die Kurzschlussstrombereiche als Bandbreite (Werte aus der Kurzschlussberechnung) mit minimalen und maximalen Werten eingezeichnet. Diese Kurzschlussstrombänder enden immer auf der spannungszugehörigen Stromskala. Die rechte Kennlinie in einem Band ist der maximale Kurzschlussstrom (3-polig) der aufgrund der Einspeiseelemente (Generatoren, Transformatoren usw.) errechnet wurde (hier grün dargestellt). Die linke Kennlinie zeigt den minimalen Kurzschlussstrom (1- oder 2-polig) der aufgrund der im Netz vorhandenen Impedanzen der Elemente bis zum Fehlerort errechnet wurde.

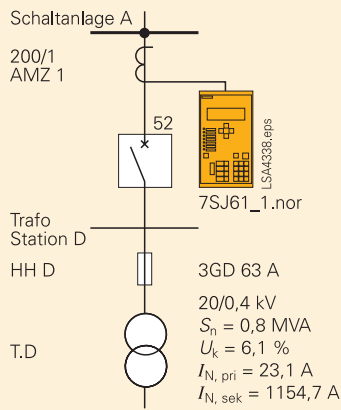
Band 1 (T.D-Pr) zeigt die Bandbreite des 20-kV-Netzes,

Band 2 (T.D-Sec) die des 0,4-kV-Netzes.

Die o.g. Bänder sind in den Staffelpänen (Bilder 7 bis 11) enthalten.

6. Staffelung von AMZ-Relais und HH-Sicherung

Am Beispiel des im Bild 6 dargestellten Netzes, werden in 3 Staffeldiagrammen die gebräuchlichsten Kennlinien (NI, SI, EI) des AMZ-Schutzes mit den entsprechenden HH-Sicherungen aufgezeigt. Aus dem Schaltbild wurde das Relais AMZ 1, Sicherung HH D und Transformator D ausgewählt.



Einstellbereich

$$I_p = 0,1 - 4 \text{ A}$$

$$T_p = 0,05 - 3,2 \text{ s}$$

Einstellung

$$I_p = 1,8 \text{ A}$$

$$T_p = 0,05 \text{ s}$$

$$I_{p_mi} = 2,3 \text{ kA}$$

$$I_{s_mi} = 15,8 \text{ kA}$$

$$I_{p_ma} = 7,8 \text{ kA}$$

$$I_{s_ma} = 18,2 \text{ kA}$$

AMZ-Relais mit Einstellung: normal invers

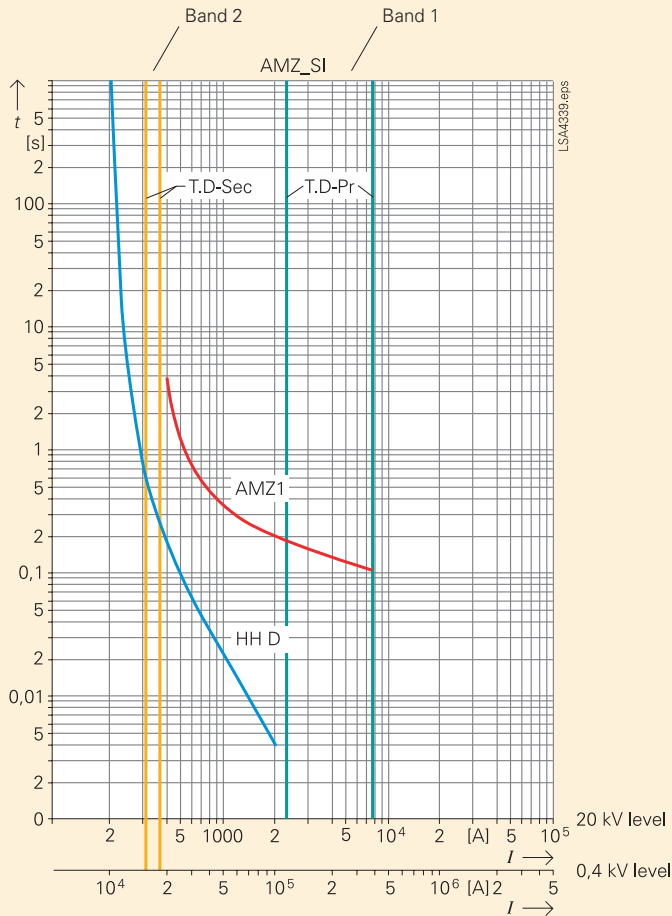


Bild 7 Staffelpfad AMZ-normal invers

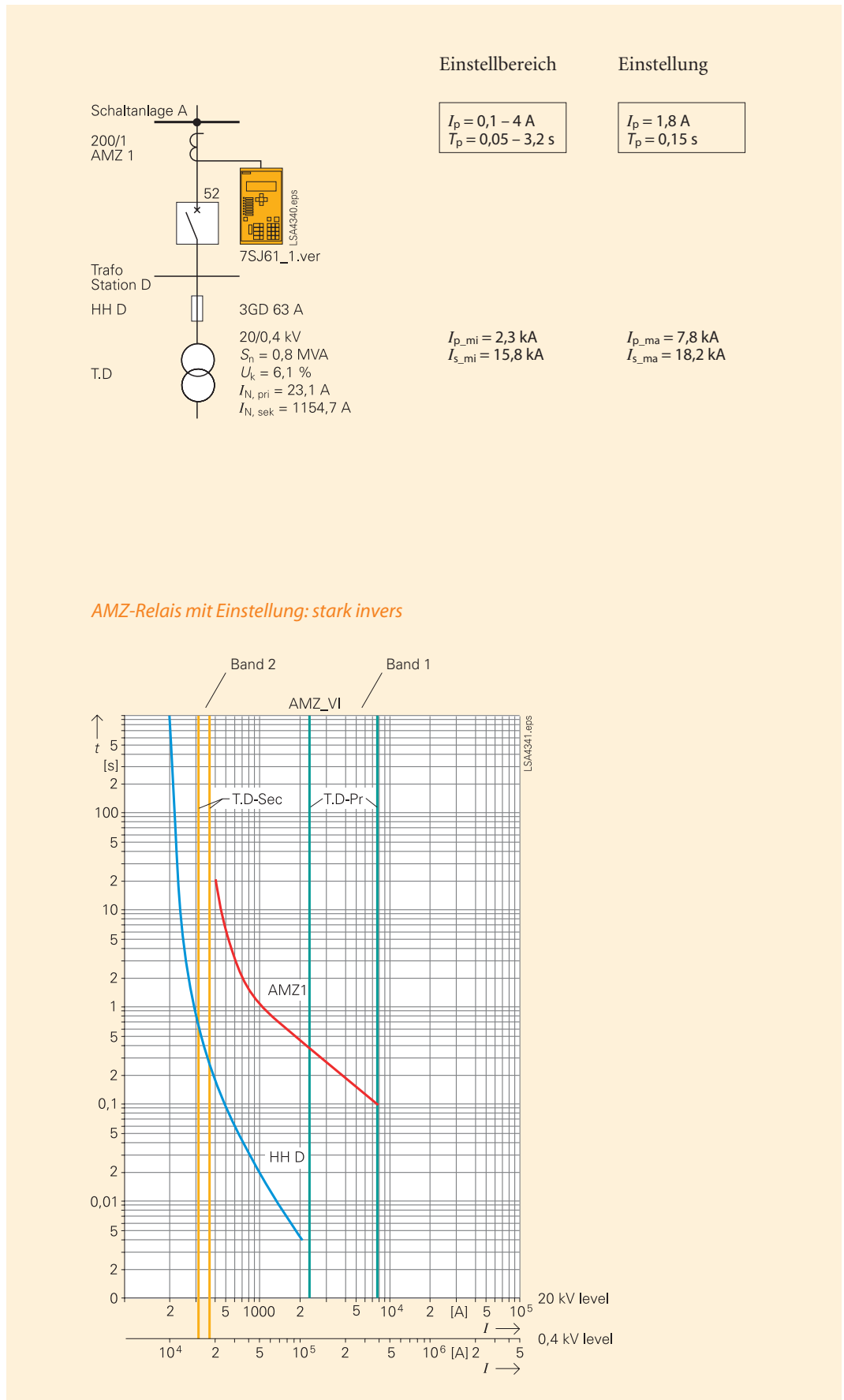
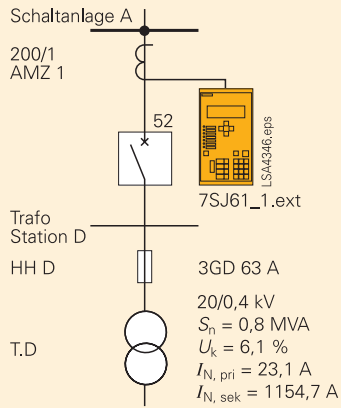


Bild 8 Staffelplan AMZ-stark invers



Einstellbereich

$$I_p = 0,1 - 4 \text{ A}$$

$$T_p = 0,05 - 3,2 \text{ s}$$

Einstellung

$$I_p = 1,8 \text{ A}$$

$$T_p = 0,45 \text{ s}$$

$$I_{p_mi} = 2,3 \text{ kA}$$

$$I_{s_mi} = 15,8 \text{ kA}$$

$$I_{p_ma} = 7,8 \text{ kA}$$

$$I_{s_ma} = 18,2 \text{ kA}$$

AMZ-Relais mit Einstellung: extrem invers

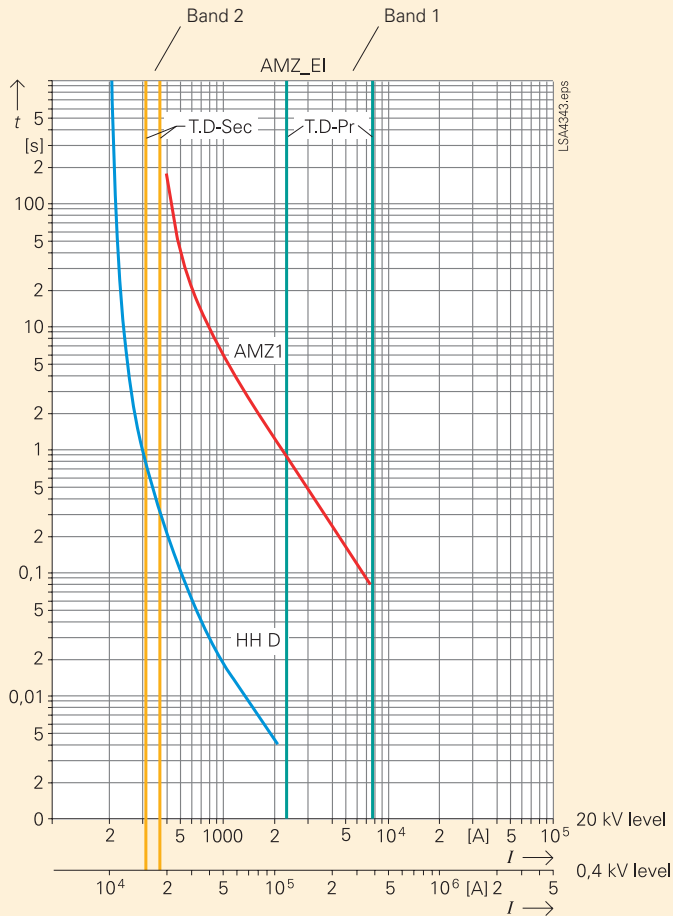


Bild 9 Staffelman AMZ-extrem invers

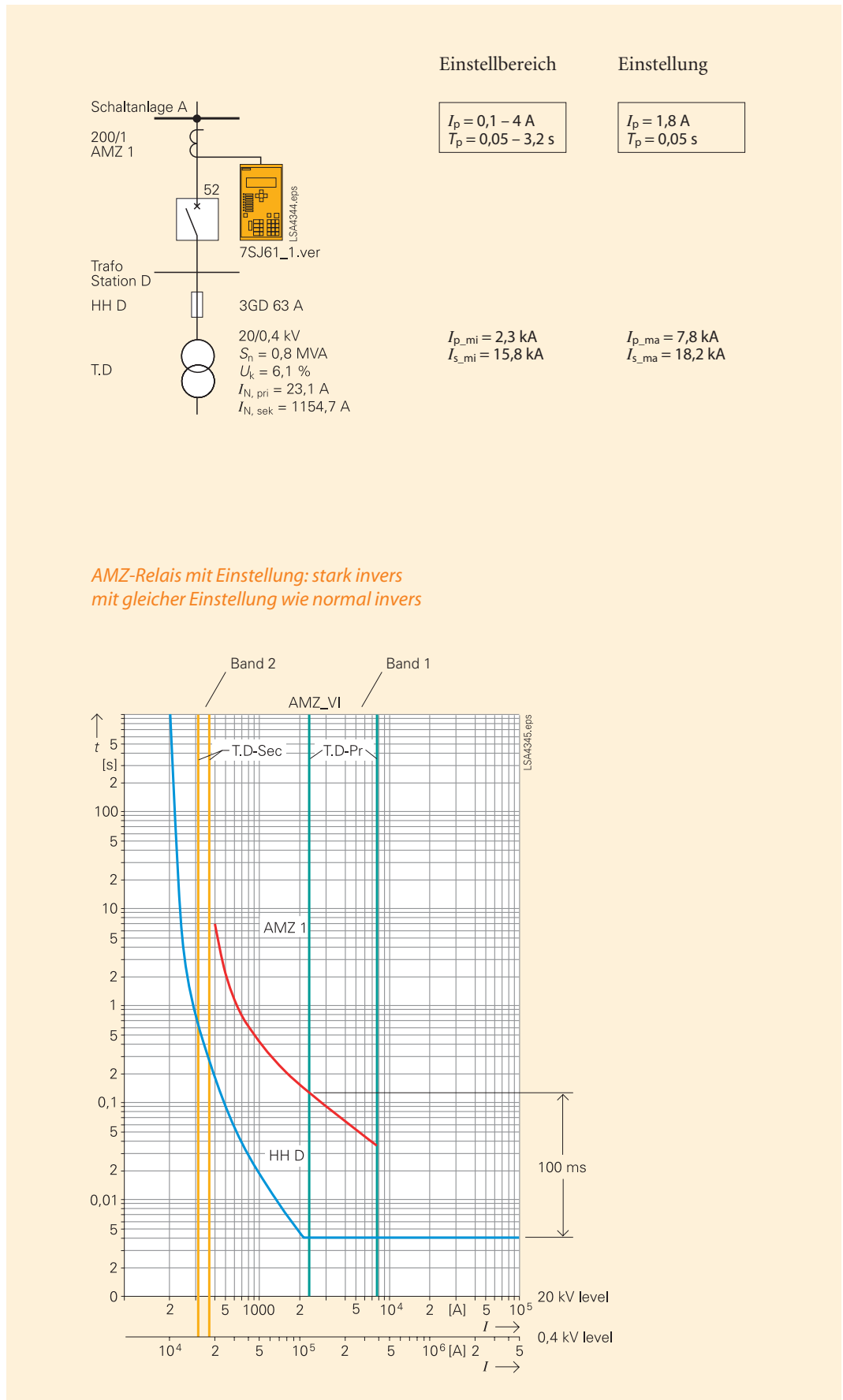
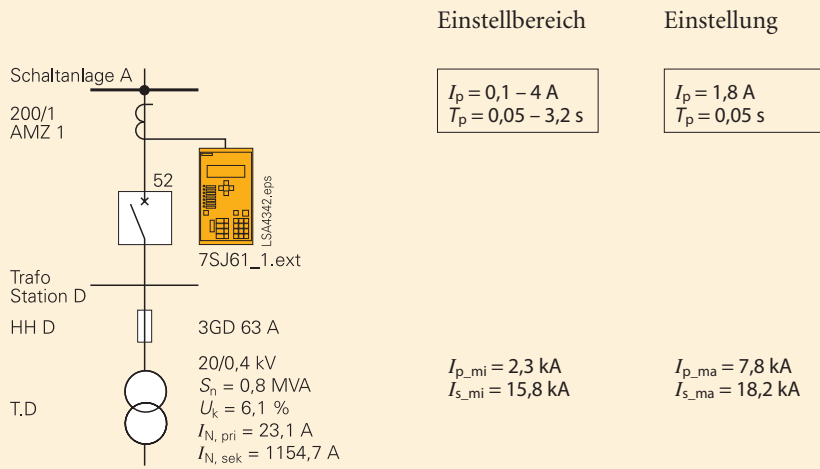


Bild 10
Staffelplan stark invers
mit Einstellung wie
normal invers



AMZ-Relais mit Einstellung: extrem invers mit gleicher Einstellung wie normal invers

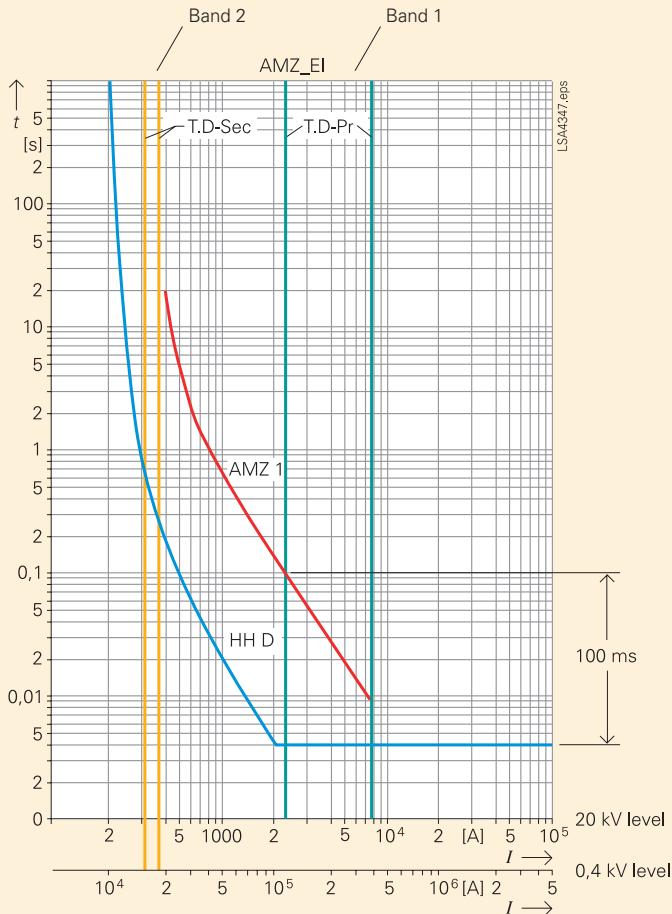


Bild 11
Staffelplan extrem invers mit Einstellung wie normal invers

Bei dem betrachteten Transformator 20/0,4 kV, $S_n = 0,8 \text{ MVA}$, $U_k = 6,1 \%$ wurden entsprechend der erwähnten Auswahltable für HH-Sicherungen eine 63 A HH-Sicherung ausgewählt.

Um Selektivität zu erhalten, wird angestrebt, dass die Einstellung des AMZ-Relais bei den unterschiedlichen Kennlinien jeweils bei maximalem Kurzschlussstrom auf der 20-kV-Seite in ca. 100 ms auslöst. Die HH-Sicherung würde bei gleichen Kurzschlussverhältnissen in ca. 1ms auslösen.

I_p wurde so gewählt, dass der maximale Niederspannungsseitige Fehler nicht zur Anregung des AMZ-Relais führt. Im Bild 10 ist zu sehen, dass der Beginn der Kennlinie rechts neben dem maximal auftretenden Kurzschlussstrom liegt (braune, senkrechte Linien). Damit bei allen Kennlinien (NI, SI, EI) die 100 ms erreicht werden können, müssen folgende Werte eingestellt werden:

| Bild | $I_p \times I_N$ | T_p (s) | Charakteristik |
|------|------------------|-----------|--------------------|
| 7 | 1,8 | 0,05 | normal Invers (NI) |
| 8 | 1,8 | 0,15 | stark Invers (SI) |
| 9 | 1,8 | 0,45 | extrem Invers (EI) |

Tabelle 2

Beim Vergleich der drei Bilder wird ersichtlich, dass die Fläche zwischen der HH- und AMZ-Kennlinie bei der Einstellung NI am kleinsten ist. Deswegen ist in diesem Beispiel die NI-Einstellung zu bevorzugen.

Um den Unterschied der Kennlinie stärker zu verdeutlichen, werden im nachfolgenden, zwei Diagramme mit der Kennlinien SI und EI mit den gleichen Einstellwerten wie NI gezeigt.

| Stark Invers (SI) | Extrem Invers (EI) |
|-------------------|--------------------|
| $I_p = 1,8$ | $I_p = 1,8$ |
| $T_p = 0,05$ | $T_p = 0,05$ |
| siehe Bild 10 | siehe Bild 11 |

Tabelle 3

■ **Fazit:**

Je steiler die Kennlinie ist, desto niedriger ist die Auslösezeit bei maximalen Fehlerstrom. Dabei wird der Staffelabstand zur HH-Kennlinie immer kleiner. Die hier gezeigte Koordination der Schutzgeräte ist nur ein Teil eines Netzes und muss in das Konzept des Gesamtnetzes mit allen Schutzgeräten eingepasst werden.

Anmerkung:

Auf die Einstellung des $I_p \gg$ wurde in diesem Beispiel verzichtet, weil die AMZ-Kennlinien beim maximalen bzw. minimalen 20 kV-seitigen Fehler selbst im Bereich $\leq 0,2 \text{ s}$ auslösen.

■ **7. Zusammenfassung**

Schon dieses einfache Beispiel zeigt, welcher Aufwand hinter einer selektiven Zeitstaffelung steckt.

Real vorkommende Netze sind weitaus komplexer und mit einer Vielzahl unterschiedlicher Schutzgeräte ausgestattet. Auf jeden Fall ist es notwendig, die Betriebsweise des Netzes (Parallel-, Generatorbetrieb, Vermaschungen, Stiche usw.) zu kennen, sowie die Nenn- und Kurzschlussströme zu berechnen. Trotz allem lohnt sich der Aufwand für die Netzbetreiber, da das Ziel ist, nur den fehlerbehafteten Teil des Netzes zu verlieren.

Mit der Software SIGRADE wird die Aufgabe der Staffelplanberechnung wirkungsvoll unterstützt. Netzplanung und Staffellungen können natürlich auch als Fremddienstleistung, z.B. bei Siemens, eingekauft werden.

■ **8. Referenzen**

Günther Seip: Elektrische Installationstechnik

Siemens: Applikationshandbuch für Totally Integrated Power

Katalog HG12: HV HRC Fuses

SIGRADE Software V3.2

Handbuch 7SJ61: Multifunktionsschutz mit Steuerung