

Netzschutz

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort.....	3
2. Die Akteure im Netz	3
2.1 Der Erder	3
2.2 Der Trennschalter.....	4
2.3 Der Leistungsschalter.....	6
3. Verriegelung.....	7
4. Die klassischen Schutzfunktionen	8
4.1 Überstromzeitschutz.....	9
4.2 Schalterversagerschutz.....	11
4.3 Gerichteter Überstromzeitschutz.....	11
4.4 Leitungsdifferentialschutz.....	12
4.5 Sammelschienendifferentialschutz.....	13
4.6 Trafodifferentialschutz.....	13
4.7 Distanzschutz.....	14
4.8 Kurzunterbrechung.....	16
4.9 Überspannungsschutz.....	16
4.10 Pendelschutz.....	16
4.11 Unterfrequenzschutz.....	17
4.12 Lastabwurf	17
4.13 Schieflastschutz.....	17
5. Verteilte Einspeisung (erneuerbare Energien).....	17

1. Vorwort

Wir sind es gewöhnt 24h pro Tag und 367 Tage im Jahr ohne Unterbrechung Strom aus unserer Steckdose holen zu können und machen uns kaum Gedanken darüber was im Hintergrund alles ablaufen muss, dass ein Netz zur Verteilung von elektrischer Energie so zuverlässig funktioniert wie das bei uns zur Zeit der Fall ist. Dieser Vortrag soll ein bisschen aus einer Disziplin berichten die sehr viel zu einem zuverlässigen Netz beiträgt und vielleicht etwas Gefühl davon vermitteln was alles ablaufen muss, dass unser Netz so funktioniert wie es das tut – dem Netzschutz. Dabei soll aber nicht vergessen werden dass Netzschutz nur ein kleiner Ausschnitt aus dem großen Kuchen der Funktionen zur Sicherung eines stabilen Netzbetriebs ist. Um den Vortrag nicht zu sprengen wollen wir uns hier vorwiegend auf den Teilaspekt Netzschutz konzentrieren.

2. Die Akteure im Netz

Ein elektrisches Netz ist nichts statisches, es muss vielmehr dauernd an die aktuellen Anforderungen angepasst werden. Teile müssen zur Reparatur abgeschaltet werden, andere müssen zugeschaltet werden um kurzfristig angeforderte Energie wirklich dorthin transportieren zu können wo sie angefordert wird.

Für solche Aktionen braucht es Schalter. Solche Schalter sehen für große Leistungen natürlich ganz anders aus als solche die z.B. in einen Kaffeeautomaten eingebaut sind. Im Prinzip kann man die Schalter von Hochspannungsanlagen in drei Gruppen einteilen wobei es auch Kombinationen davon gibt. Kombinationen der verschiedenen Schaltertypen werden in den niedrigeren Spannungsebenen eingesetzt (z.B. bei 10kV-Anlagen). Je höher die Spannungen und damit auch die zu schaltenden Leistungen sind, desto mehr werden diese Schaltertypen als getrennte Einzelgeräte betrieben.

2.1 Der Erder

Erdschalter sind die einfachste Konstruktionen unter den Schaltertypen. Sie werden dazu verwendet um Anlagenteile die abgeschaltet wurden sicher auf Erdpotential zu bringen und damit für Arbeiten in der abgeschalteten Anlage spannungsfrei zu machen. Würde man z.B. einen Strang einer 380kV Freileitung abschalten und ihn nicht erden, dann würde man an dem abgeschalteten Teil schon alleine wegen der kapazitiven und induktiven Einkopplung von dem Teil der noch in Betrieb ist Spannungen im zweistelligen kV-Bereich messen. Das arbeiten an einem so „abgeschalteten“ Teil wäre damit genauso gefährlich als wäre alles in vollem Betrieb. Sollte es passieren, dass der Anlagenteil der abgeschaltet sein sollte an irgendeiner Stelle versehentlich wieder zugeschaltet wird, muss der Erder den Kurzschlussstrom solange ableiten können bis der Netzschutz das Problem „behoben“ hat.

Die Erder in Hochspannungsanlagen sind meist irgendwelche fest mit Erdpotential verbundene Stangen die entweder von Hand oder motorbetrieben in eine Lage gebracht werden, dass die mit dem zu erdenden Anlagenteil (einer Leitung, einem Trafo oder einer Sammelschiene) eine feste und sichere elektrische Verbindung bilden.



Bild 1: Sammelschienenerder (die gelbe Stange) in einer 380kV Freiluftanlage

2.2 Der Trennschalter

Wie der Name schon sagt sollen mit einem Trennschalter Anlagenteile elektrisch sicher voneinander getrennt werden. Bei Hochspannungsanlagen ist eine sichere Trennung eine große Luftstrecke zwischen den betroffenen Leitern die oft mehrere Meter beträgt. Das wird oft mit einer Mechanik gemacht, die wie eine Schere funktioniert. Angetrieben werden solche Trenner genau wie die Erder durch einen meist fernsteuerbaren Motor oder einen Kurbelantrieb.

Leider gibt es bei Trennern ein großes Problem: Wird ein Trenner unter Last geöffnet, dann geht die

Netzschutz

oben beschriebene Schere langsam auf und in der entstehenden, anfangs kleinen Lücke entsteht ein Lichtbogen. Das Plasma im Lichtbogen leitet elektrisch recht gut, sodass an der Trennstelle nur ein Spannungsabfall von wenigen Volt entsteht. Der Lichtbogen verlöscht deshalb nicht, die elektrische Verbindung bleibt weiter bestehen. Dieses heiße Plasma steigt nach oben, der Lichtbogen brennt nicht mehr in direkter Verbindung der beiden Pole des Schalters sondern beginnt ein „Eigenleben“ getrieben durch die magnetischen Kräfte des Lichtbogenstroms und die thermischen innerhalb der kühleren Umgebung. Berührt der Lichtbogen der beim auseinanderfahren der Schalterteile immer größer wird irgendwann ein geerdetes Anlagenteil, entsteht ein perfekter Kurzschluss.

Kurz: Das Öffnen eines Trennschalters unter Last führt recht sicher in eine Katastrophe.



Bild 2: Sammelschienenentrenner in einer 380kV Freiluftanlage

2.3 Der Leistungsschalter

Um das oben beschriebene Problem in den Griff zu bekommen wurde der Leistungsschalter erfunden. Der Leistungsschalter ist so etwas wie ein extrem schnell arbeitender Trenner mit einer Einrichtung zum löschen des unvermeidlichen Lichtbogens. Mit Motorantrieben sind die nötigen Geschwindigkeiten nicht zu erreichen. Statt dessen benutzt man z.B. Druckluft, oder einen Federantrieb. Beim Druckluftantrieb wird ein Tank mit Pressluft gefüllt, der dann über ein Ventil gesteuert einen Kolben bewegt mit dem der Schalter bedient wird. Beim Federantrieb wird die Energie für das Schalten durch aufziehen einer starken Feder vorgehalten. Aber auch die durch solche Mechaniken erreichbaren Geschwindigkeiten reichen nicht aus um den Lichtbogen sicher zu löschen. Deshalb gibt es zusätzlich zu dem schnellen Antrieb Einrichtungen um den Lichtbogen mit Pressluft oder mit einem speziellen Schutzgas auszublasen und so zu löschen. Bei niedrigeren Spannungen wird das Ganze natürlich etwas einfacher. Da reicht in manchen Fällen ein Labyrinth aus Keramik in dem sich der Lichtbogen „verliert“ und abkühlt oder der gesamte Schalter steckt in einer Vakuumröhre in der erst gar kein Plasma entstehen kann.



Bild 4: Leistungsschalter in einer 380kV Anlage

3. Verriegelung

Obwohl die Verriegelung nicht zum klassischen Netzschutz gehört, soll sie hier trotzdem kurz beleuchtet werden:

Wie bei der Beschreibung der Schalter schon erwähnt gibt es Schaltvorgänge in einem elektrischen Netz die einfach nicht passieren dürfen. Um nun zu vermeiden, dass so etwas doch versehentlich passiert werden Verriegelungen eingebaut mit denen Fehlschaltungen verhindert werden können. Bei den unteren Spannungsebenen werden solche Verriegelungen oft mechanisch realisiert: So kann man bei bestimmten Konstruktionen z.B. die Kurbel für den Erder nicht in das vorgesehene Loch stecken wenn der Leistungsschalter noch in „EIN“-Stellung ist. Bei den höheren Spannungsebenen werden solche Verriegelungen elektronisch realisiert. Die Logiken, die verhindern, dass ein bestimmter Schalter ein- oder ausgeschaltet werden kann, können in manchen Fällen sogar mehrere Hundert virtuelle Logikgatter umfassen. In solchen Fällen werden dann auch Meldesysteme konstruiert, die dem Bediener mitteilen, warum die gewünschte Schalthandlung verriegelt ist.

Einfache logische Verknüpfungen sind z.B.:

- Ein Trenner darf nur bewegt werden wenn der zugehörige Leistungsschalter in AUS-Stellung ist
- Ein Erder darf nur eingelegt werden wenn die zugehörigen Trenner auf der eigenen Seite und der anderen Seite der Leitung in AUS-Stellung sind.

Um zu zeigen wie die komplexeren Logiken entstehen, hier ein Beispiel für die sogenannte Leistungsschalterausschaltsperr:

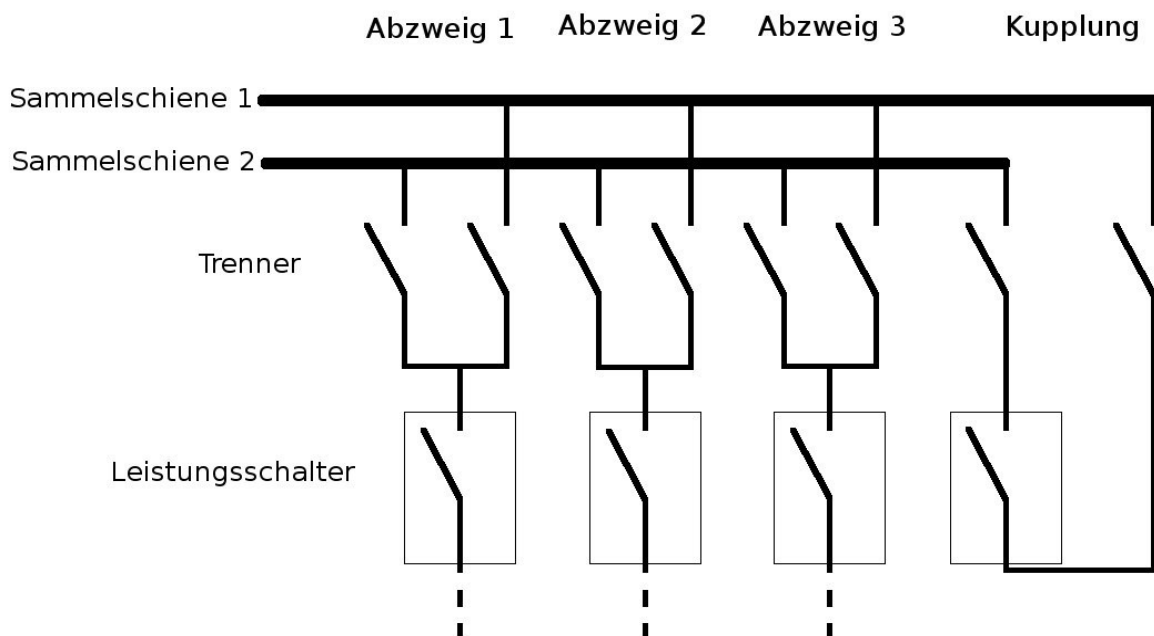


Bild 5: Schaltbild einer Schaltanlage mit einer doppelten Sammelschiene

Schaltanlagen sind oft redundant aufgebaut. Anstatt einer Sammelschiene gibt es zwei. Damit kann im Fall von Störungen an einer Sammelschiene gearbeitet werden während die andere noch in Betrieb ist. Die Verbindungen zu den Sammelschienen sind Trennschalter. Möchte man nun von

einer Sammelschiene auf die andere wechseln, müsste man die Trenner unter Last für beide Sammelschienen einschalten und für die Sammelschiene an der gearbeitet werden soll wieder öffnen. Das funktioniert so aber nicht. Als Abhilfe wird ein Leistungsschalter zwischen beide Sammelschienen gesetzt. Der wird zuerst eingelegt. Jetzt lassen sich die Trenner beliebig schalten. In diesem Zustand darf der Leistungsschalter zwischen den beiden Sammelschienen aber erst dann wieder geöffnet werden wenn keine Trenner-Trenner-Brücke mehr besteht was in einer größeren Schaltanlage zu recht komplexen Logiken führen kann.

4. Die klassischen Schutzfunktionen

In der eigenen Hausinstallation und an den eigenen Geräten kennt jeder die „Sicherung“ als Schutzelement. Schaltet man in solches Gerät ein und es gibt einen kleinen Knall und/oder Rauchwölkchen und das Gerät funktioniert danach nicht mehr, wird man sich zuerst die Sicherung ansehen. Ist die durchgebrannt, wird man wohl zuerst versuchen, die Störungsursache zu finden, das Gerät zu reparieren und danach wieder einzuschalten. Funktioniert ein Gerät nach dem Einschalten ohne erkennbare Ursache nicht mehr und die Sicherung ist durchgebrannt, wird man zuerst die Sicherung tauschen und sehen ob sie nach dem Einschalten „drin“ bleibt. Wenn nicht, ist natürlich auch da die Reparatur angesagt.

Was im Kleinen geht wird natürlich immer problematischer je größer der Kreis der Betroffenen ist. In einem Niederspannungsnetz das einen Straßenzug oder einen kleinen Stadtteil versorgt geht ein Schutz mit solchen Schmelzsicherungen noch, in Hochspannungsnetzen nicht mehr. Auch wird die Technologie, mit einem Strom einen Draht zu erhitzen der bei Überstrom durchbrennt mit steigender Spannung immer problematischer. Der Grund: Auch ein weiß glühender Draht erzeugt beim druchbrennen ein elektrisch leitendes Plasma. Dieser Lichtbogen muss dann in der Sicherung irgendwie gelöscht werden. Irgendwann stößt das Löschen z.B. mit einer Quarzsandfüllung auch an die physikalischen Grenzen. Kommt noch dazu dass neben der Reparatur des eigentlichen Schadens auch noch eine Sicherung getauscht werden muss was bei Hochspannungsanlagen deutlich mehr Aufwand bedeutet als ein Sicherungswechsel bei einem selbst zu Hause. Bleibt meist nur eine Art von Sicherung die unseren Sicherungsautomaten in Hausinstallationen entspricht.

Ein solcher Sicherungsautomat besteht auf mehreren Teilen:

- einer Strommessung
- eine Auslöselogik
- einem Schalter

Die Strommessung besteht dort genau genommen aus zwei Teilen: Einer Erkennung für sehr schnell ansteigende hohe Ströme über eine kleine Spule die zur sofortigen Auslösung des Schalters führt. Einer Messung über ein sich erwärmendes Bimetall das abhängig vom Strom zu einer langsameren oder schnelleren Auslösung des Schalter führen kann.

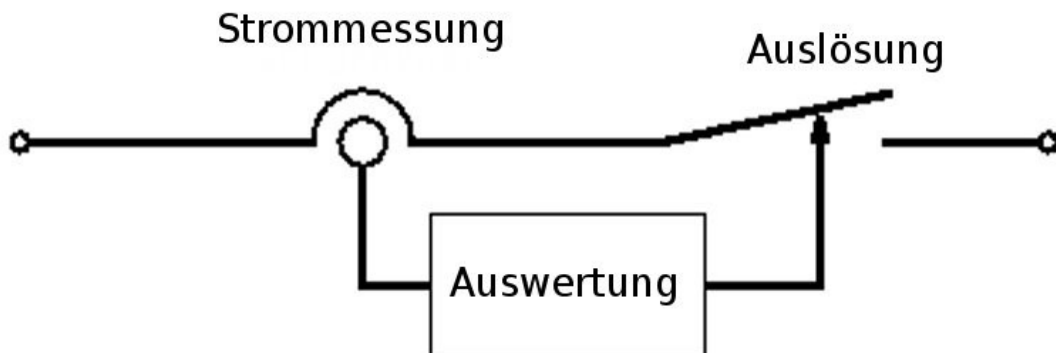


Bild 6: Prinzipschaltbild eines Sicherungsautomaten

4.1 Überstromzeitschutz

Der Überstromzeitschutz entspricht in der Funktion so etwa unserem aus der Hausinstallation bekannten Sicherungsautomaten. Der mechanische Aufbau sieht natürlich ganz anders aus:

Die Strommessung ist dort kein Spülchen wie beim bekannten Sicherungsautomaten sondern ein Stromwandler, der aus den möglichen mehreren kA einen Strom von z.B. maximal 1A oder 10A macht und der auch in die Hochstrombereichen noch sinnvolle Ausgangsströme generiert.

Als Schalter wird kein eigener Schalter verwendet sondern ein Leistungsschalter der in der Anlage sowieso schon vorhanden ist.

Das Gerät das den Strom misst und daraus ein Auslösesignal für den Leistungsschalter generiert, das sogenannte Schutzrelais war in früheren Zeiten ein wahres Wunderwerk an Feinmechanik. Aktuelle Geräte sind natürlich digitale Geräte die von einem Mikroprozessor gesteuert werden. Das hat den zusätzlichen Vorteil, dass man diese Geräte in weiten Bereichen parametrieren kann und je nach geladener Software weitere zusätzliche Schutzfunktionen im gleichen Gerät realisieren kann.

Zurück zum Überstromzeitschutz: In einem solchen Schutzrelais ist folgende Funktion realisiert:

- Strom ist unter eine bestimmten (parametrierbaren) Grenze: Keine Reaktion
- Der Strom liegt etwas über der ersten Grenze (als $i >$ bezeichnet): Das Relais wird „angeregt“ d.h. im Relais wird eine Uhr aufgezogen die solange läuft solange der Strom über dieser Grenze bleibt. Erreicht die Uhr einen einstellbaren Wert, löst das Relais aus. Rutscht der Stromwert während der laufenden Uhr wieder unter den Grenzwert, wird die Uhr wieder auf 0 gesetzt ohne dass der Strom unterbrochen wird.
- Der Strom liegt über einer zweiten Grenze (als $i >>$ bezeichnet). Hier ist das Verhalten wie im vorhergehenden Fall, nur dass die Zeit bis zur Auslösung weit kürzer ist.
- der Strom liegt über einer dritten Grenze ($i >>>$): In dem Fall löst das Relais sofort (also ohne weitere Verzögerung) aus.

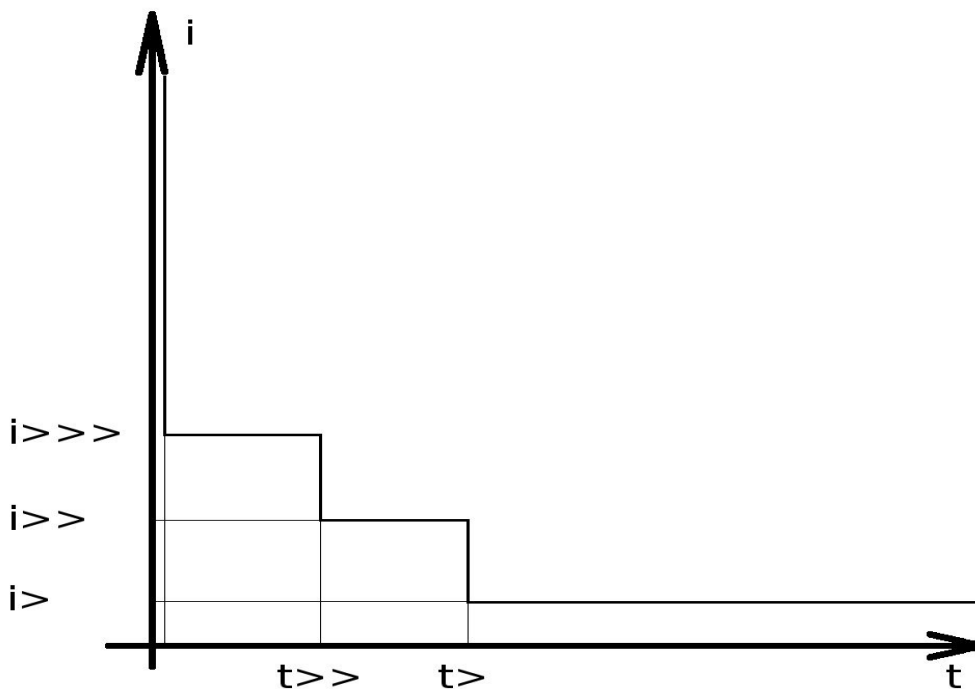


Bild 7: Auslösekennlinie eines Überstromzeitschutzes

Es gibt zwei Gründe warum man diese etwas komplexere Funktion realisiert.

Schaltet man einen Verbraucher (z.B. einen größeren Transformator) zu, kann es zum Einschaltzeitpunkt zu sehr hohen Spitzenströmen kommen wenn der Transformator unglücklich vormagnetisiert ist. Stellt man den Stromgrenzwert dann so ein, dass der maximal zu erwartende Spitzenstrom unter $i \gg \gg$ liegt und die Auslösezeit etwas größer als die Abklingzeit des Anlaufstromes, kann man den normalen (viel kleineren) Betriebsstrom überwachen ohne dass der Schalter im Anlauf auslöst.

Die zweite Anwendung lässt sich anhand des folgenden Schaltbildes erklären. In diesem Schaltbild ist eine Reihe von Abzweigen zu sehen die alle mit Überstromzeitschutz gesichert sind. Passiert in einem der Abzweige nun ein Kurzschluss, sollte der entsprechende Überstromzeitschutz auslösen. Passiert das wegen eines Fehlers nicht gibt es ein Problem das irgendwie gelöst werden muss. Eine Lösung ist der Überstromzeitschutz in der Versorgungsleitung. Den kann man so einstellen, dass $i \gg$ etwas über der Summe der Ströme aller dieser Abzweige liegt. Jetzt hat man alles was man für einen sinnvollen Schutz so braucht:

- tritt in einem der Abzweige ein Fehler auf, wird nur dieser Abzweig auslösen.
- Nur wenn diese Abschaltung nicht funktioniert wird nach weiteren wenigen Millisekunden die Einspeisung abgeschaltet und größerer Schaden dadurch vermieden.
- Ein Kurzschluss in der Versorgungsleitung ($i \gg \gg$) führt zur sofortigen Abschaltung der Einspeisung.

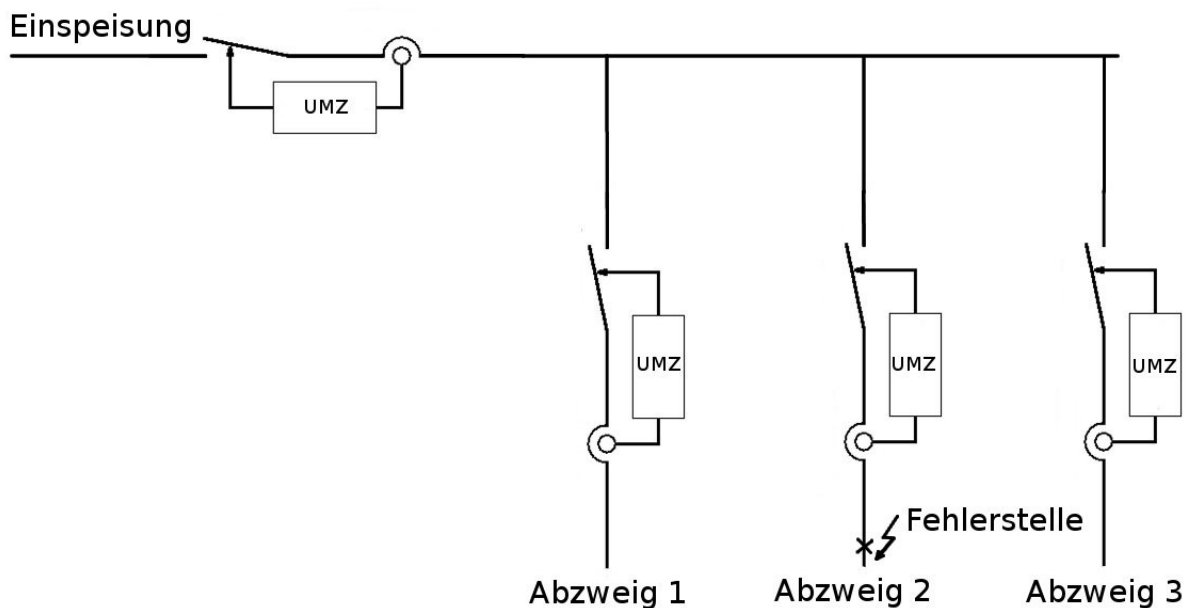


Bild 8: Nutzung des Überstromzeitschutzes bei Ausfall eines Schalters

4.2 Schalterversagerschutz

Wie man sich bei dem Beispiel gut vorstellen kann ist das mit dem einstellen der passenden Grenzwerte nicht ganz einfach, in manchen Fällen funktioniert es überhaupt nicht. Da muss dann ein anderer Weg gefunden werden: Der Schalterversagerschutz. Der Schalterversagerschutz steht etwas zwischen den klassischen Schutzfunktionen und einer reinen Schaltlogik. In unserem Beispiel misst jedes Schutzrelais der Abzweige den Strom auch nach dem Auslösebefehl. Ist er auch nach der gesendeten Auslösung nicht Null, hat der zugehörige Schalter versagt und es muss ein Auslösesignal an das übergeordnete Schutzrelais oder gleich an den übergeordneten Schalter gesendet werden. In unserem Beispiel ist die Logik dazu recht einfach und übersichtlich, sie kann in komplexeren Topologien aber recht umfangreich werden.

4.3 Gerichteter Überstromzeitschutz

Ein guter Schutz zeichnet sich dadurch aus, dass im Fehlerfall nur die direkt betroffenen Teile des Netzes abgeschaltet werden, die anderen aber ohne Störung weiter betrieben werden. Um das beim Überstromzeitschutz zu erreichen kann man dem Relais noch eine Richtungserkennung verpassen. Um die Flussrichtung der Energie detektieren zu können muss man das Relais neben der Strommessung zusätzlich mit einer Spannungsmessung versehen. Jetzt kann das Relais durch Phasenvergleich erkennen in welcher Richtung die Energie fließt. Wie man das für den Schutz ausnutzen kann ist in der folgenden Schaltung zu sehen.

Tritt an der bezeichneten Stelle in Bild 9 ein Kurzschluss auf, werden vermutlich alle drei Schalter in der Versorgungsleitung ($i \gg \gg$) sofort auslösen und das gesamte Netz wird ausfallen. Setzt man aber in der Mitte ein Relais mit einem gerichteten Überstromschutz ein, kann dieses die Auslösung des linken Relais blockieren wenn der Kurzschluss auf der rechten Seite liegt oder entsprechend das Rechte blockieren, wenn der Fehler links auftritt. Das setzt natürlich voraus, dass die Relais sich untereinander verständigen können. Der Effekt in unserem Beispiel ist, dass im Falle einer Störung nur der direkt betroffene Abzweig abgeschaltet wird.

Netzschutz

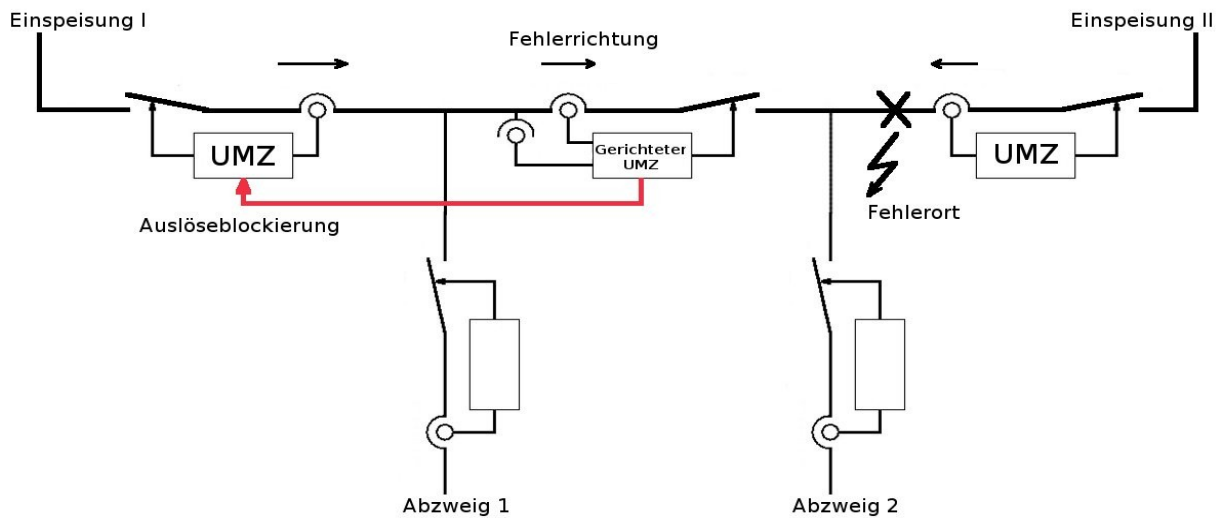


Bild 9: Nutzung eines gerichteten Überstromzeitschutzes

4.4 Leitungsdifferentialschutz

Nicht jeder Kurzschluss ist so spektakulär dass er mit Blitz, Feuer und extremen Strömen einhergeht. Manchmal verkohlt z.B. ein Kabel eher langsam bevor es zum Showdown mit Blitz und Donner kommt. In solchen Fällen bleiben die Fehlerströme oft unter den Grenzen bei denen ein Überstromschutz anspricht. Um auch solche Störungen zu erkennen wurde eine weitere Schutzfunktion erfunden: Der Differentialschutz. Dieser Schutz (bei Leitungen Leitungsdifferentialschutz genannt) nutzt die Tatsache aus, dass die Stromsumme aller Ein- und Ausgänge eines geschlossenen Netzwerkteiles Null ist. Im einfachsten Fall heißt das, dass der Strom der in eine Leitung eingespeist wird auf der anderen Seite auch wieder herauskommen muss. Ist das nicht der Fall gibt es auf der Leitung einen unbekanntem „Verbraucher“. Um einen solchen Verbraucher zu erkennen misst man die Ströme phasenrichtig auf beiden Seiten der Leitung und addiert die Werte. Ist die Summe nicht Null, wird die Leitung abgeschaltet. Hat die Leitung irgendwelche Abzweige müssen natürlich auch deren Ströme gemessen und zum Gesamtergebnis addiert werden.

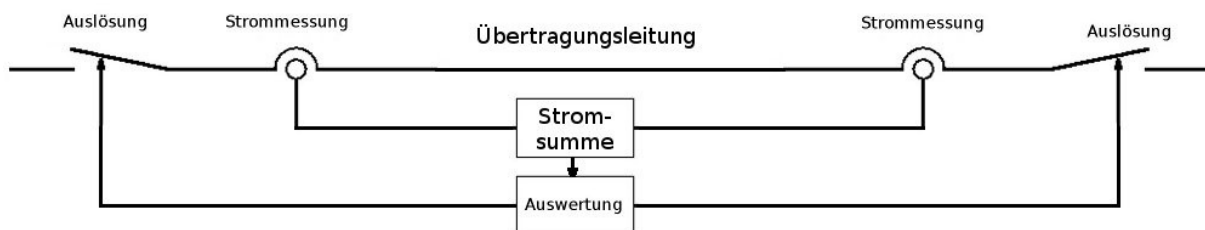


Bild 10: Der Leitungsdifferentialschutz

So schön sich die Theorie anhört, ein paar Dinge sorgen leider dafür dass die Fehlererkennung doch nicht ganz so einfach funktioniert:

- Schaltet man eine Leitung ein, kann es auf der Einspeiseseite zu einem Stromstoß kommen weil die ursprünglich spannungsfreie Leitung erst mal „geladen“ werden muss. Diesen Stoß sieht man aber nur auf der Einspeiseseite, direkt nach dem Einschalten ist die Stromsumme deshalb nicht Null. Man muss den Differentialschutz für die Einschwingzeit des Systems erst mal taub schalten.
- Die Stromwandler müssen über den gesamten zu messenden Strombereich genügend linear sein. Ist das nicht der Fall kann die Stromsumme über die Auslösegrenze steigen ohne dass es einen wirklichen Fehler auf der Leitung gab.

4.5 Sammelschienenendifferentialschutz

Am Beispiel den Überstromzeitschutzes wurde gezeigt, wie man durch geschicktes Einstellen der verschiedenen Stromgrenzwerte eine Art Schalterversagerschutz realisieren kann. Hat man nun eine sehr kräftige Einspeisung und viele „kleine“ Abzweige wird der Fehlerstrom der in einem solchen Abzweig zur Auslösung führen muss weit unter dem liegen, was in die Sammelschiene eingespeist werden kann. Eine Stromüberwachung in der Einspeisung wird beim Versagen eines Abzweigschalters nicht ansprechen. Noch schlimmer ist es, wenn der Fehler vor der Meßstelle im Abzweig auftritt. Um solche Fälle abzudecken wird das gesamte Sammelschienensystem einschließlich aller Abzweige mit einem Differentialschutz versehen.

Spricht der Sammelschienenendifferentialschutz an, wird alles abgeräumt und die gesamte Sammelschiene vom Rest der Anlage getrennt was natürlich zu einem großflächigeren Stromausfall führen wird.

4.6 Trafodifferentialschutz

Transformatoren in Umspannwerken sind sehr sehr teure Objekte die es ganz besonders zu schützen gilt. Deshalb gibt es eine ganze Reihe von zusätzlichen Schutzfunktionen die für sorgen sollen dass ein Transformator abgeschaltet wird bevor der entstandene Schaden eskalieren kann. So wird z.B. die Temperatur des zur Kühlung verwendeten Öls überwacht, es wird überwacht, ob in dem Ölbad Gasblasen entstehen, ob Öl aus dem Trafo in den Vorratsbehälter zurückgedrückt wird. Ein Schutz ist der Differentialschutz – auch hier wird überwacht ob das was in den Trafo hineinfließt auch wieder herauskommt. Natürlich müssen die gemessenen Ströme auf eine gemeinsame Spannungsebene umgerechnet werden damit man sie überhaupt addieren darf. Auch Trafos haben diesen bei den Leitungen schon beschriebenen Einschaltstoß – diesmal bedingt durch die Vormagnetisierung des Trafokerns.



Bild 11: 380kV / 110kV Transformator, links davon stehen die Wandler für die Messung der überspannungsseitigen Spannungen und Ströme

4.7 Distanzschutz

Auch längere Freileitungen kann man mit einem Leitungsdifferentialschutz und einem Überstromzeitschutz wirkungsvoll schützen. Zusätzlich bräuchte man in diesem Fall aber eine Aussage wo der Fehler auf der Leitung aufgetreten ist denn bei solchen Leitungen gibt es im Prinzip zwei Fehlerquellen:

- Blitzschlag
- defekter Isolator

Während man beim Blitzschlag nicht unbedingt wissen muss wo er aufgetreten ist, ist das bei einem defekten (oder verschmutzten) Isolator umso wichtiger. Für diesen Zweck wurde der Distanzschutz entwickelt.

Für den Distanzschutz werden an der Meßstelle (z.B. am Anfang der Übertragungsleitung) Spannung und Strom erfasst. Aus dem Verhältnis von Spannung und Strom sowie der Phasenlage zwischen Spannung und Strom lässt sich eine Impedanz ermitteln. Diese Impedanz hängt natürlich stark von den Lastverhältnissen am Leitungsende ab. Sie lässt sich als Punkt in einer komplexen Ebene darstellen. Tritt auf der Leitung ein Kurzschluß auf (z.B. ein Lichtbogen an einem Isolator) ist die Spannung an der Überschlagsstelle nahezu Null. Die am Eingang der Leitung gemessene Impedanz besteht im Kurzschlussfall „nur“ noch aus dem Ohm'schen Widerstand der Leiterseile und den durch Kapazitätsbelag und durch Induktivitätsbelag erzeugten Blindanteilen. Kennt man die elektrischen Daten einer Freileitung, kann man aus der Impedanz den Ort berechnen an dem der Fehler aufgetreten ist.

Netzschutz

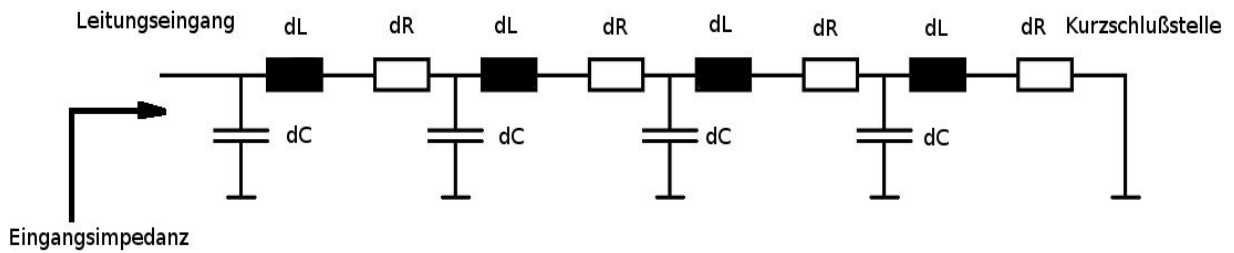


Bild 12: Ersatzschaltbild einer Leitung im Kurzschlussfall

Umgekehrt weiß man welche Impedanzen durch einen Kurzschluss hervorgerufen werden können und welche nicht. Deshalb kann man die komplexe Ebene in Zonen einteilen in denen jede Zone eine bestimmte Reaktion des Relais bewirkt wie

- keine Wirkung
- das Relais mit bestimmten Auslösezeiten anregen
- sofort auslösen.

Anregungen und Auslösungen kann man sich zusammen mit der Entfernungsangabe melden lassen. So kann man z.B. unsichere Isolatoren erkennen und austauschen oder reinigen bevor die Leitung wirklich langfristig ausfällt.

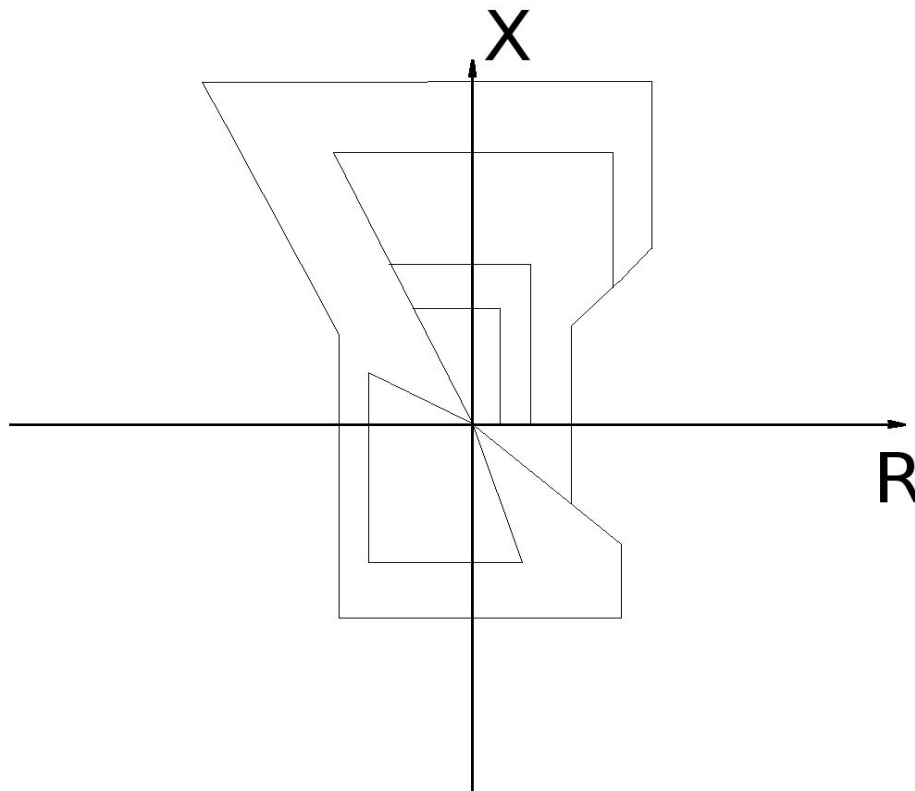


Bild 13: Die verschiedenen Zonen eines Distanzschutzes

Wie man aus dem Bild 13 erkennen kann, kann der Distanzschutz auch „nach hinten“ wirken. Damit lässt sich eine Leitung von zwei Seiten aus schützen wobei in dem Fall eines der beiden Schutzrelais als Reserve, sozusagen als Versagerschutz dienen kann.

Was für Freileitungen gilt, gilt im Prinzip auch für Kabel. Bei Kabeln ist es ganz besonders wichtig den Fehlerort genau zu kennen denn oft sind Kabel im Boden vergraben und jeder falsch ausgebundelte Meter kostet Geld. Bei Kabeln gibt es aber leider das Problem, dass nicht jeder Kurzschluss gleich ist. Je nachdem was im Kabel brennt kann die Restspannung am Kurzschlussort kleiner oder größer sein, was dann bei der Berechnung des genauen Fehlerortes zu Problemen führt.

4.8 Kurzunterbrechung

Ein sehr häufiger „Fehler“ bei Freileitungen ist der Einschlag eines Blitzes. Die dadurch auf der Leitung entstehende Spannungsspitze führt dazu dass auf der Leitung ein Lichtbogen zündet der dann (z.B. von Distanzschutz) als Kurzschluss erkannt wird und zur Abschaltung der Leitung führt. Nur wenige Millisekunden nach dem Abschalten ist das Plasma des Lichtbogens verrauchte und die Leitung wieder betriebsbereit. Dieses Verhalten wird bei der Funktion der Kurzunterbrechung ausgenutzt. Erkennt der Distanzschutz auf der Freileitung einen Fehler, so wird die Leitung abgeschaltet und eine Uhr gestartet die dafür sorgt, dass die Leitung wenige Millisekunden nach der Abschaltung wieder zugeschaltet wird. Tritt bei der erneuten Zuschaltung kein Fehler mehr auf, war die Kurzunterbrechung erfolgreich. Steht der Fehler noch an, wird wieder abgeschaltet und die Leitung bleibt außer Betrieb.

Bei Gewittern bemerkt man manchmal ein leichtes Flackern der Beleuchtung. Dieses Flackern kommt durch eine gestörte Leitung die mit der KU-Funktion wieder eingeschaltet wurde.

4.9 Überspannungsschutz

Diese Schutzart ist besonders wegen der erneuerbaren Energien sehr aktuell geworden. Gerade in ländlichen Gebieten gibt es durch Windenergie, Photovoltaik oder Biogas-Kraftwerken nur schwer kalkulierbare Einspeisungen bei fehlenden Verbrauchern. Das kann zu erhöhten Spannungen im Mittelspannungsnetz führen. Nachdem die meisten Transformatoren zur 380V-Seite (noch) nicht regelbar sind, steigt dort auch die Spannung im Niederspannungsnetz an. Um dort Schäden zu vermeiden müssen die Energielieferanten im Notfall abgeschaltet werden. Rein technisch besteht der „Schutz“ nur aus der Spannungsmessung und wie beim Überstromzeitschutz mit Bereichen mit verschiedenen Auslösezeiten.

4.10 Pendelschutz

Um den Pendelschutz zu verstehen sollte ein mechanisches Modell eines elektrischen Netzes dienen. Dazu stellt man sich die Leitungen eines elektrischen Netzes als Gummifäden vor bei denen die Verbraucher an den Anschlußstellen wie Gewichte wirken und nach unten ziehen und die Kraftwerke das Netz nach oben ziehen sodass es immer in einer bestimmten Höhe bleibt. Liefert nun ein Kraftwerk etwas mehr Energie und zieht unser virtuelles Gummnetz etwas höher, muss das Nachbarkraftwerk etwas weniger Energie liefern damit das Netz in der gleichen Höhe bleibt. Wenn nun jedes Kraftwerk die Höhe für sich selbst ausregelt kann es vorkommen dass das gesamte Gummnetz zu schwingen beginnt und sich die Kraftwerke gegenseitig in eine Schwingung „weniger Leistung, mehr Leistung“ versetzen die sich aufschaukelt. Solche Schwingungen können so heftig werden, dass das gesamte Netz ausfällt. Um das zu vermeiden werden trennt der Pendelschutz die Verursacher solcher Schwingungen vom Netz.

4.11 Unterfrequenzschutz

In unserem europäischen Verbundnetz gibt es einige Taktgeber, die für die exakte Netzfrequenz sorgen. Ein Unterfrequenzschutz macht in einem solch großen Netz wenig Sinn. Bei kleineren, isolierten Netzen kann ein solcher Schutz sehr wichtig werden. Je mehr Energie verbraucht wird, desto höher wird das bremsende Drehmoment an den Generatorachsen in den Kraftwerken. Wird mehr verbraucht als die Kraftwerke liefern können, zeigt sich das mitunter daran, dass die Drehzahl die die Kraftwerke halten können absinkt. Ein solches Absinken der Drehzahl und damit der Netzfrequenz kann also der Indikator dafür sein dass die Lichter in wenigen Sekunden ganz ausgehen werden. Vermeiden lässt sich ein Totalausfall des Netzes dadurch dass man sehr schnell einige Verbraucher abschaltet. Die Auslösung für solche Abschaltungen kann von Unterfrequenz-Schutzrelais kommen.

4.12 Lastabwurf

Der Lastabwurf ist eine Maßnahme, die man beim Ansprechen eines Unterfrequenzschutzes starten kann. Dazu werden Verbraucher ausgewählt die viel Energie brauchen, die aber keinen Schaden dadurch erleiden dass die Energieversorgung für gewisse Zeiten ausfällt. Kommt ein Netz in die bedrohliche Situation dass mehr Energie verbraucht wird als nachgeliefert werden kann, werden diese Verbraucher gezielt abgeschaltet bis sich die Situation wieder beruhigt hat.

4.13 Schieflastschutz

Unser Netz ist ein Drehstromnetz das nur dann gut funktioniert, wenn die drei Phasen gleichmäßig belastet werden. Werden die drei Phasen unterschiedlich belastet kann das zu sehr unangenehmen Effekten und zu Schäden bei den Verbrauchern kommen. In solchen Fällen ist es dann oft besser betroffene Abzweige oder Leitungen ganz abzuschalten. Die Überwachung einer gleichmäßigen Belastung ist die Aufgabe des Schieflastschutzes.

5. Verteilte Einspeisung (erneuerbare Energien)

In den bisher zu schützenden Netztopologien war die Rollenverteilung zwischen Erzeuger und Verbraucher viel eindeutiger als es heute der Fall ist. Es gab wenige Kraftwerke und eine große Zahl von Verbrauchern. Damit war die Energierichtung meist eindeutig definiert. Bei fest vorgegebenen Energierichtungen ist es z.B. weit einfacher gerichteten Überstromzeitschutz einzusetzen als in Fällen in denen die Energierichtung während des Netzbetriebs wechseln kann. Man konnte auch davon ausgehen, dass von abgeschalteten Verbrauchern wenn überhaupt dann nur wenig Energie ins Netz zurückfließt und solche Verbraucherabzweige für Netzarbeiten problemlos erden. Schließlich war es bei der alten Rollenverteilung weit einfacher an den verschiedenen Punkten im Netz den maximal möglichen Kurzschlußstrom zu berechnen. Kurz: Die flächendeckende Installation von Erzeugern erneuerbarer Energien stellen nicht nur an die Netzplanung und das übergeordnete Energiemanagement neue Herausforderungen sondern auch an den Netzschutz.