

SCHUTZTECHNISCHE HERAUSFORDERUNGEN FÜR ZUKÜNFTIGE NETZE UND MÖGLICHE LÖSUNGSPFADE

Lothar FICKERT¹, Elisabeth HUFNAGL¹

Entwicklungstendenzen im Anlagensektor

Der derzeitig zu beobachtende Netzausbau auf dem Gebiet der Erzeugungsanlagen erfolgt zunehmend durch fluktuierende, inverterbasierte Einspeiseeinrichtungen unter kostenmäßigen Restriktionen. Für den Schutz der Erzeugungsanlagen selbst stellen sich dabei grundsätzlich keine erhöhten Anforderungen, da die Hersteller dieser Einspeiseeinrichtungen – im Sinne der Leitlinie „Selbstschutz vor Fremdschutz“ - eine netzfehlerbedingte Zerstörung dieser Anlagen unterbinden können.

Als Ergebnis für den traditionellen Netzschutz bedeutet diese Ausgangslage Dreierlei:

- (1) Die im Fall eines Isolationsverlustes zur Fehlerstelle fließenden Ströme sind in der Größenordnung der Betriebsströme und sind daher, weil sie damit definitionsgemäß nicht thermisch gefährlich sind, nicht dem üblichen Kurzschlusschutz-Regime unterworfen. Folgerichtig greift die übliche Einstellung eines Kurzschlusschutzes mit $I_{\text{Schutz}} = 1,2 \cdot I_N$ nicht mehr zwangsläufig ein.
- (2) Weil die Halbleiter in der Serienschaltung: Primärenergie-Quelle → Wechselrichter/Halbleiter → Leitungszug → Fehlerstelle die höchsten spezifischen Verluste aufweisen, sind sie die wahren Schwachstellen. Der Schutz dieser sensiblen Stellen ist, in Wahrnehmung ihrer Verantwortung, durch die Gerätehersteller so empfindlich realisiert, dass i.d.R. die Quelle vor dem Leitungszug abgeschaltet wird. Das ist ein grundsätzlicher Fehler i.S. der geforderten Selektivität der meistens in den Verteilnetzebenen verwendeten Überstrom-Zeitstaffelschutz-Schemata.
- (3) Eine Fehlerschleife stellt aus physikalischen Gründen eine (wirk-)verlustbehaftete Induktivität dar. Deshalb erfolgt bei fluktuierender Position der wirksamen Einspeisequellen der Blindleistungsfluss grundsätzlich bidirektional.

Entwicklungstendenzen im Netzsektor

Zunehmend gewinnt der Wunsch nach kleinräumig autarken/autonomen Netzregionen bzw. großräumigen, übergeordneten Schutzeinrichtungen an Interesse, z.B. durch Wide-Area-Protection. Die hierbei skizzierten Lösungen sind dem Systemschutz zuzuordnen, weil hier konzeptgemäß z.B. in die Netzregler eingegriffen wird.

Für den Netzschutz bedeutet das auch eine Einbeziehung der Lastflusssituation in die Schutzkonzepte, speziell hinsichtlich der Überlastungen in der Tiefe der Verteilnetze. Präventives Schalten bzw. Steuern werden Teil der Netzschutzkonzepte.

Pfade für sichere und selektive Schutzlösungen im Anlagensektor

Methodisch hilft es bei derartigen Fragestellungen, zuerst einmal auf erprobte Lösungen zurückzugreifen, welche auf ein ausgereiftes Engineering zurückblicken können. Diese sind u.a. beim 400-kV- und 750-kV-Schutz zu finden.

Dazu zählen:

- Verwendung von Richtungsgliedern zur Erkennung der Fehlerrichtung, also von Phasenkomparatoren der Spannungs- und Stromsignale. Dazu sind Spannungssensoren erforderlich, welche mit einem gewissen Aufwand nachzurüsten sind.
- Unterspannungsgesteuerter Überstromschutz (Voltage Restrained Overcurrent Protection): Hier wird bei Spannungen von beispielsweise größer 0,6 p.u. an der üblichen Einstellung des Kurzschlusschutzes mit $I_{\text{Schutz}} = 1,2 \cdot I_N$ festgehalten.

¹ Technische Universität Graz, Institut für Elektrische Anlagen und Netze, Inffeldgasse 18/I, 8010 Graz, Tel.: +43 316 873-{7564|7552}, {lothar.fickert|elisabeth.hufnagl}@tugraz.at, www.ifea.tugraz.at

Wenn bei geringen Kurzschlussströmen die Spannung im betroffenen Netzteil unter den o.a. Wert sinkt, wird die Empfindlichkeit z.B. auf ein Zehntel herabgesetzt, und die Staffelsequenz wird korrekt durchgeführt.

- Die Selbsthaltung des Anregesignals in Verbindung mit einem Selbsthaltungsabwurf bei wiederkehrender Spannung und dem üblichen Zeitstaffelschutz ist eine Abhilfe, sollte die Stromflussdauer wegen der zeitlichen Begrenzung der Stromeinspeisung nicht für die Erreichung der größten Staffelzeit (z.B. 1,0 s) ausreichen. Voraussetzung für dieses Schema ist allerdings eine verlässliche Spannungswiederkehr nach Fehlerabschaltung, also ein bedingungsloses Low Voltage Ride Through (LVRT)-Verhalten aller Quellen im Netz.
Hier sind derzeit noch große Anstrengungen nötig, da oftmals die in den Wechselrichtern verwendeten Regelkreise in gewissen Fehlerfällen bei Spannungsverlust versagen und instabil werden.
- Distanzschutzeinrichtungen (möglichst sechssystemig) mit Unterimpedanzanregung und einer Stromfreigabe bei z.B. 0,1 p.u. Diese sind als „Weak-Infeed-Protection“ längst Stand der Technik und haben viele, eine rasche selektive Abschaltung begünstigende, Eigenschaften wie z.B. Signalvergleich (Freigabe- / Blockierverfahren).
- Differentialrelais oder auch Schutzverfahren nach dem Verfahren der rückwärtigen Verriegelung erfüllen die beiden Anforderungen (kleine Fehlerstrompegel bei kurzer Einspeisedauer).
- Ein gänzlich anderer Ansatz zur Lösung des Dilemmas „Selbstschutz vor Fremdschutz“ besteht darin, mittels Normen bzw. Bestellanforderungen nur noch solche Wechselrichter zuzulassen, welche über eine schutzkompatible Konfiguration der Ausgangskreise verfügen. Hier ist in erster Linie die Vorgabe des Verhaltens der Reglerstrukturen von Wechselrichtern als „cyberphysical systems“ im Fehlerfall erforderlich. Darüber weit hinausgehend ist allerdings die eigentliche Herausforderung, eine belastbare Kompromisslinie der widerstrebenden Forderungen nach geringen Wechselrichterkosten vs. günstigen Schutzkosten vs. hoher Versorgungssicherheit zu erzielen.
- Bemerkung: Ungeeignet sind nur auf der Spannung basierende Verfahren, da die Spannung im betroffenen Netzteil im schutztechnischen Sinne (Robustheit der Verfahren) als homogener Parameter ohne Fehlerortsbezug gesehen werden muss.

Pfade für sichere und selektive Schutzlösungen im Netzsektor

Gegen die Überlastungen in der Tiefe der Verteilnetze (Intrafeeder Overload) hilft eine lokale Ausweitung der Erfassungs- und Abschaltpunkte.

Anders ist der Fall bei Systemschutzlösungen, welche konzeptgemäß in die Netzregler eingreifen. Da hier präventiv u.U. massive Lastflussrestriktionen ausgelöst werden, ist das Testen dieser Schemata im Realbetrieb de facto unmöglich, da hier im Falle einer Fehlsteuerung dzt. im Rechtssystem rudimentär abgedeckte Haftungsfragen schlagend werden würden. Hier muss vorab oder parallel die Rechtsgrundlage geschaffen werden!

Zusammenfassung

Inverterbasierte Einspeiseeinrichtungen liefern i.d.R. für den traditionellen überstrombasierten Anlagen- und Netzschutz zu wenig und zu kurzzeitigen Fehlerstrom. Hier hilft es in vielen Fällen, die Spannungsinformation mit einzubeziehen, z.B. in Form von unterspannungsgesteuertem Überstromschutz oder Distanzschutz, oder höherwertige Schutzeinrichtungen (Distanzschutz, Schutzschemata mit Signalvergleich) einzusetzen. Hier sind hohe Aufwände auf der Netzseite erforderlich.

Ein anderer Weg ist eine normungsmäßige Lösung, die sicherstellt, dass ein genügend hoher Strom mit ausreichender Stabilität durch die Einspeiser auch im Fehlerfall fließt.

Im Falle fortgeschrittener Systemschutzlösungen ist vor der Implementierung die Rechtslage aufzuarbeiten.