

## Modulbaukasten Siprotec 7UM85

# Flexible und skalierbare Geräte für den Generatorschutz

Digitale Schutzeinrichtungen sind Stand der Technik. Sie werden ständig weiterentwickelt, um mit wenigen Komponenten unterschiedliche Anlagenausführungen zuverlässig schützen zu können. Mit dem Generatorschutz Siprotec 7UM85 bietet Siemens ein neues Gerätekonzept an. Es zeichnet sich durch Modularität sowie Flexibilität in Hardware und Software aus und lässt sich so an die Anforderungen unterschiedlicher Anwendungen anpassen.

Klimawandel und die Verknappung der Ressourcen haben zu einem Umdenken in der Stromerzeugung geführt. Es werden zunehmend erneuerbare Energien wie Sonnen- und Windenergie, Wasserkraft und Biomasse genutzt. Allerdings sind auch künftig für eine zuverlässige Stromversorgung konventionelle Erzeugungseinheiten wie Gasturbinen-, Steinkohle- sowie Braunkohlekraftwerke notwendig. So ist nach wie vor der von einer Turbine angetriebene Synchrongenerator die dominierende Erzeugungseinheit.

Allerdings wird das Produktportfolio breiter. Photovoltaikanlagen speisen zum Beispiel über Wechselrichter in das Netz ein. Bei Windenergieanlagen werden unterschiedliche Konzepte umgesetzt: Zum einen die Erzeugung über doppelgespeiste Asynchronmaschinen, wo der Schlupf über einen Wechselrichter geregelt wird, zum anderen über Synchronmaschinen. Aufgrund der unterschiedlichen Frequenzen findet hier die Netzeinspeisung über Wechselrichter statt. Bei Wasserkraft und Biomasse kommen ebenfalls Synchrongeneratoren zum Einsatz – allerdings

deutlich kleinere im Vergleich zu Braunkohlekraftwerken.

Der Beitrag informiert über den elektrischen Schutz von Synchrongeneratoren und Kraftwerksblöcken. Seit über zwei Jahrzehnten sind digitale Schutzeinrichtungen im Einsatz. Die technologische Weiterentwicklung hat zu immer leistungsfähigeren Prozessoren und größeren Speichern geführt. Dadurch können deutlich mehr Schutzfunktionen in einem Gerät integriert werden. Das bedeutet, die Schutzaufgaben lassen sich mit wenigen Geräten erfüllen.

Ein weiterer technologischer Trend ist die flexible Kommunikation. Über auf Ethernet basierende Protokolle wie IEC 61850 oder Profinet können Daten mit einer Leittechnik ausgetauscht und flexible Steuerungsaufgaben durchgeführt werden. Diese Kommunikation wird sich bis auf Sensorebene fortsetzen – zum Beispiel mit dem Prozessbus nach IEC 61850-9-2.

Der erforderliche Umfang an Schutzfunktionen orientiert sich an der Anlagengröße. Hier spielen unter anderem auch wirt-

schaftliche Aspekte eine Rolle. Eine Hilfe bei der Festlegung des Schutzzumfangs gibt [1]. Weiterhin sind die Netzanschlussregeln [2, 3] zu berücksichtigen. Sie beschreiben das geforderte Verhalten der Erzeugungseinheiten am Netz bei unterschiedlichen Last- und Fehlersituationen.

## Trend in der Gerätetechnik

Aufgrund der unterschiedlichen Größe der Erzeugungseinheiten leitet sich die Anforderung nach einer skalierbaren Hardware ab. Das lässt sich auf unterschiedliche Weise umsetzen – zum Beispiel durch verschiedene Geräteklassen oder durch eine Gehäusetechnik, deren Hardwareumfang durch steckbare Leiterplatten erweitert werden kann.

Mit Siprotec 5 von Siemens wurde ein anderer Weg gewählt und ein Modulbaukasten geschaffen (**Bild 1**). Zentrales Element ist das Basismodul (1/3 x 19" breit), das einen leistungsfähigen Dual-Core-Prozessor mit umfangreichem Speicher enthält. Bereits das Basismodul ist ausreichend für den Schutz kleiner Erzeugungseinheiten. Sind deutlich mehr Messgrößen zu erfassen und zu verarbeiten sowie binäre Ein- und Ausgänge erforderlich, kann das Gerät durch Erweiterungsmodule (1/6 x 19" breit) ergänzt werden. So lässt sich für die jeweilige Generatorschutzanwendung die passende Hardware zusammenstellen.

Auffällig in **Bild 1** ist die Gehäuseausführung. Aufgrund der Kühlrippen wird durch die Oberflächenvergrößerung die Wärme deutlich besser aus dem Gerät abgeführt. Gleichzeitig verbessert die Kapselung der Module die elektromagnetischen Eigenschaften.

Eine hohe Flexibilität in der Kommunikation ist durch steckbare Kommunikationsmodule in elektrischer und optischer Schnittstellenausführung gewährleistet.



**Bild 1.**  
Geräteansicht:  
Basismodul mit  
Erweiterungs-  
modulen

Stand der Technik sind Ethernet-basierte Ausführungen – 100 Mbit mit Trend zu 1 Gbit. Die Steckmodule befinden sich auf der Rückseite des Geräts (**Bild 2**). Auf diesen Modulen lassen sich unterschiedliche Protokolle verwenden, die im Rahmen des Engineerings anwendungsspezifisch ausgewählt und konfiguriert werden. Für Generatorschutzanwendungen sind das typischerweise die Ethernet-basierten Protokolle Profinet oder IEC 61850.

Um die Vielzahl unterschiedlicher Aufgaben beim Generatorschutz erfüllen zu können, sind entsprechende Schutzfunktionen erforderlich. Deren Umfang richtet sich nach Art der Anlagenausführung und der -größe (siehe Hinweise in [1]). War bei bisherigen Geräten der Funktionsumfang festgelegt oder ausschließlich per Bestellcode wählbar, wurde mit Siprotec 5 ein neues Konzept umgesetzt. Das Schutzgerät für Generatorschutzanwendungen – das 7UM85 – hat einen Basisumfang an Schutzfunktionen. Diese sind für kleine Anlagen ausreichend. Um zusätzliche Funktionen zu nutzen, kann der Anwender während des Engineerings aus der Bibliothek die erforderlichen Schutzfunktionen laden (**Bild 3**).



Bild 2. Steckbare Kommunikationsmodule



Bild 3. Hohe Flexibilität in Funktionalität durch zusätzlich ladbare Schutzfunktionen

Durch diese Konzept wird eine hohe Flexibilität erreicht. Bei der Gerätebestellung wählt der Anwender eine Funktionspunkteklasse mit einer definierten Zahl an Funktionspunkten. Werden Funktionen aus der Bibliothek geladen, reduziert sich die Zahl der verfügbaren Funktionspunkte. Das Löschen einer funktionspunktspflichtigen Funktion führt dagegen zur Freigabe von Funktionspunkten. Diese können dann wieder für andere Funktionen genutzt werden. Fehlen dagegen Funktions-

punkte können diese nachbestellt werden. Der Anwender erhält eine Datei und kann sein Gerät problemlos updaten.

**Besonderheiten bei der Anwendung des Generatorschutzes**

Typisch für Erzeugungsanlagen sind die unterschiedlichen Ausführungen. Diese sind bei der Entwicklung der Geräte-

technik sowie der Schutzfunktionen zu berücksichtigen.

Grundsätzlich wird zwischen zwei Grundausführungen unterschieden: der Sammelschienen- und der Blockschaltung. Bei der Sammelschienschaltung speisen mehrere Generatoren auf eine gemeinsame Sammelschiene. Diese Schaltungsform wird in Industrieanlagen

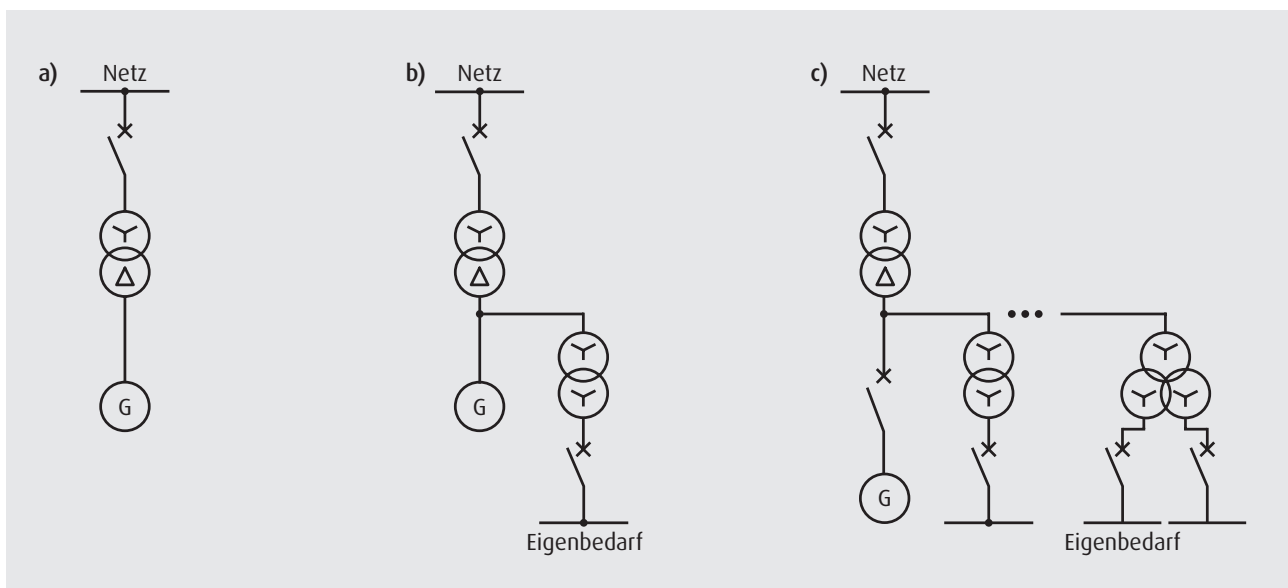


Bild 4. Ausführungsvarianten einer Blockschaltung

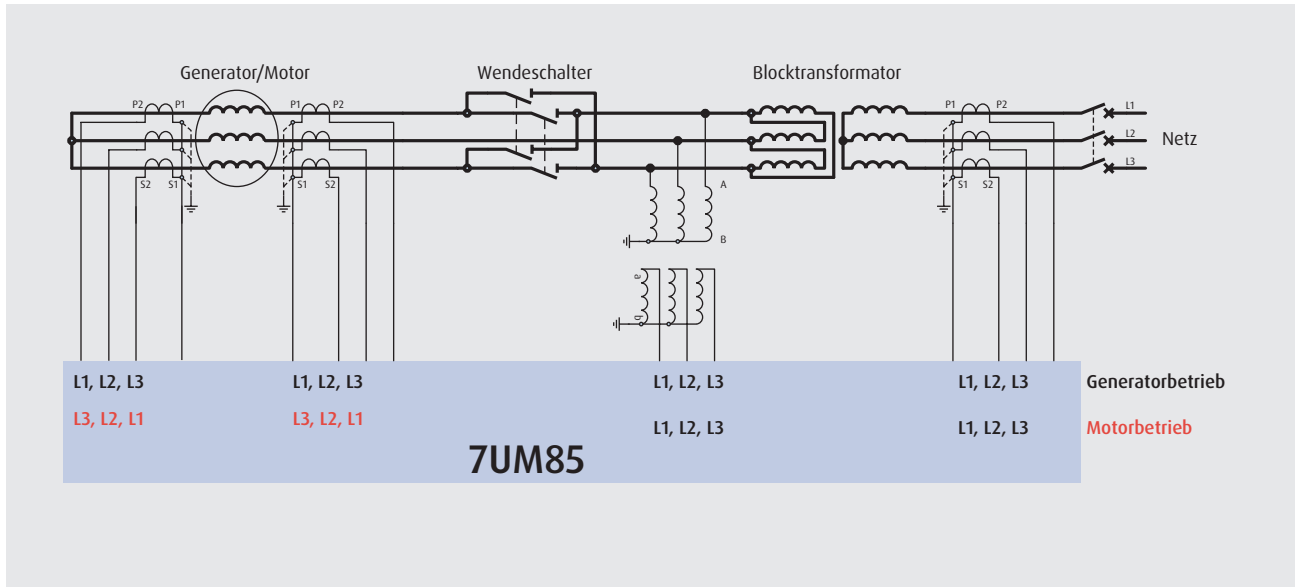


Bild 5. Änderung der Phasenfolge bei Pumpspeicherkraftwerken

eingesetzt. Durch die galvanische Verbindung der Generatoren ergeben sich Besonderheiten bei der Ausführung des Ständererdschlusschutzes. Die Blockschaltung ist immer eine Kombination aus Generator und Blocktransformator. Damit ist der Generator galvanisch von der Netzeinspeisung getrennt. Bei diesem Konzept gibt es unterschiedliche

Ausführungsformen (Bild 4): Die Ausführung in Bild 4a findet man vor allem bei kleineren Erzeugungseinheiten, die Varianten in Bild 4b und 4c dagegen bei größeren Kraftwerksblöcken. Die Variante in Bild 4c mit Generatorleistungsschalter bietet ein hohes Maß an Flexibilität. Bei einem Kurzschluss im Generator wird dieser über den Genera-

torleistungsschalter vom Netz getrennt. Weiterhin kann bei Wartungsarbeiten am Generator der Eigenbedarf über den Blocktransformator versorgt werden.

Aus der Vielzahl an Besonderheiten, die bei der Gerätetechnik zu berücksichtigen sind, werden im Folgenden zwei näher vorgestellt.

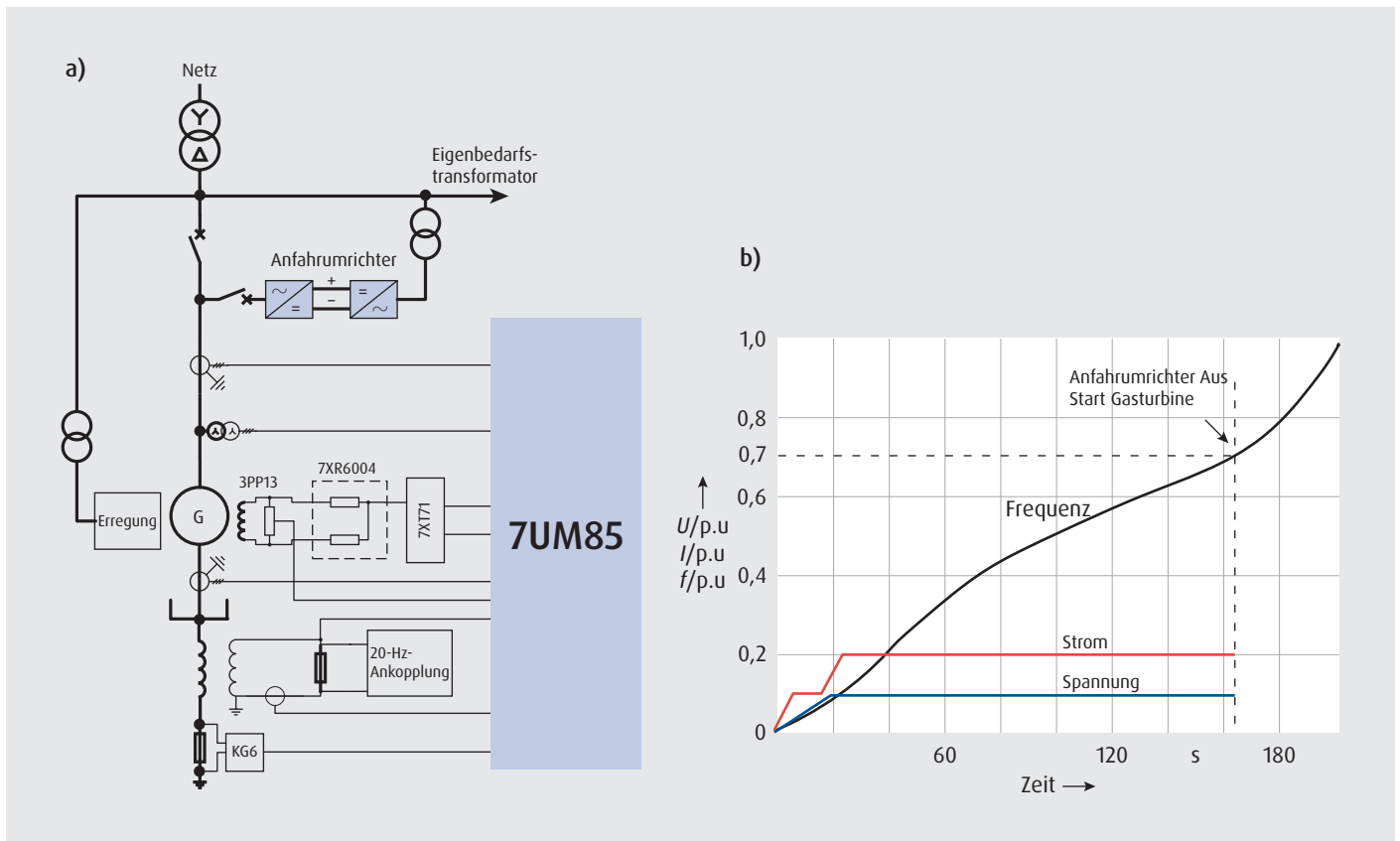


Bild 6. Anfahren eines Gasturbinenkraftwerkblockes

### Änderung der Phasenfolge

Pumpspeicherkraftwerke haben den Vorteil, dass sie zum einen relativ schnell Elektroenergie bereitstellen können. Sie lassen sich zum anderen aber auch kurzfristig als zusätzliche Last einsetzen. Im Pumpbetrieb arbeitet der Generator dann als Motor. Um das zu erreichen, gibt es außer der Ausführung über eine Kupplung auch die Variante über die Änderung der Phasenfolge. Der Schalter zum Tauschen zweier Phasen befindet sich zwischen Generator und Blocktransformator (**Bild 5**). Somit ist im Motorbetrieb motorseitig zum Beispiel die Phasenfolge L3, L2, L1 und transformatorseitig nach wie vor die Phasenfolge L1, L2, L3 möglich.

Diese Besonderheit wurde bei der Entwicklung der Siprotec-5-Schutzgeräte berücksichtigt. Die Messstellen können automatisch an die aktuelle Phasenfolge angepasst werden. Bisher mussten betriebsartsspezifisch unterschiedliche Geräte eingesetzt werden.

### Anpassung der Abtastfrequenz

Gasturbinenkraftwerke werden unter anderem als Ersatz beziehungsweise als Ergänzung für Kernkraftwerksblöcke diskutiert. Diese Art der Anlagenausführung weist eine weitere Besonderheit auf. **Bild 6a** zeigt eine typische Anlagenausführung. Ein Anfahrumschalter speist den Generator, erzeugt ein frequenzvariables Drehfeld und bringt die angeschlossene Turbine auf entsprechende Drehzahl. Bei rund 70 % der Nenndrehzahl wird die Gasturbine gezündet und auf Nenndrehzahl – Nennfrequenz – gebracht. Danach wird der Generator auf Nennspannung auferregt und über ein Parallelschaltgerät mit dem Netz synchronisiert. Den Verlauf der typischen Größen Spannung, Strom, Frequenz zeigt **Bild 6b**. Wie vor allem aus dem Frequenzverlauf – Anstieg der Drehzahl über der Zeit – ersichtlich ist, muss sich der Schutz beim Anfahrvorgang auf den weiten Frequenzarbeitsbereich einstellen. Um eine hohe Messgenauigkeit auch bei deutlichen Abweichungen von der Nennfrequenz (zum Beispiel  $f_{\text{Nenn}} = 50 \text{ Hz}$ ) zu erreichen, wurde in den Siprotec-5-Geräten eine leistungsfähige Abtastfrequenznachführung realisiert (Arbeitsbereich von 10 bis 80 Hz). Das bedeutet, dass die Abtastfrequenz der Messwerterfassung/-verarbeitung automatisch an die aktuelle Generatorfrequenz angepasst wird. Die Zahl der Abtastwerte je aktuelle Periode der Generatorfrequenz ist somit konstant. Damit haben die genutzten digitalen Filter optimale Übertragungseigenschaften. Bei niedrigen Frequenzen ab rund 2 Hz

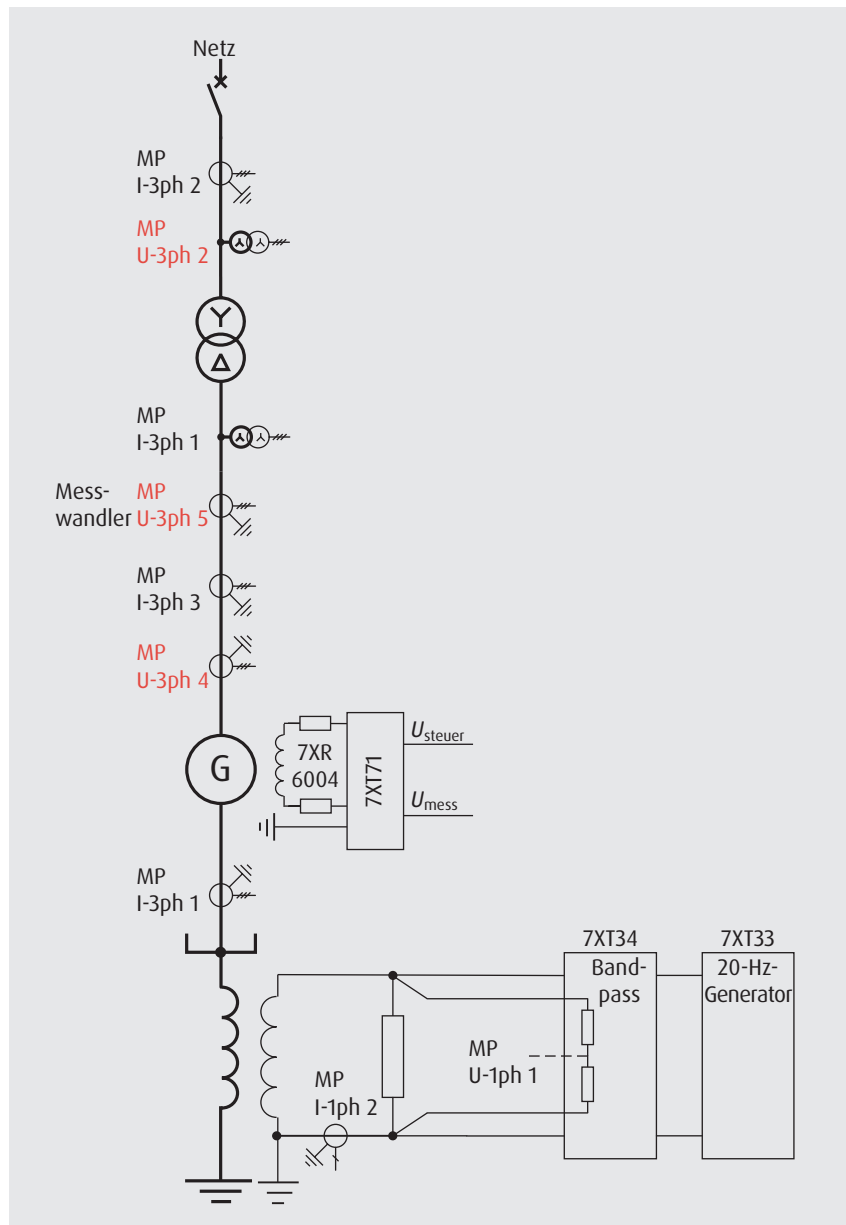


Bild 7. Single-Line-Diagramm

ist ein separater Anfahrüberstromschutz vorgesehen.

### Ausführungsbeispiel

Aus einer Vielzahl von Anwendungsmöglichkeiten wird an einem Beispiel die Anwendung des Siprotec-5-Generatorschutzes 7UM85 erläutert. Es wurde die einfachste Form der Blockschaltung gewählt. Um die Möglichkeiten der neuen Gerätetechnik zu zeigen, fand eine Erweiterung des Schutzbereichs statt. Sie entspricht einem Kraftwerksblock größerer Leistung – zum Beispiel rund 100 MVA. Für kleinere Leistungen kann der Hardware- und Funktionsumfang entsprechend reduziert werden.

Um Fehler und Missverständnisse zu vermeiden, sollte die Anlage durch ein

Single-Diagramm beschrieben werden. Es zeigt die typischen Primärkomponenten, die Zahl der Spannungs- und Stromwandler sowie deren Einbauort. Für das Beispiel ist in **Bild 7** das Single-Line-Diagramm dargestellt. Man erkennt die Kombination Generator und Blocktransformator, den Hochspannungsleistungsschalter, die Spannungs- und Stromwandler sowie die Einbauweise der Stromwandler. Die einzelnen Messstellen sind entsprechend nummeriert und werden durch das Symbol MP beschrieben.

Zur Vereinfachung der Anwendung stehen Anwendungsvorlagen (siehe Gerätehandbuch 7UM85 [4], Kapitel 4.2) zur Verfügung. Während des Engineerings mit DIGSI 5 wird empfohlen, mit einer vorgefertigten Anwendungsvorlage zu

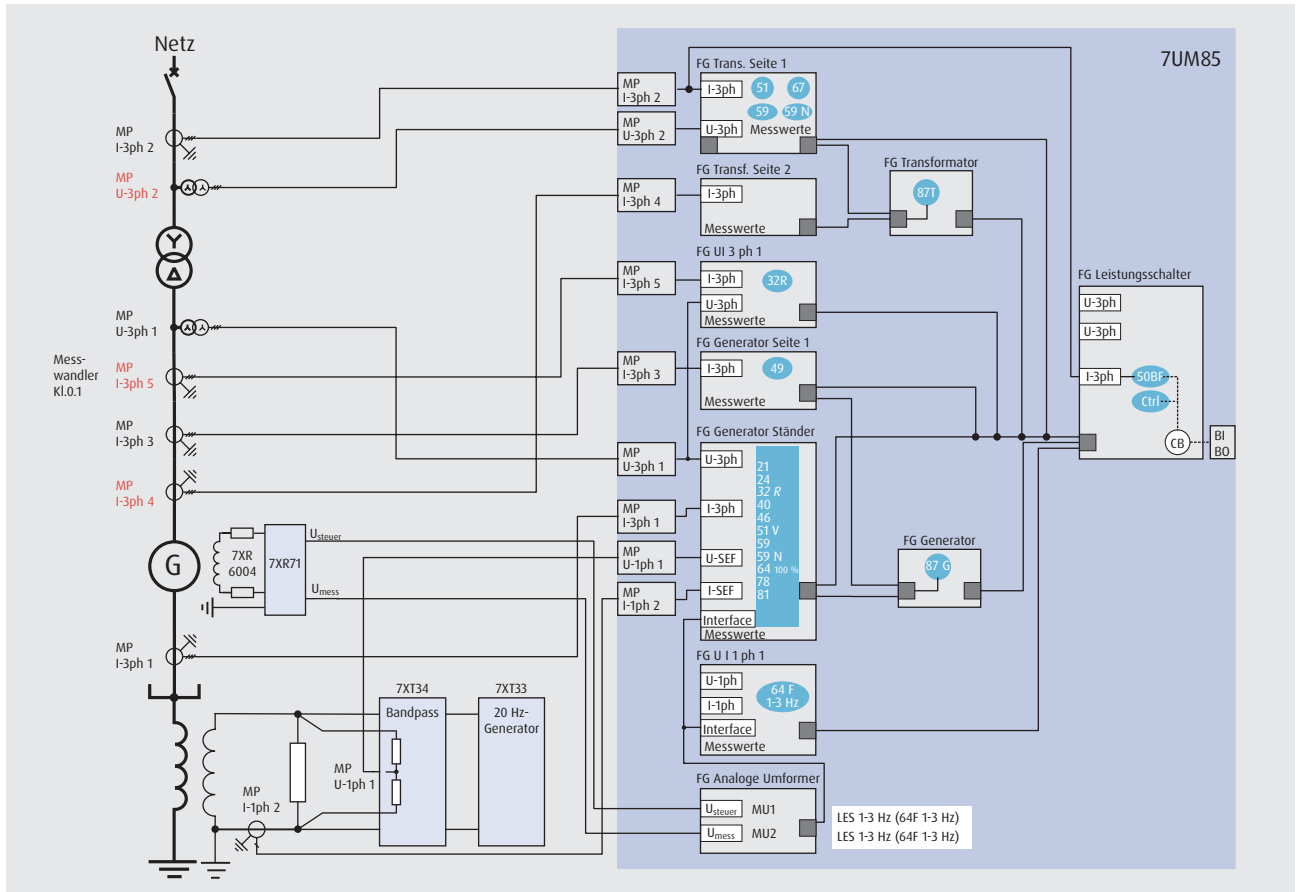


Bild 8. Funktionale Struktur des Anwendungsbeispiels

beginnen und diese anwendungsspezifisch zu modifizieren. In einer zukünftigen DIGSI-Version kann der Anwender seine Anwendungsvorlage speichern und bei neuen Projekten als Basis verwenden. Diese Vorgehensweise reduziert den Engineeringaufwand und die Kosten.

In **Bild 7** sind diejenigen Messstellen rot dargestellt, um die die empfohlene Anwendungsvorlage »Generator Blockschaltung erweitert 8U 16I« [4] zu erweitern ist. Für die Messstelle MP I-3ph5 wurde ein Messwandler vorgesehen, an den der Rückleistungsschutz anzuschließen ist. Der Vorteil des Messwandlers – zum Beispiel Kl. 0,2 – ist der deutlich geringere Winkelfehler – zum Beispiel rund

10 min – im Vergleich zu typischen Schutzwandlern vom Typ P (5P, <60 min) oder PR (5PR, <60 min). Der Winkelfehler des Schutzgeräts ist durch die werkseitige Kalibrierung der Eingangswandler vernachlässigbar klein. Mit dem Anschluss an den Messwandler entfällt das Einmessen des Rückleistungsschutzes durch überbeziehungweise untererregtem Betrieb des Generators ([4] Kapitel 10.23 Rückleistungsschutz) am Netz.

Weiterhin ist der Differentialschutz für den Blocktransformator und Generator an separate Kerne anzuschließen. Für kleinere Leistungseinheiten kann die Ausführung der Anwendungsvorlage – gemeinsamer Stromwandlerkern – genutzt werden. Zusätzlich soll die Spannung auf

der Oberspannungsseite des Transformators mit überwacht werden und es ist ein 100 %-Ständererdschlussschutz mit 20-Hz-Einkopplung vorgesehen. Dieser wird an den sich im Sternpunkt befindenden Nullpunkttransformator mit Belastungswiderstand angeschlossen. Für den Läufererdschlussschutz ist das 1-3-Hz-Messprinzip ([4] Kapitel 6.44 Läufererdschlussschutz – 1-3 Hz) vorgesehen. Das dazu erforderliche Zubehör ist im Single-Diagramm eingetragen. Die gegenüber der Anwendungsvorlage vorgenommenen Änderungen müssen bei der Hardwareauswahl berücksichtigt werden. Es ist zum Beispiel ein Erweiterungsmodul mit einer IO210 erforderlich.



Durch Auszählen der Wandler, der Berücksichtigung der notwendigen binären Ein- und Ausgänge sowie der schnellen Messumformer ergibt sich der Grundumfang der notwendigen Hardwarekomponenten. Für die detaillierte Auswahl steht im Internet ein Konfigurator zur Verfügung, der durch die Konfigurationschritte führt.

Als Ergebnis der Konfiguration wird ein Produktcode für den konfigurierten 7UM85 erstellt – für das Beispiel: P1L54472. Dieser beschreibt eindeutig das ausgewählte Gerät. Das Konfigurationsergebnis kann als pdf-Datei gespeichert und als Basis für das Engineering mit DIGSI 5 sowie für Dokumentationszwecke genutzt werden.

Wichtige Eigenschaften des Beispielgeräts sind:

- Einbaueinheit, Ausführung /6 x 19" – ein Basismodul mit großem Display und drei Erweiterungsmodule
- 18 Stromeingänge vom Typ Schutz und zwei empfindliche Stromeingänge – einer wird für den 100 %-Ständererdschlussschutz genutzt
- sieben Spannungseingänge
- vier schnelle Messumformereingänge
- 23 binäre Eingänge sowie 24 binäre Ausgänge
- Hilfsspannung DC 60 – 250 V, AC 100 – 230 V
- ein Kommunikationssteckmodul Typ ETH-BA-2EL, 2 x elektrisch Ethernet
- 325 Funktionspunkte.

Als Basis für das Engineering wird bei Erstanwendungen empfohlen, die funktionale Grundstruktur grafisch darzustellen. Dabei kann man sich an den Anwendungsvorlagen des Gerätehandbuchs orientieren. Die funktionale Struktur des 7UM85 sowie die Verschaltung mit Spannungs- und Stromwandlern zeigt **Bild 8**. Auf der linken Seite sind als Eingangsschnittstelle die Messstellen (MP) zu erkennen. Diese sind mit den entsprechenden Spannungs- und Stromwandlern zu verbinden. Das gewählte Template ist um die rot markierten Messstellen zu erweitern. In DIGSI 5 findet die Verknüpfung der Messstellen mit den Wandlern – den zugeordneten Anschlussklemmen – über Rangiermatrizen statt.

Weiterhin sind in **Bild 8** Blöcke dargestellt, die mit FG (Funktionsgruppe) abgekürzt sind. Eine Funktionsgruppe ist als »Container« zu verstehen, der die notwendigen Interfaces zu den Messstellen und zu Funktionsgruppen untereinander enthält. Wird eine Schutzfunktion in eine Funktionsgruppe geladen, dockt diese sich automatisch an das Interface an. DIGSI

prüft, ob es zulässig ist, die Funktion in die gewählte Funktionsgruppe zu laden.

Um einen Bezug zur Anwendung zu gewährleisten, wurden für die Funktionsgruppen schutzobjektspezifische Namen vergeben. Diese können vom Anwender umbenannt werden. Weiterhin sind typische Strukturen bei der Verknüpfung von Funktionsgruppen einzuhalten. Dies wird am Transformator-differentialschutz deutlich, der die FG Transformatorseite und FG Transformator erfordert. Beim Generatordifferentialschutz ist auch eine FG Generatorseite notwendig, aber es kann zusätzlich die FG Generator Ständer genutzt werden, die den Strom vom Generatorsternpunktstromwandler verarbeitet. Der Leistungsschalter wird durch die FG Leistungsschalter gesteuert. Diese Funktionsgruppe enthält die notwendigen Funktionen zur Ansteuerung des Leistungsschalters einschließlich des Rücklesens der Schalterstellung. Als Funktionalität kann in der Funktionsgruppe ein Schalterversagerschutz beziehungsweise ein Synchrocheck – als Freigabe für die Hand-synchronisierung – beziehungsweise eine einkanalige Parallelschaltfunktion laufen. Für größere Erzeugereinheiten wird ein separates, zweikanaliges Parallelschaltgerät (7VE63, 7VE85 in Vorbereitung) empfohlen.

Wie erwähnt, erfordert der 1-3-Hz-Läufererdschlussschutz als Interface schnelle Messumformereingänge (10-V-Ausführung). Diese befinden sich in der FG Analoge Umformer und können dort konfiguriert werden. Die Schutzfunktion greift auf die entsprechenden Messumformer per Interface zu. Für den diskutierten Rückleistungsschutz wurde die universelle FG UI-3ph ergänzt und über die Messstelle MP I-3ph5 mit dem Messwandler verbunden. Die Spannung der Messstelle MP U-3ph1 verarbeiten sowohl die FG Generator Ständer als auch die FG UI-3ph.

Zur Darstellung der zahlreichen eingesetzten Schutzfunktionen wurden ANSI-Symbole gewählt. Die Zahlen beschreiben eine Schutzfunktion. Beispiele hierfür sind:

- 87T : Transformator-differentialschutz
- 87G : Generatordifferentialschutz
- 40 : Untererregungsschutz
- 78 : Außertrittfallschutz
- 81 : Frequenzschutz.

Weitere Erläuterungen sind in [1] enthalten.

Mit der gewählten Struktur wird für den jeweiligen Einsatzbereich ein hohes Maß an Flexibilität erreicht. Der Anwender kann beim Engineering auf ein Umfang-

reiches Handbuch zurückgreifen [4]. Dort sind außer den Beschreibungen der einzelnen Funktionen auch umfangreiche Einstellhinweise enthalten.

## Zusammenfassung

Digitale Schutzeinrichtungen sind Stand der Technik beim Generator- und Blockschutz. Sie haben sich seit zwei Jahrzehnten bewährt. Die ständig steigende Leistungsfähigkeit mikroelektronischer Komponenten wie Prozessor, Speicher und Kommunikationsinterfaces führen zu einer stetigen Weiterentwicklung der Schutzeinrichtungen.

Ziel dieser Entwicklung ist es, mit wenigen Komponenten unterschiedliche Anlagenausführungen zuverlässig schützen zu können. Das bezieht sich nicht nur auf die Flexibilität in der Hardwareausführung, sondern auch auf die Softwarefunktionen. Am Beispiel von Siprotec 5 wurde mit dem Generatorschutz 7UM85 ein neues Gerätekonzept vorgestellt. Es zeichnet sich durch Modularität sowie Flexibilität in Hardware und Software aus und kann so an die Anforderungen unterschiedlicher Anwendungen optimal angepasst werden. Durch die leistungsfähige Kommunikation ist das System für den Anschluss an nichtkonzeptionelle Wandler und die Prozessbustechnologie vorbereitet. Dies ist ein weiterer Schritt in Richtung durchgängige digitale Technologie.

## Literatur

- [1] VGB-Standard Elektrischer Blockschutz. VGB-S-025-00-2012-11-DE, erste Ausgabe 2012, ISBN 978-3-86875-403-2, VGB Powertech Service GmbH, Essen.
- [2] Technische Anschlussregeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Hochspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Hochspannung). VDE-AR-N 4120, Entwurf 2017, VDE-FNN, Freigabe in 2018, VDE-Verlag, Berlin.
- [3] Technische Anschlussregeln für den Anschluss von Kundenanlagen an das Höchstspannungsnetz und deren Betrieb (TAR Höchstspannung). VDE-AR-N 4130, Entwurf 2017, VDE-FNN, Freigabe in 2018, VDE-Verlag, Berlin.
- [4] Siprotec 5 Generatorschutz 7UM85 ab V7.50, Handbuch, www.siprotec.com

>> Dr.-Ing. habil. **Hans-Joachim Herrmann**, Principal Key Expert Protection, Energy Management Division, Digital Grid, Protection Relays, Siemens AG, Nürnberg

>> [hans-joachim.herrmann@siemens.com](mailto:hans-joachim.herrmann@siemens.com)

>> [www.siprotec.com](http://www.siprotec.com)