

Anforderung an das Schutzprüfprotokoll des Entkupplungsschutzes EZE und EZA

Stand 2011-11-21

1. Allgemeines

Durch die Verordnung zur Erbringung von Systemdienstleistungen von Windenergieanlagen (SDLWindV) wird gesetzlich der Nachweis der Konformität von Windenergieanlagen mit den geltenden deutschen Netzanschlussrichtlinien in der Mittel- und Hochspannungsebene mindestens in Form von Gutachten gefordert. Die BDEW Mittelspannungsrichtlinie fordert darüber hinaus für alle dezentralen Erzeugungsanlagen den Konformitätsnachweis über ein Anlagenzertifikat.

Ein wesentlicher Bestandteil der Anlagenzertifikate liegt in der Überprüfung des Schutzkonzeptes. Bei Bestandsanlagen Bestandteil des Zertifikates, bei Neuanlagen Teil der EZA- Konformitätserklärung, kommen deshalb den Schutzprüfprotokollen eine erhebliche Bedeutung zu. Um es Zertifizierungsstellen und Netzbetreibern zu ermöglichen die ordnungsgemäße Parametrierung und Funktionalität des Schutzgerätes nachzuvollziehen, ist eine transparente und vollständige Dokumentation des Prüfablaufes und der Prüfergebnisse notwendig.

Das vorliegende Dokument stellt die Anforderungen zusammen, die mindestens an ein Schutzprüfprotokoll gestellt werden und zeigt Möglichkeiten auf, auf welche Art und Weise Schutzprüfungen unterschiedlicher Funktionalitäten, insbesondere solche im Rahmen von dezentralen Erzeugungsanlagen, nachvollziehbar durchgeführt werden können.

Parametriervorgaben sowie Anforderungen an Genauigkeitsklassen von Schutzwandlern sind dem Anlagenzertifikat in der regle basierend auf den Netzbetreiberabfragebogen zu entnehmen.

1.1. Ziel

Damit eine schnellere und einheitliche Bewertung der Schutzprüfprotokolle im Rahmen der EZA-Konformitätserklärung möglich ist, stellt dieses Papier die minimalen Anforderungen an die Schutzprüfprotokolle dar.

Durch die Festlegung des Prüfumfanges und der Inhalte der Prüfprotokolle wird eine Standardisierung der Prüfungen möglich. Dies erleichtert die Vorbereitung, die Durchführung und die Bewertung der Prüfung. Die Anforderungen an die „Prüfklemmleiste“ gemäß BDEW 2008 ist für eine schnelle Prüfung hilfreich.

Die Ausarbeitung bezieht sich in erster Linie Prüfungen von Erzeugungsanlagen im Mittelspannungsnetz. Sie kann sinngemäß auch auf andere Prüfungen dieser Anlagen oder Anlagen im Hochspannungsnetz angewendet werden.

Es werden nur die in der BDEW-Richtlinie „Richtlinie für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz BDEW“ [1] geforderten Schutzfunktionen des Entkupplungsschutzes betrachtet. Weitere Schutzfunktionen, beispielsweise der Kurzschlusschutz der Erzeugungseinheiten und der Erzeugungsanlagen müssen zusätzlich geprüft werden.

1.2. Abkürzungen

EZA	Erzeugungsanlage
EZE	Erzeugungseinheit
NAP	Netzanschlusspunkt
NB	Netzbetreiber
Q→&U<	Blindleistungsunterspannungsschutz

1.3. Zeichen

I	Stromstärke
I_N	Nennstrom der EZA
S_N	Nennscheinleistung EZA (in der Regel vereinbarte Netzanschlussleistung)
Q	Blindleistung
U	Netzspannung
U_C	Bezugsspannung des Netzes
T_1 und T_2	Zeitglieder beim Q→&U<

2. Begriffe

Kommandozeit:

Die Kommandozeit der Schutzeinrichtung ist die Verzögerungszeit vom Beginn des Fehlereintritts bis zum Schließen des Auslösekontaktes.

3. Prüfen der Schutzeinrichtung der Erzeugungseinheit

3.1. Betrachtetes Schutzsystem

Nach der BDEW-Richtlinie [1] sind folgende Schutzfunktionen zu realisieren:

- Spannungssteigerungsschutz $U >>$
- Spannungsrückgangsschutz $U <$ und $U <<$
- Frequenzsteigerungsschutz $f >$
- Frequenzrückgangsschutz $f <$

3.2. Prüfungen

Vor der Prüfung sind alle Einstellwerte auszulesen und mit den Sollwerten zu vergleichen.

Für die Prüfungen sind die Parametervorgaben der Anlage zu verwenden und nicht die ausgelesenen Werte.

Meldungen der Schutzeinrichtungen können im Rahmen der vorgeschlagenen Prüfungen ebenfalls überprüft werden. Im Prüfablauf sollte auch die Auslösung des Leistungsschalters bei Verlust der Hilfsspannungsversorgung berücksichtigt werden (vgl. BDEW ES am MS-Netz S. 38 zweiter Absatz)

Der Anschluss der Prüfeinrichtung sollte dokumentiert werden (z.B. Foto, Einzeichnen in eine Kopie des Schaltplanes).

Der Anschluss aller Elemente des Schutzsystems an die richtige Hilfsenergieversorgung sollte überprüft und dokumentiert werden.

Die Übereinstimmung der Bemessungsspannungen des Spannungswandlers und des Übersetzungsverhältnis des Transformators mit den Vorgaben ist zu überprüfen.

3.2.1. Verdrahtungsprüfung

Geprüft wird der richtige Anschluss der Prüfeinrichtung.

Es werden drei unterschiedliche Spannungen ausgegeben

$$\text{(z.B. } \underline{U}_{L1E} = 0,95 \frac{U_n}{\sqrt{3}}, \underline{U}_{L2E} = 1,00 \frac{U_n}{\sqrt{3}}, \underline{U}_{L3E} = 1,05 \frac{U_n}{\sqrt{3}} \text{)}.$$

Die Werte werden an der Schutzeinrichtung abgelesen.

3.2.2. Auswertung der korrekten Spannung

Es werden die Spannungen bei einem Erdschluss wie folgt ausgegeben; Beispiel für L1 folgend:

$$(\underline{U}_{L1E} = 0,0U_n, \underline{U}_{L2E} = 1,0U_n \exp(-j150^\circ), \underline{U}_{L3E} = 1,0U_n \exp(j150^\circ))$$

3.2.3. Prüfung U>>

Ansprechwert und ODER-Verknüpfung:

Die Prüfung erfolgte für alle drei Spannungen separat.

Zur Ermittlung des Ansprechwertes wird die Spannung beispielsweise schrittweise erhöht. Die Leiter-Erde-Spannung der nicht geprüften Spannung (zwei bei U_{LE} , eine bei U_{LL}) verbleibt auf dem Nennwert.

Anforderung: Der festgestellte Ansprechwert darf $\pm 1\%$ der Nennspannung vom Einstellwert abweichen.

Kommandozeit:

Die Prüfung erfolgte mit einem Spannungssprung in den Auslösebereich (z.B. Einstellwert + 5%).

Die Kommandozeit ist zu messen.

Rückfall:

Die Prüfung erfolgte mit einem Spannungssprung in den sicheren Auslösebereich (z.B. Einstellwert + 5%).

Die Spannung springt vor dem Ablauf der Verzögerungszeit auf den 0,98-fachen Einstellwert.

Anforderung: Es darf keine Auslösung erfolgen.

Anmerkung: Die Prüfung wird direkt mit der Anregeprüfung verknüpft, nachdem eine Anregung stattfindet wird automatisch die Rampe rückwärts gefahren bis die Anregung erlischt.

Prüfung U<

Ansprechwert und ODER-Verknüpfung:

Die Prüfung erfolgte für alle drei Spannungen separat.

Zur Ermittlung des Ansprechwertes wird die Spannung beispielsweise schrittweise reduziert. Die Leiter-Erde-Spannung der nicht geprüften Spannung (zwei bei U_{LE} , eine bei U_{LL}) verbleibt auf dem Nennwert.

Anforderung: Der festgestellte Ansprechwert darf $\pm 1\%$ der Nennspannung vom Einstellwert abweichen.

Kommandozeit:

Die Prüfung erfolgte mit einem Spannungssprung in den Auslösebereich (z.B. Einstellwert - 5%).

Die Kommandozeit ist zu messen.

Rückfall:

Die Prüfung erfolgte mit einem Spannungssprung in den sicheren Auslösebereich (z.B. Einstellwert - 5%).

Die Spannung springt vor dem Ablauf der Verzögerungszeit (z.B. $t = t(U<) - 50 \text{ ms}$) auf den 1,02-fachen Einstellwert.

Anforderung: Es darf keine Auslösung erfolgen.

3.2.4. Prüfung $U \ll$

Ansprechwert und ODER-Verknüpfung:

Die Prüfung erfolgte für alle drei Spannungen separat.

Zur Ermittlung des Ansprechwertes wird die Spannung beispielsweise schrittweise reduziert (Pulsrampe). Die Leiter-Erde-Spannung der nicht geprüften Spannung (zwei bei U_{LE} , eine bei U_{LL}) verbleibt auf dem Nennwert.

Anforderung: Der festgestellte Ansprechwert darf $\pm 1\%$ der Nennspannung vom Einstellwert abweichen.

Kommandozeit:

Die Prüfung erfolgte mit einem Spannungssprung in den Auslösebereich (z.B. Einstellwert - 5%).

Die Kommandozeit ist zu messen.

Rückfall:

Die Prüfung erfolgte mit einem Spannungssprung in den sicheren Auslösebereich (z.B. $U=0$).

Die Spannung springt vor dem Ablauf der Verzögerungszeit (z.B. $t = t(U<) - 50 \text{ ms}$) auf den 1,02-fachen Einstellwert.

Die Spannung springt vor dem Ablauf der Verzögerungszeit $t(U<)$ auf den Nennwert.

Anforderung: Es darf keine Auslösung erfolgen.

3.2.5. Prüfung $f >$

Ansprechwert:

Die Prüfung erfolgte normalerweise dreiphasig (gleicher Anschluss der Prüfeinrichtung wie bei den Prüfungen des Spannungsschutzes).

Zur Ermittlung des Ansprechwertes wird die Frequenz schrittweise erhöht.

Anforderung: Der festgestellte Ansprechwert darf $\pm 0,1 \text{ Hz}$ vom Einstellwert abweichen (bezogen auf die Nennfrequenz).

Kommandozeit:

Die Prüfung erfolgte mit einem Frequenzsprung in den Auslösebereich (z.B. Einstellwert + 1Hz).

Die Kommandozeit ist zu messen.

3.2.6. Prüfung $f <$

Ansprechwert:

Die Prüfung erfolgte normalerweise dreiphasig (gleicher Anschluss der Prüfeinrichtung wie bei den Prüfungen des Spannungsschutzes).

Zur Ermittlung des Ansprechwertes wird die Frequenz schrittweise reduziert.

Anforderung: Der festgestellte Ansprechwert darf $\pm 0,1\text{Hz}$ vom Einstellwert abweichen (bezogen auf die Nennfrequenz).

Kommandozeit:

Die Prüfung erfolgte mit einem Frequenzsprung in den Auslösebereich (z.B. Einstellwert – 1Hz).

Die Kommandozeit ist zu messen.

3.2.7. Prüfung der gesamten Wirkungskette

Es wird die gesamte Wirkungskette einschließlich des Leistungsschalters geprüft.

Es ist anzugeben, wie die Prüfung erfolgte (auslösendes Ereignis, Prüfaufbau).

Die Zeit vom Ereigniseintritt bis zum Öffnen des Leistungsschalters sollte gemessen werden.

3.3. Prüfprotokoll

Das Prüfprotokoll muss insbesondere folgende Punkte enthalten:

- Bezeichnung Anlage und Betreiber:
- Datum der Prüfungen:
- Firmenname des Dienstleisters:
- Prüfer:
- Signatur des Prüfers:
- Beschreibung und Bezeichnung des Prüfobjektes (Schutzsystem)
 - Schutzeinrichtung
 - Wandlerbezeichnung und Übersetzungsverhältnis
 - Übersetzungsverhältnis des Maschinentransformators (bei Prüfung auf der Niederspannungsseite)
 - Verwendete Messgrößen des Spannungsschutzes (U_{LL} oder U_{LE})
 - Bezugsgrößen der Schutzeinrichtung
- Bezeichnung Prüfmittel und Beschreibung Prüfaufbau
 - Prüfeinrichtung
 - Anschluss der Prüfeinrichtung

- Vorgaben des Netzbetreibers
- Dokumentation der Prüfungen und der Prüfergebnisse
- Bemerkungen

3.4. Prüfung der Zuschaltbedingungen bei automatischer Wiederschaltung

In Bild 3.1 ist das Funktionsschema der Funktion angegeben.

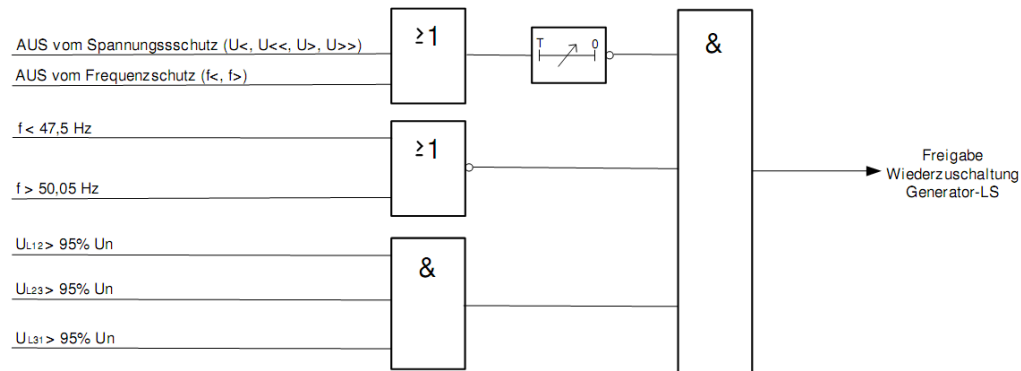


Bild 6 Funktionsschema der Wiederschaltung eines Generator-LS mit Netzanschlusspunkt der Erzeugungsanlage im MS-Netz

Bild 3.1: Funktionsschema nach FNN Lastenheft **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**

3.4.1. Zeit zwischen AUS und Freigabe

- Eine Blockade ist durch ein AUS-Kommando zu erzeugen.
- Es werden die Spannungen ausgegeben, die einer Spannung im Mitsystem von $\underline{U}_1 = \frac{U_n}{\sqrt{3}}$ und $f = 50 \text{ Hz}$ entsprechen.
- Die Zeit ist bis zu Freigabe ist zu messen.

3.4.2. Ansprechwert $f >$

Zur Ermittlung des Ansprechwertes wird die Frequenz schrittweise erhöht.

Anforderung: Ab $f > 50,05 \text{ Hz}$ darf keine Freigabe mehr erfolgen.

3.4.3. Ansprechwert $f <$

Zur Ermittlung des Ansprechwertes wird die Frequenz schrittweise reduziert.

Anforderung: Ab $f < 47,5 \text{ Hz}$ darf keine Freigabe mehr erfolgen.

3.4.4. Ansprechwert $U <$

Die Prüfung erfolgte für alle drei Spannungen separat.

Zur Ermittlung des Ansprechwertes wird die Spannung beispielsweise schrittweise reduziert. Die Leiter-Erde-Spannung der nicht geprüften Spannung verbleibt auf dem Nennwert.

Anforderung: Ab $U_{LL} < 0,95 U_n$ darf keine Freigabe mehr erfolgen.

4. Prüfen der Schutzeinrichtung der Erzeugungsanlage

4.1. Betrachtetes Schutzsystem

Nach der BDEW-Richtlinie **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** sind folgende Schutzfunktionen zu realisieren:

- Kurzschlusschutz (Distanzschutz oder UMZ)
- Blindleistungsrichtungs-Unterspannungsschutz
- Spannungssteigerungsschutz $U \gg$ und $U >$
- Spannungsrückgangsschutz $U <$

4.2. Prüfungen

Vor der Prüfung sind alle Einstellwerte auszulesen und mit den Sollwerten zu vergleichen.

Für die Prüfungen sind die Parametervorgaben des Anlagezertifikates zu verwenden und nicht die ausgelesenen Werte.

Der Anschluss der Prüfeinrichtung sollte dokumentiert werden (z.B. Foto, Einzeichnen in eine Kopie des Schaltplanes).

Der Anschluss aller Elemente des Schutzsystems an die richtige Hilfsenergieversorgung sollte überprüft und dokumentiert werden.

4.2.1. Überprüfung der Stromwandler und Spannungswandler

Es ist zu überprüfen, ob die Schutzeinrichtung an die richtigen Stromwandler und Spannungswandler angeschlossen ist. Die Daten der Wandler sind zu dokumentieren.

4.2.2. Richtige Stromrichtung

Es ist eine Messung zur Überprüfung der primär- und sekundärseitigen Stromrichtung durchzuführen.

Die Art der Messung und das Ergebnis sind zu dokumentieren.

Die Richtungsdefinition für den Strom ist zu dokumentieren. Für dieses Papier gilt das Verbraucher-zählpfeilsystem .

4.2.3. Verdrahtungsprüfung

Geprüft wird der richtige Anschluss der Prüfeinrichtung.

Es werden drei unterschiedliche Spannungen ausgegeben

$$\text{(z.B. } U_{L1E} = 0,95 \frac{U_n}{\sqrt{3}}, U_{L2E} = 1,00 \frac{U_n}{\sqrt{3}}, U_{L3E} = 1,05 \frac{U_n}{\sqrt{3}} \text{)}.$$

Die Werte werden an der Schutzeinrichtung abgelesen.

Es werden drei unterschiedliche Ströme ausgegeben

$$\text{(z.B. } I_{L1} = 0,45I_n, I_{L2} = 0,5I_n, I_{L3} = 0,55I_n \text{)}.$$

Die Werte werden an der Schutzeinrichtung abgelesen.

4.2.4. Auswertung der korrekten Spannung

Wenn die Leiter-Leiter-Spannungen ausgewertet werden, sollte sichergestellt werden, dass keine Auslösung des Unter- und Überspannungsschutzes bei einem Erdschluss erfolgt.

- Es werden die Spannungen bei einem Erdschluss in R ausgegeben
($\underline{U}_{L1E} = 0,0U_n$, $\underline{U}_{L2E} = 1,0U_n \exp(-j150^\circ)$, $\underline{U}_{L3E} = 1,0U_n \exp(j150^\circ)$)
- Es werden die Ströme ausgegeben, die einem Strom im Mitsystem $\underline{I}_1 = 0,5I_n \exp(-j135^\circ)$ entsprechen (Abgabe Wirkleistung und Aufnahme induktive Blindleistung). Der Betrag muss deutlich größer als der Ansprechwert des Stromes sein.
- Weder der Unter- noch der Überspannungsschutz dürfen auslösen.

4.2.5. Blindleistungsrichtung

Es wird die Richtigkeit der Leistungsrichtung ermittelt.

Es werden die Spannungen ausgegeben, die einer Spannung im Mitsystem von $\underline{U}_1 = \frac{U_n}{\sqrt{3}}$ entsprechen.

Es werden die Ströme ausgegeben, die einem Strom im Mitsystem von $\underline{I}_1 = 0,5I_n \exp(+j135^\circ)$ entsprechen (Abgabe Wirkleistung und induktive Blindleistung).

Die Werte werden an der Schutzeinrichtung abgelesen und dokumentiert.

Das richtige Vorzeichen ist zu überprüfen.

4.2.6. Prüfung U>>

Wie im Abschnitt EZE, evtl. mit Wirkstromausgabe zur Freigabe

4.2.7. Prüfung U>

Wie im Abschnitt EZE, evtl. mit Wirkstromausgabe zur Freigabe

4.2.8. Prüfung $U<$

Wie im Abschnitt EZE, evtl. mit Wirkstromausgabe zur Freigabe

4.2.9. Prüfung $U<<$

Wie im Abschnitt EZE, evtl. mit Wirkstromausgabe zur Freigabe

4.2.10. Prüfung $f>$

Wie im Abschnitt EZE

4.2.11. Prüfung $f<$

Wie im Abschnitt EZE

4.3. Blindleistungsunterspannungsschutz

Um bei einem systemkritischen Fehlerfall im Stromnetz mit Spannungseinbruch den entstehenden Spannungstrichter nicht zu verstärken, haben Netzbetreiber (NB) in ihren Netzanschlussvorschriften für Erzeugungsanlagen (EZA) den Systemschutz um den Blindleistungsunterspannungsschutz ($Q \rightarrow U<$) erweitert. Die zugrunde zu legenden Anforderungen sind im TransmissionCode 2007 (Kapitel 3.3.13.5, (6)), in der BDEW Mittelspannungsrichtlinie 2008 (Kapitel 3.2.3) sowie im FNN-Lastenheft aufgeführt.

4.3.1.1. Auslösekriterien

Die Kriterien, die zur Auslösung des Blindleistungsunterspannungsschutzes führen sollen, werden an dieser Stelle zusammengefasst:

- Unterschreitung von 85 % durch alle drei Phasen der Bezugsspannung U_c (UND-Verknüpfung der Messglieder)
- Bei Blindleistungsbezug durch die EZA (Mitsystem zugrunde gelegt)
- Gewährung einer Blindleistungsschwelle (vgl. Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**)
- Verzögerungszeit (MS): 500 ms am NAP
- Verzögerungszeit (HS/Hös): 500 ms an den EZE bzw. 1500 ms am NAP

Der Blindleistungsunterspannungsschutz darf nur auslösen, wenn alle hier aufgeführten Kriterien erfüllt sind. Aus diesem Grund sind diese Kriterien logisch „UND“ zu verknüpfen. Eine graphische Darstellung ist in Bild 3 „Prinzipskizze der Blindleistungsunterspannungsfunktion“, FNN Lastenheft 2010 zu finden.

Die Auslöseschwellen von Spannung, Verzögerungszeit und der Blindleistungsschwelle stellen Standardwerte dar. Im FNN Lastenheft 2010 sind zulässige Abweichungen aufgeführt.

4.3.1.2. Anforderungen an die Messwandler

Es müssen Spannungswandler installiert werden, falls keine vorhanden sind. Die Wandlerkerne für die Energiezählung dürfen nicht verwendet werden.

Bei den Stromwandlern können die Schutzstromwandler verwendet werden, Messstromwandler wären allerdings besser. Grundsätzlich muss auf die Genauigkeit geachtet werden. Oft haben die Schutzstromwandler bei niedrigen Strömen ($< 0,1 I_N$) keine Angaben oder in den Datenblätter eine geringere Genauigkeit angegeben. Um das Verfahren zu vereinfachen, wird angenommen, dass der Wandler im dem Strombereich zwischen 0 bis $0,1 I_N$, die gleichen Genauigkeiten hat wie bei Nennstrom.

Sind die Stromwandler überdimensioniert gegenüber dem Nennstrom der EZA, entstehen hier zusätzliche Probleme bei der Genauigkeit.

Anforderungen an den Messwandler

Für die Realisierung der Blindleistungs-Unterspannungsfunktion ist der Anschluss an die üblicherweise verwendeten Stromwandlerkerne (5P, 10P) und Spannungswandler der Klasse 1 ausreichend. Sofern die Q-U-Funktion in einem gesonderten Gerät ausgeführt wird, ist der Anschluss an Stromwandlermesskerne zulässig. Bei Anschluss an linearisierte Stromwandler ist eine Korrektur des Winkelfehlers vorzunehmen. Weitere Fehler von Messwandlern werden nicht berücksichtigt. Die geforderte Messgenauigkeit des Q/U-Schutzrelais beträgt:

Strom: $\pm 2\%$ von I_N

Rückfallverhältnis für Strom: 0,95

Spannung: $\pm 1\%$ von U_N

Rückfallverhältnis für Spannung: 0,98 bzw. 1,02

Leistung: $\pm 5\%$ bei S_N und $\pm 20\%$ im angegebenen Einstellbereich

Lastwinkel $\pm 2^\circ$

4.3.1.3. Weitere Anforderungen gem. FNN-Lastenheft 2010

- Bei Ausfall der Messspannung (Spannungswandlerautomat) soll die Q-U-Funktion blockiert werden und eine Warnmeldung abgesetzt werden.
- Die Auslösung der Q-U-Funktion muss frei rangierbar auf Binärausgänge und LED sein.
- Für Prüfzwecke muss es möglich sein, die Q-U-Funktion über Binäreingang blockieren zu können.
- Die Q-U-Funktion sollte bei Auftreten eines Rush-Stromes nicht fehlauslösen.

4.3.2. Auslegung

Der eingesetzte Q→&U< sollte eine Typenprüfung (Zertifikat) aufweisen oder eine Vermessung nach Anhang D FGW TR3 Rev. 22 /6/. Auf jeden Fall muss ein Inbetriebnahmeprotokoll mit Schutzauslösung des Leistungsschalters vorgelegt werden.

4.3.3. Einbauort

Der $Q \rightarrow \&U <$ ist am Netzanschlusspunkt zu installieren. In Absprache mit dem Netzbetreiber (NB) kann auch ein anderer Ort gewählt werden. Ein Einbau auf der Niederspannungsseite ist ausgeschlossen.

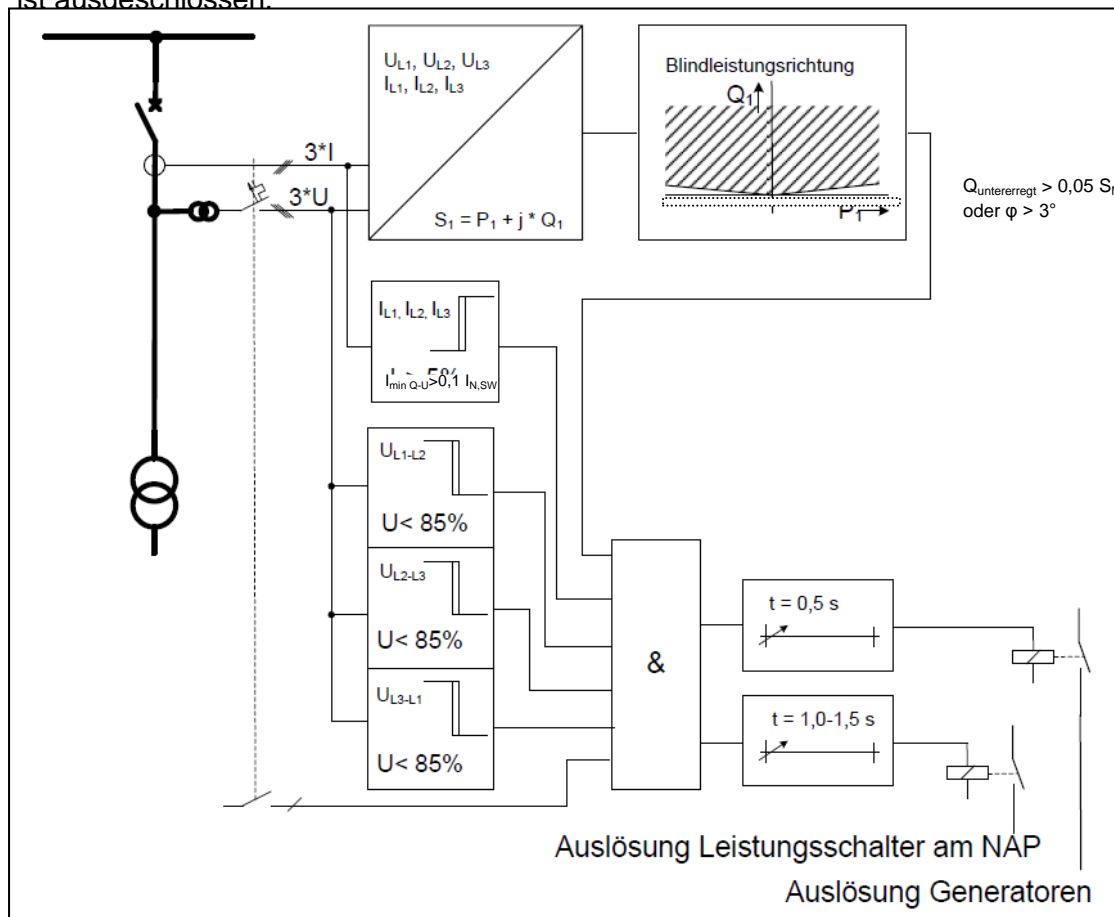


Bild 1: Blockschaltbild für den Blindleistungsunterspannungsschutz ($Q \rightarrow \&U <$)

4.3.4. Empfindlichkeit

Insbesondere beim Leerlauf der EZA sollte es nicht zu einer ungewollten Auslösung kommen. Um eine Überfunktion der Blindleistungserkennung zu verhindern, werden folgende zwei tolerierte Kriterien eingeführt:

- 1.) Freigabestrom $I_{\min Q-U}$ (FNN: 10% des sekundären Wandlerbemessungsstromes ($0,1 \cdot I_{N, SW}$), jedoch maximal 15% der auf den Strom umgerechneten vereinbarten Netzanschlussleistung der EZA ($0,15 \cdot I_{N, EZA}$)). Die Ansprechschwelle vom Relais des $Q \rightarrow \&U <$ Schutzes sollte einstellbar sein zwischen $0,02 - 0,2 \cdot I_{N, SW}$ (vgl. Bild 1, FNN-Lastenheft 2010 „Variante 1“)
- 2.) Option 1: Neigung φ der Kennlinie. Der Winkel φ sollte zwischen 0° bis 6° einstellbar sein. **Der Einstellwinkel φ für die Auslösung darf aber maximal 3° betragen.** (vgl. Bild 2, FNN-Lastenheft 2010 „Variante 2“)

- 3.) Option 2: Einstellung auf die Blindleistungsansprehschwelle untererregt mit Leistungsrichtungserfassung zwischen **0 und 0,05 S_N** beim Q/U-Schutz ist tolerierbar. Wobei S_N die Scheinleistung der gesamten EZA ist (Altanlagen mit und ohne SDL Fähigkeit).

4.3.5. Zeitliche Auslösung

Das Relais des Q→&U< sollte mit zwei Zeitgliedern ausgeführt werden. Bei Ansprechen des ersten Zeitgliedes T₁ wird ein Auslösebefehl für die Entkupplung an die EZE erteilt. Falls diese nicht reagieren, wird nach einer zweiten Zeitstufe T₂ die gesamte EZA vom Netz getrennt.

Bei einem Anschluss in der MS wird in der Regel nur ein Auslösebefehl auf den Übergabeleistungsschalter am NAP erteilt. Eine Wirkverbindung zu den einzelnen EZE ist nicht nötig.

Bei rund 30% der Altanlagen existiert kein Kommunikationskabel zum NAP. Somit wird die Auslösung zum Zeitpunkt T₁ auf die EZE schwierig. Einige der EZE-Hersteller können aus verschiedenen Gründen keine T₁-Auslösung an der EZE anbieten. Hier sind dann folgende Alternativen vorzuschlagen:

- a) Die T₁-Auslösung wirkt auch auf den Leistungsschalter am NAP. Hier entfällt die gestufte Auslösung.
- b) Auslösung zum Zeitpunkt T₁ durch einen zweiten Q→&U< direkt an der EZE (Einbau auf der NS- oder MS-seitig). Bei dieser Variante T₂-Auslösung wie gehabt auf den NAP durch das Relais des ersten Q→&U<. Nachteil 1: Die Spannung kann an der EZE abweichend zum NAP sein. Nachteil 2: Mehrkosten durch zusätzliche Relais an den EZE, allerdings günstiger, als Kabel zu verlegen.

T₁ und T₂ sollten einstellbar sein zwischen 0,1 bis 2,0 s.

4.3.6. Unabhängige Spannungsversorgung

Der Q→&U< sollte über die Gleichspannungsversorgung der Schaltanlage gepuffert werden, damit er während eines Spannungseinbruches ordnungsgemäß funktionieren kann. Die Pufferung sollte mindestens eine Zeit von 1 min überbrücken. Hilfreich sind zwei unabhängige Akkusysteme, damit bei Ausfall eines Akkus eine Meldung per SMS oder Signallampe abgegeben werden kann. Bei Ausfall des gesamten Systems wird auf eine Auslösung des Leistungsschalters verzichtet. Es muss mindestens eine Meldung angezeigt werden, damit innerhalb der nächsten Routine-Wartung der Station ein Wechsel des defekten Akkus erfolgen kann.

Die Gleichspannungsversorgung sollte ausreichend Energie haben, um den Schutz aufrecht zu erhalten, bei Bedarf den Leistungsschalter auszulösen und evtl. eine Meldung absetzen zu können.

4.3.7. Prüfklemmleiste

Vor Inbetriebnahme sollte der Q→&U< geprüft werden mit Auslösung des Leistungsschalters. Für die Abnahme wird ein aktuelles Prüfprotokoll verlangt. Gemäß VDE 0100 muss sämtliche Schutztechnik mindestens alle 4 Jahre erneut geprüft werden.

4.3.8. Eingangssignale

- Blindleistungsbezug Q (untererregt) Toleranz φ
- Ansprechschwelle: Freigabestrom von z.B. $0,1 \cdot I_N$
- $3x U$ verkettet z.B. $< 85\%$ (alle drei Phasen). Einstellbar: 0,7 bis 0,9 von U_N
- Optional: Signalspannung liegt an (Status Messung ist OK)

Alle vier Punkte müssen logisch UND verknüpft werden bevor eine Auslösung erfolgt.

4.3.9. Ausgangssignale

- T_1 -Auslösung und T_2 -Auslösung auf EZE „Gen. Leistungsschalter“ (HS/HöS) bzw. am NAP (MS), Auslösung innerhalb von 100 ms.
- T_2 -Auslösung auf den Leistungsschalter am NAP/Übergabestation (HS/HöS).
- Das Rückfallverhältnis bezüglich der dreiphasig abgesenkten Spannung (Verhältnis von Rückfallwert ($U_{rück}$) zum Ansprechwert (U_{an})) sollte den Wert von 1,02 nicht überschreiten (Bsp.: Wenn $U_{an}=0,85 U_N$, dann $U_{rück}=0,87 U_N$).
Anmerkung zur Wiedereinschaltung der EZA: Die Wiedereinschaltung ist nur dann zulässig, wenn die Netzspannung mindestens $0,95 U_N$ beträgt.

4.3.10. Schutzprüfprotokoll

Die Funktionalität des Q->&U<-Schutzes inkl. der Auslösung des Leistungsschalters (Sekundärtechnik) ist mittels einer Schutzprüfung nachzuweisen.

Das Schutzprüfprotokoll wird vom Sachverständigen bewertet.

4.3.11. Angaben im Schutzprüfprotokoll

Das Schutzprüfprotokoll für den Q->&U<-Schutz muss mindestens die folgenden Angaben enthalten:

- Richtungsprüfung des Schutzgerätes vorgenommen Ja ; z.B. aktuelles P und Q abgelesen und somit die Drehrichtung sowie Zählpeilsystem des Schutzgerätes und Wandler überprüft, andere geeignete Maßnahmen wie Einsicht in die Pläne oder Einstellung in bereits vorhandenen Schutzrelais überprüfen und gegebenenfalls übernehmen (vgl. Beispiele in Kapitel 4.3.14)..
- Hersteller, Typ und Seriennummer des Schutzgerätes
- Einbauort (Schaltfeld- / Schaltschrankbezeichnung, auf welchen LS das Schutzrelais wirkt)
- Prüfer Name und Unterschrift
- Datum der Prüfung
- Wandlerverhältnisse U und I (Optional: inklusive Genauigkeit und Seriennr.)
- Prüfgerät Typ, Seriennr., Gültigkeit der letzten Kalibrierung
- Einstellwerte Q->&U<-Schutz (Optional: inklusive Verknüpfungslogik)

- Auslöseschwelle $U \leq 0,85 U_N$ dreiphasig UND
Auslöseschwelle $Q_{\text{untererregt}} \leq 0,05 S_N$ der EZA
alternativ kann auch ein Auslösewinkel von $\varphi \leq 3^\circ$ eingestellt werden.
- Freigabestrom $I_{\text{min Q-U}}$ (Definition siehe Abschnitt 3.2 Empfindlichkeit)
- Als Abschätzung für S_N oder für die Netzanschlussleistung der EZA kann die Summe der Nennwirkleistungen der EZE verwendet werden.
- Anzahl der Zeitglieder siehe Bild 1 (t_1 und t_2)
Auf welche Leistungsschalter welches Zeitglied auslösen wird, siehe Bild 1.
- Auslösezeiten
- Auslösung des Leistungsschalters

Die Angaben sind in einem Kurzbericht gemäß Kapitel 4.3.15 zusammenzufassen.

Für die korrekte Deutung der im Schutzprüfprotokoll eingetragenen Werte ist die Angabe des verwendeten Zählpfeilsystems einmalig zu Beginn des Schutzprüfprotokolls deutlich aufzuzeigen.

4.3.12. Durchzuführende Prüfungen

Folgende Tests sind mindestens durchzuführen (Quadranten beziehen sich auf das siehe Bild 3):

Festlegung der Leistungsrichtung

Ermittelt wird die Leistungsrichtung der Schutzeinrichtung bezogen auf die EZA und bezogen auf die Prüfung.

Festlegung der Leistungsrichtung zwischen EZA und Schutzeinrichtung

Die Leistungsrichtung der Schutzeinrichtung ist bezogen auf die EZA zu überprüfen.

Bei Anlagen die bereits in Betrieb sind ist die Leistung an der Schutzeinrichtung abzulesen. Das Ergebnis (Richtung) ist mit der realen Leistungsrichtung zu vergleichen (analog zu b.).

Wenn die vorgehensweise in i) nicht möglich ist, ist die Leistungsrichtung anders zu ermitteln und zu dokumentieren.

Die Leistungsrichtung bei der prüfung ist zu dokumentieren.

Zur Festlegung der Leistungsrichtung und des verwendeten (für die Prüfung gültigen) Zählpfeilsystems wird zu Beginn eine Leistungsabgabe in Höhe der Bemessungsleistung der Einspeisung von der Prüfeinrichtung simuliert. Die Einspeisung erfolgt über eine Sekundärprüfeinrichtung mittels auf die Sekundärseite der Wandler umgerechneten Primärgrößen. Diese Leistungsabgabe der Einspeisung soll für mindestens 20 sec simuliert werden, jedoch mindestens solange, dass eine Ablesung der Leistung am Schutzgerät möglich ist. Die ausgegebenen Größen und die gemessenen Größen des Schutzgerätes sind zu dokumentieren (P, Q).

Alle weiteren Prüfungen erfolgen mit Sekundärgrößen.

4.3.12.1. Messung der Unterspannungsfreigabe

Vorbereitung:

Die Prüfeinrichtung (Netzsimulator) speist einen Strom in das Blindleistungsunterspannungsschutzgerät ein, der einer Wirkleistungserzeugung der EZA und einem induktiven Blindleistungsbezug (wie Synchrongenerator im untererregten Betrieb) entspricht. Hierbei wird bei Nennspannung U_c ein Strom eingestellt, der $0,2 I_{nenn}$ (20% des primärseitigen Nennstromes der EZA) bei einem Phasenverschiebungswinkel $\phi = 11^\circ$ und somit $\cos(\phi) = 0,98$ (untererregt) entspricht (EZS).

[Für das Verbraucherzählpeilsystem gilt: $\phi = -169^\circ$ und somit $\cos(\phi) = -0,98$ (untererregt).]

Prüfung:

Ansprechwert $U_{LL<Q-U}$ des QU-Schutzes (dreiphasig)

Beispiel 1: Rampe

Ausgehend von $1,1 * U_{LL<QU}$ wird die Spannung in allen drei Phasen gleichzeitig in Schritten von 1% der Nennspannung und einer Stufenlänge der 1,2 fachen Auslösezeit reduziert, bis der Blindleistungsunterspannungsschutz auslöst. Der Wert für die Unterspannungsfreigabe ergibt sich aus dem Wert, bei dem das Blindleistungsunterspannungsschutzgerät auslöst.

Kein Ansprechen $U_{LL<QU}$ des QU-Schutzes - Verifikation der Eingänge des UND- Gatters durch Gegenprobe

Die richtige Funktionsweise der UND-Verknüpfung bei der Unterspannungsfreigabe muss sichergestellt sein. Dies kann Schussprüfungen realisiert werden, wobei eine der 3 Phasen das Unterspannungskriterium nicht erfüllt.

4.3.12.2. Ermittlung der Freigabeschwelle des Stromes I_{min} (bei Variante II optional)

Der Einstellwert der Freigabeschwelle des Stromes I_{min} wird mit einer Messung verifiziert. Hierzu wird der Strom in allen drei Phasen von 0A (Symmetrische Phasenlage) schrittweise um 0,05 fache des Freigabestromes erhöht, bis der Blindleistungsunterspannungsschutz auslöst. Die Stufenlänge soll dabei 1,2 mal die Auslösezeit betragen.

4.3.12.3. Messung der Auslösezeiten

Die Auslösezeiten zum Netzanschlusspunkt und zum Einspeisepunkt werden anhand zweier Prüfpunkte verifiziert. Die Prüfpunkte müssen so gewählt werden, dass der Blindleistungsunterspannungsschutz zur Auslösung kommt. Die Auslösezeiten zum Netzanschlusspunkt und zum Einspeisepunkt sind getrennt zu messen.

4.3.12.4. Blindleistungsflussrichtung

Die Blindleistungsflussrichtung muss mit 2 Prüfpunkten verifiziert werden. Gemäß der Konvention des Zählpfeilsystems, dass in der Prüfung im vorherigen Abschnitt bereits geklärt ist, muss die Blindleistungsflussrichtung noch verifiziert werden. Hierzu sind 2 Prüfpunkte zu verwenden, deren Blindleistung unterschiedliche Vorzeichen besitzen. Der Richtungsentscheid ist dann mit der Auslösung des Blindleistungsunterspannungsschutzes bzw. dadurch gekennzeichnet, dass es zu keiner Auslösung kommt.

Verifikation der Auslösekennlinie (Variante I)

Die Auslösekennlinie von Variante I ist in Bild 4 dargestellt. Die Kennlinie ist kann durch die Messung des Lastwinkels ϕ an 4 Punkten verifiziert werden.

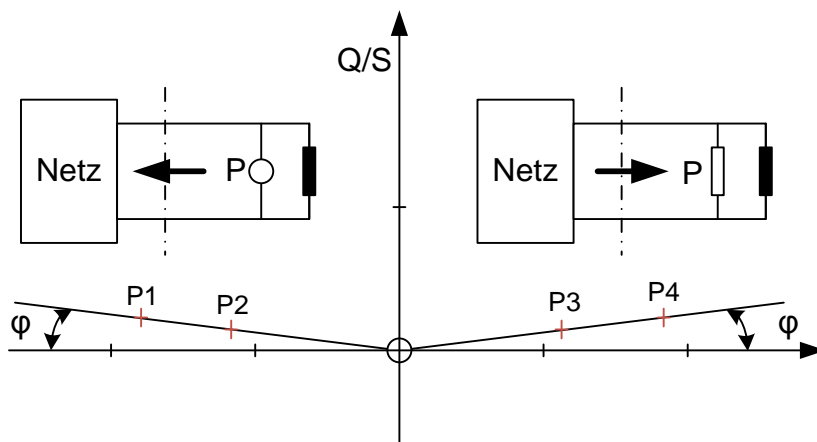


Bild 4: Auslösekennlinie Variante I

Die 4 Messpunkte für den Lastwinkel sind in Bild 4 dargestellt. Wichtig ist, dass die Punkte P1 und P2 bei negativer Wirkleistung und die Punkte P3 und P4 bei positiver Wirkleistung liegen.

Verifikation der Auslösekennlinie (Variante II)

Die Auslösekennlinie von Variante II ist in Bild 5 dargestellt. Die Kennlinie kann durch die Messung an 4 Punkten verifiziert werden.

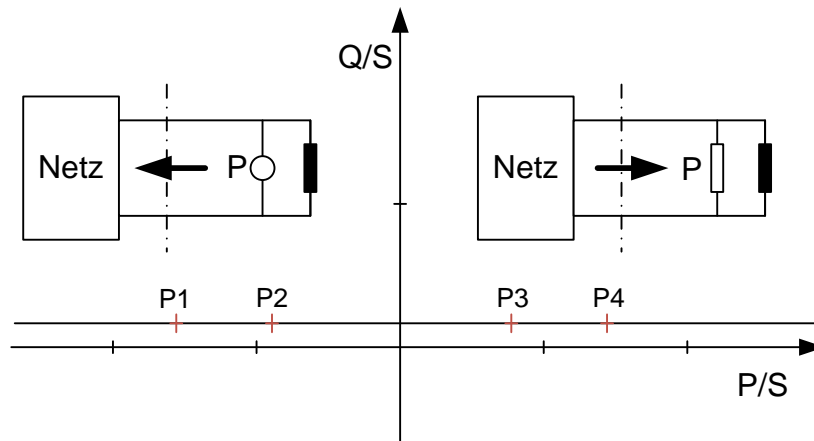


Bild 5: Auslösekennlinie Variante II

Wichtig ist, dass die Punkte P1 und P2 bei negativer Wirkleistung und die Punkte P3 und P4 bei positiver Wirkleistung liegen.

4.3.12.5. Rückfall der Logik

Wenn der Blindleistungsunterspannungsschutz unter zu Hilfenahme der programmierbaren Logik der Schutzgeräte nachgebildet wurde, muss der Rückfall der Logik Bausteine überprüft werden.

Zur Prüfung sind drei Prüfpunkte notwendig:

Prüfschuss mit der Dauer 0,5 mal der kürzesten Auslösezeit

Prüfschuss mit der Dauer 0,8 mal der kürzesten Auslösezeit

Prüfschuss mit der Dauer 1,2 mal der kürzesten Auslösezeit

Zwischen jedem dieser drei Prüfschüsse muss ein Pause von 150ms eingefügt werden. Die Prüfung ist durch die Messung der Auslösung bzw. durch das Nichtauslösen des Schutzgerätes zu verifizieren.

4.3.12.6. Dokumentation

4.3.12.7. Die Auslösepegel der Spannung und des Blindstromes sowie die Auslösezeit und die Variante sind gemäß Kurzbericht (Abschnitt 10) darzustellen.

4.3.12.8. Falls mit dem gleichen Relais zusätzliche Schutzfunktionen realisiert und angepasst werden, sind diese ebenfalls nach den anerkannten Regeln der Technik zu prüfen und in ein Schutzprüfprotokoll einzutragen.

4.3.13. Sonstiges

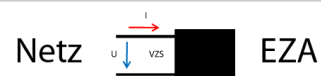
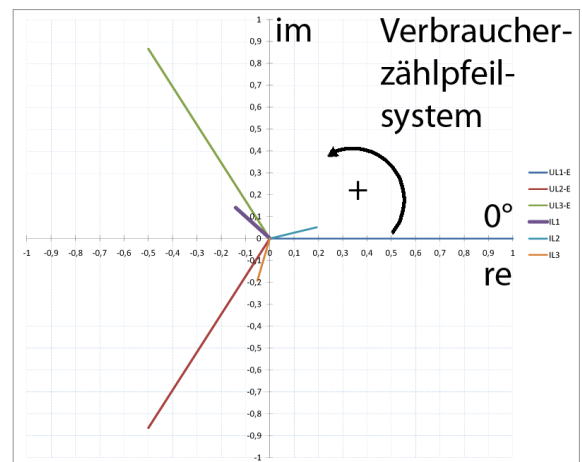
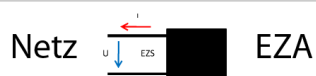
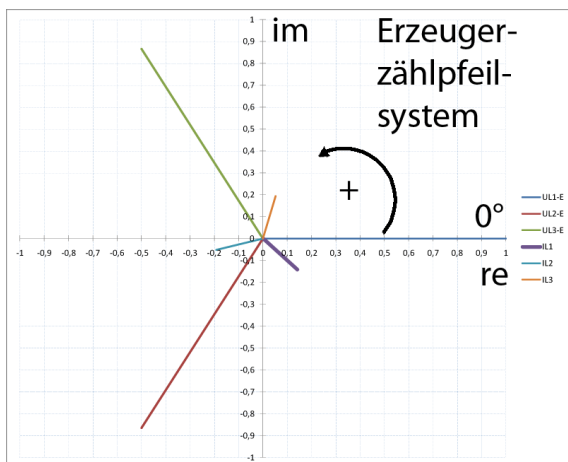
Weitere Punkte sind Signalisierung, Meldung, Speicherung der Events und die Rückfallverhältnisse.

Für den Entkupplungsschutz (Spannung und Frequenz) ist eine Erweiterung dieses Papiers in Arbeit.

4.3.14. Hinweise

Für die Festlegung der Flussrichtung hat der Schutzprüfer die Flussrichtung gemäß nachfolgenden Beispielen für die Schutzprüfung zu ermitteln und kenntlich zu machen.

Beispiel: übererregter Betrieb der EZA im Erzeugerzählpfeilsystem (EZS) und im Verbraucherzählpfeilsystem (VZS).



- Der Phasenverschiebungswinkel φ ist gemäß DIN 40110 definiert zu $\varphi = \varphi_u - \varphi_i$, wobei die letzteren beiden Winkel die Nullphasenwinkel von Spannung und Strom darstellen.
- Ein positiver Phasenverschiebungswinkel bezeichnet somit
 - im EZS: übererregten Betrieb
 - im VZS: untererregten Betrieb

4.3.15. Kurzbericht

Kurzbericht Q_→&U<-Schutz-Prüfung

Anlagen und Gerätedaten

Einbauort

Anlage: _____

Abzweig: _____

Prüfsystem

Hersteller: _____

Typ: _____

Ser.No.: _____

Schutzgerät

Hersteller: _____

Typ: _____

Ser.Nr.: _____

Wandlergrößen

U_{primär}: _____

U_{sekundär}: _____

I_{primär}: _____

I_{sekundär}: _____

Anlagendaten

Vertraglich vereinbarte Einspeiseleistung der EZA: _____

Vertraglich vereinbarte Spannung am NAP: _____

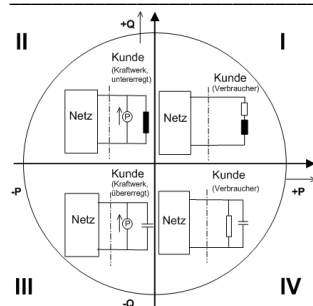
Ergebnis der Prüfung (PRIMÄRGRÖSSEN)

Auslöseschwelle der Spannung: _____

Auslösung erfolgt bei symmetrischen / unsymmetrischen Spannungseinbrüchen.
(zutreffendes bitte ankreuzen)

Auslösezeit bei Schutzanregung: _____

Auslösepegel des Blindstromes Variante 1: Aufnahmewinkel _____° oder Variante 2 Blindleistungsschwelle _____% von P_{n EZA}



Wird das Verbraucherschlupfpeilsystem angewendet (vgl. nebenstehende Darstellung), ist eine Auslösung des Schutzgerätes in den Quadranten

I II III IV möglich. (zutreffendes bitte ankreuzen)

Der Übergabeleistungsschalter _____ der EZA schaltet ordnungsgemäß bei Anregung durch das Schutzgerät.
(zutreffendes bitte ankreuzen, Schalterbezeichnung bitte eintragen)

Das Ergebnis der Prüfung stimmt mit den Vorgaben des Netzbetreibers überein.

Prüfer (Name in Druckbuchstaben): _____

Ort, Datum: _____ Unterschrift: _____

5. Allgemein Rückfallverhältnis

Das Rückfallen einer Schutzfunktion kann nur indirekt überprüft werden, wenn die Anregung der Schutzfunktion nicht gemessen werden kann. Dies ist bei Erzeugungseinheiten häufig der Fall. Die angegebenen Prüfungen des Rückfallens und des Rückfallverhältnisses des Unter- und Überspannungsschutzes setzen deshalb keine messbare Anregung voraus.

Die Prüfung ist nur sinnvoll,

- wenn die Funktion auch sicher anregt und
- wenn mit der eingestellten Verzögerungszeit, der Rückfallzeit und der Ansprechzeit der Schutzeinrichtung ein Rückfallen ohne AUS-Kommando möglich ist.

Beispiel 1: Unterspannungsschutz mit $U_{<} = 0,8 U_n$, $t(U_{<}) = 1,0$ s und einem Rückfallverhältnis $f_R \leq 1,02$:

- Die Prüfung erfolgte mit einem Spannungssprung in den sicheren Auslösebereich (z.B. $U = 0,7 U_n$).
Anmerkung: Ein Wert von $U = 0,78 U_n$ ist nicht sinnvoll, da keine sichere Anregung gewährleistet ist.
- Die Spannung springt vor dem Ablauf der Verzögerungszeit (z.B. $t = 950$ ms) auf den 1,02-fachen Einstellwert.
Anmerkung: Der Wert von $U = 0,82 U_n$ ($U = 0,816 U_n$) dient zum Nachweis des Rückfallverhältnisses $f_R \leq 1,02$.
- Anforderung: Es darf keine Auslösung erfolgen.

Beispiel 2: Überspannungsschutz mit $U_{>} = 1,1 U_n$, $t(U_{>}) = 0,05$ s und einem Rückfallverhältnis $f_R \leq 0,98$:

- Es wird angenommen das die Schutzeinrichtung folgende Werte hat:
 - Ansprechzeit: $t_A(U_{>}) = 30-50$ ms
 - Rückfallzeit: $t_R(U_{>}) = 30-50$ ms
- Eine Prüfung des Rückfallverhältnisses ist dann nicht möglich.

6. Referenzen und Literatur

- /1/ Richtlinie für Anschluss und Parallelbetrieb von Erzeugungsanlagen am Mittelspannungsnetz BDEW Ausgabe Juni 2008 inklusive der Ergänzungen 1 bis 3.
- /2/ TransmissionCode 2007, Netz- und Systemregeln der deutschen Übertragungsnetzbetreiber, Version 1.1, August 2007, Verband der Netzbetreiber – VDN – e.V. beim VDEW siehe Kap. 3.3.13.5 (6)
- /3/ Verordnung zu Systemdienstleistungen (Systemdienstleistungsverordnung – SDLWindV) zum EEG 2009, 3. Juli 2009 inklusive zuletzt angepasst am 13.04.2011
- /4/ FGW Technische Richtlinie TR8 Zertifizierung der Elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten und -anlagen am Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetz, Rev. 05
- /5/ VDE/FNN Lastenheft Blindleistungsrichtungs-Unterspannungsschutz (Q-U-Schutz) vom 2010-02
- /6/ FGW Technische Richtlinie TR3 Bestimmung der Elektrischen Eigenschaften von Erzeugungseinheiten am Mittel-, Hoch- und Höchstspannungsnetz, Revision 22

M.O.E. (Moeller Operating Engineering GmbH)
Fraunhoferstraße 3
D-25524 Itzehoe
Germany

Tel. +49 4821 40 636 0

Email: info@moe-service.com

www.moe-service.com