

Elektrische Netzschutztechnik an Windenergieanlagen

Electrical Grid Protection at Wind Turbines

Klosse, Rainer; Santjer, Fritz; Gerdes, Gerhard J.: DEWI

Summary

High requirements for selectivity, speed, sensitivity and reliability are demanded for electrical grid protection. From October 1998 on the measurements of grid protection will be included in the new revision No. 12 [1] of the German guideline for power quality measurements at wind turbines. According to [1] the behaviour of wind turbines will be tested when grid voltage or frequency decrease or drop below a limit. For particular grid protections special test algorithms will be used. The electrical values voltage and frequency are simulated by a hardware grid simulator. The results are given by the measured release levels and switching times and are added to the „Excerpt of the test report“ of power quality.

An die Schutztechnik in der elektrischen Energieversorgung werden hohe Anforderungen an Selektivität, Schnelligkeit, Empfindlichkeit und Zuverlässigkeit gestellt. Da die Windenergienutzung in vielen Regionen mittlerweile einen erheblichen Anteil an der lokalen Energieversorgung aufweist, ist für Windenergieanlagen eine funktionierende Schutztechnik selbstverständlich. Ab Oktober wird deshalb die Prüfung des Netzschutzes von WEA in die zukünftige „Richtlinie zur Bewertung der elektrischen Eigenschaften einer WEA“ Rev. 12 [1] integriert. Nur akkreditierte und unabhängige Institute wie z.B. das DEWI sind autorisiert, Zertifikate wie den „Auszug aus dem Prüfbericht“ zu erstellen. Ziel der Einführung der Netzschutzmessung ist es, im Sinne einer Typenprüfung die korrekte Einstellung und Funktion der Schutzmechanismen einer WEA zu zeigen. Das für den Anschluß zuständige Energieversorgungsunternehmen kann bei geprüften Anlagen auf entsprechende Eigenmessungen verzichten.

1. Erweiterung der Länderrichtlinie um die Netzschutzmessung

Ab Oktober 98 tritt eine neu überarbeitete „Richtlinie zur Bewertung der elektrischen Eigenschaften einer WEA“ [1] in Kraft. Diese neue Richtlinie wird unter anderem um den Bereich Netzschutzmessung an WEA erweitert. Es werden zum einen die Zeiten ermittelt, die eine WEA von Beginn eines Netzfehlers bis zum Auslösen der Kontakte seiner Abschalteneinheit braucht. Zum anderen werden die Schaltschwellen ermittelt, bei denen die WEA ausschaltet. Hierbei werden die folgenden Größen untersucht:

- Spannungssteigerung
- Spannungsrückgang
- Frequenzsteigerung
- Frequenzrückgang
- ggf. Automatische Wiedereinschaltung (AWE)

Die Ergebnisse werden in dem „Auszug aus dem Prüfbericht“, in dem auch alle anderen wesentlichen Netzverträglichkeitsdaten zusammengefaßt sind, eingetragen.

2. Durchführung der Netzschutzprüfung

Um eine Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen WEA zu erreichen, werden die Sollwerte der Schaltschwellen in der Steuerung der Windenergieanlage auf vorgegebene Werte eingestellt. An die Eingangsgrößen des Schutzorgans der WEA wird über einen genormten Prüfstecker ein dreiphasiger Netzsimulator angeschlossen, bei dem Spannungen und Frequenzen frei für jede Phase verändert werden können.

2.1 Schaltschwellen

Zur Prüfung der Auslösewerte (Scharschwellen) wird folgendermaßen vorgegangen:

Spannungssteigerung

Der Grenzwert der WEA wird auf 106 % der Nennspannung eingestellt. Ausgehend von der Nennspannung wird die Spannung treppenförmig mit einer Treppenstufenhöhe von 1 V und einer Stufen-

länge von 1 s erhöht. Die Spannung, bei der die WEA abschaltet, gibt den tatsächlichen Auslösewert. Abb. 2 verdeutlicht diesen Vorgang.

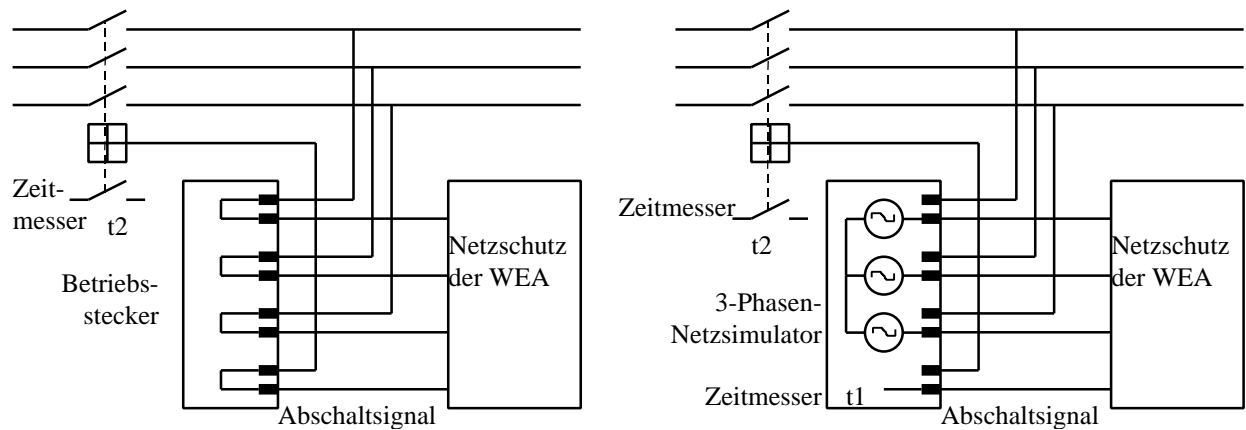


Abb. 1: Prüfbuchse der WEA für Netzschutzprüfung. Links: Überbrückungsstecker für Normalbetrieb der WEA. Rechts: Ersetzen des Überbrückungssteckers durch einen Meßstecker, an dem ein 3-Phasen-Netzsimulator und ein Zeitmesser zur Messung des Aus-Kommandos angeschlossen ist.

Fig. 1: Test plug of a wind turbine for grid protection testing. Left: Connecting plug for normal operation. Right: A test plug is fitted to the WT control, to connect a three-phase network simulator and a time counter for measurement of the duration of the cut-off-command. The network simulator generates a 3 phase, 400 V or 690 V signal with 50 Hz. Voltage and frequency can be varied with a linear decrease or increase. The reaction of the control will be tested in terms of response time and level.

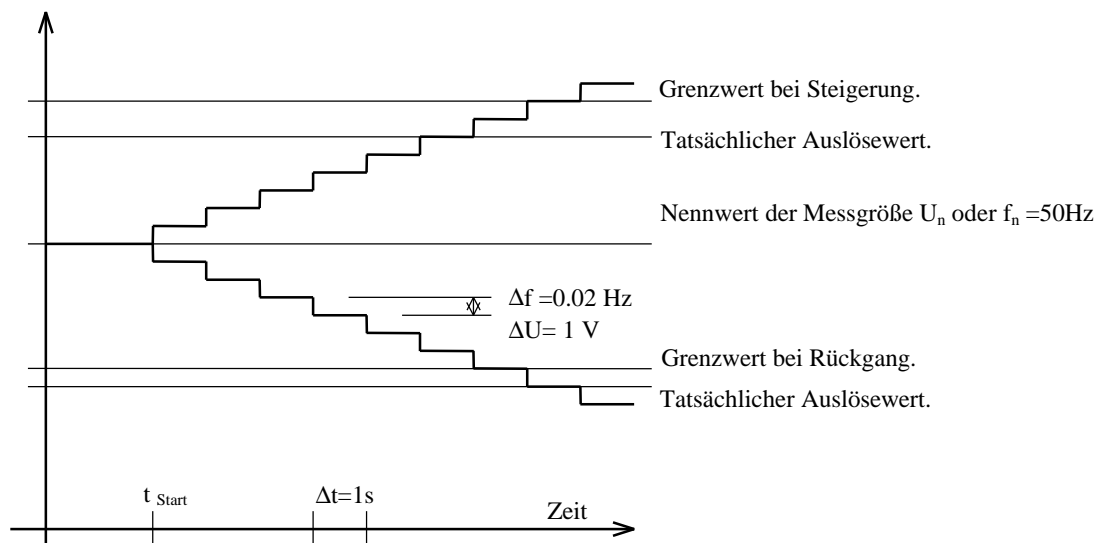


Abb. 2: Prinzip von Grenzwerten und tatsächlichen Auslösewerten.

Fig. 2: Schematic sketch showing protection limits and actual release levels. Tests are performed by applying rise-in-voltage, voltage reduction, rise-in-frequency and frequency reduction ramps.

Spannungsrückgang

Der Grenzwert der WEA wird auf 80 % der Nennspannung eingestellt. Ausgehend von der Nennspannung wird die Spannung treppenförmig mit einer Treppenhöhe von 1 V und einer Treppenlänge von 1 s abgesenkt. Die Spannung, bei der die WEA abschaltet, gibt wiederum den tatsächlichen Auslösewert.

Frequenzsteigerung

Es wird ähnlich verfahren wie bei der Spannungssteigerung, nur daß hier die Frequenz, ausgehend von 50 Hz, treppenförmig mit 0,02 Hz Treppenstufenhöhe und 1 s Treppenstufenlänge erhöht wird. Die WEA wird hierbei auf einen Sollwert von 50,5 Hz eingestellt.

Frequenzrückgang

Hier wird der Schwellwert des Netzschutzes der WEA auf 49,5 Hz eingestellt. Dann wird die Frequenz treppenförmig mit 0,02 Hz Treppenstufenhöhe und 1 s Treppenstufenlänge abgesenkt.

Die Spannungsmessungen werden für jede Phase einzeln als auch dreiphasig durchgeführt. Die Frequenzprüfungen werden nur dreiphasig ausgeführt.

2.2 Auslösezeiten

Zur Ermittlung der Auslösezeit werden alle Zeiten durch Auflegen einer sprunghaften Änderung der Eingangsgröße gemessen (siehe Prinzip in Abb. 3).

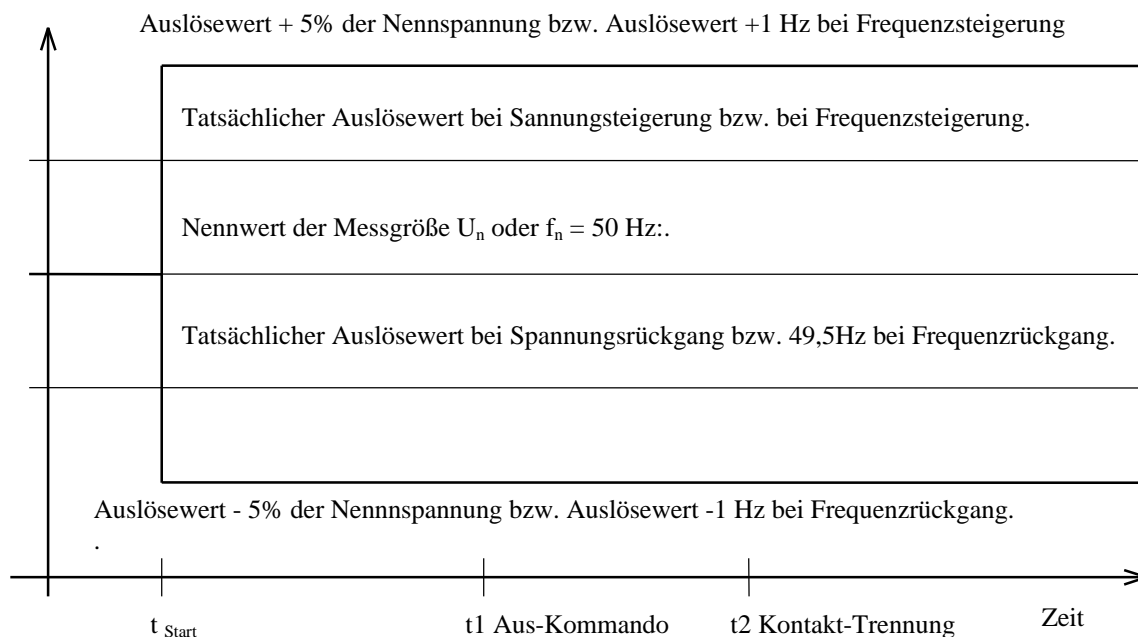


Abb. 3: Prinzip der Messung von Ausschaltzeiten.

Fig. 3: Schematic diagram showing actual release levels.

Spannungssteigerung:

Ausgehend von der Nennspannung wird die Spannung sprunghaft auf den tatsächlichen Auslösewert plus 5 % der Nennspannung erhöht. Es wird die Zeit von der Änderung der Spannung bis zum Eintreten des Auslösesignals t_1 und die Zeit bis zur Trennung der Kontakte t_2 gemessen.

Spannungsrückgang:

Hier wird die Spannung sprunghaft von Nennspannung auf den tatsächlichen Auslösewert - 5 % der Nennspannung abgesenkt und t_1 und t_2 gemessen.

Frequenzsteigerung:

Die Frequenz wird von Nennfrequenz 50 Hz sprunghaft auf den tatsächlichen Auslösewert + 1 Hz gesteigert.

Frequenzrückgang:

Hier wird die Frequenz sprunghaft von Nennfrequenz auf den tatsächlichen Auslösewert - 1Hz abgesenkt.

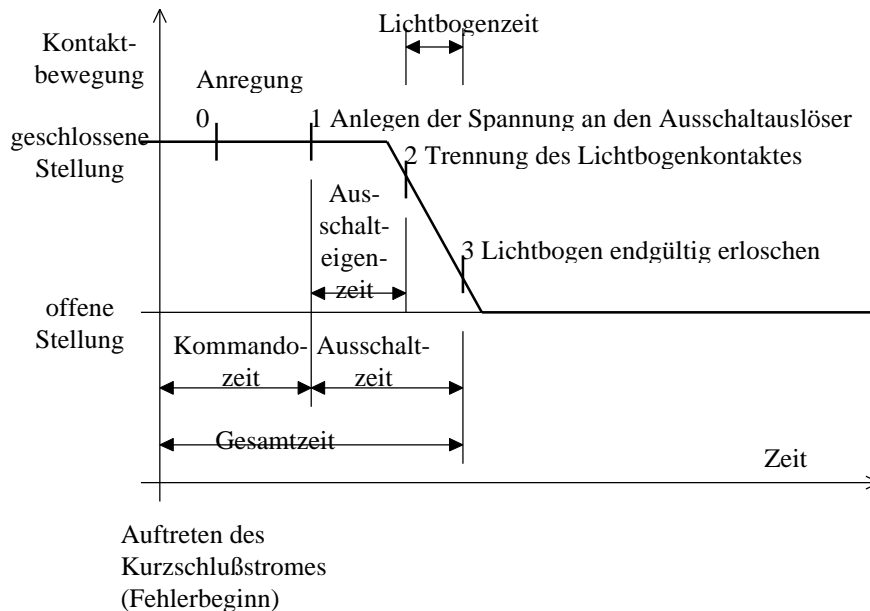
Auch diese Messungen werden sowohl für jede der drei Phasen einzeln als auch dreiphasig durchgeführt. Die Eigenzeit der Abschalteinheit kann sowohl meßtechnisch ermittelt, als auch durch ein Zertifikat des Herstellers angegeben werden.

Zusätzlich zu den vorstehenden Messungen wird die gesamte Wirkungskette der Netzschutzeinrichtung der WEA gemessen. Hierzu wird im Normalbetrieb der WEA die Frequenz- oder Spannungssollwertgrenze der WEA soweit verändert, bis die Netzschutzkette auslöst und die WEA abschaltet.

3. Zeitspannen während eines Fehlerfalles

Liegt ein elektrischer Überschlag vor, sollte der Leitungsabschnitt möglichst schnell freigeschaltet werden. Schnelle Gesamtausschaltzeiten können lebenswichtig sein, und sind darüber hinaus in den meisten Fällen erforderlich, um betroffene Betriebsmittel nicht zu zerstören. Sollte eine Fehlerstelle von mehreren Seiten gespeist werden, ist die Gesamtzeit desjenigen Leistungsschalters von Relevanz, bei dem es als letztes zum Erlöschen des Stromes kommt. Gerade bei Windparks, in denen jede einzelne WEA eine eigene Netzschutzeinrichtung hat, ist auf eine sorgfältige Einstellung zu achten.

Zeitbeschriftung nach DIN VDE 0670 Teil 101/12.92 [4,5]



Zeitbeschriftungen nach der Richtlinie zur Bewertung der elektrischen Eigenschaften einer WEA

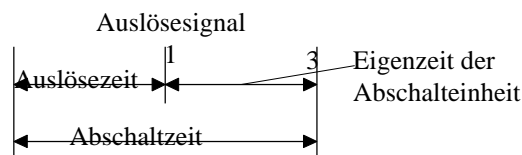


Abb. 4: Definition der Zeitpunkte und Zeitabschnitte im Vergleich.

Fig. 4: Definition of time intervals.

Die Gesamtzeit der Ausschaltung setzt sich aus verschiedenen Zeiten zusammen, die in DIN VDE 0670 Teil 101 / 12.92 [4,5] definiert sind. In Abb. 5 werden diese Bezeichnungen mit den Begriffen, wie sie in der Richtlinie [1] verwendet werden, für eine beispielhafte Ausschaltung bei einem Fehlerfall verglichen. Nach [1] genügt es, bis zur Kontakttrennung eines Hilfskontaktes der Abschalteinheit zu messen, um die Eigenzeit der Abschalteinheit zu bestimmen.

Die Gesamtzeit der Ausschaltung bis zum Ende des Fehlerstromes setzt sich zusammen aus der Kommandozeit bzw. der Auslösezeit und der Ausschaltzeit. Die Abschaltzeit ist um die Löschzeit kürzer als die Gesamtzeit, wenn anstelle einer Messung des Anlagenstromes nur ein Hilfsstrom niedriger Leistung durch die Abschalteinheit fließt, der keinen Lichtbogen verursacht.

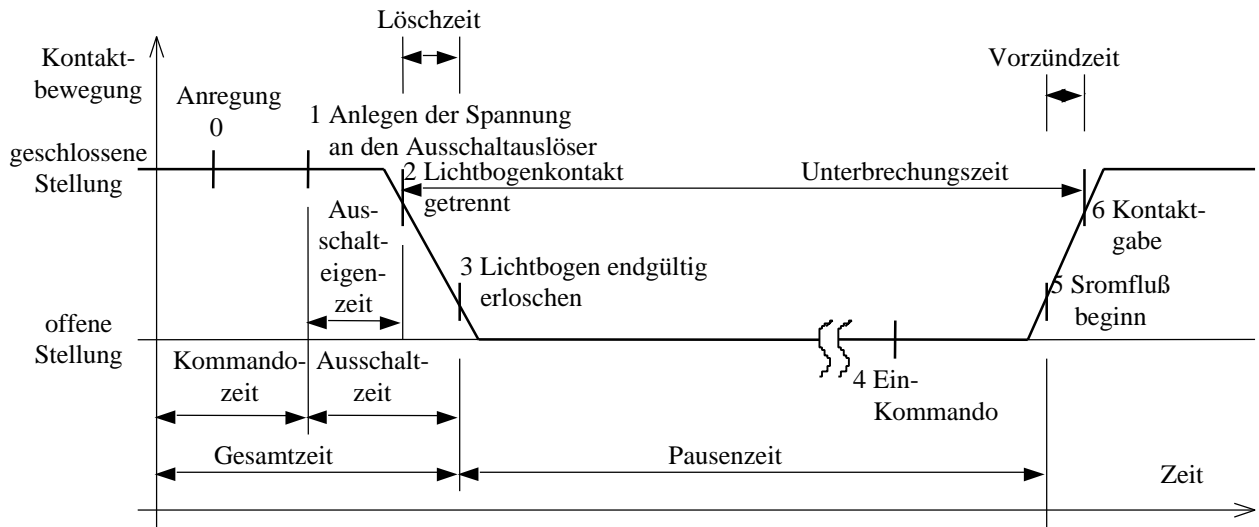
Die Kommandozeit bzw. Auslösezeit kann je nach Fehlerfall variieren, da die Meßgröße zunächst von dem Netzschutz der WEA aufbereitet und gefiltert werden muß, um sie dann auswerten zu können. Erst nach einer sicheren Erkennung des Fehlers wird ein Auslösesignal gesendet.

Anschließend kommt es dann auf die Verzögerungszeit der Abschalteinheit an. Bei Windenergieanlagen ist die Abschalteinheit in der Regel das Hauptschütz oder der Hauptschalter. Die Trennung der Kontakte zum Zeitpunkt (2) haben erst zu einem späteren Zeitpunkt (3) eine Unterbrechung des Stromes zur Folge. Dieser kann hauptsächlich aufgrund der induktiven Anteile den sich schnell vergrößernden Abstand der Kontakte überbrücken. Die Löschzeit ist sehr stark last- bzw. fehlerabhängig. Die Ermittlung der Löschzeit hat einen wesentlich größeren Meßaufwand zur Folge.

4. Automatische Wiedereinschaltung

Besondere Brisanz bekommen die Gesamtzeiten der Schutzeinheiten, wenn das EVU mit Automatischer Wiedereinschaltung (AWE), früher auch Kurzunterbrechung (KU) genannt, arbeitet. Entsteht ein Lichtbogen auf einer Freileitung, so wird eine AWE eingeleitet. Hierzu wird die Spannung in dem betreffenden Netzabschnitt zunächst abgeschaltet und nach z. B. 300 ms - 500 ms wieder durch den Leistungsschalter zugeschaltet. Liegt nach dem Wiedereinschalten der Fehler immer noch an, wird der gesamte Leitungsabschnitt endgültig vom Netz getrennt.

AWE eines Leistungsschalters seitens des EVU



Abschalt-einheit der WEA

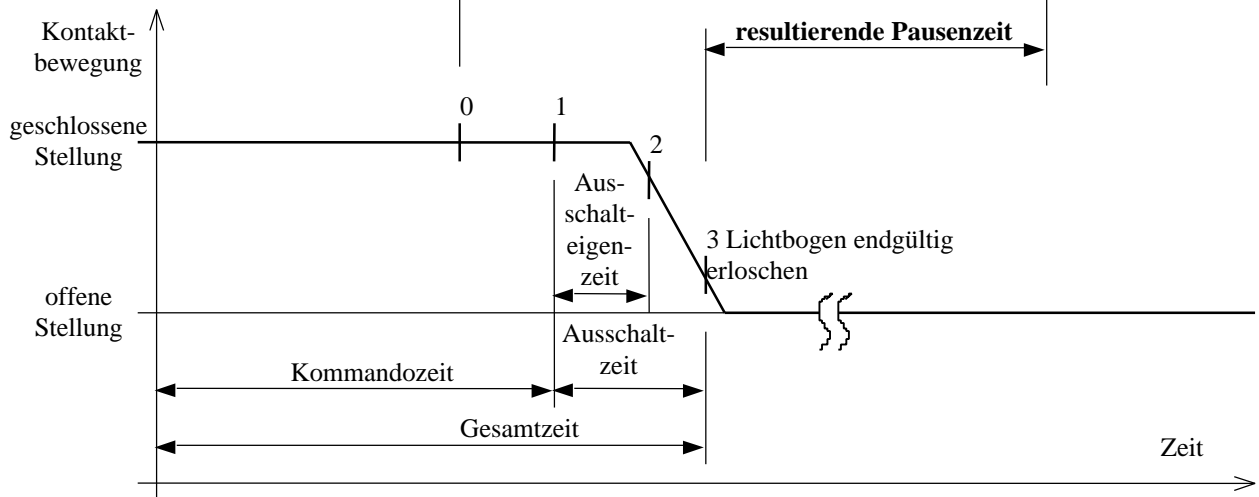


Abb. 5: Definition der Zeitpunkte und Zeitabschnitte im Laufe einer AWE
 Fig. 5: Definition of time intervals for an auto-reclosing

Allerdings reicht in den meisten Fällen die kurze Pausenzeit, in der die Spannung abgeschaltet ist dazu aus, den Lichtbogen zu entionisieren, so daß es nicht zu einem Wiederspülen an der Fehlerstelle kommt. Derartige Fehler können beispielsweise durch verschmutzte Isolatoren, verunglückte Vögel oder kleine herabfallende Äste entstehen. Bei einer erfolgreichen AWE kann der Netzbetrieb ohne Umschaltungen weiter betrieben werden. Eingesetzt werden AWE beginnend in Mittelspannungsnetzen von 10 kV bis hin zu Hoch- und Höchstspannungsnetzen.

AWE werden nahezu nur an Freileitungen betrieben, da in Kabelnetzen kaum Fehler auftreten, die sich bis zum Wiedereinschalten aufgelöst haben.

Zum Entionisieren von Überschlügen in Luft bei Mittelspannungsnetzen werden in der Regel Pausenzeiten von 300 - 500 ms eingestellt. Bei längeren Pausenzeiten ist eine Synchronisierungskontrolle notwendig, die im Mittelspannungsnetz einen zu hohen Aufwand bedeuten und daher unüblich sind.

Wenn im Extremfall davon ausgegangen wird, daß die WEA erst nach der Spannungsunterbrechung seitens des EVU einen Netzfehler erkennt, muß die WEA innerhalb kürzester Zeit vom Netz getrennt sein. In dem Beispiel in Abb. 6 verkürzt sich die Zeit, in der der Lichtbogen erloschen kann, um die Reaktions- und Ausschaltzeit der WEA. Nach einer Gesamtausschaltzeit, beginnend ab der Anregung (0)

des Netzschutzes der WEA von 200 ms, kann eine resultierende Pausenzeit von 300 ms noch erreicht werden, wenn die Pausenzeit der AWE 500 ms beträgt, siehe Abb. 6.

AWE können durch die Spannungs- oder Frequenzüberwachungen der WEA erkannt werden. Da Kurzschlüsse in der Regel eine plötzliche Veränderung der Phasenlage zwischen Strom und Spannung bewirken, werden auch Vektorsprungrelais zur Erkennung der AWE eingesetzt.

5. Zusammenfassung

Die Messung des Netzschutzes einer WEA wird ab Oktober Teil der Richtlinie[1]. Danach wird im Sinne einer Typenprüfung ermittelt, wie eine WEA auf Spannungs- bzw. Frequenzrückgang oder Steigerung reagiert. Wenn spezielle Netzfehlerrelais, z. B. Vektorsprungrelais, in einer WEA eingebaut sind, werden sie zusätzlich vermessen. Besonders hohe Anforderungen werden an den Netzschutz gestellt, wenn Netze mit AWE betrieben werden. In solchen Fällen muß eine WEA innerhalb kürzester Zeit vom Netz getrennt sein, damit an der Fehlerstelle genügend Zeit zu einer Löschung des Lichtbogens bleibt. Bei asynchroner Wiedereinschaltung eines Netzabschnittes mit einer noch nicht abgeschalteten WEA könnte es zudem zu erheblichen Schäden kommen.

Um eine Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen WEA zu erreichen, werden alle Schaltschwellen während der Vermessung auf einheitliche Werte gestellt. Im regulären Betrieb der WEA werden die Schaltschwellen dann auf das Schutzsystem des EVU abgestimmt. Ende Oktober werden auf der Deutschen Windenergie Konferenz (DEWEK '98) erste Erfahrungen mit Netzschutzmessungen vorgestellt.

6. Literaturverzeichnis

- [1] Richtlinie zur Bewertung der elektrischen Eigenschaften einer WEA, Rev. 11, 01.04.1998. Fördergesellschaft Windenergie e.V. FGW, Brunsbüttel.
 - [2] S. Müller, R. Niechziol, B. R. Oswald Inselfähigkeit von 10 kV- Mittelspannungsnetzen mit Eigenerzeugungsanlagen. DEWI- Magazin Nr. 12, Februar 1998, Seite 57-65
 - [3] Schutztechnik in elektrischen Netzen 1, Grundlagen und Ausführungsbeispiele, Elektrokolleg VDE-Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, Bismarkstraße 33, 1000 Berlin 12
 - [4] Schutztechnik in elektrischen Netzen 2, Planung und Betrieb, Elektrokolleg VDE- Verlag GmbH, Berlin und Offenbach, Bismarkstraße 33, 1000 Berlin 12
 - [5] Wechselstromschaltgeräte für Spannungen über 1 kV Hochspannungs- Wechselstrom- Leistungsschalter Allgemeines und Begriffe DIN VDE 0670 Teil 101 Dezember 1992
-