



Technische
Universität
Braunschweig



SEMINAR

STUDIENSEMINAR FÜR ELEKTRISCHE ENERGIESYSTEME

Kurzberichte

**Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische
Energieanlagen - elenia**

Wintersemester 2015/2016

Braunschweig, 11.12.2015

Inhaltsverzeichnis

Zeitplan

3

Gruppe 1 - 20.01.2016

Gellermann - Was kann eine virtuelle Synchronmaschine (VISMA)?	4
Li - Synchrongeneratoren und ihr Verhalten am Netz	5
Rakidzija - Arten und Anwendung von Sternpunktterdung	6
Kaufmann - Elsbergs "Blackout": Nur Hollywood oder mögliche Realität?	8
Grobelny - Energiemanagement in Haushalten und Industrie	10
Hankers - Erlösmöglichkeiten für die Vermarktung von PV- und Windstrom	12
Schmoll - Siliziumkarbid: Leistungshalbleiter in Theorie und Praxis	13
Cholewa - MOSFET oder IGBT: Welches ist der bessere Halbleiterschalter?	15
Rühmann - Aufbau und praktische Umsetzung von Stoßstromgeneratoren (8/20, 10/350)	17
Fitzl - Umsetzung von Blitzschutzkonzepten in Eigenheimen	19

Gruppe 2 - 02.03.2016

Gartner - Auftriebskraftwerke zur möglichen Stromversorgung von Einfamilienhäusern	22
Trevino - Protection of HVDC Grids, Challenges and Possible Solutions	24
Wang - Schalter in höheren Netzspannungsebenen	26
Schubert - Isolierstoffprüfung in der Energietechnik	27
Xu - Prüffelder in der Hochspannungstechnik	29
Busch - Lithium-Ionen-Zellen – Produktion und Forschung in Deutschland	31
Ziegler - Lithium-Ionen-Batterien – Herstellung in Deutschland	32
Wolff - Überblick von Batterieprüfvorschriften für Lithium-Ionen Batterien in Deutschland	34
Reinheimer - Sensorik zur Charakterisierung von Batteriezellen	35
Schroeder - Berührungslose Temperaturmessung unter Extrembedingungen	36

Zeitplan am 20.01.2016 im Haus der Wissenschaft (Raum Veolia)

Zeit	Typ	Referent	Thema
09:00 – 10:30	Vortrag	Eike Alexander Gellermann	Was kann eine virtuelle Synchronmaschine (VISMA)?
	Vortrag	Baiyun Li	Synchrongeneratoren und ihr Verhalten am Netz
	Vortrag	David Rakidzija	Arten und Anwendung von Sternpunktterdung
10:30 – 11:00	Gruppenbild		
11:00 – 12:30	Vortrag	Daniel Kaufmann	Elsbergs "Blackout": Nur Hollywood oder mögliche Realität?
	Vortrag	Götz-Nikolaus Grobelny	Energiemanagement in Haushalten und Industrie
	Vortrag	Robert Hankers	Erlösmöglichkeiten für die Vermarktung von PV- und Windstrom
12:30 – 13:30	Mittag		
13:30 – 14:30	Vortrag	Georg Schmoll	Siliziumkarbid: Leistungshalbleiter in Theorie und Praxis
	Vortrag	Sven Cholewa	MOSFET oder IGBT: Welches ist der bessere Halbleiterschalter?
14:30-15:00	Pause		
15:00-16:00	Vortrag	Niklas Rühmann	Aufbau und praktische Umsetzung von Stoßstromgeneratoren (8/20, 10/350)
	Vortrag	Felix Fitzl	Umsetzung von Blitzschutzkonzepten in Eigenheimen

Zeitplan am 03.02.2016 im Haus der Wissenschaft (Raum Veolia)

Zeit	Typ	Referent	Thema
09:00 – 10:30	Vortrag	Julia Gartner	Auftriebskraftwerke zur möglichen Stromversorgung von Einfamilienhäusern
	Vortrag	Fernando Yanez Trevino	Protection of HVDC Grids, Challenges and Possible Solutions
	Vortrag	Zhe Wang	Schalter in höheren Netzspannungsebenen
10:30 – 11:00	Gruppenbild		
11:00 – 12:30	Vortrag	Yannick Schubert	Isolierstoffprüfung in der Energietechnik
	Vortrag	Marvin Lee Schroeder	Berührungslose Temperaturmessung unter Extrembedingungen
	Vortrag	Jörn Busch	Lithium-Ionen-Zellen – Produktion & Forschung in Deutschland
12:30 – 13:30	Mittag		
13:30 – 14:30	Vortrag	Sven Ziegler	Lithium-Ionen-Batterien – Herstellung in Deutschland
	Vortrag	Sascha Wolff	Überblick von Batterieprüfvorschriften für Lithium-Ionen Batterien in Deutschland
14:30 – 15:00	Pause		
15:00 – 16:00	Vortrag	Uli Wobeto Reinheimer	Sensorik zur Charakterisierung von Batteriezellen
	Vortrag	Ou Xu	Prüffelder in der Hochspannungstechnik

Was kann eine virtuelle Synchronmaschine (VISMA)?

What are the abilities of a virtual synchronous machine (VISMA)?

B.Sc. Eike Gellermann

Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen - **elenia**, e.gellermann@tu-bs.de

Kurzfassung

Das von Ralf Hesse an der TU Clausthal entwickelte Konzept der Virtuellen Synchronmaschine (VISMA) wurde untersucht, um herauszustellen wie gut es eine elektromechanische Synchronmaschine tatsächlich elektrisch nachbildet und inwiefern es zu den Systemdienstleistungen Spannungsqualität und Frequenzhaltung, insbesondere im Vergleich zu herkömmlichen Wechselrichtern, beitragen kann. Die VISMA erlaubt die Netzanbindung beliebiger Gleichspannungserzeuger mittels eines gesteuerten Wechselrichters sodass diese im Netz elektrisch wie Synchrongeneratoren erscheinen. Dadurch kann die Integration von Brennstoffzellen und regenerativen Erzeugern erleichtert und die Abhängigkeit der elektrischen Energieversorgung von Synchrongeneratoren verringert werden.

Abstract

The concept of a Virtual synchronous machine (VISMA), developed by Ralf Hesse at TU Clausthal was analyzed to expose how accurately it really simulates an electromechanic synchronous machine and to what extent it can contribute to voltage and frequency quality, particularly compared to conventional inverters. The VISMA allows the connection of DC power sources to the electrical grid through a controlled inverter in order to make them electrically appear as a synchronous machine. This can simplify the integration of fuel cells and regenerative sources and reduce the dependency of grid stability on synchronous generators.

1 Einleitung

Im Zuge der Energiewende in Deutschland und dem mit ihr einkehrenden Ausbau der erneuerbaren Energien stellt sich immer mehr die Frage, wie das Stromnetz trotz des vermehrten Wegfalls von Synchrongeneratoren in großen Kraftwerken und dem steigenden Einsatz leistungselektronischer Wechselrichter zukünftig stabilisiert werden kann. Die Grundidee der VISMA ist es, einen leistungselektronischen Wechselrichter so zu steuern, dass er die elektrischen Eigenschaften eines Synchrongenerators vollständig nachbildet.

2 Was kann eine VISMA?

Wechselrichter nach dem aktuellen Stand der Technik tragen nur wenig zu den Systemdienstleistungen Frequenzhaltung und Spannungshaltung bei. Die VISMA ist ein speziell gesteuerter Wechselrichter, der durch Erfassung der Spannungsverläufe am Anschlusspunkt und Berechnung von Statorströmen einer Synchronmaschine in einem mathematischen Modell auf einem Echtzeit-Rechner alle elektrischen Eigenschaften der elektromechanischen Synchronmaschine nachbildet. Auf alle Modellparameter kann auch während des Betriebs zugegriffen werden, sodass auch Wirk- und Blindleistungsverhalten jederzeit eingestellt werden können. Besondere Anforderungen gibt es hierbei an den Zwischenkreisspeicher, der eine sehr

hohe Zyklusfestigkeit und vorzuhaltende Energiemenge aufweisen muss, sowie die Spannungsmessung und den Rechner, die schnell und ohne Phasenverzug die Werte bereitstellen bzw. das Differentialgleichungssystem lösen müssen.

Die Fähigkeiten der VISMA sind:

- Vollständige Abbildung der Eigenschaften der Synchronmaschine auf Einspeisewechselrichter
- Sämtliche Maschinenparameter online einstellbar
- Rotierende Masse vollständig nachgebildet
- Selbstorganisierender Parallelbetrieb ohne Kommunikationsverbindung
- Solidarischer Wirk- und Blindleistungsausgleich zwischen den Erzeugern
- Netzentpendelung und -dämpfung
- Oberschwingungs- und Unsymmetriekompensation
- Inselnetzbildung

Somit kann die VISMA ein wichtiger Schritt zur besseren Integration regenerativer Erzeuger in das elektrische Energieversorgungsnetz werden, ohne dass die Netzqualität unter deren steigender Anzahl abnimmt.

3 Literatur

- [1] Hesse, R.: Virtuelle Synchronmaschine. Clausthal-Zellerfeld: Papierflieger, 2007

Synchrongeneratoren und ihr Verhalten am Netz

Synchronous generators and their behavior at the grid

Baiyun Li

Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen - **elenia**, baiyun.li@tu-braunschweig.de

Kurzfassung

In diesem Bericht werden Fragen im Umfang mit Synchrongeneratoren und ihr Verhalten am Netz aufgelöst. Fragen werden erklärt: Aufbau eines Synchronerators, Realisierung von Spannungs- und Frequenzregelung für Transportbedarf ins Netz, welcher Betriebsverhalten von Synchrongenerator gibt es, wie die Stabilität von Elektroenergiesystem gesteuert wurde, etc. Ziel ist, ein Eindruck über die Funktionsweise von Synchrongeneratoren und die Verhalten von Synchroneratoren am Netz.

Abstract

In this report, questions, which are related to synchronous generators and their Behaviors in the power supply system, have been answered. It is explained, what kind of structure a synchronous generator had, how was the Voltage and frequency regulation for electronic supply requirement realized, how synchronous generators during the operation modus behaved, how to ensure the stability of the Electric power system, etc. A general understanding of how synchronous generators work and how they behave during work is the goal of this report.

1 Einleitung

Elektrische Energie ist heutzutage die höchstwertige Energieform. Für die Erzeugung von elektrischer Energie über beispielsweise Gas-, Dampf- und Wasserturbinen werden überwiegend Synchrongeneratoren eingesetzt, welche fast 100% des Erzeugungsanteiles besitzen. In Zukunft werden aber immer mehr erneuerbare Energie wie z.B. Photovoltaik als Energiequellen benutzt. Ein Photovoltaikanlage erzeugt trotzdem Gleichstrom, welche durch Wechselrichter in Wechselstrom umwandelt und so für den Eigenverbrauch oder Netzeinspeisung nutzbar ist. Zukünftig werden fast nur Wechselrichter also für Energieversorgung bestimmt. Es ist zu diskutieren, ob eine Art der Wechselrichter den Verhalten von Synchrongeneratoren nachbilden soll. Aus diesem Hintergrund wird das Thema „Synchrongeneratoren und ihr Verhalten am Netz“ als Vortrag vorzustellen.

2 Theoretische Grundlagen

Wirkungsweise der Synchrongenerator: Bei konstanter Drehzahl bleibt der magnetische Fluss zwischen Ständer und Läufer konstant und erzeugt der gleichstromerregte Läufer somit in dem Ständerwicklungssystem dreiphasig Spannungen.

$$U = jX_d \cdot I_1 + U_p \quad (1)$$

U : Netzspannung X_d : synchrone Reaktanz I_1 : Ständerstrom U_p : Polradspannung

Die Ortskurve des Ständerstromes: Das Betriebsverhalten von Synchrongeneratoren lässt sich anhand eines Ersatzschaltbildes für jeden Betriebspunkt angegeben werden. Durch die Lastwinkel β und Phasenwinkel φ können stationäre Betriebszustände bestimmt werden.

Stabilität des Synchrongenerators am starren Netz: Im stationären Betriebszustand sind mechanische und elektrische Leistung im Gleichgewicht. Die Wirkleistungserzeugung wird als Funktion von Lastwinkel dargestellt, weil der Lastwinkel β durch das mechanische Antriebsmoment und Laständerung beeinflusst wird.

3 Literatur

- [1] K. Fuest und P. Döring, Elektrische Maschinen und Antriebe, 7. Auflage
- [2] A. J. Schwab, Elektroenergiesysteme, 2. Aktualisierte Auflage

Arten und Anwendung von Sternpunktterdung

Neutral earthing in power grids

B.Sc. David Rakidzija

Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen - **elenia**, d.rakidzija@tu-bs.de

Kurzfassung

Einpolige Erd(kurz)schlüsse stellen die häufigste Fehlerursache in Energieversorgungsnetzen da. Sie führen zu unerwünschten Fehlerströmen und Spannungen, welche die Betriebsmittel belasten und die Versorgungssicherheit gefährden. Zudem besteht die Gefahr von Personenschäden. Durch die Sternpunktterdung können Fehlerströme wirkungsvoll begrenzt werden. Dadurch kann das Risiko für Betriebsmittel und Personenschäden herabgesetzt werden. Zudem erhöht sich die Versorgungssicherheit, weil Fehler nicht zu einer sofortigen Abschaltung führen müssen. Welche Art der Sternpunktterdung genutzt wird hängt von der Ausdehnung des Netzes, der Spannungsebene und der Netzkomponenten ab.

Abstract

Ground faults on one line are the most common type of faults found in power grids. They may lead to unwanted currents and voltages. High earth currents may result in personal injury while high voltages across the remaining lines pose a threat of failure due to insulation breakdown. Neutral earthing is used to prevent these kinds of risks by limiting fault currents. When neutral grounding is active, technicians are able to locate the fault while the rest of the system is still operational. The actual method used for neutral earthing depends on the dimensions of the power grid, the rated voltage and the components present in the grid.

1 Einleitung

Die Sternpunktterdung (SPE) findet Verwendung in Drehstromsystemen der Energieversorgung aller Spannungsebenen. Sie ist ein Spezialgebiet der Energietechnik und wird in den ausgedehnten Netzen der Energieversorgungsunternehmen eingesetzt. In dieser Arbeit soll darauf eingegangen werden, aus welchen technischen Gründen die Sternpunktterdung in Versorgungsnetzen überhaupt eingesetzt wird. Es soll insbesondere auf den Unterschied zwischen symmetrisch betriebenen Netzen und im Fehlerfall asymmetrisch belasteten Netzen eingegangen werden. Dazu werden die verschiedenen Fehlerfälle kurz dargestellt. Anhand eines einpoligen Fehlers wird beispielhaft aufgezeigt, wie sich die Ströme und Spannungen je nach Art der Sternpunktterdung verhalten. Durch den Vergleich mit dem symmetrischen Netz soll schließlich verdeutlicht werden, wozu die SPE nützt. Zum Schluss wird auf Basis der Beispielrechnung ein Überblick über die Vor- und Nachteile der jeweiligen Methode der Sternpunktterdung gegeben.

2 Theoretische Grundlagen

In einem symmetrisch betriebenen Netz addieren sich die Ströme der drei Phasen stets zu Null. Etwaige Strompfade (z.B. Kabelmäntel oder das Erdreich) zwischen den Sternpunkten der Transformatoren sind dann stromlos. Dadurch unterscheiden sich Drei- und Vierleitersysteme in diesem Betriebszustand nicht in ihrem Verhalten [1]. Für

drei äquivalente, einphasige Systeme überführt werden. Dadurch sinkt der Berechnungsaufwand erheblich [2]. In der Praxis treten jedoch Asymmetrien auf, beispielsweise durch Fehler im Netz. Etwa 80 sind sogenannte einpolige Erd(kurz)schlüsse. Häufig in Form von Lichtbogenkurzschlüssen [2]. Hierbei wird eine Phase auf Erdpotential gezogen. Dadurch fließt ein Strom zu den Sternpunkten zurück und es kommt zu einer Spannungsüberhöhung. Ist der Fehlerstrom zu groß, muss aus Sicherheitsgründen die Fehlerstelle (z.B. eine ganze Leitung) abgeschaltet werden. Für die theoretische Betrachtung des einpoligen Fehlers reicht eine einphasige Darstellung nicht mehr aus. Als Hilfsmittel werden die sogenannten "symmetrischen Komponenten" verwendet. Innerhalb dieser Komponentensysteme ist dann eine einpolige Rechnung möglich [3]. Für die isolierte SPE, Resonanz SPE und niederohmige SPE ergeben sich unterschiedliche Werte für die Fehlerströme und Spannungsüberhöhungen. Die Erdkapazität und Betriebsspannung haben einen großen Einfluss auf den prospektiven Fehlerstrom. Dadurch erfolgt die Auswahl der jeweiligen SPE vor allem auf Basis der Netzausdehnung und der Spannungsebene.

3 Literatur

- [1] Schwab: Elektroenergiesysteme. Springer Verlag, 2012
- [2] Heuck: Elektrische Energieversorgung. Vieweg+Teubner, 2010

[3] Oswald: Berechnung von Drehstromnetzen. View-
eg+Teubner, 2009

Elsbergs “Blackout”: Nur Hollywood oder mögliche Realität?

Elsbergs “Blackout”: Only Hollywood or possible reality?

Daniel Kaufmann

Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen - **elenia**, d.kaufmann@tu-bs.de

Kurzfassung

Die stärkere Vernetzung der Energienetze und die daraus resultierende Anfälligkeit macht diese zu einem potentiellen Ziel für Terrorangriffe. Die Folgen eines großflächigen und lang andauernden Stromausfalls werden sehr treffend beschrieben. Die Umstände, die zum Stromausfall geführt haben, sind jedoch größtenteils unrealistisch. Das Szenario der Folgen eines Stromausfalls im Buch “Blackout – Morgen ist es zu spät” sind allerdings durchaus realistisch.

Abstract

The stronger networking of the energy nets and the susceptibility resulting from it makes this a potential target for terror attacks. The results of a large-scale and long-lasting power failure are described very appropriately. However, the reasons for the blackout are mostly unrealistic. The scenario of the consequences of a power failure in the book "Blackout - Tomorrow it will be too late" are quite realistic.

1 Einleitung

Infolge der Globalisierung und des wirtschaftlichen Zusammenwachsens der Nationalstaaten zu einem Wirtschaftsraum kam es im Bereich der Energieversorgung und –übertragung zur Bildung von großen Verbundnetzen. Die Energiewende und die daraus resultierende verstärkte Nutzung von erneuerbaren Energien wie Wind und Sonne führte zur Dezentralisierung der Energiegewinnung. Dies macht es erforderlich Energie über weite Strecken zu transportieren.

Der größte Vorteil von Verbundnetzen ist die Sicherstellung einer konstanten Versorgung bei Ausfall einzelner Kraftwerke und das immer genügend Reserveleistung zur Verfügung steht. Dadurch können Betriebskosten gesenkt werden.

Nachteile der engen Verbundenheit der Netze ist es, dass Störungen sich großflächiger ausbreiten können.

Beispielhaft sei hier der Stromausfall vom 4. November 2006 erwähnt. Aufgrund der Überführung eines Schiffes und der dazu notwendigen Abschaltung einer Hochspannungsleitung, kam es durch eine Fehlberechnung zu einem großflächigen und mehrstündigen Stromausfall in ganz Europa von dem mehr als 10 Millionen Menschen betroffen waren.[2]

Dies zeigt, dass lokale Störungen sich im gesamten Verbundnetz ausbreiten.

Das Buch von Marc Elsberg “Blackout – Morgen ist es zu spät” beschäftigt sich mit einem großflächigen Stromausfall in ganz Europa infolge eines Terrorangriffes und den sich daraus ergebenden Folgen. Ziel der Arbeit ist es festzustellen, ob dieses Szenario realistisch ist.

2 Theoretische Grundlagen

Das Europäische Energienetz ist in mehrere frequenzunabhängige Verbundnetze geteilt. Die skandinavischen Länder Norwegen, Schweden und Finnland bilden das Verbundnetz NORDEL. Großbritannien ist im UKTSOA. Beide Verbundnetze sind aus technischen Gründen durch Seekabel und Hochspannungs-Gleichstromübertragung (HGÜ) an das kontinentaleuropäische UCTE-Netz angebunden. Voraussetzung für ein funktionierendes Verbundnetz ist, dass alle Erzeuger in diesem Netz mit gleicher Phasenlage und Netzfrequenz betrieben werden. Voraussetzung für eine konstante Netzfrequenz ist, dass benötigte und eingespeiste Leistung gleich groß sind. Abweichungen zwischen Verbrauch und Erzeugung sind unvermeidbar und führen zur Notwendigkeit einer aktiven Regelung zur Frequenzstabilität. Als positive Regelenergie bezeichnet man hierbei bei zu niedriger Netzfrequenz die zusätzliche Einspeisung oder Reduktion der Netzlast. Negative Regelenergie bedeutet die Reduktion der Einspeisung oder Erhöhung der Netzlast bei zu hoher Netzfrequenz.

Ein intelligenter Stromzähler, sogenannte Smart Meter, liefern genaue Angaben über den aktuellen Verbrauch direkt an die Energieversorger und erlauben so eine genauere Anpassung von Leistung und Verbrauch. Des Weiteren erlauben sie eine Fernsteuerung zur Zu- und Abschaltung von Verbrauchern.

3 Literatur

- [1] M. Elsberg, Blackout – Morgen ist es zu spät, Taschenbuch Blanvalet Verlag, 2013.
- [2] Bundesnetzagentur „Pressekonferenz–Stromausfall“

17. November 2006. [Online]. Available :
<http://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Allgemeines/Presse/Reden/2006/StromausfallNov06Kurth061117Id7966pdf.pdf> [Zugriff am 22.11.2015].

Energiemanagement in Industrie und Haushalt

Energiemanagement in Industry and Households

Götz-Nikolaus Grobelny

Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen - **elenia**, goetz.grobelny@web.de

Kurzfassung

Ein Energiemanagement kann viele Vorteile mit sich ziehen. Nicht nur in der Industrie kommt es zum Einsatz, sondern wird mehr und mehr in die Haushalte Deutschlands integriert. Das Energiemanagement kann nicht mit einer reinen Steigerung der Energieeffizienz gleichgesetzt werden, sondern ist die vorausschauende, organisierte und systematisierte Koordinierung von Beschaffung, Wandlung, Verteilung und Nutzung von Energie. In diesem Beitrag wird gezeigt, inwiefern sich Energiemanagement sowie ökologisch als auch ökonomisch lohnt und mit welchen technischen Hilfsmitteln es umgesetzt wird. [1]

Abstract

Energymanagement can cause quite a few advantages. It gets integrated in the industry as well as in households. Energymanagement is not just an increase of efficiency it's more like a foresighted, organised and systemised coordination of procuring, altering, distributing and using of energy. This article will show how an energymanagement can be worth it in terms of ecology and economy and how its getting implemented technically.

1 Einleitung

In der heutigen Zeit ist der richtige Umgang mit der immer steigenden Energienachfrage und damit verbundenen Erhöhung der Energiekosten, sehr wichtig, um nachhaltig und zukunftsicher zu leben. Dieses beinhaltet regelkonforme Maßnahmen zur Einsparung unnötig verbrauchter Energie in der Industrie sowie im Haushalt. Es ist eine zentrale Herausforderung und die Politik definierte das Ziel bis 2050 80-95 % des CO₂ Ausstoßes zu verringern. Energiemanagement ist eine entscheidende Methode zur Erreichung dieses Ziels.

Die Vorteile sowie die Art der Umsetzung im Haushalt ist etwas verschieden zu der in der Industrie.

2 Grundlagen

Unter einem Energiemanagementsystem ist die Gesamtheit von miteinander zusammenhängenden oder in Wechselwirkung zueinander stehenden Elementen einer Organisation zur Erstellung einer Energiepolitik sowie strategischer Ziele und zur Erreichung dieser Ziele zu verstehen, also eine Optimierung des Energieverbrauchs. Für ein umfangreiches Energiemanagement ist es unerlässlich den genauen Energiehaushalt regelmäßig zu erfassen und zu analysieren. Mit Hilfe der PDCA-Methode (PLAN-DO-CHECK-ACT) sind solche kontinuierlichen Verbesserungen umzusetzen. Diese Vorgänge übernehmen meist vollautomatische Systeme, welche Daten über den Energieverbrauch von Heizung, Maschinen, Pumpen usw. protokollieren, verarbeiten und oft auch die intelligente

Steuerung dieser Verbraucher ermöglichen[2]. In Folge dessen werden also durch verschiedenste Maßnahmen die Effizienz der Energienutzung gesteigert, um somit Energiekosten zu senken.

Für ein Unternehmen bedeutet ein gut integriertes Energiemanagementsystem Steuervorteile (Rückerstattung der EEG Umlage und der Ökosteuern) und damit verbundene Kosteneinsparungen, steigende Wettbewerbsfähigkeit oder auch die Verbesserung des Images. Sogar die Produktqualität soll sich erfahrungsgemäß erhöhen. Am Beispiel VW's wird die Wichtigkeit sauberer Produkte besonders hervorgehoben.

Für die Steuervorteile muss ein Unternehmen einen bestimmten Beitrag in Form eines Zertifikates (ISO50001 und EN 16001) leisten. Diese sind Normen, die die Anforderungen an ein Energiemanagementsystem beschreiben.

Doch auch wenn die Vorteile offensichtlich erscheinen und die Amortisationszeit für die Maßnahmen oftmals sehr gering ist, gibt es gewisse Hemmnisse bei der Umsetzung eines solchen Systems.

Im Haushalt fängt Energiemanagement mit einfachsten Mitteln an. Zählerstände kontrollieren und protokollieren, Senken der Heizung bei Nacht oder sparsamerer Umgang mit Wasser. Schon allein durch einen bewussten Umgang mit Energie lassen sich bis zu 10% der Kosten einsparen.[3] Für das Eigenheim ist eine weitere Maßnahme die Installation einer PV (Photovoltaik) Anlage, die Strom für den Eigenbedarf produziert. Ein Stromspeicher trägt dazu bei, überflüssigen Strom einzuspeichern und eine ausfallsichere Stromversorgung zu gewährleisten. Energiemanage-

mentssysteme können variable Stromtarife auf dem Markt berücksichtigen und den Stromverbrauch im Haushalt an die Leistung der Solaranlage anpassen. Der Bedarf an Spitzenlastkraftwerken wird dadurch verringert.

Das Marktpotential ist sehr groß, doch die Nachfrage steigt sich nur langsam, da viele Privatkunden zu wenig über ihren Verbrauch und den damit verbundenen Kosten aufgeklärt werden.

Für beide Bereiche heißt es sich kontinuierlich mit dem Thema zu beschäftigen, da dies ein wichtiger Erfolgsfaktor für die Implementierung eines Energiemanagementsystems ist.

3 Literatur

- [1] Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI: Betriebliches Energiemanagement in der industriellen Produktion. Karlsruhe: 2011.
- [2] Fronius: Energiemanagement, Pettenbach. 2013.
- [3] SMA: Sunny Home Manager, Niestal. 2012. Offenbach: VDE-VERLAG, 1997

Erlösmöglichkeiten für die Vermarktung von PV- und Windstrom

Proceeds from wind and photovoltaic energy

Robert Hankers, B.Sc.

Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen - **elenia**, robert.hankers@tu-bs.de

Kurzfassung

Seit 2012 haben Erzeuger grüner Energie in Deutschland die Möglichkeit, die von ihnen erzeugte Energie direkt an den Strombörsen zu handeln, anstatt sie wie bisher zu festen Vergütungssätzen in die Stromnetze einzuspeisen. Gerade bei der Erzeugung von Wind- und PV-Strom kann dabei durch genaue Prognosen ein zusätzlicher Gewinn erwirtschaftet werden. Die hieraus entstandenen neuen Erlösmöglichkeiten, die beteiligten Marktteilnehmer und die ebenfalls neu hinzugekommenen Ausschreibungsverfahren für Neuinstallationen werden in diesem Vortrag vorgestellt und erläutert.

Abstract

Since 2012, the producers of green energy in Germany have had the opportunity to trade their produced energy directly at the energy stock exchange, instead of feeding it into the energy grid for fixed compensation. Especially for the production from wind or photovoltaics, additional profit can be achieved by means of accurate production projections. This results in a number of new ways for marketing the produced energy, which, along with the market participants and the bidding process for newly installed units, will be described and explained in this presentation.

1 Einleitung

Durch die Einführung des Marktprämienmodells mit der Novelle des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2012 wurde Betreibern von erneuerbaren Energien (EE) die Direktvermarktung der erzeugten Energie ermöglicht [1]. Neben einer verbesserten Netzstabilität sollen damit eine bessere Integration der EE in den Energiemarkt und die langfristige Unabhängigkeit von EEGFördergeldern erzielt werden [1]. 2014 wurde neben einer Anpassung der Vergütungssätze ein Ausschreibungsverfahren für die Neuinstallation von PV-Freiflächenanlagen eingeführt, um die Höhe der finanziellen Förderung zu ermitteln [1][2]. Für die Erzeuger ergeben sich damit neben der Einspeisung eine Vielzahl neuer Möglichkeiten, die erzeugte Energie gewinnbringend zu vermarkten. Von großer Bedeutung ist hierbei die möglichst genaue Prognose der erzeugten Leistung.

2 Grundlagen

Mit dem Modell der Marktprämie in Kombination mit der Managementprämie wurde ein System entwickelt, durch welches Energieerzeuger durch genaue Prognosen ihrer produzierten Energiemengen finanzielle Vorteile erlangen können.

Statt wie bisher ihre Energie zu einem festen Vergütungssatz in das Stromnetz einzuspeisen, können Erzeuger ihre Energie durch das neue Modell an der Strombörse verkaufen. Die hier erzielten Strompreise sind in der Regel niedriger als die bisherigen Einspeisevergütungen. Allerdings

wird der Differenzbetrag zwischen durchschnittlichem Erlös und Einspeisevergütung vom Netzbetreiber als Marktprämie an den Erzeuger ausgezahlt, so dass kein finanzieller Nachteil entsteht. Zusätzlich erhält der Erzeuger eine Managementprämie, welche zum Ausgleich von durch Fehlprognosen verursachten Verlusten dient. [1]

Bei entsprechend genauen Prognosen lässt sich also auf diese Art ein höherer Gewinn erzielen als durch die Einspeisung zu fester Vergütung. Dadurch sollen Erzeuger zu einer Marktteilnahme motiviert werden, um auf dem für sie neuen Feld des Energiemarktes Fuß zu fassen und damit auch ohne Förderung durch das EEG konkurrenzfähig zu werden.

Ebenfalls mit dem EEG 2014 neu in Kraft getreten ist die Ausschreibung der Förderung für PV-Freiflächenanlagen. Hierbei werden aus einem Pool von Geboten so lange Neuinstallationen zur Förderung bewilligt, bis das Volumen der Ausschreibungen erfüllt ist. Die niedrigsten Gebote erhalten zuerst den Zuschlag, so dass nur die wirtschaftlichsten Projekte umgesetzt werden. [2]

3 Literatur

- [1] Next Kraftwerke GmbH: Marktprämie & Marktprämienmodell, 09.12.2015, <https://www.nextkraftwerke.de/wissen/direktvermarktung/marktpraemie>.
- [2] BNA: Ausschreibungsverfahren für PV-Freiflächenanlagen allgemein, 09.12.2015, <http://bit.ly/1Nbecym>.

Siliziumkarbid: Leistungshalbleiter in Theorie und Praxis

Silicon carbide: Power semiconductor device in theory and practice

Georg Schmoll

Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen - **elenia**, g.schmoll@tu-braunschweig.de

Kurzfassung

Diese Arbeit befasste sich mit den Vorteilen und Möglichkeiten die Leistungshalbleiter aus Siliziumkarbid (SiC) gegenüber konventionellen Bauteilen aus einfachem Silizium (Si) bieten. Im besonderen Maße wurde hierbei auf SiC-MOSFET Technologien eingegangen, welche gegenüber herkömmlichen Si-MOSFETs u.A. eine stark erhöhte kritische Feldstärke, geringere Schaltverluste und damit einhergehende höhere mögliche Schaltfrequenzen und eine deutlich bessere Performance bei hohen Temperaturen aufweisen.

Abstract

This paper dealt with the advantages and possibilities that SiC power semiconductor devices provide compared with conventional Si components. In particular were here be focused on SiC-MOSFET technologies, which possess in comparison with conventional Si-MOSFETS among other things a much higher electric breakdown strength, lesser switching losses and addicted to this higher possible switching frequencies and a much better performance at high temperatures.

1 Einleitung

Zum heutigen Stand der Technik haben Leistungshalbleiter aus Silizium, wie etwa MOSFETs oder IGBTs, ihr Entwicklungspotential fast vollständig ausgeschöpft. In modernen Anwendungen die mit Sperrspannungen von 1200V arbeiten, wie sie z.B. in großen PV-Anlagen oder im Bereich der Automobilindustrie vorkommen, steigt allerdings die Nachfrage nach Halbleitern, die hohe Wirkungsgrade, geringe statische und dynamische Verluste und gute Leistungswerte bei hohen Temperaturen erzielen. Herkömmliche Si-MOSFETS jedoch können nur bis zu einer maximalen Sperrspannung von 600V ausgelegt werden, während die im Bereich von 1200V bisher verwendeten IGBTs diesem angegebenen Anforderungsprofil nicht gerecht werden. Daher wird Siliziumkarbid als ein „wide-bandgap“ Halbleiter mit einer Bandlücke, die ungefähr 3x so groß ist wie bei Silizium, immer interessanter, da die große Bandlücke ermöglicht MOSFETs für Spannungen bis 1200V und höher auszulegen. Dabei weisen SiC-MOSFETS, welche noch hohes Entwicklungspotential besitzen, schon heute bessere Leistungsdaten auf als herkömmliche Si-MOSFETS.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Bandlücke

Eine Quantenmechanische Beschreibung zu den Energiezuständen in einem Festkörper liefert das Bändermodell. Das Pauli-Prinzip verbietet, dass ein Energiezustand mehrfach besetzt werden kann, dadurch verschmieren nahebei einander liegende Zustände zu sogenannten Energiebän-

dern, bei denen die äußeren von besonderer Bedeutung sind und als Valenz bzw. Leitungsband bezeichnet werden. Maßgebend für die Leitfähigkeit des Materials ist hierbei der Abstand, die sogenannte Bandlücke, zwischen diesen beiden Bändern, bei Isolatoren ist der Abstand groß, bei Leitern liegen die Bänder aufeinander.

Im sperrenden Grundzustand sind in einem Halbleiter nur die Zustände im Valenzband besetzt und es muss thermische und/oder elektrische Energie aufgebracht werden um Elektronen ins Leitungsband anzuheben, hierbei bleiben im Valenzband „Löcher“ als positive Ladungsträger zurück, die zusammen mit den Elektronen im Leitungsband den Stromfluss bilden.

Die Energie, die benötigt wird um ein Elektron ins Leitungsband anzuheben entspricht der Bandlücke:

$$E_G = E_C - E_V \quad (1)$$

wobei E_C die Energie des Leitungsbandes und E_V die Energie des Valenzbandes angibt.

3 Literatur

- [1] J. Lutz, Halbleiterleistungsbaulemente - Physik, Eigenschaften, Zuverlässigkeit, Berlin Heidelberg: Springer Vieweg, 2012.
- [2] A. Wintrich, U. Nicolai, W. Tursky, T. Reimann, SEMIKRON Applikationshandbuch Leistungshalbleiter, Ilmenau: ISLE Verlag, 2010.
- [3] W.-T. Franke, Dissertation - Vergleich von Siliziumkarbid-Leistungshalbleitern und ihre Anwendung in einem wirkungsgradoptimierten PV-Wechselrichter, Harrisle, 2013.

- [4] A. Gillhuber, WEKA FACHMEDIEN GmbH, SiC - Das Material und seine Eigenschaften, 14.05.2014, <http://www.elektroniknet.de/power/sonstiges/artikel/108808/> [Zugriff am 08.12.2015].
- [5] P. Kierstead, WEKA FACHMEDIEN GmbH, Siliziumkarbid MOSFETs - Verbesserte zweite Generation, 07.01.2014, [http://www.elektroniknet.de/halbleiter/leistungs halbleiter/artikel/104393/](http://www.elektroniknet.de/halbleiter/leistungshalbleiter/artikel/104393/) [Zugriff am 08.12.2015].
- [6] I. Koch, F. Hinrichsen, TU-Braunschweig, Institut für Elektrische Maschinen, Antriebe und Bahnen, Siliziumkarbid - Halbleiterschalter, 2004, https://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/imab/09-Jahresberichte/2004/06_Koch-Hinrichsen_2004.pdf [Zugriff am 07.12.2015].
- [7] I. Koch, TU-Braunschweig, Institut für Elektrische Maschinen, Antriebe und Bahnen, Vergleich von Si- und SiC-Halbleitern, 2007, https://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/imab/09-Jahresberichte/2007/08_Koch_2007.pdf [Zugriff am 07.12.2015].
- [8] SEMIKRON, Siliziumkarbid-Module - Die führende Chip- und Gehäusetechnologie für höchste Energieeffizienz, 2015, <http://www.semikron.com/de/innovation-technologie/siliziumkarbid-module.html> [Zugriff am 07.12.2015].

Abbildung 1 Leistungs-MOSFET im Durchlasszustand

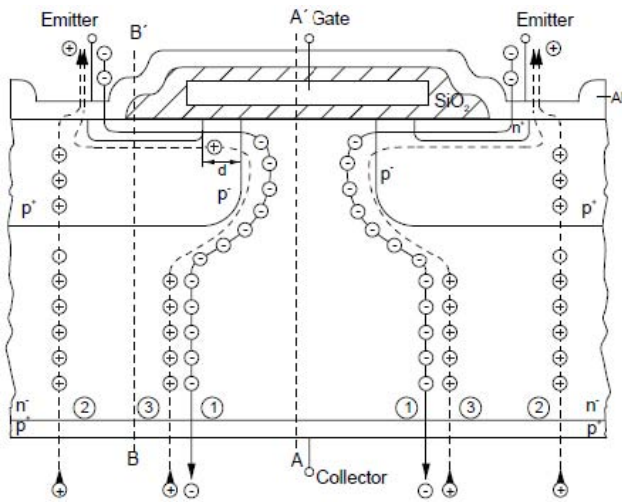


Abbildung 2 Leistungs-IGBT im Durchlasszustand

Wird nun eine ausreichend hohe positive Spannung zwischen Gate und Source- bzw. Emitter gelegt, bildet sich unterhalb des Gate-Anschlusses eine n-leitende Zone, die sich durch die p-Wannen erstreckt. Nun können Elektronen von der Source- bzw. Emitter-Elektrode in Richtung der Drain- bzw. Kollektor-Elektrode fließen. Während beim MOSFET die Raumladungszone abgebaut wird und hiernach ein Stromfluss mit Elektronen als Hauptladungsträger erfolgt, verhält sich der IGBT auf Grund der unteren p-Schicht anders. Hier erfolgt mit Eintreten von Elektronen in die p-Schicht, auf Grund der unterschiedlich starken Dotierung, eine Injektion von positiven Ladungsträgern in die obere schwach dotierte n-Zone. Diese Zone wird nun mit Löchern "überschwemmt", wodurch die positiven Ladungsträger den größten Einfluss auf den Stromfluss nehmen. Durch diesen Effekt besitzt der IGBT einen niedrigeren Durchlass-Widerstand als der MOSFET.[1]

Nun ist also klar, dass mit einem IGBT auf Grund der Injektion von Löchern geringere Durchlass-Widerstände realisiert werden können, bei Betrachtung vergleichbarer MOSFETs. Allerdings müssen die Löcher bei jedem Ein- und Ausschalten des IGBTs injiziert bzw. rückinjiziert werden, wofür eine zusätzliche Zeit erforderlich ist. Der Schaltvorgang benötigt also bei einem IGBT mehr Zeit als bei einem MOSFET.[1]

3 Literatur

- [1] A. Wintrich, U. Nicolai, W. Tursky und T. Reimann, Applikationshandbuch Leistungshalbleiter, Ilmenau: ISLE, 2010.

Aufbau und praktische Umsetzung von Stoßstromgeneratoren (8/20, 10/350)

Structure and practical realisation of current impulse generators (8/20, 10/350)

Niklas Rühmann

Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen - **elenia**, n.ruehmann@tu-bs.de

Kurzfassung

Ein Stoßstromgenerator konnte vereinfacht durch ein simples Modell dargestellt werden. Es zeigte sich, dass die realen Bauteile hohen Beanspruchungen standhalten müssen. Ströme von bis zu 20 kA und Spannungen bis 20 kV stellten besondere Anforderungen an sämtliche Elemente dar. Insbesondere die schaltenden Elemente mussten auf große Änderungsraten ausgelegt werden.

Abstract

A basic model was used to represent a current impulse generator. The results indicated that the actual elements needed to withstand partially extreme loads. Currents up to 20 kA and voltages up to 20 kV presented special requirements for any element. In particular the switching elements needed to be designed for high rates of change.

1 Einleitung

Stoßstromgeneratoren werden verwendet, um elektrische Anlagen und Komponenten auf ihr Verhalten bezüglich Blitzeinschlags zu prüfen. Aufgrund hoher Spannungen und Ströme hat ein Blitzeinschlag großes Gefährdungspotenzial für sämtliche elektrische Anlagen.

Das Ziel dieser Projektarbeit ist es den Aufbau und die Umsetzung von Stoßstromgeneratoren darzustellen. Hierbei soll auf einige spezielle Randbedingungen eingegangen werden.

2 Theoretische Grundlagen

Im Wesentlichen besteht ein Stoßstromgenerator aus einer Kondensatorbank als Energiespeicher und einem Anschluss für das zu testende Gerät. Eine Gleichspannungsquelle lädt die Kondensatorbank. Dies erfolgt bis die gewünschte Spannung beziehungsweise Energie für den gewünschten Blitztyp erreicht ist.[1]

Über eine triggerbare Funkenstrecke wird das zu testende Gerät angeschlossen. Diese ist notwendig, da herkömmliche Schalter für die zu erwartenden Ströme und Anstiegszeiten nicht geeignet sind. Herkömmliche Schalter neigen bei schnellen Vorgängen zum Prellen [2]. Das bedeutet sie Öffnen und Schließen mehrfach innerhalb von wenigen Mikro- bis Millisekunden. Außerdem können sie durch die auftretenden Ströme verschweißen und somit zerstört werden. Funkenstrecken haben diese Nachteile nicht. Ihr Funktionsprinzip ist eine gesteuerte Gasentladung, die sich für die notwendigen Anstiegszeiten eignet und die entstehenden

henden Ströme aushält.

Es gibt eine Anschlussleitung zum Gerät. Diese ist prinzipiell mit einem Widerstand und einer Induktivität behaftet, wobei sich insbesondere die Induktivität auf die Anstiegszeit des Impulses auswirkt.

Die Impulsform wird nach dem Schema x/y benannt. Dabei gibt x die Anstiegszeit und y die Abklingzeit an. Für die Anstiegszeit wird durch die 10% und 90% Punkte vom Maximum der Kurve eine Gerade gelegt und die Zeit interpoliert. Die Abklingzeit ist die Zeit zwischen interpoliertem Beginn und dem Zeitpunkt, an dem der Strom auf die Hälfte des Maximums gefallen ist.[3] Damit die Impulsform stimmt müssen Kapazität, Induktivität und Widerstand aufeinander abgestimmt werden. Für einen Beispielgenerator Typ 10/350 aus [1] werden diese zu $R = 1 \Omega$, $L = 2 \mu H$, $C = 500 \mu F$ und $U_{C1,0} = 20 \text{ kV}$ gewählt. Allgemein ergibt sich als Impuls:

$$i(t) = \frac{U_{C1,0}}{L \cdot (s_2 - s_1)} \cdot (e^{s_1 \cdot t} - e^{s_2 \cdot t}) \quad (1)$$

$$\text{mit } s_{1,2} = \frac{-R}{2 \cdot L} \pm \sqrt{\frac{R^2}{4 \cdot L^2} - \frac{1}{L \cdot C}} \quad (2)$$

wobei $U_{C1,0}$ die Aufladespannung der Kondensatorbank ist.

Der Spitzenwert liegt mit oben genannten Werten bei knapp 20 kA nach ca. 10 μs und fällt nach 350 μs auf ca. 10 kA.

3 Literatur

- [1] T. Gora, S. Muzoka, H.Hunt, KJ Nixon: Design and construction of a 20 kA 10/350 μs current impulse generator, E+C SPOT ON 01/2014.
- [2] Tariq Naqvi/University of Waterloo, Switch Debouncing, <http://www.eng.uwaterloo.ca/~tnaqvi/downloads/DOC/sd192/SwitchDebouncing.htm> [11.12.2015].
- [3] A. Küchler, Hochspannungstechnik, Schweinfurt: Springer, 2005.

Umsetzung von Blitzschutzkonzepten in Eigenheimen

Implementation of lightning protection concepts in homes

Felix Fitzl

Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen - **elenia**, f.fitzl@tu-braunschweig.de

Kurzfassung

Überspannungsableiter müssen zuverlässig hohen thermischen und elektrischen Belastungen standhalten. Daher ist es wichtig sich mit der Weiterentwicklung und Absicherung solcher Bauteile, im Hinblick auf Wartungsfreiheit und Langlebigkeit zu beschäftigen. In nahezu allen sicherheitskritischen Anlagen und Anlagen mit hohen Investitionskosten sind bereits Überspannungsableiter verbaut. Dabei ist ein aktueller Entwicklungstrend das Beherrschen von netzinternen Überspannungen.

Abstract

Surge Protectors have to reliably handle high thermal and electrical loads. Therefore it is necessary to investigate the further development and to increase the safety of such components, in terms of better maintenance and durability. Almost all safety critical and expensive Systems are already protected with Surge protective devices. The topic of network intern overvoltage gets more and more important.

1 Einleitung

Bei elektrischen Anlagen mit hohen Investitionskosten besteht der Bedarf nach Überspannungsableitern. Gerade da es z.B. seit der Entwicklung des Internets einen Zuwachs an permanent durchströmten Verbrauchern und Anlagen gibt. Es sind nicht nur elektrische Geräte abzusichern, die während ihrer vergleichsweise kurzen Nutzung von Menschen bedient werden (z.B. Küche, TV...), sondern auch beispielsweise Server, Router, Alarmsysteme oder Industrieanlagen. Diese über Jahre hinweg laufenden Geräte werden vergleichsweise selten gewartet und müssen so ausgelegt und geschützt werden, dass sie auch ohne den Eingriff durch den Menschen nach einer Störung fehlerfrei weiter arbeiten. Dies ist nicht nur bei sicherheitskritischen Systemen wichtig. Auch die Kosten für ein erneutes hochfahren und die Reparatur von Industrieanlagen sind zu beachten. Um die Anlagen sicher und unterbrechungsfrei betreiben zu können wird intensiv an neuen Konzepten für Überspannungsableitern geforscht.

2 Theoretische Grundlagen

Betrachtet wird, in diesem Projekt, der inneren Überspannungsschutz in Eigenheimen. Insgesamt teilt sich ein technisch sicheres Schutzsystem für Privathaushalte in drei Teile auf. Die 3 Stufen der Ableiter sind: Typ 1, Typ 2, und Typ 3, [1]. Im Versorgungsnetz des Energieversorgers ist schon ein Grobschutz integriert. Typ 1 senkt die Spannung auf für Typ 2 verträgliche Pegel ab und ist daher auch in der Installation am Hausanschluss des Versorgungsnetzes angebracht. Die drei Gebäudeeigenen Schutzstufen sind

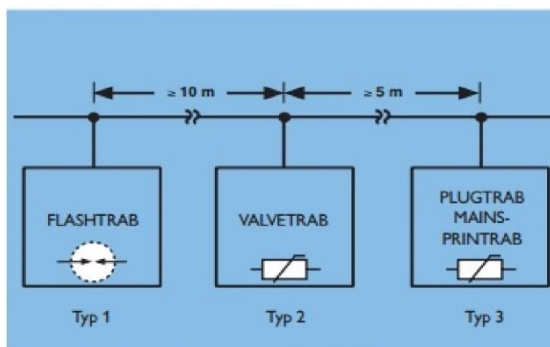


Abbildung 1 Anordnungsbeispiel Ableiter (Typ 1-3)

aufeinander aufgebaut und voneinander abhängig. Sie sind durch meterlange Leitungen mit definierten Induktivitäten von einander zu entkoppeln (siehe Abbildung 1). Typ 1 Ableiter sind der Grobschutz. Sie sind die wichtigsten Komponenten und senken die Spannung auf max. 1300 - 6000 V (Modell und Baujahrabhängig) ab. Er wird durch Funkenstrecken realisiert.

Die nächste Schutzebene ist der Mittelschutz (Typ 2). Er wird z.B. in Etagenverteilern angebracht und meist durch Varistoren realisiert. Hier wird die Spannung auf 600 - 2000 V reduziert.

Als letztes bildet der Feinschutz (Typ 3) auf Steckdosebene weiteren Schutz, [4]. Hier wird die Spannung auf für Endgeräte verträgliche Pegel abgesenkt. Dies wird mit Suppressordioden realisiert. In allen Geräten mit "CE-Zeichen" sollte diese Schutzebene (Typ 3) integriert sein. Dies ist in einigen Ländern gesetzlich vorgeschrieben. Überspannungsableiter, welche in Sicherungskästen ver-

baut sind, kosten im Schnitt 140 € für Typ 1, 220 € für Typ 2 und 80 € für Typ 3 (Herstellerabhängig, Quelle: Phoenix Contact).

3 Hauptteil / Erkenntnisse

3.1 Grobschutz (Typ 1)

Die Schutzelemente der drei Schutzstufen bestehen aus vier Grundlegenden Bauteilen. Ableiter vom Schutztyp 1 sind die ersten Komponenten und müssen die höchsten Energien ableiten können. Sie bestehen meist aus Funkenstrecken, je nach Bedarf werden auch Gasableiter eingesetzt. Funkenstrecken können in der Regel höhere Ströme beschädigungsfrei ableiten als Gasableiter. Funkenstrecken sind jedoch nicht hermetisch verschlossen. Sie können nicht exakt auf eine bestimmte Zündspannung eingestellt werden. Dies wird bei Gasableitern unter anderem über das verwendete Gas eingestellt. Gasableiter sind nicht selbstlöschend. Beide bestehen aus zwei in einem vorgegebenen Abstand angeordneten Elektroden über welche durch einen Lichtbogen ein Strom abgeleitet wird. Sie werden parallel zu der zu schützenden Anlage integriert. Wenn nun eine Fehlerspannung die durch den Abstand der Elektroden vorgegebenen elektrische Festigkeit überschreitet führt dies zu einem Überschlag zwischen den beiden Elektroden. Bei älteren Ausführungen von Funkenstecke kann es teilweise zu hohen Netzfolgeströmen nach einer Zündung kommen. Hierdurch wird die zu schützende Anlage zeitweise vom Netz getrennt. Bei modernen Systemen werden teilweise alternative Zündkonzepte verwendet.[3]

3.2 Mittelschutz (Typ 2)

Die Schutzelemente von Typ 2 Ableitern werden durch Varistoren realisiert. Ein Varistor ist ein spannungsabhängiger Widerstand. Varistoren bestehen heute vorwiegend aus Zinkoxid. Zinkoxid ist ein mikroskopisch, körniges Material. Jedes dieser Körner hat je nach seiner Größe unterschiedlicher Leitfähigkeiten und wird in runde Plättchen gepresst und mit 2 Kontakten versehen. An den Berührungspunkten der Zinkoxidkörner entstehen kleine Sperrschichten. Durch zunehmende anliegende Spannung entsteht ein elektrisches Feld zwischen den Elektroden welches die Sperrschichten mit zunehmender Höhe der Spannung abbaut, [5]. Dadurch ist über die Dicke bzw. Größe der Tabletten einstellbar, ab wann der Varistor leitend wird. Somit wird festgelegt wie viel Spannung maximal in die zu schützende Anlage eingespeist wird. Der Varistor wird, wie auch Ableiter von Typ 1 parallel zum zu schützenden Objekt angeschlossen und senkt die Spannung auf einen Pegel der für Schutztyp 3 verträglich ist.[3]

3.3 Feinschutz (Typ 3)

Die Funktion von Überspannungsableitern Typ 3 wird durch Suppressordioden übernommen. Suppressordioden basieren auf dem Prinzip von Zehnerdioden. Im Unterschied zu diesen haben Suppressordioden allerdings eine steilere Strom-Spannungs Kennlinie und somit ein besse-

res Ableitvermögen weil sie schneller ansprechen. (siehe Abbildung 2) Für den Wechselspannungsbereich gibt es bi-

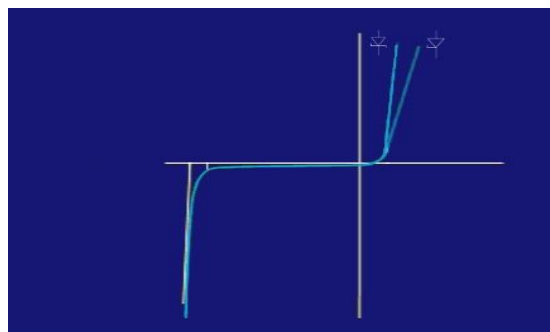


Abbildung 2 Kennlinien Suppressor- und Zehnerdiode

polare Suppressordioden welche eine aus den 1. Quadranten am Ursprung gespiegelte Kennlinie auch im negativen 3. Quadranten aufweisen. Sie haben in der Regel einen sehr kleinen Durchbruchspannungsbereich und schalten in ns Bereich, [2]. Sie werden ebenfalls parallel zu der zu schützenden Schaltung verbaut und senken die Spannung auf ein für Endgeräte ungefährlichen Pegel herab.

3.4 Kritische Würdigung

Schutz gegen Überspannungen ist ein relevantes Forschungsthema. Wie wichtig eine neue Technologie sein kann zeigt sich zum Beispiel in den neuen verschleißfreien Funkenstrecken welche zusätzlich keinen Netzfolgestrom zulassen. Dies spart Wartungsarbeiten, und teurere Reparaturen. Die Vermeidung von Verdienstaussfällen erhöht die Nachfrage nach diesen Technologien.

3.5 Zusammenfassung/Fazit

Große und teure Industrieanlagen vor Überspannungen zu schützen ist für eine effiziente Produktion nicht zu vernachlässigen. In Zeiten der Energiewende muss immer häufiger zwischen den verfügbaren Energieressourcen gewechselt werden und Kraftwerke müssen ans Netz geschaltet bzw. von Netz genommen werden. Somit steigt das Risiko von netzinternen Überspannungen welche, ohne richtigen Schutz, große Schäden verursachen können. Mit einem guten Überspannungsschutz im Haus besteht ein wartungsfreies und nicht störanfälliges Schutzsystem. Dies lässt sich, sofern diese Ableiter an der richtigen Stelle angeschlossen werden, durch den Einbau von Überspannungsableitern von Typ 1 bis Typ 3 umsetzen. Hierfür gibt es je nach Wert und Leistungsumsatz der zu schützenden Anlage ein breites Spektrum an passenden Ableitern und Schutzkonzepten.

4 Literatur

- [1] Dehn Blitzplaner, 3. aktualisierte Auflage, 2015
- [2] EMV - Blitzschutz von elektrischen und elektronischen Systemen in baulichen Anlagen, Landers, E. U. ; Zahlmann, P.

- [3] Basiswissen Überspannungsschutz von Phoenix Contact
- [4] Handbuch für Blitzschutz und Erdung, Peter Hasse, Johannes Wiesinger, Wolfgang Zieschank
- [5] <http://www.elektronik-kompodium.de/sites/bau/0208032.htm>

Auftriebskraftwerke für die mögliche Stromversorgung von Einfamilienhäusern

Buoyant force power plants for possible electrical power supply of private homes

Julia Gartner, B.Sc.

Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen - **elenia**, j.gartner@tu-braunschweig.de

Kurzfassung

Die Nutzung erneuerbarer Energien wird immer wichtiger. Die Fa. *Rosch Innovations* führt derzeit eine neues Kraftwerk ein, das auf einer alten Idee basiert: Die Nutzung der Auftriebskraft für die Erzeugung von Energie. Bereits viele Firmen haben sich an dieser Entwicklung versucht, aber niemand hat den Durchbruch geschafft. Nun behauptet Fa. *Rosch Innovations* eine Möglichkeit gefunden zu haben. In einem ca. 10m hohen Behälter befinden sich Wasser und Schaufeln, die am Boden durch einen Kompressor mit Luft befüllt werden. Diese dienen als Auftriebskörper, die an einem Kettentrieb befestigt sind. Die kinetische Energie wird mithilfe eines Generators in elektrische Energie umgewandelt. Diese elektrische Energie wird für die Versorgung des Kompressors und der Verbraucher im Einfamilienhaus verwendet. Nach Aussage von Fa. *Rosch Innovations* wird nur für den erstmaligen Antrieb Energie von außen benötigt, danach läuft die Anlage autark. Aber genau hier greift der Energieerhaltungssatz, der diesem Funktionsprinzip widerspricht! Kein System kann ohne weitere äußere Energiezufuhr endlos in Bewegung bleiben, denn Perpetuum mobiles existieren nicht. Dieser Aspekt war der Anlass für weitere Untersuchungen, um herauszufinden, von wo Energie hinzugeführt wird, damit das Auftriebskraftwerk in Bewegung bleibt.

Abstract

The usage of renewable energies is becoming more important than ever. The company *Rosch Innovations* is currently introducing a new power plant based on an old idea: the utilization of buoyant force power plants producing electricity for private homes. Many companies have tried to develop a power station alike, yet no one succeeded. Rosch Innovations claims to have found a working solution. In a 10 meter high container filled with water one finds paddles, which, at the bottom are filled with compressed air. Working as a flotation device those paddles are connected to a generator producing electricity. Some of the produced energy is used to keep the system running, the rest can be used in the private home or stored. *Rosch Innovations* states that only for the first empowering energy has to be put into the cycle, afterwards it is self-sustaining. Yet the system contradicts the law of conservation of energy, since no system in motion will stay in motion without an external energy supply – consequently a perpetual motion machine does not and cannot exist. There is a common interest for figuring out where energy is being put into the system.

1 Einleitung

Die Reichweite von gewinnbaren Rohstoffen ist begrenzt und global gesehen wird der Energiebedarf stetig zunehmen. Des Weiteren muss der CO₂-Ausstoß verringert werden, um die Umweltbelastung zu reduzieren. Deswegen werden langfristig erneuerbare Energien als Energiequelle immer wichtiger. Durch ständige Weiterentwicklung werden derzeit u.a. verstärkt PV-Anlagen und Windkraftanlagen aufgebaut. Diese zwei Formen von erneuerbaren Energien (EE) sind jedoch abhängig von verschiedenen Bedingungen, wie z.B. Tageszeit, Wetter, etc. Aus diesem Grund wird die Nutzbarkeit weiterer EE ebenso nachgegangen. So hat die Fa. *Rosch Innovations* ein Kraftwerk konstruiert, das den Auftrieb für die Erzeugung von elektrischer Energie nutzt. Da diese Kraftwerksart erstmals nach Aussage

von Fa. *Rosch Innovations* in hoher Anzahl in Deutschland Anwendung finden soll, unterstützte dies die Motivation der Funktionsweise nachzugehen.

2 Theoretische Grundlagen

Der Energieerhaltungssatz ist eine der grundlegendsten Prinzipien in den Naturwissenschaften: „In einem abgeschlossenen System ist die Summe aller Energien konstant. Die Gesamtenergie bleibt erhalten.“ Daraus folgt, dass Energien umgewandelt werden können, aber Energie weder erzeugt noch verloren gehen kann. Dies widerlegt die Existenz von Perpetuum mobiles, Systeme, die durch einmaliger Energiezufuhr von außen endlos in Bewegung bleiben. Hierbei spricht man von einem Perpetuum mobile 1. Art. Ein Beispiel hierfür ist ein System aus einem Ak-

ku, der eine Lampe mit Strom versorgt. Das erzeugte Licht wird über ein Fotoelement wiederum zur Stromerzeugung genutzt, worüber der Akku und weitere Verbraucher gespeist werden. In diesem Fall würde im System Energie erzeugt werden, der Wirkungsgrad wäre über 100 ist aufgrund des Energieerhaltungssatzes jedoch nicht möglich. Bei der Energieerzeugung muss immer eine Energie von außen zugeführt werden.

3 Literatur

- [1] W. Demtröder, Experimentalphysik 1: Mechanik und Wärme, Kaiserslautern: Springer, 2008.
- [2] Alternative Kraftwerkstechnologien, NET-Journal Jg. 19, Heft Nr. 3/4, März/April 2014 [Online] Available: http://www.borderlands.de/net_pdf/NET0314S410.pdf [Zugriff am 10.12.2015].
- [3] Internetseite der Fa. Rosch Innovations [Online]. Available: <http://rosch-innovations.de> [Zugriff am 10.12.2015].

Protection of HVDC grids, challenges and possible solutions

B.Sc, Fernando Yañez Treviño

Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen - **elenia**, f.yanez-trevino@tu-braunschweig.de

Abstract

The construction of a HVDC grid will enable the energy transport over long distances at a reasonable cost. This work provides an overview of the current state of art and possibilities for HVDC grids protection. Compared to AC protection, HVDC grids present additional challenges, their solution approach involving prospective and actual technology is presented. Future research needs include the construction of a reliable and cost effective circuit breaker as well as the definition of the interaction between grid components.

1 Introduction

Electric power transmission via high voltage direct current (HVDC) has become increasingly relevant due to its advantages over AC power transmission. For a transmission distance larger than roughly 100 km, HVDC results a more economical option [1]. Renewable energy is commonly available far away from consumers e.g. offshore wind parks; therefore HVDC is preferred over conventional AC in this case. Nowadays HVDC transmission is in operation as point to point (P2P) connections. The future integration of new feed points from renewable energy will require migration from P2P connection to meshed grid topology.

The revolution in scale and degree of interconnection between onshore and offshore renewable generation results in the so called supergrid [2]. The enhanced possibility of sharing and drawing resources from other national electricity systems may be achieved through the construction of HVDC grids. However accomplishing this type of grid implies solving current technical challenges as well as standardizing technology and grid parameters.

2 Theoretical background

Converter technology:

In order to connect DC and AC lines a converter station must be provided. Since the DC line separates the offshore power generation and the onshore AC grid, a phase difference is tolerable. Current technology for the converters relies on semiconductor components. The more conventional current-source converter (CSC) is based on thyristors, which are turn-on devices and consume reactive power. On the other hand voltage-source converters (VSC) are based on insulated-gate bipolar transistors and can provide the required reactive power at the receiving and sending end. Whether CSC or VSC should be used is not entirely clear, since the operation parameters of the connection must be considered.

HVDC topology:

There are several possibilities for the HVDC line configuration. A monopole configuration has a converter at each end of the line and both have a common voltage level and ground. A bipolar configuration uses four converters with two common voltage levels as well as a ground reference. Further configurations include back to back and Cross-Skagerrak.

Migration from P2P to multiterminal:

Multi-terminal systems consist of three or more converters interconnected, forming an HVDC grid. So far the conditions to be met by HVDC grids are not obvious. AC grid protection characteristics must be adopted by DC protection, these include: sensitivity, selectivity, speed, reliability and robustness.

Due to the distances involved, HVDC lines present longer communication delays. Non-unit protection, which is based on information about local voltage and/or current at one end, has the advantage of not requiring communication links. Non-unit protection minimizes costs and leaves out the communication delays and errors. Most of the protection systems in AC grids function with detection algorithms for steady-state voltage. The Fourier-based protection is useless for HVDC grids if we consider that the steady-state is a consistent dc voltage. Therefore a transient-based algorithm must be implemented; the short duration of the transient period in HVDC has to be considered.

DC circuit breaker:

The immediate protection for HVDC lines could be provided by HVDC circuit breakers (CB). The fault clearance in HVDC is more challenging than in AC, since HVDC lines do not have a natural zero crossing to mitigate the electric arc after opening the contacts. Additionally the low impedance of DC lines implies a fast increase in current after a fault, which requires a fast CB. A mechanical CB possesses a response time relatively slow for HVDC, semiconductor based CBs come with unpractical high power loss. Significant progress has been achieved on the construction

of hybrid CBs, combining the acceptable losses of a mechanical system and the fast response of a semiconductor based circuit. An open grid approach implying rapid triggering based on local measurements and then re-closing healthy circuits would lower the energy requirements of the CB [3].

3 References

- [1] Marvik, Jorun I. and Svendsen, Harald G: Analysis of grid faults in offshore windfarm with HVDC connection. Energy Procedia, Trondheim, Norway, 2013.
- [2] UK Parliament: European Supergrid-Energy and Climate Change. United Kingdom, Accessed on November 2015. [<http://www.publications.parliament.uk/pa/cm201012/cmselect/cmenergy/1040/104005.htm>].
- [3] Alstom: Implementing the protection and control of future HVDC grids. Think Grid, 2015. Accessed on November 2015 [<http://www.think-grid.org/implementing-protection-and-control-future-hvdc-grids>].
- [4] Franck, Christian M.: IHVDC Circuit Breakers: A Review Identifying Future Research Needs. Think Grid, 2015. Accessed on November 2015 IEEE Transactions on power delivery, vol. 26, no.2, April 2011.

Schalten in höheren Netzspannungsebenen

Switching in higher grid levels

Zhe Wang

Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen - **elenia**, wangzhe900115@gmail.com

Kurzfassung

In diesem Seminar werden Leistungsschalter (Ölschalter, SF6-Schalter, Vakuumschalter) in höheren Netzspannungsebenen thematisiert. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit den Vor- und Nachteilen, sowie den Funktionen der verschiedenen Leistungsschalter. Im Hauptteil des Seminars wird der Schaltvorgang und die Wirkungsweise, wie zum Beispiel der Löschvorgang der Schalter, thematisiert.

Abstract

The theme of this seminar is circuit breakers (oil circuit breaker, SF6 circuit breaker, vacuum circuit breaker) in high voltage network. This report is mainly about advantages, disadvantages and function of different high voltage circuit breakers. The main part of the seminar is the switching process and the principle of arc extinction.

1 Einleitung

In höheren Netzspannungsebenen spielen Leistungsschalter eine wichtige Rolle. Leistungsschalter sind spezielle Schalter, die für hohe Ströme und hohe Spannungen ausgelegt sind. Sie können nicht nur Betriebsströme und geringe Überlastströme schalten, sondern im Fehlerfall auch hohe Überlastströme über eine kurze Zeit halten und sicher ausschalten.

Heutzutage werden die meisten Hochspannungskomponenten mit Schwefelhexafluorid (SF₆) -Isolierung betrieben. Aber gleichzeitig existieren einige andere Schaltmedien, z.B. Öl, Vakuum. Wegen der Umweltverschmutzung und der Grenze von Technik verwendet man selten.

2 Theoretische Grundlagen

In diesem Kapitel werden die zum Verständnis der Leistungsschalter notwendigen Grundlagen erarbeitet. Ölschalter werden in Kesselbauweise aufgebaut. Zur Isolierung werden große Mengen von Öl benötigt [2]. Druckgas-schalter benutzen zur Lichtbogenlöschung der Schaltstrecke SF₆, mit der der Lichtbogen schnell zersetzt wird. Vakuumschalter haben kleine Bauweise und geringes Gewicht. Das ermöglicht den Einbau direkt an der Einsatzstelle. Da in dem Kontaktbereich kein Gas vorhanden ist, kommt es bei Kontaktöffnung zu einem kleinen Metaldampfbogen, welcher aus verdampftem Oberflächenmaterial der Kontakte gespeist wird. Wegen der teilweise Diffusion Ionen durch die Druckabweichung zwischen Metaldampfbogen und Vakuum wird der Metaldampfbogen gelöscht [1].

3 Literatur

- [1] H.-J. Lippmann, Schalten im Vakuum, Berlin: VDE VERLAG GMBH, 2003.
- [2] H.Schulze, Technik der Wechselstrom Hochspannungsschalter, Berlin: VEB VERLAG TECHNIK, 1961.

Isolationsprüfungen in der Energietechnik

Insulation tests in energy technology

Yannick Schubert, B.Sc.

Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen - **elenia**, y.schubert@tu-braunschweig.de

Kurzfassung

In dieser Arbeit wird die Isolierstoffprüfung in der Energietechnik anhand des Beispiels eines Ölkabels mit einer Isolierung aus Papier oder polypropylenbeschichteten Papier und Metallmantel und Garnituren für Wechselspannungen bis einschließlich 400 kV. Die Prüfungen an dem Kabel werden dabei anhand der Anweisungen und Vorgaben aus DIN VDE 0276-633 analysiert und präsentiert.

Zunächst wird dazu die Notwendigkeit von Isolierstoffprüfungen in der Hochspannungstechnik erläutert und anschließend auf die Isolationskoordination nach DIN VDE 0111 angewendet. Darauf aufbauend wird eine Erläuterung der Prüfung an o.g. Beispiel vorgenommen. Die Prüfungen werden in Form von Stückprüfung, Auswahlprüfung sowie Typprüfung analysiert.

Abstract

This presentation is about verification of cable insulation in energy technology using the example of an oil-filled cable with insulation made of paper or polypropylene-laminated paper and metal sheath for alternating currents of up to 400 kV. The verifications of the cables are based on DIN VDE 0276-633.

At first the necessity for verifications of insulation in high voltage cables are presented and then applied on insulation coordination in DIN VDE 0111. The verifications are presented for routine test, screening as well as type test.

1 Einleitung

In der heutigen Zeit ist die Versorgung mit erneuerbaren Energien ein Thema zentralerer Bedeutung. In Folge der Energiewende wird die Verbindung von Nord- und Süddeutschland immer wichtiger. Aufgrund politischer Bewegungen ist nun eine lange Kabeltrasse in Bayern in der Diskussion, die mit hohen Spannungen betrieben werden soll. Dieses Projekt treibt die Frage nach der Isolation und der dazugehörigen Isolationsprüfung von Kabeln bei sehr hohen Feldstärken voran, mit der sich diese Arbeit beschäftigen wird.

Zentrale Motivation der Arbeit ist zu ermitteln, wie die Sicherstellung der dielektrischen Festigkeit der Leiter erfolgt, damit ein unterbrechungsfreier Betrieb des Transportnetzes zwischen Nord- und Süddeutschland möglich ist.

2 Theoretische Grundlagen

Zu Grunde dieser Arbeit liegt vorrangig das Prinzip der Isolationskoordination nach VDE 0111.

Nach diesem Prinzip wird zunächst eine umfassende Netzanalyse angefertigt, bei der überprüft wird, welche Spannungen und Überspannungen in einem Netz zu erwarten sind. Es werden die repräsentativen Überspannungen U_{rp} ermittelt.

Anschließend wird eine tolerierbare Fehlerrate von Be-

triebsmitteln festgelegt, die aufgrund von repräsentativen Spannungen auftreten darf. Dafür wird der Koordinationsfaktor K_C mit der repräsentativen Überspannung multipliziert und ergibt die Koordinationsstehspannung U_{cw} .

Unter Berücksichtigung der Atmosphäre berechnet sich die erforderliche Stehspannung U_{rw} und aus dieser nach Tabellen in der Norm die Bemessungsspannung U_w .

Um diese elektrische Festigkeit zu prüfen sind in den Normen Stück-, Typ- und Auswahlprüfungen vorgeschrieben. Diese Prüfungen erfolgen jedoch nicht nur beim Hersteller, sondern werden zur Gewährleistung der Einhaltung der vorgegebenen Standards auch an staatlich geförderten Institutionen wie zum Beispiel der PTB durchgeführt.

Bei Stückprüfungen handelt es sich um einen Test, der an jedem gefertigten Bauteil durchgeführt wird, um die Funktion der Isolation zu bestätigen. Auswahlprüfungen erfüllen denselben Zweck, allerdings anstatt an jedem Bauteil erfolgt der Test nur stichprobenartig.

Die Typprüfung beschreibt die Bestätigung der technischen Funktionalität durch den Test eines Prototyps vor Produktionsbeginn.

Weiterhin notwendige Kenntnisse über den Aufbau des deutschen Hochspannungsnetzes sowie Hintergründe der politischen Diskussion rund um die neuen Energietrassen, anhand des aktuellen Beispiels in Bayern, werden zur Einordnung der Problemstellung empfohlen.

3 Literatur

- [1] A. Küchler, Hochspannungstechnik, Schweinfurth: Springer, 2009.
- [2] DKE, DIN VDE 0276-633, Berlin: VDE-Verlag, 1999.
- [3] DKE, DIN VDE 0276-605, Berlin: VDE-Verlag, 2009.

Prüffelder in der Hochspannungstechnik

Test Fields of High Voltage Technology

Ou Xu

Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen - **elenia**, o.xu@tu-braunschweig.de

Kurzfassung

In diesem Bericht werden Prüffelder bzw. Prüflaboratorien in der Hochspannungstechnik präsentiert. Der übliche Aufbau der Hochspannungsprüffelder und Leistungsprüffelder, und die wichtige Sicherheitselemente in einem Hochspannungsprüffeld anhand der Anforderungen der VDE Normen werden vorgestellt. Prüffelder bieten eine Vielzahl von Prüfungsmöglichkeiten. Es werden drei grundsätzliche Hochspannungsprüfungen und Leistungsprüfungen beschrieben. Anschließend werden die Prüffelder der IPH in Berlin und Kema in Arnhem für die Hochspannungsprüfung und Leistungsprüfung anschaulich gezeigt. Das Ziel des Vortrags ist, die Bedeutung von Prüffeldern für die Hochspannungstechnik und die wichtigen genormten Anforderungen für die Hochspannungslaboratorien zu verstehen.

Abstract

In this report, test laboratories in high-voltage technology are presented. The usual structure of high-voltage test laboratories and power test laboratories, and the important safety elements in a high-voltage test field according to requirements of VDE standards are introduced. Laboratories offer a variety of test options. Three basic high-voltage tests and High-power test are described. Subsequently, the test laboratories of IPH in Berlin and Kema in Arnhem are shown graphically for the high-voltage test and power test. The aim of the lecture is to understand the significance of test laboratories for high-voltage technology and the major standardized requirements for high-voltage test laboratories.

1 Einleitung

Die hochspannungstechnische Fertigung ist in besonderer Weise anfällig gegen kleine Fehler, die zur verheerenden Wirkung führen können. Auf diesem Grund sind Prüffelder in dem Industriebereich für die Qualitätssicherung und Sicherstellung von Grenzwerten bei energietechnisch angewendeten Komponenten wie Leistungstransformatoren oder Leistungsschaltern von großen Bedeutungen.

2 Theoretische Grundlagen

2.1 Überblick von Prüffeldern

Ein hochspannungstechnisches Prüffeld ist ein fest umschlossener Raum oder abgeschlossener Bereich. Die Prüfhallen des Hochspannungsprüffeldes sind mit elektrisch leitfähigen Boden und Wänden geschirmt, um bei empfindlichen Messungen einen geringen Störpegel zu halten. Ein Hochspannungsprüffeld besteht üblicherweise aus Hochspannungserzeugern, Prüfling, Hochspannungsmesseinrichtung, Verbindungskabel und Messgerät. Aus Spannungserzeugern werden die drei grundsätzlichen Prüfspannungsarten Wechsel-, Gleich- und Stoßspannung erzeugt. Für hohe Prüfspannungen werden sehr große Hallen zum Erreichen der in Luft großen Schlagweiten aufgebaut. Ein Leistungsprüffeld ist ein synthetisches Prüffeld, das mit Stromerzeugern, Speisekreis, Lastkreis, Sicherheitsschalter und Prüfling aufgebaut wird. [3]

2.2 Sicherheitselemente in einem Hochspannungsprüffeld

In jedem Fall erfordert das Hochspannungsprüffeld mit hohen zu einspeisenden Spannungen ganz besondere Sicherheitsmaßnahmen, die den jeweils aktuellen gültigen Normen zu entnehmen sind und die eine besondere Qualifikation und Unterweisung des Personals erfordern. Die zwei wichtigen Sicherheitselemente in einem Hochspannungsprüffeld sind Abgrenzung des Hochspannungsraums mit ausreichenden Sicherheitsabständen zu Hochspannung stehende Teilen und Berührungsschutz über führende Zustände von Last- und Speisekomponenten. [1] [2]

2.3 Prüfungen in Prüffeldern

Bei der Betriebssicherheit von hochspannungstechnischen Geräten, Anlagen und Systemen sowie die Qualität der Isolation nimmt die Prüfung im Prüffeld eine besondere Stellung ein. Beispielsweise bei der hohen Gleichspannungsprüfung werden HGÜ-Geräten und Isolieranordnungen mit großer Kapazität wie Kondensatoren oder Kabel im Prüffeld geprüft. Durch eine zusätzliche Wechselspannungsprüfung kann das Betriebsmittel im Hinblick auf Alterung, Verschmutzung oder Schaden untersucht werden. Stoßspannungsprüfungen simulieren Überspannungen in Drehstromnetzen, um die elektrischen Anlagen gegen einen Blitzeinschlag auf ausreichende Spannungsfestigkeit zu testen. Im Hochleistungsprüffeld werden Geräte und Anlagen der Hochspannungstechnik auf thermische und dy-

namische Kurzschlussfestigkeit, Ein- /Ausschalt- und Isolationsvermögen hin geprüft.

2.4 Anwendungsbeispiele von Prüffelder in der Hochspannungstechnik

Hierzu werden Prüffelder der Institute IPH und Kema anschaulich gezeigt. [3] [4]

3 Literatur

- [1] Küchler, A: Hochspannungstechnik: Grundlagen-Technologie-Anwendung. Heidelberg: Springer Verlag, 2009
- [2] BGHM BGI: Errichten und Betreiben von elektrisch Prüfanlagen. Februar 2006
- [3] elenia: Hochspannungstechnik 2: Hochspannungsprüfung. Wintersemester 2015/2016
- [4] Highlight: Kema Laboratories. 2015

Lithium-Ionen-Zellen – Produktion & Forschung in Deutschland

Lithium-ion-cells – production & research in Germany

Jörn Busch

Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen - **elenia**, jorn.busch@tu-bs.de

Kurzfassung

Viele deutsche Unternehmen investieren gegenwärtig große Summen und Anstrengungen in die Erforschung von Lithium-Ionen-Batterien. Ziel dieses Vortrages war es, einen Einblick in den gegenwärtigen Stand der Zellproduktion und -forschung in Deutschland zu geben. Aktuelle Herausforderungen sind mit Hilfe der Hauptprozessschritte deutlich gemacht worden. Zur Einordnung der Produktion im globalen Vergleich wurden die Marktanteile ausgewählter Firmen untersucht. Des Weiteren sind Forschungskonsortien und deren Tätigkeitsfelder erörtert worden. Festzuhalten ist, dass es Deutschland, trotz großer Investitionen, an ganzheitlichen Produktionssystemen fehlt.

Abstract

Actually various companies in Germany are investing a lot of money in the research of Lithium-Ion-Cell production technologies. This lecture was made for giving an overview about the current research in and production of Lithium-Ion-Cells. The present day challenges were discussed in reference to functionality and all process steps of the cells. Moreover, the market shares of selected companies were examined. Finally the goals of the cell research were given. In conclusion, Germany is lacking of holistic production systems.

1 Einleitung

Ein renommiertes Beispiel dafür, dass Batterien in Deutschland Tradition haben, ist die 1904 gegründete Varta GmbH. Durch die Entwicklung der Lithium-Ionen-Technologie in den 1990er Jahren wurden wesentliche Fortschritte in der Batterieforschung gemacht. Allerdings geschah die Entwicklung ausschließlich in Asien, gekoppelt an die Unterhaltungselektronikindustrie. 2012 befand sich das Marktvolumen der in Asien produzierten Batterien bei mehr als 10 Milliarden US-Dollar.[1]

In Deutschland hingegen wurden Forschung und Entwicklung zu neuen Batterien in den letzten Jahrzehnten vernachlässigt. Mit dem steigenden Interesse an der Elektromobilität rücken moderne Hochleistungsbatterien auch in der westlichen Welt in den Fokus. Fortschrittliche Batterien stellen eine Schlüsseltechnologie für die Elektromobilität dar und übernehmen gleichzeitig einen bedeutend hohen Anteil der Wertschöpfungskette. Dies macht die Produktion von Lithium-Ionen-Batterien für das Automobil-land Deutschland essenziell.[1]

2 Theoretische Grundlagen

Unabhängig vom Design der Zellen bestehen diese immer aus einem oder mehreren galvanischen Elementen. Hierzu zählen die positive und negative Elektrode, ein elektrisch leitender Kontakt, ein Elektrolyt und das Batteriegehäuse. Um einen physischen Kontakt der Elektroden zu verhindern, werden diese durch einen Separator getrennt.[2]

Der Herstellungsprozess von Batteriezellen gliedert sich in die drei Hauptprozessschritte Elektrodenfertigung, Zusammenbau der Zelle und Aktivieren der Zelle. Je nach Zelltyp (prismatische Zelle, Rundzelle, Flachzelle) können die Teilprozesse der einzelnen Hauptprozessschritte variieren. Der größte Unterschied liegt hierbei beim Zusammenbau der Zelle. Die Fertigung der Elektroden, sowie der Aktivierungsprozess sind weitgehend identisch.[2]

3 Literatur

- [1] A. Thielmann, A. Sauer, R. Isenmann, M. Wietzel und P. Plötz: Produkt-Roadmap Lithium-Ionen-Batterien 2030. Karlsruhe: Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, 2012
- [2] A. Kampker: Elektromobilproduktion. Heidelberg: Springer-Verlag Berlin, 2014

Lithium-Ionen-Batteriesysteme und deren Herstellung in Europa

Lithium-Ion-Battery systems and its production in Europe

Sven Ziegler

Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen - **elenia**, sven.ziegler@tu-braunschweig.de

Kurzfassung

Diese Seminararbeit hat sich mit der aktuellen Situation von Lithium-Ionen-Batteriepacks und –Modulen in Europa beschäftigt. Es wurden die derzeitigen Hersteller und Abnehmer in Europa herausgesucht und analysiert. Im Weiteren ist der Herstellungsprozess aufgeführt, d.h. im Einzelnen die Montage der Zellen zu einem Batteriepack und der benötigte Fertigungsprozess. Es wurde zusätzlich auch die Steuerung des Packs durch Batteriemanagementsysteme (BMS) untersucht. Die Arbeit hat derzeitige und die mögliche zukünftige Verwendungen, Forschungsthemen und Investitionen aufgezeigt.

Abstract

This paper dealt with the current situation of Lithium-ion-battery packs and modules in Europe by looking at and analyzing Companies and their current Production facilities residing in Europe. Furthermore the assembly was shown from scratch, starting from completed cells up to battery packs and the needed manufacturing process was listed, too. Additionally, the control of a battery module - the battery management system - was explained. At last, the work presented usage possibilities in nowadays and future economy and in the fields of research and investment.

1 Einleitung

Erneuerbare Energien und Elektromobilität verbreiten sich immer stärker und damit verbunden sind die Probleme der Speicherung der Energie.

Bei Wind-, Wasserkraft und Solarenergieanlagen fluktuiert die Energieerzeugung und kann im Gegensatz zu, mit fossilen Rohstoffen betriebenen Kraftwerken, nicht gesteuert werden. Um die gesamte gewonnene Energie nutzen zu können, werden Energiespeicher benötigt, die zu Zeiten höheren Verbrauchs entsprechend die bereits generierte Leistung abgeben können.

In der Automobilbranche schreitet der Umstieg von fossilen Brennstoffen hin zu Elektromobilität voran und eines der zurzeit größten Probleme sind die geringe Reichweite sowie die lange Ladezeit.

Diese Probleme sollen mit Hilfe neuer Batterietechnologien auf Basis der Lithium-Ionen-Batterie gelöst werden. Dabei muss sowohl an der Kapazität sowie an der Stabilität von größeren Batterien geforscht werden. Weiterhin ist das Produktionsvolumen noch geringer als das prognostizierte benötigte Volumen. Durch die kleinen Produktionsreihen sind die Preise zu hoch, was zusätzlich zu einer geringeren Abnahme beim Verbraucher führt. Hinzu kommt der lange Transportweg aus Asien und der Mangel an Produktionsstätten in Europa, die in Zukunft nötig sein werden.

2 Theoretische Grundlagen

Für die Lithium-Ionen-Zellen Produktion gibt es eine Vielzahl verschiedener Elektrodenmaterialien, die ver-

wendet werden [1]. Viele Zellen werden zu einem Modul gepresst, anschließend isoliert und in Reihe verschaltet. Zum Schluss werden die Steuerungselektronik - das BMS - und die Kühlaggregate montiert.

Die Module können zu Packs verarbeitet werden. Dafür werden diese in einem gekühlten Gehäuse gestapelt und verschraubt. Es wird zusätzlich ein BMS Master benötigt um die Auslastung der Module zu steuern. Am Ende der fertiggestellten Module, bzw. Packs werden diese auf Funktionsfähigkeit getestet [2].

Die mobilen Packs z.B. für Autos haben derzeit eine spezielle Leistung von 3500 Wh/kg [3], während stationäre Speicher, z.B. als Kleinpuffer Kapazitäten von 2 kWh, bei Großanlagen bis zu 5 MWh speichern können [1].

Derzeitige Probleme der Lithium-Ionen-Batterie-Produktion für Elektromobile und als Energiespeicher für erneuerbare Energien sind die Realisierung größerer Speicherkapazitäten und der Kostenfaktor. Während die Lithium-Ionen-Akkus schon heute in Mobiltelefonen im Massenmarkt angekommen sind, ist der Markt für größere Packs und Module noch sehr gering. Das liegt vor allem an den Produktionskosten, da nur Kleinserien produziert werden. Hinzu kommt noch die fehlende Infrastruktur im Stromnetz bzw. bei den Tankstellen [4] und ein Mangel an Produktionsstätten in Europa.

3 Literatur

- [1] R. Korthauer, Handbuch Lithium-Ionen-Batterien, Berlin Heidelberg: Springer, 2013.
- [2] „PEM, VDMA, RWTH Aachen,“ Oktober

2015. [Online]. Available: https://www.rwth-aachen.de/global/show_document.asp?id=aaaaaaaaaoqiyk. [Zugriff am November 2015].

[3] A. Kampker, Elektromobilproduktion, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2014.

[4] „Fraunhofer ISI,“ Oktober 2011. [Online]. Available: http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/e/de/publikationen/elektromobilitaet_broschuere.pdf. [Zugriff am Dezember 2015].

Überblick von Batterieprüfvorschriften für Lithium-Ionen Batterien in Deutschland

Overview of battery testing of lithium-ion batteries in Germany

B.Sc. Sascha Wolff

Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen - **elenia**, s.wolff@tu-braunschweig.de

Kurzfassung

Es gibt Prüfungen für elektrische und mechanische Belastbarkeit, sowie für die Zyklenfestigkeit von Batterien. Darüberhinaus existieren auch bestimmte Verfahren um Transportbedingungen wie Vibration, Schläge oder Temperaturschwankungen nachzustellen.

Diese Arbeit hat einen Überblick über verschiedene, für Lithium-Ionen Batterien angewendete Prüfvorschriften in Deutschland gegeben.

Abstract

There are some testings for electrical and mechanical load capacity as well as for the cycleability of batteries. Furthermore, there are also certain procedures to readjust transport conditions like vibration, strokes and variations in temperature. This paper gave an overview of different test specifications for lithium-ion batteries in germany.

1 Einleitung

Lithium-Ionen Batterien werden aufgrund ihrer hohen spezifischen Energien in immer mehr Anwendungen eingesetzt. Dies gilt nicht nur für kleine mobile Anwendungen, sondern auch für große Systeme wie Elektrofahrzeuge oder große stationäre Speicher. Mit zunehmender Speichergröße steigt aber auch die potentielle Gefahr in kritischen Situationen.

Aus diesem Grund wurden Prüfverfahren entwickelt, welche die Sicherheit einer Batterie (-zelle, -modul, -system) nachweisen sollen.

2 Theoretische Grundlagen

Als Grundlage für meine Arbeit dienen verschiedene Normen, in denen Prüfverfahren von Lithium-Ionen-Batterien für verschiedene Anwendungszwecke bzw. Transportbedingungen vorgeschrieben sind. Ein Beispiel dieser Normen ist folgende:

- **IEC 62660 Teil 1-3**

In dieser Norm werden Lithium-Ionen-Sekundärzellen für den Antrieb von Elektrostraßenfahrzeugen auf das Leistungsverhalten, auf die Zuverlässigkeit und möglichen Missbrauch geprüft, sowie Sicherheitsanforderungen von Zellen und Modulen beschrieben.

3 Literatur

- [1] DIN EN 62660-1: Prüfung des Leistungsverhaltens.
- [2] DIN EN 62660-2: Zuverlässigkeits- und Missbrauchsprüfung.
- [3] DIN EN 62660-3: Sicherheitsanforderungen von Zellen und Modulen.

Sensorik zur Charakterisierung von Batteriezellen

Sensors for the characterization of battery cells

Uili Wobeto Reinheimer

Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen - **elenia**, u.wobeto-reinheimer@tu-bs.de

Kurzfassung

Bei der Entwicklung von Lithium-Ionen-Batterien müssen diese bezüglich ihrer elektrischen Eigenschaften charakterisiert werden. Diese Arbeit hat sich mit der notwendigen Sensorik beschäftigt, wobei die zu bestimmenden Parameter der Strom, die Temperatur und der Druck innerhalb der Zelle sind. Es werden verschiedene Messkonzepte mit dementsprechenden Vor- und Nachteilen mit einem Blick auf den Messaufbau dargestellt.

Abstract

In the development of lithium-ion batteries they must be electrical characterized. This work has dealt with the necessary sensors to determine the parameters of the current, temperature and pressure within the cell. There are presented the advantages and disadvantages each measurement concept and the Test setups.

1 Einleitung

Lithium-Ionen-Batterien sind in der heutigen Gesellschaft, besonders wegen ihrer Energiedichte, nicht mehr weg zu denken. Das Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen forscht seit Jahren an der Entwicklung und Herstellung dieser Batterieart. Bei der Charakterisierung von Batteriezellen werden unterschiedliche Messverfahren angewendet, wie die Elektrochemische-Impedanz-Spektroskopie. Mit diesem Verfahren ist es möglich eine quantitative Aussage über die Qualität der Batteriezelle oder über den Alterungszustand zu geben. Aber auch einfache Messungen von Lade- und Entladevorgängen zur Bestimmung des Innenwiderstands sowie Leistungstests können eine Aussage über die Qualität der Zelle geben.

Die Messverfahren benötigen eine bestimmte Sensorik, die Thema dieser Arbeit ist.

bildet sich ein Gas innerhalb der Zelle und der Druck steigt. Die Messung von Druck in Batteriezellen befindet sich momentan in Forschungsebene und hat zum Beispiel das Potential, die Reaktionszeit des Lade-Systems zu verkürzen. Die Batterien werden damit verschont und das Gesamtsystem wird sicherer.

3 Literatur

- [1] J. Cannarella, C. B. Arnold, Stress evolution and capacity fade in constrained lithium-ion: Journal of Power Sources, 2014.
- [2] Prof. Dr.-Ing. M. Kurrat, Skript zur Vorlesung Gleichstrom- und Speichersysteme, 2015.
- [3] Martyn Ottaway, Stability of Li-Ion Batteries; Internal Pressure Measurement, Bletchley England.

2 Theoretische Grundlagen

Lithium-Ion Batterien speichern Energie, indem elektrische Energie in chemische Energie umgewandelt wird. Die Optimierung der Eigenschaften einer Zelle wird durch geringfügige Abweichungen verschiedener Parameter erzielt, wie z.B. chemische Bestandteile. Die Zellen werden dann zum ersten Mal geladen und bilden an der negativen Elektrode eine „Solid Electrolyte Interphase“-Schicht (SEI-Schicht). Der Ladevorgang ist ein kritischer Punkt des Prozesses und kann zu einer Instabilität der Batterie führen. Aus diesem Grund ist es sehr wichtig die Temperatur der Zelle zu überwachen um schnellstmöglich auf ein Verlassen des sicheren Temperaturbereichs zu reagieren. Bevor die Erhöhung der Temperatur messbar wird,

Berührungslosen Temperaturmessung unter Extrembedingungen

Non-contact temperature measurement under extreme condition

Marvin Lee Schroeder

Institut für Hochspannungstechnik und elektrische Energieanlagen - **elenia**, baiyun.li@tu-braunschweig.de

Kurzfassung

Im Rahmen des Studienseminars soll ein geeignetes Verfahren zur Temperaturmessung unter Extrembedingungen ermittelt werden. Dazu wird zunächst das Anwendungsgebiet genauer abgegrenzt. Nach einer Gegenüberstellung gängiger Messverfahren erfolgt eine Bewertung der für das Einsatzgebiet anwendbaren Messverfahren. Im Fazit werden die Ergebnisse zusammengefasst.

Abstract

In the context of the teacher training college (Studienseminar) a suitable method for temperature measuring under extreme conditions should be determined. Therefor the field of application needs to be defined. Common measuring technics are evaluated and weighted depending on the initial situation. In the end the results are concluded.

1 Einleitung

Beim Institut für Hochspannungstechnik und Elektrische Energieanlagen (elenia) wird unter anderem Grundlagenforschung an Schaltgeräten betrieben. An den Funkenstrecken von Überspannungsableitern entstehen sehr hohe Temperaturen. Zum besseren Verständnis und zur besseren Auslegung von Schaltern soll die entstehende Temperatur während des Funkenüberschlags gemessen werden. Um diese Temperatur messen zu können muss ein Messverfahren gefunden werden, welches Temperaturen von bis zu 30.000K bei einer Expositionszeit von ca. 100 μ s messen kann. Das Ergebnis der Messung soll wenn möglich in einem Messverlauf dargestellt werden.

2 Mögliche Messverfahren

Ein Grundlagenteil wird auf die physikalischen Zusammenhänge zwischen der atomaren Struktur und der Temperatur eines Elements eingehen. Später werden das elektromagnetische Spektrum und einige Gesetze der Thermodynamik erläutert.

Ein Überblick über gängige Messverfahren (wie kapazitive Temperaturmessung, Wärmebildkameras und weiteren) stellt die Bandbreite an Möglichkeiten zur berührungslosen Temperaturmessung dar. Für eine Funkenstrecke fallen viele konventionelle Messverfahren weg, da die kurze Expositionszeit und die sehr hohen Temperaturen an die Grenzen konventioneller Messverfahren gehen.

Daher soll genauer auf die für das Anwendungsgebiet vielversprechenden Messverfahren Pyrometer (Spektrale Strahlungsthermometer) und Bolometer (Strahlungsmessung durch Absorption) eingegangen werden. Ebenfalls soll überprüft werden, ob sich die optische Emissionss-

pektroskopie für eine berührungslose Temperaturmessung im genannten Einsatzbereich eignet. [1] [2] [3] [4] [5]

Die vorgestellten Messverfahren werden für das Anwendungsgebiet bewertet und ungeeignete Messverfahren ausgeschlossen. Das geeignetste Verfahren wird weitergehend beschrieben und es soll ein Bezug zum Einsatzgebiet hergestellt werden.

Abschließend soll ein Ausblick mögliche Anschlusspunkte an die Arbeit zeigen.

3 Literatur

- [1] TheYourbox, „YouTube“, 11.2015. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=RbA9ZOiPcag>. [Zugriff am 11 2015].
- [2] F. Bernhard, Handbuch der Technischen Temperaturmessung, Ilmenau: Springer.
- [3] Optris GmbH, „optris“, 11 2015. [Online]. Available: <http://www.optris.de/was-ist-infrarot-temperaturmessung>. [Zugriff am 08 12 2015].