Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 75 (1984)

Heft: 19

Artikel: Elektrotechnische Aspekte bei Blockheizkraftwerken

Autor: Müller, R.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-904486

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Elektrotechnische Aspekte bei Blockheizkraftwerken

R. Müller

Blockheizkraftwerke werden mit Asynchron- oder Synchronmaschinen ausgerüstet. Für verschiedene Anwendungen werden die Vor- und Nachteile der beiden Maschinentypen aufgezeigt. Einige Anlagekonzepte werden unter besonderer Berücksichtigung der Versorgungssicherheit erörtert. Neben den üblichen Abschaltkriterien bei Netzausfall wird ein zusätzliches Kriterium vorgestellt. Abschliessend werden die durch Blockheizkraftwerke verursachten möglichen Netzbeeinflussungen besprochen.

Les centrales couplage chaleur force sont équipées de machines asynchrones ou synchrones. Les avantages et les inconvénients de ces deux types de machines sont indiqués pour différentes applications. Quelques conceptions d'installation sont mentionnées en considérant particulièrement la sécurité de l'alimentation. Outre les critères usuels de déclenchements lors d'une panne du réseau, un critère supplémentaire est présenté. Les répercussions du réseau de ces centrales sur le réseau sont également traitées.

Herrn Professor *H. Kern* zum 70. Geburtstag gewidmet.

Adresse des Autors

R. Müller, dipl. Ing. ETH, Professur für elektrotechnische Entwicklungen und Konstruktionen, ETH-Zentrum, 8092 Zürich.

1. Stromerzeugungsmaschinen

Blockheizkraftwerke (BHKW) sind Anlagen, die nach dem Konzept der Wärme-Kraft-Kopplung arbeiten. Die von den Verbrennungsmotoren abgegebene Wärme wird für Heizzwecke, die mechanische Arbeit wird zum Antrieb von Generatoren genutzt.

In Blockheizkraftwerken kommen gleichermassen Drehstromasynchron- und -synchronmaschinen als Stromerzeuger zum Einsatz, wobei die beiden Maschinenarten verschiedene Vor- und Nachteile aufweisen. Grundsätzlich kann jede elektrische Maschine als Motor oder Generator betrieben werden. Konstruktiv wird die Maschine aber doch vom Hersteller der hauptsächlich vorgesehenen motorischen oder generatorischen Betriebsart in Wirkungsgrad, Kurzschlussverhalten, Einschaltströmen und Hochlaufkennlinie angepasst.

Die *Asynchronmaschine* mit Kurzschlussläufer zeichnet sich durch einfachen Aufbau, Robustheit und einen geringen Unterhaltsbedarf aus. Charakteristisch für sie ist ihr Bedarf an Magnetisierungsblindleistung in allen Betriebszuständen und die daraus resultierende Netzbelastung. In bestimmten Fällen stellt das Versorgungsunternehmen dem Verbraucher für diesen Blindleistungsbezug Rechnung, weshalb der Asynchronmaschine häufig Kompensationskondensatoren parallel geschaltet werden. Im generatorischen Betrieb arbeiten Asynchronmaschinen problemlos, solange die Spannungs- und Frequenzhaltung durch das Netz gewährleistet ist. In bezug auf den Netzanschluss besteht kein grundsätzlicher Unterschied zwischen Generator- und Motorbetrieb. Zu beachten sind bei ersterem lediglich die möglicherweise hohen Einschaltströme, z. B. beim Hochlauf einer Anlage über die Asynchronmaschine. Mit einer Stern-Dreieckumschaltung können diese Ströme reduziert werden, sofern ein vermindertes Anlaufmoment tolerierbar ist. Der sogenannte Einschalt-Rush wird vom Aufbau der Magnetfelder verursacht. Die damit verbundenen Ströme klingen sehr rasch ab und sind in aller Regel problemlos.

Die Asynchronmaschine eignet sich schlecht für eine vom Netz unabhängige Stromerzeugung, weil eine stabile Spannungs- und Frequenzregelung auf einfache Weise nicht möglich ist.

Die heute zum Einsatz gelangenden *Synchronmaschinen* sind meist schleifringlos. Sie sind mit einem rotierenden Gleichrichtersatz ausgerüstet und haben eine elektronische Spannungs- oder Blindleistungsregelung. Die Synchronmaschine ist im Gegensatz zur Asynchronmaschine in der Lage, auch Blindleistung abzugeben, d. h. ihr Leistungsfaktor ist über die Erregung einstellbar. Sie kann deshalb das Netz induktiv oder kapazitiv belasten und damit gleichzeitig als Generator und als Blindleistungskompensator arbeiten.

Der Anlauf der Synchronmaschine erfolgt entweder von der mechanischen Seite her oder aber mit Hilfe des Dämpferkäfigs asynchron von der Netzseite aus. Wird dann durch Zuschalten der Erregung die Maschine synchronisiert, so ist mit hohen Ausgleichsströmen zu rechnen. Die Synchronmaschine eignet sich für den Inselbetrieb, da sie im Gegensatz zur Asynchronmaschine eine genaue Frequenzregelung über die mechanische Drehzahl sowie eine genaue Spannungsregelung über die Erregung erlaubt.

Beachtung ist der Ankopplung ans Netz zu schenken: Spannung, Frequenz und Phasenfolge von Synchronmaschine und Netz müssen beim Zuschalten übereinstimmen. Üblicherweise sorgt heute eine Automatik für ein sanftes Ankoppeln. Bei kleineren

Maschinen gibt man sich oft mit einer Grobsynchronisation zufrieden. Es wird unabhängig von anderen Grössen angekoppelt, sobald die Frequenzdifferenz ≤3% ist. Eine zwischen Netz und Maschine geschaltete Drossel muss den vom Zuschalten herrührenden Strom begrenzen und das Intrittziehen der Maschine gewährleisten.

2. Anlagekonzepte und Ausrüstung

Da Stromerzeugungsanlagen in Blockheizkraftwerken mindestens zeitweise parallel mit dem Netz betrieben werden, muss schon in der Planungsphase Kontakt mit dem Elektrizitätswerk aufgenommen werden.

Ein entscheidender Faktor für die Planung ist die Grösse der Anlage. Kleine Anlagen ab 15 kW_{el} sind in kompakter Modulbauweise erhältlich und können mit anderen Modulen parallel geschaltet werden. Grössere Anlagen, die eventuell zusätzliche Aufgaben in der Energieversorgung zu übernehmen haben, werden bis zu einem gewissen Grad massgeschneidert. Bereits ab kleinen Leistungen von 30...40 kW_{el} ist man bestrebt, eine Mehrmodulanlage vorzusehen. Durch Zu- und Abschalten einzelner Module kann so stets nahe am elektrischen Eigenbedarf gefahren werden. Dieser sogenannte intermittierende Vollastbetrieb garantiert einen hohen Wirkungsgrad der einzelnen im Nennarbeitspunkt arbeitenden Module. Diese Aufteilung ist auch im Inselbetrieb interessant, da gesamthaft betrachtet solche Betriebsverhältnisse die Lebensdauer der Eigenerzeugungsanlage erhöhen. Zudem kann bei Ausfall, Reparatur oder Wartung einer Einheit eine eventuell vorhandene Reserveeinheit oder ein momentan nicht benütztes Modul für das ausgefallene einspringen.

In einer Mehrmodulanlage können je nach Anwendungsbereich synchrone, asynchrone oder beide Maschinentypen gemischt eingesetzt werden. Die Anschaffungs- und teilweise auch die Betriebskosten fallen bei kleineren Anlagen bezogen auf die Leistung höher aus als bei grossen Einheiten. Verdoppelt man z. B. die Leistung bzw. halbiert man die Anzahl Module, so können die Materialeinsparungen bis zu 30% betragen. Eine Ausnahme bilden Einheiten aus Grossserien.

Blockheizkraftwerke lassen sich mit *Notstromversorgungsanlagen* kombinieren. Dadurch verbessert sich das Nutzen-Kosten-Verhältnis. Solche BHKW-Notstromversorgungsanlagen werden der Frequenz- und Spannungsstabilität wegen mit Synchronmaschinen ausgerüstet. Neben den hohen Zuverlässigkeitsanforderungen, die an solche Notstromanlagen gestellt werden, spielt vor allem die benötigte Zeit zum Erstellen der Betriebsbereitschaft eine Rolle. Für zeitunkritische Versorgungen werden Notstromgruppen eingesetzt, die z. B. über Druckluft gestartet werden und somit eine gewisse Anlaufzeit benötigen. Schnellbereitschaftsanlagen kommen da zum Einsatz, wo Stromunterbrechungen bis zu einer halben Sekunde zugelassen werden können. Für unterbrechungslose Stromlieferung werden sogenannte Sofortbereitschaftsanlagen eingesetzt.

Zur Grundausrüstung einer Eigenerzeugungsanlage, die netzparallel betrieben wird, gehört der Leistungsschalter für das Zu- und Wegschalten der Anlage vom Netz. Dieser muss die zu erwartenden maximalen Kurzschlussströme sicher beherrschen. Rasche Netzabschaltungen sowie -unterbrechungen, insbesondere aber gezielte Kurzunterbrechungen, sollen möglich sein. Ein schnelles Wiederzuschalten begrenzt die Phasenverschiebung zwischen Netz und Maschine.

Besondere Aufmerksamkeit ist dem Generatorsternpunkt zu schenken. Zur Vermeidung von Ausgleichströmen auf dem Nulleiter, verursacht durch sich überlagernde Oberschwingungen, können Filter eingebaut werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Sternpunktverbindung so auszulegen, dass die Überströme verkraftet werden können. Ein andere Variante sieht vor, die Sternpunktverbindung im Netzparallelbetrieb mit geerdeten Netzen zu unterbrechen und diese erst im Inselbetrieb mit dem Nulleiter wieder zu verbinden.

Während in Eigenerzeugungsanlagen, die nicht im Inselbetrieb fahren können und deshalb immer ins Niederspannungsnetz einspeisen, die Generatoren direkt über den Generatorschalter mit dem Netz verbunden werden, koppelt im Verbund-Inselbetrieb ein spezieller Kuppelschalter das Insel- mit dem öffentlichen Versorgungsnetz. Eingespeist wird entweder direkt ins Niederspannungs- oder über einen Blocktransformator ins Mittelspannungsnetz. Mit Hochspannungsgeneratoren ist auch die direkte Einspeisung ins Mittelspannungsnetz möglich.

3. Steuerung und Überwachung

Die automatische Inbetriebsetzung, der Betrieb und das Ausserbetriebsetzen der Anlage ist Aufgabe der Steuerung. Diese wird heute schon bei kleineren Anlagen mit Mikroprozessoren realisiert. Dank der Flexibilität solcher Systeme können Erweiterungen relativ problemlos vorgenommen werden.

Neben Temperatur, Kraftstoffversorgung, Öldruck, Schwingungen usw. ist mit besonderer Aufmerksamkeit der Netzausfall zu überwachen, da die Eigenerzeugungsanlage bei einem Netzausfall sofort ausser Betrieb gehen muss, damit nicht unkontrollierte und unkontrollierbare Leistungsflüsse und Rückspeisungen auftreten. Gefordert wird, dass mindestens zwei, oftmals auch drei im Prinzip verschiedene und unabhängige Abschaltkriterien im Störungsfall wirksam werden. Am einfachsten erfassbar ist die Netzspannung. Nicht viel aufwendiger lassen sich Frequenzkriterien ableiten. Weiter kann an ein Impedanzkriterium gedacht werden, dessen technische Ausführung aber Schwierigkeiten bereitet. Ohne auf die verschiedenen weiteren Vorschläge zu diesem Thema näher einzugehen, soll nachstehend noch kurz ein neueres Verfahren vorgestellt werden, das bei verhältnismässig geringem Geräteaufwand sehr schnell und zuverlässig einen Netzausfall signalisiert.

Jede Eigenerzeugungsanlage besitzt ein charakteristisches Oberschwingungsspektrum, vergleichbar mit den Fingerabdrücken eines Menschen. Solange nun der Betrieb parallel zum Netz erfolgt, wird die Kurvenform der Spannung wesentlich durch das Netz bestimmt. Sobald aber das Netz ausfällt, treten die besagten Oberschwingungen mit ihren charakteristischen Werten und Amplitudenverhältnissen voll in Erscheinung und bilden das gesuchte Abschaltkriterium [1; 2].

Schliesslich gehören zum Bereich der Überwachung auch noch alle Messeinrichtungen, die zur Betriebsführung, Abrechnung und zur Abwicklung der Servicearbeiten erforderlich sind.

4. Vorschriften

Eigenerzeugungsanlagen, die mit dem Netz parallel betrieben werden, unterliegen der Vorlagepflicht. Vor der Erstellung, Änderung oder Instandstellung der Anlage ist dem Eidgenös-

sischen Starkstrominspektorat (ESTI) eine Vorlage der Anlage einzureichen, die den Bestimmungen der Starkstromverordnung zu genügen hat. Der Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke (VSE) hat Merkblätter über die Anschlussbedingungen für die Eigenerzeugungsanlagen veröffentlicht [3; 4]. Diese beinhalten rechtliche und administrative Belange, Anschlussbedingungen und Betriebsvorschriften.

5. Netzbeeinflussungen

Netzrückwirkungen sind im Parallelbetrieb in allen Betriebsphasen denkbar: beim Anlauf, beim Normal- und Störbetrieb sowie beim Abschalten der Anlage. Im allgemeinen dürften die von der Maschine herrührenden Oberschwingungen unproblematisch sein. Die diesbezüglichen Vorschriften und Empfehlungen des VSE legen die Maximalwerte am Anschlusspunkt fest. Periodische Spannungsschwankungen, hervorgerufen durch Kolbenmaschinenantriebe, können das Netz ebenfalls unerwünscht beeinflussen.

Bereiten die Blindleistungsverhältnisse besondere Probleme, kann der Einsatz zusätzlicher Kompensationsmittel notwendig werden. Schliesslich ist noch zu beachten, dass beim Zu- und Abschalten der einzelnen Anlagen keine unzulässigen Rückwirkungen auf das Netz entstehen.

Der Anschluss von Eigenerzeugungsanlagen hat grundsätzlich die Erhöhung der Kurzschlussleistung im Netz zur Folge. Während kleine Anlagen kaum einen Einfluss auf das Netz ausüben, können grössere Anlagen zusätzliche Massnahmen im Netz nötig machen.

Literatur

[1] *O. Schär:* Eigenerzeugungsanlagen mit Asynchronmaschinen. Sicherheitsvorkehrungen bei Parallelbetrieb mit dem Verteilnetz des Elektrizitätswerks. Elektrizitätsverwertung 56(1981)7/8, S. 147...150.

[2] *A. Kehl* und *C. Wicki:* Sicherheitsgruppe für kleine Totalenergieanlagen. Professur für elektrotechnische Entwicklungen und Konstruktionen, Studienarbeit, Februar 1984, ETH Zürich.

[3] Anschlussbedingungen für Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen. VSE-Druckschrift Nr. 2.20 d. Zürich, Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke, 1979.

[4] Merkblatt für elektrische Energieerzeugungsanlagen im Parallelbetrieb mit dem Netz und den Energiebezug bzw. Rücklieferung in das Netz. VSE-Druckschrift Nr. 2.23 d. Zürich, Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke, 1981.