



IBSNM
Ingenieur-Büro für Systemanalyse
und Numerische Modellierung

Stationäres Teillastverhalten einer geschlossenen Einwellen-Gasturbinenanlage mit Hochtemperaturreaktor bei Druckpegel- und Bypassregelung

Dr. rer. nat. Dipl.-Ing. Rudolf Adolf Dietrich

Juli 2006

IBSNM

Ingenieur-Büro für Systemanalyse und Numerische Modellierung

Neues Land 26

D-21522 Hohnstorf/Elbe

Tel.: 04139 - 6 96 91 49 • Fax: 04139 - 69 64 61 • E-Mail: Rudolf-Adolf.Dietrich@t-online.de

Homepage: <http://www.rudolf-adolf-dietrich.de/IN007/B-10.pdf>

© Juli 2006 **IBSNM** Ingenieur-Büro für Systemanalyse und Numerische Modellierung.

Der Bericht wurden nach bestem Wissen und Gewissen auf dem Stand der Wissenschaft und Technik erarbeitet. Für die Anwendung und Verwendung der Ergebnisse sowie für eventuell daraus resultierende Folgen wird keine Gewähr und keine Haftung übernommen.

Der Bericht ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere der Vervielfältigung auf irgendwelchen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten und bedürfen der schriftlichen Genehmigung des Verfassers.

Das Copyright sowie die Nutzungs- und Urheberrechte liegen uneingeschränkt beim Verfasser des Berichtes. Eine Übertragung von Teilen der Nutzungsrechte bedarf der Schriftform.

Stationäres Teillastverhalten einer geschlossenen Einwellen-Gasturbinenanlage mit Hochtemperaturreaktor bei Druckpegel- und Bypassregelungen

R. A. Dietrich

Der Bericht umfasst 15 Textseiten und 43 Seiten mit 85 Bildern

Zusammenfassung

Bei einem Kraftwerk, bestehend aus einer thermischen Energiequelle und einer Gasturbinenanlage, kommt der Beurteilung des stationären Teillastverhaltens sowohl bezüglich der Wirtschaftlichkeit als auch der Sicherheit eine besondere Bedeutung zu. In dem vorliegenden Bericht wird eine 600 MW_{el} Einwellen-Gasturbinenanlage mit Hochtemperaturreaktor als Wärmequelle betrachtet.

Die Nutzleistung, die bei einer Einwellenanlage abgegeben wird, ergibt sich als Differenz aus der Turbinen- und Verdichterleistung. Da die Leistung der Strömungsmaschinen direkt proportional den in ihnen strömenden Mengen des Arbeitsmittels ist, bietet sich unter anderem eine Beaufschlagung der Turbine und der Verdichter mit verschiedenen Mengenströmen des Arbeitsmittels als Regelungsmöglichkeit an.

Zur Beurteilung des Teillastverhaltens einer geschlossenen Gasturbinenanlage mit einem Hochtemperaturreaktor wurden verschiedene Regelungsarten untersucht. Eine Bewertung der verschiedenen Regelungsarten nach dem thermischen Wirkungsgrad zeigt folgende Reihenfolge:

1. Druckpegelregelung (Mengenregelung).
2. Bypass vom Hochdruckverdichteraustritt zum Kühlereintritt (siehe Bild 1, V1),
3. Bypass vom Austritt der Hochdruckseite des Wärmeübertragers zum Eintritt der Niederdruckseite des Wärmeübertrager (siehe Bild 1, V3),
4. Bypass vom Hochdruckverdichteraustritt zum Turbineneintritt (Temperaturregelung) (siehe Bild 1, V4)
5. Bypass vom Hochdruckverdichteraustritt zum Eintritt der Niederdruckseite des Wärmeübertragers (siehe Bild 1, V2).

Die Druckpegelregelung ist wegen des nahezu konstanten thermischen Wirkungsgrades thermodynamisch zwar die beste Regelungsart, ist aber wegen der langsamen Reaktion in der Praxis nur in Kombination mit anderen Bypassregelungen geeignet.

Bei den unter 2. bis 5. aufgeführten Regelungsarten nimmt der thermische Wirkungsgrad mit aufsteigender Nummer ab. Die Regelungsart unter 2. ist als die günstigste anzusehen. Bei der unter 3. aufgeführten Regelungsart ist die Eintrittstemperatur am Regelventil wesentlich höher als bei den anderen Regelungsarten. Wegen dieser hohen Temperatur sind die Abmessungen des Regelventils und somit die Kosten ebenfalls wesentlich höher als bei den anderen Ventilen.

Die Regelungsart unter 4. stellt die bei Gasturbinen übliche Regelung dar. Durch die zusätzliche Öffnung des Bypasses verringert sich der Druckverlust im Kreislauf und damit ändert sich die thermische Leistung in einem kleinen Regelbereich nur geringfügig.

Die Regelung unter 5. hat den geringsten thermischen Wirkungsgrad, weil die Bypassmenge mit niedriger Temperatur an einer Stelle mit relativ hoher Temperatur zugeführt wird, wodurch die Temperatur auf der Niederdruckseite des Wärmeübertragers und somit der Übertragungsgrad des Wärmeübertragers gesenkt werden.

Da die Temperaturen und Drücke für jede Anlagekomponente bei den Teillastzuständen vorliegen, kann jede Komponente nach artspezifischen Kriterien beurteilt werden. Dies gilt für die thermodynamische, die fluid- und strukturmechanische sowie die konstruktive Beurteilung.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
2. Regelmöglichkeiten bei einer geschlossenen Gasturbinenanlage.....	1
2.1 Reaktorregelung.....	2
2.2 Druckpegelregelung (Mengenregelung).....	2
2.3 Drosselregelung.....	2
2.4 Bypass zur Mengenregelung.....	2
2.5 Bypass zur Temperaturregelung.....	2
2.6 Drehzahlregelung	3
3. Anforderungen an die Regelung.....	3
4. Thermodynamik des geschlossenen Gasturbinenprozesses	3
5. Verschlüsselung des Schaltplanes	4
6. Durchführung der Berechnungen	4
7. Durchgeführte Untersuchungen	6
7.1 Bypass vom Hochdruckverdichteraustritt zum Kühlereintritt	6
7.1.1 Thermische Leistung und thermischer Wirkungsgrad	7
7.1.2 Regelventil.....	7
7.1.3 Verdichter.....	7
7.1.4 Wärmeübertrager.....	7
7.1.5 Reaktor.....	8
7.1.6 Turbine.....	8
7.2 Bypass vom Hochdruckverdichteraustritt zum Eintritt der Niederdruckseite des Wärmeübertragers.....	8
7.2.1 Thermische Leistung und thermischer Wirkungsgrad.....	8
7.2.2 Regelventil.....	8
7.2.3 Verdichter.....	9
7.2.4 Wärmeübertrager.....	9
7.2.5 Reaktor.....	9
7.2.6 Turbine.....	9
7.3 Bypass vom Austritt der Hochdruckseite des Wärmeübertragers zum Eintritt der Niederdruckseite des Wärmeübertragers.....	9
7.3.1 Thermische Leistung und thermischer Wirkungsgrad	10
7.3.2 Regelventil.....	10
7.3.3 Verdichter.....	10
7.3.4 Wärmeübertrager.....	10
7.3.5 Reaktor.....	10
7.3.6 Turbine.....	11
7.4 Bypass vom Hochdruckverdichteraustritt zum Turbineneintritt	11
7.4.1 Thermische Leistung und thermischer Wirkungsgrad	11
7.4.2 Regelventil.....	11
7.4.3 Verdichter.....	11
7.4.4 Wärmeübertrager.....	12
7.4.5 Reaktor.....	12
7.4.6 Turbine.....	12
7.5 Druckpegelregelung (Mengenregelung)	12
7.5.1 Thermische Leistung und thermischer Wirkungsgrad	12
7.5.2 Verdichter.....	12
7.5.3 Wärmeübertrager.....	13
7.5.4 Reaktor.....	13
7.5.5 Turbine.....	13
8. Schlussbemerkungen.....	13
9. Literatur.....	14
Anhang: Bilder.....	A-1

1. Einleitung

Bei einem Kraftwerk, bestehend aus einer thermischen Energiequelle und einer Gasturbinenanlage, kommt der Beurteilung des stationären Teillastverhaltens sowohl bezüglich der Wirtschaftlichkeit als auch der Sicherheit eine besondere Bedeutung zu.

Die Nutzleistung, die bei einer Einwellenanlage abgegeben wird, ergibt sich als Differenz aus der Turbinen- und Verdichterleistung. Da die Leistung der Strömungsmaschinen direkt proportional den in ihnen strömenden Mengen des Arbeitsmittels ist, bietet sich unter anderem eine Beaufschlagung der Turbine und der Verdichter mit verschiedenen Mengenströmen des Arbeitsmittels als Regelungsmöglichkeit an.

In Bild 1 ist der Schaltplan einer 600 MW_{el} Einwellen-Gasturbinenanlage dargestellt, wobei als thermische Energiequelle ein Hochtemperaturreaktor gewählt wurde. Es könnte jedoch auch eine konventionelle Brennkammer als thermische Energiequelle verwendet werden. Bei einem Kernreaktor als thermische Energiequelle wird Helium als Arbeitsmittel und bei einer konventionellen Brennkammer ein Gasgemisch aus Brennstoff (z.B. Kerosin) und komprimierter Luft verwendet.

Bei der hier gewählten Art der thermischen Wärmequelle wird das Helium vor dem Eintritt in den Niederdruckverdichter im Kühler auf 22⁰ C heruntergekühlt. Die Verdichtung des Heliums erfolgt in drei Stufen. Zwischen den Stufen wird das Helium wieder weitgehend heruntergekühlt. Nach dem Austritt des Heliums aus dem Hochdruckverdichter durchströmt es den Wärmeübertrager, um einen Teil der Wärme hinter der Turbine zu nutzen. Nach dem Durchströmen des Heliums unter dem hohen Druck wird im Reaktor thermische Energie zugeführt. Danach wird das Helium bei hohem Druck von 60,61 bar und hoher Temperatur von 850⁰ C der Turbine zugeführt. In der Turbine expandiert das Helium.

2. Regelmöglichkeiten bei einer geschlossenen Gasturbinenanlage

Die möglichen Regelungsarten bei einer geschlossenen Gasturbinenanlage sind:

1. Reaktorregelung,
2. Druckpegelregelung (Mengenregelung),
3. Drosselregelung,
4. Bypass zur Mengenregelung,
5. Bypass zur Temperaturregelung und
6. Drehzahlregelung.

Bei diesen Regelungen ist zwischen langsam (1. und 2.) und schnell (3. bis 6.) wirkenden zu unterscheiden. Die langsam wirkenden Regelungen haben den Vorteil, dass sie mit relativ hohem Wirkungsgrad arbeiten. Bei der Druckpegelregelung (Mengenregelung) ist der Wirkungsgrad sogar quasi konstant. Bei den schnell wirkenden Regelungen fällt der Wirkungsgrad fast proportional mit der Leistung ab. Hieraus folgt, dass bei notwendigen Laständerungen optimale Ergebnisse hinsichtlich geringer Leistungsverluste durch eine Kombination beider Regelungsarten erreicht werden können. Die einzelnen Regelungen werden kurz beschrieben.

**Sollte der ganze Bericht Ihr Interesse finden,
so wenden Sie sich bitte an den Autor.**