

Beitrag zur modellbasierten Überwachung und Optimierung des Betriebes heiz- und raumluf- technischer Anlagen

Von der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.) genehmigte Abhandlung

vorgelegt von

Madjid Madjidi

geboren in Mainz

Hauptberichter:

Prof. Dr.-Ing. H. Bach

Mitberichter:

Prof. Dr.-Ing. E. Welfonder

Tag der Einreichung:

18. Januar 1995

Tag der mündlichen Prüfung:

30. April 1996



Kurzfassung

Es wird nachgewiesen, daß sowohl das Erkennen von Betriebsfehlern als auch die Betriebsführung von heiz- und raumlufttechnischen Anlagen durch eine betriebsbegleitende Simulation verbessert werden kann.

Das Erkennen von Fehlern ist durch einen ständigen Soll-/Istvergleich zu erreichen. Für die Fehlerdiagnose können Regelbäume der eigentlichen Fehlererkennung nachgeschaltet werden.

Während herkömmliche Energiemanagementfunktionen nach Erfahrungswerten fest eingegeben werden und sich daher nicht einem realen transienten Prozeßablauf automatisch anpassen, liefern um Simulationsmodelle erweiterte Energiemanagementfunktionen deutlich bessere Ergebnisse. Berücksichtigt wird hier insbesondere das Gebäudeverhalten.

Die für eine modellbasierte Betriebsüberwachung und Optimierung erforderlichen Simulationsmodelle können mit informationstechnisch unterschiedlichen Methoden gebildet werden. Nur mit Hilfe von Kennlinienmodellen können aber sowohl Meßinformationen aus dem realen Betrieb als auch Planungs- und Ausführungsunterlagen verarbeitet und so die Informationslücken auf Grund der üblichen knappen Instrumentierung von heiz- und raumlufttechnischen Anlagen ausgeglichen werden.

Die modellbasierte Fehlererkennung und Betriebsführung werden am Simulationsmodell eines Bürogebäudes mit Variabel-Volumenstrom-Anlage erprobt. Grundlage des Simulationsbeispiels bilden Planungs- und Ausführungsdaten eines realen Projekts. Zur Kalibrierung des Simulationsmodells werden die Meßdaten der im Gebäude installierten DDC-Anlage ausgewertet. Als Beispiele der modellbasierten Betriebsführung werden für den Winterbetrieb die Optimierung von Einschaltzeiten und für den Sommerbetrieb die Optimierung von Nachkühlzeiten bei unterbrochenem Anlagenbetrieb vorgestellt.

Abstract

It is validated that both the detection of operational faults and the performance management of heating and air-conditioning systems can be improved by online simulation.

The detection of faults can be realized by permanently comparing predicted and measured data. The fault detection procedure can be followed by fault diagnosis based on structures of rules.

Standard energy management functions are implemented based on empirical knowledge. Energy management functions lead to obviously better results if extended by simulation models. Especially, the building behaviour is taken into account by these models.

For model based fault detection and optimization simulation models can be established by using different computational techniques. But characteristic curve models only, help to process both measured data of the real building and design and construction documents. Such the lack of information given by scarce instrumentation of heating and air-conditioning systems can be compensated.

Model based fault detection and performance management are tested by simulating an office building with a variable airvolume system. The simulation example is constituted using design and construction data of a real project. Measured data of the installed DDC-system are used to calibrate the simulation model. Examples for model based performance optimization are presented for an intermittent operation: optimization of start/stop times for the winter mode and the optimization of night cooling for the summer mode.

Inhalt

Formelzeichen	7
Indizes	8
Abkürzungen	9
1 Einleitung	10
2 Literaturübersicht	13
2.1 Gebäude- und Anlagensimulation	13
2.1.1 Thermische Gebäudesimulation	13
2.1.2 Betriebssimulation von Heiz- und RLT-Anlagen	14
2.1.3 Aufbau von Programmen zur Simulation von Heiz- und RLT-Anlagen	17
2.2 Betriebsüberwachung in Gebäuden	18
2.2.1 Entwicklung und Aufbau der Gebäudeleittechnik	18
2.2.2 Bisherige Vorgehensweisen zur Betriebsführung	19
2.3 Systemidentifikation	22
2.4 Konsequenzen für die vorliegende Arbeit	23
3 Simulationsmodelle	24
3.1 Gebäude	24
3.2 Heiz- und RLT-Komponenten	32
3.2.1 Heizkörper	32
3.2.2 Wärmetauscher	34
3.2.3 Luftfilter	36
3.2.4 Luftkanal	37
3.2.5 Stellglieder	38
3.2.6 Radialventilator	39
3.2.7 Luftklappen	40
3.2.8 PI-Regler	42
3.2.9 BEMS	43

4	Konzept zur modellbasierten Betriebsbegleitung	45
4.1	Modellbildung	46
4.1.1	Modellkategorien	46
4.1.2	Planungs- und Ausführungsunterlagen	47
4.1.3	Beschreibung von Kennlinien durch Polynomgleichungen	48
4.2	Dynamische Betriebsoptimierung	52
4.2.1	Optimierung von Heizzeiten	52
4.2.2	Optimierung von Nachtkühlzeiten	54
4.3	Fehlererkennung und Fehlerdiagnose	56
4.3.1	Typische Betriebsfehler	56
4.3.2	Regelbäume zur Fehlerdiagnose	59
5	Simulationsbeispiel	62
5.1	Objektbeschreibung	62
5.1.1	Gebäude	62
5.1.2	Heiz- und RLT-Anlage	65
5.1.3	Betriebsweise	68
5.1.4	Aufbau des Simulationmodells	71
5.1.5	Vergleich zwischen Simulation und Messung	76
5.1.6	Simulation des Referenzzustandes	80
5.2	Dynamische Betriebsoptimierung	85
5.2.1	Optimierung von Heizzeiten	85
5.2.2	Optimierung von Nachtkühlzeiten	89
5.2.3	Jahresenergiebedarf der betrachteten Betriebsweisen	89
5.3	Simulation von Betriebsfehlern	94
5.3.1	Verschmutzter Luftfilter	94
5.3.2	Defekter Temperatursensor	97
5.3.3	Verschmutzter Luftkühler	100
5.3.4	Defekte Pumpe	103
6	Zusammenfassung	106
7	Literatur	108