



Überkritische Regelung

Neue Technologien für überkritische Kessel steigern den Wirkungsgrad bei Kohlekraftwerken, verlangen jedoch nach speziellen Regelstrategien.

Kohle wird aufgrund seiner großen Vorkommen und Erschwinglichkeit noch für eine längere Zeit eine Rolle als Hauptenergiequelle für Energieerzeuger weltweit spielen. Neue Technologien für Kohlekraftwerke zur Steigerung des Wirkungsgrads und Reduzierung der Kraftwerksemissionen spielen aufgrund unserer geänderten Auffassung im Hinblick auf den Klimawandel eine entscheidende Rolle. Durch die sich ständig weiterentwickelnden Kesseltechnologien dürfen die Regelungsstrategien nicht vernachlässigt werden, um aus den verbesserten technologischen Möglichkeiten einen Nutzen schlagen zu können.

Laut dem „World Coal Institute“ werden durch das Verfeuern von Kohle ca. 40 % des weltweiten Energiebedarfs gedeckt. Außerdem wird davon ausgegangen, dass das Interesse an dem fossilen Energieträger weiterhin bestehen bleibt, da viele Unternehmen neue Technologien einsetzen, die das Betreiben von Kohlekraftwerken umwelt-freundlicher und effizienter machen. Bemerkenswert ist auch, dass die USA über 29 % der weltweiten Kohlereserven verfügen. Überkritische und extrem überkritische Zwangsdurchlaufkessel gehören zu den wieder an Bedeutung gewinnenden Technologien. Mithilfe neuer Werkstoffe und Konstruktionen werden bei den Kesseln höhere Wirkungsgrade sowie ein einfacherer Betrieb ermöglicht.

Bei überkritischen Kraftwerken spielt die Genauigkeit und Auflösung des Prozessleitsystems eine größere Rolle als bei unterkritischen Anlagen. Ein Prozessleitsystem, das über die erforderliche Algorithmen verfügt und in der Lage ist, Sollwerte zu erreichen und beizubehalten, verhilft den Energieversorgungsunternehmen vom ökonomischen und ökologischen Potenzial einer solchen Anlagen zu profitieren. Um dies zu verstehen, müssen die Hauptunterschiede der überkritischen Kraftwerke hinsichtlich deren Konstruktion und Betrieb im Vergleich zu den unterkritischen Kraftwerken genauer untersucht werden.

Der Term „überkritisch“ wird im Zusammenhang mit Anlagen verwendet, deren Konstruktionen die Nutzung von Drücken über dem normalen Siedepunkt ermöglichen. Das Wasser wechselt dabei vom flüssigen einfach in den gasförmigen Aggregatzustand, ohne das dabei herkömmliches Blasensieden (Verdampfung) entsteht. Wasser erreicht den überkritischen Punkt bei Drücken von über 220 bar.

Überkritische Energieerzeugungsanlagen verwenden Zwangsdurchlaufkessel, die für den Betrieb bei Drücken von ca. 240 - 275 bar und für unterkritische

Kesseldrücke von ca. 124 - 172 bar ausgelegt sind. Höhere Brenntemperaturen und Drücke führen zu einem besseren Wirkungsgrad der Anlage, der durch den Quotienten aus erzeugter Energie pro verbrauchter Kohle (BTU / British Thermal Unit) definiert ist. Diese Tatsache ist wiederum interessant für die Energieerzeuger, da eine Steigerung des Wirkungsgrades die Brennstoffkosten und Emissionen senkt.

Aus Erfahrungen lernt man

Die überkritische Technologie geht zurück auf die 50er Jahre. Jedoch war die erste Generation der überkritischen Anlagen unzuverlässig und schwer zu regeln. Darüber hinaus traten Probleme bei der Wartung sowie durch hohe Betriebsdrücke und durch Betriebstemperaturen verursachte Werkstofffehler auf. Bei den ersten Anlagen war das Wechseln zwischen den beiden Betriebsarten (überkritisch/unterkritisch) nicht auf einfache Weise möglich. Daher war es erforderlich, die Kessel durchgehend im überkritischen Bereich zu betreiben. Dies senkte den gesamten Wirkungsgrad des Kreislaufs. Beispielsweise mussten die Speisewasserpumpen des Kessels auch bei geringen Lasten Drücke im Bereich von ca. 275 bar erzeugen. Da diese Pumpen Leistung von den zweitgrößten Kraftwerksturbinen abzapfen, stieg der Energieverbrauch an und der Verschleiß der Anlage erhöhte sich.

Aus diesen Gründen führte die Industrie in den 70er Jahren die Trommelkessel ein. Bei Trommelkesseln verdampft das Wasser in der Trommel, während Wasser durch die Wasserwand strömt. Dies führt zu einer verzögerten Inbetriebnahme und zu langsameren Laständerungen.

Die verbesserten Kesselausführungen, insbesondere der Benson-Zwangsdurchlaufkessel und Fortschritte in der Metallurgie, wie z. B. durch robustere Kesselleitungen, haben die neue Generation der überkritischen Kessel über das letzte Jahrzehnt beliebter gemacht. Die Benson-Ausführung bietet mehrere Vorteile, wie z. B. eine vereinfachte Inbetriebnahme sowie Gleitdruckbetrieb.

Die überkritischen Anlagen erreichen heutzutage einen Wärmewirkungsgrad von mehr als 45 % gegenüber den 30 bis 38 % herkömmlicher unterkritischer Anlagen. Da diese Kessel ihren höchsten Wirkungsgrad bei hohen Drücken erreichen (da der Kessel bei 70 % Last überkritisch wird), werden überkritische Anlagen als Grundlastanlagen auch in Zukunft immer größer ausgelegt.

Charlie Menten
Emerson Process Management

Weltweite Anwendungen

Einige dieser hochentwickelten Anlagen werden in den USA gebaut, da der Kapazitätsbedarf des Grundlastbetriebs bei den Energieversorgungsunternehmen stetig stieg. Beispielsweise das Kraftwerk Elm Road Generating Station der We Energies, der Kraftwerksblock Comanche 3 des EVU Xcel Energy sowie weitere Kraftwerke verwenden überkritische Kessel.

Dennoch wird ein Großteil dieser neuen Kraftwerke in Asien, insbesondere in China, in beeindruckendem Tempo gebaut. Die neuen Kraftwerke erzeugen Strom für Boom-Wirtschaften und zuvor vom Stromnetz abgeschottete Gebiete. Um den wachsenden Energiebedarf Chinas zu decken, ist in den kommenden zwei Jahren eine Erweiterung der Kapazität um 90 Gigawatt geplant.

Kraftwerk besteht aus acht Kesselanlagen, die eine Gesamtkapazität von 4.540 MW haben.

Ein ausgeklügeltes und fortschrittliches Prozessleitsystem von einem Anbieter mit Kenntnissen der Unterschiede zwischen Trommelkesseln und Zwangsdurchlaufkesseln trägt zu einer reibungslosen Inbetriebnahme der neuen Anlagen bei. Die Kombination aus bewährter Regelungstechnik und Know-how ist darüber hinaus für den Betrieb der Kesselanlagen bei maximalem Wirkungsgrad von großem Vorteil.

Bei überkritischen Anlagen ist die Genauigkeit sowie Auflösung des Prozessleitsystems von größter Bedeutung, da die Kraftwerksbetreiber durch eine gute Regelung in der Lage sind, das Wärmevermögen der überkritischen Kesselanlagen-Konstruktionen zu nutzen. Im Gegensatz zum Trommelkessel verfügt

der überkritische Zwangsdurchlaufkessel über keine energiespeichernde Dampftrommel. Durch das Fehlen einer Energiereserve muss das Prozessleitsystem exakt und fortlaufend mit dem Speisewasserfluss, der Kesselbrennleistung (sowohl im Bezug auf Brennstoff und Luft) und dem Energiebedarf der Dampfturbine übereinstimmen. Mit dem Regelungsprozess können sowohl Prozesse besser geregelt als auch erforderliche Sollwerte erreicht und

beibehalten werden. Dies führt dazu, dass stabile Prozesse nicht durch schwankende Betriebsparameter destabilisiert werden. Entscheidend für das Erreichen eines effizienten, überkritischen Betriebszustands ist ein stabiler Zustand des Grundlastbetriebs.

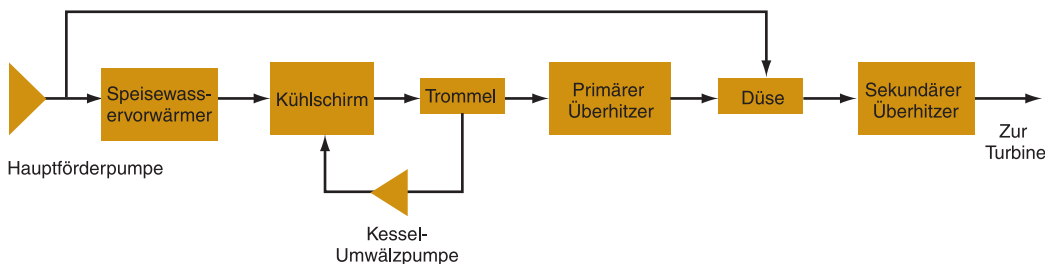
Anwendungen in der Praxis

Dadurch, dass das Prozessleitsystem Abläufe im Kraftwerk ohne menschliches Eingreifen steuern kann, sind die Kraftwerksbetreiber in der Lage den Wirkungsgrad der Anlage unter Verwendung von weiteren, sich ergänzenden Steuer- und Automatisierungstechnologien zu steigern. Dies wurde bei den Kesselanlagen 1 und 2 des Wärmekraftwerks Yonghung realisiert. Die Ergebnisse verdeutlichten die Verbesserung der Wärmekapazität mittels Kohlenstoff- und Brennverlustreduzierung.

Das Kraftwerk steht in Incheon, ca. 56 km südwestlich von Seoul in Südkorea, und hat eine Kraftwerksleistung von 1.600 MW. Die Blöcke 1 und 2 in Yonghung gingen 2004 ans Netz. Die Blöcke 3 und 4, von denen jeder Kessel 870 MW produziert, befinden sich derzeit noch im Bau und werden voraussichtlich im Juni 2008 bzw. März 2009 ans Netz gehen. Jeder der überkritischen Kessel (5.325.000 lb/hr) verfügt über einen Durchlauf- und Zwischenüberhitzungskessel sowie eine Einwellenturbine.

Das Herz des Kraftwerks Yonghung ist das Integrated Control and Monitoring System (ICMS), das auf der Emerson PlanetWeb Digital Architecture mit Ovation-Expert-Prozessleitsystem basiert. Das System

Vorlauf des unterkritischen Walzenkessels



Quelle: Regelungstechnik mit Daten von Emerson Prozessmanagement

Die Dampftrommel erleichtert die Regelung von unterkritischen Anlagen bei gleichzeitiger Verschlechterung des Wirkungsgrades.

Zwei nennenswerte Projekte, die diese kurzen Realisierungszeiträume in China aufweisen, sind das Huaneng Yuhuan-Kraftwerk von Huaneng Power Intl. und die Blöcke 7 und 8 des Kraftwerks Zouxian der China Huadian Group Corp. Beide verwenden das Ovation-Expert-Prozessleitsystem von Emerson.

Die ersten beiden Blöcke von insgesamt 4 Blöcken des Huaneng Yuhun-Kraftwerks leisten 4.000 MW, die acht Monate vor dem Zeitplan ans Netz gingen. Der Block 1 hat erfolgreich einen Leistungstest von 168 Stunden absolviert, was für das am 28. November 2006 ans Netz gegangene Kraftwerk einen Meilenstein darstellte. Dies machte den Kraftwerksblock somit zu Chinas ersten, für den kommerziellen Betrieb gebauten 1.000-MW-Block. Block 2 ging am 15. Dezember 2006 ans Netz und absolvierte am 30. Dezember 2006 ebenfalls einen Leistungstest von 168 Stunden Dauer. Der geschätzte jährliche Output der beiden Anlagen beläuft sich auf 11 Milliarden kWh. Die 2. Phase des Projekts, die Inbetriebnahme der Blöcke 3 und 4, ist für 2008 angesetzt.

Die Blöcke 7 und 8 des Kraftwerks Zouxian zählen zu den ersten extrem überkritischen Anlagen Chinas, die eine Ausgangsleistung von 1.000 MW haben. Der Block 7 des Kraftwerks hat am 4. Dezember 2006, ca. 9 Monate vor dem eigentlichen Zeitplan, einen erfolgreichen Leistungstest absolviert. Beim Bau des Zouxian-Kraftwerks wurde erstmalig die Foundation-Fieldbustechnologie in einem chinesischen Kraftwerk installiert. Nach Beendigung der 4. Phase ist das Kraftwerk Zouxian das größte Kohlekraftwerk Chinas. Das

ONLINE

For more information visit:

www.emersonprocess-powerwater.com

www.kosep.co.kr/english

regelt alle Kraftwerkssysteme einschließlich der aufeinander abgestimmten Kessel- und Turbinenregelung sowie Brennerverhalten, Datenerfassung, Motorsteuerung und das Ausgleichen der Kraftwerksprozesse. Das Ovation-System ist vollständig in die Prozesse der Anlage integriert. Es bildet eine Schnittstelle zwischen der Rauchgasentschwefelungsanlage (REA), den elektrostatischen Staubabscheidern (ESA) und weiteren Hilfssystemen her.

Das ICMS beinhaltet High Fidelity Simulatoren, die auf Ovation-Hardware und -Software basieren und in Verbindung mit Modellierungssoftware das Hochfahren der Anlage simuliert sowie der Überprüfung der Betriebsabläufe und Tests neuer Anwendungssoftware dienen. Mit diesen Simulatoren kann das Kraftwerkspersonal unter realistischen Bedingungen geschult werden und sich auf jede erdenkliche Situation vorbereiten, die einer schnellen Inbetriebnahme und Konfiguration sowie einer vorzeitigen Fertigstellung des Kraftwerks in ca. 3 Monaten dient.

Das ICMS verwendet die AMS Suite: Intelligent Device Manager, mit welchem die intelligenten Feldgeräte der Anlage konfiguriert, verwaltet und überwacht werden. Durch das System kann das Kraftwerkspersonal die Wartungskosten senken und die Zuverlässigkeit der Anlage erhöhen, indem das Personal möglicherweise auftretende Probleme im Vorfeld erkennt und diesen vorbeugen kann.

Ein weiterer, wichtiger Bestandteil des ICMS ist die Optimierungssoftware SmartProcess von Emerson. Da kein Kraftwerk dem anderen gleicht, wird ein effektiver Betrieb der Anlage von verschiedenen internen und externen Variablen beeinträchtigt. Eine auf das Kraftwerk zugeschnittene Optimierungssoftware sorgt dafür, dass die geforderten Ergebnisse erzielt werden.

Die Software SmartProcess optimiert die Prozessführung und überwacht das Kraftwerk mithilfe modernster Technologien, wie z. B. Fuzzy-Logik, Mehrzonen-Netzwerkmodellen und eine modellbasierten Regelstrategien. Hierdurch werden hohe Wirkungsgrade und niedrige Betriebskosten der Anlage innerhalb der Betriebs- und Gesetzesauflagen erzielt.

Steigerung des Wirkungsgrads

Die Software SmartProcess wurde ca. 3 Monaten nach erfolgter Inbetriebnahme der Blöcke 1 und 2 des Kraftwerks Yonghung eingesetzt. Die Betreiber waren dadurch in der Lage, zuerst die Leistung der Anlage unter Konstruktionsbedingungen zu messen. Dabei werden die Werte zum Zeitpunkt des effizientesten Anlagenbetriebszustands mit denen der Anlage nach dem Durchlaufen der Optimierungssoftware verglichen. Durch den anschließenden Vergleich der Daten liefert die Optimierungssoftware ein genaues Bild über die tatsächliche Effizienz des Kraftwerks.



Bei den Blöcken 1 und 2 in Yonghung optimierte die Software SmartProcess zwei sich auf die Leistung der Anlage auswirkende Prozesse. Es handelte sich dabei um die Dampftemperatur und die Verbrennung. Eine Minimierung der Schwankungen in der Dampftemperatur erhöht die Effizienz, indem Dichtigkeitsprobleme an Kesselrohren und Schäden an den Turbinenschaufeln reduziert werden. Dies führt wiederum zu niedrigeren Wartungskosten und Ausfallzeiten, was zu höherer Rentabilität führt.

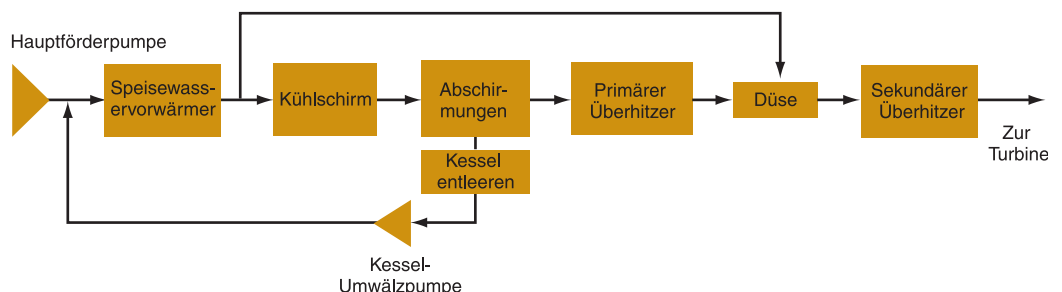
Das Optimieren der Verbrennungstemperatur verbessert die Wärmeleistung (Wirkungsgrad Kessel) und verursacht somit geringere Kosten sowie reduzierte Emissionen und Rauchgastrübungen. Emerson wurde gebeten, sich auf die Minimierung von CO-Emissionen und von Brennverlusten bei gleichzeitiger Regulierung des NOx-Ausstoßes auf Werte unterhalb des Grenzwerts zu fokussieren, um die Ziele der Kraftwerksbetreiber in Yonghung zu erreichen. Hierzu zählten z. B. die Erhöhung der Anlageneffizienz und die Aufrechterhaltung der Reaktionszeiten.

Bei den Blöcken 1 und 2 des Kraftwerks arbeitet die Optimierungssoftware SmartProcess auf einer dynamischen Datengrundlage und erhält dabei alle 2 Sekunden aktuelle Daten vom Prozessleitsystem. Die Software modelliert die dynamischen Parameter des Kraftwerks ungeachtet von laufenden Aktivitäten in der Kesselanlage, wie Lastwechsel, Kohlemühlenbetrieb und Russblasen. Die Modellierungs- und Optimierungssoftware ermittelt optimale Sollwerte und Prozessvoraussetzungen, die in den Echtzeitbetrieb des ICMS integriert wurden. In der Software sind Sicherheitsparameter und Betriebsgrenzwerte hinterlegt, so dass die empfohlenen Sollwerte und Voraussetzungen ein sicheres Betreiben der Anlage gewährleisten.

Das Kraftwerk Yonghung ist das größte Kohlekraftwerk in Südkorea. Teil der Unternehmensstrategie von Korea South-East Power Co. ist ein kostengünstiger Anlagenbetrieb und eine qualitativ hochwertige Stromversorgung des Ballungsgebiets Seoul.

Überkritische Zwangsdurchlaufkessel verfügen über keine Dampftrommel, die größere Nachfragen abfedern könnte. Dies steigert zwar die Effizienz, jedoch muss das Prozessleitsystem den Brennstoff und das Speisewasser des Kessels präzise regeln, um der Turbinenlast zu folgen.

Vorlauf des überkritischen Durchlaufkessels



Quelle: Regelungstechnik mit Daten von Emerson Prozessmanagement

Die SmartProcess Software berechnet die Korrekturen (als zusätzliche Variablen) für die Regelung von Luftüberschuss, Stellung von Zweitluftklappen, gekoppelten OFA- und SOFA-Klappen, Frischluft- und Saugzugventilatoren, Neigung der Brenner und SOFA-Gebläse, Temperaturregelung von Kohlen-Luft Mischung am Mühlenausgang, Regelung des Verhältnisses von Speisewasser zu Kraftstoff und Frischdampf Temperaturregelung. Obwohl die Regelung zahlreicher Anlagengrößen durch die Optimierungssoftware erfolgt, erhält das Bedienpersonal zu jedem Zeitpunkt genug Informationen vom System, um über die Abläufe informiert zu bleiben. Die Ansicht der Diagnoseinformationen aller betroffenen Regelungskreise



Von dem im Kraftwerk Yonghung eingesetzten Integrated Control and Monitoring System werden alle Prozesse zentral überwacht und Daten an den Hauptrechner übermittelt.

sowie die für die Aktivierung der Optimierung zulässigen Grenzwerte auf einem Bildschirm ist jederzeit möglich.

Bei der Optimierung der Dampftemperaturen werden zwei Faktoren berücksichtigt. Der erste Faktor bezieht sich auf die dynamischen Parameter des Wärmeaustausches zwischen Rauchgas und Dampf bei Veränderungen im Verbrennungsprozess, wie z. B. im Brennstoffversorgungssystem sowie bei der Brennerkonfiguration oder der Veränderungen im Wärmeübertragungsverhalten der Anlage. Der zweite Faktor ist die zwischen diesen Störgrößen auftretenden und erst mit der negativen Auswirkung auf die Dampftemperatur festgestellte Verzögerungszeit. Zur effizienten Minimierung der Schwankungen der Dampftemperatur wurden zwei Optimierungsverfahren für das Analysieren, Vorausberechnen und Optimieren der dynamischen Prozesse verwendet:

- Über eine Modellprädiktive Regelung wird der Prozess analysiert und erforderliche Parametereinstellung für die Sprühanlage des Dampfkühlers ermittelt.

- Eine Fuzzy-Regelung zur Verbesserung des Energieaustausch bei der Regelung der Dampftemperatur.

Die Optimierung der Verbrennung reduziert sowohl die Entwicklung von Stickoxiden im Kessel als auch von CO-Emissionen und Opazitäten. Darüber hinaus wird durch das verbesserte Verhalten bei Laständerungen, Mühlwechselln und anderen Arbeiten die MW-Leistung erhöht. Die Optimierungssoftware adressiert lineare und nichtlineare Zusammenhänge von Prozessen, um schnell und wirkungsvoll auf Störgrößen und Prozesszustände zu reagieren. Dazu zählt auch die präzise Vorhersage der zu erwartenden Prozessverhaltens.

Durch den Einsatz der Optimierungssoftware SmartProcess in Verbindung mit dem ICMS konnten die Kraftwerksbetreiber in Yonghung die gesetzten Ziele, wie z. B. Verbesserungen der Wärmeleistung und eine Reduzierung der Kohlenstoffemission und der Brennverluste, erreichen. Das Projekt zeigt eindrucksvoll, wie sogar noch an modernsten Kesselanlagen Leistungssteigerungen erzielt werden können.

Bei verschiedenen Betriebszuständen konnte die Software den Wirkungsgrad des Kessels um ca. 0,44 %. Auch wenn sich dies nicht spektakulär anhören sollte, so führt jedoch eine Verbesserung von einem halben Prozent bei einem 870-MW-Kessel bereits zu einer erheblichen Kostensenkung. Außerdem wurde die CO-Emission von 350 – 500 ppm auf 50 – 60 ppm reduziert, was eine Verbesserung von 90 % darstellt. Darüber hinaus verringerte sich der Anteil unverbrannter Kohlenstoffe sowie die Brennverluste um 10 – 30%. Auch verringerte sich die Rauchgastemperatur um 1 – 3°C. Ein weiteres Indiz für einen verbesserten Wirkungsgrad des Kessels.

Das Kraftwerkpersonal profitiert von diesen Verbesserungen, da die Software die Kesselregelung automatisch optimiert und zugleich das Abändern der O2-Voreinstellungen zur Vermeidung von CO-Ansammlungen reduziert. Das automatisierte System ist daher nicht nur präziser als die manuellen Einstellungen sondern sorgt auch für einen effizienteren Personaleinsatz.

Aufgrund der Vorteile, die überkritische Anlagen hinsichtlich ihres Wirkungsgrads und der Umweltfreundlichkeit mit sich bringen, ist diese Technologie weiterhin auf bestem Wege, um häufig in den Grundlastkraftwerken weltweit eingesetzt zu werden. Energieversorger, die diese Möglichkeit in Betracht ziehen, müssen die Regelstrategien für diese Anlagen berücksichtigen. Aktuelle Projekte demonstrieren, dass die Energieerzeuger durch das Einsetzen moderner Automatisierungslösungen in der Lage sind, die Kraftwerke reibungslos, mit hohem Wirkungsgrad und mit einem hohen Maß an Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit betreiben. **ce**

Charlie Menten von Emerson Process Management steht als Fachberater für Energieerzeugung zur Seite. charles.menten@emersonprocess.com.

Posted from Control Engineering (North America), August 2007. Copyright © Reed Business Information, a division of Reed Elsevier, Inc. All rights reserved. Translation provided by Emerson Process Management.

#1-21996780 Managed by The YGS Group, 717.399.1900. To request a quote online, visit www.theygsgroup.com.

For Single Print Only

Emerson Process Management • Power & Water Solutions
200 Beta Drive • Pittsburgh, PA 15238
1-412-963-4000 • 1-800-445-9723
www.emersonprocess-powerwater.com