

Uppstartsoptimering av ett kolkraftverk

En undersökning av hur dynamisk optimering kan användas för att förbättra uppstartsproceduren för värmekraftverk.

I Tyskland ökar intresset för att köra värmekraftverk med lägre last, mer varierad last och med fler stopp och uppstarter. Detta beror på utbyggnaden av förnyelsebara energikällor som vind- och solkraft. Dessa energikällor, som är åtråvärda ur en miljömässig synvinkel, har nackdelen att de introducerar större variationer i elproduktionen. Det är nödvändigt att kompensera för detta så att produktionen matchar konsumtionen och i Tyskland används värmekraftverk för detta ändamål.

Av denna anledning pågår projekt på Vattenfall där man undersöker hur styrningen av det Vattenfallägda kraftverket Jämschwalde kan anpassas för framtidens behov. Detta sker i samarbete med universitet och företag inriktade på modellering och simulering. Examensarbetet [1] är en del av detta projekt. Det är det andra examensarbetet som behandlar hur dynamisk optimering kan användas för att förbättra uppstartsstrategin för kraftverket. Arbetet genomfördes på Modelon i Lund och på Vattenfall i Solna.

Kraftverket Jämschwalde ligger i Tyskland nära gränsen till Polen. Det är Tysklands största kolkraftverk och har en installerad kapacitet på 3 gigawatt [2], vilket är ungefär lika mycket som det svenska kärnkraftverket Forsmark. Ångan i verket värms vid full last upp till temperaturer över 500 grader Celsius och har då ett tryck på över 150 gånger atmosfärstrycket. Uppstarten av ett kraftverk av den här typen tar lång tid på grund av att trycket och temperaturen i dess komponenter måste ökas så mycket, samtidigt som många komponenter är känsliga för snabba temperaturvariationer.

Under projektet skapades en förenklad modell av kraftverket, speciellt anpassad för optimering, med hjälp av det ekvationsbaserade programmeringsspråket Modelica. Fokus låg på högtrycksdelen av ångcykeln. Det är i denna del av kraftverket som rökgasens värme omvandlas till



Figur 1. Kraftverket Jämschwalde [3].

elektrisk energi. Detta sker genom att ångan värms upp och används för att rotera turbinen, som driver en generator som alstrar el. Modellen byggdes upp genom att relativt enkla komponenter som beskriver grundläggande fysikaliska samband för ångan och rökgasen kopplades samman.

Under uppstarten av ett kraftverk av denna typ ökas temperaturen och trycket hos ångan i kraftverket succesivt, genom att mer kol förbränns och ventiler regleras. Under denna process är det viktigt att ta hänsyn till vilka kritiska komponenter som finns i kraftverket. Det är dessa komponenter som är känsligast för stora spänningar och som riskerar att skadas eller slitas ut i förtid om uppstarten sker för snabbt. Av denna anledning är flera av dessa komponenter inlagda i optimeringsmodellen och utifrån belastningen de utsätts för beräknas det hur deras livslängd påverkas av uppstartsscenarioet.

Metoden för att förbättra styrningen av kraftverket under uppstarten, dynamisk optimering, innebär att man söker efter de styrsignaler som bäst uppfyller de mål man har under detta förlopp. Dessa mål formuleras i en kostnadsfunktion. För varje sätt styrsignalerna till kraftverksmodellen kan varieras på får denna kostnadsfunktion ett visst värde baserat på hur väl modellens beteende uppfyller de mål man vill uppnå. Under optimeringsprocessen söker man efter de styrsignaler som ger det lägsta värdet på kostnadsfunktionen. Jämfört med att optimera värdet på en eller flera parametrar är denna uppgift mycket svårare, eftersom det finns många

fler möjliga sätt en signal som varierar över tiden kan varieras. För att kunna hitta den bästa lösningen är det nödvändigt att ta hjälp av avancerade numeriska hjälpmedel.

För att lösa problemet överförs optimeringsmodellen till ett stort ekvationssystem. Detta sker genom att optimeringstiden delas upp i mindre delar (element) och differentialekvationerna ersätts med diskreta motsvarigheter för varje element. Optimeringsalgoritmen försöker hitta en lösning till detta system som även uppfyller villkor för optimalitet, något som sker via en iterativ process.

Uppstartsprocessen i modellen delades upp i två delar baserat på hur uppstarten av det verkliga kraftverket sker i nuläget. Dessa optimerades var för sig med olika optimeringsmål och styrsignaler.

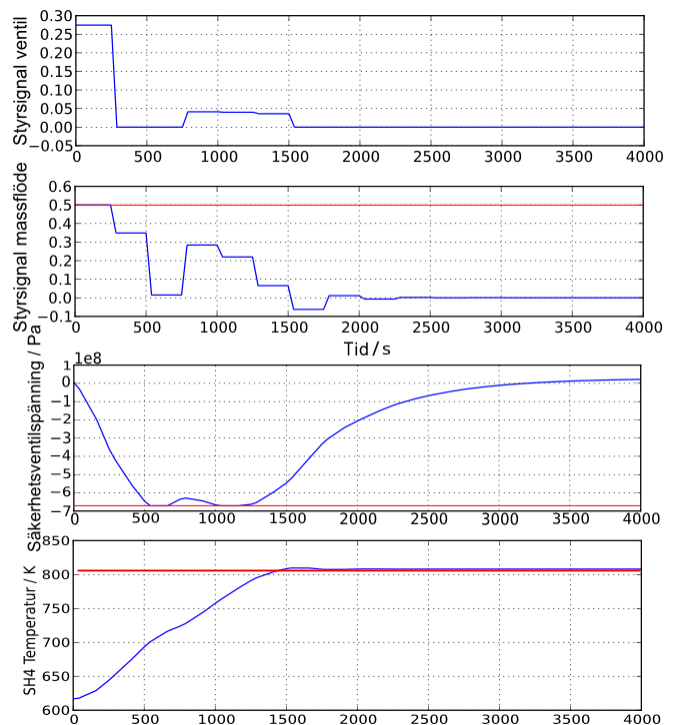
Under fas 1 är optimeringsmålen att temperaturen och trycket hos ångan ska nå en förutbestäm nivå. Detta uppnås genom att rökgasflödet ökas och börvärdet ökas i en reglerkrets som styr ångtrycket. Ingen ånga går genom turbinen under denna fas. Under fas två ökas temperaturen ytterligare samtidigt som ångan börjar ledas genom turbinen. Även under denna fas används rökgasflödet som en frihetsgrad, medan ventiler används för att bestämma ångans väg.

Genom att variera vikter som ingår i kostnadsfunktionens formulering kan man välja vilka mål som ska prioriteras i optimeringen. Det kan också vara intressant att se hur optimeringsresultaten påverkas genom att variera hur strikt olika bivillkor är satta. Genom att variera olika parametrar på detta sätt skapades flera olika testfall för de båda faserna.

I figur 2 visas styrsignalerna optimeringsalgoritmen beräknat fram för ett fall i fas 2 samt effekten dessa har på ångans temperatur och spänningen på säkerhetsventilen för högtrycksturbinen, som är en kritisk komponent. Rökgasflödet ökas snabbt för att få upp temperaturen i ångan. Tillsammans med stängning av bypassventilen leder dock detta till att trycket i säkerhetsventilen ökar, vilket kompenseras för med minskat rökgasflöde. På detta sätt hålls spänningen i ventilen innanför den tillåtna gränsen under hela förloppet. Efter

omkring 1500 sekunder når ångan den önskade nivån under denna fas.

Generellt visar resultaten att det finns en stor potential för att använda dynamisk optimering för att förbättra uppstarten av kraftverk av denna typ. Det krävs dock ytterligare utveckling av modellen innan det är möjligt att använda metoden i ett verkligt kraftverk.



Figur 2. Uppifrån ses styrsignal för ventiler, massflödesstyrsignal (blått) tillsammans med maximala tillåtna signalstyrkan (rött), spänningen i säkerhetsventilen (blått) tillsammans med spänningens gräns (rött) samt ångans temperatur (blått) och den önskade ångtemperaturen (rött).

Referenser

1. Runvik, Håkan. *Modelling and start-up optimization of a coal-fired power plant*. Examensarbete, Lunds Tekniska Högskola, Inst för reglerteknik, 2014. [Online] <http://www.control.lth.se/Publications.html>
2. Vattenfall. [Online] [Citat: den 21 Juni 2014.] <http://produktion.vattenfall.se/powerplant/jaenschwalde>.
3. Janssen, J.-H. Wikimedia Commons. [Online] http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Peitz_Kraftwerk_Jaenschwalde_2010.jpg.