

Virtuellt Kraftverk som Bidrar till Primär Frekvenshållning med Förbrukningsflexibilitet

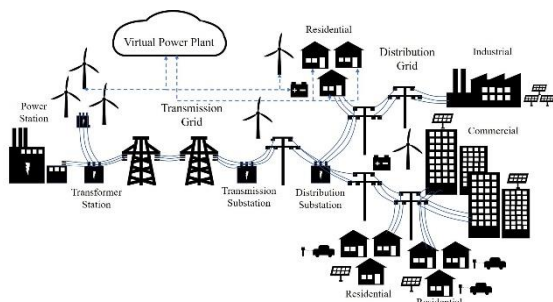
- En fallstudie på en kommersiell byggnad

Författare: Viktor Persson, Elektroteknik på Lunds Tekniska Högskola
Institution: Industriell Elektroteknik och Automation (IEA) Företag: Siemens AB
Publicerad: februari 2020

Med en växande andel förnybara produktionsresurser, som drivs av en långsiktig satsning på hållbar elproduktion, ökar obalansen mellan produktion och konsumtion av elektricitet. Denna obalans, som skapas av den intermittenta karakteristiken i förnybara resurser som sol- och vindkraft, hotar en säker elförsörjning till det svenska samhället. Tillsammans med andra växande utmaningar i den svenska elförsörjningen stiger efterfrågan av nya lösningar för att öka balansen i elnätet och därmed möjliggöra en fortsatt integrering av förnybara produktionsresurser.

Introduktion

Virtuella kraftverk är en ny teknik inom smarta elnät som kan bidra med nya resurser för att öka balansen i elnätet. Ett virtuellt kraftverk aggregerar många mindre distribuerade energiresurser för att uppnå en samlad kapacitet som skulle motsvara den av ett traditionellt kraftverk. Med denna aggregerade portfölj av olika energiresurser är det möjligt att överkomma varje resurs enskilda begränsningar samtidigt som en tillräckligt stor kapacitet erhålls för att erbjuda nya tjänster till elnätet. Med virtuella kraftverk kan befintliga energiresurser, som annars hade varit för små eller som har tekniska begränsningar, bidra med en systemnytta till elnätet. Ett exempel på en systemnytta som kan skapas med hjälp av virtuella kraftverk är balansering av elnätet.



Figur 1: Illustration av ett virtuellt kraftverk anslutet till decentraliserade energiresurser i samhället.

Svenska Kraftnät, som är systemansvarig i det svenska elnätet, har ansvar för balansering av elnätet. Detta sker genom att hålla i marknadsplatser för att tillhandahålla tjänster för balansering av elnätet som erbjuds av ägare för flexibilitet. Genom att delta på balansmarknader kan flexibilitetsägare underlätta driften av elnätet samtidigt som de har en möjlighet till att skapa extra intäktskällor till sin verksamhet. Deltagande på balansmarknader med flexibilitetsresurser förutsätter dock att flexibilitetsresursen uppnår de krav som ställs av Svenska Kraftnät. Dessa krav är utformade för att garantera att den balansering som sker med hjälp av marknadsplatserna faktiskt leder till en ökad stabilitet av elnätet. Hur kraven är implementerade beror på vilken balansmarknad som avses där kraven varierar sett till kapacitet, svarshastighet, uthållighet mm. För att möta dessa krav och därmed kunna ta förbrukningsflexibilitet till en marknad, är det då viktigt att både resursen men även det virtuella kraftverket som styr resursen, möter de tekniska kraven.

I denna uppsats har en fallstudie utförts av en kommersiell byggnad med syfte av att analysera förutsättningarna för ett virtuellt kraftverk att bidra med förbrukningsflexibilitet till den primära balansmarknaden FCR-N.

Inventering av flexibilitetsresurser

Existerande elförbrukare i anslutning till den kommersiella byggnaden analyserades utefter deras förutsättningar att bidra med förbrukningsflexibilitet. Detta gjordes med ett ramverk som bygger på kriterierna avverkningsgrad, styrbarhet och acceptans. Elförbrukarna lämpade för förbrukningsflexibilitet studerades ytterligare, men med ett nytt ramverk avsett för att bedöma deras förmåga att leverera olika tjänster. Detta ramverk bygger på andra kriterier såsom responstid, svarstid, uthållighet och repeterbarhet. Med detta ramverk är det möjligt att mer noggrant direkt relatera prestandan hos en flexibilitetsresurs till slutanvändningen av resursen. Med hjälp av ramverken visade analysen av den kommersiella byggnaden att det primärt finns två system lämpade för balansering av elnätet. Det första är ventilationssystemet i form av ventilationsfläktar och det andra är kylsystemet i form av kylmaskiner. Analysen visade att andra elförbrukare som belysning, elbilsaddare och elektronik i butiker i byggnaden inte var lämpade då de brast i någon av de ovannämnda kriterierna. Uppvärmningen som annars hade kunnat utgöra en signifikant resurs är fjärrvärmebaserad varför den exkluderades i analysen som bara inkluderar elektriska laster. Den totala märkeffekten på ventilationssystem och kylmaskiner i den kommersiella presenteras i tabellen nedan.

Flexibilitetsresurs	Märkeffekt
Kylmaskiner	1 213 kW
Ventilationsaggregat	1 038 kW

Tabell 1: Märkeffekten av flexibilitetsresurserna i den kommersiella byggnaden som kan användas i det virtuella kraftverket.

Modellering av förbrukningsflexibilitet

För att simulera styrningen av flexibilitetsresurserna skulle dessa modelleras. För att delta på den primära balansmarknaden FCR-N behöver man uppfylla kraven som ställs på responstid, svarstid, uthållighet och repeterbarhet, vilket medför att detta är karakteristik som är viktig att modellera. Uthålligheten och repeterbarheten för

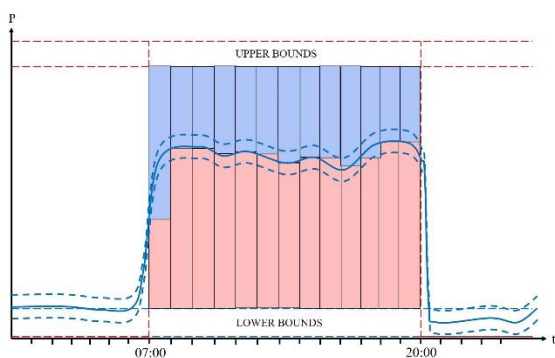
ventilationsfläktar och kylmaskiner styrs framförallt av klimatet inuti byggnaden. Från tidigare studier har det visats att detta inte utgör en begränsande faktor för deltagande i primära balansmarknader. Därför modellerades endast responstiden och svarstiden för enheterna. För att modellera fläktarna och kylmaskinerna så att det gav en rättvis representation av deras verkliga prestanda utfördes systemidentifiering med hjälp av stegsvar. Genom att ändra styrsignalen till ventilationsfläktarna momentant från 0 % till 100 % och samtidigt mäta deras elförbrukning modellerades dem med hjälp av en tredje ordningens överföringsfunktion. Denna beskriver förhållandet mellan styrsignalen och den faktiska elförbrukningen. Kylmaskinerna gick inte att modellera med hjälp av systemidentifiering då det inte var möjligt att leverera en extern styrsignal till maskinerna för att utföra ett stegsvarstest. Istället modellerades de som en första ordningens överföringsfunktion med en responstid baserad på litteraturundersökningar.

Modellering av styrsystem

I det virtuella kraftverket som styr förbrukningsresurserna är en av de viktigare komponenterna schemaläggningseenheten. Denna är ansvarig för att på ett regelmässigt eller optimerat sätt planlägga hur energiresurserna i det virtuella kraftverkets portfölj ska användas. Om det virtuella kraftverket skulle erbjuda resurserna på flera marknader än en skulle beslutet om vilken marknad och när resurserna ska på respektive marknad kunna lösas som ett optimeringsproblem. I detta fall skulle detta beslut fattas i något som enkelt kallas för optimeringsenheten. Men eftersom det endast är den primära balansmarknaden som resurserna skall delta på, krävs det egentligen bara en regelmässig lösning för att definiera när och hur resurserna skall delta. Denna implementeras i schemaläggningseenheten.

För att delta på den primära balansmarknaden måste det virtuella kraftverket placera bud på marknaden en eller två dagar innan avropstimmen då resurserna skall aktiveras. Detta innebära att schemaläggningseenheten

måste en eller två dagar innan avropstimmen bestämma vilken kapacitet som kan erbjudas av resurserna. Detta sker genom att med hjälp av historiska data på elförbrukningen på flexibilitetsresurserna approximeras hur mycket elförbrukningen kan höjas och sänkas. Detta definieras av systembegränsningar som i sin tur begränsar ventilationsaggregaten eller kylmaskinerna i deras elförbrukning. Med hjälp av dessa begränsningar och den historiska datan på elförbrukning är det möjligt att definiera den timvisa flexibiliteten som kan erbjudas av förbrukningsresurserna på den primära balansmarknaden. Denna flexibilitet schemaläggs av schemaläggingsenheten för att delta på den primära balansmarknaden under de timmar där tillräcklig kapacitet kan erbjudas. Ett exempel på mängden flexibilitet som kan erbjudas av en kommersiell byggnad under öppettider presenteras i figuren nedan.

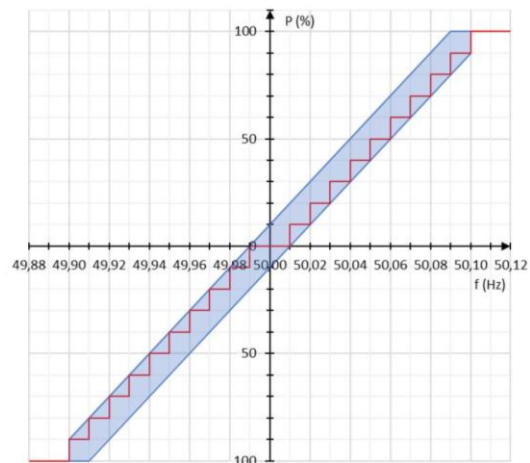


Figur 2: En illustration av tillgänglig flexibilitet. Det blåa och det röda området är den timvisa flexibiliteten som kan erbjudas uppåt respektive neråt. Den heldragna blåa linjen är en representation av den historiska elförbrukningen.

Kontroller för primär balansering

Schemaläggingsenheten planlägger med vilken kapacitet och när det virtuella kraftverket ska erbjuda flexibilitetsresurserna på den primära balansmarknaden. Detta sker då en eller två dagar innan avropningstimmen. När denna kommer är det kontroller för primärreglering som tar över styrning av flexibilitetsresurserna. Kontrollerna är ansvariga för att se till att resursernas elförbrukning regleras på ett sådant sätt så att de bidrar till balanseringen av elnätet.

Detta sker genom att mäta frekvensen av växelströmmen i elnätet. Vilken avvikelse den momentana frekvensen har är ett mått på om det är ett under- eller överskott av el som matas in i elnätet. Om frekvensen är under 50 Hz är det för lite och om den är över 50 Hz är det för mycket. På detta sätt är det möjligt för kontrollern att justera elförbrukningen av flexibilitetsresurserna efter ett linjärt förhållande med frekvensen där den maximala förändringen motsvarar den kapacitet som schemaläggingsenheten placerade som bud på marknaden. Detta linjära förhållande mellan frekvensavvikelse från 50 Hz och den reglerande elförbrukningen i flexibilitetsresurserna visas nedan.



Figur 3: Det linjära förhållandet mellan frekvensavvikelsen från 50 Hz och den aktiverade effekten i flexibilitetsresurserna.

Elnätsfrekvensen som mycket snabbt växlar både upp och ned förändrar sig så snabbt så att de flesta flexibilitetsresurserna inte hinner reglera sin elförbrukning efter förändringarna i frekvensen. Av den anledningen och för att resursernas elförbrukning skall hålla sig inom det tillåtna blåa bandet i figuren ovan, behöver signalen filtreras. Genom att filtrera signalen av elnätsfrekvensen med ett första ordningens lågpasfilter, vars tidskonstant är definierat efter tidskonstanten för flexibilitetsresurserna, kvarstår endast de långsammare komponenterna i signal som förbrukningsresurserna hinner svara på.

Energilager för effektkompensering

Trots att styrsignalen filtreras visades det att kylmaskinerna inte kunde styras tillräckligt snabbt. Detta beror på att de aktiveras och deaktiveras sekventiellt efter behovet av elförbrukning. Detta innebär att om styrsignalen kräver att de ska sänka sin elförbrukning till en sådan nivå att en kylmaskin måste deaktiveras kommer det uppstå en avvikelse från den önskade elförbrukningen med en tid som motsvarar deaktiveringstiden av en kylmaskin. Totalt är det fem kylmaskiner i den kommersiella byggnaden vilket då genererar en ännu större avvikelse från styrsignalen, skulle alla deaktiveras samtidigt.

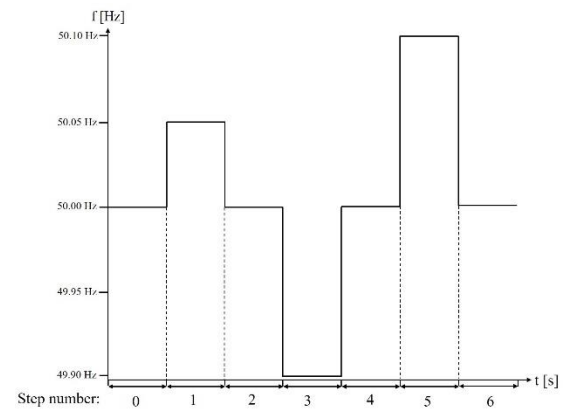
För att kompensera för denna avvikelse är det möjligt att använda en energiresurs som svarar tillräckligt snabbt mot förändringar i en styrsignal. På detta sätt är det möjligt att mäta skillnaden mellan den önskade och den faktiska elförbrukningen på kylmaskinerna och justera elförbrukningen med hjälp av den sekundära energiresursen. För att kunna svara mot positiva och negativa avvikelser från styrsignalen krävs en resurs som kan förse ett positivt och negativt netto av elektricitet. För att göra detta modellerades ett batterilager som kan laddas upp och laddas ur för att kompensera mot kylmaskinernas avvikelse från styrsignalen. Genom att implementera en laddningsstrategi för att upprätthålla en jämn laddningsnivå på batterilagret och simulera användningen av batteriet för effektkompensering kunde batteriet dimensioneras till 340 kW och 100 kWh.

Simulering av virtuellt kraftverk

Efter att modellerat energiresurserna i form av ventilationsaggregat, kylmaskiner och ett batterilager samt systemen för att styra dem, simulerades det virtuella kraftverket för att se hur det presterar under verkliga förhållanden.

För att energiresurserna ska kunna delta på den primära balansmarknaden måste de genomgå en prekvalificering för att verifiera att de har tillräcklig prestanda för att delta. I denna prekvalificering utförs ett stegsvarstest för att kunna verifiera att deras svarstid är tillräckligt snabb. Stegsvaret består av positiva och negativa stegändringar av en simulerad signal

som ska motsvara frekvensen i elnätet, vilket presenteras i figuren nedan.



Figur 4: En illustration av prekvalificeringstestet bestående av positiva och negativa stegändringar i frekvensen.

För varje stegändring som simulerades lyckades elförbrukningen svara tillräckligt snabbt för att kvalificeras, med undantag för då endast kylmaskiner skulle prekvalificeras då svarstiden var med en liten marginal för långsam. Detta är något som kan förbättras genom att finjustera tidskonstanten för filternivåerna.

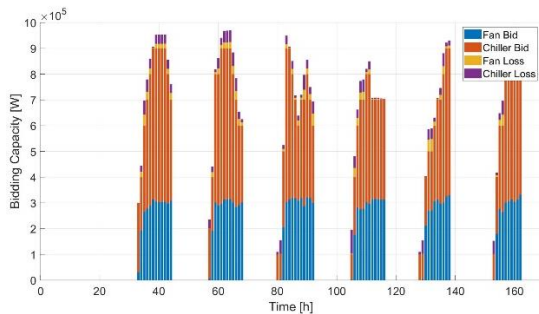
Efter prekvalificeringen blivit avklarad är det virtuella kraftverket godkänt för att delta i den primära balansmarknaden med sin flexibilitet. För detta måste den lägga bud innehållande dess tillgängliga flexibilitet. Baserat på historiska data för elförbrukning, med hänsyn till varje energiresurs begränsningar, uppskattades den tillgängliga flexibiliteten av schemaläggningseenheten i det virtuella kraftverket. Detta gjordes för fyra separata veckor under året för att se hur den tillgängliga flexibiliteten varierade beroende under säsongerna. Den tillgängliga flexibiliteten för respektive vecka presenteras i tabellen nedan.

Simulerad period	Flexibilitet
1:a januari – 8:e januari	200 kW
2:a april – 9:e april	400 kW
2:a juli – 9:e juli	900 kW
1:a oktober – 8:e oktober	500 kW

Figur 5: Den maximalt tillgängliga flexibiliteten för respektive simulerad period.

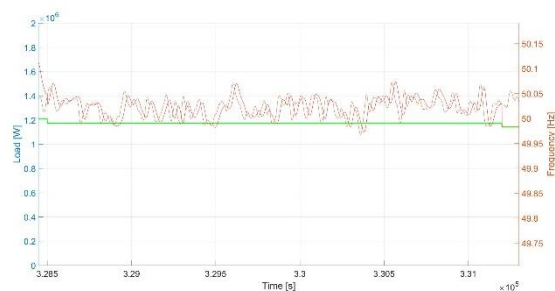
Den timvisa schemalagda flexibiliteten på den primära balansmarknaden varierar mellan

säsongerna och beror främst på ett reducerat kylbehov under vinterhalvåret. Kylmaskinerna bidrar med högst flexibilitet under sommaren då de har hög elförbrukning. Detta presenteras i figuren där den timvisa schemalagda flexibiliteten för deltagande på primär balansmarknad presenteras för perioden från 2:a juli till 9:e juli.



Figur 6: Schemalagd flexibilitet i det virtuella kraftverket. Blåa staplar är ventilationens flexibilitet och det orangea är kylmaskinernas. Andra färger är förlorad flexibilitet vid avrundning av bud.

Den schemalagda flexibiliteten vidarebefordrades till kontrollern för primär balansering. Denna reglerar elförbrukningen baserat på historiskt frekvensdata i elnätet. Detta gjordes för alla ovannämnda perioder. Resultatet för en enstaka timme under en av dessa perioder presenteras i figuren nedan.



Figur 7: Primär balansering med förbrukningsflexibilitet där elförbrukningen regleras efter frekvensen i elnätet.

I figuren ovan visas det att vid de tillfällen då frekvensen överstiger 50 Hz ökar elförbrukningen för att kompensera för överskottet av el i elnätet. När frekvensen sjunker under 50 Hz minskar elförbrukning. På så sätt lyckas det virtuella kraftverket utföra primär balansering av elnätet med hjälp av förbrukningsflexibilitet i en kommersiell byggnad.

Slutsatser av studien

Denna studie visar en enklare implementering av ett virtuellt kraftverk som använder förbrukningsflexibilitet för att balansera elnätet. Detta är ett sätt att integrera den fortsatt ökande kapaciteten av förnybara produktionsresurser. Dock kommer en byggnad med en flexibilitet på 900 kW inte ha en signifikant påverkan på balansen av elnätet. Däremot, om fler byggnader aggregeras för att öka flexibiliteten i det virtuella kraftverket, skulle en betydligt större påverkan kunna uppnås. Genom att aggregera fler kommersiella byggnader är det möjligt att erhålla nya energiresurser i portföljen såsom värmepumpar, reservkraftsgeneratorer och elbilsaddare. Genom att integrera även dessa i det virtuella kraftverket är det möjligt att transformera kommersiella byggnader från passiva enheter i energiförsörjningen till en aktivt deltagande resurs som kan bistå med mycket mer än bara balansering av elnätet. Genom att bredda perspektivet på samma sätt blir det tydligt vilken potential som finns i virtuella kraftverk med annan infrastruktur. Även sjukhus, serverhallar, kontorsbyggnader, garage, varuhus och fler kan bidra med flexibilitet och på så sätt leverera ytterligare tjänster till elnätet.

Det är inte alltid nödvändigt att investera i nya lösningar för att lösa existerande problem som vi alltid har gjort. Istället kan det vara värt att granska vad vi redan har, och vad mer vi kan göra med det. Det är det här som det virtuella kraftverket är till för. Det handlar inte nödvändigtvis om att uppfinna nya sätt att komma över existerande problem, utan snarare att hitta nya sätt att göra mer med mindre. Endast genom att bemöta våra problem med denna inställning är det möjligt att lösa utmaningarna i energiförsörjningen. Genom att använda intelligent styrning och genom att aggregera existerande energiresurser, kan vi lösa utmaningarna på ett verkligt hållbart sätt.