

# Latvijas pārvades sistēmas operators gatavojas frekvences regulēšanai



Grobiņas apakšstacija



**Gatis Junghāns**, RTU asoc. prof.,  
AS "Augstsprieguma tīkls" valdes loceklis  
**Dmitrijs Guzs**, M.Sc (RWTH Aachen),  
AS "Augstsprieguma tīkls" plānošanas inženieris



Patlaban Baltijas elektroenerģijas pārvades sistēma ir integrēta Krievijas vienotajā energosistēmā BRELL un tīkla frekvence tiek centralizēti regulēta Krievijā. Sakarā ar plānoto Baltijas pārvades tīkla pārslēgšanu sinhronā darbā ar kontinentālās Eiropas energosistēmu Baltijas pārvades sistēmas operatori līdz 2025. gadam būs jānodrošina spēja piedalīties frekvences regulēšanā gan normālos apstākļos, gan incidentu gadījumā pēc liela ģeneratora vai starpvalstu elektropārvades līnijas avārijas atslēgšanās. Frekvences regulēšanas spējas radišanai ir nepieciešams veikt kapitālinvestīcijas jaunās iekārtās, nodrošināt līdz šim reģionā neizmantotu frekvences regulēšanas rezervju nepārtrauktu pieejamību un attīstīt sistēmas pakalpojumu tirgu. Turklāt Baltijas pārvades sistēmu operatori jātiek galā ar līdz šim nepieredzētu izaicinājumu – inerces deficītu energosistēmā.

## Baltijas valstis sinhronizēsies ar pasaulē lielāko sinhrono elektrotīklu

Šā gada maijā Baltijas un kontinentālās Eiropas pārvades sistēmu operatori (turpmāk – PSO) noslēdza līgumu par Baltijas valstu pievienošanu kontinentālās Eiropas elektrotīklu sinhronas darbības zonai. Baltijas pārvades tīkla sinhronizācija ar Eiropas tīklu plānota 2025. gadā pēc pievienošanās līgumā noteikto tehnisko priekšnosacījumu izpildes, kas cita starpā uzdod Baltijas PSO attīstīt frekvences regulēšanas spēju.

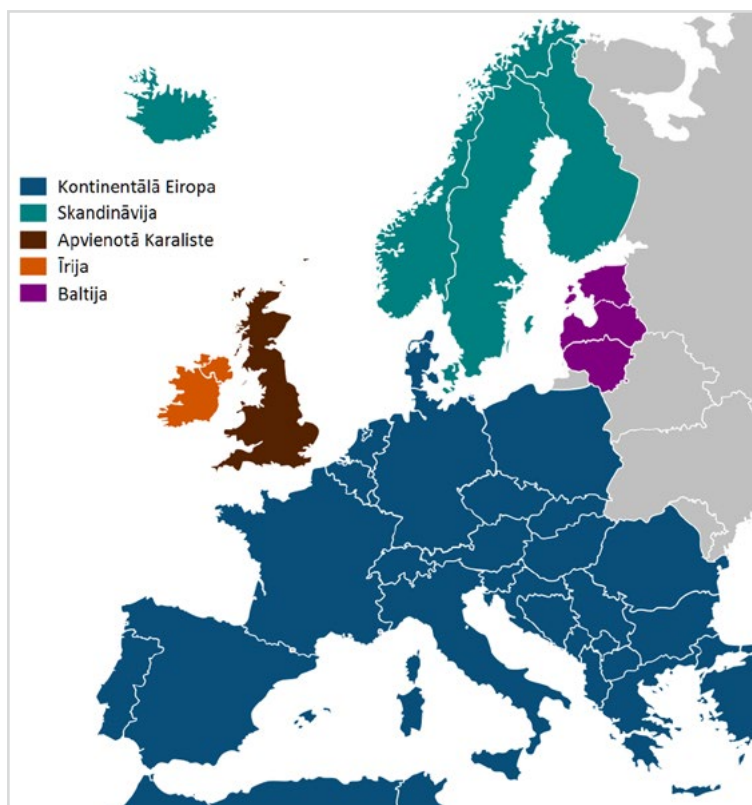
Kontinentālās Eiropas sinhronais tīkls (agrāk pazīstams kā UCTE tīkls) ir lielākais sinhronais elektrotīkls pasaulē ar kopējo ģenerāciju virs 2500 TWh gadā.

Eiropas tīkla kodekss (2017/1485), kas nosaka elektroenerģijas pārvades sistēmas darbības vadlīnijas, definē PSO pienākumu uzņemties atbildību par frekvences kontroles procesiem un frekvences kvalitātes parametru nodrošināšanu pieļaujamās robežās. Līdz šim Baltijas enerģosistēma nav bijusi sinhronā darbā ar Eiropas enerģosistēmu, tāpēc Eiropas tīkla kodeksa uzliktā atbildība par frekvences kvalitāti uz Baltijas PSO patlaban neattiecas. Taču pēc Baltijas sinhronizācijas projekta pabeigšanas 2025. gadā situācija mainīsies.

## Frekvences regulēšanai būs nepieciešami jauni sistēmas pakalpojumi

Lai uzturētu elektroapgādes sistēmas drošību, sistēmas frekvence nedrīkst izmainīties ārpus pieļaujamām robežām. Ja frekvence netiek uzturēta tuvu tās nominālajai vērtībai, jānostrādā aizsardzības sistēmām, lai pasargātu elektroiekārtas no atslēgšanās un saglabātu elektroenerģijas sistēmu darbā.

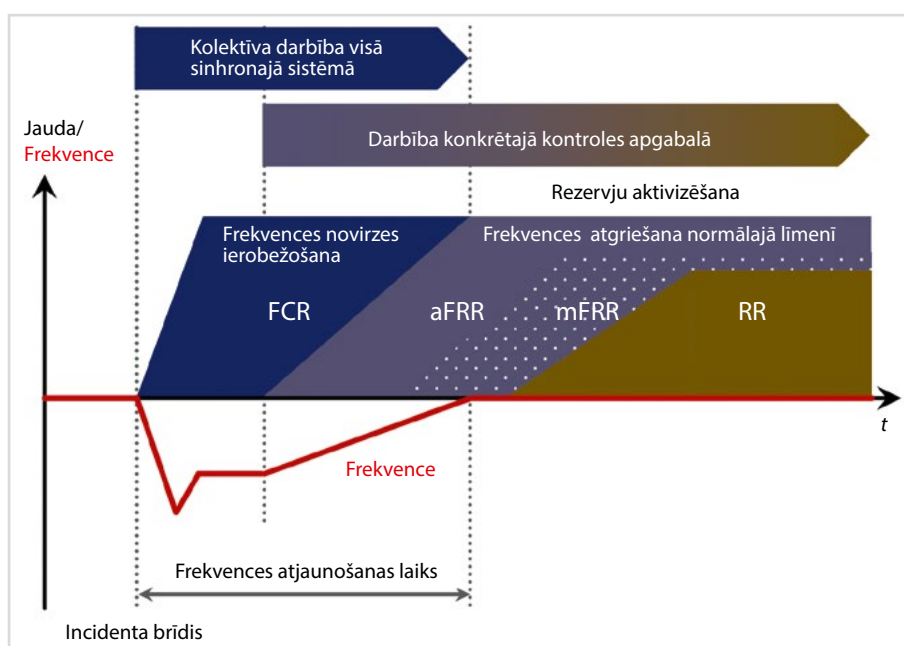
Lielas frekvences novirzes rada strauji izveidojusies ģenerācijas un patēriņa neatbilstība, ko parasti izraisa lielu elektrostaciju vai ar citu sinhronu enerģosistēmu savienojosu līdzstrāvas (HVDC) kabeļu atslēgšanās. Šādos gadījumos frekvence var samazināties līdz nepieņemamam līmenim, izsaucot elektrostaciju un patērētāju atslēgšanos, radot kaskādveida efektu, kas var novest pie plašākiem elektroapgādes pārtraukumiem. Tā kā palielinās gan lielāko elektrostaciju jauda, gan HVDC kabeļu jauda, pieaug arī to potenciālās



1. attēls. Eiropas sinhrono tīklu karte

atslēgšanās gadījumā radītais nebalanss un līdz ar to frekvences novirze. Baltijas enerģosistēmā lielākā elektrostacijas jauda ir 400 MW (piemēram, Rīgas TEC-2) un lielākā HVDC starpsavienojuma jauda ir 700 MW (*NordBalt*); tie ir lieli apjomi, ņemot vērā, ka vidējais patēriņš Baltijas enerģosistēmā ir ap 2800 MW.

Tā kā sistēmas frekvence ir kopīgs parametrs visai sinhronajai sistēmai, visiem sinhronās sistēmas PSO ir pienākums sadarboties, lai uzturētu frekvenci pieļaujamās



2. attēls. Frekvences kontroles procesa hronoloģija

robežās. Lai efektīvi organizētu PSO sadarbību, Eiropas tīkla kodekss (2017/1485), kas nosaka elektroenerģijas pārvades sistēmas darbības vadlīnijas, definē skaidru PSO atbildību un kārtību attiecībā uz frekvences regulēšanas procesu, rezervju pieejamības organizēšanu un individuāliem darbības kvalitātes mērķiem.

Eiropas tīkla kodekss paredz četru līmeņu frekvences kontroles procesu, kas ietver frekvences saglabāšanas rezerves (FCR – *frequency containment reserve*), automātiskas un manuālas frekvences atjaunošanas rezerves (FRR – *frequency restoration reserve*) un aizvietošanas rezerves (RR – *replacement reserve*). 2. attēls ilustrē rezervju izmantošanas hronoloģiju pēc incidenta energosistēmā.

### Primārā rezerve (FCR)

Primārās rezerves mērķis ir nodrošināt līdzsvaru starp ģenerāciju un patēriņu visā sinhronajā zonā. Ar visu starpsavienoto PSO kopīgu iesaisti primārā rezerve sekunžu laikā stabilizē sistēmas frekvenci uz stacionāru vērtību pēc tam, kad energosistēmā avārijas kārtā atslēdzies liels ģenerators un frekvence strauji samazinās. Taču primārā rezerve neatgriež frekvenci uz nominālo 50 Hz vērtību, kā arī neatgriež izmainītās pārrobežu enerģijas pārplūdes uz to sākotnējām vērtībām.

Kopējais kontinentālās Eiropas energosistēmā nepieciešamais primārās rezerves apjoms ir noteikts 3000 MW. Tas ir noteikts, izmantojot lielāko pieņemto atsauces incidentu – energosistēmā esošu divu lielāko pie vienām kopnēm pieslēgtu atomelektrostacijas ģenerācijas bloku atslēgšanos ar kopējo uzstādīto jaudu 3000 MW. Primārās rezerves uzturamais apjoms starp sinhronās zonas PSO tiek sadalīts proporcionāli saražotās un patērētās elektroenerģijas daudzumam PSO darbības teritorijās. Baltijas PSO kopīgi būs jāuztur ap 30 MW jeb aptuveni simtā daļa no kopējās kontinentālās Eiropas 3000 MW primārās rezerves nepieciešamā apjoma.

Maksimālā pieļaujamā frekvences novirze no nominālās pēc lielākā ģenerācijas atslēgšanās incidenta iestāšanās ir 49,8 Hz. Pašā incidenta brīdī maksimālā pieļaujamā momentānā frekvence var samazināties ne vairāk kā līdz 49,2 Hz momentānajai vērtībai (3. att.). Frekvencei samazinoties zem 49 Hz, tiek aktivizēta automātiska pakāpeniska patērētāju atslēgšana, lai apturētu frekvences samazināšanos.

Primārā rezerve tiek aktivizēta, kad frekvence samazinājusies līdz 49,98 Hz, un, frekvencei sasniedzot 49,8 Hz, pilnīgi visai 3000 MW primārajai rezervei jābūt aktivizētai.

Primārajai rezervei jāspēj palaisties dažu sekunžu laikā pēc incidenta un 30 sekunžu laikā jāspēj iedarbināt 100% no primārās rezerves jaudas. Kad primārā rezerve ir aktivizēta, tai jādarbojas, līdz to aizstāj sekundārā (aFRR) un terciārā rezerve (mFRR un/vai RR). Primārajai rezervei jāspēj darboties ar pilnu jaudu vismaz 15 minūtes – šajā laika periodā sekundārajai rezervei jāspēj palaisties 100% apjomā.

Tradicionāli FCR rezervi nodrošina galvenokārt konvencionālās termoelektrostacijas (piemēram, ogļu, gāzes elektrostacijas). Taču, pakāpeniski samazinoties termoelektrostaciju noslodzes ilgumam un samazinoties bateriju tehnoloģiju cenām, sagaidāms, ka FCR rezervju tirgū jau tuvākajos gados sāks dominēt baterijas. Baterijas spēj nodrošināt ļoti ātrdarbīgu rezervi, tām ir augstas kapitālizmaksas, bet ļoti zemas mainīgās darbināšanas izmaksas.

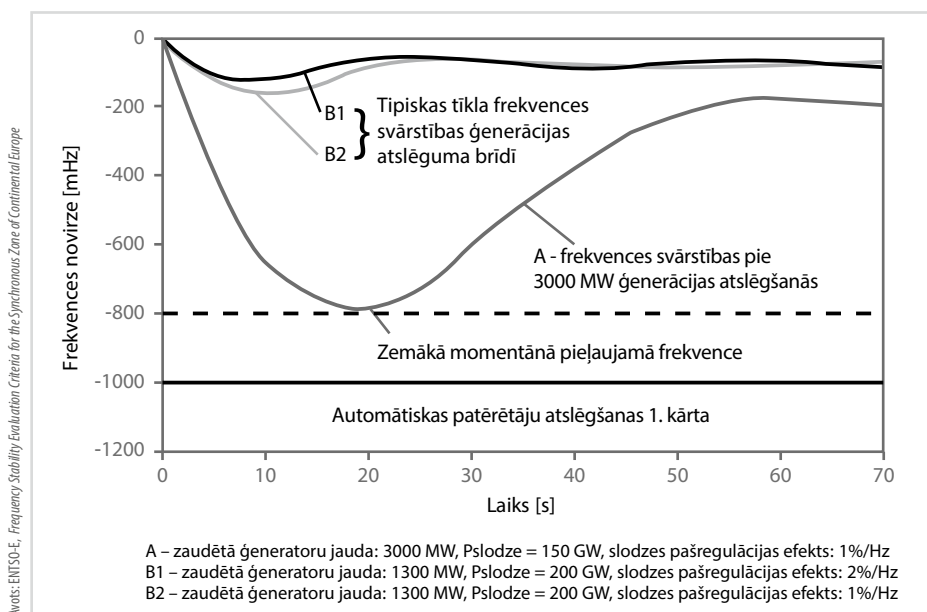
### Sekundārā rezerve (aFRR)

aFRR (*automatic frequency restoration reserve*), kas zināma arī kā sekundārā rezerve, tiek izmantota, lai atjaunotu sākotnējo enerģijas balansu kontroles bloka ietvaros un tādējādi atgrieztu frekvenci 50 Hz līmenī un starpvalstu pārplūdes – pie to sākotnējām vērtībām. Sekundārā rezerve atslogo aktivizēto primāro rezervi, lai tā atkal būtu gatava aktivizācijai pie nākamā iespējamā incidenta.

Sekundārā frekvences kontrole notiek nepārtraukti, atbildot gan uz mazākām ģenerācijas un patēriņa novirzēm sistēmā, gan uz lielākiem incidentiem.

Sekundārās rezerves tiek vadītas ar centralizētu, automātisku ģenerācijas kontroli (AGC – *automatic generation control*), izmainot ģeneratoru (vai patērētāju) slodzi, un parasti līdz pilnai jaudai tiek aktivizēta vēlākais 15 minūšu laikā pēc incidenta sistēmā.

Ir vairākas metodes, kā noteikt optimālāko FRR frekvences atjaunošanas rezerves apjomu. Viena no metodēm ir rezerves apjomu noteikt vienādu ar sistēmā lielāko ģenerācijas bloku vai starpsavienojumu, kas var neplānoti atslēgties. Piemēram, Baltijā lielākais enerģijas avots ir 700 MW NordBalt kabelis.



3. attēls. Sistēmas reakcija pēc ģenerācijas neplānotas atslēgšanās kontinentālās Eiropas energosistēmā

## Terciārā rezerve – mFRR un RR

mFRR (*manual frequency restoration reserve*) un RR (*replacement reserve*) jeb terciāro rezervi PSO parasti manuāli aktivizē pie ilgstošākas sekundārās rezerves darbības. Terciāro rezervi pamatā izmanto, lai atbrīvotu sekundāro rezervi jau sabalansētas sistēmas apstākļos. Taču terciāro rezervi arī mēdz aktivizēt papildus sekundārajai rezervei lielāku energosistēmas incidentu gadījumā, lai atjaunotu enerģijas balansu un konsekventi atslodotu primāro rezervi.

No visām četrām iepriekš aprakstītajām rezervēm (FCR, aFRR, mFRR un RR), mFRR šobrīd ir vienīgā, kuru Baltijas pārvades sistēmu operatori pērk un izmanto gan Baltijas energosistēmas balansa regulēšanai, gan starpvalstu plūsmu regulēšanai.

## Baltijas energosistēmā samazinās inerce

Elektroenerģētiskās sistēmas mugurkauls ir spēkstacijās esošie sinhronie ģeneratori, kuri rotējot pārveido pie tiem pieslēgtas tvaika vai hidroagregāta turbīnas mehānisko enerģiju elektriskajā. Mūsu elektriskās sistēmas pamatā ir maiņstrāvas tehnoloģija ar 50 Hz frekvenci, kas nozīmē, ka spriegums tīklā veic 50 sinusoida veida svārstības sekundē, un tātad visiem ģeneratoriem ir jārotē ar tādu ātrumu, lai šos 50 Hz nodrošinātu. Vienkārši sakot – energosistēma ir liela, smaga, savstarpēji ar elektromagnētisko lauku saistīto rotējošo ģeneratoru kopums. Nevienš ar elektrotīklu sinhronizēts ģenerators nevar mainīt savu uzvedību, neietekmējot pārējos tīklā esošos ģeneratorus.

Energosistēmas pretējā pusē atrodas patērētāji. Ģenerācijas un patēriņa līdzsvara gadījumā tīkla frekvence ir stabila. Reālajā dzīvē tomēr šāds līdzsvars nepastāv un tīkla frekvence nemitīgi svārstās līdz ar patēriņa un ģenerācijas svārstībām.

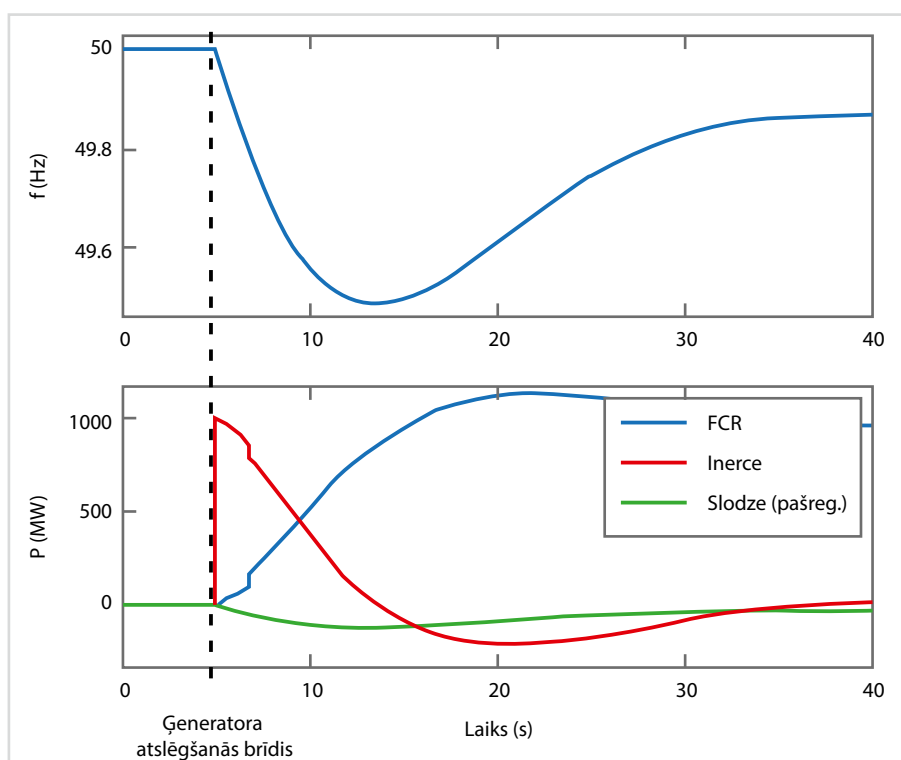
Ģenerācijas-patēriņa balanss var strauji mainīties, no tīkla avārijas kārtā atslēdzoties ģeneratoram vai kādam lielum patērētājam, frekvencei pirmajā gadījumā samazinoties, otrajā – pieaugot.

Visas sinhroni pieslēgtās rotējošās mašīnas palīdz pretoties frekvences izmaiņām ar to kinētisko enerģiju. Tomēr, līdzīgi kā citur Eiropā, arī Baltijā ir novērojama pakāpeniska lielo konvencionālo elektrostaciju aizstāšana ar atjaunojamos energoresursus izmantojošām elektrostacijām, kā rezultātā sistēmas inerce un pretošanās spēja frekvences izmaiņām samazinās. Modernās vēja un saules elektrostacijas tiek pieslēgtas

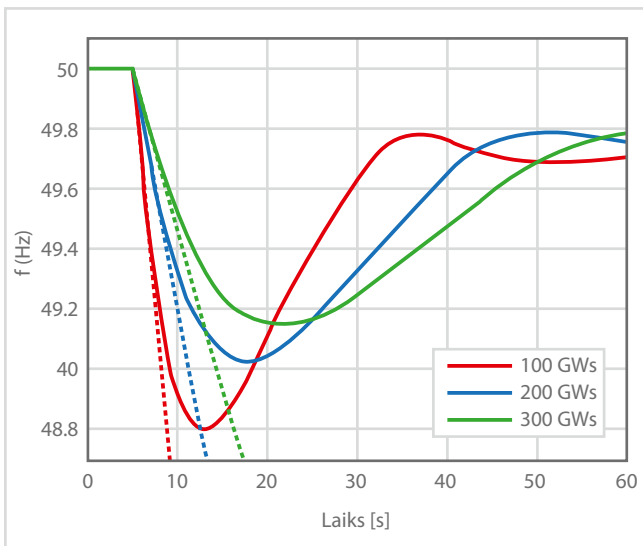
elektrosistēmai caur frekvences pārveidotājiem, kas nodrošina elektrostaciju darbību tādējādi, ka elektrostaciju darbs nav atkarīgs no sistēmas frekvences. Līdzīga tendence ir vērojama saistībā ar elektrodzinējiem, kas izmanto jaudas elektroniku. Rezultātā energosistēmā samazinās inerce. Baltijā pieaugošais elektroenerģijas imports no Skandināvijas caur HVDC kabeļiem arī veicina konvencionālo elektrostaciju apturēšanu un sistēmas kinētiskās enerģijas samazināšanos.

## Inerce pretojas frekvences izmaiņām, pirms to sāk darīt automātiskās rezerves

Brīdī, kad energosistēmā atslēdzas liels ģenerators, frekvence sāk samazināties. Tas, cik strauji frekvence samazināsies, atkarīgs no radītā nebalansa lieluma un sistēmas inerces. 4. attēlā ilustrētajā piemērā grafiski parādīts, kāpēc inerces reakcijai ir nozīme un kā inerces lielums nosaka sistēmas uzvedību. Pirms ģeneratora atslēgšanās energosistēmā pastāv saražotās un patērētās enerģijas līdzsvars un frekvence ir 50 Hz. Pēc ģeneratora atslēgšanās incidenta, patēriņam paliekot nemainīgam, pārējo ģeneratoru rotācija un arī sistēmas frekvence sāk samazināties. Tiklīdz sistēmas frekvence sāk samazināties, kinētiskā enerģija, kas atrodas pārējos rotējošajos ģeneratoros, tiek pārveidota elektriskajā enerģijā un nodota tīklā patērētāju slodzes segšanai – šo procesu sauc par inerces reakciju. 4. attēlā redzams, kā ģenerators zaudēšana tiek momentāni kompensēta ar inerces reakciju. Tiklīdz FCR rezerves tiek aktivizētas un patēriņš mazliet samazinās samazinātās frekvences ietekmes dēļ, inerces reakcija arī sāk samazināties.



4. attēls. Frekvences, sistēmas inerces, frekvences uzturēšanas rezerves un no frekvences atkarīgas slodzes izmaiņas pēc ģeneratora avārijas atslēgšanās Skandināvijas energosistēmā



Avots: BNTSO-E, Future system inertia

5. attēls. Kinētiskās enerģijas daudzuma ietekme uz frekvences izmaiņām pēc ģeneratora atslēgšanās – ar FCR aktivizāciju (nepārtraukta līnija) un bez FCR aktivizācijas (pārtraukta līnija)



5. attēls ilustrē frekvences uzvedību energosistēmā pēc ģeneratora atslēgšanās pie atšķirīga inerces apjoma energosistēmā. Proti, jo energosistēmā mazāk ģenerācijas (un līdz ar to arī rotējošo mašīnu inerces), jo frekvences nosēdums ir straujāks un dziļāks.

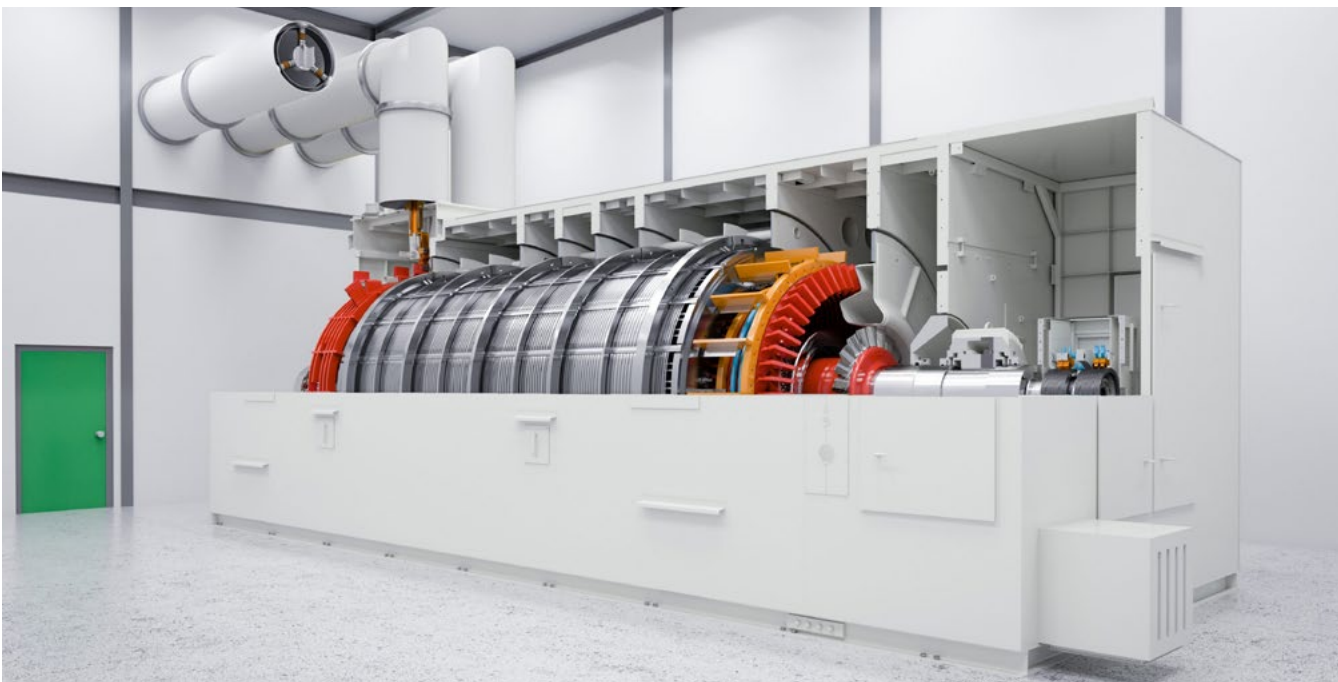
Šobrīd Baltijas energosistēmas inerces rezerve tiek nodrošināta tādējādi, ka Baltijas energosistēma darbojas sinhroni ar Krievijas vieno to energosistēmu. Krievijas vienotā energosistēma ir ļoti liela, un jebkurā brīdī pieejamās inerces rezerves ir pietiekamas. Pēc plānotās Baltijas atvienošanās no BRELL energosistēmas 2025. gadā inerce no Krievijas energosistēmas vairs nebūs pieejama.

## Inerces nodrošināšanai visās Baltijas valstīs uzstādīs sinhronos kompensatorus

Lai pēc desinhronizācijas no BRELL energosistēmas Baltijā nodrošinātu stabilu sistēmas frekvenci, Baltijas PSO plāno tuvākajos gados visās trīs Baltijas valstīs uzstādīt sinhronos kompensatorus. Latvijā plānots uzstādīt trīs sinhronos kompensatorus – katru ar uzstādīto jaudu vismaz 200 MVA.

Sinhronais kompensators ir sinhronais ģenerators, kurš nav pieslēgts slodzei, bet griežas tukšgaitā, patērējot no tīkla salīdzinoši nelielu enerģijas daudzumu savas rotācijas nodrošināšanai. Izmantojot iespēju variēt ģenerators rotora magnetizācijas strāvu un tādā veidā rotora magnētisko lauku, tiek sasniegta iespēja variēt ģenerators statora tinumos inducēto spriegumu un līdz ar to nodot tīklā vai arī pieņemt no tīkla reaktīvo jaudu. Sinhronie kompensatori nodrošina īsslēguma jaudu pārvades tīklā, reaktīvās jaudas (sprieguma) regulēšanu un inerci. **E&P**

6. attēls. Siemens sinhronais kompensators



Avots: <https://new.siemens.com>