

ISSN 1407-7345

**RĪGAS TEHNISKĀS UNIVERSITĀTES  
ZINĀTNISKIE RAKSTI**

**SCIENTIFIC PROCEEDINGS  
OF RIGA TECHNICAL UNIVERSITY**

**4. SĒRIJA**

**ENERĢĒTIKA  
UN ELEKTROTEHNIKA**

**POWER AND ELECTRICAL  
ENGINEERING**

**10. SĒJUMS**

**IZDEVNIECĪBA "RTU", RĪGA 2003**

**Redkolēģija:**  
**Editorial Board:**

**Galvenais redaktors**  
**Chief Editor**

A. Sauhats , RTU, Latvia

A. Bačauskas, KTU, Lithuania  
L. Boronina, STU, Russia  
N. Chuulangiin, MTU, Mongolia  
V. Čuvičins, RTU, Latvia  
R. Deksnis, KTU, Lithuania  
J. Ekmanis, FEI, Latvia  
G. Ežizarenko, NTUU, Ukraine  
J. Gerhards, RTU, Latvia  
M. Kolcun, TUK, Slovakia  
V. Krēsliņš, LEB, Latvia  
J. Laugis, TTU, Estonia  
T. Lehtla, TTU, Estonia  
A. Mahņitko, RTU, Latvia (Managing Editor)

A. Meļko, Latvenergo, Latvia  
G. Morva, BTU, Hungary  
V. Neimane, Vattenfal, Sweden  
R. Neimanis, General Electric, Sweden  
S. Paszek, STU, Poland  
F. Profumo, TTU, Italy  
I. Raņķis, RTU, Latvia  
L. Ribickis, RTU, Latvia  
L. Söder, KTH, Sweden  
J. Stabulnieks, FEI, Latvia  
L. Valdma, TTU, Estonia  
E. Vanzovičs, RTU, Latvia

---

**Redkolēģijas adrese:**  
**Editorial Board Address:**

Rīgas Tehniskā universitāte  
Kaļķu iela 1  
LV-1658 Rīga  
Latvija

Phone: + 371 7089938  
Fax: +371 7089931  
E-Mail: mahno@ mx.aes.eef.rtu.lv

## FACTS CONTROLLER - UPFC

### MAINSTRĀVAS ELASTĪGO PĀRVADES SISTĒMU JAUDAS PLŪSMAS KONTROLLERIS - UPFC

L.Ribickis, A.Vītols

*Atslēgas vārdi: elektroenerģijas pārvades līnija, energoelektronika, energosistēma, FACTS, jaudas plūsmas kontrolleris, reaktīvā jauda*

#### Ievads

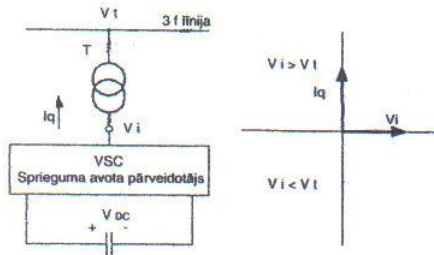
Parasti energosistēmās, tiek apvienotas elektroenerģijas ražošana, pārvade un sadale. Vairums gadījumos tās ir reģionāla rakstura monopoltipa energosistēmas, kuras uzturētājs parasti ir valsts. Monopoltipa energosistēma neattīstās konkurences rezultātā, līdz ar to lēni tiek uzlabota elektroenerģijas kvalitāte patērētājam. Tādēļ pasaules prakse rāda, ka ir iespējams energosistēmu sadalīt pa daļām: ražošana, pārvade, sadale un apkalpojamais patērētājs. Šāda veida sadalīšana paver energosistēmas attīstības iespējas jaunā attīstības līmenī un kvalitātē. Piemēram, var tikt izveidots elektroenerģijas brīvais tirgus, kas patērētājam dod iespēju izvēlēties attiecīgo elektroenerģijas ražotāju pēc saviem kritērijiem. Šādas sadalīšanas rezultātā tiek izveidoti tirgus operatoru centri, kuros kontrolē jaudas plūsmas. Firmām, kuras nodarbojas ar elektroenerģijas pārvadi rodas nepieciešamība uzlabot pārvades sistēmas. Jo katras sistēmas nepilnība un trūkumi tieši ietekmē firmas ienākumus. Rezultātā izveidojas pieprasījums pēc pārvades sistēmām ar :

- augstu sprieguma un strāvas kvalitāti;
- aktīvās un reaktīvās jaudas kontrolēšanas iespējām;
- jaudas plūsmas kontrolēšanas iespējām;
- pēc iespējas lielāku jaudas pārvades koeficientu;
- ātru un dinamisku reaģēšanu uz sistēmu;
- piemērotību biežai izejas jaudas maiņai;
- vienmērīgu regulējamās izejas jaudas iespēju.

Lai apmierinātu šīs prasības ir radīti kontrolleri, kurus izmanto pārvades sistēmā, lai uzlabotu enerģijas kvalitāti patērētājiem, iegūstot kontrolējamās un regulējamās maiņstrāvas pārvades sistēmas. Angliski elastīgas maiņstrāvas pārvades sistēmas sauc FACTS "Flexible ac transmission systems". Vārds Flexible terminā FACTS norāda uz iespēju regulēt spriegumu un strāvu, kas paver vēl plašākas iespējas FACTS kontrolleru attīstības virzienam. Līdz ar to FACTS kontrolleri, kas ir bāzēti uz tiristoriem vai pilnīgi vadāmiem pusvadītāju slēdžiem (GTO, MCT, IGBT un c.) var nodrošināt arī reaktīvās un aktīvās jaudas plūsmas kontrolējamību un vadīšanu. "FACTS" kontrolleri aptver vairākus risinājumus, kuri būvēti uz augstsprieguma jaudas elektronikas bāzes un kuri tiek izmantoti maiņstrāvas elektroenerģijas pārvadei.

## STATCOM - Sinhronais statistiskais kompensators

Statiskais kompensators sastāv no sprieguma avota pārveidotāja (Voltage Source Converter-VSC), saites transformatora un kondensatora (sk.1.att.).  $I_q$  ir pārveidotāja izejas strāva, kura ir perpendikulāra pārveidotāja spriegumam  $V_i$ . Pārveidotāja sprieguma lielumu un tādējādi arī pārveidotāja reaktīvo izejas jaudu (reactive output) ( $Q$ ) iespējams vadīt. Ja  $V_i > V_t$ , STATCOM maiņstrāvas sistēmā rada reaktīvo jaudu. Ja  $V_i < V_t$ , STATCOM absorbē reaktīvo jaudu.



1.att. Statiskā kompensatora shēma un vektoru diagramma

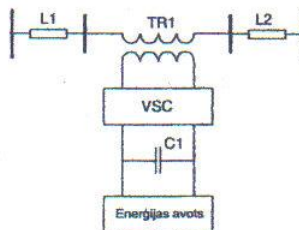
STATCOM kompensatora īpašības ir saistītas ar iespēju izmantot bipolāros tranzistorus ar izolētu vadības elektrodu (Isulated Gate Bipolar Transistors –IGBT). Pielietojot augstfrekvences impulsa platuma modulāciju (Pulse Width Modulation – PWM), šobrīd ir iespējams izmantot vienu pārveidotāju, kurš pievienots standarta spēka transformatoram caur bezserdes komutācijas reaktoriem.

STATCOM pusvadītāju slēdži uz ieslēgšanas komandu reaģē gandrīz momentāni. Tāpēc visa kompleksa reakcijas ātrumu ierobežojošais faktors ir laiks, kāds ir nepieciešams sprieguma mērīšanai un vadības sistēmu datu apstrādei. Lietojot ātrdarbīgu regulātoru ir iespējams panākt, ka reakcijas laiks ir īsāks par maiņsprieguma perioda ceturtdaļu.

## SSSC - Sinhronais statistiskais virknes kompensators

SSSC Sinhronais statistiskais virknes kompensators ir ierīce, kura sastāv no sprieguma avota pārveidotāja, līdzstrāvas posma un barošanas bloka. Šī ierīce regulē jaudas plūsmu pārvades līnijā (sk.2 att.).

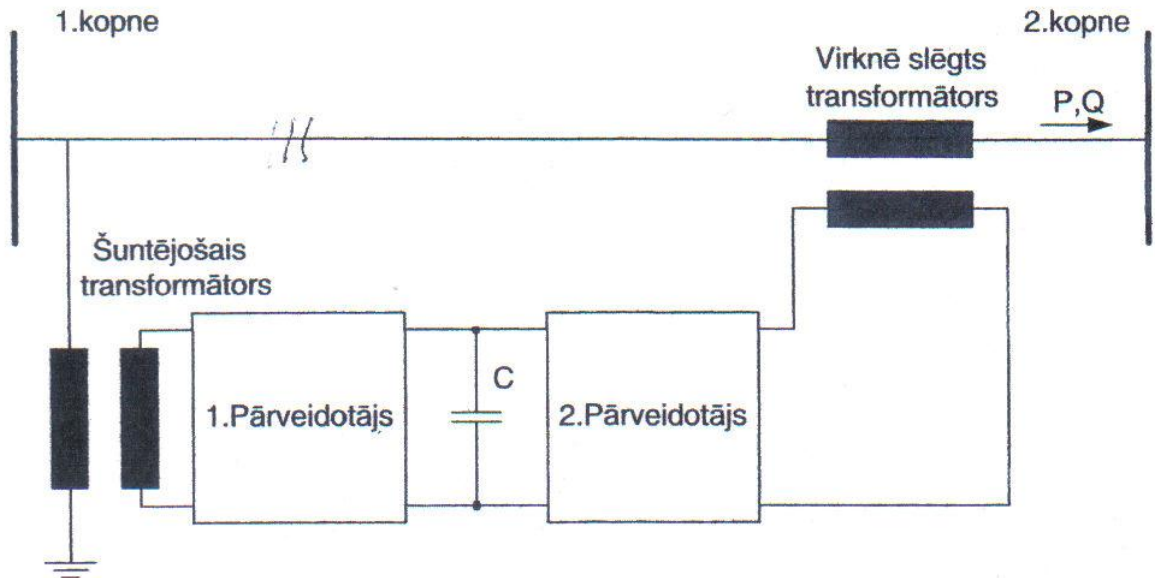
Ja līnijā jākompensē tikai reaktīvā jauda, tad barošanas avots ir vajadzīgs pavisam neliels un ar to iespējams regulēt gan tīklā atdotā sprieguma vērtību gan nobīdes leņķi. Ja ir nepieciešams kontrolēt reaktīvo (kapacitatīvo un induktīvo) jaudu, tad ir iespējams regulēt tikai tīklā atdotā sprieguma vērtību. Galvenā atšķirība šim regulēšanas veidam ir tā, ka tīklā spriegums tiek regulēts neatkarīgi no līnijas strāvas. Šī galvenā atšķirība norāda, ka šāda veida ierīce var tikt izmantota ar lielu efektivitāti pie lielām un mazām tīkla slodzēm.



2.att. Sinhronā statistiskā virknes kompensatora shēma

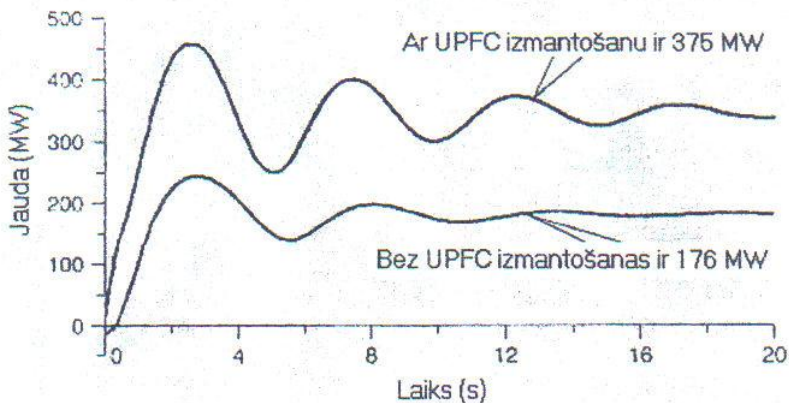
## UPFC - Universālais jaudas plūsmas kontrolleris

Elastīgas maiņstrāvas pārvades sistēmas piedāvā jaunu alternatīvu risinājumu pārvades paplašināšanai vairāk izmantot jau eksistējošās ierīces līdz to termiskajai robežai. Apvienotais jaudas plūsmas kontrolleris (UPFC) apvieno divas iepriekš apskatītās ierīces. Tā principiālā shēma ir redzama 3.att.



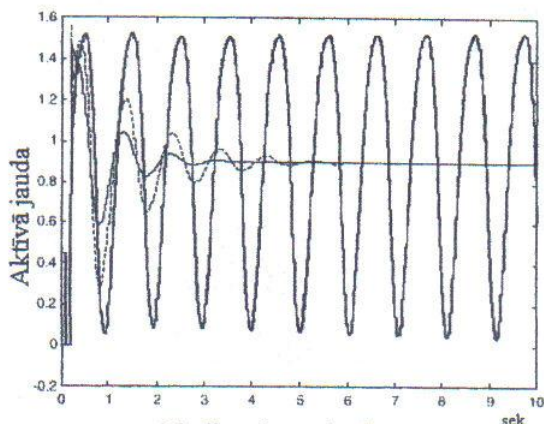
3.att. UPFC principiālā shēma.

Shēmā redzams, ka UPFC kontrolleris sastāv no diviem pārveidotājiem. Pārveidotāja 1 galvenais uzdevums ir apgādāt vai arī absorbēt aktīvo jaudu pēc otrā pārveidotāja pieprasījuma uz līdzstrāvas savienojuma. Pārveidotājā 1 uzdevumos ietilpst reaktīvās jaudas ģenerēšana vai absorbēšana un pirmās kopnes neatkarīga kompensēšana. Pārveidotājs 2 veic galveno UPFC funkciju dodot kopnē 2 caur virknē slēgto transformatoru maiņstrāvu, kuras vērtība un fāzes leņķis tiek regulēts. Pārveidotājs 2 nodrošina reaktīvās jaudas absorbēšanu un ģenerēšanu, kā rezultātā caur virknē slēgto transformatoru tiek panākts, ka uz kopni 2 aizplūst tikai aktīvā jauda. UPFC kontrolleris var regulēt aktīvo un reaktīvo jaudu vienlaicīgi.

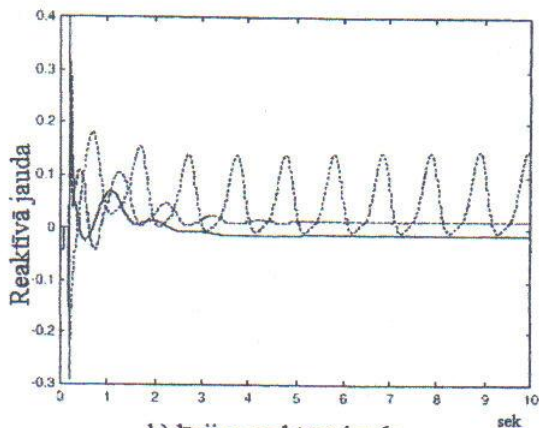


4.att. UPFC kontrollera izmantošanas rezultāti.

4.att. iespējams redzēt UPFC kontrolera izmantošanas rezultātu, kas liecina ka tiek panākta 2,02 reizes lielāka jaudas pārvadīšana pa jau eksistējošām elektropārvades līnijām.



a) līnijas aktīvā jauda



b) līnijas reaktīvā jauda

#### 5.att. UPFC kontrolera izmantošanas rezultāti

5.att. ir redzami UPFC kontrolera modelēšanas rezultāti, kas parāda reaktīvās un aktīvās jaudas plūsmu kopnē 2. Rezultāti 4.att un 5.att. tika iegūti Singapūras Nanyang Tehnoloģiskajā Universitātē uz speciāli izveidota modeļa.

#### Secinājumi

Kā redzams, mūsdienīgas enerģosistēmas darbība ir komplicēta, tās veiksmīgas darbības rezultāts ir atkarīgs no bezgalīgi daudz tehniski ekonomiskajiem faktoriem. Tātad, lai enerģosistēma kļūtu vēl efektīvāka, tiek meklēti veidi kā tās darbību uzlabot. Šajā tēzē tiek apskatīti tie FACTS kontrolleri un to pamatdarbības principi, kuri pašreizējā situācijā nosaka enerģosistēmu enerģijas pārvades attīstības tendences. Piemēram, lai uzlabotu tīkla parametrus varam izmantot dažāda veida kontrollerus SVC, TCSC, STATCOM, PST, SSSC, UPFC, kuri savā starpā atšķiras ar savu dažādo tīkla parametru uzlabošanas paņēmieni. Piemēram, SVC kontrolleris ir statisks reaktīvās jaudas kompensators, kas tiek vadīts ar tīristorslēdzīem, tā galvenā būtība ir kompensēt reaktīvo jaudu pieslēdzot induktivitātes vai kondensātorus. Turklāt TCSC kontrolleris principā veic to pašu darbu, ko SVC kontrolleris, tikai tā darbības paņmiens ir nedaudz savādāks. Sistēmā tiek ieslēgts virknes kondensātors un paralēli tam tiek pieslēgta induktivitāte, kuru vada ar tīristorslēdzīem. Rezultātā iegūstot to pašu reaktīvās jaudas kompensēšanu. Katram no šiem kontrolleriem ir savi plusi un savi mīnusi, bet pareizi izmantojot kontrolleru plusus varam iegūt augstus rezultātus. Neskatoties uz to, ka Latvijā vēl joprojām eksistē uzņēmums, kura pakļautībā ir visa valsts enerģosistēma un nav vēl izveidojies brīvais enerģijas pirkšanas un pārdošanas tirgus, enerģosistēmu kvalitātes uzlabošanai ieteicams lietot moderno UPFC kontrolleri. Šis kontrolleris salīdzinājumā ar pārējiem ir divu STATCOM un SSSC kontrolleru pamatīpašību apvienojums. Līdz ar to tiek panākts, ka UPFC kontrolleris izpilda vairāk prasības no moderno pārvades sistēmu puses nekā jeb kurš cits. Latvijā šādu kontrolleru uzstādīšana praksē būtu vēlama tādās vietās, kur ir jūtīgi patērētāji, kā piemēram, Valmieras "Stiklašķiedra" un "Liepājas metalurģs".

## Literatūra:

1. Mathur R.Mohan, Varma Rajiv K. "Thyristor-based FACTS controllers for electrical transmission systems" .- New York: A John Wiley & Sons, 2002. – 495 p.
2. Prieto J, Salmeron P. "Control implementation of a three-phase load compensation active conditioner" Proceedings of 9<sup>th</sup> European Conference on Power Electronics and Applications 27 to 29 August 2001, Graz, Austria, Session DS 2.8, DS2.8-8 p.
3. Telteu D., Grenier D., Labrique F., Fiset P., Bonal J. "Study of three-single phase system for the avoidance of the unbalanced loads of network with small short-circuit power" Proceedings of 9<sup>th</sup> European Conference on Power Electronics and Applications 27 to 29 August 2001, Graz, Austria, Session DS 2.8, DS2.8-14 p.
4. Sapin A., Simond J. "Investigation of the 3-level unified power controller (UPFC)" Proceedings of 9<sup>th</sup> European Conference on Power Electronics and Applications 27 to 29 August 2001, Graz, Austria, Session DS 2.8, DS2.8-18 p.
5. Guillaume Preville "Flicker mitigation. Application to a STATCOM" Proceedings of 9<sup>th</sup> European Conference on Power Electronics and Applications 27 to 29 August 2001, Graz, Austria, Session DS 2.8, DS2.8-17 p.
6. Strzelecki R., Nocolak A., Tunia H., Krzystof P. "UPFC with Matrix Converter" Proceedings of 9<sup>th</sup> European Conference on Power Electronics and Applications 27 to 29 August 2001, Graz, Austria, Session DS 2.8, DS2.8-10 p.
7. Dupuis S., Crape M., Trecat J. "UPFC modelisation and optimal location in applications in weak or disturbed networks" Proceedings of 9<sup>th</sup> European Conference on Power Electronics and Applications 27 to 29 August 2001, Graz, Austria, Session DS 2.8, DS2.8-15 p.
8. Pastos D.A., Giannakopoulos G.B., Vovos N.A. "Control System Design of Unified Power Flow Controller" Proceedings of 9<sup>th</sup> European Conference on Power Electronics and Applications 27 to 29 August 2001, Graz, Austria, Session DS 2.8, DS2.8-5 p.
9. Saadate S., Belacheheb K. "Comparison of three basic control methods of mains compensation by means of Unified Power Flow Controller (UPFC)" Proceedings of 9<sup>th</sup> European Conference on Power Electronics and Applications 27 to 29 August 2001, Graz, Austria, Session DS 2.8, DS2.8-7 p.
10. Greivulis J., Raņķis I. "Iekārtu vadības elektroniskie elementi un mezgli".- Rīga: Avots, 1997. -288 lpp.
11. Surachai Limyingcharoen "The Applications of Unified Power Flow Controllers in Improving Power System Stability"  
[http://www.ele.auckland.ac.nz/g/power\\_systems/research.htm](http://www.ele.auckland.ac.nz/g/power_systems/research.htm)
12. Grunbaum R., Noroozian M., Thornaldsson B. "FACTS-solutions to power flow control & stability problems". – Sweden: ABB Review Reprint of 5/99. – 16 p.

13. Vanags A. "Elektriskie tīkli un sistēmas 1.daļa".-Rīga: Pētergailis, 1995.- 440 lpp.
14. Bose B. K. "Microcomputer control of power electronics and drives".- New York: IEEE Press, 1987. – 473 p.
15. Rashid M.H. "Power electronics circuits, devices and applications".-New Jersey: Prentice-Hall, 1988. –588 p.

**Leonīds Ribickis**, Professor, Dr. Habil. Sc. Ing.  
Riga Technical University, Faculty of Power and electrical Engineering  
Address: Kalku street 1, LV1658, Riga, Latvia  
Phone: 371+7089400, Fax: 371+7820094  
e-mail: [ribickis@adm.rtu.lv](mailto:ribickis@adm.rtu.lv)

**Aigars Vitols**, Ph. D student, M. Sc. Ing.  
Riga Technical University, Faculty of Power and electrical Engineering  
Address: Kronvalda boulevard 1, LV1050, Riga, Latvia  
Phone: 371+7089918, Fax: 371+7089905  
e-mail: [aigars.vitols@interaction.lv](mailto:aigars.vitols@interaction.lv)

**Ribickis L., Vītols A., FACTS controller –UPFC.**

*Tendencies of development of power transmission networks, what are determined by efforts of modern production of semiconductor switches, are presented in manuscript. The manuscript presents FACTS controllers, which are based on fully controllable semiconductor switches. Presentment of basic operation principles of FACTS controllers gives possibilities to recognise and to realise facilities of using field in power systems. These controllers give wide scope to improve quality and stability of parameters of existent transmission systems.*

**Ribickis L., Vītols A., Maiņstrāvas elastīgo pārvades sistēmu jaudas plūsmas kontrolleris -UPFC.**

*Šajā rakstā tiek aplūkota energosistēmas attīstības tendences, kuras nosaka modernie pusvadītāju ražošanas sasniegumi. Darbā tiek apskatīti FACTS kontrolleri, kuri ir bāzēti uz moderniem pilnīgi vadāmiem pusvadītāju slēdžiem. Šādu FACTS kontrolleru pamaidarbības principu izklāsts ļauj pilnīgāk izprast un apzināties pielietojšanas iespējas energosistēmā. FACTS kontrolleri paver iespējas uzlabot jau eksistējošu energosistēmu parametru kvalitāti un stabilitāti.*

**Рибичикс Л., Витолс А., FACTS контроллер – UPFC.**

*В этом докладе рассмотрены тенденции развития энергосистем, которые определяют современные достижения по производству полупроводников. В этом докладе рассмотрены FACTS контроллеры, которые базированы на современных полностью управляемых полупроводниковых выключателях. Такое рассмотрение принципа основной работы контроллеров FACTS позволяет более полно понять и осознать их возможности и применение в энергосистеме. Контроллеры FACTS раскрывают возможности улучшения качества параметров и стабильности существующей энергосистемы.*