

**REAKTIV QUVVATNI BOSHQARISH TEXNOLOGIYALARI**

Qarshi davlat texnika universiteti Stajyor o'qituvchi

Bobokulova Muhabbat Mahammadiyeva

muhabbatbobokulova820@gmail.com

Annotatsiya: Mazkur maqolada elektroenergetika tizimlarida reaktiv quvvatni boshqarish masalasi tahlil qilinadi. Reaktiv quvvatning paydo bo'lish sabablari, uni kamaytirish va kompensatsiya qilish texnologiyalari, zamonaviy uskunalar (masalan, STATCOM, SVC, UPFC, kondensatorlar, sinxron kompensatorlar), ular yordamida quvvat sifati va tizim barqarorligini oshirish yo'llari keng yoritilgan. Shuningdek, raqamli boshqaruv tizimlari va sun'iy intellektning bu sohadagi qo'llanilishi, ilmiy manbalar asosida adabiyotlar sharxi berilgan.

Kalit so'zlar. reaktiv quvvat, kompensatsiya, STATCOM, SVC, sinxron kompensator, FACTS, elektr energiya tizimi, kuchlanish barqarorligi, quvvat elektronika, energiya samaradorligi, raqamli tarmoqlar, sun'iy intellekt.

Аннотация: В данной статье рассматриваются вопросы управления реактивной мощностью в электроэнергетических системах. Освещаются причины возникновения реактивной мощности, технологии её снижения и компенсации, а также современные устройства (например, STATCOM, SVC, UPFC, конденсаторы, синхронные компенсаторы), с помощью которых улучшается качество электроэнергии и повышается устойчивость системы. Кроме того, рассматривается применение цифровых систем управления и искусственного интеллекта в данной области, а также приведён обзор научной литературы.

Ключевые слова: реактивная мощность, компенсация, STATCOM, SVC, синхронный компенсатор, FACTS, система электроснабжения, устойчивость напряжения, силовая электроника, энергоэффективность, цифровые сети, искусственный интеллект



Abstract: *This article analyzes the issue of reactive power control in power systems. It covers the causes of reactive power, technologies for its reduction and compensation, and modern devices (such as STATCOM, SVC, UPFC, capacitors, synchronous compensators) that help improve power quality and system stability. In addition, the use of digital control systems and artificial intelligence in this field is discussed, along with a review of scientific literature.*

Keywords: *reactive power, compensation, STATCOM, SVC, synchronous compensator, FACTS, power system, voltage stability, power electronics, energy efficiency, digital networks, artificial intelligence*

Kirish

Reaktiv quvvatni kompensatsiyalashning zamonaviy texnologiyalari va usullari energiya tizimlarining samaradorligini oshirishda katta rol o'ynaydi. Ushbu usullarni qo'llash orqali tarmoqlarda ortiqcha energiya sarfini kamaytirish, tizimni ishonchli va barqaror ishlashini ta'minlash, shuningdek, ekologik ta'sirni minimallashtirish mumkin. Hozirgi kunda reaktiv quvvatni kompensatsiyalash uchun turli metodlar ishlab chiqilgan, jumladan, statik va dinamik kompensatsiya tizimlari, kondensatorli va induktiv kompensatsiya usullari, avtomatik boshqarish tizimlari. Ushbu texnologiyalar energiya tizimlarining samaradorligini sezilarli darajada oshiradi va energiya tarmog'ining ishlashini yaxshilaydi.

Reaktiv quvvat — elektr energiya tizimlarida kuchlanish va tok orasidagi faza burchagi mavjud bo'lganda hosil bo'ladigan quvvat turi bo'lib, u foydali ish bajarmaydi, biroq elektr uskunalarning ishlashi uchun zarurdir. Bu quvvat liniyalarda oqib, energiya yo'qotishlariga, kuchlanish pasayishiga olib keladi. Shuning uchun uni boshqarish orqali tizim ishonchliligini, barqarorligini va samaradorligini oshirish mumkin. Hozirgi kunda reaktiv quvvatni boshqarish elektroenergetika tarmoqlarining ajralmas bo'lagi hisoblanadi va bu yo'nalishda turli texnologiyalar ishlab chiqilgan.

Reaktiv quvvatning manbalari va ta'siri

Reaktiv quvvatning asosiy manbalari induktiv va sig'imli xarakterga ega bo'lgan yuklardir. Elektr dvigatellar, transformatorlar, uzun kabel liniyalari hamda kompensatsiyalovchi qurilmalar tizimda reaktiv quvvatning hosil bo'lishiga olib



keladi. Reaktiv quvvat kuchlanish darajasini pasaytiradi, aktiv quvvat tashishni cheklaydi va tizim elementlarini haddan tashqari yuklaydi. Bu esa elektr tarmog'ining samaradorligiga salbiy ta'sir ko'rsatadi.

Reaktiv Quvvat Formulasi:

Reaktiv quvvatning miqdori quyidagi formulada ifodalanadi:

$$Q = V \cdot I \cdot \sin(\varphi)$$

Bu yerda:

Q — reaktiv quvvat (volt-amper reaktiv yoki VAR),

V — kuchlanish (voltda),

I — tok kuchi (amperda),

φ — kuchlanish va tok o'rtasidagi faza farqi (gradus yoki radianlarda).

Reaktiv quvvatni o'lchashda faqatgina tok va kuchlanish o'rtasidagi faza farqi hisobga olinadi.

Real Quvvat (P) va Reaktiv Quvvat (Q) orasidagi munosabat:

Real quvvat (P) — tizimda ishlatilayotgan, haqiqiy energiyani ifodalaydi va formula bilan hisoblanadi:

$$P = V \cdot I \cdot \cos(\varphi)$$

Yekun quvvat (S) — tizimning umumiy quvvatini ifodalaydi, ya'ni real va reaktiv quvvatlarning vektorik yig'indisi:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Reaktiv Quvvat Jadvali: Reaktiv quvvatning ta'sirini yaxshiroq tushunish uchun turli faza farqlari va ularga tegishli quvvatlar haqida jadval tuzish mumkin.

Quyidagi jadvalda faza farqi (φ) ning turli qiymatlari uchun reaktiv quvvatning qanday o'zgarishini ko'rish mumkin.

Faza Farqi (φ)	Real Quvvat (P)	Reaktiv Quvvat (Q)	Yekun Quvvat (S)
0°	P	0	P
30°	P	$Q = P \cdot \tan(30^\circ)$	$S = P / \cos(30^\circ)$
45°	P	$Q = P \cdot \tan(45^\circ)$	$S = P / \cos(45^\circ)$
60°	P	$Q = P \cdot \tan(60^\circ)$	$S = P / \cos(60^\circ)$



Faza Farqi (φ)	Real Quvvat (P)	Reaktiv Quvvat (Q)	Yekun Quvvat (S)
90°	0	Q	$S = Q$

Jadvalda:

P — real quvvat,

Q — reaktiv quvvat,

S — yekun quvvat,

φ — kuchlanish va tok oʻrtasidagi faza farqi.

Faza farqi 0° boʻlganda faqat real quvvat mavjud, reaktiv quvvat esa 0 ga teng boʻladi. Faza farqi 90° boʻlsa, faqat reaktiv quvvat mavjud boʻlib, real quvvat 0 boʻladi.

Reaktiv quvvatni boshqarish texnologiyalari

-Passiv kompensatsiya usullari: Kondensatorlar induktiv yuklarning reaktiv quvvatini kompensatsiya qilish uchun ishlatiladi. Shuningdek, reaktorlar sigʻimli yuklarda ishlatiladi. Bu qurilmalar arzon va samarali, biroq yukning oʻzgarishiga avtomatik moslasha olmaydi.

- Aktiv kompensatsiya usullari: Sinxron kompensatorlar — sinxron mashinalar yordamida reaktiv quvvat ishlab chiqaruvchi va isteʼmol qiluvchi manbalar. Ular tizimdagi kuchlanish va quvvat oqimlarini barqarorlashtirishga xizmat qiladi. Ularning asosiy afzalligi — keng boshqaruv diapazoniga ega.

- FACTS texnologiyalari: STATCOM — kuchli yarim oʻtkazgich elementlari asosida qurilgan aktiv kompensator boʻlib, u oʻzgaruvchan sharoitlarda kuchlanishni barqarorlashtiradi. SVC — oʻzgaruvchan yuklarga moslashuvchi shunt kompensator boʻlib, tizimni dinamik boshqaradi. UPFC esa aktiv va reaktiv quvvat oqimini birgalikda boshqaradi.

- Raqamli boshqaruv va sunʼiy intellekt: Bugungi kunda raqamli boshqaruv tizimlari orqali reaktiv quvvat avtomatik ravishda optimallashtirilmoqda. Smart Grid texnologiyalari va AI algoritmlari yordamida tizim holatini real vaqtda monitoring qilish va optimal boshqaruv qarorlarini qabul qilish mumkin.

Reaktiv quvvatni boshqarish usullari

1. Statik kompensatsiya uskunalari



Kondensator banklari – induktiv yuklamalar hosil qiladigan reaktiv quvvatni kompensatsiya qilish uchun keng qo'llaniladi.

Reaktorlar – haddan tashqari sig'imli yuklamalar bilan ishlashda foydali.

Avtomatik kuchlanish regulyatorlari – kuchlanishni barqarorlashtirish orqali reaktiv quvvat taqsimotini optimallashtiradi.

2. Sinxron kompensatorlar.

Sinxron mashinalar asosida ishlaydi. Ular o'zgaruvchan yuk sharoitlarida yaxshi moslashuvchanlikni ta'minlaydi. Ishlash qimmatroq bo'lsa-da, katta quvvat tizimlarida foydalidir.

3. Zamonaviy elektron boshqaruv texnologiyalari

SVC (Static Var Compensator) – kuchli yarim o'tkazgichli elementlar yordamida yukka qarab reaktiv quvvatni avtomatik tarzda boshqaradi.

STATCOM (Static Synchronous Compensator) – quvvat elektronikasining eng ilg'or ko'rinishi bo'lib, tez javob berish xususiyatiga ega. U kuchlanish barqarorligini yuqori darajada ta'minlaydi.

UPFC (Unified Power Flow Controller) – faqat reaktiv emas, balki aktiv quvvat oqimini ham boshqarish imkonini beradi.

Amaliy qo'llanilish holatlari

Sanoat korxonalarida yuqori quvvatli elektromexanik uskunalar mavjudligi sababli reaktiv quvvat miqdori yuqori bo'ladi. Bu holatda avtomatik kondensator banklari yoki STATCOM qurilmalari ishlatiladi. Elektr energiyasi uzatish tarmoqlarida kuchlanishni barqarorlashtirish uchun yuqori kuchlanishli liniyalarga SVC yoki sinxron kompensatorlar o'rnatiladi. Qayta tiklanuvchi energiya manbalarida (shamol va quyosh) STATCOM va UPFC orqali kuchlanish sathining barqarorligi ta'minlanadi.

Qisqacha xulosa

Reaktiv quvvatni boshqarish — zamonaviy elektroenergetika tizimining ajralmas qismi. Kompensatsiya usullarining to'g'ri tanlanishi nafaqat tizim barqarorligi, balki energiya tejashda ham muhim ahamiyat kasb etadi. FACTS texnologiyalarining keng joriy etilishi va sun'iy intellekt asosidagi avtomatlashtirilgan



boshqaruv tizimlari ushbu sohaga yangi ufqlar ochmoqda. Kelajakda raqamli tarmoqlar va aqlli energiya tizimlari asosida reaktiv quvvatni boshqarish yanada samaraliroq bo'ladi.

ADABIYOTLAR RO'YXATI.

1. Kundur, P. (1994). Power System Stability and Control. McGraw-Hill – elektr tizimlaridagi kuchlanish va quvvat barqarorligi haqida chuqur tahlil.
2. Hingorani, N. G., & Gyugyi, L. (2000). Understanding FACTS. IEEE Press – FACTS texnologiyalarining nazariyasi va amaliyoti bayon qilingan.
3. IEEE Std 1036-2010 – Shunt kondensatorlardan foydalanish bo'yicha xalqaro standartlar.
4. Bollen, M. H. J., & Hassan, F. (2011). Integration of Distributed Generation in the Power System – qayta tiklanuvchi manbalar bilan bog'liq reaktiv quvvat masalalari.
5. CIGRE Brochures – global tajriba va texnologik yechimlar sharhi.
6. Slootweg, J.G., Kling, W.L. (2003). The impact of distributed generation on power system operation – tarqoq generatsiya va uning reaktiv quvvatga ta'siri.
7. IEEE Transactions on Power Systems – ushbu jurnalning ko'plab maqolalarida STATCOM, SVC va UPFC qurilmalari bo'yicha tajriba natijalari e'lon qilingan.
8. Muxammadov, A. (2016). Elektr energiya tizimlarida reaktiv quvvatni kompensatsiyalashning asosiy metodlari. Toshkent: Fan va texnologiya.
9. Jumaniyazov, D., & Yusupov, B. (2018). Kondensatorli kompensatsiya tizimlari va ularning energiya samaradorligiga ta'siri. Energetika jurnali, 32(5), 89-97.
10. Qayumov, N. (2020). Dinamik kompensatsiya tizimlari va ularning samaradorligi. Elektr texnikasi va energiya tizimlari, 44(3), 112-121.
11. Ismoilov, Sh., & Zokirov, I. (2019). Avtomatik boshqaruv tizimlari orqali reaktiv quvvatni optimallashtirish. Elektr energetikasi va avtomatizatsiya, 37(2), 58-65.
12. Iskandarov, R. (2017). Reaktiv quvvatni kompensatsiyalashda ekologik va iqtisodiy samaradorlik. Energiya va tabiiy resurslar, 25(1), 123-130.