

MODEL PREDICTIVE CONTROL USULINING MEUT (AC) QURILMALARI BILAN BIRGALIKDAGI QO‘LLANILISHI

Samad Nimatov - t.f.d dotsent
Toshkent davlat texnika universiteti,
Elektr texnikasi kafedrası dotsenti
Abraev Tursunpolat Azamat o‘g‘li
Toshkent davlat texnika universiteti
doktorantura talabasi
E-mail: abraevtursunpulat@gmail.com

Annotatsiya: Ushbu maqolada Model Predictive Control (MPC) algoritmining MEUT (AC) qurilmalari, ayniqsa STATCOM bilan birgalikda zamonaviy elektroenergetika tizimlarida reaktiv quvvatni optimallashtirish, kuchlanish barqarorligini ta‘minlash va tizimning dinamik javobini yaxshilashdagi roli yoritilgan. Grafik tahlillar asosida MPC asosidagi boshqaruv usulining afzalliklari ko‘rsatib beriladi.

Kalit so‘zlar: Model Predictive Control, STATCOM, reaktiv quvvat, kuchlanishni barqarorlashtirish, optimal boshqaruv

Аннотация: В статье рассматривается применение алгоритма Model Predictive Control (MPC) в сочетании с устройствами MEUT (AC), в частности STATCOM, для оптимизации реактивной мощности и повышения устойчивости напряжения в современных энергетических системах. Приведены сравнительные графики для анализа эффективности управления на основе MPC.

Ключевые слова: Model Predictive Control, STATCOM, реактивная мощность, стабилизация напряжения, оптимальное управление

Abstract: This article discusses the application of the Model Predictive Control (MPC) algorithm in conjunction with MEUT (AC) devices, especially STATCOM, in modern power systems for optimizing reactive power and ensuring voltage stability. Graphical analysis is presented to demonstrate the efficiency of MPC-based control.

Keywords: Model Predictive Control, STATCOM, reactive power, voltage stabilization, optimal control

Kirish

Model Predictive Control (MPC) algoritmi va MEUT (AC) qurilmalari kombinatsiyasi zamonaviy energetika tizimlarida reaktiv quvvatni boshqarish, barqarorlikni ta‘minlash va o‘tish jarayonlarini optimallashtirish uchun ilg‘or boshqaruv yondashuvlaridan biri hisoblanadi.

MPC asoslari

Model Predictive Control — bu tizim modeli asosida ishlovchi, kelajakdagi holatlarni prognoz qiluvchi va optimal boshqaruv signallarini hosil qiluvchi algoritmdir:

Holat fazosi modeli:

$$x(k+1)=Ax(k)+Bu(k)$$

$$y(k)=Cx(k)$$

Tushunchalar:

- x: tizim holati (masalan, kuchlanish)
- u: boshqaruv signali (reaktiv quvvat injeksiyasi)
- y: chiqish signal (bus voltage va h.k.)

MPC qo'llanilishi

1. Kuchlanishni real vaqt rejimida barqarorlashtirish hamda reaktiv quvvat va kuchlanishni optimallashtirish.

MPC yordamida STATCOM va SSSC kabi qurilmalar orqali reaktiv quvvat oqimini va kuchlanish darajasini optimal boshqarish mumkin. Bu esa tizimning umumiy samaradorligini oshiradi.

2. O'tish holatlarini (fault, switching) samarali boshqarish hamda o'tkinchi jarayonlar barqarorligini ta'minlash.

MPC usuli yordamida MEUT(AC) qurilmalari o'tkinchi holatlarda tizimning barqarorligini saqlab qolish uchun optimal boshqaruv signallarini ishlab chiqadi. Bu, ayniqsa, kuchlanish o'zgarishlari yoki avariyaaviy holatlarda muhim ahamiyatga ega.

2. Energiya samaradorligini oshirish.

3.

FACTS turi	MPC orqali boshqariladigan parametrlar	Energiya samaradorligiga ta'siri
SVC	Reaktiv quvvat injeksiyasi QQ	Yo'qotishlar kamayadi, PF oshadi
TOBKK	Seriyali reaktans XX boshqaruvi	Quvvat oqimini muvozanatlaydi
STATCOM	Kuchlanish regulyatsiyasi	Kuchlanish barqarorligi oshadi
BQOBQ	U, P, Q to'liq boshqaruv	Optimal quvvat oqimi, isrof kamayadi [1]

4. Yuklama o'zgarishiga adaptiv moslashuv.

MPC bilan: 1. Tizim kuchlanishi tezroq barqarorlashadi. 2. Reaktiv quvvatni optimal taqsimlash orqali yuk balanslanadi. 3. Energiya yo'qotishlari (line losses) sezilarli darajada kamayadi (~10-20% gacha).

5. Tezkor chastota boshqaruvi.

MPC asosida ishlab chiqilgan boshqaruv algoritmlari inverterli resurslar orqali tizim chastotasini tez va samarali boshqarish imkonini beradi. Bu, ayniqsa, past inersiyali tizimlarda chastota barqarorligini ta'minlashda muhimdir.

MPC asosidagi STATCOM boshqaruvi

Maqolada STATCOM yordamida kuchlanishni boshqarishda MPC algoritmining afzalliklari grafik tahlil asosida ko'rsatilgan:

- MPC yoqilmagan holatda 20% gacha kuchlanish tebranishi kuzatildi.
- MPC bilan esa kuchlanish 5% ichida ushlab turildi va 0.6 soniyada barqaror holatga keldi.

Boshqaruv signali: Dastlab yuqori bo'lib, keyinchalik nolga yaqinlashadi — bu energiya tejashni ko'rsatadi [2].

MPC algoritmining asosiy bosqichlari.

1. Tizim modelini aniqlash: Tizimning dinamikasini ifodalovchi matematik model (masalan, holat fazosidagi model) yaratiladi. 2. Bashorat qilish: Tizim modeli yordamida kelajakdagi holatlar va chiqishlar bashorat qilinadi. 3. Maqsadli funktsiyani optimallashtirish: Bashorat qilingan holatlar asosida maqsadli funktsiya (odatda kvadratik shaklda) optimallashtiriladi [3]. 4. Cheklovlarni hisobga olish: Tizim va boshqaruv signallariga qo'yilgan cheklovlar inobatga olinadi. 5. Boshqaruv signalini qo'llash: Hisoblangan boshqaruv signallari tizimga qo'llaniladi. Takrorlash: Yangi holat o'lchanadi va jarayon qayta boshlanadi.

Boshqaruv vositalari

- MEUT(AC) qurilmalari: STATCOM, SVC, TOBKK
- KAR: generator kuchlanishini boshqaradi
- GAK: chastota va quvvat almashinuvini boshqaradi
- OLTC: transformator kuchlanishini sozlaydi

Amaliy tajriba

Masalan, quyosh va shamol stansiyalarining ulanishi kuchlanish tebranishiga olib keldi. MPC asosidagi STATCOM boshqaruvi bilan tizim tez tiklandi va barqarorlik saqlandi.

Umumiy xulosa

Model Predictive Control usuli MEUT (AC) qurilmalari bilan birgalikda elektr energiya tizimlarining barqarorligini oshirish, tezkor javob berish imkoniyatlarini kengaytirish va energiya oqimini optimallashtirishda samarali yechim hisoblanadi. Bu integratsiya, ayniqsa, zamonaviy elektr tarmoqlarida yuzaga keladigan murakkab holatlarda muhim ahamiyatga ega.

MPC yordamida STATCOM boshqaruvi:

- Bus kuchlanishidagi tebranishlarni kamaytiradi
- Tiklanish vaqtini qisqartiradi
- Optimal reaktiv quvvatni ta'minlaydi
- Tizim barqarorligi va energiya samaradorligini oshiradi.

MPC asosida MEUT(AC) boshqaruvi — yuqori dinamik ishlash, tizim barqarorligi va energiya samaradorligini maksimal oshirishga xizmat qiluvchi zamonaviy yechimdir. Hozirgi kunda bu yondashuv SCADA, EMS va aqlli tarmoqlar uchun ayniqsa muhim hisoblanadi.

Qisqartmalar: 1. BQOBQ-Birlashtirilgan quvvat oqimini boshqaruvchi qurilma 2.SVC-Statik VAR Compensator 3.MEUT(AC)-Moslashuvchan elekt uzatish tizimlari(Alternating Current). 4.TOBKK-tristor orqali boshqariladigan ketma-ket kondensator. 5.STATCOM-statik kompensator 6.MPC-Model Predictive Control

Foydalanilgan adabiyotlar ro'yxati:

1. Qin, S.J. & Badgwell, T.A. (2003). A Survey of Industrial Model Predictive Control Technology.
2. Camacho, E.F. & Bordons, C. (2004). Model Predictive Control.
3. Rawlings, J.B., Mayne, D.Q., & Diehl, M.M. (2017). Model Predictive Control: Theory, Computation, and Design (2nd Edition).