# BARQARORLIKNI BAHOLASH – BARQARORLIK MEZONLARI

**Safarov Xoliyor Sayyid Safar o‘g‘li**
QarMII Energetika fakulteti katta o‘qituvchisi

**Xabibullayev Abduraxim Xamidulla o‘g‘li**
QarMII Energetika fakulteti 4- kurs talabasi

## ANANOTATSIYA

Maqolada energetika tizimida sodir bo‘ladigan o‘tkinchi jarayonlarni differentsial tenglamar orqali hisoblash yoritilgan.

**Kalit so‘zlar:** koordinata, tizim, barqaror, energetika, differentsial, o‘tkinchi jarayonlar.

## АННОТАЦИЯ

В статье описан расчет переходных процессов, происходящих в энергосистеме, с помощью дифференциального уравнения.

**Ключевые слова:** координата, система, устойчивость, энергетика, дифференциаль, переходные, процессы.

## ABSTRACT

The article describes the calculation of transient processes occurring in the power system using a differential equatin.

**Keywords:** coordinate, system, stability, energy, differential, transients.

Energetika tizimining ish rejimini differentsial tenglamalar tizimi bilan tavsiflash mumkin, bunda uning holatini tavsiflovchi umumlashtirilgan koordinatalar rejimning elektr parametrlari hisoblanadi.  Ularning vaqtdagi uzluksiz o‘zgarishi o‘tkinchi jarayonlarning paydo bo‘lishiga olib keladi.  Energetika tizimining barqaror ishlashini o‘rganish muammosi mavjud.  Yuqori tartibli chiziqli differentsial tenglamalar bilan tavsiflangan texnik tizimlarning barqarorligi mezonlarini topish masalasi 1868 yilda Maksvell tomonidan qo‘yilgan va 1873 yilda Raus tomonidan yechilgan 1877 yilda esa  to‘rtinchi va beshinchi darajali tenglamalarni barchasi to‘liq hal qilingan . Barqarorlik nazariyasining klassik tadqiqini A.M.  Lyapunov bajargan.  Vaqt o‘tishi bilan harakat koordinatalarining boshlang‘ich qiymatidan barcha og‘ishlar yo‘qolsa, tizimning harakati barqaror hisoblanadi.  Ta’sir qiluvchi kuchlarning xarakteri hisobga olinmaydi, ular ta'sir etib, o'z harakatlarini to'xtatadi va differentsial tenglamalarda hisobga olinmaydi. Umuman olganda, texnik tizimlar chiziqli bo'lmagan differentsial tenglamalar bilan tavsiflanadi. Biroq, chiziqli bo'lmagan differensial tenglamalar tizimlari uchun umumiy yechim usullari mavjud emas. Shuning uchun chiziqli bo'lmagan differensial tenglamalar tizimini o'zgarmas koeffitsientli yaxshi o'rganilgan chiziqli differensial tenglamalarning tizimlariga qisqartirish muammosi paydo bo'ladi;

$$a_0\frac{d^n\xi}{dt^n}+a_1\frac{d^{n-1}\xi}{dt^{n-1}}+\cdots..+a_{n-1}\frac{d\xi}{dt}+a_n\xi+a_n\xi=F_i(t).$$

Bu quyidagi holatlarda mumkin:

• Ta'sir qiluvchi kuchlar F(1) vaqt birligi ichida ozgina o'zgaradi;

• Vaqt birligi ichida rejim parametrlari $\xi$va ularning hosilalari $\xi$',$\xi$" kam o'zgaradi.

• Chiziqli bo'lmagan tizimni chiziqli tizimga qisqartirish rejimni ko'rib chiqish $t_0$-nuqtasi linearizasiya qilish bilan bog'liq.

• Chiziqli bo'lmagan tebranish funktsiyalari chiziqli funktsiyalar bilan ifodalanadi agar ; F(1) -F ( $t_0$ ) | = $f_i$( t ) <$\xi$; bo'lsa.

• Jarayon koordinatalari$t_0$ nuqtada chiziqli funksiyalar bilan almashtiriladi, quidagi shartlarda;

$$|\xi_i(t)-\xi_{i0}|<\mathcal{E};\ |\xi'_i(t)|<\mathcal{E};\ |\xi_{(t)}|<\mathcal{E}.$$

Shunday qilib, tizimdagi o'tkinchi jarayonga tashqi tebranishlarning ta'sirini turli $F_i(t)$, uchun differensial tenglamalar tizimidagi yechimlar shaklini o'rganish uchun qisqartiriladi va koeffitsientlar $a_i(i=1\ldots..n)$ tashqi ta'sir qiluvchi kuchlarga $(F_0)$ ham bog'liq.

O'zgaruvchilarning o'zgarishini kiritamiz; $x_i(t)=\xi_i(t)-\xi_{i0}$ unda;

$\frac{d\xi_i}{dt}=\frac{dx_i}{dt}$, $\frac{d^2\xi_i}{dt^2}=\frac{d^2x_i}{dt^2}$.

Tizim $a_0\frac{d^nx}{dt^n}+a_1\frac{d^{n-1}}{dt^{n-1}}+\cdots..+a_{n-1}\frac{d^{n-1}}{dt}+a_nx=f_i(t)$ shaklga aynaltiriladi.

Sistemaning muvozanat holati $x_i=0, f_i=0$ da sistemaning muvozanat holatiga mos kiladi.

Jarayonning vaqt bo'yicha borishi tegishli $f_i(t)$ funktsiya to'plami va $x_i(t)$ jarayonning koordinatalari bilan tavsiflanadi.

Bu masalani yechishning ikkita usuli mavjud;

• Analitik shakldagi yechimni olish;

• Masalani yechmasdan, harakat koordinatalaring vaqtdagi o'zgarishlar xarakterini olish;

Umumiy holatda,tizimning barqarorligini baholash xarakterli tenglama ildizlarining haqiqiy qismlarining belgilarini aniqlash uchun qisqartiriladi. Ildizlarni hisoblash faqat birinchi va ikkinchi darajali xarakterli tenglamalar uchun juda oddiy. Uchinchi va toʻrtinchi darajali tenglamalarning ildizlari uchun umumiy ifodalar maʼlum, ammo ular ogʻir va amaliy jihatdan noqulaydir. Yuqori darajali tenglamalarda ildizlar uchun umumiy ifodalar umuman mavjud emas. Shuning uchun ildizlarni hisoblashni chetlab oʻtib, tizimning barqarorligi yoki beqarorligini aniqlashga imkon beradiganRaus Gurvits usuli muhim ahamiyatga ega . Yuqoridagi tenglamalar tizimini integrallashga hojat qoldirmasdan x harakat koordinatalarining qiymatlarini aniqlash shartlarini aniqlash vazifasi Lagranj tomonidan qoʻyilgan. Baʼzi bir maxsus holatlarda, bu muammo Lagranj tamoyillari yordamida oʻzining minimal’e potentsialining birinchi yaqinlashuvi asosida hal qilindi, bunda $x_k$ funktsiyasini kengaytirishda, $x$ kattaligini oʻz ichiga olgan barcha hadlar birinchisidan yuqori boʻladi va tashlab yuboriladi. Biroq, baʼzida birinchi yaqinlashuvda barqaror boʻlgan harakat haqiqatda barqaror emas ekanligi maʼlum boʻldi. A.M. Lyapunov, Lagranjning minimal potentsial haqidagi printsipiga asoslanib, muammoni ketma-ket yaqinlashish usuli yordamida hal qildi va birinchi yaqinlashish haqiqatda barqarorlik muammosini hal qiladigan holatlarni koʻrsatdi . Biroq, A.M. Lyapunov oʻz ishida hech qanday aniq mexanik masalalarning yechimi yoʻqligini taʼkidladi va u ishlab chiqilgan usullarni tasvirlash uchun analitik xarakterga ega boʻlgan misollar etarli deb hisobladi. Shu bilan birga, A.M. Lyapunov oʻzining uch bobdan iborat boʻlgan ishini toʻrtinchi bob bilan toʻldirishni niyat qilgan, unda maʼlum mexanik muammolarni hal qilish masalalari mavjud. Avtomatik boshqaruv tizimlarini loyihalashda Nayqvist-Mixailov mezonidan foydalaniladi . Gap shundaki, Raus Gurvits mezonlari jarayonlari past tartibli differentsial tenglamalar bilan tavsiflangan tizimlarni oʻrganish uchun oddiy, ammo agar tizim parametrining barqarorlikka taʼsirini aniqlash kerak boʻlsa, u holda differensial tenglamalar bilan vazifa bajariladi. 5-darajali va undan yuqori darajalar amalda imkonsiz boʻlib qoladi, chunki tizimning barqarorligi tenglama koeffitsientlarining kompleks birikmasi bilan ifodalanadi, ikkinchisi esa tizim parametrlarining murakkab funktsiyalari. Bunday hollarda barqarorlikni aniqlashning yanada qulay usuli Nayqvist Mixailov amplituda-faza mezoni hisoblanadi. Ushbu mezon qulaydir, chunki u ochiq siklli tizimning xususiyatlaridan foydalangan holda yopiq konturli avtomatik boshqaruv tizimining barqarorligini, shuningdek ikkinchisining eksperimental xarakteristikasi boʻyicha baholashga imkon beradi, bu esa hisoblashni sezilarli darajada osonlashtiradi. Bundan tashqari, ushbu mezon tavsiflanmagan, chunki bu erda avtomatik boshqaruv tizimlarining parametrlarini belgilash vazifalari hal etilmagan. Amalda energiya tizimlarining barqarorligini hisoblash muammosi energiya tizimining berilgan modeli boʻyicha rejimlarni matematik modellashtirish yo‘li bilan hal qilinadi, bu energiya tizimi elementlarining ulanish sxemasining tavsifini va ularning elektr mohiyatini aks ettiruvchi matematik tasvirini o‘z ichiga oladi.

**Raus Barqarorlik mezoni**

Mezon n-darajali xarakteristik tenglama bilan tavsiflangan muammoni hal qilish uchun zarur bo‘lgan matematik operatsiyalar ketma-ketligini aniqlaydegan algoritm shaklida berilgan;

$$a_0\lambda^{n-1} + a_1\lambda^{n-1} \dots . a_{n-1} + a_n = 0$$

Raus algoritmni jadval ko‘rinishida amalga oshirishni taklif qildi (1-jadval), bu erda yettinchi darajali xarakterli tenglama uchun misol sifatida tuzilgan.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $a_0$ | $a_2$ | $a_4$ | $a_6$ |
| | $a_1$ | $a_3$ | $a_5$ | $a_7$ |
| $r_0=\frac{a_0}{a_1}$ | $c_{13} = a_2 - r_0a_3$ | $c_{23} = a_4 - r_0a_5$ | $c_{33} = a_6 - r_0a_7$ | $c_{43} = a_8 - r_0a_7$ |
| $r_1=\frac{a_1}{c_{13}}$ | $c_{14} = a_3 - r_1c_{23}$ | $c_{24} = a_5 - r_1c_{33}$ | $c_{34} = a_7 - r_1c_{43}$ | $c_{44} = a_9 - r_1c_{53}$ |
| | | | | |
| $r_2=\frac{c_{13}}{c_{23}}$ | $c_{15} = c_{23} - r_2c_{24}$ | $c_{25} = c_{33} - r_2c_{34}$ | $c_{35} = c_{43} - r_2c_{44}$ | $c_{45} = c_{44} - r_2c_{54}$ |

1-jadval

Jadval aniq qilingan va hisob-kitoblar ketma-ketligi uchun qo‘shimcha tushuntirishlarni talab qilmaydi. Rausning barqarorlik mezonida shunday deyiladi; tizim barqaror bo‘lishi uchun jadvalning birinchi ustunidagi barcha koeffitsientlar ijobiy bo‘lishi kerak va yetarli bo‘lishi kerak ya’ni;

$$a_0 > 0, \quad a_1 > 0, \quad c_{13} > 0, \quad c_{14} > 0 \dots . c_{1n+1} > 0.$$

Xarakteristik tenglamalarning koeffitsientlari son bilan berilgan bo‘lsa Raus mezoni juda qulaydir.

Misol va tenglama sifatida;

$$0{,}104\lambda^7 + 0{,}33\lambda^6 + 5{,}5\lambda^5 + 15{,}5\lambda^4 + 25\lambda^3 + 25\lambda^2 + 19{,}7\lambda + 9{,}5 = 0$$

Rausning 2-jadvalida ko‘rsatilgandek, jadval koeffitsientlarning raqamli qiymatlari bilan to‘ldiriladi;

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| | $a_0 = 0{,}104$ | $a_2 = 5{,}5$ | $a_4 = 25$ | $a_6 = 19{,}7$ |
| | $a_1 = 0{,}33$ | $a_3 = 15{,}5$ | $a_5 = 25$ | $a_7 = 9{,}5$ |
| $r_0 = 0{,}315$ | 0,6 | 17,1 | 16,7 | 0 |
| $r_1$=0,55 | 6,0 | 15,8 | 9,5 | 0 |
| $r_2 = 0{,}1$ | 15,52 | 15,75 | 0 | 0 |
| $r_3$=0,386 | 9,7 | 9,5 | 0 | 0 |
| $r_4 = 1{,}6$ | 0,55 | 0 | 0 | 0 |

Birinchi ustunning barcha koeffitsientlari musbat bo‘lganligi sababli, xarakterli tenglamaning barcha ildizlari manfiy haqiqiy qismlarga ega va shuning uchun bu tizim barqarordir.

**Gurvits barqarorlik mezoni.**

Gurvits mezoni Raus mezonidan olinadi. Agar xarakterli tenglama berilgan bo‘lsa uning ildizlari manfiy bo‘ladi;

$a_0\lambda^n + a_1\lambda^{n-1} \ldots . a_{n-1}\lambda + a_n = 0.$

$a_1 a_3\ a_5 \ldots\ldots\ldots\ 0$

$\Delta_n = a_0\ \ a_2 a_4 \ldots\ldots 0$

$0\ \ a_1 a_3 \ldots\ldots\ldots 0$

va uning barcha dioganal minorlari musbat bo‘lgandagina xarakat sistemamiz barqaror bo‘ladi;

$$\Delta_2 = \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} \Delta_3 = \begin{matrix} a_1 & a_3 & a_5 \\ a_0 & a_2 & a_4 \\ 0 & a_1 & a_3 \end{matrix}$$

Boshqacha qilib aytganda, tizim barqaror bo‘lishi uchun $a_0 > 0$ shartining bajarilishi va Gurvits determinantlari $\Delta_1, \Delta_2 \ldots . \Delta n_n$, musbat ekanligini aniqlash zarur va etarli. n tartibli Gurvits determinantini tuzish qoidasi quyidagicha $a_1$ dan $a_n$ gacha tenglamaning barcha koeffitsientlari asosiy diagonal bo‘ylab indekslarning o‘sish tartibida yoziladi.

• Ustunlar diagonalning elementlaridan yuqoriga qarab to‘ldiriladi, ustunga ketma-ket ortib borayotgan indeksli koeffitsientlar qo‘shiladi;

• Ustunlar diagonalning elementlaridan pastga qarab to‘ldiriladi, ustunga ketma-ket pasayish indekslari bilan koeffitsientlar qo‘shiladi;

• Indekslari katta bo‘lgan koeffitsientlarni joylashtiriladi va nollar qo‘yiladi;

Masalan, to‘rtinchi tartibgacha bo‘lgan xarakteristik tenglamalar uchun Gurvits barqarorlik mezoni quyidagicha yoziladi;

$$a_0\lambda + a_1 = 0; \qquad a_0 > 0, \qquad a_1 > 0.$$

Birinchi tartibli differensial tenglama bo‘lgan sistemaning barqarorligi uchun xarakteristik tenglamaning barcha koeffitsientlari musbat bo‘lishi kerak •

Misol uchun ; $a_0\lambda^2 + a_1\lambda + a_2 = 0;$

sharti; $a_0 > 0,\ a_1 > 0;\quad \Delta_2 \begin{vmatrix} a_1 & 0 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 > 0.$

Misol uchun ; $a_0\lambda^3 + a_1\lambda^2 + a_2\lambda + a_3 = 0$;

sharti; $a_0\lambda^3 + a_1\lambda^2 + a_2\lambda + a_3 = 0$; $a_0 > 0$, $a_1 > 0$; $\Delta_2 \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0$, $\Delta_3 = \begin{matrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & 0 \\ 0 & a_2 & a_3 \end{matrix}$

Misol uchun; $a_0\lambda^4 + a_1\lambda^3 + a_2\lambda^2 + a_3\lambda + a_4 = 0$;

sharti; $a_0\lambda^3 + a_1\lambda^2 + a_2\lambda + a_3 = 0$; $a_0 > 0$, $a_1 > 0$; $\Delta_2 \begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ a_0 & a_2 \end{vmatrix} = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0$, $\Delta_3 = \begin{matrix} a_1 & a_3 & 0 \\ a_0 & a_2 & 0 \\ 0 & a_2 & a_3 \end{matrix}$;

$$\Delta_4 = a_4 \Delta_3 > 0.$$

E'tibor bering, yuqori tartibli tenglamalar uchun Raus va Gurvitsning analitik barqarorlik mezonlari tizim barqaror yoki yo'qligini aniqlaydi, ammo agar tizim barqaror emas ekanligi aniqlansa, mezonlar tizim parametrlarini qanday o'zgartirish kerakligi haqida javob bermaydi.

**FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR RO'YXATI: (REFERENCES)**

Meleshkin G.A., Merkuryev G.V. Energosistema barqarorligi. 1-kitob, 4-bo'lim. Barqarorlikni baholash - barqarorlik mezonlari.