

KETMA-KET VA PARALLEL ULASH: EKVIVALENT QARSHILIKNI TOPISH VA DIAGNOSTIK SXEMALARDA QO'LLANILISHI

Annotatsiya. Biotibbiyot diagnostika qurilmalarida (ECG/EEG/EMG front-end, rezistiv datchik interfeyslari, portativ monitorlar) rezistorlar ketma-ket va parallel ulanishi hisobiga kirish himoyasi, signal shakllanishi hamda quvvat sarfi boshqariladi. Maqolada ekvivalent qarshilikni topishning asosiy qoidalari (ketma-ket yig'indi, parallel teskari yig'indi) tibbiy qurilmalardagi uchta tipik holat misolida amaliy talqin qilinadi: (1) biopotensial kirishda oqimni cheklovchi ketma-ket rezistorlar; (2) Wheatstone ko'prigi asosidagi rezistiv datchiklarda ketma-ket-parallel ekvivalentlashtirish; (3) portativ tizimlarda batareyani ADC orqali nazorat qilish uchun rezistor bo'luvchi zanjiri. Hisoblashlar ekvivalent qarshilik bemor xavfsizligi (tokni cheklash), o'lchov aniqligi (kirish impedansi va ko'priq chiqish qarshiligi) hamda energiya tejamkorligi (bo'luvchi toki)ni baholashda bevosita qo'llanilishini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: ketma-ket ulash; parallel ulash; ekvivalent qarshilik; biopotensial; Wheatstone ko'prigi; diagnostik sxema; kirish impedansi; portativ qurilma; quvvat sarfi.

SERIES AND PARALLEL CONNECTIONS: FINDING EQUIVALENT RESISTANCE AND APPLICATIONS IN DIAGNOSTIC CIRCUITS

Abstract. In biomedical diagnostic devices (ECG/EEG/EMG front ends, resistive sensor interfaces, portable monitors), resistor networks in series and

parallel govern patient protection, signal formation, and power consumption. This paper summarizes equivalent-resistance rules through three typical cases: (I) series current-limiting resistors at biopotential inputs; (II) series-parallel reduction in Wheatstone-bridge sensors; (III) battery-to-ADC monitoring via a resistor divider in portable systems. Examples show how equivalent resistance supports patient safety, measurement accuracy, and energy efficiency.

Keywords: *series connection; parallel connection; equivalent resistance; Wheatstone bridge; diagnostic circuit; input impedance; portable device.*

1. Kirish

Biotibbiyot muhandisligida ko‘plab diagnostik qurilmalar elektr zanjir sifatida modellashiriladi: elektrod-terining ekvivalent qarshiligi, kirish himoyasi, kuchaytirgichning bias yo‘llari, rezistiv datchik ko‘priklari hamda batareya nazorati kabi bo‘g‘inlar rezistor tarmoqlariga tayangan holda ishlaydi [1,2,7–9]. Biopotsial o‘lchovlarda bemor zanjirning bir qismi bo‘lgani uchun tokni cheklash (xavfsizlik), kirish impedansini yuqori saqlash (signalni buzmaslik) va quvvat sarfini kamaytirish (portativlik) talablari bir-biri bilan bog‘langan tarzda tanlanadi [1,5,6]. Shu sababli ketma-ket va parallel ulashda ekvivalent qarshilikni tez topish diagnostik sxemalarni tahlil qilishning asosiy ko‘nikmalaridan biridir.

Maqolaning maqsadi ketma-ket va parallel ulash qoidalarini diagnostik sxemalardagi real holatlar asosida amaliy talqin qilish hamda dizayn qarorlariga ta’sir etuvchi asosiy omillarni (xavfsizlik, aniqlik, energiya samaradorligi) qisqa hisoblar bilan ko‘rsatishdir.

2. Metodlar

Ish adabiyotlar sharhi va analitik hisoblashga asoslandi. Elektr zanjirlar nazariyasining asosiy formulalari [3,4] hamda biotibbiyot asbobsozligi va tibbiy elektr xavfsizligi talablari [1,2,5,6] asosida uchta tipik DC-model tanlandi: (1) biopotsial kirishda oqimni cheklash; (2) Wheatstone ko‘priqi asosidagi rezistiv datchik; (3) portativ monitorlarda batareyani ADC bilan nazorat qilish.

Hisoblashlarda quyidagi ifodalar ishlatildi:

Ketma-ket ulash: $R_{eq} = R_1 + R_2 + \dots + R_n$

Parallel ulash: $1/R_{eq} = 1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n$

Tok: $I = V/R$; Quvvat: $P = I^2 R = V^2/R$

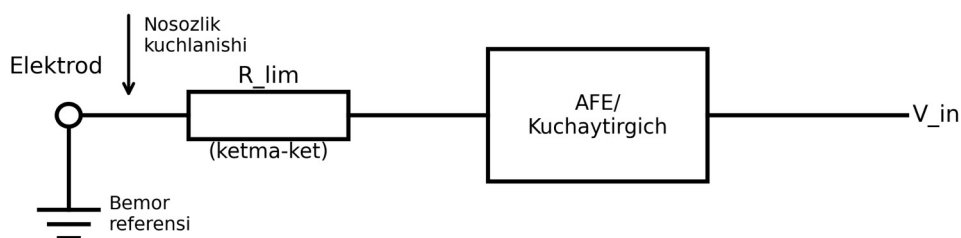
3. Natijalar va muhokama

3.1. Ketma-ket ulash: biopotensial kirishda oqimni cheklash

ECG/EEG kabi biopotensial kanallarda elektrod liniyasiga katta qiymatli ketma-ket rezistor (R_{lim}) qo'yish amaliyotda keng uchraydi. Uning asosiy vazifasi nosozlik yoki tashqi kuchlanish ta'sirida bemor tomonga oqishi mumkin bo'lgan tokni cheklashdir [1,5,6]. Ketma-ket ulashda umumiy qarshilik oshadi va tok $I = V/R_{eq}$ bo'yicha kamayadi.

Illyustrativ hisob: nosozlikda elektrod liniyasida 5 V paydo bo'lsin. Agar $R_{lim} = 1.0 \text{ M}\Omega$ bo'lsa, $I \approx 5/1.0 \times 10^6 = 5 \text{ }\mu\text{A}$. Bu tamoyil bemor xavfsizligi uchun muhim bo'lib, amaliy limitlar qurilma sinfi va standart talablari bilan belgilanadi [5,6].

Dizayn nuqtasi: R_{lim} juda katta tanlansa kirishdagi termik shovqin va kuchaytirgich bias toklaridan keladigan ofset xatolari oshishi mumkin; juda kichik tanlansa esa xavfsizlik zaxirasi kamayadi [1,7].



Rasm 1. Biopotensial kirishda ketma-ket oqim cheklash va kirish himoyasi (soddalashtirilgan sxema).

3.2. Parallel ulash: kirish impedansi va bias yo'llari

Diagnostic kuchaytirgich kirishi idealda juda katta impedansga ega bo'lishi kerak. Amalda esa bias (kirishning "qaytish yo'li"), filtrlar yoki himoya elementlari sabab parallel yo'llar hosil bo'ladi. Parallel ulashda ekvivalent qarshilik kamayadi, ya'ni kirish impedansi pasayadi.

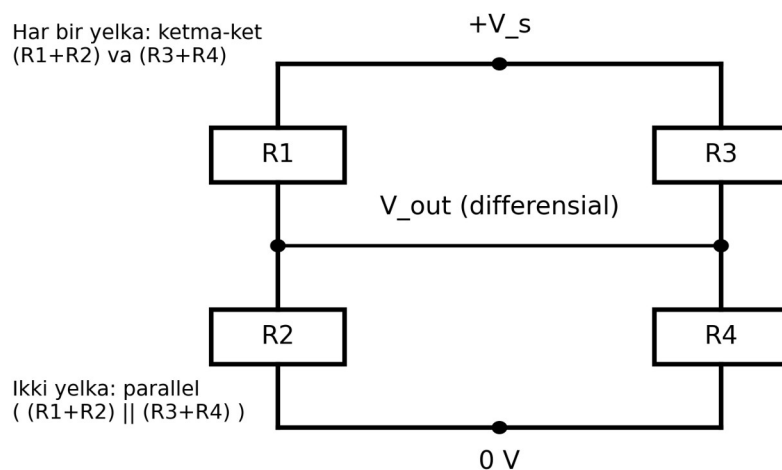
Masalan, ikkita $10 \text{ M}\Omega$ bias rezistori parallel "ko'rinishi" mumkin. Bunda $R_{eq} = (R \cdot R)/(R + R) = R/2 = 5 \text{ M}\Omega$. Kirish impedansi pasaysa, elektrod-terining

impedansi bilan birga kuchlanish bo'luvchi hosil bo'lib, foydali signal amplitudasi kamayishi mumkin [1,2,7].

3.3. Aralash (ketma-ket-parallel) ulash: Uitston ko'prigi datchiklari

Rezistiv datchiklar (tensodatchik, bosim datchigi, strain gauge) ko'pincha Wheatstone ko'prigida ulanadi. Bu sxemada har bir yelka ketma-ket, ikki yelka esa manba nuqtai nazaridan parallel ekvivalentga ega [2,4].

Agar $R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 350 \Omega$ va $V_s = 5 \text{ V}$ bo'lsa: har bir yelka $R_{\text{yelka}} = R_1 + R_2 = 700 \Omega$; ikki yelka ekvivalenti $R_{\text{eq}} = 700 \parallel 700 = 350 \Omega$; manba toki $I_s = 5/350 \approx 14.29 \text{ mA}$. Ko'priknining chiqish qarshiligi instrumental kuchaytirgichning bias toklaridan keladigan ofset va shovqin bahosida muhimdir [2,7,8].



Rasm 2. Wheatstone ko'prigi: ketma-ket va parallel ekvivalentlashtirish g'oyasi (datchik interfeysi uchun tipik sxema).

3.4. Portativ diagnostik tizimlarda rezistor bo'luvchi: batareyani ADC bilan nazorat qilish

Ko'plab portativ monitorlarda batareya kuchlanishi ADC orqali o'lchanadi. ADC kirishiga mos diapazon hosil qilish uchun rezistor bo'luvchi ishlatiladi (R_1 va R_2 ketma-ket). Bu yerda ikkita amaliy ko'rsatkich muhim: (1) ADC ga tushadigan kuchlanish qiymati; (2) bo'luvchi orqali doimiy oqadigan tok (energiya yo'qotish).

Agar $V_{\text{bat}} = 4.2 \text{ V}$, $R_1 = 1.0 \text{ M}\Omega$, $R_2 = 330 \text{ k}\Omega$ bo'lsa: $V_{\text{adc}} = V_{\text{bat}} \cdot R_2 / (R_1 + R_2) \approx 1.04 \text{ V}$; bo'luvchi toki $I_{\text{div}} = V_{\text{bat}} / (R_1 + R_2) \approx 3.16 \mu\text{A}$; quvvat yo'qotish $P \approx V_{\text{bat}} \cdot I_{\text{div}} \approx 13.3 \mu\text{W}$. R qiymatlari katta tanlansa quvvat sarfi kamayadi, biroq ADC kirish oqishlari, shovqin va o'lchov dinamikasi bilan bog'liq xatolar oshishi mumkin [7,8].

4. Xulosa

Ketma-ket va parallel ulash qoidalari diagnostik sxemalarda uchraydigan rezistor tarmoqlarini tez va ishonchli tahlil qilish imkonini beradi. Ekvivalent qarshilik biopotensial kirishda tokni cheklash orqali bemor xavfsizligini, datchik koʻpriklarida manba toki va chiqish qarshiligini baholash orqali oʻlchov aniqligini, portativ qurilmalarda boʻluvchi toki va quvvat yoʻqotishini hisoblash orqali energiya samaradorligini taʼminlashga xizmat qiladi. Shu sababli DC ekvivalentlashtirish tahlili keyingi bosqichdagi shovqin, filtr va dinamik (AC) tahlillar uchun mustahkam poydevor boʻlib qoladi.

5. Foydalanilgan adabiyotlar

1. Webster, J. G. (Ed.). *Medical Instrumentation: Application and Design*, 4th ed. John Wiley & Sons, Hoboken, NJ, [2009 yoki 2010].
2. Khandpur, R. S. *Handbook of Biomedical Instrumentation*, 3rd ed. McGraw-Hill Education (India), 2014.
3. Hayt, W. H.; Kemmerly, J. E.; Durbin, S. M. *Engineering Circuit Analysis*, 8th ed. McGraw-Hill, 2011.
4. Alexander, C. K.; Sadiku, M. N. O. *Fundamentals of Electric Circuits*, 6th ed. McGraw-Hill, 2016.
5. IEC. *IEC 60601-1:2005+A1:2012 (Edition 3.1)*. International Electrotechnical Commission, 2012.
6. ANSI/AAMI. *EC13:2002 Cardiac monitors, heart rate meters, and alarms*. AAMI/ANSI, 2002.
7. Soundarapandian, K.; Berarducci, M. *Analog Front-End Design for ECG Systems Using Delta-Sigma ADCs*. Texas Instruments Application Report **SBAA160A**, Revised April 2010.
8. Texas Instruments. *ADS1298: Low-Power, 8-Channel, 24-Bit Analog Front-End for Biopotential Measurements* (Datasheet; literature no. **SBAS459**).
9. Pallàs-Areny, R.; Webster, J. G. *Sensors and Signal Conditioning*, 2nd ed. Wiley, 2001.