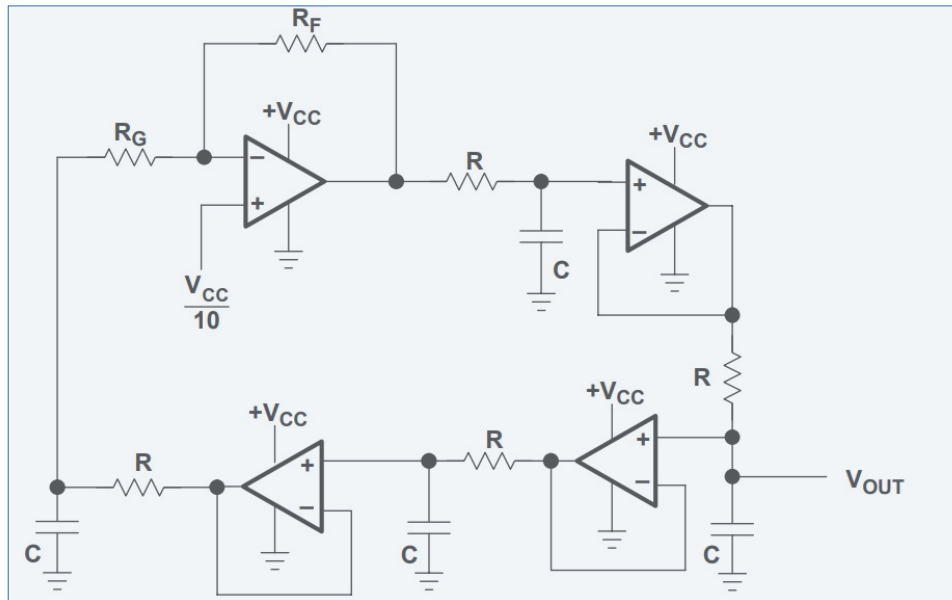


Bevezetés az elektronikába



15. Műveleti erősítők – 2. rész

Felhasznált és ajánlott irodalom

- ❑ Sulinet Tudásbázis: [A műveleti erősítők alapjai, felépítése, alkapcsolások](#)
- ❑ Borbély Gábor: [Elektronika II](#)
- ❑ Berta Miklós: [Műveleti erősítők alkapcsolásai, A Miller effektus](#)
- ❑ Mike Gábor: [Mérőerősítők](#)
- ❑ Electronics Tutorials: [Operational Amplifier Basics](#)
- ❑ Talking Electronics: [The OP-AMP](#)
- ❑ Texas Instruments: [Analog Engineer's Circuit Cookbook: Amplifiers](#)
- ❑ Texas Instruments: [Op Amps for Everyone](#)
- ❑ Paul Falstad: [Circuit Simulator Applet](#)
- ❑ Varga Zoltán: [Forrasztó páka vezérlés](#) (BSS Elektronika)

LM324/LM224/LM124

LM324/LM224/LM124

4 műveleti erősítő egy tokban

Aszimmetrikus táp.: 3 V – 32 V

Szimmetrikus táp.: $\pm 1,5$ V – ± 16 V

Bemeneti offset feszültség: tip. 2 mV

Bemeneti offset áram: tip. 2 nA

Bemeneti munkaponti áram: tip. 20 nA

Rail-to rail bemenet, max. 27-28 V kimenet

Egységnyi erősítés határfrekvenciája: 1,3 MHz

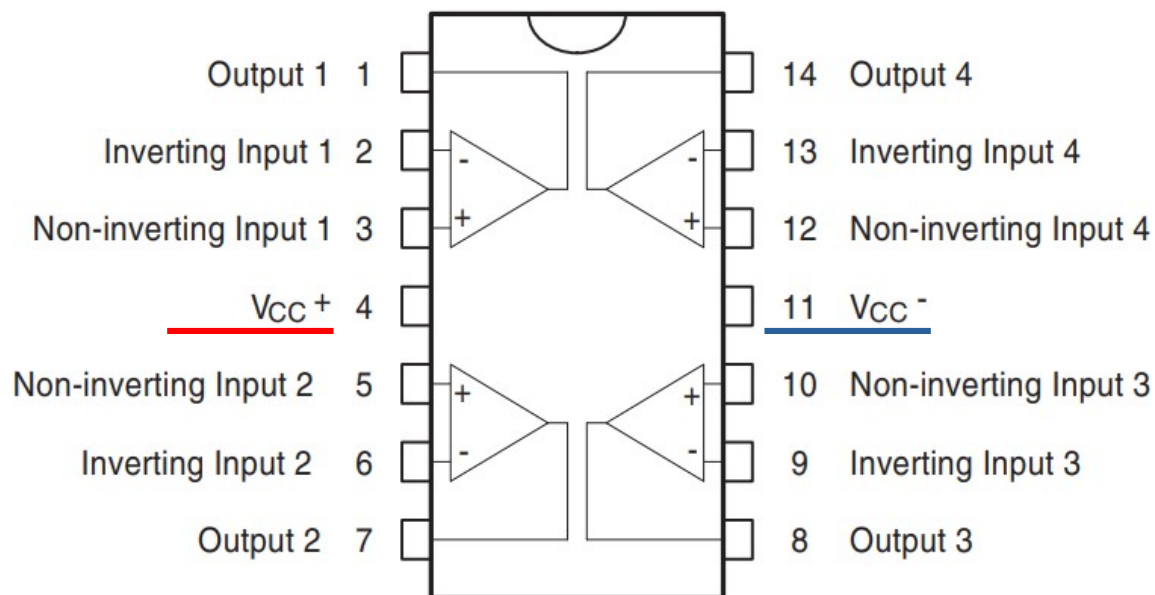
Nyílthurkú erősítés: 25 000 – 100 000

CMRR: 60 – 80 dB (1000 – 10 000-szeres)

Kimeneti áram: 40 mA (source)

20 mA (sink)

Üresjárás áramfelvétel: 0,7 mA – 1.2 mA



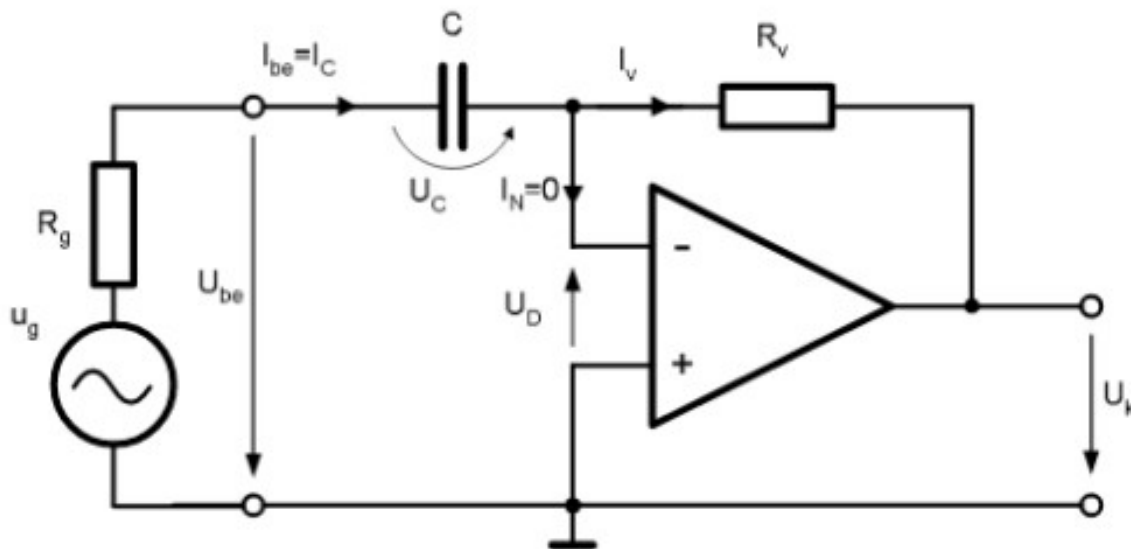
	LM124	LM224	LM324
T _{oper}	-55 - +125 °C	-40 - +105 °C	0 - +70 °C

Differenciáló áramkör

Differenciáló áramkör: a kimeneti feszültség egyenesen arányos a bemeneti feszültség idő szerinti deriváltjával.

$$I_{BE} = C \cdot \frac{d(U_{BE} + U_D)}{dt} \text{ ideális erősítőt feltételezve } I_{BE} = -I_V \left(= \frac{-U_{KI}}{R_V} \right) \text{ és } U_D = 0.$$

Végeredményben:
$$U_{KI} = -R_V \cdot C \cdot \frac{dU_{BE}}{dt}$$
 (invertáló differenciáló áramkör)



Differenciáló áramkör szimulációja

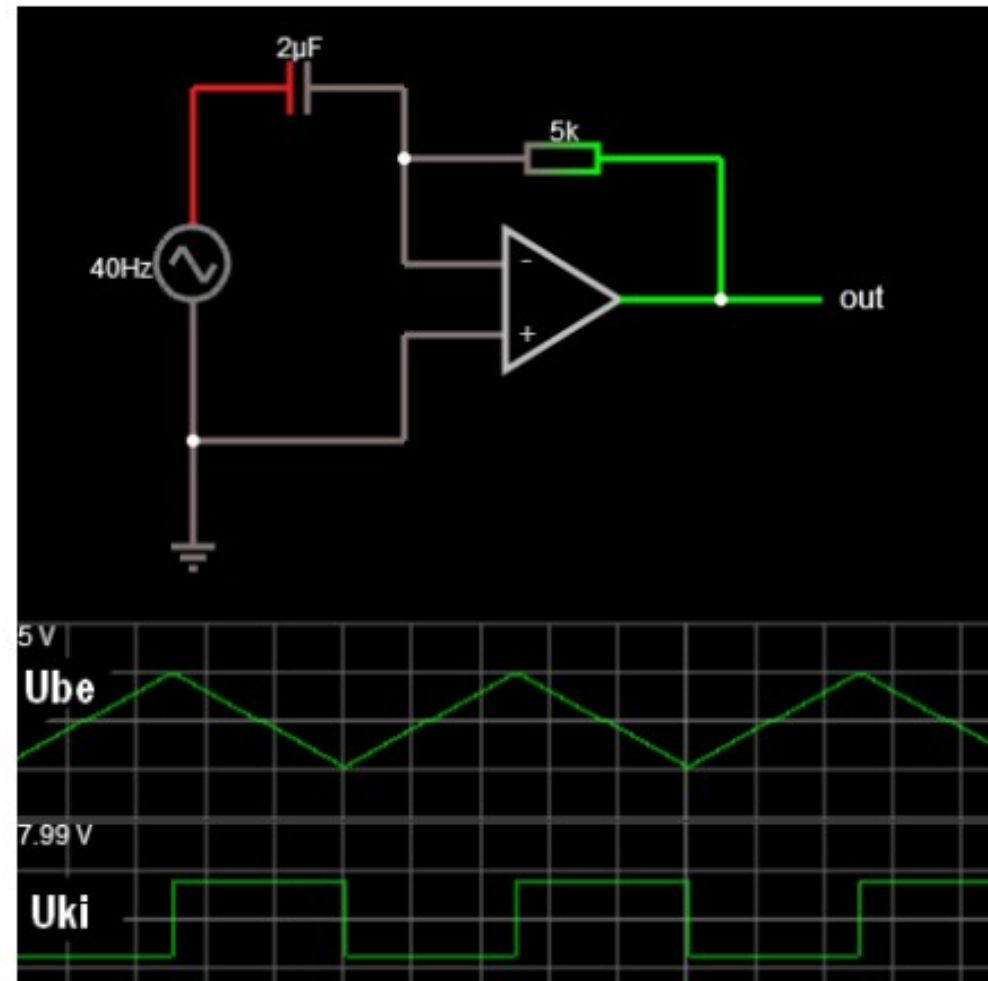
- Az alábbi kapcsolás egy invertáló differenciáló áramkör

1. kísérlet:

A háromszög bemenőjel meredeksége (idő szerinti differenciáhányadosa) pozitív és állandó, a míg a jel emelkedik, majd negatív és állandó, amíg csökken. A kimenő jel ennek megfelelően az invertálás miatt ellenkező polaritású négyszögjel lesz.

2. kísérlet:

Változtassuk meg a szimulációs program Edit funkciójával a bemenő jel alakját **négyszögjellé, vagy fűrészfog jellé!**
Változtassuk (csökkentsük) a kondenzátor értékét is! Mit tapasztalunk?



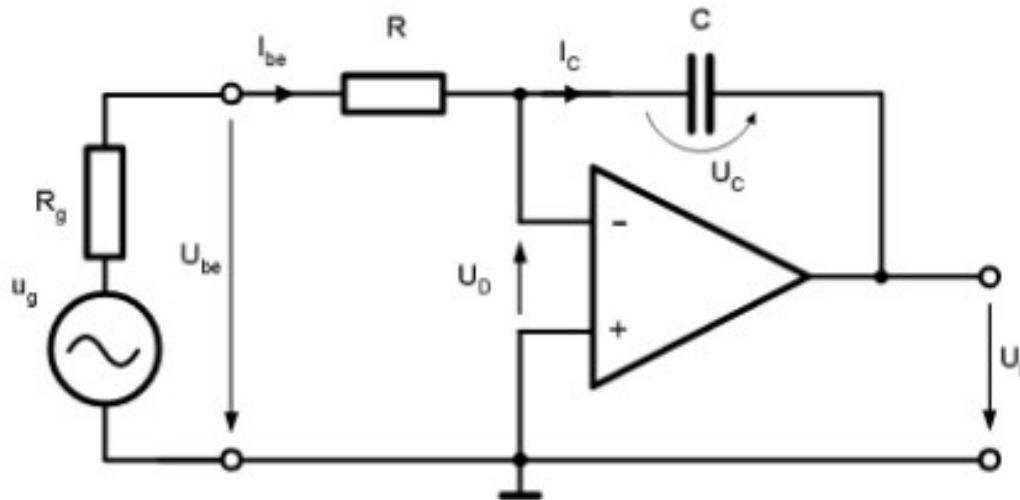
Forrás: <https://falstad.com/circuit/e-amp-dfdx.html>

Integráló áramkör

Ha az invertáló erősítő visszacsatoló tagja helyére egy kondenzátort teszünk, akkor az (invertáló) integráló áramkört kapjuk, melynek kimenő jele egyenesen arányos a bejövő jel idő szerinti integráljával.

$$I_{BE} = \frac{U_{BE}}{R} \quad \text{valamint} \quad U_C = \frac{1}{C} \int_0^t I_{BE} dt = \frac{1}{RC} \int_0^t U_{BE} dt = -U_{KI}$$

Végeredményben:
$$U_{KI} = \frac{1}{RC} \int_0^t U_{BE} dt$$



Az integráló kondenzátor töltését vagy periodikus jellel, vagy kisütőáramkörrel nullázni kell!

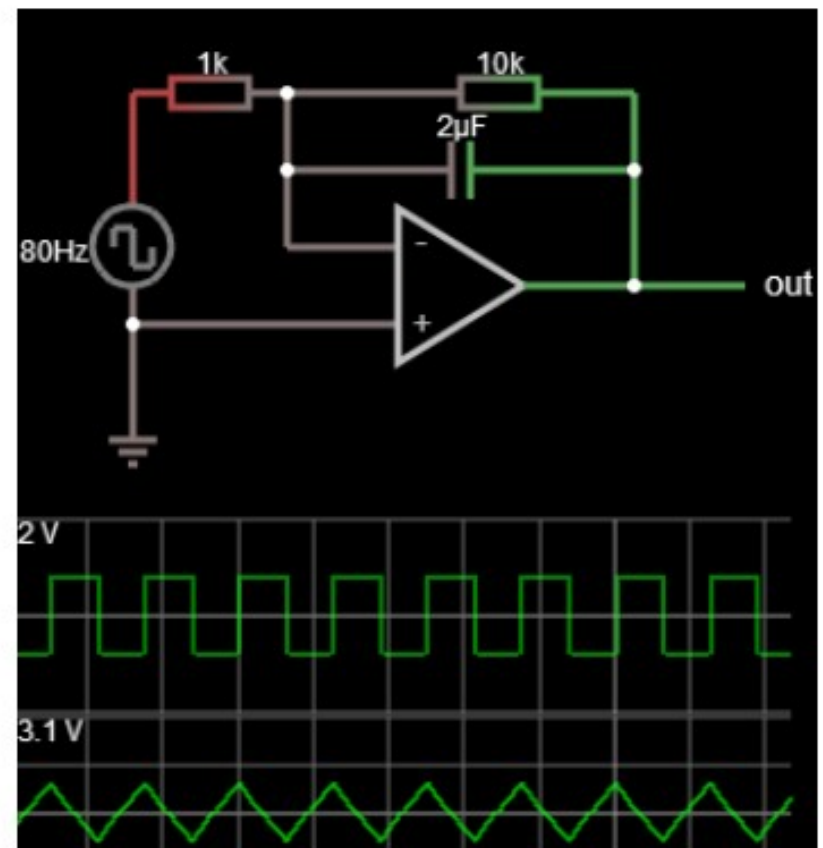
Invertáló integráló áramkör szimulációja

A valós áramköröknél gondoskodni kell róla, hogy kis bemeneti egyenfeszültségű komponens (pl. offszet) hosszú idejű jelenléte miatt ne menjen telítésbe a kimenet. Ez legegyszerűbben úgy oldható meg, hogy a kondenzátorral párhuzamosan kötünk egy ellenállást.

A szimulátorban az eredeti mintapéldát kicsit módosítottuk.

Az integráló áramkör egyik tulajdonsága, hogy az 50 %-os kitöltésű négyyszögjelből háromszögjelet csinál. Így hullámforma átalakításra is használható.

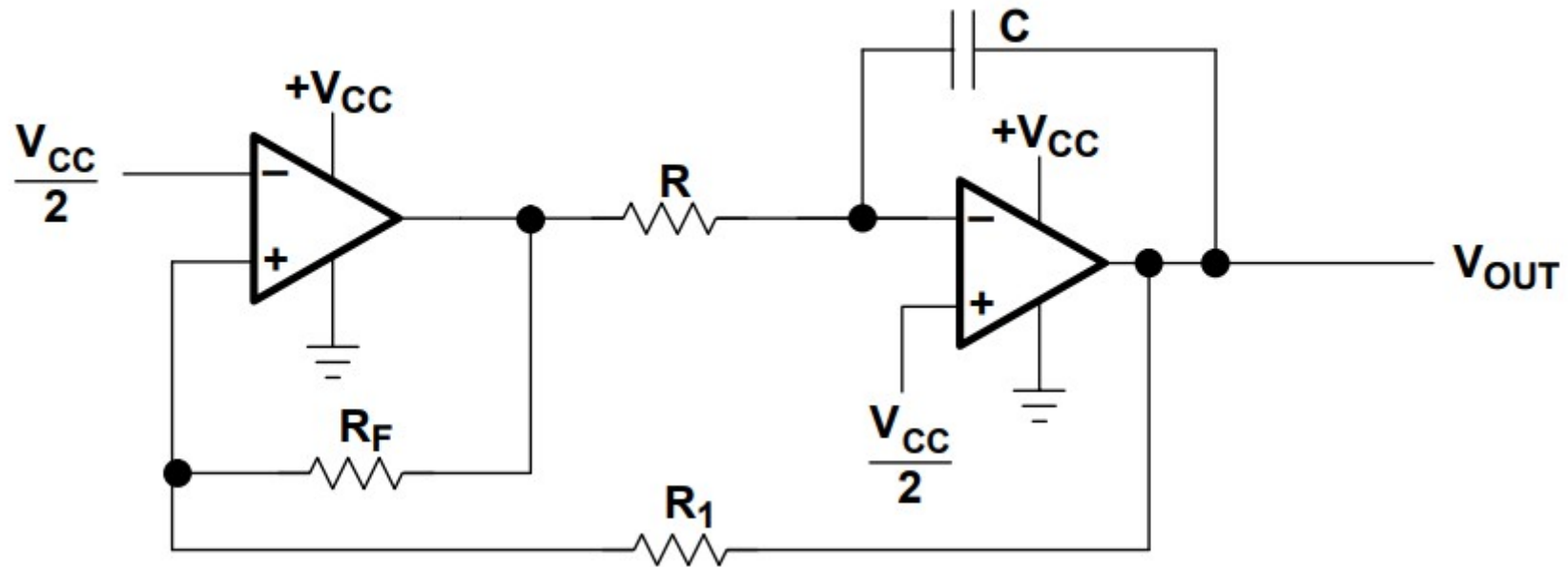
Az integrálás zajszűrés céljából is használható: például a 80 Hz-es négyyszögjel generátorral kössünk sorba egy 400 Hz-es szinuszgenerátort és nézzük meg a bemenő és kimenő jel alakját!



Forrás: <https://falstad.com/circuit/e-amp-integ.html>

Háromszögjel oszcillátor

- Az alábbi kapcsolás periodikus háromszög jelet kelt, ahol az első fokozat egy feszültségkomparátor, a második fokozat pedig egy integrátor (forrás: **Ron Mancini: Op Amps For Everyone**)



A jel amplitúdója:

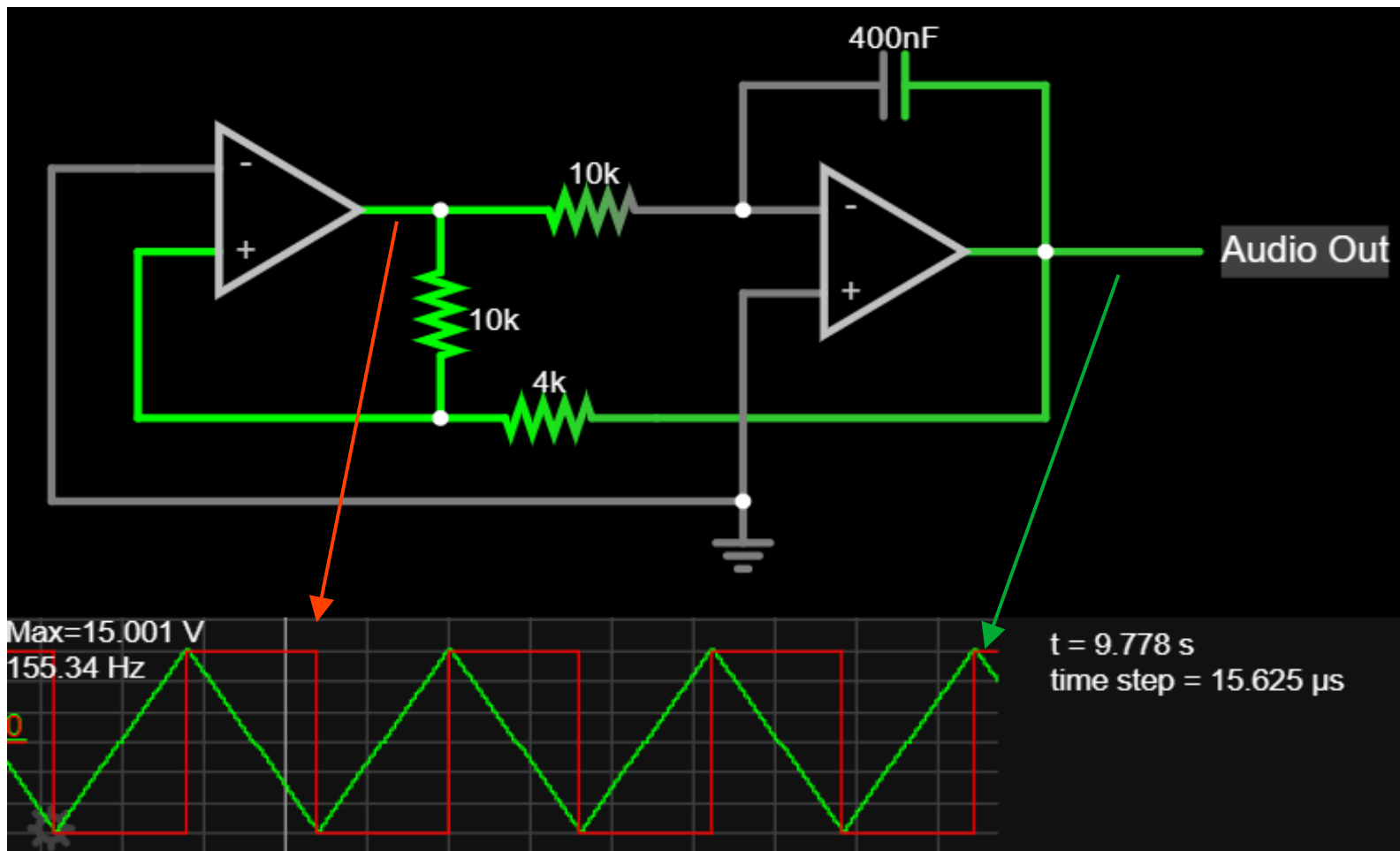
$$V_{OUT} = \frac{V_{CC}}{2} \pm \frac{V_{CC}R_1}{2R_F}$$

A jel frekvenciája:

$$f = \frac{R_F}{4CR_1}$$

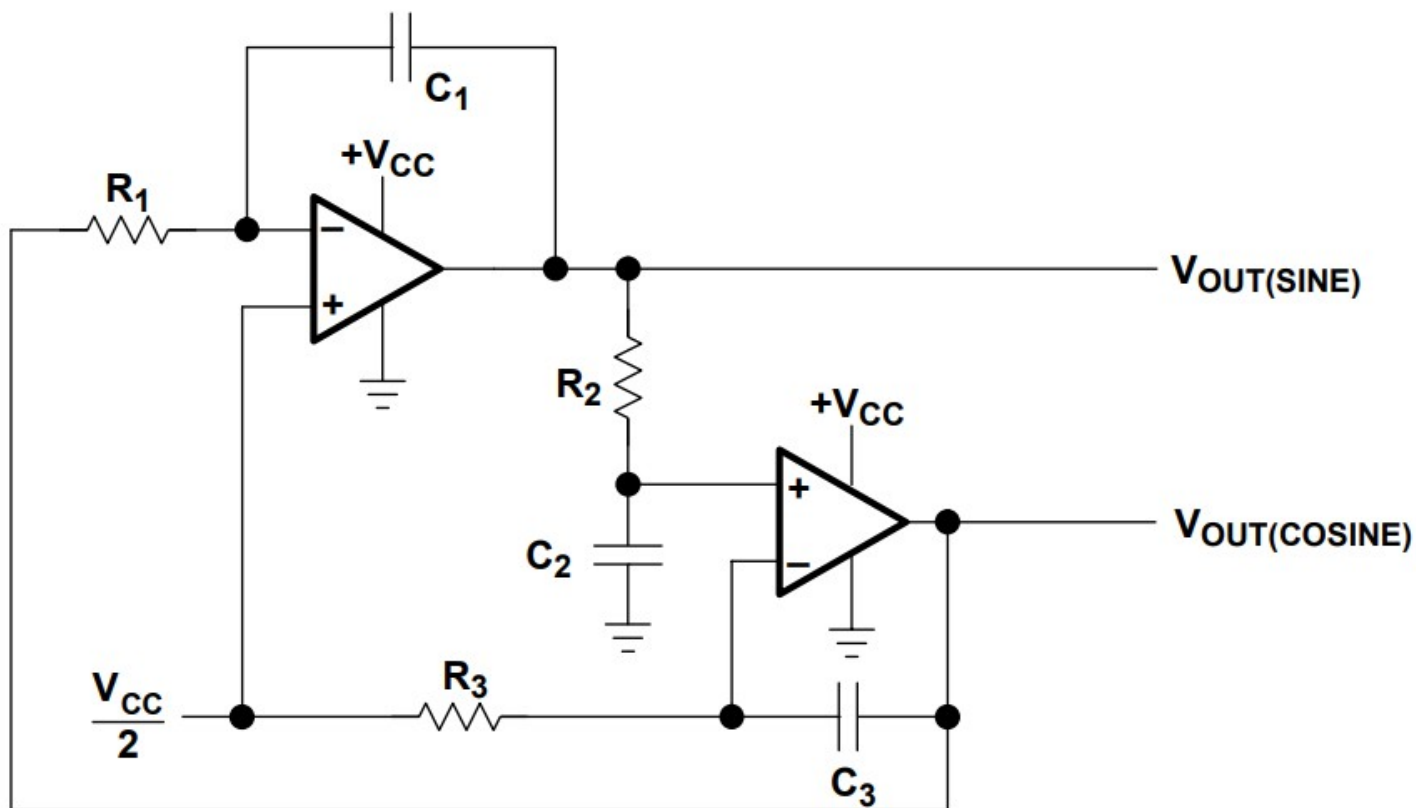
Háromszögjel oszcillátor szimulációja

- Az alábbi példában szimmetrikus táplálást ($\pm 15\text{ V}$) feltételezünk. Unipoláris táplálás esetén a referencia pontot GND helyett $V_{CC}/2$ -re kell kötni (pl. $V_{CC} = 9\text{ V}$ esetén $4,5\text{ V}$ -ra)
forrás: <https://falstad.com/circuit/e-triangle.html>



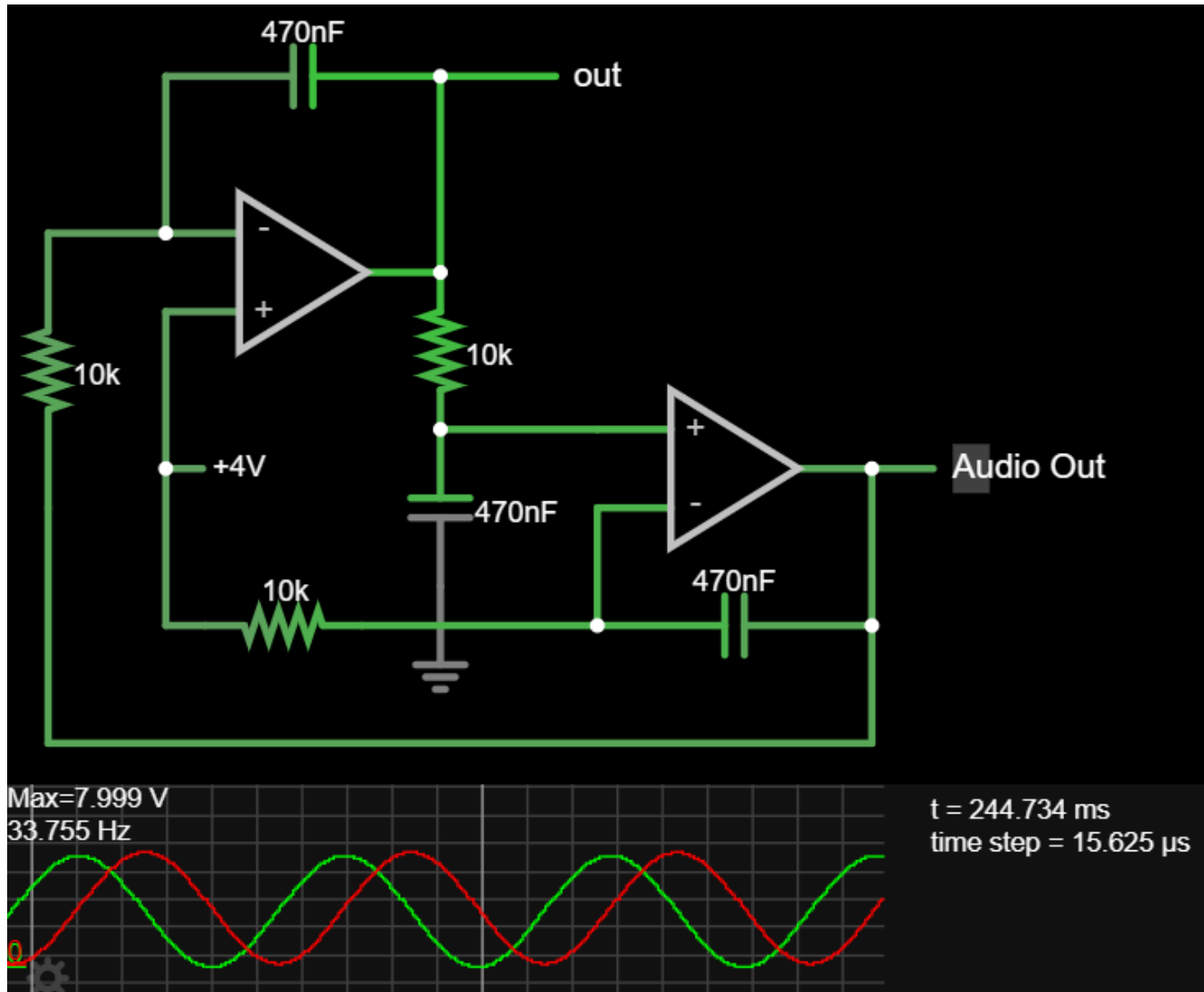
Kétfázisú oszcillátor

- A kétfázisú (kvadrátúra) oszcillátor két szinuszjelet kelt, 90 fokos fáziseltolással (ezért az egyik kimenetet koszinusznak nevezzük)
- Ha $R_1C_1 = R_2C_2 = R_3C_3$, akkor: $\omega = 2\pi f = 1/RC$.



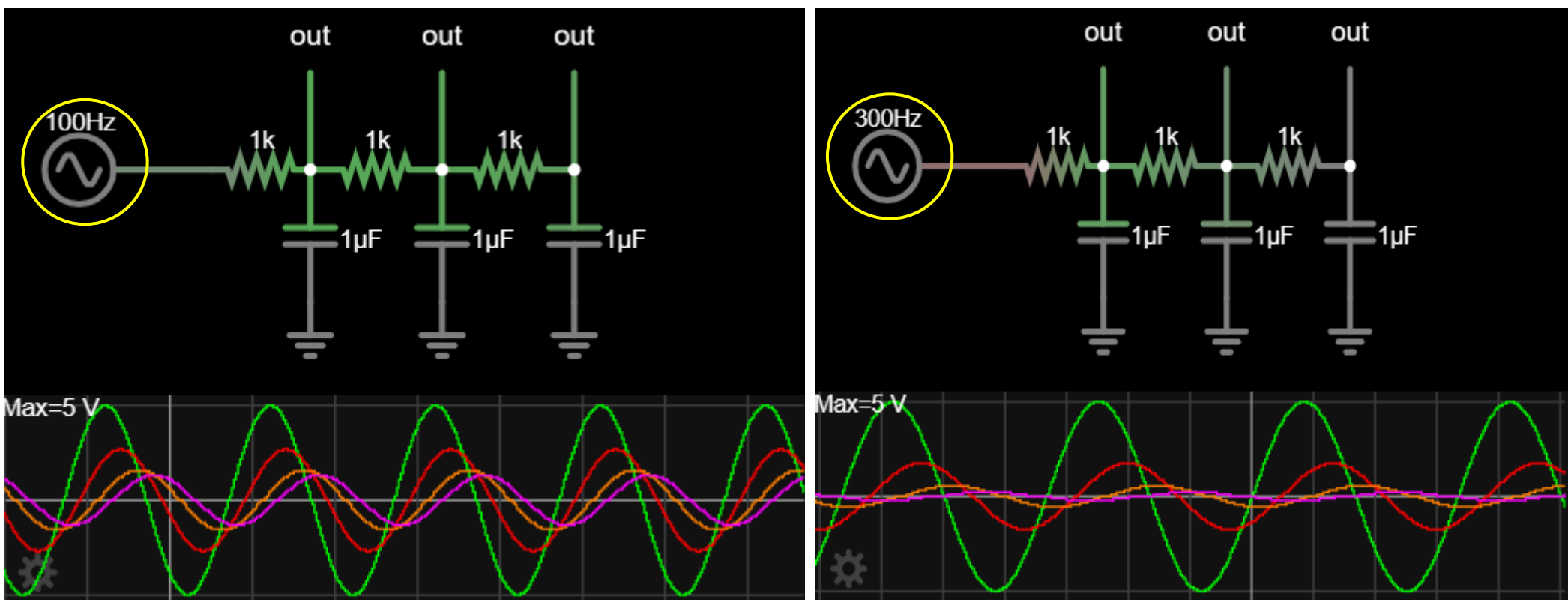
Kétfázisú oszcillátor szimulációja

- Az ábrán látható értékekkel a frekvencia 33.75 Hz



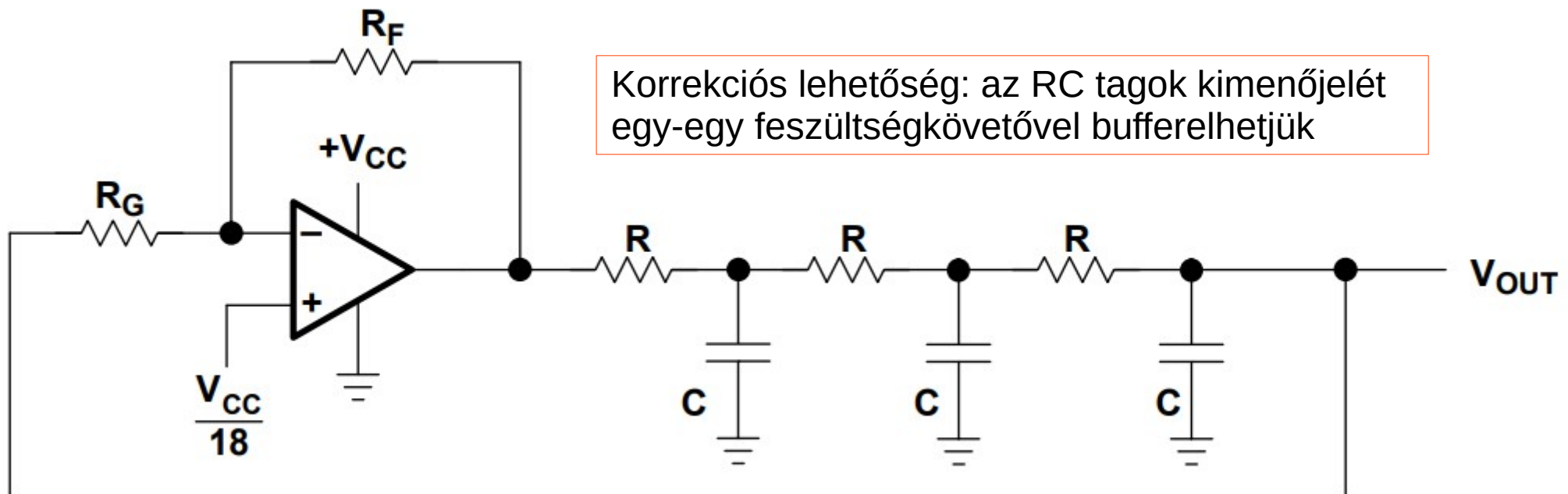
Fázistolás

- Minden RC-tag jellemzője a fázistolás. Az ábrán egy háromtagú aluláteresztő szűrőkből kialakított láncot láthatunk (hasonlóan felüláteresztő tagokból is készíthetünk fázistoló láncot)
- A frekvencia növelésével az egyes tagok fázistolása növekszik, miközben a jel amplitúdója csökken. Ha csökkenést egy erősítővel kompenzáljuk és az eredő fázistolás eléri a 180° -ot, akkor a kimenő jel visszacsatolásával oszcillátort készíthetünk



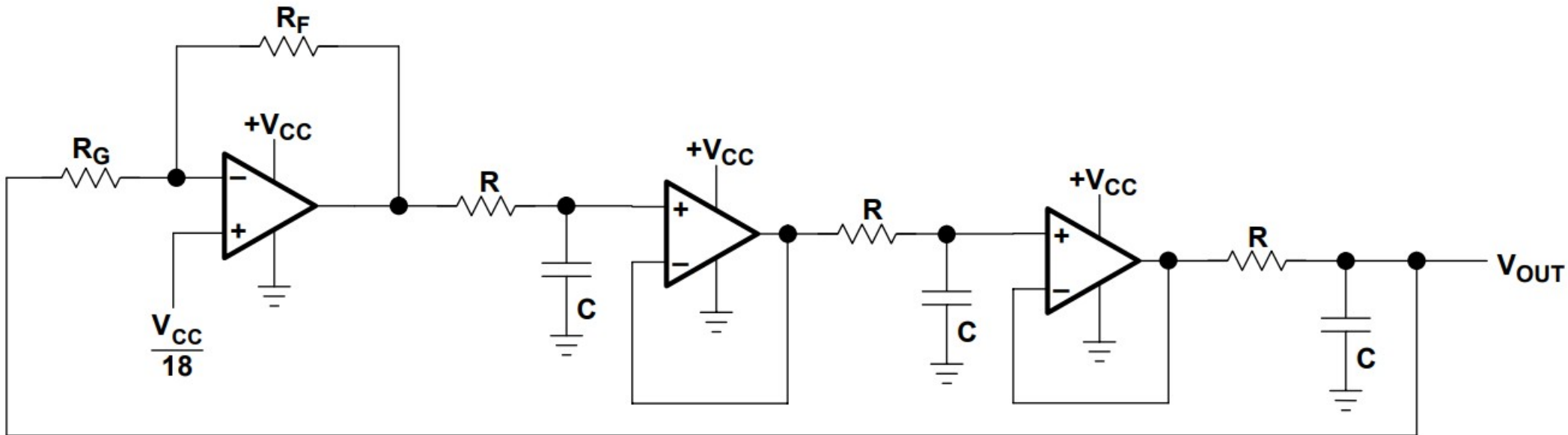
Klasszikus fázistolós oszcillátor

- A klasszikus fázistolós oszcillátor három azonos fázistoló tagot tartalmaz (esetünkben aluláteresztő tagokat)
- Az eredő fáziseltolás -180° , ha minden fokozat fázistolása -60° , ami ideális esetben akkor következik be, ha $\omega = 2\pi f = 1.732/RC$
- Mivel reális esetben az RC tagok egymás kimenetét terhelik, az erősítést (R_F/R_G) az ideális esetre számolható 8-nál nagyobbra kell venni, és a frekvencia is eltér valamelyest az ideális esetre számolt értéktől



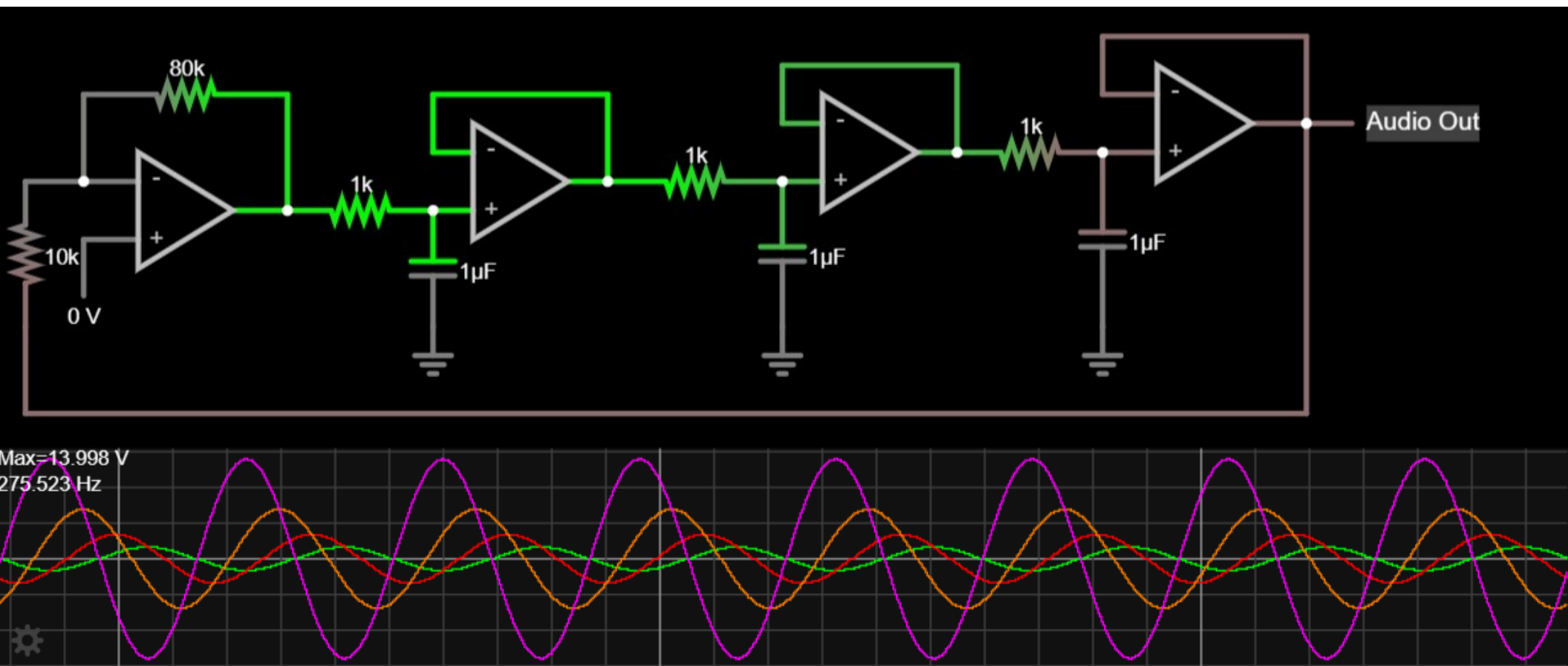
Bufferelt fázistolós oszcillátor

- A feszültségkövető fokozatok beiktatásával leválasztjuk a terhelést az egyes fokozatokról, így biztosítható a fokozatonkénti -60° -os fázistolás



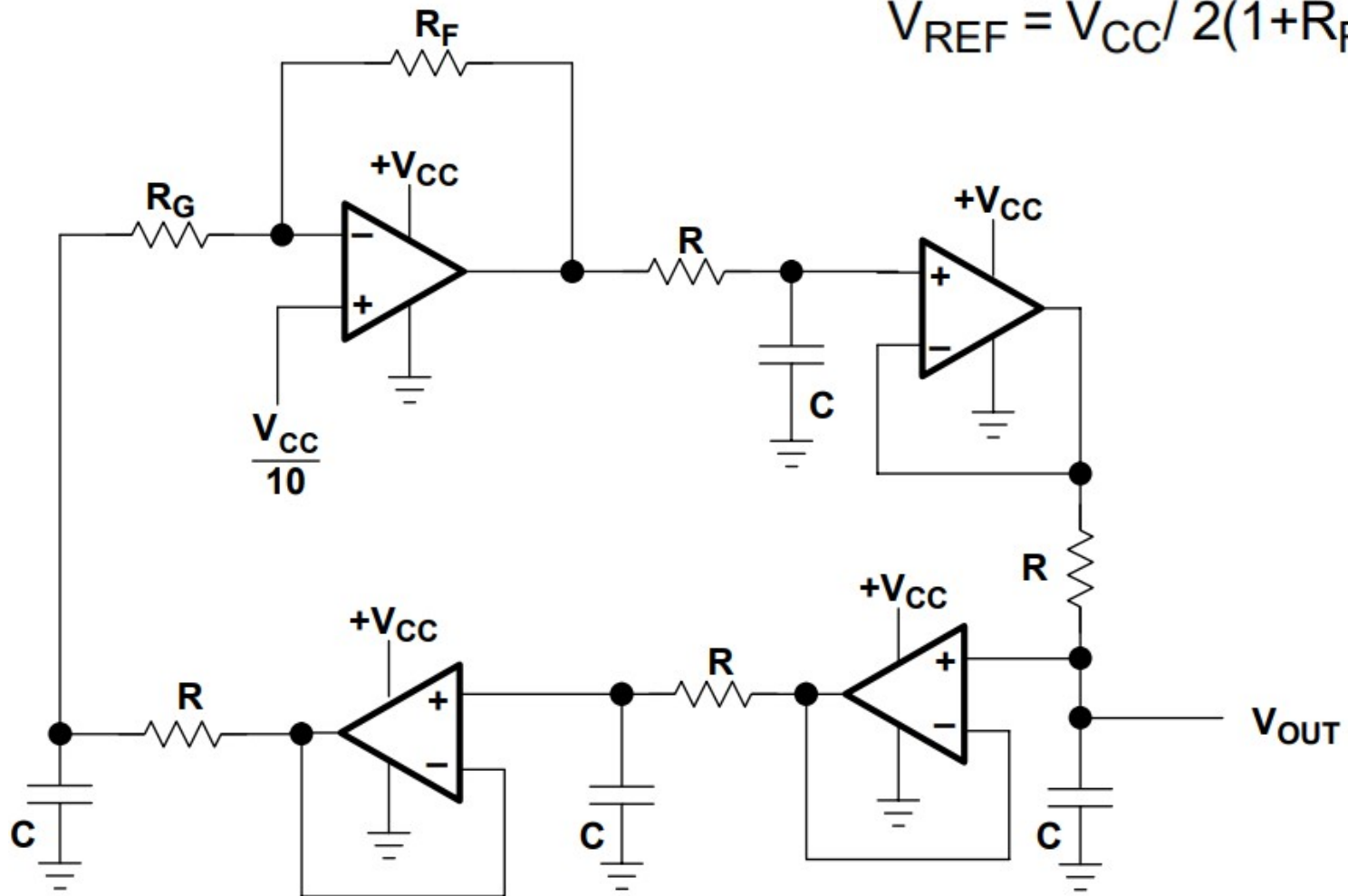
Bufferelt fázistolós oszcillátor szimulációja

- A **bufferelt fázistolós oszcillátort** a szimulációnál az utolsó fokozatnál is megtoldtunk egy feszültségkövetővel
Innen vehetjük le a torzításoktól leginkább mentes szinuszjelet
- A feszültségkövetős leválasztásoknak köszönhetően itt elegendő volt a 8-szoros erősítés az oszcilláció beindulásához és fenntartásához



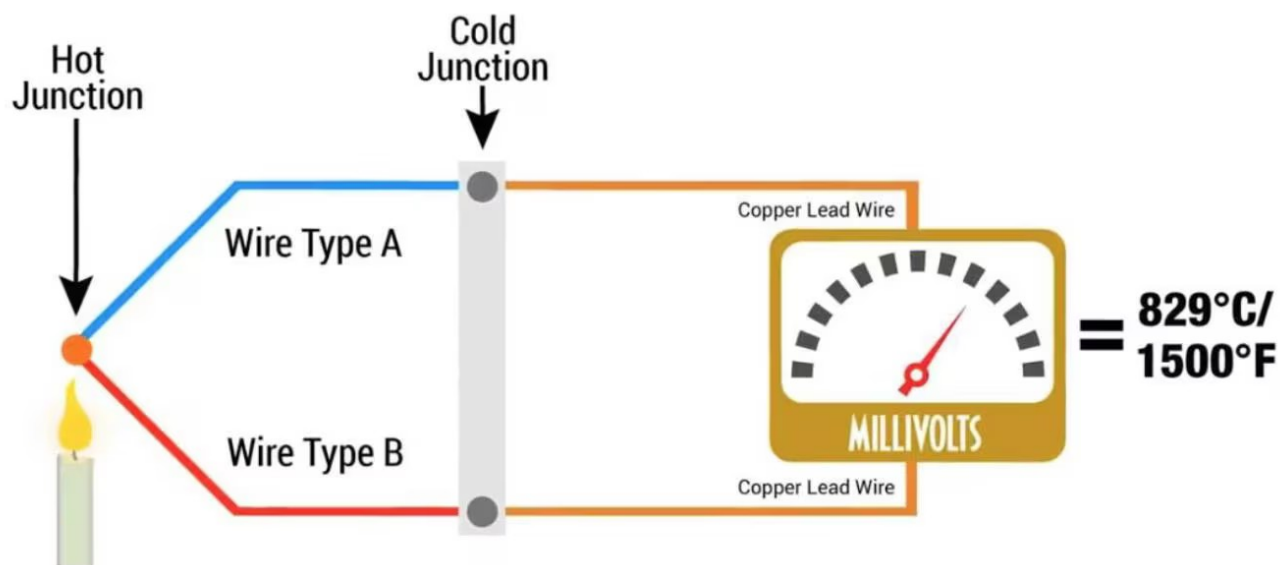
Bubba oszcillátor

- A -180° -os eredő fáziseltolást négyfelé is oszthatjuk, ekkor minden fokozat fázistolása -45° lesz. A rezonancia feltétele: $\omega = 2\pi f = 1/RC$, az erősítés $(R_F/R_G) A \geq (1/0.707)^4 = 4$. Unipoláris táplálásnál:
 $V_{REF} = V_{CC}/2(1+R_F/R_G)$



Hőmérés termopárral

- Ha két, különböző fémből álló vezeték mindkét végén összekapcsolunk, és az egyik végét felmelegítjük, folyamatos áram folyik a termoelektromos áramkörben
- Ha az áramkör megszakad, a nyitott áramköri feszültség (a Seebeck-feszültség) a csatlakozási hőmérséklet és a két fém összetételének függvénye, tehát a feszültség korrelálható a hőmérséklettel
- A termopárral a hidegponthoz képesti hőmérsékletet mérjük!



Elterjedt hőelem típusok

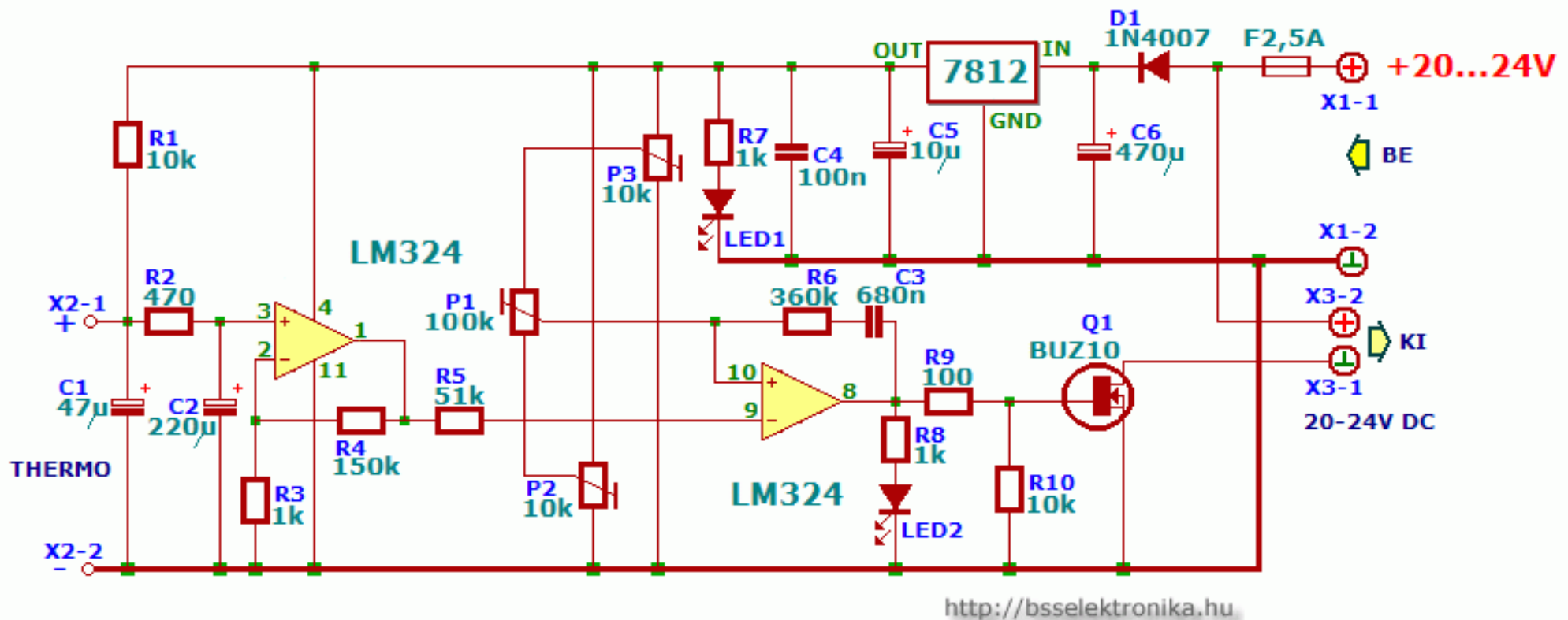
Type	Wire	Range
K	NiCr-NiAl	-270 – 1260
J	Fe-Constantan	-210 – 760
R	PtR-Pt	-50 – 1760

Forrasztópáka fűtésszabályozás

Egy gyakorlati példa: hőelemes forrasztópáka fűtésszabályozója

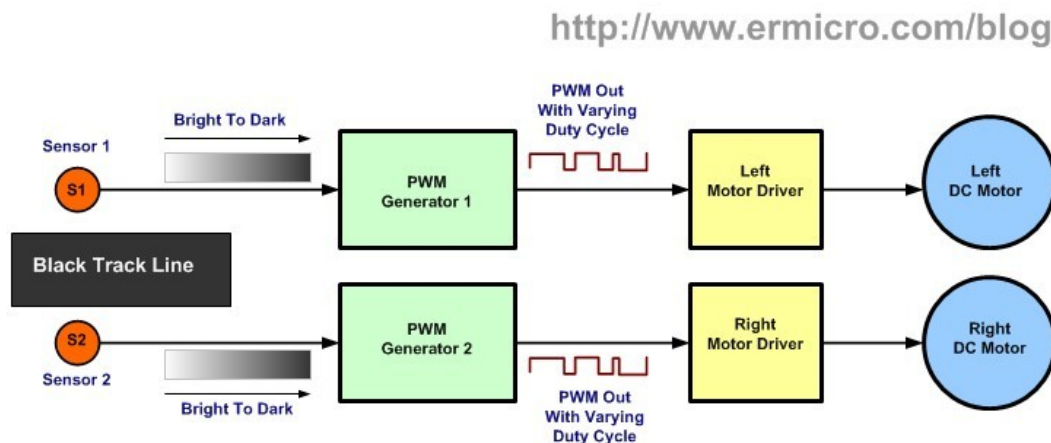
Az első fokozat a hőelem jelét erősíti fel (kb. 150-szeres neminvertáló erősítés). A második műveleti erősítő analóg komparátorként működik (a fűtés be- és kikapcsolását vezérli), a hőelem jelét hasonlítja össze a P1-gyel beállított referencia feszültséggel. P2 és P3 a referencia feszültség alsó és felső határát állítja be. A C3, R6 pozitív visszacsatolás az átbillentés gyorsítására szolgál.

Megjegyzés: Q1 rajzjele pontatlan, a BUZ10 növekményes módusú N-csatornás FET.

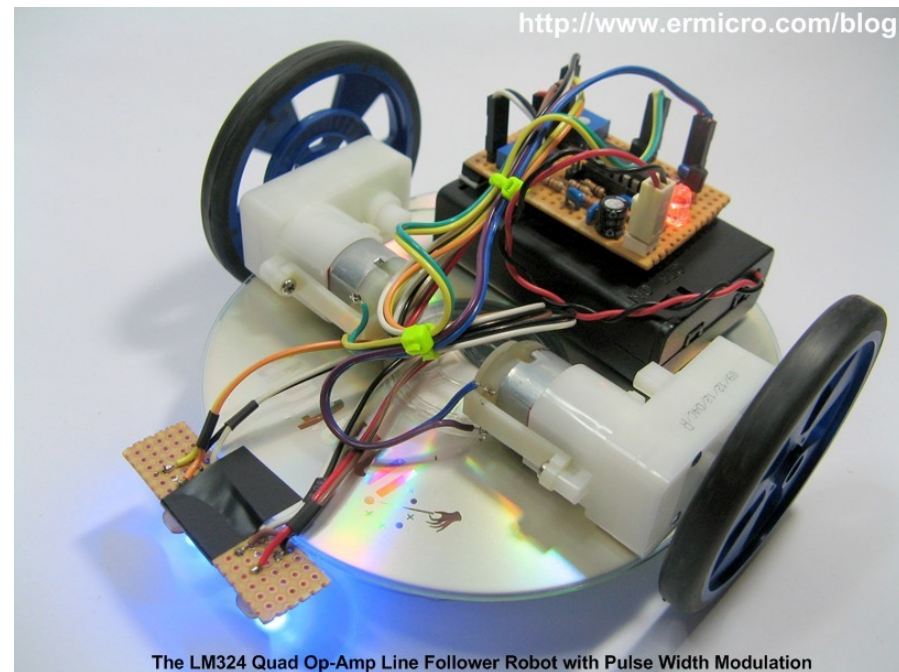


Vonalkövető robot

- Egy érdekes leírás található az [ermicro.com/blog/?p=1908](http://www.ermicro.com/blog/?p=1908) címen: **Vonalkövető robot LM324 műveleti erősítővel**
- A kapcsolás a négy műveleti erősítőt tartalmazó LM324 IC-n alapul, amely egy fűrészjel generátor és két komparátor segítségével két motort vezérel PWM (impulzusszélesség-moduláció) üzemmódban
- A robot elején két fényérzékelő figyel, hogy nem tévedtünk-e le jobbra, vagy balra a kijelölt útról

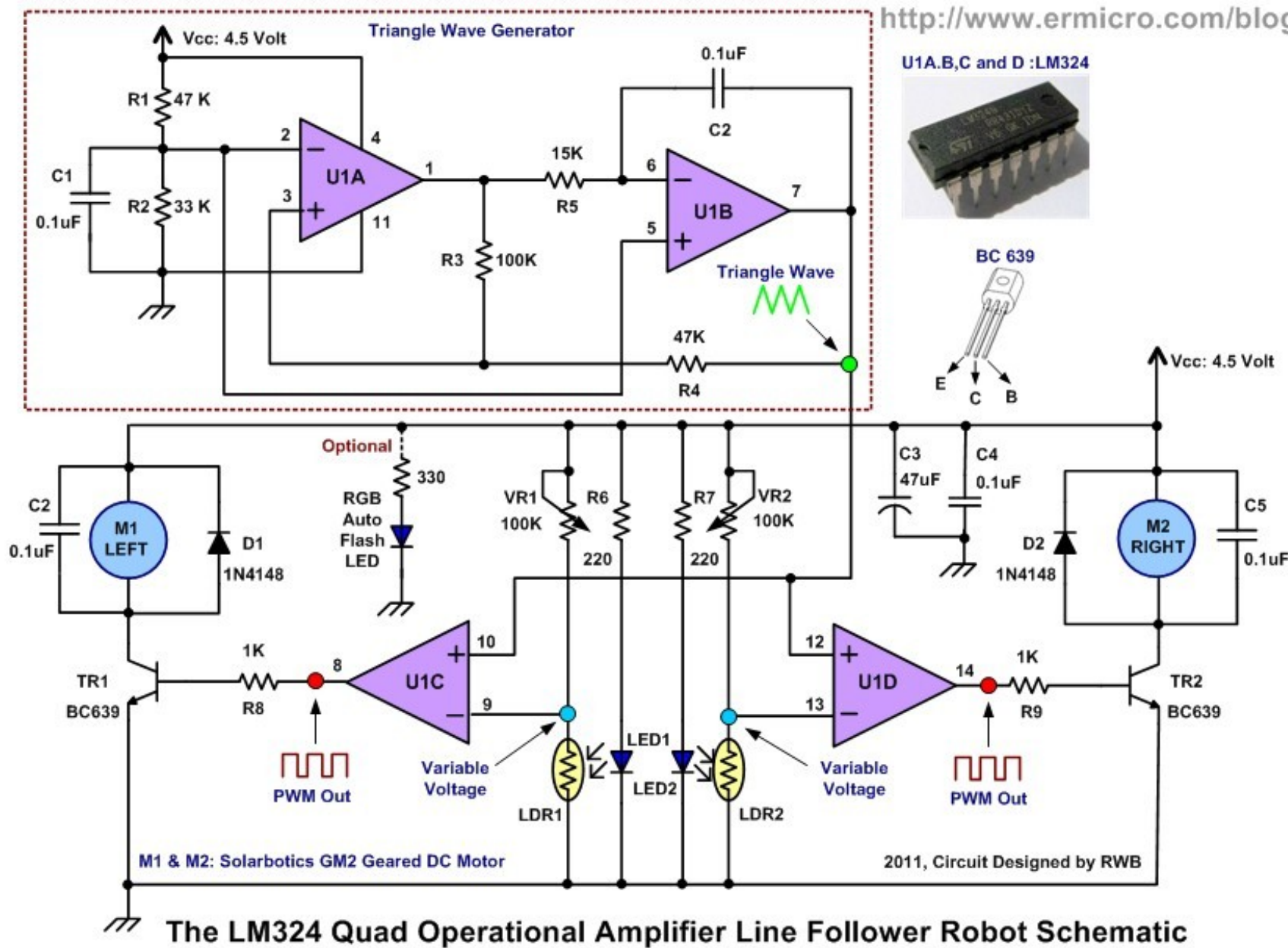


The Line Follower Robot (LFR) with Pulse Width Modulation Block Diagram



Vonalkövető robot

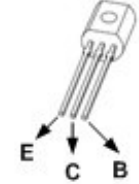
<http://www.ermicro.com/blog>



U1A,B,C and D :LM324



BC 639



The LM324 Quad Operational Amplifier Line Follower Robot Schematic

Ellenállás színkódok

