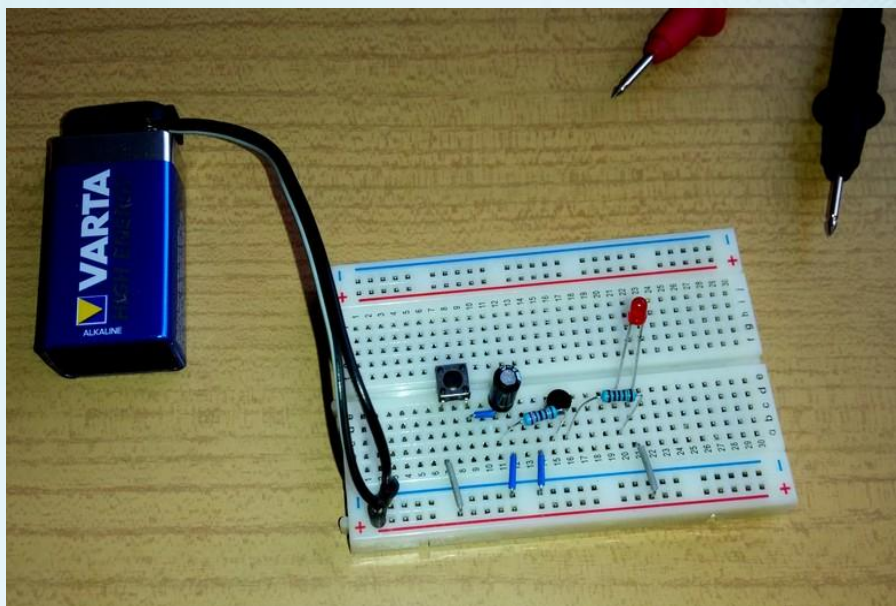


Hobbi Elektronika



*Bevezetés az elektronikába:
Műveleti erősítők - 2. rész*



Felhasznált irodalom

- Sulinet Tudásbázis: [A műveleti erősítők alapjai, felépítése, alkapcsolások](#)
- Losonczy Lajos: [Analog Áramkörök - 3. rész: Alkapcsolások műveleti erősítőkkal](#)
- Hevesi László: [Billenőkörök](#)
- Electronics Tutorials: [Operational Amplifiers \(12 cikk\)](#)
- Texas Instruments: [Application of Rail-to-Rail Operational Amplifiers - SLOA039A](#)



LM2904: kettős műveleti erősítő

LM2904

Két műveleti erősítő egy 8 lábú tokban

Aszimmetrikus táplálás: 3 V – 26 V

Szimmetrikus táplálás: $\pm 1,5$ V – ± 13 V

Bemeneti offset feszültség: tipikusan 2 mV

Bemeneti offset áram: tipikusan 2 nA

Bemeneti munkaponti áram: tip. 20 nA

Rail-to rail bemenet, max. tip. 22-23 V kimenet

Egységnyi erősítés határfrekvenciája: 0,7 MHz

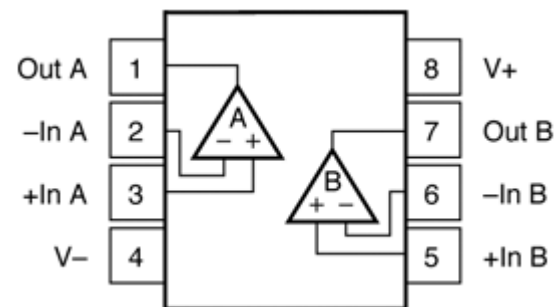
Nyílthurkú erősítés: 25 000 – 100 000

CMRR: 50 – 80 dB (316 – 10 000-szeres)

Kimeneti áram: -20 mA – -30 mA (source)

10 mA – 20 mA (sink)

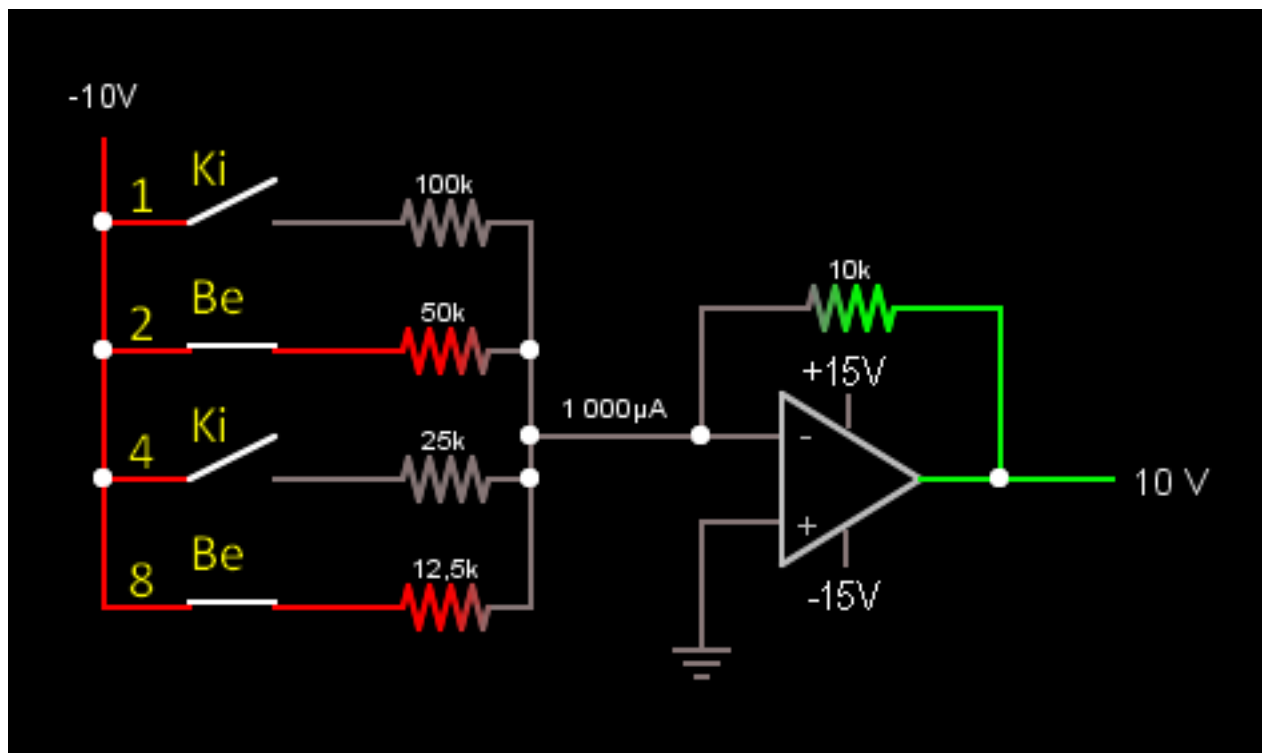
Üresjárású áramfelvétel: 0,7 mA – 1.2 mA





Súlyozott összeadó, mint DAC

Az alábbi kapcsolás súlyozott összeadónak is tekinthető. A 2-es faktossal növekvő súlyoknak köszönhetően kimenő feszültség a kapcsolókkal (pl. számkerékkel) beállított bináris számmal lesz arányos. A rajz szerinti kapcsolásban 0 – 1111₂ közötti szám állítható be.



Simulator: www.falstad.com/circuit

Mintaáramkör: **Circuits-> Analog/Digital-> Binary-Weighted DAC** menüpont választásával

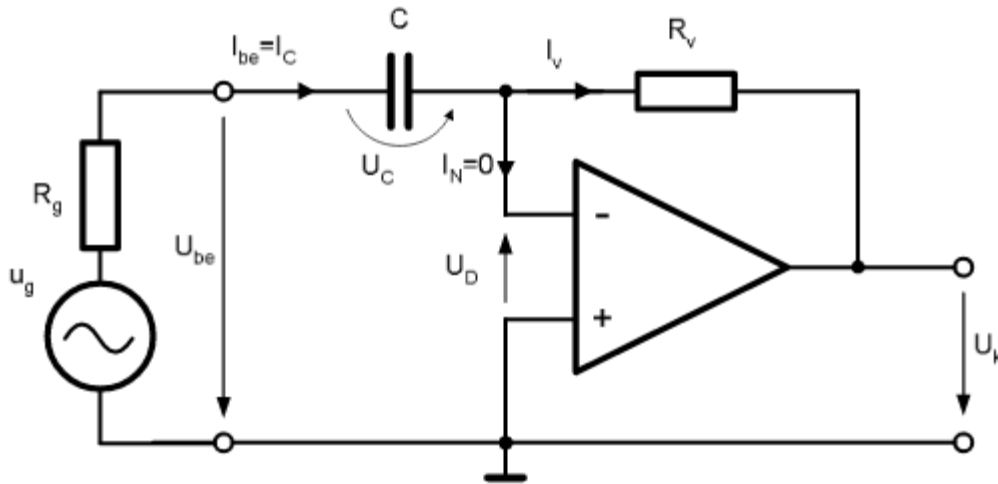


Differenciáló áramkör

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

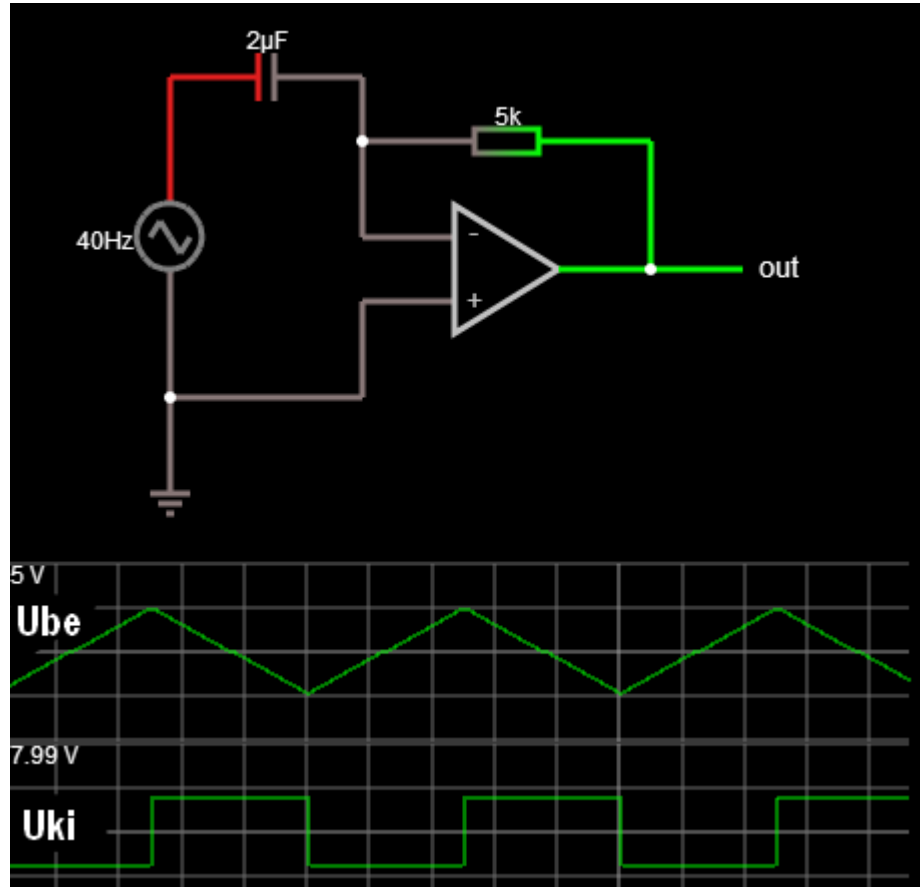
Az alábbi kapcsolás egy invertáló differenciáló áramkör.

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?



Link: www.falstad.com/circuit/e-amp-dfdx.html

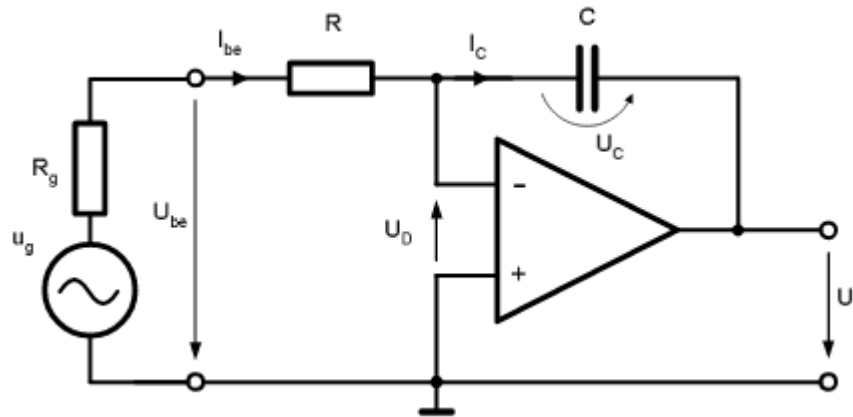


Integráló áramkör

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





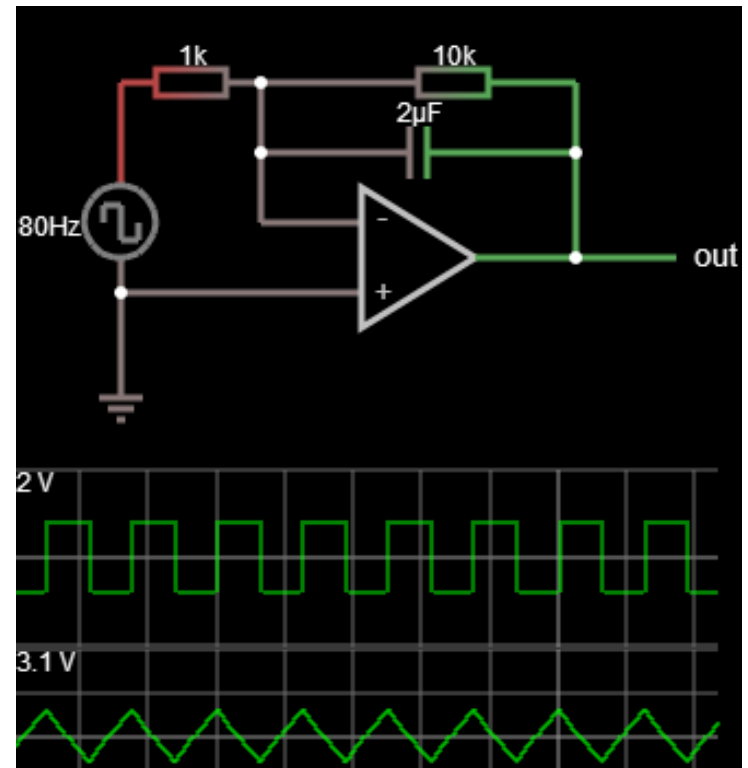
Integráló áramkör szimulációja

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 négyzetjelből háromszögjelet csinál. Így hullámforma átalakításra is használható.

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



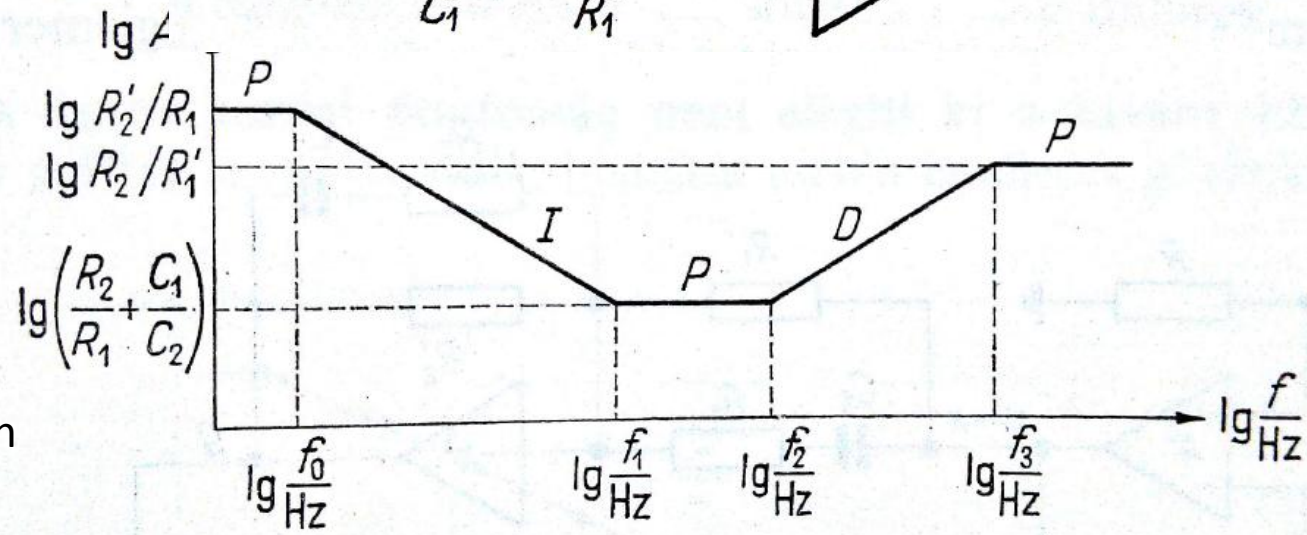
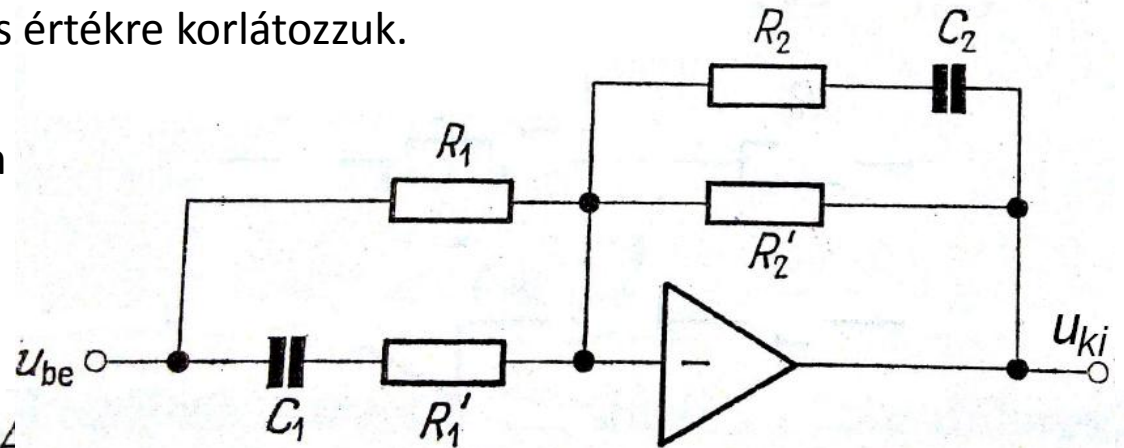
Link: www.falstad.com/circuit/e-amp-integ.html



PID szabályozó

A **PID szabályozó** az arányos (P) tagon kívül integráló (I) és differenciálós (D) tagokat is használ az optimális frekvenciamenet kialakításához. A **gyakorlati alkalmazásoknál** azonban szükség van a vesszővel jelzett ellenállásokra is, hogy a nagyon nagy és nagyon kis frekvenciákon az erősítést véges értékre korlátozzuk.

Az $f \ll f_1 = \frac{1}{2\pi R_2 C_2}$ tartományban az integráló tag dominál, míg az $f \gg f_2 = \frac{1}{2\pi R_1 C_1}$ tartományban a differenciálós tag érvényesül.



A differenciálós tag segít a „jövőbe látásban”, az integráló tag pedig a múltbeli apró eltéréseket összegzi fel, így segítve a belengés-mentes de kellően érzékeny szabályozást.



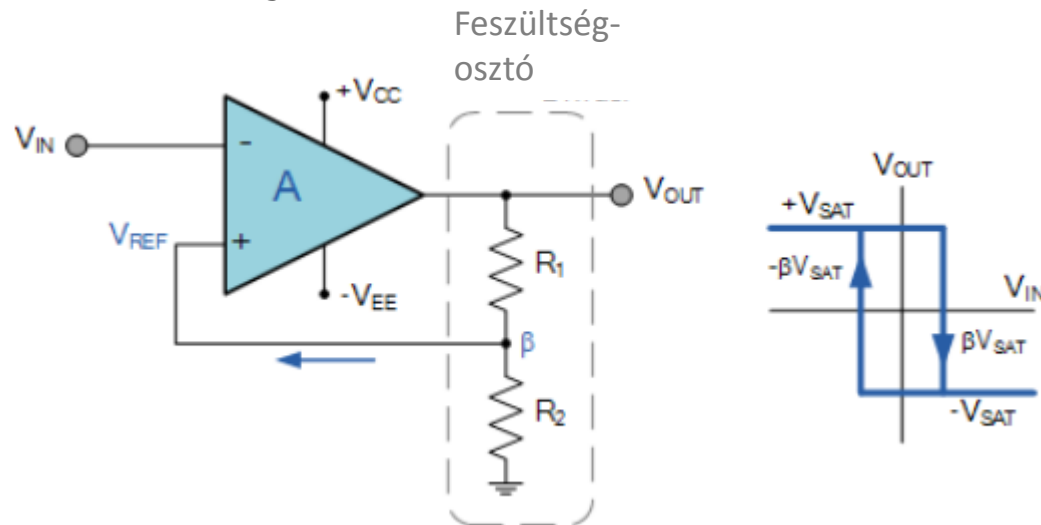
Multivibrátor kapcsolások

A multivibrátor kapcsolások alapja a hiszterézist biztosító pozitív visszacsatolás (Schmitt-triggeres komparátor). Ezekben az áramkörökben a műveleti erősítő kapcsoló üzemmódban dolgozik – legalábbis annyiban, hogy a kimenet kétállapotú.

Tegyük fel, hogy a táplálás szimmetrikus ($+V_{CC} = -V_{EE}$) és az erősítő rail-to-rail kimenetű, azaz a maximális és minimális telítési kimenőfeszültség (V_{SAT}) a tápfeszültséggel azonos.

A felső referencia szint: $+V_{REF} = +\beta \cdot V_{SAT}$ ahol $\beta = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$

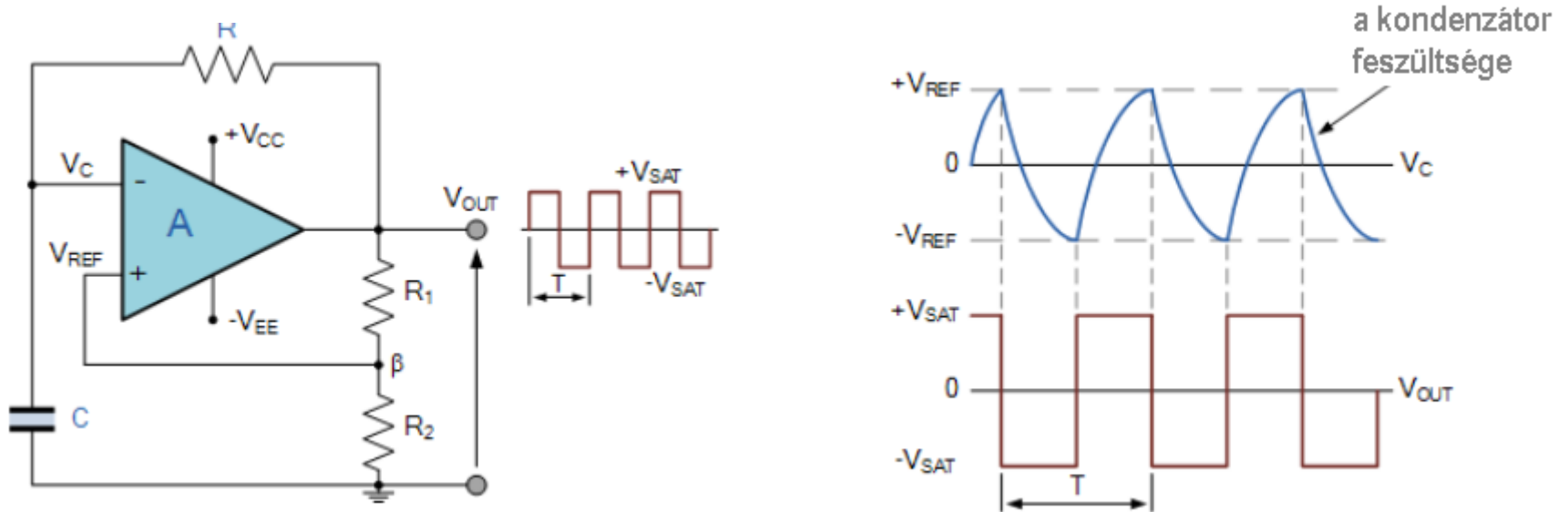
Az alsó referencia szint: $-V_{REF} = -\beta \cdot V_{SAT}$





Astabil multivibrátor

- ❖ Ha induláskor a kimenet magas szinten van, a kondenzátor töltődni kezd. Ez a folyamat addig tart, amíg a kondenzátor V_C feszültsége meg nem haladja a $+V_{REF}$ felső küszöbszintet. Ekkor a kimenet átbillen, s a kondenzátor áttöltődése megkezdődik.
- ❖ A kondenzátor áttöltése addig tart, amíg a V_C feszültség értéke a $-V_{REF}$ alsó küszöbszint alá nem csökken. Ekkor a kimenet ismét átbillen, s a töltési folyamat kezdődik előlről...



$$T = 2 \cdot R \cdot C \cdot \ln\left(\frac{1+\beta}{1-\beta}\right) \quad \text{ahol} \quad \beta = \frac{R_2}{R_1+R_2}$$



Astabil multivibrátor szimulációja

Link: www.falstad.com/circuit/e-relaxosc.html

Az ábrán látható adatokkal:

$$T = 2 \cdot R \cdot C \cdot \ln\left(\frac{1+\beta}{1-\beta}\right)$$

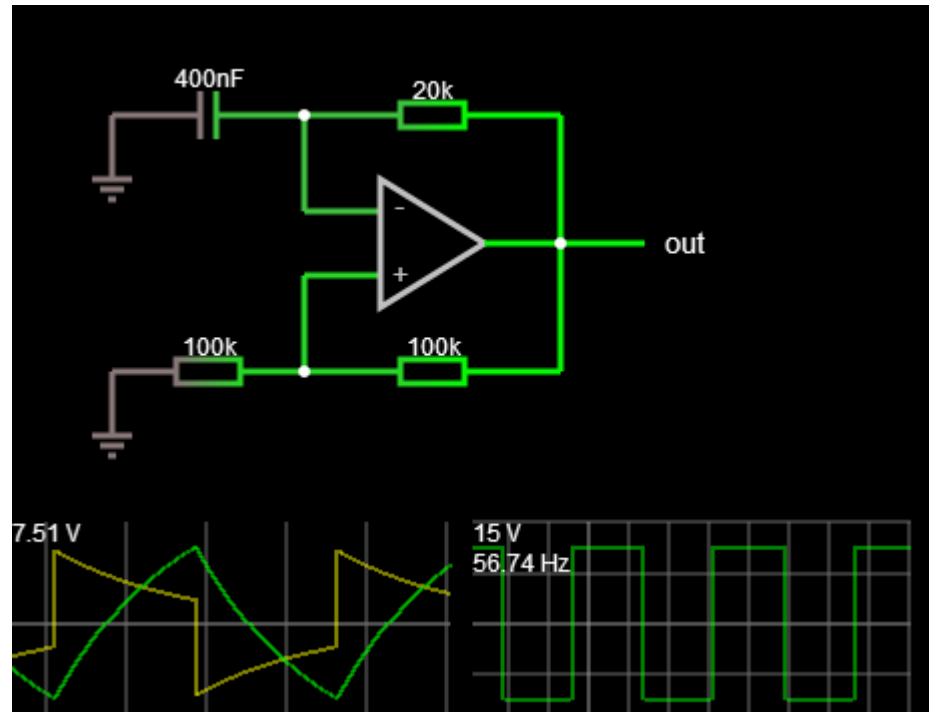
$$\text{ahol } \beta = \frac{100 \text{ k}}{100 \text{ k} + 100 \text{ k}} = 0,5$$

$$T = 2,197 \cdot 400 \text{ nF} \cdot 20 \text{ k}\Omega \approx 17,6 \text{ ms}$$

$$f = 1 / T \approx 56,9 \text{ Hz}$$

Az eredeti mintapéldában 20 k Ω helyett 10 k Ω szerepel, így ott a frekvencia kétszer nagyobb, kb. 113,8 Hz.

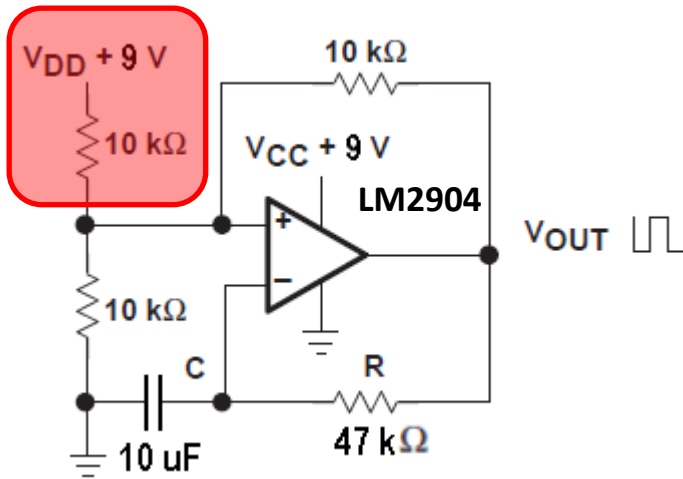
A keltett frekvencia meghallgatható a szimulátorban a PLAY gombra kattintva!





Astabil multivibrátor unipoláris táplálással

Unipoláris táplálás esetén a kimenet a pozitív tápfeszültség és 0 között mozoghat. A megfelelő munkapont biztosításához a neminvertáló bemenet nyugalmi szintjét el kell tolni az ábrán pirossal jelzett ellenállás segítségével.



- ❖ Amikor a kimenet magas szinten van, U_+ a tápfeszültség $2/3$ -a lesz: az osztó felső tagja két párhuzamosan kapcsolt $10\text{ k}\Omega$ -os ellenállás lesz, az alsó tag pedig egy $10\text{ k}\Omega$ -os ellenállás.
- ❖ Amikor a kimenet alacsony szinten van, U_+ a tápfeszültség $1/3$ -a lesz: az osztó alsó tagja két párhuzamosan kapcsolt $10\text{ k}\Omega$ -os ellenállás lesz, az alsó tag pedig egy $10\text{ k}\Omega$ -os ellenállás.

$$f \approx \frac{1}{0.00014(R C)^{0.3} + 1,4 R C}$$

$$\text{Esetünkben } T \approx 1,4 * 10^{-5} \text{ F} * 47 * 10^3 \Omega = 0,685 \text{ s}$$
$$f = 1/T \approx 1,5 \text{ Hz}$$

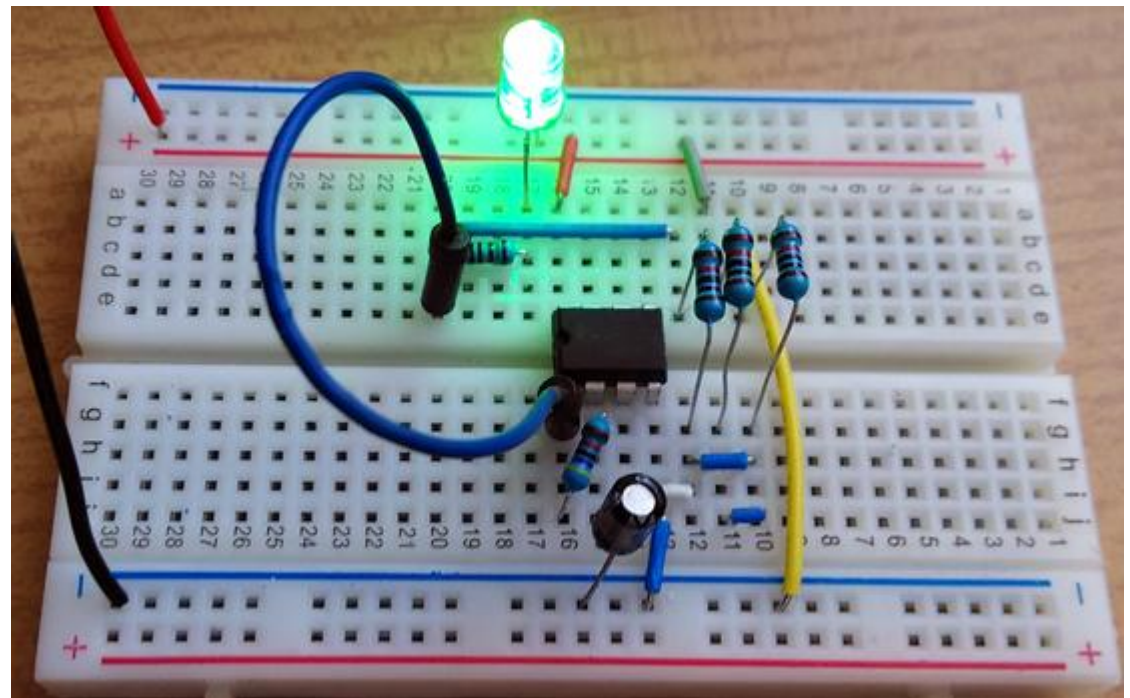


Astabil multivibrátor unipoláris táplálással

Az előző oldali kapcsolást próbapanelon is megépíthetjük. A kimenetre egy LED-et kössünk, 1 k Ω áramkorlátozó ellenállással.

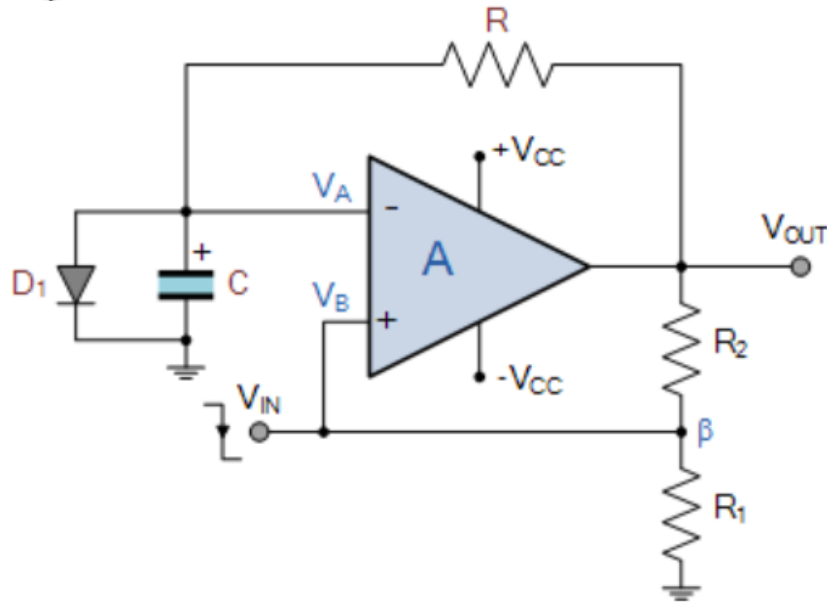
Alkatrészlista:

- 1db próbapanel
- 1 db LM2904 IC
- 1 db LED
- 1 db 1 k Ω ellenállás
- 3 db 10 k Ω ellenállás
- 1 db 47 k Ω ellenállás
- 1 db 10 μ F kondenzátor
- 1 db 9V-os elem
- vezetékek





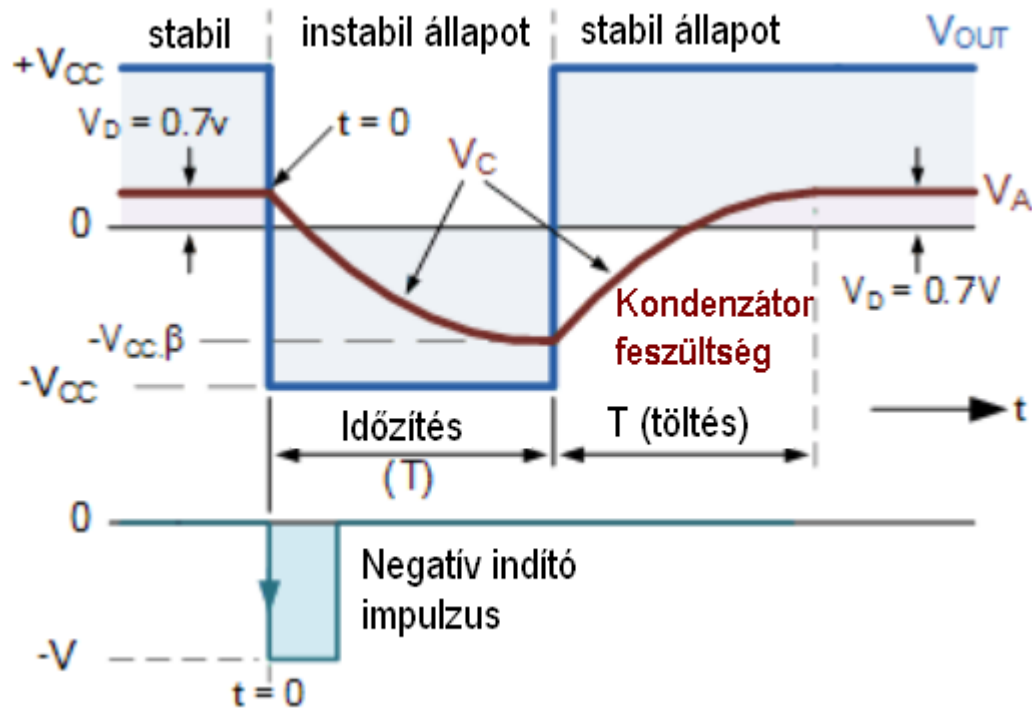
Monostabil multivibrátor



- Egy stabil állapota van, amikor a kimenet magas (+V_{CC}) szinten van.
- A **D1** dióda megakadályozza, hogy a V_A bemenet magasabb legyen, mint V_B, így nincs oszcilláció.
- A negatív indító impulzus átbillenti a kimenetet, de ez instabil állapot.

Működés elve: A kimenet átbillentésekor a kondenzátor áttöltése során a V_A bemeneti feszültség alacsonyabbá válik, mint V_B, így a kimenet az időzítés leteltekor visszabillen a stabil állapotba.

$$T = R \cdot C \cdot \ln\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$$





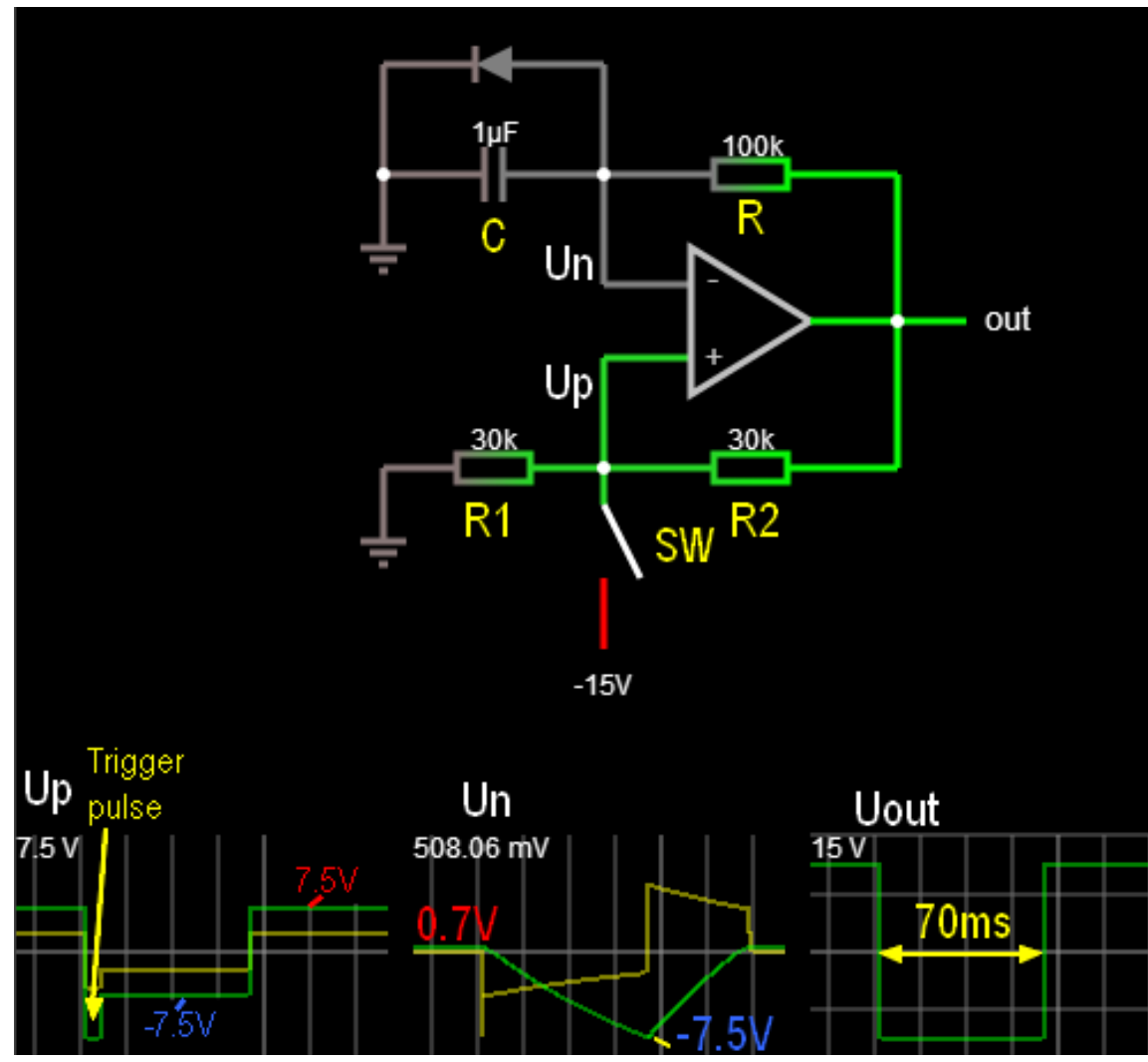
Monostabil multivibrátor szimulációja

Szimuláció: www.falstad.com/circuit/

Az alábbi kapcsolás szimmetrikus táplálást feltételez: +15V / -15V

Mivel $R_1 = R_2$, így $T = R \cdot C \cdot \ln(2)$, azaz $T = R \cdot C \cdot 0,693$.

Esetünkben $T = 0,0693 \text{ s} \approx 70 \text{ ms}$.



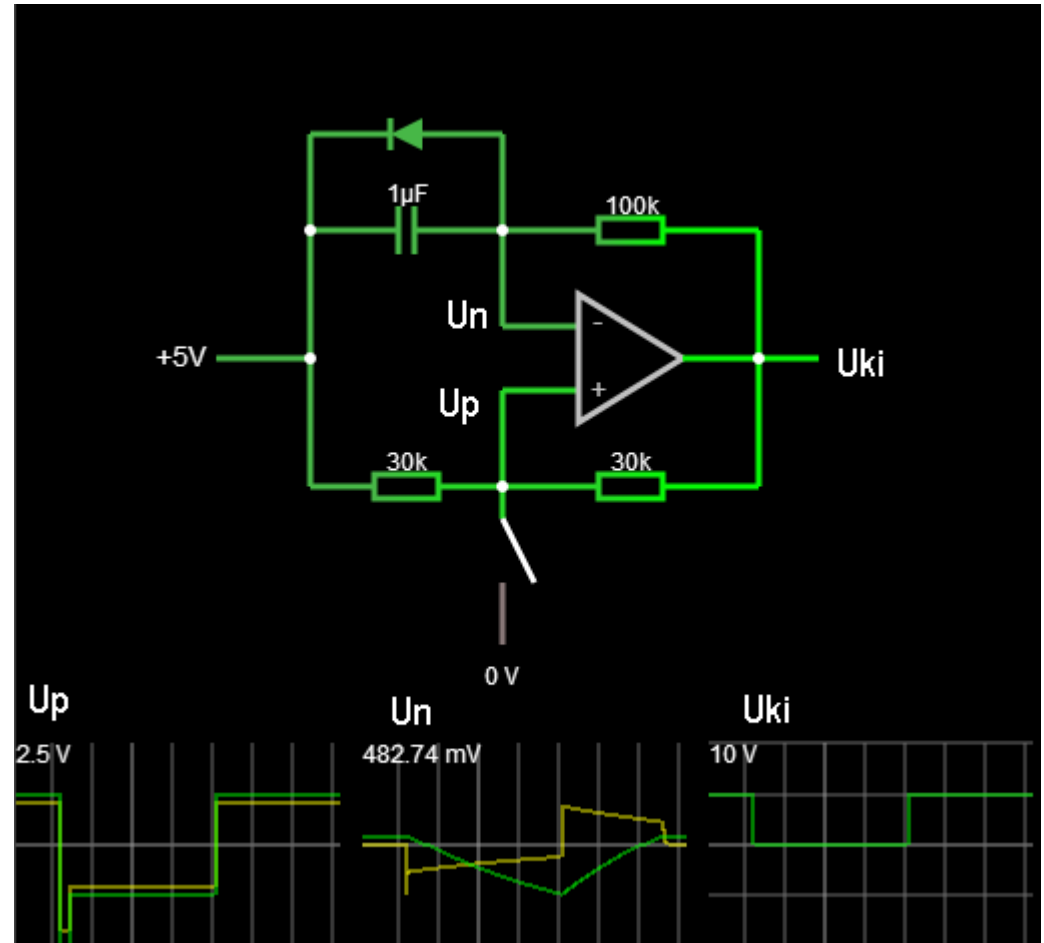


Monostabil billenőkör unipoláris táplálással

Unipoláris táplálás esetén a megfelelő munkapont biztosításához a vonatkoztatási pont potenciálját meg kell emelni a tápfeszültség közepéig, vagy annak közelébe.

Az ábrán bemutatott szimuláció esetében a tápfeszültség 10 V, a vonatkoztatási pont feszültsége pedig +5 V.

Megjegyzés: Az ábrán feltüntetett **Up** és **Un** diagram a vonatkoztatási ponthoz viszonyított feszültségeket mutatja!



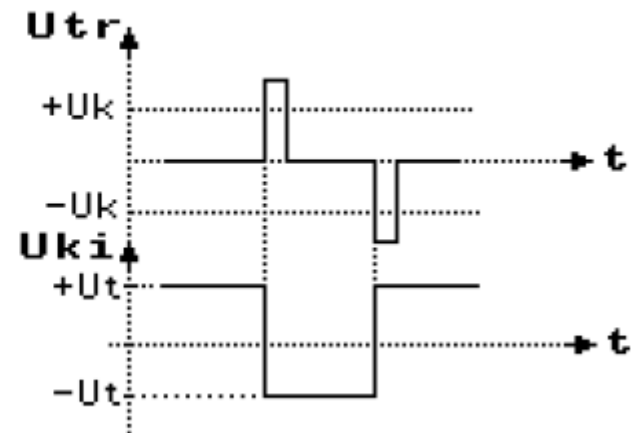
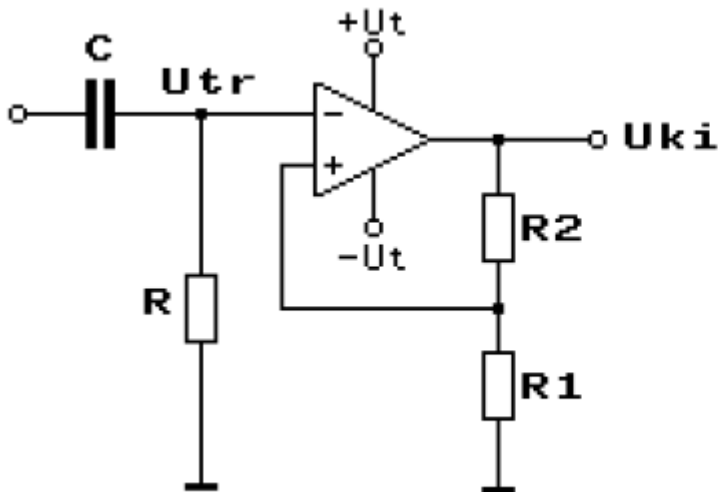


Bistabil multivibrátor

Csak a teljesség kedvéért bemutatunk egy bistabil billenőkört is, amely pozitív vagy negatív impulzussal a két stabil állapot valamelyikébe billenthető.

Az ábrán látható kapcsolás szimmetrikus táplálást feltételez. Stabil állapotban a neminvertáló bemenet feszültsége a $\pm U_K$ referencia szintek valamelyikére áll be. Ezeket a szinteket kell meghaladnia a bejövő impulzusnak az átbillentéshez.

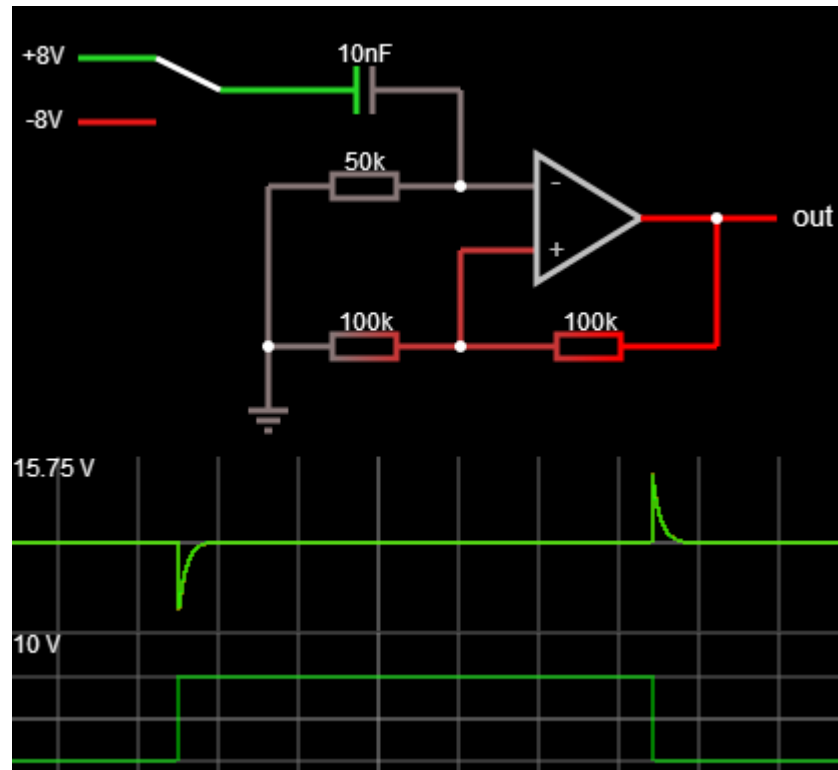
A felső referencia szint: $+U_K = +\beta \cdot U_T$ ahol $\beta = \frac{R1}{R1+R2}$
Az alsó referencia szint: $-U_K = -\beta \cdot U_T$





Bistabil multivibrátor szimulációja

Ilyen áramkör nincs készen a szimulátorban, nekünk kell megrajzolni (például a [relaxációs oszcillátorkapcsolás](#) módosításával). Ha a telítési szintek értéke ± 10 V, akkor a billenési szintek ± 5 V-nál lesznek, így bármilyen 5 V-nál magasabb, vagy -5 V-nál alacsonyabb bemenő jel átbillenést eredményez.



Szimulátor honlapja: www.falstad.com/circuit/e-relaxosc.html