



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Elektronikus Eszközök Tanszéke

Elektronika alapjai

7. előadás

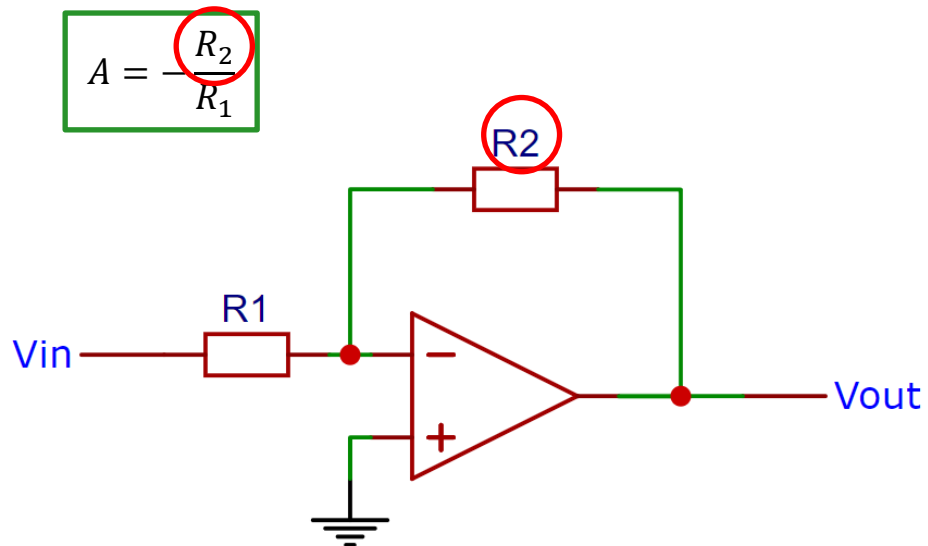
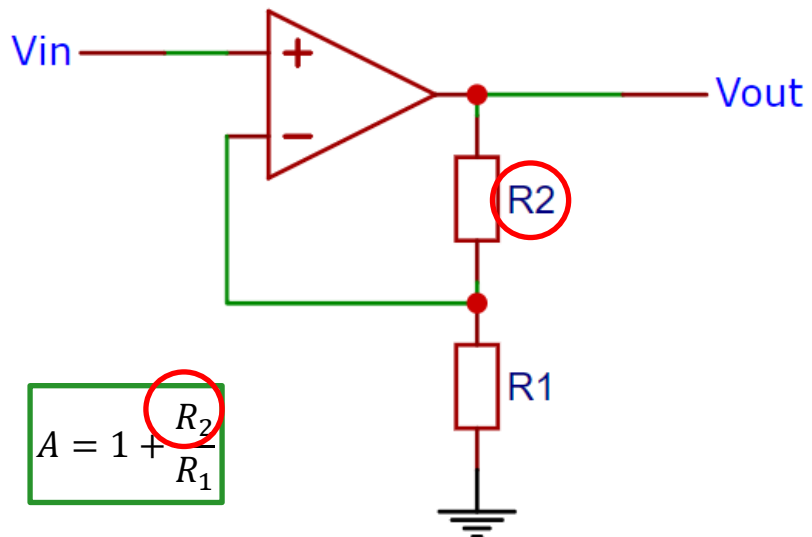
Jelfeldolgozás műveleti erősítővel

Műveleti erősítő

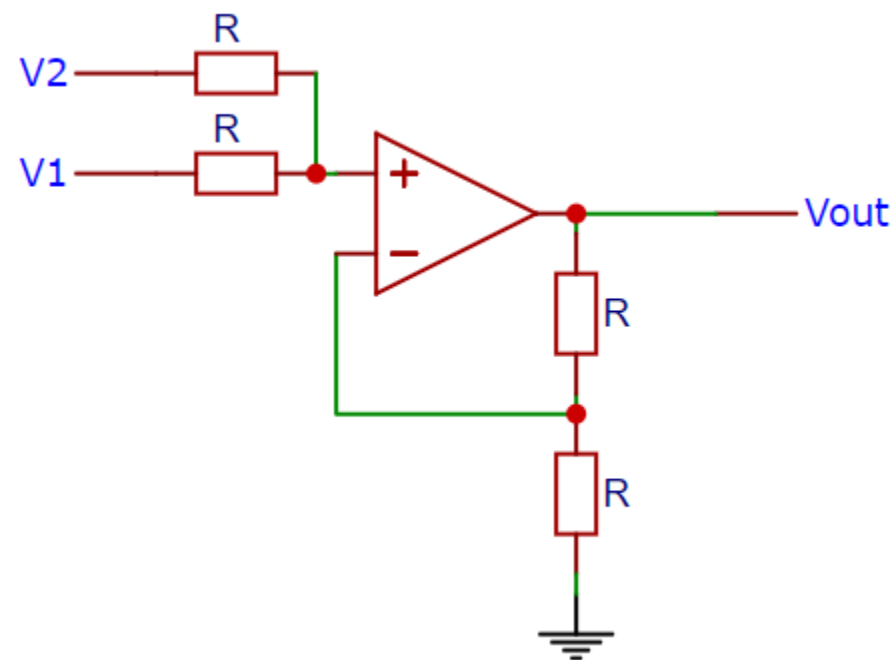
- Mitől lesz műveleti?
- Lehetőséget ad
 - Jelek összedására, kivonására
 - Szorzás
 - Integrálására
 - (deriválás)
 - Egyéb... (logaritmus, exponenciális stb.)
 - Analóg számítógép
 - Differenciálegyenletrendszerek megoldása.
 - (amíg a digitális számítógépek sebessége ilyen feladatokra kevésnek bizonyult)
 - Időnként előkerül az ötlet integrált áramkörökön (neurális hálózatok, gépi tanulás stb.) gyorsításra és/vagy energiahatékonyság növelésére.

Emlékeztető

- Ideális műveleti erősítő erősítése végtelen, bemenetén áram nem folyik.
 - Ebből következően két bemenete között a feszültségkülönbség 0
- A hálózat lineáris
 - A szuperpozíció tétel igaz. Azaz a rendszer válasza az egyes gerjesztésekre adott válasz összege
 - Az alkapcsolások erősítésének ismerete meggyorsítja a számítást.

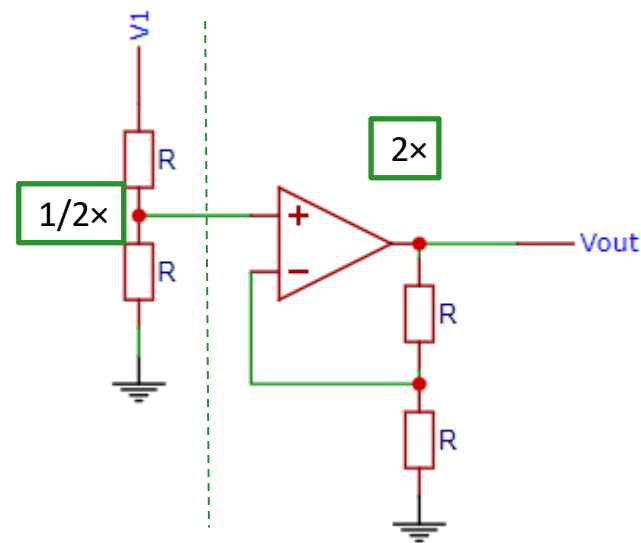
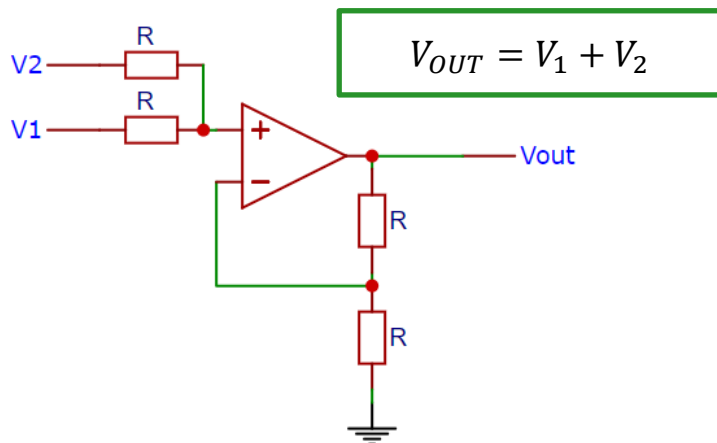


Összeadó erősítő 1.



- Összeadó erősítő
- $V_{OUT} = V_1 + V_2$
 - A kimenet a bemenetek feszültségeinek összege, ha az R ellenállások egyformák.

Összeadó erősítő

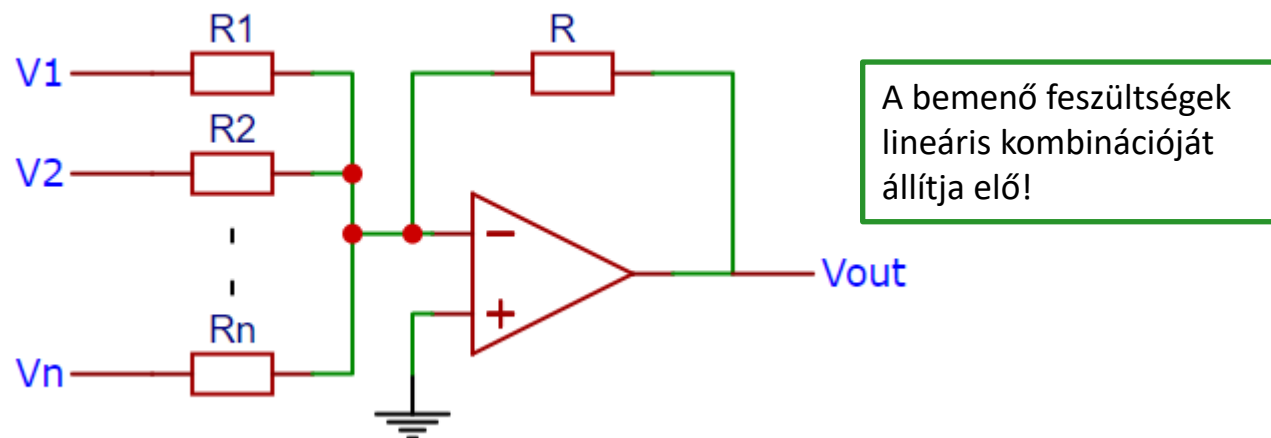


■ Használjuk a szuperpozíció tételét!

- Számoljuk ki először V_1 -re. Ilyenkor a V_2 forrás inaktívvá tesszük, azaz 0V-al helyettesítjük. Ezt látjuk a jobboldali ábrán.
- A műveleti erősítő bemenetére a V_1 forrás jele az ellenállásosztón keresztül felére leosztva kerül.
- Ezt a jelet a neminvertáló alkapcsolás követi, így a kimenet:

$$V_{out} = V_1 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2 = V_1$$
- Ugyanígy eljárva a V_2 forrás esetén megkapjuk a bizonyítandó eredményt.

Invertáló összeadó erősítő



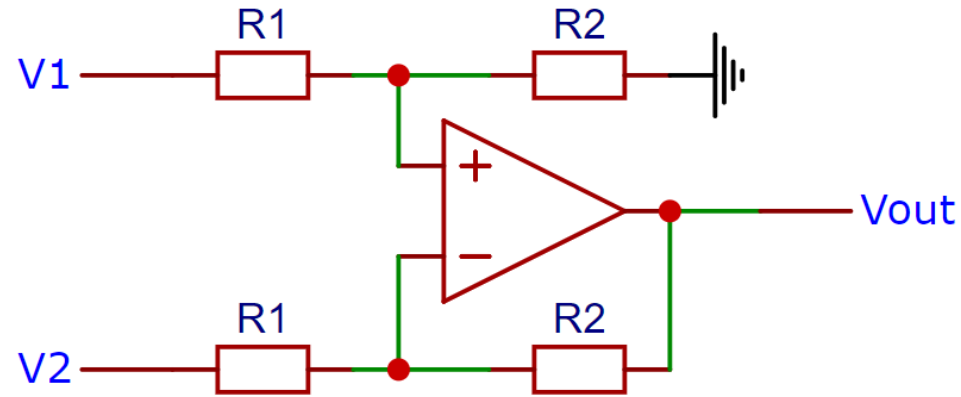
- Használjuk ismét a szuperpozíció tételét!

- V_1 -re egy invertáló erősítő, melynek erősítése $A = -\frac{R}{R_1}$.
 - (A többi ellenállás az invertáló bemenet és föld közé kapcsolódik, de az invertáló bemenet is 0V-on van ideális műveleti erősítő esetén, azaz ezeken áram nem folyik)

- Így összegezve az eredményeket:

$$V_{OUT} = - \sum_{i=1}^n \frac{R}{R_i} V_i$$

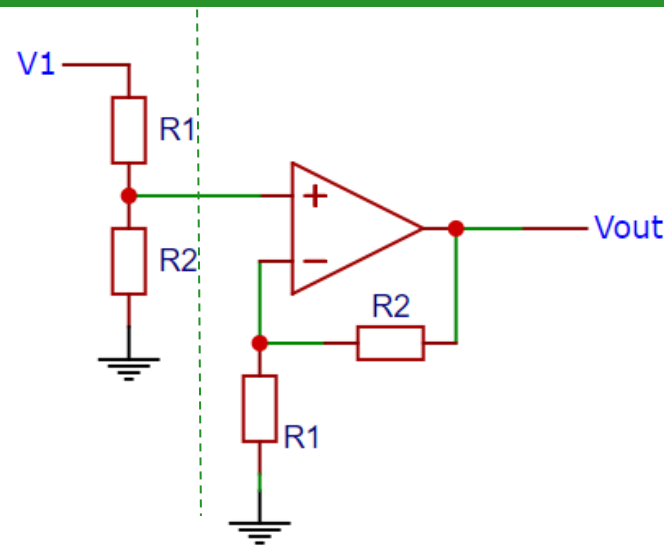
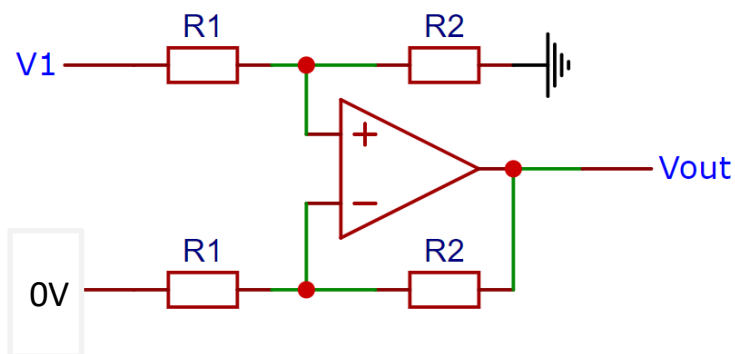
Kivonó (differenciál) erősítő



$$V_{OUT} = \frac{R_2}{R_1} (V_1 - V_2)$$

- Itt nagyon fontos, hogy az ellenállások pontosak legyenek.
- Integrált áramkör formában az ellenállásokat egyedileg (minden egyes áramkörre) gyártáskor értékbeállítják.

Kivonó erősítő



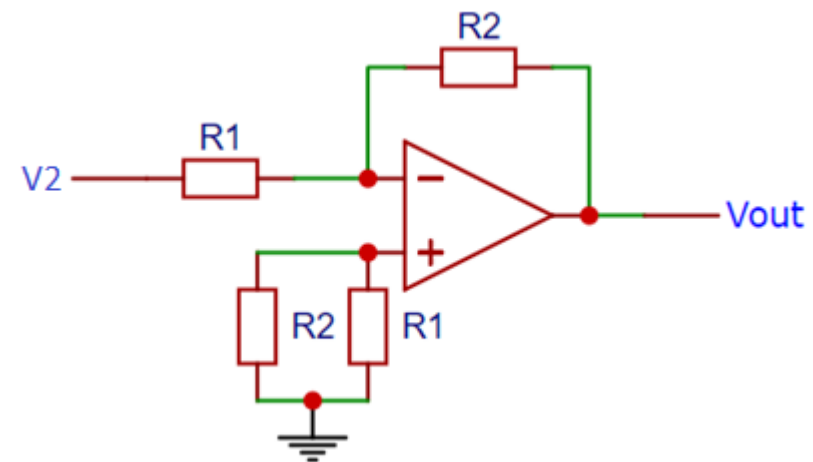
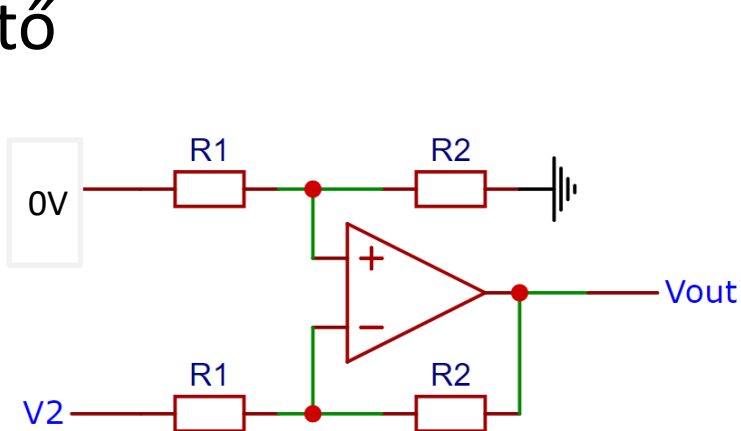
- Használjuk a szuperpozíciót! Számoljunk először az 1. feszültségforrásra!
 - Ilyenkor a második feszültségforrás 0, egy picit átrajzolva és beforgatva a kapcsolási rajzot, ezt kapjuk.

- A neminvertáló erősítő bemenetére a V_1 ellenállásosztó leosztott feszültsége kerül: $V_+ = \frac{R_2}{(R_1+R_2)} V_1$.

Ezt erősíti az erősítő $A = 1 + \frac{R_2}{R_1}$ szeresére. Azaz

- $$V_{out} = \frac{R_2}{R_1+R_2} V_1 \frac{(R_1+R_2)}{R_1} = \frac{R_2}{R_1} V_1$$

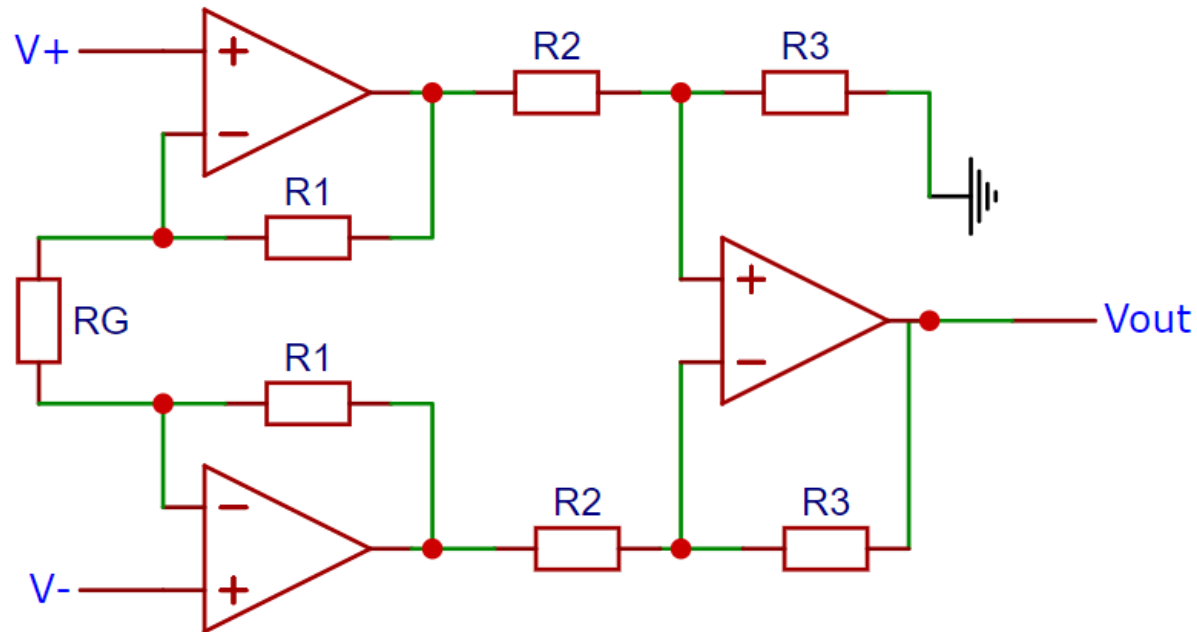
Kivonó erősítő



- Átrajzolva könnyen észreveszük, hogy ez egy invertáló erősítő.
 - (a neminvertáló pontra kapcsolódó R1, R2 ellenálláson áram nem folyik)
 - $V_{out} = -\frac{R_2}{R_1} V_2$
- A megoldás a két eset összegzésével:

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1} (V_1 - V_2)$$

Mérőerősítő

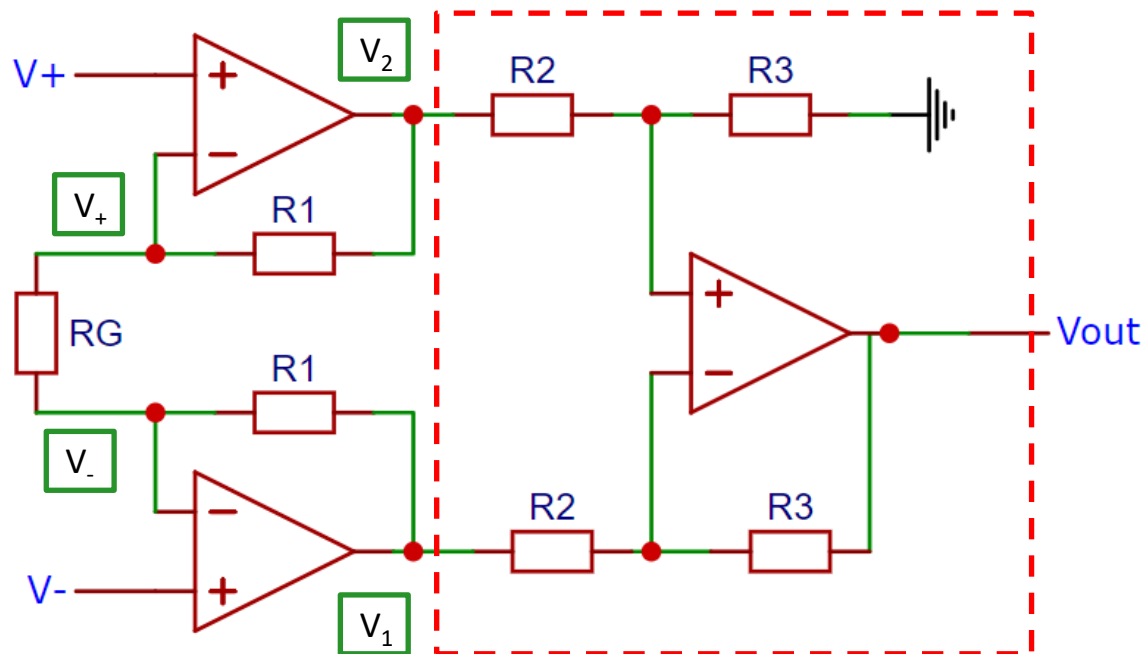


- Három műveleti erősítőt tartalmazó integrált áramkör.
 - Differenciálerősítő: $V_{OUT} = A(V_+ - V_-)$
 - Az erősítést a külső R_G ellenállás állítja be.
 - Az ellenállás értékeket pontosra állítják be. (trimmelik)
 - Emiatt (mivel ez egyedi művelet) nem olcsó.

Mérőerősítő

- A bekeretezett rész egy kivonó erősítő.

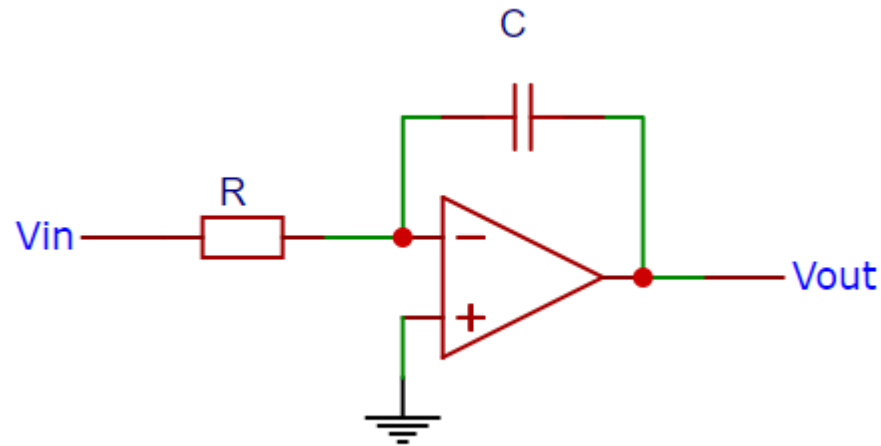
$$V_{out} = \frac{R_3}{R_2} (V_2 - V_1)$$



- A műveleti erősítőket ideálisnak feltételezzük, ekkor a bemenetük feszültsége megegyezik. Így az R_G ellenállás árama $I = \frac{V_+ - V_-}{R_G}$.
- Ez az áram keresztülfolyik mindkét R_1 ellenálláson, így a kivonó erősítő bemenetére $(V_2 - V_1) = I(2R_1 + R_G)$ kerül. Behelyettesítve:

$$V_{OUT} = \frac{R_3}{R_2} \left(1 + \frac{2R_1}{R_G}\right) (V_+ - V_-)$$

Integrátor



- Írjuk fel a Kirchhoff áramtörvényt az invertáló bemenetre:

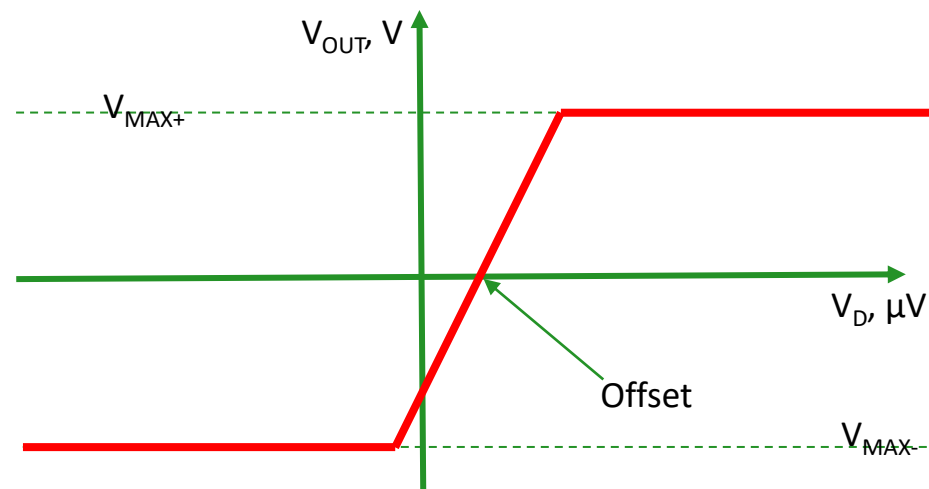
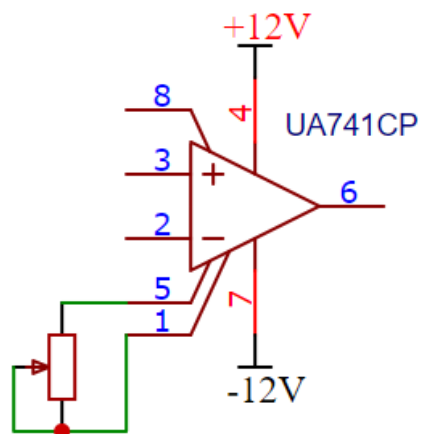
$$\frac{V_{in}}{R} + C \frac{dV_{out}}{dt} = 0$$

- Integrálva:

$$V_{out}(t) = -\frac{1}{RC} \int_0^t V_{in}(\tau) d\tau + V_{out}(0)$$

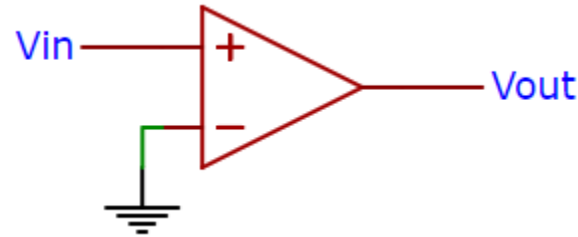
- Praktikus alkalmazáskor egy kapcsolóval (MOS tranzisztorral) az integrálás megkezdése előtt rövidrezárható a kapacitás.

Valós műveleti erősítő



- Tápfeszültséget igényel.
- A kimeneti feszültsége korlátozott
 - általában a tápfeszültségnél 1-2V-al kisebb, de van tápfeszültségekig kivezérelhető változat is (rail-to-rail)
- A karakterisztika nem az origón megy keresztül.
 - A bemeneten valamekkora feszültségkülönbség kell, hogy a kimenet 0 legyen, ez az ún. (bemenetre redukált) **OFFSET FESZÜLTÉS**.
 - (oka: nem teljesen szimmetrikus az integrált áramkör – egy változtatható ellenállással csökkenthető ez a különbség – ez az offset kompenzáció!)

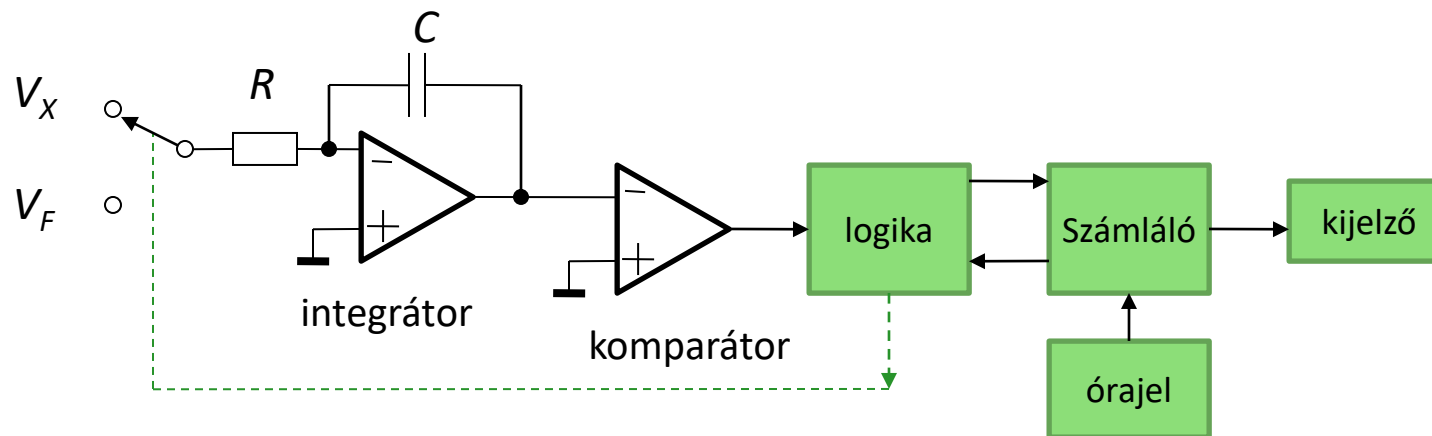
A komparátor



$$V_{out} = \begin{cases} +V_{MAX}, & \text{ha } V_{in} > 0 \\ -V_{MIN}, & \text{ha } V_{in} < 0 \end{cases}$$

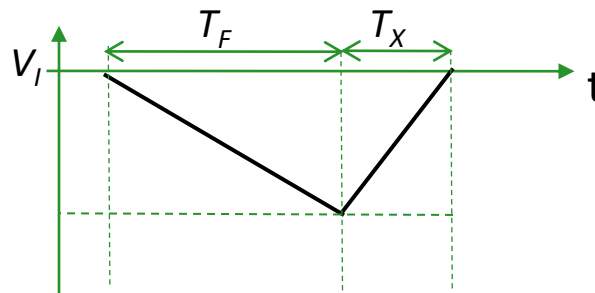
- A műveleti erősítő karakterisztika alkalmas arra, hogy feszültségeket hasonlítsunk össze.
 - Mivel a differenciális feszültségerősítés nagy, a bemeneten kis feszültségkülönbség elegendő ahhoz, hogy az erősítő valamelyik szélső állapotba kerüljön. Azaz össze lehet hasonlítani egy adott feszültséget egy referencia feszültséggel.
 - Minden műveleti erősítő komparátor is egyben, de az erre fejlesztett integrált áramkörök jobbak.

Példa: voltmérő (az ún. dual – slope konverter)



- A mérés kezdete előtt az integrátor kapacitását rövidre zárják.
 - Ekkor teljesen 0-ról indul az integrálás
- Ezután adott T_F ideig (órajelig) integrálják az ismeretlen V_X feszültséget.
- A feszültség $V_I(T_F) = -\frac{1}{RC} \int_0^{T_F} V_X(t) dt$
 - (vegyük észre, hogyha az integrálási időt a zaj/zavar periódusidejének többszörösére állítjuk, az a zaj komponens kiesik. Pl. 50Hz esetén 20ms)

Példa: voltmérő (az ún. dual – slope konverter)

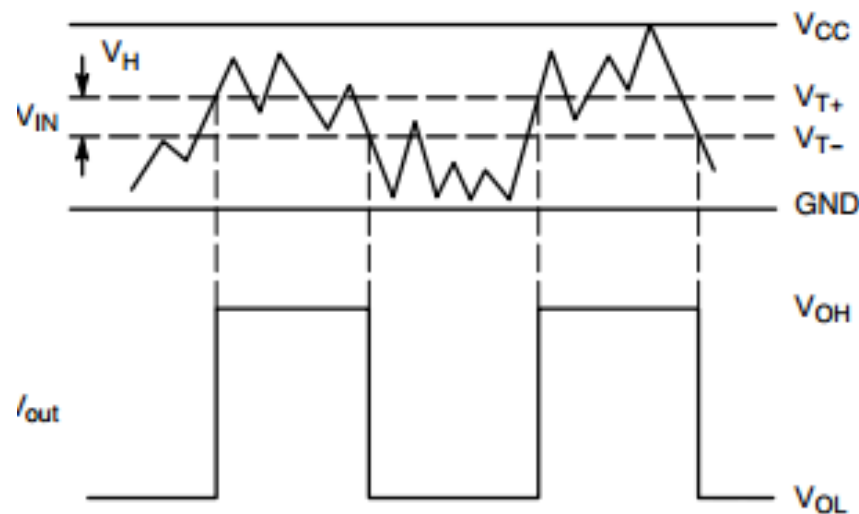
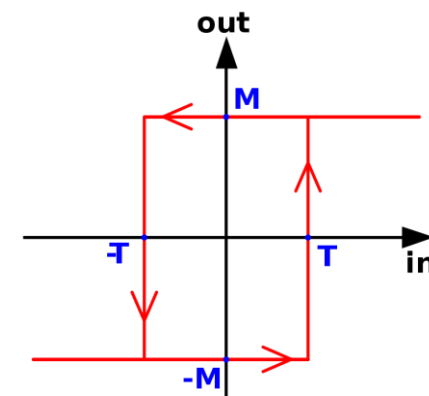


- Ezután a mérendő feszültséget leválasztjuk, és egy negatív referencia (ismert) feszültséget kapcsolunk az integrátor bemenetre.
 - A komparátor akkor állítja le az integrálást, amikor a 0-t elértük.
 - Ebben az esetben, mivel: $V_X T_F = |V_{REF}| T_X$
 - $V_X = |V_{REF}| \cdot T_X / T_F$

Azaz a feszültségmérést időmérésre vezettük vissza

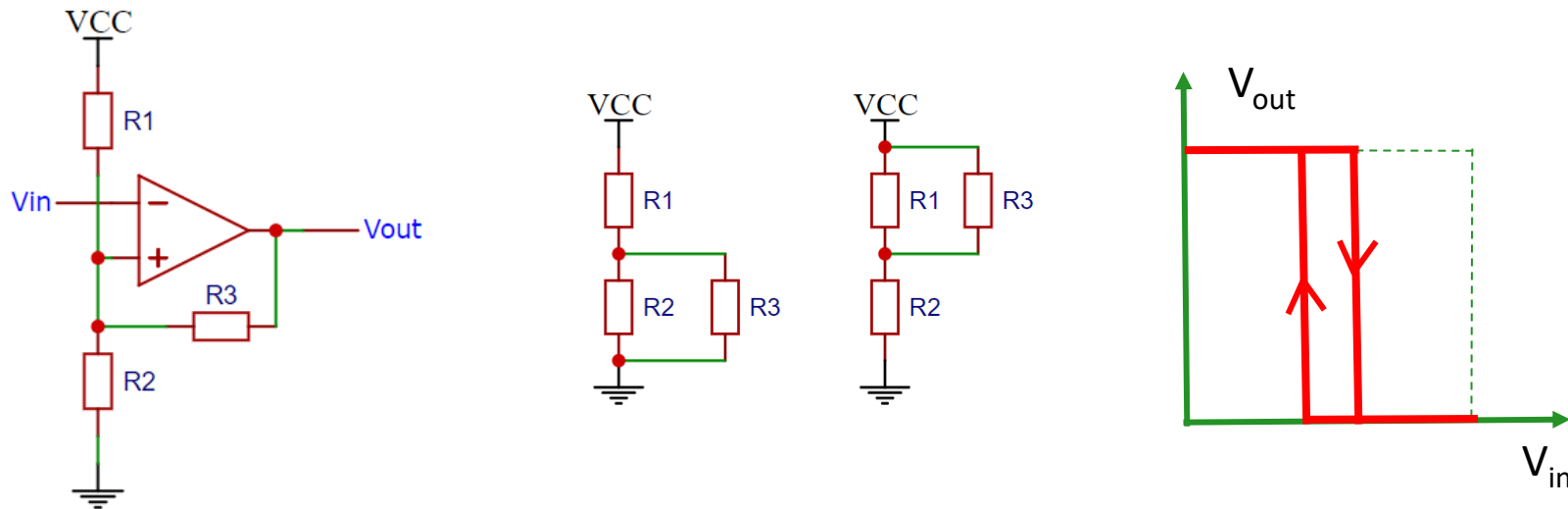
A hiszterézis

- A komparátor komparálási feszültsége függ a komparátor kimenetétől.
 - Attól függően, hogy melyik „irányban” haladunk, változik a komparálási feszültség.
 - Ez önmagában nagyon hasznos. Digitális rendszerek esetén zajszűrésre alkalmas.
 - A komparálási feszültség környékén történő működés zajként jelentkezne.
 - Pl. a fűtésrendszer esetén szintén hiszterézist alkalmaznak. Ha pl. 21°C a célhőmérséklet, akkor 22°C -nál kapcsolnak ki, 20°C -nál kapcsolnak be.



(b) A Schmitt-Trigger Offers Maximum Noise Immunity

A hiszterézises komparátor (Schmitt-trigger)



- Tételezzünk fel egy tápfeszültséges, rail-to-rail működést.
 - Ha $V_{in} > V_{REF}$ a kimenet 0V, ha $V_{in} < V_{REF}$ a kimenet tápfeszültség.
- A komparálási szint attól függ, mi volt a kimenet.
 - Ha a kimenet 0V volt, akkor az R1, R2 × R3, ellenálláson osztott feszültség
 - Ha a kimenet tápfeszültség volt, akkor az R1×R3, R2 ellenállás által osztott tápfeszültség.



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Elektronikus Eszközök Tanszéke

Oscillátorok

Oscillátorok

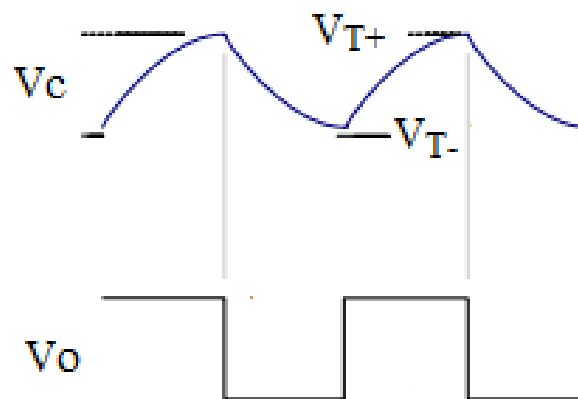
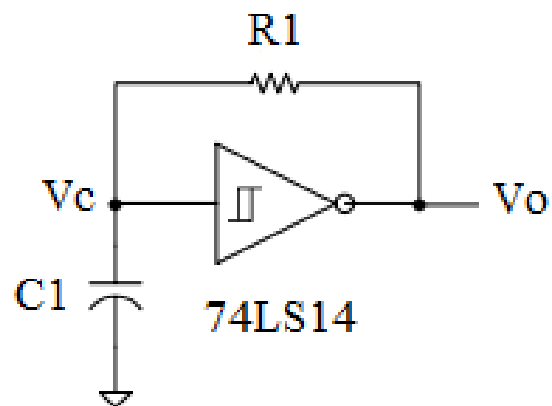
■ Oscillátor

- Nincs stabil állapota, periodikus jelet állít elő.

■ RC oszcillátor

- A rezgési frekvenciát ellenállások és kapacitások határozzák meg.
- Integrált áramkörön belül nem lesz pontos, bár sokat javít a pontosságon a kalibráció. (gyártáskor vagy akár rendszer működése közben)
- A pontosság nagyjából: 0,01%-1% (ez nem túl jó – és ráadásul nagyon hőmérsékletfüggő)
- Gyors indulás
- (addig nem szabad a rendszert elindítani, amíg az oszcillátor nem működik megfelelőképpen, hiszen nincs órajel...)
- Belső RC-ről indítunk, ha van, megvárjuk, amíg a pontosabb pl. kristályoszcillátor stabil nem lesz, majd átkapcsolunk.

Egy egyszerű RC oszcillátor



- Schmitt triggerrel (histerézises komparátorral) felépített kapcsolás.
 - Feltételezzük, hogy kezdetben C1 feszültsége 0V
 - Ekkor az inverter kimenete tápfeszültség, ami az R1 ellenálláson keresztül tölti a kapacitást.
 - Ha C1 feszültsége a felső komparálási szintet meghaladja, az inverter átkapcsol, innentől kezdve C1 kapacitás R1 ellenálláson kisül.
 - Egészen az alsó komparálási szintig, amikor a kimenet újra logikai 1 lesz.

Rezonátorok (kristályoszillátorok)

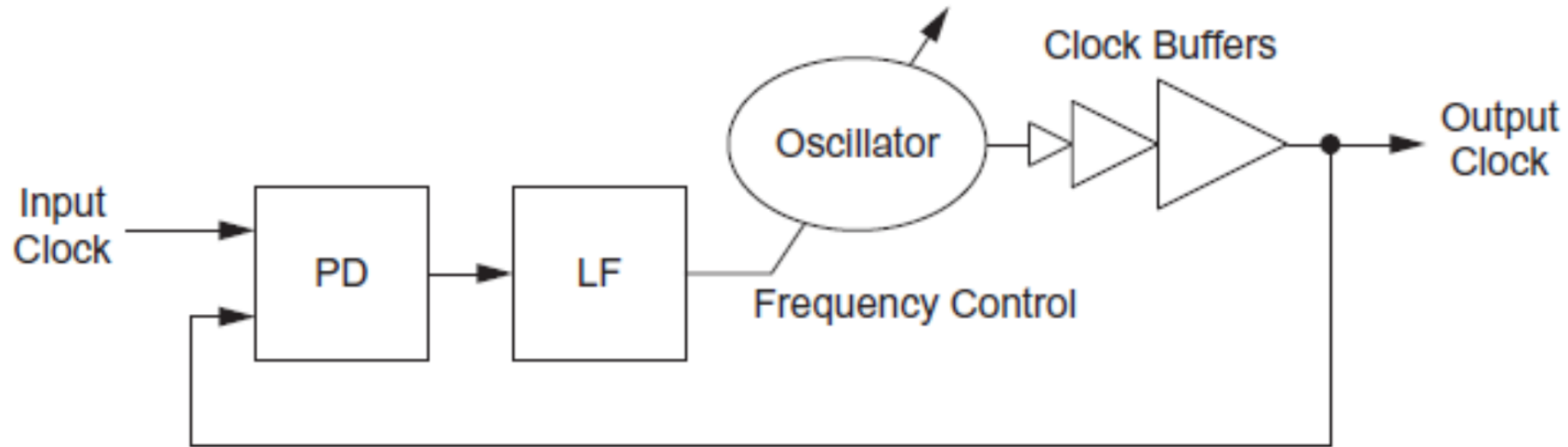
- Kristály (kvarc) vagy kerámiarezonátor
- Piezoelektromos tulajdonságú
 - Mechanikai deformációra (nyomás, hajlítás, nyírás) töltések jelennek meg, illetve elektromos erőterben deformálódik.
 - Ha váltakozó erőterbe helyezünk, rezgésbe jön, ami maximális amplitúdójú a mechanikai rendszer sajátfrekvenciája esetén.
 - Ez utóbbi miatt alkalmas pontos frekvencia előállítására.
- A frekvencia a mechanikai méretekkel állítható, általában
 - $\pm 10..100$ ppm (parts per million)
 - pl. 4MHz-es kristály 10ppm esetén 3 999 960 – 4 000 040Hz közötti frekvenciájú.
 - A hőmérsékletfüggés kicsi, 1..10ppm /°C
 - (néha ez sem megengedhető, ezért a kristályt fűtéssel állandó hőfokon tartják – OCXO)

Szokásos kristályfrekvenciák

- Nagyon sok fajta van, a leglényegesebbek:
 - 32,768kHz – az összes RTC (real time clock) áramkör frekvenciája
 - 8MHz, 10MHz, 20MHz, 25MHz – általános célokra
 - 12MHz – USB, CAN
 - 27MHz – PAL, NTSC televíziótechnika...
 - Stb.
- Valójában egy adott frekvenciájú pontos forrás elegendő
 - A kevésbé pontos oszcillátorokat hozzá tudjuk igazítani
 - Racionális számszorosát elő tudjuk állítani.
 - Erre szolgálnak az ún. PLL-ek.

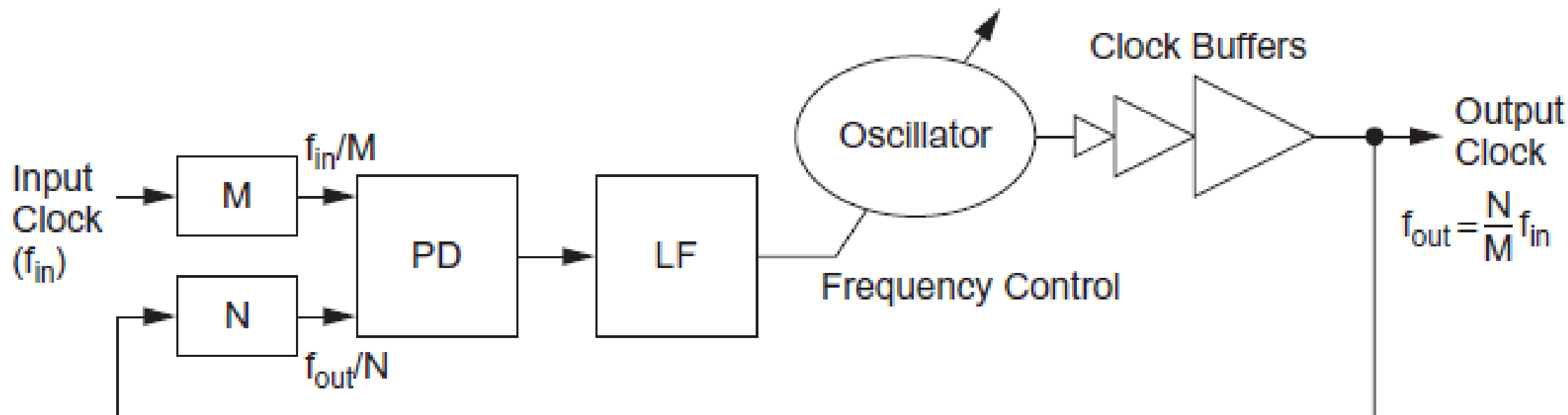


A fáziszárt hurok (PLL)



- Egy szabályozókör, ami a bemenetével megegyező frekvenciájú jelet állít elő.
- Alapelemei:
 - Fázisdetektor és aluláteresztő szűrő: a frekvenciaeltéréssel arányos vezérlő feszültséget állít elő.
 - Feszültségvezérelt oszcillátor – egy egyenfeszültséggel változtatható a frekvencia.

PLL – frekvencia szintézis



- Azaz az alapfrekvencia tetszőleges számszorosa előállítható.
 - Így működnek a szorzók
 - Így állítják elő a vezetékes vagy vezeték nélküli kommunikációhoz szükséges pontos csatorna frekvenciákat.

Források, ajánlott irodalom, érdekességek

- Analog Engineer's Circuit: Op Amps
- Differenciál erősítő
- Integrátor
- Schmitt trigger
- PIC oszcillátor modul (109. oldaltól)