

MÉRÉSI JEGYZŐKÖNYV

A mérés tárgya:	Egyszerű áramkör megépítése és bemérése (1. mérés)
A mérést végzik:	Veszelyi Bence Balázs (V3UWB0)
Mérőcsoport:	H12, 41
A mérés időpontja:	2021-04-27

Felhasznált eszközök

Digitális oszcilloszkóp	AGILENT 54622A	<gyártási szám>
Függvénygenerátor	AGILENT 33220A	<gyártási szám>
Digitális multiméter (6½ digit)	AGILENT 33401A	<gyártási szám>
Tápegység	AGILENT E3630	<gyártási szám>

Távoktatás megvalósítása

A feladatokat a TINA TI szimulátorprogrammal kell megoldani. A program innen érhető el:

<https://www.ti.com/tool/TINA-TI>

Az OrCAD méréshez létrehozott virtuális gépeken is van telepített TINA TI verzió, aki nem szeretne saját gépre telepíteni:

<https://www.mit.bme.hu/oktatas/targyak/vimiac13/orcad-virtualis-gep-elerese>

Itt az NIIF cloud használata javasolt. Kérjük, hogy a cloud-on használt virtuális gépek esetén folyamatosan archiváljon mindenki a saját PC-jére is!

A TINA TI programban a TL081 típusú műveleti erősítő modellje érhető el, ennek használatát javasoljuk.

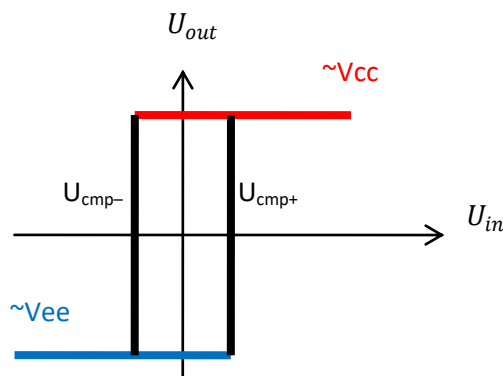
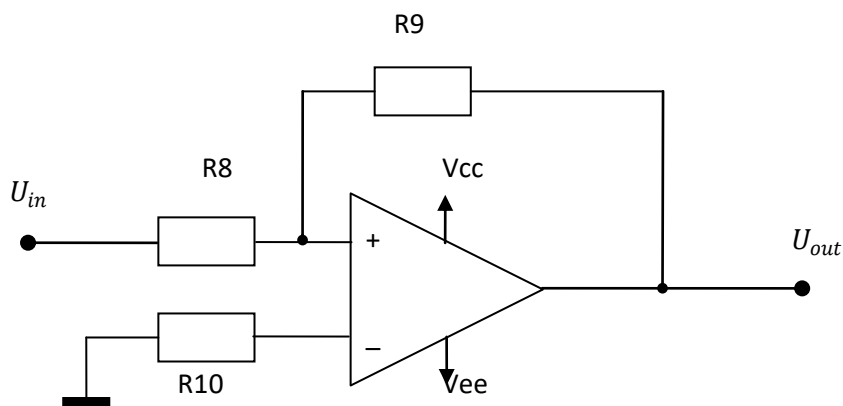
A következő helyen található egy rövid ismertető a TINA TI használatáról (nem a mérésen vizsgálandó kapcsolat, de az itt alkalmazandó módszerek láthatók):

<https://web.microsoftstream.com/video/bf77821b-0522-421b-9a42-16542e381ed4>

Elméleti összefoglaló

1. Hiszterézises komparátor (Schmitt-trigger kapcsolás) méretezése

Adott az alábbi kapcsolás:



1. ábra. Hiszterézises komparátor

Tekintsük ideális esetet, így az R10 ellenálláson nem folyik áram, tehát az invertáló bemenet nulla potenciálon van.

A neminvertáló bemenet potenciálját a bemeneti és kimeneti feszültség határozza meg. A szuperpozíció elvét használva:

$$U_+ = U_{out} \cdot \frac{R_8}{R_8 + R_9} + U_{in} \cdot \frac{R_9}{R_8 + R_9}$$

A komparátor kimeneti feszültsége ideális esetben vagy a pozitív vagy a negatív tápfeszültség értékét veszi fel, ha eltekintünk attól, hogy a műveleti erősítők általában nem vezérelhetők ki teljesen a tápfeszültségig. Valós esetben a műveleti erősítő adatlapja ad képet arról, hogy mekkora a műveleti erősítő kivezrlési feszültsége ± 15 V-os tápfeszültség esetén (<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tl081.pdf>):

V _{OM}	Maximum peak output voltage swing	R _L = 10 kΩ	25°C	±12	±13.5	±12	±13.5	V
		R _L ≥ 10 kΩ	Full range	±12		±12		
		R _L ≥ 2 kΩ		±10	±12	±10	±12	

A komparátor akkor billen át másik szélső helyzetbe, amikor az invertáló és neminvertáló bemenete közötti feszültség előjele megfordul, aminek fordulópontja a bemenetek közötti nulla feszültség. Mivel a neminvertáló bemenet nulla potenciálon van, ezért megvizsgálva, hogy a kimenet két szélső értéke esetén milyen bemeneti feszültség mellett áll fent az $U_+ = 0$ feltétel, megkapjuk a billenési feszültségeket.

Ha a kimeneti feszültség a pozitív tápfeszültség közelében van, akkor az U_{cmp-} negatív billenési feszültség:

$$0 = V_{cc} \cdot \frac{R_8}{R_8 + R_9} + U_{cmp-} \cdot \frac{R_9}{R_8 + R_9} \rightarrow U_{cmp-} = -\frac{R_8}{R_9} V_{cc}$$

Ha a kimeneti feszültség a negatív tápfeszültség közelében van, akkor az U_{cmp+} pozitív billenési feszültség:

$$0 = -V_{ee} \cdot \frac{R_8}{R_8 + R_9} + U_{cmp+} \cdot \frac{R_9}{R_8 + R_9} \rightarrow U_{cmp+} = \frac{R_8}{R_9} V_{ee}$$

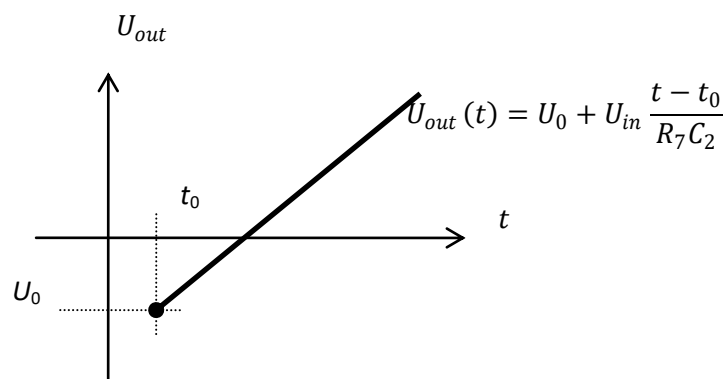
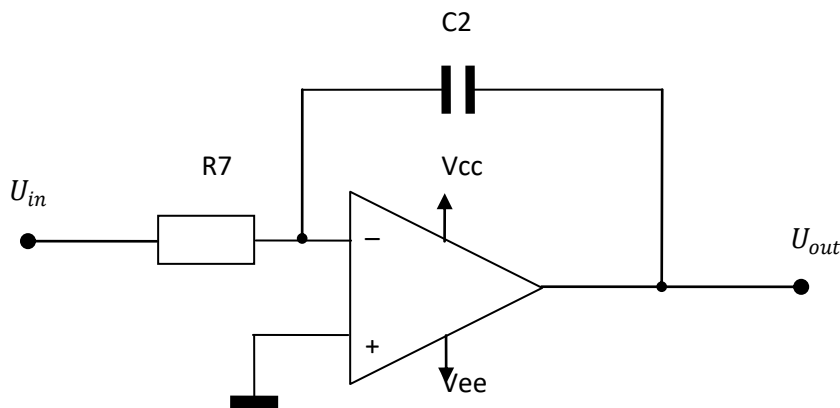
Az R10 ellenállás feladata, hogy a műveleti erősítő bemeneti I_{be}^- és I_{be}^+ munkaponti áramainak hatását kiegyenlítse. Az I_{be}^+ bemeneti áram az R8 és R9 ellenállásokon feszültségesést okoz, ami bemenetre redukált ofszetfeszültségként jelenik meg. A neminvertáló bemenet által „látott” eredő ellenállás az R8 és R9 ellenállás párhuzamos eredője, így $R_{10} = R_8 \times R_9$ választással a neminvertáló bemenete is ugyanakkora feszültséggel tolódik el, tehát az ofszetfeszültség kiegyenlítődik.

Figyelem! Ez a választás abban az esetben érvényes, ha $I_{be}^- \approx I_{be}^+$, ami a műveleti erősítőknél gyakran használt paraméterekkel a következő módon fejezhető ki: $(I_{be}^- - I_{be}^+) \ll \frac{I_{be}^- + I_{be}^+}{2}$, tehát az ofszetáram jelentősen kisebb mint a bias áram. Ellenkező esetben az R10 értékét érdemes nullára választani (tehát elhagyni), ugyanis rossz esetben akár az ofszetfeszültség további növekedését okozhatja. Esetünkben JFET bemenetű erősítővel dolgozunk, ahol a bemeneti áramok értéke alacsony, aszimmetriájuk nagy lehet, ezért esetünkben nem alkalmazzuk az R10 ellenállást:

I_{IO}	Input offset current ⁽²⁾	$V_O = 0$	25°C	5	100	5	100	pA
			125°C		20		20	nA
I_{IB}	Input bias current ⁽²⁾	$V_O = 0$	25°C	30	200	30	200	pA
			125°C		50		50	nA

2. Integrátor kapcsolás

Adott az alábbi kapcsolás:



2. ábra. Integrátor kapcsolás

Az integrátor áramkör kimeneti feszültsége a bemeneti feszültség integrálja:

$$U_{out}(t) = \frac{1}{\tau} \int_0^t U_{in}(t) dt = \frac{1}{R_7 C_2} \int_0^t U_{in}(t) dt$$

A mérés során olyan kapcsolásban szerepel az integrátor, amelyben a bemenetére konstans feszültség kerül. Tegyük fel, hogy egy t_0 időpillanattól indulunk, amikor az integrátor kimeneti feszültsége U_0 értékű. Ekkor az integrátor kimeneti feszültsége a következő időfüggvény szerint alakul:

$$U_{out}(t)|_{t>t_0} = U_0 + U_{in} \frac{t - t_0}{R_7 C_2} = U_0 + \frac{U_{in}}{R_7 C_2} (t - t_0)$$

Tehát egy U_0 pontból induló, $\frac{U_{in}}{R_7 C_2}$ meredekségű egyenes. A bemeneti feszültség előjeles mennyiség. Mivel esetünkben szimmetrikus tápfeszültségről üzemeltetjük az áramkört, így pozitív és negatív értékű is lehet.

Mérési feladatok

3. Hiszterézises komparátor (Schmitt-trigger kapcsolás) megépítése és bemérése

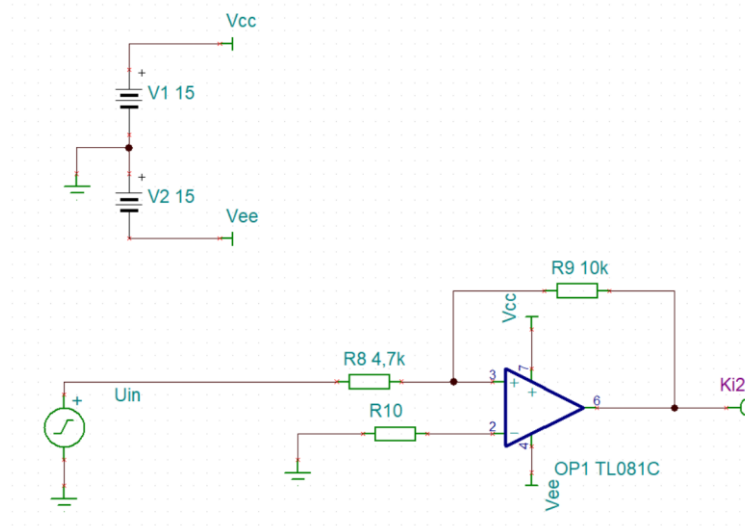
- 3.1. Építse meg a 3. ábrán látható hullámforma-generátor komparátor fokozatát! Fontolja meg, mit befolyásol a működésben az R8/R9 arány. Az R9 értékét válassza meg fixen 10 kΩ értékűre, az R8 értékét pedig válassza meg úgy az [E12-es sorozatból](#), hogy a billenési feszültség elvi értéke a következő értékhez minél közelebb essen:

$$U_{comp+/-} = \pm \left(4V + 4V \frac{\text{születésed napja hónapján belül}}{31} \right).$$

Az alábbi ábrán látható a javasolt kapcsolási rajz. A tápfeszültséget a telep szimbólum szolgáltatja. Az átláthatóság érdekében a Vcc és Vee tápfeszültség bekötése esetén

alkalmazott láthatatlan átkötéseket használunk (↯: Jumper szimbólum a Basic alkatrész készletben). Mérési eredményeket a ↯ jelzéssel lehet megjeleníteni (Voltage Pin szimbólum a Meters alkatrész készletben)

A megépített hiszterézises komparátor:



A feladat kiírás szerint R9 értéke fixen 10 kΩ, a fenti képletből kapott komparálási feszültségek:

$$U_{comp+} = + \left(4V + 4V * \frac{27}{31} \right) = 7.4839 V$$

$$U_{comp-} = - \left(4V + 4V * \frac{27}{31} \right) = -7.4839 V$$

Ezek és az elméleti összefoglalóban található képletek alapján kiszámítható és az E12-es sorozatból kiválasztható a hiányzó R8 ellenállás:

$$U_{comp-} = - \frac{R_8}{R_9} V_{cc} \rightarrow R_8 = - \left(R_9 * \frac{U_{comp-}}{V_{cc}} \right) = 4.9893 k\Omega \rightarrow 4.7 k\Omega$$

- 3.2. Számítsa ki a komparálási feszültség szinteket a felhasznált ellenállásértékek alapján! Mérje meg a komparátor transzferkarakteristikáját, és hasonlítsa össze a méréssel kapott karakterisztika jellegzetes pontjait a számított értékekkel!

Az így kapott komparálási feszültségek:

$$U_{\text{comp}+} = \frac{R_8}{R_9} * V_{\text{ee}} = \frac{4.7 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} * 15 \text{ V} = 7.05 \text{ V}$$

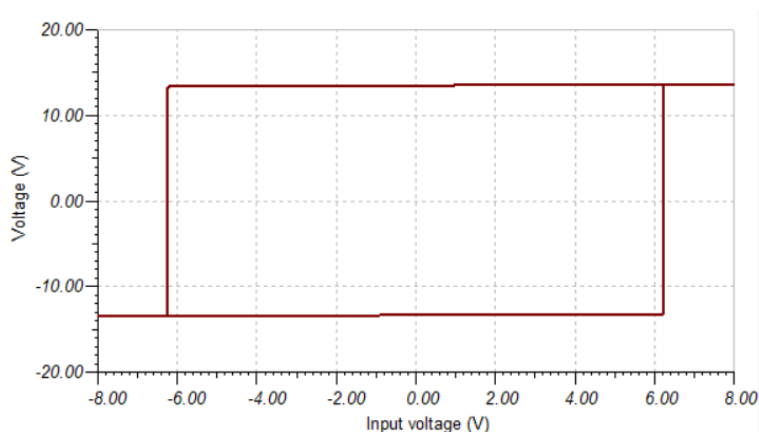
$$U_{\text{comp}-} = -\frac{R_8}{R_9} * V_{\text{cc}} = -\frac{4.7 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} * 15 \text{ V} = -7.05 \text{ V}$$

Az eltérés ~ 5.79 %.

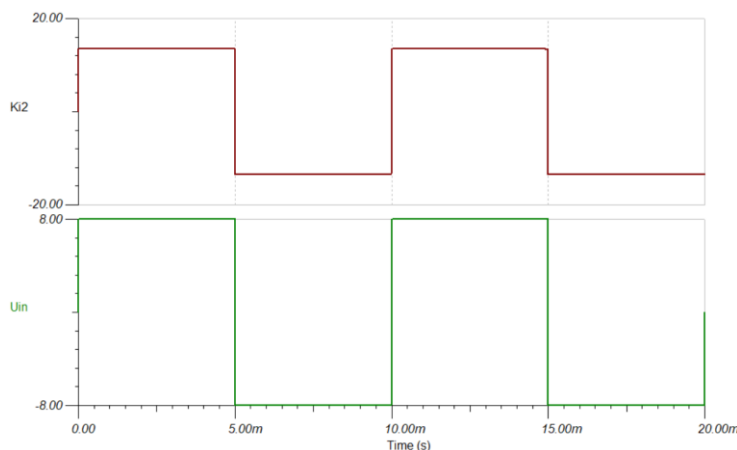
A transzfer karakterisztikát a Analysis → DC analysis → DC transfer characteristic menüpontban lehet kirajzolni (hisztérézis mód bekapcsolva). A valós méréshez jobban hasonlít, amennyiben Analysis → Transient... menüpontban található tranziens analízissel dolgozunk. Ehhez a jelgenerátor tulajdonságait be kell állítani (hullámforma, amplitúdó, frekvencia). Vizsgálja meg és vesse össze mindkét eredményt!

Tipp: a hullámformákat megjelenítő ablak View → Separate curves menüjével a hullámformák különválaszthatók, illetve View → Show/Hide curves menüpontot választva egyes görbék megjelenítése ki és bekapcsolható.

A DC tranfszfer karakterisztika mérési eredménye:

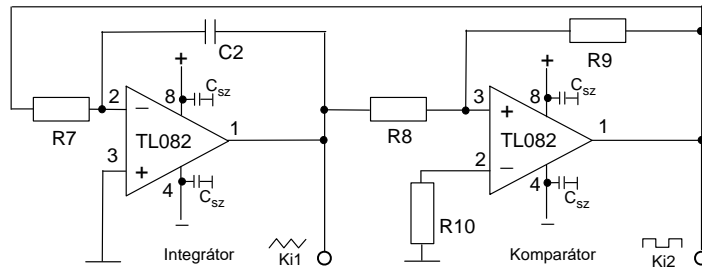


A tranziens vizsgálathoz 8V amplitúdójú négyszögjelet állítottam be 0 V DC offset-tel, 20 msec-ig futtatva ezt kaptam:



Jól látszik a helyes, komparátoros működés.

4. Hullámforma-generátor mérése



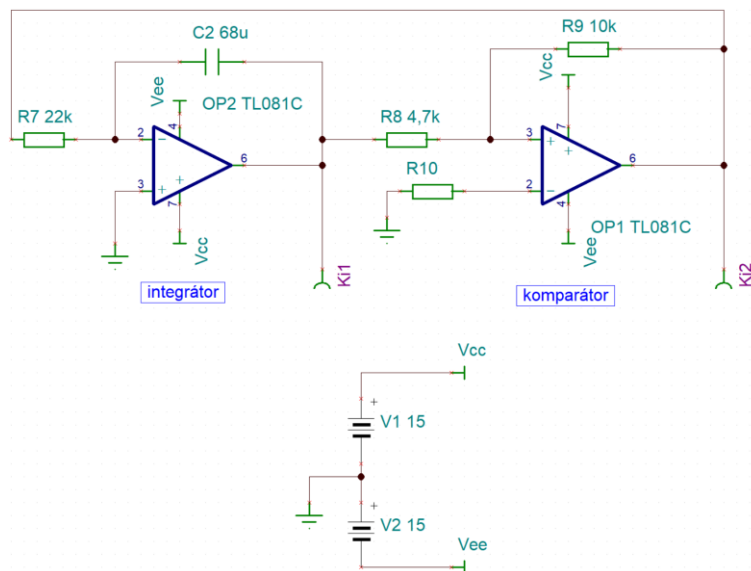
3. ábra. Hullámforma-generátor kapcsolás

4.1. Fontolja meg, mit befolyásol a működésben a $\tau = R_7 \cdot C_2$ szorzat (időállandó)! Az időállandót válassza a következő módon:

$$\tau = 500 \text{ msec} + [2 * \text{kurzuskód} * \text{csoportkód}] \text{ msec}$$

(például a P13-52 kódhoz: $500 + 2 * 13 * 52 = 1852$ msec tartozik) Az R_7 és C_2 konkrét értékeit az [E6-os sorozatból](#) válassza meg úgy, hogy a kondenzátor $10\mu\text{F} \dots 100\mu\text{F}$ tartományban legyen, és a kiválasztott időállandót a legjobban közelítse! Ellenőrizze vissza a választott komponensek alapján adódó időállandót!

A megépített hullámforma-generátor kapcsolás:



A feladatkiírás szerint:

$$\tau = 500 \text{ ms} + (2 * 12 * 41) \text{ ms} = 1484 \text{ ms}$$

Az elméleti összefoglalóbaTMn található képletek és az E6 -os sorozat ismerete alapján meghatározható R_7 és C_2 értéke:

$$\begin{aligned} \tau &= 1484 \text{ ms} = R_7 C_2 \\ C_2 &= 68 \mu\text{F} \rightarrow R_7 = 22 \text{ k}\Omega \end{aligned}$$

Ellenőrzés:

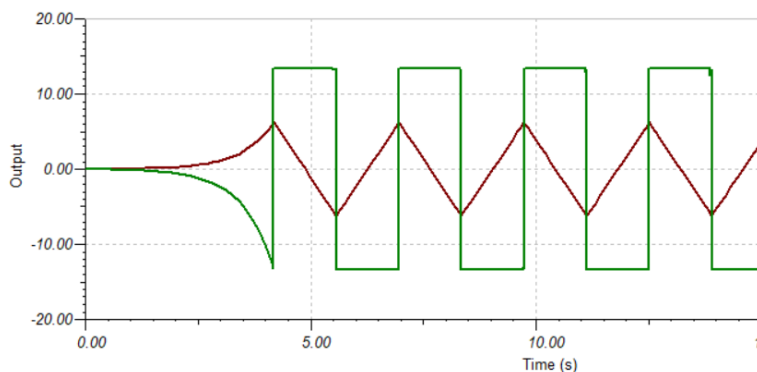
$$\tau = R_7 C_2 = 22 \text{ k}\Omega * 68 \mu\text{F} = 1496 \text{ ms}$$

Az eltérés $\sim 0.8 \%$.

- 4.2. Indítson egy tranziens analízist! FONTOS: a „Zero initial values” opciót legyen bejelölve a tranziens vizsgálatnál, egyébként az oszcilláció nem indul el!

Az analízis idejét megfelelően hosszúra kell választani ahhoz, hogy az oszcilláció látható legyen (több másodperc). A kapcsolás Ki1 kimenetén háromszögjel, a Ki2 kimenetén négyyszögjel jelenik meg, ha a tervezés és az építés hibátlan volt. A két kimeneti jel frekvenciája pontosan megegyezik, a fenti elemértékekből előre számolható, utólag pedig mérhető.

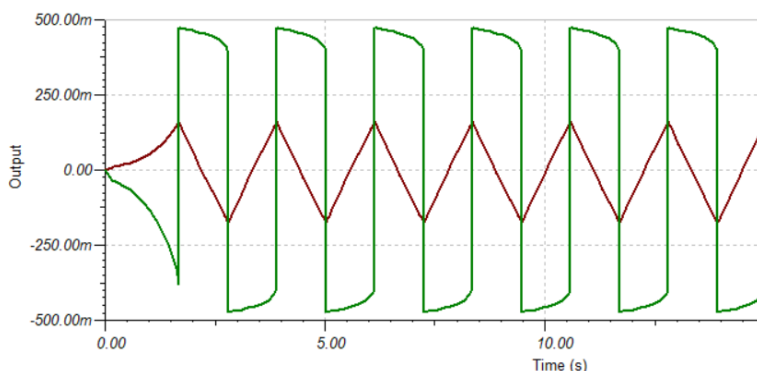
A tranziens vizsgálat eredménye 15 másodpercig futtatva:



Az elvártaknak megfelelően, oszcillációt tapasztalunk, az integrátor kimenetén egy háromszögjel, a megépített hullámforma generátor kimenetén pedig egy 15V amplitúdójú négyyszögjel kapunk.

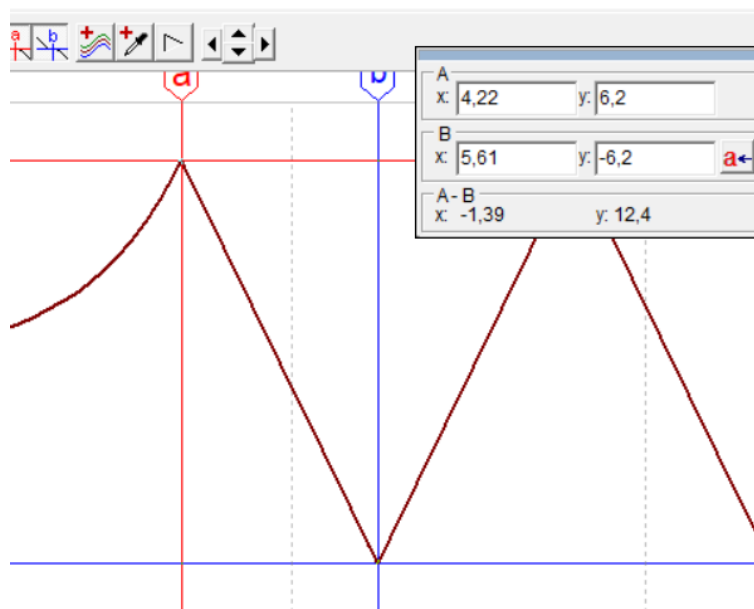
A komparálási feszültség (7.05 V) alatti V_{cc} és V_{ee} feszültséggel már hibás működést tapasztalunk, a kimeneti négyyszögjel elkezd torzulni:

($V_{cc} = 2\text{ V}$)



- 4.3. Emelje be a jegyzőkönyvbe a kapcsolás jellemző jelalakjait és mért paramétereit! Ellenőrizze le, hogy a az integrátor kimenetén mérhető háromszög jel meredeksége mennyire egyezik az elvi értékkel, illetve a komparátor billenési feszültségei mennyire egyeznek meg az előző pontban mért és számított értékekkel!

Az integrátor kimenetén +/- 6.2 V-os amplitúdójú háromszögjelet találunk, egy le/felfutás között 1.4 másodperc telik el:



Az integrátor kimenetén t_0 pillanattól egy $\frac{U_{in}}{R_7 C_2}$ meredekségű egyenest szeretnénk kapni. Az elvi számítás:

$$m = \frac{\Delta T}{R_7 C_2} = \frac{1.4 \text{ sec}}{22 \text{ kOhm} * 68 \text{ }\mu\text{F}} = \pm 0.9358$$

A valóságos iránytangens meghatározásához az egyenes egyenletét vettem alapul:

$$y - y_0 = m(x - x_0) \rightarrow m = \frac{y - y_0}{x - x_0} * \frac{1}{U_{in}} = \frac{6.2 - (-6.2)}{\pm(4.22 - 5.61)} * \frac{1}{U_{in}} = \pm 0.5947$$