

Elektronics II. laboratórium

Impulzustechnikai áramkörök / Multivibrátorok

2025

Az impulzustechnikai áramkörökben a tranzisztorok kapcsoló üzemmódban működnek. A kapcsoló megszakított állapotát a lezárt üzemmódú tranzisztor valósítja meg, ahol mindkét PN-átmenet záró feszültséget kap. A lezárt tranzisztorokon csak igen csekély visszaram (szivárgási áram) folyik át, ami néhány tíz nA nagyságrendű.

A kapcsoló bekapcsolt állapotát a telítésben üzemelő tranzisztor reprezentálja. A telítésben működő tranzisztor kollektor-emitter feszültsége ideális esetben nulla, a valóságban néhány század, esetleg tized V.

Az impulzustechnikai áramkörök számára speciális technológiai megoldásokkal gyártott diódákat és tranzisztorokat alkalmaznak, amelyek záróárama és telítési feszültsége minimális. Használatosak a bipoláris tranzisztorok és a MOSFET-ek is. Egyes áramkörökben az egyik, másokban a másik használata lehet előnyösebb, az alkalmazási területtől függően is. Jelen mérésben bipoláris tranzisztort használunk. Ez jobban ellenáll a statikus kisüléseknek és fordított feszültségeknek, mint a MOSFET (a nagyobb bázisáram és a nagyobb kollektor-emitter ellenállás pedig most nem számít).

1. Astabil Multivibrátor (AMV)

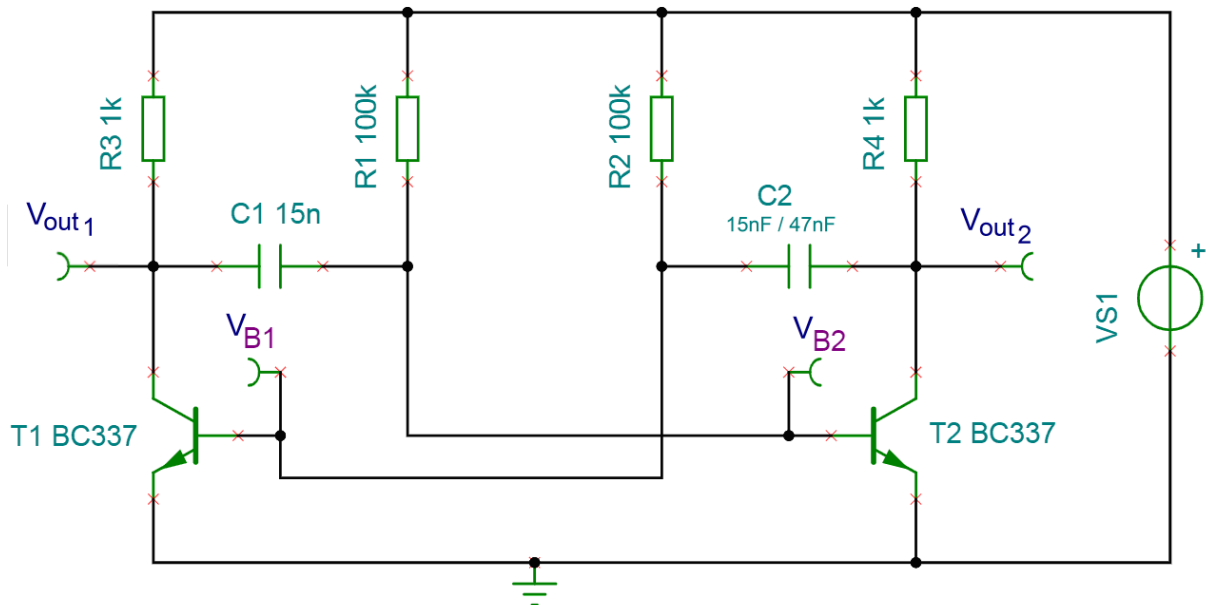
Astabil multivibrátornak¹ nevezzük az olyan áramkört, amelynek nincs stabil állapota, ezért kimenete két állapot (általában közel nulla volt és közel tápfeszültség) között változik az időzítő elemek által meghatározott frekvenciával. Az astabil multivibrátor tehát négyszögjel-oszcillátorként működik. Az áramkör a tápfeszültség bekapcsolását követően azonnal szabadon oszcillál. Az AMV az ún. relaxációs oszcillátorok kategóriájába tartozik.

Az áramkör kapcsolását az 1. ábra szemlélteti. A két kimeneten ellenfázisú jelek lépnek fel, és a jelamplitúdó közelítőleg a tápfeszültséggel egyezik meg.

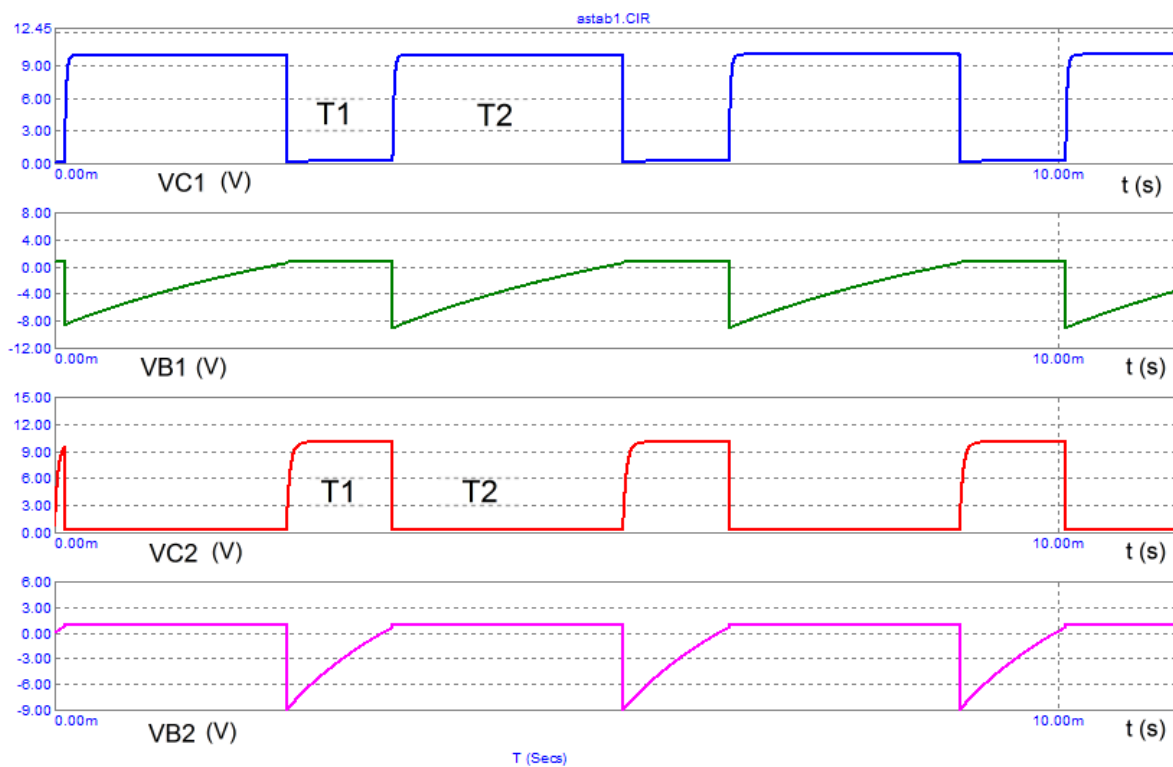
Bekapcsoláskor az egyik tranzisztor (nem tudjuk, melyik) hamarabb fog nyitott állapotba kerülni, mint a másik (pl. mert a karakterisztika kissé különbözik, és kisebb a nyitófeszültsége). Ekkor az a tranzisztor lehúzza a kollektorát közel nullára, ezzel a másik tranzisztor bázisát is lehúzza, amely így kikapcsol. A kollektorokon lévő jel gyorsan felfut, mert az R_3C_1 és az R_4C_2 időállandók kicsik. Közben viszont az egyik kondenzátor a nagyobb ellenálláson keresztül töltődik, és amikor eléri a 0,7 voltot, bekapcsolja az addig kikapcsolt tranzisztort és a kapcsolás átbillen. Az R_1C_1 és R_2C_2 időállandók nagyok, ezek határozzák meg a periódusidőket. A váltáskor a bázisok potenciálja lemegy negatívba, mert a kondenzátor előtte közel tápfeszültségre volt töltve, így amikor a tranzisztor lehúzza a kollektort nullára, a kondenzátor másik fele közel mínusz tápra ugrik le.

Szimulációban nem biztos, hogy az ilyen jellegű áramkörök automatikusan rezegni kezdenek, mert a szimulált tranzisztorok karakterisztikája egyforma. Ilyenkor hasznos lehet egy impulzussal beindítani az egyik bázist, vagy aszimmetriát vinni az áramkörbe.

¹ A multivibrátor kifejezés nagyon régi, az elektronika hőskorából ered, amikor négyszögjeleket még nem sűrűn használtak. A négyszögjelet úgy tekintették, mint egy felharmonikusokkal sűrűn megtűzdelt jelet, innen a multi-rész, a vibrátor meg a berezgésre utal.



1. Astabil multivibrátor



2. Az AMV jelalakjai.²

A T_1 és T_2 időket mérjük, ebből számolhatjuk a periódusidőt és frekvenciát.
A C_2 kondenzátort két érték közül választhatjuk ki *jumper* segítségével.

² Az ábrán VB2 nulláról indul és VC2 egy rövidebb impulzussal. Ez a kondenzátorok kezdeti üres állapota okozza. Oszilloszkópon nézve ez a tranzienst gyorsan eltűnik, észre se vesszük. Azt se tudhatjuk, hogy melyik tranzisztor kapcsol be először, és amúgy se látjuk az elejét, így mndegy, hol kezdjük a jelalak rajzolását.

$$T = T_1 + T_2$$

$$f = \frac{1}{T}$$

$$T_1 \approx 0,7 \cdot R_1 \cdot C_1$$

$$T_2 \approx 0,7 \cdot R_2 \cdot C_2$$

$$d_1 = \frac{T_2}{T_1 + T_2}$$

$$d_2 = \frac{T_1}{T_1 + T_2}$$

Számoljuk ki a kitöltési tényezőket is (d_1 , d_2) a két kimenetre. (A kitöltési tényezőben a számlálóban a "logikai 1"-ben lévő impulzus ideje van.)

Elvileg a helyes működés feltétele:

$$R_1 \approx 0,8 \cdot B_{\min} \cdot R_3$$

$$R_2 \approx 0,8 \cdot B_{\min} \cdot R_4$$

ahol B_{\min} a tranzisztor bétája telítésben (amikor is ez a béta elég kicsi lehet, akár néhány 10 is).

A felfutási időt (rise time, t_{ri}) a jel teljes feszültségtartománya 10% és 90%-ának elérési időpontjai között mérjük (azért, hogy az ellaposodott résznél ne legyen nagy mérési hibánk, vagy az esetleges túllövéseknél). Ennek számolt értéke közelítően $t_{ri} \approx 2,2 \cdot R_3 C_1$

A C_2 kondenzátort egy jumper segítségével választhatjuk ki (15nF és 47nF közül).

Mérési feladatok

1.1 Először használjuk a $C_2=15\text{nF}$ kondenzátort (a jumperrel állítsuk be). Adjunk +10V tápfeszültséget az áramkörnek. Kössük a két kimenetet az oszcilloszkópra. (A mérőhelyen található laminált papíron van a bekötési rajz, a C_1 és C_2 itt a két kollektorra utal, nem a kondenzátorokra, tehát ezek lesznek a kimenetek!)

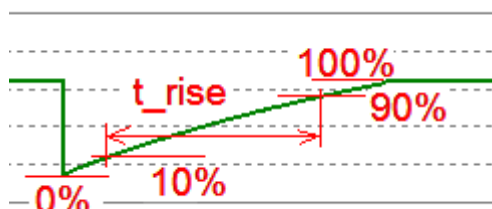
Az astabil kapcsolás oszcillátorként működik, csak tápfeszültség kell neki, nincs szüksége függvénygenerátoros bemenetre!

Rajzoljuk le a jelalakokat! Mérjük meg a T_1 , T_2 és T időket, majd számoljuk ki a kitöltési tényezőket. A mért értékeket vessük össze a számítottakkal!

1.2 Mérjük meg a kimeneti jel (kollektor) illetve a bázispotenciál felfutási idejét az oszcilloszkóp *cursor* üzemmódjával!

1.3 Jelenítsük meg az oszcilloszkóp egyik csatornáján az egyik tranzisztor kollektorát és a másik csatornán ugyanazon tranzisztor bázisát (ügyeljünk rá, hogy a szkóp DC módban legyen). Mérjük meg mindkét jel minimális és maximális feszültségeit (a földhöz képest).

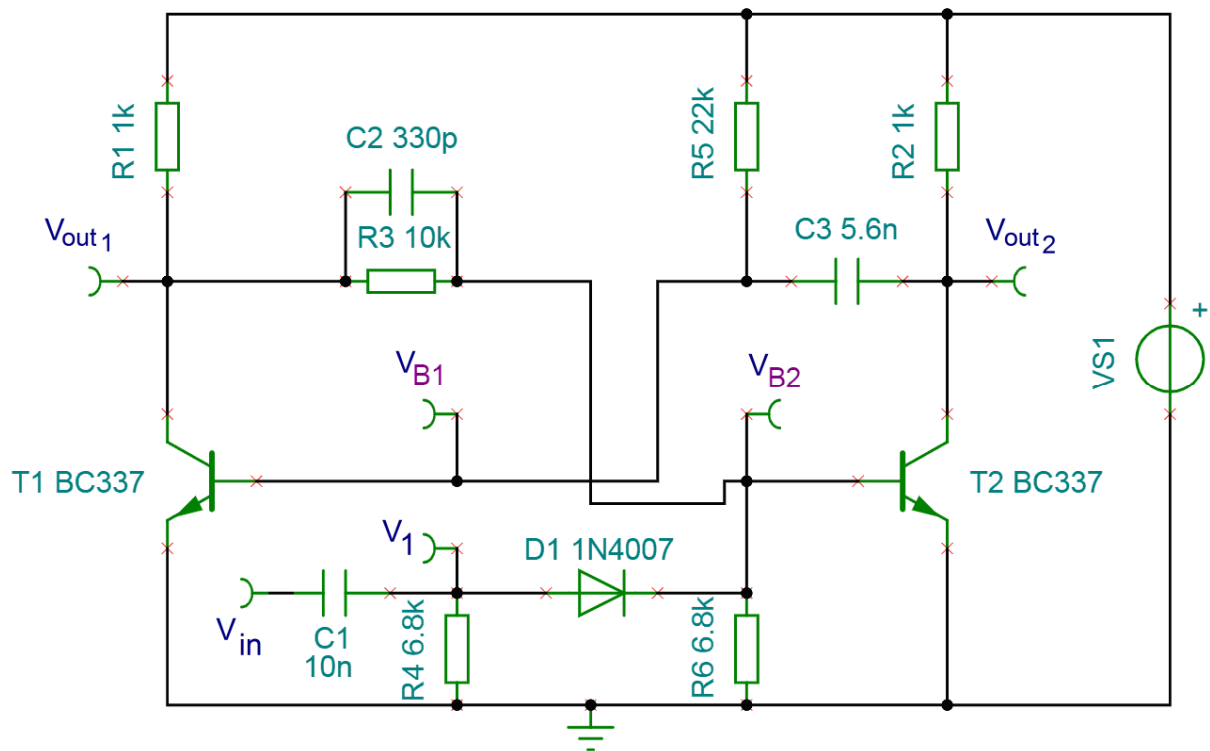
1.4 Cseréljük ki C_2 kondenzátort 47nF-ra (jumperrel). A kitöltési tényező változni fog, mérjük meg a megváltozott időtartamokat!



3. Felfutási idő mérése

2. Monostabil Multivibrátor (MMV)

A monostabil áramkörnek csak egy stabil állapota van, tehát ez nem oszcillál (így igazából nem is szabadna multivibrátornak hívni). Ha a bemenetére küldünk egy impulzust, a kimenet egy rövid időre a másik állapotba megy, majd visszaáll a stabil állapotba. Ezt az átmeneti időt a belső időállandó (R_5C_3) határozza meg, így független a bemeneti jel alakjától, időzítésétől. Ez az áramkör jelformálásra használható, a bemenetnél rövidebb vagy hosszabb és állandó szélességű impulzust ad ki, illetve ha a bemenet már torzult, csökkent, a kimenet nagyobb feszültségű négyzetes jel lehet.



4. Monostabil multivibrátor

A C_3 kondenzátornál két érték közül választhatunk *jumper* segítségével.

Bemenő impulzus nélkül a T_1 tranzisztor bekapcsolt, a T_2 kikapcsolt állapotban lesz, ez a stabil állapot. Bemenő pozitív impulzus hatására T_2 kinyit, lehúzza a kollektorát, a kondenzátoron keresztül lehúzza és kikapcsolja T_1 -et. C_3 kondenzátor R_5 -ön keresztül feltöltődik, amíg U_{B1} el nem éri a nyitófeszültséget, ekkor az áramkör visszabilen az alapállapotba.

A bemenetet kondenzátor választja le. Ez azért kell, mert így a bemenetre kötött forrásnak csak az impulzusszerű változása jut át a bázisra, de amikor a bemenet nullában van, nem fogja le a bázist, így azt a továbbiakban az áramkör magának tudja beállítani. A bemeneti C-R tag közelítően deriválja a bemenő jelet, a felfutó élből egy pozitív, a lefutó élből egy negatív impulzus lesz. A dióda a negatív impulzust nem engedi át. Így a kapcsolás érzéketlen lesz a bemenő impulzus szélességére. (Ha a dióda kimenetét a másik bázisra akarjuk kötni, akkor a diódát fordítva tegyük be, hiszen az a tranzisztor alából nyitva van.)

Közelítő számolások:

$$T_1 \approx 0,7R_5C_3$$

$$t_{ri1} \approx 2,2R_1C_2$$

$$t_{ri2} \approx 2,2R_2C_3$$

A lefutási idők kellően kicsik, így azokat nem mérjük.

Mérési feladatok:

2.1 Kössük be a $C_3=5,6nF$ kondenzátort (jumper) és adjunk +5V tápfeszültséget az áramkörnek. Bemenet még nem kell. Mérjük meg T_1 és T_2 bázis és kollektor potenciáljait (U_{B1} , U_{B2} , U_{C1} , U_{C2}).

2.2 Kössünk a bemenetre 2,5kHz-es négyszögjelet. Használjuk a Rigol függvénygenerátor Square vagy Pulse funkcióját. Állítsuk be az amplitúdót 0..5V értékre (válasszuk az amp low és hi funkciókat a minimum és maximum értékek beállítására!) Tegyük ezt az oszcilloszkóp egyes csatornájára is. A többi csatornára kössük a két kimenetet. Rajzoljuk le a jelalakokat! Mérjük meg a kimenő jel időtartamát.

A függvénygenerátoron állítsuk el a bemenő impulzus szélességét (width vagy duty cycle funkcióval) és vizsgáljuk meg, hogy történik-e valami a kimenettel!

2.3 Vizsgáljuk meg a bemenő jel és a differenciált jel (V1) viszonyát az oszcilloszkópon. Rajzoljuk le a jelalakokat.

3. Schmitt-trigger (ST) áramkör

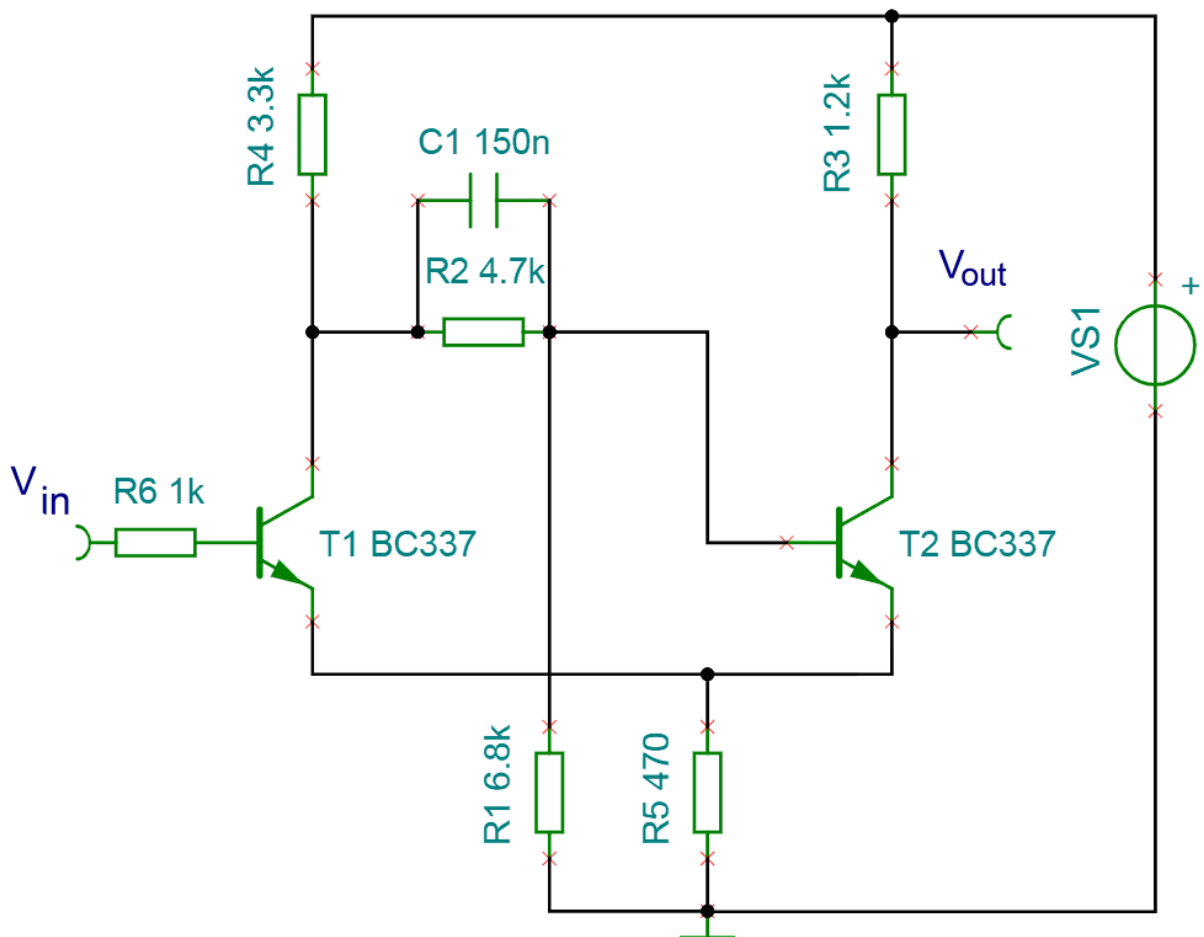
A Schmitt-trigger alatt általánosságban a hiszterézises komparátorokat értjük. (Az eredeti ST egy két vákuumtriódából álló kapcsolás volt.) Az ilyen kapcsolásokban a kimenet a bemenet egyik értékénél billen felfutó irányba, és egy másik értéknél lefutó irányba. Ez hasznos lehet a bemeneten lévő kisebb zajok, hullámzások hatásának kiküszöbölésére (pl. gondoljunk egy megvilágításmérős lámpakapcsolóra vagy termosztátra, nem akarjuk, hogy ezek a küszöbérték körül oszcilláló bemenet esetén folyamatosan ki-be kapcsolgassanak).

Ha U_1 és U_2 a két billenési szint, akkor U_H a hiszterézis feszültség:

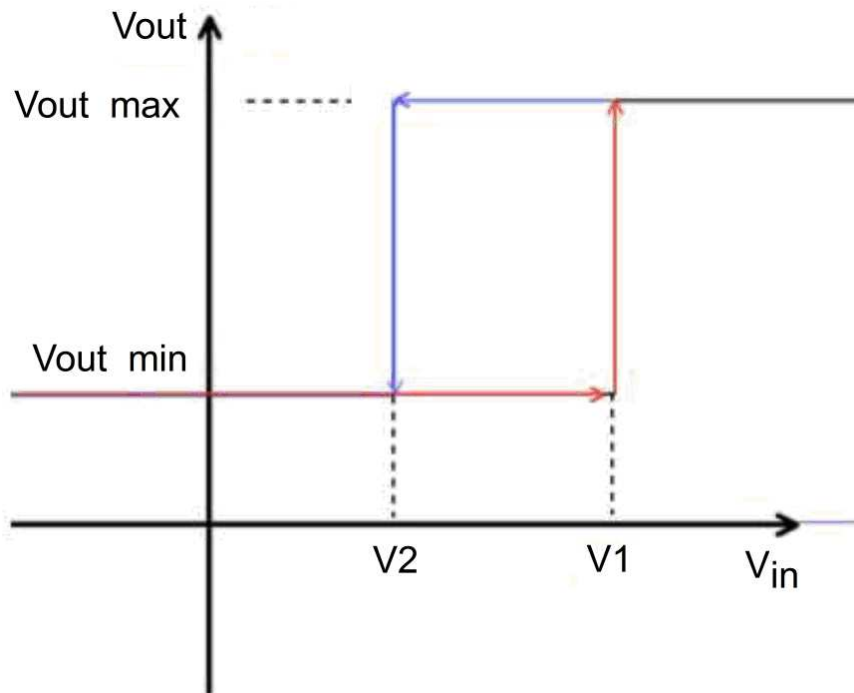
$$U_H = |U_1 - U_2|$$

A hiszterézis tartományon belüli zajokra érzéketlen lesz az áramkör. Ez kapcsolók pergésmentesítésére is használható. Másik alkalmazása nem négyszög jelalakok négyszögjelre formázására.

A jelen áramkör transzfer karakterisztikája az első síknegyedbe fog esni (tisztán pozitív feszültségek), szemben az Elektronika I-ből megismert opampos kapcsolással.



5. Schmitt-trigger



6. Átviteli (transzfer) karakterisztika

Az átviteli függvényt megkaphatjuk, hogy a bemenetet végigpásztázzuk a teljes tartományon mindkét irányban. A gyakorlatban ehhez pl háromszögjelet használhatunk bemenetként és XY üzemmódot az oszcilloszkópon.

3.1.1 Adjunk +15V tápfeszültséget az áramkörnek. C_1 kondenzátort még ne kössük be. A bemenetet tegyük földre. Mérjük meg a tranzisztorok bázis, emitter és kollektor potenciáljait. Ezután a bemenetre a föld helyett kössünk +15V-ot (a tápfeszültségről leágazva) és ismét mérjük meg a munkaponti értékeket. Hasonlítsuk össze a számított értékekkel.

3.1.2 Vegyük le a bemenetről a tápot (de ne az áramkör többi részéről). Kössünk 2kHz szinuszjelet a bemenetre. Az amplitúdót állítsuk be (kicsiről növelve) úgy, hogy a kimeneten közel négyszögjel jelenjen meg. Mérjük meg, hogy mekkora a minimális bemenő amplitúdó, aminél a kimeneti négyszögjel megjelenik. Mérjük meg a kimenet feszültségeit és időzítését. Rajzoljuk le a jelalakokat.

3.1.3 Állítsunk be $f = 200\text{kHz}$ bemenő jelet. Az amplitúdó legyen akkora, hogy a kimenet még éppen ne jelenjen meg. Ezután tegyük be a C_1 kondenzátort a körbe (jumperrel). Rajzoljuk le a jelalakokat (ube, uki).

3.1.4 Állítsunk be 2kHz szinusz vagy háromszögjel bemenetet, és ezt kössük a szkóp 1-es csatornájára is. A kimenet legyen a 2-es csatorna. Állítsunk be XY módot az oszcilloszkópon is (digit szkópon a Horizontal menüben - a szkóp előfordul, hogy elállítja ilyenkor az időalapot, "split" módban ellenőrizni tudjuk, hogy legalább egy periódus látszódjon). Megfelelően beállítva megjelenik a transzfer karakterisztika. Rajzoljuk le. Mérjük le rajta a fontosabb feszültségeket.

Beugró kérdések:

1. Mire használható egy monostabil áramkör?
2. Rajz és képlet segítségével magyarázza el a kitöltési tényezőt.
3. Mi a lényegi különbség az astabil és monostabil multivibrátor között?
4. Rajz segítségével mutassa be a felfutási idő fogalmát és mérését.
5. Rajzolja le egy Schmitt-trigger transzfer karakterisztikáját.
6. Mire használható egy Schmitt-trigger?
7. Rajzolja le egy astabil multivibrátor V_{C1} és V_{B1} jelalakjait.