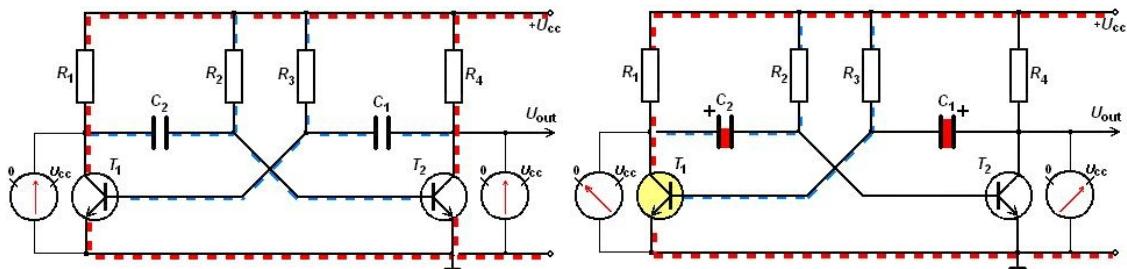


### Metodický návod:

1. Spuštění souborem „a.3.3\_Astabilní obvod“.  
Obvod není připojen ke zdroji napětí – neprocházejí jím proudy. Nastaveno  $R_2 = 300k\Omega$  ,  
 $R_3 = 200k\Omega$  ,  $C_1 = C_2 = 50\mu F$  .
2. Stisknutí tlačítka **Zpomalení** a **START** – připojení napájecího napětí.  
Zpomaleně probíhá diferenciace bázových proudů a překlápění obvodu do kvazistabilního stavu. Protože je nastaveno  $R_2 > R_3$  , je první kvazistabilní stav:  $T_1$  otevřen- $T_2$  uzavřen. Pak dochází k pravidelnému překlápění obvodu.
3. Stisknutí tlačítka **STOP** .  
Tlačítko slouží k opakovanému provedení bodu 2. Je možné ho stisknout kdykoli v průběhu programu. Po jeho stisknutí dojde k odpojení napájecího napětí. Pak se vracíme k bodu 2. Pokud jsou procesy po připojení napětí vysvětleny, přecházíme k bodu 4.
4. Nastavení:  $R_2 = 300k\Omega$  ,  $C_2 = 100\mu F$  ,  $R_3 = 200k\Omega$  ,  $C_1 = 30\mu F$  . Stisknutí **START** .  
Tyto hodnoty odpovídají délkám trvání kvazistabilních stavů 20,8 s a 4,2 s.
5. Po několika cyklech stisknutí tlačítka **STOP** .  
Dochází k odpojení napájecího napětí. Obvodem přestávají téci proudy, průběhy napětí však zůstávají zobrazeny. Z časové osy je možné odečíst doby trvání kvazistabilních stavů.
6. Nastavování libovolných hodnot  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $C_1$  a  $C_2$ .

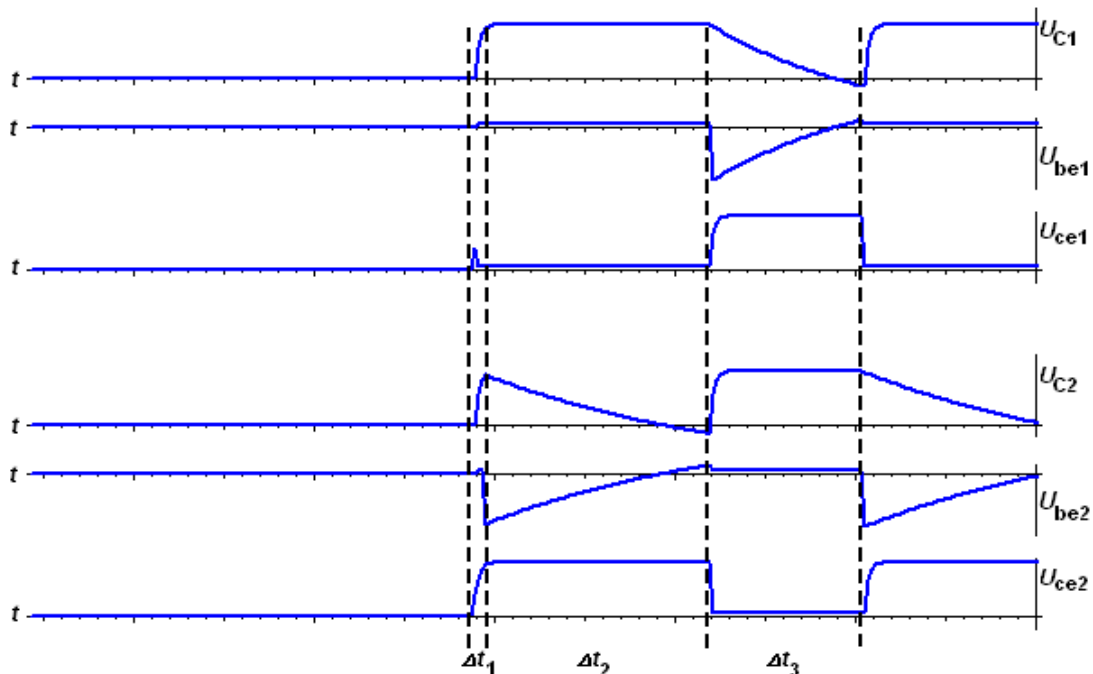
### Výklad:

Při zařazení do výuky je třeba nejprve demonstrovat děje probíhající po připojení zdroje napětí (tlačítko **START**). Předpokládáme, že rezistory  $R_1$  a  $R_4$  mají stejnou hodnotu odporu. Který z tranzistorů přejde do saturovaného stavu proto závisí pouze na hodnotách odporů  $R_2$  a  $R_3$ . Zpočátku se začínají otevírat oba tranzistory. Pokud je nastaveno  $R_2 > R_3$ , jsou bázové proudy  $I_{b1} > I_{b2}$  a tranzistor  $T_1$  se otevírá rychleji než  $T_2$ . Pro kolektorová napětí platí:  $U_{ce1} < U_{ce2}$  (obr. 14.3). Protože nabíjecí proudy kondenzátorů tvoří převážnou část bázových proudů, je kolektorové napětí  $U_{ce1}$  určující pro bázový proud tranzistoru  $T_2$  a  $U_{ce2}$  určuje bázový proud tranzistoru  $T_1$ . Proto dochází k ještě většímu rozlišení  $U_{ce1} < U_{ce2}$ . Obvod se tak rychle dostává do stavu:  $T_1$  otevřen,  $T_2$  uzavřen. Pokud je nastaveno  $R_2 < R_3$ , nastává opačná situace:  $T_1$  uzavřen,  $T_2$  otevřen. Při hodnotách  $R_2 = R_3$  jsou zpočátku bázové proudy vyrovnány, tranzistor  $T_2$  má však nepatrně větší proudový zesilovací činitel, proto nastává opět situace:  $T_1$  uzavřen,  $T_2$  otevřen.



Obr. 14.3 Diferenciace bázových proudů po připojení zdroje napětí

Tyto procesy probíhají velmi rychle, proto je na ovládacím panelu k dispozici tlačítko **Zpomalení**. Pokud je stisknuté, probíhají veškeré děje třikrát pomaleji.



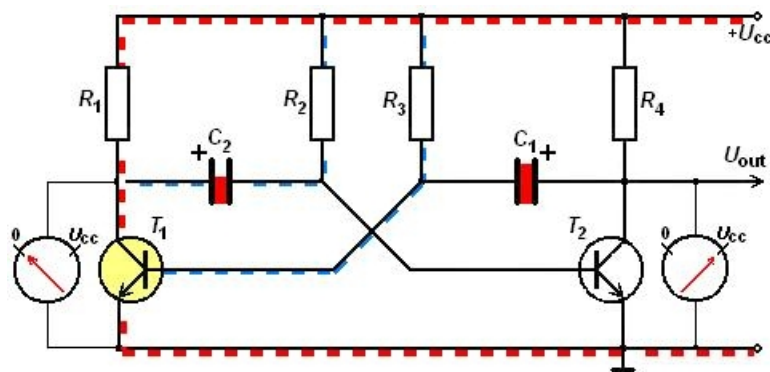
Obr. 14.4 Průběhy napětí:  $\Delta t_1$  – připojení zdroje,  $\Delta t_2$  – 1. kvazistabilní stav,

$\Delta t_3$  – 2. kvazistabilní stav

Na obr. 14.4 jsou znázorněny průběhy napětí v důležitých částech obvodu. V tomto případě bylo zvoleno  $R_2 > R_3$ .

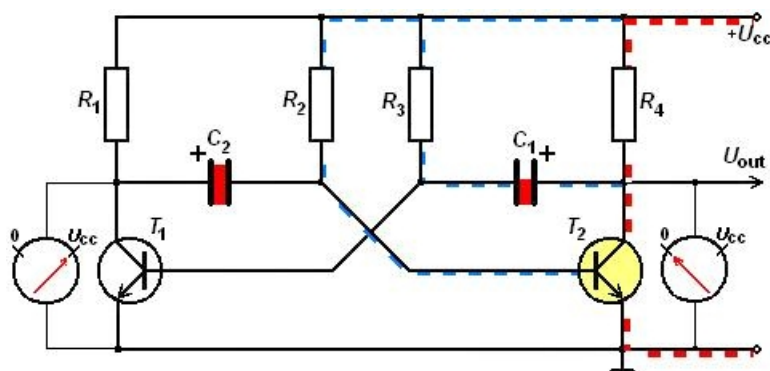
První okamžiky po připojení napájecího napětí jsou označeny  $\Delta t_1$ . Oba kondenzátory se ihned začínají rychle nabíjet,  $U_{C1}$  a  $U_{C2}$  roste. Zpočátku se otevírají oba tranzistory, kolektorová napětí  $U_{ce1}$  i  $U_{ce2}$  nabývají nenulových hodnot. Tranzistor  $T_1$  se však otevírá rychleji, proto napětí  $U_{ce1}$  rychle klesá téměř na nulu (saturační napětí), zatímco tranzistor  $T_2$  se rychle uzavírá a napětí  $U_{ce2}$  dosáhne téměř hodnoty napájecího napětí  $U_{cc}$ . Kondenzátor  $C_2$  je nabit na poměrně velké napětí. Jeho kladný pól je postupně uzemněn otevřeným tranzistorem  $T_1$ , proto na konci  $\Delta t_1$  nabývá napětí  $U_{be2}$  na bázi  $T_2$  záporné hodnoty, odpovídající napětí  $U_{C2}$ . Je tak zajištěno uzavření tranzistoru  $T_2$ . Napětí  $U_{be1}$  odpovídá otevřenému tranzistoru  $T_1$ .

Obvod se dostal do prvního kvazistabilního stavu, který je označen  $\Delta t_2$ . Kondenzátor  $C_1$  se na počátku tohoto intervalu ještě dobije na hodnotu  $U_{cc}$ . Hodnoty  $U_{be1}$  a  $U_{ce1}$  odpovídají otevřenému tranzistoru  $T_1$ . Tranzistor  $T_2$  je uzavřen ( $U_{ce2} = U_{cc}$ ), protože se na jeho bázi nachází záporné napětí  $U_{be2}$ . Kondenzátor  $C_2$  se během tohoto intervalu vybíjí přes rezistor  $R_2$  a otevřený  $T_1$ . Jak klesá jeho napětí  $U_{C2}$ , snižuje se i záporné napětí  $U_{be2}$  na bázi  $T_2$  (obr. 14.5). Kondenzátor se vybije na 0 V a začne se nabíjet na opačnou polaritu. To už nabývá  $U_{be2}$  kladné hodnoty. Na konci intervalu  $\Delta t_2$  již dosahuje hodnoty dostatečné k otevření tranzistoru  $T_2$ . Jeho kolektorové napětí  $U_{ce2}$  skokově klesá na saturační hodnotu. Čímž se uzemní kladný pól kondenzátoru  $C_1$ . Napětí  $U_{be1}$  na bázi tranzistoru  $T_1$  proto klesne na hodnotu  $U_{cc}$  záporné polaritě a způsobí jeho uzavření.



Obr. 14.5 1. kvazistabilní stav

Obvod se nyní nachází v druhém kvazistabilním stavu, který je na obr. 14.4 označen jako  $\Delta t_3$ . Tento stav je symetricky převrácený stavu na počátku intervalu  $\Delta t_2$ . Budou proto analogicky probíhat stejné děje, pouze symetricky převrácené (obr. 14.6).



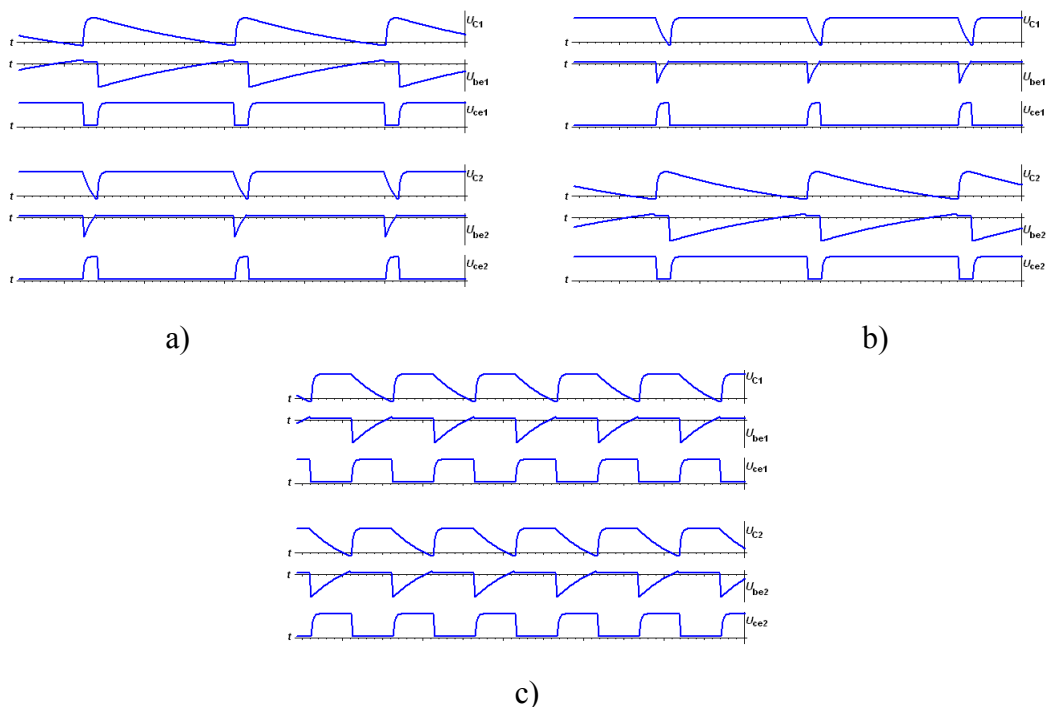
Obr. 14.6 2. kvazistabilní stav

Časy trvání kvazistabilních stavů závisí na volbě hodnot  $R_2$ ,  $R_3$ ,  $C_1$  a  $C_2$ . Model umožňuje změny těchto parametrů v rozsahu:  $R_2, R_3 = 100k\Omega$  až  $500k\Omega$ , a  $C_1, C_2 = 20\mu F$  až  $100\mu F$ . Lze tedy měnit dobu překlopení od 1,4 s do 34,7 s. Je třeba podotknout, že tato doba odpovídá vybití kondenzátoru na 0 V, skutečná doba kvazistabilního stavu je o něco delší, protože kondenzátor je třeba nabít ještě na 0,5 V opačné polaritě. Časové osy průběhů napětí jsou opatřeny stupnicí. Tlačítkem **STOP** lze zastavit činnost a snadno spočítat doby překlopení obvodu. Nejmenší dílek

znázorňuje 1 s. Pokud dojde ke změně některého parametru, činnost modelu se zastaví a je třeba jej znovu spustit tlačítkem **START**.

Na obr. 14.7 jsou vidět různé průběhy výstupního napětí ( $U_{ce2}$ ) v závislosti na nastavených hodnotách:

- a)  $R_2 = 100k\Omega$ ,  $C_2 = 20\mu F$ ,  $R_3 = 200k\Omega$ ,  $C_1 = 100\mu F$ ,  
což odpovídá dobám 1,4s a 13,9s.
- b)  $R_2 = 200k\Omega$ ,  $C_2 = 100\mu F$ ,  $R_3 = 100k\Omega$ ,  $C_1 = 20\mu F$ ,  
což odpovídá dobám 13,9s a 1,4s.
- c)  $R_2 = 200k\Omega$ ,  $C_2 = 30\mu F$ ,  $R_3 = 200k\Omega$ ,  $C_1 = 30\mu F$ ,  
což odpovídá dobám 4,2s a 4,2s.



Obr. 14.7 Průběhy napětí při různých parametrech