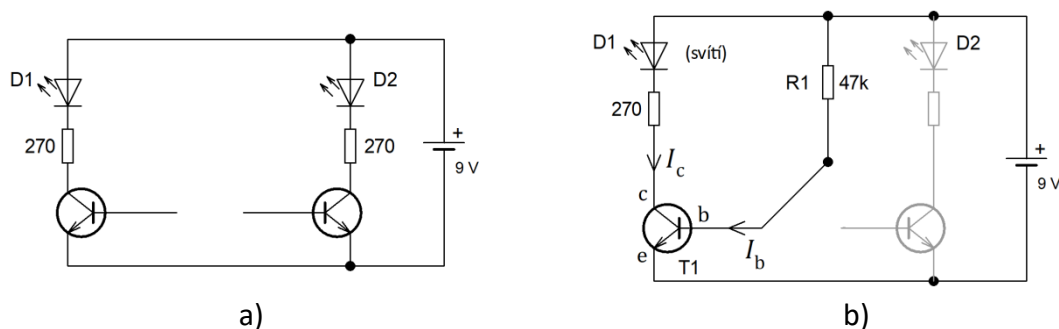


## Příloha 1<sup>1</sup>: Proč a jak multivibrátor funguje – badatelský přístup

Zkusme teď „vybádat“, jak multivibrátor funguje. Pokusy, které budeme popisovat, byste mohli dělat se zapojením, v němž by na začátku nebyly kondenzátory a rezistory spojené s bázemi, viz níže obr. 1.

### Tranzistor jako spínač: rozsvěcujeme LED

Při rozsvěcování a zhasínání LED fungují tranzistory jako spínače. Řízeny jsou proudem do bází. Takže když báze nejsou k ničemu připojeny, jak to ukazuje obr. 1a, tranzistory se chovají jako rozepnuté spínače a žádná LED nesvítí.



Obr. 1. a) Bez odporů do bází LED nesvítí  
b) Tranzistor T1 funguje jako sepnutý spínač

Když do báze tranzistoru T1 přivedeme proud (viz obr. 1b), tranzistor „sepne“, téměř jako bychom zkratovali kolektor c s emitorem e<sup>2</sup>, a svítivá dioda D1 svítí.

V situaci dle obr. 1b teče do báze T1 proud necelých 0,2 mA.<sup>3</sup> Použitý tranzistor BC547C má proudový zesilovací činitel zhruba 500<sup>4</sup>. To znamená, že kdyby byl kolektor tranzistoru připojen přímo k plus pólu baterie, procházel by mezi kolektorem a emitorem proud  $0,2 \text{ mA} \cdot 500 = 100 \text{ mA}$ . V našem zapojení je ale velikost proudu omezena odporem  $270 \Omega$ , takže činí jen asi 25 mA.<sup>5</sup> To je mnohem méně než výše uvedených 100 mA, takže tranzistor to „v pohodě zvládne“ a můžeme říci, že se opravdu chová jako sepnutý spínač.<sup>6</sup>

<sup>1</sup> Příloha k příspěvku Dvořák L.: *Multivibrátor*. In: Dílny Heuréky 2019. Sborník konference projektu Heuréka. Ed. V. Koudelková. Matfyzpress, Praha, 2020. (Na několika místech v této příloze odkazujeme na daný příspěvek jako na „hlavní příspěvek“ resp. „hlavní text“.)

<sup>2</sup> Ve skutečnosti to není úplný zkrat, mezi kolektorem a emitorem zůstává malé napětí, v našem případě asi 0,1 až 0,2 V. Také nemůžeme mezi kolektorem a emitorem „prohnat“ libovolně velký proud, viz následující odstavec textu.

<sup>3</sup> Na bázi b je napětí (vůči zápornému pólu baterie) asi 0,7 V, na rezistor R1 tedy zbývá asi 8,3 V; proud už lehce spočteme podle Ohmova zákona, vychází asi 0,18 mA.

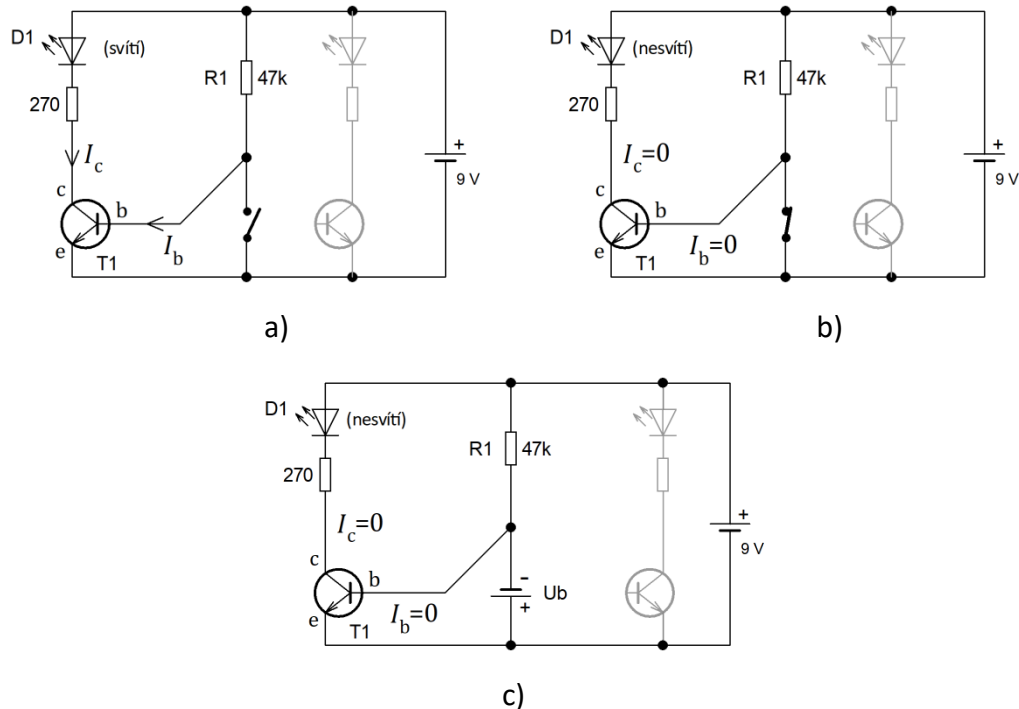
<sup>4</sup> Opravdu zhruba; podle katalogových údajů je jeho zesilovací činitel v rozmezí 420 až 800.

<sup>5</sup> Opět vypočteno z Ohmova zákona: na LED je napětí asi 2 V, na rezistor  $270 \Omega$  zbývá necelých 7 V ... vidíte, jak je rozbor funkce našeho multivibrátoru příležitostí k procvičení vztahů týkajících se elektrických obvodů?

<sup>6</sup> Kdyby byla v kolektorovém obvodu místo rezistoru a LED žárovka, která by potřebovala proud 300 mA, tranzistor už by takový proud „nesehnul“ a museli bychom volit menší hodnotu odporu R1, aby do báze tekla větší proud. (Navíc bychom museli užít jiný typ tranzistoru, např. BC337, protože typ BC547 má povolen maximální kolektorový proud jen 100 mA. Ale to už jsou opravdu „technikality“.)

### Tranzistor jako spínač: zhasínáme LED

Jak nyní LED zhasnout, i když je stále báze tranzistoru připojena k rezistoru R1? Snadno, prostě bázi spojíme s emitorem, jak to ukazuje obr. 2b.<sup>7</sup> Do báze T1 pak neteče žádný proud, takže proud neteče ani kolektorem, LED nesvítí. (T1 se mezi kolektorem a emitorem chová jako vypnutý vypínač.)



- Obr. 2. a) Stejná situace jako na obr. 1b – LED svítí  
 b) Báze tranzistoru T1 je spojena s emitorem => je na ní nulové napětí => => tranzistor T1 se chová jako rozepnutý spínač => LED nesvítí  
 c) Tranzistor T1 jako spínač lze rozepnout také přivedením záporného napětí na bázi => LED nesvítí

Stejně tak můžeme proud kolektorem T1 „vypnout“, když na bázi tranzistoru přivedeme záporné napětí, viz obr 2c.<sup>8 9</sup> Velikost napětí  $U_b$  může být několik voltů.<sup>10</sup>

Právě takovýmto způsobem budeme v našem obvodu LED zhasínat – ale napětí na bázi bude „obstarávat“ kondenzátor.

<sup>7</sup> Vyzkoušejte si, že to opravdu funguje! (Je dobré ověřit si to na skutečném zapojení, abychom „nebadali“ jen teoreticky.)

<sup>8</sup> Napětí na bázi je záporné vůči emitoru. Přechod báze-emitor je v tomto případě zapojen v závěrném směru, a proto jím neteče proud (podobně jako diodou zapojenou v závěrném směru).

<sup>9</sup> Pro přesnost (a pro uklidnění čtenářů, kteří do věci vidí trochu víc): Napětí  $U_b$  na bázi nemusí být záporné, ale může být i „trochu kladné“; stačí, když báze má oproti emitoru napětí menší než zhruba +0,5 V. Podívejte se například na „datasheet“ [1], konkrétně na obrázek Figure 2. Transfer Characteristic.

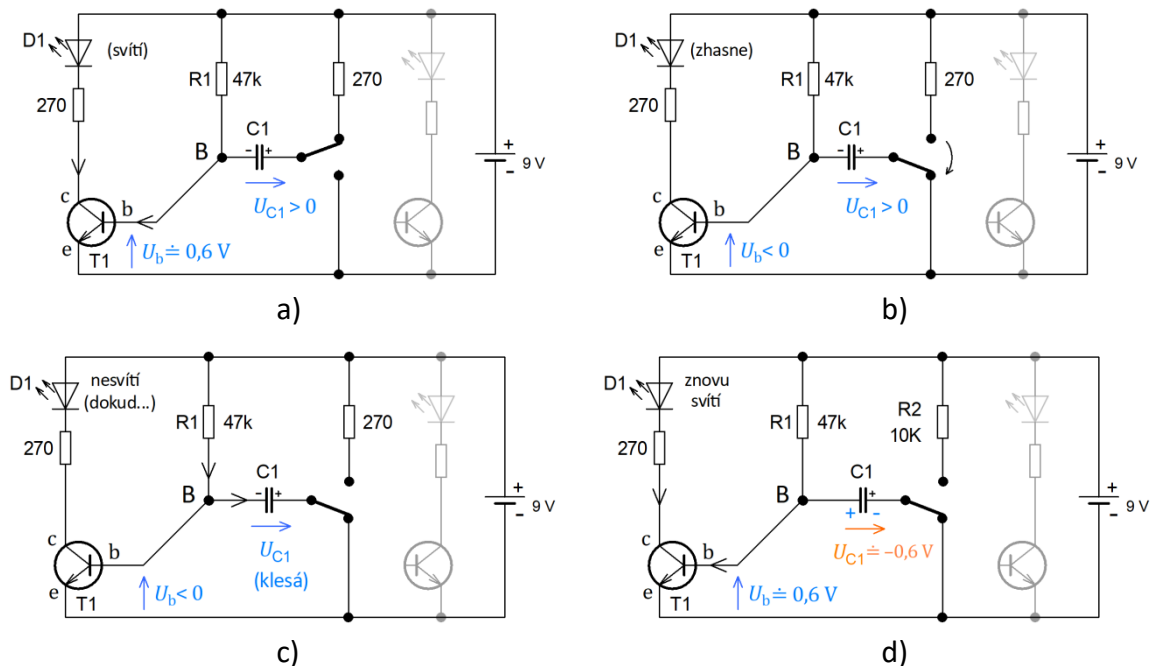
<sup>10</sup> Přechod báze-emitor nevydrží v závěrném směru příliš velké napětí, v [1] se uvádí maximální povolené napětí 6 V. K této problematice se ještě vrátíme, zatím to pro nás není podstatné.

### Zhasínáme LED, ale jen na chvíli

Pro zhasnutí LED teď budeme bázi T1 spojovat se záporným pólem ne přímo, ale přes kondenzátor C1. Co se bude dít, ukazuje obr. 3.

Vyděme ze situace, kdy je kondenzátor nabitý na téměř plné napětí baterie ( $U_{C1} \approx 8,4 \text{ V}$ , viz obr. 3a)<sup>11</sup>. Po přepnutí přepínače (obr. 3b) je „plus-pól“ C1<sup>12</sup> spojen se záporným pólem baterie, „mínus-pól“ C1 s bází T1, napětí na bázi je tedy záporné, LED zhasne.

To ale nevydrží věčně, kondenzátorem teče proud (přes rezistor R1 do báze tranzistoru T1, viz obr 3c). Proud přitéká do „mínus-pólu“ kondenzátoru, napětí  $U_{C1}$  tedy klesá a napětí  $U_b$  na bázi tedy stoupá.<sup>13</sup> Až se „přehoupne“ do kladných hodnot a dosáhne asi 0,6 V, tranzistor „sepne“ a LED se rozsvítí.<sup>14</sup>, jak to ukazuje obr. 3d.



Obr. 3. a) Stejná situace jako na obr. 2a – LED svítí; kondenzátor C1 je nabit skoro na plné napětí baterie.  
 b) Po přepnutí je na bázi záporné napětí => proud neteče, LED nesvítí.  
 c) Do kondenzátoru ale teče proud, napětí se na něm mění (viz hlavní text).  
 d) Až napětí na bázi stoupne nad asi 0,5 až 0,6 V, tranzistor „sepne“, LED se rozsvítí.

<sup>11</sup> Poznámka ke značení polaritě napětí ve schématu šipkami: Šipkou naznačujeme, jak by se připojil voltmetr, který by měřil dané napětí. Svorka, která bývá na multimetru označována „COM“, by byla připojena tam, kam ukazuje pata šipky, svorka označovaná „V“ tam, kam ukazuje špička šipky, např. v obr. 13 a) na bázi tranzistoru T1.

<sup>12</sup> Viz označení + a + ve schématu u značky C1.

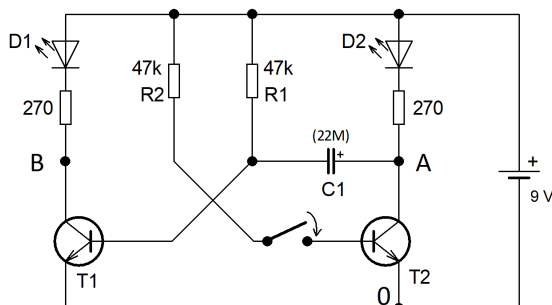
<sup>13</sup> Protože  $U_b = -U_{C1}$ .

<sup>14</sup> **Pozor:** Kondenzátor C1 je nyní nabit na opačnou polaritu než normálně! Pokud s daným zapojením opravdu experimentujete, nenechávejte situaci dle obr. 3d dlouho, ale přepínač zase rychle přepněte. (Krátkodobé přepólování, zejména když jde o napětí jen pár desetin voltu, elektrolytický kondenzátor vydrží, ale začíná vést proud a delší přepólování jej ničí. Ve fungujícím multivibrátoru přepólování nastává jen velmi krátce, takže nevádí.)

V následujícím kroku místo přepínače použijeme druhý tranzistor.

### Zhasnutí spouštíme druhým tranzistorem

Sepneme-li spínač v zapojení podle obr. 4, funguje vše stejně, jako jsme to popsali na předchozí stránce.<sup>15</sup> (Navíc po sepnutí spínače samozřejmě svítí dioda D2.)



Obr. 4. Zhasnutí diody D1 způsobíme sepnutím spínače  
(sepne se tranzistor T2 => poklesne napětí v bodě A =>  
=> pokles se přes kondenzátor přenesne na bázi T1 ...)

Svítivá dioda D1 tedy zhasne, chvíli vydrží zhaslá a pak se zase rozsvítí. Spínač pak můžeme vypnout, D1 zůstane svítit.<sup>16</sup> Když spínač znovu sepneme, vše se opakuje.

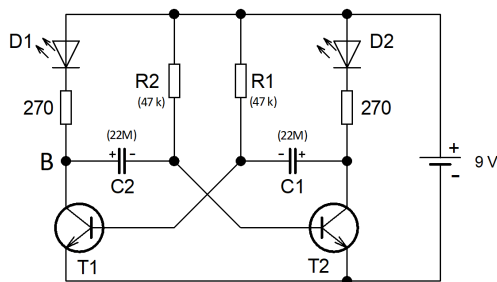
Můžeme říci, že polovinu celého cyklu – zhasnutí a po chvíli zase rozsvícení D1 – máme hotovou. Teď ještě abychom nemuseli vypínat a zapínat spínač.

### ... a druhý tranzistor zase řídíme prvním

Místo vypnutí spínače můžeme využít napětí v bodě B, viz obr. 4. Při rozsvícení D1 totiž napětí v bodě B poklesne na nulu.<sup>17</sup>

Pokles napětí z bodu B na bázi T2 přeneseme kondenzátorem C2, viz obr. 5. Po rozsvícení D1 se na bázi T2 dostane záporné napětí a tím se T2 „vypne“. (D2 tedy zhasne.)

Napětí na bázi T2 pak ovšem postupně stoupá. Až dosáhne asi 0,6 V, je to jako když jsme na obr. 4 sepnuli spínač... a vše se opakuje.



Obr. 5. Tranzistor T2 je zase ovládán z kolektoru T1 – a multivibrátor je hotov!

<sup>15</sup> Sepnutí spínače působí stejně, jako přepnutí přepínače na obr. 9b v hlavním příspěvku.

<sup>16</sup> D2 samozřejmě zhasne.

<sup>17</sup> Měřeno vůči mínus-pólu baterie, tedy bodu 0 na obr. 4.

## **Literatura a zdroje**

- [1] Fairchild Semiconductor: BC546/547/548/549/550. Dostupné online např. na <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/BC546.pdf>