

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Výukové texty

pro předmět

Elektronické systémy

(KEI/ELNS)

na téma

Měření – obvod NE555

Autoři: Ing. Václav Koucký, CSc.

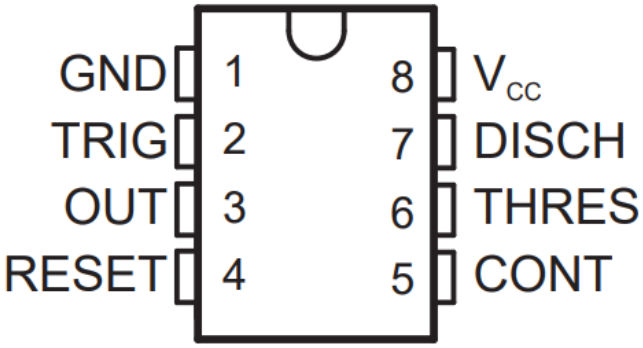
Ing. Zuzana Petránková, Ph.D.

EVROPSKÁ UNIE
Evropské strukturální a investiční fondy
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání

MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ, MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY

Měření – obvod NE555

Během tohoto cvičení se seznámíte s funkcí časovacího obvodu NE555. Vyzkoušíte si dvě různá zapojení ve funkci astabilního klopného obvodu. Obě zapojení budou realizována pomocí obvodu v pouzdře DIL8. Rozmístění vývodu v pouzdře při pohledu shora vidíte na obr. 1.



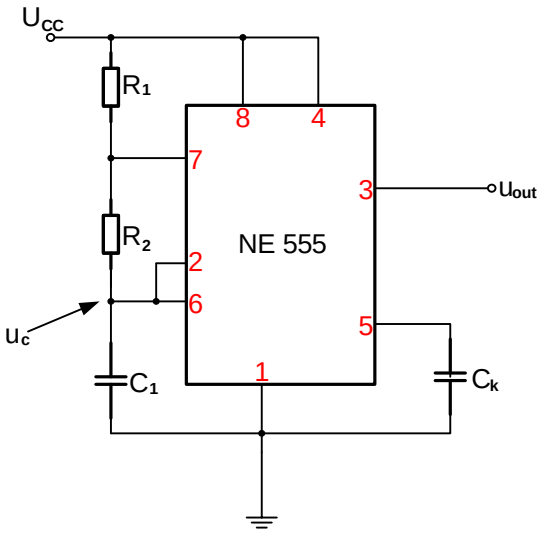
Obr. 1 Rozmístění vývodu v pouzdře pohled shora (Texas Insreuments datasheet: xx555 Precision Timers)

Měření 1 - obvod NE555 ve funkci astabilního klopného obvodu

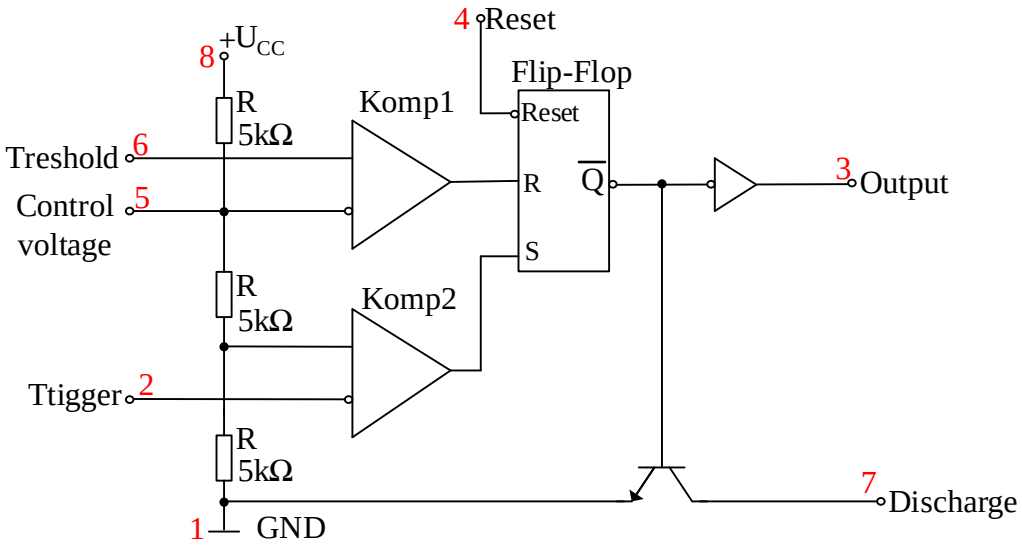
Měření budete provádět na typickém zapojení obvodu NE555 ve funkci astabilního klopného obvodu. Schéma zapojení je na obr. 2. Červeně uvedená čísla označují vývody použitého pouzdra DIL8.

Popis funkce

Astabilní klopný obvod je jedním ze základních zapojení obvodu NE555. Z podstaty funkce se jedná o typ relaxačního generátoru, který se skládá ze třech základních částí – akumulačního prvku, dvojice komparátorů a spínače. Zdrojem akumulované energie je zdroj napájecího napětí U_{CC}. Akumulačním prvkem je kapacitor C_1. Rychlost nabíjení a vybíjení kapacitoru C_1 (rychlost akumulace) je dána časovými konstantami $(R_1+R_2)C_1$ resp. R_2 C_1. Kapacitor C_K vyhlazuje výstupní napětí vnitřního odporového děliče. Napětí na kapacitoru C_1 je přivedeno na vstupy 2 a 6 komparátorů, které tvoří okénkový komparátor. Zjednodušené blokové schéma vnitřní struktury obvodu NE555 je uvedeno na obr. 3.



Obr. 2 Schéma zapojení ve funkci astabilního klopného obvodu



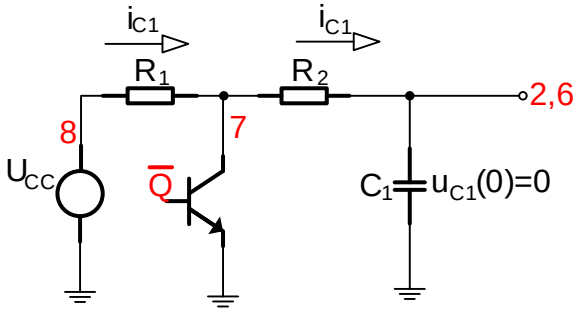
Obr. 3 Zjednodušené blokové schéma vnitřní struktury obvodu NE555

Vstupní analogová část obvodu se sestává z dvojice komparátorů komp1 a komp2 a odporového děliče. Odporový dělič tvořenými třemi stejnými odpory R o velikosti 5kΩ rozděluje napájecí napětí na třetiny. Komparátor Komp2 porovnává vstupní napětí s jednou třetinou napájecího napětí. Komparátor Komp1 porovnává vstupní napětí se dvěma třetinami napájecího napětí. Výstupy komparátorů ovládají bistabilní R-S

klopný obvod. Negovaný výstup R-S klopného obvodu $\bar{Q}$ ovládá vybíjecí tranzistor, který má emitor spojený s potenciálem země. Kolektor tohoto tranzistoru připojený na vývod 7 je v našem zapojení přiveden mezi rezistory R_1 a R_2 a umožňuje tím vybití kapacitoru C_1. Negovaný výstup R-S klopného obvodu $\bar{Q}$ je zesílen invertujícím dvojčinným koncovým stupněm, který je možné zatížit proudem až 200mA. Vývod 4 slouží k vnějšímu nulování klopného obvodu. V našem zapojení tato funkce není využita. Neaktivní funkce tohoto vývodu je zajištěna jeho připojením na napájecí napětí U_{CC}.

Analyzujme chování obvodu v čase:

1) Po zapnutí napájecího napětí je napětí na kapacitoru C_1 nulové. Výstup komparátoru komp1 je v nízké úrovni. Výstup komparátoru komp2 je ve vysoké úrovni. Následkem toho je výstup Q R-S klopného obvodu ve vysoké úrovni tzn., že negovaný výstup, který ovládá tranzistor je v nízké úrovni. Tranzistor je rozepnutý a kapacitor C_1 se začne exponenciálně nabíjet proudem procházejícím rezistory R_1 a R_2. Na obr.4 vidíte zjednodušené schéma obvodu odpovídající popsané fázi chování obvodu.

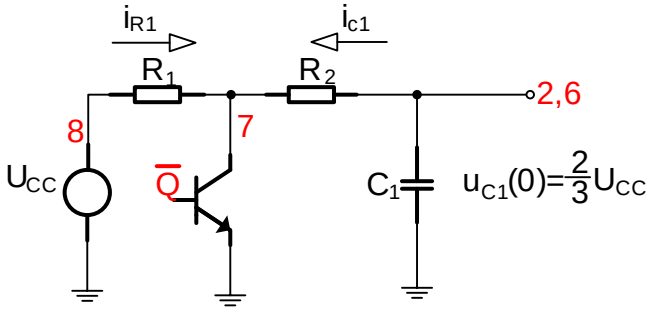


Obr. 4 Zjednodušené schéma pro chování obvodu po připojení napájecího napětí

2) Napětí na kapacitoru překročí komparační mez komparátoru komp2 tzn. překročí jednu třetinu napájecího napětí. Výstup komparátoru komp2 se změní na nízkou úroveň. Výstup R-S klopného obvodu se nemění a napětí na kapacitoru dál stoupá.
3) Napětí na kapacitoru překročí komparační mez komparátoru komp1 tzn. překročí dvě třetiny napájecího napětí. Následkem toho dojde ke změně na výstupu komparátoru komp1 na vysokou úroveň. Výstup R-S klopného obvodu se změní na nízkou úroveň. Negovaný výstup R-S klopného obvodu se změní na vysokou úroveň, čímž se resetovací tranzistor se sepne. Tím se propojí

společný bod rezistorového děliče R_1 a R_2 s potenciálem nuly napájení. Proud z napájecího zdroje U_{CC}, který v předchozí fázi protékal přes sériově spojené rezistory R_1+R_2 a nabíjel kapacitor C_1, je přes tranzistor T_1 připojen k potenciálu země. Zároveň je k potenciálu země přes rezistor R_2 připojen kapacitor C_1, který se začne exponenciálně vybíjet s časovou konstantou R_2C_1.

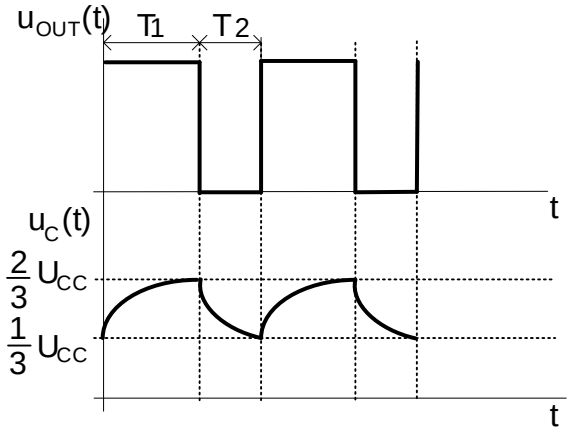
4) Napětí na kapacitoru téměř okamžitě klesne pod komparační mez komparátoru komp1 (pod dvě třetiny napájecího napětí). Výstup komparátoru komp1 se vrátí zpět na nízkou úroveň. Výstup R-S klopného obvodu a tedy ani stav tranzistoru se v tuto chvíli nemění, vybíjení kapacitoru C_1 pokračuje. Na obr.5 vidíte zjednodušené schéma obvodu odpovídající popsané fázi chování obvodu.



Obr. 5 Zjednodušené schéma pro chování obvodu v průběhu části periody T_2

5) V okamžiku, kdy klesne napětí na kapacitoru pod jednu třetinu napájecího napětí, dojde ke změně na výstupu komparátoru komp2. Následkem toho dojde ke změně na výstupu R-S klopného obvodu, tranzistor se zavře a obvod opět přejde do fáze nabíjení. Tvar průběhů napětí na výstupu u_{OUT} a napětí na kapacitoru u_C je uveden na obr. 6.

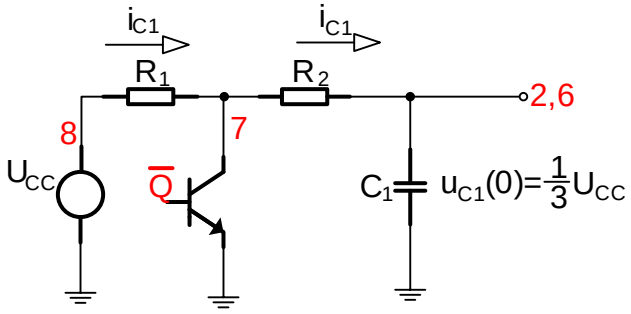
Při výpočtu kmitočtu generátoru resp. doby periody na výstupním napětí u_{OUT} musíme vypočítat zvlášť dobu T_1, za kterou přejde napětí na výstupu integrátoru $u_C(t)$ od dolní překlápěcí meze k horní překlápěcí mezi a zvlášť dobu T_2, během které se vrací zpět.



Obr. 6 Průběhy napětí na výstupu u_{OUT} a napětí na kapacitoru u_C.

Výpočet doby T_1:

Chování obvodu v průběhu části periody T_1 vyplývá ze zjednodušeného schématu uvedeného na obr. 7.



Obr. 7 Zjednodušené schéma pro chování obvodu v průběhu části periody T_1

Chování tohoto obvodu lze pomocí 2 Kirhofova zákona popsat diferenciální rovnicí:

$$C\frac{du_C}{dt}\cdot R_1 + u_C(t) = u_C(\infty) \qquad 1.1$$

Řešení diferenciální rovnice se skládá z řešení obecného a partikulárního. Po drobné matematické úpravě lze toto řešení zapsat ve tvaru:

$$u_C(t) - u_C(0) = (u_C(\infty) - u_C(0))\cdot\left(1 - e^{\frac{-t}{\tau}}\right) \qquad 1.2$$

Část periody generátoru T_1 vypočteme tak, že do rovnice 1.2 dosadíme čas $t = T_1$:

$$u_C(T_1) - u_C(0) = (u_C(\infty) - u_C(0)) \cdot \left(1 - e^{\frac{-T_1}{\tau}}\right) \qquad 1.3$$

Napětí na kapacitoru v čase T_1 je rovno dvěma třetinám napájecího napětí. Do rovnice tedy dosadíme $u_C(T_1) = \frac{2}{3}U_{CC}$. Napětí na začátku nabíjení $u_C(0)$ bylo rovno jedné třetině napájecího napětí. Do rovnice tedy dosadíme $u_C(0) = \frac{1}{3}U_{CC}$. Dále do rvnice 1.3 dosadíme $u_C(\infty) = \mathrm{U_{CC}}$.

$$\frac{2}{3}\mathrm{U_{CC}} - \frac{1}{3}\mathrm{U_{CC}} = \left(\mathrm{U_{CC}} - \frac{1}{3}\mathrm{U_{CC}}\right) \cdot \left(1 - e^{\frac{-T_1}{\tau}}\right) \qquad 1.4$$

Nyní jsme získali rovnici 1.4, kde jedinou neznámou je čas $\mathrm{T_1}$. Provedeme tedy několik matematických úprav obou stran rovnice, tak abychom čas $\mathrm{T_1}$ převedli na levou stranu rovnice. Výsledný vztah pro část periody $\mathrm{T_1}$ je:

$$\mathrm{T_1} = \tau \ln 2 = (R_1+R_2) \cdot C_1 \cdot \ln 2 \qquad 1.5$$

Výpočet doby T_2:

Chování obvodu v průběhu části periody T_2 vyplývá ze zjednodušeného schématu uvedeného na obr. 5. Stejně jako v předchozím případě lze chování tohoto obvodu popsat pomocí druhého Kirchoffova diferenciální rovnicí 1.1. Stejně jako v předchozím případě nacházíme řešení této rovnice 1.2.

Část periody generátoru označenou (na obrázku 6) T_2 vypočteme tak, že do rovnice 1.2 dosadíme za čas $t = \mathrm{T_2}$:

$$u_C(T_2) - u_C(0) = (u_C(\infty) - u_C(0)) \cdot \left(1 - e^{\frac{-T_2}{\tau}}\right) \qquad 1.6$$

Napětí na kapacitoru v čase T_2 je rovno jedné třetině napájecího napětí. Do rovnice tedy dosadíme $u_C(T_2) = \frac{1}{3}\mathrm{U_{CC}}$. Napětí na začátku vybíjení $u_C(0)$ bylo rovno dvěma třetinám napájecího napětí. Do rovnice tedy dosadíme $u_C(0) = \frac{2}{3}\mathrm{U_{CC}}$. Dále do rvnice 1.3 dosadíme $u_C(\infty) = 0$.

$$\frac{1}{3}\mathrm{U_{CC}} - \frac{2}{3}\mathrm{U_{CC}} = \left(0 - \frac{2}{3}\mathrm{U_{CC}}\right) \cdot \left(1 - e^{\frac{-T_2}{\tau}}\right) \qquad 1.7$$

Nyní jsme získali rovnici 1.7, kde jedinou neznámou je čas T_2. Provedeme tedy několik matematických úprav obou stran rovnice, tak abychom čas T_2 dostali na levou stranu rovnice. Výsledný vztah pro část periody T_2 je:

$$T_2 = \tau \ln 2 = R_2 \cdot C_1 \cdot \ln 2 \qquad 1.8$$

Celková doba periody generátoru je rovna součtu dob T_1 a T_2.

$$T = T_1 + T_2 = \tau \ln 2 = (R1+2R_2) \cdot C1 \cdot \ln 2 \qquad 1.9$$

Při měření postupujte následujícím způsobem:

1) Obvod zapojte na pracovní destičce podle schématu. Použijte následující hodnoty součástek R_1=4700Ω, R_2=10000Ω, C_1=47nF, C_k=10nF.
2) Spočtěte hodnoty časů T_1 a T_2 pro použité součástky.
3) Připojte zdroj stejnosměrného napájecího napětí. Obvod pracuje při napájecím napětí +4.5 až +15V. Při napájení +5V je výstup obvodu kompatibilní s TTL logikou.
1) Jeden kanál osciloskopu připojte na výstup obvodu (vývod 3). Druhým kanálem osciloskopu sledujte napětí na kapacitoru u_C (vývody 2 a 6). Pokud jste vše zapojili správně, průběhy na osciloskopu budou vypadat jako průběhy uvedené na obrázku 6. Výstupní napětí (vývod 3) je obdélníkové s vysokou úrovní v průběhu nabíjení kapacitoru a nízkou úrovní v průběhu vybíjení kapacitoru.
4) Změřte hodnoty časů T_1 a T_2 a porovnejte je s vypočtenými.

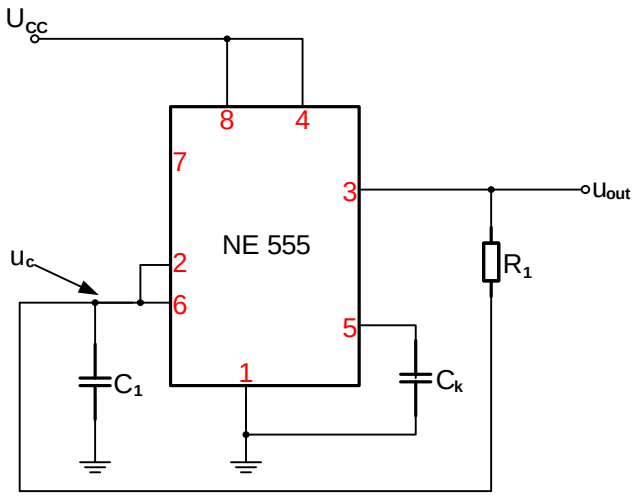
Měření 2 - obvod NE555 ve funkci astabilního klopného obvodu se střídou 50 %

Měření budete provádět na zapojení obvodu NE555 ve funkci astabilního klopného obvodu se střídou 50%. Schéma zapojení je na obr. 8. Červeně uvedená čísla označují vývody použitého pouzdra DIL8.

Popis funkce

Obdobně jako u předchozího příkladu se jedná o typ relaxačního generátoru, který se skládá ze třech základních částí – akumulačního prvku, spínacího prvku a dvojice

komparátorů, které tvoří okénkový komparátor. Zdrojem akumulované energie je zde výstup obvodu NE555. Ten se chová jako relativně tvrdý napěťový zdroj. Jeho výstupní napětí je při malém proudovém zatížení prakticky rovno napájecímu napětí. Kapacitor C_1 slouží jako akumulační prvek. Rychlost nabíjení i vybíjení kapacitoru je dána časovou konstantou R_1C_1. Kapacitor C_K vyhlazuje výstupní napětí vnitřního odporového děliče. Napětí na kapacitoru C_1 je přivedeno na vstupy 2 a 6, což jsou vstupy okénkového komparátoru. Vybíjecí tranzistor (vývod 7) není v tomto zapojení využit.

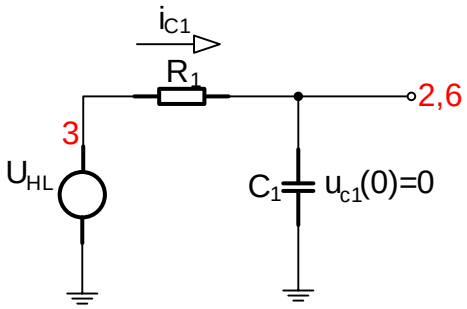


Obr. 8 Schéma zapojení ve funkci astabilního klopného obvodu se střídou 50 %

Nabíjení a vybíjení kapacitoru C_1 je zajištěno ze zdroje výstupního napětí (vývod 3). Velikost napětí na výstupu u_{OUT} je při malém proudovém zatížení prakticky shodná s napájecím napětím U_{CC}. Vnější nulování klopného obvodu (vývod 4) stejně jako v předchozím zapojení není využito. Neaktivní funkce tohoto vývodu je zajištěna jeho připojením na napájecí napětí U_{CC}.

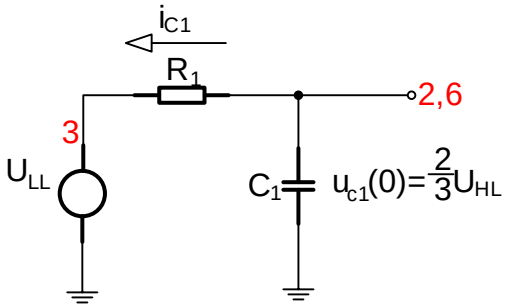
Analyzujme chování obvodu v čase:

1) Po zapnutí napájecího napětí je napětí na kapacitoru C_1 nulové. Výstup komparátoru komp1 je v nízké úrovni. Výstup komparátoru komp2 je ve vysoké úrovni. Následkem toho je výstup Q R-S klopného obvodu ve vysoké úrovni. Rovněž výstup připojený k vývodu 3 je ve vysoké úrovni. Následkem toho se kapacitor C_1 se začne exponenciálně nabíjet proudem procházejícím rezistorem R_1. Na obr.9 vidíte zjednodušené schéma obvodu odpovídající popsané fázi chování obvodu.



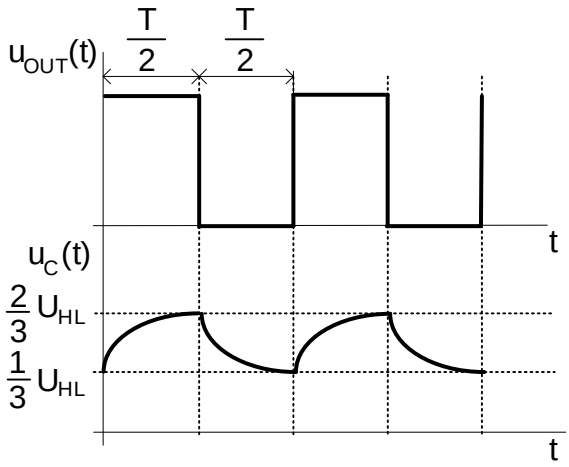
Obr. 9 Zjednodušené schéma pro chování obvodu v průběhu části periody, ve které se kapacitor C_1 nabíjí

2) Napětí na kapacitoru překročí komparační mez komparátoru komp2 tzn. překročí jednu třetinu napájecího napětí. Výstup komparátoru komp2 se změní na nízkou úroveň. Výstup R-S klopného obvodu se nemění a napětí na kapacitoru dál stoupá.
3) Napětí na kapacitoru překročí komparační mez komparátoru komp1 tzn. překročí dvě třetiny napájecího napětí. Následkem toho dojde ke změně na výstupu komparátoru komp1 na vysokou úroveň. Negovaný výstup R-S klopného obvodu se změní na vysokou úroveň. Výstup připojený k vývodu 3 se změní na nízkou úroveň. Následkem toho se kapacitor C_1 začne exponenciálně vybíjet. Rychlost vybíjení je dána časovou konstantou R_1 C_1. Napětí na kapacitoru téměř okamžitě klesne pod komparační mez komparátoru komp1 tzn. klesne pod dvě třetiny napájecího napětí. Výstup komparátoru komp1 se vrátí zpět na nízkou úroveň. Výstup R-S klopného obvodu se v tuto chvíli nemění. Kapacitor pokračuje ve vybíjení. Na obr.10 vidíte zjednodušené schéma obvodu odpovídající popsané fázi chování obvodu.



Obr. 10 Zjednodušené schéma pro chování obvodu v průběhu části periody, ve které se kapacitor C_1 vybíjí

4) V okamžiku, kdy klesne napětí na kapacitoru pod jednu třetinu napájecího napětí, dojde ke změně na výstupu komparátoru komp2. Následkem toho dojde ke změně na výstupu R-S klopného obvodu a obvod opět přejde do fáze nabíjení. Tvar průběhů napětí na výstupu u_{OUT} a napětí na kapacitoru u_C je uveden na obr. 11.



Obr. 11 Průběhy napětí na výstupu u_{OUT} a napětí na kapacitoru u_C.

Při výpočtu závislosti kmitočtu generátoru resp. doby periody na výstupním napětí u_{OUT} můžeme situaci zjednodušit tak, že budeme uvažovat, že výstupní napětí u_{OUT} v nízké úrovni (logické nule) bude rovno 0 (Pouze za tohoto předpokladu můžeme tvrdit, že střída výstupního napětí je 50 %). Pak můžeme spočítat pouze dobu pro nabíjení nebo pro vybíjení a označit ji jako polovinu celkové periody $\frac{T}{2}$.

Výpočet doby $\frac{T}{2}$:

Pro výpočet času $\frac{T}{2}$ zvolíme např. část děje, kdy dochází k vybíjení kapacitoru C_1.

Chování obvodu v průběhu této části periody vyplývá ze zjednodušeného schématu uvedeného na obr. 10. Stejně jako v předchozích případech lze chování tohoto obvodu popsat pomocí druhého Kirchhoffova zákona diferenciální rovnicí 1.1. Následně nacházíme řešení této rovnice 1.2.

Polovinu periody generátoru označenou $\frac{\mathbf{T}}{\mathbf{2}}$ vypočteme tak, že do rovnice 1.2 dosadíme čas $t = \frac{\mathbf{T}}{\mathbf{2}}$:

$$u_C(\tfrac{\mathbf{T}}{\mathbf{2}}) - u_C(0) = (u_C(\infty) - u_C(0)) \cdot \left(1 - e^{\frac{-\frac{\mathbf{T}}{\mathbf{2}}}{\tau}}\right) \qquad 1.10$$

Napětí na kapacitoru v čase $\frac{\mathbf{T}}{\mathbf{2}}$ je rovno jedné třetině výstupního napětí při vysoké úrovni na výstupu. Do rovnice tedy dosadíme $u_C\left(\frac{\boldsymbol{T}}{\mathbf{2}}\right) = \frac{1}{3}U_{HL}$. Napětí na začátku vybíjení $u_C(0)$ bylo rovno dvěma třetinám výstupního napětí. Do rovnice tedy dosadíme $u_C(0) = \frac{2}{3}\mathrm{U_{HL}}$. Dále do rvnice 1.3 dosadíme $u_C(\infty) = 0$.

$$\tfrac{1}{3}\mathrm{U_{HL}} - \tfrac{2}{3}\mathrm{U_{HL}} = \left(0 - \tfrac{2}{3}\mathrm{U_{HL}}\right) \cdot \left(1 - e^{\frac{-\frac{\mathbf{T}}{\mathbf{2}}}{\tau}}\right) \qquad 1.11$$

Nyní jsme získali rovnici 1.11, kde jedinou neznámou je čas $\frac{\mathbf{T}}{\mathbf{2}}$. Provedeme tedy několik matematických úprav obou stran rovnice tak, abychom čas $\frac{\mathbf{T}}{\mathbf{2}}$ dostali na levou stranu rovnice. Výsledný vztah pro polovinu periody $\frac{\mathbf{T}}{\mathbf{2}}$ je:

$$\frac{\mathbf{T}}{\mathbf{2}} = \tau \ln 2 = \mathrm{R_1 \cdot C_1 \cdot ln\ 2} \qquad 1.12$$

Celková doba periody generátoru je rovna dvojnásobku $\frac{\mathbf{T}}{\mathbf{2}}$.

$$\mathrm{T} = 2\frac{\mathbf{T}}{\mathbf{2}} = 2\tau \ln 2 = \mathrm{2 \cdot R1 \cdot C1 \cdot ln\ 2} \qquad 1.13$$

Při měření postupujte následujícím způsobem:

2) Obvod zapojte na pracovní destičce podle schématu. Použijte následující hodnoty součástek R_1=10000Ω, C_1=10nF, C_k=10nF.
3) Spočtěte velikost periody T pro použité součástky.
4) Připojte zdroj stejnosměrného napájecího napětí. Obvod pracuje při napájecím napětí +4.5 až +15V. Při napájení +5V je výstup obvodu napěťově kompatibilní s TTL logikou.
5) Jeden kanál osciloskopu připojte na výstup obvodu (vývod 3). Druhým kanálem osciloskopu sledujte napětí na kapacitoru u_C (vývody 2 a 6). Pokud

jste vše zapojili správně, průběhy na osciloskopu by měly vypadat jako průběhy uvedené na obrázku 10. Výstupní napětí (vývod 3) je obdélníkové s vysokou úrovní v průběhu nabíjení kapacitoru a nízkou úrovní v průběhu vybíjení kapacitoru.

6) Změřte velikost periody T a porovnejte ji s vypočtenou.