

# Vážení zákazníci,

dovolujeme si Vás upozornit, že na tuto ukázkou knihy se vztahují autorská práva, tzv. copyright.

To znamená, že ukáзка má sloužit výhradně pro osobní potřebu potenciálního kupujícího (aby čtenář viděl, jakým způsobem je titul zpracován a mohl se také podle tohoto, jako jednoho z parametrů, rozhodnout, zda titul koupí či ne).

Z toho vyplývá, že není dovoleno tuto ukázkou jakýmkoliv způsobem dále šířit, veřejně či neveřejně např. umístováním na datová média, na jiné internetové stránky (ani prostřednictvím odkazů) apod.

*redakce nakladatelství BEN – technická literatura*  
[redakce@ben.cz](mailto:redakce@ben.cz)

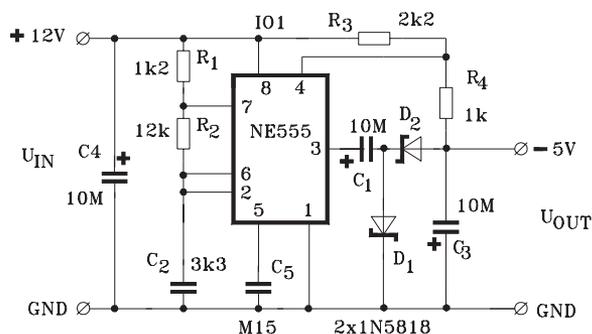


## 2 ZDROJE S KONDENZÁTORY (NÁBOJOVÉ PUMPY)

S obvodem 555 lze konstruovat celou řadu zapojení, pracujících na principu přečerpávání náboje. Na prvním zapojení (obr. 2.1) je popsán zdroj, který z kladného napětí +12 [V] generuje na výstupu napětí invertované a menší. V následujících zapojeních jsou obvodově rozvedeny možnosti přečerpávání náboje kondenzátorů pomocí obvodu 555.

### 2.1 Zdroj 12 [V]/-5 [V] – 25 [mA] jako invertující multivibrátor

Pro pochopení funkce obvodu 555 v zapojeních spínaných zdrojů je užitečné uvést jeho základní činnost v jednom z typů obvodů, pro který byl konstruován. Nicméně i takovýto obvod může být doplněn tak, aby byl zdrojem, obr. 2.1.



Obr. 2.1 Napěťový snižující invertor, využívající zapojení astabilního multivibrátoru s obvodem 555

Na obr. 2.1 je k obvodu připojen vnější kondenzátor  $C_2$  (mezi spojené vstupy 2 a 6 a GND), který je po zapnutí na napájecí zdroj nabíjen přes odpory  $R_1 + R_2 = 1200 + 12\,000 = 13,2$  [k $\Omega$ ] z napájecího napětí  $U_{IN} = +12$  [V].

Kondenzátor  $C_2$  se začne nabíjet a napětí na něm roste. Na výstupu OUT je logická jednička. Jakmile však napětí na kondenzátoru  $U_{C2}$  překročí hodnotu napětí  $U_{IN}/3 = 12/3 = 4$  [V], překloupí K2 (s výstupem OUT se však nic neděje, je na něm stále logická jednička).

Napětí na kondenzátoru  $C_2$  roste dále a v okamžiku, kdy přesáhne hodnotu napětí  $2/3 \cdot U_{IN} = 2/3 \cdot 12 = 8$  [V], tak překloupí jednak výstup komparátoru K1, jednak i výstup OUT (vývod 3) do logické nuly (malé saturační napětí sepnutého tranzistoru), ale také sepne vnitřní tranzistor T, jehož kolektor (vývod 7) je spojen se zemí (napětí  $U_{CES}$  tranzistoru T). Tím nejen že se kondenzátor  $C_2$  přestane nabíjet, ale naopak přes odpor  $R_2$  (a sepnutý tranzistor T) se začne vybíjet a napětí na něm začne klesat.

Když napětí na kondenzátoru poklesne do intervalu  $1/3 \cdot U_{IN} < U_{C2} < 2/3 \cdot U_{IN}$ , neděje se s výstupem OUT nic, je stále v logické nule a kondenzátor  $C_2$  se vybíjí dále.

Až teprve poklesne napětí na kondenzátoru  $C_2$  pod hodnotu  $4 \text{ [V]}$ , pak překlopí **K2** i výstup **OUT** do logické jedničky, tranzistor **T** rozezne a děj nabíjení kondenzátoru  $C_2$  se bude periodicky opakovat.

Malou výjimkou je ale prvotní nabíjení kondenzátoru z nuly do  $1/3 \cdot U_{IN}$ , které odpovídá skutečnosti, že první nabíjení bude delší, než všechna ostatní, která se konají v rozmezí napětí  $1/3 \cdot U_{IN} < U_{C2} < 2/3 \cdot U_{IN}$ .

Doba nabíjení (standardní, ne první periody) je pak dána vztahem:

$$t_{\text{nabíjení}} = 0,693 \cdot (R1 + R2) \cdot C2 \quad [\text{s}; \text{s}/\Omega, \Omega]$$

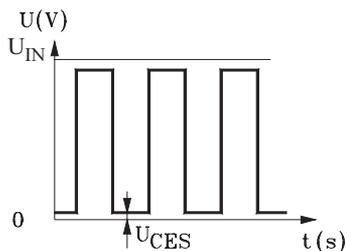
doba vybíjení kondenzátoru je:

$$t_{\text{vybíjení}} = 0,693 \cdot R2 \cdot C2 \quad [\text{s}; \text{s}/\Omega, \Omega]$$

Doba periody výstupního signálu (na výstupu **OUT** vývod 3 i na výstupu otevřeného kolektoru tranzistoru **T** – vývod 7) je daná součtem obou dob (střída není  $1 : 1$ ):

$$T = t_{\text{nabíjení}} + t_{\text{vybíjení}} = 0,693 \cdot C2 \cdot (R1 + 2 \cdot R2) [\text{s}; \text{s}/\Omega, \Omega]$$

Na výstupu **OUT** (vývod 3) tak vzniká obdélníkový průběh napětí se stejnosměrnou složkou, obr. 2.2.



Obr. 2.2 Průběh výstupního napětí na výstupu **OUT**

Na výstup tedy můžeme připojit usměrňovač (obr. 2.1), pracující na principu přečerpávání náboje z jednoho kondenzátoru do druhého.

Je-li na výstupu **OUT** (vývod 3) právě logická úroveň **H** (téměř tak vysoká jako napájecí napětí  $U_{IN}$ ), pak je v obvodu **OUT** – **C1** – **D1** – vývod 1 nabíjen kondenzátor **C1** o kapacitě  $10 \text{ [}\mu\text{F]}$ . Velikost kapacity tohoto kondenzátoru je omezena odpory v tomto obvodu, které omezují nabíjecí proud **C1** na maximálně  $200 \text{ [mA]}$ . V této fázi je dioda **D2** uzavřená a proud zátěže je kryt odčerpáváním náboje z kondenzátoru **C3** a napětí na tomto kondenzátoru v této fázi činnosti klesá.

Jakmile napětí na výstupu **OUT** klesne na logickou nulu (na napětí  $U_{CES}$  vnitřního tranzistoru na výstupu invertoru), pak je dioda **D1** polarizována v závěrném směru a nevede, dioda **D2** naopak vede proud přebíjení náboje z kondenzátoru **C1** do kondenzátoru **C3** v obvodu: plus kondenzátoru **C1** – výstup invertoru obvodu **555** vývod 3 – zemní vývod 1 obvodu **555** – plus kondenzátoru **C3** – anoda diody **D2** – mínus kondenzátoru **C1**.

Kondenzátor **C1** se tedy chová jako zdroj a kondenzátor **C3** jako spotřebič, na kondenzátoru **C1** napětí klesá a na kondenzátoru **C3** napětí roste. Opět proud přebíjení by neměl přesáhnout hodnotu  $200 \text{ [mA]}$ , kterou vydrží výstup **OUT** obvodu **555**.

S výhodou je zde využito nesymetrie střídý výstupního obdélníkového signálu (viz odvozované vztahy výše), kdy pro nabíjecí odpor  $R_1 + R_2 = 1200 + 12\,000 = 13,2 \text{ [k}\Omega\text{]}$  trvá úroveň logické jedničky  $t_{\text{nab}} = 30,2 \text{ [}\mu\text{s]}$  a pro vybíjecí odpor  $R_2 = 12 \text{ [k}\Omega\text{]}$  trvá úroveň logické nuly  $t_{\text{vyb}} = 27,4 \text{ [}\mu\text{s]}$ , tedy méně.

Při přebíjení kondenzátorů můžeme udělat odhad zatížení výstupu **OUT** (vývod 3) obvodu **555**. Zde můžeme vycházet z úvahy, že kondenzátor **C1** je nabit na cca  $+10 \text{ [V]}$  (uvažujeme-li úbytek na diodě **D1** v propustném směru a napětí  $U_{\text{CES}}$  vnitřního tranzistoru výstupu **OUT**). Vybíjet se může tak dlouho, pokud napětí na něm neklesne na hodnotu napětí výstupního ( $+5 \text{ [V]}$  na **C3**), zvýšeného opět o úbytek napětí na diodě **D2** a napětí  $U_{\text{CES}}$ .

Klesne-li tedy napětí při vybíjení na **C1** o  $1 \text{ [V]}$  za dobu  $t_{\text{ON}} = 30,2 \text{ [}\mu\text{s]}$ , pak se zmenší jeho náboj o:

$$\Delta Q = C \cdot \Delta U = 10 \cdot 10^{-6} \cdot 1 = 10 \cdot 10^{-6} \text{ [C]}$$

a tento náboj je doplněn z výstupu **OUT** za dobu  $t_{\text{OFF}} = 27,4 \text{ [}\mu\text{s]}$  proudem:

$$I = \Delta Q / \Delta t_{\text{vyp}} = 10 \cdot 10^{-6} / 27,4 \cdot 10^{-6} = 0,365 \text{ [A]}$$

Tato hodnota vysoko překračuje povolenou hodnotu proudu výstupu **OUT** a tak by bylo vhodnější snížit hodnotu kapacity **C1**. Ve skutečnosti kolísá i výstupní napětí  $U = -5 \text{ [V]}$  a výpočty jsou ještě složitější.

Vzhledem k tomu, že výstupní kapacita kondenzátoru **C3** je shodné velikosti jako kapacita kondenzátoru **C1**, platí pro přenos náboje:

$$\Delta Q = C_1 \cdot \Delta U_3 = C_3 \cdot \Delta U_{\text{OUT}}$$

Z toho plyne i stejné kolísání napětí (špička-špička) na výstupu:  $\Delta U_{\text{OUT}} = \Delta U_3 = 1 \text{ [V]}$ . Toto kolísání je vzhledem k velikosti výstupního napětí značné ( $\pm 10 \text{ [%]}$  ze jmenovité hodnoty), takže by bylo nutno volit podstatně vyšší hodnoty kapacit kondenzátorů, jak je ukázáno na dalších typech měničů.

Pokud by byl obvod zapojen bez zpětné vazby (odporovým děličem **R3–R4**), pak by mohlo dojít volbou poměrů kapacit **C1** a **C3** k tomu, že výstupní napětí by mělo různou hodnotu, ale zapojení by bylo nestabilní. Proto je zde zavedena záporná zpětná vazba pomocí vstupu 4 (**RESET**), pro který platí, že klesne-li na něm hodnota napětí pod rozhodovací úroveň (v rozsahu od  $0,4 \text{ [V]}$  do  $1,0 \text{ [V]}$ ), je zablokována činnost **RS** obvodu a obvod **555** přestane kmitat a pracovat jako multivibrátor.

Proto zapojujeme odporový dělič mezi bod  $U_{\text{IN}}$  (potenciál  $+12 \text{ [V]}$ ) a bod výstupu, který má mít potenciál  $-5 \text{ [V]}$ . Pokud by napětí na výstupu rostlo (do záporných hodnot), pak potenciál středu děliče **R3–R4** bude klesat až do zareagování vstupu **RESET** (vývod 4). Přestane-li však multivibrátor kmitat, nebude dobíjen kondenzátor **C3**, který je vybíjen do zátěže. Tímto vybíjením se potenciál výstupu pohybuje směrem k nule, v jistém okamžiku potenciál vstupu **RESET** vzroste nad zapínací hodnotu a obvod **555** začne opět kmitat.

Napětíový dělič **R3–R4** se navrhuje na základě rovnice, popisující potřebné napětíové poměry tak, jak byly popsány výše:

$$R_3/R_4 = (U_{\text{IN}} - U_{\text{FD1}}) / (U_{\text{výst}} + U_{\text{FD2}})$$

kde  $U_{\text{FD}}$  jsou propustná napětí, která jsou pro Schottkyho diody okolo  $0,5 \text{ [V]}$ . Další podmínkou je to, že odpory **R3** a **R4** by neměly mít příliš vysoké ohmické hodnoty (vzhledem k malému vstupnímu odporu vstupu **RESET**, který je okolo  $10 \text{ [k}\Omega\text{]}$ ) a tak se obvykle navrhuje tak, aby jejich paralelní kombinace nepřekročila  $2 \text{ [k}\Omega\text{]}$ .

Podmínkou realizovatelnosti obdobných měničů napětí s obvodem 555 je to, aby napájecí napětí bylo vyšší než absolutní hodnota požadovaného napětí výstupního a to o:

- úbytek napětí na sepnutém „horním“ tranzistoru výstupního invertoru (obr. 1.3),
- úbytek napětí na sepnutém „spodním“ tranzistoru výstupního invertoru (obr. 1.3),
- úbytek napětí na diodě **D1** v propustném směru,
- úbytek napětí na diodě **D2** v propustném směru,
- rezervu na zvlnění výstupního napětí, pokles napájecího napětí, úbytky na vodičích atd., celkem se proto požaduje, aby napájecí napětí bylo minimálně o (2–3) [V] vyšší, než je absolutní hodnota napětí výstupního.

**Poznámka:** Vstup řídicího napětí (vývod 5) v tomto zapojení neuvádíme, ale dají se jím měnit zvenku obvodu napěťové poměry na děliči **R1–R2–R3** (obr. 1.1), tedy i velikost hystereze. Někdy se doporučuje jako ochrana proti rušení obvodu blokovat tento vývod keramickým (bezindukčním) kondenzátorem o kapacitě **10 [nF]** až **100 [nF]** proti zemi.

Protože je hodnota výstupního napětí odvozována děličem **R3–R4** od hodnoty napětí vstupního, závisí výstupní napětí lineárně na napětí vstupním (tab. 2.1 a obr. 2.3). Pokud bychom této značně silné závislosti chtěli zabránit, pak je možnost ze zdroje +12 [V] napájet parametrický stabilizátor se Zenerovou diodou s napětím vyšším, než je rozhodovací napětí vstupu 4, které je maximálně 1 [V]. Levý vývod odporu **R3** na obr. 2.1 by se místo na **U<sub>IN</sub>** tedy připojil na **U<sub>ZD</sub>**.

Zvolíme-li např. Zenerovu diodu se Zenerovým napětím 3 [V], je však pro výstupní napětí –5 [V] nutno přepočítat hodnoty odporů děliče **R3–R4**.

Tab. 2.1 Převodní charakteristika

<b>U<sub>IN</sub> [V]</b>	<b>U<sub>OUT</sub> [V]</b>
8	–3,22
9	–3,66
10	–4,10
11	–4,50
12	–5,08
13	–5,45
14	–5,90
15	–6,28
16	–7,08

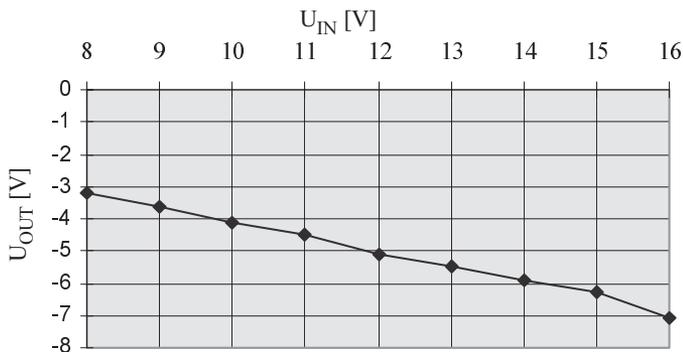
Mají-li tyto odpory být v poměru 3 : 5 (poměr  $U_{ZD} / |U_{OUT}|$ ) a současně jejich ohmická hodnota při paralelním zapojení nemá překročit 2 [kΩ], pak s dostatečnou přesností vyhovují např. odpory **R3 = 1,8 [kΩ]** a **R4 = 3,0 [kΩ]** z řady E24. Protože těmito odpory protéká proud:

$$I_d = (U_{ZD} - U_{OUT}) / (R3 + R4) = (3 + 5) / (1800 + 3000) = 1,7 \cdot 10^{-3} = 1,7 \text{ [mA]}$$

a jeho hodnota se příliš nemění, je třeba, aby proud Zenerovou diodou **I<sub>ZD</sub>** nastavil její pracovní bod za koleno její charakteristiky do oblasti stabilizace napětí. Tento proud se nastaví sériovým odporem k Zenerově diodě o velikosti:

$$R_S = (U_{IN} - U_{ZD}) / I_{ZD} = (12 - 3) / 1 \cdot 10^{-3} = 9 \text{ [kΩ]}$$

použili bychom např. odpor **9k1** z řady E24.



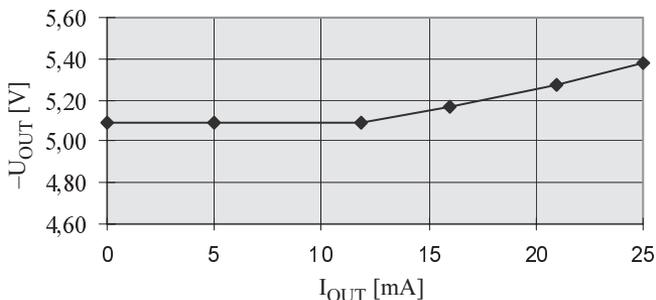
Obr. 2.3 Závislost výstupního napětí na vstupním bez stabilizace porovnávacího napětí při zátěži proudem  $I_{OUT} = 11,8$  [mA]

Tab. 2.2 Zatěžovací charakteristika

$I_{OUT}$ [mA]	$U_{OUT}$ [V]
0	5,09
5,0	5,09
11,8	5,09
16,0	5,17
21,0	5,27
25,0	5,38

Výstupní napětí lze vlivem malých kapacit kondenzátorů **C1** a **C3** zatěžovat pouze malými proudy. Při rostoucím proudě do zátěže u tohoto zdroje výstupní napětí roste při překročení hodnoty odebíraného proudu cca **10 [mA]**.

Tento jev je způsoben rostoucím zvlněním výstupního napětí, kdy špičky v minimech záporné polaritě na napětí  $U_{OUT}$  ponechávají obvod **555** zapnutý, přestože střední hodnota je zápornější, než je požadovaných **-5 [V]**. Opět lze tento jev potlačit v případě nutnosti odběru vyšších proudů zvýšením kapacity výstupního kondenzátoru **C3**. V uvedené konfiguraci je vhodné provozovat zdroj z předstabilizovaného napětí **+12 [V]** a odběrem do **10 [mA]**.



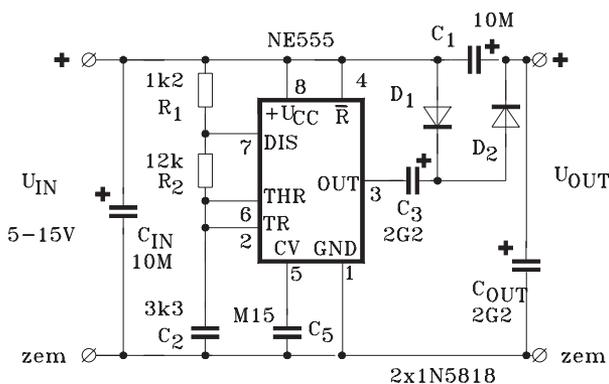
Obr. 2.4 Zatěžovací charakteristika zdroje podle zapojení na obr. 2.1 při vstupním napětí  $U_{IN} = 12$  [V]

označení	typ	hodnota	cena	poznámka
IO1	NE555		8,- Kč	DIL8
C1,C3	CT10M/10V	10M [μF]	8,60 Kč	tantal
C2	CK3N3/500V	3,3 [nF]	1,20 Kč	keramika
C4	CT10M/25V	10 [μF]	10,- Kč	tantal
C5	CK150N/63V	150 [nF]	2,50 Kč	keramika
D1,D2	1N5818	30 [V]/1 [A]	8,- Kč	Schottky
R1	RR1K2	1,2 [kΩ]	0,80 Kč	metaliz.
R2	RR12K	12 [kΩ]	0,80 Kč	metaliz.
R3	RR2K2	2,2 [kΩ]	0,80 Kč	metaliz.
R4	RR1K0	1 [kΩ]	0,80 Kč	metaliz.

## 2.2 Zdroj 12 [V]/20 [V] jako dvojnásobič napětí

Předcházející zapojení výstupní napětí oproti napětí vstupnímu snižovalo. S obvodem 555 lze však konstruovat i zapojení, kdy lze výstupní napětí proti vstupnímu zvyšovat. Na obr. 2.5 je k obvodu připojen vnější kondenzátor  $C_2$  (mezi spojené vstupy 2 a 6 a GND), který je po zapnutí zapojení na napájecí zdroj nabíjen přes odpory  $R_1 + R_2 = 1200 + 12\,000 = 13,2$  [kΩ] z napájecího napětí (+5–15) [V].

Kondenzátor  $C_2$  se začne nabíjet a napětí na něm roste. Na výstupu OUT obvodu 555 je logická jednička. Jakmile však napětí na kondenzátoru  $U_{C_2}$  překročí hodnotu napětí  $U_{IN}/3$ , překlopí  $K_2$  (s výstupem OUT se však nic neděje, je na něm stále logická jednička).



Obr. 2.5 Zapojení dvojnásobičího měniče s obvodem 555

Napětí na kondenzátoru  $C_2$  roste dále a v okamžiku, kdy přesáhne hodnotu napětí  $2/3 \cdot U_{IN}$ , tak překlopí jednak výstup komparátoru  $K_1$ , jednak i výstup OUT (vývod 3) do logické nuly (malé saturační napětí sepnutého tranzistoru), ale také sepne vnitřní tranzistor  $T$ , jehož kolektor (vývod 7) je spojen se zemí (napětí  $U_{CES}$  tranzistoru  $T$ ). Tím nejen že se kondenzátor  $C_2$  přestane nabíjet, ale naopak přes odpor  $R_2$  (a sepnutý tranzistor  $T$ ) se začne vybíjet a napětí na něm začne klesat.

Jakmile napětí na kondenzátoru poklesne do intervalu  $1/3 \cdot U_{IN} < U_{C2} < 2/3 \cdot U_{IN}$ , neděje se s výstupem **OUT** nic, je stále v logické nule a kondenzátor se vybíjí dále.

Až teprve poklesne napětí na kondenzátoru pod hodnotu  $1/3 \cdot U_{IN}$ , pak překlopí **K2** i výstup **OUT** do logické jedničky, tranzistor **T** rozepne a děj nabíjení se bude periodicky opakovat. Pokud je zátěž zdroje odpojena, je pak doba nabíjení dána vztahem:

$$t_{ON} = 0,693 \cdot (R1 + R2) \cdot C2 = 0,693 \cdot 13,2 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-9} = 91,5 \text{ [}\mu\text{s]}$$

doba vybíjení kondenzátoru je:

$$t_{OFF} = 0,693 \cdot R2 \cdot C2 = 0,693 \cdot 12 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10^{-9} = 83,2 \text{ [}\mu\text{s]}$$

Doba periody výstupního signálu (na výstupu **OUT** vývod 3 i na výstupu otevřeného kolektoru tranzistoru **T** – vývod 7) je daná součtem obou dob (střída není **1 : 1**):

$$T = t_{ON} + t_{OFF} = 91,5 + 83,2 = 174,7 \text{ [}\mu\text{s]}$$

což odpovídá opakovacímu kmitočtu:

$$f_0 = 1/T = 1/174,7 \cdot 10^{-6} = 5,72 \cdot 10^3 \text{ [Hz]} \cong 5,7 \text{ [kHz]}$$

Na výstup tedy můžeme připojit usměrňovač (obr. 2.5), pracující na principu přečerpávání náboje z jednoho kondenzátoru do druhého.

Jakmile napětí na výstupu **OUT** klesne na logickou nulu (na napětí  $U_{CES}$  vnitřního tranzistoru na výstupu invertoru), pak je dioda **D1** polarizována v propustném směru a vede, dioda **D2** naopak nevede proud (je-li kondenzátor **C1** nabit, polarizuje diodu **D2** v závěrném směru). Dojde k nabíjení kondenzátoru **C3** v obvodu: plus zdroje  $U_{IN}$  – dioda **D1** – kondenzátor **C3** – výstup invertoru obvodu **555** (vývod 3) – zemní vývod obvodu **555** č. 1 – mínus zdroje  $U_{IN}$ . Kondenzátor **C3** je tedy nabit na napětí cca o **1 [V]** menší, než je napájecí napětí zdroje  $U_{IN}$ . Opět proud nabíjení by neměl přesáhnout hodnotu **200 [mA]**, kterou vydrží výstup **OUT** obvodu **555**.

Je-li na výstupu **OUT** (vývod 3) právě logická úroveň **H** (téměř tak vysoká jako napájecí napětí  $U_{IN}$ ), pak je na tento potenciál „posazen“ svým záporným pólem kondenzátor **C3** a začne z něj (jako ze zdroje) protékat proud v obvodu: plus kondenzátoru **C3** – dioda **D2** – kondenzátor **C1** – napájecí svorka obvodu **555** (vývod 8) – mínus kondenzátoru **C3**. V tomto obvodu se začne kondenzátor **C1** nabíjet. Protože je kondenzátor **C1** „posazen“ svým záporným pólem na plus zdroje vstupního napětí  $U_{IN}$ , je tento zdroj poměrně „tvrdý“, tj. vykazuje malou hodnotu vnitřního odporu.

Současně s tímto proudem však dodává kondenzátor **C3** proud přes diodu **D2** i do zátěže (na obr. 2.5 nezakreslena). Proud do zátěže je tak dodáván v době  $t_{ON}$  (výstup **OUT** v logické jedničce) z kondenzátoru **C3** a v době  $t_{OFF}$  (výstup **OUT** v logické nule) z kondenzátoru **C1**.

Protože kondenzátor **C3** se může nabít pouze na napětí  $U_{IN} - U_{FD1} - U_{CES}$ , může se posléze kondenzátor **C1** nabít jen na napětí  $U_{IN} - U_{FD1} - U_{FD2} - 2 \cdot U_{CES}$ . Nejedná se tedy o čisté dvojnásobení, ale použijeme-li Schottkyho diody **D1** a **D2** a je-li napětí  $U_{IN}$  dostatečně vysoké, pak hodnota  $U_{OUT}$  se blíží hodnotě  $2 \cdot U_{IN}$ . Výstup může být osazen ještě kondenzátorem **COUT** poblíž výstupních svorek zdroje.

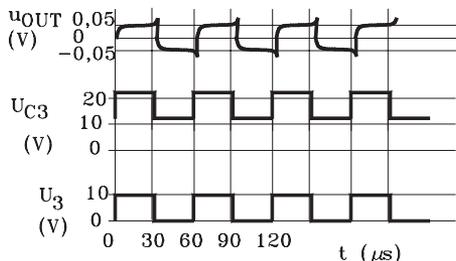
Předpokládáme-li dobití kondenzátoru **C3** o napětí např.  $\Delta U = 0,1 \text{ [V]}$ , můžeme odhadnout hodnotu omezovacího sériového odporu v nabíjecím obvodu  $R_S$ . Tato hodnota musí být vyšší, než minimální hodnota sériového odporu v obvodu výstupu **OUT**, který omezuje výstupní proud:

$$R_S \geq \Delta U / I_{OUTmax} = 0,1/0,2 = 0,5 \text{ [}\Omega\text{]}$$

Při přebíjení kondenzátorů můžeme udělat odhad zatížení výstupu **OUT** (vývod 3) obvodu **555**. Zde můžeme vycházet z úvahy, že kondenzátor **C3** se při přebíjení chová jako zdroj energie

a jeho napětí klesá o předpokládaných  $0,1$  [V]. Je (při zanedbání úbytku napětí  $U_{FD2}$ ) připojen paralelně ke kondenzátoru  $C_{OUT}$  a dodává mu náboj.

Při zatížení zdroje výstupním proudem se však frekvenční poměry výstupu mění. Doba periody opakovacího budicího signálu na výstupu **OUT** obvodu **555** klesne z původní  $T = t_{ON} + t_{OFF} = 91,5 + 83,2 = 174,7$  [ $\mu$ s] na novou  $T = t_{ON} + t_{OFF} = 31 + 29 = 60$  [ $\mu$ s], obr. 2.6.



Obr. 2.6 Průběhy napětí v některých částech zapojení podle obr. 2.5:

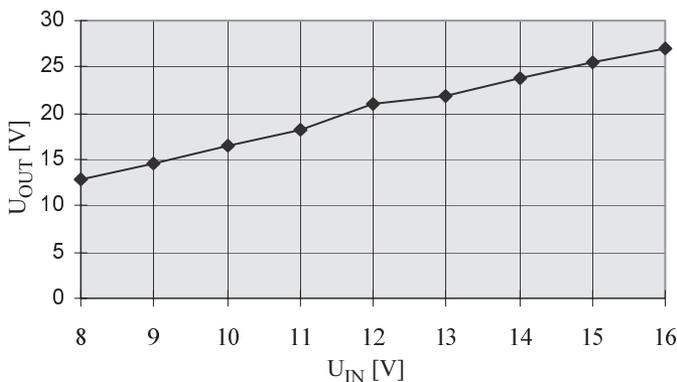
- $u_{OUT}$  je střídavá složka, superponovaná na stejnosměrné napětí  $U_{OUT}$
- $U_{C3}$  je stejnosměrné napětí mezi kladnou elektrodou kondenzátoru **C3** a zemí,
- $U_3$  je napětí výstupu **OUT** obvodu **555**.

Tab. 2.4 Převodní charakteristika

$U_{IN}$ [V]	$U_{OUT}$ [V]
8	12,9
9	14,6
10	16,5
11	18,3
12	20,9
13	21,9
14	23,8
15	25,4
16	26,9

Ani tento zdroj nemá stabilizaci výstupního napětí smyčkou zpětné vazby a jeho závislost výstupního napětí na napětí vstupním je dána tab. 2.4 a obr. 2.7. Vzhledem k tomu, že pracuje jako prostý násobič napětí (se ztrátou části napětí), očekávala by se od něj lineární převodní charakteristika mezi vstupním a výstupním napětím. Z toho, že napěťová převodní charakteristika je téměř lineární při různých zatěžovacích proudech (jak vyplývá z obr. 2.7), dalo by se očekávat, že zatěžovací charakteristika bude ve své značné části nezávislá na odebíraném proudu. Tento předpoklad je však splněn jen částečně, jak ukazuje tab. 2.5 a obr. 2.8.

Napěťové ztráty převodu závisí na úbytcích na spínacích tranzistorech výstupu **OUT** obvodu **555** a na úbytcích napětí na diodách. Tyto úbytky jsou funkcí proudu, který těmito součástkami protéká a tento úbytek se s rostoucím proudem zvyšuje.



Obr. 2.7 Závislost výstupního napětí na vstupním, pro zdroj podle zapojení na obr. 2.5, pro výstup zatížený odporem  $430 \text{ } \Omega$  (tedy nekonstantním proudem)

Tab. 2.5 Zatěžovací charakteristika

I <sub>OUT</sub> [mA]	U <sub>OUT</sub> [V]
0	23,3
22,0	22,0
47,4	20,4
67,1	19,6
87,2	18,8

U obvodů s nestabilizovaným výstupním napětím obvykle nepočítáme hodnoty napěťového a proudového činitele stabilizace. Pro orientaci však můžeme určit efektivní vnitřní odpor takového zdroje z poklesu výstupního napětí ve zvoleném intervalu:

$$R_i = \Delta U_{OUT} / \Delta I_{OUT} = (23,3 - 18,8) / 0,087 = 51,6 \text{ } \Omega$$

Tato hodnota se skládá z působení několika vlivů:

- $U_{CEST21} = 2 \text{ [V]}$  při  $I_E = 100 \text{ [mA]}$  je saturační napětí tranzistoru **T21** na obr. 1.3, které omezuje velikost napětí, na které se může nabít kondenzátor v okamžiku, kdy je výstup **OUT** obvodu **555** v logické nule,
- $U_{FD1} = 0,5 \text{ [V]}$  při  $I_F = 100 \text{ [mA]}$  je propustné napětí na Schottkyho diodě **D1 1N5818** na obr. 2.5, které omezuje velikost napětí, na které se může nabít kondenzátor v okamžiku, kdy diodou protéká nabíjecí proud kondenzátoru **C3**,
- $U_{CEST20} = 2 \text{ [V]}$  při  $I_E = 100 \text{ [mA]}$  je saturační napětí tranzistoru **T20** na obr. 1.3, které omezuje velikost napětí, na které se superponuje napětí nabitého kondenzátoru v okamžiku, kdy je výstup **OUT** obvodu **555** v logické jedničce,
- $U_{FD1} = 0,5 \text{ [V]}$  při  $I_F = 100 \text{ [mA]}$  je propustné napětí na Schottkyho diodě **D2 1N5818** na obr. 2.5, které omezuje velikost napětí, na které se může nabít kondenzátor **C1** v okamžiku, kdy diodou **D2** do něj protéká vybíjecí proud kondenzátoru **C3**.

Součet těchto napětí je **5 [V]** pro proud zátěže **100 [mA]** a pro proudy menší přiměřeně klesá. Tento odhad vysvětluje, proč závislost na obr. 2.8 nemůže mít menší sklon a výstupní napětí nemůže být bez zpětné vazby stabilnější.