

# 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)



# 6 ZAJÍMAVÉ APLIKACE NÁBOJOVÝCH PUMP

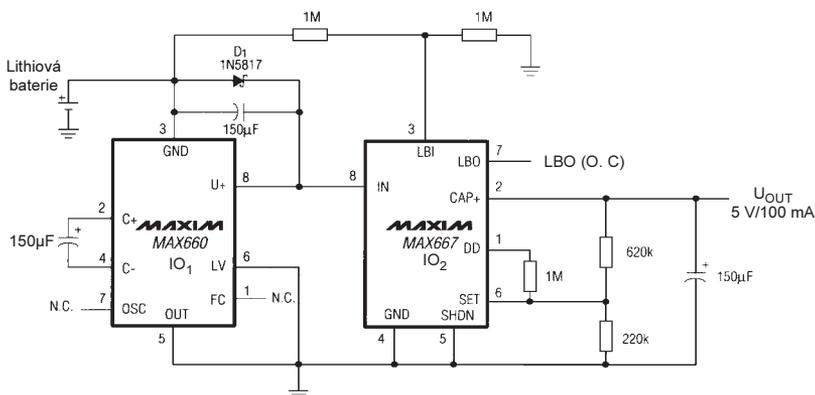
Mnohé elektroniky zajímají obvodová řešení jednoduchých úloh, která se objevují v katalogových listech součástek nebo aplikačních poznámkách uveřejňovaných jejich výrobcí, v časopisech, knihách věnujících se elektronice a nyní často i na Internetu, protože je často inspirují při řešení jejich problémů. I když je třeba zachovat ke všem těmto pramenům obezřetný přístup – chybovat je lidské – a před využitím si je ověřit pokud možno experimentálně, mohou mnohdy ušetřit čas. Proto jsou uvedeny i v této knize.

## 6.1 APLIKAČNÍ ZAPOJENÍ

Další kapitoly uvedou řešení měničů DC/DC jak s integrovanými obvody pro nábojové pumpy, které byly popsány v předchozím textu, tak i s použitím integrovaných obvodů pro jiné účely i běžných logických obvodů. Ukážeme i nyní již historické, ale stále použitelné zapojení s tranzistorem.

### 6.1.1 Zvyšovací měnič bez indukčnosti s regulovaným výstupem má vysokou účinnost – [6]

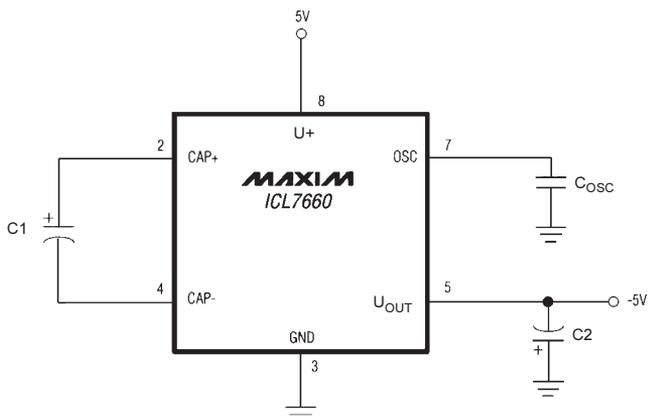
V systémech, u nichž se počítá s mobilním provozem, se jako zdroj často využívají lithiové baterie, které mají jmenovité napětí 3 V. Pokud napájené zařízení vyžaduje stabilní napětí 5 V a odebírá do 100 mA, nabízí se využití zvyšovacího měniče doplněného nízkoubytkovým lineárním regulátorem napětí IO2 zapojených podle obr. 213. Vstupní napětí pro zdvojovač vytvořený pomocí klasického obvodu 7660 z produkce firmy Maxim poskytuje primární lithiová baterie Duracell s jmenovitou kapacitou 1400 mAh. Schottkyho dioda D1 zajišťuje bezpečný náběh funkce spínacího zdroje a poté již jeho funkci neovlivňuje. IO2 je lineární regulátor, kterému postačí při zatížení 40 mA úbytek napětí mezi vstupem a výstupem jen 40 mV. Při uvedené zátěži nastane pokles výstupního napětí na 4,5 V po 16 h nepřetržitého provozu. Pokud by zátěž byla jen 20 mA, prodloužila by se tato doba na 36 h. Klidový napájecí proud celého obvodu je 200  $\mu$ A. Při napětí baterie  $U_{IN} = 3$  V a zatížení výstupu 100 mA je účinnost 81 %, při 20 mA asi 84 %. Účinnost s poklesem napětí baterie roste a při  $U_{IN} = 2,7$  V a zatížení výstupu 40 mA, dosahuje 90 %. Když napětí baterie klesne asi na 2,5 V, zmenší se napětí na vstupu LBI IO2 pod 1,22 V – hodnotu interního referenčního napětí IO2 a interní MOSFET, jehož otevřený kolektor je vyveden na vývod LBO, se otevře. To lze využít pro upozornění na potřebu výměny baterie.



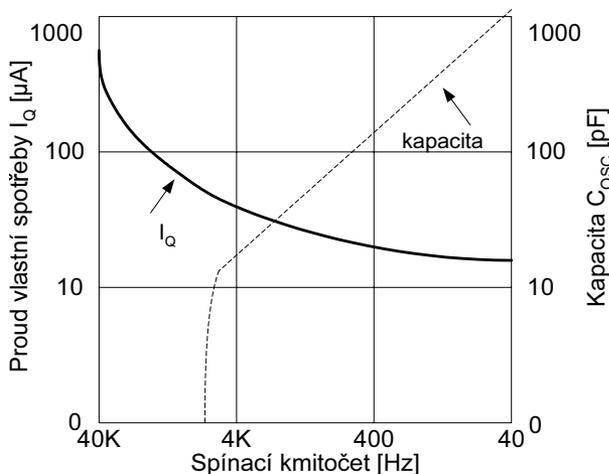
Obr. 213 Nábojová pumpa s regulací

### 6.1.2 Nižší pracovní kmitočet zlepšuje účinnost napěťové konverze ICL7660 – [5]

ICL7660 snadno zvládne přeměnu vstupního napětí v rozsahu 1,5 až 10 V na záporné napětí  $-1,5$  až  $-10$  V. Účinnost funkce takového měniče závisí na klidovém odběru ze zdroje, který je ovlivněn kmitočtem interního oscilátoru  $f_{OSC}$  této integrované nábojové pumpy. Spínání interních spínačů probíhá s kmitočtem  $f_S = f_{OSC}/2$  tedy 4 až 5 kHz. Při doporučené hodnotě dávkovacího C1 a střídacího kondenzátoru C2 10  $\mu$ F má měnič na obr. 214 klidovou vlastní spotřebu 70  $\mu$ A a je schopen poskytnout na výstupu 20 mA. Po připojení externího kondenzátoru  $C_{OSC}$  z vývodu 7 na zem se sníží jak kmitočet oscilátoru, tak i odběr obvodu ze zdroje. Minimální hodnoty, něco nad 10  $\mu$ A se docílí, jak ukazuje obr. 215, při kmitočtu 40 Hz. Aby však se zvýšením účinnosti nedošlo ke zvýšení zvlnění proti výchozímu stavu, je třeba



Obr. 214 Snížením spínacího kmitočtu lze zvýšit účinnost nábojové pumpy



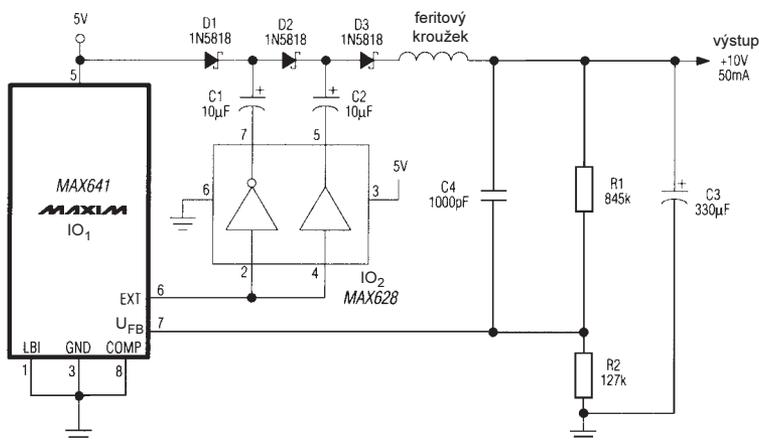
Obr. 215 Závislost spínacího kmitočtu, kapacity  $C_{osc}$  a proudu vlastní spotřeby pro inverter s ICL7660

také úměrně zvýšit kapacitu dávkovacího a střídacího kondenzátoru. Např. k nastavení spínacího kmitočtu na 400 Hz je třeba mezi vývod 7 a zem připojit kondenzátor s kapacitou 100 pF a zvýšit kapacitu kondenzátorů C1 a C2 na 100 µF. Proud vlastní spotřeby  $I_Q$  pak klesne asi na 15 µA. Při připojení kondenzátoru 1000 pF klesne tento proud na 10 µA, pokud se však ponechá  $C1 = C2 = 100 \mu F$ , lze měnič sice zatížit jen 2 mA, ale účinnost konverze bude až 98 %.

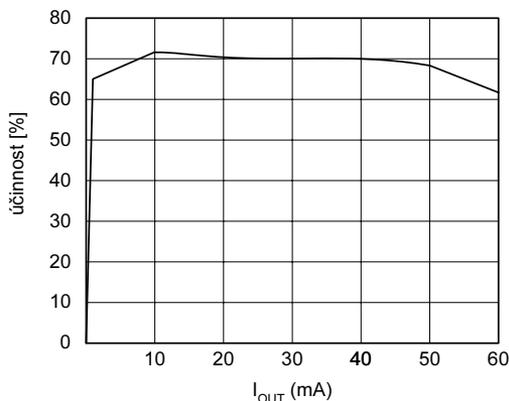
### 6.1.3 Nábojová pumpa s regulovaným výstupem 10 V/50 mA – [7]

Na měnič ss napětí podle obr. 216 je zajímavé, že používá řídicí obvod IO1 určený pro zvyšovací spínané regulátory s indukčností, ale na jejím místě a místě záchytné diody je zapojen ztrojovač napětí tvořený diodami D1–D3, kondenzátory C1–C3. Spínače potřebné k jeho funkci jsou obsaženy v IO2. V porovnání s nábojovými pumpami s jednočinným budičem, umožňuje zde použitá kombinace oddělovače a invertoru v IO2 zatížit zdroj větším proudem. Interní oscilátor v IO1 poskytuje na vývodu EXT (6) pravouhlý signál s kmitočtem 50 kHz a střídou blízkou 1 : 1, z kterého IO2 vyrobí dva protifázové signály pro spínání ztrojovače. Výstupní napětí je regulováno, jeho část získaná děličem z rezistorů R1, R2 se v IO1 porovnává chybovým komparátorem s vnitřním referenčním napětím 1,31 V a podle výsledku porovnání je uvolněn či přerušen signál EXT. Pro výstupní napětí platí, že přibližně do zátěže 50 mA, je  $U_{OUT} = (1 + R1/R2) \cdot 1,31$  a účinnost je přibližně 70 %. Výstupní napětí lze nastavit až na 15 V, ovšem s úměrně nižším zatížením. Na obr. 217 je závislost účinnosti konverze napětí na velikosti zátěže. Na místě D1–D3 je třeba užít Schottkyho diody a kondenzátory

by měly mít nízký ekvivalentní sériový odpor. V zapojení je nakonec přece jen indukčnost – feritový kroužek, kterým prochází výstupní vodič. Jejím úkolem je snížení zvlnění, které má při zátěži 50 mA mezivrcholovou hodnotu asi 20 mV.



Obr. 216 Zvyšovací měnič 5 V/10 V, 50 mA

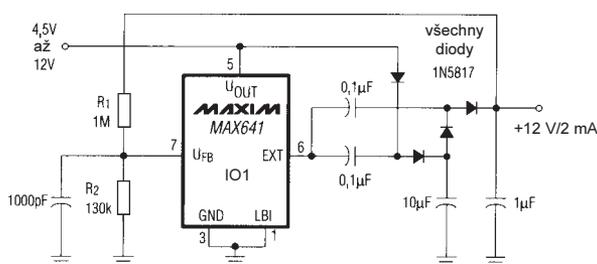


Obr. 217 Závislost účinnosti pumpy zapojené podle obr. 216 na zatížení

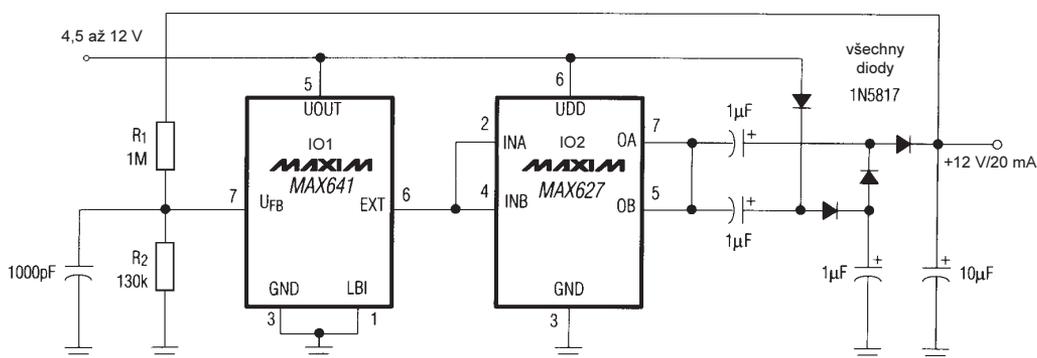
### 6.1.4 Regulovaný spínaný zdroj bez indukčnosti zvyšuje vstupní napětí – [9]

Zapojení na obr. 218 a obr. 219 jsou variantami obvodu na obr. 216. Opět namísto obvyklé aplikace MAX641 v regulovaném spínaném zdroji s indukčností, v kterém je výstupní napětí udržováno řízením proudu touto indukčností, řídí IO1 při tomto

řešení zdroje tentokrát sít' vytvořenou z diod a kondenzátorů s obdobnými parametry při malé zátěži. Vhodným zapojením této sítě lze získat téměř dvoj-, troj- i čtyřnásobek vstupního napětí. Zapojením na prvním z obrázků, které využívá jen samotný obvod MAX641, lze tentokrát bez převodu na protifázový signál získat ze vstupního napětí 4,5 až 12 V regulované výstupní 12 V, ovšem jen do zátěže 2 mA. Výstupní napětí se opět nastavuje děličem z rezistorů R1, R2. Pokud se podobně jako v předchozím případě výstup posílí neinvertujícím budičem IO2 podle obr. 219, lze zátěž zvýšit až na 20 mA. Když není zátěž připojena, je odběr ze zdroje závislý na velikosti napájecího napětí – při  $U_{IN} = 4,5\text{ V}$  je to  $130\ \mu\text{A}$ , při 12 V pak  $225\ \mu\text{A}$ . Proto je účinnost nejvyšší při nízkém vstupním napětí a pro zapojení na obr. 218 je 74,4 % při  $U_{IN} = 4,5\text{ V}$ , ale při 12 V jen 36,8 %. Pro druhé zapojení jsou tyto hodnoty 72,4 % a 43,9 %. K aplikaci IO2 na obr. 219 lze krátce uvést, že primárně jde o dvojitý budič výkonových tranzistorů MOSFET, jehož vstupy jsou kompatibilní s úrovními TTL a CMOS a výstupy mají výstupní odpor jen  $4\ \Omega$ .



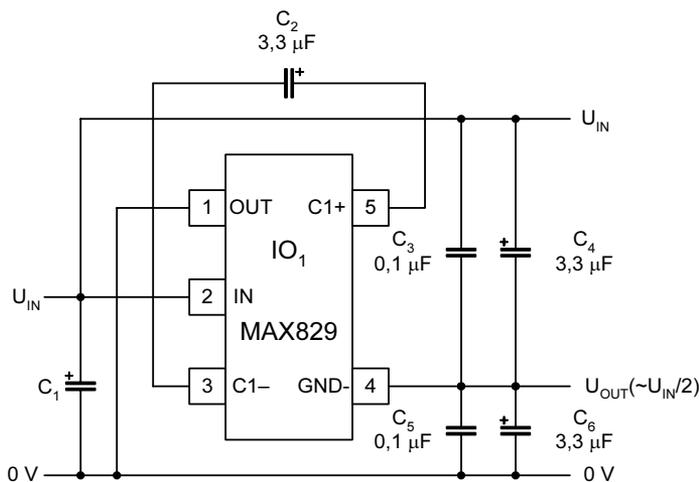
Obr. 218 Tento obvod udrží při vstupním napětí 4,5 až 12 V výstupní napětí 12 V, ale jen do zatížení 2 mA



Obr. 219 Při buzení diodové nábojové pumpy z budiče tranzistorů MOS lze výstup zatěžovat až do 20 mA

## 6.1.5 Symetrické rozdělení napětí zdroje pomocí IO pro inverzi – [10]

Nábojové pumpy jsou často užívány pro řešení potřeby zdroje symetrických napětí tam, kde je k dispozici jediný napájecí zdroj. Jedná se především o zapojení s jediným nebo několika málo operačními zesilovači. Výhodné je, že „symetrizátor“, který vytvoří taková napětí pomocí nábojové pumpy potřebuje na desce plošných spojů rozhodně menší plochu, než druhá baterie. Možné zapojení je na *obr. 220*. Po připojení napájecího napětí je dávkovací kondenzátor  $C_2$  připojován střídavě k akumulacním kondenzátorovým dvojicím  $C_3/C_4$  a  $C_5/C_6$ . Tím je na nich udržováno stejné napětí, které tedy musí být  $U_{IN}/2$ . Je-li zatížení mezi  $U_{IN} - U_{OUT}$  a  $U_{OUT} - 0\text{ V}$  stejné, odebírá IO1 asi  $36\ \mu\text{A}$  proudu vlastní spotřeby. Aby bylo  $U_{OUT}$  udrženo na  $U_{IN}/2$  musí dávkovací kondenzátor dodávat jen rozdílový proud způsobený nesymetrií zátěže. Pokud je zátěž větší než  $1\ \text{mA}$ , je účinnost přes  $90\%$ , zároveň však roste nesymetrie, při  $1\ \text{mA}$  je ale stále ještě jen asi  $10\ \text{mV}$ . Při menší zátěži je naopak symetrie velmi dobrá, ovšem účinnost dosti rychle klesá, při zatížení  $0,1\ \text{mA}$  je již jen asi  $55\%$ .



Obr. 220 Rozdělení napětí zdroje na dvě poloviny

## 6.1.6 Přeměna 3 V na 5 V – [11]

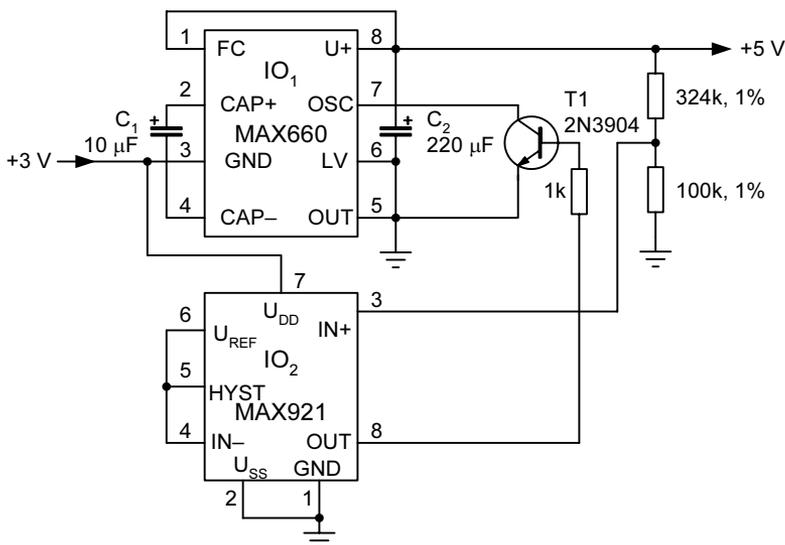
Základní zapojení nábojové pumpy, jak již víme, nepotřebují ke své činnosti cívky a mohou vstupní napětí jednoduše invertovat nebo zdvojnásobit, nemožňují však nastavit a udržovat velikost výstupního napětí pod těmito hodnotami. I když u moderních IO pro nábojové pumpy je taková funkce často již obsažena, lze ji dosáhnout i u těch jednodušších. V případě zapojení na *obr. 221* k tomu postačí přidat

ke zdvojovači s MAX660 (IO2) obvod MAX921, který obsahuje komparátor a referenční zdroj a tranzistor T1. Přenos náboje z C1 na C2 je řízen interním oscilátorem v IO1, který kmitá na 45 kHz. Když napětí na vývodu (3) IO2 převyší napětí interního referenčního zdroje 1,18 V, přepoklopí jeho výstup (8) do stavu „log. 1“ a následně sepnutí tranzistoru T1 přeruší funkci oscilátoru. Po poklesu napětí komparátor přepoklopí zpět a k zvýšení napětí nad překlápěcí úroveň postačí dva cykly oscilátoru. Tak ostatně probíhá stabilizace výstupního napětí u některých regulovaných nábojových pump. Zvlnění výstupního napětí závisí na velikosti vstupního napětí a proudovém zatížení tak, jak uvádí *tab. 38*.

*Tab. 38* Zvlnění nábojové pumpy z obr. 221

Odpor zátěže [ $\Omega$ ]	Výstupní napětí [V]	Zvlnění p-p [mV]
$U_{IN} = 3 \text{ V}$		
$\infty$	5,00	30
10 k	5,00	35
1k	5,00	100
100	4,96	100
50	4,59	150
$U_{IN} = 3,3 \text{ V}$		
$\infty$	5,01	55
10 k	5,01	55
1k	5,01	55
100	4,98	170
50	4,9	170
$U_{IN} = 2,7 \text{ V}$		
$\infty$	4,98	10
10 k	4,98	25
1k	4,98	25
100	4,64	70
50	4,29	90

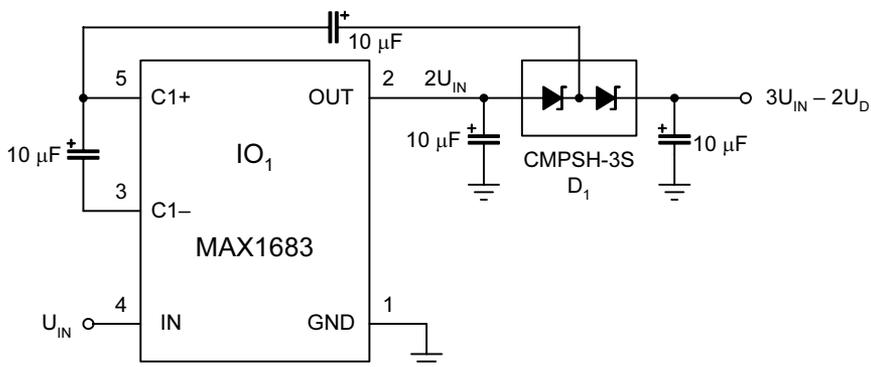
Na úkor účinnosti lze zvlnění snížit zapojením rezistoru s odporem asi 1  $\Omega$  do série s C1. Zvlnění klesne i po snížení kapacity C1, protože přenos menšího náboje má za následek menší napěťové skoky v  $U_{OUT}$ .



Obr. 221 Nábojová pumpa s MAX660 doplněná o regulaci výstupního napětí

### 6.1.7 Měnič 5 V/15 V – [12]

Je-li v systému s napájením 5 V zapotřebí ještě napětí 15 V, např. pro napájení operačních zesilovačů, LCD displeje nebo jiných obvodů s odběrem do 30 mA, je možné uvažovat o jednoduchém zapojení na obr. 222, kde je integrovaný zdvojovač



Obr. 222 Ztrojovač napětí s MAX1683