

# CHARGE PUMPS

Anar MAMMADOV, Master Degree Programme (5)  
Dept. of Microelectronics, FEEC, VUT  
E-mail: anarmamedov@hotmail.com

Supervised by Dr. Michal Horák

## ABSTRACT

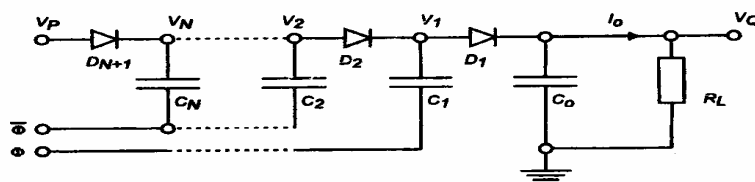
Charge pumps are circuits that can pump charge upward to produce voltages higher than the regular supply voltage. Charge pumps have been used in the nonvolatile memories, such as EEPROM and Flash memories, for the programming of the floating gate devices. They can also be used in the low-supply-voltage switched capacitor systems that require high voltage to drive the analog switches.

## 1 ÚVOD

Nábojové pumpy jsou speciální integrované obvody, které jsou schopny akumulovat a zvětšovat elektrický náboj a tak zvyšovat i napětí. Zvláště v poslední době se stávají přitažlivou alternativou k měničům napětí DC/DC založeným na použití indukčností. Pro spínání se používají polovodičové diody a diskretní tranzistory, princip však je stále týž a má dvě fáze. V první se kondenzátory nabijí a pak se v druhé zapojí tak, aby bylo docíleno požadovaného zvýšení napětí. Intenzivnější využívání nábojových pump začalo až v poměrně nedávné době. To mělo své důvody ve velké závislosti výstupního napětí na zatížení i poměrně malým proudem, větším výstupním šumu a velkých proudových špičkách zatěžujících zdroj vstupního napětí. Co se týče výstupního napětí je jeho velikost omezena.

## 2 OBVOD NÁBOJOVÉ PUMPY

Většina obvodů integrovaných nábojových pump pracuje na základě obvodu který byl navržen Dicksonem v roce 1976. Elektrický obvod nábojové pumpy je ukázán na obr.1.



Obr. 1: Základní Dicksonův obvod nábojové pumpy.

Obvod se skládá z řetězce kondenzátorů  $C_n$ , které s diodami tvoří paralelní dvojice a na které se přivádí časové signály  $\Phi(t)$  a  $\bar{\Phi}(t)$  s frekvencí  $f$  a amplitudou  $V_\Phi$ . Náboj se přenáší z jednoho kondenzátoru do dalšího, jestliže časově řízený první kondenzátor je velký, a časově řízený další kondenzátor je menší. Výraz pro ustálený stav výstupního napětí  $V_Q^\Omega$  je dán:

$$V_Q^\Omega = V_P - (N+1) \cdot V_\Delta + N \cdot V_\Phi - \left( \frac{N}{2} + \frac{1}{2C} \right) \cdot \frac{I_0}{f} \quad (1)$$

kde  $V_\Delta$  je napětí diod v propustném směru,  $N$  je číslo stupně a  $C$  je kapacita kondenzátorů. Tento výraz udává minimální hodnotu výstupního napětí.

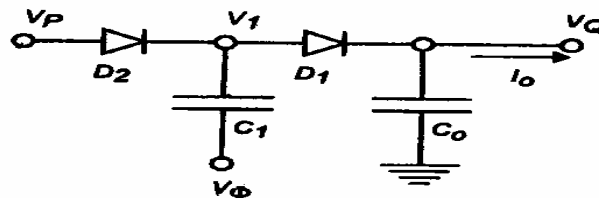
Strmé časově závislé napětí způsobuje špičky proudů a zvlnění u výstupního napětí. Tento nevhodný jev může být zmenšen v různých dynamických režimech. Tato analýza je omezena na 1. stupeň obvodu nábojové pumpy, který je ukázán na obr. 2. Ustálený stav výstupního napětí  $V_Q^\Omega$  1. stupně nábojové pumpy je dán vztahem :

$$V_Q^\Omega = V_P - 2 \cdot V_\Delta + V_\Phi - \left( \frac{1}{C_1} + \frac{1}{2C_0} \right) \cdot \frac{I_0}{f} \quad (2)$$

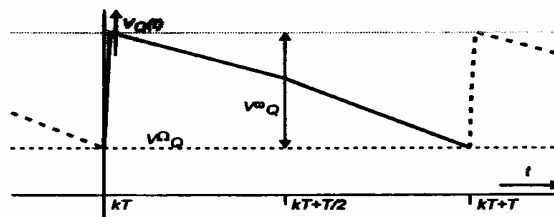
Amplituda pilovitého napětí je dána vztahem:

$$V^{\omega_Q} = \left( \frac{1}{C_0 + C_1} + \frac{1}{C_0} \right) \frac{I_0}{2 \cdot f} = \frac{I_0}{C_0 \cdot f} \quad (3)$$

Jestliže obvod je zatížen konstantním proudem  $I_0$ , pulsace napětí na výstupu způsobí vybíjení nabitého kondenzátoru  $C_0$  a výstupní napětí má pilovitý tvar na obr. 3. Ostré stoupající hrany jsou způsobeny okamžikem nabíjení mezi  $C_1$  a  $C_0$ . Lineární pokles napětí je



Obr. 2: První stupeň obvodu nábojové pumpy

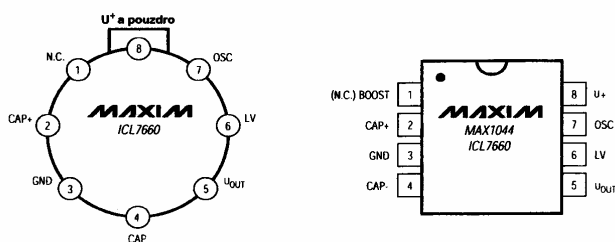


Obr. 3: Průběh výstupního napětí

způsoben vybíjením výstupního kondenzátoru  $C_0$ . V době první poloviny periody je dioda  $D_1$  vodivá. Proto  $C_1$  je připojen souběžně s velkým kondenzátorem  $C_0$ . V době druhé poloviny periody je dioda  $D_1$  zavřena a pouze  $C_0$  je vybíjen.

### 3 NÁBOJOVÉ PUMPY MAXIM

Firma Maxim výrobcem nejrozsáhlejšího souboru IO pro nábojové pumpy jak bez regulace, tak s regulací výstupního napětí. Jako příklad uvedeme nábojové pumpy MAXIM bez regulace výstupního napětí. To jsou takové obvody, které obsahují v podstatě jen samotnou pumpu a jejichž výstupní napětí není regulováno. Monolitické integrované obvody typu ICL7660 a MAX1044 vyráběné technologií CMOS jsou určeny pro měniče, které invertují, násobí či dělí kladné vstupní napětí. Vstupní napětí může být již 1,5 V, maximálně pak 10 V. Výstupní proud 10 mA způsobí na vnitřním odporu úbytek 0,5 V. Vývod 1 (BOOST) má u MAX1044, na rozdíl od ISCL7660, funkci, kterou se zvýší kmitočet oscilátoru a tím i pracovní kmitočet pumpy, která má poloviční kmitočet. To umožní přesunout rušivé kmitočty vznikající činností měniče mimo akustické pásmo a současně snížit kapacitu kondenzátoru. Typický napájecí proud při vstupním napětí 5 V je 30  $\mu$ A, maximální hodnota může být až 200  $\mu$ A. Výkonová účinnost je 98 %. Na obr. 4 je obvod, v kterém jsou měřeny charakteristické parametry tohoto obvodu. Funkce vývodu 1 jsem už uvedl. Důležité je zapojení vývodu LV (Low Voltage), který je třeba při vstupním napětí pod 3,5 V spojit se zemí a je-li vyšší, je jej nechat naprázdno. U MAX1044 je možné jej nechat spojen s GND trvale. U ICL7660 musí při  $U^+ > 5$  V zůstat LV nezapojen. Ke kmitočtu oscilátoru a tedy i pracovnímu kmitočtu pumpy a s tím souvisejícími vývody BOOST a OSC lze říci, že mohou zůstat nezapojeny a pak odpovídá kmitočet oscilátoru hodnotě 10 kHz. Ke zvýšení kmitočtu lze u MAX1044, využít vývodu spojení BOOST s  $U^+$  a docílit tak zvýšení asi šestinásobné.



**Obr. 4:** Pohled shora na pouzdra TO-99 a DIP/SO/ $\mu$ MAX, v nichž jsou vyráběny IO MAX 1044 a ICL 7660

### 4 ZÁVĚR

Nábojové pumpy zvláště v poslední době se stávají přitažlivou alternativou k měničům DC/DC založeným na použití indukčnosti. Nábojové pumpy nám také poskytují řešení úpravy velikosti stejnosměrného napětí pro účely napájení elektronických obvodů. Ale na druhou stranu nábojové pumpy mají svoji nevýhodu to jsou například: omezený výstupní výkon a omezený rozsah vstupních napětí.

### LITERATURA

- [1] Humblans, J.: Nábojové pumpy – funkce a použití, Praha 2002, ISBN 80-7300-046 -6
- [2] www.linear.com