
Kurz praktické elektroniky

Katedra měření, ČVUT– FEL, Praha 30.8. - 3.9. 2021

6.9. - 10. 9. 2021

**prof. Ing. Jan Holub, Ph.D.
Vedoucí katedry měření**

**doc. Ing. Jan Fischer, CSc.
prezentující**

**Tento materiál je určen pouze pro studenty ČVUT - FEL,
účastníky kurzu praktické elektroniky, organizovaného katedrou
měření, ČVUT-FEL v Praze v září 2021.**

Náplň

Výklad:

Zapojení reproduktoru typu „buzzer“ do obvodu s procesorem

Laboratoř, experimenty:

Připojení reproduktoru k F0 - lab

Programování STM32F042

Generace zvuku pomocí mbed – melodický generátor

Úprava pole s F0 – Lab, pro kultivovaný vzhled, „dočištění“ drátů,
úpravy pro dobrý vzhled při předávání - *bude to na fotografii.*

Zapojení reproduktoru typu „buzzer“ do obvodu

Reproduktor- typu „buzzer“ - tedy bzučák. Je určen pro generaci **akustických signálů** poblíže své **rezonanční frekvence**. Tedy není určeno pro generaci hudby,..ale pouze pro akustickou signalizaci. Při generaci akustických signálů pod 1 kHz silně klesá jejich intenzita.

V úloze je použit buzzer:

Loudity **LD-BZEN-** odpor cívky **140 Ohmů**,
rezonanční frekvence **2400 Hz**

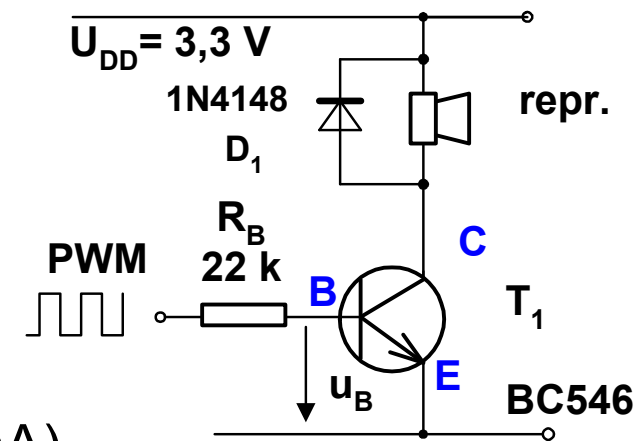
Buzení výstupem **PWM** pomocí tranzistoru
v režimu spínače (ON, OFF).

BC546 (až 100 mA) nebo **BC337** (až 500 mA)

Pro snížení střední hodnoty proudu - lze nastavit menší střihu (kratší impuls).

D₁ použita pro potlačení **napět'ových špiček** vznikajících při vypínání proudu indukční zátěží (více vysvětlení – později v předmětu EPO).

Využití v úloze - **generátor znělky, melodický generátor**,
programově realizované pomocí STM32F042



Úlohy

- **Zapojit obvod BC546 s blokem bzučáku (buzzer LD1212)**
- Vyzkoušet funkci bzučáku pomocí **PWM výstupu z F0- Lab**, zjistit **rezonanční frekvenci**, kde je největší **intentita** signálu.

Poznámka: **Nálepku** na bzučáku **neodstraňovat úplně**, ale **ponechat** pouze částečně odlepenou pro případné tlumení vysoké hlasitosti.

Pomocí **mbed IDE** pro STM32F042 **vytvořit program** pro blikání LED:

- Prosté **pomalé blikání LED zápisem hodnoty** na bránu, signalizace SOS . . . - - - . . . různé motivy blikání více LED
- Pomalé blikání LED pomocí generace PWM - stálá perioda a střída.
- Buzení **LED** („rychlé blikání“ – např. 100 - 500 Hz) pomocí **PWM** s proměnnou střídou pro postupné rozsvěcování a zhasínání LED.
- **Akustická** signalizace pomocí **PWM** a bzučáku
- **Melodický generátor** pomocí **PWM** – **bonus**
- Generovat **signál** nebo **melodii podle** stavu připojeného **tlačítka** – **bonus**

Na:

https://en.wikipedia.org/wiki/Piano_key_frequencies

Tabulka frekvencí hudební stupnice

Další informace

[https://cs.wikipedia.org/wiki/Stupnice_\(hudba\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Stupnice_(hudba))

Generovat hudební stupnici

Na začátku každého nového tónu generovat impuls na synchronizačním pinu.

Generovat melodii „ skákal pes...“

Generovat: Znělka z hokeje, známé hity,...

Použití zvonek s více tlačítka (branka, dveře), podle truhu tlačítka se spustí melodie).

Melodie - Skákal pes přes oves

Vytvořte generátor melodie dle zápisu pomocí PWM.

g g e g g e g g a g g f

SKÁ-KAL PES PŘES O - VES PŘES ZE - LE-NOU LOU - KU,

f f d f f d f f g f f e

ŠEL ZA NIM MYS-LI - VEC PÉ-RO NA KLO - BOU - KU.

Values in **bold** are exact on an ideal piano. Keys shaded gray are rare and only appear on extended pianos.

Key number	Helmholtz name	Scientific name	Frequency (Hz)	Corresponding Open Strings				
				Violin	Viola	Cello	Bass	Guitar
102	f ⁸	F ₈	5587.65					
101	e ⁸	E ₈	5274.04					
100	d ⁸ /e ^{b8}	D [♯] ₈ /E ^b ₈	4978.03					
99	d ⁸	D ₈	4698.64					
98	c ⁸ /d ^{b8}	C [♯] ₈ /D ^b ₈	4434.92					
88	c ⁸ 5-line octave	C ₈ Eighth octave	4186.01					
87	b ⁸	B ₇	3951.07					
86	a ⁸ /b ^{b8}	A [♯] ₇ /B ^b ₇	3729.31					
85	a ⁸	A ₇	3520.00					
84	g ⁸ /a ^{b8}	G [♯] ₇ /A ^b ₇	3322.44					
83	g ⁸	G ₇	3135.96					
82	f ⁸ /g ^{b8}	F [♯] ₇ /G ^b ₇	2959.96					
81	f ⁸	F ₇	2793.83					
80	e ⁸	E ₇	2637.02					
79	d ⁸ /e ^{b8}	D [♯] ₇ /E ^b ₇	2489.02					
78	d ⁸	D ₇	2349.32					
77	c ⁸ /d ^{b8}	C [♯] ₇ /D ^b ₇	2217.46					
76	c ⁸ 4-line octave	C ₇ Double high C	2093.00					
75	b ⁸	B ₆	1975.53					
74	a ⁸ /b ^{b8}	A [♯] ₆ /B ^b ₆	1864.66					
73	a ⁸	A ₆	1760.00					
72	g ⁸ /a ^{b8}	G [♯] ₆ /A ^b ₆	1661.22					
71	g ⁸	G ₆	1567.98					
70	f ⁸ /g ^{b8}	F [♯] ₆ /G ^b ₆	1479.98					
69	f ⁸	F ₆	1396.91					

68	e'''	E ₆	1318.51				
67	d#'''/eb'''	D# ₆ /E _{b6}	1244.51				
66	d'''	D ₆	1174.66				
65	c#'''/db'''	C# ₆ /D _{b6}	1108.73				
64	c''' 3-line octave	C ₆ Soprano C (High C)	1046.50				
63	b''	B ₅	987.767				
62	a#''/bb''	A# ₅ /B _{b5}	932.328				
61	a''	A ₅	880.000				
60	g#''/ab''	G# ₅ /A _{b5}	830.609				
59	g''	G ₅	783.991				
58	f#''/gb''	F# ₅ /G _{b5}	739.989				
57	f''	F ₅	698.456				
56	e''	E ₅	659.255	E			
55	d#''/eb''	D# ₅ /E _{b5}	622.254				
54	d''	D ₅	587.330				
53	c#''/db''	C# ₅ /D _{b5}	554.365				
52	c'' 2-line octave	C ₅ Tenor C	523.251				
51	b'	B ₄	493.883				
50	a#'/bb'	A# ₄ /B _{b4}	466.164				
49	a'	A ₄ A440	440.000	A	A		High A (Optional)
48	g#'/ab'	G# ₄ /A _{b4}	415.305				
47	g'	G ₄	391.995				
46	f#'/gb'	F# ₄ /G _{b4}	369.994				
45	f'	F ₄	349.228				
44	e'	E ₄	329.628				High E
43	d#'/eb'	D# ₄ /E _{b4}	311.127				
42	d'	D ₄	293.665	D	D		
41	c#'/db'	C# ₄ /D _{b4}	277.183				
40	c' 1-line octave	C ₄ Middle C	261.626				

40	c' 1-line octave	C ₄ Middle C	261.626				
39	b	B ₃	246.942				B
38	a#/b \flat	A \sharp ₃ /B \flat ₃	233.082				
37	a	A ₃	220.000 ←			A	
36	g#/a \flat	G \sharp ₃ /A \flat ₃	207.652				
35	g	G ₃	195.998 ←	G	G		G
34	f#/g \flat	F \sharp ₃ /G \flat ₃	184.997				
33	f	F ₃	174.614 ←			F (7 string)	
32	e	E ₃	164.814 ←				
31	d#/e \flat	D \sharp ₃ /E \flat ₃	155.563				
30	d	D ₃	146.832 ←			D	D
29	c#/d \flat	C \sharp ₃ /D \flat ₃	138.591				
28	c small octave	C ₃	130.813	C (5 string)	C		C (6 string)
27	B	B ₂	123.471				
26	A#/B \flat	A \sharp ₂ /B \flat ₂	116.541				
25	A	A ₂	110.000				A
24	G#/A \flat	G \sharp ₂ /A \flat ₂	103.826				
23	G	G ₂	97.9989			G	G
22	F#/G \flat	F \sharp ₂ /G \flat ₂	92.4986				
21	F	F ₂	87.3071	F (6 string)			
20	E	E ₂	82.4069				Low E
19	D#/E \flat	D \sharp ₂ /E \flat ₂	77.7817				
18	D	D ₂	73.4162			D	
17	C#/D \flat	C \sharp ₂ /D \flat ₂	69.2957				
16	C great octave	C ₂ Deep C	65.4064			C	
15	B _,	B ₁	61.7354				B (7 string)
14	A \sharp _, /B \flat _,	A \sharp ₁ /B \flat ₁	58.2705	B \flat (7 string)			
13	A _,	A ₁	55.0000			A	

13	A ₁	A ₁	55.0000				A	
12	G ₁ [#] /A ₁ ^b	G ₁ [#] /A ₁ ^b	51.9131					
11	G ₁	G ₁	48.9994					
10	F ₁ [#] /G ₁ ^b	F ₁ [#] /G ₁ ^b	46.2493					F [#] (8 string)
9	F ₁	F ₁	43.6535					
8	E ₁	E ₁	41.2034				E	
7	D ₁ [#] /E ₁ ^b	D ₁ [#] /E ₁ ^b	38.8909					
6	D ₁	D ₁	36.7081					
5	C ₁ [#] /D ₁ ^b	C ₁ [#] /D ₁ ^b	34.6478					C [#] (9 string)
4	C ₁ contra-octave	C ₁ Pedal C	32.7032					
3	B ₀	B ₀	30.8677				B (5 string)	
2	A ₀ [#] /B ₀ ^b	A ₀ [#] /B ₀ ^b	29.1352					
1	A ₀	A ₀	27.5000					
97	G ₀ [#] /A ₀ ^b	G ₀ [#] /A ₀ ^b	25.9565					G [#] (10 string)
96	G ₀	G ₀	24.4997					
95	F ₀ [#] /G ₀ ^b	F ₀ [#] /G ₀ ^b	23.1247					
94	F ₀	F ₀	21.8268					
93	E ₀	E ₀	20.6017					
92	D ₀ [#] /E ₀ ^b	D ₀ [#] /E ₀ ^b	19.4454					
91	D ₀	D ₀	18.3540					
90	C ₀ [#] /D ₀ ^b	C ₀ [#] /D ₀ ^b	17.3239					
89	C ₀ sub-contra-octave	C ₀ Double Pedal C	16.3516					

Laboratoř + Bonus - úlohy – řešení podle stavu a času

Generovat procesorem programově melodii nebo znělku.

Generovat procesorem signál nebo melodii podle stavu připojeného tlačítka

Bonus - s využitím odporového děliče 68 k/10 k pozorovat **napět'ovou špičku** na kolektoru tranzistoru budícího reproduktor

Měření na zesilovači pro reproduktor- buzzer

Osciloskopem pozorovat signály:

Ch₁ na PWM, **Ch₂** na u_B , **Ch₃** na u_C
(s ochranným rezistorem 68 k, 51 k)

špičky napětí u_C

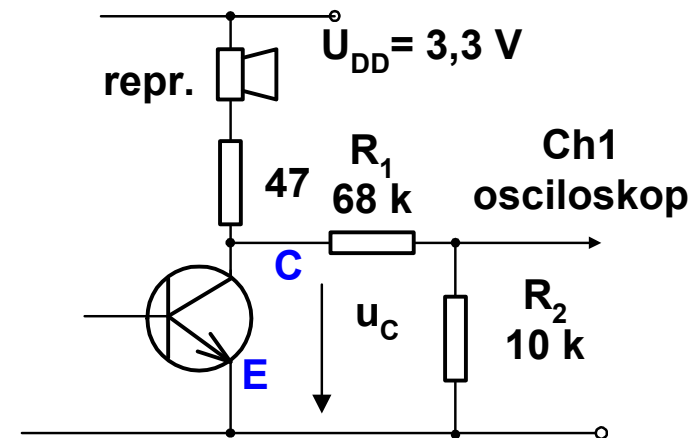
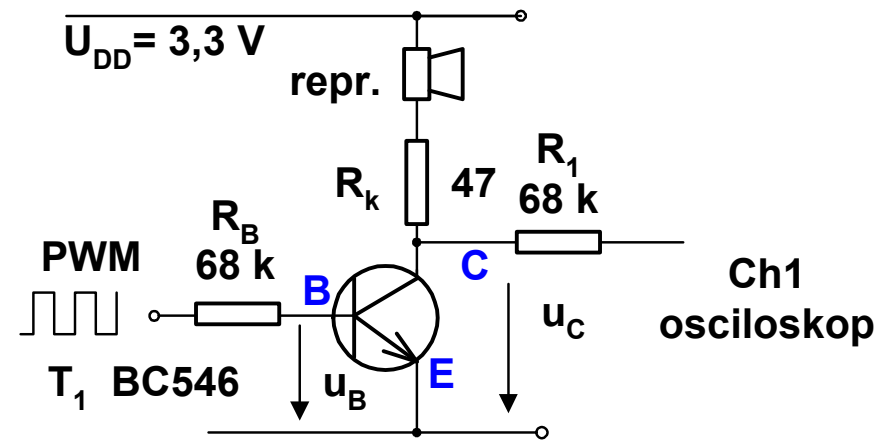
Použít odporový dělič 68 k (51 k) na 10 k,
Jaké jsou velikosti napětí na u_C ?

Napětí větší, než napájecí ,
jak k tomu došlo ?

Reproduktorek- elektromagnetický
měnič, cívka- indukčnost

Snaha o **skokovou změnu** proudu
cívkou s indukčností
při vypínání způsobí napěťovou špičku

Pozn.: V případě použití buzzeru od odporu cívky
140 Ohmů, **není třeba** zapojovat sériový odpor 47 Ohmů.



Chování cívky

**Napětí na cívce - změna proudu
platí pro nárůst proudu**

$$u_L = L \frac{di}{dt}$$

**Změna proudu za čas přímo úměrná
přivedenému napětí a nepřímo indukčnosti**
energie mag. pole cívky –

$$\frac{di}{dt} = \frac{u_L}{L}$$

$$W = \frac{1}{2} LI^2$$

Při vypínání proudu cívkou

$$\int_0^T u_L dt = L \int_I^0 di$$

Při **vypínání proudu cívkou** se na svorkách cívky objeví napětí, kde **integrál napětí** odpovídá **$L \cdot I$**

$$\int_0^T u_L dt = LI$$

Pozn. Pro zjednodušení ve vztazích neuvažujeme znaménka „minus“

Srovnání cívky s proudem a tělesa v pohybu

(Analogie, roztlačování auta, síla- napětí, hmotnost – indukčnost, rychlost - proud)

Roztlačení auta a zastavování
- zastavení pomalu- potřeba malá síla,
zastavení **rychle** - velká síla,
impuls síly rovná se hybnosti tělesa **mv** .

$$u_L = L \frac{di}{dt}$$

$$F = m \frac{dv}{dt}$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{u_L}{L}$$

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{F}{m}$$

impuls síly = hybnosti tělesa

Skoková změna rychlosti - náraz, ***velká síla***, podobně, skoková ***změna proudu - velké napětí*** na cívce. Hrozí nebezpečí poškození součástek průrazem

W – energie [J]

$$\int_0^T u_L dt = L \int_I^0 di$$

$$\int_0^T u_L dt = LI$$

$$\int_0^T F dt = mv$$

$$W = \frac{1}{2} LI^2$$

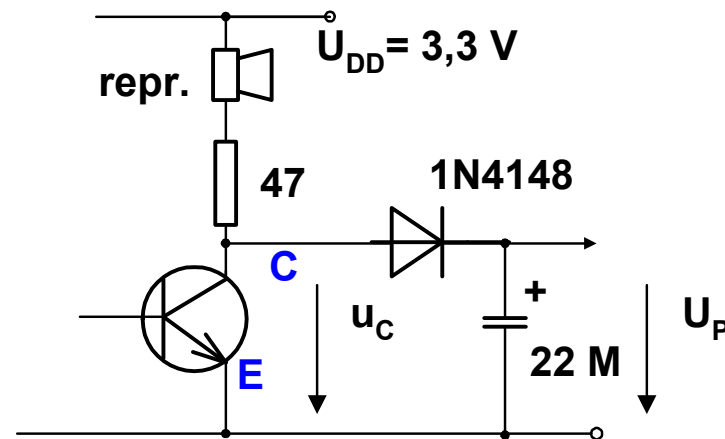
$$W = \frac{1}{2} mv^2$$

Chování reproduktorku jako cívky s indukčností

Využití napěťových špiček- jako zvyšující napájecí zdroj

Voltmetrem (F0-Lab s děličem) změřit napětí U_p naprázdno

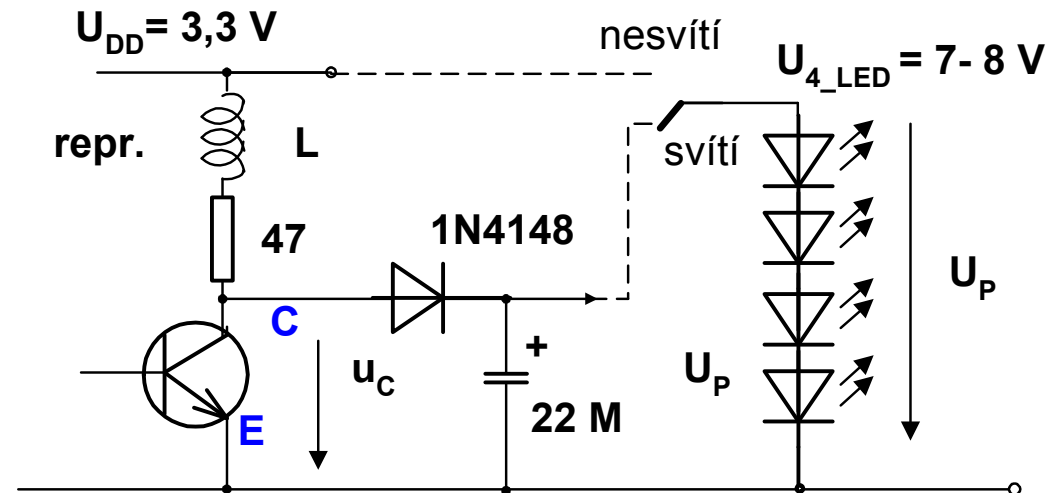
Experiment v laboratoři – podle času. Pomocí PWM ovládat reproduktor, **multimetrem** změřit napětí U_p . (? závislost na frekvenci PWM?)



Zvyšující zdroj napětí „step up“,

Využití napěťových špiček- jako zvyšující napájecí zdroj

Experiment, zapojit 3 - 4 LED sériově, rozsvítit. Voltmetrem (F0-Lab s děličem) změřit napětí U_P se zátěží čtyř LED



Toto je podstata jednoduchého zvyšujícího zdroje napětí „**step-up**“ měnič.

Super- bonus úloha, procesorem řízený STEP- UP zdroj s číslicovou regulací napětí. Pro větší proudy, možno použít tranzistor BC337-40 (dáme), případně vyřadit i rezistor 47 ohmů. Pozor - poněkud riziková úloha, napěťové špičky mohou poškodit procesor.

Číslicový regulátor s STM32F042, viz BP, DSPACE.CVUT.CZ, BP Jan Světlík

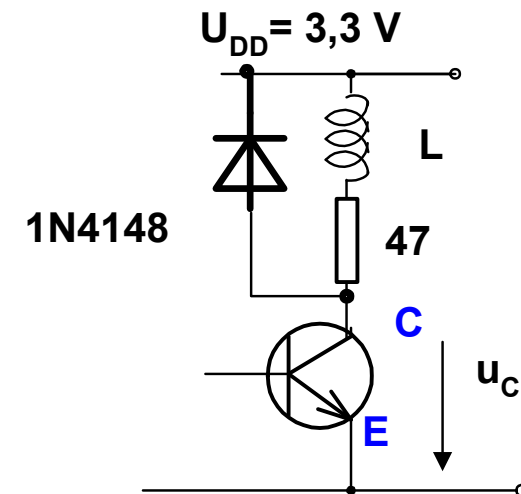
Opatření proti vzniku napěťových špiček na cívce

Zamezení vzniku napěťových špiček - „volnoběžná“ dioda

Vždy používat **diodu** při impulsním buzení indukční zátěže,
ovládání relé procesorem pomocí tranzistoru,...

Dioda velmi zpomalí pokles proudu- to je někdy komplikace. Kompromis - rezistor do série s diodou – zrychlí se pokles proudu, současně nebude příliš velká napěťová špička

(Analogie vedení proudu diodou:
nezastavíme na místě,
ale jedeme jiným směrem
(třeba i „dokolečka“, auto nenarazí,
ale vyhne se, ale rychlost a energie zůstávají)



Ovládání rychlosti stejnosměrného motorku

Ovládání stejnosměrného motorku

Použití **generátoru PWM (stovky Hz)** , řízení **spínacího tranzistoru BC546** (BC337) přes rezistor v bázi $R_B = 10 \text{ k}$.

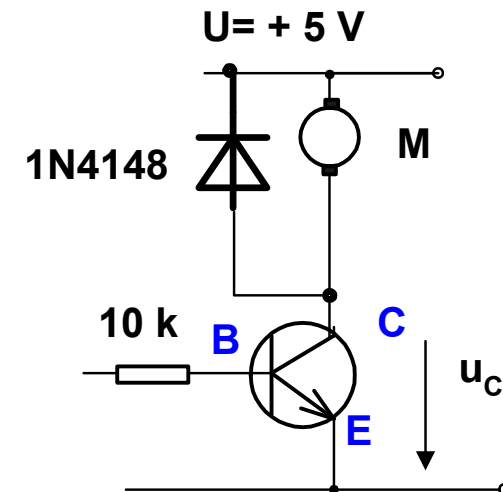
Zamezení vzniku napěťových špiček, dioda antiparalelně k napájení vinutí motorku (katoda na + 5 V, anoda na kolektor).

Napájení motorku z + 5 V.

Napájení elektroniky enkodéru + 5 V.

Pozor – výstupní úrovně enkodéru jsou 0 a + 5 V, použít odporový napěťový dělič, např. 10 k /10 k

Pozorovat signál z enkodéru osciloskopem.
Jak se mění **otáčky** se změnou **střídý**?



Úloha - studenti EEM

Bonus úloha-

Pomocí **mbed** vytvořit **program pro STM32F042**, který bude změnou **střídy PWM** postupně periodicky **zvyšovat a snižovat otáčky motoru**.

Perioda změn - cca **10 sekund**.

Super- bonus úloha.

Vytvořte **program**, který bude **regulovat otáčky motoru** s využitím **informace z enkodéru**.

Číst signál enkodéru, počítat impulsy (digitální vstup, programové počítání změn 0,1,0,.. za daný interval.

Interval - **pomocí Ticker**.

Z počtu změn **vyhodnotit rychlost** a provést **regulační zásah**. (primitivní způsob – přímé měření frekvence, lépe – reciproční měření frekvence pomocí čítačů, to však není jednoduše možné s mbed).

Konec