
Kurz praktické elektroniky

Katedra měření, ČVUT– FEL, Praha 29.8. - 3.9. 2022

5.9. - 9. 9. 2022

**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 2022.**

Náplň

Výklad:

Zapojení reproduktoru typu „buzzer“ („bzučák“) do obvodu s procesorem

Laboratoř, experimenty:

Připojení reproduktoru k F0 – lab

Dokončení předchozích experimentů

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.*

Přehled některých poznatků z KPE 2022 část 1

Máme zápisky z experimentů. *Víme a umíme:*

jaké je **napětí** na **Si diodě**, jaké **napětí** je U_{BE} tranzistoru NPN, jaké napětí na LED červené, žluté, zelené, modré, jaký je **diferenciální** odpor LED (např. červené) při zvolém proudu; jak se určí odpor paralelní a sériové kombinace rezistorů

Jak se určí **časová konstanta** z přechodového děje; jaké hodnoty dosáhne napětí při spádové hraně přechodového děje na članku RC za dobu časové konstanty tau., podobně při náběžné hraně.

K čemu složí blok trigger u osciloskopu

Jaký je vnitřní odpor filtru (pro použitého pro generaci stejnosměrného napětí pomocí PWM) s RC člankem 10 k/100 nF

Jaký je vnitřní odpor zdroje napětí s odporovým děličem 10k /10k , děliče 10 k /2k2.

Proč se **nesmí přepólovat** napájení procesoru STM32F042.

Jak se určí **proudový zesilovací** činitel h_{21E} bipolárního tranzistoru NPN;

Přehled některých poznatků z KPE 2022, část 2

Víme , umíme, známe.

Zapojení paralelního **regulátoru** s obvodem TL431; sérového regulátoru napětí s **operačním zesilovačem**; umíme vypočítat **předřadný odpor** TL431; umíme vypočítat velikost předřadného odporu k LED s požadovaným proudem při napájení ze zdroje daného napětí; umíme zapojit **emitorový sledovač** s tranzistorem NPN, víme k čemu je dobré jej využít, jaký má řádově vnitřní odpor; umíme zapojit **NMOSFET** jako spínač pro LED, známe typickou velikost **prahového napětí NMOSFET** – např BS170; umíme sestavit obvod a realizovat metodu jeho měření.

Známe ve velmi zjednodušené formě podstatu paměťové buňky dynamické paměti a umíme ji demonstrovat obvodově

Víme jaké zesílení naprázdno – řádově (v otevřené smyčce) má operační zesilovač, umíme jej použít pro realizaci regulátoru napětí;

Víme, jak se **s teplotou** přibližně mění **napětí na diodě Si** a tranzistoru v diodovém zapojení.

Známe **podstatu regulátoru** se zápornou zpětnou vazbou.

Přehled některých poznatků z KPE 2022, část 3

Víme , umíme, známe.

Fototranzistor a jeho zapojení do obvodu; systém pro měření rychlosti pohybu se dvěma **optickými závorami** s fototranzistotry, nastavení prahové úrovně u snímače s fototranzistorem a tranzistorem NPN; známe podstatu optického reflexního snímače pro vyhodnocení přiblížení;

Umíme pomocí F0-Lab **měřit odpor poměrovou** metodou srovnáním se známým odporem, např. 10 k.

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 signálůs frek. pod 1 kHz silně klesá jejich intenzita.

V úloze je použit buzzer:

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

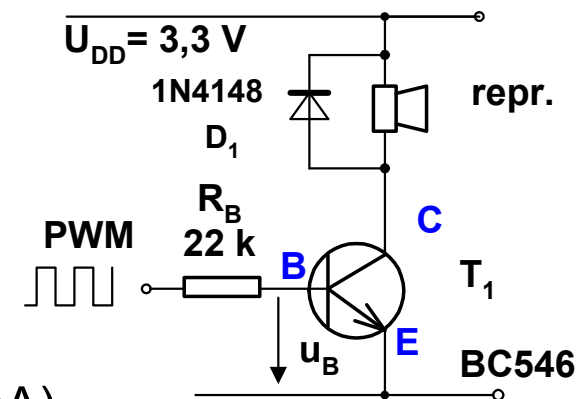
Buzení výstupem **PWM** pomocí tranzistoru
v režimu spínače (ON, OFF).

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

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

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

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



Úlohy

- **Zapojit obvod BC546 (BC547)** 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 _{b8}	4978.03					
99	d ⁸	D ₈	4698.64					
98	c ⁸ /d ^{b8}	C ₈ /D _{b8}	4434.92					
88	c ⁸ 5-line octave	C ₈ Eighth octave	4186.01					
87	b ⁷	B ₇	3951.07					
86	a ⁷ /b ^{b7}	A ₇ /B _{b7}	3729.31					
85	a ⁷	A ₇	3520.00					
84	g ⁷ /a ^{b7}	G ₇ /A _{b7}	3322.44					
83	g ⁷	G ₇	3135.96					
82	f ⁷ /g ^{b7}	F ₇ /G _{b7}	2959.96					
81	f ⁷	F ₇	2793.83					
80	e ⁷	E ₇	2637.02					
79	d ⁷ /e ^{b7}	D ₇ /E _{b7}	2489.02					
78	d ⁷	D ₇	2349.32					
77	c ⁷ /d ^{b7}	C ₇ /D _{b7}	2217.46					
76	c ⁷ 4-line octave	C ₇ Double high C	2093.00					
75	b ⁶	B ₆	1975.53					
74	a ⁶ /b ^{b6}	A ₆ /B _{b6}	1864.66					
73	a ⁶	A ₆	1760.00					
72	g ⁶ /a ^{b6}	G ₆ /A _{b6}	1661.22					
71	g ⁶	G ₆	1567.98					
70	f ⁶ /g ^{b6}	F ₆ /G _{b6}	1479.98					
69	f ⁶	F ₆	1396.91					

68	e'''	E ₆	1318.51				
67	d'''/e♭'''	D# ₆ /E♭ ₆	1244.51				
66	d'''	D ₆	1174.66				
65	c'''/d♭'''	C# ₆ /D♭ ₆	1108.73				
64	c''' 3-line octave	C ₆ Soprano C (High C)	1046.50				
63	b''	B ₅	987.767				
62	a#''/b♭''	A# ₅ /B♭ ₅	932.328				
61	a''	A ₅	880.000				
60	g#''/a♭''	G# ₅ /A♭ ₅	830.609				
59	g''	G ₅	783.991				
58	f#''/g♭''	F# ₅ /G♭ ₅	739.989				
57	f''	F ₅	698.456				
56	e''	E ₅	659.255	E			
55	d#''/e♭''	D# ₅ /E♭ ₅	622.254				
54	d''	D ₅	587.330				
53	c#''/d♭''	C# ₅ /D♭ ₅	554.365				
52	c'' 2-line octave	C ₅ Tenor C	523.251				
51	b'	B ₄	493.883				
50	a#'/b♭'	A# ₄ /B♭ ₄	466.164				
49	a'	A ₄ A440	440.000	A	A		High A (Optional)
48	g#'/a♭'	G# ₄ /A♭ ₄	415.305				
47	g'	G ₄	391.995				
46	f#'/g♭'	F# ₄ /G♭ ₄	369.994				
45	f'	F ₄	349.228				
44	e'	E ₄	329.628				High E
43	d#'/e♭'	D# ₄ /E♭ ₄	311.127				
42	d'	D ₄	293.665	D	D		
41	c#'/d♭'	C# ₄ /D♭ ₄	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♭	A# ₃ /B♭ ₃	233.082				
37	a	A ₃	220.000	←		A	
36	g#/a♭	G# ₃ /A♭ ₃	207.652				
35	g	G ₃	195.998	←	G	G	G
34	f#/g♭	F# ₃ /G♭ ₃	184.997				
33	f	F ₃	174.614	←			F (7 string)
32	e	E ₃	164.814	←			
31	d#/e♭	D# ₃ /E♭ ₃	155.563				
30	d	D ₃	146.832	←		D	D
29	c#/d♭	C# ₃ /D♭ 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♭	A# ₂ /B♭ ₂	116.541				
25	A	A ₂	110.000				A
24	G#/A♭	G# ₂ /A♭ ₂	103.826				
23	G	G ₂	97.9989			G	G
22	F#/G♭	F# ₂ /G♭ ₂	92.4986				
21	F	F ₂	87.3071		F (6 string)		
20	E	E ₂	82.4069				Low E
19	D#/E♭	D# ₂ /E♭ ₂	77.7817				
18	D	D ₂	73.4162				D
17	C#/D♭	C# ₂ /D♭ ₂	69.2957				
16	C great octave	C ₂ Deep C	65.4064			C	
15	B ₁	B ₁	61.7354				B (7 string)
14	A#/B♭ ₁	A# ₁ /B♭ ₁	58.2705		B♭ (7 string)		
13	A ₁	A ₁	55.0000				A

13	A ₁	A ₁	55.0000				A	
12	G ₁ /A _{b1}	G ₁ /A _{b1}	51.9131					
11	G ₁	G ₁	48.9994					
10	F ₁ /G _{b1}	F ₁ /G _{b1}	46.2493					F# (8 string)
9	F ₁	F ₁	43.6535					
8	E ₁	E ₁	41.2034				E	
7	D ₁ /E _{b1}	D ₁ /E _{b1}	38.8909					
6	D ₁	D ₁	36.7081					
5	C ₁ /D _{b1}	C ₁ /D _{b1}	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 _{b0}	A ₀ /B _{b0}	29.1352					
1	A ₀	A ₀	27.5000					
97	G ₀ /A _{b0}	G ₀ /A _{b0}	25.9565					G# (10 string)
96	G ₀	G ₀	24.4997					
95	F ₀ /G _{b0}	F ₀ /G _{b0}	23.1247					
94	F ₀	F ₀	21.8268					
93	E ₀	E ₀	20.6017					
92	D ₀ /E _{b0}	D ₀ /E _{b0}	19.4454					
91	D ₀	D ₀	18.3540					
90	C ₀ /D _{b0}	C ₀ /D _{b0}	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)

špičky napětí **u_C**

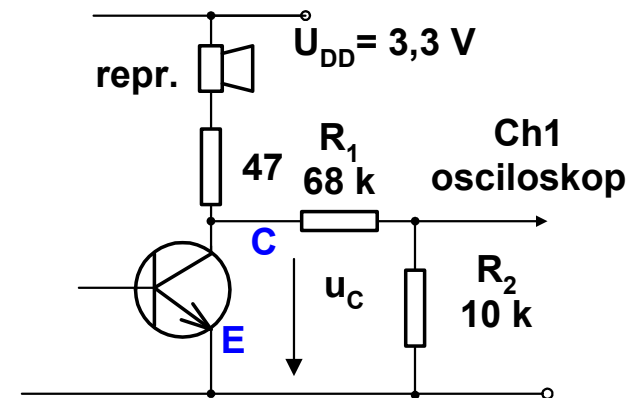
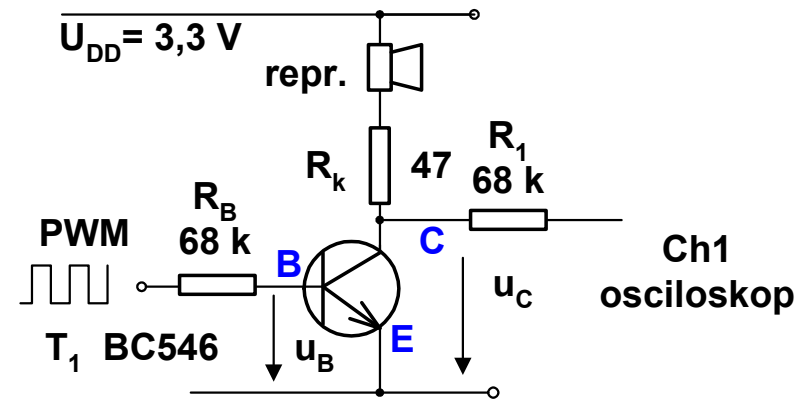
Použít odporový dělič 68 k (51 k) na 10 k,
Jaké jsou velikosti napětí na u_C ?

**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**

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

Při vypínání proudu cívkou

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

*Pozn. Pro zjednodušení ve vztazích neuvažujeme
znaménka „minus“*

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

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

$$u_L dt = L di$$

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

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

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

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]

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

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

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

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

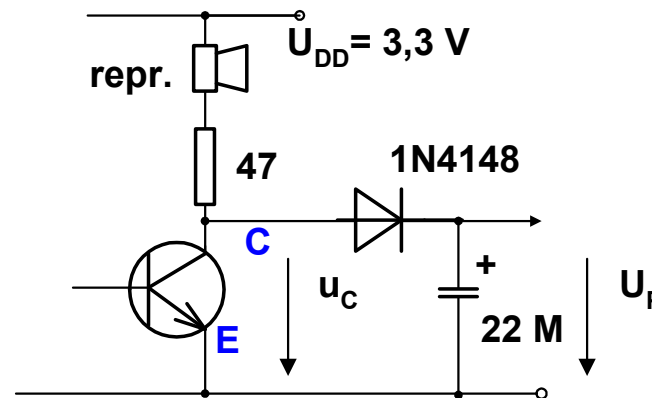
$$W = \frac{1}{2} mv^2$$

Chování reproduktorku jako cívky s indukčností

Využití napět'ových špiček- jako zvyšující napájecí zdroj

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

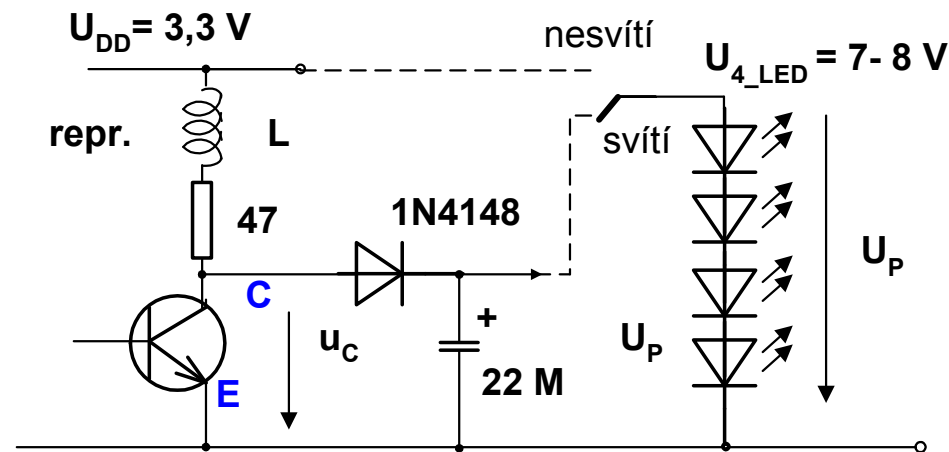
Experiment v laboratoři – podle času. Pomocí PWM ovládat reproduktor, **multimetrem** změřit napětí U_p . (? závislost na frekvenci PWM?)



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), 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

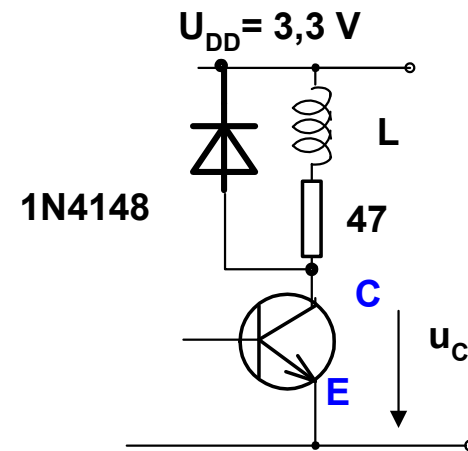
Opatření proti vzniku napěťových špiček na cívce

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).

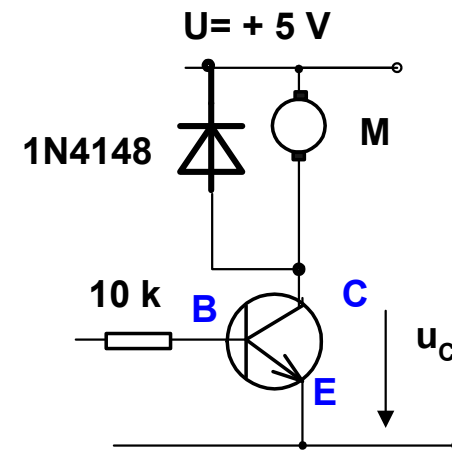
Napájení motorku z + 5 V.

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 pro domácí experimenty

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

Perioda změn - cca **10 sekund**.

Vytvořte **program**, který bude **regulovat otáčky motorku** 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).

Pořízení ss motorku s enkodérem - Čína Aliexpress

Konec