



Číslo súťažiaceho:

Čas odovzdania:

Počet bodov komplexný projekt:

Šírka vodičov na DPS max. 16b:

Návrh indukčnosti max. 12b:

Návrh kapacity max. 3b:

Oteplenie kondenzátorov max. 9b:

Komplexný projekt v oblasti elektroniky

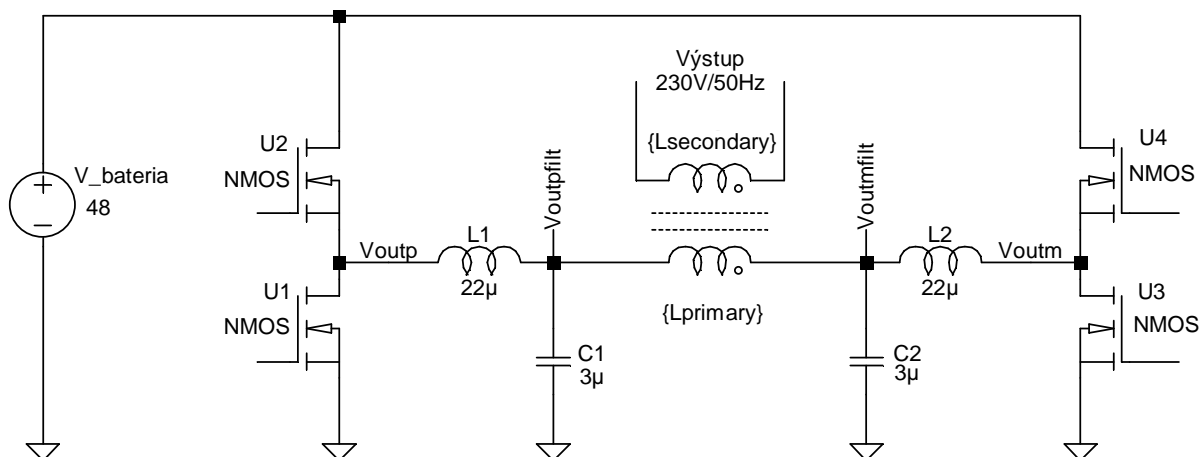
V tejto časti je Vašou úlohou analyzovať elektronický obvod, ktorý budete tento rok na celoštátnom kole ZENIT v elektronike v rámci praktickej časti stavať. Cieľom je otestovať schopnosť porozumieť zadaniu, schopnosť spojiť teoretické a praktické znalosti a kreativitu súťažiacich.

Všetky návrhy a výpočty robte priamo v texte zadania. Riadne vyznačte všetky pracovné body a zakreslite ich do grafov. Výsledky bez výpočtu, zdôvodnenia a bez správnych fyzikálnych jednotiek nebudú uznané. Niektoré výsledky budete neskôr potrebovať v praktickej časti. Poznačte si ich na priložený list papiera.

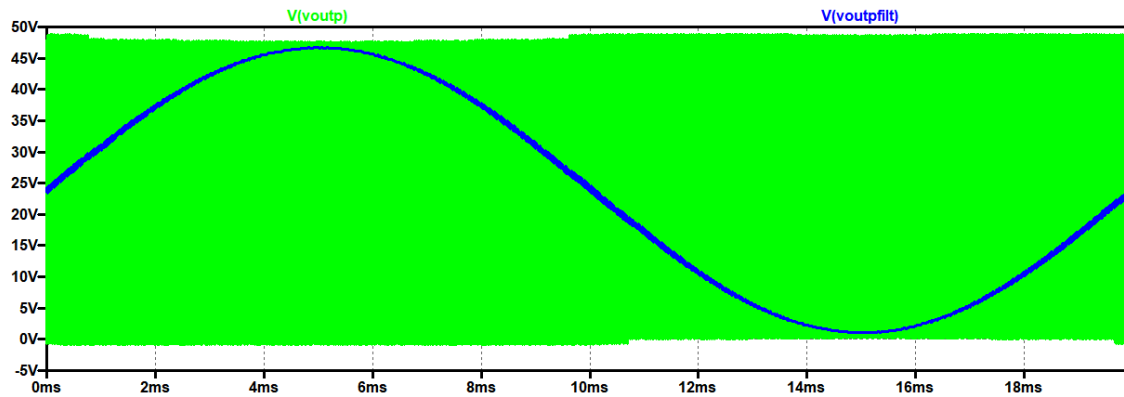
Použitie akejkoľvek externej pomoci je na súťaži zakázané. Porušenie nariadenia bude penalizované diskvalifikáciou.

Zapojenie, ktoré budete analyzovať

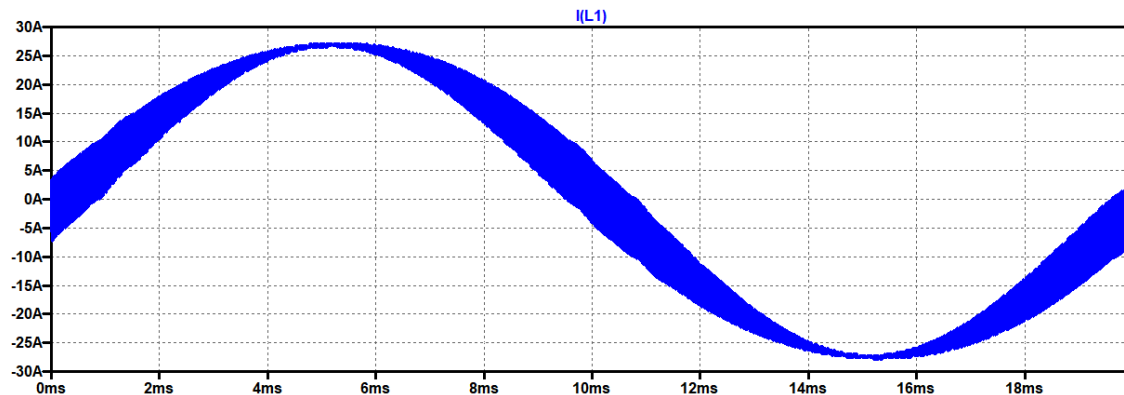
Ide o menič jednosmerného napätia 48 V na striedavý signál sínusového priebehu s frekvenciou 50 Hz. Použijeme plný mostík (výkonové MOSFET tranzistory U1...U4), ktorý pomocou pulzne-šírkovej modulácie so základnou frekvenciou 50 kHz generuje digitálny signál 0/48 V s premenlivým činiteľom plnenia. Tranzistory majú veľmi nízky odpor v otvorenom stave, takže napriek tomu, že mostíkom môže pretekať výkon takmer 700 Wattov, tepelná strata na tranzistoroch je takmer zanedbateľná. Zjednodušená schéma zapojenia mostíka s vyznačenými dôležitými súčiastkami je na Obr. 1. Na Obr. 2, Obr. 3 a Obr. 7 sú priebehy dôležitých signálov v obvode, ktoré budete potrebovať pre výpočty v rámci komplexného projektu.



Obr. 1: Zjednodušená schéma zapojenia meniča 48 V= na sínus 230 V /50 Hz



Obr. 2: Priebeh napätia na výstupe mostíka (zelená, PWM 50 kHz) a na výstupe filtra (modrá, sínus 50 Hz) počas jednej periódy sieťového napätia 50 Hz



Obr. 3: Priebeh prúdu cievkou L1 filtra počas jednej periódy sieťového napätia 50 Hz

Úloha 1: Šírka ciest na plošnom spoji a ich oteplenie (16 bodov)

Najnáročnejšia úloha, ktorú budete v rámci praktickej časti riešiť je návrh motívu plošného spoja, tak aby sa pri pretekajúcom prúde nadmerne neohrieval, prípadne rovno nezhořel. Pre účely tejto úlohy použijeme graf na Obr. 3, ktorý znázorňuje priebeh prúdu viac-menej celým výkonovým obvodom meniča. Ako finalisti ZENITU v elektronike viete, že pre oteplenie vodičov je relevantná efektívna hodnota pretekajúceho prúdu.

Aká je efektívna hodnota prúdu pretekajúceho výkonovými vodičmi a cestami na DPS v meniči?

Odpoveď: $I_{ef} =$

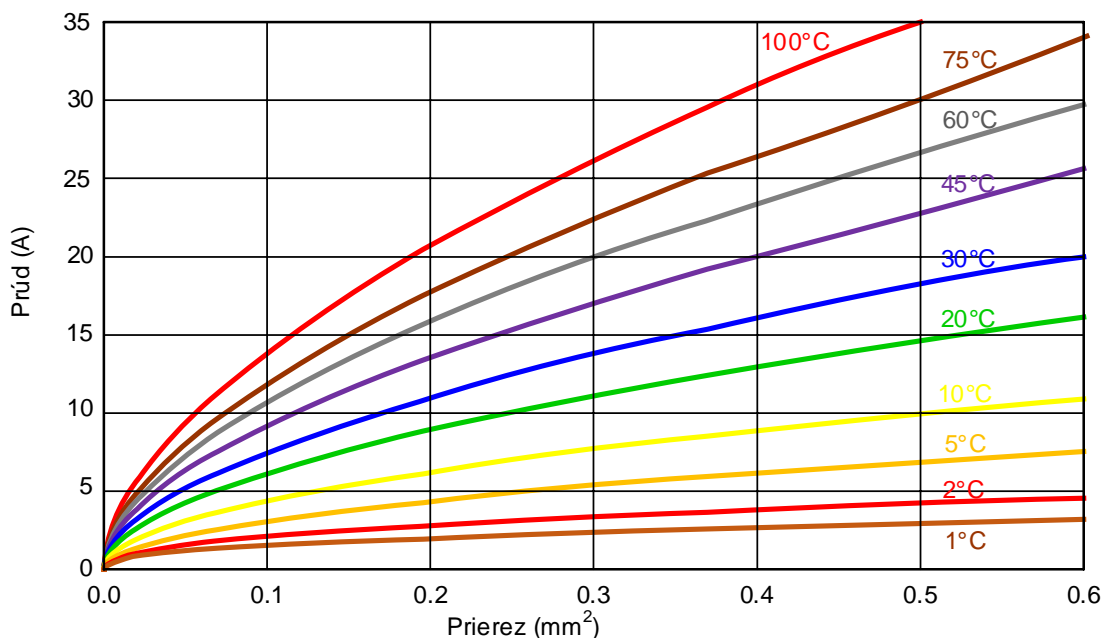
Oteplenie osamoteného vodiča na doske plošného spoja v závislosti od pretekajúceho prúdu je znázornené na Obr. 4. Graf je platný pre materiál o hrúbke 1,5 mm s plátovaním medenou fóliou hrúbky 35 μm (taký budete vyrábať) a bez súvislej medenej plochy na druhej strane dosky (napr. nie je tam zemná rovina, ani iný polygón).

Nájdite minimálny požadovaný prierez vodiča S_{min} na plošnom spoji pre maximálne oteplenie 45 °C

Odpoveď: $S_{min} =$

Vypočítajte aká musí byť minimálna šírka vodiča (cesty) w na plošnom spoji pre maximálne oteplenie o 45 °C

Odpoveď: $W =$



Obr. 4: Oteplenie vodiča na DPS pre rôzne hodnoty pretekajúceho prúdu a prierezu vodiča

Teplu vytvorené stratami vo vodivých cestách na plošnom spoji ale prestupuje aj cez materiál dosky a odvádza sa aj z druhej strany plošného spoja. V prípade, že je na druhej strane dosky súvislá medená plocha, napríklad GND polygón, chladenie sa zlepši a minimálny prierez vodiča potrebný pre určité oteplenie môže byť nižší.

Z tohoto javu budeme profitovať, takže na Vašich doskách bude povinne celá zadná strana súvislá medená plocha. Pre hrúbku dielektrického materiálu 1,5 mm sa minimálny požadovaný prierez vodiča zmenší na 70% pôvodnej hodnoty.

Vypočítajte aká musí byť minimálna šírka vodiča (cestičky) na plošnom spoji, ktorý začnete o pár minút navrhovať, tak aby sme s použitím zemnej roviny dosiahli maximálne oteplenie o 45 °C.

Odpoveď: W na mojej doske =

Toto číslo si poznačte na posledný list a úlohu veľmi dobre zapamätajte. Vaše výrobky budeme testovať pri nominálnom zaťažovacom prúde. Výkonová elektronika chyby neodpúšťa.

Úloha 2: Návrh indukčnosti pre dolno-priepustný filter a ich výroba (12 bodov)

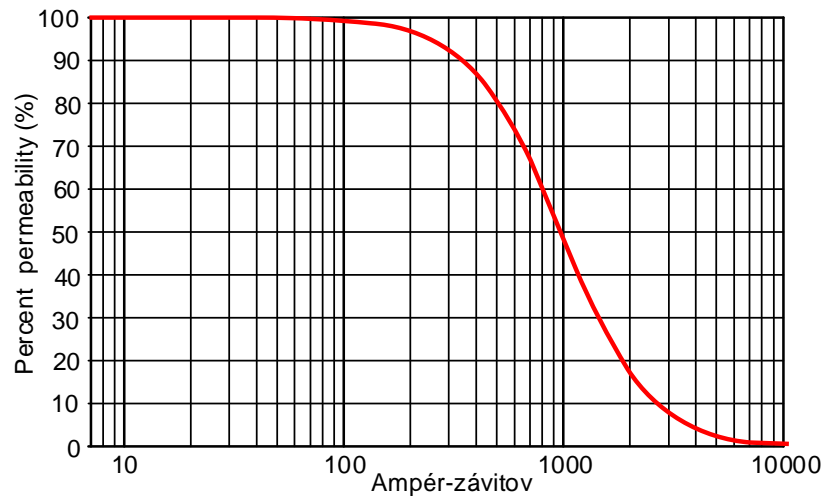
Cievky ktoré teraz vypočítate, budete neskôr aj vyrábať a použijete ich v praktickej časti.

Pre cievky v meniči používame železoprachové jadrá, ktoré majú rovnako ako iné feromagnetické materiály svoju magnetizačnú B-H charakteristiku. Pri zvyšovaní prúdu vinutím sa zvyšuje magnetická indukcia v jadre, až kým sa jadro postupne nenasýti a nezačne byť saturované. Tento efekt sa prejaví poklesom indukčnosti cievky, ktorou preteká prúd. Saturačná charakteristika jadra KEDA MAGNETICS - KAM132-060A, ktoré budete používať v praktickej časti je na Obr. 5. Na vodorovnej osi je vyneseny počet Ampér-závitov, t.j. súčin pretekajúceho prúdu a počtu závitov.

Priebeh prúdu pretekajúceho cievkou počas jednej periódy 50 Hz je znázornený na Obr. 3. Pre účely tejto úlohy nás zaujíma jeho špičková hodnota (pozn. amplitúda/špička, nie špička-špička). Vo filtri chceme použiť cievky s najvyššou možnou indukčnosťou. Počet závitov musíte vypočítať.

Aká je špičková hodnota prúdu pretekajúceho cievkou v meniči?

Odpoveď: $I_{\text{špička}}$ =



Obr. 5: Saturačná charakteristika feritového jadra KAM132-060A

S pomocou saturačnej charakteristiky nájdite maximálny počet závitov cievok L1 a L2 tak, aby jej indukčnosť pri plnom špičkovom prúde neklesla pod 80% počiatočnej hodnoty bez prúdu.

Odpoveď: $n_{L1, L2} =$

Toto číslo si poznačte na posledný list, cievky budete onedlho navíjať.

Pre cievku L3 v MPPT meniči sme vybrali jadro Kool M μ , typ 0077071A7HT19, ktorého parameter A_L udávajúci indukčnosť na závit (na druhú) je $A_L = 102 \text{ nH/závit}^2$. Pre túto úlohu neuvažujeme žiaden pokles indukčnosti.

Vypočítajte počet závitov cievky L3 ak jej požadovaná indukčnosť je $L_{L3} = 29,5 \text{ } \mu\text{H}$

Odpoveď: $n_{L3} =$

Pomôcka $L = A_L n^2$

Toto číslo si poznačte na posledný list, cievku budete onedlho navíjať.

Úloha 3: Kapacita v dolno-priepustných filtroch (3 body)

Úlohou dolno-priepustných filtrov (L1-C1 a L2-C2) je získať strednú hodnotu pulzne-širokovo modulovaného signálu z tranzistorového mostíka, čím získame sínusový priebeh 50 Hz.

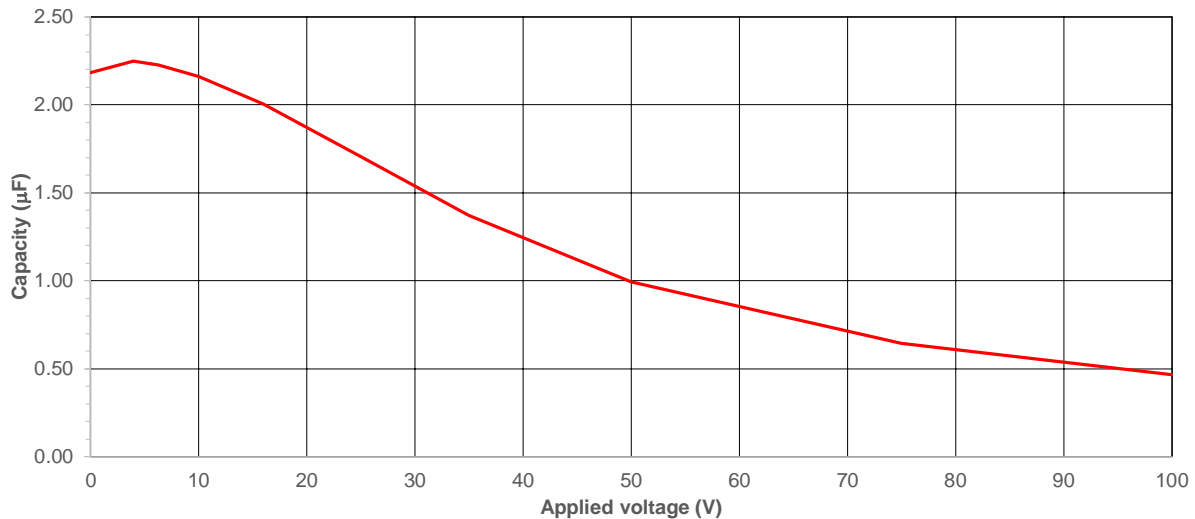
Pri návrhu meniča sme vypočítali, že kapacita v dolno-priepustnom filtri musí mať hodnotu minimálne $3 \text{ } \mu\text{F}$. Keďže medzi tranzistorami a kondenzátormi tečú vysoké impulzné prúdy, použijeme kvalitné, keramické SMD kondenzátory veľkosti 1210 s nízkym ESR, dimenzované na 100 V a s nominálnou kapacitou $2,2 \text{ } \mu\text{F}$.

Neprijemná vlastnosť takmer všetkých keramických kondenzátorov je vysoká závislosť kapacity na priloženom napätí. Pre naše kondenzátory je uvedená na Obr. 6.

Maximálne pracovné napätie zistíte zo schémy zapojenia, popisu obvodu a priebehov z Obr. 2. Keramické kondenzátory sú pomerne drahé, preto chceme použiť najmenší možný počet.

Koľko kondenzátorov musíme zapojiť paralelne, aby sme dosiahli požadovanú kapacitu $3 \text{ } \mu\text{F}$?

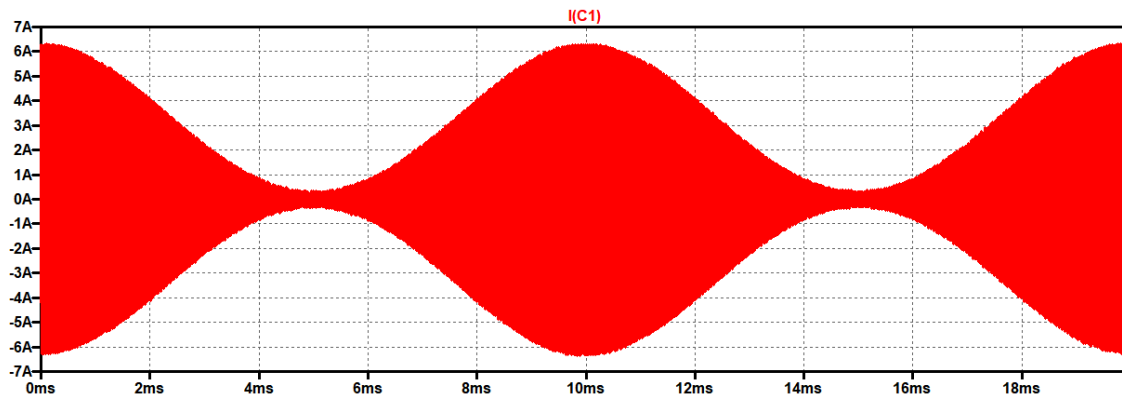
Odpoveď:



Obr. 6: Závislosť kapacity keramického kondenzátora 2,2 µF/100 V na priloženom napätí

Úloha 4: Oteplenie kondenzátorov v dolno-priepustných filtroch (9 bodov)

Kondenzátormi vo filtri bude pretekať impulzný prúd s frekvenciou 50 kHz, ktorého priebeh je na Obr. 7. Priebeh predstavuje celkový prúd ekvivalentným kondenzátorom, ak ste zapojili viacero rovnakých kondenzátorov paralelne, prúd sa medzi ne rovnakým dielom rozdelí. Pre účely tejto úlohy použijeme jeho maximálnu (špičkovú) hodnotu. Ľahko ju odčítate z obálky signálu na grafe. Na Obr. 8 je závislosť oteplenia použitého kondenzátora ako funkcia pretekajúceho impulzného prúdu.



Obr. 7: Priebeh prúdu kondenzátorom C1 filtra počas jednej periódy sieťového napätia 50 Hz

Aká je špičková hodnota prúdu pretekajúceho každým z kondenzátorov v obvode?

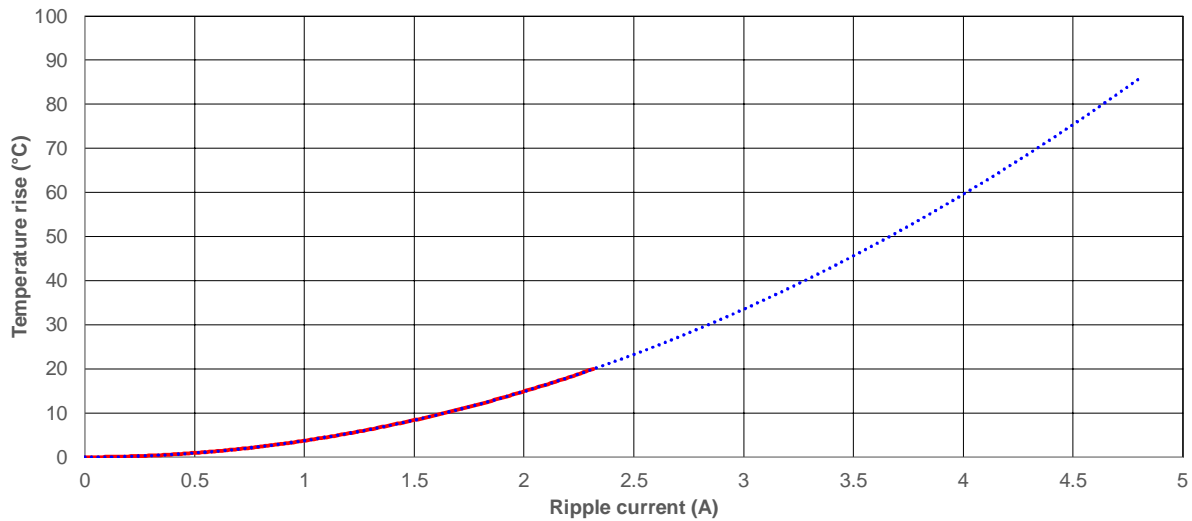
Odpoveď: $I_{\text{špička}} =$

Aké bude oteplenie keramického kondenzátora (kondenzátorov) v obvode?

Odpoveď: $\Delta t =$

Aká bude teplota keramického kondenzátora (kondenzátorov) ak je teplota okolitého prostredia 45 °C?

Odpoveď: $t =$



Obr. 8: Oteplenie použitého keramického kondenzátora v závislosti od hodnoty pretekajúceho impulzného prúdu

Tu sa končí zadanie a úlohy pre komplexný projekt – úvod do praktickej časti. Na nasledujúcu stranu si poznačte dôležité výsledky a zadanie môžete odovzdať.

Nasledujúcu stranu s poznámkami si nechávate, budete podľa nej ďalej pracovať.



Poznámky pre praktickú časť (tento list si vezmite so sebou)

Číslo súťažiaceho:

Minimálna šírka vodivej cesty na DPS pre nominálny pracovný prúd a maximálne oteplenie 45 °C:

Počet závitov cievok L1 a L2 (zelené jadro):

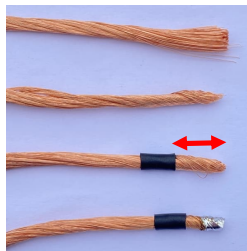
Počet závitov cievky L3 (čierne jadro):

Výroba cievok L1, L2, L3

Cievky si budete navíjať sami. Dostali ste dva druhy toroidných jadier – khaki zelená farba je pre L1, L2 a čierna farba je pre L3. Požadovaný počet závitov nájdete v zozname materiálu pre praktickú časť, ak ste počítali správne, mal by sa zhodovať s Vašimi výsledkami.

Použijeme samospájkovateľný drôt typu Litz-wire, ktorý je optimalizovaný pre cievky s vyššou pracovnou frekvenciou. Okrem lepších elektrických parametrov sa s ním aj ľahšie pracuje. Dlhší drôt je pre cievku L3, ktorá je fyzicky väčšia.

Príprava drôtu:



1. Obidva konce drôtu upravte a prstami zatočte tak, aby neboli rozstrapkané
2. Na obidva konce nasadte teplom zmraštiteľnú bužírku, tak aby ostalo približne 10-12 mm voľného drôtu
3. Bužírku zafúknite teplovzdušným fénom
4. Jeden koniec drôtu pocínujte vo vaničke s roztaveným cínom. Je veľmi dôležité riadne pretaviť izoláciu na všetkých jemných vodičoch drôtu. **Meď je veľmi dobrý vodič tepla. Pri cínovaní držte drôt kliešťami, aby ste predišli popáleniu!**

Vinutie cievky:



5. Pocínovaný koniec drôtu priložte na jadro podľa obrázku
6. Začinite rovnomerne navíjať. Závity musia byť pevne utiahnuté na jadre.
7. Keď dosiahnete požadovaný počet závitov, mala by ostať len malá rezerva drôtu. Koniec zatočte, navlečte novú bužírku a zafúknite ju.
8. Prebytočný drôt odstrihnite a koniec pocínujte v cínovacej vaničke, alebo spájkovačkou. Uistite sa, že sú všetky vodiče riadne pretavené

Očakávaná* finálna podoba cievok L1, L2:



a cievky L3:



* Ilustračné fotografie. Požadovaný počet závitov a počet závitov na fotografiách sa môžu líšiť :-)