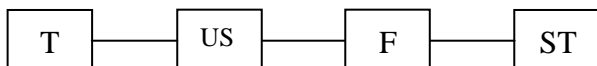


## Návrh parametrického stabilizátoru se Zenerovou diodou

Navrhněte např. stabilizovaný zdroj s parametrickým stabilizátorem s výstupním napětím např.  $U_0 = 15 \text{ V}$  a maximálním výstupním proudem  $I_0 = 0,1 \text{ A}$

### Stabilizovaný zdroj s regulací parametrickým stabilizátorem

Zjednodušené schéma napájecího zdroje:



TR - Síťový transformátor

US - Usměrňovač

F - Vyhlažovací filtr

ST – Stabilizátor

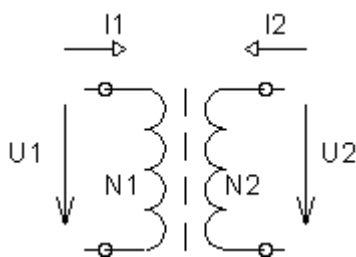
### 1. Transformátor

Transformátor se skládá z magnetického obvodu (jádra), ze vstupní (primární) cívky a z jedné nebo několika cívek výstupních (sekundárních).

Plní dvě základní funkce:

- 1) Transformaci (změnu velikosti) napětí, proudu a impedance.
- 2) Galvanické oddělení vstupního obvodu (primárního) od výstupního (sekundárního) obvodu.

Činnost transformátoru je založena na elektromagnetické indukci. Aby nedocházelo k velkému zkreslení tvaru (průběhu) transformovaného napětí, nesmí být jádro přesycováno. Napětí se transformují v přímém poměru počtu závitů.



Obr.1 Zapojení jednofázového transformátoru

Převod transformátoru-transformační poměr  $p = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$

Napětí indukované v sekundárním vinutí  $N_2$  je dáno indukčním zákonem

$$U_2 = -N_2 \cdot \frac{\Delta\Phi_1}{\Delta t}$$

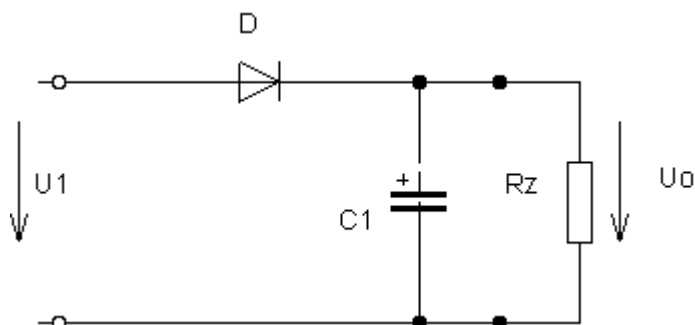
## 2. Usměrňovač

Ve slaboproudých zapojeních se v oblasti napájecích zdrojů ustálilo užití několika základních zapojení usměrňovačů podle požadovaných napětí, proudů a zvlnění. Všechny tyto typy usměrňovačů se převážně používají s nabíjecím tzv. sběracím kondenzátorem  $C_0$ , který se vynechává jen výjimečně (nabíjení akumulátorů). Typy a vlastnosti jednotlivých zapojení lze shrnout:

a) usměrňovače pro síťový kmitočet 50Hz:

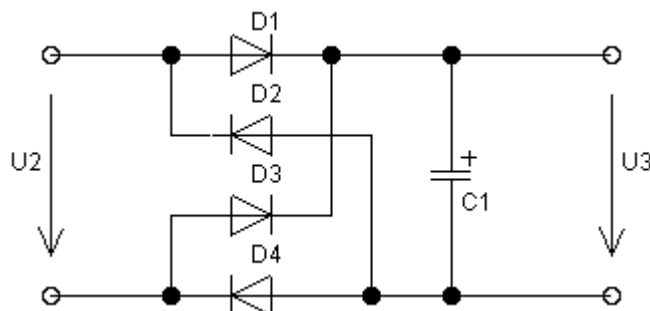
- 1) jednocestný-(jednoupulsní)
  - vysoká napětí, malé proudy, velké zvlnění
- 2) dvoucestný-(dvoupulsní)
  - nízká napětí, velké proudy, malé zvlnění
- 3) můstkový-(dvoupulsní)
  - vysoká napětí, velké proudy, malé zvlnění
  - usměrňovače pro vyšší kmitočty okolo 100 kHz

- 1) jednocestný
  - nízká napětí, vysoké proudy, malé zvlnění



Obr.2 Schéma zapojení jednoupulsního usměrňovače se sběracím kondenzátorem  $C_0$

- 2) dvoucestný - můstkový
  - nízká napětí, velké proudy, malé zvlnění, omezuje stejnosměrné sycení jádra transformátoru



Obr.3 Schéma zapojení dvoupulsního usměrňovače v můstkovém zapojení se sběracím kondenzátorem  $C_0$

### 3. Vyhlažovací filtr

Filtr zařazujeme mezi usměrňovač a napájené obvody, aby se na výstupu snížilo zvlnění. Účinek filtru posuzujeme podle velikosti činitele zvlnění  $\phi_{zv}$  a činitele vyhlazení  $\phi_v$ .

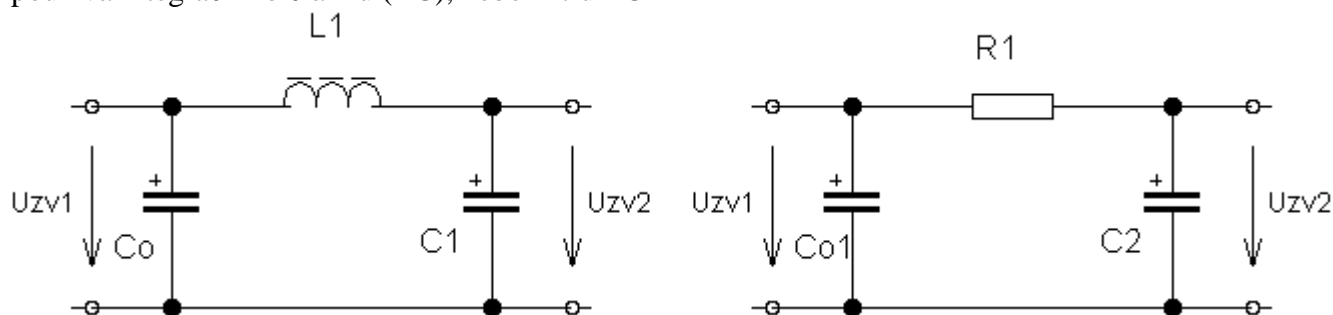
$$\phi_{zv} = \frac{\Delta U_1}{U_0} \cdot 100 \quad (\% ; V, V) \quad \Delta U_1 \text{ kolísání napětí na vstupu, výstupu filtru,}$$

$U_0$  – výstupní stejnosměrné napětí

$$\phi_v = \frac{U_{zv1}}{U_{zv2}} \quad (- ; V, V) \quad U_{zv1} \text{ zvlněná složka usměrňeného napětí na vstupu filtru}$$

$U_{zv2}$  zvlněná složka usměrňeného napětí na výstupu filtru

Filtr má co nejvíce tlumit střídavé složky, které jsou v usměrňeném proudu a stejnosměrný proud přenášet bez podstatných ztrát. V praxi se nejčastěji pro menší proudové odběry používá integračního článku (RC), nebo filtru LC



Obr. 4 Schéma zapojení filtrů LC a RC

Obecně se vyhlažovací filtr chová jako kmitočtově závislý dělič, který omezuje zvlněnou složku výstupního usměrňeného napětí  $U_0$ . Zvlněná složka napětí na výstupu usměrňovače je časově proměnný průběh s kmitočtem 50 Hz u jednopulzních usměrňovačů a 100 Hz u dvoupulzních usměrňovačů. Požadavky na kvalitu filtru jsou dány druhem napájeného zařízení. Pro hodnocení této kvality definujeme požadavky na činitel zvlnění  $\phi_{zv}$ .

Tabulka 1. Požadavky na činitel zvlnění  $\phi_{zv}$  podle druhu napájeného zařízení

Napájené obvody	$\phi_{zv}(\%)$
vstupní obvody mikrofonních zesilovačů, snímacích zesilovačů pro magnetofony, dynamické přenosky, nf. milivoltmetry apod.	0,005
budící stupně koncových nf. zesilovačů, vf. zesilovače přijímačů, vf. Voltmetry a pod.	0,01 až 0,05
výkonové stupně nf. zesilovačů v jednočinném zapojení apod.	0,05 až 0,5
Anody obrazovek, dvojčinné zesilovače	0,5 až 2,0

Zapojení jednoduchého filtru RC je na obr.4. Na vstupu předpokládáme první harmonickou zvlněného napětí  $U_{zv1}$  s kmitočtem  $m\omega$  (kde  $m$  je počet usměrňovacích cest,  $f$  je kmitočet sítě 50Hz). Na výstupu filtru je zvlnění s amplitudou  $U_{zv2}$ . Činitel vyhlazení je pak dán výrazem

$$\varphi_v = \frac{U_{zv1}}{U_{zv2}} = 1 + \frac{R}{R_z} + j\omega mCR = m\omega CR \quad \text{tento výraz platí pro podmínku, že } R_z \gg R \text{ a}$$

současně  $(m\omega CR)^2 \gg 1$

Zapojení jednoduchého filtru LC je na obr.4. Na vstupu předpokládáme první harmonickou zvlněného napětí  $U_{zv1}$  s kmitočtem  $m\omega$  (kde  $m$  je počet usměrňovacích cest,  $f$  je kmitočet sítě 50Hz). Na výstupu filtru je zvlnění s amplitudou  $U_{zv2}$ . Činitel vyhlazení lze odvodit z poměru impedancí na kterých působí zvlněné složky vstupního a výstupního napětí. Pro činitel vyhlazení pak platí po úpravě vztah

$$\varphi_v = m^2 \omega^2 LC - 1$$

*př. 1 Na vstupu LC filtru je zvlněná složka usměrněného napětí  $U_{zv1} = 1$  V. Po zařazení filtru LC bude na výstupu zvlněná složka  $U_{zv2} = 10$  mV. Filtr je tvořen tlumivkou s indukčností 1H, je připojen na výstup dvoucestného usměrňovače. Vypočítejte činitel zvlnění na vstupu a výstupu filtru a navrhnete kapacitu kondenzátoru C, je-li požadovaná velikost výstupního usměrněného napětí  $U_0 = 20$  V.*

Po úpravě výrazu pro výpočet činitele vyhlazení LC filtru dostaneme výraz pro výpočet kondenzátoru  $C_1$

$$C_1 = \frac{\varphi_v + 1}{m^2 \omega^2 L} \quad \varphi_v = \frac{U_{zv1}}{U_{zv2}} = \frac{1V}{10mV} = 100$$

$$C_1 = \frac{100 + 1}{2^2 (2\pi f)^2 \cdot 1} = 256 \mu F$$

Činitel zvlnění na vstupu filtru

$$\varphi_{zv1} = \frac{U_{zv1}}{U_0} \cdot 100 = \frac{1V}{20V} \cdot 100 = 5\%$$

Činitel zvlnění na výstupu filtru

$$\varphi_{zv2} = \frac{U_{zv2}}{U_0} \cdot 100 = \frac{10mV}{20V} \cdot 100 = 0,05\%$$

## 4. Stabilizátor

Při napájení elektronických zařízení jsou obvykle kladeny značné požadavky na minimální velikost zvlnění ( viz. tab.1 ), ale současně i na zajištění konstantní hodnoty napětí na zátěži při kolísání vstupního napětí, nebo při změnách zatěžovacího proudu.

Obvody které tyto požadavky zajišťují, se nazývají stabilizátory. Z hlediska funkce jsou v podstatě dva základní typy stabilizátorů a to:

### Parametrické stabilizátory Stabilizátory se zpětnou vazbou

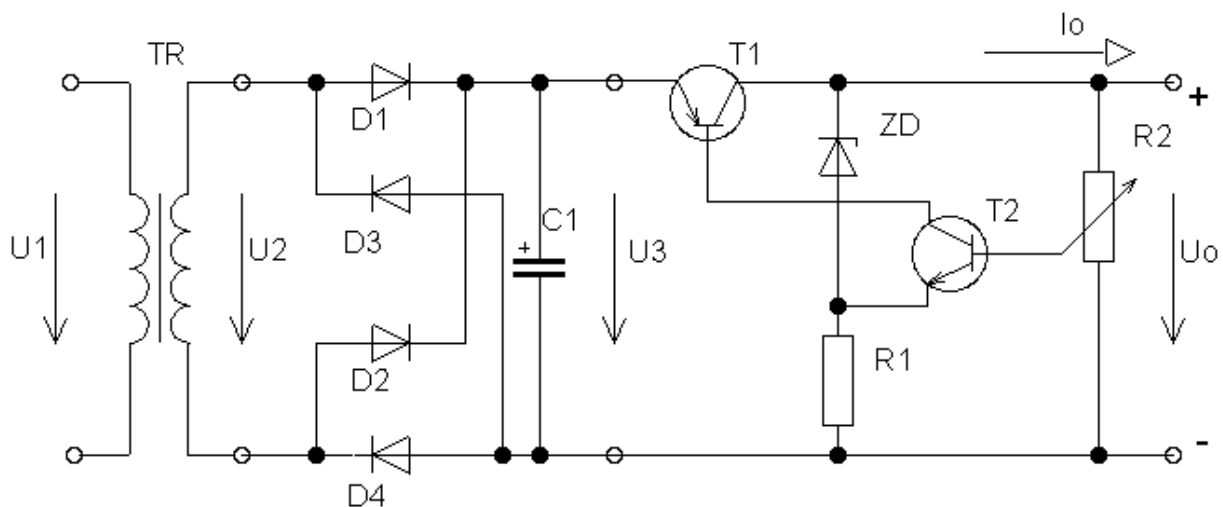
Parametrické stabilizátory využívají ke stabilizaci napětí vhodného průběhu voltampérových charakteristik některých prvků, např. polovodičových diod-zenerovy diody, doutnavek apod. Stabilizátory zpětnovazební obsahují regulační prvek, obvykle výkonový tranzistor, který je ovládán odchylkou výstupního napětí stabilizátoru od referenčního napětí.

Základním parametrem stabilizátorů napětí je činitel stabilizace  $S$ , který udává kolikrát stabilizátor zmenšuje poměrné kolísání napětí.

$$S = \frac{\frac{\Delta U_1}{U_1}}{\frac{\Delta U_2}{U_2}} = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} \cdot \frac{U_2}{U_1} \quad \text{při } R_z = \text{konst.}$$

Parametrické stabilizátory se používají ke stabilizaci stejnosměrných napětí při zatěžovacích proudech několik desítek mA. Pro stabilizaci vyšších napětí několika jednotek až desítek voltů se v současné době používají stabilizátory se zenerovou diodou. Pro malá napětí řádově stovky mV je možné použít i běžné diody v propustné oblasti.

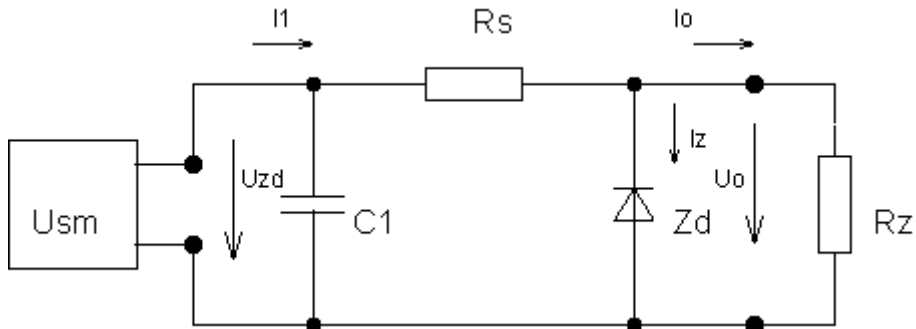
Na obr. 5 je schéma zpětnovazebního stabilizátoru s můstkovým usměrňovačem, s výkonovým regulačním tranzistorem T1, se zdrojem referenčního napětí, který je tvořen kombinací ZD a R1 a z obvodu snímání a zesílení odchylky výstupního napětí při změně odporu zátěže.



Obr.5 Schéma zapojení zpětnovazebního stabilizátoru s regulací výstupního napětí

Vzhledem k vyšší hodnotě výstupního proudu  $I_0 = 2,5 \text{ A}$ , je použit zpětnovazební stabilizátor s výkonovým tranzistorem NPN a PNP v darlingtonově zapojení. Zdroj referenčního napětí tvoří parametrický stabilizátor se zenerovou diodou. Funkce stabilizátoru je založena na konstantní velikosti napětí  $U_{ZD}$ . Vzroste-li např. výstupní napětí  $U_2$ , potom při  $U_{ZD} = \text{konst.}$  vzroste i napětí na  $R_1$ , poklesne napětí  $U_{BE} T_2$  a to rychleji, než napětí na odbočce děliče tvořeném potenciometrem  $R_2$ . Tranzistor  $T_2$  se přivře a omezí velikost proudu  $I_{B1}$  tranzistoru  $T_1$ . Přivřením tranzistoru  $T_1$  vzrůstá hodnota odporu přechodu kolektor-emitor a klesá tak výstupní napětí. Z uvedeného popisu je patrné, že stabilizační účinek obvodu roste s tím, jak je nastavena odbočka na  $R_2$ , resp. na velikosti  $R_1$ . Pomocí  $R_2$  můžeme přesně nastavit požadovanou hodnotu výstupního napětí  $U_2$  tak, aby potenciál běžce  $R_2$  vzhledem k zemi byl právě o  $U_{BE2} = 0,7 \text{ V}$  vyšší, než je velikost napětí na  $R_1$ .

## Návrh parametrického stabilizátoru



Katalogové údaje :  $U_z, R_i, I_z$

### Postup při návrhu:

#### I. Návrh stabilizátoru

1) **Volba Zenerovy diody** a) při volbě diody vycházíme z požadovaných hodnot  $U_o$   $I_o$ , Zenerovu diodu volíme dle katalogu tak, aby Zenerovo napětí odpovídalo požadované hodnotě  $U_o$  a Zenerův proud odpovídal požadované hodnotě  $I_o$ , při splnění podmínky ( $I_{zmax} = 3$  až  $5 I_o$ )

Požadavkům zadání vyhovuje Zenerova dioda **KZ 709** s těmito hodnotami

$$U_z = 13,6 - 16,8 \text{ V}$$

$$R_i \text{ menší než } 3\Omega \text{ volíme } R_i = 2 \Omega$$

$$I_{zmax} = 500 \text{ mA s chladicí plochou } 100 \times 100 \times 2 \text{ Al}$$

$$P_D = 10 \text{ W}$$

2) **Výpočet potřebné hodnoty** napětí na vstupu parametrického stabilizátoru, tedy napětí na výstupu usměrňovače. Hodnotu  $U_{zd}$  volíme tak, aby vznikla potřebná rezerva pro stabilizaci.

$$U_{zd} = 2U_o \quad U_{zd} = 2 \cdot 15 \text{ V} = 30 \text{ V}$$

3) **Proud Zenerovy diody**  $I_z'$  volíme tak, aby pracovní bod byl ve střední oblasti charakteristiky ZD.

$$I_z' = \frac{I_{zmax}}{2} \quad I_z' = \frac{500 \text{ mA}}{2} = 250 \text{ mA}$$

4) Potom proud  $I_1$  procházející rezistorem  $R_s$

$$I_1 = I_o + I_z' \quad I_1 = 100 \text{ mA} + 250 \text{ mA} = 350 \text{ mA}$$

5) Výpočet sériového odporu  $R_s$

$$R_s = \frac{U_{zd} - U_o}{I_o + I_{z'}} \quad R_s = \frac{30V - 15V}{350mA} = 43\Omega$$

vypočtenou hodnotu upravíme dle normy na hodnotu v řadě E6, nebo E12, na hodnotu dle řady, nejbližší vyšší.

**E6 (20% )**      **1,0 - 1,5 - 2,2 - 3,3 - 4,7 - 6,8**  
**E12(10% )**      **1,0- 1,2 -1,5 -1,8 -2,2 - 2,7-3,3 -3,9-4,7 - 5,6 - 6,8 - 8,2**

Navržený rezistor je nutno výkonově dimenzovat:

$$P_{RS} = (U_{zd} - U_o) (I_o + I_{z'}) \quad P_{RS} = (30V - 15V) \cdot I_1 = 5,25W$$

a opět volíme nejbližší vyšší hodnotu výkonového zatížení dle katalogu.

**Volíme rezistor drátový TR 510 47/B l=33 mm, D= 9 mm**

6) Výpočet činitele stabilizace S

$$S = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} * \frac{U_2}{U_1} \quad , \text{nebo}$$

$$S = \frac{R_s}{R_i} \quad \text{kde } R_i \text{ je vnitřní odpor ZD} \quad S = \frac{47\Omega}{2\Omega} = 23,5$$

7) Stanovení kolísání napájecího napětí

Kolísání napájecího napětí je dáno normovanou hodnotou kolísání síťového napětí 230V o  $\pm 10\%$

Potom kolísání napětí na vstupu stabilizátoru je  $\Delta U_{zd} = \pm 3V$

8) Kolísání proudu procházejícího ZD

$$\Delta I_{z'} = \frac{\pm \Delta U_{zd}}{R_s} \quad \Delta I_{z'} = \frac{\pm 3V}{47\Omega} = \pm 64mA$$

9) Kolísání výstupního napětí

$$\Delta U_o = \pm \Delta I_{z'} * R_i \quad \Delta U_o = \pm 64mA * 2\Omega = \pm 128mV$$

Po ukončení výpočtu, známe **požadovanou hodnotu napětí na výstupu usměrňovače  $U_{zd}$  a požadovanou hodnotu proudu  $I_1$** , který usměrňovač dodá do obvodu parametrického stabilizátoru. Tyto údaje použijeme pro návrh usměrňovače.

$$\mathbf{U_{zd} = 30V ; I_1 = 0,35A}$$



## II.Návrh usměrňovačů se sběracím kondenzátorem

### 1. Volba usměrňovacího ventilu –

při návrhu musíme dbát na to, abychom za provozu nepřekročili maximální hodnoty napětí a proudu, přípustné pro zvolený typ usměrňovací diody.

*Důležité je:* a) zpětné tzv. inverzní napětí působící na diodu v závěrném směru  $U_{RRM}$

b) střední hodnota tepavého proudu  $I_0$  a vrcholová hodnota tepavého proudu  $I_{FM}$ .

Pro zpětné –inverzní napětí  $U_z = U_{RRM}$  platí:

$$U_z = U_{RRM} = 2.U_m = 2.\sqrt{2}.U_{ef} = 2,8.U_{ef}$$

### Přehled označení nejdůležitějších mezních hodnot diody tab.2

tab.2

Usměrňovač	Veličina	Zapojení		
		jednocestné	dvoucestné	můstkové
s odporovou zátěží	$U_{RRM}$	$U_{2M}$	$2U_{2M}$	$U_{2M}$
	$I_{FAV}$	$I_0$	$0,5 I_0$	$0,5 I_0$
	$I_{FM}$	$I_{FRM}$	$I_{FRM}$	$I_{FRM}$
se sběrným kondenzátorem	$U_{RRM}$	$2 U_{2M}$	$2 U_{2M}$	$U_{2M}$
	$I_{FAV}$	$I_0$	$0,5 I_0$	$0,5 I_0$
	$I_{FM}$	$6 I_0$	$3 I_0$	$3 I_0$

$U_{RRM}$	je maximálně povolené napětí diody(opakovatelné) v závěrném směru
$I_{FAV}$	střední hodnota proudu procházejícího diodou $=I_0$
$I_{FM}$	maximální hodnota proudu procházejícího diodou
$I_{FRM}$	největší špičkový opakovatelný proud diody
$U_2$	výstupní napětí síťového transformátoru
$I_0$	proud odebraný z usměrňovače

S ohledem na požadované výstupní parametry usměrňovače  **$U_{zd} = 30V$  ;  $I_1 = 0,35A$**  provedeme výběr usměrňovacího ventilu-diody. Pro zadané můstkové zapojení usměrňovače , kde hodnota inverzního napětí viz. tab.2  $U_{RRM} = U_{2M} = U_{zdm}$

$$U_{zdm} = \sqrt{2}.U_{zd} = \sqrt{2}.30V = 42,43V = 43V = U_{RRM}$$

$$I_{FM} = 3.I_0 = 3. 0,35A = 1A$$

$$I_{FAV} = 0,5 I_0 = 0,5 . 0,35 A = 0,175A$$

Těmto parametrům vyhovuje křemíková dioda typového označení KY 130/80 s parametry dle katalogu:  $U_{RRM} = 80 \text{ V}$  *zelený proužek*

$$U_{aef\text{©}} = 15 \text{ V}$$

$$R_o = 2 \Omega$$

$$R_i = 3 \Omega$$

## 2) Určení potřebné velikosti sekundárního napětí $U_{sec} = U_{zd} = U_2$

Rozdíl mezi napětím  $U_2$  na sekundární straně transformátoru a napětím  $U_o$  na zátěži  $R_z$ , je úbytek vznikající na odporu fáze  $R_f$ .

$$R_f = R_{tr} + R_{id} = R_s + \frac{R_p}{p^2} + R_{id}$$

kde:  $R_{id}$  je vnitřní odpor usměrňovací diody

$$p \text{ je převod transformátoru } p = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1}$$

Pro výpočet transformátoru musíme stanovit potřebné hodnoty  $U_{ef}$  a  $I_{ef}$  na sekundární straně transformátoru. Vstupní napětí usměrňovače je  $U_{zd}$  a potřebná hodnota proudu  $I_1$ . Pokud pro zvolenou diodu KY xxx není výrobcem stanovena hodnota ochranného odporu, budeme při výpočtu odporu fáze počítat pouze s odhadnutou hodnotou odporu transformátoru a s odhadnutou hodnotou dynamického odporu diody. Pro klidovou hodnotu pracovního bodu diody platí např.  $U_{AK} = 1,0 \text{ V}$  a  $I_F = 0,3 \text{ A}$  vypočítáme přibližný vnitřní odpor diody:

$$R_i = \frac{U_{AK}}{I_F} = \frac{1,0 \text{ V}}{0,3 \text{ A}} = 3,33 \Omega - \text{ protože např. u můstkového usměrňovače jsou v jedné cestě}$$

zařazeny dvě diody sériově, počítáme s celkovým vnitřním odporem usměrňovacích ventilů  $R_{ic} = 6 \Omega$

Celkový zatěžovací odpor usměrňovače vypočteme z požadavku výstupních parametrů můstkového usměrňovače.

$$R_{zd} = \frac{U_{zd}}{I_1} = \frac{30 \text{ V}}{0,35 \text{ A}} = 86 \Omega$$

Pro stanovení odporu transformátoru vypočítáme výstupní výkon  $P_z$ .

$$P_z = U_{zd} \cdot I_1 = 30 \text{ V} \cdot 0,35 \text{ A} = 10,5 \text{ W}$$

Z tab. 2 pro odhad poměru  $\frac{R_{tr}}{R_{zd}}$  v závislosti na výkonu transformátoru, určíme odpor transformátoru

Potřebné hodnoty sekundárního  $U_{2ef}$  napětí a sekundárního proudu  $I_{2ef}$  zjistíme buď pomocí grafu, kde poměr  $U_o/U_{ef}$  a  $I_o/I_{ef}$  závisí na poměru  $R_f/R_z$ , nebo využitím tabulky tab.3 kterou určíme pro požadovaný výkon transformátoru poměr  $R_f/R_{zd}$

Tab. 3

$P_o[W]$	1 až 10	10 až 100	100 až 1000
$\frac{R_{tr}}{R_{ZD}}$	0,07 až 0,06	0,06 až 0,04	0,04 až 0,03

např. pro výkon na výstupu usměrňovače  $P_Z = 10W$  volíme hodnotu 0,06, pro hodnotu  $P_Z = 50W$  volíme 0,05 a pod. Pomocí tab. 2 vypočítáme hodnotu  $R_{tr}$

$R_{tr} = R_{ZD}$ . koeficient , který dá tabulka 3 pro výkon na výstupu usměrňovače 10W volíme koeficient 0,06, potom  $R_{tr} = 0,06 \cdot 86 = 5,16\Omega$

Následně vypočítáme výsledný odpor fáze:

$$R_f = R_{tr} + R_i + R_o = 5,16 + 6 + 4 = 15,46\Omega$$

a vypočteme hodnotu zlomku

$$\frac{R_f}{n^2 R_{ZD}} = \frac{15,46}{2^2 \cdot 86} = 0,045 \quad n - \text{počet usměrňovacích cest}$$

Podle tab.4 určíme efektivní hodnotu sekundárního napětí transformátoru, efektivní hodnotu sekundárního proudu transformátoru a přesnou hodnotu maximálního proudu procházejícího diodou

Tab.4

Zapojení		Jednocestné n=1			Dvoucestné n = 2		
$\frac{R_f}{n^2 R_o}$	$\frac{U_{2ef}}{U_o}$	$\frac{I_{FM}}{I_o}$	$\frac{I_{2ef}}{I_o}$	$\varphi_{ZV} R_f C_1$	$\frac{I_{FM}}{I_o}$	$\frac{I_{2ef}}{I_o}$	$\varphi_{ZV} R_f C_1$ ( $\Omega, \mu F$ )
0,00	0,70	15,0	3,20	0	7,50	1,60	0
0,05	0,91	6,75	2,36	320	3,38	1,18	250
0,10	1,08	5,45	2,12	640	2,72	1,06	460
0,15	1,24	5,10	2,00	960	2,55	1,00	660
0,20	1,38	4,85	1,92	1280	2,42	0,96	840
0,25	1,51	4,60	1,86	1600	2,30	0,93	1040
0,30	1,63	4,40	1,83	1920	2,20	0,92	1240
0,35	1,74	4,15	1,82	2240	2,08	0,91	1380
0,40	1,84	3,90	1,80	2560	1,95	0,90	1540

například pro poměr  $\frac{R_f}{n^2 R_{ZD}} = 0,05$  je efektivní hodnota sekundárního napětí

$$U_{2ef} = 0,89 \cdot U_{ZD} = 0,89 \cdot 30 = 26,7 V$$

a efektivní hodnota sekundárního proudu

$$I_{2ef} = 1,22 \cdot I_1 = 1,22 \cdot 0,35 = 0,427A$$

**Požadavky na výpočet transformátoru-  $U_{2ef} = 26,7V$  ;  $I_{2ef} = 0,427A$**

### 3. Návrh sběracího kondenzátoru $C_1$

Při návrhu sběracího kondenzátoru můžeme akceptovat doporučení výrobce polovodičového prvku, nebo použít nomografické metody, nebo použít empirických výrazů, které v prvním přiblížení poskytují dobrý výsledek.

Zvolíme-li činitel zvlňení  $\varphi_{ZV} = 10\%$ , hodnotu proudu  $I_1 = 350$  mA a napětí  $U_{ZD} = 30V$  pak kapacitu sběracího kondenzátoru určíme z výrazu:

$$C_1 = \frac{300 \cdot I}{\varphi_{ZV} \cdot U_{ZD}} \quad [\mu F; mA; \%, V]$$

$$C_1 = \frac{300 \cdot 350}{10 \cdot 30} = 350 \mu F$$

$$C_1 = 350 \mu F$$

Uvedené hodnotě vyhovuje elektrolytický kondenzátor E330M/35 – charakteristické údaje-

kapacita 330 $\mu$ F  
 napětí 35V  
 teplota -40...+85°C  
 tolerance +- 20%  
 rozměry 10x16 mm  
 elektrolytický radiální

Kapacitu sběracího kondenzátoru můžeme např. vypočítat podle empirického vztahu:

$$C_1 = \frac{25000}{R_{ZD}} [\mu F; \Omega] \quad R_{ZD} = \frac{U_{ZD}}{I_1} = \frac{30V}{0,35A} = 86\Omega$$

$$\text{potom } C_1 = \frac{25000}{86} = 290 \mu F$$

Tento výpočet udává podobnou hodnotu jako předcházející, použijeme proto hodnotu vyšší, Dle katalogu GM electronic použijeme kapacitu 330 $\mu$ F

### III. Návrh síťového transformátoru

Pro návrh síťového transformátoru potřebujeme tyto vstupní parametry: hodnotu síťového kmitočtu (50 Hz) a maximální hodnotu magnetické indukce, povolenou pro daný typ magnetického obvodu (pro plechy EI je povoleno  $B=1$  T). Potom lze pro uživatelské zadání výstupních proudů a napětí spočítat:

U jednopulsních a můstkových usměrňovačů uvažujeme pouze jedno napětí  $U_{ef}$  a proud  $I_{ef}$ .

U dvoupulsních zapojení musíme počítat se dvěma symetrickými vinutími.

$$P_2 = U_{s1} \cdot I_{s1} + U_{s2} \cdot I_{s2} + \dots \quad P_2 = U_{2ef} \cdot I_{2ef} = 26,7 \text{ V} \cdot 0,427 \text{ A} = 11,4 \text{ VA}$$

Účinnost transformátoru lze přibližně odhadnout podle následující tabulky tab.5

tab.5

výkon $P_2$ [ VA ]	< 10	10 – 100	100 – 1 000
účinnost $\eta$ [ % ]	65 až 70	70 až 80	80 až 90

Účinnost volíme 71%

Primární výkon :

$$P_1 = \frac{P_2 \cdot 100}{\eta} \quad [\text{VA}] \quad P_1 = \frac{11,4 \cdot 100}{71} = 16,05 \text{ VA}$$

Proud v primární cívice (při napětí 230 V):

$$I_1 = \frac{P_1}{U_1} = \frac{P_1}{230} \quad [\text{A}] \quad I_1 = \frac{16,05}{230} = 0,0698 \text{ A} = 69,8 \text{ mA}$$

Průřez magnetického obvodu ( u EI plechů průřez středního sloupku ):

$$S_{Fe} = 1,2 \sqrt{P_1} \quad [\text{cm}^2] \quad S_{Fe} = 1,2 \sqrt{16} = 4,8 \text{ cm}^2$$

Podle uvedené tabulky tab.6 určíme typ EI plechů, které použijeme. Vzhledem k vypočtenému průřezu jádra se musíme rozhodnout jaký typ plechů bude vyhovovat vypočtené hodnotě. Hodnota  $4,8 \text{ cm}^2$ , neodpovídá žádné normalizované hodnotě, musíme tedy volit hodnotu nejbližší vyšší, která splňuje konstrukční požadavky jádra. V našem případě můžeme použít plech EI 25 s výškou sloupku 20mm, takže volíme plechy EI 25x20. Skutečný průřez jádra  $S_{Fes} = 25 \text{ mm} \times 20 \text{ mm} = 5 \text{ cm}^2$ . S tímto údajem musíme nadále počítat.

Normalizovaná tloušťka EI plechů je  $t = 0,35 \text{ mm}$  nebo  $t = 0,5 \text{ mm}$

Jejich počet určíme:

$$n = \frac{S_{Fe}}{2 \cdot a \cdot t} \quad [-; \text{cm}^2, \text{cm}, \text{cm}] \quad 2a \text{ je v tabulce plechů} \quad n = \frac{5}{2,5 \cdot 0,035} = 57 \text{ ks}$$

pro  $t = 0,35 \text{ mm}$

Počet závitů jednotlivých vinutí určíme vztahem:

$$N_j = \frac{45}{S_{Fe}} \quad N_j = \frac{45}{5} = 9 \text{ závitů / volt}$$

Text slouží pouze pro vnitřní potřeby SOŠ a SOU Hradební 1029, Hradec Králové  
vytvořil: ing. Jáchym Vacek

Z počtu závitů na primární cívce ubíráme 3 % kvůli krytí ztrát v primárním vinutí.  
Počet závitů pro primární vinutí ( pro síťové napětí 230 V ) je tedy:

$$N_{\text{prim}} = N_j \cdot 230 \cdot 0,97 \quad [-] \quad N_{\text{prim}} = 9 \cdot 230 \cdot 0,97 = 2008 \text{ závitů}$$

U sekundárních vinutích přidáváme 3% pro krytí ztrát v sekundárních vinutích. Pro všechna vinutí platí vztah:

$$N_{\text{sek}} = N_j \cdot U_{\text{sek}} \cdot 1,03 \quad [-] \quad N_{\text{sek}} = 9 \cdot 26,7 \cdot 1,03 = 247,5 \text{ závitů}$$

Nejčastěji používané typy EI plechů:

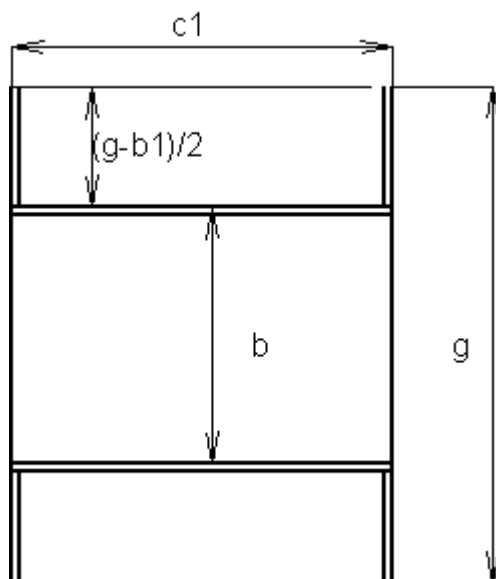
Tab.6

Typ EI plechu	Velikost 2.a [mm]	Průřez jádra $S_{Fe} = 4 \cdot a$ [cm <sup>2</sup> ]	Přenášený výkon P [W] ( $S_{Fe} = 4 \cdot a^2$ )	Plocha okénka $S_o = 3 \cdot a^2$ [mm <sup>2</sup> ]	Plocha vynutí $S_v$ [mm <sup>2</sup> ]
EI0	10	1,00	1,00	75	50
EI12	12	1,44	2,07	108	78
EI16	16	2,56	6,55	192	152
EI20	20	4,00	16,0	300	250
EI25	25	6,25	39,1	496	407
EI32	32	10,24	105	768	688
EI40	40	16,00	360	1 200	1 100
EI50	50	25,00	625	1 875	1 750
EI64	64	40,96	1 678	3 072	2 912

### Cívková tělíska z lesklé lepenky (Rozměry tělísek podle normy NT- N 002 )

Typ plechu	b	v	b <sub>1</sub>	v <sub>1</sub>	c <sub>1</sub>	g	h	t
E 25	25	20	25,5	21	37	49,5	47	1
		25		26,5			53	
		32		33,5			60	
		40		42			68	
E 32	32	25	32,5	26,5	47,5	63,5	60	1
		32		33,5			66	
		40		42			75	
		50		52,5			85	

Použijeme cívkové tělísko E 25 s výškou v =20



Po určení počtu závitů jednotlivých vinutí určíme ještě jejich potřebné průřezy na základě proudové hustoty:

- pro trvalé zatížení spodních vinutí volíme obvykle  $J = 2,5 \text{ A/mm}^2$
- pro trvalé zatížení vrchních vinutí ( vzhledem k jejich lepšímu chlazení ) volíme až  $J = 3,5 \text{ A/mm}^2$
- pro časově omezená zatížení lze podle rychlosti nárůstu teploty transformátoru ( např. pro UPS je předpoklad doby činnosti cca 15 min ) volit zatížení proudovou hustotou až  $J = 10 \text{ A/mm}^2$ . Musí však být zabezpečeno přerušení činnosti při dosažení zvolené teploty ( např. pomocí tepelné pojistky ).

Pro zvolenou hodnotu proudové hustoty  $J [\text{A/mm}^2]$  vypočteme průměry vodičů:

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot I}{J \cdot \pi}} \quad [\text{mm}] \quad d_1 = \sqrt{\frac{4 \cdot I_{1ef}}{2,5 \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0698}{2,5 \cdot 3,14}} = 0,19 \text{mm} \quad \text{z tab.7 volíme } 0,2 \text{ mm}$$

$$d_2 = \sqrt{\frac{4 \cdot I_{2ef}}{3,5 \cdot \pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,427}{3,5 \cdot 3,14}} = 0,394 \text{mm} \quad \text{z tab.7 volíme } 0,4 \text{mm}$$

Vodiče pro vinutí transformátoru opatřeny lakovou izolací ( smalt ) a označují se CuL. U každého výrobce se vyrábějí pouze v řadě číselných průměrů. V tab.7 jsou uvedeny vodiče firmy PRAKAB:

## Kontrola plnění okénka transformátoru

Z tabulky vodičů , tab.7 , zjistíme průměr jednotlivých vodičů včetně izolace.  
 Pro primární vinutí je vypočítaný a zaokrouhlený čistý průměr  $d_{\text{prim.}} = 0,2 \text{ mm}$ .  
 Skutečný průměr vodiče včetně izolace  $d_{\text{primL}} = 0,23 \text{ mm}$ .  
 pro sekundární vinutí je vypočítaný a zaokrouhlený čistý průměr  $d_{\text{sec.}} = 0,4 \text{ mm}$ .  
 Skutečný průměr včetně izolace  $d_{\text{secL}} = 0,445 \text{ mm}$ .

počet závitů primárního vinutí na 1 cm = 43,5 závitů  
 počet závitů sekundárního vinutí na 1 cm = 22,5závitů

z tabulky cívkových tělísek z lesklé z lepenky vypočítáme prostor pro uložení jedné vrstvy

vinutí - cívkové tělísko pro plech EI 25 x 20

$$c = c_1 - 2t = 37 - 2 \cdot 1 = 35 \text{ mm}$$

výška prostoru cívkového tělíska pro uložení vinutí

$$h' = [g - (b+2t)]/2 = 49,5 - 27 = 11,25 \text{ mm}$$

## Prostor potřebný pro uložení primárního vinutí

počet závitů primárního vinutí  $N_1 = 2008$  závitů,  
 na jednu vrstvu  $3,5 \cdot 43,5 = 152,3$  závitů/vrstvu  
 počet vrstev  $2008 : 152,3 = 13,1$  vrstev tj. 14 vrstev  
 počet prokladů transformátorovým papírem 0,01 mm po dvou vrstvách je 7 ,  
 izolace mezi primárním a sekundárním vinutím lepenkou 0,3

celkový prostor pro primární vinutí včetně prokladů  
 $h_1 = 14 \cdot 0,23 + 7 \cdot 0,01 + 0,3 = 3,59 \text{ mm}$

celková plocha pro uložení primárního vinutí  $O_{N1}$

$$S_{CuN1} = 35 \text{ mm} \cdot 3,59 \text{ mm} = 125,65 \text{ mm}^2 = 1,256 \text{ cm}^2$$

## Prostor potřebný pro uložení sekundárního vinutí

počet závitů sekundárního vinutí  $N_2 = 247,5$  závitů.  
 na jednu vrstvu  $3,5 \cdot 22,5 = 79$  závitů/vrstvu  
 počet vrstev  $247,5 : 79 = 3,13$  vrstvy tj. 4 vrstvy

počet prokladů transformátorovým papírem 0,01 mm po každé vrstvě 2 proklady,  
 ochranná vrstva transformátorového plátna 0,1 mm , ukončení transformátorovou lepenkou 0,3 mm

celkový prostor pro sekundární vinutí včetně prokladů  
 $h_2 = 4 \cdot 0,445 + 7 \cdot 0,01 + 0,1 + 0,3 = 2,15 \text{ mm}$

celková plocha pro uložení sekundárního vinutí  $O_{N2}$



$$S_{CuN2} = 35 \text{ mm} \cdot 2,15 \text{ mm} = 234,5 \text{ mm}^2 = 0,752 \text{ cm}^2$$

celková plocha vinutí  $S_{vCuP} = S_{CuN1} + S_{CuN2} = 1,256 \text{ cm}^2 + 0,752 \text{ cm}^2 = 2,008 \text{ cm}^2$   
 U cívkového tělíska typu E25 je k dispozici

$$S_v = (c_1 - 2t) h' = 3,5 \text{ cm} \cdot 1,125 \text{ cm} = 3,94 \text{ cm}^2$$

Pokud označíme celkový průřez prokladů  $S_p$ , pak musí platit nerovnost:

$$\sum S_{Cu} + S_p < S_v \quad 2,008 \text{ cm}^2 < 3,94 \text{ cm}^2$$

Tato nerovnost by měla být splněna s rezervou podle kvality vinutí okolo 10 – 20 % (koeficient plnění).

Vodiče pro vinutí transformátoru se vejdou do okénka transformátorových plechů s rezervou pro vývody vinutí .

**Transformátor lze sestavit.**

Tab.7

Průměr Cu vodiče d [mm]	Průměr CuL vodiče D [mm]	Průřez vodiče $S_{Cu}$ [mm <sup>2</sup> ]	Maximální proud $I_M$ [A] vodičem při $J = 2,55$ [A/mm <sup>2</sup> ]	Odpor vodiče na jeden metr délky $R_1$ [Ω/m]	Ztrátový výkon $P_z = R_1 \cdot I_{N2}^2$ [W/m]
0,10	0,121	0,008	0,020	2,225	0,001
0,20	0,230	0,031	0,079	0,574	0,004
0,30	0,338	0,071	0,181	0,251	0,008
0,40	0,445	0,126	0,321	0,141	0,015
0,50	0,552	0,196	0,500	0,091	0,023
0,56	0,620	0,246	0,627	0,072	0,028
0,63	0,690	0,312	0,796	0,057	0,036
0,71	0,775	0,396	1,010	0,045	0,046
0,80	0,875	0,502	1,280	0,036	0,059
0,90	0,975	0,636	1,622	0,028	0,074
1,00	1,075	0,785	2,002	0,023	0,092
1,25	1,345	1,227	3,129	0,015	0,147
1,40	1,495	1,539	3,925	0,012	0,185
1,60	1,695	2,010	5,126	0,009	0,236
1,80	1,860	2,543	6,485	0,007	0,294

Ztráty v mědi lze odhadnout pomocí posledního sloupce v tabulce, kdy údaj o ztrátách ve [ W/m ] násobíme délkou vnutí.

Střední délka jednoho závitu se pro transformátor se čtvercovým středním sloupkem pohybuje v rozmezí:

$$l_{střtMIN} = 8 \cdot a + 8 = 8 \cdot 12,5 + 8 = 108 \text{ [ mm ]}$$

$$l_{střtMAX} = 16 \cdot a = 16 \cdot 12,5 = 200 \text{ [ mm ]}$$

**toto neplatí pro dané jádro**

Text slouží pouze pro vnitřní potřeby SOŠ a SOU Hradební 1029, Hradec Králové  
 vytvořil: ing. Jáchym Vacek



U jádra s obdélníkovým průřezem (např. 25x20) se střední délka pohybuje v rozmezí:

$$l_{stř.MIN} = 4 \cdot a + 2 \cdot v = 4 \cdot 12,5 + 2 \cdot 20 = 90 \text{ mm}$$

$$l_{stř.MAX} = 8a + [g - (h - v)] = 8 \cdot 12,5 + [49,5 - (25 - 20)] = 129,5 \text{ mm}$$

$$i_{stř} = \frac{l_{střMIN} + l_{střMAX}}{2}$$

$$l_{stř} = \frac{108 + 200}{2} = \frac{90 + 129,5}{2}$$

$$\underline{l_{stř} = 109,7 \text{ mm}}$$

Ztráty v mědi vypočteme jako součet ztrát všech vinutí, kde při jednotlivých výpočtech se snažíme odhadnout skutečnou hodnotu  $l_{stř}$  pro jednotlivá vinutí s N závity mezi minimem a maximem:

$$P_{Cu} = P_{Cu1} + P_{Cu2}$$

$$P_{Cu1} = P_Z \cdot N_1 \cdot l_{stř.1} \cdot 10^{-3} \quad [W; W/m, -, mm] \quad P_{Cu2} = P_Z \cdot N_2 \cdot l_{stř.2} \cdot 10^{-3} \quad [W; W/m, -, mm]$$

$$P_{Cu1} = 0,004 \cdot 2008 \cdot 110 \cdot 10^{-3} = 0,883W \quad P_{Cu2} = 0,015 \cdot 247,5 \cdot 110 \cdot 10^{-3} = 0,408W$$

Magnetizační ztráty v železe jsou dány veličinou  $P_j$  [ W/kg ] zvanou kilogramové ztráty ( pohybují se okolo 3 W/kg ). Jejich velikost určíme:

$$P_{Fe} = 24 \cdot 10^{-9} \cdot a^2 \cdot t \cdot n \cdot \rho \cdot P_j \quad [W; mm, mm, -, kg/m^3, W/kg]$$

$\rho$  [ kg/m<sup>3</sup> ] je měrná hmotnost železa ( asi 7 800 kg/m<sup>3</sup> ).

$$P_{Fe} = 24 \cdot 10^{-9} \cdot 12,5^2 \cdot 0,35 \cdot 57 \cdot 7800 \cdot 3 = 1,75W$$

šířka krajního sloupku	$a = 12,5 \text{ mm}$
tloušťka plechu	$t = 0,35 \text{ mm}$
počet plechů	$n = 57$
$\rho$ [ kg/m <sup>3</sup> ] je měrná hmotnost železa	$\rho = 7800 \text{ kg/m}^3$
$P_j$ ztráty na kg	$P_j = 3W/kg$

Celkovou účinnost lze zpřesnit oproti odhadu z první tabulky vztahem:

$$\eta = \frac{P_2}{P_2 + P_{Cu1} + P_{Cu2} + P_{Fe}} \cdot 100 \quad [ \% ] \quad \eta = \frac{11,4}{11,4 + 0,833 + 0,408 + 1,75} \cdot 100 = 79,2\%$$

Zvolená účinnost  $\eta = 71\%$  vypočítaná účinnost  $\eta_v = 79\%$  účinnost navrženého transformátoru je lepší než uvažovaná.

**Na závěr návrhu sestavíte navíjecí předpis, což je přesný postup při navíjení transformátoru.**

**Vaše práce bude dále obsahovat návrh plošného spoje ze strany spojů a součástek, rozpisku použitého materiálu a součástek. Celou práci vypracujete ve formě dokumentace, schémata podle normalizovaných značek , nebo v programu kreslení schémat „Schémata CAD“. Do textu můžete vložit tabulky uvedené v této předloze. Na vypracování máte 1 měsíc. Text předlohy nesmíte kopírovat.**