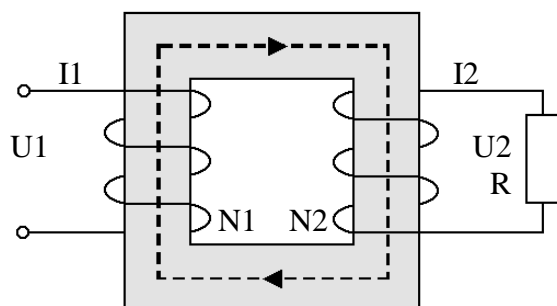


## 7. 4. Transformátory

Transformátor je elektrický netočivý stroj, který pomocí elektromagnetické indukce mění elektrické napětí a proud při nezměněném kmitočtu.

### Princip transformátoru

Po připojení vstupního vinutí na střídavé napětí začne vstupním vinutím protékat střídavý elektrický proud, který vytvoří střídavé magnetické pole. Magnetickým obvodem prochází střídavý magnetický tok a protíná vodiče výstupního vinutí. Ve vodičích výstupní cívky se indukuje střídavé elektrické napětí a po připojení zátěže začne výstupním vinutím protékat elektrický proud.

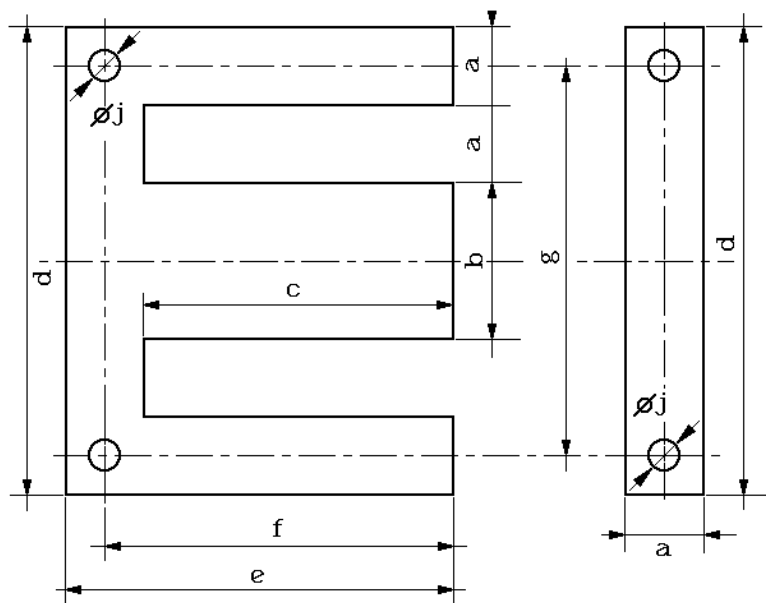


U1	vstupní, primární napětí
U2	výstupní, sekundární napětí
I1	vstupní, primární proud
I2	výstupní, sekundární proud
$\Phi$	magnetický tok
N1	počet vstupních, primárních závitů
N2	počet výstup. sekundárních závitů
R	zatěžovací odpor

### Hlavní části transformátoru

- magnetický obvod: ocelokřemíkové plechy, vzájemně izolované, případně ferit
- cívky vinutí: vinuty izolovaným Cu vodičem na kostřičce z izolačního materiálu
- stahovací konstrukce
- svorkovnice
- štítek s označením údajů

### Transformátorové plechy EI



Typ plechu	a	b	c	d	e	f	g	j
E10	5	10	15	30	20	-	-	-
E12	6,5	12	19	38	25,5	-	-	-
E16	8	16	24	48	32	-	-	-
E20	10	20	30	60	40	35	50	4,0
E25	12,5	25	37,5	75	50	43,75	62,5	4,0
E32	16	32	48	96	64	56	80	5,0
E40	20	40	60	120	80	70	100	7,0
E50	25	50	75	150	100	87,5	125	9,0
E64	32	64	96	192	128	112	160	11,0

Rozměry v mm

### Výpočet síťového transformátorku

Zadané hodnoty:

vstupní, primární napětí

$$U_1 = 230V$$

výstupní, sekundární napětí

$$U_2 = 24V$$

výstupní, sekundární, zatěžovací proud

$$I_2 = 5A$$

### Hodnoty potřebné k výrobě transformátorku

- druh a velikost transformátorových plechů

- počet vstupních, primárních závitů

$N_1$

- počet výstupních, sekundárních závitů

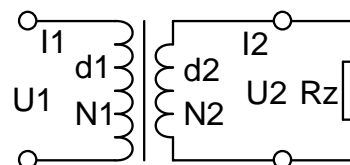
$N_2$

- průměr vodiče vstupního, primárního vinutí

$d_1$

- průměr vodiče výstupního, sekundárního vinutí

$d_2$



### Výkon transformátorku

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 \quad [VA; V, A]$$

$$P_2 = 24 \cdot 5$$

$$P_2 = 120 \text{ VA}$$

### Příkon transformátorku

$$P_1 = (1,1 \text{ až } 1,3) P_2$$

$$P_1 = 1,2 \cdot 120$$

$$P_1 = 144 \text{ VA}$$

### Čistý průřez železného jádra

$$S_{Fe} = (0,8 \text{ až } 1,1) \cdot \sqrt{P_2} \quad [cm^2; VA]$$

$$S_{Fe} = 1 \cdot \sqrt{120}$$

$$S_{Fe} = 10,95 \text{ cm}^2$$

### Skutečný průřez železného jádra s izolací mezi plechy

$$S = \frac{S_{Fe}}{0,9} \quad [cm^2; cm^2]$$

$$S = \frac{10,95}{0,9}$$

$$S = 12,16 \text{ cm}^2$$

### Výška jádra a počet plechů

- volíme transformátorové plechy tak, aby průřez jádra byl přibližně čtvercový
- pomocný výpočet:

$$a = \sqrt{S} \quad [\text{cm}; \text{cm}^2]$$

$$a = \sqrt{12,16}$$
$$a = 3,49$$

Můžeme zvolit plechy E32 nebo E40. Je lepší volit plechy větší, u kterých bude více místa v okénku pro vinutí.

$$v = \frac{S}{b} \quad [\text{cm}; \text{cm}^2, \text{cm}]$$

$$v = \frac{12,16}{4}$$

$$v \cong 30 \text{ mm}$$

kde  $b$  = šířka středního sloupku skutečně vybraného plechu

### Počet plechů

$$pp = \frac{v}{t} \quad [-; \text{mm}, \text{mm}]$$

$$pp = \frac{30}{0,5}$$

$$pp = 60 \text{ kusů}$$

$t$  – tloušťka plechu

### Počet závitů na napětí 1 V

$$N_{1V} = \frac{45}{SFe} \quad [-; -, \text{cm}^2]$$

$$N_{1V} = \frac{45}{10,95}$$

$$N_{1V} \cong 4,11 \text{ závitů}$$

### Počet závitů

Konstanta  $k$  upravuje počet závitů s ohledem na úbytek napětí. Stanoví se podle velikosti transformátoru (viz tabulka).

P2	do 50	50 až 100	100 až 300	300 až 1000 VA
k	1,1	1,08	1,07	1,05

$$N1 = N_{1V} \cdot U1 \quad [-; -, \text{V}]$$

$$N1 = 4,11 \cdot 230$$

$$N1 \cong 945 \text{ závitů}$$

$$N2 = N_{1V} \cdot U2 \cdot k \quad [-; -, \text{V}, -]$$

$$N2 = 4,11 \cdot 24 \cdot 1,08$$

$$N2 \cong 107 \text{ závitů}$$

### Určení průřezu vodičů vinutí

Volíme proudovou hustotu mezi 2 až 3 A/mm<sup>2</sup> (u malých transformátorů až dvojnásobnou)

$$I1 = \frac{P1}{U1} \quad [\text{A}; \text{VA}, \text{V}]$$

$$I1 = \frac{144}{230}$$

$$I1 = 0,626 \text{ A}$$

$$S1 = \frac{I1}{\sigma} \quad [\text{mm}^2; \text{A}, \text{A}/\text{mm}^2]$$

$$S1 = \frac{0,626}{2,5}$$

$$S1 = 0,25 \text{ mm}^2$$

$$S2 = \frac{I2}{\sigma} \quad [\text{mm}^2; \text{A}, \text{A}/\text{mm}^2]$$

$$S2 = \frac{5}{2,5}$$

$$S2 = 2 \text{ mm}^2$$

### Určení průměru vodičů

Rozměry vodičů pro vinutí se udávají v průměru vodiče bez izolace. Rozměr určíme výpočtem nebo podle tabulek.

$$d1 = \sqrt{\frac{4S1}{\pi}}$$

$$d1 = \sqrt{\frac{4,0,25}{3,14}}$$

$d1 = 0,5642 \text{ mm}$  (z tabulek volíme  $d1 = 0,56 \text{ mm}$ )

$$d2 = \sqrt{\frac{4S2}{\pi}}$$

$$d2 = \sqrt{\frac{4,2}{3,14}}$$

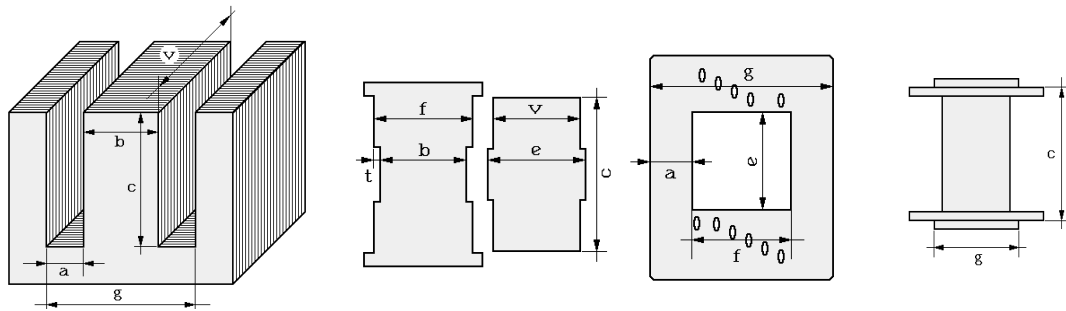
$d2 = 1,17957 \text{ mm}$  (z tabulek volíme  $d2 = 1,6 \text{ mm}$ )

Tento zjednodušený výpočet transformátorku lze použít pro síťové transformátorky do výkonu 1000 VA. Výpočtem lze ověřit proveditelnost vinutí s ohledem na kontrolu plnění plochy okénka cívky transformátoru.

### Návrh na výrobu kostřičky

Návrh obsahuje základní rozměry nutné pro výrobu kostřičky. Rozměry b, v, e, f mohou mít plusovou toleranci, rozměry c, g mohou mít toleranci minusovou.

Toleranci a ostatní rozměry volíme podle velikosti transformátorku. Tloušťka materiálu je dána rozměrem t.



### Měření na transformátorech

#### Měření činného odporu vinutí

Měří se odpor jednotlivých vinutí. Nemá se lišit od požadovaných parametrů  $\pm 1\%$ . Obecně odpor závisí na délce, průřezu a materiálu vinutí.

U síťových transformátorků má vinutí pro vyšší napětí, většinou vstupní, odpor větší. Vinutí nižšího napětí, většinou výstupní, má odpor menší. U větších transformátorků na menší napětí bývá odpor výstupního vinutí velmi malý.

V praxi dochází buď k přerušení vinutí, odpor je nekonečně velký, nebo ke zkratu, kdy je odpor nulový.

K měření používáme multimetr, ohmetr.

### Měření izolačního odporu

Měří se odpor základní nebo přídavné izolace mezi vstupním a výstupním vinutím, mezi kostrou a vinutími. Odpor nesmí být menší než 2 MΩ.

Odpor zesílené izolace se měří mezi vstupním a výstupním vinutím, mezi kostrou a vinutími. Odpor nesmí být menší než 5 MΩ. Měří se po dobu 1 minuty napětím 500V.

**Použitý přístroj:** megmet

### Zkouška elektrické pevnosti přiloženým vysokým napětím

Transformátor vyhovuje, když nenastane přeskok ani průraz. Doutnavé výboje, sršení a trsové výboje se nepovažují za závadu, když zůstane po zkoušce izolace neporušená a nepoklesne zkušební napětí.

**Použité přístroje:** zdroj zkušební napětí, Audiomat

Zkouší se přiloženým vysokým napětím po dobu 1 minuty

Místo přiložení napětí	Zkušební napětí při pracovním napětí [V]					
	do 50	do 150	do 250	do 440	do 690	do 1000
Základní a přídavná izolace vinutí proti sobě	250	1000	1750	2100	2500	2750
Zesílená izolace vinutí proti sobě a vinutí proti kostře	500	2000	3500	4200	5000	5500

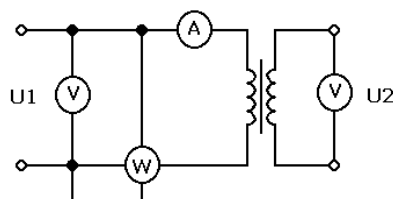
### Měření napětí naprázdno

Výstupní napětí nesmí překročit 1000V. Rozdíl mezi výstupním napětím naprázdno v % a jmenovitým výstupním napětím při jmenovitém zatížení, při jmenovitém vstupním napětím a jmenovitém kmitočtu nesmí překročit hodnoty v tabulce.

Jmenovitý výkon transformátorku [VA]	Rozdíl [%]
do 63 včetně	20
nad 63 do 250 včetně	15
nad 250 do 630 včetně	10
nad 630	5

### Měření proudu naprázdno

Měření proudu naprázdno se provádí při jmenovitém vstupním napětí a jmenovitém kmitočtu. Proud transformátorku naprázdno nesmí překročit hodnoty na štítku nebo v provozní dokumentaci. Měřená hodnota vstupního proudu naprázdno se může porovnat se jmenovitou hodnotou vstupního proudu při zatížení.



Výkon transformátoru	Hodnota proudu naprázdno
do 50 VA	do 80 %
do 160 VA	do 50%
nad 160 VA	do 25%

Měřením naprázdno lze zjistit ztráty v magnetickém obvodu - tzv. ztráty v železe.

# Toroidní transformátory

## Výhody toroidních transformátorů ve srovnání s klasickým transformátorem

### Zmenšený objem

Zmenšení objemu toroidního transformátoru proti klasickému se pohybuje přibližně o 40% až 60%. Toto zmenšení objemu je do určité míry závislé na provedení transformátoru a na způsobu montáže.

### Snížená hmotnost

Úspora materiálu se pohybuje kolem 35% - 50% a závisí na způsobu montáže. Toroidní (prstencové) jádro má ideální tvar pro zhotovení transformátoru s minimálním množstvím materiálu. Všechna vinutí jsou rovnoměrně rozprostřena po celém obvodu jádra, což činí velmi krátkou délku vinutí. To vede k nízkému odporu vinutí a k vyšší účinnosti. Je možná vyšší magnetická indukce, jelikož magnetický tok prochází ve stejném směru, v jakém je orientována křemíková ocel jádra při válcování. Lze použít vyšší proudové hustoty ve vodičích, jelikož celý povrch toroidního transformátoru umožňuje účinné chlazení měděných vodičů. Ztráty v železe jsou velice nízké - typická hodnota je 1,1 W při indukci 1,7 T a frekvenci 50/60 Hz. To dává velmi nízký magnetizační proud, který přispívá k vynikající tepelné zatížitelnosti toroidního transformátoru. Plechy bez vzduchové mezery ve směru magnetického toku vytváří dobré podmínky pro magnetický tok a nízký magnetizační proud (na rozdíl od skládaných EI plechů klasických transformátorů).

Za nevýhodu lze považovat velký nárazový proud (způsobený remanencí) při zapnutí (velikost závisí na okamžiku zapnutí). Velikost proudu se nejčastěji pohybuje na 30 - 40 násobku jmenovitého primárního proudu. Eliminovat velký nárazový proud lze omezovačem proudových nárazů.

### Vyšší účinnost

Toroidní transformátory jsou vyráběny z jakostních materiálů, což umožňuje dosáhnout úspor přibližně 50% ve srovnání s konvenčními transformátory se skládanými jádry.

### Úspory energie

Úspory dosahují až 86% při chodu naprázdno a 36% při zatížení ve srovnání s klasickým transformátorem. Uvědomíme-li si, že pořizovací cena transformátoru je důležitá, není to v žádném případě všechno. Mezinárodně zaměřený pohled na fakt, že energetická produkce má vliv na životní prostředí, vedl k pokračování ve zvyšování cen energie. Použití toroidních transformátorů namísto konvenčních transformátorů s jádry skládanými z jednotlivých plechů poskytuje významné úspory energie. Obvykle se pořizovací náklady toroidních transformátorů zaplatí úsporami energie při jejich provozu během dvou až tří let (záleží na ceně el. energie v místě spotřebitele, výkonu transformátoru a ceny transformátoru vzhledem k velikosti série).

### Snadná montáž do zařízení

- pomocí plechového kotouče a dvou neoprenových kotoučů
- zalitý střed s průchozím otvorem
- zalitý střed s mosaznou vložkou
- montáž na DIN 35 (lišta)
- pro plošné spoje

## Snížená hlučnost

Díky kruhové konstrukci jader a neexistující vzduchové mezeře nedochází k vibracím, které by mohly způsobovat hluk.

## Malý rozptyl magnetického pole

Tvar jádra toroidu bez vzduchových mezer a se symetrickým měděným vinutím vytváří extrémně nízkou úroveň rozptylu magnetického pole, běžně osmkrát nižšího než u konvečních transformátorů.

Klasický transformátor		Toroidní transformátor		
výkon [VA]	objem [cm <sup>3</sup> ]	objem [cm <sup>3</sup> ]	úspora [cm <sup>3</sup> ]	úspora [%]
75	628	288	340	54,1
100	727	381	346	47,6
130	866	424	442	51,0
160	954	516	438	45,9
200	1086	580	506	46,6
250	1361	670	691	50,8
320	1555	821	734	47,2
400	1801	986	815	45,3
500	2268	1094	1174	51,8
630	2574	1372	1202	46,7
800	3081	1714	1367	44,4
1000	5520	1843	3677	66,6
1500	6598	2227	4371	66,2
2000	7735	3503	4232	54,7
2500	10800	4413	6387	59,1
3000	11700	5733	5967	51,0
4000	12300	6903	5397	43,9

Tabulka porovnává objem klasických a toroidních transformátorů

Výkon [VA]	ztráty naprázdno				ztráty při zatížení			
	klasický transf.	toroidní transformátor			klasický transf.	toroidní transformátor		
	ztráty [W]	ztráty [W]	úspora [W]	úspora [%]	ztráty [W]	ztráty [W]	úspora [W]	úspora [%]
63	4,8	0,8	4,0	86,3	9,5	6,4	3,1	32,6
100	6,0	1,0	5,0	83,3	13,0	10,7	2,3	17,7
160	7,5	1,6	5,9	78,7	17,6	14,1	3,5	19,9
250	11,0	2,6	8,4	76,4	25,0	19,3	5,7	22,8
400	18,0	5,1	12,9	71,7	32,0	25,7	6,3	19,7
630	24,0	6,9	17,1	71,3	37,8	34,0	3,8	10,1
1000	27,0	10,6	16,4	60,7	53,0	39,1	13,9	26,2
1600	38,0	16,3	21,7	57,1	76,8	55,1	21,7	28,3
2500	49,0	26,0	23,0	46,9	100,0	70,7	29,3	29,3
4000	70,0	39,5	30,5	43,6	140,0	90,0	50,0	35,7

Tabulka porovnává objem klasických a toroidních transformátorů

### Pro bezpečný provoz transformátoru se používá jako prvek jištění

- tepelný spínač vratný
- tepelná pojistka tavná
- kombinace proudové pojistky a tepelného spínače (do 200VA)

### Provedení vývodů

- Cu vodič v izolační trubičce třídy F
- Cu lanka izolovaná /90, 105, 155°C/

### Speciální transformátory mohou být opatřeny stíněním

- pásem Cu folie po obvodu transformátoru
- primárním / sekundárním vinutím - Cu páska stíní vinutí (žl.-zelený ochranný vývod PE)

### Montáž transformátoru

- pomocí plechové příruby a dvou neoprenových kotoučů
- zalitého středu s průchozím otvorem
- zalitého středu s mosaznou nebo silonovou vložkou a průchozím otvorem
- zalitého středu s mosaznou vložkou a metrickým závitem

## Použití toroidních transformátorů

### Toroidní transformátory bezpečnostní

Technické parametry		
Napětí primární	115V až 400V	
Napětí sekundární	6,9,12,15,18,24,27,36,42,48V	
Kmitočet	50 / 60 Hz	
Izolační pevnost	4 kV	
Třída izolace	E	
Provozní teplota okolí	40 °C max.	
Druh provozu	S1 trvalý	
Vývody	primární	lanko délky 20 cm
	sekundární	lanko délky 20 cm
Krytí	IP 00, IP 54	
Ochrana proti přetížení	Tepelná vratná pojistka	

Transformátory jsou určeny pro oddělení spotřebiče s bezpečným napětím od napájecí sítě. Toroidní jádro zajišťuje malý rozptyl elektromagnetického pole, vysokou účinnost a snadnou montáž.

Výkonová řada obsahuje typy od 20VA do 500VA. Transformátory mohou být proti přetížení jištěny vratnou tepelnou pojistkou. Primární i sekundární vinutí jsou vyvedena lanky v izolační trubičce. Provedení transformátorů může být přizpůsobeno montáži do různého

prostředí.

Výkony transformátorů a jejich rozměry

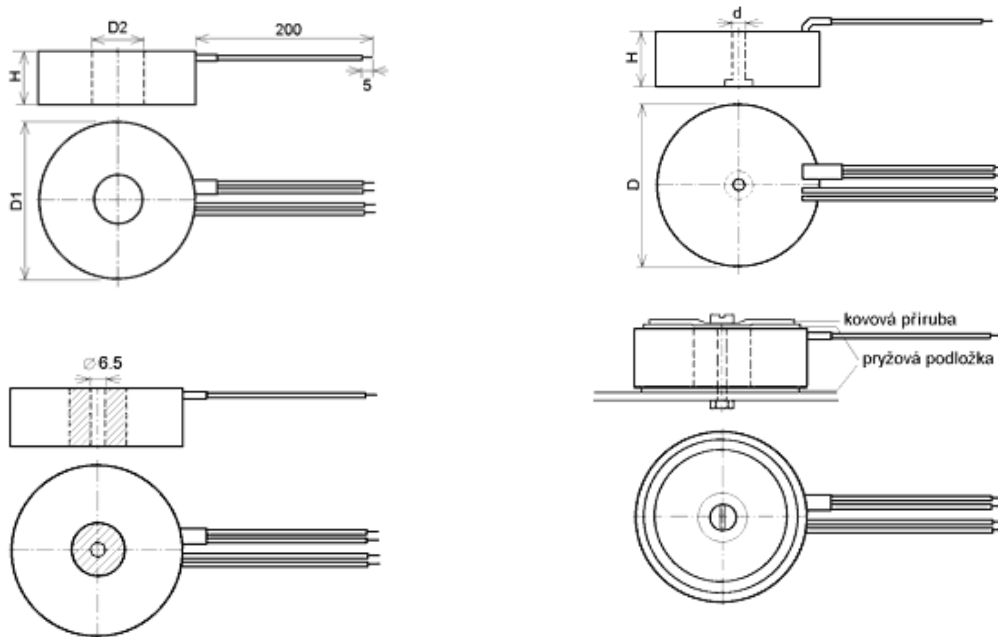


ČSN EN 61558-2-6



Typ transformátoru	P	D1	D2	H	G
	VA	mm	mm	mm	kg
RTB 20 - T - P / N x S	20	59	20	33	0.34
RTB 36 - T - P / N x S	36	70	26	34	0.45
RTB 50 - T - P / N x S	50	76	25	36	0.70
RTB 75 - T - P / N x S	75	88	33	36	0.90
RTB 100 - T - P / N x S	100	95	32	42	1.20
RTB 120 - T - P / N x S	120	97	32	44	1.35
RTB 160 - T - P / N x S	160	102	32	46	1.60
RTB 200 - T - P / N x S	200	111	38	49	2.00
RTB 250 - T - P / N x S	250	122	38	56	2.40
RTB 300 - T - P / N x S	300	122	41	64	2.85
RTB 400 - T - P / N x S	400	136	45	65	3.60
RTB 500 - T - P / N x S	500	140	45	70	4.50





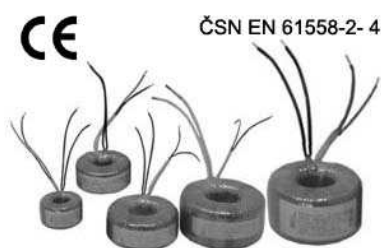
### Toroidní transformátory oddělovací

Transformátory jsou určeny pro oddělení spotřebiče od napájecí sítě. Toroidní jádro zajišťuje malý rozptyl elektromagnetického pole, vysokou účinnost a snadnou montáž. Výkonová řada obsahuje typy od 20VA do 3000VA.

Transformátory mohou být proti přetížení jištěny vratnou tepelnou pojistkou.

Ochrana proti přetížení	Tepelná vratná pojistka
-------------------------	-------------------------

Primární i sekundární vinutí jsou vyvedena lanky v izolační trubičce. Provedení transformátorů může být přizpůsobeno pro montáž do různého prostředí.



Střed transformátoru je vyplněn polyuretanovou pryskyřicí, do které je vyvrtán otvor.

### Toroidní transformátory pro halogenová svítidla

Transformátory jsou určeny pro napájení halogenových svítidel se jmenovitým napětím 12V ze sítě o napětí 230V, 50-60Hz. Toroidní jádro zajišťuje malý rozptyl elektromagnetického pole, vysokou účinnost a snadnou montáž.

Výkonová řada obsahuje typy od 20VA do 400VA.

Transformátory jsou proti přetížení jištěny vratnou tepelnou pojistkou. Primární i sekundární vinutí jsou vyvedena lanky v izolační trubičce. Provedení transformátorů může být přizpůsobeno montáži do různého prostředí.

Technické parametry		
Napětí primární	230 V	
Napětí sekundární	11,5 V	
Kmitočet	50 / 60 Hz	
Izolační pevnost	4 kV	
Třída izolace	B	
Provozní teplota okolí	60 °C max.	
Druh provozu	S1 trvalý	
Vývody	- primární	lanko délky 20cm
	- sekundární	lanko délky 20cm
Krytí	IP 00, IP 54	
Ochrana proti přetížení	Tepelná vratná pojistka	



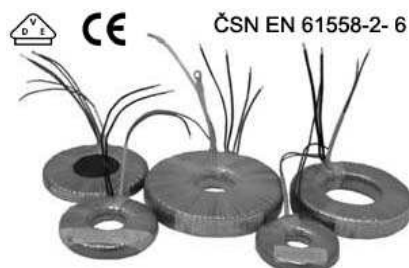
Střed transformátoru je vyplněn polyuretanovou pryskyřicí, do které je vyvrtán otvor.

## Toroidní transformátory ploché

Transformátory jsou určeny pro napájení halogenových svítek se jmenovitým napětím 12V ze sítě o 230V, 50 - 60Hz. Toroidní jádro zajišťuje malý rozptyl elektromagnetického pole, vysokou účinnost a snadnou montáž. Výška transformátorů je snížena pro montáž do nízkých prostorů.

Výkonová řada obsahuje typy od 20VA do 200VA. Transformátory jsou proti přetížení jištěny vratnou tepelnou pojistkou. Primární i sekundární vinutí jsou vyvedena lanky v izolační trubičce.

Technické parametry		
Napětí primární	230 V	
Napětí sekundární	11,5 V	
Kmitočet	50 / 60 Hz	
Izolační pevnost	4 kV	
Třída izolace	B	
Provozní teplota okolí	60 °C max.	
Druh provozu	S1 trvalý	
Vývody	- primární	lanko délky 20cm
	- sekundární	lanko délky 20cm
Krytí	IP 00	
Ochrana proti přetížení	Tepelná vratná pojistka	



Střed transformátoru je vyplněn polyuretanovou pryskyřicí, do které je vyvrtán otvor.

Použitá literatura: Dílenská příručka elektronika I. – kolektiv autorů