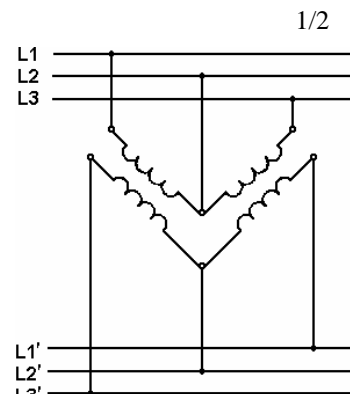


Transformace třífázového proudu

a) **Tři jednofázové transformátory**

Transformaci třífázového proudu lze provést prostřednictvím 3 jednofázových transformátorů zapojených do hvězdy nebo do trojúhelníka. Zapojení do 3 transformátorů je řešení drahé, *náklady na výrobu* 3 jednofázových transformátorů jsou větší – celková hmotnost (spotřeba) materiálu magnetického obvodu je o 15 až 25 % větší než pro 1 třífázový transformátor. Výhodou v případě poruchy je menší požadovaná záloha pouze 1/3 instalovaného výkonu. Při zapojení do trojúhelníka je možné provozovat 2 jednofázové transformátory v **zapojení do V**, při menším přenášeném výkonu.



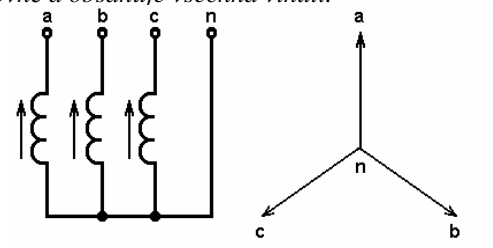
Zapojení transformátorů do V

b) **Třífázový transformátor**

Při spojení 3 jednofázových jádrových transformátorů nebude místem spojení jader protékat žádný tok, protože součet toků všech tří fází je v místě společného středního sloupku rovno nule, viz fázorový diagram.

$\Phi_U + \Phi_V + \Phi_W = 0$. Řešením je standardní 3 fázový jádrový transformátor, *ten budeme i uvažovat v dalším výkladu.. Plášťový třífázový transformátor se užívá zcela výjimečně, jediné jádro je uloženo vodorovně a obsahuje všechna vinutí.*

Primární a sekundární vinutí jedné fáze jsou uložena na jednom jádru (*vinutí nižšího napětí je uloženo blíže k jádru*). S svorky vinutí vyššího napětí se označují velkými písmeny A, B, C a svorky nižšího napětí malými písmeny a, b, c, začátky číslicí 1, konce 0.



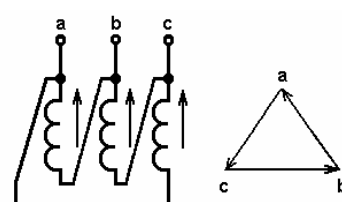
Vinutí trojfázového transformátoru zapojené do hvězdy

Vstupní vinutí 3 fázového transformátoru mohou být zapojena:

- do hvězdy označení **Y(y)** – konce vinutí jsou spojeny,
- do trojúhelníka **D(d)** – k jedné fázi je vždy připojen začátek jednoho vinutí a konec druhého,

Výstupní vinutí 3 fázového transformátoru mohou být různě zapojena:

- **do hvězdy** – konce vinutí jsou spojeny, *na straně nn je pak vždy vyveden střed vinutí (plně platí pro sítě TN, TT, v IT není nutností),*
- **do trojúhelníka,**
- **do lomené hvězdy - z** - výstupní vinutí je rozděleno na dvě poloviny umístěné na dvou jádrech.



Vinutí trojfázového transformátoru zapojené do trojúhelníka

Další rozhodující vlastností vinutí je směr navíjení, tj. zda je vinutí pravotočivé nebo levotočivé (*jedná se o směr navíjení shodný s utahováním šroubu*). To má rozhodující vliv na směr vytvořeného magnetického toku a směr orientace indukovaného napětí, *obdobně se chová vinutí zapojená v obráceném pořadí (začátek – konec)*.

Výše uvedené možnosti zapojení vytváří mnoho možných kombinací, v praxi je však počet kombinací z důvodů zaměnitelnosti a paralelního spojení transformátorů omezen.

Zapojení do lomené hvězdy - z

Vinutí každé fáze je rozděleno na poloviny. Spojením konce první poloviny s koncem druhé poloviny na jiném jádru vznikne lomená hvězda, počátky druhých polovin jsou spojeny a nulový bod je vyveden.

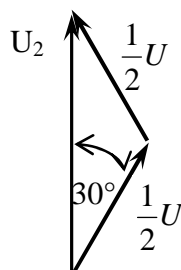
Velikost napětí v lomené hvězdě

$$U_2 = \frac{1}{2}U + \frac{1}{2}U$$

$$U_2 = 2 \cdot \cos 30^\circ \cdot \frac{U_1}{2}$$

$$U_2 = 2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{U_1}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2}U_1$$

$$\frac{U_2}{U_1} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1,155$$

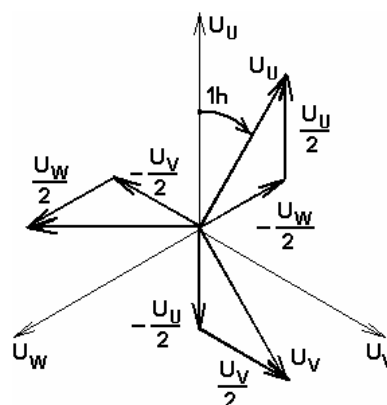


Výstupní napětí lomené hvězdy

Pro dosažení stejného napětí je třeba v zapojení do lomené hvězdy navinout o 15,5 % více závitů, vinutí je tedy dražší \Rightarrow delší sloupek jádra nebo spojky jader, \Rightarrow výstupní napětí není vždy ve fázi se vstupním.

U samostatně provozovaných transformátorů není třeba posuv napětí mezi vstupním a výstupním vinutím sledovat, jiná situace nastane jestliže transformátory spojujeme paralelně.

U **paralelně zapojených transformátorů** je nutné, aby výstupní napětí byla vůči společnému vstupu stejně fázově posunuta. Proto je zaveden tzv. **hodinový úhel** transformátoru udávající posunutí fázoru výstupního napětí proti vstupnímu. Úhel 30° je nazván **1 hodinou**. První písmeno udává zapojení vinutí s vyšším napětím, druhé s nižším a číslice posun fázoru výstupního napětí proti vstupnímu o násobek 30° , např. Yy0, Yy6, Dy5...



Fázorový diagram zapojení do lomené hvězdy Yz1

Postup určení hodinového úhlu

- 1) vinutí nakreslíme tak jako by byla v rovině víka transformátoru, jsou zde umístěny průchodky,
- 2) poloha svorek odpovídá jejich skutečnému umístění na víku transformátoru,
- 3) vycházíme z předpokladu stejného směru navinutí obou vinutí,
- 4) dole (vpředu) kreslíme vinutí vyššího napětí, nahoře (vzadu) nižšího napětí, kladný směr napětí je k svorkám,
- 5) nakreslíme fázorový diagram pro vyšší napětí (podle zapojení Y nebo D),
- 6) podle spojení vinutí s nižším napětím a jeho umístění na jádrech (vzhledem k vyššímu napětí) nakreslíme fázorový diagram vinutí nižšího napětí,
- 7) hodinový úhel určíme ve směru hodinových ručiček od vyššího k nižšímu napětí.

Obvyklá zapojení jsou Yy0, Yz1, Yd1, Dy1 – ostatní zapojení se používají ve výjimečných případech.

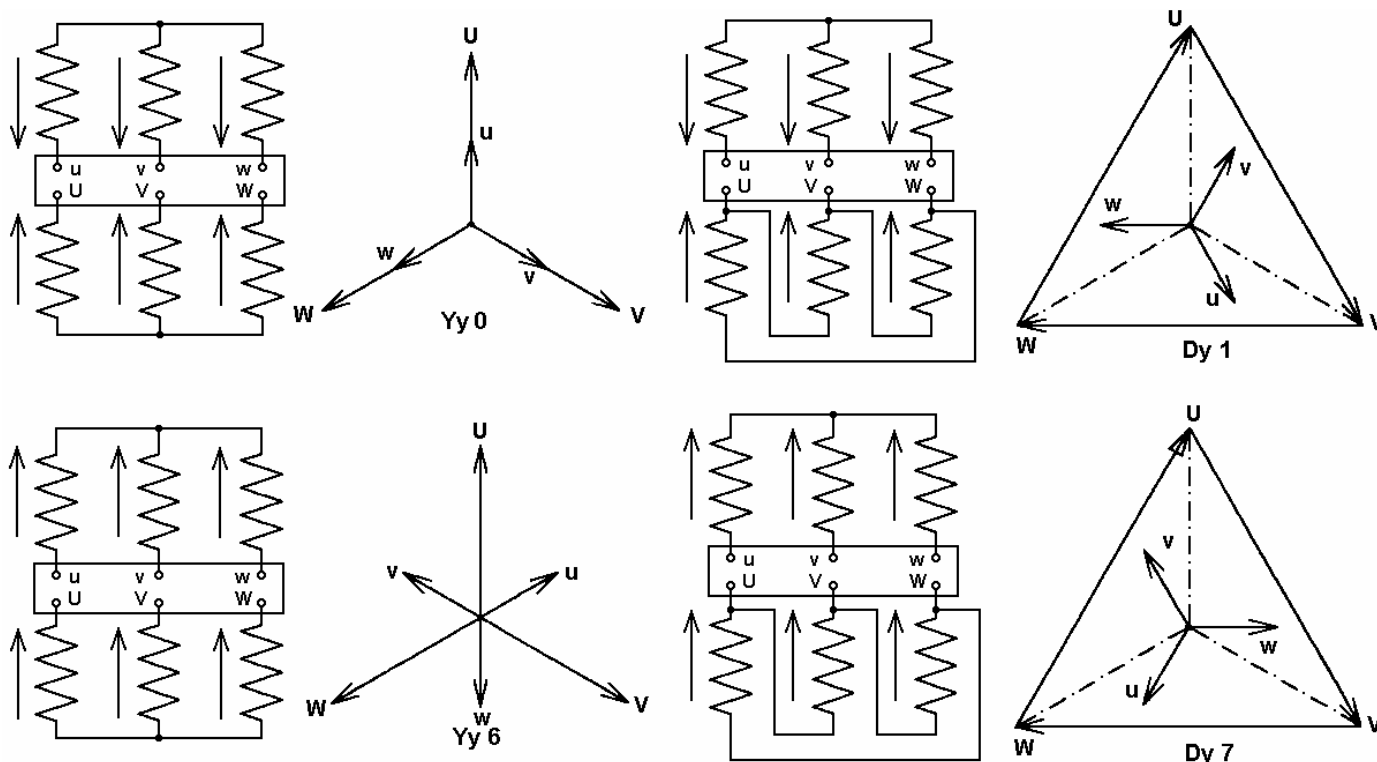
Zapojení	Převod	Užití	Zatížení uzlu hvězdy
Yd1	$p = \frac{\sqrt{3}N_1}{N_2}$	elektrárny	
Yy0	$p = \frac{N_1}{N_2}$	rozvodny – transformátory s rovnoměrnou zátěží	max . 10 % I_f
Yz1	$p = \frac{2N_1}{\sqrt{3}N_2}$	transformátory vn/nn s velmi nerovnoměrnou zátěží do 315kVA	více jak . 20 % I_f
Dy1	$p = \frac{N_1}{\sqrt{3}N_2}$	transformátory vn/nn s nerovnoměrnou zátěží od 400 kVA	max . 20 % I_f

V Německu jsou velmi rozšířená zapojení Yy0, Dy5, Yd5 a Yz5

Rozdíl mezi úhlem 1 a 5 je v jiném zapojení trojúhelníku nebo lomené hvězdy.

Porovnání vlastností zapojení:

- Yy** – konstrukčně i technologicky jednoduché, nejmenší napětí na vinutí \Rightarrow nejméně závitů,
- na straně nn vždy vyveden střed vinutí, na vn straně je uzel izolován,
 - vyžaduje souměrnou zátěž jinak dochází u zatížené fáze k poklesu napětí a u nezatížených naopak k nárůstu napětí,
 - vliv nesouměrného zatížení lze odstranit terciálním vinutím do D k napájení další zátěže (například motorů na 690 V),
- Dy** – je nutné více závitů než u Yy (transformuje na sružené napětí),
- omezuje vliv nesouměrné zátěže (do 20% $I_{fázového}$),
 - pro výkony od 500 kVA,
- Yz** – větší spotřeba mědi na vinutí z,
- omezuje nesouměrnou zátěž (nad 20% $I_{fázového}$),
 - maximální výkon je omezen na 315 kVA,



Typická zapojení trojfázových transformátorů s fázorovými diagramy pro určení hodinového úhlu