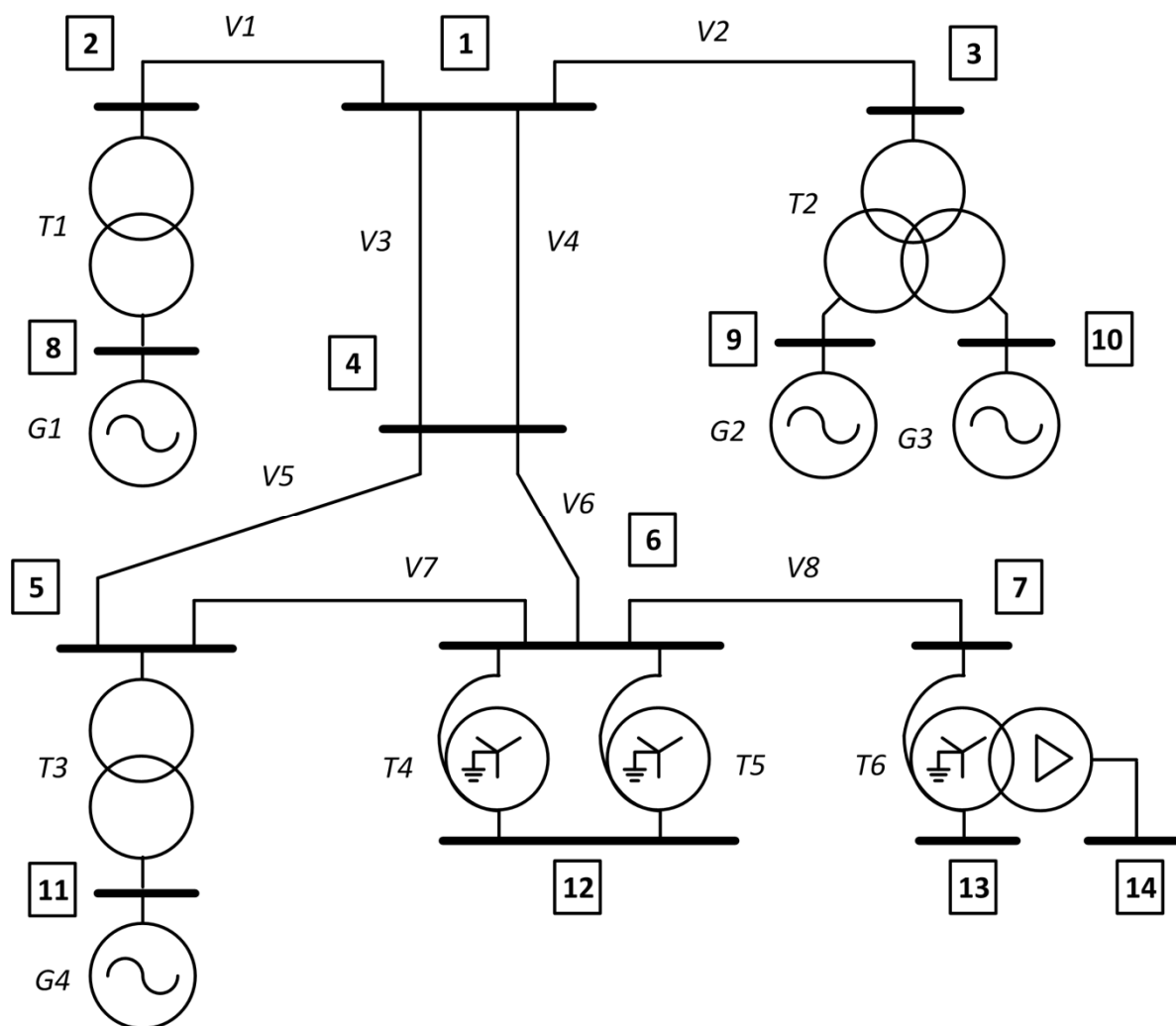


## Úloha typu Basic Load Flow

Pro obvod na obrázku

- Určete čtveřici hodnot  $P$ ,  $Q$ ,  $U$ ,  $\delta$  pro každý uzel sítě
- Určete vstupující a vystupující proudy a výkony všech větví v síti ( $\hat{I}_{in}$ ,  $P_{in} + j \cdot Q_{in}$  a  $\hat{I}_{out}$ ,  $P_{out} + j \cdot Q_{out}$ ) a vysvětlete jejich rozdíl.
- Určete ztráty v síti
- Jakými uzlovými parametry úlohy lze ztráty v síti modifikovat z pohledu praktického řízení sítě.



Vedení:

Název	R [ $\Omega$ ]	X [ $\Omega$ ]	B [ $\mu$ S]
V1	0,8	12	140
V2	0,26	5,6	70
V3	1,1	24	260
V4	1,1	24	260
V5	1,4	21	245
V6	1,4	14,5	180
V7	1,68	17,4	216
V8	2,3	30	370

Dvouvinuťové transformátory:

Název	Sn [MVA]	p [-]	uk [%]	Pk [kW]
T1	570	20 / 420 kV	14	900
T3	250	15 / 420 kV	14	400
T4	350	400 / 121 kV	14	590
T5	350	400 / 121 kV	14	590

Trojvinuťové transformátory:

Název	Sn [MVA]	p [-]	uk [%]	Pk [kW]
T2	450/225/225 (vztaženo k 450)	15 / 15 / 420 kV	$u_{k12} = 24 \%$	225
			$u_{k13} = 12 \%$	450
			$u_{k23} = 12 \%$	450
T6	350/350/100 (vztaženo k 350)	400 / 121 / 10,5 kV	$u_{k12} = 14 \%$	590
			$u_{k13} = 20 \%$	-
			$u_{k23} = 35 \%$	-

Uzlová data:

Číslo uzlu	Jmen. napětí $U_n$ [kV]	Napětí $U_w$ [p.u.]	Typ uzlu	$P_w$ [MW]	$Q_w$ [MVar]
1	400	1,03	U $\delta$ (slack)	-	-
2	400	-	PQ	0	0
3	400	-	PQ	0	0
4	400	-	PQ	0	0
5	400	-	PQ	0	0
6	400	-	PQ	0	0
7	400	-	PQ	0	0
8	20	1	PU	450	-
9	15	1	PU	200	-
10	15	1	PU	200	-
11	15	1	PU	150	-
12	110	-	PQ	-600	-100
13	110	-	PQ	0	0
14	10,5	-	PQ	-0,5	0

## Návod

Pro vyřešení úlohy typu „Basic Load Flow“ síť je potřeba zkonstruovat admitanční matici sousledné složky obdobně jako v předchozích úlohách.

### I. NÁHRADA TROJVINUŤOVÉHO TRANSFORMÁTORU

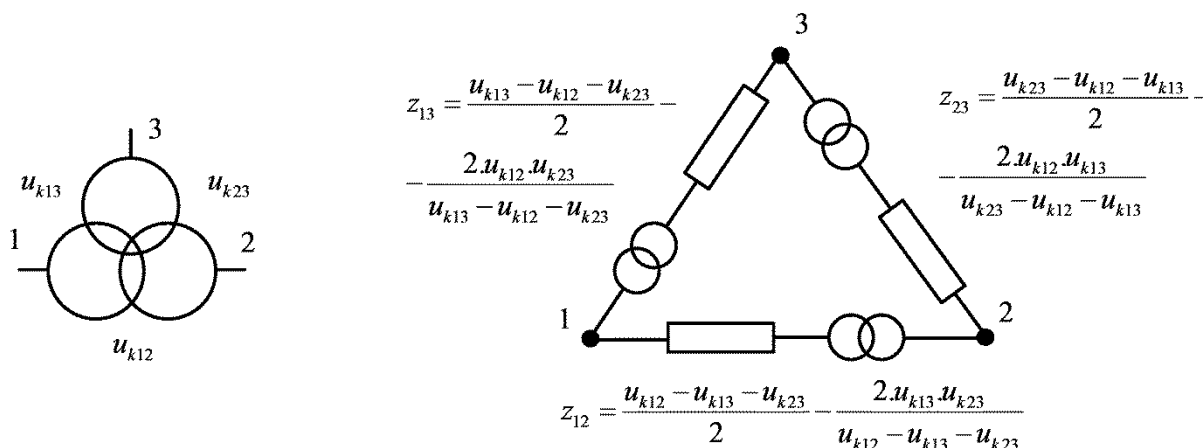
Při přepočtu podélných parametrů trojvinuťového transformátoru je třeba znát, zdali jsou štítkové hodnoty  $u_k$  a  $\Delta P_k$  vztaženy k jmenovitému průchozímu výkonu dvojice (tj. k menšímu z obou jmenovitých výkonů vinutí) nebo jsou tyto hodnoty vztaženy k jednomu výkonu (zpravidla primární vinutí).

Trojvinuťový transformátor lze pro účely síťových výpočtů nahradit buď impedancemi uspořádanými do trojúhelníku nebo do hvězdy. Napětí nakrátko trojvinuťového transformátoru se měří obvykle na prvním vinutí při zkratovaném druhém vinutí a rozpojeném vinutí třetím.

Proto musí náhradní parametry při uspořádání do trojúhelníka splňovat:

$$u_{k12} = z_{12} \parallel (z_{23} + z_{13}), u_{k13} = z_{13} \parallel (z_{23} + z_{12}) \text{ a } u_{k23} = z_{23} \parallel (z_{12} + z_{13}),$$

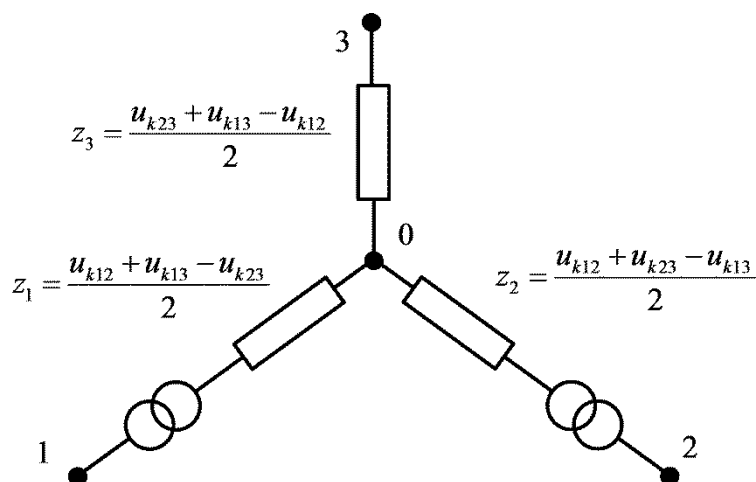
Výsledkem je následující náhrada:



Obdobně musí náhradní parametry při uspořádání do hvězdy splňovat:

$$u_{k12} = z_1 + z_2, u_{k13} = z_1 + z_3 \text{ a } u_{k23} = z_2 + z_3$$

Což představuje následující schéma:



Nevýhodou náhrady uspořádání do hvězdy je virtuální uzel „0“. Proto je v dalších výpočtech použita náhrada parametry zapojení do trojúhelníka.

## II. PŘEPOČET PARAMETRŮ TRANSFORMÁTORŮ

Střídavý odpor vinutí spočteme z parametrů nakrátko jako

$$r_k = \frac{R_k}{Z_n} = \frac{3 \cdot R_k \cdot I_n^2}{3 \cdot Z_n \cdot I_n^2} = \frac{\Delta P_k}{S_n}$$

a reaktanci nakrátko jako

$$x_k = \sqrt{u_k^2 - r_k^2}$$

Ohmickou impedanci získáme vynásobením jmenovité vztažné impedance té strany transformátoru, kde bude umístěn počáteční uzel. Pozor! Neplést se vztažnou impedancí uzlu!

$$Z_k = R_k + j \cdot X_k = (r_k + j \cdot x_k) \cdot Z_{n(ZU)} = (r_k + j \cdot x_k) \cdot \frac{U_{n(ZU)}^2}{S_n}$$

Parametry pro oba typy náhrad trojvinutových transformátorů z příkladu jak v [p.u.], tak v [ $\Omega$ ] jsou přehledně zobrazeny v následující tabulce.

Trojvinut'ový transformátor	$u_k$ [p.u.]	náhradní parametry Y [p.u.]	náhradní parametry Y vzhledem k uzlu s nejvyšším napětím [ $\Omega$ ]	náhradní parametry $\Delta$ [p.u.]	náhradní parametry $\Delta$ vzhledem k počátečnímu uzlu [ $\Omega$ ]
T2 (1-2) tj. vin. 15/15 kV	$u_{k12} = 0,0005+j.0,24$	$z_1 = 0,00025+j.0,12$	$Z_1 = 0,098+j.47,04$	$z_{12} = -19,2+j.0,32$	$Z_{12} = -9,6+j.0,16$
T2 (2-3) tj. vin. 15/420 kV	$u_{k23} = 0,001+j.0,12$	$z_2 = 0,00025+j.0,12$	$Z_2 = 0,098+j.47,04$	$z_{23} = 0,00175+j.0,12$	$Z_{23} = 0,000875+j.0,06$
T2 (3-1) tj. vin. 420/15 kV	$u_{k31} = 0,001+j.0,12$	$z_3 = 0,00075$	$Z_3 = 0,294$	$z_{31} = 0,00175+j.0,12$	$Z_{31} = 0,686+j.47,04$
T6 (1-2) tj. vin. 400/121 kV	$u_{k12} = 0,00169+j.0,14$	$z_1 = 0,000845+j.0,145$	$Z_1 = 0,3863+j.66,29$	$z_{12} = 0,00225+j.0,1364$	$Z_{12} = 1,027+j.62,38$
T6 (2-3) tj. vin. 121/10,5 kV	$u_{k23} = 0+j.0,2$	$z_2 = 0,000845-j.0,005$	$Z_2 = 0,3863-j.2,286$	$z_{23} = 0,00126+j.0,1929$	$Z_{23} = 0,05278+j.8,0711$
T6 (3-1) tj. vin. 10,5/400 kV	$u_{k31} = 0+j.0,35$	$z_3 = -0,000845+j.0,205$	$Z_3 = -0,386+j.93,714$	$z_{31} = -0,9843-j.5,4292$	$Z_{31} = -0,3101-j.1,7102$

Využijeme-li u trojvinut'ových transformátorů náhradu  $\Delta$ , je seznam větví nahrazující všechny transformátory z příkladu následující:

Transformátor	Počáteční uzel (ZU)	Konečný uzel (KU)	R [ $\Omega$ ]	X [ $\Omega$ ]	t [-]
T1	2	8	0,49	43,32	0,95238
T2 (1-2)	9	10	-9,6	0,16	1
T2 (2-3)	10	3	0,000875	0,06	1,05
T2 (3-1)	3	9	0,686	47,04	0,95238
T3	5	11	1,13	98,78	0,95238
T4	6	12	0,77	64,00	1,1
T5	6	12	0,77	64,00	1,1
T6 (1-2)	7	13	1,027	62,38	1,1
T6 (2-3)	13	14	0,05278	8,0711	0,90909
T6 (3-1)	14	7	-0,3101	-1,7102	1

## Výsledky

a) Řešení chodu sítě:

Uzel	U [kV]	$\delta$ [°]	P [MW]	Q [MVar]
1	412	0	-393,87	-214,34
2	413,8	1,8	0	0
3	413,6	0,7	0	0
4	412,5	-1,8	0	0
5	412,7	-2,4	0	0
6	409,8	-3,7	0	0
7	412,1	-3,7	0	0
8	20	8,2	450	79,84
9	15	3,8	200	59,62
10	15	3,8	200	59,62
11	15	2,5	150	35,55
12	120,5	-10,4	-600	-100
13	124,7	-3,7	0	0
14	10,82	-3,7	-0,5	0

b) Toky proudů a výkonů ve větvích:

Větev	$I_{in}$ [A]	$S_{in}$ [MVA]	$I_{out}$ [A]	$S_{out}$ [MVA]
1	$-628,5 + j.53,5$	$-448,47 - j.38,15$	$-627,9 + j.20,1$	$-449,42 - j.28,55$
2	$-559,7 + j.143,5$	$-399,40 - j.102,37$	$-559,6 + j.126,8$	$-399,66 - j.96,02$
3	$318,1 + j.51,7$	$227,00 - j.36,91$	$317,1 + j.10,1$	$226,66 - j.0,04$
4	$318,1 + j.51,7$	$227,00 - j.36,91$	$317,1 + j.10,1$	$226,66 - j.0,04$
5	$106,9 + j.39,6$	$75,40 - j.30,76$	$104,7 - j.18,7$	$75,35 + j.10,24$
6	$527,4 - j.59,9$	$377,93 + j.30,68$	$525,3 - j.102,6$	$376,74 + j.48,75$
7	$312,9 - j.58,5$	$225,20 + j.32,48$	$310,1 - j.109,7$	$224,67 + j.63,57$
8	$6,4 + j.87,6$	$0,51 - j.62,30$	$0,7 + j.0$	$0,5 + j.0$
9	$-627,9 + j.20,1$	$-449,42 - j.28,55$	$-13187 + j.422$	$-450 - j.79,84$
10	$0 + j.0$	$0 + j.0$	$0 + j.0$	$0 + j.0$
11	$7834 - j.1775$	$200 + j.59,62$	$279,8 - j.63,4$	$199,85 + j.22,24$
12	$-279,8 + j.63,4$	$-199,85 - j.22,24$	$-7834 + j.1775$	$-200 - j.59,62$
13	$-208,1 + j.39,8$	$-149,85 - j.22,24$	$-5828 + j.1114$	$-150 - j.35,55$
14	$414,5 - j.149,9i$	$300,45 + j.87,31$	$1370,4 - j.495,6$	$300 + j.50$
15	$414,5 - j.149,9i$	$300,45 + j.87,31$	$1370,4 - j.495,6$	$300 + j.50$
16	$0,7 - j.0$	$0,53 + j.0,01$	$2,5 - j.0,1$	$0,53 + j.0,01$
17	$2,5 - j.0,1$	$0,53 + j.0,01$	$28,3 - j.1,5$	$0,53 + j.0,01$
18	$1,7 + j.0,2$	$0,03 + j.0,01$	$0 + j.0$	$0,03 + j.0,01$

c) Celkové ztráty v síti budou 5,629 MW