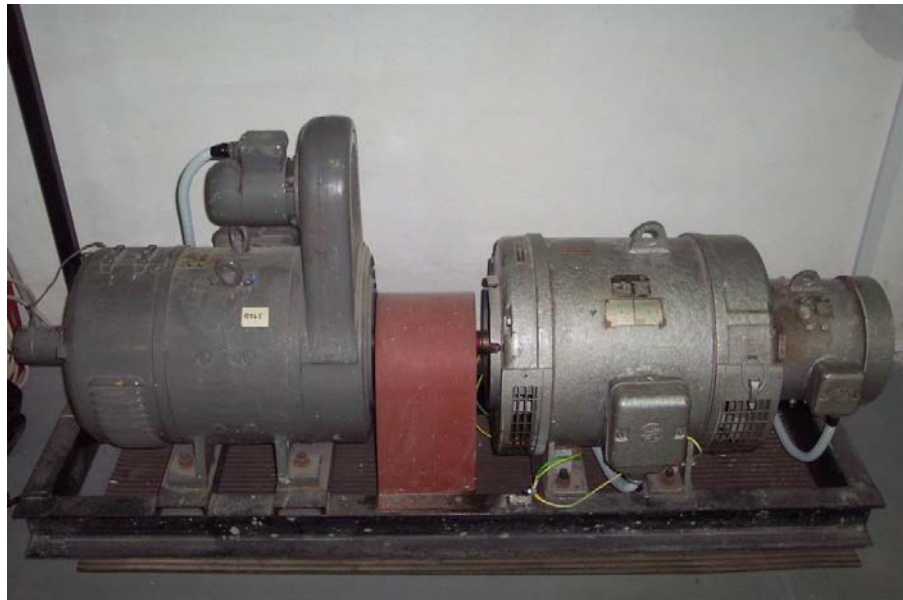


Příloha P1 Určení parametrů synchronního generátoru, měření provozních a poruchových stavů synchronního generátoru



Soustrojí motor-generátor v laboratoři HARD

Tab. 1 Štítkové hodnoty soustrojí.

	G	B	SS
Jmenovitý výkon (kW)	10	0,6	1,8 – 18
Jmenovitý výkon (kVA)	12,5	-	-
Jmenovité otáčky (ot/min)	1500	1500	220 – 2200
Jmenovitý proud (A)	18	9,2	47
Jmenovité napětí (V)	400	65	440
Frekvence (Hz)	50	-	-
Účinnost (-)	0,8	-	-
Rozsah buzení napětí (V)	14 – 62	-	180
Rozsah budícího proudu (A)	3,4 – 9,6	-	2,1
Typ stroje	A8A4	D1314/4	2SM200S
Výrobní číslo	556315	556315	34631287
Číslo normy pro daný stroj	350200	-	350100
Výrobce	MEZ Frenštát	MEZ Frenštát	MEZ Brno

Tachodynamo K 10A2 je s převodem 80V / 1000 ot/min, výrobcem je MEZ Náchod. Stejnoseměrný motor je napájen z 6pulzního polořízeného usměrňovače.

P1.1 Měření naprázdno a nakrátko

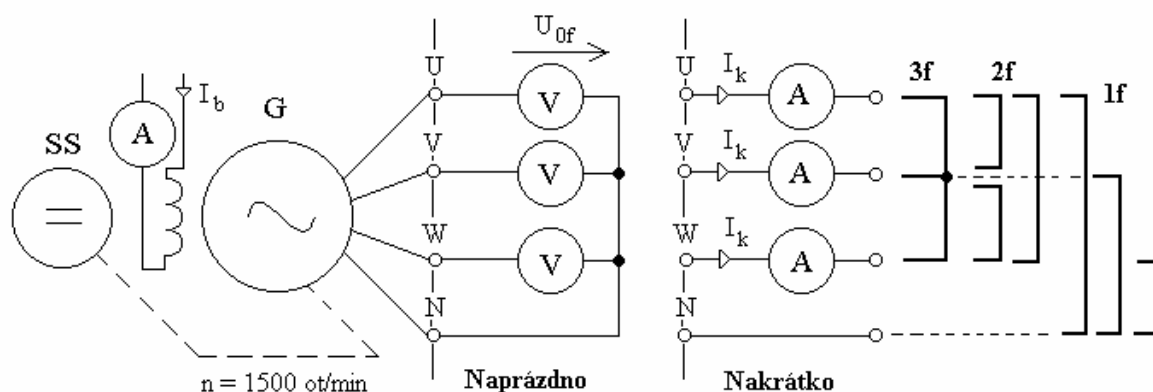
Měření naprázdno:

při měření naprázdno je zjišťována závislost fázového satorového napětí na budícím proudu rotoru $U_0 = f(I_b)$ při konstantních otáčkách synchronních nebo jiných daných otáčkách. Budícím proudem I_b generátoru je regulováno napětí naprázdno v rozsahu $(0-1,3)U_{fN}$. Měření je prováděno při zvyšování a snižování napětí. Budící proud I_b je zvyšován od nuly až po hodnotu, kdy satorové napětí dosáhne maximálně 1,3 násobku jmenovitého satorového napětí $U_{fN} = 231 \text{ V}$. Důvodem je zvýšené namáhání izolace satorového vinutí při nadpětích. Od této hodnoty je snižován proud I_b až na nulu. Napětí je určováno ve všech třech fázích. Charakteristika naprázdno je sestrojena z průměrů hodnot napětí při zvyšování a snižování napětí.

Měření nakrátko:

je zjišťována charakteristika nakrátko, tj. závislost satorového proudu nakrátko na budícím proudu rotoru $I_k = f(I_b)$. Satorové vinutí je spojeno tak, že tvoří buď 3fázové, 2fázové nebo 1fázové spojení nakrátko. Budícím proudem I_b je regulován proud nakrátko I_k k nule, aby se teplota vinutí měnila co nejméně. Vinutí satoru synchronního generátoru je spojeno tak, že vznikne a) 3fázové spojení nakrátko, b) 2fázové spojení nakrátko, c) 1fázové spojení nakrátko, kdy je proud měřen mezi fází a nulovým vodičem. Budící proud I_b je snižován od hodnoty, kdy proud satoru dosáhne maximálně 20 A, tj. maximálního proudu ampérmetrů. Zvýšení proudu na 1,2 násobek I_N by znamenalo potřebu použít k měření PTP. Z naměřených hodnot je sestrojena charakteristika nakrátko $I_{k1} = f(I_b)$, $I_{k2} = f(I_b)$, $I_{k3} = f(I_b)$.

Z naměřených charakteristik naprázdno a nakrátko vynesných do společného grafu je možno určit velikosti napětí pro výpočet sousledné, zpětné a nulové reaktance stroje.



Obr. 1 Schéma zapojení pro měření charakteristik naprázdno a nakrátko.

Použité přístroje:

- 3 x Multimetr Metrix MX 44 ITT (V),
- 3 x Ampérmetr METRA 100, 20, 5A (A, I_k),
- Ampérmetr ML 20 (ss) (A, I_b).

Tabulky naměřených hodnot a vypočtených hodnot:

Charakteristika naprázdno:

$I_b(\text{A})$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$U_f(\text{V})$	5,5	92,0	171,0	217,0	239,0	253,0	263,2	272,0	278,1	284,6	290,0

Charakteristika nakrátko:

3fázové spojení nakrátko

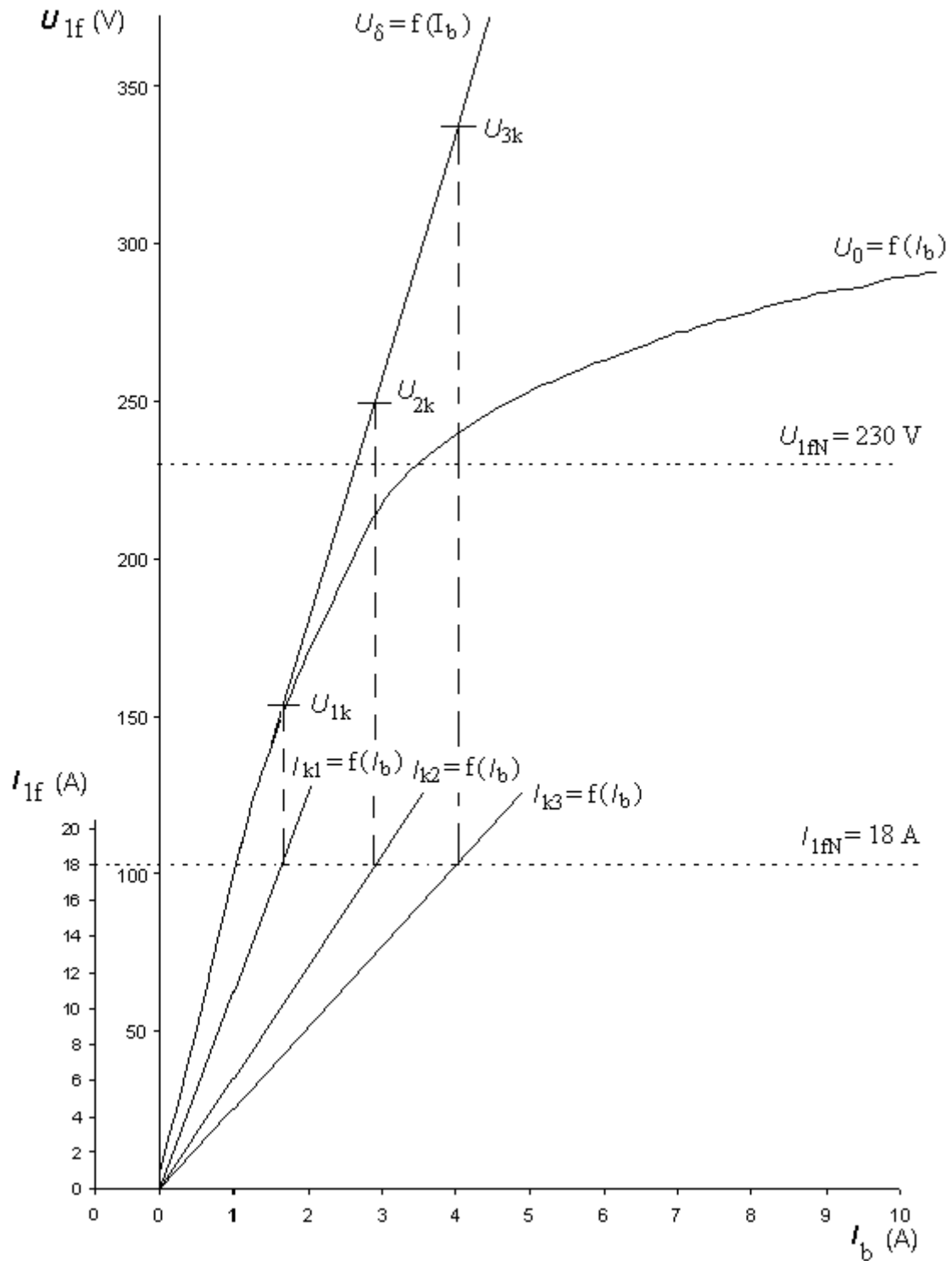
$I_b(\text{A})$	0	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5
$I_{k3}(\text{A})$	0	4,8	7,0	9,4	11,6	14,0	16,2	18,5	20,0

2fázové spojení nakrátko

$I_b(\text{A})$	0	0,52	1	1,5	2	2,5	3	3,2
$I_{k2}(\text{A})$	0	3,8	6,6	9,6	13,2	16,0	19,2	20

1fázové spojení nakrátko

$I_b(\text{A})$	0	0,25	0,5	1	1,5	1,8
$I_{k2}(\text{A})$	0	3,3	6,4	11,8	17,1	20

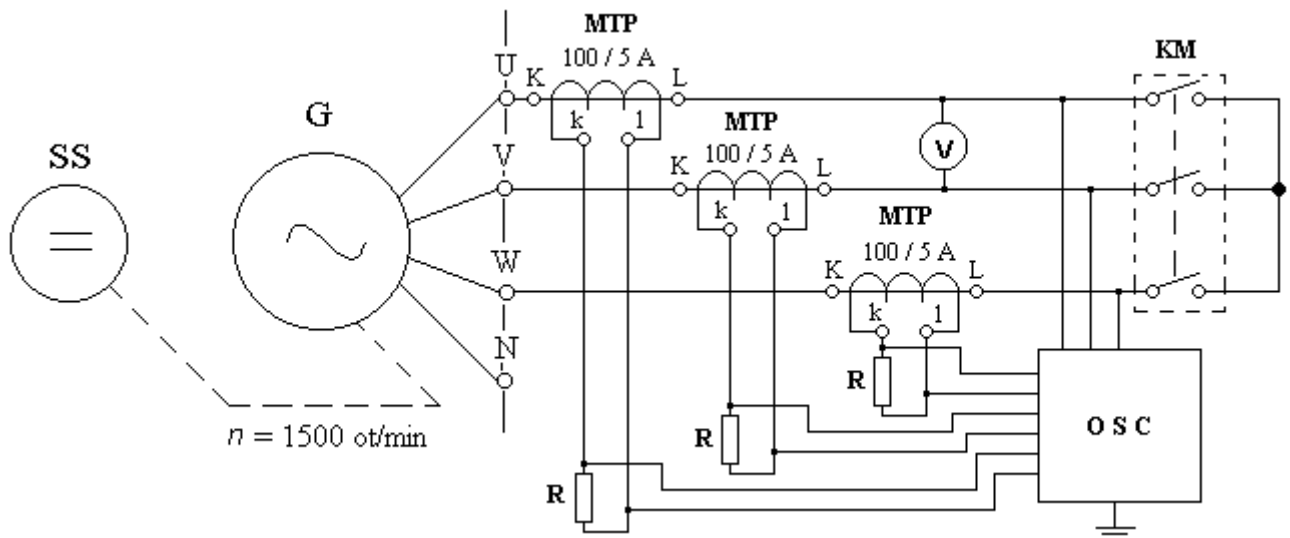


Obr. 2 Charakteristika naprázdno a nakrátko synchronního generátoru.

P1.2 Určení reaktancí X'_d , X''_d a časových konstant

bylo provedeno měření rázové reaktance X''_d a přechodné reaktance X'_d a časových konstant T'_d , T''_d metodou náhlého zkratu výstupních svorek statorového vinutí synchronního generátoru. Synchronní stroje musí být konstruovány a vyrobeny tak, aby vydržely přímý zkrat na svorkách stroje. Nárazový zkratový proud při buzení odpovídajícím chodu naprázdno, který vznikne při trojpolovém zkratu, nesmí být podle ČSN větší než 21násobek efektivní hodnoty jmenovitého proudu. Touto zkouškou se ověřuje zejména mechanická odolnost statorového vinutí proti účinkům elektrodynamických sil vyvolaných zkratovým proudem. Zkouška se dělá tak, že na nabuzeném stroji běžícím naprázdno jmenovitými otáčkami se náhle spojí současně nakrátko všechny fáze statorového vinutí. Pro ověření mechanické pevnosti vinutí se stroj nabudí na $1,05 U_N$, k měření reaktancí a časových konstant stačí nabuzení na $(0,2-0,3)U_N$. Po zapojení měřicího obvodu podle schématu na Obr. P3.1 bylo provedeno nastavení ovládacích funkcí na osciloskopu. Pomocí osciloskopu jsou zaznamenány časové průběhy proudů ve všech třech fázích a všechna fázová napětí.

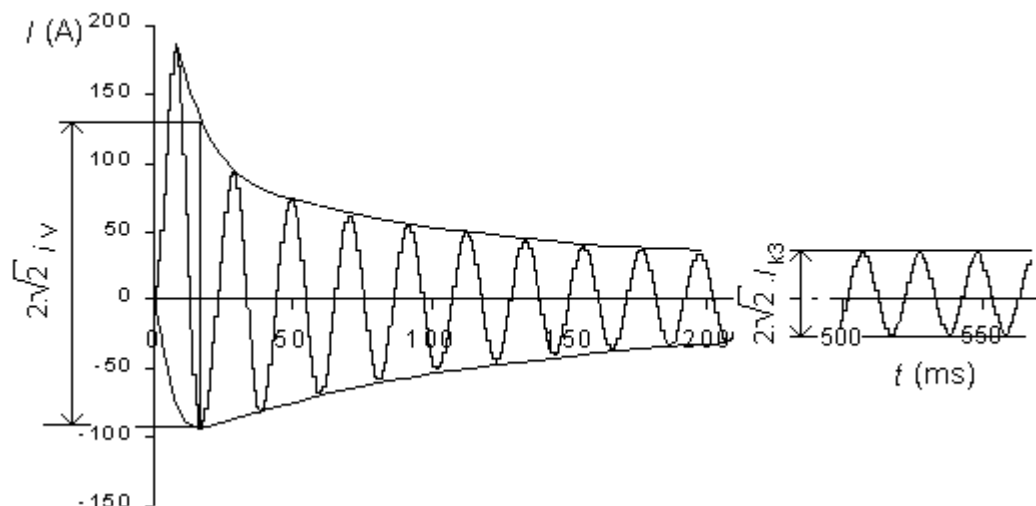
Synchronní generátor je roztočen pomocí poháněcího motoru na synchronní otáčky a nabuzen na statorové napětí U_{1FN} . Je provedeno sepnutí stykače na krátkou dobu (1-2) s, dojde k 3fázovému zkratu na statorovém vinutí. Osciloskop zaznamená časové závislosti proudů a napětí



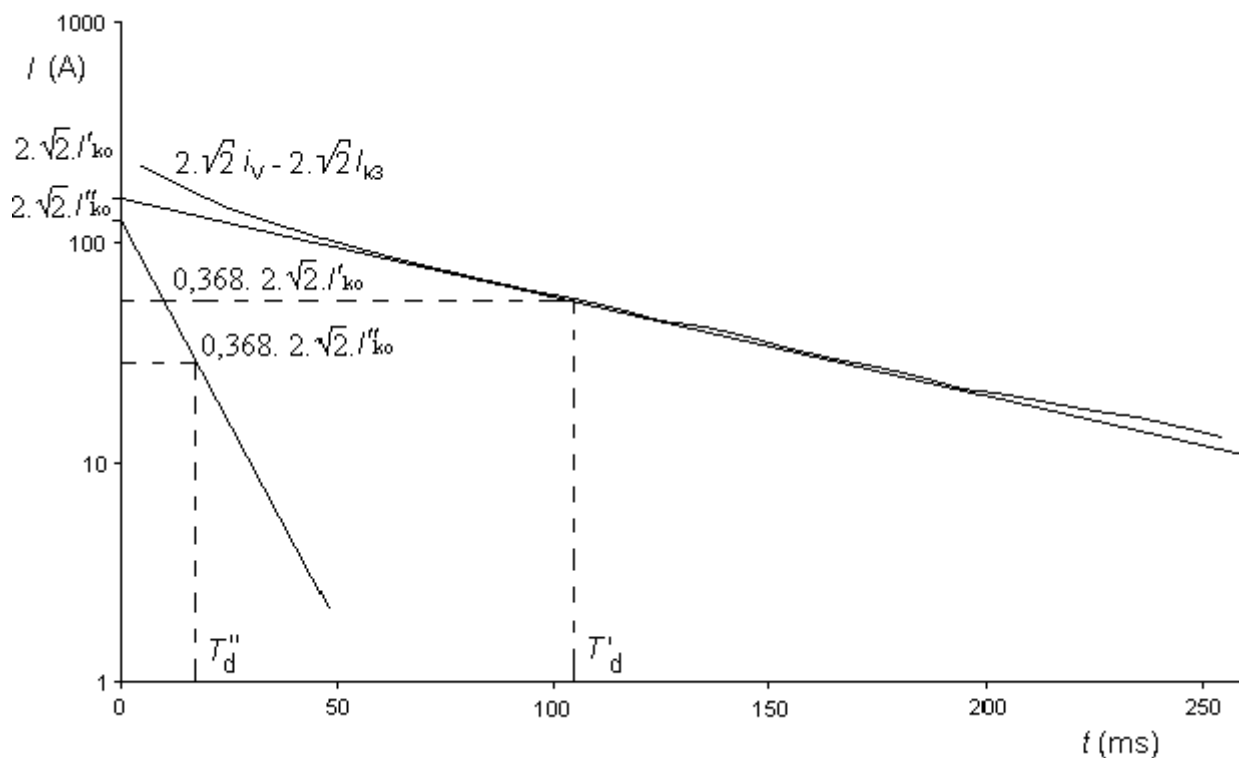
Obr. 3 Schéma zapojení pro měření rázové a přechodné reaktance.

Použité přístroje:

- 3 x měřicí transformátor proudu METRA TL 20, 5 VA, 50 Hz, TP 0,05 (MTP),
- 3 x odpor 0,1 Ω , 5 W (R),
- Stykač V 13 C, 40 A, 500V~ (KM),
- Osciloskop YOKOGAWA (OSC),
- Multimetr (V).



Obr. 4 Časový průběh proudu v případě 3fázového zkratu.



Obr. 5 Určení reaktancí a časových konstant zkratového proudu fáze W.

Na základě naměřených a vypočtených hodnot z předchozích měření je možno získat následující parametry synchronního generátoru:

jmenovitá impedance Z_N

$$Z_N = \frac{U_N}{\frac{\sqrt{3}}{I_N}} = \frac{230,9}{18} = 12,83 \Omega \quad (1)$$

synchronní reaktance X_d

$$X_d = X_1 = \frac{U_{3k}}{I_{1fN}} = \frac{337}{18} = 18,72 \Omega \Rightarrow x_d = x_1 = \frac{X_d}{Z_N} = 1,459 \text{ p.j} \quad (2)$$

nulová reaktance generátoru X_0

$$X_0 = \frac{3 \cdot U_{1k} - \sqrt{3} \cdot U_{2k}}{I_{1fN}} = \frac{3 \cdot 143 - \sqrt{3} \cdot 246}{18} = 0,16 \Omega \Rightarrow x_0 = \frac{X_0}{Z_N} = 0,013 \text{ p.j} \quad (3)$$

přechodná reaktance X'_d

$$X'_d = \frac{U_{1fN}}{I_{k3} + I'_{k0}} = \frac{230}{14 + 57,5} = 3,2 \Omega \Rightarrow x'_d = \frac{X'_d}{Z_N} = 0,249 \text{ p.j} \quad (4)$$

rázová reaktance X''_d

$$X''_d = \frac{U_{1fN}}{I_{k3} + I'_{k0} + I''_{k0}} = \frac{230}{14 + 57,5 + 41,2} = 2,04 \Omega \Rightarrow x''_d = \frac{X''_d}{Z_N} = 0,159 \text{ p.j} \quad (5)$$

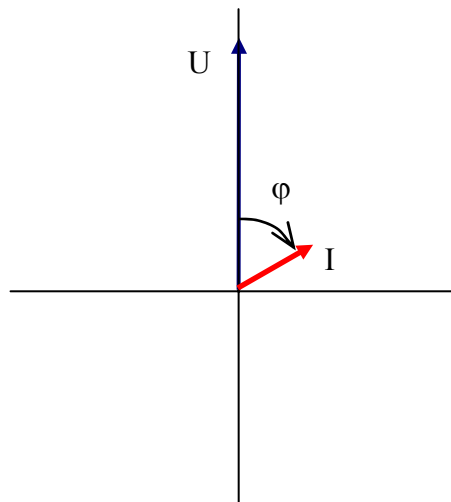
Přechodná časová konstanta $T'_d = 105 \text{ ms}$, rázová časová konstanta $T''_d = 15 \text{ ms}$.

P1.3 Měření napěťových a proudových poměrů při přifázování synchronního stroje k síti

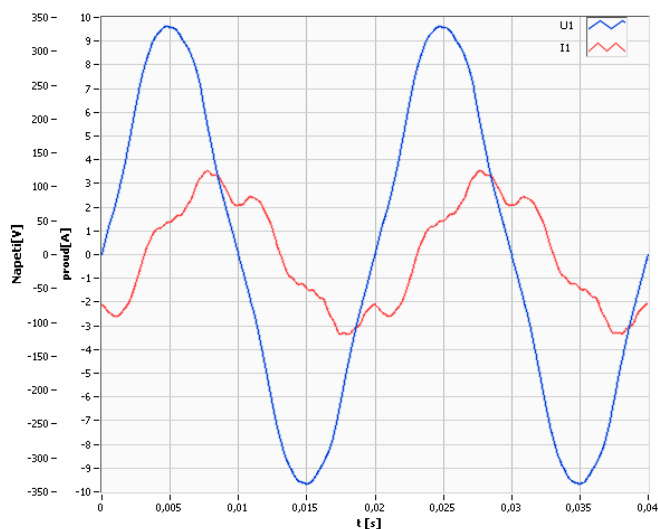
Synchronní stroj poháněný stejnosměrným motorem byl připojován po splnění podmínek fázování k distribuční síti a byly analyzovány jeho provozní stavy, tj. stav, kdy pracuje jako podbuzený/přebuzený generátor, popř. motor. Z okamžitých průběhů napětí a proudů, které byly snímány osciloskopem Yokogawa jsou vypočítány jejich efektivní hodnoty pro ustálený stav a následně určeny jejich názorové diagramy.

Podbuzený motor, zdrojový soubor „SG 021“.

Fázorový diagram



Průběh okamžitých hodnot napětí a proudů jedné fáze



Tabulka vypočtených hodnot

U (V)	I (A)	S (VA)	P (W)	φ (°)
230,5	2,3	1575,6	759,2	60,0

U_1 (V)	U_2 (V)	U_3 (V)
229,33	232,28	230,00

I_1 (A)	I_2 (A)	I_3 (A)
2,20	2,24	2,39

S_1 (VA)	S_2 (VA)	S_3 (VA)	S (VA)
505,45	519,53	550,62	1575,60

P_1 (W)	P_2 (W)	P_3 (W)	P (W)
239,07	273,32	246,83	759,22

kp1 (-)	kp2 (-)	kp3 (-)	kp (-)
0,47	0,53	0,45	0,48

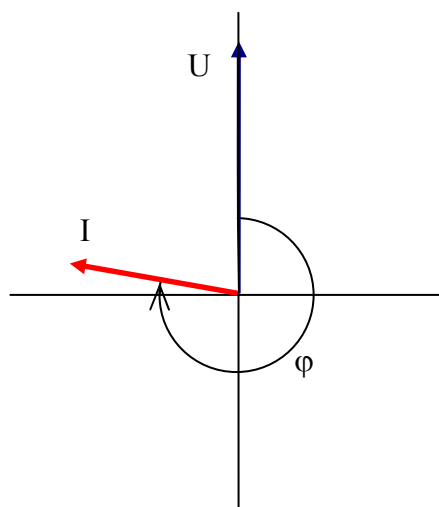
fázové posuvy jednotlivých průběhů u a i

329,71 209,98 92,54 268,87 152,82 30,45

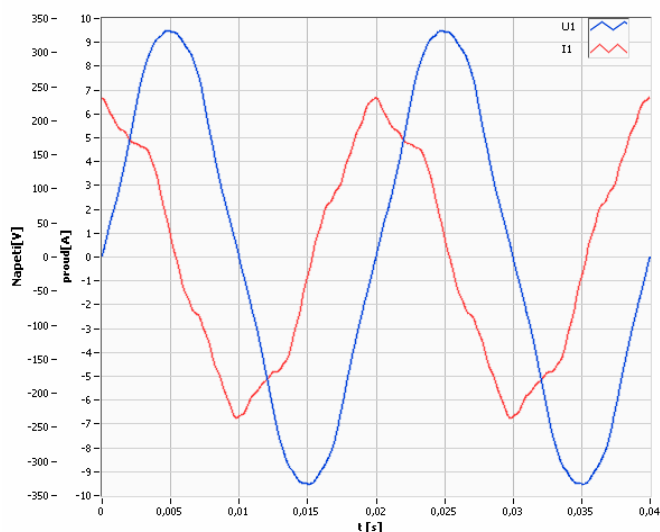
φ_1 (°)	φ_2 (°)	φ_3 (°)
60,85	57,16	62,09

Přebuzený motor, zdrojový soubor „SG 022“.

Fázorový diagram



Průběh okamžitých hodnot napětí a proudů jedné fáze



Tabulka vypočtených hodnot

U (V)	I (A)	S (VA)	P (W)	φ (°)
230,7	4,4	3077,3	635,6	281,9

U_1 (V)	U_2 (V)	U_3 (V)
229,52	232,38	230,08

I_1 (A)	I_2 (A)	I_3 (A)
4,41	4,53	4,40

S_1 (VA)	S_2 (VA)	S_3 (VA)	S (VA)
1012,83	1052,20	1012,26	3077,29

P_1 (W)	P_2 (W)	P_3 (W)	P (W)
169,77	212,44	253,38	635,59

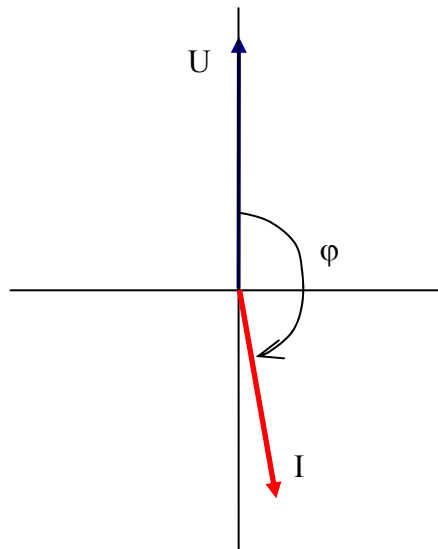
kp1 (-)	kp2 (-)	kp3 (-)	kp (-)
0,17	0,20	0,25	0,21

fázové posuvy jednotlivých průběhů u a i					
162,70	42,94	285,51	243,17	121,33	1,05

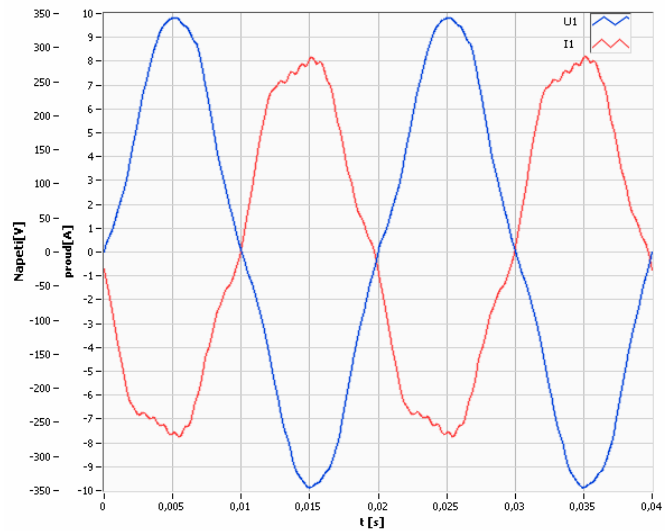
φ_1 (°)	φ_2 (°)	φ_3 (°)
279,53	281,61	284,46

Podbuzený generátor, zdrojový soubor „SG 024“.

Fázorový diagram



Průběh okamžitých hodnot napětí a proudů jedné fáze



Tabulka vypočtených hodnot

U (V)	I (A)	S (VA)	P (W)	φ (°)
231,6	5,6	3884,8	-3785,6	169,9

U1	U2	U3
230,54	233,33	230,81

I1	I2	I3
5,64	5,58	5,56

S1	S2	S3	S
1299,80	1300,91	1284,12	3884,83

P1	P2	P3	P
-1259,88	-1268,12	-1257,55	-3785,55

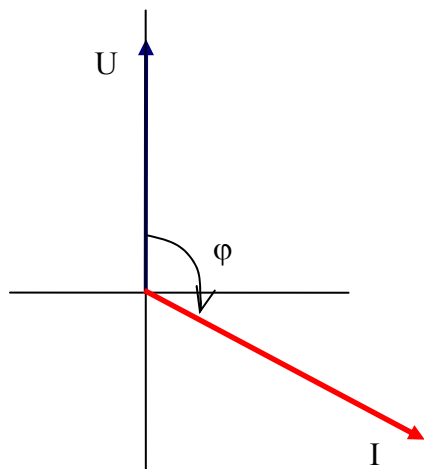
kp1	kp2	kp3	kp
-0,97	-0,97	-0,98	-0,97

fázové posuvy jednotlivých průběhů					
311,26	191,40	74,04	142,57	21,74	262,75

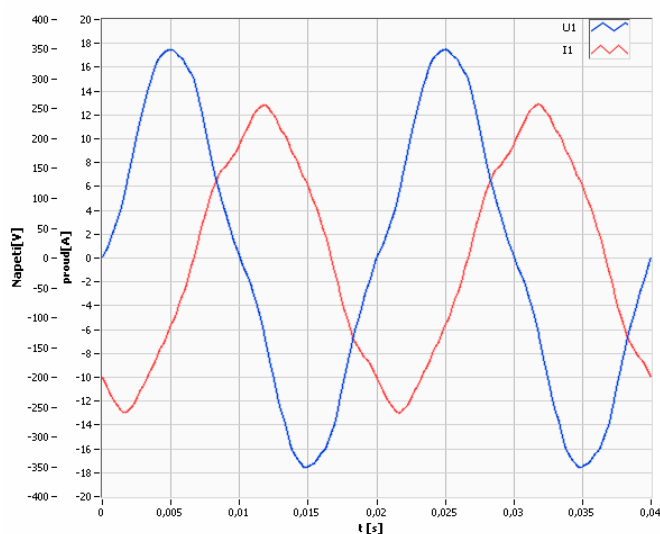
posuv proudu za napětím jednotlivých fází		
168,69	169,66	171,30

Podbuzený generátor zdrojový soubor „SG 025“.

Fázorový diagram



Průběh okamžitých hodnot napětí a proudů jedné fáze



Tabulka vypočtených hodnot

U (V)	I (A)	S (VA)	P (W)	φ (°)
231,6	8,5	5877,9	-2756,6	118,3

U1	U2	U3
230,42	233,22	231,19

I1	I2	I3
8,53	8,33	8,52

S1	S2	S3	S
1965,77	1943,39	1968,72	5877,87

P1	P2	P3	P
-905,35	-895,71	-955,52	-2756,57

kp1	kp2	kp3	kp
-0,46	-0,46	-0,49	-0,47

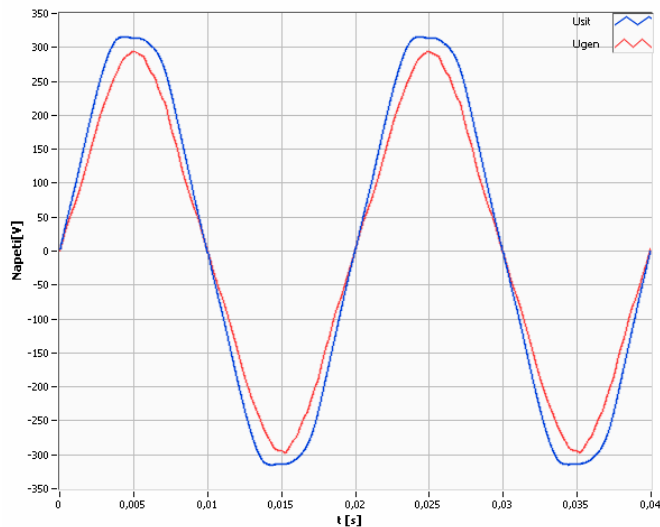
fázové posuvy jednotlivých průběhů					
80,70	320,92	203,53	322,90	203,23	84,28

posuv proudu za napětím jednotlivých fází		
117,81	117,69	119,25

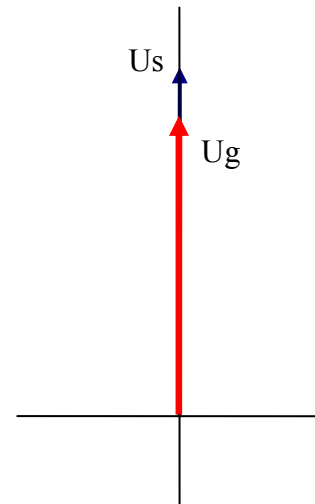
Jako další byla určena analýza efektivních hodnot před přifázováním synchronního stroje k distribuční síti při různých podmínkách fázování. V průběhu experimentu byl uzel transformátoru přímo uzemněn, proto je z obrázků zřejmá převažující deformace 3harmonickou proudů.

Různá amplituda napětí generátoru a sítě, zdrojový soubor „SG_007“.

Průběh okamžitých hodnot napětí sítě a generátoru před přifázováním

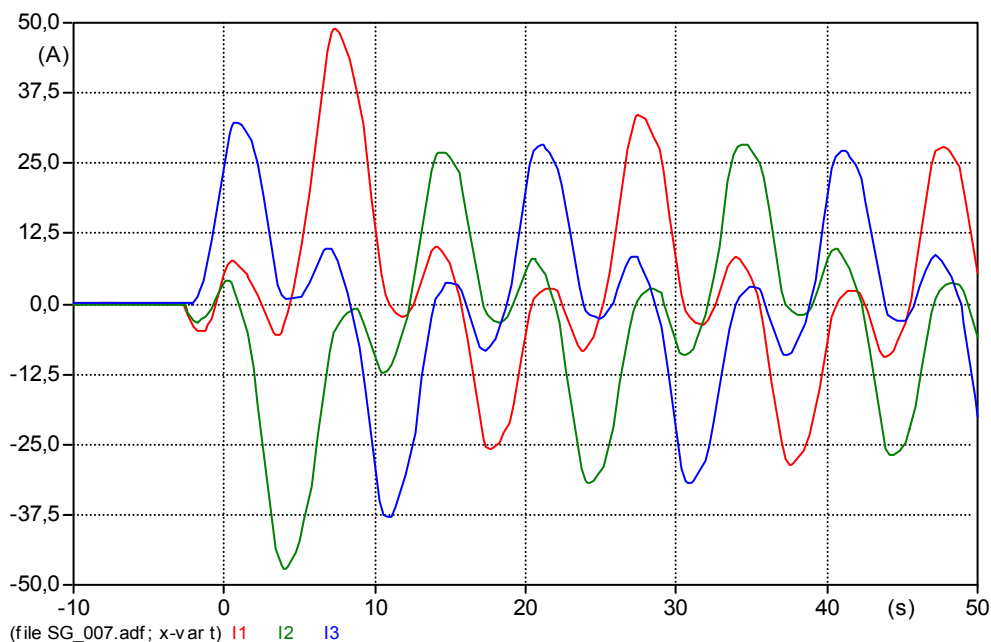


Fázorový diagram



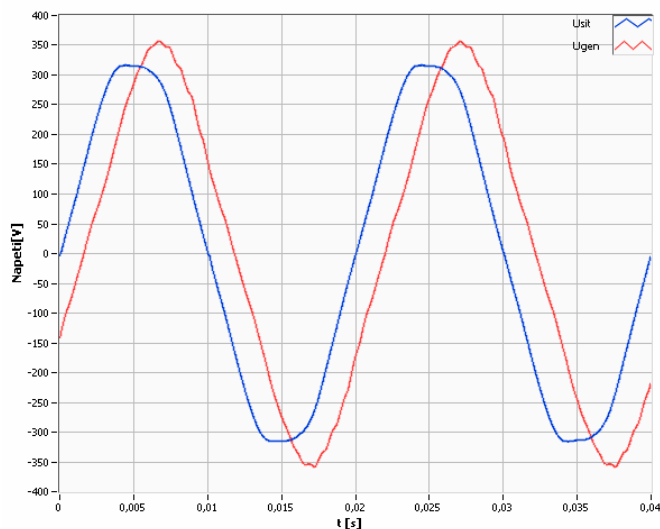
Tabulka vypočtených hodnot

	Us1	Us2	Ug1	Ug2	Ug3
RMS	229,5	230,4	195,2	191,9	190,6
frekvence	50,0	50,0	50,1	50,1	50,1
fáze	0,2	240,2	359,5	242,1	118,9
fázový posuv UsUg	-2	-1,9			

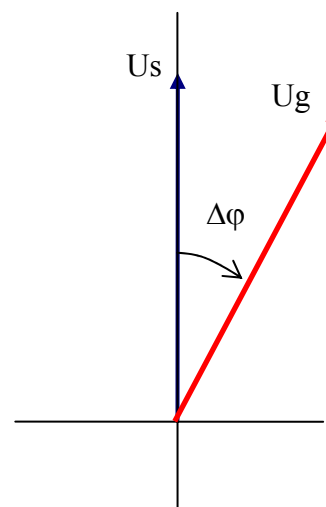


Obr. 6 Průběh okamžitých hodnot proudů v okamžiku přifázování generátoru k síti. **Různá frekvence, amplituda napětí generátoru a sítě, zdrojový soubor „SG_008“**

Průběh okamžitých hodnot napětí sítě a generátoru před přifázováním

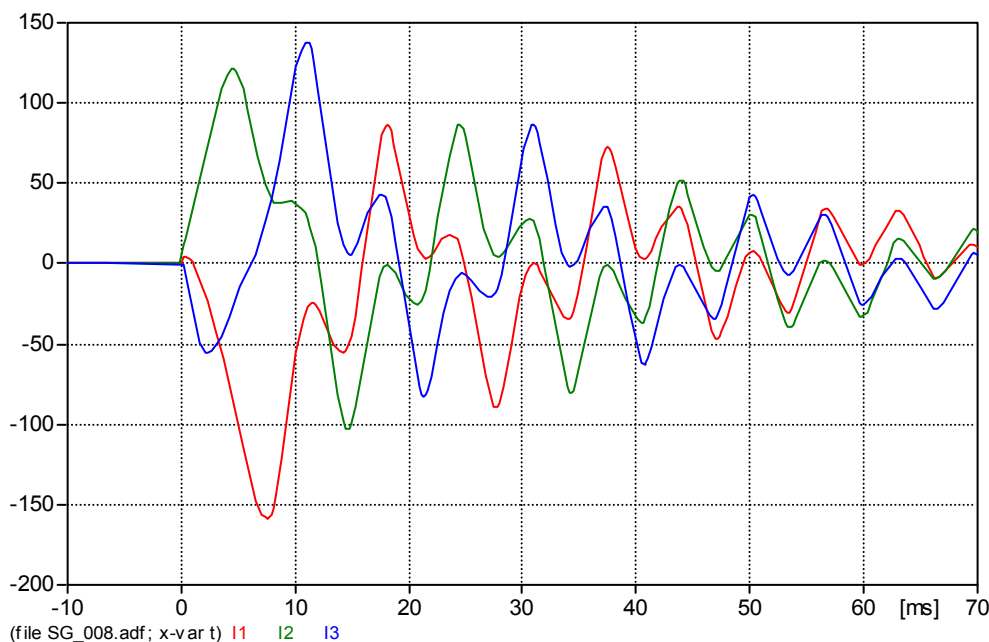


Fázorový diagram



Tabulka vypočtených hodnot

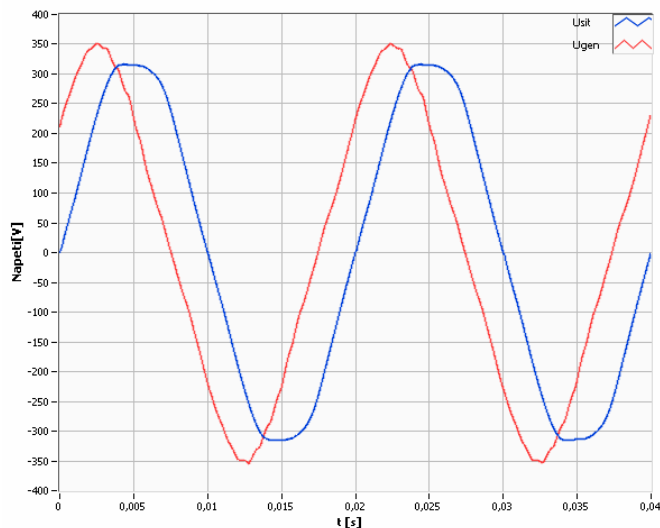
	Us1	Us2	Ug1	Ug2	Ug3
RMS	230,0	230,8	238,1	234,3	228,9
frekvence	50,0	50,0	49,1	49,1	49,0
fáze	358,8	238,9	330,8	213,5	90,4
fázový pos UsUg	28,1	25,5			



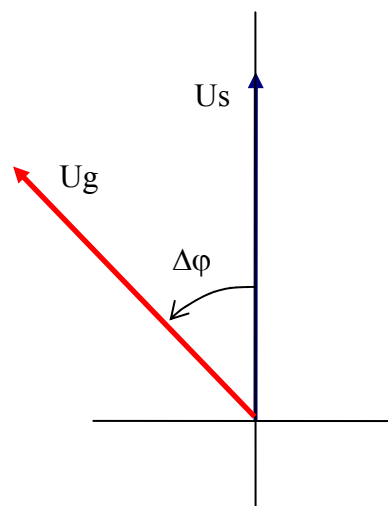
Obr. 7 Průběh okamžitých hodnot proudů v okamžiku přifázování generátoru k síti.

Různá amplituda napětí generátoru a sítě, různý sled fází soustav, zdrojový soubor „SG_009“

Průběh okamžitých hodnot napětí sítě a generátoru před přifázováním

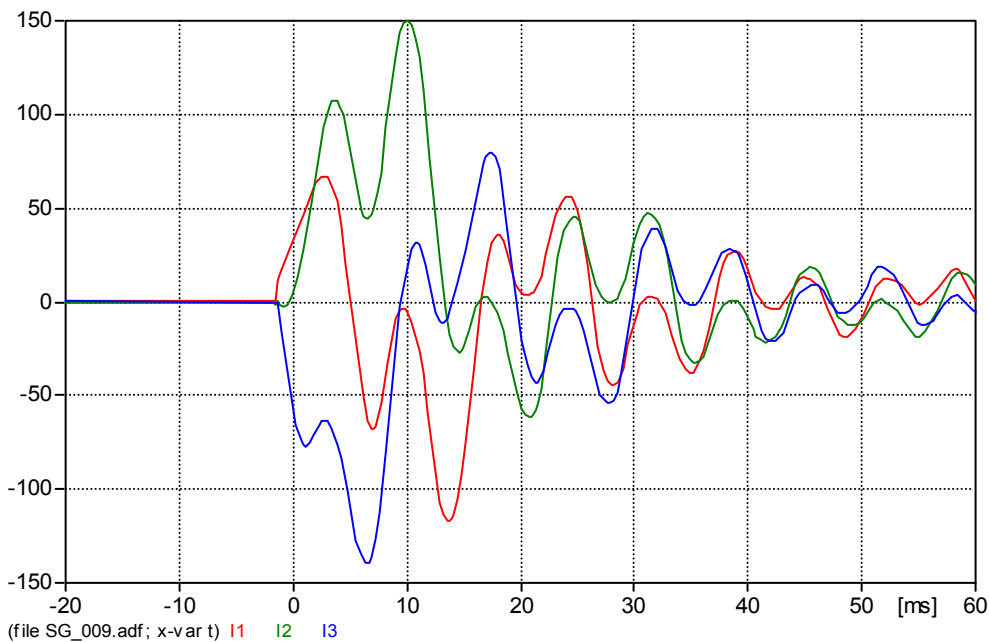


Fázorový diagram



Tabulka vypočtených hodnot

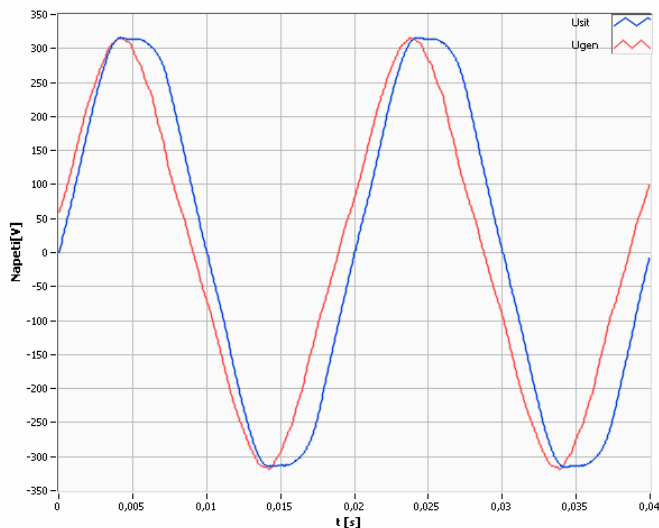
	Us1	Us2	Ug1	Ug2	Ug3
RMS	230,1	230,8	233,2	230,8	228,2
frekvence	50,0	50,0	50,3	50,3	50,3
fáze	359,5	239,7	43,5	286,3	163,0
fázový posuv UsUg	-44,0	-46,6			



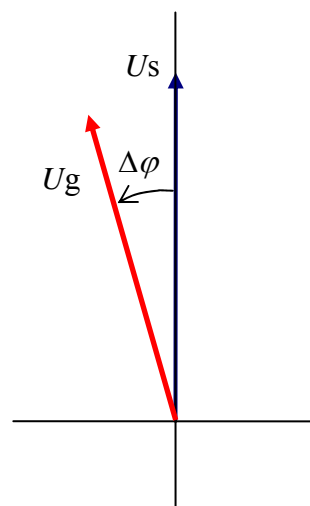
Obr. 8 Průběh okamžitých hodnot proudů v okamžiku přifázování generátoru k síti.

Přibližně stejná amplituda napětí generátoru a sítě, stejná frekvence, zdrojový soubor „SG_010“.

Průběh okamžitých hodnot napětí sítě a generátoru před přifázováním

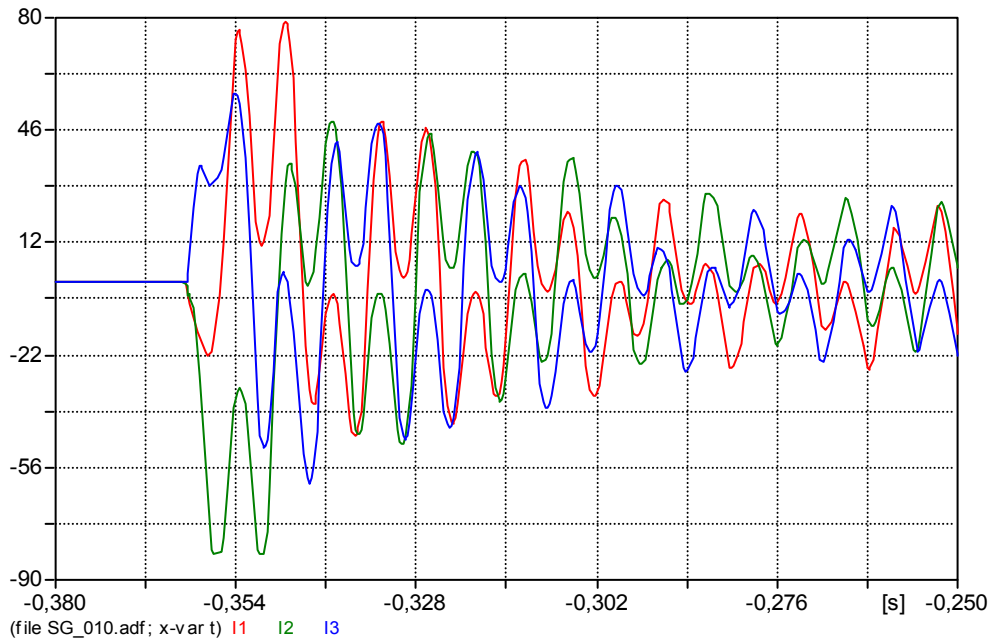


Fázorový diagram



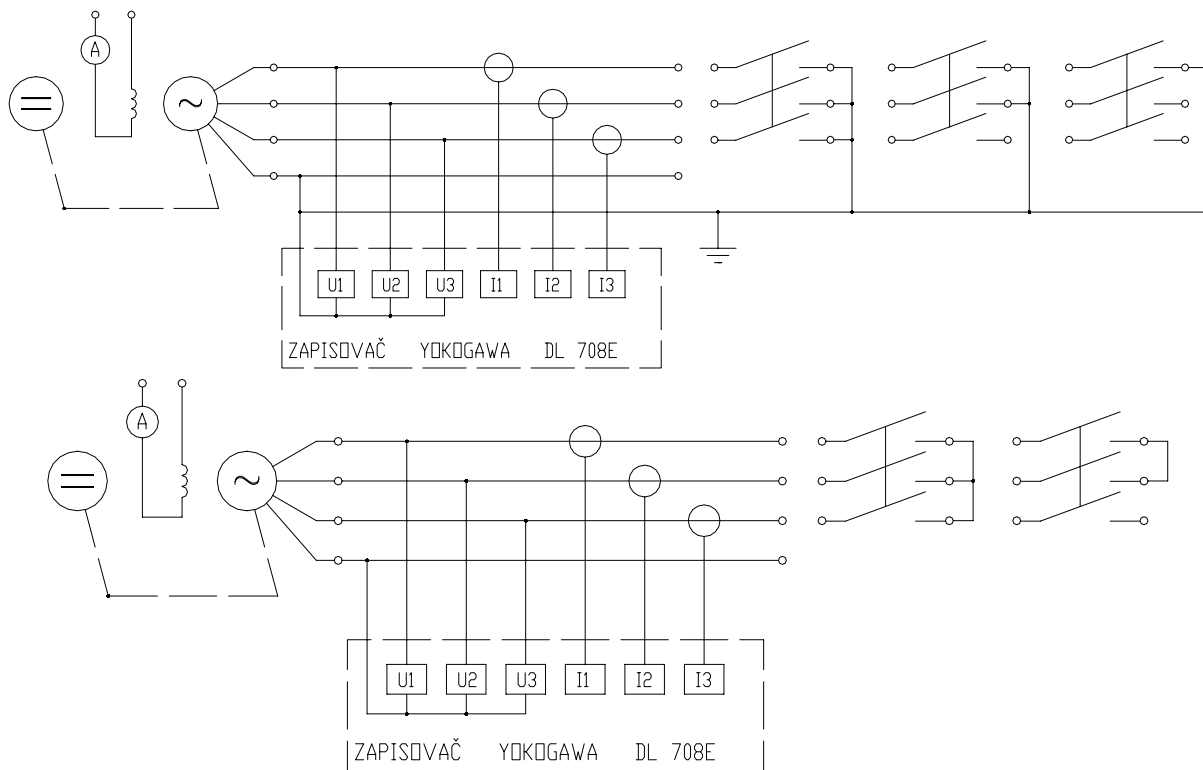
Tabulka vypočtených hodnot

	Us1	Us2	Ug1	Ug2	Ug3
RMS	229,8	230,5	208,3	208,4	204,2
frekvence	50,0	50,0	50,8	50,9	50,8
fáze	359,4	239,4	13,7	256,3	133,1
Fázovýposuv UsUg	-15,7	-16,9			

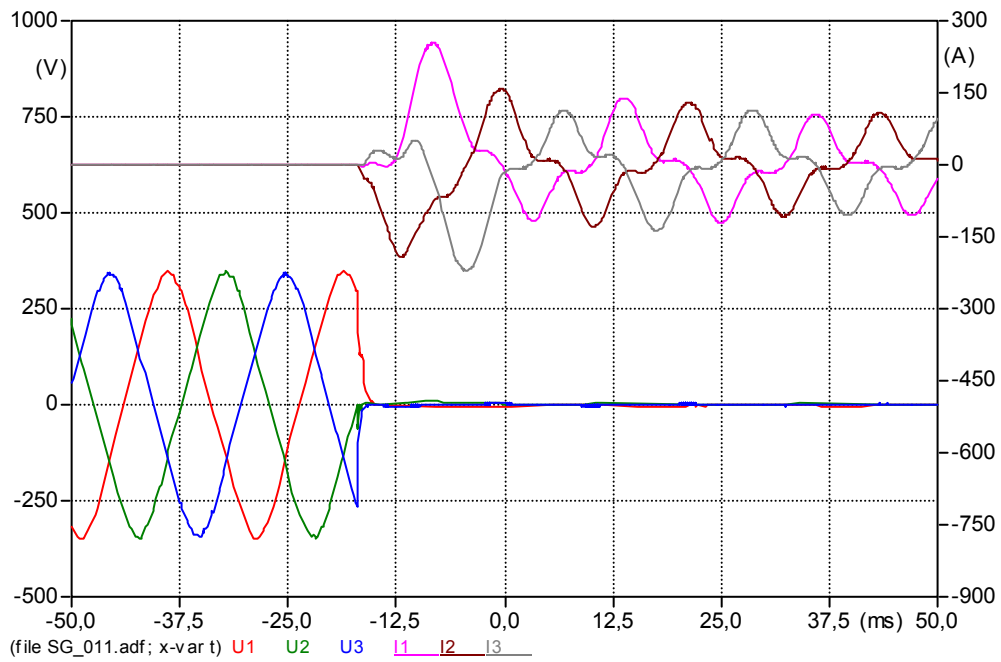


Obr. 9 Průběh okamžitých hodnot proudů v okamžiku přifázování generátoru k síti.

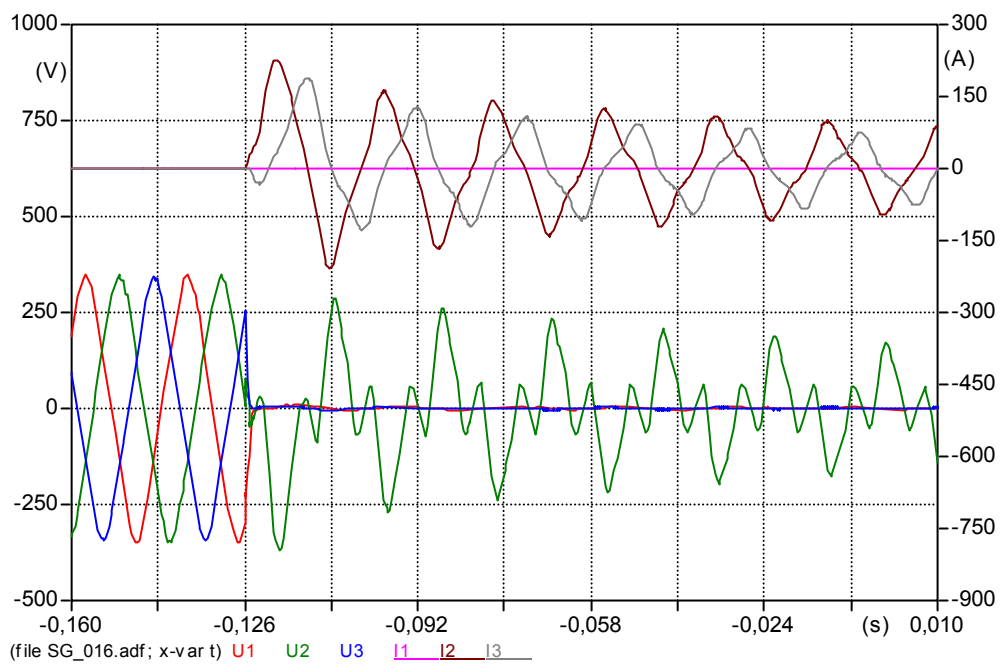
P1.4 Měření napěťových a proudových poměrů při zkratech, zemních zkratech a zemních spojení satorového vinutí synchronního generátoru



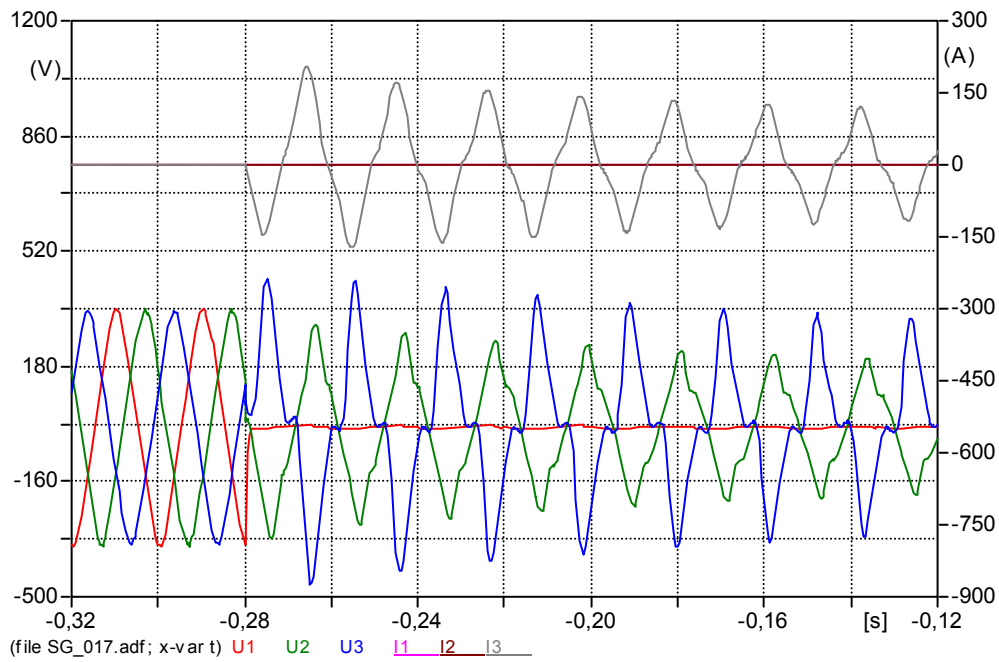
Obr. 10 Schéma zapojení pro simulaci zkratů a zemních zkratů.



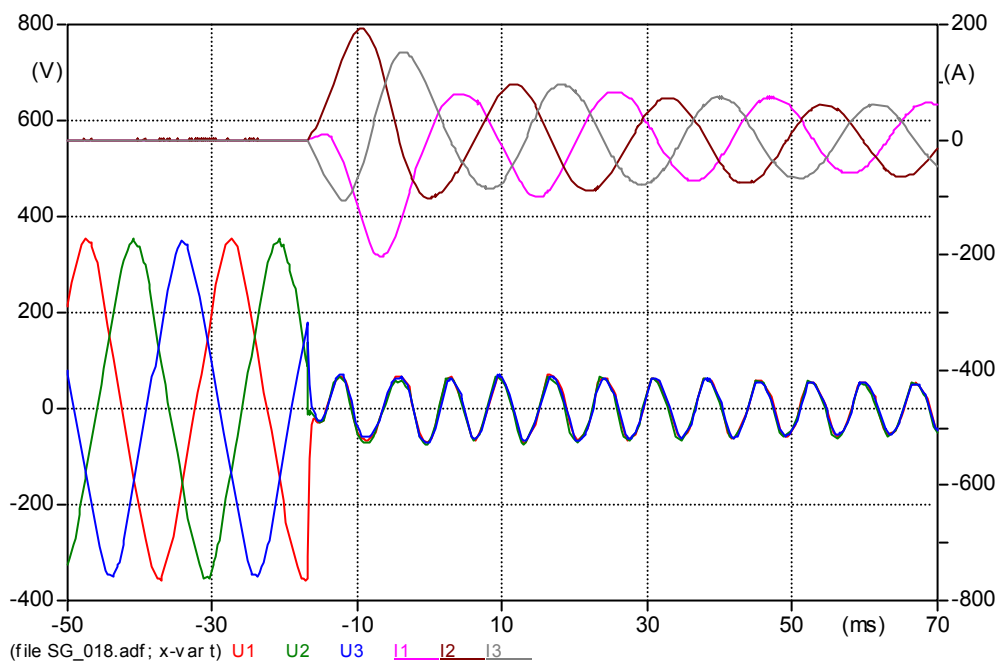
Obr. 11 Průběh okamžitých hodnot napětí a proudu při 3fázovém zemním zkratu.



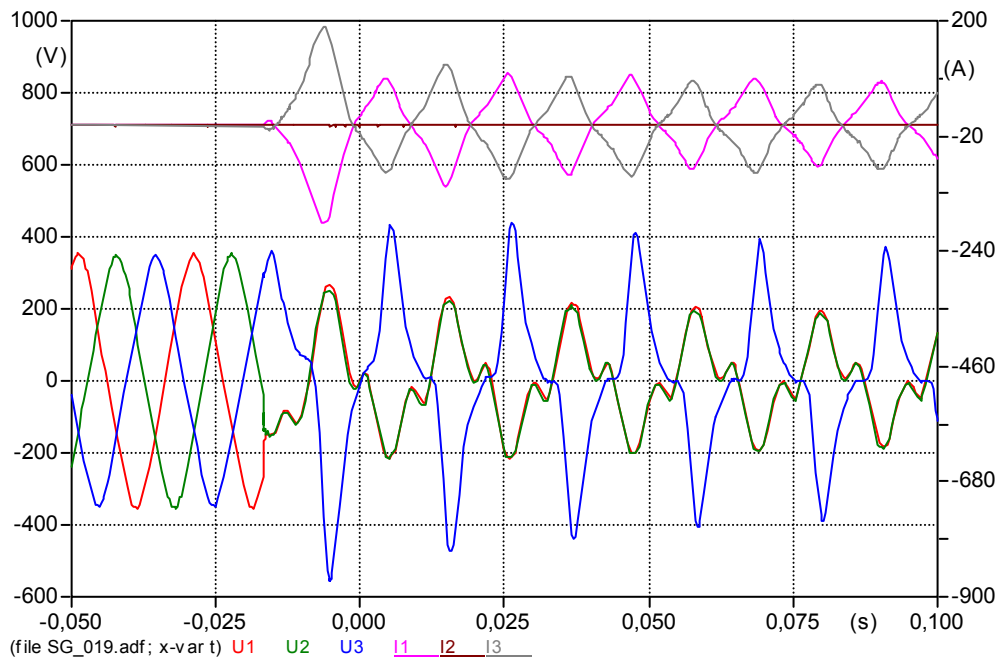
Obr. 11 Průběh okamžitých hodnot napětí a proudu při 2fázovém zemním zkratu.



Obr. 12 Průběh okamžitých hodnot napětí a proudu při 1 fázovém zkratu.

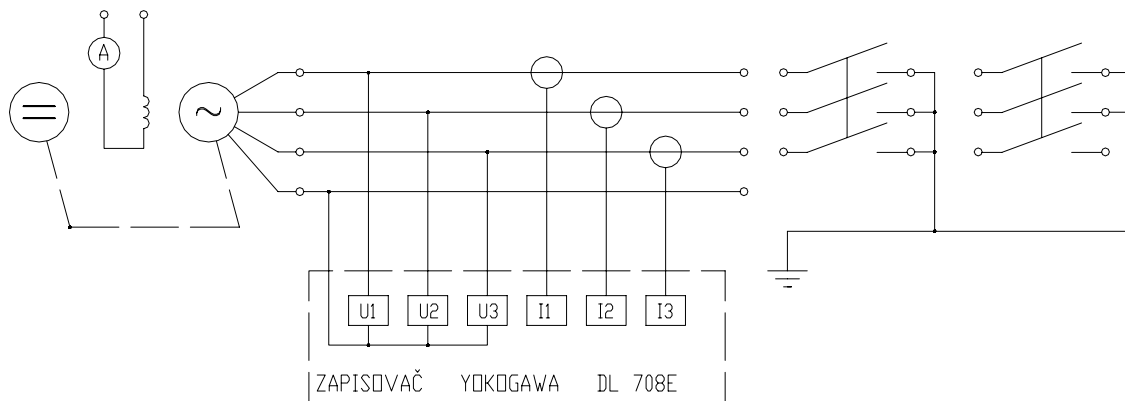


Obr. 13 Průběh okamžitých hodnot napětí a proudu při 3 fázovém zkratu.

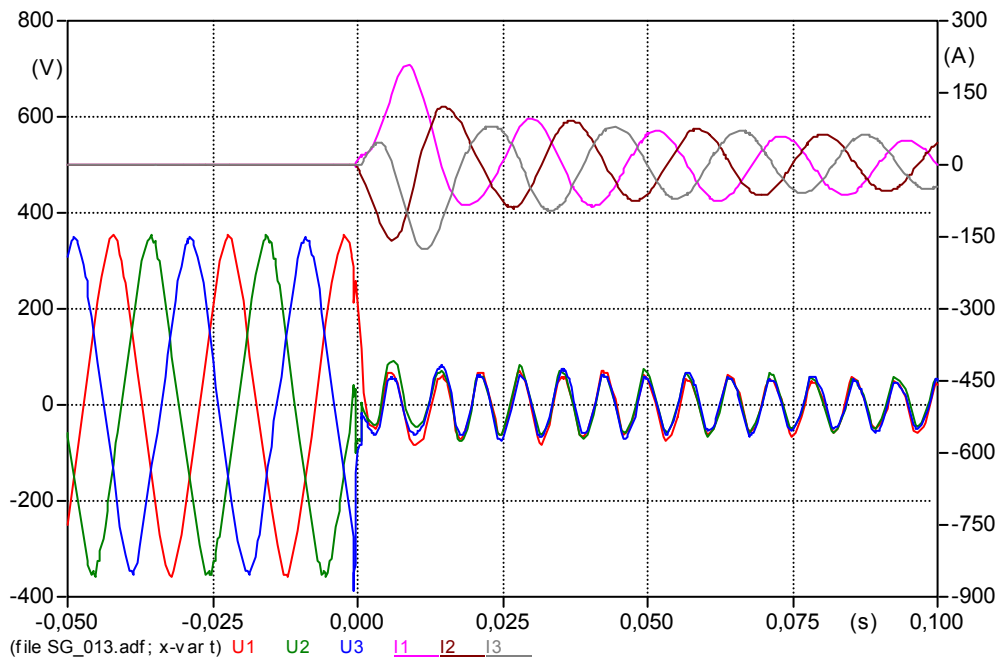


Obr. 13 Průběh okamžitých hodnot napětí a proudu při 2fázovém zkratu.

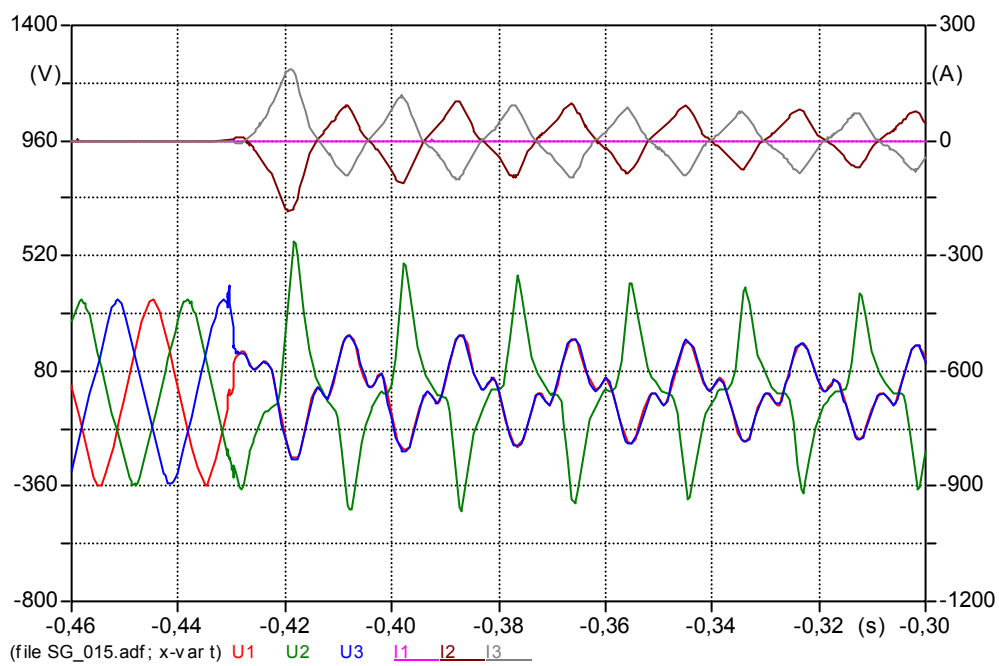
P1.5 Měření napěťových a proudových poměrů při zemních spojení statorového vinutí synchronního generátoru



Obr. 14 Schéma zapojení pro simulaci zkratů a zemních zkratů.



Obr. 15 Průběh okamžitých hodnot napětí a proudu při 3fázovém zemním spojení.



Obr. 16 Průběh okamžitých hodnot napětí a proudu při 2fázovém zemním spojení.