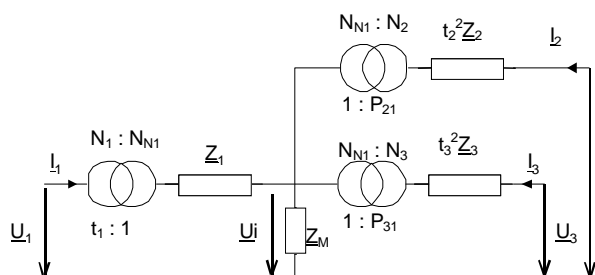


4. Setkání uživatelů programu MODES ČVUT FEL Praha 20.2. 2002

Program

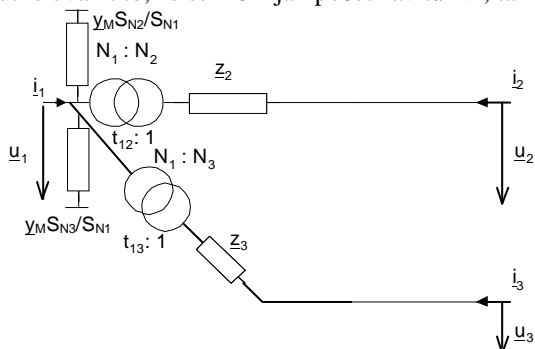
1. seznámení s inovacemi v nové verzi 2.2/7 programu MODES (trojvinuťové trafo)
2. uživatelské rozhraní MODMAN v.2.7 (integrována dokumentace, výsledky grafiky, správa dokumentů a servisních balíčků, editor chodů a modelů bloků)
3. verifikace programu
4. program ZKRATY pro výpočet veličin příspěvků zkratového proudu
5. budoucí vývoj.

1. MODEL TROJVINUŤOVÉHO TRAFU



Výhodou uvedeného schématu je, že jednotlivé impedance $Z_L = R_L + jX_L$ mají konstantní parametry zjištěné při jmenovitém počtu závitů. Jelikož rozptylové reaktance se se změnou odbočky (počtu závitů) mění, je vhodné definovat vinutí se změnou odboček jako první. Magnetizační impedance Z_M se skládá z magnetizační reaktance X_M a odporu R_0 , které respektuje magnetizační proud i_0 a ztráty naprázdno P_0 .

Pro autotransformátor lze použít stejné schéma s tím rozdílem, že pro přepínání odboček na nulovém potenciálu je nutno uvážit to, že se mění jak počet závitů N_1 , tak N_2 . Proto je nutno ve vstupních datech definovat způsob regulace.



Zavedením modelu trojvinuťového trafo není nutné, aby uživatel prováděl pracné přepočítávání trojvinuťového trafo na tři větve. Program MODES to provede automaticky a převede trojvinuťové trafo na hvězdu podle vedlejšího schématu.

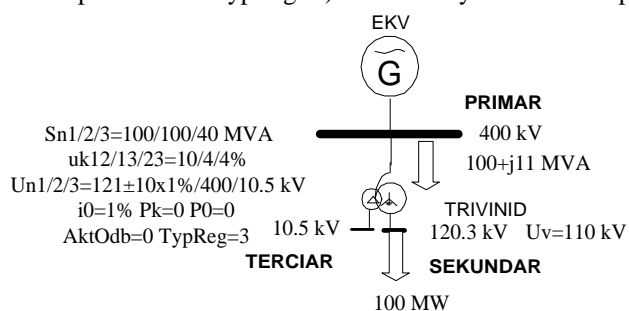
Schéma trojvinuťového trafo je odvozené za předpokladu:

- a) zanedbání vzájemných rozptylových magnetických toků mezi vinutími
- b) zanedbání syčení
- c) kvadratické závislosti magnetická vodivosti na počtu závitů.

Někdy se mohou vyskytnout případy, že některá s hodnot náhradních impedancí hvězdy vychází nulová (například hodnota z_1 u trojvinuťových odbočkových traf). Tuto singularitu je ošetřena zvlášť tím způsobem, že toto trojvinuťové trafo se převede na dvě dvouvinuťové podle vedlejšího schématu platnou pro nulovou hodnotu impedance 1. vinutí. Magnetizační impedance se rozdělí mezi obě trafo v poměru jejich výkonů. Je nutno vzít v úvahu, že při změně odbočky tohoto trafo je nutno změnit převody obou dvouvinuťových traf. Obdobně se postupuje, když se nule rovná jiná impedance.

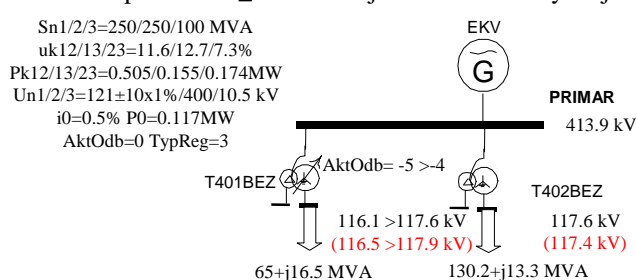
Využití modelu trojvinuťových traf prezentuje nový projekt 3W_TRANS, který obsahuje řadu případů.

Případ TROJVIN1 prezentuje model trojvinuťového autotrafo s přepínání odboček na nulovém potenciálu (typ regulace se zadá parametrem TypReg=3) a nenáraznými hladinami pod zatížením podle následujícího schématu:



Pokud se má aspoň přibližně vzít v úvahu závislost rozptylových reaktancí na počtu závitů, je vhodné zvolit to vinutí, jehož počet závitů se mění nejvíce jako 1. To je v našem případě sekundární. Trafo je na sekundárním vinutí zatíženo jmenovitým výkonem 100 MW. Zároveň vztahné napětí v tomto uzlu bylo má běžnou hodnotu 110 kV na rozdíl od jmenovitého napětí trafo 121 kV. Velikost vztahného napětí nemá na zadávání parametrů trafo žádný vliv (na rozdíl od běžného trafo zadávaného jako větev, kdy se musel poměrný převod přepočítat). Program správně spočítá úbytky napětí na rozptylových reaktancích i magnetizační proud.

Případ REAL_2TR ukazuje změnu odbočky na jednom ze dvou paralelních trojvinuťových autotraf podle obrázku:



Trafo mají reálné parametry včetně ztrát nakrátko a naprázdno. Je simulováno přepnutí odbočky z -5 na -4 pomocí scénáře zásahem TRAN. Symbolem > je naznačeno přepnutí, neboli změna aktuální odbočky. Černě jsou značeny hodnoty napětí získané simulací. Červeně (v závorce) jsou uvedeny údaje z měření (reálné databáze) pro tento případ. Záporné hodnoty souvisí se způsobem označení, kdy střední (jmenovitá) odbočka má označení 0 a při zmenšování počtu závitů klesá do záporných hodnot.

3. VERIFIKACE PROGRAMU

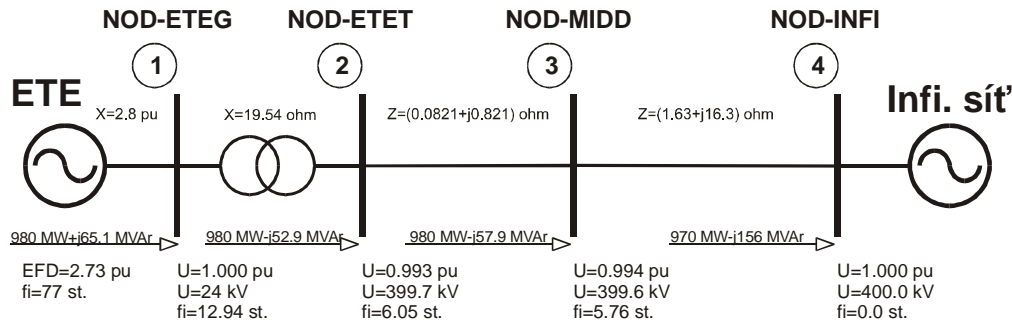
Během vývoje a praktického používání dochází k neustálému ověřování správnosti modelů a metod implementovaných v programech MODES a ZKRATY. K tomu slouží porovnání výsledků simulačních výpočtů:

- s jinými programy jako MATLAB (viz např. [3]) nebo EMTP (viz např. [5])
- s měřením (viz např. dosud publikované [1], [2], [4], [6] nebo připravované k publikaci [7] a [8])
- s vypočítanými průběhy v literatuře
- s rozбором časových průběhů skutečných poruchových a přechodných dějů v ES

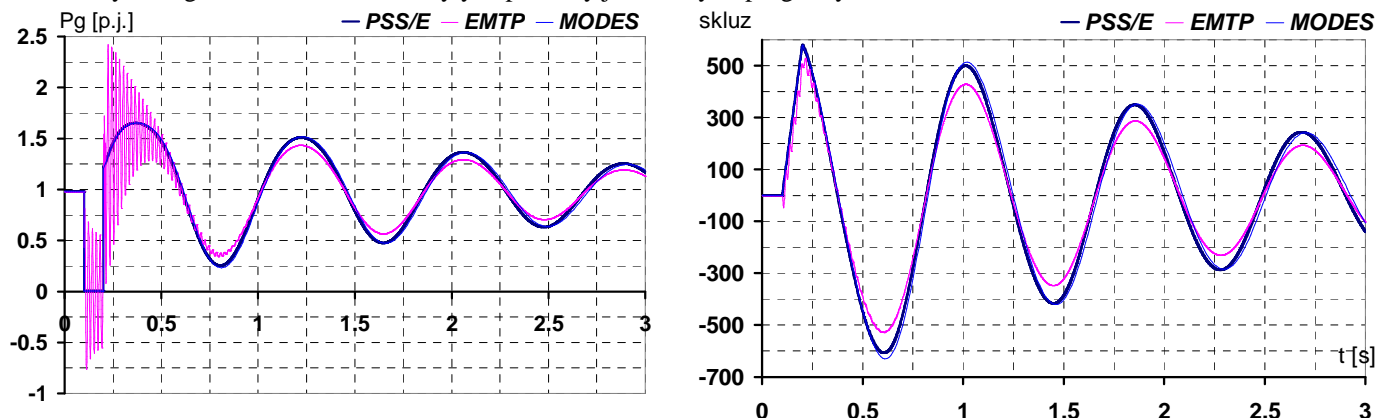
Příklady porovnání výsledků tří simulačních programů a rozboru poruchy jsou v následujících kapitolách.

3.1. Porovnání s jinými programy („benchmarking“)

Pro porovnání výsledků programů PSS/E a EMTP byla použita práce [9] doplněná o výsledky programu MODES. Modelovaná soustava je na následujícím obrázku:



Blok ETE byl modelován pomocí Parkových rovnic s jednoduchým modelem budiče (tyristorový budič s proporcionálním regulátorem). Druhý blok představuje zdroj napětí konstantní amplitudy a frekvence. Jako porucha byl simulován třífázový zkrat v blízkosti uzlu 3 trvající 100 ms. Na následujících obrázcích je porovnání časových průběhů skluzu a činného výkonu generátoru ETE, které byly napočítány jednotlivými programy.



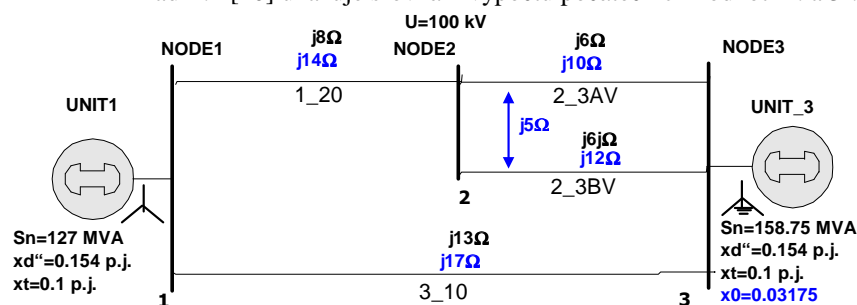
Rozdíly mezi oběma „elektromechanickými“ programy PSS/E a MODES jsou nepatrné. Na průběhu činného výkonu P_g je vidět elektromagnetický charakter děje způsobený stejnosměrnou složkou zkratového proudu. Její vliv na stabilitu však není podstatný, projevuje se jen slabým zvlněním síťové frekvence 50 Hz superponovaným na elektromechanický přechodný děj o frekvenci okolo 1 Hz.

3.2. Porovnání s literaturou

Pro ověření správnosti výpočtu lze použít příkladů z literatury. Přestože se jedná o hodnoty proměnných v určitém čase (většinou tzv. počáteční hodnoty po vzniku poruchy) je tato možnost cenná. Součástí vzorových případů v projektech MOTOR, NESYMETR a PHASEVAL jsou řešené příklady:

- jednostrujové (př. 3.1), trojstrujové a šestistrujové (př. E.1 a E.2) soustavy z [10]
- vlastní spotřeby JE (př. 4.13), jednostrujové (př. 5.11), dvojitrujové (př. 5.12) a 22 kV (př. 5.15 a 16) soustavy z [11].

Příklad E.1 [10] ukazuje srovnání výpočtu počátečních hodnot 1f. a 3f. zkratového proudu v síti napájené z více zdrojů

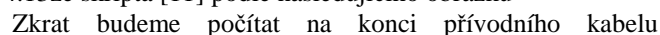


Modře jsou vyznačeny parametry netočivé složkové soustavy. Paralelní větve mezi uzly 2 a 3 mají v netočivé složce zadánu vzájemnou reaktanci 5Ω. Blok UNIT_3 má zadánu reaktanci x_0 pro netočivou složku, což znamená, že je připojen přes blokové trafo s vinutím Yzd (uzemněná hvězda trojúhelník). Bude počítán zkrat v uzlu NODE2 (v MODESu simulován jako zkrat na vedení 2_3AV v těsné blízkosti uzlu NODE2).

Slozka	Uzel	U[- /p.u.]	I[kA/p.u.]	Vetev	Uzel	U[- /p.u.]	I[kA/p.u.]
1	1	1.0000	0.0000	1	1	1.0000	0.0000
2	2	1.0000	0.0000	2	2	1.0000	0.0000
3	3	1.0000	0.0000	3	3	1.0000	0.0000
4	4	1.0000	0.0000	4	4	1.0000	0.0000
5	5	1.0000	0.0000	5	5	1.0000	0.0000
6	6	1.0000	0.0000	6	6	1.0000	0.0000
7	7	1.0000	0.0000	7	7	1.0000	0.0000
8	8	1.0000	0.0000	8	8	1.0000	0.0000
9	9	1.0000	0.0000	9	9	1.0000	0.0000
10	10	1.0000	0.0000	10	10	1.0000	0.0000
11	11	1.0000	0.0000	11	11	1.0000	0.0000
12	12	1.0000	0.0000	12	12	1.0000	0.0000
13	13	1.0000	0.0000	13	13	1.0000	0.0000
14	14	1.0000	0.0000	14	14	1.0000	0.0000
15	15	1.0000	0.0000	15	15	1.0000	0.0000
16	16	1.0000	0.0000	16	16	1.0000	0.0000
17	17	1.0000	0.0000	17	17	1.0000	0.0000
18	18	1.0000	0.0000	18	18	1.0000	0.0000
19	19	1.0000	0.0000	19	19	1.0000	0.0000
20	20	1.0000	0.0000	20	20	1.0000	0.0000
21	21	1.0000	0.0000	21	21	1.0000	0.0000
22	22	1.0000	0.0000	22	22	1.0000	0.0000
23	23	1.0000	0.0000	23	23	1.0000	0.0000
24	24	1.0000	0.0000	24	24	1.0000	0.0000
25	25	1.0000	0.0000	25	25	1.0000	0.0000
26	26	1.0000	0.0000	26	26	1.0000	0.0000
27	27	1.0000	0.0000	27	27	1.0000	0.0000
28	28	1.0000	0.0000	28	28	1.0000	0.0000
29	29	1.0000	0.0000	29	29	1.0000	0.0000
30	30	1.0000	0.0000	30	30	1.0000	0.0000
31	31	1.0000	0.0000	31	31	1.0000	0.0000
32	32	1.0000	0.0000	32	32	1.0000	0.0000
33	33	1.0000	0.0000	33	33	1.0000	0.0000
34	34	1.0000	0.0000	34	34	1.0000	0.0000
35	35	1.0000	0.0000	35	35	1.0000	0.0000
36	36	1.0000	0.0000	36	36	1.0000	0.0000
37	37	1.0000	0.0000	37	37	1.0000	0.0000
38	38	1.0000	0.0000	38	38	1.0000	0.0000
39	39	1.0000	0.0000	39	39	1.0000	0.0000
40	40	1.0000	0.0000	40	40	1.0000	0.0000
41	41	1.0000	0.0000	41	41	1.0000	0.0000
42	42	1.0000	0.0000	42	42	1.0000	0.0000
43	43	1.0000	0.0000	43	43	1.0000	0.0000
44	44	1.0000	0.0000	44	44	1.0000	0.0000
45	45	1.0000	0.0000	45	45	1.0000	0.0000
46	46	1.0000	0.0000	46	46	1.0000	0.0000
47	47	1.0000</					

Jako druhý příklad je uveden porovnání výsledků příkladu 4.13 ze skriptu [11] podle následujícího obrázku

Zkrat budeme počítat na konci přírodního kabelu



jako příspěvek asynchronních motorů postižené sekce I, a: “=

Při výpočtu síťovým simulátorem je nutné kromě dat sítě zadávat i zdroje a motory. U alternátoru je to celkem

Případ	Benis [kʌ]	I [kʌ]	I [kʌ]
--------	------------	--------	--------

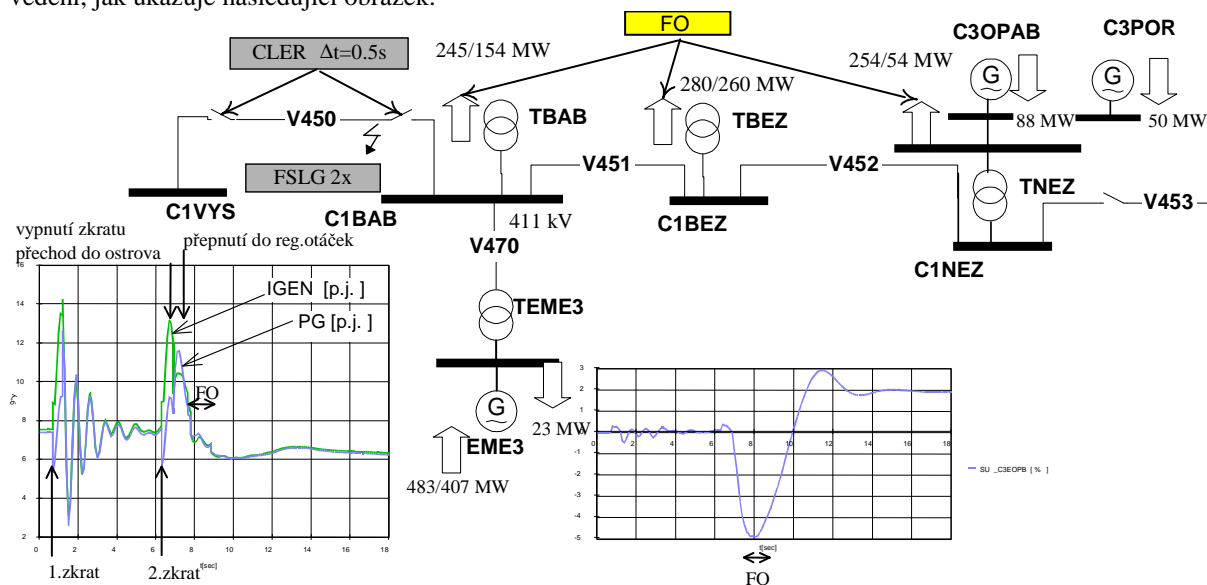
7 tabulky je vidět jednak vliv zatížení soustavy a jednak vliv nerovných zátěží (tedy reálných převodů traf). Je také

Nutno dodat, že zařízení se dimenzuje nejen podle počátečních hodnot, které byly dosud prezentovány ale i podle

....., $\mathbf{P} = \mathbf{P}^T$ and

3.3. Rozbor poruchových stavů v síti

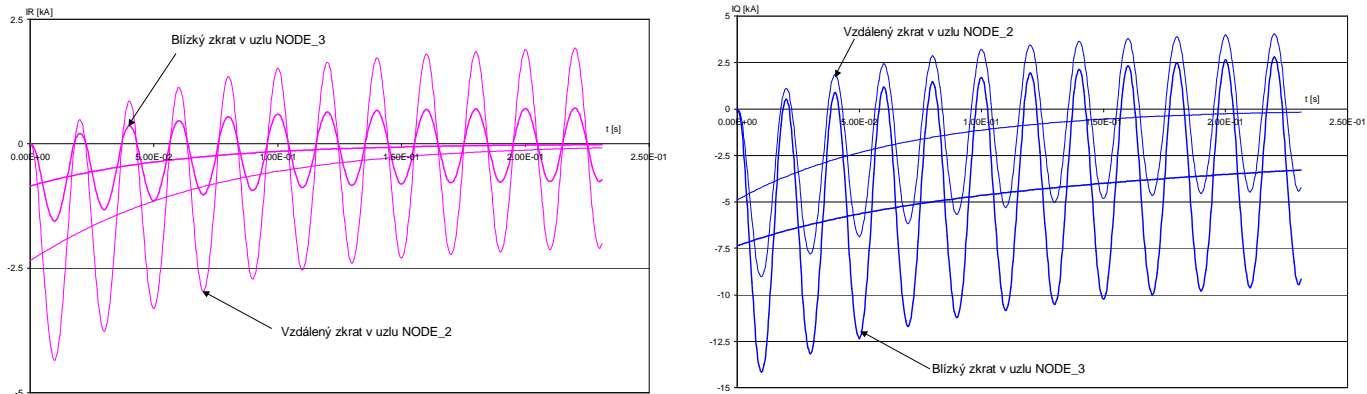
V této kapitole ukážeme využití programu MODES při rozboru přechodných dějů při skutečných poruchách v síti. Příklad se týká přechodu části přenosové soustavy do ostrova, ke kterému došlo při zkratu na vedení při současné revizi druhého vedení, jak ukazuje následující obrázek:



Ostrovní provoz byl iniciován dvěma jednofázovými zkraty na vedení V450, jejichž vliv na proud a výkon blízkého bloku EME3 je na levém grafu. Po druhém zkratu bylo vedení odpojeno, přičemž zobrazená část sítě přešla do ostrovního provozu. Jelikož ostrov byl deficitní (výroba byla menší než spotřeba), došlo k poklesu frekvence zobrazené ve střední části obrázku. Blok EME3 přešel do regulace otáček. Vlivem frekvenčního odlehčení FO se frekvence zotavila na hodnotě kolem 51 Hz. Opatření frekvenčního plánu (frekvenční odlehčování zatížení a přepnutí do regulace otáček) zajistilo přechod do ostrova.

4. PROGRAM ZKRATY PRO VÝPOČET HODNOT PŘÍSPĚVKŮ ZKRATOVÉHO PROUDU

Zatímco běžné programy na výpočet zkratů umožňují vypočítat pouze počáteční hodnotu a „elektromechanické“ síťové simulátory (MODES nebo PSS/E) střídavou (souměrnou) složku zkratového proudu, program ZKRATY umožňuje pomocí speciálně vyvinuté metodiky (popsané v [5] a [12]) určit i stejnosměrnou složku zkratového proudu (tak jako to dělají „elektromagnetické“ simulátory typu EMTP). Program ZKRATY vypočítá maximální možnou stejnosměrnou složku příspěvků zkratového proudu, která by se vyvinula za nulových počátečních podmínek. Na ukázkou použijeme modelu z příkladu E.1 [10].



Obrázky ukazují časové průběhy zkratových proudů (včetně stejnosměrné složky) pro dvě místa zkratu a to na vedení 2_3 v těsné blízkosti uzlu 2 (vzdálený zkrat) a 3 (blízký zkrat). V pravém obrázku je znázorněn proud vypínaný vypínačem v místě zkratu (tzv. blízký příspěvek zkratového proudu IQ). V levém obrázku je znázorněn proud vypínaný vypínačem ze vzdáleného konce vedení (tzv. vzdálený příspěvek zkratového proudu IR). Součet obou příspěvků dává celkový zkratový proud Ik, tekoucí místem poruchy.

Zatímco stejnosměrné složky příspěvků IR a příspěvků IQ při vzdáleném zkratu zanikají přibližně stejně rychle (s časovou konstantou sítě $Tas \approx 0.06s$), blízký příspěvek IQ při blízkém zkratu je dán především příspěvkem generátoru, který má časovou konstantu větší $Tag \approx 0.5s$ a stejnosměrná složka zaniká pomaleji.

Program zkraty spočítá charakteristické hodnoty zkratového proudu ovlivněné stejnosměrnou složkou, viz výpis pro trojfázový blízký zkrat:

	IR>>>	\Ik\	<<<IQ=	<<IQR +	<IQQ+	<IQ1
I"k[kA] :	0.60	5.83	5.22	0.74	0.88	3.61
Ikm*(Km) :	1.55 (1.83)		14.14 (1.91)			
Ivyp(mi) :	0.49 (0.81)	4.55 (0.78)	4.06 (0.78) (0.81) (0.81) (0.76)			
Iavyp*[%] :	1		40			
Ike*(Ke) :	0.61 (1.01)		6.59 (1.26)			
Ta [s] :	0.0582	0.1371		0.0582	0.0712	0.5056

5. BUDOUCÍ VÝVOJ

V uživatelském rozhraní MODMAN se plánují následující úpravy:

1. Synchronizace stromových struktur Projektů a Dokumentace - Nové projekty a případy, při otevření dokumentu nového případu se aktivuje daný případ ve stromové struktuře Projektů a případů.
2. V editoru chodů se propojí popis parametrů s tabulkou PopisPar.XLS.
3. Automatizace tvorby exportovaných projektů jako servisních balíčků.

V programu MODES bude dokončen přechod na WINDOWS doplněním grafiky. Jinak je aplikace pro WINDOWS hotova. Příslušný výkonný soubor se jmenuje MODESwin.EXE a spouští se při odstraněné volbě **DOS Aplikace** v menu **Spust'**. Výhodou WINDOWS aplikace je to, že používá dynamicky alokované pole pro typové parametry modelů a objekty sítě (uzly, oblasti, profily, větve a bloky) na rozdíl od DOS aplikace, která používala pole pevné (předem dané) velikosti. To vedlo k tomu, že dimenzování se muselo měnit podle velikosti modelované soustavy. To ve WINDOWS aplikaci odpadá a paměť počítače se využívá podle skutečné velikosti modelu. Další výhodou bude možnost definování vlastních modelů uživatelů a jejich implementace pomocí dynamicky linkovaných knihoven.

WINDOWS umožní i zdokonalit grafické rozhraní, které bude rozděleno na dvě části - grafickou (odpovídající dnešní dosovské grafice MODESu) a textovou, která bude obsahovat hlášení MODESU (v rozsahu výstupního souboru AKCE.HLA), takže uživatel bude mít přehled o činnosti programu - zásazích zadávaných scénářem, činnostech automatik/logik a fungování přídavných automatik regulačních systémů (hlídač meze podbuzení, omezovače proudů, regulátory přeběhu a rychlé zavírání ventilů) během spuštění programu. Obě části budou mít měnitelnou velikost. V souladu s výsledkem uživatelského průzkumu nebude grafické rozhraní obsahovat vlastní menu. Veškeré data a výpočtové parametry budou jako dosud záležitostí uživatelského rozhraní MODMAN. V prvních verzích WINDOWS aplikace nebudou k dispozici tlačítka, pro zadávání zásahů během výpočtu (odpovídající horkým klávesám F1-F9 dosovského MODESu).

Poslední vývojovou novinkou je MODES/ZKRATY ve formě dynamicky linkovaných knihoven (DLL), které je možné volat s vlastními aplikacemi uživatele (např. řídicí dispečerský systém) přes univerzální rozhraní. Toto rozhraní umožní načíst data chodu sítě z paměti počítače a zadávat z aplikace uživatele vybrané zásahy.

Literatura

- [1] K.Máslo, S.Vnouček, J.Fantík: Unit black start and power system restoration , the International Symposium MEPS'96, Wroclaw 1996
- [2] K.Máslo and P.Neuman: "Power System and Power Plant Dynamic Simulation," in Proc. of the 15th IFAC World Congress, Beijing, China, 1999
- [3] K.Máslo, J.Novák : Přístup k výpočtu zkratových poměrů, Sborník konference ELEN 2000 pořádané ČVUT , Praha září 2000
- [4] K.Máslo, J.Anděl: Gas turbine model using in design of heat and power stations, IEEE Power Tech Conference, Porto ,September 2001
- [5] K.Máslo, S.Vnouček: Short Circuit Calculation Analysis, IEEE Power Tech Conference, Porto , September 2001
- [6] K. Máslo: Dynamické modely pro vyšetřování přechodných dějů v ES: seminář Aktuální otázky a vybrané problémy řízení ES, Poděbrady listopad 2001
- [7] K.Máslo: Model asynchronního motoru pro dynamické výpočty, AT&P Journal č.2 a 3 /2002
- [8] Petružela I., Kurka J., Hledík J., Bíca M., Máslo K.: Provoz JE Temelín v reálné ostrovní soustavě, příspěvek na 5. Mezinárodní konference „Automatizace energetických procesů 2002“, Zlín 2002
- [9] S. Vnouček: Výpočet maximální doby zkratů, porovnání modelů generátorů v PSS/E a EMTP, připraveno k publikaci na konferenci ELEN 2002 pořádané ČVUT , Praha září 2002
- [10] P.M.Anderson: Analysis of faulted power system, IEEE Press, New York 1995
- [11] Z.Trojánek, M.Chladová: Přechodné jevy v ES (cvičení), Ediční středisko ČVUT, Praha 1988
- [12] K.Máslo, J.Novák, J.Doležal: Analýza výpočtu zkratových proudů, 1.mezinárodní vědecké sympozium ELEKTROENERGETIKA 2001, Stará Lesná