

UPORABA MAYRJEVEGA MODELA PRI SIMULACIJI ELEKTRIČNEGA OBLOKA

Mirza SARAJLIĆ, Jože PIHLER, Janez RIBIČ, Peter KITAK

POVZETEK

Članek opisuje uporabo Mayrjevega modela pri simulaciji električnega obloka. Mayrjev simulacijski model je del programskega orodja MATLAB – SIMULINK, s katerim so izvajane simulacije odprtega obloka. Eksperimentalni del je bil izveden v laboratoriju ICEM na ločilnem stikalu in odklopniku. Izdelana je primerjalna analiza simulacijskih izračunov in laboratorijskih meritev.

ABSTRACT

The paper describes application of Mayr model in the simulation of electric arc. The Mayr simulation model is a part of the MATLAB – SIMULINK, where the simulations of an open electric were performed. The experimental part was performed in the ICEM laboratory at the circuit breaker and switch disconnectors. A comparative analysis has been made of simulation calculations and laboratory measurements.

1. UVOD

Električni oblok ima za industrijo pomembno vlogo, še posebej za nekatere industrijske panoge, kot je železarstvo. Na principu uporabe električnega obloka delujejo obločne električne peči, obločno varjenje in obločna razsvetljava. Po drugi strani pa je električni oblok za stikala in druge aparate, za električna postrojenja in daljnovode skrajno nezaželeni pojav, ki lahko povzroči velike poškodbe. Ker ima električni oblok v industriji precej široko in raznovrstno uporabo, se na tem področju opravljajo obsežne teoretične in eksperimentalne raziskave, s ciljem ugotavljanja delovanja in posledic delovanja v različnih pogojih in napravah [1].

Raziskave na električnem obloku so se začele že leta 1802, ko je V. V. Petrov opravil cel niz pomembnih fizikalnih raziskav, ki so bile osnova za električne vire svetlobe, taljenje rud in ostalo. Na področju raziskav električnega obloka sta Engel in Steenbeck leta 1934 objavila članek o električnem obloku, ki gori v plinu in pri katerem je premer obloka odvisen od jakosti toka. Njuna analiza temelji na predpostavki, da je oblok stacionaren (brez časovne spremembe posameznih parametrov), da je skupni tok posledica gibanja elektronov, da njihovo gibanje ni odvisno od jakosti polja in da je temperatura obloka enaka v vseh točkah njegovega preseka [1]. Bistven prispevek teoriji električnega obloka sta podala O. Mayr in A. M. Cassie, ki sta razvila model za analitično določevanje parametrov električnega obloka. Gre za dinamično teorijo ob upoštevanju naraščanja električne prevodnosti obloka s količino toplotne energije, ki je v njem akumulirana [2].

2. STACIONARNI ELEKTRIČNI OBLOK

Stacionarni električni oblok, napajan z enosmernim tokom, gori stabilno le, če prevaja konstantni tok obloka [1]. Če motimo energijsko bilanco takšnemu električnemu obloku z razpihovanjem obloka z zrakom, s posebnim plinom ali splakovanjem z oljem, bo padala temperatura obloka in s tem njegova prevodnost. Tako bo naraščala napetost električnega obloka u_{ob} , in bo električni oblok jemal več moči, da bo nadomestil izgubo toplote in padec temperature. Velja nasprotno, da se z naraščanjem temperature električnega obloka in s tem njegove prevodnosti, napetost električnega obloka temu primerno zniža. Pri konstantnem toku bi se zmanjšala moč električnega obloka, temperatura bi ponovno dosegla svojo prejšnjo vrednost.

Električni oblok, na katerega je priključena konstantna napetost, se odziva drugače in ne more biti stabilen [1]. Na podlagi tega, da je oddana toplota skoraj neodvisna od toka v stabilnem obloku, velja za električni oblok enačba (1):

$$u_{ob} \cdot i = \text{konst.} \quad (1)$$

3. DINAMIČNA TEORIJA ELEKTRIČNEGA OBLOKA

Termodinamične in električne veličine obloka [2] povezuje naslednja enačba:

$$\frac{dQ}{dt} = |\vec{E}| \cdot I - N_0 \quad (2)$$

Iz enačbe (2) vidimo, da je diferencialna sprememba toplote dQ/dt enaka razliki dovedene električne energije $|\vec{E}| \cdot I$ in odvedene toplote iz stene obloka N_0 . Električna poljska jakost $|\vec{E}|$ je v relaciji z električno napetostjo med kontaktoma. Pri statičnem obloku velja, da je $Q = \text{konst.}$, torej je $dQ/dt = 0$. Iz enačbe (2) tedaj sledi da je $|\vec{E}| \cdot I = N_0$, kar pomeni, da je $|\vec{E}| = N_0 \cdot \frac{1}{I}$.

Za uporabo diferencialne enačbe (2) za dinamičen oblok v ločeni obliki je potrebna še ena povezava med U in I , pri čemer je $U = |\vec{E}| \cdot d$ [V/mm], kjer je d razdalja med kontaktoma.

Uporabimo tudi enačbo za električno upornost:

$$R = \frac{|\vec{E}|}{I} \left[\Omega \text{mm}^{-1} \right], \quad (3)$$

ki je odvisna od shranjene toplote Q .

Diferencialna enačba, ki povezuje toplotne veličine obloka in lastnosti električnega kroga [3], v katerem je ta oblok je podana z (4):

$$\frac{dQ}{dt} = -\frac{Q_0}{R} \cdot \frac{dR}{dt}, \quad (4)$$

kjer je R električna upornost obloka odvisna od toplote Q , a Q_0 predstavlja količino toplotne energije potrebne za povečanje prevodnosti obloka.

Če upoštevamo enačbi (2) in (4), dobimo nelinearno enačbo (5), ki vsebuje lastnosti obloka in električnega tokokroga v katerem oblok gori:

$$-\frac{Q_0}{R} \cdot \frac{dR}{dt} = |\vec{E}| \cdot I - N_0 \quad (5)$$

Če enačbe (5) v splošni obliki ne moremo rešiti, upoštevamo karakteristike ostalega tokokroga. To je uporabno za mala nihanja in ne zajemamo celotnega procesa. Določimo pogoje, pri katerih je oblok nestabilen, ko je prekinitev obloka možna [3].

Za $I = f(t)$ in $|\vec{E}| = R \cdot f(t)$ lahko enačbo (2) zapišemo drugače:

$$-\frac{1}{R^2} \cdot \frac{dR}{dt} = \frac{f^2(t)}{Q_0} - \frac{1}{R} \cdot \frac{N_0}{Q_0} \quad (6)$$

Razčlenimo desno stran enačbe (6):

$$\left(\frac{1}{R}\right)' = \frac{d}{dt}\left(\frac{1}{R}\right) = \frac{1' \cdot R - 1 \cdot R'}{R^2} = \frac{0 \cdot R - 1 \cdot R'}{R^2} = -\frac{1}{R^2} \cdot \frac{dR}{dt} \quad (7)$$

Upoštevamo časovno toplotno konstanto τ :

$$\tau = \frac{Q_0}{N_0} \text{ [s]}, \quad (8)$$

in dobimo diferencialno enačbo (9):

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{R}\right) + \frac{1}{R} \cdot \frac{1}{\tau} = \frac{1}{Q_0} \cdot f^2(t). \quad (9)$$

Sedaj lahko izpeljemo Mayrjev model električnega obloka. Predpostavimo, da imamo integralne veličine P_0 [W] in Q_n [J] in prevodnost g [S]:

$$g = \frac{1}{R} \quad (10)$$

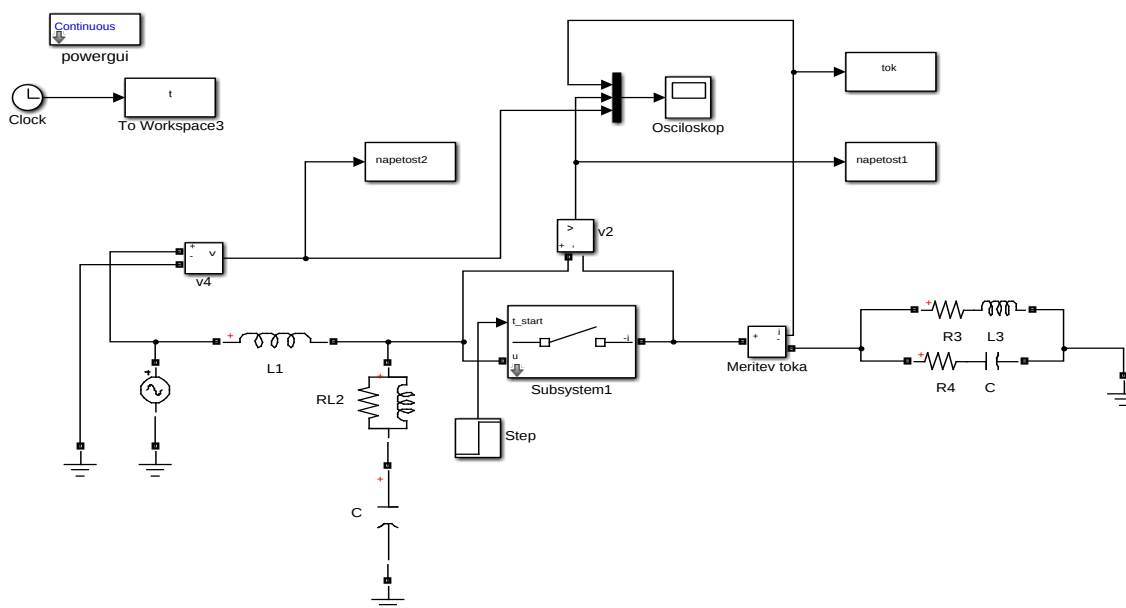
Po izpeljavi, opisani v [3], dobimo klasično diferencialno enačbo po Mayrju:

$$\frac{1}{g} \cdot \frac{d(g)}{dt} = \frac{1}{\tau} \cdot \left(\frac{u \cdot i}{P_0} - 1 \right) \quad (11)$$

4. PREDSTAVITEV MODELA V PROGRAMSKEM ORODJU MATLAB

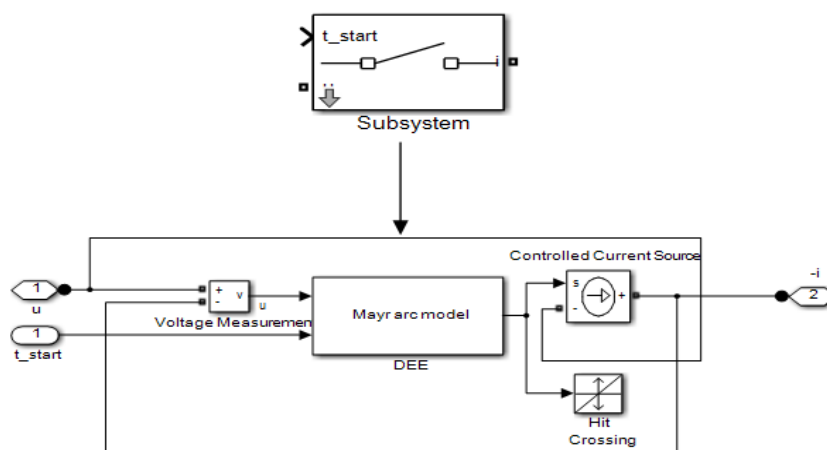
Mayrjev simulacijski model električnega obloka so razvili v laboratoriji Delftske Univerze tehnologij na Nizozemskem [4]. Narejen je za boljše razumevanje dogajanj ob prekinjanju električnega toka.

Slika 1 prikazuje tokokrog, v katerega je vključen Mayrjev matematični model. Leva stran vezja predstavlja napajalni del, desna stran pa kratek prenosni vod, ki je v kratkem stiku. Na vezju izvajamo meritev toka in napetosti. Napetost merimo na kontaktih odklopnika.



Sl. 1: Mayrjev simulacijski model v programskem orodju Matlab

Mayrjev model je prikazan kot matematični zapis električnih lastnosti obloka. Zapisan je v obliki diferencialne enačbe (12). Diferencialna enačba opisuje nelinearno upornost električnega obloka. Izmerjena napetost in tok se uporabljata za pridobivanje parametrov diferencialne enačbe. Model je izveden kot napetostno voden tokovni vir, kot je prikazano na sliki 2.



Sl. 2: Izvedba Mayrjevega modela

Diferencialna enačba Mayrjevega modela:

$$\frac{dx(1)}{dt} = \frac{u(2)}{\tau} \cdot \left(\frac{e^{x(1)} \cdot u(1)^2}{P} - 1 \right) \quad (12)$$

$$y = e^{x(1)} \cdot u(1) \quad (13)$$

Če v enačbi (12) upoštevamo $\tau = \nu_M$, $x(1) = \ln(g)$ in $u(1) = u$ dobimo:

$$\frac{d \ln(g)}{dt} = \frac{u(2)}{\nu_M} \cdot \left(\frac{e^{\ln(g)} \cdot u^2}{P} - 1 \right). \quad (14)$$

Pomen posameznih elementov diferencialne enačbe [7]:

$x(1)$ – stanje spremenljivke diferencialne enačbe, ki predstavlja naravni logaritem prevodnosti električnega obloka: $\ln(g)$;

$x(0)$ – začetna vrednost prevodnosti električnega obloka: $g(0)$;

$u(1)$ – napetost električnega obloka u ;

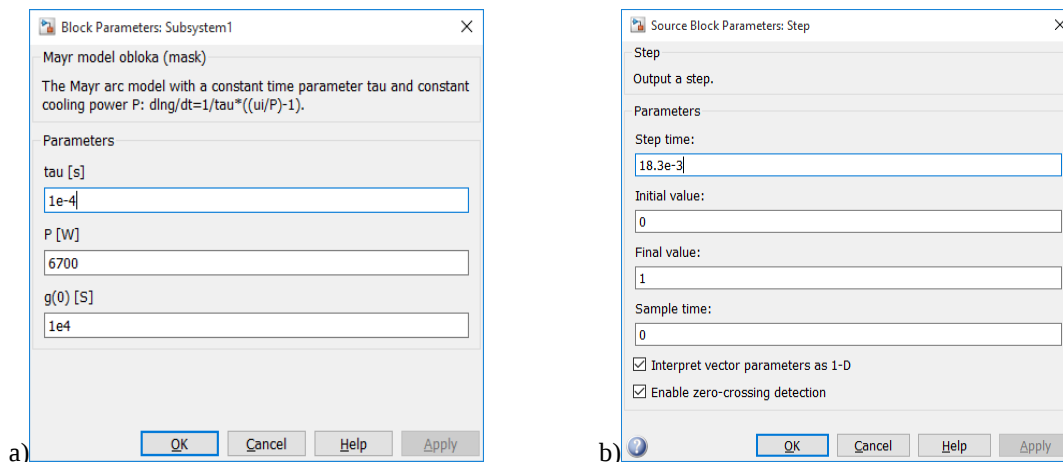
$u(2)$ – kontakti odklopnika: če je $u(2) = 0$ so kontakti zaprti, če je $u(2) = 1$ so kontakti odprti;

y – električni tok obloka i ;

τ – časovna konstanta modela ($\tau = \nu_M$);

P – moč hlajenja električnega obloka.

$\tau, P, g(0)$ in čas začetka ločevanja kontaktov so prosti parametri Mayrjevega modela, ki jih lahko uporabnik spreminja, kot je prikazano na slikah 3a in 3b.



Sl. 3: Nastavitev: a) prostih parametrov Mayrjevega modela in b) časa začetka ločevanja kontaktov

Če enačbo (14) primerjamo z enačbo (11) vidimo, da je v Mayrjev simulacijski model vstavljena Mayrjeva diferencialna enačba, ki je podana v tretjem poglavju.

4.1 Simulacija električnega obloka z ločilnim stikalom

Tukaj bomo predstavili simulacijo meritve električnega obloka z ločilnim stikalom. Začetni parametri simulacije so predstavljeni v tabeli 1.

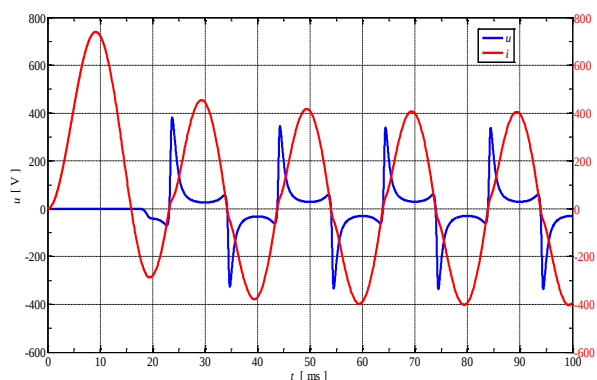
Tabela 1: Začetni parametri simulacije električnega obloka z ločilnim stikalom

f [Hz]	50	R_3 [Ω]	0,2
U [V]	$400 \cdot \sqrt{2}$	L_3 [H]	$3,473 \cdot 10^{-4}$
Faza [$^\circ$]	0	R_4 [Ω]	100
L_1 [H]	$3,52 \cdot 10^{-3}$	C [F]	$1,93 \cdot 10^{-9}$
R_2 [Ω]	0,2	τ [s]	$0,2995 \cdot 10^{-3}$
L_2 [H]	$3,473 \cdot 10^{-4}$	P [W]	12000
Step time [s]	$16 \cdot 10^{-3}$	$g(0)$ [S]	10^5
$\cos \varphi$	0,4	I [A]	186

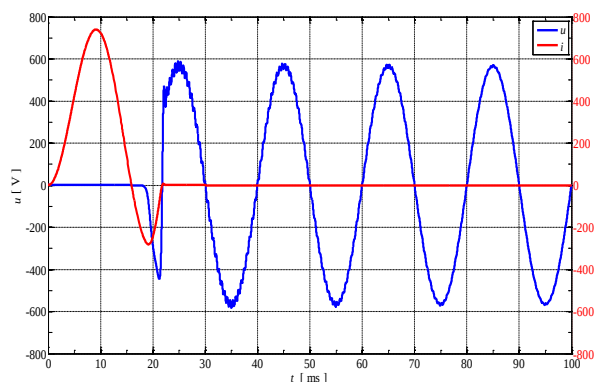
Slika 4 predstavlja simulacijo električnega obloka z ločilnim stikalom s podatki iz tabele 1. Pri 16 ms se pojavi padec napetosti s koničasto obliko. Tok se nekoliko zmanjša, vendar teče nemoteno naprej preko vzpostavljenega električnega obloka. Padec napetosti na električnem obloku se zmanjša in obdrži konstantno vrednost. Električni tok ima karakteristično obliko, še posebej pri prehodu toka skozi nič. Kot vidimo, ni prišlo do prekinitve električnega toka in s tem pogasitve električnega obloka.

Spremenili smo moč ohlajanja P ($P = 100000$ W), ostali podatki so isti kot v tabeli 1. Sprememba moči ohlajanja obloka P fizikalno pomeni odvajanje toplote iz obloka. V tem primeru je vrednost P večja, kot je to bilo v prvi simulaciji, posledica tega pa je, da se tok

prekine po prvem prehodu skozi naravno ničlo. Na sl. 5 vidimo, da se pri 17 ms pojavi prehodni pojav, kar pomeni, da se je proces prekinjanja električnega toka pričel. Pojavi se padec napetosti, tok ugasne. Padec napetosti na električnem obloku se povečuje in dobi sinusno obliko.

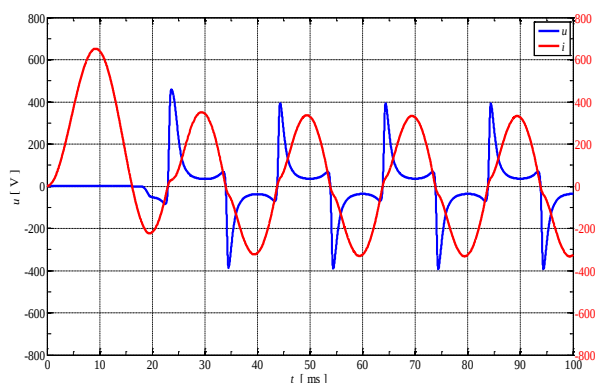


Sl. 4: Simulacija električnega obloka z ločilnim stikalom

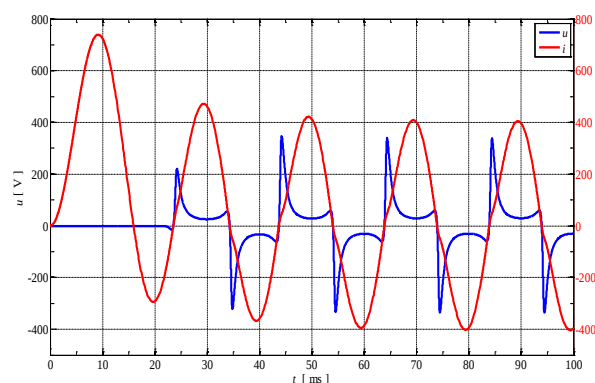


Sl. 5: Simulacija električnega obloka z ločilnim stikalom pri spremenjeni vrednosti P

Spremenili smo L_3 ($L_3 = 1 \cdot 10^{-3}$ H), ostali podatki so isti kot v tabeli 1. Sprememba induktivnosti fizikalno pomeni zaostajanje toka za napetostjo. V tem primeru je induktivnost večja kot v prvi simulaciji. Iz slike 6 se vidi, da ima tok obliko popačenega sinusa, posebej pri prehodu toka skozi nič. Ni prišlo do prekinitve električnega toka in s tem pogasitve električnega obloka. V primerjavi s prvo simulacijo primera je sprememba pri padcu napetosti na obloku, in sicer ima večjo vrednost. Oblika se ni spremenila.



Sl. 6: Simulacija električnega obloka z ločilnim stikalom pri spremenjeni vrednosti L



Sl. 7: Simulacija električnega obloka z ločilnim stikalom pri spremenjenem času začetka ločevanja kontaktov

Slika 7 prikazuje odziv, ko je spremenjen čas začetka ločevanja kontaktov (Step time = $20 \cdot 10^{-3}$ s). Spreminjanje začetka ločevanja kontaktov fizikalno pomeni, kdaj bo prišlo do pojava padca napetosti na obloku. V tem primeru je vrednost časa začetka ločevanja kontaktov večja in vidimo, da se je proces ločevanja kontaktov začel pozneje in da ni prišlo do

prekinitve toka. Iz slike 7 se vidi, da se je vrednost padca napetosti na kontaktu spremenila (je manjši). Pri 25 ms se je pričel proces prekinjanja toka. Do prekinitve toka ni prišlo. Padec napetosti na obloku ima karakteristično koničasto obliko.

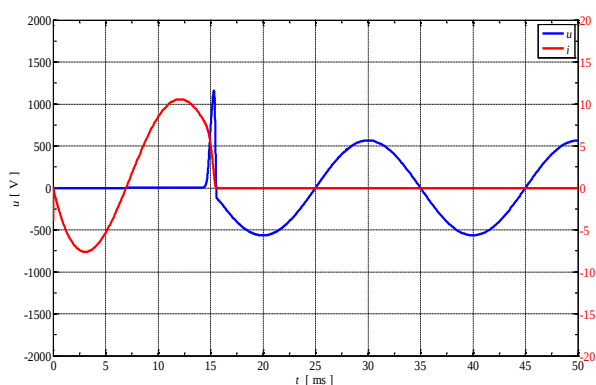
4.2 Simulacija električnega obloka z odklopnikom pri malih tokih

Tukaj bomo predstavili simulacijo električnega obloka z odklopnikom pri malih tokih. Začetni parametri simulacije so predstavljeni v tabeli 2.

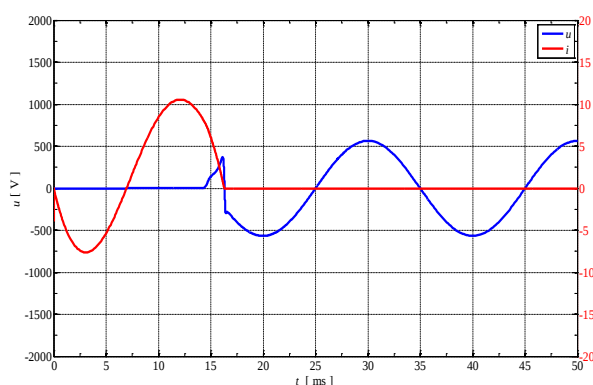
Tabela 2: Začetni parametri simulacije električnega obloka z odklopnikom pri malih tokih

f [Hz]	50	R_3 [Ω]	42,576
U [V]	$400 \cdot \sqrt{2}$	L_3 [H]	0,102
Faza [$^\circ$]	-90	R_4 [Ω]	100
L_1 [H]	$3,52 \cdot 10^{-3}$	C [F]	$1,93 \cdot 10^{-9}$
R_2 [Ω]	42,576	τ [s]	$1 \cdot 10^{-4}$
L_2 [H]	0,102	P [W]	6700
Step time [s]	$13 \cdot 10^{-3}$	$g(0)$ [S]	10^6
$\cos \varphi$	0,8	I [A]	11,18

Slika 8 prikazuje simulacijo električnega obloka z odklopnikom pri malih tokih s podatki iz tabele 2. Padec napetosti se pojavi po 13 ms in ima koničasto obliko z veliko vrednostjo, ki preide v sinusno obliko in obdrži konstantno vrednost. Tok se prekine po prvem prehodu skozi nič.



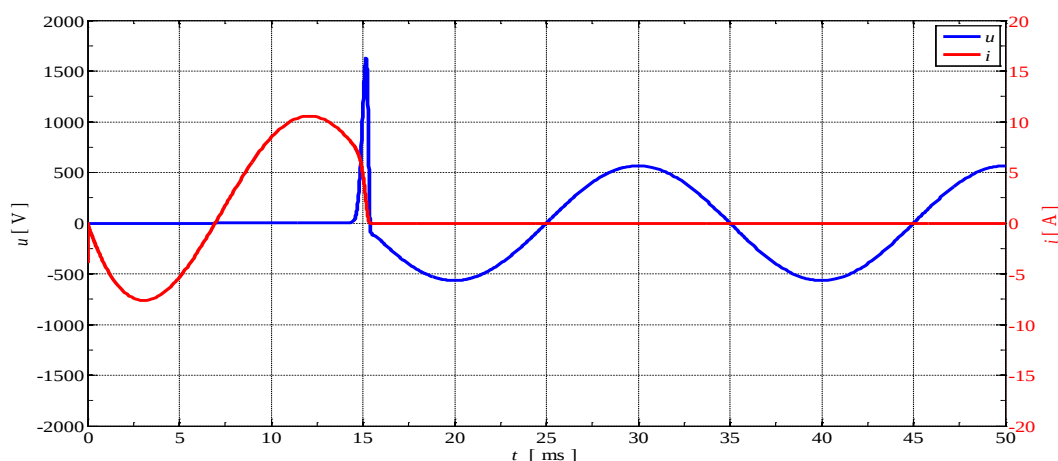
Sl. 8: Simulacija električnega obloka z odklopnikom



Sl. 9: Simulacija električnega obloka z odklopnikom pri spremenjeni vrednosti P

Slika 9 prikazuje odziv pri spremenjeni moči ohlajevanja obloka P ($P = 1000$ W), ostali podatki so kot v tabeli 2. Sprememba moči ohlajanja obloka P fizikalno pomeni odvajanje toplote iz obloka. V tem primeru je vrednost manjša, kot v prvi simulaciji, za prekinitve toka je bil potreben daljši čas. Prisoten je manjši prehodni pojav pri padcu napetosti, kot je pri $P = 6700$ W. Po prehodnem pojavu ima napetost sinusno obliko.

Slika 10 prikazuje odziv pri spremenjeni moči ohlajevanja obloka P ($P = 15000 \text{ W}$), ostali podatki so enaki kot v tabeli 2. V tem primeru je vrednost večja, kot v prvi simulaciji, tok se je prej prekinil, prehodni pojav v padcu napetosti je večji. Tok se prekine po prvem prehodu skozi nič. Napetost ima na začetku izraženo koničasto obliko z veliko vrednostjo, ki preide v sinusno obliko in se ji vrednost zmanjša, ter ostane konstantna. To se zgodi zaradi velike vrednosti moči ohlajevanja obloka.

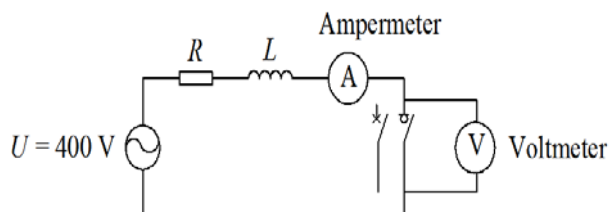


Sl. 10: Simulacija električnega obloka z odklopnikom pri spremenjeni vrednosti P

5. PRESKUŠANJE IN MERITVE OBLOKA

Za oceno simulacijskih rezultatov so narejene meritve električnega obloka na realnem modelu ločilnega stikala in odklopnika. Meritev električnega obloka smo izvajali v elektroenergetskem laboratoriju ICEM-TC. Lokacija laboratorija je električno idealna, saj je v neposredni bližini hidroelektrarne Mariborski otok in le nekaj sto metrov oddaljena od razdelilne transformatorske postaje Pekre, z izjemno veliko kratkostično močjo. Le-ta je pogoj za preskuse, ki se opravljajo v močnostnem delu laboratorija [4].

Meritve so potekale tako, da smo sestavili tokokrog iz ohmskega in induktivnega bremena. Merilna shema (sl. 11) je sestavljena iz napajanja, merjenja (ločilno stikalo in odklopnik, sl. 13 in sl. 14), bremena (ohmsko in induktivno).



Sl. 11: Merilna shema

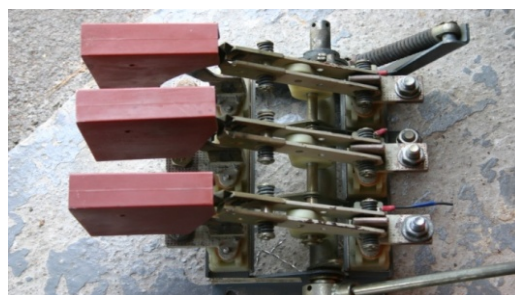


Sl. 12: Digitalni osciloskop Agilent Technologies DSO6054A [5]

S kombinacijo bremen se je nadaljeval faktor delavnosti $\cos \varphi$ in velikost električnega toka. Potekala je meritev pritisnjene napetosti, meritev padca napetosti na obloku in toka, ki ga je aparat prekinjal. Napetost je merjena preko diferenčnih sond, tok pa preko soupora. Celotni sistem meritev je standardni sistem, ki je vključen v merilno progo MP3. Rezultati meritev so bili vizualno prikazani na digitalnem osciloskopu Agilent Technologies DSO6054A (sl. 12), ter v podatkovni datoteki. Podatki so pozneje urejani v programskem orodju Matlab. V tabeli 3 so podatki uporabljenih merjencev.

Tabela 3: Podatki ločilnega stikala in odklopnika

Ločilno stikalo	
Tip	OL 04/403
U_n	660 V
I_n	400 A
$I_{th} (1 s)$	30 kA
I_{dyn}	70 kA
f	50 Hz
Serijska številka	18631/08-96
Proizvajalec	TSN, Maribor
Odklopnik	
Tip	SACE E3H 25
U_e	690 V
I_u	2500 A
I_{cw}	75 kA $\times$ 1 s
f	50 Hz
I_{cu}	85 kA
I_{cs}	85 kA
Proizvajalec	ABB



Sl. 13: Ločilno stikalo



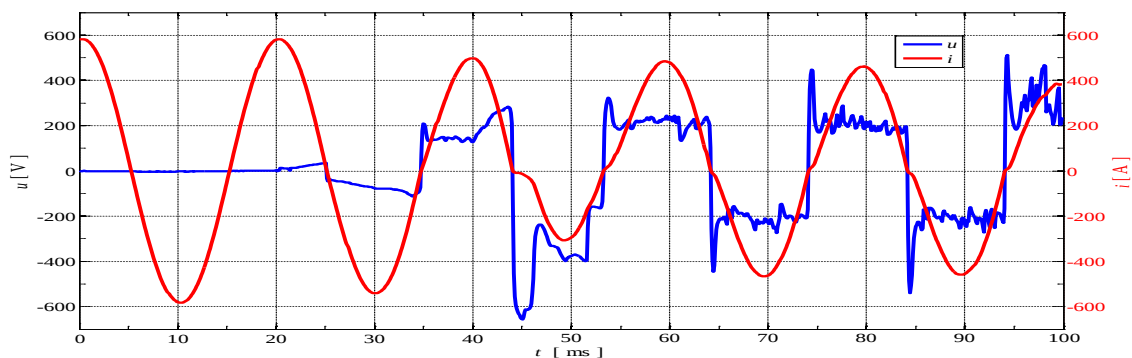
Sl. 14: Odklopnik

Ločilno stikalo deluje po principu gašenja električnega obloka z generiranjem plina v komori. Najbolj uporabni izvedbi sta s komoro v obliki cevi in izvedba s ploščato komoro. [2]. Pri meritvah smo uporabili verzijo prikazano na sl. 13. Pri odpiranju aparata se pomični glavni kontakti ločijo tok pa teče preko obločnih kontaktov. Pomični obločni kontakt se z veliko hitrostjo loči od fiksnega. V komori se pojavi električni oblok, ki se razvleče pod vplivom elektromagnetnega polja. Električni tok teče preko obloka. Zaradi učinka hlajenja ter aktivne deionizacije prostora v komori, oblok hitro ugasne. Glavni pomični kontakt se pri zapiranju sklene pred obločnim kontaktom, kar omogoča kratkostično vklopno zmogljivost [1].

Odklopnik je mehanski stikalni aparat, ki vklaplja, prevaja in izklaplja tok v normalnih obratovalnih pogojih, ter vklaplja, prevaja v določenem času in izklaplja tok v nenormalnih pogojih, kot je kratki stik [1]. Odklopnik, ki je uporabljen pri preskusu, je prikazan na sl. 14. Uporabljeni odklopnik je nizkonapetostni odklopnik, ki ima gasilne komore za hitro gašenje električnega obloka (zaprti sistem gašenja električnega obloka).

5.1 Preskus električnega obloka na ločilnem stikalu pri izrazitem induktivnem bremenu

Slika 15 predstavlja meritev električnega obloka na ločilnem stikalu pri izraziti induktivnosti in malem $\cos \varphi = 0,4$.

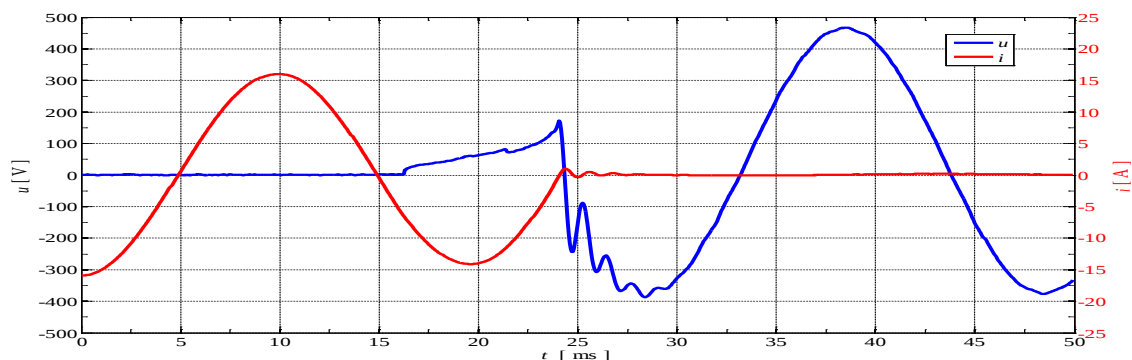


Sl. 15: Električni oblok na ločilnem stikalu in $\cos \varphi = 0,4$

Slika 15 prikazuje potek električnega toka (rdeča barva) v tokokrogu pretežno induktivnega značaja. Modra barva predstavlja padec napetosti na električnem obloku oziroma padec napetosti, merjen na kontaktu ločilnega stikala. Pri 20 ms se pojavi padec napetosti, kar pomeni, da se je proces prekinjanja električnega toka (kontakta sta se pričela oddaljevati) pričel. Tok se je nekoliko zmanjšal, vendar teče nemoteno naprej preko vzpostavljenega električnega obloka. Padec napetosti na električnem obloku se povečuje in ima karakteristično koničasto obliko. Tudi električni tok ima karakteristično obliko, še posebej pri prehodu toka skozi nič. Kot je razvidno iz slike, ni prišlo do prekinitev električnega toka in s tem pogasitve električnega obloka. Tokokrog je bil prekinjen s sinhronskim odklopnikom merilne proge laboratorija. Razlog za te razmere je visoka napetost, ki je na meji zmogljivosti aparata in močno induktivno breme v tokokrogu.

5.2 Preskus električnega obloka v odklopniku pri malem toku

Slika 16 predstavlja meritev električnega obloka v odklopniku pri malem toku 11,18 A in $\cos \varphi = 0,8$.



Sl. 16: Električni oblok v odklopniku pri malem toku in $\cos \varphi = 0,8$

Tudi pri prekinjanju malega toka v odklopniku so izraziti prehodni pojavi tako na toku kot na padcu napetosti na obloku. Do prekinitve toka je prišlo pri prvem naravnem prehodu toka skozi nič.

6. SKLEP

V članku je bila izvedena simulacija prekinitve električnega toka z uporabo Mayrjevega simulacijskega modela električnega obloka, ki je del programskega orodja Matlab–Simulink. V laboratoriju ICEM smo opravili preskuse in meritve prekinitve električnega toka oziroma gorenja električnega obloka na ločilnem stikalu in odklopniku. Nato smo izvedli primerjalno analizo med odzivi simulacij ter poskusov.

Odzivi simulacij so v zadovoljivih odstotkih podobni rezultatom poskusov in meritev v laboratoriju. Ker v laboratoriju v realnosti nismo mogli spreminjati parametrov električnega obloka smo le-te spreminjali pri simulacijskih izračunih na modelu električnega obloka. Spreminjali smo moč električnega obloka, kar pomeni intenzivnost ohlajanja. Pri povečani moči smo ugotovili da pride hitreje do prekinitve električnega toka in pogasitve električnega obloka, kar je skladno s teoretičnimi zaključki. Pri povečani induktivnosti v tokokrogu je opazno zmanjšanje toka in večja popačitev toka pri prehodu toka skozi naravno ničlo. Pri večkratnem povečanju induktivnosti ni prišlo do prekinitve električnega toka.

Iz spremembe parametrov pri manjših tokih v tokokrogu je razvidno, da je pri povečani časovni konstanti obloka večja popačitev toka in padca napetosti na obloku. Zelo mala prevodnost ne vpliva dosti na odziv simulacijskega izračuna. Zmanjšana upornost je vplivala na amplitudo toka na obloku. Pri zmanjšanem času ločevanja kontaktov ima oblika prehodnega pojava padca napetosti na obloku izraženo konico.

Glavna značilnost uporabljenega modela električnega obloka je v tem, da ne zajema vseh fizikalnih dogajanj procesa prekinjanja električnega toka. Zato je povsem razumljivo, da popolnega ujemanja z merjenimi vrednostmi ni. Če bi hoteli upoštevati fizikalne lastnosti električnega obloka bi bilo potrebno model nadgraditi. Trenutno že obstajajo kombinirani modeli in sicer Cassie–Mayr model ter dopolnjeni Cassiejev in dopolnjeni Mayrjev model.

Uporabljeni model vsebuje RLC vezje, s pomočjo katerega smo se čim bolj približali rešitvi diferencialne enačbe obloka, po drugi strani pa vemo, da je omenjena kombinacija elementov težje obvladljiva, še posebej pri simulacijskih izračunih.

Ne glede na zgoraj omenjene pomanjkljivosti modela, je ta model zelo uporaben za obravnavo osnovnih značilnosti prekinitve električnega toka. Zaradi tega priporočam uporabo tega modela, še posebej če ni možnosti za preskušanje v laboratoriju na realnih napravah. Ugodnost je tudi ta, da se pri simulacijskih izračunih ne obrabljajo električni kontakti pri še tolikokrat izvedeni simulaciji.

7. VIRI, LITERATURA

- [1] J. Pihler: Stikalne naprave elektroenergetskega sistema, Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor, 2003.
- [2] J. Ribič: Razvoj in analiza modela plinskega odvodnika, doktorska disertacija, Univerza v Mariboru, Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko, Maribor, 2011.
- [3] <http://www.icem-tc.si/icem.asp>
- [4] <http://sigma.octopart.com/191285/image/Agilent-MSO6052A.jpg>
- [5] P.H. Schavemaker, L. van der Sluis: The arc model blockset, Proceedings of the Second IASTED International Conference POWER AND ENERGY SYSTEMS (EuroPES), June 25-28, 2002, Crete, Greece.

NASLOV AVTORJEV

Mirza Sarajlić, mag. inž. el.

red. prof. dr. Jože Pihler, univ. dipl. inž. el.

doc. dr. Janez Ribič, univ. dipl. inž. el.

doc. dr. Peter Kitak, univ. dipl. inž. el.

Univerza v Mariboru, Fakulteta, za elektrotehniko, računalništvo in informatiko

Smetanova ulica 17, 2000 Maribor, Slovenija

Tel: + 386 2 220 70 86 + 386 2 220 70 61

Elektronska pošta: mirza.sarajlic@um.si joze.pihler@um.si janez.ribic@um.si
 peter.kitak@um.si