

Symulator obwodów elektrycznych II

1. Wstęp

W tej aktualizacji zostaną wprowadzone usprawnienia w obliczeniach oraz zostanie dodany nowy element obwodowy – idealne źródło prądowe. Do kontynuacji projektu zostaną wykorzystane te same narzędzia co w 1 części.

2. Część teoretyczna

Usprawnienia w obliczeniach wydają się konieczne, ponieważ wraz z pojawieniem się nowych elementów obwodowych pojawiłaby się znaczna ilość nadmiarowych równań definicyjnych i niewiadomych, których wartość jest znana bez obliczeń. Nadmiarowość ta obecnie wpływa na czas:

- wyboru niezależnych liniowo oczek – występuje o 1 kolumna więcej niż potrzeba dla każdej zerowej rezystancji,
- obliczenia równania macierzowego - w przypadku rezystancji zerowej równanie definicyjne i niewiadomą spadku napięcia można pominąć, ponieważ bez obliczeń wiadome jest, że jej wartość będzie zerowa: $-I * R + U = 0 \Rightarrow U = 0$, dla $R = 0$.

Po zaimplementowaniu powyższej zmiany, każda niezerowa rezystancja w obwodzie będzie wprowadzać do równania macierzowego jedną niewiadomą – spadek napięcia oraz jedno równanie definicyjne. Źródło napięciowe nie wprowadza ani nowych niewiadomych ani dodatkowych równań.

Wprowadzenie idealnego źródła prądowego:

- źródło prądowe będzie wymuszać przepływ prądu w gałęzi, w której się znajduje o wartości równej wartości źródła prądowego; kierunek prądu jest zgodny z kierunkiem strzałki symbolu elementu,

- dochodzi nowa niewiadoma - napięcie na źródle prądowym, które trzeba będzie uwzględnić w równaniach NPK,
- źródło prądowe o wartości 0 jest równoznaczne z przerwą w obwodzie, podczas gdy źródło napięciowe lub rezystancja o wartości 0 były równoznaczne z ich brakiem w danej gałęzi; zatem użytkownik będzie musiał zadeklarować się czy w danej gałęzi występuje źródło prądowe,
- każde źródło prądowe będzie rozwiązywać jedną niewiadomą (prąd gałęziowy) oraz dodawać nową niewiadomą napięcia źródła prądowego; rozwiązanie niewiadomej prądu gałęziowego odbywać się będzie poprzez równanie definicyjne źródła prądowego:

$$I_x = I_{Jx}$$

I_{Jx} – wartość źródła prądowego w gałęzi x

I_x – prąd w gałęzi x

3. Opis zmian programu

Wprowadzono 2 nowe pola do klasy „galaz” – IZP i J. Pierwsze z nich będzie zawierać informację prawda/fałsz o obecności źródła prądowego w danej gałęzi. Do drugiego pola wprowadzana będzie wartość idealnego źródła prądowego o ile istnieje w danej gałęzi. Wymagało to modyfikacji konstruktora klasy galaz, metody „dodaj_galaz” oraz dodania obsługi wprowadzania tych danych w konstruktorze klasy obwod.

W programie przyjęto następujące strzałkowanie idealnych źródeł prądowych:

- strzałka symbolu źródła prądowego wskazuje węzeł2 gałęzi (kierunek prądu źródła jest zgodny z kierunkiem prądu gałęzi)
- strzałka napięcia źródła prądowego wskazuje węzeł2 gałęzi

Stworzono listy R_zero i J_zero, w których przechowywana jest informacja, w których gałęziach nie występuje rezystancja i źródła prądowe. Wartości w liście źródeł prądowych zostały zwiększone o liczbę gałęzi. Zadaniem tych list będzie wskazywanie kolumn macierzy tym_A, które zostaną w pewnym miejscu programu usunięte. Dodano również listy R_index i J_index, które wskazują na gałęzie zawierające te elementy obwodowe i zostaną użyte do wskazywania (indeksowania) wyników równania macierzowego oraz do tworzenia równań definicyjnych R i J. Informację o liczbie gałęzi z rezystancjami i źródłami prądowymi umieszczono do zmiennych R_len i J_len. Ułatwiają one ustalenie, które wiersze/kolumny przypadają na który typ równań.

W związku z usprawnieniami zmodyfikowano wielkość macierzy A, wektorów B i wynik do: liczba gałęzi + liczba niezerowych rezystancji + liczba źródeł prądowych. Wymiary macierzy połączeniowej P pozostały niezmiennione. Algorytm wyznaczania oczek oraz wprowadzenie równań PPK nie zostały zmodyfikowane.

Zwiększono dwukrotnie liczbę kolumn w macierzy tym_A i wprowadzono do nich napięcia na źródłach prądowych. Następnie usunięto z tym_A kolumny odpowiadające za spadki napięcia na zerowych rezystancjach oraz napięcia na źródłach prądowych, których nie ma w obwodzie (w danej gałęzi pole IZP jest równe False). Według pomiarów z metodą time.perf_counter() przez usunięcie nadmiarowych kolumn z tym_A skrócono czas wykonania metody oblicz() dla rozbudowanego obwodu o połowę. Po wyznaczeniu

niezależnych liniowo wierszy zredukowanej macierzy tym_A wprowadzono wyznaczone wiersze tym_A i tym_B do macierzy A i B w miejsce równań NPK, tak żeby kolumny tym_A odpowiadały spadkom napięcia na rezystancjach i napięciom źródeł prądowych.

Do równań definicyjnych wprowadzono tylko tyle równań Ohma ile jest niezerowych rezystancji oraz tyle przyrównań prądu gałęziowego do wartości źródła prądowego gałęzi ile jest źródeł prądowych w obwodzie. W ten sposób wprowadzono do macierzy A i B tyle równań ile jest niewiadomych (kolumn macierzy A).

Na końcu programu umieszczono do 3 list obliczone parametry tj. prądy gałęziowe, spadki napięcia oraz napięcia na źródłach prądowych.

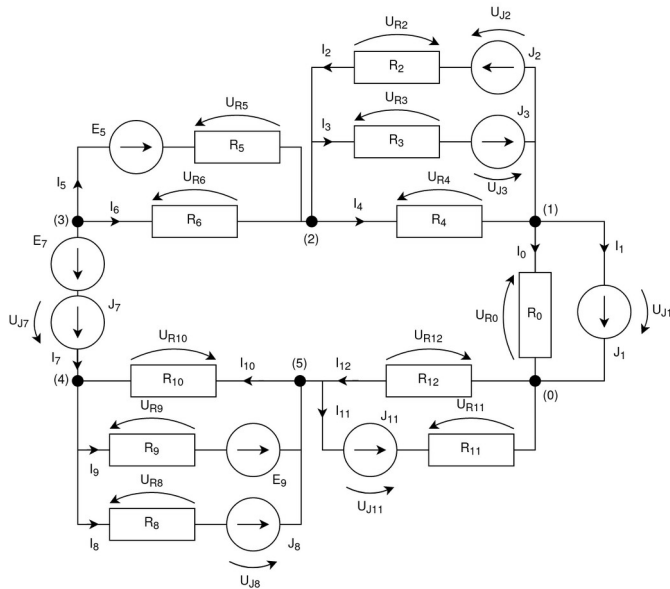
Rozważono usprawnienie mające na celu pozbycie się równań definicyjnych źródeł prądowych, usuwając niewiadomą (znaną wartość) prądu gałęzi, w której znajduje się źródło i bezpośrednio dodanie wartości w równaniu PPK do macierzy B. Jednak podejście to powodowałoby problem w sytuacji:

- obwodu z pojedynczą gałęzią połączoną do samej siebie – wtedy w obwodzie nie pojawi się ani jedno równanie PPK i informacja o źródle prądowym gałęzi zostanie utracona,
- kiedy w obwodzie występują gałęzie połączone do samych siebie w pojedynczym węźle; w tej sytuacji w macierzy połączeniowej występuje 0 dla tej gałęzi (ponieważ prąd wpływa i wypływa) co powodowałoby brak wprowadzenia informacji o źródle prądowym w równaniu PPK

Jedynym ograniczeniem na które użytkownik musi zwrócić uwagę, jest brak możliwości wprowadzenia źródła prądowego do wszystkich gałęzi połączonych do wspólnego węzła. Najprostszym przykładem jest brak możliwości połączenia szeregowo 2 gałęzi zawierających źródła prądowe, nawet jeżeli wartości źródeł są sobie równe. W tej sytuacji kiedy prądy wpływające równałyby się prądom wypływającym, pojawiłoby się równanie tożsamościowe $0 = 0$ w równaniu PPK węzła a kiedy nie zachodziłaby taka równość równanie sprzeczne.

4. Przykłady

1. $E_5 = E_7 = E_9 = 10[V]$, $J_1 = 1[A]$, $J_2 = 2[A]$, $J_3 = 3[A]$, $J_7 = 7[A]$, $J_8 = 8[A]$, $J_{11} = 11[A]$
 $R_0 = R_2 = R_3 = R_4 = R_5 = R_6 = R_8 = R_9 = R_{10} = R_{11} = R_{12} = 10[\Omega]$, węzeł masy (0)



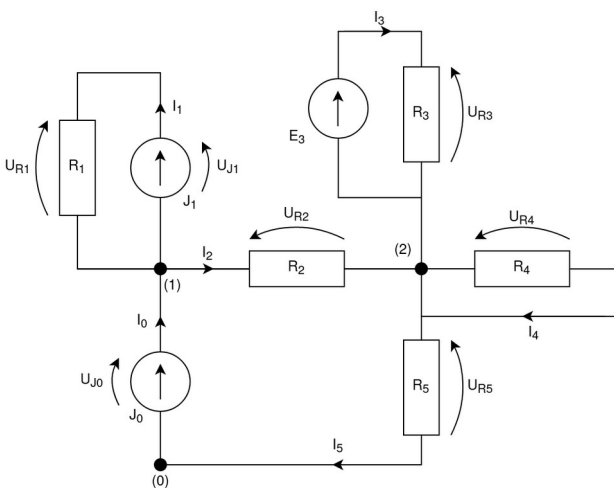
```

I0 = -7.999999999999999 [A]
I1 = 0.9999999999999998 [A]
I2 = 2.000000000000000 [A]
I3 = 2.999999999999999 [A]
I4 = -8.0 [A]
I5 = -2.999999999999999 [A]
I6 = -3.999999999999999 [A]
I7 = 6.999999999999999 [A]
I8 = 8.0 [A]
I9 = 1.7763568394002506e-16 [A]
I10 = 0.9999999999999998 [A]
I11 = 11.0 [A]
I12 = 4.000000000000000 [A]
Ur0 = -79.99999999999999 [V]
Ur2 = 20.00000000000000 [V]
Ur3 = 29.99999999999999 [V]
Ur4 = -80.0 [V]
Ur5 = -29.99999999999999 [V]
Ur6 = -39.99999999999999 [V]
Ur8 = 80.0 [V]
Ur9 = 1.7763568394002506e-15 [V]
Ur10 = 9.999999999999998 [V]
Ur11 = 110.0 [V]
Ur12 = 40.00000000000000 [V]
Uj1 = 79.99999999999999 [V]
Uj2 = -59.99999999999999 [V]
Uj3 = 109.99999999999999 [V]
Uj7 = 139.99999999999999 [V]
Uj8 = 90.0 [V]
Uj11 = 150.00000000000000 [V]

```

--- Operating Point ---		
V(1) :	-80	voltage
V(n001) :	-190	voltage
V(3) :	-200	voltage
V(4) :	-50	voltage
V(n004) :	-60	voltage
V(5) :	-40	voltage
V(n005) :	-50	voltage
V(n002) :	-140	voltage
V(n003) :	-190	voltage
V(n007) :	-130	voltage
V(n006) :	110	voltage
V(2) :	-160	voltage
I(I12) :	11	device_current
I(I9) :	8	device_current
I(I8) :	7	device_current
I(I4) :	3	device_current
I(I3) :	2	device_current
I(I2) :	1	device_current
I(I13) :	4	device_current
I(R12) :	-11	device_current
I(R11) :	1	device_current
I(R10) :	-7.10543e-016	device_current
I(R9) :	-8	device_current
I(R7) :	4	device_current
I(R6) :	3	device_current
I(R5) :	8	device_current
I(R4) :	-3	device_current
I(R3) :	2	device_current
I(R1) :	-8	device_current
I(V10) :	-8.88178e-016	device_current
I(V8) :	-7	device_current
I(V6) :	3	device_current

2. $E_3 = 1 [V]$, $J_0 = 5 [A]$, $J_1 = 1[A]$
 $R_1 = 1[\Omega]$, $R_2 = 2[\Omega]$, $R_3 = 3[\Omega]$, $R_4 = 4[\Omega]$, $R_5 = 5[\Omega]$, węzeł masy (0)



```

I0 = 4.999999999999999 [A]
I1 = 1.0 [A]
I2 = 4.999999999999998 [A]
I3 = 0.3333333333333333 [A]
I4 = -0.0 [A]
I5 = 4.999999999999999 [A]
Ur1 = 1.0 [V]
Ur2 = 9.999999999999996 [V]
Ur3 = 1.0 [V]
Ur4 = 0.0 [V]
Ur5 = 24.999999999999996 [V]
Uj0 = 34.99999999999999 [V]
Uj1 = 1.0 [V]

```

--- Operating Point ---		
V(1) :	35	voltage
V(n002) :	36	voltage
V(2) :	25	voltage
V(n001) :	26	voltage
I(I2) :	1	device_current
I(I1) :	5	device_current
I(R6) :	5	device_current
I(R4) :	0.333333	device_current
I(R3) :	-5	device_current
I(R2) :	1	device_current
I(V4) :	-0.333333	device_current

5.Podsumowanie

Udało się zmniejszyć liczbę operacji podczas sprawdzania liniowej niezależności wierszy macierzy tym_A oraz przy rozwiązywaniu równania macierzowego co skróciło czas wykonywania programu. W tej chwili zwracane są w terminalu spadki napięcia tylko na niezerowych rezystancjach oraz napięcia na źródłach prądowych, które występują w obwodzie, co ułatwia odczyt obliczonych danych. Dodano nowy element do symulatora – idealne źródło prądowe i zweryfikowano obecną wersję programu pod różnym kątem wykonując przykłady.