

## Ілюстративні приклади реалізації методів аналізу статичних станів об'єктів в грід-середовищі

### 1. Модель закріпленої однорідної балки з одним ступенем свободи

Лівий кінець балки закріплений нерухомо, правий може рухатися вільно (рис.1). Поточне положення балки визначається розподілом розрізів по її довжині  $u=u(x,t)$ . Чисельні параметри системи: довжина балки  $L=1,0$  м, переріз балки  $S=0,01$  м<sup>2</sup>, модуль пружності матеріалу  $E=2\cdot 10^{11}$  Па, густина матеріалу  $\rho=7\cdot 10^3$  кг·м<sup>-3</sup>, коефіцієнт Пуассона  $\mu=0,3$ . До правого кінця балки прикладена постійна поздовжня сила  $F=200$  Н.

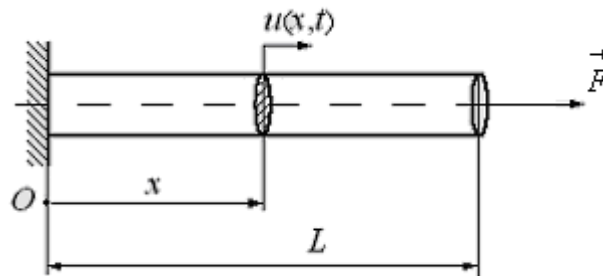


Рис. 1 – Схема балки.

За допомогою методу електромеханічних аналогій, отримано еквівалентну електричну схему заміщення однорідної закріпленої балки із одним ступенем свободи, яка представлена на рис. 2.

Для даної схеми були отримані наступні номінали елементів:  $C1..C99 = -0.11667$  Ф;  $C100..C199 = 0.7$  Ф;  $L1..L99 = 5E-12$  Гн;  $L100 = 5E-12$  Гн;  $J1 = -200$  А.

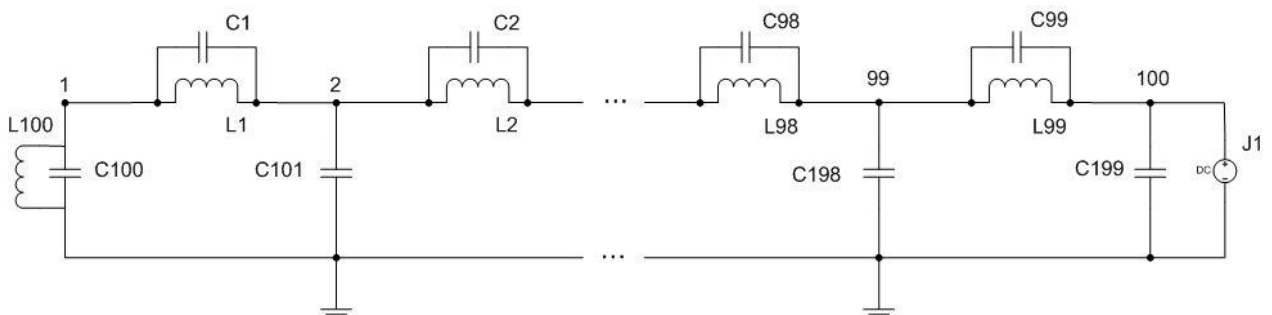


Рис. 2 – Еквівалентна схема заміщення балки.

Маршрут, який був складений для цієї задачі, представлено на рис. 3.

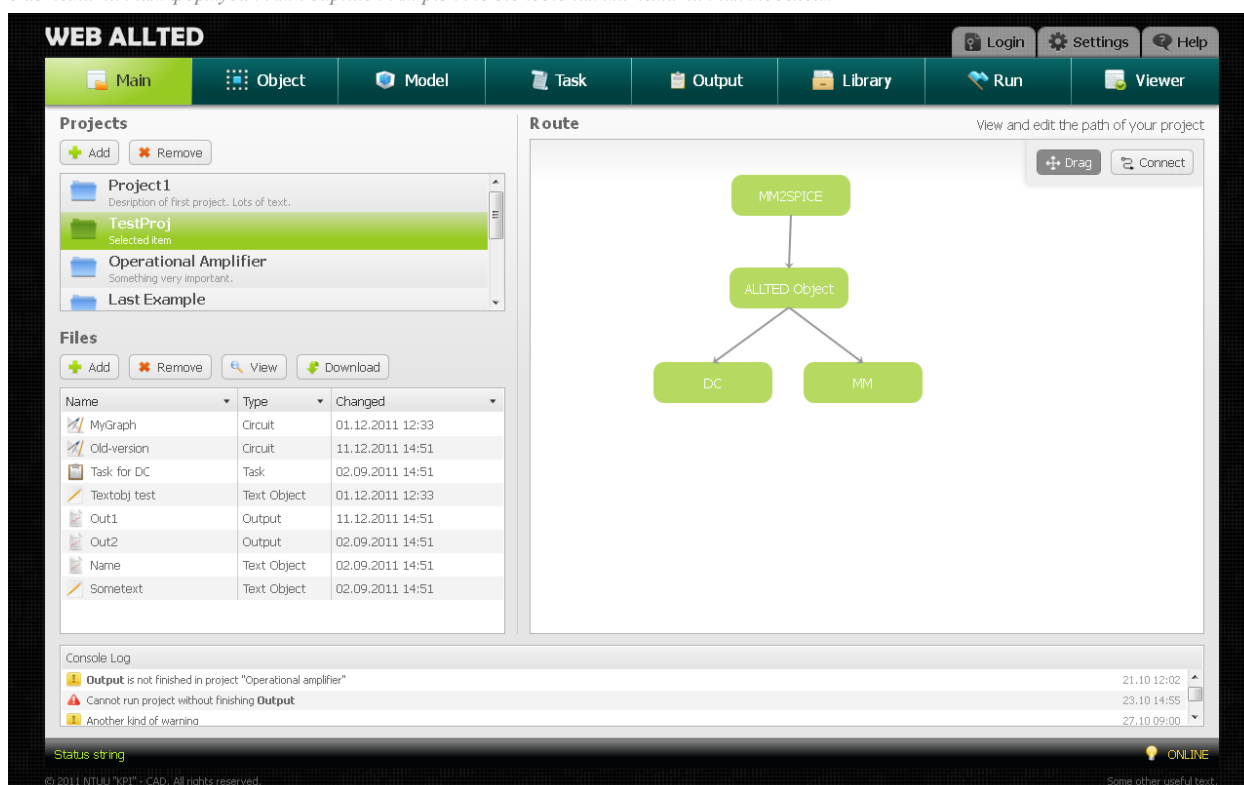


Рис. 3 – Маршрут перетворення механічної системи.

За допомогою ґрід-сервісу розрахунку статичного стану була отримана інформація про початковий стан перерізів балки (у середньому та кінцевому вузлах) під впливом заданої сили, що є стартовими умовами для виконання наступних проектних процедур (наприклад, частотного аналізу), а також інформація про математичну модель у розширеному однорідному координатному базисі, що використовується у пакеті NetALLTED, у якості базового.

Кінцевий файл завдання на моделювання має вигляд:

```
Task
Option 47, 48;
&&
Object
Circuit Sterzhen;
J1(100,0)=-100;
C1(2,1)=-0.1166666667;          C100(1,0)=0.5833;              L1(2,1)=5E-12;
C2(3,2)=-0.1166666667;          C101(2,0)=0.7;                L2(3,2)=5E-12;
C3(4,3)=-0.1166666667;          C102(3,0)=0.7;                L3(4,3)=5E-12;
C4(5,4)=-0.1166666667;          C103(4,0)=0.7;                L4(5,4)=5E-12;
C5(6,5)=-0.1166666667;          C104(5,0)=0.7;                L5(6,5)=5E-12;
C6(7,6)=-0.1166666667;          C105(6,0)=0.7;                L6(7,6)=5E-12;
C7(8,7)=-0.1166666667;          C106(7,0)=0.7;                L7(8,7)=5E-12;
C8(9,8)=-0.1166666667;          C107(8,0)=0.7;                L8(9,8)=5E-12;
C9(10,9)=-0.1166666667;         C108(9,0)=0.7;                L9(10,9)=5E-12;
C10(11,10)=-0.1166666667;        C109(10,0)=0.7;               L10(11,10)=5E-12;
C11(12,11)=-0.1166666667;        C110(11,0)=0.7;               L11(12,11)=5E-12;
C12(13,12)=-0.1166666667;        C111(12,0)=0.7;               L12(13,12)=5E-12;
C13(14,13)=-0.1166666667;        C112(13,0)=0.7;               L13(14,13)=5E-12;
C14(15,14)=-0.1166666667;        C113(14,0)=0.7;               L14(15,14)=5E-12;
```

C15 (16, 15)=-0.1166666667;	C114 (15, 0)=0.7;	L15 (16, 15)=5E-12;
C16 (17, 16)=-0.1166666667;	C115 (16, 0)=0.7;	L16 (17, 16)=5E-12;
C17 (18, 17)=-0.1166666667;	C116 (17, 0)=0.7;	L17 (18, 17)=5E-12;
C18 (19, 18)=-0.1166666667;	C117 (18, 0)=0.7;	L18 (19, 18)=5E-12;
C19 (20, 19)=-0.1166666667;	C118 (19, 0)=0.7;	L19 (20, 19)=5E-12;
C20 (21, 20)=-0.1166666667;	C119 (20, 0)=0.7;	L20 (21, 20)=5E-12;
C21 (22, 21)=-0.1166666667;	C120 (21, 0)=0.7;	L21 (22, 21)=5E-12;
C22 (23, 22)=-0.1166666667;	C121 (22, 0)=0.7;	L22 (23, 22)=5E-12;
C23 (24, 23)=-0.1166666667;	C122 (23, 0)=0.7;	L23 (24, 23)=5E-12;
C24 (25, 24)=-0.1166666667;	C123 (24, 0)=0.7;	L24 (25, 24)=5E-12;
C25 (26, 25)=-0.1166666667;	C124 (25, 0)=0.7;	L25 (26, 25)=5E-12;
C26 (27, 26)=-0.1166666667;	C125 (26, 0)=0.7;	L26 (27, 26)=5E-12;
C27 (28, 27)=-0.1166666667;	C126 (27, 0)=0.7;	L27 (28, 27)=5E-12;
C28 (29, 28)=-0.1166666667;	C127 (28, 0)=0.7;	L28 (29, 28)=5E-12;
C29 (30, 29)=-0.1166666667;	C128 (29, 0)=0.7;	L29 (30, 29)=5E-12;
C30 (31, 30)=-0.1166666667;	C129 (30, 0)=0.7;	L30 (31, 30)=5E-12;
C31 (32, 31)=-0.1166666667;	C130 (31, 0)=0.7;	L31 (32, 31)=5E-12;
C32 (33, 32)=-0.1166666667;	C131 (32, 0)=0.7;	L32 (33, 32)=5E-12;
C33 (34, 33)=-0.1166666667;	C132 (33, 0)=0.7;	L33 (34, 33)=5E-12;
C34 (35, 34)=-0.1166666667;	C133 (34, 0)=0.7;	L34 (35, 34)=5E-12;
C35 (36, 35)=-0.1166666667;	C134 (35, 0)=0.7;	L35 (36, 35)=5E-12;
C36 (37, 36)=-0.1166666667;	C135 (36, 0)=0.7;	L36 (37, 36)=5E-12;
C37 (38, 37)=-0.1166666667;	C136 (37, 0)=0.7;	L37 (38, 37)=5E-12;
C38 (39, 38)=-0.1166666667;	C137 (38, 0)=0.7;	L38 (39, 38)=5E-12;
C39 (40, 39)=-0.1166666667;	C138 (39, 0)=0.7;	L39 (40, 39)=5E-12;
C40 (41, 40)=-0.1166666667;	C139 (40, 0)=0.7;	L40 (41, 40)=5E-12;
C41 (42, 41)=-0.1166666667;	C140 (41, 0)=0.7;	L41 (42, 41)=5E-12;
C42 (43, 42)=-0.1166666667;	C141 (42, 0)=0.7;	L42 (43, 42)=5E-12;
C43 (44, 43)=-0.1166666667;	C142 (43, 0)=0.7;	L43 (44, 43)=5E-12;
C44 (45, 44)=-0.1166666667;	C143 (44, 0)=0.7;	L44 (45, 44)=5E-12;
C45 (46, 45)=-0.1166666667;	C144 (45, 0)=0.7;	L45 (46, 45)=5E-12;
C46 (47, 46)=-0.1166666667;	C145 (46, 0)=0.7;	L46 (47, 46)=5E-12;
C47 (48, 47)=-0.1166666667;	C146 (47, 0)=0.7;	L47 (48, 47)=5E-12;
C48 (49, 48)=-0.1166666667;	C147 (48, 0)=0.7;	L48 (49, 48)=5E-12;
C49 (50, 49)=-0.1166666667;	C148 (49, 0)=0.7;	L49 (50, 49)=5E-12;
C50 (51, 50)=-0.1166666667;	C149 (50, 0)=0.7;	L50 (51, 50)=5E-12;
C51 (52, 51)=-0.1166666667;	C150 (51, 0)=0.7;	L51 (52, 51)=5E-12;
C52 (53, 52)=-0.1166666667;	C151 (52, 0)=0.7;	L52 (53, 52)=5E-12;
C53 (54, 53)=-0.1166666667;	C152 (53, 0)=0.7;	L53 (54, 53)=5E-12;
C54 (55, 54)=-0.1166666667;	C153 (54, 0)=0.7;	L54 (55, 54)=5E-12;
C55 (56, 55)=-0.1166666667;	C154 (55, 0)=0.7;	L55 (56, 55)=5E-12;
C56 (57, 56)=-0.1166666667;	C155 (56, 0)=0.7;	L56 (57, 56)=5E-12;
C57 (58, 57)=-0.1166666667;	C156 (57, 0)=0.7;	L57 (58, 57)=5E-12;
C58 (59, 58)=-0.1166666667;	C157 (58, 0)=0.7;	L58 (59, 58)=5E-12;
C59 (60, 59)=-0.1166666667;	C158 (59, 0)=0.7;	L59 (60, 59)=5E-12;
C60 (61, 60)=-0.1166666667;	C159 (60, 0)=0.7;	L60 (61, 60)=5E-12;
C61 (62, 61)=-0.1166666667;	C160 (61, 0)=0.7;	L61 (62, 61)=5E-12;
C62 (63, 62)=-0.1166666667;	C161 (62, 0)=0.7;	L62 (63, 62)=5E-12;
C63 (64, 63)=-0.1166666667;	C162 (63, 0)=0.7;	L63 (64, 63)=5E-12;
C64 (65, 64)=-0.1166666667;	C163 (64, 0)=0.7;	L64 (65, 64)=5E-12;
C65 (66, 65)=-0.1166666667;	C164 (65, 0)=0.7;	L65 (66, 65)=5E-12;
C66 (67, 66)=-0.1166666667;	C165 (66, 0)=0.7;	L66 (67, 66)=5E-12;
C67 (68, 67)=-0.1166666667;	C166 (67, 0)=0.7;	L67 (68, 67)=5E-12;
C68 (69, 68)=-0.1166666667;	C167 (68, 0)=0.7;	L68 (69, 68)=5E-12;
C69 (70, 69)=-0.1166666667;	C168 (69, 0)=0.7;	L69 (70, 69)=5E-12;
C70 (71, 70)=-0.1166666667;	C169 (70, 0)=0.7;	L70 (71, 70)=5E-12;
C71 (72, 71)=-0.1166666667;	C170 (71, 0)=0.7;	L71 (72, 71)=5E-12;
C72 (73, 72)=-0.1166666667;	C171 (72, 0)=0.7;	L72 (73, 72)=5E-12;
C73 (74, 73)=-0.1166666667;	C172 (73, 0)=0.7;	L73 (74, 73)=5E-12;
C74 (75, 74)=-0.1166666667;	C173 (74, 0)=0.7;	L74 (75, 74)=5E-12;
C75 (76, 75)=-0.1166666667;	C174 (75, 0)=0.7;	L75 (76, 75)=5E-12;
C76 (77, 76)=-0.1166666667;	C175 (76, 0)=0.7;	L76 (77, 76)=5E-12;
C77 (78, 77)=-0.1166666667;	C176 (77, 0)=0.7;	L77 (78, 77)=5E-12;
C78 (79, 78)=-0.1166666667;	C177 (78, 0)=0.7;	L78 (79, 78)=5E-12;
C79 (80, 79)=-0.1166666667;	C178 (79, 0)=0.7;	L79 (80, 79)=5E-12;
C80 (81, 80)=-0.1166666667;	C179 (80, 0)=0.7;	L80 (81, 80)=5E-12;
C81 (82, 81)=-0.1166666667;	C180 (81, 0)=0.7;	L81 (82, 81)=5E-12;
C82 (83, 82)=-0.1166666667;	C181 (82, 0)=0.7;	L82 (83, 82)=5E-12;
C83 (84, 83)=-0.1166666667;	C182 (83, 0)=0.7;	L83 (84, 83)=5E-12;
C84 (85, 84)=-0.1166666667;	C183 (84, 0)=0.7;	L84 (85, 84)=5E-12;
C85 (86, 85)=-0.1166666667;	C184 (85, 0)=0.7;	L85 (86, 85)=5E-12;
C86 (87, 86)=-0.1166666667;	C185 (86, 0)=0.7;	L86 (87, 86)=5E-12;
C87 (88, 87)=-0.1166666667;	C186 (87, 0)=0.7;	L87 (88, 87)=5E-12;
C88 (89, 88)=-0.1166666667;	C187 (88, 0)=0.7;	L88 (89, 88)=5E-12;
C89 (90, 89)=-0.1166666667;	C188 (89, 0)=0.7;	L89 (90, 89)=5E-12;
C90 (91, 90)=-0.1166666667;	C189 (90, 0)=0.7;	L90 (91, 90)=5E-12;
C91 (92, 91)=-0.1166666667;	C190 (91, 0)=0.7;	L91 (92, 91)=5E-12;
C92 (93, 92)=-0.1166666667;	C191 (92, 0)=0.7;	L92 (93, 92)=5E-12;
C93 (94, 93)=-0.1166666667;	C192 (93, 0)=0.7;	L93 (94, 93)=5E-12;
C94 (95, 94)=-0.1166666667;	C193 (94, 0)=0.7;	L94 (95, 94)=5E-12;

```

C95 (96,95)=-0.1166666667;      C194 (95,0)=0.7;                L95 (96,95)=5E-12;
C96 (97,96)=-0.1166666667;      C195 (96,0)=0.7;                L96 (97,96)=5E-12;
C97 (98,97)=-0.1166666667;      C196 (97,0)=0.7;                L97 (98,97)=5E-12;
C98 (99,98)=-0.1166666667;      C197 (98,0)=0.7;                L98 (99,98)=5E-12;
C99 (100,99)=-0.1166666667;     C198 (99,0)=0.7;                L99 (100,99)=5E-12;
C199 (100,0)=0.35;              L100 (1,0)=5E-12;               L101 (2,0)=-32263.87692;
L102 (4,0)=1016800.97;          L103 (5,0)=1016800.97;          L104 (6,0)=1016800.97;
L105 (8,0)=-986895.0588;        L106 (9,0)=-986895.0588;        L107 (10,0)=-986895.0588;
L108 (11,0)=-986895.0588;       L109 (12,0)=-986895.0588;       L110 (13,0)=-32248.3729;
L111 (24,0)=-67108864;          L112 (25,0)=-67108864;          L113 (49,0)=-32263.87692;
L114 (50,0)=-32263.87692;       L115 (99,0)=-32263.87692;
&&
task
dc;
table v50,v100;
&&
End

```

## Результати моделювання:

### EQUIVALENT CIRCUIT PARAMETERS

```

NUMBER OF BRANCHES - 315
NUMBER OF NODES    - 101

NUMBER OF INDEPENDENT SOURCES - 1
    CONSTANT - 1
    FUNCTION  - 0
    TABLE   - 0

NUMBER OF REACTANCES - 314
    CONSTANT - 314
    FUNCTION  - 0
    TABLE   - 0

NUMBER OF PASSIVE ELEMENTS - 0
    CONSTANT - 0
    FUNCTION  - 0
    TABLE   - 0

```

### S T E A D Y - S T A T E R E S P O N S E ( D C O P E R A T I N G P O I N T ) \*\*\*\*\*

```

Iterations                      3.0000
Maximum error                    .00000

V50                              1.30724E-13
V100                             1.98026E-11

```

### S t a t i s t i c s

```

Number of steps                  = 1
Number of iterations             = 3
Number of steps per order:
    order - 0 -                  = 2
    order - 1 -                  = 0
    order - 2 -                  = 0
    order - 3 -                  = 0
    order - 4 -                  = 0
    order - 5 -                  = 0
    order - 6 -                  = 0
Number of newton iterations:
    order - 0 -                  = 3
    order - 1 -                  = 0
    order - 2 -                  = 0
Model matrix size                = 215

```

Number of controlled variables = 215  
Number of rejected steps = 0

## 2. Схема подільника напруги

Для даної схеми, інформація про яку вводиться за допомогою графічного редактора (рис. 4), необхідно розрахувати значення всіх токів та напруг в статичному режимі, а також отримати інформацію про математичну модель об'єкту. Це завдання може бути реалізовано за допомогою маршруту проектування, представленого на рис. 5. В результаті виконання цього маршруту сформовано файл завдання для ґрід-сервісів побудови математичної моделі об'єкту та розрахунку статичного режиму (рис. 6).

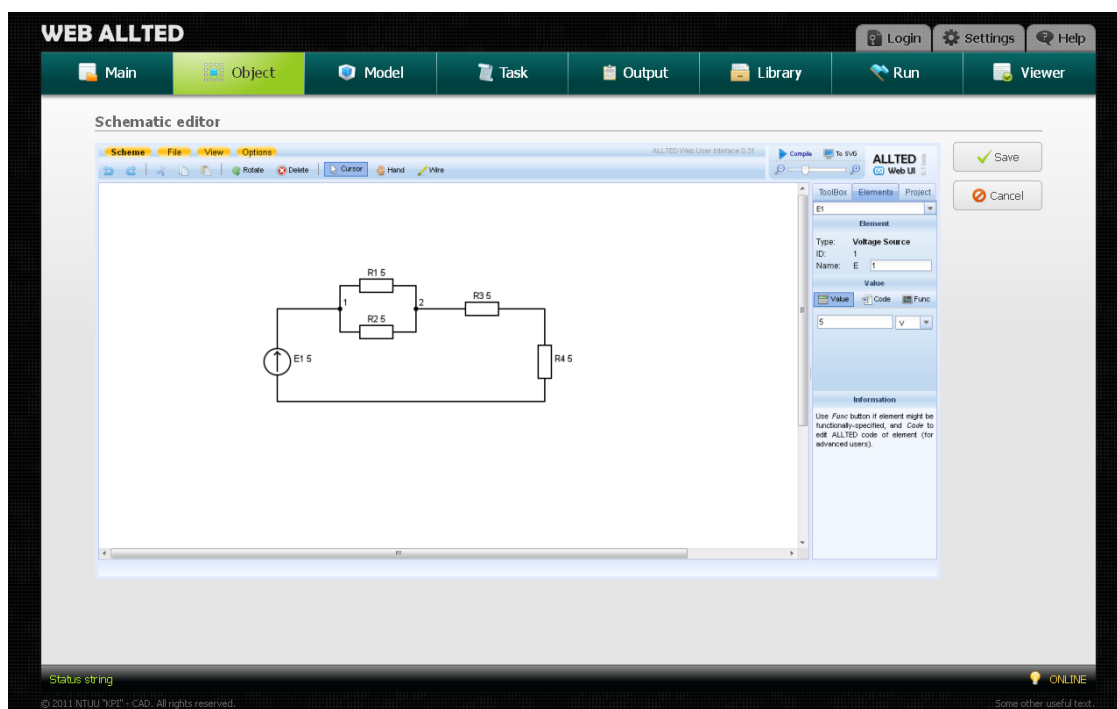


Рис. 4– Вихідна схема.

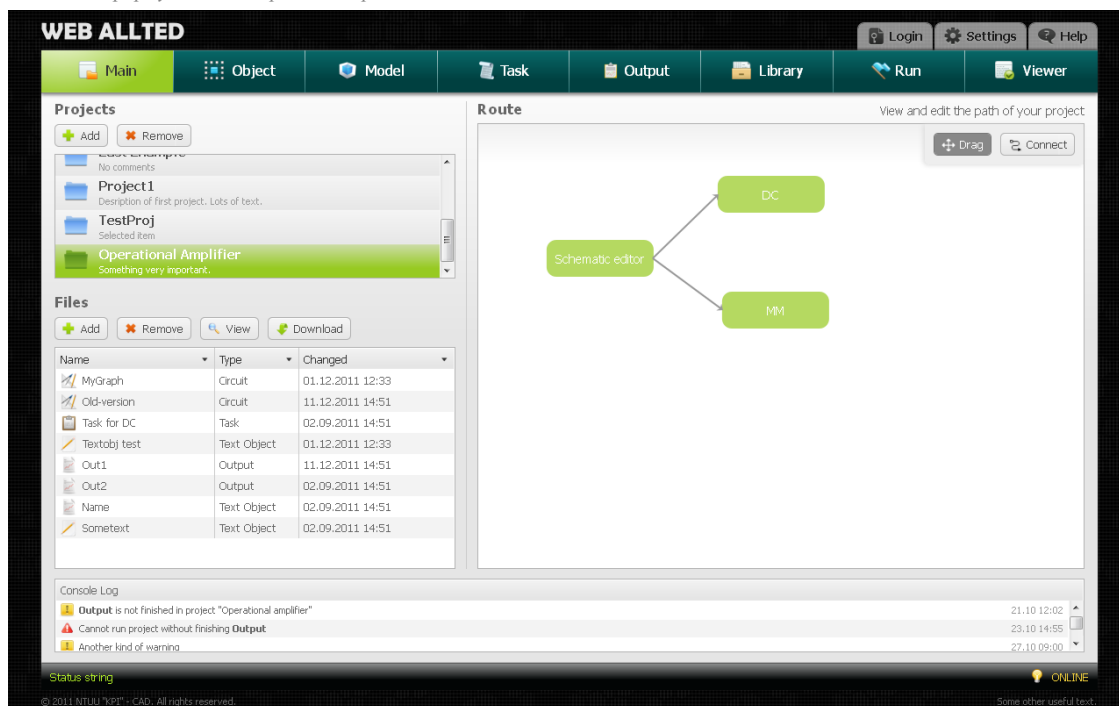


Рис. 5 – Маршрут проектування.

```

task                               R4 (3,0)=5;
Option 47,48;                       E1 (1,0)=5;
&                                     &
Object                               task
search ALLTED;                       dc;
circuit lab5;                         table ALLI, ALLU;
R1 (2,1)=5;                           &
R2 (2,1)=5;                           END
R3 (3,2)=5;

```

Рис. 6 – Файл завдання.

Результати моделювання мають наступний вигляд:

EQUIVALENT CIRCUIT PARAMETERS

NUMBER OF BRANCHES	-	5	
NUMBER OF NODES	-	4	
NUMBER OF INDEPENDENT SOURCES	-	1	
CONSTANT	-	1	
FUNCTION	-	0	
TABLE	-	0	
NUMBER OF REACTANCES	-	0	
CONSTANT	-	0	
FUNCTION	-	0	
TABLE	-	0	
NUMBER OF PASSIVE ELEMENTS	-	4	
CONSTANT	-	4	
FUNCTION	-	0	
TABLE	-	0	

Mathematical model variables vector

X( 1) - node voltage 2  
 X( 2) - node voltage 1  
 X( 3) - node voltage 3  
 X( 4) - element current E1

SPARSE MATRIX STRUCTURE:

a) Before ORDERING	b) After ORDERING
0 0 0 0	0 0 0 0
1 2 3 4	2 4 3 1
01+X X X .+01	04+X . . .+04
02 X X X 02	02 X X X 02
03 X X . 03	03 . X X 03
04+. X . .+04	01+X . X X+01
0 0 0 0	0 0 0 0
1 2 3 4	2 4 3 1

S T E A D Y - S T A T E R E S P O N S E  
 ( D C O P E R A T I N G P O I N T )  
 \*\*\*\*\*

Iterations	3.0000
Maximum error	.00000
IR1	-.20000
IR2	-.20000
IR3	-.40000
IR4	.40000
IE1	-.40000
UR1	-1.0000
UR2	-1.0000
UR3	-2.0000
UR4	2.0000
UE1	5.0000

S t a t i s t i c s

Number of steps	=	1
Number of iterations	=	3
Number of steps per order:		
order - 0 -	=	2
order - 1 -	=	0
order - 2 -	=	0
order - 3 -	=	0
order - 4 -	=	0
order - 5 -	=	0
order - 6 -	=	0
Number of newton iterations:		
order - 0 -	=	3
order - 1 -	=	0
order - 2 -	=	0
Model matrix size	=	4
Number of controlled variables	=	4
Number of rejected steps	=	0

### 3. Схема багатокаскадного суматора

Схема входить до набору схем для тестування пакетів схемотехнічного

моделювання як с точки зору алгоритмів рішення, так і коректності реалізації відповідних моделей. Схема становить собою багатокаскадний суматор з великою кількістю транзисторів (216) і базується на явищі переносу заряду з одного транзистора на інший. При некоректно заданих початкових параметрах моделювання взаємних ємностей не відповідає реальним характеристикам. Так як схема містить велику кількість зворотніх зв'язків, то наявність похибок обчислень призводить до їх швидкого накопичення та неадекватності результатів моделювання. Для даної схеми необхідно розрахувати початкові значення потенціалів на вихідних вузлах VOUT1, VOUT2, VOUT3. Для даного прикладу результати статичного режиму розраховувались за допомогою поступового підняття джерел живлення шляхом використання режиму аналізу перехідних процесів.

На рис. 7 представлено маршрут проектування, метою якого є отримання математичної моделі об'єкту та результатів аналізу статичного режиму. Сформований файл завдання наведено на рис. 8.

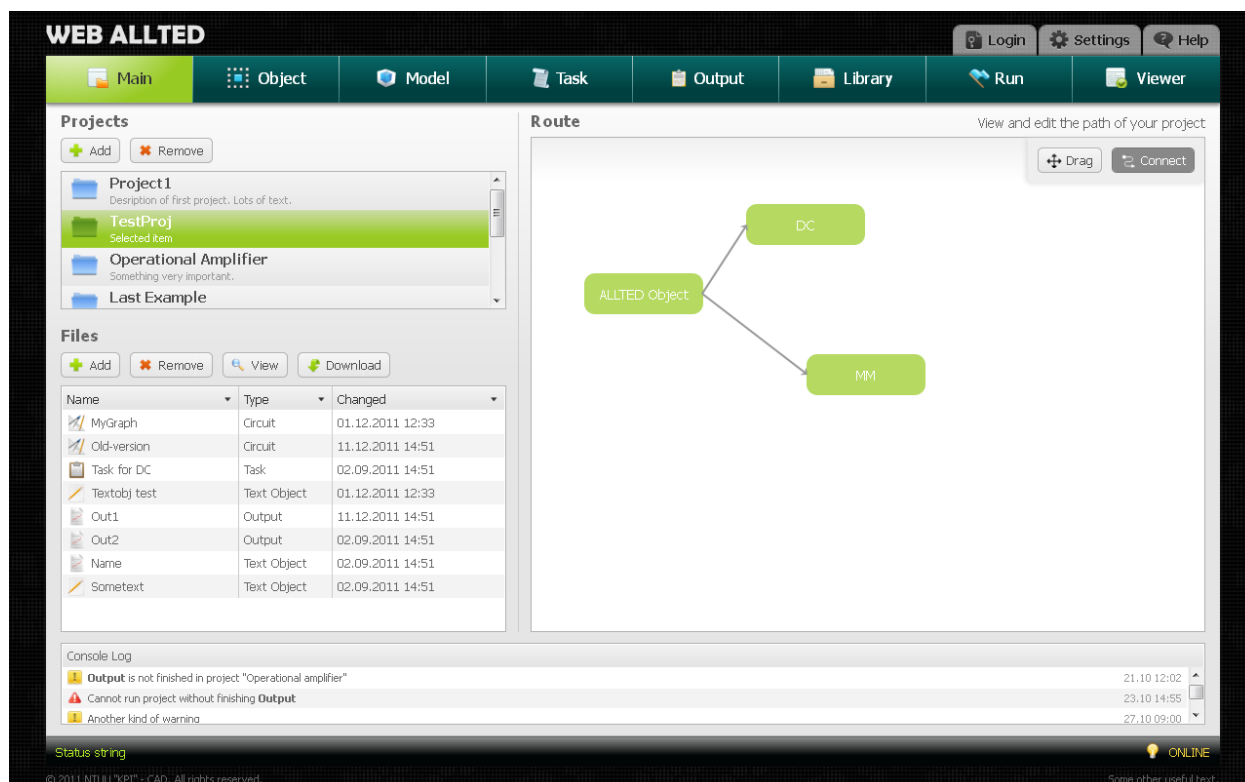


Рис. 7 – Маршрут проектування.

```
object
search allted;
CIRCUIT FADD32_SP_SPICE_FILE;
```



```
XFUL1 (COUT3, A1, B1, COUT1, OUT1, VDD, 0) =FULLADD;  
XFUL2 (COUT1, A2, B2, COUT2, OUT2, VDD, 0) =FULLADD;  
XFUL3 (COUT2, A3, B3, COUT3, OUT3, VDD, 0) =FULLADD;  
COUT1 (OUT1, VSS) =5E-14;  
COUT2 (OUT2, VSS) =5E-14;  
COUT3 (OUT3, VSS) =5E-14;  
COUT9 (COUT3, VSS) =5E-14;
```

```
EA3 (A3, 0) =FPWL (0, 0, 3E-08, 0, 3.1E-08, 5, 4E-08, 5, 4.1E-08, 0, 7E-08, 0,  
7.1E-08, 5, 8E-08, 5, 8.1E-08, 0, 1.1E-07, 0) ;  
EA2 (A2, 0) =FPWL (0, 0, 3E-08, 0, 3.1E-08, 5, 4E-08, 5, 4.1E-08, 0, 7E-08, 0,  
7.1E-08, 5, 8E-08, 5, 8.1E-08, 0, 1.1E-07, 0) ;  
EA1 (A1, 0) =FPWL (0, 0, 2E-08, 0, 2.1E-08, 5, 4E-08, 5, 4.1E-08, 0, 6E-08, 0,  
6.1E-08, 5, 8E-08, 5, 8.1E-08, 0, 1E-07, 0, 1.01E-07, 5, 1.2E-07, 5) ;  
EB3 (B3, 0) =FPWL (0, 0, 1E-08, 0, 1.1E-08, 5, 4E-08, 5, 4.1E-08, 0, 5E-08, 0,  
5.1E-08, 5, 8E-08, 5, 8.1E-08, 0, 9E-08, 0, 9.1E-08, 5, 1.2E-07, 5) ;  
EB2 (B2, 0) =FPWL (0, 0, 1E-08, 0, 1.1E-08, 5, 4E-08, 5, 4.1E-08, 0, 5E-08, 0,  
5.1E-08, 5, 8E-08, 5, 8.1E-08, 0, 9E-08, 0, 9.1E-08, 5, 1.2E-07, 5) ;  
EB1 (B1, 0) =FPWL (0, 0, 1E-08, 0, 1.1E-08, 5, 4E-08, 5, 4.1E-08, 0, 5E-08, 0,  
5.1E-08, 5, 8E-08, 5, 8.1E-08, 0, 9E-08, 0, 9.1E-08, 5, 1.2E-07, 5) ;
```

```
EVSS (VSS, 0) =0;  
EVDD (VDD, 0) =FPWL (0, 0, 1.0E-8, 5) ;  
MODEL CNAND (INPUTA, INPUTB, OUT, VDD, VSS) ;
```

```
ML1 (S1, INPUTA, VSS, VSS) =NTR.BSIML49 (L=3E-07, W=1.4E-06, AD=5.6E-11,  
AS=5.6E-11, PD=3.6E-05, PS=3.6E-05, NCH=2.498E+17, TOX=9E-09, LINT=9.36E-8,  
WINT=1.47E-7, VTH0=0.6322, K1=0.756, K2=-3.83E-2, K3=-2.612, DVT0=2.812,  
DVT1=0.462, DVT2=-9.17E-2, NLX=3.52291E-08, W0=1.163E-6, K3B=2.233,  
VSAT=86301.58, UA=6.47E-9, UB=4.23E-18, UC=-4.706281E-11, RDSW=650,  
U0=388.3203, WR=1, A0=0.3496967, AGS=0.1, B0=0.546, B1=1, DWG=-6.0E-09,  
DWB=0, DVT1W=0, DVT2W=0, CDSCD=0, PRWG=-3.56E-09, PRWB=-0.213,  
KETA=-3.605872E-02, A1=2.778747E-02, A2=0.9, VOFF=-6.735529E-02,  
NFACTOR=1.139926, CIT=1.622527E-04, CDSC=-2.147181E-05, CDSCB=0, DVT0W=0,  
ETA0=1.0281729E-02, ETAB=-5.042203E-03, DSUB=0.31871233, PCLM=1.114846,  
PDIBLC1=2.45357E-03, PDIBLC2=6.406289E-03, DROUT=0.31871233,  
PSCBE1=5000000, PSCBE2=5E-09, PDIBLCB=-0.234, PVAG=0, DELTA=0.01, WL=0,  
WW=-1.420242E-09, WWL=0, WLN=0, WWN=0.2613948, LL=1.300902E-10, LW=0, LWL=0,  
LLN=0.316394, LWN=0, KT1=-0.3, KT2=-0.051, AT=22400, UTE=-1.48, HDIF=1 U,  
CJ=1E-4, UA1=3.31E-10, UB1=2.61E-19, UC1=-3.42E-10, KT1L=0, PRT=764.3,  
CGD0=0.015e-9, CGS0=0.015e-9, CGB0=0.015e-9 ) ;
```

```
ML2 (VDD, INPUTA, OUT, VDD) =PTR.BSIML49 (L=3E-07, W=2.8E-06, AD=1.12E-10,  
AS=1.12E-10, PD=6.4E-05, PS=6.4E-05, NCH=3.533024E+17, TOX=9E-09,  
LINT=6.23E-8, WINT=1.22E-7, VTH0=-0.6732829, K1=0.8362093,  
K2=-8.606622E-02, K3=1.82, DVT0=1.903801, DVT1=0.5333922, DVT2=-0.1862677,  
NLX=1.28E-8, W0=2.1E-6, K3B=-0.24, PRWG=-0.001, PRWB=-0.323, VSAT=103503.2,  
UA=1.39995E-09, UB=1.E-19, UC=-2.73E-11, RDSW=460, U0=138.7609,  
A0=0.4716551, AGS=0.12, KETA=-1.871516E-03, A1=0.3417965, A2=0.83,  
VOFF=-0.074182, NFACTOR=1.54389, CIT=-1.015667E-03, CDSC=8.937517E-04,  
CDSCB=1.45E-4, CDSCD=1.04E-4, DVT0W=0.232, DVT1W=4.5E6, DVT2W=-0.0023,  
ETA0=6.024776E-02, ETAB=-4.64593E-03, DSUB=0.23222404, PCLM=0.989,  
PDIBLC1=2.07418E-02, PDIBLC2=1.33813E-3, DROUT=0.3222404, PSCBE1=118000,  
PSCBE2=1E-09, PVAG=0, KT1=-0.25, KT2=-0.032, PRT=64.5, AT=33000, UTE=-1.5,  
HDIF=1 U, CJ=1E-4, UA1=4.312E-9, UB1=6.65E-19, UC1=0, KT1L=0,  
CGD0=0.015e-9, CGS0=0.015e-9, CGB0=0.015e-9 ) ;
```

```
ML3 (S1, INPUTB, OUT, VSS) =NTR.BSIML49 (L=3E-07, W=1.4E-06, AD=5.6E-11,  
AS=5.6E-11, PD=3.6E-05, PS=3.6E-05, NCH=2.498E+17, TOX=9E-09, LINT=9.36E-8,  
WINT=1.47E-7, VTH0=0.6322, K1=0.756, K2=-3.83E-2, K3=-2.612, DVT0=2.812,  
DVT1=0.462, DVT2=-9.17E-2, NLX=3.52291E-08, W0=1.163E-6, K3B=2.233,  
VSAT=86301.58, UA=6.47E-9, UB=4.23E-18, UC=-4.706281E-11, RDSW=650,  
U0=388.3203, WR=1, A0=0.3496967, AGS=0.1, B0=0.546, B1=1, DWG=-6.0E-09,  
DWB=0, DVT1W=0, DVT2W=0, CDSCD=0, PRWG=-3.56E-09, PRWB=-0.213,
```

```
KETA=-3.605872E-02,A1=2.778747E-02,A2=0.9,VOFF=-6.735529E-02,
NFACTOR=1.139926,CIT=1.622527E-04,CDSC=-2.147181E-05,CDSCB=0,DVT0W=0,
ETA0=1.0281729E-02,ETAB=-5.042203E-03,DSUB=0.31871233,PCLM=1.114846,
PDIBLC1=2.45357E-03,PDIBLC2=6.406289E-03,DROUT=0.31871233,
PSCBE1=5000000,PSCBE2=5E-09,PDIBLCB=-0.234,PVAG=0,DELTA=0.01,WL=0,
WW=-1.420242E-09,WWL=0,WLN=0,WWN=0.2613948,LL=1.300902E-10,LW=0,LWL=0,
LLN=0.316394,LWN=0,KT1=-0.3,KT2=-0.051,AT=22400,UTE=-1.48,HDIF=1 U,
CJ=1E-4,UA1=3.31E-10,UB1=2.61E-19,UC1=-3.42E-10,KT1L=0,PRT=764.3,
CGD0=0.015e-9,CGS0=0.015e-9,CGB0=0.015e-9 );
```

```
ML4 (VDD, INPUTB, OUT, VDD) =PTR.BSIML49 (L=3E-07,W=2.8E-06,AD=1.12E-10,
AS=1.12E-10,PD=6.4E-05,PS=6.4E-05,NCH=3.533024E+17,TOX=9E-09,
LINT=6.23E-8,WINT=1.22E-7,VTH0=-0.6732829,K1=0.8362093,
K2=-8.606622E-02,K3=1.82,DVT0=1.903801,DVT1=0.5333922,DVT2=-0.1862677,
NLX=1.28E-8,W0=2.1E-6,K3B=-0.24,PRWG=-0.001,PRWB=-0.323,VSAT=103503.2,
UA=1.39995E-09,UB=1.E-19,UC=-2.73E-11,RDSW=460,U0=138.7609,
A0=0.4716551,AGS=0.12,KETA=-1.871516E-03,A1=0.3417965,A2=0.83,
VOFF=-0.074182,NFACTOR=1.54389,CIT=-1.015667E-03,CDSC=8.937517E-04,
CDSCB=1.45E-4,CDSCD=1.04E-4,DVT0W=0.232,DVT1W=4.5E6,DVT2W=-0.0023,
ETA0=6.024776E-02,ETAB=-4.64593E-03,DSUB=0.23222404,PCLM=0.989,
PDIBLC1=2.07418E-02,PDIBLC2=1.33813E-3,DROUT=0.3222404,PSCBE1=118000,
PSCBE2=1E-09,PVAG=0,KT1=-0.25,KT2=-0.032,PRT=64.5,AT=33000,UTE=-1.5,
HDIF=1 U,CJ=1E-4,UA1=4.312E-9,UB1=6.65E-19,UC1=0,KT1L=0,
CGD0=0.015e-9,CGS0=0.015e-9,CGB0=0.015e-9 );
```

```
#ENDS CNAND
MODEL HALFADD (RAMP1, RAMP2, S3, OUT, VDD, VSS) ;
XLT1 (RAMP1, RAMP2, S3, VDD, VSS) =CNAND;
XLT2 (S3, RAMP2, S4, VDD, VSS) =CNAND;
XLT3 (RAMP1, S3, S5, VDD, VSS) =CNAND;
XLT4 (S5, S4, OUT, VDD, VSS) =CNAND;
#ENDS HALFADD
MODEL FULLADD (CIN, A1, B1, COUT, OUT, VDD, VSS) ;
XHA1 (A1, B1, C1, O1, VDD, VSS) =HALFADD;
XHA2 (O1, CIN, C2, OUT, VDD, VSS) =HALFADD;
XNA3 (C1, C2, COUT, VDD, VSS) =CNAND;
CLT1 (OUT, VSS) =5E-14;
CLT2 (COUT, VSS) =5E-14;
#ENDS FULLADD
&
task;
dc;
table VOUT1, VOUT2, VOUT3;
option 48;
&
End.
```

Рис. 8 – Файл завдання.

Результати моделювання мають наступний вигляд:

EQUIVALENT CIRCUIT PARAMETERS

NUMBER OF BRANCHES	-	882
NUMBER OF NODES	-	279
NUMBER OF INDEPENDENT SOURCES	-	8
CONSTANT	-	1
FUNCTION	-	7
TABLE	-	0
NUMBER OF REACTANCES	-	10

```

CONSTANT      - 10
FUNCTION      - 0
TABLE        - 0

NUMBER OF PASSIVE ELEMENTS - 864
CONSTANT      - 216
FUNCTION      - 648
TABLE        - 0
*****
T i m e              2.00000E-08

Step value        2.00000E-14
VOUT1             4.9054
VOUT2             4.9054
VOUT3             4.9054
    
```

#### 4. Система керування

Система керування (рис. 9) складається з суматора (summer1), ланки зворотнього зв'язку, двох ланок першого порядку (firlag1, firlag2), квадратичної ланки (quadlag1) та інтегратора (inflag1). Всі елементи моделюються за допомогою моделей, що зберігаються у відповідній бібліотеці NetALLTED. Для данної задачі необхідно визначити початкові значення вихідної напруги та потенціалу корегуючої ланки (вузол 2). Відповідний сформований файл завдання наведено на рис. 4.10.

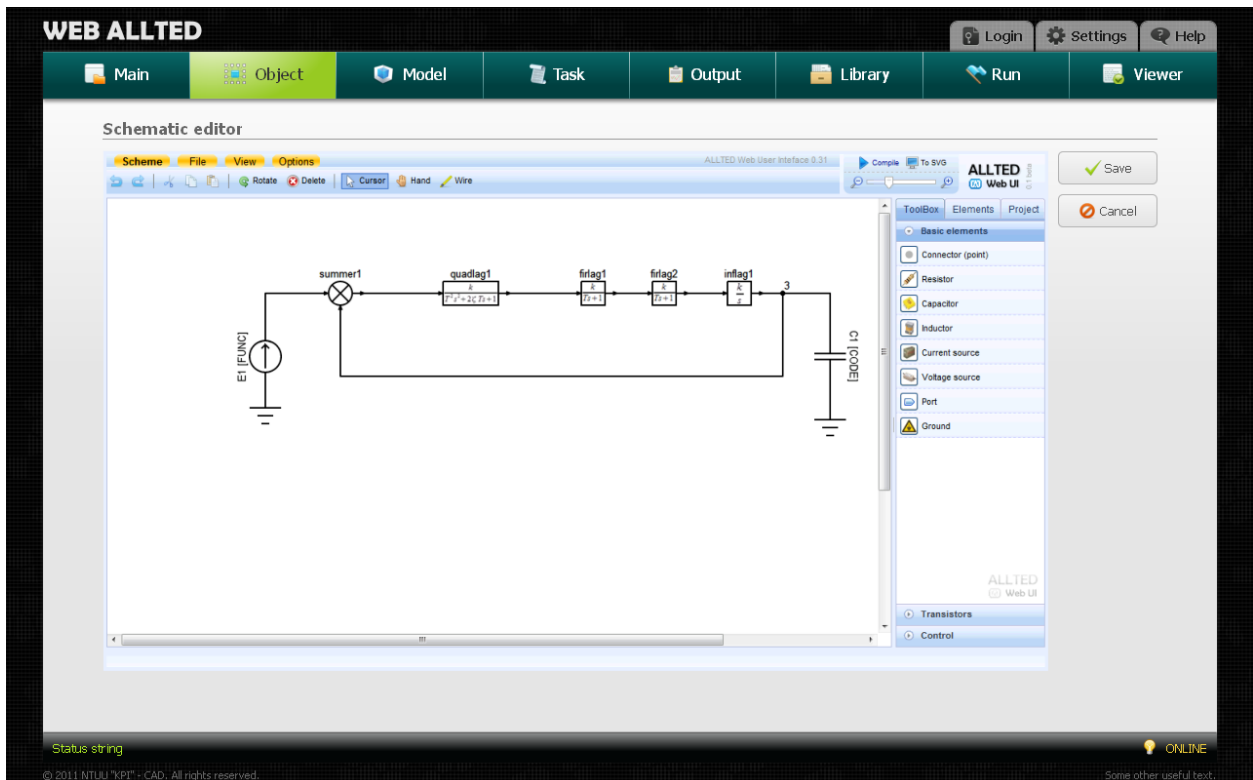


Рис. 4.9 – Схема системи керування.

```

OBJECT
# Closed-loop Control System. Example Problem
CIRCUIT CONTSYS;
EC(1,0)=FTAB(0,0, 0.1,0, 0.11,5, 3,5); # Control signal
SUM(1,7,2,0)=typel.compar; # Comparator

# Quadratic lag
ql2(2,3,0)=typel.quadlag (gain=1,timecon=1.75e-2,
damping=0.215);
ql3(3,4,0)=typel.firlag (timecon=0.1); # First order lags
qsat(4,5,0)=typel.nonlin; # Saturation
ql4(5,6,0)=typel.firlag (gain=1.0, timecon=5.65e-3);
ql5(6,7,0)=typel.inflag (gain=12.196); # Integrator
j0(7,0)=0;

model nonlin(in,out,b);
# Dead zone, saturation, relay
jin(in,b)=0;
eout(out,b)=F74(deadzone,level,gain/ujin);
list typel.nonlin;
deadzone=0.;
gain=1.;
level=10.E6;

model compar(in1,in2,out,b);
# compar;
j1(in1,b)=0;
j2(b,in2)=0;
e1(out,b)=f1(gain1,gain2/uj1,uj2);
list typel.compar;
gain1=1; # Gain;
gain2=1;

model quadlag(in,out,b);
# Quadratic lag ;
jin(in,b)=0;
e1(1,b)=f1(1./ujin);
r1(1,2)=damping;
r2(2,3)=damping;
l1(3,4)=timecon;
c1(4,b)=timecon;
eout(out,b)=f1(gain/uc1);
list typel.quadlag;
gain=1; # Gain;
timecon=0.04; # Time constant;
damping=0.15;

model firlag(in,out,b);
# First order lag;
jin(in,b)=0;
e1(1,b)=f1(1/ujin);
g1(1,2)=1;
c1(2,b)=timecon;
e2(out,b)=f1(gain/uc1);
list typel.firlag;
gain=1; # Gain;
timecon=7.751e-3; # Time constant;

model inflag(in,out,b);
# Integrator;
jin(in,b)=0;
j1(b,out)=f1(gain/ujin);
c1(out,b)=1;
list typel.inflag;
gain=1.0; # Gain;
&
TASK;
DC;
table UJ0, V2;
CONST lerr=1e-5;
OPTION 48,83;
&
End.

```

Рис. 4.10 – Файл завдання.

## Результати моделювання мають наступний вигляд:

```
S T E A D Y - S T A T E   R E S P O N S E
( D C   O P E R A T I N G   P O I N T )
*****
Iterations                               2.0000
Maximum error                             .00000

UJ0                                       .00000
V2                                        .00000

          S t a t i s t i c s
Number of steps                           =    1
Number of iterations                       =    2
Number of steps per order:
  order - 0 -                             =    2
  order - 1 -                             =    0
  order - 2 -                             =    0
  order - 3 -                             =    0
  order - 4 -                             =    0
  order - 5 -                             =    0
  order - 6 -                             =    0
Number of newton iterations:
  order - 0 -                             =    2
  order - 1 -                             =    0
  order - 2 -                             =    0
Model matrix size                         =   25
Number of controlled variables            =   25
Number of rejected steps                   =    0
```