

Laboratorium napędu elektrycznego

Modelowanie obcowzbudnego silnika prądu stałego i badanie właściwości przekształtnika o topologii mostka H w programie Plecs

1. Wybieramy silnik prądu stałego.

1GG6, 1GH6
Size 160

Selection and ordering data
These motors are uncompensated.

Rated speed n_N rpm	Rated output P_N kW	Rated torque M_N Nm	Maximum field weakening speed ¹⁾ n_{Fmax} rpm	Order No.	Rated current I_N A	Efficiency η %	Armature circuit resistance at 120 °C R_a Ω	Inductance L_a mH
at rated armature voltage 420 V 470 V 520 V 600 V								
Overall length 2								
995	31.5	302	2500	1G 6 162-0JC -6VV5	90	79	0.65	6.6

Fan unit
Radially mounted
Separate

Rated field voltage
310 V

Type of construction
IM B 3
IM B 35

Motor type
Field power approx.
 P_{field}
kW

Moment of inertia
 J
kgm²

Mechanical limit speed
 n_{mech}
rpm

Weight, net approx.
kg

1GG6 162	1.81	0.32	4500	320
1GH6 162	1.81	0.32	4500	307
1GG6 164	2.08	0.38	4500	365
1GH6 164	2.08	0.38	4500	352
1GG6 166	2.3	0.46	4500	428
1GH6 166	2.3	0.46	4500	415

Armature control
Speed can be coasted down by means of armature control to approx. 10 rpm at constant torque of the motor.

Field weakening
The order numbers for the motors are valid for field weakening speeds n_F up to $1.15 \cdot n_N$. At higher field weakening speeds supplementary short codes are required: "C05" for $n_F > 1.15 \cdot n_N$ to $1.7 \cdot n_N$ and "C06" for $n_F > 1.7 \cdot n_N$ (short codes: from Page 3/118).

The motors can be operated at rated output P_N up to the field weakening speed n_{Fmax} .

2. Lista parametrów modelu silnika DC w programie Plecs.

Library Browser
File Window Help
Search components
System
Assertions
Control
Electrical
Sources
Meters
Passive Components
Power Semiconductors
Power Modules
Switches
Transformers
Machines
Induction Machine (Slip Ring)
Induction Machine (Squirrel Cage)
Induction Machine (Open Winding)
Induction Machine (Slip Ring, Saturable)
Synchronous Machine (Salient Pole, Saturable)
Synchronous Machine (Round Rotor, Saturable)
Permanent-Magnet Synchronous Machine
Non-Excited Synchronous Machine (Lookup)
Synchronous Reluctance Machine
Brushless DC Machine
Brushless DC Machine (Simple)
DC Machine

untitled *
File Edit View Simulation Format Window Help
Block Parameters: untitled/DC Machine
DC Machine (mask) (link)
The input signal Tm represents the mechanical torque, in Nm. The vectorized output signal of width 2 contains
- the rotational speed ω_m , in rad/s, and
- the electrical torque T_e, in Nm.
Parameters
Armature resistance Ra: 0
Friction coefficient F: 0
Armature inductance La: 0
Initial rotor speed ω_{m0} : 0
Field resistance Rf: 0
Initial rotor position θ_{m0} : 0
Field inductance Lf: 0
Initial armature current i_{a0} : 0
Field-armature mutual inductance Laf: 0
Initial field current i_{f0} : 0
Inertia J: 0
OK Cancel Apply Help

DC Machine

Update available

Znanymi wprost z katalogu parametrami są:

Block Parameters: untitled/DC Machine

DC Machine (mask) (link)

The input signal Tm represents the mechanical torque, in Nm. The vectorized output signal of width 2 contains

- the rotational speed ω_m , in rad/s, and
- the electrical torque T_e , in Nm.

Parameters Assertions

Armature resistance Ra: Friction coefficient F:

Armature inductance La: Initial rotor speed ω_{m0} :

Field resistance Rf: Initial rotor position θ_{m0} :

Field inductance Lf: Initial armature current i_{a0} :

Field-armature mutual inductance Laf: Initial field current i_{f0} :

Inertia J:

OK Cancel Apply Help

3. Obliczamy rezystancję obwodu wzbudzenia R_f (field resistance).

Z katalogu silnika, odczytujemy napięcie znamionowe obwodu wzbudzenia (rated field voltage) U_{fN} oraz moc strat obwodu wzbudzenia (field power) P_{field} .

Fan unit	Radially mounted
	Separate
Rated field voltage	310 V
Type of construction	IM B 3
	IM B 35

Motor type	Field power approx. P_{field} kW	Moment of inertia J kgm ²	Mechanical limit speed n_{mech} rpm	Weight, net approx. kg
1GG6 162	1.81	0.32	4500	320
1GH6 162	1.81	0.32	4500	307
1GG6 164	2.08	0.38	4500	365
1GH6 164	2.08	0.38	4500	352
1GG6 166	2.3	0.46	4500	428
1GH6 166	2.3	0.46	4500	415

Armature control

Speed can be coasted down by means of armature control to approx. 10 rpm at constant torque of the motor.

Field weakening

The order numbers for the motors are valid for field weakening speeds n_F up to $1.15 \cdot n_N$. At higher field weakening speeds supplementary short codes are required: 'C05' for $n_F > 1.15 \cdot n_N$ to $1.7 \cdot n_N$ and 'C06' for $n_F > 1.7 \cdot n_N$ (short codes: from Page 3/118).

The motors can be operated at rated output P_N up to the field weakening speed n_{Fmax} .

Obliczamy R_f (field resistance) z równania na moc:

$$R_f = \frac{U_{fN}^2}{P_{field}} = \frac{(310 \text{ V})^2}{1.81 \text{ kW}} \cong 53,1 \Omega$$

Ze względu na brak możliwości obliczenia indukcyjności obwodu wzbudzenia przyjmujemy ją jako dowolną, ale rozsądną. Wielkość ta ma wpływ na dynamikę zmian prądu obwodu wzbudzenia, a zarazem strumienia maszyny. Niemniej jednak my modelujemy maszynę o stałym strumieniu wzbudzenia.

Pewnym uproszczeniem symulacji będzie podanie początkowego prądu wzbudzenia (initial field current) i_{f0} . Prąd początkowy i_{f0} ma być równy prądowi znamionowemu I_{fN} , stąd:

$$i_{f0} = I_{fN} = \frac{P_{field}}{U_{fN}} = \frac{1.81 \text{ kW}}{310 \text{ V}} \cong 5,84 \text{ A}$$

4. Zależność na indukcyjność wzajemną obwodu wzbudzenia i twornika znajdziemy w Pomocy (Help) do maszyny DC.

The screenshot shows the PLECS Help Viewer interface. On the left is a sidebar with 'Help topics' including PLECS, Demos, and Octave. The main content area is titled 'Electrical System' and contains a circuit diagram of a DC machine. The diagram shows an armature circuit with voltage v_a , current i_a , resistance R_a , and inductance L_a , connected to a back EMF source E_a . The field circuit has inductance L_f , resistance R_f , current i_f , and voltage v_f .

Electromagnetic torque:

$$T_e = L_{af} \cdot i_f \cdot i_a$$

Induced voltage of the armature winding:

$$E_a = L_{af} \cdot i_f \cdot \omega_m$$

Mechanical System

$$\dot{\omega}_m = \frac{1}{J} (T_e - F\omega_m - T_m)$$

Parameters

- Armature resistance**
Armature winding resistance R_a in ohms (Ω).
- Armature inductance**
Armature winding inductance L_a in henries (H).
- Field resistance**
Field winding resistance R_f in ohms (Ω).
- Armature inductance**
Field winding inductance L_f in henries (H).
- Field-armature mutual inductance**
Field-armature mutual inductance L_{af} in henries (H).
- Inertia**

Indukcyjność wzajemna obwodu wzbudzenia i twornika (field-armature mutual inductance) L_{af} obliczymy z zależności na napięcie indukowane twornika, stąd:

$$E_{aN} = L_{af} I_{fN} \omega_N$$

gdzie znamionowa siła elektromotoryczna E_{aN} wynosi:

$$E_{aN} = U_{aN} - I_{aN} R_a = 420 - 90 \cdot 0,65 \text{ V} \cong 361,5 \text{ V}$$

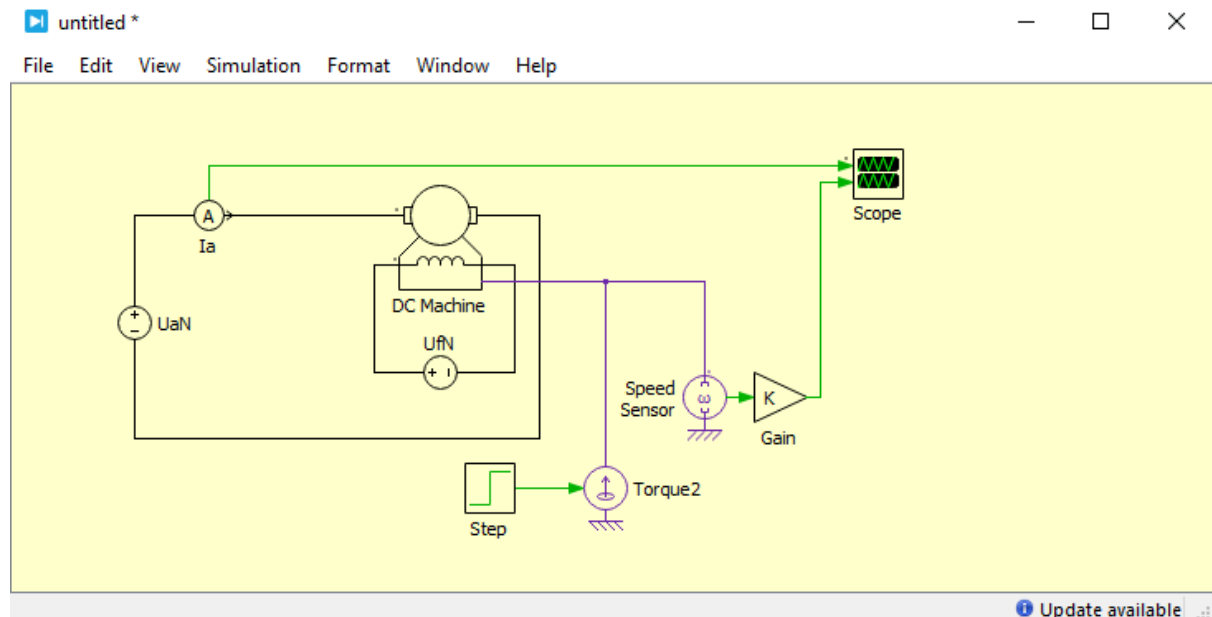
znamionowa prędkość kątowna ω_N jest obliczana na podstawie znamionowej prędkości obrotowej n_N z zależności:

$$\omega_N = \frac{2\pi}{60} n_N = \frac{\pi}{30} 995 \frac{\text{rad}}{\text{s}} \cong 104,196 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

A końcowa zależność na indukcyjność wzajemną obwodu wzbudzenia i twornika L_{af} wynosi:

$$L_{af} = \frac{E_a}{I_{fN} \omega_N} = \frac{U_{aN} - I_{aN} R_a}{\frac{P_{field}}{U_{fN}} \frac{2\pi}{60} n_N} = \frac{420 - 90 \cdot 0,65 \text{ V}}{\frac{1810}{310} \frac{\pi}{30} 995 \frac{\text{A}}{\text{s}}} \cong 0,59421 \text{ H}$$

5. Mając powyższe parametry modelu silnika DC, wymagane jest zamodelowanie warunków znamionowych pracy silnika, tj. napięcia zasilania obwodów wzbudzenia i twornika oraz obciążenie momentem obciążenia wału maszyny.



6. Wartość napięcia U_{aN} ustawiamy na wartość znamionową napięcia twornika, wartość napięcia U_{fN} ustawiamy na wartość znamionową napięcia wzbudzenia, a wartość momentu obciążenia ustawiamy na znamionowy moment na wale maszyny (rated torque) T_N .
7. Współczynnik tarcia wiskotycznego (*friction coefficient*) F obliczamy na podstawie momentu oporów ruchu (tarcia), który możemy obliczyć z różnicy między znamionowym momentem elektromagnetycznym T_{eN} , a znamionowym momentem na wale T_N :

$$T_{opN} = T_{eN} - T_N$$

gdzie znamionowy moment elektromagnetyczny wytwarzany przez silnik obliczymy wykorzystując moc elektromagnetyczną:

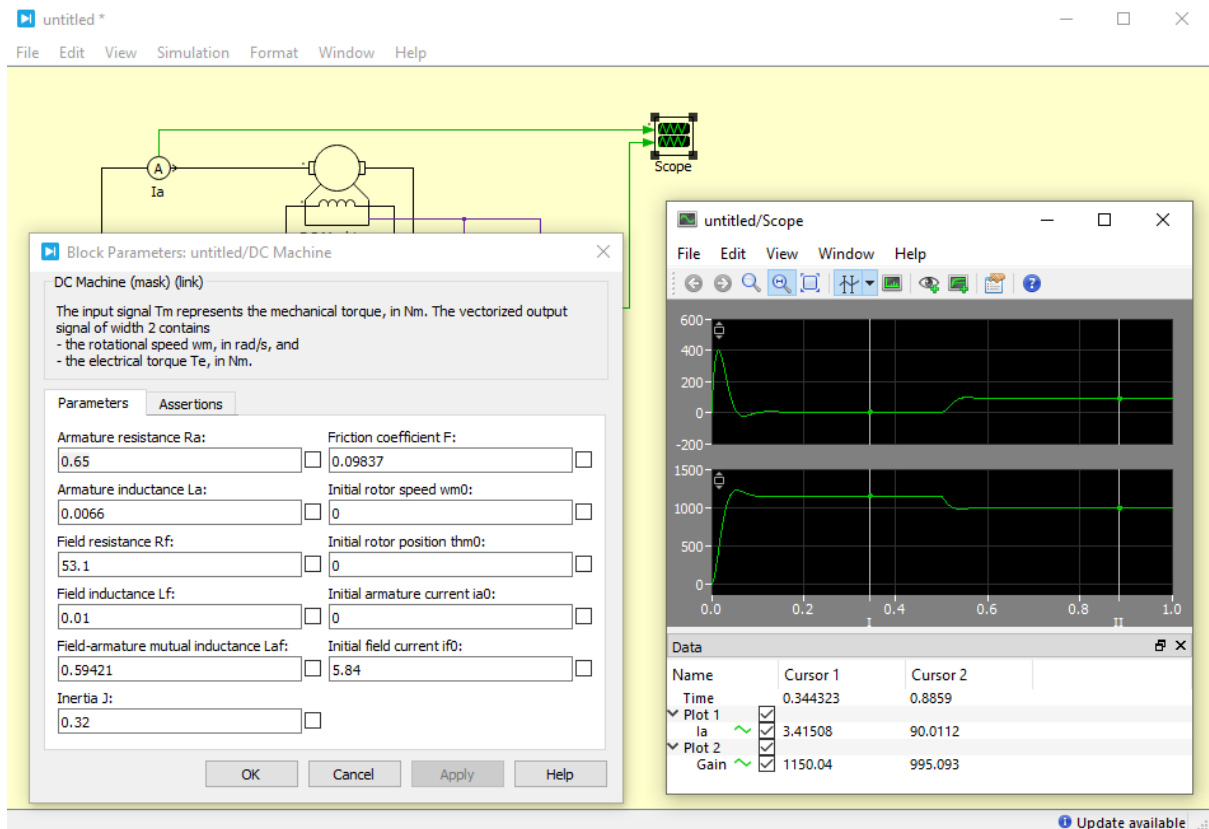
$$T_{eN} = \frac{E_{aN} I_{aN}}{\omega_N} = \frac{(U_{aN} - I_{aN} R_a) I_{aN}}{n_N \frac{2\pi}{60}} = \frac{(420 - 90 \cdot 0,65) \cdot 90 \text{ VA}}{\frac{2\pi \cdot 995}{60} \frac{1}{s}} = 312,25 \text{ Nm}$$

a współczynnik tarcia wiskotycznego (*friction coefficient*) F obliczymy na podstawie zależności:

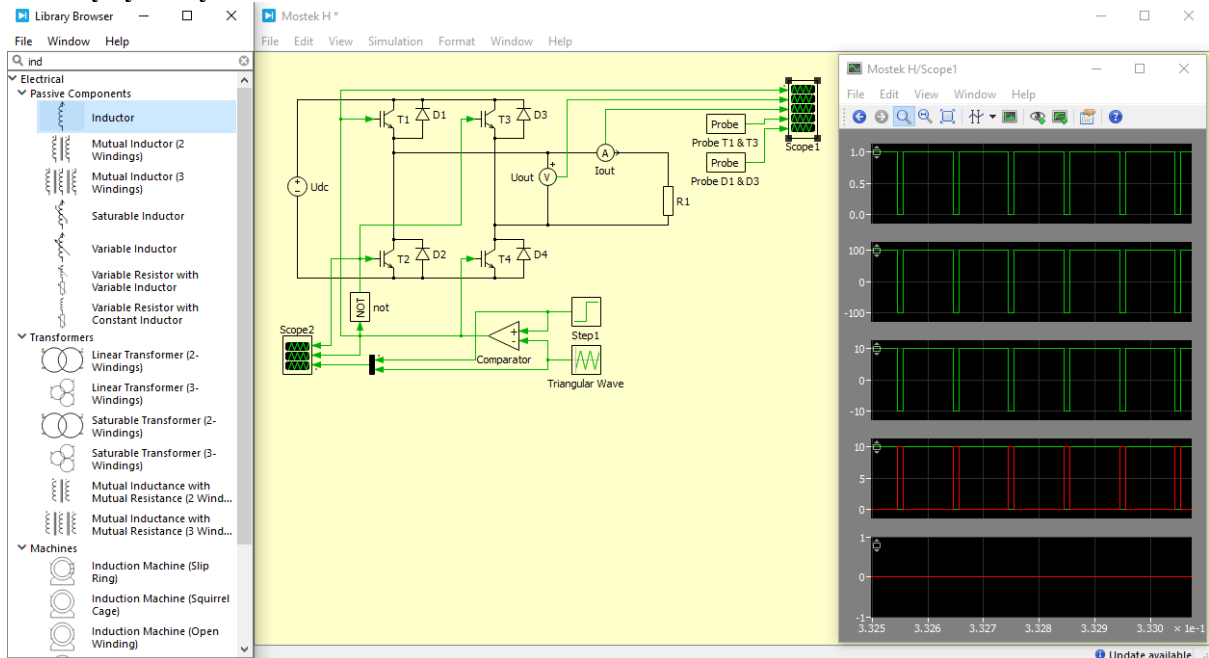
$$T_{opN} = F \omega_N$$

i podstawiając:

$$F = \frac{T_{eN} - T_N}{\omega_N} = \frac{\frac{(U_{aN} - I_{aN} R_a) I_{aN}}{n_N \frac{2\pi}{60}} - T_N}{\frac{2\pi \cdot 995}{60} \frac{1}{s}} = \frac{\frac{(420 - 90 \cdot 0,65) \cdot 90 \text{ VA}}{\frac{2\pi \cdot 995}{60} \frac{1}{s}} - 302 \text{ Nm}}{\frac{2\pi \cdot 995}{60} \frac{1}{s}} = 0,09837 \text{ Nm} \cdot \text{s}$$



8. Zbudować przekształtnik o topologii mostka H i do wyjścia przekształtnika (do napięcia U_{out}) dołączyć rezystor R_1 .



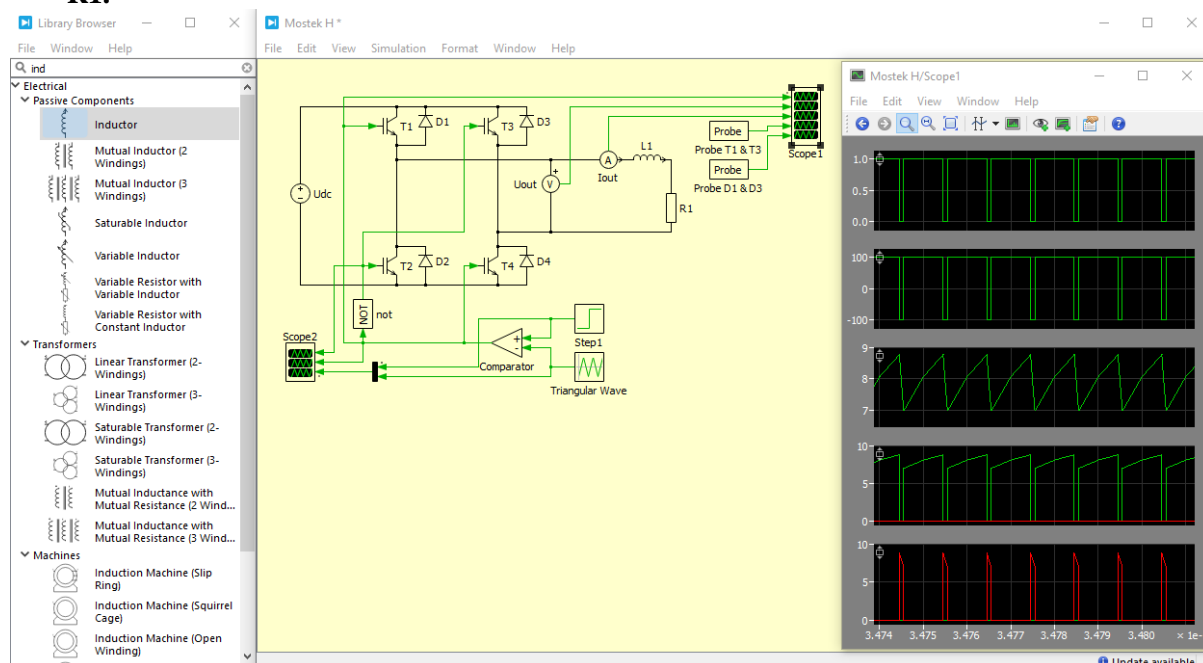
9. Zmieniając wartość *Step1* wypełnić poniższą tabelę:

<i>Step1</i>	-1	-0.4	0	0.6	1
<i>d</i> (duty cycle)					
<i>U_{out}</i> (średnie)					
<i>I_{out}</i> (średnie)					

10. Uruchomić symulację z obciążeniem rezystancyjnym R1 i odpowiedzieć na poniższe pytania:

- Jaki kształt ma napięcie *U_{out}*?
- Jakie poziomy napięć, w odniesieniu do napięcia zasilającego mostek *U_{dc}*, występują na wyjściu mostka *U_{out}*, w zależności od sygnału PWM ?
- Jaki kształt ma prąd wyjściowy mostka *I_{out}*?
- Przez jakie elementy płynie prąd w czasie gdy sygnał PWM = 1 oraz prąd *I_{out}* > 0?
- Przez jakie elementy płynie prąd w czasie gdy sygnał PWM = 0 oraz prąd *I_{out}* > 0?
- Przez jakie elementy płynie prąd w czasie gdy sygnał PWM = 1 oraz prąd *I_{out}* < 0?
- Przez jakie elementy płynie prąd w czasie gdy sygnał PWM = 0 oraz prąd *I_{out}* < 0?

11. Do wyjścia mostka H (do napięcia *U_{out}*) dołączyć obciążenie w postaci cewki L1 i rezystora R1.



12. Zmieniając wartość *Step1* wypełnić poniższą tabelę:

<i>Step1</i>	-1	-0.4	0	0.6	1
<i>d</i> (duty cycle)					
<i>U_{out}</i> (średnie)					
<i>I_{out}</i> (średnie)					

13. Uruchomić symulację z obciążeniem rezystancyjno-indukcyjnym R1-L1 i odpowiedzieć na poniższe pytania:

- Jaki kształt ma napięcie U_{out} ?
- Jakie poziomy napięcie, w odniesieniu do napięcia zasilającego mostek U_{dc} , występują na wyjściu mostka U_{out} , w zależności od sygnału PWM ?
- Jaki kształt ma prąd wyjściowy mostka I_{out} ?
- Przez jakie elementy płynie prąd w czasie gdy sygnał PWM = 1 oraz prąd $I_{out} > 0$?
- Przez jakie elementy płynie prąd w czasie gdy sygnał PWM = 0 oraz prąd $I_{out} > 0$?
- Przez jakie elementy płynie prąd w czasie gdy sygnał PWM = 1 oraz prąd $I_{out} < 0$?
- Przez jakie elementy płynie prąd w czasie gdy sygnał PWM = 0 oraz prąd $I_{out} < 0$?

14. Na podstawie poprzednich pomiarów napisać wzór na wartość średnią napięcia wyjściowego U_{out}^{av} , w zależności od amplitudy napięcia sterującego Step1 (lub współczynnika wypełnienia d) oraz wartości napięcia wejściowego U_{dc} .

$$U_{out}^{av} = \dots\dots\dots U_{dc}$$

15. Usunąć obciążenie RL i zastąpić je uprzednio zamodelowanym silnikiem prądu stałego wraz z obciążeniem i pomiarem prędkości.

