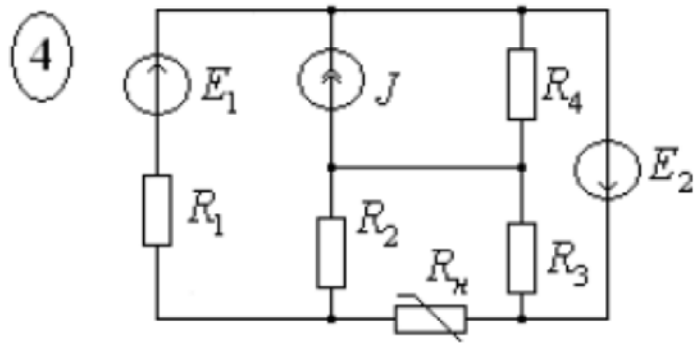


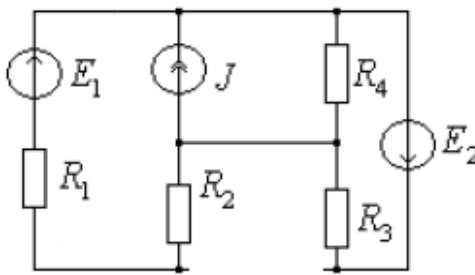
## Нелінійні електричні кола постійного струму

$$\begin{aligned} E_1 &:= 70 \text{ V} & R_1 &:= 15 \text{ } \Omega \\ E_2 &:= 20 \text{ V} & R_2 &:= 20 \text{ } \Omega \\ J &:= 4 \text{ A} & R_3 &:= 25 \text{ } \Omega \\ & & R_4 &:= 30 \text{ } \Omega \end{aligned}$$

$$U := \begin{bmatrix} 0 \\ 35 \\ 60 \\ 82 \\ 100 \\ 114 \\ 125 \\ 144 \\ 150 \end{bmatrix} \text{ V} \quad I := \begin{bmatrix} 0 \\ 0.5 \\ 1 \\ 1.5 \\ 2 \\ 2.5 \\ 3 \\ 4 \\ 4.5 \end{bmatrix} \text{ A}$$



Вилучимо  $R_k$  з схеми і розрахуємо напругу неробочого ходу двополюсника



$$U_{nx} = I_1 \cdot R_2 + I_2 \cdot R_3$$

$$I_{k1} := J$$

$$\begin{bmatrix} I_{k2} \\ I_{k3} \end{bmatrix} := \begin{bmatrix} R_1 + R_2 + R_3 & R_3 \\ R_3 & R_3 + R_4 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} E_1 + E_2 \\ E_2 + J \cdot R_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.542 \\ 2.299 \end{bmatrix} \text{ A}$$

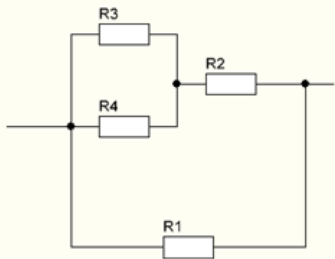
$$I_1 := I_{k2} = 0.542 \text{ A}$$

$$I_2 := I_{k2} + I_{k3} = 2.841 \text{ A}$$

$$I_4 := I_{k3} - J = -1.701 \text{ A}$$

$$U_{nx} := I_1 \cdot R_2 + I_2 \cdot R_3 = 81.869 \text{ V}$$

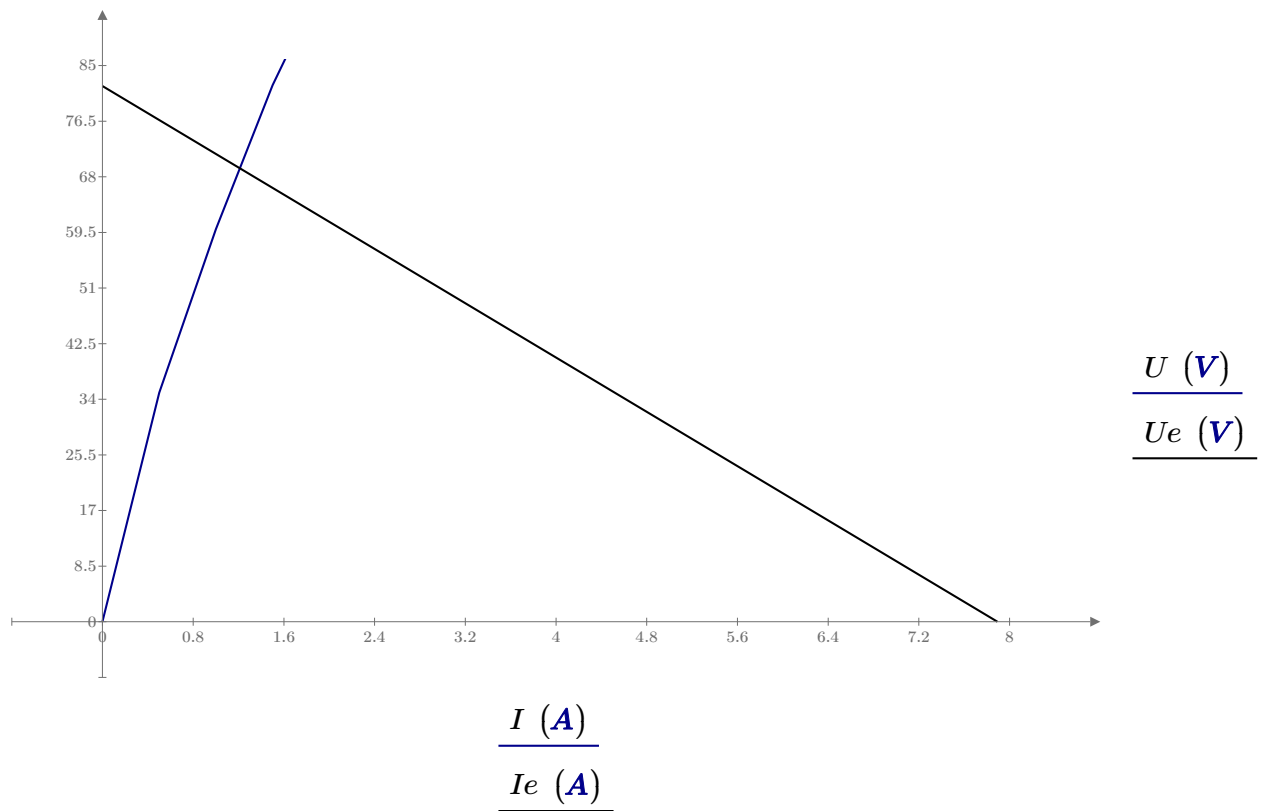
Вилучимо зі схеми джерела струму і напруги і розрахуємо вхідний опір



$$R_{vx} := \frac{\left( R_2 + \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} \right) \cdot R_1}{R_1 + R_2 + \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4}} = 10.374 \text{ } \Omega$$

Струм короткого замикання:  $I_{kz} := \frac{U_{nx}}{R_{vx}} = 7.892 \text{ A}$

$$U_e := \begin{bmatrix} U_{nx} \\ 0 \text{ V} \end{bmatrix} \quad I_e := \begin{bmatrix} 0 \text{ A} \\ I_{kz} \end{bmatrix}$$



Точка перетину характеристик - значення напруги та струму на нелінійному елементі:  
напруга 69В, струм 1.2А.

## Магнітні кола постійного струму

$$w3 := 600$$

$$B1 := 1.3 \text{ } T$$

$$\begin{aligned}\Delta 1 &:= 0.02 \text{ cm} \\ \Delta 3 &:= 0.01 \text{ cm}\end{aligned}$$

$$a := 30 \text{ cm}$$

$$h := 30 \text{ cm}$$

$$c := 6 \text{ cm}$$

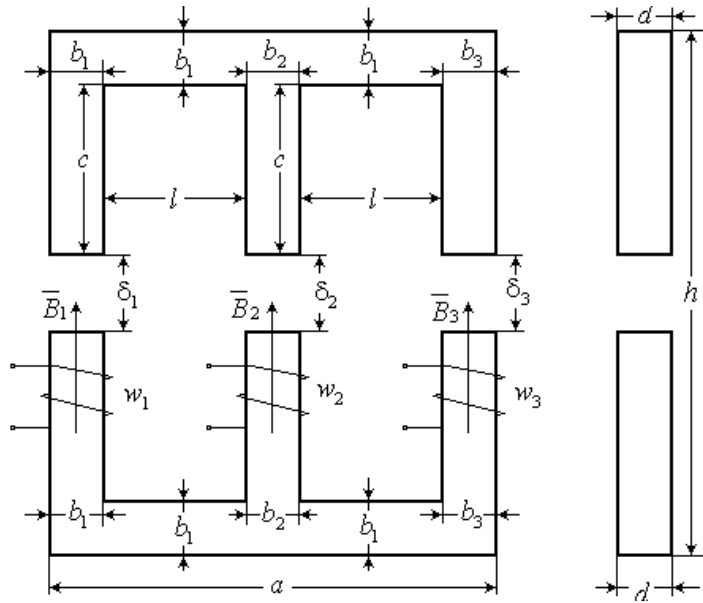
$$b1 := 4 \text{ cm}$$

$$d := 3 \text{ cm}$$

$$b_2 := 3 \text{ cm}$$

$$e := 7 \text{ cm}$$

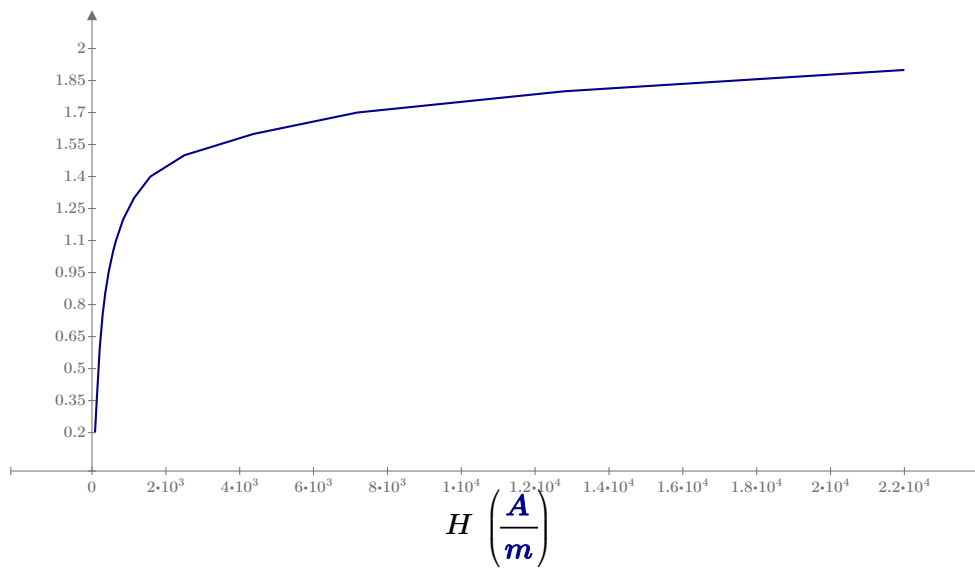
$$b3 := 3 \text{ cm}$$



$B :=$	0.9
	1
	1.1
	1.2
	1.3
	1.4
	1.5
	1.6
	1.7
1.8	
1.9	

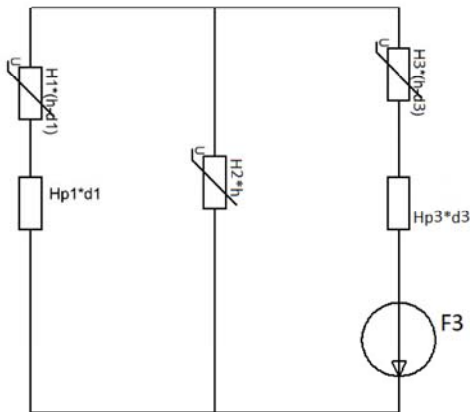
$$H := \begin{bmatrix} 397 \\ 500 \\ 650 \\ 843 \\ 1140 \\ 1580 \\ 2500 \\ 4370 \\ 7180 \\ 12800 \\ 22000 \end{bmatrix} \quad \frac{A}{m}$$

## Основна крива намагнічування



$$\underline{B(T)}$$

Побудуємо еквівалентну схему



За заданим значенням  $B1$  знаходимо з таблиці  $H1$  та  $Hp1$

$$H1 := 1140 \frac{A}{m} \quad H_{p1} := \frac{B1}{\mu_0} = (1.035 \cdot 10^6) \frac{A}{m}$$

Через отримані значення знаходимо магнітну напругу між вузлами

$$U_{mab} := H1 \cdot (h - \Delta 1) + H_{p1} \cdot \Delta 1 = 548.673 \text{ A}$$

Знайдемо значення  $H2$  та  $B2$

$$H2 := \frac{U_{mab}}{h} = 1828.911 \frac{A}{m} \quad B2 := 1.55 \text{ T}$$

Через I правило Кірхгофа знайдемо величини магнітних потоків

$$\Phi 2 := B2 \cdot b2 \cdot d = 0.001395 \text{ Wb}$$

$$\Phi 1 := B1 \cdot b1 \cdot d = 0.00156 \text{ Wb}$$

$$\Phi 3 := \Phi 1 + \Phi 2 = 0.00296 \text{ Wb}$$

$$B3 := \frac{\Phi 3}{b3 \cdot d} = 3.283 \text{ T} \quad H3 := 22000 \frac{A}{m}$$

$$H_{p3} := \frac{B3}{\mu_0} = (2.613 \cdot 10^6) \frac{A}{m}$$

Знаходимо намагнічуючу силу  $F2$

$$F3 := U_{mab} + H3 \cdot (h - \Delta 3) + H_{p3} \cdot \Delta 3 = (7.408 \cdot 10^3) \text{ A}$$

$$\text{Сила струму в обмотці: } I3 := \frac{F3}{w3} = 12.346 \text{ A}$$