Mechatronika

Házifeladat

Kovács Hunor Ádám

P953MO

Kód: 182

2023.05.23

Kovács Hunor Ádám
P953MO

I. Feladat – A hajtáslánc modellezése

1.) Motor és hajtómű választás

A villamos motort a MAXON A-max 32-es típus szabványából a 6 Voltos, csatlakozókkal (terminals) rendelkező modellt választottam, melynek száma: 236666.

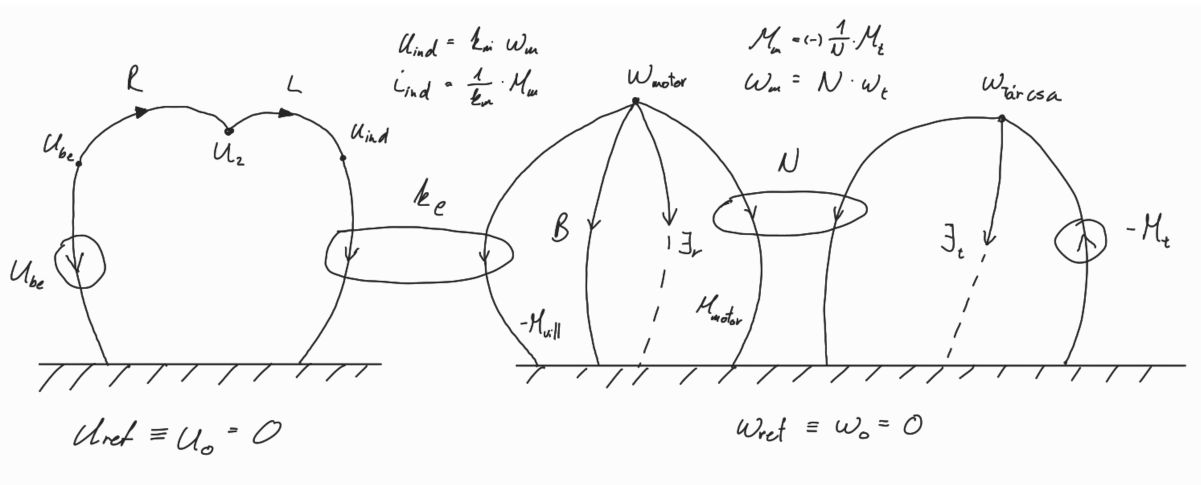
A bolygóműnek a MAXON Planetary Gerahead GP 32 BZ katalógusból a 236-os áttételű modellt választottam, melynek száma: 358516.

Ezekből a hajtáslánc paraméterei:

Név	Jelölés	Dimenzió	SI mértékegységben
Viszkózus csillapítási tényező	B_r	$2 \cdot 10^{-6} \left[\frac{Nms}{rad}\right]$	$2 \cdot 10^{-6} \left[\frac{Nms}{rad}\right]$
Kapocsfeszültség	u_g	$6\ [V]$	$6\ [V]$
Tárcsa tehetetlenségi nyomatéka	J_t	$200\ [gcm^2]$	$2 \cdot 10^{-5}\ [kgm^2]$
Armatúra ellenállás	R	$0{,}454\ [\Omega]$	$0{,}454\ [\Omega]$
Armatúra induktivitás	L	$0{,}06\ [mH]$	$6 \cdot 10^{-5} [H]$
Motorállandó	k_m	$11{,}6\ \left[\frac{mNm}{A}\right]$	$1{,}16 \cdot 10^{-2} \left[\frac{Nm}{A}\right]$
Forgórész tehetetlenségi nyomatéka	J_r	$44{,}2[gcm^2]$	$4{,}42 \cdot 10^{-6}[kgm^2]$
Névleges fordulatszám	ω_n	$3400\ [rpm]$	$356{,}0472 \left[\frac{rad}{s}\right]$
Névleges áramerősség	i_n	$3{,}96\ [A]$	$3{,}96\ [A]$
Áttétel	N	$236\ [-]$	$236\ [-]$

táblázat 1: Adatok

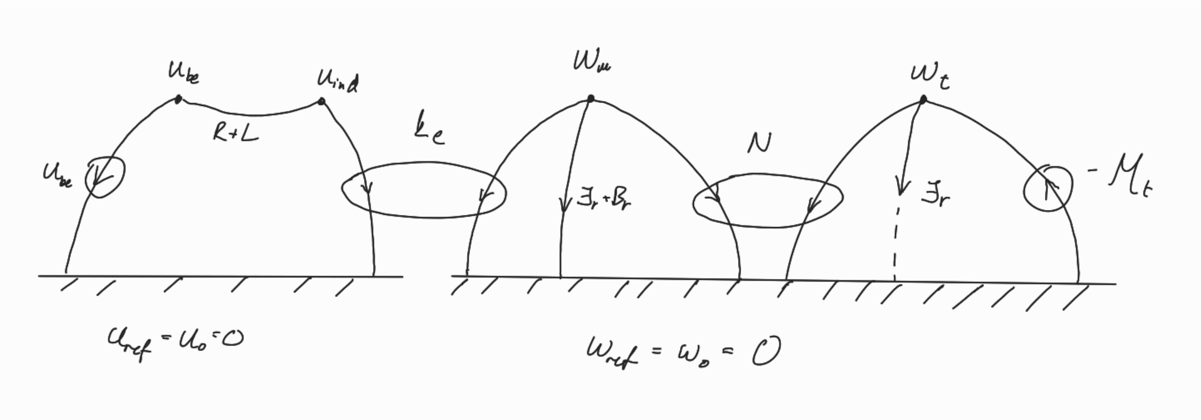
2.) A teljes hajtás modellezése struktúragráffal



ábra 1: Teljes hajtás struktúragráfja

3.) Struktúragráf egyszerűsítése

Az egyszerűsítés során a párhuzamos és soros passzív elemek éleit tudjuk egybevonni egy részgráfon belül. Így a DC motor R és L sorosan, valamint a hajtómű J_r és B_r párhuzamosan kapcsolt elemeit tudjuk leegyszerűsíteni.



ábra 2: Egyszerűsített struktúragráf

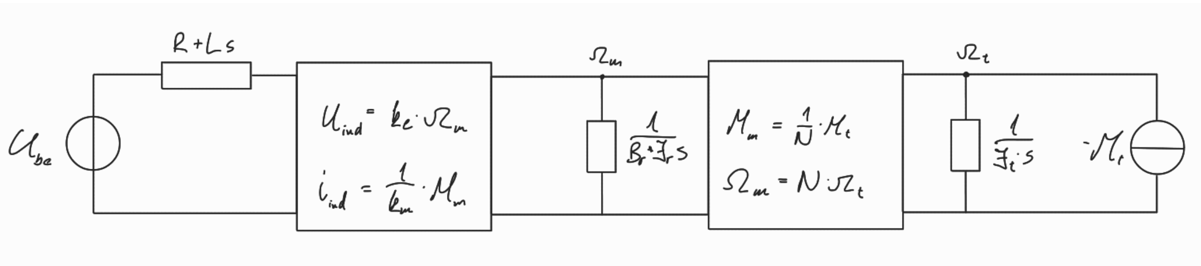
Az egyszerűsítés impedanciák esetében:

$$Z_{R+L} = Z_R + Z_L = R + L \cdot s \tag{3.1}$$

$$Z_{J_r+B_r} = Z_{J_r} \times Z_{B_r} = \frac{1}{J_r \cdot s + B_r} \tag{3.2}$$

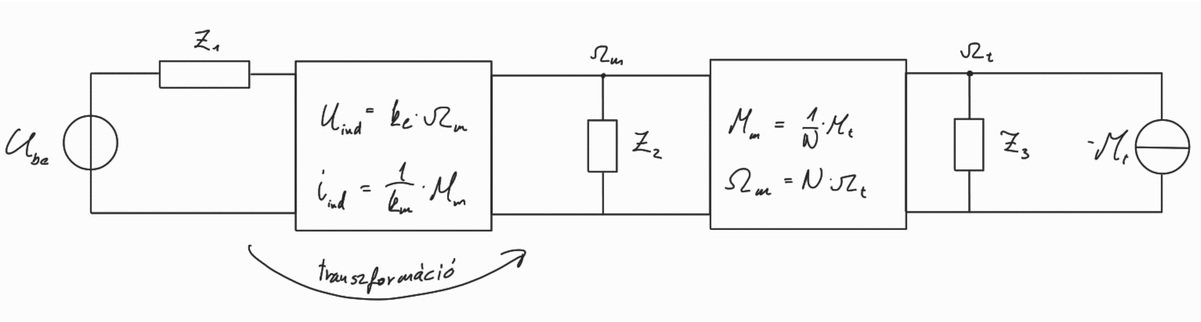
4.) A motor kapocsfeszültsége és a tárcsa sebessége közötti átmeneti függvény

Ennek kiszámolásához először készítsük el a modell impedancia-hálózatát, az egyszerűsített struktúragráf alapján:



ábra 3: A modell impedancia-hálózata

Majd transzformáljuk a rendszereket.



ábra 4: 1. transzformáció

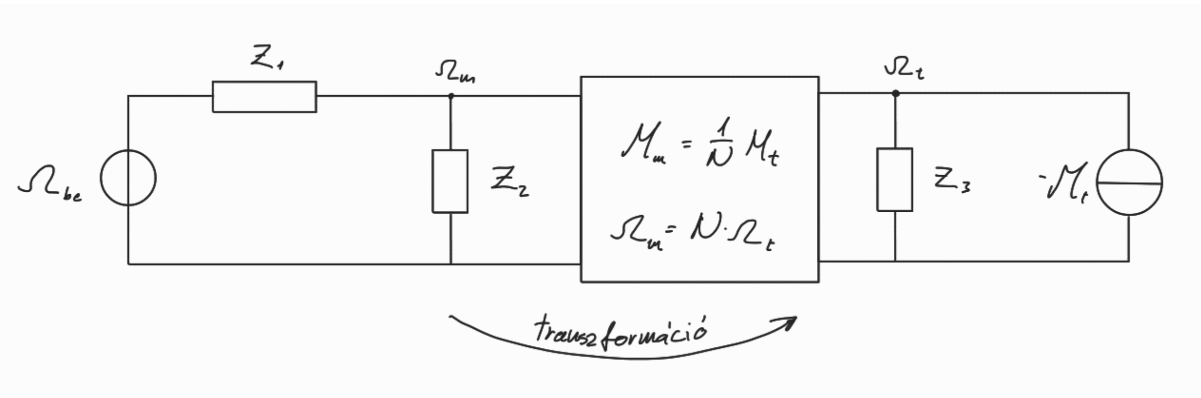
Ekkor a Z_1 impedanciát és az u_{be} (u_g) feszültségforrást visszük át a hajtásmű forgómozgást végző rendszerébe. Ezeket a következő módon tesszük meg:

$$\Omega_{be} = \frac{1}{k_m} \cdot u_{be} \tag{4.1}$$

$$Z_{forg} = \frac{\Omega}{M} = \frac{\frac{1}{k_m} \cdot u_{be}}{k_m \cdot i_{be}} = \frac{1}{k_m^2} \cdot Z_{vill} \tag{4.2}$$

$$\rightarrow Z_{1_{forg}} = \frac{R + L \cdot s}{k_m^2}$$

Ezekkel felírva az impedancia-hálózat:



ábra 5: 1. transzformáció után az impedancia-hálózat

Ezek után a tárcsa forgómozgásába transzformáljuk a rendszerünket, ami az áttétel alkalmazását jelenti a motor hajtására.

Ehhez a következő egyenleteket használjuk fel:

$$\Omega_{ki} = \frac{1}{N} \cdot \Omega_{be} \tag{4.3}$$

$$Z_{ki} = \frac{\Omega}{M} = \frac{\frac{1}{N} \cdot \Omega}{N \cdot M} = \frac{1}{N^2} \cdot Z_{be} \tag{4.4}$$

A 4.3-as egyenlet értelmében a forrás:

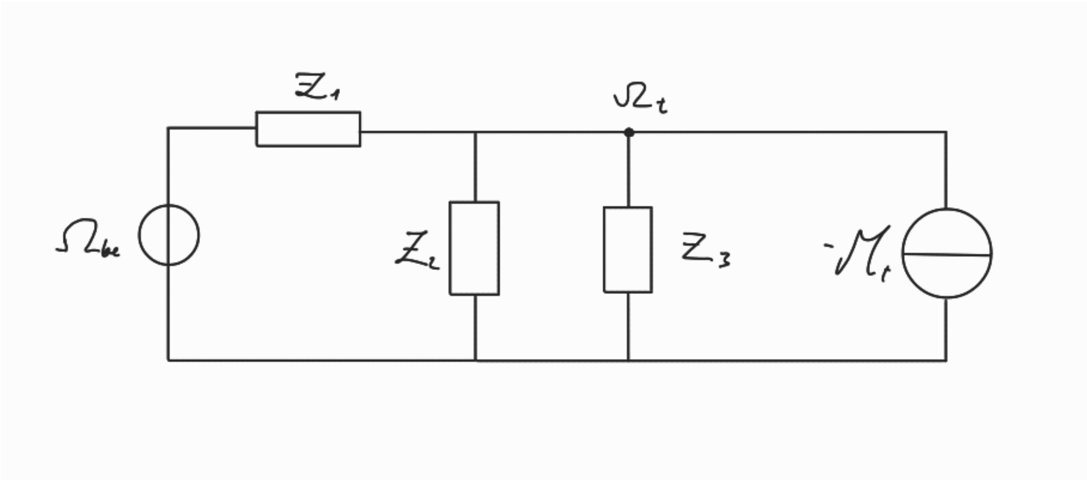
$$\Omega_{be} = \frac{1}{N \cdot k_m} \cdot u_{be} \tag{4.5}$$

És a 4.4-es szerint az impedanciák:

$$Z_1 = \frac{R + L \cdot s}{N^2 \cdot k_m^2} \tag{4.6}$$

$$Z_2 = \frac{1}{N^2(B_r + J_r \cdot s)} \tag{4.7}$$

Ezeket transzformálva a következő impedancia-hálózatot kapjuk:

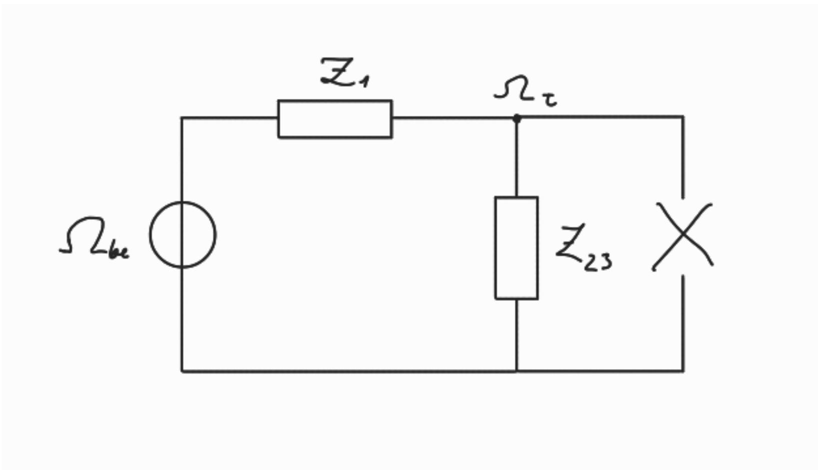


ábra 6: 2. transzformáció utáni impedancia hálózat

Majd a Z_2 és a Z_3 impedanciát egybevonjuk.

$$Z_{23} = Z_2 \times Z_3 = \frac{1}{N^2(B_r + J_r \cdot s) + J_t \cdot s} \tag{4.8}$$

Ezután az Ω_t feszültségosztóval kiszámolható. Mivel a bemenő feszültség hatását számoljuk, a $-M_t$ átmenő változót helyettesítsük szakadással (áramgenerátorral analóg).



ábra 7: Végső impedancia hálózat

Így az Ω_t értéke:

$$\Omega_t = \frac{Z_{23}}{Z_1 + Z_{23}} \cdot \Omega_{be} = \frac{\frac{1}{N^2(B_r + J_r \cdot s) + J_t \cdot s}}{\frac{R + L \cdot s}{N^2 \cdot k_m^2} + \frac{1}{N^2(B_r + J_r \cdot s) + J_t \cdot s}} \cdot \frac{1}{N \cdot k_m} \cdot u_{be} \tag{4.9}$$

Ezáltal az átmeneti függvény:

$$W(s) = \frac{\Omega_t}{u_{be}} = \frac{1}{(N^2(B_r + J_r \cdot s) + J_t \cdot s)\frac{R + L \cdot s}{N \cdot k_m} + N \cdot k_m} = \tag{4.10}$$

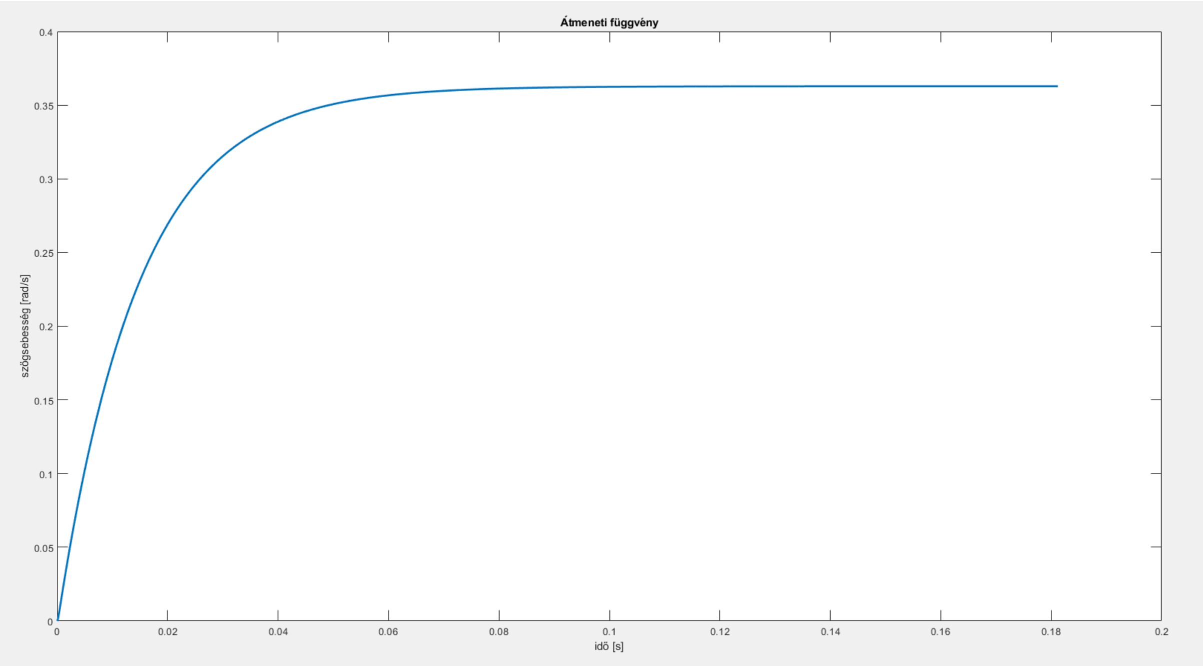
$$= \frac{1}{\frac{N^2 \cdot B_r \cdot R + N^2 \cdot B_r \cdot L \cdot s + N^2 \cdot J_r \cdot R \cdot s + N^2 \cdot J_r \cdot L \cdot s^2 + J_t \cdot R \cdot s + J_t \cdot L \cdot s^2}{N \cdot k_m} + N \cdot k_m} =$$

$$= \frac{1}{\frac{N^2 \cdot J_r \cdot L + J_t \cdot L}{N \cdot k_m} \cdot s^2 + \frac{N^2 \cdot B_r \cdot L + N^2 \cdot J_r \cdot R + J_t \cdot R}{N \cdot k_m} \cdot s + \frac{N \cdot B_r \cdot R}{k_m} + N \cdot k_m}$$

$$W(s) = \frac{1}{0{,}0000054 \cdot s^2 + 0{,}0408 \cdot s + 2{,}7561} := \frac{1}{C_1 s^2 + C_2 s + C_3}$$

5.) Átmeneti függvény ábrázolása

Az átviteli függvényt megszoroztam egy egységugrás gerjesztéssel, MATLAB programban inverz Laplace transzformáltam, majd az így kapott átmeneti függvényt a programban ábrázoltam.



ábra 8: Átmeneti függvény ábrázolása

6.) Modell időállandóinak meghatározása

Az időállandókat az átmeneti függvényből tudjuk meghatározni a következő módon:

$$W_T(s) = \frac{1}{(T_1 \cdot s + 1)(T_2 \cdot s + 1)} = \frac{1}{\frac{C_1}{C_3} \cdot s^2 + \frac{C_2}{C_3} \cdot s + 1} \tag{6.1}$$

Így az időállandókra a következő egyenleteket tudjuk felírni:

$$T_1 \cdot T_2 = \frac{C_1}{C_3} \tag{6.2}$$

$$T_1 + T_2 = \frac{C_2}{C_3} \tag{6.3}$$

$$(5.2) \rightarrow T_1 = \frac{C_1}{T_2 \cdot C_3} \rightarrow (5.3) \rightarrow \ C_3 \cdot T_2^2 - C_2 \cdot T_2 + C_1 = 0$$

Ebből a másodfokú kifejezésből a két gyök a két időállandó megoldása lesz:

$$T_{12} = \frac{C_2 \pm \sqrt{C_2^2 - 4 \cdot C_3 \cdot C_1}}{2 \cdot C_3} \tag{6.4}$$

$$T_1 = 0{,}01468\ [-]$$

$$T_2 = 0{,}0001334\ [-]$$

Kovács Hunor Ádám
P953MO

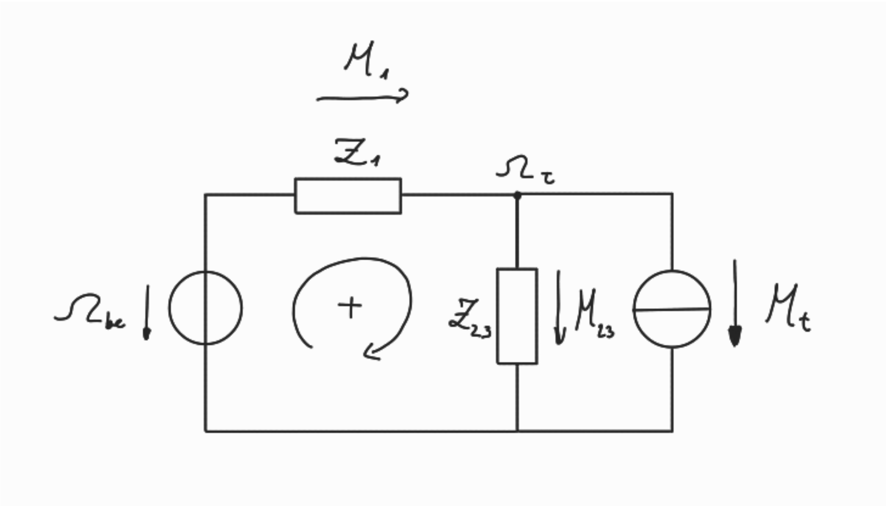
II. Feladat – Analízis

7.) Átviteli függvények meghatározása

Bemenetek: $M_t;\ u_{be}$

Kimenetek: $\Omega_t;\ i_a$

Ezek kombinációja adja a 4 átviteli függvényt, ha az egyszerűsített impedancia-hálózatnál felhasználva a csomóponti törvényt az Ω_t-re és huroktörvényt a Ω_{be}-t tartalmazó hurokra.



ábra 9: Egyszerűsített impedancia-hálózat a mennyiségek irányaival

A csomóponti törvény:

$$M_1 - M_t - M_{23} = 0 \tag{7.1}$$

$$\rightarrow M_{23} = M_1 - M_t$$

A huroktörvény:

$$-\Omega_{be} + Z_1 \cdot M_1 + Z_{23} \cdot M_{23} = 0 \tag{7.2}$$

Ezáltal:

$$(7.1) \rightarrow (7.2):\ -\Omega_{be} + Z_1 \cdot M_1 + Z_{23} \cdot (M_1 - M_t) = 0$$

$$M_1 = \frac{1}{Z_1 + Z_{23}} \cdot \Omega_{be} + \frac{Z_{23}}{Z_1 + Z_{23}} \cdot M_t = \frac{1}{(Z_1 + Z_{23}) \cdot N \cdot k_m} \cdot u_{be} + \frac{Z_{23}}{Z_1 + Z_{23}} \cdot M_t \tag{7.3}$$

A tárcsa szögsebessége előáll a bemenő szögsebesség és a Z_1 impedancia szögsebességének különbségeként, így a 7.3-as és 4.5-ös egyenletet felhasználva:

$$\Omega_t = \Omega_{be} - Z_1 \cdot M_1 = \frac{u_{be}}{N \cdot k_m} - \frac{Z_1}{(Z_1 + Z_{23})} \cdot \frac{u_{be}}{N \cdot k_m} - \frac{Z_1 \cdot Z_{23}}{Z_1 + Z_{23}} \cdot M_t = \tag{7.4}$$

$$= \frac{Z_{23}}{Z_1 + Z_{23}} \cdot \frac{u_{be}}{N \cdot k_m} - \frac{Z_1 \cdot Z_{23}}{Z_1 + Z_{23}} \cdot M_t$$

Az M_1 nyomaték és az armatúrán folyó i_a áram közötti kapcsolatot és a 7.3-as egyenletet felhasználva:

$$i_a = M_1 \cdot \frac{1}{(-N)\cdot(-k_m)} = \frac{1}{N^2 \cdot k_m^2 \cdot (Z_1 + Z_{23})} \cdot u_{be} + \frac{Z_2}{N \cdot k_m \cdot (Z_1 + Z_{23})} \cdot M_t \qquad (7.5)$$

A 7.4 illetve 7.5 egyenleteket mátrixos formába rendezve megkapjuk a négy átviteli függvényt.

$$\begin{bmatrix} \Omega_t \\ i_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{Z_{23}}{N \cdot k_m \cdot (Z_1 + Z_{23})} & -\frac{Z_1 \cdot Z_{23}}{Z_1 + Z_{23}} \\ \frac{1}{N^2 \cdot k_m^2 \cdot (Z_1 + Z_{23})} & \frac{Z_{23}}{N \cdot k_m \cdot (Z_1 + Z_{23})} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{be} \\ M_t \end{bmatrix} \coloneqq \begin{bmatrix} W_{11} & W_{12} \\ W_{21} & W_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{be} \\ M_t \end{bmatrix} \qquad (7.6)$$

A W_{11} függvényt az első feladatrészben kiszámoltuk. A többi függvény kiszámítása:

$$W_{12} = -\frac{Z_1 \cdot Z_{23}}{Z_1 + Z_{23}} = -\frac{\frac{R + L \cdot s}{N^2 \cdot k_m^2} \cdot \frac{1}{N^2(B_r + J_r \cdot s) + J_t \cdot s}}{\frac{R + L \cdot s}{N^2 \cdot k_m^2} + \frac{1}{N^2(B_r + J_r \cdot s) + J_t \cdot s}} = \qquad (7.7)$$

$$= -\frac{R + L \cdot s}{(R + L \cdot s) \cdot (N^2(B_r + J_r \cdot s) + J_t \cdot s) + N^2 \cdot k_m^2} =$$

$$= -\frac{R + L \cdot s}{s^2 \cdot (N^2 \cdot L \cdot J_r + L \cdot J_r) + s \cdot (N^2 \cdot R \cdot J_r + R \cdot J_t + N^2 \cdot L \cdot B_r) + N^2 \cdot k_m^2 + N^2 \cdot R \cdot B_r}$$

$$W_{21} = \frac{1}{N^2 \cdot k_m^2 \cdot (Z_1 + Z_{23})} = \frac{1}{N^2 \cdot k_m^2 \left(\frac{R + L \cdot s}{N^2 \cdot k_m^2} + \frac{1}{N^2(B_r + J_r \cdot s) + J_t \cdot s}\right)} = \qquad (7.8)$$

$$= \frac{N^2 \cdot B_r + N^2 \cdot J_r \cdot s + J_t \cdot s}{(R + L \cdot s)(N^2 \cdot B_r + N^2 \cdot J_r \cdot s + J_t \cdot s) + N^2 \cdot k_m^2} =$$

$$= \frac{N^2 \cdot B_r + (N^2 \cdot J_r + J_t) \cdot s}{s^2 \cdot (L \cdot J_r + N^2 \cdot L \cdot J_t) + s \cdot (N^2 \cdot L \cdot B_r + N^2 \cdot R \cdot J_r + R \cdot J_t) + N^2 \cdot R \cdot B_r + N^2 \cdot k_m^2}$$

$$W_{22} = \frac{Z_{23}}{N \cdot k_m \cdot (Z_1 + Z_{23})} = W_{11} = \qquad (7.9)$$

$$= \frac{N \cdot k_m}{s^2 \cdot (N^2 \cdot J_r \cdot L + J_t \cdot L) + s \cdot (N^2 \cdot B_r \cdot L + N^2 \cdot J_r \cdot R + J_t \cdot R) + N^2 \cdot B_r \cdot R + N^2 \cdot k_m^2}$$

8.) Kimenetek állandósult értékei egységnyi bemenet esetén

A kimenetek állandósult értékeinek meghatározására az alábbi végértéktételt használjuk fel:

$$\lim_{t\to\infty} y(t) = y(\infty) = \lim_{s\to 0} s \cdot Y(s) \tag{8.1}$$

ahol:

$$Y(s) = U(s) \cdot W(s) \tag{8.2}$$

Mivel a bemenet egységugrás:

$$U(s) = \frac{1}{s} \tag{8.3}$$

A 8.1-es egyenletbe behelyettesítve a 8.2 és 8.3-asat:

$$\lim_{t\to 0} s \cdot Y(s) = \lim_{s\to 0} s \cdot \frac{1}{s} \cdot W(s) = \lim_{s\to 0} W(s) \tag{8.4}$$

Így az állandósult értékek:

$$\lim_{s\to 0} W_{11}(s) =$$
$$= \lim_{s\to 0} \frac{N \cdot k_m}{s^2 \cdot (N^2 \cdot J_r \cdot L + J_t \cdot L) + s \cdot (N^2 \cdot B_r \cdot L + N^2 \cdot J_r \cdot R + J_t \cdot R) + N^2 \cdot B_r \cdot R + N^2 \cdot k_m^2} =$$
$$= \frac{N \cdot k_m}{N^2 \cdot B_r \cdot R + N^2 \cdot k_m^2} = \frac{k_m}{N \cdot B_r \cdot R + N \cdot k_m^2} = 0{,}3628 \left[\frac{rad}{s}\right] \tag{8.5}$$

$$\lim_{s\to 0} W_{12}(s) =$$
$$= \lim_{s\to 0} - \frac{R + L \cdot s}{s^2 \cdot (N^2 \cdot L \cdot J_r + L \cdot J_r) + s \cdot (N^2 \cdot R \cdot J_r + R \cdot J_t + N^2 \cdot L \cdot B_r) + N^2 \cdot k_m^2 + N^2 \cdot R \cdot B_r} =$$
$$= -\frac{R}{N^2 \cdot B_r \cdot R + N^2 \cdot k_m^2} = -0{,}06017 \left[\frac{rad}{s}\right] \tag{8.6}$$

$$\lim_{s\to 0} W_{21}(s) =$$
$$= \lim_{s\to 0} \frac{N^2 \cdot B_r + (N^2 \cdot J_r + J_t) \cdot s}{s^2 \cdot (L \cdot J_r + N^2 \cdot L \cdot J_t) + s \cdot (N^2 \cdot L \cdot B_r + N^2 \cdot R \cdot J_r + R \cdot J_t) + N^2 \cdot R \cdot B_r + N^2 \cdot k_m^2} =$$
$$= \frac{N^2 \cdot B_r}{N^2 \cdot B_r \cdot R + N^2 \cdot k_m^2} = \frac{B_r}{B_r \cdot R + k_m^2} = 0{,}01476\ [A] \tag{8.7}$$

$$\lim_{s\to 0} W_{22}(s) =$$
$$= \lim_{s\to 0} \frac{N \cdot k_m}{s^2 \cdot (L \cdot J_r + N^2 \cdot L \cdot J_t) + s \cdot (N^2 \cdot L \cdot B_r + N^2 \cdot R \cdot J_r + R \cdot J_t) + N^2 \cdot R \cdot B_r + N^2 \cdot k_m^2} =$$
$$= \frac{k_m}{N \cdot B_r \cdot R + N \cdot k_m^2} = 0{,}3628\ [A] \tag{8.8}$$

9.) Feszültség – szögsebesség átmeneti függvény időtartományban

Az átmeneti függvény a 6.1-es átmeneti függvény transzformálásával kapható meg, a bemenetet egységugrásnak véve.

$$u(t) = \varepsilon(t) \rightarrow U(s) = \frac{1}{s} \tag{9.1}$$

$$W_{11}(s) = \frac{1}{C_1 \cdot s^2 + C_2 \cdot s + C_3} = \frac{\frac{1}{C_1}}{\left(s + \frac{1}{T_1}\right)\left(s + \frac{1}{T_2}\right)} = \frac{1{,}8533 \cdot 10^5}{(s + 68{,}1121)(s + 7499{,}007)} \tag{9.2}$$

A két fenti egyenletet egyesítve, és gyöktényezős alakra hozva:

$$\Omega_t = W_{11}(s) \cdot U_{be}(s) = \frac{1{,}9578 \cdot 10^{-6}}{(s + 68{,}1121)(s + 7499{,}007)} \cdot \frac{1}{s} = \tag{9.3}$$
$$= \frac{0{,}3628}{s} - \frac{0{,}3662}{s + 68{,}1121} + \frac{0{,}003326}{s + 7499{,}007}$$

Ebből az inverz Laplace-transzformáció segítségével kaphatjuk meg az átmeneti függvényt az időtartományban:

$$\omega_t(t) = 0{,}3628 \cdot \varepsilon(t) - 0{,}3662 \cdot e^{-68{,}1121 \cdot t} + 0{,}003326 \cdot e^{-7499{,}007 \cdot t} \tag{9.4}$$

10.) Motor fordulatszám időfüggvénye névleges feszültség rákapcsolása esetén

A motor fordulatszámához a motor oldali szögsebességet kell felhasználnunk, mely a tárcsa szögsebességéhez kapcsolódik az áttételen keresztül, tehát:

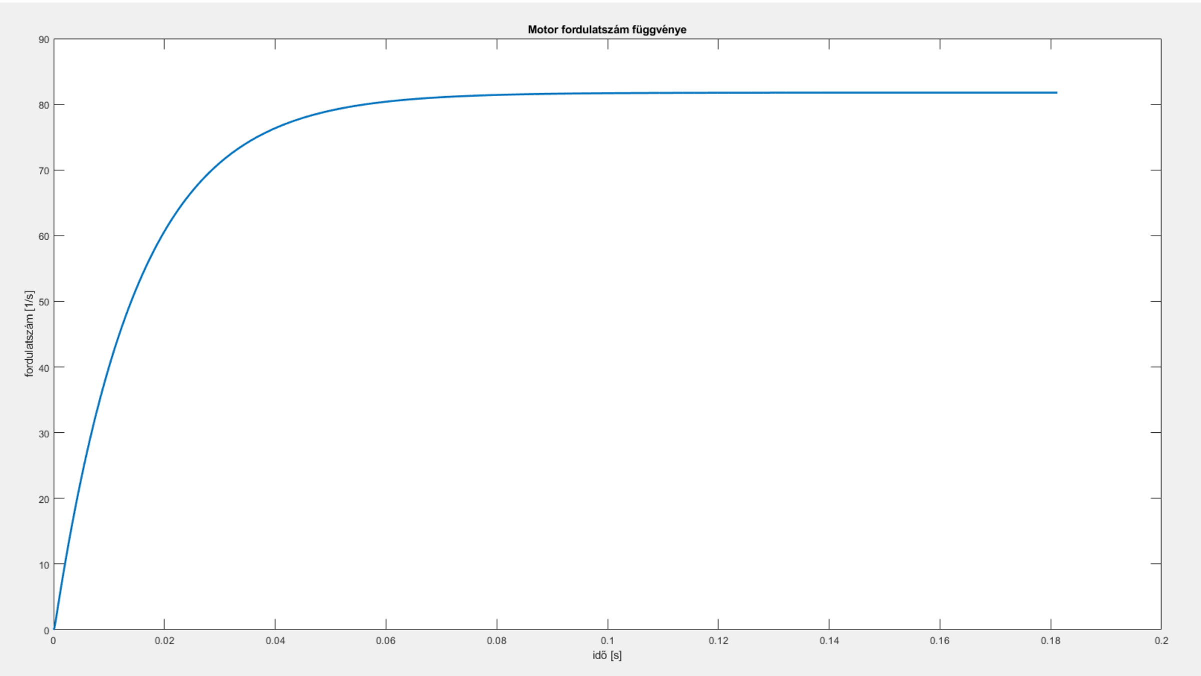
$$\omega_m(t) = N \cdot \omega_t(t) \tag{10.1}$$

Ahol $\omega_t(t)$ a 9.4-es egyenlettel egyenlő.

Továbbá a kerületi sebességet használjuk fel a fordulatszámhoz, ezért $2 \cdot \pi$-vel le kell osztanunk. Ezáltal az egységnyi feszültségre adott választ kapjuk meg, ezért még a névleges feszültséggel (6 [V]) meg kell szorozzuk. így:

$$\begin{aligned} n_m(t) &= \frac{N \cdot u_{be}}{2 \cdot \pi} \omega_t(t) = 225{,}3634 \cdot \omega_t(t) = \\ &= 81{,}7697 \cdot \varepsilon(t) - 82{,}5193 \cdot e^{-68{,}1121 \cdot t} + 0{,}7495 \cdot e^{-7499{,}007 \cdot t} \end{aligned} \tag{10.2}$$

Majd ezt a MATLAB programban ábrázoljuk.



ábra 10: Motor fordulatszám függvénye

11.) Maximális terhelő nyomaték melynél a motor eléri a maximális áramot

A maximális nyomaték kiszámolásához a 8.) feladatban egységnyi nyomatékra (8.8) és kapocsfeszültségre (8.7) kiszámolt állandósult értékeket használjuk fel. Ezeket megszorozva a névleges értékeikkel megkapjuk az i_n névleges áramerősséget. Így a következő egyenlet írható fel:

$$i_n = u_{be} \cdot i_u + M_{t,max} \cdot i_M \tag{11.1}$$

Ezt átrendezve kifejezhető a maximális nyomaték értéke:

$$M_{t,max} = \frac{i_n - u_{be} \cdot i_u}{i_M} = 10{,}6699\ [Nm]$$

Szorgalmi feladat – Paraméterek változtatása

12.) Motor B_r viszkózus csillapítási tényezőjének hatása a megengedhető nyomatékra

Az előzőfeladatban felhasznált állandósult értékeket befolyásolja csak a B_r a következő módokon:

$$i_u = \frac{B_r}{B_r \cdot R + k_m^2} \text{ és } i_M = \frac{k_m}{B_r \cdot R \cdot N + N \cdot k_m} \tag{12.1}$$

Ha a viszkózus csillapítás a tizedére csökken:

$$i_{u0,1} = \frac{0{,}1 \cdot B_r}{0{,}1 \cdot B_r \cdot R + k_m^2} = 0{,}001485\ [A] \tag{12.2}$$

$$i_{M0,1} = \frac{k_m}{0{,}1 \cdot B_r \cdot R \cdot N + N \cdot k_m} = 0{,}365\ [A] \tag{12.3}$$

Így a csökkentett viszkozitás esetén maximális terhelő nyomaték:

$$M_{t,max0,1} = \frac{i_n - u_{be} \cdot i_{u0,1}}{i_{M0,1}} = 10{,}8238\ [Nm] \tag{12.4}$$

A viszkozitás tízszeres értéke esetén:

$$i_{u10} = \frac{10 \cdot B_r}{10 \cdot B_r \cdot R + k_m^2} = 0{,}1392\ [A] \tag{12.2}$$

$$i_{M10} = \frac{k_m}{10 \cdot B_r \cdot R \cdot N + N \cdot k_m} = 0{,}2322\ [A] \tag{12.3}$$

A viszkozitás növelése esetén maximális terhelő nyomaték:

$$M_{t,max10} = \frac{i_n - u_{be} \cdot i_{u10}}{i_{M10}} = 9{,}131\ [Nm] \tag{12.4}$$

Láthatóan a viszkozitás csökkentése enyhén javítja a terhelhetőséget, míg a viszkozitás növelése határozottan rontja.

Mellékletek:

MATLAB kód:

```
%Adatok
Br = 2*10^-6;
ube = 6;
Jt = 2*10^-5;
R = 0.454;
L = 6*10^-5;
km = 1.16*10^-2;
Jr = 4.42*10^-6;
wn = 356.0472;
in = 3.96;
N = 236;

%5. feladat

syms t1 s;
C1 = (N^2*Jr*L+Jt*L)/(N*km);
C2 = (N^2*Br*L+N^2*Jr*R+Jt*R)/(N*km);
C3 = N*Br*R/km + N*km;
gsz= 1/s; %egységugrás gerjesztés
w1 = 1/(C1*s^2+C2*s+C3)*gsz; %függvény
t1=0:0.0001:1;
w2 = ilaplace(w1); %inverz laplace
fv1=matlabFunction(w2); %szimbolikus kifejezés függvénnyé alakítása
plot(t1, fv1(t1), LineWidth=2);
title("Átmeneti függvény" );
ylabel("szögsebesség [rad/s]");
xlabel("idő [s]");

%6. feladat
T = roots([C3; -C2; C1]);

%8. feladat
lim11=(N*km)/(N^2*Br*R+N^2*km^2);
lim12=-R/(N^2*Br*R+N^2*km^2);
lim21= Br/(Br*R+km^2)
lim22=(N*km)/(N^2*Br*R+N^2*km^2);

%9. feladat
p = 1/C1;
Tinv = 1./T;
A = T(1)*T(2)*p;
C = -(p*T(2))/(1/T(1)-1/T(2));
B = -C-A;

%10. feladat
syms t2 s
konst = N*ube/(2*pi);
konstA = konst*A;
konstB = konst*B;
konstC = konst*C;
w3 = 1/(C1*s^2+C2*s+C3)*gsz; %hasonló eljárás mint a 5. feladat ábrázolásánál
t2=0:0.0001:1;
w4 = ilaplace(w3);
```

```
fv2=matlabFunction(w4);
plot(t2, konst.*fv1(t2), LineWidth=2); %kiszámolt konstanssal megszorozzuk
title("Motor fordulatszám függvénye" );
ylabel("fordulatszám [1/s]");
xlabel("idő [s]");

%11. feladat
Mmax = (in-ube*lim21)/lim22;

%12. feladat
iu01 = 0.1*Br/(0.1*Br*R+km^2);
iM01 = (N*km)/(N^2*0.1*Br*R+N^2*km^2);
Mmax01 = (in-ube*iu01)/iM01;

iu10 = 10*Br/(10*Br*R+km^2);
iM10 = (N*km)/(N^2*10*Br*R+N^2*km^2);
Mmax10 = (in-ube*iu10)/iM10;
```