

Динамічні властивості тягового електропривода постійного струму.

Розглядається тяговий електричний привод магістрального електровоза постійного струму ДЕ1. Тягові двигуни привода послідовного збудження з опорно-осьовим підвішуванням. В роботі [1] приведені диференціальні рівняння та передаточна функція тягового електричного двигуна постійного струму з послідовним збудженням. Передаточна функція по вхідній напрузі ΔU_k і виходом по швидкості ΔV має вид

$$W_{\Delta V \Delta U_k}(p) = \frac{k}{T_1^2 p^2 + T_2 p + 1}$$

Для тягового двигуна електровоза ДЕ1 [2] коефіцієнт $k = 0.036$, а сталі часу $T_1 = 0.475$ с, $T_2 = 43.281$ с [3].

Частотна передаточна функція $W_{\Delta V \Delta U_k}(j\omega)$ отримана при заміні p на $j\omega$

$$W_{\Delta V \Delta U_k}(j\omega) = \frac{k}{T_1^2 (j\omega)^2 + T_2 (j\omega) + 1} = \frac{0.036}{1 - 0.226\omega^2 + j43.281\omega}$$

Після позбавлення уявності у знаменнику отримуємо частотну передаточну функцію у вигляді суми дійсної $U(\omega)$ і уявної $V(\omega)$ частин

$$W_{\Delta V \Delta U_k}(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega), \text{ де}$$

$$U(\omega) = \frac{0.036 - 0.00812\omega^2}{0.050907\omega^4 + 1872.794\omega^2 + 1}$$

$$V(\omega) = -\frac{1.558\omega}{0.050907\omega^4 + 1872.794\omega^2 + 1}$$

Використаємо дійсну $U(\omega)$ і уявну $V(\omega)$ частотні функції для отримання амплітудної частотної функції $A(\omega)$

$$A(\omega) = \sqrt{U^2(\omega) + V^2(\omega)} = \frac{\sqrt{0.001296 + 2.426414\omega^2 + 6.619 \cdot 10^{-5}\omega^4}}{0.050907\omega^4 + 1872.794\omega^2 + 1}$$

Фазова частотна функція $\varphi(\omega)$, що показує зсув фази вихідної величини відносно вхідної визначається за формулою

$$\varphi(\omega) = \arctg \frac{V(\omega)}{U(\omega)} = -\arctg \frac{1.558\omega}{0.036 - 0.00812\omega^2}$$

Для побудови логарифмічних частотних характеристик, амплітудної $L(\omega)$ та фазової $\varphi(\omega)$ представимо їх вирази у вигляді

$$L(\omega) = 20 \lg A(\omega) = 20 \lg \frac{\sqrt{0.001296 + 2.426414\omega^2 + 6.619 \cdot 10^{-5}\omega^4}}{0.050907\omega^4 + 1872.794\omega^2 + 1}$$

$$\varphi(\omega) = -\arctg \left(\frac{1.558\omega}{0.036 - 0.00812\omega^2} \right) \frac{180}{\pi}$$

Графіки характеристик $L(\omega)$ та $\varphi(\omega)$ показані на рисунках 1 та 2.

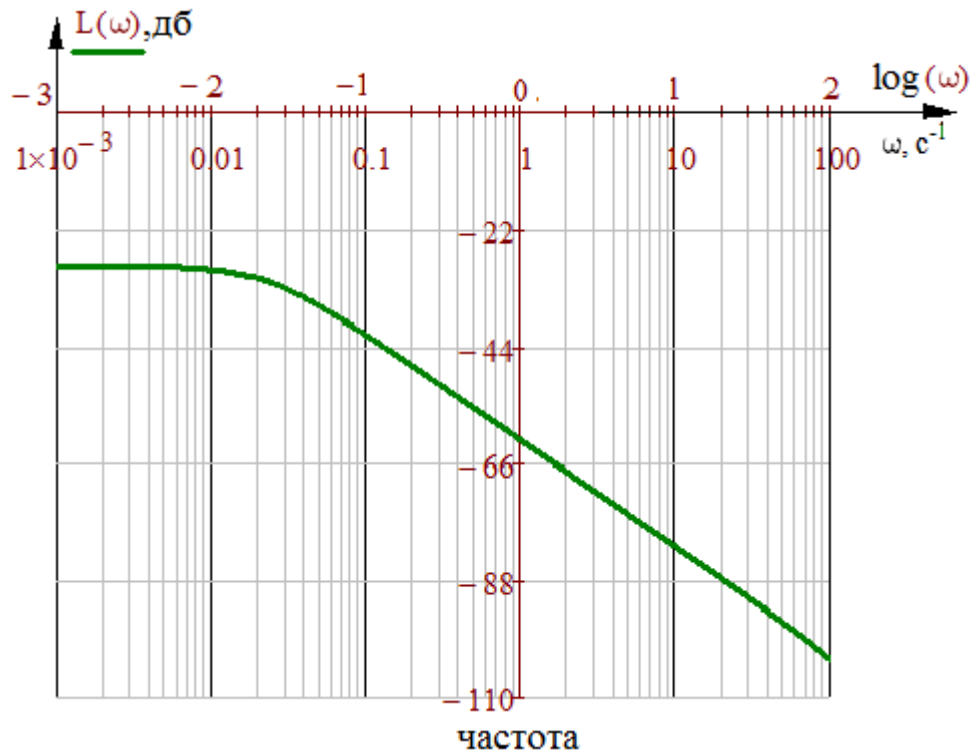


Рис.1. Логарифмічна амплітудна частотна характеристика

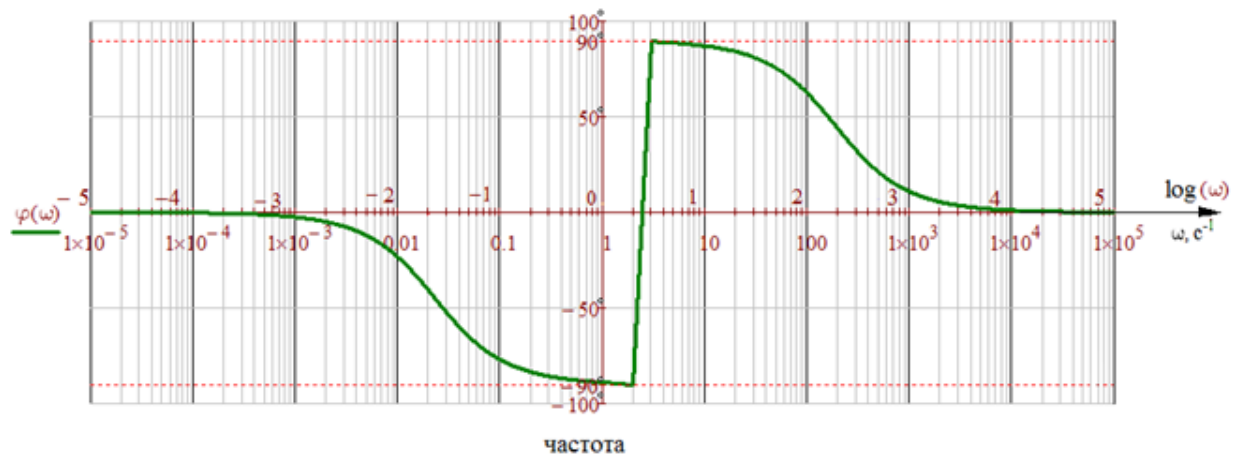


Рис.2. Логарифмічна фазова частотна характеристика

Передаточна функція дозволяє отримати перехідну характеристику тягового електропривода

$$W_{\Delta V \Delta U_k}(S) = \frac{\Delta V(S)}{\Delta U_k(S)} = \frac{k}{T_1^2 S^2 + T_2 S + 1}$$

Звідси

$$\Delta V(S) = \frac{k}{T_1^2 S^2 + T_2 S + 1} \cdot \Delta U_k(S)$$

Якщо $\Delta U_k(S) = \frac{1}{S}$, то

$$\Delta V(S) = \frac{k}{T_1^2 S^2 + T_2 S + 1} \cdot \frac{1}{S}$$

Перехідна функція $h(t)$ – це оригінал зображення $\Delta V(S)$ який знаходиться, як

$$h(t) = \Delta V(t) = L^{-1} \left\{ \frac{k}{T_1^2 p^2 + T_2 p + 1} \cdot \frac{1}{p} \right\} = L^{-1} \left\{ \frac{0.036}{0.475^2 p^2 + 43.281 p + 1} \cdot \frac{1}{p} \right\} =$$

$$= 0.036 + 4.015 \cdot 10^{-6} e^{-207.213t} - 0.036 e^{-0.02311t}$$

Графік перехідної характеристики наведено на рисунку 3.

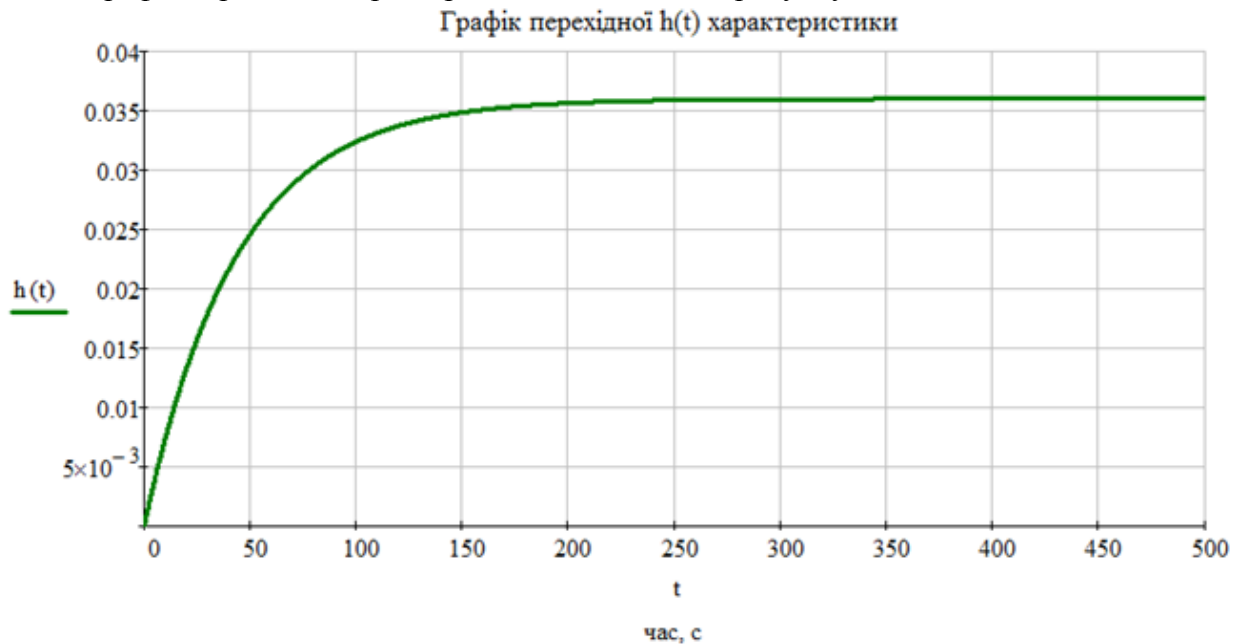


Рис.3. Перехідна характеристика

Імпульсна перехідна функція $w(t)$ – це перша похідна від перехідної функції

$$w(t) = \frac{dh}{dt} = \frac{d}{dt} [0.036 + 4.015 \cdot 10^{-6} e^{-207.213t} - 0.036 e^{-0.02311t}] =$$

$$= 0.000832 \cdot (e^{-0.02311 \cdot t} - e^{-207.213 \cdot t})$$

Графік імпульсної перехідної характеристики наведено на рисунку 4

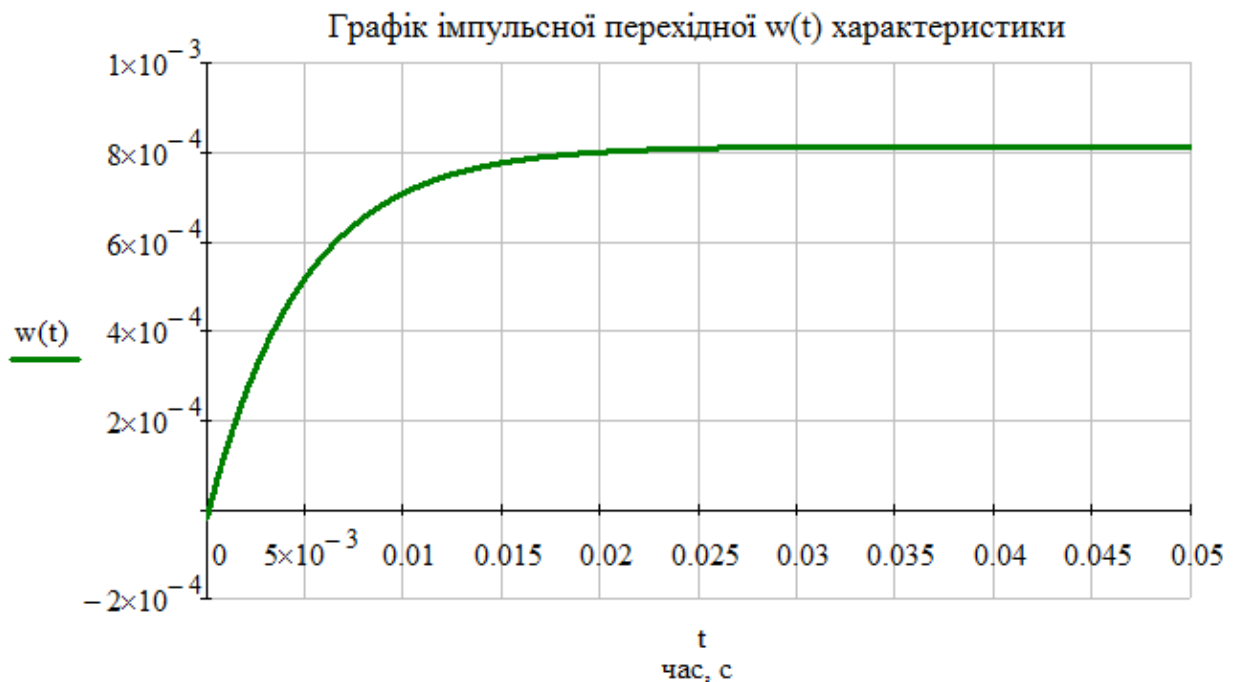


Рис.4. Імпульсна перехідна характеристика

Зробимо аналіз отриманих результатів. Частотні та часові функції, їх характеристики і те, що $T_2/2T_1 > 1$ показує, що привод електровоза ДЕ1 володіє властивостями аперіодичної ланки другого порядку.

Для оцінки стійкості привода як системи скористуємося критерієм Гурвіца. Характеристичне рівняння отримуємо зі знаменника передаточної функції

$$0.225625 \cdot \lambda^2 + 43.281 \cdot \lambda + 1 = 0,$$

де λ – корені рівняння.

Характеристичне рівняння має другий порядок. Згідно критерію Гурвіца необхідна і достатня умови стійкості – позитивні коефіцієнти характеристичного рівняння. Ця умова виконується і тому тяговий електропривод електровоза ДЕ-1 є стійким.

Інформаційні ресурси

1. Автоматизация электрического подвижного состава [Текст]. Под ред. Д.Д. Захарченко / Д.Д. Захарченко, А.В. Плакс, А.Н. Савоськин, В.И. Некрасов, В.П. Феоктистов. – М.: Транспорт, 1978, 280с.
2. Электровоз магистральный ДЭ-1. Техническое описание [Текст]. ЗТТ.000.020-03 ТО. – 1999. – 188с.
3. Кедря М.М., Малюк А.О. Математична модель тягового електропривода постійного струму як лінеаризованного об'єкта регулювання [Текст]. Тези доповідей 74 Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту». – Дніпропетровськ, 2014, с.132.