

Вінницький національний технічний університет  
Кафедра ЕМСАПТ

# Підвищення ефективності роботи тягового електропривода трамвайного вагону «WinWay»

Виконав ст. гр. ЕМ-156 з.в. Кульчицький А. Ю.  
Керівник доц. Мошноріз М. М.



Назва характеристики	Значення
Модель трамвая	T-4UA
Довжина вагона, м	16,2
Ширина вагона, м	2,280
Колія, мм	1000
Кількість секцій	1
Кількість осей	4
Кількість сидячих місць	20 + 2 для людей з обм. можливостями
Максимальна пасажиромісткість трамвая (при 8 пас/м <sup>2</sup> ), max	152
Діаметр колеса, мм, не більше	700

Назва характеристики	Значення
Колісна база візків, мм	1900
Види гальм	Електродинамічне, електромеханічне та електромагнітне
Кількість дверей	3
Максимально допустима маса вагона, не більше, т	31,6
Система керування	Імпульсна (з рекуперацією), IGBT
Тяговий двигун	Постійного струму з послідовним збудженням
Потужність, кВт	40
Напруга, В	300 DC
Струм, А	150
Напруга бортової мережі, В	24 DC
Ємність акумуляторних батарей, Ач	125
Кількість акумуляторних батарей, шт	1
Генератор	Статичний перетворювач 550/24/3x220, Cegelec SMTK 6,3
Освітлення кабіни та салону	Світлодіодне
Опалення кабіни та салону	Повітряне, калориферне
Інформаційна система	Переднє, бокове, заднє та внутрішнє інформаційні табло

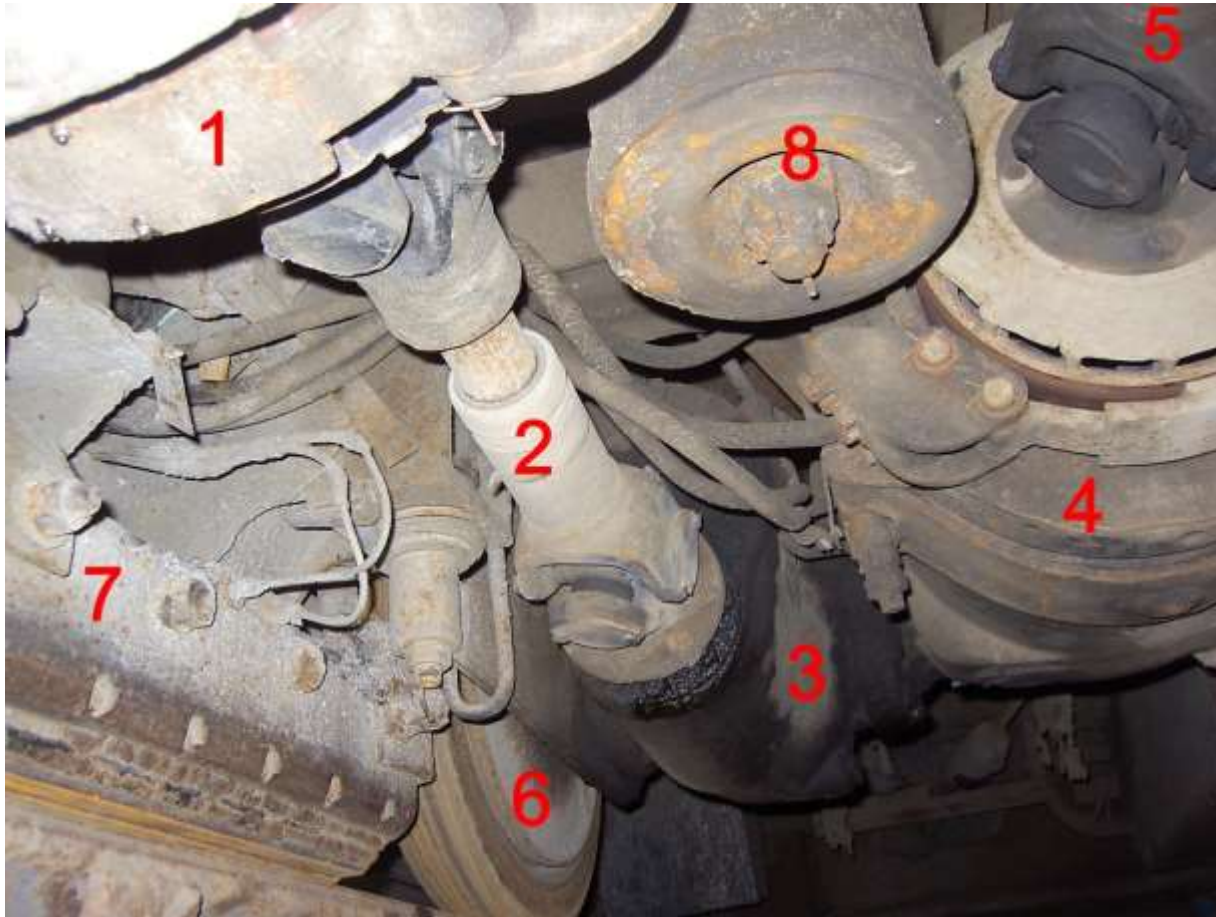
**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення ефективності роботи тягового електропривода трамвайного вагону «WinWay» за рахунок автоматизації процесу розгону та сповільнення, що дозволить зменшити споживання енергії, покращити комфортність перевезення пасажирів та полегшить роботу водія.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- 1) провести аналіз існуючих систем тягового електроприводу трамваю;
- 2) розрахувати необхідну потужність приводних двигунів;
- 3) обрати економічно доцільну систему керування електроприводом;
- 4) розробити структурну схему тягового електропривода та розрахувати і вибрати його основні елементи;
- 5) розрахувати систему керування електроприводом та провести комп'ютерне моделювання роботи в різних режимах;
- 6) розробити схему електричну принципову тягового електропривода трамвайного вагону.

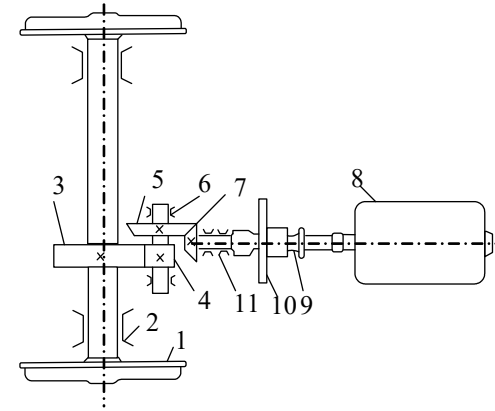
**Об'єкт дослідження** – процес роботи тягового електропривода трамваю.

**Предмет дослідження** – система керування тяговим електроприводом трамвайного вагону.



Зовнішній вигляд візка трамвайного вагону КТ4  
(вигляд знизу)

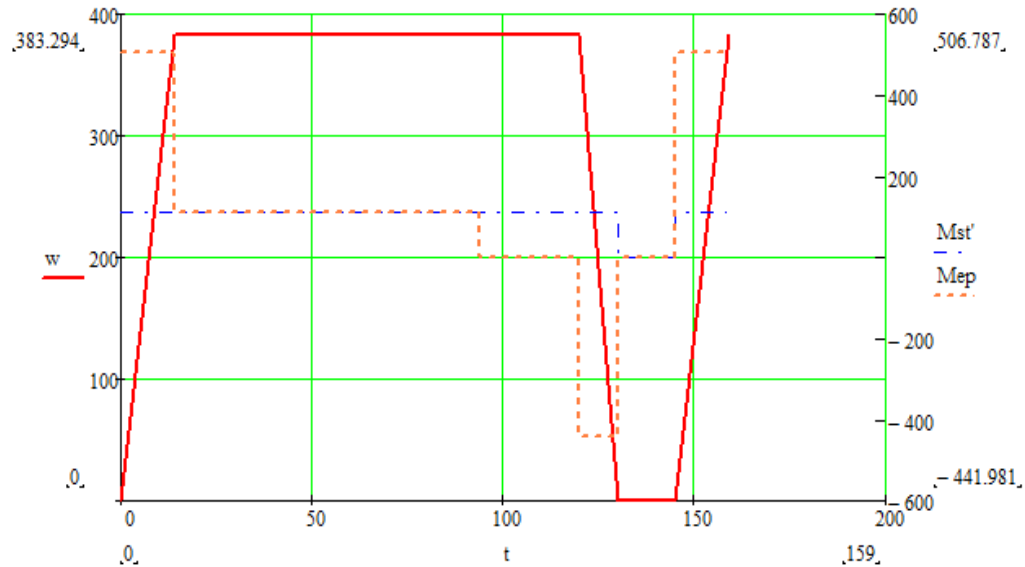
08-16.БДР.002.00.000 К



Познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
2	Підшипники кочення	4	
3	Ведена циліндрична шестерня	1	
4	Ведуча циліндрична шестерня	1	
5	Ведена конічна шестерня	1	
6	Підшипники шестерень	4	
7	Ведуча конічна шестерня	1	
8	Тяговий двигун	1	
9	Карданний вал	1	
10	Гальмівний диск	1	
11	Підшипник провідної шестерні	1	

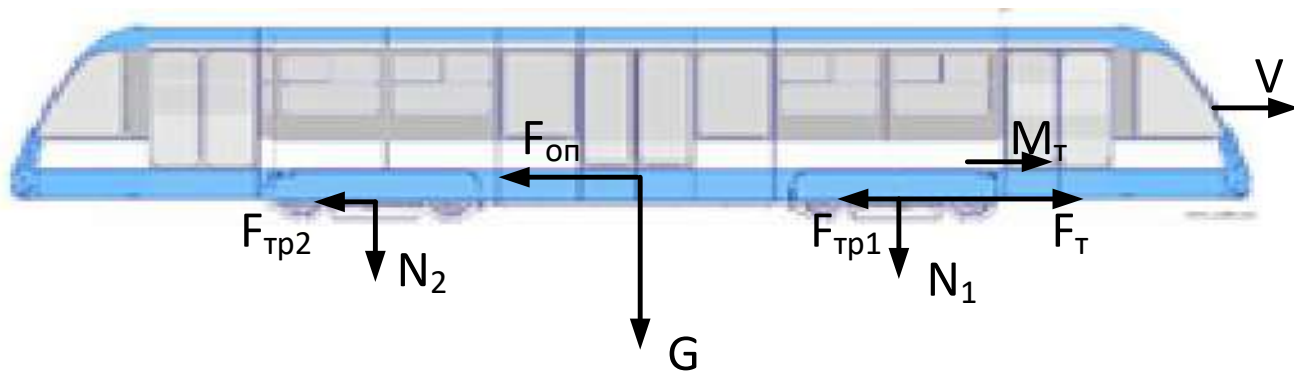
Підпис і дата					08-16.БДР.002.00.000 К					
					Підвищення ефективності роботи тягового електропривода трамвайного вагону «WinWay».			Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата				у		
Розробив	Кульчицький А.				Кінематична схема одного електропривода трамвая			Аркуш	Аркушів	
Перевірив	Мошноріз М.									
Т. контр.								ВНТУ, ЕМ-156 з.в.		
Рецензент										
Н.контр.										
Затв.	Кутін В. М.									



Тахограма та навантажувальна діаграма виробничого механізму

Потужність, кВт	45
Номінальна напруга, В	300
ККД, %	91
Струм тривалого режиму роботи, А	150
Кількість обертів $n_{ном}$ , об/хв	1750
Кількість обертів $n_{max}$ , об/хв	4200
Опір обмотки якоря при 20°C, Ом	0,0545
Загальний опір двигуна при 20°C, Ом	0,1050
Опір додаткових полюсів при 20°C, Ом	0,0245
Момент інерції двигуна, кг·м <sup>2</sup>	0,577
Ціна, грн	147000

Параметри тягового двигуна ТЕ-022



Сили, що діють на трамвайний вагон під час руху по горизонтальній ділянці дороги

Проміжок роботи	циклу	Тривалість роботи, с	Статичний момент навантаження, Нм	Момент електропривоода, Нм
1 (розгін)		14	111.289	506.787
2 (усталений рух)		80	111.289	111.289
3 (вільний вибіг)		26	111.289	0
4 (гальмування)		10	111.289	-441.981
5 (стоянка)		15	0	0

Значення часу, частоти обертання та моменту протягом одного циклу роботи електропривоода трамвая

Для приводу трамвая можна використати такі системи електропривода:

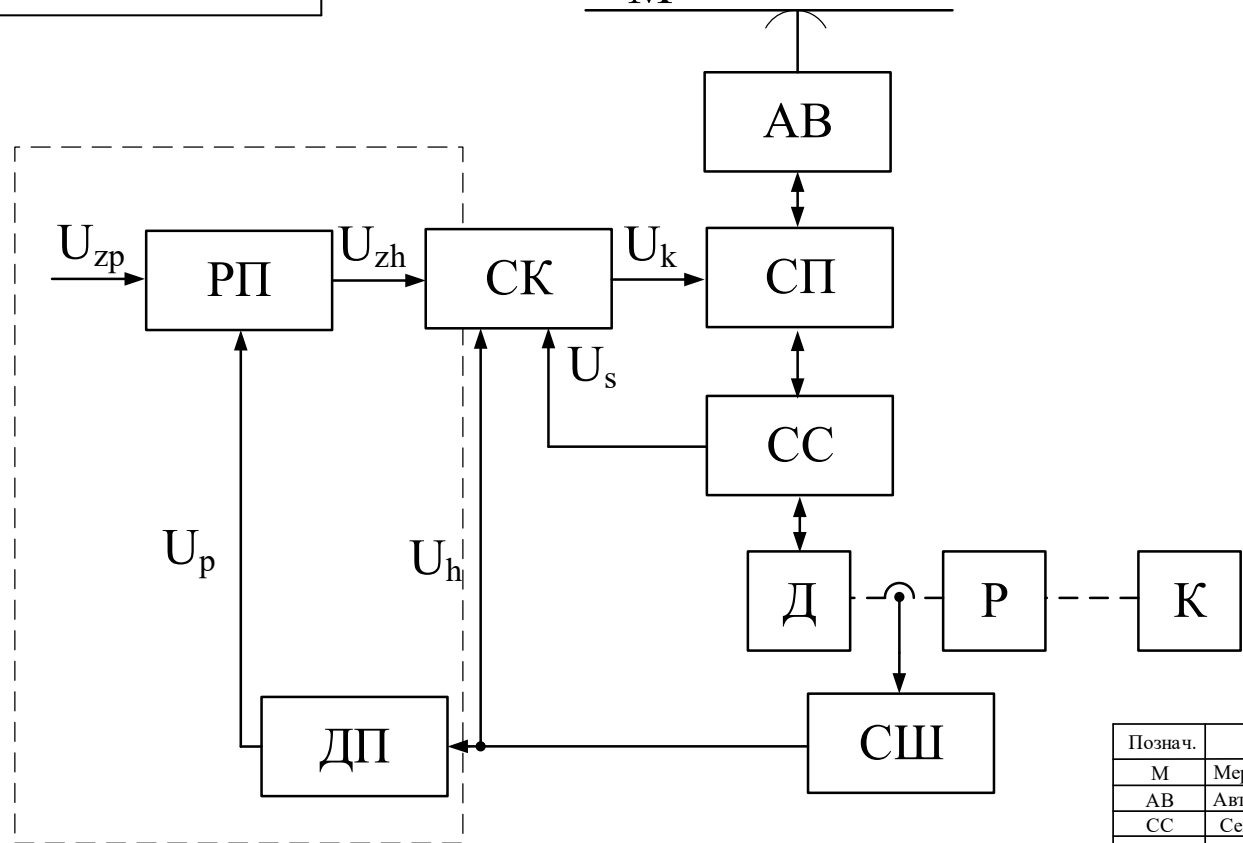
- релейно-контакторна система – двигун постійного струму послідовного збудження (РКС-ДПСФЗ);

- транзисторно-імпульсна система керування – двигун постійного струму послідовного збудження (ТІСК-ДПСФЗ);

- транзисторно-імпульсна система керування – двигун постійного струму змішаного збудження (ТІСК-ДПСФЗ);

- тяговий інвертор – асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором (ТІ-АД).

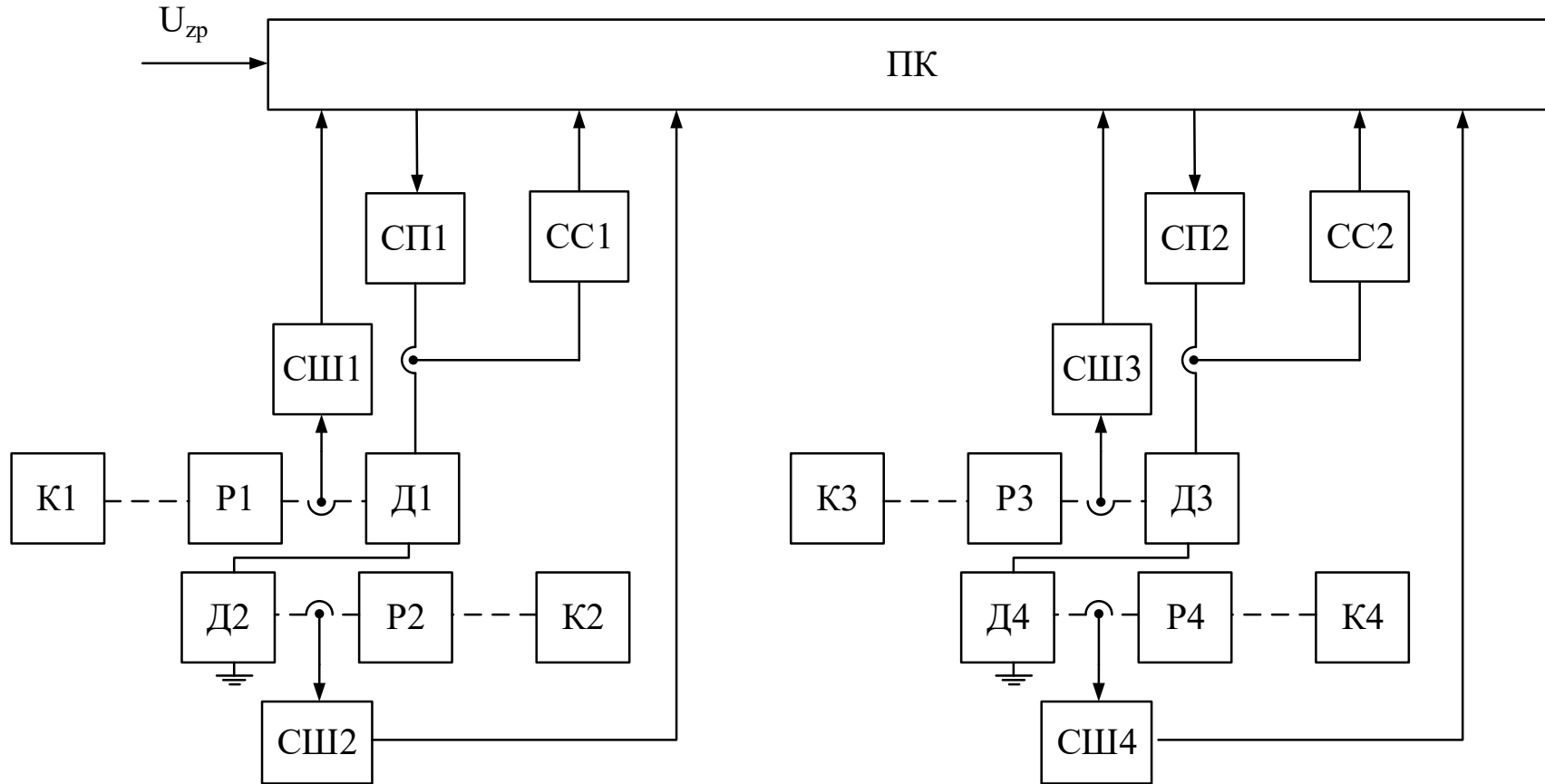
	РКС-ДПСФЗ	ТІСК-ДПСФЗ	ТІСК-ДПСФЗ	ТІ-АД
Вартість двигуна, грн.	0	0	161700	58800
Вартість сист. керув., грн.	35280	94080	94080	117600
Капітальні затрати, грн.	35280	94080	255780	176400
Річні кап. затрати, грн./рік	5998	15994	43483	29988
Затрати на електроен. грн./рік	75700	25886	28535	30693
Затрати на амортиз., грн./рік	3528	9408	25578	17640
Затрати на ремонт, грн./рік	706	1882	5116	3528
Затрати на обслугов., грн./рік	3997	1859	2961	2593
Сумарні додаткові відрахування, грн/рік	83931	39035	62190	54454
Приведені річні затрати, грн./рік	89928	55028	105673	84442



Познач.	Найменування	Кіл	Примітка
М	Мережа живлення (тролея)	1	
АВ	Автоматичний вимикач	1	
СС	Сенсор струму	1	
СК	Система керування	1	
СП	Силовий перетворювач	1	
Д	Приводний двигун	1	
Р	Редуктор	1	
К	Колеса трамвая	1	
СШ	Сенсор швидкості	1	
РП	Регулятор прискорення електропривода	1	
ДП	Давач прискорення електропривода	1	

Підпис і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. № ориг.	

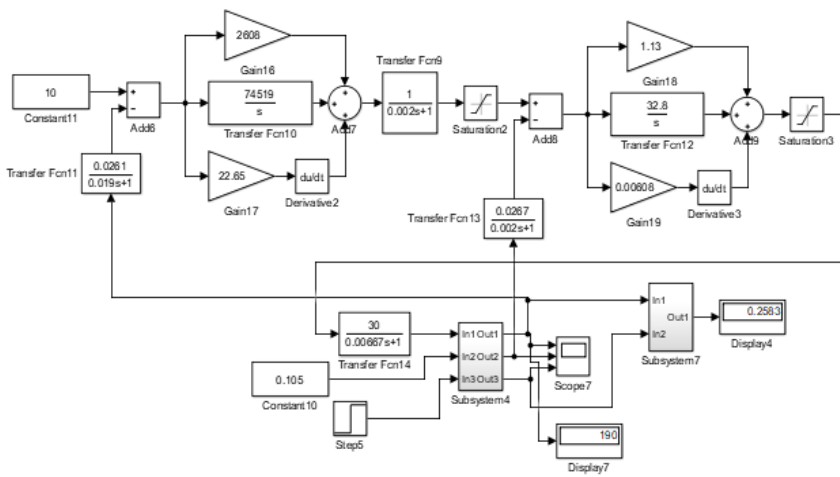
08-16.БДР.002.00.000 Е1						
Підвищення ефективності роботи тягового електропривода трамвайного вагону «WinWay».				Літера	Маса	Масштаб
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	у	
Розробив	Кульницький А.					
Перевірив	Мошноріз М.					
Т. контр.					Аркуш	Аркушів
Рецензент					ВНТУ, ЕМ-15б з.в.	
Н.контр.						
Затв.	Кутін В. М.					



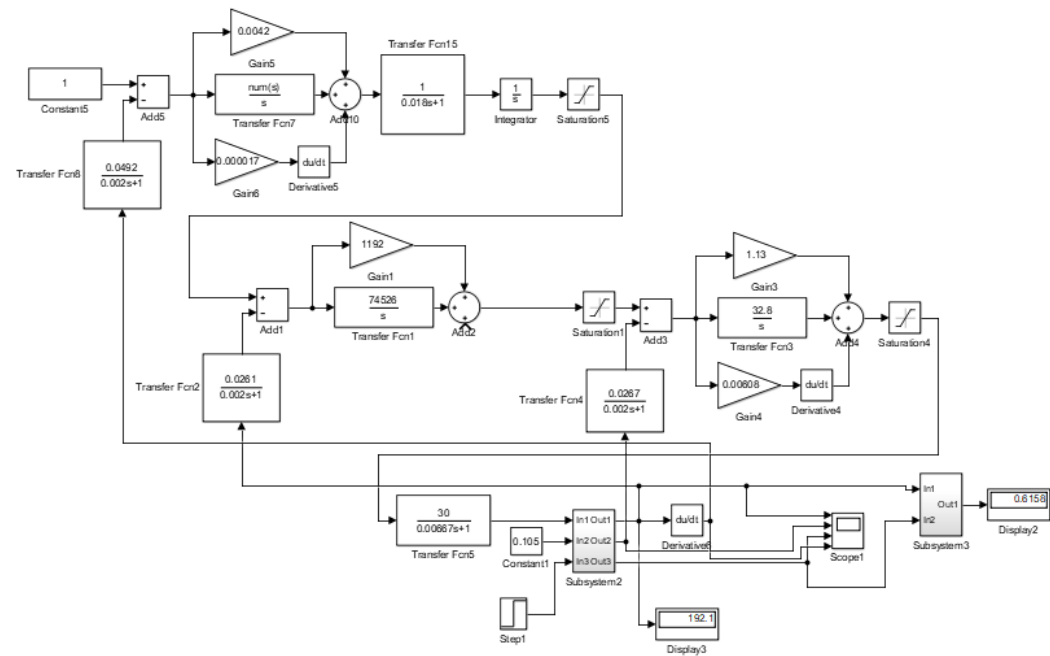
Підпис і дата	
Інв. № дубл.	
Зам. інв. №	
Підпис і дата	
Інв. № ориг.	

08-16.БДР.002.00.000 E2								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата	Підвищення ефективності роботи тягового електропривода трамвайного вагону «WinWay».	Літера	Маса	Масштаб
Розробив	Кульницький А.					у		
Перевірив	Мошноріз М.				Функціональна схема тягового електропривода трамваю	Аркуш	Аркушів	
Т. контр.								
Рецензент						ВНТУ, ЕМ-156 з.в.		
Н.контр.								
Затв.	Кутін В. М.							

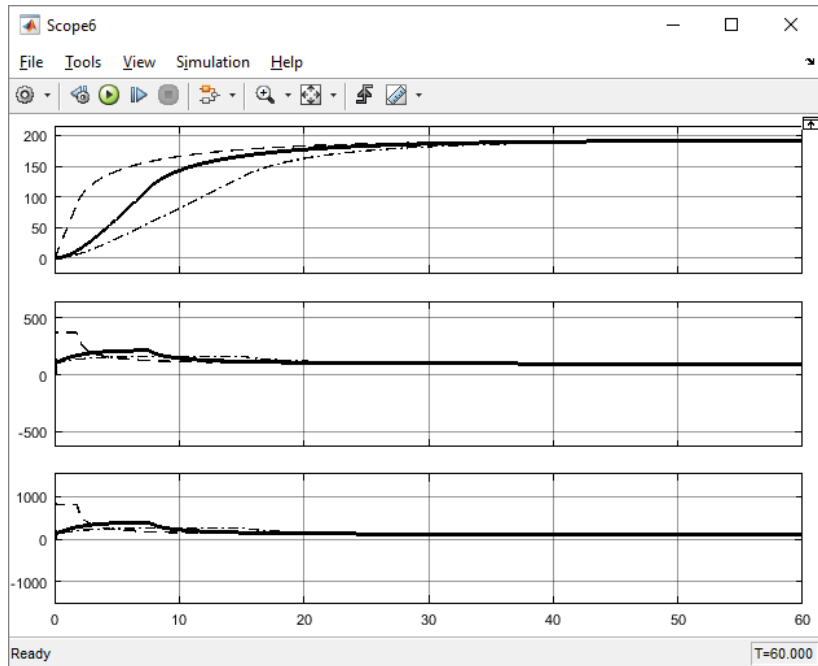




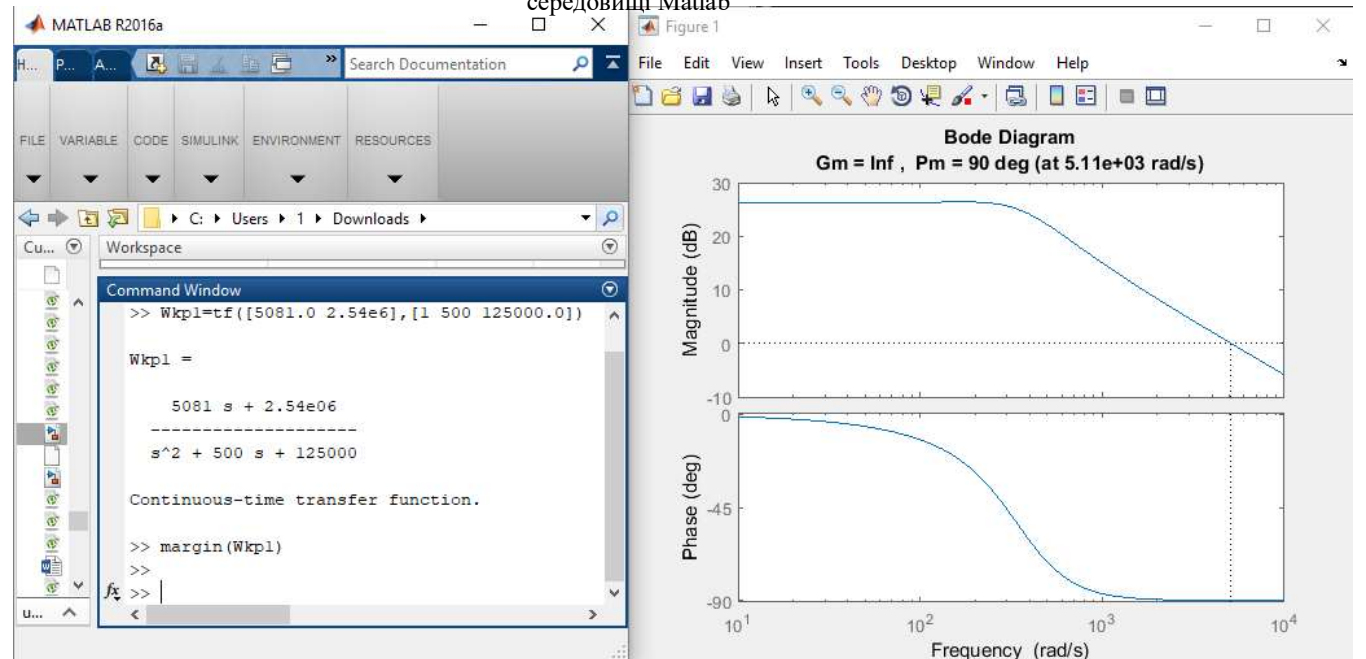
Комп'ютерна модель існуючого електропривода ТІСК-ДПСІЗ, зібрана в програмному середовищі Matlab



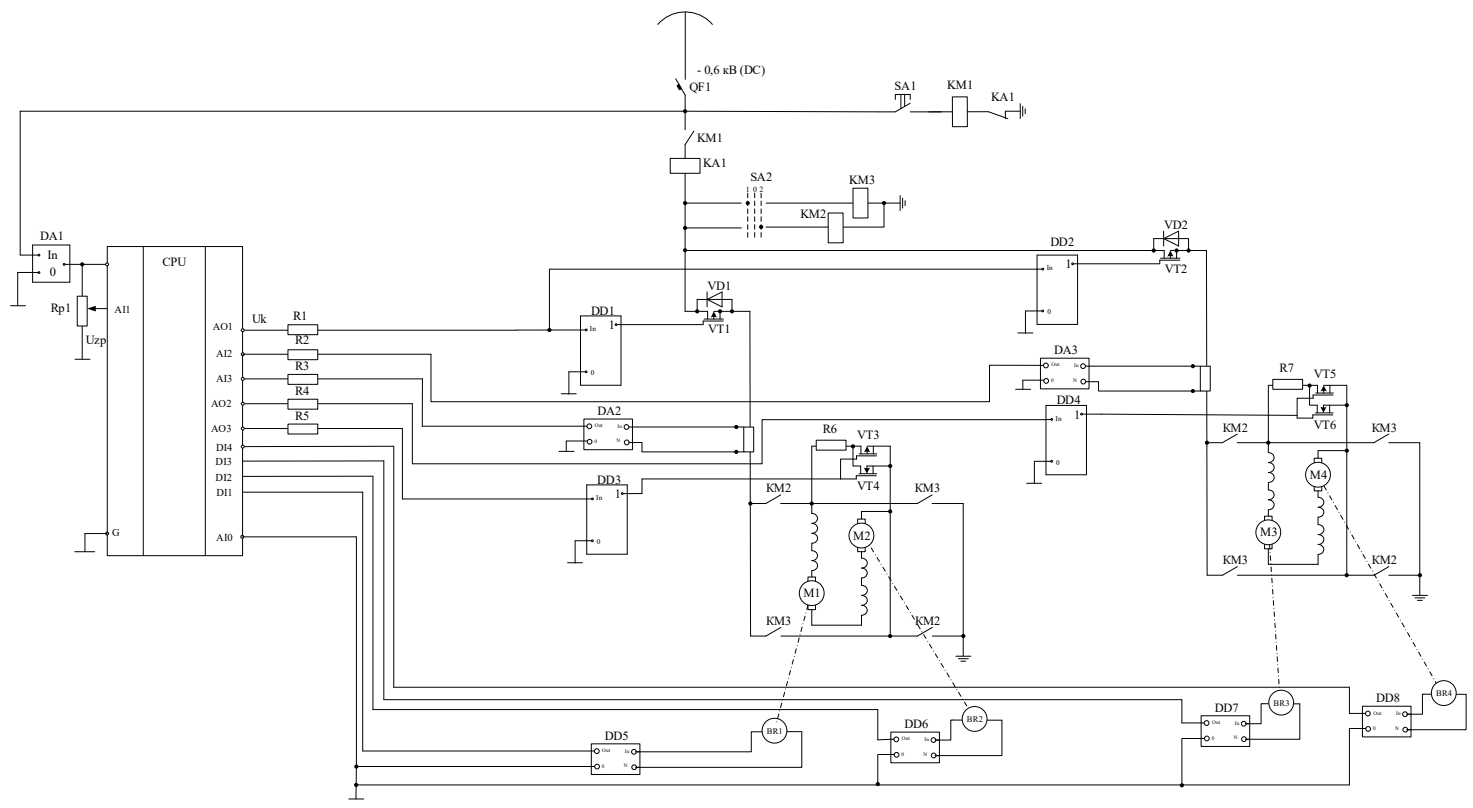
Комп'ютерна модель модернізованого електропривода ТІСК-ДПСІЗ, зібрана в програмному середовищі Matlab



Порівняння результатів моделювання пуску електропривода ТІСК-ДПСІЗ на повне статичне навантаження



Логарифмічна амплітудо-частотна та фазочастотна характеристики системи електропривода трамвая



Виб. №органу:	Підпис: дата:
Виб. №виробу:	Виб. №виробу:
Виб. №виробу:	Виб. №виробу:

		08-16.БДР.002.00.000 ЕЗ	
		Підвищення ефективності роботи тягового електропривода трамвайного вагону «WinWay».	
Зм.	Авт.	№ докум.	Підп.
Розробив	Кульчицький А.		
Перевірив	Мошков М.		
Т. конпр.			
Результат:			
П. конпр.			
Зам.	Кутів В. М.		
		Листоу	Маса
		у	Місяць
		Архив	Архив
		ВНТУ, ЕМ-156 з.в.	

#### Висновки:

1. Розраховано потужність приводних двигунів, яка становить 45 кВт. Приводні двигуни краще залишати ті, які встановлено на трамваї, оскільки при цьому отримуються найменші приведені економічні затрати.

2. Обрані двигуни перевірено на перегрів та перевантаження. Перевірки підтвердили вірність виконаних розрахунків. Перевірка електропривода на можливість пуску не виконалася, тому, щоб залишити приводні двигуни, було прийнято рішення на збільшення плавності розгону. Це, власне, і підтверджує необхідність облаштування електропривода зворотним зв'язком за прискоренням.

3. Розроблено структурну схему електропривода та розраховано його основні (силові) параметри.

4. Розроблено загальну функціональну схему електропривода трамвая і розраховано його систему керування. Розраховано параметри регуляторів та контурів зворотного зв'язку. Регулятор струму за умовами налаштування на модульний критерій оптимальності вийшов пропорційно-інтегрально-диференціальним. Регулятор швидкості за умовами налаштування на симетричний критерій оптимальності вийшов пропорційно-інтегральним, і регулятор прискорення за умовами налаштування на модульний критерій оптимальності вийшов також пропорційно-інтегрально-диференціальним.

5. Здійснено комп'ютерне моделювання роботи електропривода і порівняно його роботу без контуру зворотного зв'язку за прискоренням та з таким контуром. Отримано, що в результаті роботи регулятора прискорення та зворотного зв'язку за прискоренням електропривода зменшуються перерегулювання під час розгону. Вцілому отримано зменшення споживання енергії на 10% за 36 с. роботи електропривода.

Електропривод досліджено на стійкість роботи в частотній області. Запас стійкості за амплітудою безмежний, а за фазою – становить 90 градусів. Отже система стійка та якісно відпрацьовує сигнал задання.

Розроблено електричну принципову схему електропривода.

Досліджено питання охорони праці обслуговуючого персоналу трамвая в трамвайному демо та водія.