

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Иркутский государственный университет путей сообщения»
(ФГБОУ ВО ИрГУПС)

II Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием
«Техническое обслуживание и ремонт подвижного состава»

ПОВЫШЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОВОЗА СЕРИИ «ЕРМАК» В РЕЖИМЕ ТЯГИ

Докладчик:

Григоренко Павел Владимирович
аспирант кафедры «ЭПС»

Научный руководитель:

Мельниченко Олег Валерьевич
д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «ЭПС»

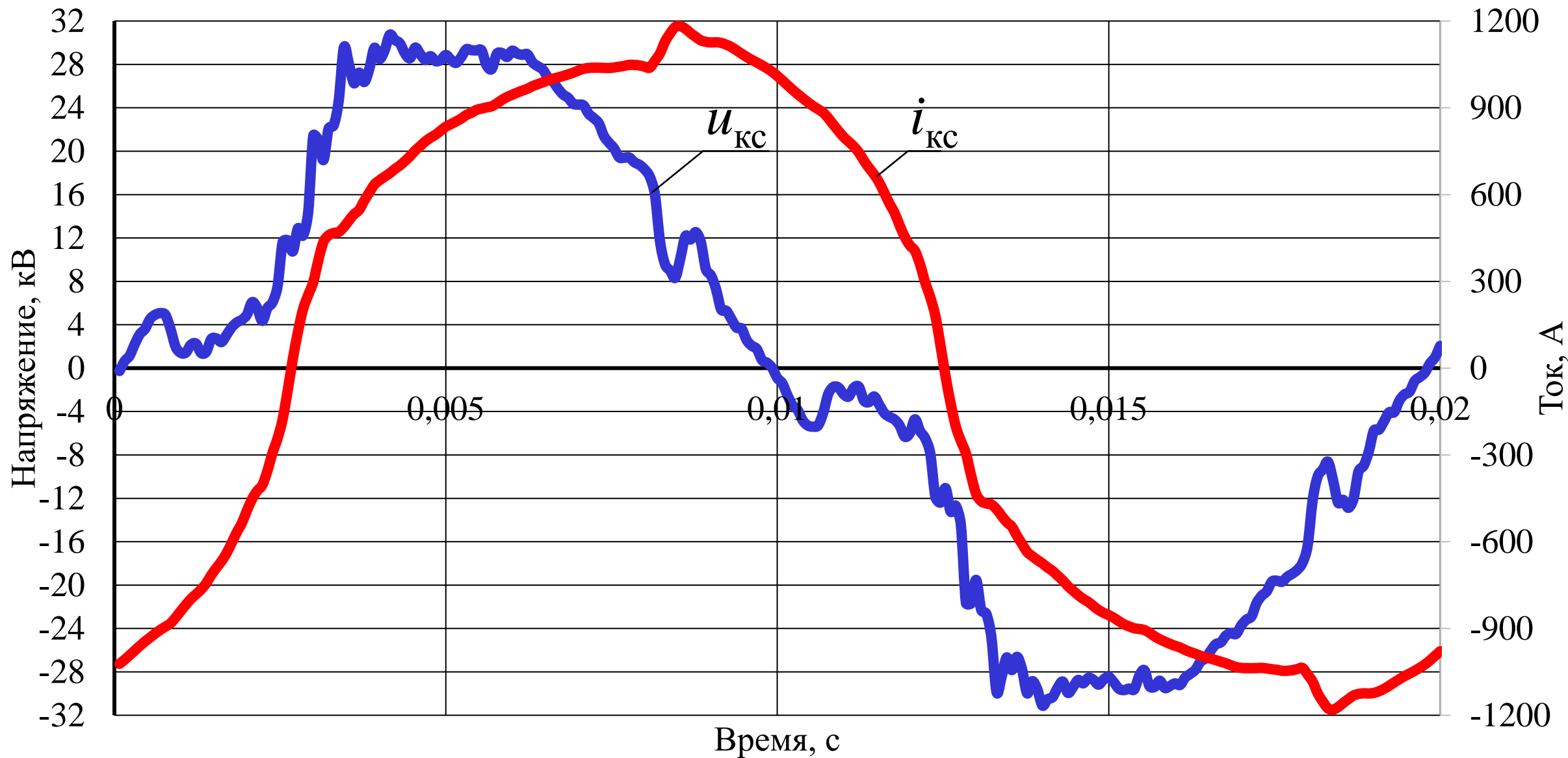
Красноярск 2025 г.

Актуальность

В настоящее время на Восточном полигоне эксплуатируется свыше 1800 электровозов переменного тока 2(3, 4)ЭС5К серии «Ермак». Данные электровозы являются опорой отечественной экономики, так как играют ключевую роль в обеспечении перевозок грузов широкой номенклатуры. В связи с этим повышение эффективности их эксплуатации всегда было необходимым для увеличения рентабельности грузоперевозок.

Одним из существенных недостатков электровозов переменного тока 2(3, 4)ЭС5К серии «Ермак» является их низкая энергоэффективность, обусловленная высоким потреблением реактивной мощности, не используемой на тягу поездов. Наличие реактивной мощности, в свою очередь, связано с индуктивностью оборудования электровоза (сглаживающие реакторы и тяговые двигатели), с отсутствием возможности запираеть тиристоры, на базе которых выполнены выпрямительно-инверторные преобразователи (ВИП), а также с наличием искажений напряжения и тока на токоприёмнике, вызванных распределённой ёмкостью контактной сети и коммутацией тиристоров. Коэффициент мощности (K_m) электровозов с тиристорными ВИП, определяемый как отношение потребления активной мощности к полной, в среднем составляет 0,705 и не превышает 0,84 в режиме тяги, а коэффициент гармонических составляющих напряжения (K_u) на токоприёмнике может достигать 18 %, при допустимом по ГОСТ 32144-2014 значении $K_u = 5$ %. Низкий коэффициент мощности электровозов переменного тока с тиристорными ВИП становится одной из причин их замены на электровозы с асинхронными тяговыми двигателями. Коэффициент мощности электровоза с асинхронными тяговыми двигателями составляет 0,98-0,99, а коэффициенты гармонических составляющих напряжения (K_u) и тока (K_i) составляют 1,5-3 % и 4,5-15 %, соответственно.

Напряжение и ток в контактной сети на середине межподстанционной зоны при ведении пакета из 5 тяжеловесных поездов по «Виртуальной сцепке»



Предлагаемое решение проблемы

На сегодняшний день появилась возможность преодолеть указанный недостаток электровозов 2(3, 4)ЭС5К серии «Ермак» за счёт замены тиристорной полупроводниковой базы ВИП на IGBT-транзисторы и реализации предлагаемого авторами способа управления ВИП, повышающего коэффициент мощности практически до уровня электровозов с асинхронными тяговыми двигателями.

Целью работы является повышение коэффициента мощности электровоза переменного тока и качества электроэнергии на его токоприёмнике при работе в режиме тяги, не менее чем на 25% и 60% соответственно.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- предложен способ снижения гармонических составляющих напряжения на токоприёмнике электровоза переменного тока, работающем в режиме тяги, заключающийся в гашении колебаний от выбросов ЭДС самоиндукции обмоток тяговых трансформаторов за счёт их противофазного наложения;

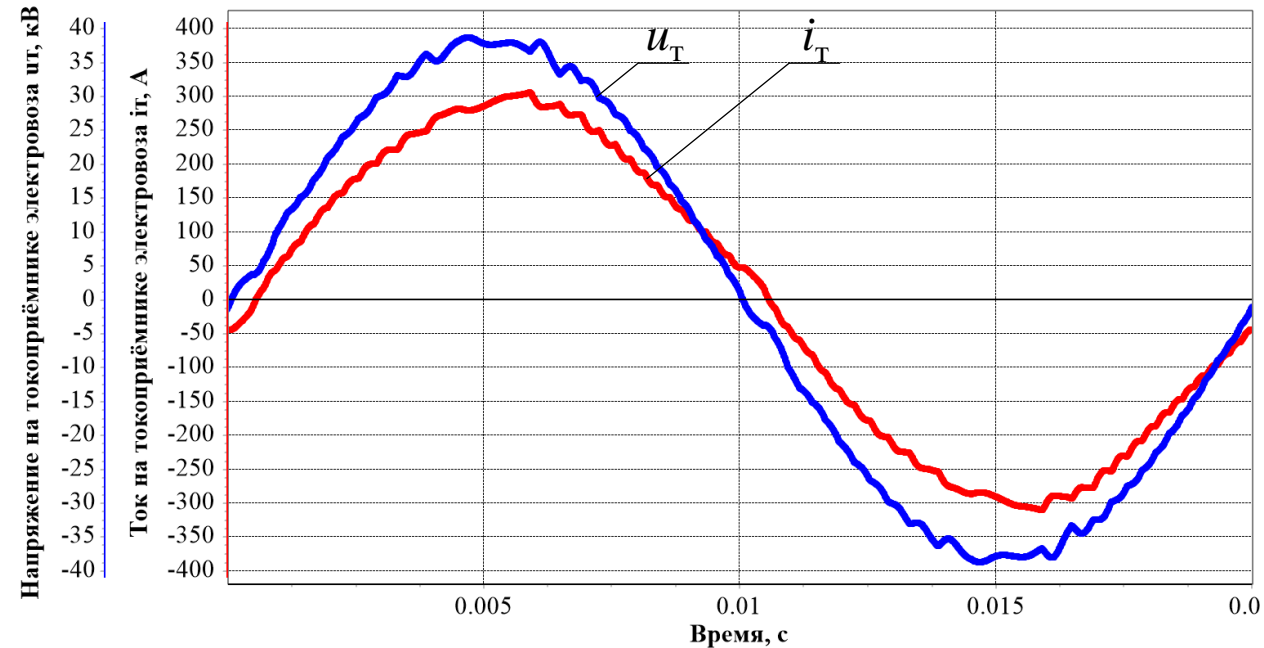
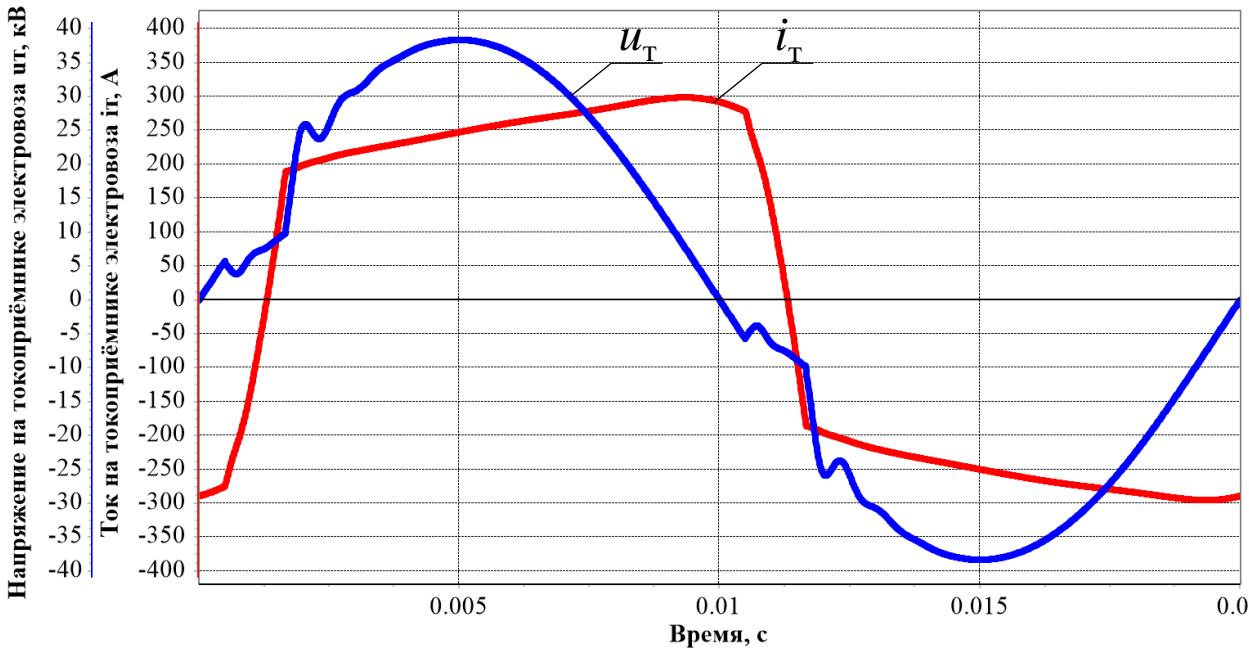
- предложен способ снижения гармонических составляющих тока на токоприёмнике электровоза переменного тока, работающем в режиме тяги, заключающийся в квантовании сигнала при изменении напряжения управления зонами с целью разнесения временных интервалов работы секций вторичных обмоток тяговых трансформаторов электровоза в полупериоде для обеспечения синусоидальной формы тока на токоприёмнике;

- предложена методика регулирования выпрямленного напряжения тяговых двигателей электровоза переменного тока в полупериоде, обеспечивающая одинаковое средневыпрямленное напряжение на всех тяговых двигателях при осуществлении противофазного наложения колебаний от выбросов ЭДС самоиндукции обмоток тяговых трансформаторов и разнесения временных интервалов работы секций вторичных обмоток тяговых трансформаторов электровоза в полупериоде.

Результаты математического моделирования

Напряжение u_T и ток i_T на токоприёмнике электровоза 2ЭС5К с тиристорными ВИП на 3 зоне регулирования

Напряжение u_T и ток i_T на токоприёмнике электровоза 2ЭС5К с транзисторными ВИП на 3 зоне регулирования



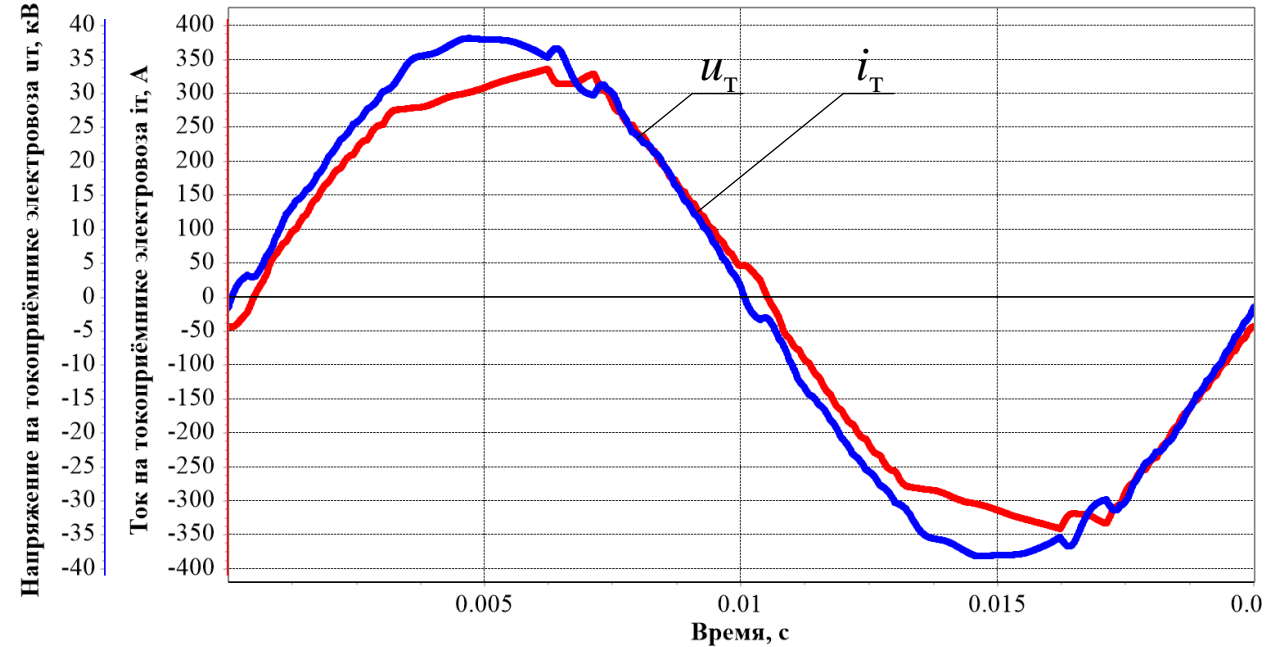
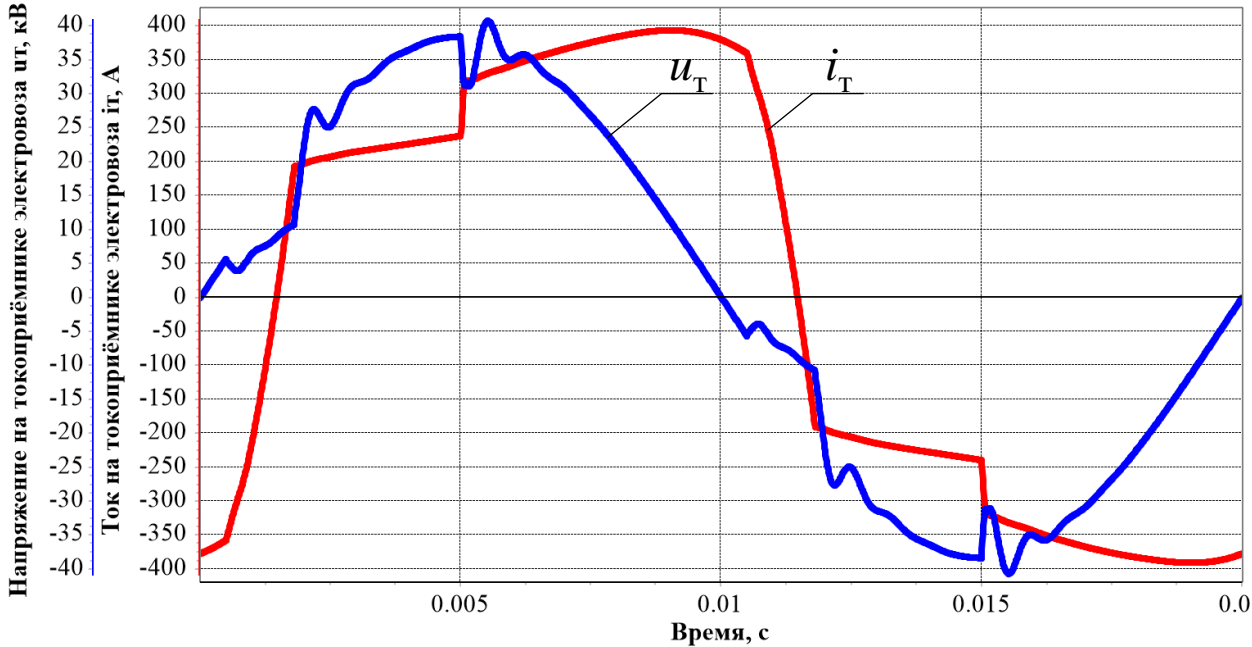
Тип ВИП	Показатели								
	$U_{ТП}$, кВ	U_T , кВ	I_T , А	K_M	K_u , %	K_i , %	S , кВА	Q , кВАр	P , кВт
Тиристорный	27,5	26,7	249,4	0,8676	7,85	35	7671	3814	6655
Транзисторный	27,5	27,1	208,2	0,9962	1,88	3,68	6950	603	6923

$U_{ТП}$ – напряжение на тяговых подстанциях при двухстороннем питании; U_T – напряжение на токоприёмнике электровоза; I_T – ток на токоприёмнике электровоза; K_M – коэффициент мощности; K_u , K_i – коэффициенты суммарных гармонических составляющих напряжения и тока на токоприёмнике электровоза; S – полная мощность; Q – реактивная мощность; P – активная мощность.

Результаты математического моделирования

Напряжение u_T и ток i_T на токоприёмнике электровоза 2ЭС5К с тиристорными ВИП на 3,5 зоне регулирования

Напряжение u_T и ток i_T на токоприёмнике электровоза 2ЭС5К с транзисторными ВИП на 3,5 зоне регулирования



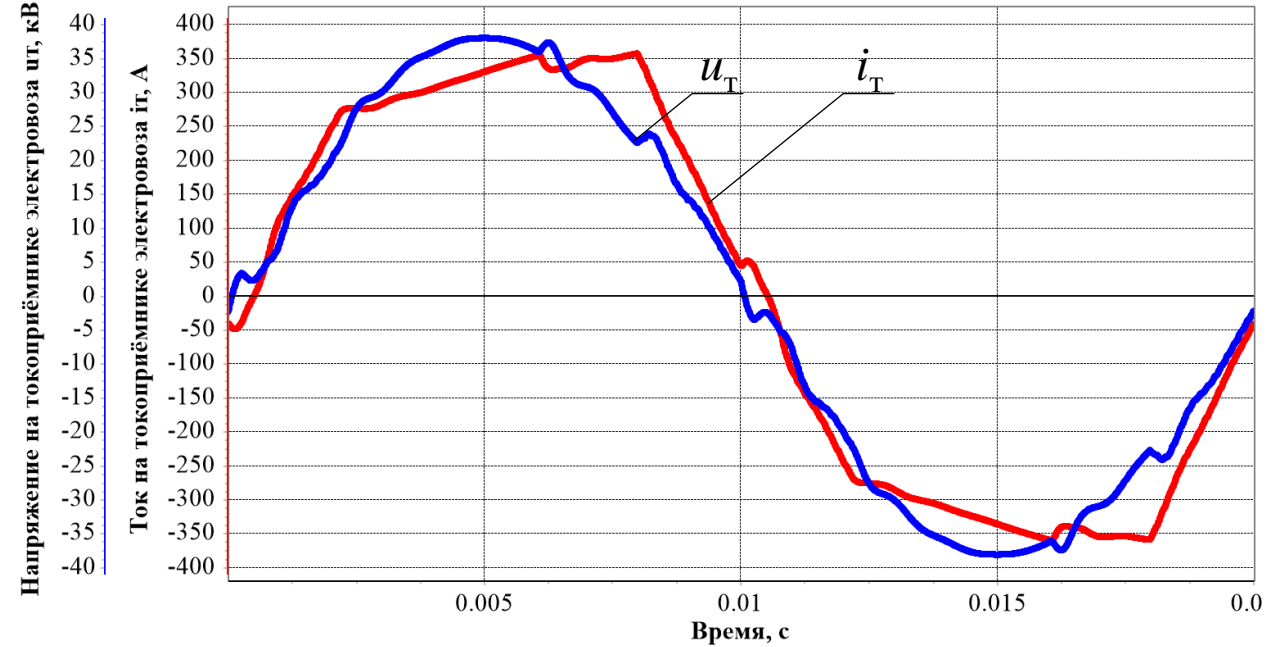
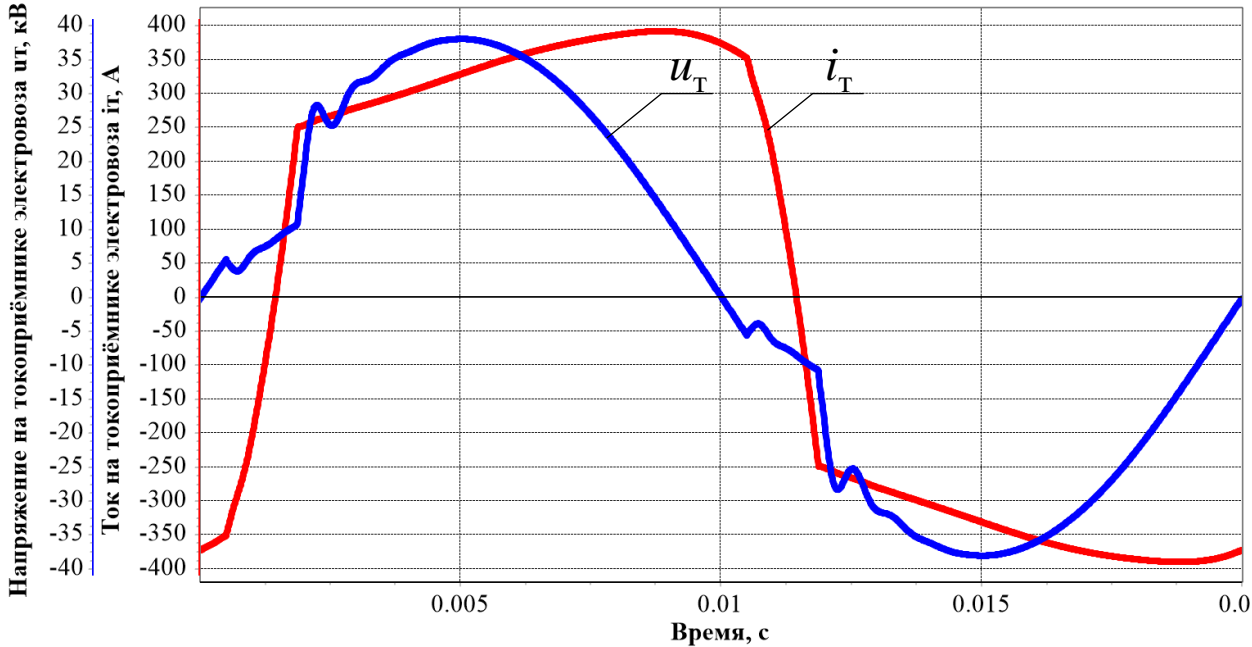
Тип ВИП	Показатели								
	$U_{ТП}$, кВ	U_T , кВ	I_T , А	K_M	K_u , %	K_i , %	S , кВА	Q , кВАр	P , кВт
Тиристорный	27,5	26,5	308,3	0,8059	9,51	30,42	9678	5729	7800
Транзисторный	27,5	27,1	239,5	0,9853	2,62	5,88	7928	1354	7812

$U_{ТП}$ – напряжение на тяговых подстанциях при двухстороннем питании; U_T – напряжение на токоприёмнике электровоза; I_T – ток на токоприёмнике электровоза; K_M – коэффициент мощности; K_u , K_i – коэффициенты суммарных гармонических составляющих напряжения и тока на токоприёмнике электровоза; S – полная мощность; Q – реактивная мощность; P – активная мощность.

Результаты математического моделирования

Напряжение u_T и ток i_T на токоприёмнике электровоза 2ЭС5К с тиристорными ВИП на 4 зоне регулирования

Напряжение u_T и ток i_T на токоприёмнике электровоза 2ЭС5К с транзисторными ВИП на 4 зоне регулирования

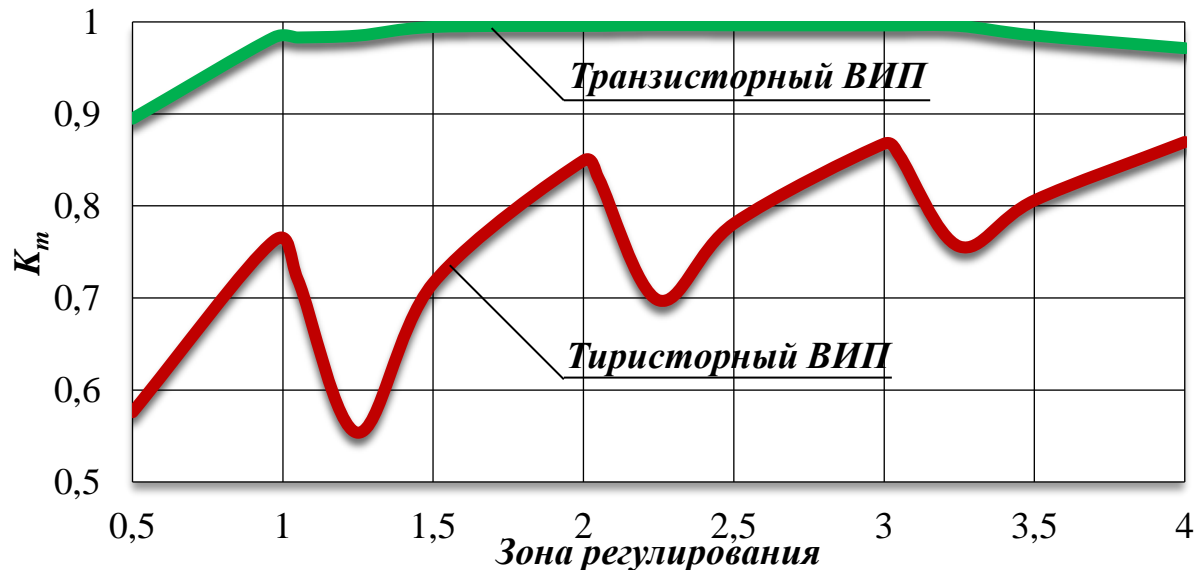


Тип ВИП	Показатели								
	$U_{ТП}$, кВ	U_T , кВ	I_T , А	K_M	K_u , %	K_i , %	S , кВА	Q , кВАр	P , кВт
Тиристорный	27,5	26,5	328,9	0,8694	9,28	31,36	10076	4977	8761
Транзисторный	27,5	27	274,9	0,9714	4,13	14,67	8856	2101	8603

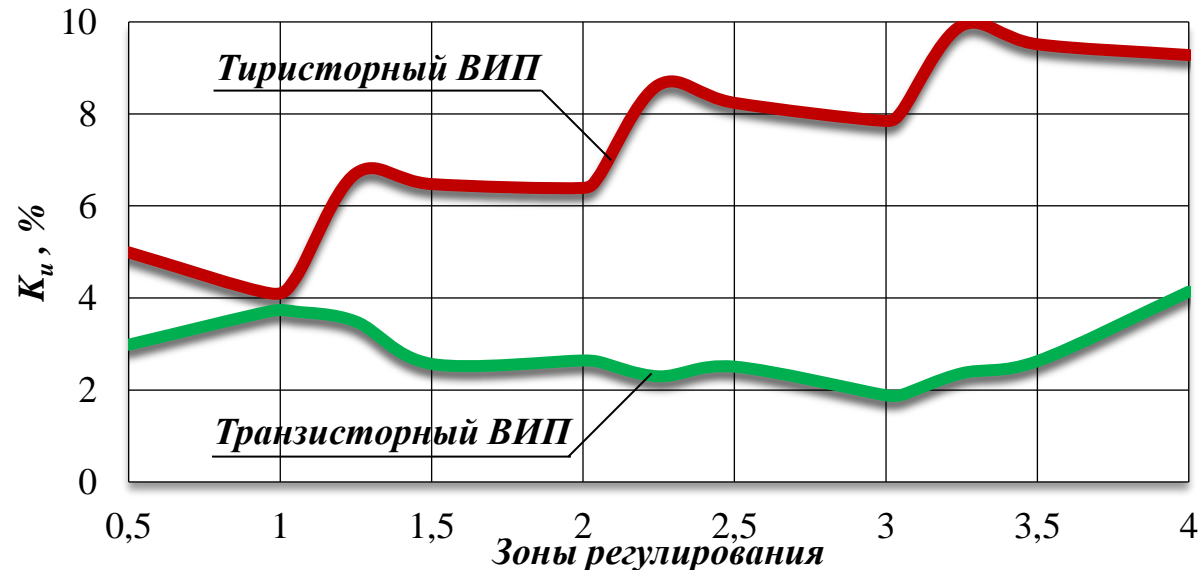
$U_{ТП}$ – напряжение на тяговых подстанциях при двухстороннем питании; U_T – напряжение на токоприёмнике электровоза; I_T – ток на токоприёмнике электровоза; K_M – коэффициент мощности; K_u , K_i – коэффициенты суммарных гармонических составляющих напряжения и тока на токоприёмнике электровоза; S – полная мощность; Q – реактивная мощность; P – активная мощность.

Сравнение результатов моделирования

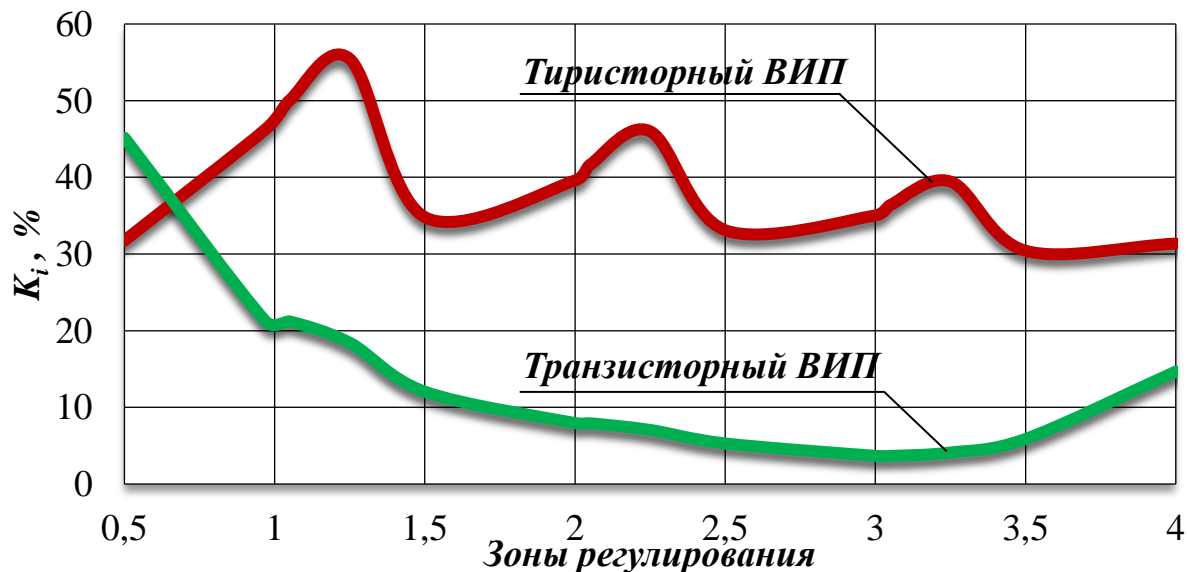
Коэффициент мощности K_m



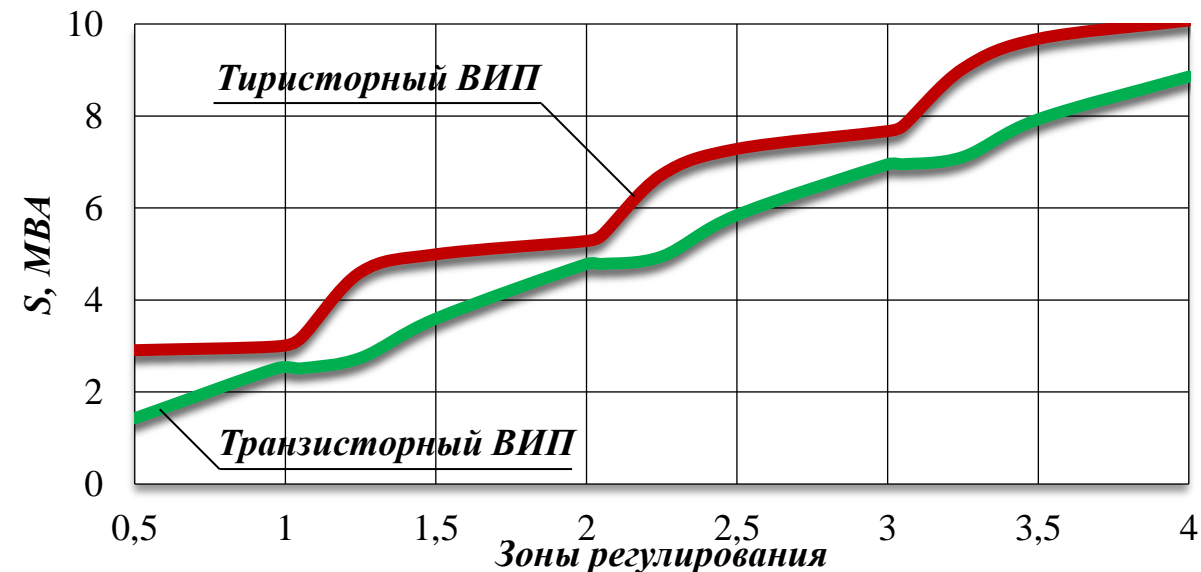
Коэффициент несинусоидальности напряжения K_u



Коэффициент несинусоидальности тока K_i

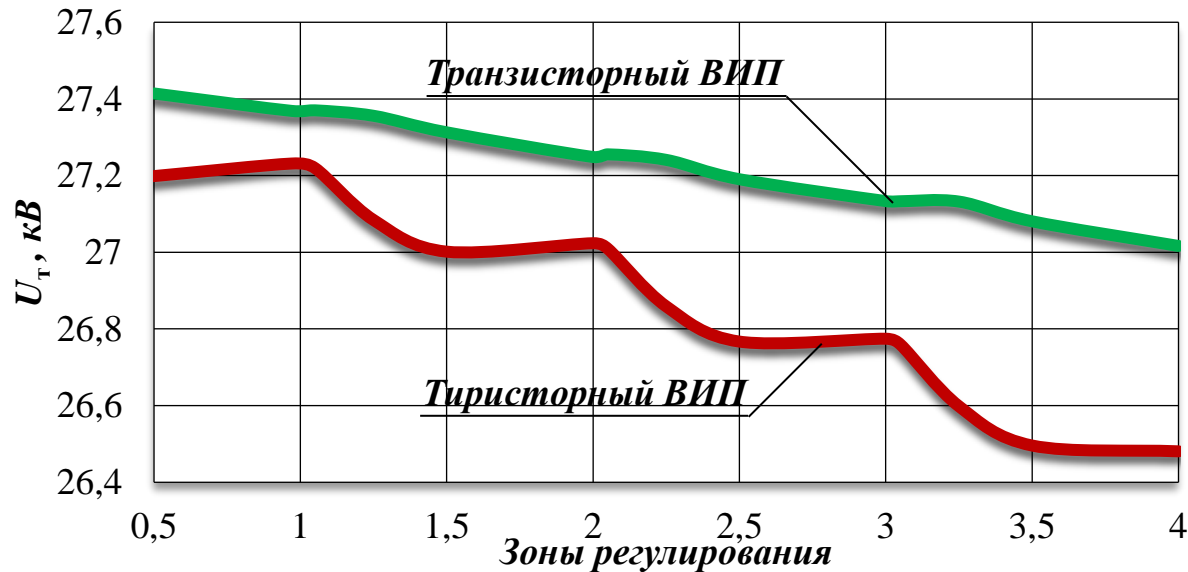


Полная мощность, потребляемая электровозом S

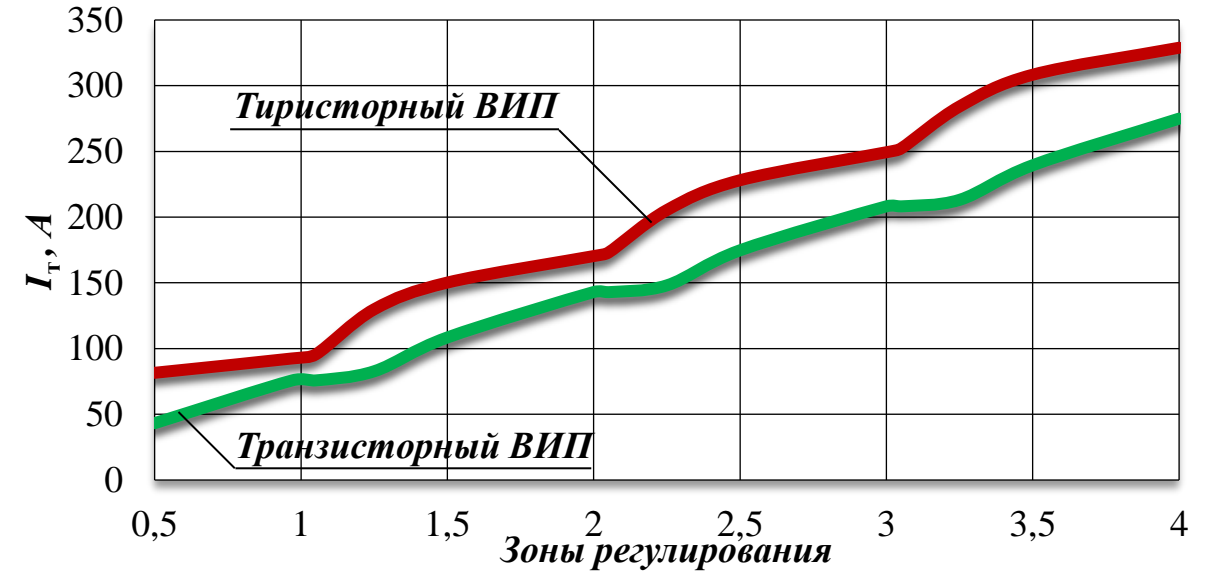


Сравнение результатов моделирования

Напряжение на токоприёмнике U_T



Ток на токоприёмнике I_T



Выводы

Усреднённые показатели	Тиристорный	Транзисторный	Эффект
K_m	0,76	0,9835	Повышение на 29,4 %
K_u	7,23	2,81	Снижение на 61 %
K_i	39,38	12,74	Снижение на 67,7 %
U_T	26,9	27,2	Повышение на 1,3 %
I_T	196,4	152,8	Снижение на 22,2 %
S	6,26	5,07	Снижение на 19 %