

РАЗРАБОТВАНЕ НА ТЕХНИЧЕСКО РЕШЕНИЕ ЗА ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ПРОВЕРКА НА МЕТОДИТЕ ЗА АНАЛИЗ НА ДИНАМИЧНИ РЕЖИМИ В ГРАДСКИ ЕЛЕКТРИЧЕСКИ ТРАНСПОРТ

Николай Бежанов

Технически университет - Варна, катедра „Електроснабдяване и електрообзавеждане“

DEVELOPMENT OF TECHNICAL SOLUTION FOR EXPERIMENTAL RESEARCH AND VERIFICATION OF METHODS FOR ANALYZING OF DYNAMIC MODES IN URBAN ELECTRIC TRANSPORT

Nikolay Bezhanov

Technical University of Varna, Department of Electric Power Supply and Equipment

Abstract

The paper presents development of scaled laboratory physical models for simulation of different regime conditions, representing the processes in real electric power supply systems for electric transport. For performing of these experiments is necessary to design and construct physical models of electric power supply systems and electrical equipment, which correspond to modern regenerative electric drives in electric transport. In results the study presents project of scaled laboratory model for simulation of the processes between two electric transport vehicles, connected to common electric feeder.

Keywords: urban electric transport, energy planning, recuperation energy in electric transport, trolleybus transport.

ВЪВЕДЕНИЕ

Внедряването на нови поколения тролейбуси, притежаващи силови електронни преобразуватели с възможности за осъществяване на рекуперативни режими, предопределя наличието на нови режимни състояния в електроснабдителните системи с динамичен характер. Това изисква усъвършенстване на методите за анализ на режимите на електропотребление. За целта е необходимо създаването на мащабирани физически модели, чрез които ще бъде извършвана симулация на различни режимни състояния, пресъздаващи процесите, протичащи в реалните системи. За осъществяване на тези експерименти е необходимо разработването на физически модели на електроснабдителни системи и физически модели на електрически задвижвания, съответстващи на използваните съвременни

рекуперативни електрообзавеждания в електрическия транспорт.

Методологията на такъв тип изследване цели установяването на взаимовръзки и количествена оценка за режими, динамика, характер на натоварването, режими на неактивните мощности и загуби предизвикани от наличието им.

ОПИСАНИЕ НА ПРОБЛЕМА

А. Обща част.

За извършване на изследванията е съставена методика, която включва:

- Дефиниране на режимно състояние, което ще бъде изследвано и съответствие спрямо реален обект;
- Предварителна оценка за степента на взаимно влияние на различните фактори;
- Избор и определяне продължителността на различните режими по отношение ха-

рактера на натоварването – консумация, генерация, неактивни мощности, хармоничен състав;

- Избор на ниво и начин на въздействие върху различните фактори.

Б. Разработване на физически модел.

За да отговаря на поставените задачи, мащабираният физически модел трябва да симулира на реалните режимни състояния при движението на тролейбусите извършващо се по определен маршрут, по който превозното средство извършва потегляния, движения и спирания за всяка една от спирките.

При движението на тролейбусите могат да се дефинират следните три режима:

- ускорение при потегляне;
- равномерно движение (или инерционно движение с поддържане на постоянна скорост);
- спиране.

След дефиниране режимите на работа се оформят две основни хипотези (фиг.1):

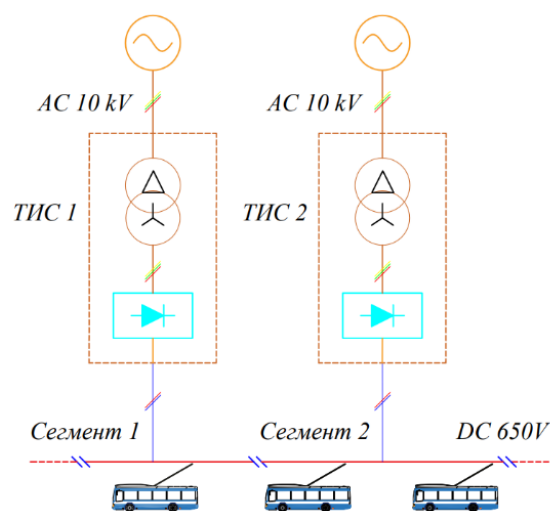
Хипотеза 1. Движение на едно електрическо транспортно средство (ЕТС) в сегмент от контактната електроснабдителната система.

Хипотеза 2. Движение на повече от едно ЕТС (група) в сегмент от контактната електроснабдителната система.

Хипотеза 1

Движение на едно ЕТС в сегмент от контактната електроснабдителната система.

Работа на едно ЕТС се състои от честотен регулатор и рекуперативно устройство. В начален режим на „ускорение при потегляне“ ЕТС ще консумира електроенергия, при „равномерно движение“ (или инерционно движение), и се очаква да се наблюдават и двата режима консумация/генерация, поради поддържането на равномерната скорост през пътния участък. В процес „спиране“ ще се отдава рекупериранията енергия в захранващата мрежа.



Фиг 1. Основни хипотези.

При хипотеза 1, двупосочният пренос на мощност зависи главно от натоварването, времето и скоростта на превозното средство.

Хипотеза 2

Движение на повече от едно ЕТС (група) в сегмент от контактната електроснабдителната система.

Въпроси свързани с вероятностно-статистически характер на режимите на работа от хипотеза 2:

1. Групата ЕТС са с различни режими на работа, като единият консумира, а другият рекуперира (ЕТС се движат в противоположна посока или имат разлика в географските особености на населеното място);
2. Групата ЕТС са едновременно в режим консумация;
3. Групата ЕТС са едновременно в режим рекуперация.

Физическият модел дава възможност за реализиране експериментални изследвания и анализ при работа на повече от едно ЕТС в даден сегмент от контактната мрежа, където ще могат да се правят комбинации от различните режими на работа с максимална коректност в планирането на двата режима консумация/ генерация при динамичен характер на електропотребление и в условията на двупосочен пренос на мощност.

В съответствие с дефинираните режими са оформени хипотези и въпроси за създа-

ването на мащабиран физически модел на елементи от електроснабдителни системи в лабораторни условия. По този начин провеждането на такъв тип експеримент с динамичен характер на електропотребление и в условията на двупосочен пренос на мощност в електроснабдителни системи е осъществимо. Изследванията ще акцентират върху описанието на динамичните режими при промяна посоката, характера на натоварването и анализа в кратки времеви интервали.

РАЗРАБОТВАНЕ НА ФИЗИЧЕСКИ МОДЕЛ ЗА ПРАКТИЧЕСКА СИМУЛАЦИЯ И ПРОВЕРКА НА МЕТОДИТЕ ЗА АНАЛИЗ

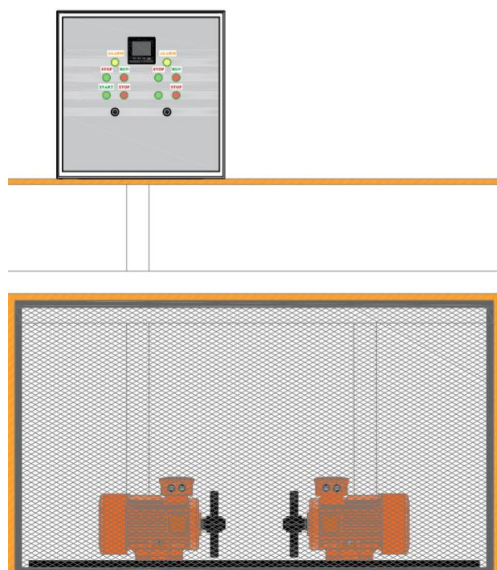
Изследователския лабораторен стенд ще бъде изграден в лабораторна зала 101 към Електротехнически факултет (ЕФ) на Технически Университет - Варна.

Изглед в мащаб на проектирания стенд е показан на Фигура 2.

Макетът се състои от три компонента:

- Пулт за управление (табло с комутационната апаратура и местно управление);
- Машинно отделение;
- Диспечерски пулт (дистанционно управление, осъществено посредством LAN връзка).

С оглед постигане на изискванията за безопасност е предвидено поставянето на метални мрежести ограждения с отвор 4мм, като тяхната метална конструкция е заземена.



Фиг. 2. Разположение на изследователския лабораторен стенд.

Пултът за управление представлява метално табло, в което е разположена комутационно - защитна апаратура, необходима за управлението на макета, а на лицевия панел са разположени бутоните за местно управление, светлинната индикация за състоянието на машините и измервателните прибори.

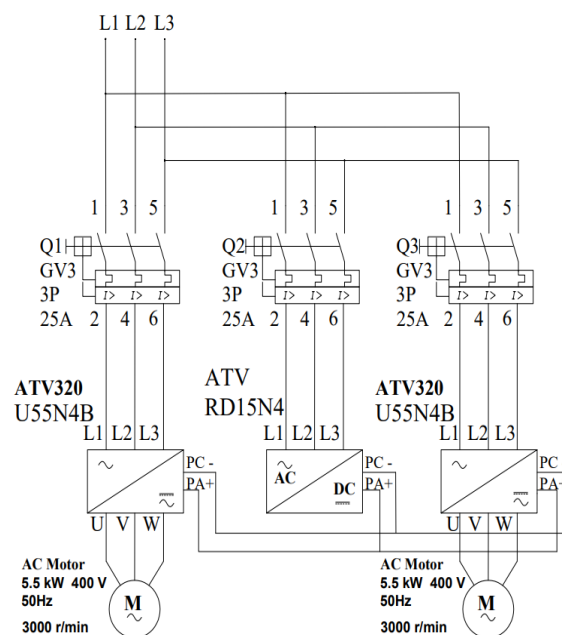
За изпълнението на специфични изисквания към физически модел, е избрана системата „Altivar Machine ATV320” на Schneider Electric.

Мащабираният физически модел е оборудван с два трифазни кафезни асинхронни двигателя с мощност 5.5 kW, задвижвани от честотни регулатори ATV 320U55N4B 5.5kW и едно рекуперативно устройство ATV RD15N4 15kW (Фигура 3.).

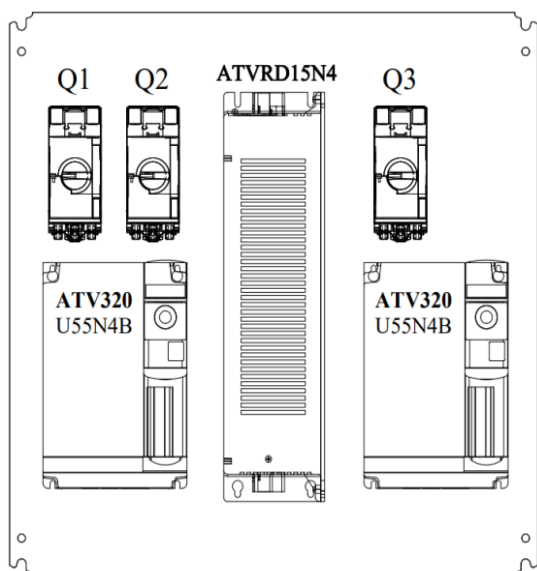


Фиг. 3. Честотен регулатор и рекуперативен блок

Силовата и монтажна схема е показана на (Фигура 4 и Фигура 5).



Фигура 4. Силова схема на лабораторния стенд



Фиг. 5. Монтажна схема на лабораторния стенд

Машинното отделение се състои от два трифазни асинхронни двигателя с мощност 5.5kW, куплирани с два броя маховика, чието роля е да запазят и симулират инерционния момент необходим за формираните цели и задачи.

Диспечерски пулт

Комуникационният канал RJ45, позволява комуникация на ATV320 със сървър или компютърна система. Софтуерната програма SoMove служи за настройка и конфигуриране на устройствата за управление на електродвигателите, което дава възможност за предварително въвеждане сценарии на времевата и честотната области по отношение описание режимите на електропотребление, и оценка приложимостта им в условията на двупосочен пренос на мощност с описването на динамичните режими при промяна посоката, характера на натоварването, енергетичното въздействие на товара и анализа на неактивните мощности. Софтуерният продукт Eco - Struxure, представлява SCADA система от ново поколение, посредством която се събират и визуализират данните на машините в реално време, получават се уведомления при откриване на аномалии в съоръженията, предупреждение или логическа комбинация. Чрез нея се създават и управляват устройства, добавят и конфигурират гъвкави изпълними модули за ключови показатели за ефективността (KPI), включително обща ефективност на оборудването, консумация

на енергия, производителност на машините, възможност за управляване базирани на време задачи по поддръжка на дадена машина и други.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ИЗСЛЕДВАНИЯ

Създаденият мащабиран физически модел, чрез които ще бъде извършвана физическа симулация на различни режимни състояния, има за цел да потвърди направените чрез изчислителен подход в предходни доклади [2,3,4] анализи на възможностите за енергийно планиране в електроснабдителните системи на градския електрически транспорт. За целта табличните числени стойности, получени от изследванията, трябва да бъдат преобразувани във вид отговарящ нуждите за работа на макета.

Приложение на методика за прогнозиране на електропотреблението на тролейбусния транспорт

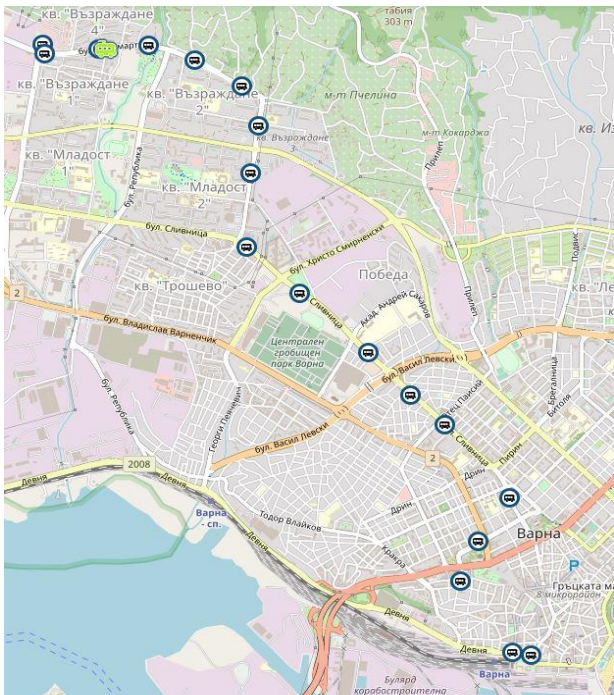
Изследваният обект са тролейбусните линии на Градски транспорт гр. Варна, състоящ се от четири линии: №82, №83, №86 и №88. За всяка една линия е направено разбиване по участъци, като са изчислени показателите за трите различни режима.

Поради големия обем на данните в настоящия доклад ще бъде представена извадка за една от линиите – линия №83. Изчисленията за другите линии са аналогични. В Таблица 1 са показани входните данни, необходими за изчисляване на маршрута линия №83 с отчитане стойностите на надморската височина и изминатото разстояние на тролейбуса от светофар до светофар, от светофар до спирка и от спирка до светофар.

Линия №83

Линията свързва кв. Възраждане с ж.п. гара и е с обща дължина на трасето $L=8.4$ km., като се характеризира със спускане от 114 m до 2 m надморска височина. Маршрутът е визуализиран на Фигура 6. По протежение на маршрута са разположени 16 автобусни спирки.

По показаната методика [3, 4] и с помощта на софтуерното приложение в MathCAD се извършва изчисление на движението на тролейбус в двете посоки на маршрута.



Фиг. 6. Маршрут Линия 83

Трасето се характеризира с голяма денивелация между началната и крайната точка, което предопределя наличието на значими разлики в електропотреблението.

За нуждите на мащабирания физически макет, входните данни трябва да бъдат обработени и представени под формата на времена, съответстващи на трите режима на работа. В таблица 2 са представени времевите стойности в дефинираните режими на Линия №83 (при спускане) от градския електрически транспорт във гр.Варна.

$$t = t_{Acc} + t_{Move} + t_{Brake} \quad (1)$$

Където:

t- времето за изминаване на отсечката;
t_Acc- времето за ускорение при потегляне;

t_Move- времето за равномерно движение (или инерционно движение с поддържане на постоянна скорост);

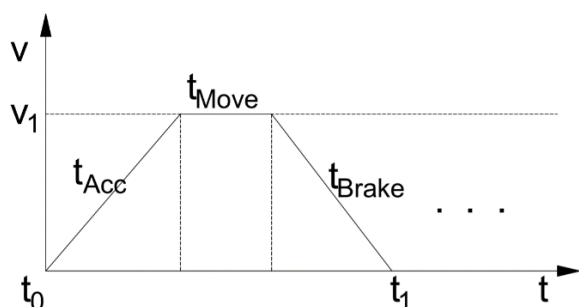
t_Brake- времето за спиране (рекуперативно спиране).

Табл. 1

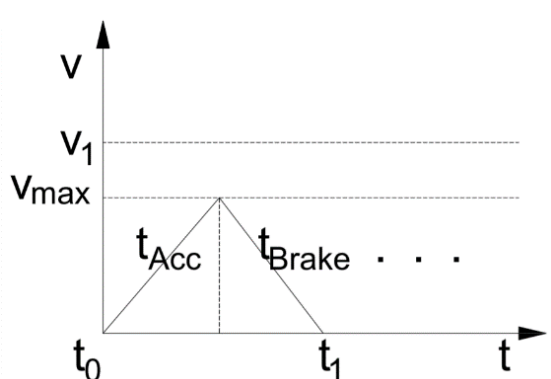
№	Beg [m]	End [m]	Length [m]	V [km/h]
1	114	112	600	40
2	112	113	60	40
3	113	117	380	40
4	117	114	150	40
5	114	113	200	40
6	113	117	130	40
7	117	122	150	40
8	122	130	480	40
9	130	116	390	40
10	116	103	140	40
11	103	100	60	40
12	100	68	600	40
13	68	65	200	40
14	65	57	300	40
15	57	55	200	40
16	55	50	400	40
17	50	50	200	40
18	50	58	200	40
19	58	58	300	40
20	58	59	200	40
21	59	49	100	40
22	49	44	400	40
23	44	37	400	40
24	37	34	450	40
25	34	31	150	40
26	31	24	300	40
27	24	20	100	40
28	20	2	600	40
29	2	2	600	40

Табл. 2

Линия 83 (спускане)				
	t	t_Acc	t_Move	t_Brake
1	76.222	22.222	31.778	22.222
2	27.622	22.222	-16.822	22.222
3	56.422	22.222	11.978	22.222
4	35.722	22.222	-8.722	22.222
5	40.222	22.222	-4.222	22.222
6	33.922	22.222	-10.522	22.222
7	35.722	22.222	-8.722	22.222
8	65.422	22.222	20.978	22.222
9	57.322	22.222	12.878	22.222
10	34.822	22.222	-9.622	22.222
11	27.622	22.222	-16.822	22.222
12	76.222	22.222	31.778	22.222
13	40.222	22.222	-4.222	22.222
14	49.222	22.222	4.778	22.222
15	40.222	22.222	-4.222	22.222
16	58.222	22.222	13.778	22.222
17	40.222	22.222	-4.222	22.222
18	40.222	22.222	-4.222	22.222
19	49.222	22.222	4.778	22.222
20	40.222	22.222	-4.222	22.222
21	31.222	22.222	-13.222	22.222
22	58.222	22.222	13.778	22.222
23	58.222	22.222	13.778	22.222
24	62.722	22.222	18.278	22.222
25	35.722	22.222	-8.722	22.222
26	49.222	22.222	4.778	22.222
27	31.222	22.222	-13.222	22.222
28	76.222	22.222	31.778	22.222
29	76.222	22.222	31.778	22.222



Фиг. 7. Изменение на времето при наличие на трите режима на работа.



Фиг. 8. Изменение на времето при наличие на два режима на работа.

Както се забелязва от данните, t_{Move} може да променя знака си. Отрицателните стойности се дължат на дължината на пътния участък (ЕТС няма достатъчно време да ускори до зададената скорост и респективно спре) (Фигура 7 и Фигура 8). Поради тази причина при задаването на входните параметри на физическият модел, всички отрицателни стойности ще бъдат приети за 0 (няма t_{Move}), а t_{Acc} и t_{Brake} ще бъдат пропорционално разпределени в зависимост от t .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработено е техническо решение за практическа симулация на електроснабдителни системи с двупосочен пренос на мощност с динамичен характер, възпроизвеждащо режимните състояния в сегмент от контактната мрежа, в който имаме движение на два тролейбуса. По този начин е възможна физическа симулация на възможните комбинации от режимни състояния – първи тролейбус потегля, втори спира; и двата потеглят; и двата спират; двата са в движение при различно натоварване и т.н. Симулацията позволява придо-

биване на реална оценка за характера и стойността на генерираната рекуперативна енергия при спиране при различните режимни състояния. Разработеното техническо решение е приложимо за научноизследователска и учебна дейности.

ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Bulgarian Scientific Fund, Operational Programme “Fundamental Research”, Session 2019 under contract №06-37/28 Date: 16.12.2019. „Research on Electricity Consumption Regimes in Electric Power Supply Systems for Urban Electric Transport with Two-way Power Flow”.

REFERENCE

- [1]. <https://www.se.com/bg/bg/product>
- [2]. Gyurov, V., Bezhanov, N., Study on electric consumption regimes in rectifier stations of trolleybus transport, Proceedings of the 11th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), 2019, Varna, pp.1-4, ISBN: 978-1-7281-2698-2, DOI: 10.1109/BulEF48056.2019.9030736.
- [3]. Gyurov, V., Bezhanov, N., Possibilities for energy planning in electric power supply systems of urban electric transport, Proceedings of the 11th Electrical Engineering Faculty Conference (BulEF), 2019, Varna, pp.1-6, ISBN: 978-1-7281-2698-2, DOI: 10.1109/BulEF48056.2019.9030741.
- [4]. Gyurov, V., Bezhanov, N., Application of methodology for forecasting of energy consumption in trolleybus transport, International Scientific Conference “Unitech 2019”, Proceedings Volume I, pp.148-153, ISSN 1313-230X, Gabrovo, 2019.
- [5]. N. Apostolidou, N. Papanikolaou, “Energy saving estimation of Athens trolleybuses considering regenerative braking and improved control scheme”, MDPI Resources, pp. 1-18, July 2018.
- [6]. D. Baumeister, M. Salin, M. Wazifehdust, P. Steinbusch, M. Zdrallek, S. Mour, L. Lenuweit, P. Deskovic and H. Ben Zid, “Modelling and simulation of a public transport system with battery-trolleybuses for efficient e-mobility integration”, E-mobility Power System Integration Symposium, Proceedings, October 2017.
- [7]. G. Dimitrov, G. Pavlov, “Analysis of the efficiency of regenerative braking systems of trolleybuses Skoda Solaris under real operation condition”, Journal of Mechanic, Transport, Communication, Vol 14, No 3/2, pp. 24-31, 2016.
- [8]. E. Simonec, “Analysis of trolleybus energy consumption”, Advance in Science and Tehcnology Research Journal, Vol.7, Issue 18, pp.81-84, June 2013.