

Др ЗОРАН МИЛИЋЕВИЋ

ИСТОРИЈА ЕЛЕКТРИЧНИХ ЛОКОМОТИВА

ЧЕТВРТА КЊИГА

НЕМАЧКЕ ЕЛЕКТРИЧНЕ ЛОКОМОТИВЕ

**АГМ КЊИГА
2018**

Немачке електричне локомотиве

Др Зоран Милићевић, дипл. ел. инж.

Рецензенти:

Др Ђукан Вукић, ред. проф.

Др Зоран Николић, научни сарадник Инст. техничких наука САНУ

Издавач:

АГМ књига доо

Београд-Земун

Тел/фах: 011 2618 554; 063 84 70 72

www.agmknjiga.co.rs

За издавача:

Славица Сарић Ахмић

Дизајн корица: **Роби Ахмић**

Штампа: **Донат граф, Београд**

Тираж: **300**

ИСБН: **978-86-86363-94-7**

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

629.423-83

МИЛИЋЕВИЋ, Зоран, 1949-

Историја електричних локомотива. Књ. 4, Немачке електричне локомотиве / Зоран Милићевић. - Београд : АГМ књига, 2018 (Београд : Донат граф). - 166 стр. : илустр. ; 22 cm

Тираж 300. – Напомене и библиографске референце уз текст.
Библиографија: стр. 159-160. - Библиографија аутора: стр. 163
- Регистар.

ISBN 978-86-86363-94-7

а) Електричне локомотиве
COBISS.SR-ID 264403724

Сва права задржана од стране аутора и издавача. Прештампавање и умножавање забрањено у целини и у деловима.

Садржај

Увод	9
1 Немачке електричне локомотиве 19. века	13
Прва локомотива с динамо-машином	13
Прва рудничка локомотива	15
Прва индустријска локомотива	15
Прва железничка локомотива	16
2 Трофазни експерименти у Немачкој	17
Први експерименти	17
Други експерименти	17
Трећи експерименти у Немачкој	19
3 Развој једнофазних комутаторских вучних мотора	21
Развој једнофазног комутаторског мотора од мотора једносмерне струје	24
Развој једнофазног комутаторског мотора од једнофазног индукционог мотора - репулзиони индукциони мотор	26
Развој једнофазног комутаторског мотора од једнофазног трансформатора-мотор с двоструким напајањем	29
4 Једнофазни експерименти и прве једнофазне локомотиве	31
Прва једнофазна локомотива у Немачкој	33
Експериментална локомотива WGL 10201/10202	34
Експериментална локомотива WGL 10203	35
5 Електричне локомотиве Државне железнице Великог војводства Баден	37
Експериментална локомотива А ¹	37
Локомотиве серије А ²	38
Локомотиве А ³ 1 и А ³ 2	39
6 Електричне локомотиве Државне железнице Краљевства Пруска	41
Експерименталне локомотиве серије WSL	42
Локомотиве ES 4, ES 5 и ES 6	43
Локомотива EG 501	44
Локомотиве серије EG 502-506	46
Локомотиве серије ES 9-19	47
Локомотиве EG 507 и EG 508	48
Локомотива EG 509/510	49
Локомотиве серије EG 511-537	50
Локомотиве серије EG 538-549	51
Локомотиве серије EG 551/552-569/570	53
Локомотиве серије EG 571-579	54
Локомотиве серије EG 581-594	55

Локомотиве серије EG 701-725	57
Локомотиве серије EP 201-208	58
Локомотиве EP 209/210 и EP 211/212	59
Локомотива EP 235	60
Локомотиве серије EP 236-246	61
Локомотиве серије EP 247-252	63
Локомотиве серије ES 51-57	64
Локомотива EV 3/4	65
Локомотива EV 5"	65
Локомотива EV 6	66
Локомотиве EP 213 и EP 214 и серија EP 215-219	67
7 Електричне локомотиве Државне железнице Краљевства Баварска	69
Локомотиве серије EP 3/5	70
Локомотиве серије EP 3/6	71
Локомотиве серије EP 3/6"	72
Локомотиве EG 4x1/1 20201 и EG 4x1/1 20202	73
Локомотиве EG 2x2/2 20221 и EG 2x2/2 20222	74
Локомотиве серије EG 3	75
Локомотиве EG 4 22101 и EG 4 22102	75
Локомотиве серије EG 5	77
Локомотиве серије EP 2	77
Локомотиве серије EP 5	78
Локомотиве серије ES 1	79
8 Електричне локомотиве Немачке државне железнице	81
Локомотиве серије DRG E 69	84
Експерименталне локомотиве DRG E 21 01 и E 21 02	84
Експериментална локомотива DRG E 21 51	86
Експериментална локомотива DRG E 18 01	87
Експериментална локомотива DRG E 16 101	88
Локомотиве серије DRG E 95	89
Локомотиве серије DRG E 75	90
Локомотиве серије DRG E 06.1	92
Локомотиве серије DRG E 17	92
Локомотиве серије DRG E 91.9	93
Експерименталне локомотиве DRG E 44	94
Локомотиве серије DRG E 44.0	95
Локомотиве серије DRG E 44.1	96
Локомотива DRG E 44 201	98
Локомотиве серије DRG E 44W	99
Локомотиве серије DRG E 04	99
Експерименталне локомотиве DRG E 05 001, E 05 002 и E 05 103	100
Локомотиве серије DRG E 93	102
Локомотиве серије DRG E 18	103
Локомотиве серије DRG E 19	104

Локомотиве серије DRG E 94	105
Локомотиве серије DRG E 60	107
Локомотиве серије DRG E 63	108
Локомотиве серије DRG E 80	109
9 Експерименти са индустријском учестаношћу	111
Локомотива DRG E 244 01	111
Локомотива DRG E 244 11	112
Локомотива DRG E 244 21	113
Локомотива DRG E 244 31	115
Локомотива DRG E 244 22	116
10 Локомотиве једносмерне струје	117
Локомотива компаније Spandauer Hafenbahn	117
Локомотиве IME1 и IME 2	118
Локомотива DRG E 178 01	119
Локомотива DRG E 176	120
11 Електричне локомотиве Државне железнице Источне Немачке	121
Локомотиве наслеђене од Немачке државне железнице	121
Нове локомотиве	122
Локомотиве серије DR E 11	122
Локомотиве серије DR E 42	123
Локомотиве серије DR E 251	124
Експериментална локомотива DR E 211 001	125
Локомотиве серије DR E 250	126
Експериментална локомотива DR E 212 001	127
Локомотиве серије DR E 243	129
Локомотиве серије DR E 212	129
Локомотиве серије DR E 230	129
Локомотиве серије DR E 252	131
12 Електричне локомотиве Савезне железнице Западне Немачке	133
Локомотиве наслеђене од Немачке државне железнице	134
Нове локомотиве	134
Прототипска серија DB E 10.0	135
Локомотиве серије DB E 10.1	138
Локомотиве серије DB E 40	141
Локомотиве серије DB E 50	142
Локомотиве серије DB E 03	143
Локомотиве серије DB E 41	145
Локомотиве серије DB E 320	147
Локомотива DB 344 01	148
Локомотиве серије DB E 310	149
Локомотиве серије DB E 410	150
Локомотиве серије DB 151	151
Локомотиве серије DB 111	152

Локомотиве серије DB 181.2	153
13 Електричне локомотиве Акционарског друштва Немачке железнице	155
Литература	159
Индекс личних имена	161
Библиографија аутора	163

Увод

Историја електричне вуче почела је у Немачкој, 1879. године, представљањем једне мале електричне локомотиве. Већ следеће године појавили су се први експериментални трамваји. Врло брзо, електрични трамваји постали су озбиљна конкуренција трамвајима с коњском вучом и трамвајима с парним машинама, не само у немачким градовима, већ широм света.

Прве локомотиве у Немачкој појавиле су се као рудничке и индустријске. Електрична вуча имала је огроман значај у развоју рудника, а велике индустријске компаније решиле су врло успешно проблеме унутрашњег транспорта електрификацијом својих индустријских колосека и набавком одговарајућих локомотива.

Електрификација је у градовима и на индустријским колосецима обављана ваздушним контактним проводником, а у рудницима на различите начине, зависно од локалних услова. Напон напајања трамваја и локомотива био је једносмерни, од првобитних 150 V, до каснијих 1200 V.

На железничким пругама парне локомотиве суверено су владале упркос значајним успесима и напретку електричне вуче. Предности електричне вуче биле су већ несумњиве, али су трошкови електрификације и изградње нових енергетских постројења за напајање контактне мреже били велики.

Потребе да се савладавају тешке пруге, с великим и дугачким успонима, да се повећа пропусна моћ пруга, да се повећају масе возова и њихове брзине били су важни аргументи у опредељивању за увођење и развој електричне вуче на железници.

Последње године 19. века указале су на два правца у развоју електричних вучних погона шинских возила. Први је био вучни погон с моторима једносмерне струје, који су се напајали једносмерним напоном директно из контактног проводника без икаквих претварача. С друге стране, проналазак индукционог мотора, тј. вишефазног мотора наизменичне струје, одмах је заинтересовао истраживаче да га искористе и у вучним погонима. И успели су у томе.

Обе врсте погона показале су употребљивост у овој намени, али и неке битне недостатке. Вучни мотор једносмерне струје с редном побудом

имао је механичку карактеристику која је савршено одговарала вучном погону. Међутим, особина једносмерне струје да се не може трансформисати и као таква преносити на велике даљине представљала је велико ограничење у изградњи снажнијих локомотива. С друге стране, наизменични напон је могао да се трансформише, чак и на самом возилу. Међутим, механичка карактеристика индукционог мотора била је чврсто везана за учестаност напона напајања. При константној учестаности напона напајања ова карактеристика била је крајње неповољна за вучни погон и вештачким путем је морала да се томе прилагођава.

Без обзира на несумњиве успехе електричне вуче базиране на редним моторима једносмерне струје и на успешан почетак експлоатације електричне вуче с трофазним индукционим моторима у Италији, будућност електричне вуче у Немачкој виђена је у наизменичној струји, али не трофазној већ једнофазној.

Нови правац истраживања требало је да пронађе нови тип мотора, који ће имати одговарајућу механичку карактеристику, као редни мотор једносмерне струје, а да се напаја једнофазним наизменичним напоном. Почели су експерименти с једнофазним, редним, комутаторским мотором. Такав мотор требало је „натерати“ да поуздано ради под наизменичним напоном.

После читаве деценије истраживања и експериментисања у више европских земаља и у Сједињеним Државама, усавршен је једнофазни редни комутаторски мотор, који је могао да ради под наизменичним напоном, додуше снижене учестаности, и да, при томе, остварује карактеристике готово идентичне редном мотору једносмерне струје.

С таквим мотором могао је да започне развој једнофазних локомотива. У Европи је учестаност једнофазног напона стандардизована на $16\frac{2}{3}$ Hz, а у Северној Америци на 25 Hz.

Вучна карактеристика једнофазних локомотива с једнофазним, редним, комутаторским моторима реализује се једноставно, променом напона напајања мотора. Пошто се једнофазне локомотиве напајају знатно вишим напоном у односу на једносмерне напоне напајања, на њима се неизоставно налази главни локомотивски трансформатор. Намотаји трансформатора израђивали су се са изводима на секундарном или примарном намотају, па је, уз додатни уређај, била могућа степенаста промена напона напајања мотора. На тај начин није било потребе за реостатом као ни за превезивањем мотора у различите

међусобне спреге. Мотори су били у сталној, непроменљивој спреси према напону напајања.

Променом напона напајања од нуле до номиналне вредности обезбеђује се покретање и убрзавање локомотиве приближно сталном вучном силом, одржавајући јачину струје на одређеној, једночасовној вредности. На овај начин се повећава снага до једночасовне вредности, при једночасовној брзини.¹ По достизању номиналног напона мотора с једночасовном струјом при једночасовној брзини, даље убрзавање наставља се при константном напону до достизања равномерне брзине, када се изједначавају вучна сила и сила укупних отпора. Вучна сила се смањује по механичкој карактеристици вучних мотора.

Коришћење једнофазних, редних, комутаторских мотора омогућује и отпорничко и рекуперативно електрично кочење возова на пругама с великим падовима.

Развој једнофазног, редног, комутаторског мотора има своју историју. У њему су учествовали бројни познати научници који су, сваки на свој начин, овом развоју дали мањи или већи допринос, али и бројни инжењери чији је допринос готово заборављен. Треће поглавље ове књиге посвећено је њима.

Означавање редоследа локомотивских осовина

Редослед осовина локомотива европских железничких управа означава се према систему Међународне железничке уније (фр. *Union Internationale des Chemins de fer*, скр. UIC). UIC је основана 1922. године, а пре њеног оснивања више европских железничких управа користило је идентичан начин означавања редоследа осовина код електричних локомотива.

¹ Снага локомотиве одређена је снагом њених вучних мотора. Трајна снага мотора је уобичајени технички податак којим се изражава могућност његовог оптерећења. То је она вредност снаге коју мотор може да развија трајно, без прекорачења дозвољеног загревања, односно максималне температуре одређене класом изолације намотаја. У ранијој фази развоја електричних мотора, када су им кућишта била затворена, трајна струја је имала малу вредност. Тада се користио податак који је боље изражавао могућност оптерећења. Била је то једночасовна снага, тј. она вредност снаге коју мотор може да развија један час, почевши од хладног стања, без прекорачења дозвољеног загревања. Када су развијени мотори са самовентилацијом, услови хлађења су постали знатно бољи. На тај начин, вредност трајне снаге је знатно повећана и у потпуности је одговарала условима оптерећења мотора трајном струјом.

UIC ознака се састоје од комбинације бројева и слова.

Бројеви се користе за означавање броја слободних (непогонских) осовина.

Слова се користе за означавање погонских осовина, и то:

A – једна погонска осовина

B – две погонске осовине

C – три погонске осовине

D – четири погонске осовине

E – пет погонских осовина.

Мало слово "о" иза великог слова (A, B...) означава појединачан погон осовина.

Апостроф (') се користи за означавање осовина које се налазе у обртном постољу.

Напомена о коришћењу старих мерних јединица

За локомотиве изграђене у 19. веку, технички податак о снази изражен је у старој мерној јединици званој *коњска снага* (нем. *Pferdestärke*, скр. PS).

Однос коњске снаге PS у односу на јединицу за снагу Међународног система јединица је следећи: 1 PS износи 736 W, односно 0,736 kW.

1

Немачке електричне локомотиве 19. века

Немачке електричне локомотиве 19. века биле су локомотиве једносмерне струје. Имале су вучне моторе (динамо-машине) једносмерне струје. Напајале су се електричном енергијом коју су производили генератори (динамо-машине) једносмерне струје. Мада су предњачили у експериментима с вучним једносмерним динамо-машинама на различитим врстама шинских возила, немачки инжењери нису видели будућност електричне вуче засновану на њиховој примени. Изузетак су били трамваји и градске железнице, који су великом брзином освајали немачке градове. С развојем електричних локомотива било је другачије. Грађене су појединачне локомотиве малих снага, као индустријске и маневарске, а највише као рудничке.

Успешно изведен експеримент с преносом трофазне наизменичне струје од хидроелектране на реци Некар до Франкфурта на Мајни, изведен 1891. године, имао је значајан утицај на смер нових истраживања. У последњој деценији века почели су да се обављају експерименти са индукционим моторима као погонским моторима шинских возила. О томе ће бити речи у следећем поглављу.

Прва локомотива с динамо-машином

На отвореном изложбеном простору Трговинске изложбе у Берлину, маја месеца 1879. године, компанија Siemens & Halske (S&H) поставила је колосек овалног облика, дужине 300 m, ради приказивања новог транспортног средства. То је био мали воз састављен од електричне локомотиве и три отворена вагонета са седиштима за возњу заинтересованих посетилаца изложбе (слика 1.1).

Локомотива је била двоосовинска (слика 1.2). Обе осовине биле су погонске, а механичку снагу су добијале од једне двополне, редне, динамо-машине једносмерне струје снаге 3 PS. Електричну енергију обезбеђивала је друга динамо-машина у функцији генератора једносмерне струје, која је механичку енергију добијала из једне парне машине. Напајање локомотиве обављало се преко треће шине, као позитивног пола генератора, постављене између две колосечне шине.

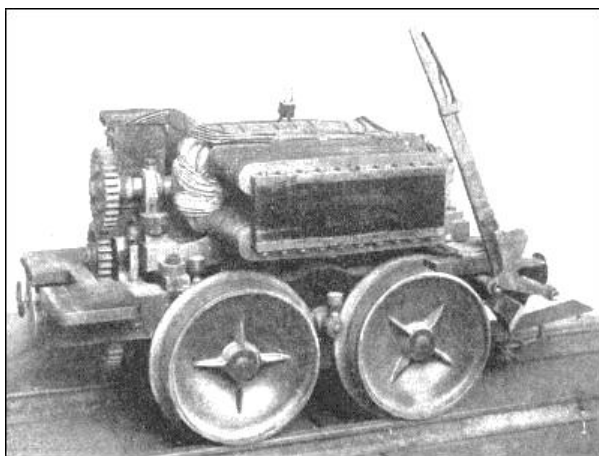
Повратни вод струје представљале су шине колосека на које је био прикључен негативни пол генератора. Напон напајања локомотиве био је 150 V.

Током четири месеца трајања изложбе овом железницом превезено је 86398 посетилаца изложбе. Локомотива је била веома поуздана. Само два дана железница није радила због кише.



Слика 1.1

Прва електрична железница на свету

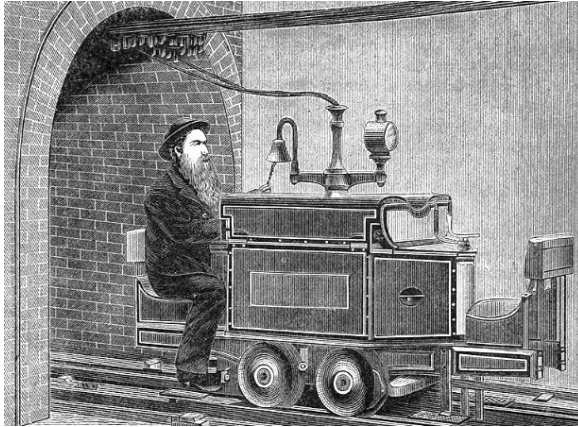


Слика 1.2

Прва електрична локомотива с динамо-машином

Прва рудничка локомотива

Прва рудничка електрична локомотива на свету, названа „Доротеа“, окончала је пробне вожње 25. августа 1882. године. Локомотиву је произвела компанија S&H за рудник каменог угља Цаукероде (нем. *Königliches Steinkohlenwerk Zauckerode*) у немачкој покрајини Саксонији (слика 1.3). Снага вучног мотора била је 5 PS.

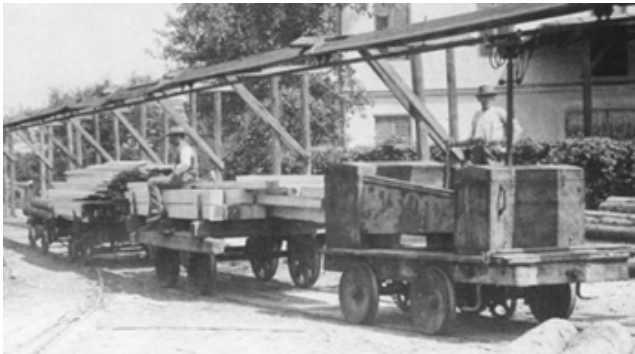


Слика 1.3

Прва рудничка електрична локомотива

Прва индустријска локомотива

Прву индустријску електричну локомотиву изградила је компанија Schuckert & Co, 1883. године (слика 1.4).

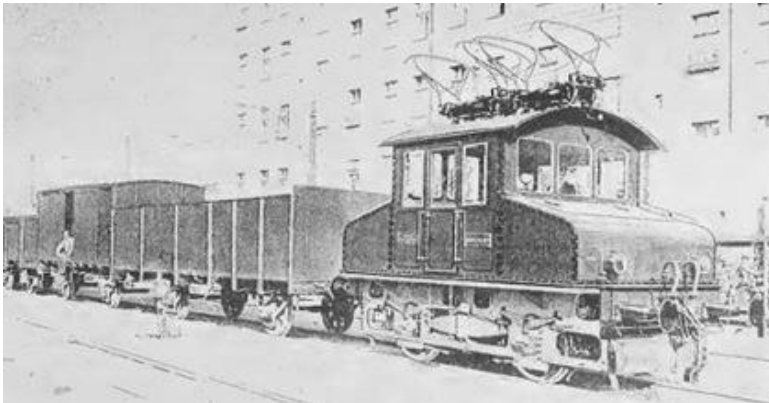


Слика 1.4

Прва индустријска електрична локомотива

Прва железничка локомотива

Компанија Allgemeine Electricitäts-Gesellschaft (AEG) приказала је на Светској изложби у Паризу 1900. године двоосовинску електричну локомотиву број 115 (слика 1.5). Била је то локомотива с централном управљачницом. На крову управљачнице били су постављени одузимачи струје типа „лира“ с клизним контактом за напајање локомотиве из ваздушног контактнег проводника. Напон напајања био је 500 V једносмерне струје. Локомотива је била намењена за вучу возова на пругама нормалног колосека. Погон осовина био је појединачан, од сопственог мотора једносмерне струје, преко једноставног зупчаничког преносника.



Слика 1.5
Локомотива број 115

Главни подаци локомотиве:

Дужина	6,620 m
Маса	24 t
Редослед осовина	Vo
Пречник точкова	1,000 m
Једночасовна снага	300 PS
Максимална брзина	50 km/h.

После првих, изграђене су бројне рудничке и индустријске електричне локомотиве једносмерне струје. На главним железничким пругама суверено су владале парне локомотиве. Електричне локомотиве за главне пруге (нем. *Vollbahnlokomotiven*) појавиће се, после бројних експеримената с наизменичном струјом, тек на крају прве деценије новог века.

2

Трофазни експерименти

Проналазак индукционог мотора отворио је нове могућности за истраживање његове употребе у разним врстама електромоторних погона. Вучни погони с моторима једносмерне струје развијали су се тек нешто више од десетак година, а појавила се нова врста мотора и нови изазов за инжењере, конструкторе и истраживаче.

Први експерименти

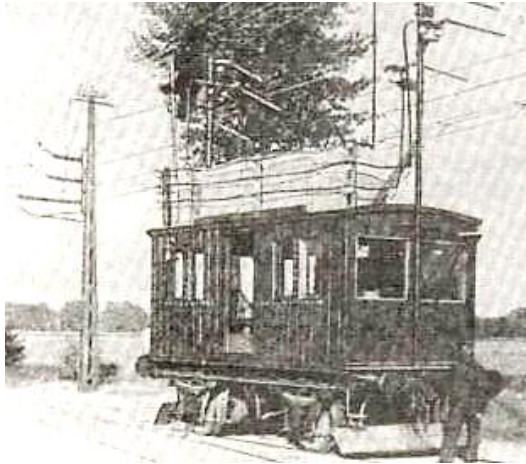
Први експерименти с трофазним вучним погоном започети су у Немачкој 1892. године. Компанија S&N изградила је те године у својој фабрици у Шарлотенбургу експериментални колосек дужине 360 m, с кривином полупречника 40 m. Колосек је био електрифициран трофазним напоном и то тако што су изнад земље постављена два фазна проводника. Шине су представљале трећи фазни вод. Међуфазни напон могао је да се одржава у опсегу између 500 и 600 V. Експерименти су обављани с једним двоосовинским возилом, сачињеним од трамвајског обртног постоља и отворене платформе. На платформи су били постављени трофазни индукциони мотор, одузимаачи струје и апарати за управљање. Вратило мотора било је спрегнуто с једном осовином возила преко преносника. Мотор је имао брзину обртања од 1400 обртаја у минуто па је с преносним односом преносника од 1:11 могла да се достигне брзина од 25 km/h. Овај полигон био је сувише мали за обављање озбиљнијих експеримената, али су резултати испитивања били задовољавајући и обећавајући за неке наредне експерименте.

Други експерименти

Компанија S&N наставила је с експериментима с трофазним вучним погоном 1897. године. У Лихтерфелду у близини Берлина изграђен је експериментални нормални колосек дужине 1800 m електрифициран с три фазна контактна проводника постављена поред колосека.

За обављање експеримената биле су на располагању три вредности napona: 750 V и 2000 V за директно napajaње мотора и 10000 V за napajaње преко покретног трансформатора. Учестаност је била 50 Hz.

За нова испитивања изграђена је најпре експериментална двоосовинска електрична локомотива с простим дрвеним сандуком (слика 2.1). На њој није било трансформатора. За испитивања с напоном од 10000 V коришћен је трансформатор постављен на једном вагону, који је био заквачен за локомотиву. На вагону су постављени одузимачи струје чији је рад посматран с локомотиве.



Слика 2.1

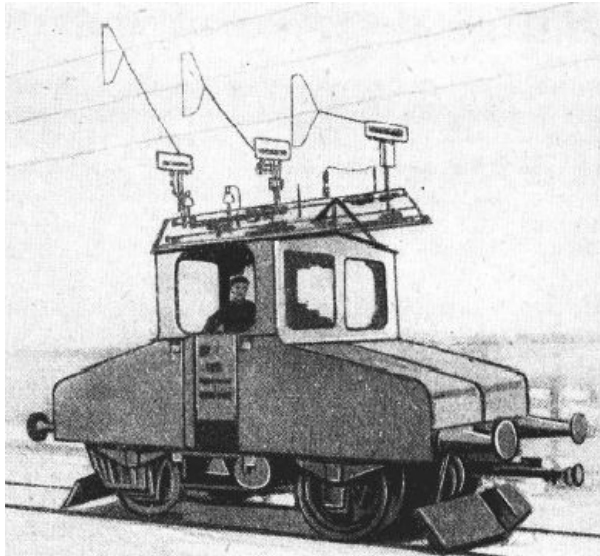
Прва трофазна експериментална локомотива компаније S&N

Ова локомотива била је намењена првенствено за стационарна испитивања опреме. Имала је један трофазни индукциони вучни мотор. С њом нису обављана вучна испитивања.

Комплетна испитивања обављена су с другом локомотивом приказаном на слици 2.2. Ова локомотива изграђена је на механичком трчећем делу дрвене локомотиве. Управљачница и кућишта за смештај апарата и опреме локомотиве били су израђени од челичне конструкције. На крову управљачнице налазили су се одузимачи струје. Вешање фазних контактних проводника мењало се у току испитивања.

Први пут је на локомотиви уграђен трофазни трансформатор у циљу снижења високог napona од 10000 V за napajaње вучног мотора и остале потребе на локомотиви.

Локомотива је имала два трофазна индукциона вучна мотора. Осовински преносници имали су два преносна односа за две трајне брзине.



Слика 2.2

Друга трофазна експериментална локомотива компаније S&H

Главни подаци локомотиве:

Дужина	6,300 m
Маса	16 t
Распоред осовина	Bo
Пречник точкова	1,000 m
Једночасовна снага	240 PS
Трајне брзине	40 и 60 km/h

Трећи експерименти

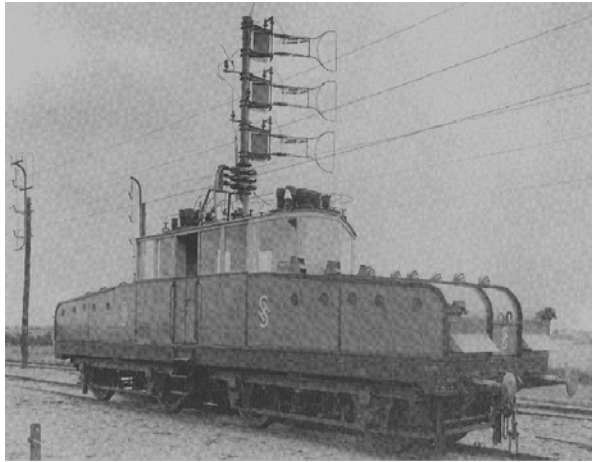
Први и други експерименти нису дали одговоре на бројна питања о погодностима коришћења индукциони мотора као вучних мотора. Преостало је још идеја за нове експерименте.

Године 1899. компанија S&H удружила је снаге с такође великом и снажном компанијом AEG ради спровођења нове серије експеримената. Експерименти су обављани на прузи Маријенфелде - Цосен, дужине 23 km, електрифицираној за ову намену с три ваздушна фазна контактна проводника постављена у вертикалној равни поред шина.

Номинални напон овако формиране контактне мреже био је $3 \times 10000 \text{ V}$, а могао је да се мења у опсегу од 6000 V до 14000 V . Учестаност је могла да се мења у опсегу 25 Hz до 50 Hz .

За извођење нових експеримената компанија S&H изградила је нову трофазну локомотиву и електромоторна кола, а компанија AEG само електромоторна кола. И локомотива и моторна кола били су опремљени трофазним индукционим вучним моторима.

Локомотива је била четвороосовинска, с два двоосовинска обртна постоља (слика 2.3).



Слика 2.3

Трећа трофазна експериментална локомотива компаније S&H

У сваком обртном постољу само је унутрашња осовина била погонска, а погон је био појединачан, од сопственог вучног мотора преко зупчаничког преносника. Ради смањења масе локомотиве није био уграђен трансформатор, па су се мотори директно напајали из фазних проводника.

Главни подаци локомотиве:

Дужина	13,700 m
Маса	40 t
Редослед осовина	(1A0)' (A10)'
Пречник погонских точкова	1,250 m
Једночасовна снага	816 PS
Максимална брзина	130 km/h.