

Електрическа част на CERN

Десислав Тодоров, Андрей Крумов, Александър Овчаров, Мирослав Атанасов

Европейският център за ядрени изследвания CERN е международна лаборатория за експериментална физика, с новаторски съоръжения за изследване в областта на основните градивни елементи на Вселената. Тези инсталации включват ускорители на частици и съоръжения за изследвания в областта на фундаменталната физика. В доклада е представена електроенергийната система, намираща се на територията на CERN.

CERN electric power supply

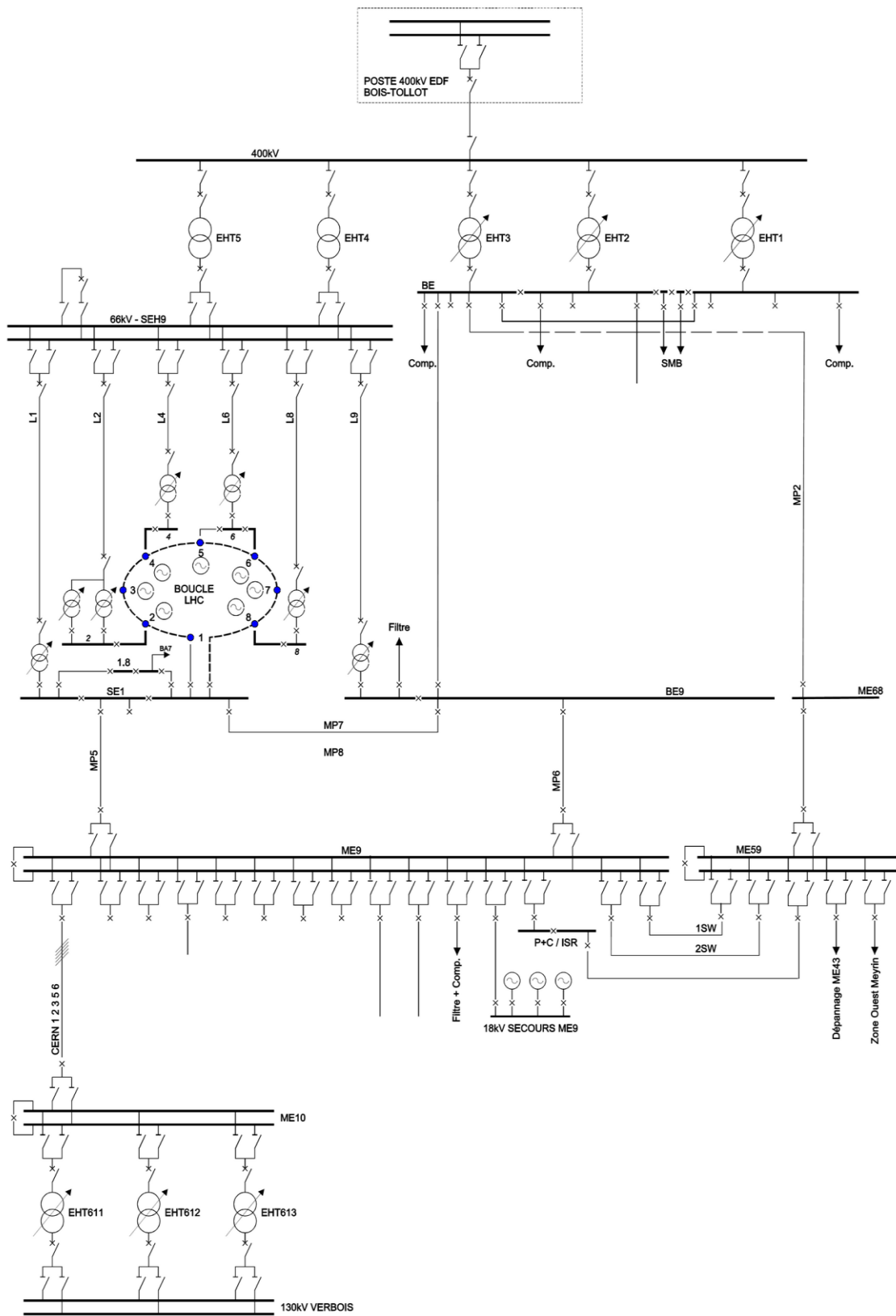
Desislav Todorov, Andrei Krumov, Aleksander Ovcharov, Miroslav Atanasov

The European Organization for Nuclear Research, known as CERN, is the world's largest particle physics laboratory. CERN's main function is to provide the particle accelerators and other infrastructure needed for high-energy physics research. This paper describes CERN electric power distribution network

Европейският център за ядрени изследвания CERN е един от най-големите и най-уважаваните институции за научни изследвания в света. Основана през 1954 г., лабораторията на CERN се намира на френско-швейцарската граница, близо до Женева. Това е едно от първите съвместни предприятия в Европа, в които членуват близо 20 страни. Неговата дейност е свързана с фундаменталната физика. Разположеният в CERN ускорител на елементарни частици (голям адронен колайдер - LHC) е най-големият и най-сложен научен инструмент в света.

Електрическите потребители, в европейската организация за ядрени изследвания, се захранват от две подстанции Prevestin 400/66/18 kV и Meyrin 132/18 kV. Подстанция Prevestin се захранва от едно присъединение 400 kV, идващо от подстанция BoisTollot, Electricite de France (EDF). Подстанция Meyrin е свързана с швейцарската електроенергийна система (EOS) чрез един извод 130 kV. Главната захранваща линия 400kV е с капацитет около 1000 MVA, достатъчен за LHC и неговите инжектори, консумиращи мощност около 240 MW[1].

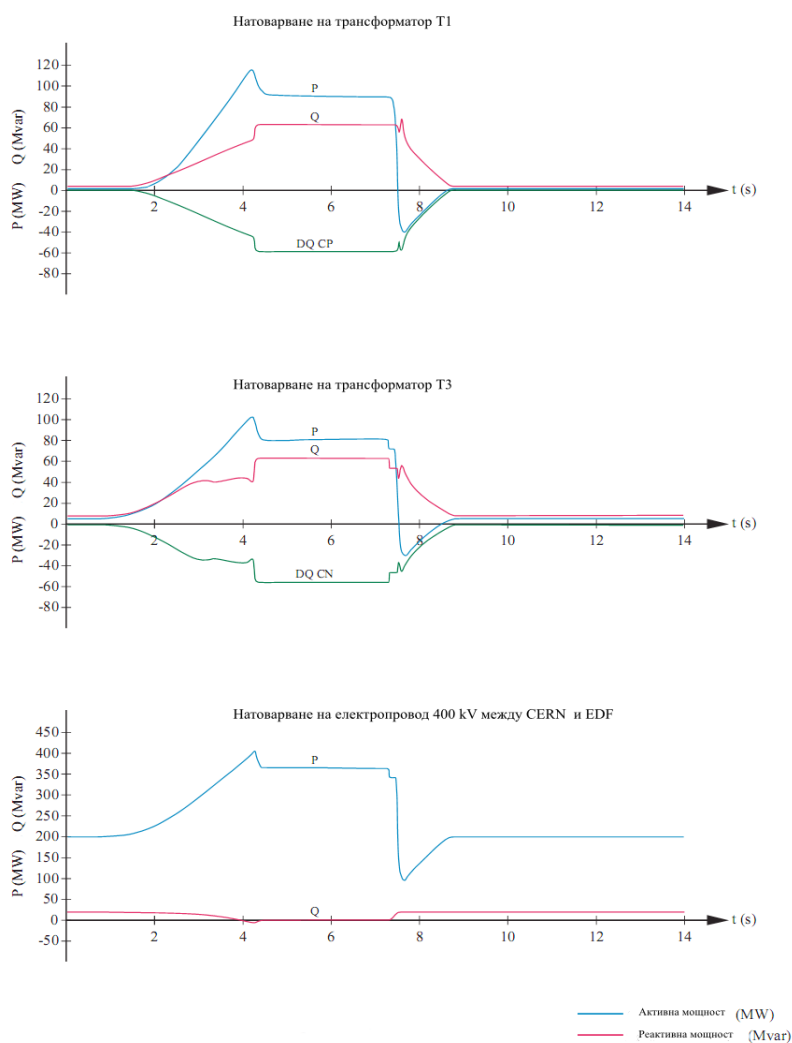
На Фигура 1 е показано географското разположение на електроенергийната система, а на Фигура 2 е принципна електрическа схема на CERN[2].



Фигура 1

Специфично за CERN е работата на ускорителите в пулсиращ режим: инжектиране, ускорение чрез радиочестотна система, бавно извеждане и изхвърляне на остатъчния сноп частици. Енергията, съхранена в главната магнитна система се връща в електрическата мрежа с напрежение 18 kV на лабораторията. Периода на този цикъл е около 14.4 секунди[1]. На Фигура 3 е показано:

- Протичащата мощност през силов трансформатор T1 400/18 kV
- Протичащата мощност през силов трансформатор T3 400/18 kV
- Пренасянната през електропровода 400 kV мощност.



Фигура 2

MVA	Възел 1	Възел 18	Възел 2	Възел 3	Възел 4	Възел 5	Възел 6	Възел 7	Възел 8	Общо
Преобразуватели										
Постоянно	2.20		3.2	2.7	2.9	2.2	3.8	2.5	3.1	22.6
Върхово	2.3		9.8	2.7	9.5	2.3	10.4	2.5	9.8	49.3
Криогенни машини										
3.3kV и 0.4kV	0	8	8.5		14.5	0	14.5	0	15	60.5
Охлаждане и вентилация										
охладена вода	1.8		1.3	0	0.9	1.8	0.9	0	1.3	8
друга вода	1.3		3	0	2.4	2.3	2.7	2.4	1.2	15.3
Транспортиране на въздух										
Зима	1.7		3.5	0.9	3.1	1.4	3.1	0.7	3.3	17.7
Лято	0.5		1.1	0.3	1.1	0.9	1.1	0.3	1.1	6.4
Радиочестотни системи										
					22.4					22.4
Забавяне на частици										
							0.4			0.4
Други машинни системи										
	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.1	0.3	0.2	0.3	2
Експерименти										
ATLAS	7									7
CMS						7				7
ALICE			7.8							5.8
LHC-B									7.5	7.5
Машинни системи и експерименти, общо, постоянно										
MVA	13	8.2	25.1	4.1	44.5	14.3	23.7	5.4	29.5	166.9
MW	10	7	20	2.5	31.2	11.2	20.4	4.1	24	130.4
MVA _г			15.2		31.7	8.9	12.1		17.1	
Комп. MVA _г	0	0	24	0	24	0	24	0	24	
Комп. MVA	13.1	8.2	20	4.1	32.2	11.2	20.5	5.4	24	138.7
Машинни системи и експерименти, общо, върхово										
MVA	13.1	8.2	31.7	4.1	51.1	14.4	30.3	5.4	36.2	194.5
MW	10.1	7	24.7	2.5	35.9	11.3	24.9	4.1	28.7	149.2
MVA _г			19.8		36.6	8.9	17.3		22.1	
Комп. MVA _г	0	0	24	0	24	0	24	0	24	
Компенсирани MVA	13.1	8.2	24.7	4.1	38	11.3	24.9	5.4	28.7	158.3
Общи нужди										
MVA	3	1	2	1	2	3	2	1	2	17

Таблица 1: Основни електрически товари на LHC

Нивата на напрежение в електроенергийната система на CERN са:

- 400 kV въвод от EDF – главна подстанция Preveessin
- 130 kV въвод от EOS – главна подстанция Meyrin
- 66 kV Преносна система, главна подстанция Preveessin до главните товари възли.
- 20 kV Аварийни връзки с EDF във всички възли на LHC
- 18 kV Разпределителна мрежа, CERN.
- 3.3 kV Разпределителна мрежа, предназначена за големите моторно-компресорни уредби.
- 0.4 kV Разпределителна мрежа, общо и специализирано предназначение.

В Таблица 1 са показани мощностите на различните видове потребители[2]. В Таблица 2 е представено натоварването на трансформатори във възлови подстанции 66/18 kV № 1, 2, 4, 6, 8 (SE2, SE4, SE6, SE8)[2].

Разпределителни уредби високо и средно напрежение в CERN

Prevessin, главната подстанция 400/66/18 kV на CERN, се захранва от подстанцията EDF Bois-Tollot. Тази подстанция е интегрирана във френско-швейцарската междусистемна връзка, и поради това е свързана както с EDF в Genissiat, така и с Energie Ouest Suisse (EOS).

Уредба 400 kV на подстанцията Prevessin 400/66/18 kV се състои от шест присъединения: едно входящо и пет трансформаторни. Електропроводът 400 kV, между CERN Prevessin и Bois-Tollot, е с дължина 600 метра. Въвходното присъединение е снабдено само разединител. Прекъсвачът на линията, в подстанцията Bois-Tollot, може да се управлява от CERN. Уредба 400 kV е

	Постоянен товар		Върхов товар	
	Товар / MVA	% от ном. мощност на трансформатора	Товар / MVA	% от ном. мощност на трансформатора
SE 1*	40	57	40	57
SE 2**	20	26	24.7	32.5
SE 4	32.2	85	38	100
SE 6 ***	31.7	84	36.2	95
SE 8	24	63	28.7	76

Таблица 2: Товар на подстанции 66/18 kV

* LHC Възел 1, ATLAS и Meyrin site

** Два 38 MVA трансформатора са инсталирани във Възел 2

*** Сума от товарите в LHC Възел 5 и 6

класическа, открита, с единична шинна система. На страна 66 kV уредбата е класическа открита с двойна шинна система и шиносъединителен прекъсвач. На страна 18 kV се използва комплектна разпределителна уредба с единична секционирани шинна система. Връзката между секции 18 kV се осъществява през секционни прекъсвачи. Три от силовите трансформатори 400/18 kV са с единична мощност 90 MVA. Останалите два силови трансформатора 400/66 kV са с единична мощност 110 MVA. Уредба 66 kV захранва възлови подстанции № 1, 2, 4, 6, 8 (SE2, SE4, SE6, SE8), подстанцията BE 66/18kV за постоянни товари на супер протон синхротрон ускорителя (SPS) и северната част на CERN (надземни лабораторни комплекси).

Към уредба 18kV са присъединени импулсните товари на SPS, системи за подобряване фактора на мощността и филтри – два насищащи се реактора с единична мощност 95 MVA_g, един тиристорно управляем реактор с мощност 150 MVA_g[1]. Поради цикличния прекъсвания на захранването в 18 kV система, основното захранване на LHC се осъществява от 66 kV преносна система[3].

Неутралите на двата трансформатора 400/66 kV са заземени директно на страна 400 kV и през активно съпротивление съпротивление със стойност 80 ohm на страна 66 kV, като токът на земно съединение е ограничен до 500 A.

Подстанция Meyrin 130/18 kV е без оперативен персонал и се управлява от местната електроразпределителна компания SIG (Service Industrielle de Geneve). Тази подстанция се използва за захранване на лабораторията извън времето на работа на машината. Максималният товар на линията е 60 MVA. Разпределителната уредба 130 kV е открита, с двойна шинна система, едно линейно и три трансформаторни присъединения. Разпределителната уредба 18 kV е с двойна шинна система и шиносъединителен прекъсвач. Два от силови трансформатори 130/18 kV са с единична мощност 63 MVA, а третия е с мощност 30 MVA.

Между подстанции 400/66/18 kV и 130/18 kV съществува автоматика за резервиране. Работата на ЛНС при захранване от подстанция Meyrin 130/18 kV не е възможно. Времето, което отнема автоматичното прехвърляне на източника на захранване е около 20 секунди.

По териториален показател разпределителната система 18 kV е групирана на:

- Система захранваща големия адронен колайдер LHC;
- Система захранваща супер протон синхротрона SPS;
- Система захранваща ускорителни комплекси и административни сгради в район Meyrin.

Според характера на товара разпределителната система 18 kV е разделена на два типа:

- Импулсна мрежа - за основната работа на машините SPS и LHC (мощни преобразователни уредби)
- Собствени и общостанционни нужди.

Импулсната мрежа на ЛНС се захранва от възлови подстанции № 2, 4, 6, 8, 66/18 kV. На страна 18 kV подстанциите са с комплектни разпределителни уредби. Във всяка от тях, към шини 18 kV, е присъединен тиристорно управляем реактор компенсатор и пасивни филтри. Филтрите се състоят от 4 вериги настроени към 5ти, 7ми, 11ти и 13ти хармоник. В нормален режим между възловите подстанции няма връзка.

Голяма част от собствените и общостанционните нужди на ЛНС се захранват от 18 kV пръстен, разположен в машинния тунел. Работното захранване на тази мрежа е от възлова подстанция 1. Пръстенът обхваща:

- Секции 18 kV на възловите подстанции № 2, 4, 6, 8.
- 20 подземни елегазови разпределителни уредби 18/0,4 kV разположени в каверни и „глухи” тунелни отклонения.

Автоматичното аварийно захранване е през 18 kV кабелна връзка от страна на Meyrin (Electricité Ouest Suisse). Номиналната мощност на тази връзка е 60 MVA, при изисквани от системите на ЛНС 17 MVA. Към всяка от възловите подстанции № 2, 4, 6, 8, на ниво 18 kV е присъединен аварийен автотрансформатор 20/18 kV, който свързва 18 kV пръстен и местната 20 kV френска мрежа.

Подстанции Възел 3 и Възел 7 са прости. Те се захранват единствено от 18 kV пръстен.

Разпределителната уредба 18 kV, на всяка подземна подстанция 18/0,4 kV, съдържа трансформаторно присъединение и два мощностни разединителя, свързващи уредбата към пръстен 18 kV.

В електрическата система 18 kV е създаден изкуствен звезден център, като неутралата е заземена през активно съпротивление. Токът на земно съединение, в 18 kV електрическа мрежа, е ограничен до 1000 А.

В електрическата мрежа на ЛНС мощността на късо съединение, във Възел 4, Възел 6 и Възел 8, е ниска (~ 300 MVA), имайки предвид огромните токоизправители свързани към тях.

Две 6 MVA резервни кондензаторни уредби са присъединени към пръстена във Възел 4 и Възел 8 за да ограничат понижението на напрежението и хармоничното изкривяване до стойности по-малки от 2%.

Съоръженията за компенсация минимизират преноса на реактивна мощност в система 66 kV.

Част от потребителите, за криогенните технологични системи, представляват мощни моторно-компресорни агрегати. За хранването им са организирани специализирани 66/3.3 kV подстанции.

Разпределителни уредби 0,4 kV

Системата 0,4 kV осигурява хранване на товарите чрез йерархия от 4 мрежи:

- Машинна мрежа - разделена в специализирани LV сектори хранващи всяка главна техническа система на ускорителя.
- Мрежа за общо предназначение - пълната мощност необходима на ЛНС е 17 MVA. Тя е разделена в подразпределителни системи, обслужващи различни сектори на съответната територия.
- „Надеждно хранване” - мрежа, резервирана от дизелов генератор, разделен на много подразпределителни системи, като там се включват и системите за общо предназначение.
- Безопасно хранване - част от системата за надеждно хранване, която се поддържа в действие в случай на спиране при повреда. Цялата тази мрежа се хранва от защитни разпределителни табла. Кабелите са поставени в отделни канали, което осигурява защита от пожар и други рискове.

Всички надземни подстанции са снабдени с 0,4 kV дизелов генератор, който заработва автоматично.

Всички четни възли и възел 5 са оборудвани с 750 kVA дизелов генератор. Възел 3 и 7 са оборудвани с 285 kVA генератори, а Възел 1 с генераторите за аварийно хранване в Meurip.

Определен брой от техническите системи включващи криогенно оборудване, криогенни измервателни уреди и системите за контрол на мощността на преобразувателите изискват непрекъсваемо хранване. В случай на голяма повреда, статичните системи използващи батерии ще поддържат хранването. Тези непрекъсваеми хранвания (UPS) обикновено имат автономност на батерията от около 10 минути.

Системите, резервирани с дизел генератор, имат практически неограничено време на работа. Броят на UPS системите от различни типове и мощност са:

- 80 kVA UPS системи: 52
- 20 kVA UPS системи: 8
- 20 kVA дизел генератор резервирана UPS система: 10
- 120 kVA UPS системи: 5

Автономността на единичен елемент натоварен на 100% е 10 мин. Същата UPS система, натоварена на 50% ще има автономност 20 минути.

Разпределителната система на CERN е проектирана да осигури електрическото захранване на старият електрон – позитронен колайдер. За въвеждането в експлоатация на новия голям адронен колайдер са извършени незначителни изменения. Цялата мрежа се управлява от диспечерски център. Натрупаната огромна база данни за работата на разпределителната система дава възможност за разработване на сложни инженерни симулации. В процес на проектиране е нов по-голям ускорител. За неговото електрозахранване се предвижда цялостна рехабилитация на всички нива на напрежение.

1. „Description of CERN Electrical Network“, G. Gumer, J. Pedersen, CERN, 2005;
2. „Power distribution, signal cabling and optical fibre installation“, CERN, 2004;
3. „Disturbances and power quality of the 18 KV CERN electrical network and the 400/230 V UPS distribution system for LHC“, K. Kahle, CERN, 2003;

Доц. Д-р инж. Андрей Крумов, Технически Университет – София, тел. 02/9652119, ankrumov@tu-sofia.bg

Доц. Д-р инж. Александър Овчаров, Технически Университет – София, тел. 02/9652093, aovcharov@tu-sofia.bg

Гл. ас. Маг. инж. Десислав Тодоров, Технически Университет – София, тел. 02/9652119, desislav_todorov@tu-sofia.bg

Бак. инж. Мирослав Атанасов - Дипломант към катедра „Електроенергетика“, Електротехнически Факултет, Технически Университет – София.