**Дороги електричної енергії**

Коли ми говоримо про передачу електричної енергії на відстань, ми відразу уявляємо початок і кінець гігантсь­кого кола, джерело електроенергії та її споживача, але забуваємо одну деталь, яка становить основу всієї елек­тротехніки. Ця деталь — провід, або кабель (провід, умі­щений в ізоляційну захисну оболонку). Кабель — це рус­ло невидимого потоку електричної енергії. Саме в кабе­лі реалізується здатність електрики передаватися на будь-яку відстань з неймовірною швидкістю — майже 300000 км/с. Ця властивість електрики робить її най­більш зручним і вигідним видом енергії.

Земна куля буквально обплутана проводами. Елек­тричний струм біжить підземними і підводними магіст­ралями, ЛЕП, піднятими над землею, незліченними сте­жинками, які ведуть до частин машин, апаратів, приладів.

З кабелем нерозривно зв'язані вчора, сьогодні і завт­ра електроенергетики й електрозв'язку. Історія кабелю почалася навіть раніше від практичного застосування електрики. Так, Франклін ще не знав проводів і відво­див електричні заряди з хмар повітряним змієм по змо­ченій шовковій нитці. У середині вісімнадцятого століт­тя, ще до винайдення «вольтова стовпа», російські вчені Ломоносов і Ріхман, досліджуючи атмосферну електри­ку, зацікавились проблемою передавання електричного струму та ізолюванням провідника, навіть зробили спро­бу виготовити такий провідник.

М. В. Ломоносов висловив тоді тверде переконання, що за допомогою ізольованої дротини можна передавати «електричну силу на велику відстань до 1000 сажнів і да­лі». Відтоді, як загинув Георг Ріхман від удару блискав­ки (він ухопив неізольований провідник від блискавкопроводу), на порядку денному досліджень учених і вина­хідників постала проблема електроізоляції.

У 1792 р. Вольта, мабуть, уперше чітко сформулював, що «метали... це чудові провідники, вони становлять найлегший шлях для проходження електричного флю­їду».

Першим підтвердив передбачення Вольта російський учений електротехнік П. Л. Ш и л л і н г. У 1812 р. він за допомогою електричного струму підірвав на Неві міну. Від електричної батареї до міни було прокладено по дну річки ізольовану каучуковими стрічками дротину. Через двадцять років П. Л. Шиллінг запропонував бу­дувати повітряні лінії, правда, для передачі телеграм, а не електричної енергії. І не лише запропонував, а й про­демонстрував у своїй петербурзькій квартирі одне з най­більш чудових застосувань кабелю — електромагнітний телеграф. З нього й ведуть родовід кабелі зв'язку, які транспортують електричну енергію невеликої потужнос­ті, призначену для передавання сигналів.

У 1838 р. інший російський учений Б.С. Я к об і (1801 — 1874) повітря­ною телеграфною лінією завдовжки 25 км зв'язав Петер­бург із Царським Селом.

Перші телеграфні кабелі прокладали під землею. Мід­ний дріт ізолювали (для ізоляції брали просочене маслянистою рідиною прядиво, бавовняні нитки, пізні­ше — гутаперчу) і поміщали в металеві, рідше в скляні гільзи. Проте такі лінії працювали дуже нестабільно. Складена з великої кількості гільз захисна оболонка була не суцільна і, природно, негерметична. Через неї та ізоляцію до проводу проникала волога. По ній елек­тричний заряд стікав у землю, і сигнали затухали. До то­го ж під землею важко було знаходити місця пошко­дження кабелю, які часто траплялися. Таким чином, під­земні лінії не могли забезпечити збільшення дальності телеграфування. Тому телеграфні лінії почали робити повітряними: підвішували дроти до стовпів на скляні, а пізніше фарфорові ізолятори.

Винайдений у 1876 р. американцем Грехемом Б е л л о м телефон спочатку розвивався в «телеграфній ко­лисці», на основі телеграфу. Повітряні телеграфні лінії підказали шлях до швидкої і широкої телефонізації: про­тягти провід можна було практично до кожного будин­ку. А в окремих випадках і по телеграфних лініях йшли перші телефонні розмови.

Але телефонові ставало все тісніше в чужій колисці. Адже телефонна мережа зв'язувала сотні, тисячі абонен­тів. У США, наприклад, менш ніж за півроку після ство­рення першого телефонного апарата було встановлено близько восьмисот телефонів.

На фотографіях великих міст кінця позаминулого століт­тя можна побачити гірлянди підвішених до стовпів про­водів. Вони нависали, мов сітки й хитромудрі мережива, над майданами й вулицями, обплутували будинки. Незліченні стовпи, що підтримували їх, крокували обабіч доріг, шикувалися вздовж тротуарів, забиралися на дахи будинків. Це ускладнювало вуличний рух і спотворю­вало зовнішній вигляд міст.

Улітку внаслідок дощів і туманів дроти були вологі, і електричні заряди стікали з них. При цьому телефонні сигнали затухали значно швидше за телеграфні. Узим­ку, особливо в ожеледь, а також від натягу (під впливом низької температури) дроти обривалися, а іноді навіть ла­мали стовпи. Повітряні лінії не могли протистояти і сти­хійним лихам: ураганам, повеням, зсувам, а під час війни їх швидко виявляв ворог, руйнував або підключався для підслуховування.

Одним словом, дроти треба було сховати. Але куди? Звичайно, у землю, куди ж ще? Але спочатку для них тре­ба було створити суцільну і міцну захисну оболонку. У 1879 р. було винайдено прес, який видавлював із свин­цю неперервну трубчасту оболонку кабелю. Одночасно почали робити й іншу ізоляцію з джгута, просоченого спеціальною речовиною.

З того часу безперервно зростає кількість підземних ліній провідного зв'язку і зменшується кількість повітря­них.

Цікавою є історія прокладання кабелів через моря й океани. Як відомо, перший підводний кабель було про­кладено по дну Неви. Однак спроби прокласти кабель через великі водойми наштовхувалися на значні труд­нощі. Через Ла-Манш підводний телеграфний кабель було прокладено у 1850 р. Трохи пізніше телеграфні лінії зв'язали Англію з багатьма країнами Європи, Іта­лію — з Сардінією і Корсікою. І тоді ж почали прокла­дати кабель через Атлантичний океан. П'ять разів спеці­ально обладнані кораблі з гігантською котушкою кабелю на борту виходили в Атлантику і п'ять разів поверталися ні з чим. Вірніше, з куском обірваного кабелю. Лише у 1858 р. удалося, нарешті здійснити телеграфний зв'язок між Лондоном і Нью-Йорком. Проте проіснував він не­довго. Перший міжконтинентальний телеграф через двадцять п'ять днів після урочистого відкриття замовчав назавжди: недосконала конструкція кабелю, низька якість матеріалів, з яких його було виготовлено, пере­творили цей кабель на мертвий вантаж на дні океану.

Однак люди не відступили перед труднощами: у 1866 р. трансатлантичний кабель надійно зв'язав телегра­фом Європу й Америку. З того часу телеграфні лінії перетнули багато морів, океанів, зв'язавши найбільш віддалені країни і континенти. Лише через Атлантичний океан прокладено понад два десятки телеграфних ка­белів.

Здавалося б, що після прокладання кабельного шляху з Європи в Америку не становило особливих труднощів з'єднати обидва континенти й телефонним зв'язком. Од­нак це стало можливим майже через століття. Спочатку намагалися скористатися для підводного телефонного зв'язку телеграфними лініями. Саме так у 1891 р. почав діяти перший телефон через Ла-Манш. Проте для теле­фонних розмов на більших відстанях підводний кабель виявився непридатним: звукові сигнали затухали значно швидше за телеграфні. Для підводного телефонного зв'язку потрібен був кабель особливої конструкції.

Що ж таке кабель? Ззовні — це гнучка дуже довга ме­талева трубка. Наша промисловість виготовляє понад двадцять тисяч видів кабелю і проводів, які відрізняють­ся між собою за призначенням, будовою, розмірами. Але всі вони мають три частини: провід, або, як кажуть спеціалісти, струмопровідну жилу, ізоляцію і захисну оболонку.

Коротко розглянемо кабелі для телефонного й теле­графного зв'язку. Цими кабелями передається дуже не­значна електрична потужність, а тому провід для передачі сигналів може бути невеликого діаметра. Як правило, він становить півтора міліметра, а часто навіть 0,4—1,2 міліметра. Порівняно невеликою є й товщина ізоляції кожного проводу. Все це дає можливість вмістити в одну оболонку велику кількість струмопровідних жил. А це надзвичайно важливо. Для телеграфного чи теле­фонного зв'язку між двома пунктами повинно бути про­тягнуто не менш як два проводи. Уявіть собі, що було б, коли б кожний кабель складався лише з двох струмопро­відних жил? Скільки потрібно було б прокласти окремих кабелів, щоб здійснити провідний зв'язок між мільйона­ми абонентів! Адже одних телефонних апаратів налічу­ється зараз у всьому світі понад 120 мільйонів. Ось чому так важливо в кабель зв'язку помістити якомога більше струмопровідних жил. Є, наприклад, телефонні кабелі, які містять до 8000 окремих проводів.

Щоб електричний струм доходив від генератора (у те­лефонному колі його роль виконує мікрофон) до при­ймача (телефона), треба кожний провід, що з'єднує їх, надійно ізолювати від решти. Якщо цього не зробити, то електричний сигнал перестрибне із свого проводу на інший і помчить зовсім не в тому напрямі, в якому по­трібно.

Нарешті ми підійшли до третьої складової частини ка­белю зв'язку — захисної оболонки. Перш ніж вміщати в неї ізольовані струмопровідні жили, їх треба розмістити, адже сотні, тисячі проводів не кинеш як попало. А як? Звичайно, найпростіше було б розмістити їх паралельно. Однак найпростіше не завжди означає найкраще.

Чи не доводилося вам, розмовляючи по телефону, мимоволі підслухати чужу розмову чи одночасно з голо­сом співрозмовника чути музику, голос радіодиктора? Це відбувається внаслідок взаємного впливу розмовних пар. При паралельному розміщенні жил сигнали, що пе­редаються по одній лінії, чути і по іншій. Щоб запобіг­ти взаємному впливу розмовних пар, а також для того, щоб зробити кабель гнучким (а отже, зручним для транс­портування, укладання в землю чи воду), окремі прово­ди (жили) скручують у групи (пари чи четвірки), а гру­пи — у кабельне осердя. Скручені струмопровідні жили потім поміщають у захисну оболонку. Вона має бути герметичною і досить міцною, щоб оберігати проводи від вологи і механічних пошкоджень.

Потреба передавати на великі відстані електричну енергію значної потужності виникла значно пізніше, коли у 1880 - 1890 рр. для освітлення будинків почали споруджувати потужні електрогенератори. Для передачі потужних електричних струмів найпростіше було при­стосувати телеграфні лінії, можливо лише збільшивши діаметр провідників. Такою була маленька повітряна лінія електропередачі (ЛЕП) на Віденській виставці 1873 р.

Через рік російський винахідник Піроцький здивував усіх, спорудивши на Волковому полі в Петер­бурзі ряд стовпів з дротами. Але в цих лініях передач лише мізерна частка електричної енергії досягала кін­цевого пункту (споживача), більша ж її частина йшла на нагрівання дротів. Щоб передача електричної енергії ста­ла практично доцільною, потрібно було зменшити її втра­ти по дорозі.

Першим розв'язав це завдання французький дослід­ник Марсель Д ю п р е. Підвищивши напругу постійного електричного струму, що вироблявся динамомашиною, до 2000 В, він зумів у вересні 1881 р. передати електричну енергію на відстань 57 км. Цей рік став датою народжен­ня першої повітряної ЛЕП. У проводах цієї ЛЕП енергії втрачалося у 3,5 раза більше, ніж її надходило до спожи­вача. У 1891 р. російський вчений М. О. Д о л і в о - Добровольський (1862 — 1919) виправив положення, пустивши по проводах змінний струм. Коефіцієнт ко­рисної дії лінії досяг нечуваного в ті часи значення — 77,4 %. Усього 200 кВт передав вчений від Лауфенського водопаду на Міжнародну електротехнічну виставку у Франкфурті-на-Майні (відстань 175 км), але коли засвітилися 1060 лампочок і запрацював електродвигун по­тужністю 75 кВт, відвідувачі виставки повірили в повітряні ЛЕП, як у чудо XIX ст.

Відтоді почалося інтенсивне спорудження електро­станцій, все потужніших і все далі від великих міст — на річках, біля місць добування вугілля, торфу, нафти. Від них потяглися сотні проводів, по яких передавали електричний струм потужністю тисячі кіловат, щоб при­вести в рух машини, засвітити лампочки, нагріти печі.

Паралельно з повітряними ЛЕП розвивалися і кабель­ні, однак перевага віддавалася повітряним лініям. Це по­яснюється в основному двома причинами. По-перше, вар­тість виготовлення і прокладання підземних силових ка­белів дуже висока. По-друге, на електричний струм вели­кої потужності (а отже, і великої сили) мало впливають зовнішні електричні поля (наприклад, інші електричні лінії, грозові розряди), атмосферні опади.

Крім того, повітряні лінії не мають ні ізоляції, ні за­хисної оболонки. Тут лише один провід. До останнього часу його робили з традиційної в електротехніці міді. Лише в двадцятих роках минулого століття мідь почала витіснятися легким алюмінієм у поєднанні з міцним ста­левим осердям. Тепер сталево-алюмінієві проводи посі­дають основне місце в повітряних лініях силових електро­передач, а при особливо довгих прольотах між опора­ми (на переходах через річки, болота, ущелини тощо) застосовують бронзові, сталево-бронзові або сталево-мід­ні проводи, які мають особливо високу міцність.

А тепер про конструкцію проводів. Безумовно, сло­во «конструкція» викликало у вас подив. Яка ще там кон­струкція? Товста металева дротина — і все. Але це не зовсім так. При передачі електричної енергії струмом низької напруги (до 250 В) провід повітряної лінії справ­ді ніяких конструктивних особливостей не потребує. Але якщо напруга електричного струму, який передається від­критим проводом, перевищує 35 000 В, то повітря нав­коло проводу втрачає свої ізоляційні властивості. Воно, як і будь-який інший газ, під дією електричного поля іонізується, стає провідником. Навколо проводу утворю­ється тонкостінна повітряна трубка, яка проводить елек­тричний струм. У темноті ця трубка світиться, створю­ючи казково гарне явище. Високо над землею, на фоні темного неба, поблизу проводів лінії високовольтної передачі виникає легенький світний ореол. Повітря мерехтить блідим холодним світлом, створюючи навколо проводів світну корону. Мерехтіння супроводжується слабким потріскуванням. Це явище називається коро­нуванням повітря.

На створення навколо проводів корони, звичайно, витрачається частина енергії, що передається по прово­дах. Щоб зменшити ці втрати, треба збільшити діаметр проводу, а це збільшує витрати металу на спорудження лінії передачі. Щоб запобігти цьому, діаметр проводу збільшують, але роблять провід порожнистим. Провід виготовляють з кількох фасонних дротин, з'єднаних між собою так, що у місцях дотиків утворюється міцне, але водночас трохи рухоме з'єднання. Воно забезпечує і міц­ність проводу, і його гнучкість. Правда, останнім часом порожнисті проводи знаходять обмежене застосування. Для боротьби з коронуванням повітря все частіше про­від розщеплюють на кілька тонших, підвішують їх на пев­ній відстані один від одного. Усі разом вони ніби утво­рюють один провід великого діаметра.

Не тільки по проводах у повітрі безупинно тече мо­гутній потік електричної енергії. Ми, як правило, не бачимо ні в містах, ні на територіях підприємств метале­вих ферм, залізобетонних опор і навіть дерев'яних стов­пів високовольтних ліній електропередач. Тут вони ство­рювали б великі незручності: по-перше, заважали б місь­кій електрокомунікації, наприклад мережі тролейбусних ліній. По-друге, електричний струм великої сили шкідли­во впливав би на струм, що тече в проводах зв'язку.

І по-третє, просто небезпечно, щоб над населеним пун­ктом, над головами людей, над будинками йшов елек­тричний струм високої напруги: може статися обриван­ня проводів, або коротке замикання в повітрі, або про­бій на землю. Тому стрімкі потоки електричної енергії, які мчать під напругою понад 35 000 В, на дальніх чи ближніх підступах до населених пунктів ховають під землю, у вузькі русла кабелів.

Правда, не такі вже вони й вузькі. Дивлячись із чим порівнювати. Якщо, наприклад, з кабельним зв'язком, то силові кабелі, а тим більше надвисоковольтні, здаються велетнями.

Силові дроти лінії ЛЕП підвішують на опорах за допомогою ізоляторів. Силові кабелі можна сміливо за­ривати в землю, прикріплювати до стін, кидати на підло­гу. Проте електроізоляція кабельних жил обходиться недешево, до того ж проводи з струмом нагріваються, а теплопередачу через ізоляцію в землю здійснити досить складно. Тому й виробився загальний для енергетиків принцип: «Повітряні ЛЕП гарні завжди, а кабельні — лише тоді, коли повітряні непридатні».

Останнім часом все частіше чути незадоволення, а то й критику на адресу «універсальних» і «дуже дешевих» повітряних ЛЕП. Вони справді дешеві, поки не завдають шкоди флорі, фауні й людині, не заважають будівництву й транспорту. Вони надійні, поки грози, бурі чи ожеледи­ця не порвуть дроти чи не завалять опор. Вони безпечні, поки не заважають польотам вертольотів на висоті 20 — 30 м і поки зв'язківці терплять радіоперешкоди.

Врахуйте побічні збитки від усіх цих факторів, додай­те вартість відведеної під лінії корисної землі, і хлібо­сольна щедрість під лозунгом «Тягни дроти в повітрі, оскільки це безкоштовно!» обертається застарілою звич­кою витрачати без підрахунків природні ресурси. Курс на повсюдне впровадження повітряних ЛЕП був еко­номічно виправданим у роки становлення нашої молодої держави. У наш час повітряні ЛЕП поступово замінюють на підземні, кабельні, спочатку в містах, приміських зонах, а згодом і поблизу селищ і підприємств.

Виведення повітряних ЛЕП із зони лісів і полів — од­не із завдань природоохоронної роботи: адже не секрет, що від високовольтних ліній втікають лосі, переселяю­ться птахи, зайці й мурашки. Електричні поля, ство­рювані проводами ЛЕП, небезпечні для живих організ­мів. Тому на високовольтних підстанціях не дозволяєть­ся працювати без спеціального одягу з екрануванням електричних полів. Все менше стає бажаючих жити під повітряними лініями електропередач, гуляти під ними чи садити картоплю.

У всьому світі швидко зростає виробництво й спо­живання електричної енергії. Щоб довести до споживача все зростаючі потоки електричної енергії, потрібно під­вищувати пропускну здатність ліній електропередач.