

电力网计算

〔苏联〕Г·М·郭洛杰茨基著

中国工业出版社

电 力 网 計 算

苏联 Г·М·郭洛杰茨基著

西安电业管理局設計处譯

乌克兰苏维埃社会主义共和国文化部高等专业学校管理局批准
作为高等工业学校电工系参考教材

中国工业出版社

本书概括地阐述了电力网的发展史，引述了导线的发热计算和导线的经济计算，讲解了各种不同形式的开式与闭式电力网的电压损耗计算方法。电力网的计算，书中多用例题加以说明。对于电力网中的电压调整和直流输电等问题，书中也略加叙述。

本书的附表可作为设计电力网时的参考资料。

Г.М.Городецкии

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

根据乌克兰国立技术书籍出版社1953年基辅版翻译

* * *

电力网计算

西安电业管理局设计处译

(根据原水利电力出版社版重印)

*

水利电力部办公厅图书编辑部编辑(北京阜外月坛南首房)

中国工业出版社出版(北京修门路丙10号)

(北京市书刊出版事业许可证出字第110号)

中国工业出版社第二印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本850×1168毫米·印张107/8·字数326,000

1955年12月北京第一版

1963年11月北京新一版·1963年11月北京第一次印刷

印数001—618·定价(10)1.80元

*

统一书号: 15165·2862(水电-383)

引 言

与实际利用電能的同时，就開始需要電力網，即需要裝設把電能从電源送到用戶去的送電設備。

起初大量的電能是用於弧光灯照明，其中採用了「彼得洛夫弧光灯」^①。在 1873 年俄國科學家 A. H. 羅德金發明了白熾灯。

最初製造的白熾灯，電壓是 65 伏，也就是弧光灯所用的電壓。後來當弧光灯串聯起來時，需用 110 伏及 220 伏的電壓，於是也開始製造同樣電壓的白熾灯。

白熾灯所消耗的電能較弧光灯少得多，因此，白熾灯的發明就為廣大用戶提供了使用電氣照明的可能性。

要把大量的電能以 110 伏及 220 伏的電壓輸送到較遠的距離是相當困難的，所以在各大城市的各區內就必須分別建立小型的直流發電廠。

較高的電壓使增大輸電綫路的半徑成為可能，所以就開始採用 440 伏的直流電壓，該電壓利用電氣工程師杜利涅-杜布羅夫斯基所建議的分壓器分為兩部，得出電壓為 2×220 伏的三繞直流電力網。

俄國的第一條輸電綫路是由俄國電氣學者皮洛茨基在 1874 年架設的。該綫路長為一公里，輸送電能為 6 馬力。設計與經驗使皮洛茨基確信，利用水力發電和把電能輸送很遠的距離有着廣大的前途。

俄國學者 Д. А. 拉欽諾夫首先研究了遠距離輸電原理，他在這一方面的著作曾在 1880 年的「電氣」雜誌上發表。

恩格斯在 1883 年致別龍什帖音的一封信中，對於遠距離輸電的這一問題，曾作了這樣的評價：「……電氣的利用為我們開

① 繼「彼得洛夫弧光灯」電力照明的下一發展階段，是俄國電氣學者雅卜羅可夫發明的「雅卜羅可夫電燭」。

開了一條新的道路，使我們把各種形式的能——熱能、機械能、電能、磁能、光能——從一種形式變成另一種形式，又使之還原，並把這些能利用到工業中……。M. 德普來最新的發明，是將高壓的電能在較少損耗的情況下，用普通的電報綫作遠距離的輸送，並在終點加以利用。其輸送距離之遠，到現在為止，人們還沒有敢於設想。這種事業還僅在萌芽時代，這一發明最後就能把工業從所有地域條件限制中解放出來，同時也使利用最遠處的水力成為可能^①。

直到變壓器發明之後，才使大規模的電能輸送成為實際的可能。而變壓器是由俄國電氣學者雅卜羅可夫及烏沙根發明的。

第一條容量最大的（指當時而言）輸電綫路是由俄國工程師 M. O. 杜利涅-杜布羅夫斯基在 1891 年創設的。他所創設的這條綫路，能把 300 馬力的電力輸送 175 公里。

這一條輸電綫路上的電流是由變壓器將三相的發電機電壓升高至 30 000 伏來輸送的。在此情況下，輸電效率是相當高的，為 77%。

杜利涅-杜布羅夫斯基是三相交流的創始人，他除創設了世界上第一條三相輸電綫路外，還發明了三相非同期電動機，從而他也就成了第一個直流電動機發明人——俄國偉大科學院院士亞果比的事業繼承者。

1919 年杜利涅-杜布羅夫斯基研究遠距離輸送三相電流的結果，證明輸送距離遠和容量大的電能，最好改用直流輸電，認為若採用電壓為 200 千伏的三相交流，最多僅能把電能輸送數百公里。

沙皇俄國的電氣化事業是處於極度落後的水平。從 1913 年高壓綫路總共僅有 109 公里的這一事實，便可得到鮮明的說明。

我國的電氣化事業僅在偉大十月社會主義革命之後才真正開始發展起來。在 1938 年僅高壓綫路就有 17 000 公里，而在 1940

① [馬恩全集]，第 27 卷，第 289 頁，1935 年俄文版。

年則有22000公里。

目前苏联正在設計和架設由古比雪夫水电站和斯大林格勒水电站至莫斯科的长达1000公里的三相交流輸电綫路。

列宁指出：我国的发展如果离开了电气化那是不可思議的；工业的发展与电能的发展及其利用是紧密联系着的。

“共产主义是以苏維埃政权这一能使被压迫羣众完成各項事业的政治机构为前提的，否則共产主义便是不可想象的。……

这是政治方面的保証，但是經濟方面，只有建立在現代技术基础上的大工业机器的一切脉絡真正布满俄国无产階級国家的时候，才算有了保証。而这就意味着电气化”……^①。

“共产主义就是苏維埃政权加全国电气化……只有当国家实现了电气化，为工业、农业和运输业打下了現代大工业的技术基础的时候，我們才能彻底取得胜利。”^②

1920年根据列宁的指示并在斯大林的热烈拥护下，拟定了利用本国天然动力資源（泥煤、粉煤、白煤等）的全俄电气化計劃。

列宁的全俄电气化計劃，在全俄苏維埃第八次代表大会（1920年12月22—29日）上被通过。

按照全俄电气化計劃，1921年建設了卡什拉—莫斯科輸电綫路，1925年建設了沙图拉—莫斯科及巴拉赫那—高尔基城輸电綫路。在1926年伏尔霍夫—列宁格勒綫路投入了运行。这些輸电綫路的电压都是110千伏。此外，还建設了电压为35千伏的綫路。

在1927年建設了包括莫斯科整个地区在內的环形电力网。1933年又建設了第一条电压为220千伏的輸电綫路（斯威尔—列宁格勒）。

电力网将許多发电厂联結起来，組成了动力系统，这样就能

① 見“列宁全集”俄文第四版，第31卷，第392頁。

② 見“列宁全集”俄文第四版，第31卷，第484頁。

更有效地使用燃料和其他動力資源，就能充份地利用發電廠的現有容量，以及更合理地進行電能的分配。

莫斯科、列寧格勒、烏拉爾、頓巴斯和第聶泊區等處的動力系統是蘇聯最大的動力系統。

沙圖拉、卡什拉、斯大林諾高爾斯克和許多工業用發電廠都與莫斯科動力系統連接，而莫斯科動力系統又與雅羅斯拉夫里及高爾基城動力系統相連。

命名為「列寧」的第聶泊水力發電廠在 1932 年即開始供電，這一水力發電廠將數億度的廉價電能供給第聶泊的工業區，並為國家節約了大量燃料。

隨著輸電綫路的架設，對於輸電綫路上的電氣部分和機械部分的計算方法也在不斷的研究與改進。

科學家格拉茹諾夫、席羅廷斯基、利雅布可夫、波雅爾科夫、扎列斯基、郭列夫、卡明斯基等都在致力於這一方面的工作。

蘇聯的工程師們創造了用於 110 千伏綫路上的新型木桿。這種木桿的各種條件與國外的相同，而其重量指標則優於國外製品。

為了正確地指導發電廠和綫路的運行，在列特科夫領導之下編製了「技術管理規程」。該規程使運行的經驗系統化，並成為具有指導性的材料。

蘇聯的科學研究院及高等學校，在對動力系統的設計、建設和運行等問題的研究方面正進行着巨大的工作。

蘇聯的工程師們為了更好地利用國內的天然動力資源，對於動力系統的合理佈置曾作了巨大的研究工作。

在蘇聯發展國民經濟的第二個五年計劃中，動力指標比全俄電氣化計劃中的指標已經超過了一倍半。

在第四個五年計劃期內，發電廠、電力網和動力系統的建設工程更廣泛地展開了。

在第四個五年計劃的第三年，即在 1948 年，生產的電能為

1940 年的 129%。1952 年所生產的電能等於 1170 億度，也就是說，比 1940 年增加了 1.4 倍。

在[第十九次黨代表大會關於發展蘇聯第五個五年計劃(1951—1955 年)的決議]中指出：

[在電氣化方面，應該保證發電廠容量高速增長，以便更能充份滿足國民經濟及人民生活上對電能不斷增長的需要，並增大動力系統的後備能力]。

在第五個五年計劃終了時期，發電廠的總容量約將增加一倍。

根據 1950 年 8 月 21 日蘇聯部長會議的決議將開始建設並將在 1955 年投入運行的古比雪夫水力發電廠，其容量約為 200 萬瓩、發電量在中等水量年份為 100 億度。這將是世界上容量最大的發電廠。

今後將有大量的電能由古比雪夫水電廠的輸電綫路送出。

根據 1950 年 8 月 31 日蘇聯部長會議的決議，將要建設一個容量不小於 170 萬瓩、發電量在中等水量年份約為 100 億度的斯大林格勒水力發電廠。

古比雪夫和斯大林格勒這兩個中心水力發電廠是世界上現有水力發電廠中的最大的水力發電廠。

1950 年 9 月蘇聯部長會議通過了在第聶泊河上建設卡霍夫卡水力發電廠的決議。在卡霍夫卡區的第聶泊河上將要建立容量為 25 萬瓩、發電量在中等水量年份約為 12 億度的水力發電廠。

為了適應新的配電任務，必須建設大量新的綫路和地方性電力網，以及改建與擴建現有的電力網和綫路。

本書可作為工業大學電工系的參考教材，也可作為在輸電綫路方面工作的工程師及技術人員們計算各種電力網的參考資料。

讀者對本書的意見希逕寄：基輔，紅軍街 11 號，烏克蘭社會主義共和國國立技術書籍出版社。

目 錄

引 言

第一章 電力網概論9

1. 電力網分類9
2. 架空電力網13
3. 電纜綫路22
4. 室內綫路29

第二章 導綫發熱的計算30

1. 概論30
2. 裸導綫的發熱31
3. 絕緣導綫的發熱35
4. 電纜的發熱35
5. 電力網的熔斷器保護裝置及導綫截面積的選擇37
6. 在斷續工作制下選擇導綫和電纜的截面積40

第三章 開式電力網的計算41

1. 導綫的電阻和電抗41
2. 空心導綫的電感47
3. 低壓開式電力網中導綫截面積的決定49
4. 電力網中電壓的偏移51
5. 交流電力網的計算53
6. 三相電力網電壓損耗的決定54
7. 綫路電感的計算58
8. 電壓損耗精確值的決定59
9. 多負荷開式電力網的計算61
10. 按電力損耗導綫的計算63
11. 交流綫路64
12. 按固定電流密度導綫的計算68
13. 按導綫材料耗費量最少條件計算導綫截面積69
14. 負荷均勻分佈時導綫的計算73

15. 各相負荷不平衡時三相開式電力網的計算	74
16. 分支電力網的計算	78
17. 用綫矩法計算分支電力網	87
18. 鋼導綫的計算	90
第四章 區域性電力網的計算	92
1. 綫路常數	92
2. 電暈現象	93
3. 綫路電納的決定	98
4. 變壓器常數	102
5. 變壓器抽頭的數值	110
6. 輸電綫路不考慮電導及電納的計算	110
7. 輸電綫路帶有分佈常數時的計算	115
8. 無損耗的綫路	123
9. 遠距離電能的輸送	126
10. 等價回路	127
11. 根據等價回路綫路始端電壓和電流的圖解測定法	132
12. 考慮帶有變壓器時的綫路計算	135
13. 負荷以電力表示時的綫路計算	142
14. 等價常數法	143
15. 變壓器抽頭的選擇	149
16. 回路的簡化	156
17. 圓圖	162
第五章 閉式電力網的計算	164
1. 閉式電力網中電流的分佈	164
2. 直流閉式電力網中導綫截面積的決定	168
3. 交流閉式電力網電流的分佈	170
4. 均一綫路	173
5. 非均一綫路	174
6. 電源電壓不同時閉式電力網中電流的分佈	176
第六章 有結點的閉式電力網的計算	182
1. 有一個結點的閉式電力網中電流的分佈	182
2. 多結點的閉式電力網	188
3. 解方程式的漸近法(逐步漸近法)	195

4. 電力網在計算台上的計算	201
5. 電力網變換法	202
6. 回路方程式法	213
7. 城市電力網考慮帶有變壓器時的計算	219
8. 閉式電力網導線截面積的決定	226
9. 閉式電力網(網格)	228
第七章 閉式電力網中電力的强行分佈	230
第八章 電壓調整	237
1. 調壓變壓器	237
2. 補償變壓器	238
3. 用同期補償器和電容器的調壓	240
4. 同期補償器容量的分析計算	242
5. 調壓用的電容器	263
第九章 導線的經濟計算	264
1. 綫路輸送最大電力的利用率及使用時間	264
2. 損耗時間	265
3. 均方根電流	265
4. 經濟電流密度	268
第十章 直流輸電綫路概論	274
1. 直流輸電綫路	274
2. 整流器的結綫	277
3. 逆整流	279
4. 直流架空輸電綫路	281
5. 直流輸電綫路的優點	281
第十一章 地方電力網的設計	282
1. 地方電力網	282
2. 變壓配電站容量和數目的選擇	287
3. 高壓電力網的結綫	290
4. 高壓電力網負荷的計算	293
5. 電壓的選擇	294
6. 低壓電力網的結綫	294
7. 室外照明電力網	295
8. 地方電力網設計補遺	298
附 表	305

第一章 電力網概論

1. 電力網分類

電力網是電力系統的一部分，而電力系統則是動力系統的一部分。

動力系統 是用電力網將各發電廠、變電所與用電設備相互接聯起來的總體。

電力系統 是動力系統的一部分，是由發電機、配電裝置、昇壓與降壓變電所、電力網和用電設備等組成。

電力網 是電力系統的組成部分，由變電所和各種不同電壓的綫路組成。電力網根據電壓的高低而區分，並可分為架空綫路和電纜綫路，室外綫路和室內綫路。

輸電綫 乃是電力網的一部分，也是輸配電能的設備。

架空綫路 在室外將導綫利用各種配件和絕緣子緊固在電桿或者其他工程構築物的托架上的輸配電能的設備，叫作架空綫路。架空綫一般都採用裸導綫。

架空綫路分為：1) 室外綫路；2) 市區街巷和工廠廠區的地方性綫路；3) 遠距離的輸電綫。

在道路和其他地點（例如公園和庭院內）用電桿或其他支架（包括所有附屬的緊固零件和支持結構等）架設的裸導綫或絕緣導綫（檔距不大於25公尺），叫作室外綫路；而架於外部牆壁上的導綫或電纜也叫作室外綫路。架空綫路同時也就是室外綫路。

電纜綫路 是由一種有着外部保護包皮的特製絕緣導綫構成。

電纜綫路敷設在地下的土溝內、渠道內和混凝土築成的電纜溝^①內，而在廠房內的電纜，則沿牆壁、構架敷設以及在地板下

① 敷設數根電纜的地下混凝土溝叫作電纜溝。

敷設。

通过河流、水池或其他工程構築物送電時，採用電纜。沿着橋樑敷設電纜是不適當的。

在大城市裏輸送高壓電和部分的低壓電，採用地下電纜綫路。

在交通頻繁的城市中，可用地下電力網代替低壓架空綫路。

在無法安置電桿的地方，可敷設地下電纜綫路。

室內綫路 是敷設在各種廠房和建築物內部的綫路。在住宅內，這種綫路用作照明，部分作為電梯和暖汽房小型電動機等的電力綫用。

各種工廠廠房裏的室內綫路，分為照明綫和電力綫兩種。電力綫是供轉動各種車床的電動機之用。

室內綫路的敷設，可分為敞開式（電纜敷設在牆壁、天花板及構架等的表面上）和封閉式（電纜敷設在牆壁內、地板下等）兩種。

動力系統中電壓為110千伏和220千伏的區域電力網把從三相交流供電電源（發電廠，昇壓變電所）所接受的電能送至降壓變電所，經降壓後，再送給用戶。

除區域電力網外，還有電壓為35千伏的地方電力網，這種電力網的送電半徑為數十公里。

供城市用電的三相交流地方電力網或市政電力網，通常都有兩種電壓：6千伏或10千伏的高壓電力網和380/220伏的低壓電力網，但低壓電力網在舊的設備上，其電壓則為230/127伏。

假如發電廠距城市有數公里遠，則用供電綫路將電能送至位於該城市內各區的配電所。

由配電所利用高壓配電網把電能送至位於市內街巷上的各個變壓配電站。在各變壓配電站內把電壓降低（380/220伏或230/127伏），然後再用低壓電力網送給用戶。

應該說明，6千伏甚至10千伏的電壓，對於大城市來說是不够用的，所以在大城市裏也採用了35千伏的電壓。

由發電廠供電給不大的城市、住宅區和工廠時，通常都是直接利用高压電力網把電能送至變壓配電站，而不再經過配電所。

工廠有時選用3千伏或6千伏的高压電，是因為有些大型電動機直接需要3或6千伏的高压電。

圖1所示是利用兩條饋電綫(供電綫)為兩個配電所供電的發電廠。再以配電所為起點，由高压配電網為變壓配電站供電(在圖上為了簡便起見，只用單綫表示，實際上並不止一條綫)。

在城市平面圖上(圖2)，用圓圈表示變壓配電站；低压電力網由變壓配電站將電能送給各個建築物、公共機關及其他等處。

三相380/220伏(或者230/127伏)電力網為低压電力網。对高压与低压電力網之區別明確規定如下：假如電力網上任一綫的对地電壓等於或小於250伏者，這樣的電力網就屬於低压電力網。例如電壓為380/220伏的三相四綫式電力網，它的綫電壓等於380伏，而相電壓等於220伏，若其中性綫接地者，則為低压電力網，不接地者，則為高压電力網(圖3)。

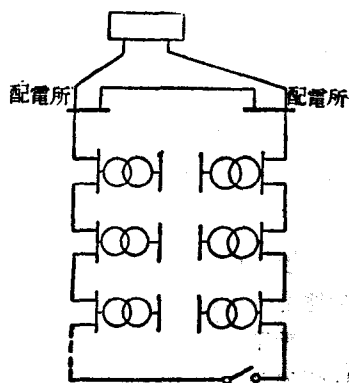


圖1

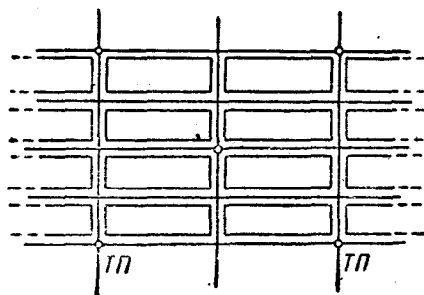


圖2

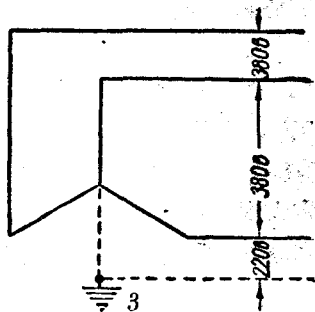


圖3

用作住宅和工廠廠房照明的白熾燈是以 127 和 220 伏的電壓製造，所以，其照明綫就需按這樣的電壓進行計算。

工廠廠房內机床上的局部照明採用 24 伏的電壓。

若輸電容量相同，且距離相等，則綫路電壓為 380/220 伏的導綫截面較之電壓為 220/127 伏的導綫截面為小；其比例為 $\left(\frac{380}{220}\right)^2$ ，也就是前者與後者之比為 1:3。

按現行標準的導綫截面積，電壓為 380 伏之導綫其重量實際上並不比電壓為 220 伏之導綫重量小 2/3，但在任何情況下，綫路的電壓愈高，則其效率愈大。

根據上述，在所有新建的照明裝置上，應該採用電壓為 380/220 伏的三相交流電。

當導綫通過電流時即行發熱。導綫的過度發熱可能引起屋內裝置發生火災，並且將影響導綫絕緣的壽命。

裸導綫受熱的容許極限溫度為 70°C，絕緣導綫為 55°C，耐熱橡皮絕緣導綫為 65°C。

為了判斷導綫的運行情況，必須對導綫的容許受熱溫度和電壓損耗加以檢查。

在最大與最小負荷的情況下，綫路上各點的電壓。不應與額定電壓有很大的偏移。在製造用電設備時所規定的電壓，叫作額定電壓。

當電力因數 $\cos\varphi = 1$ 的情況下，綫路上一根導綫的電壓損耗等於通過該綫的電流乘其有效電阻

$$\Delta U = Ir.$$

假設在供電給一定數量白熾燈的綫路（圖 4）始端保持額定電壓 U ，由於在綫路上有 20% 的電壓損耗，所以在綫路的末端就只有 80% 的額定電壓，那麼，接在綫路末端的白熾燈就只能發出額定光度的 45%。反之，如果在綫路的始端將電壓升高 20%，則在綫路始端的電燈就會很快的燒壞。應該說明，若綫路上的電壓變化為 1%，則所引起電燈光度的變化將為 3.7%。

過大的電壓損耗使綫路不可能正常運行，因此，這是不容許

的。應該知道，綫路上電壓的大量損耗就伴隨着電能的大量損耗。

當一組電燈熄滅時，導綫上的電壓損耗即行減少，其餘的電燈，由於電壓升高就更加發亮，而接在該導綫

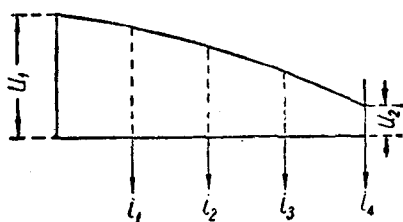


圖 4

上的這一組電燈在開亮或關滅的瞬間，就使其餘未關滅的電燈發生光度上的變化。

在市政用的低壓電力網上，由市內變壓配電站起至用戶最後的一盞燈止，其總的電壓損耗不應大於 6 %。最後一盞燈的端電壓不應低於額定電壓的 97.5 %。

為使綫路輸送大量的電能，必須採用較高的電壓，以避免電流過大及導綫截面積過大的現象。表 1 為三相交流電的額定電壓值。

表 1 所載的發電機電壓，較之用電設備的額定電壓大 5 %。

聯結發電廠母綫的昇壓變壓器，其一次綫圈的電壓應該與發電機電壓相等，也就是 3.15; 6.3; 10.5 千伏等。

電力網應該有足够的機械強度，應該能承受風壓及結冰的重量。電力網應該精確地進行計算，也就是說，電力網的電壓應該與用電設備的額定電壓相適應；此時，電力網的電壓便不應有過烈的變化。不許在電力網中發生停電情形。

電力網導綫在通過電流時的受熱程度不應超過導綫容許發熱的額定值。高壓電力網上的電流密度應該與蘇聯電站和電氣工業部技術管理處所規定的電流密度相符合。

2. 架空電力網

電力網的架空綫路按其功用和電壓可分為兩級。

第一級 電壓為 35—220 千伏的三相綫路，其導綫緊固於懸垂式絕緣子上者。

表 1

用電設備電壓	發 電 機 電 壓	變 壓 器 電 壓	
		一 次 綫 捲	二 次 綫 捲
低 壓 綫 路 (伏)			
127	—	—	—
220	230	220	230
380	400	380	400
500	525	500	525
高 壓 綫 路 (千伏)			
3	3.15	3及3.15	3.15及3.3
6	6.3	6及6.3	6.3 及6.6
10	10.5	10及10.5	10.5及11.0
—	15.75	15.75	—
35	—	35	38.5
110	—	110	121
(154)	—	154	169
220	—	220	242

第二級 電壓為1—20 千伏以及35 千伏，但供電給三級用戶^①的綫路，其導綫緊固於懸垂式絕緣子上者。

電壓在1 千伏以下的電力網綫路，根據蘇聯電站和電氣工業部的指示，不予分級。

導綫 電力網導綫採用裸導綫、絕緣導綫和電纜。導綫所用材料為銅、鋁和銅鋁合金；有時也採用鋼導綫。

① 電力用戶分為三級。

1. 供電不能中斷的用戶屬於第一級，因為該級用戶如遇停電，就要發生有生命危險的事故（例如礦井中的通風設備或水泵停頓）或者引起巨大的損失（如使高爐動力供應停止）。

2. 停電後即發生生產停頓、不能完成計劃及有重大損失的用戶屬於第二級。

3. 非重要的、可以容許供電中斷的用戶屬於第三級。

大型工業企業、機關、醫院、劇院等不屬於三級用戶，這些用戶是不應中斷供電的。對於一級與二級用戶應該有備用的電源以保證不斷的供電。