

正弦交流电路相量图的绘制

李仲明 宁夏电力局中心调度所 (750001)

【摘要】 通过实例阐述了对正弦电流电压箭头符号标记和其正方向的规定, 电势升和电压降的相量箭头都采用同一原则标示, 即按高电位原则取向, 并按此规则对一般正弦交流电路的电压电流的标示和相量图的绘制进行了分析, 可得出电压相量图乃是电路中各点电位的复量图, 电路中的各点在图中都有一相当点, 此点的位置就代表电路中该点的复电位, 而电路中任意两点间的电位差, 就以相量图上相当两点所联成的直线表示其大小和初相位, 这样的分析正弦交流电路, 能达到简捷、直观、一目了然的效果。

【关键词】 相量图 正弦交流电路 电流 电压 电位

概述

正弦交流电流、电压、电动势, 这些物理量本身并不是相量(或矢量), 而是代数量, 不过是因为它们是时间的正弦函数, 可以按照一定的法则用相量来表示, 所以正弦电气量往往被看成一个旋转相量在某个坐标上的投影, 这就产生了电气中的相量图, 借助于相量分析的方法来解决交流电路的各种问题, 显得特别方便, 既迅速又简单, 相量图一直受到工程技术人员的欢迎。相量是既有大小又具有方向性的物理量, 在几何上相量是用一定长度具有一定方向的空间(或平面)线段表示之; 研究旋转相量初始值的复数的运算, 用几何作图的方法, 进行各种交流电气量之间的关系运算就叫做相量图法, 通过相量图解分析的方法, 能够深刻的理解相量图中各物理量间的内在联系, 清晰地表达各个电流电压之间的关系, 验算结果的无误, 更快的得出很多的计算结果, 确定电路设计的参数, 测定元件参数的内在联系, 能方便的对电路运行规律、线路故障、谐振电路、相序电路等分析, 能达到简捷、直观、醒目的效果; 但有时作图不便、并且准确度不够, 在相量图法的基础上把相量转变为复数(或实数)用复数法(或符号法)进行运算就变得简便和准确的多了; 也就是说: 直流电路的稳态运算是实数的基本运算, 交流电路的稳态计算就是复数的基本运算, 那么在计算暂态过程时即为运算微积法。正弦交流电路的相量图解分析法, 必须准确的理解各物理量的概念及其内在联系, 在分析具体电路时必须认真仔细的琢磨, 从电路结构、电路定律、电压电流方程式、正弦量间的关系包括: 大小关系中内含有相位关系; 相位关系中内含有大小的关系。总之要正确运用交直流电路的定律, 熟悉掌握复变函数、几何、运算微积法等数学在电工技术中的应用。在上述条件的基础上, 才能作出正确的相量图。

1 电流电压箭头符号标记法

在对直流或交流的网络电路进行计算之前, 必须把网络电路图中各段各分支中的电流方向和电压电流的符号标记在图上, 正确引用相量标记符号不但可以防止计算错误, 并且还有利于电流电压相量图的绘制。

在采用下面的标记法将使对应于同一参考点的各个电压量的变化情况变得一目了然, 如图1中所示用相量标记直流量的电位差, 箭头指(+)端, 箭尾指(-)端。

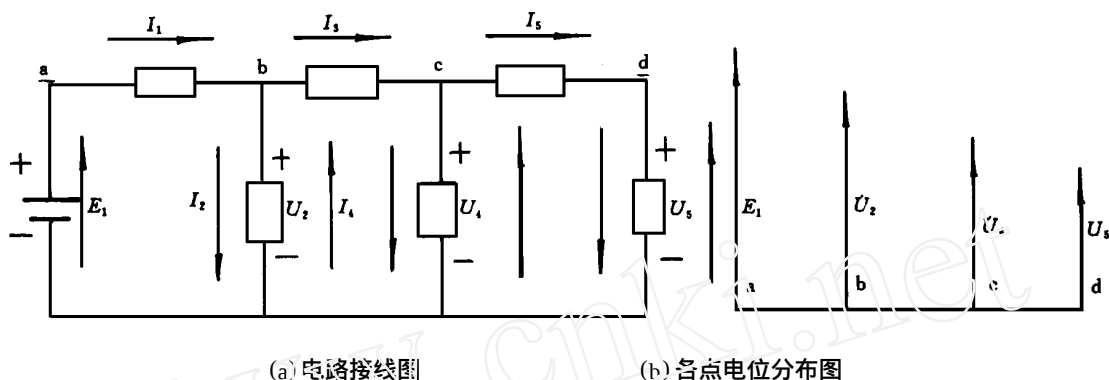


图 1

1.1 箭矢标示方法

1.1.1 电流箭矢 箭矢符号用来指示电流的流动方向, 箭矢符号旁边要加注电流符号, 例如 $\vec{I}_1$, $\vec{I}_2$, $\vec{I}_a$, $\vec{I}_b$ 等是电流符号通常只用单脚注; 例如 $\vec{I}_{ab}$, $\vec{I}_{bc}$ 等为双脚注, 可以用来代替箭矢方向, 如 $\vec{I}_{ab}$ 乃指出电流的方向是从 a 流入并从 b 流出, 通常电路图中注电流方向比较清楚, 不易发生错误, 在特别复杂的电路图或网络图中, 有必要采用双脚注的电流符号时, 电流箭矢方向必须与双脚注含义所指示的方向完全相符, 不得自相矛盾, 例如电流方向的标示 $\vec{I}_{BC}$ 乃指出电流自 B 流入和自 C 流出, 此时电流箭矢方向必须指向 C。

1.1.2 电压箭矢 电压降箭矢方向标示方法原有两种, 第一种采用  的标示系统, 这种系统在教科书中推荐很久, 但是这种方法在实际工程应用中容易引起错误, 第二种采用  的标示系统, 这种系统实际上已在工程中得到广泛的应用, 但是过去很少总结和加深认识, 下面作一个简单介绍: 电压箭矢乃用来指示两点间电位高低的相对关系, 箭矢的箭头指向电位高的一端, 即箭头指向 (+) 端, 箭尾指在 (-) 端, 不论是电势升 $\vec{E}$ 还是电压降 $\vec{U}$ 都用同一原则标示之, 见图 2 所示。

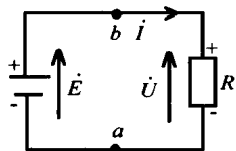


图 2

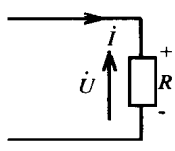


图 3

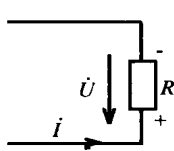


图 4

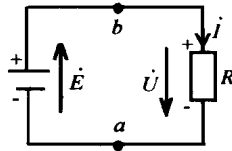


图 5

当电流流入电阻(或阻抗)时, 流入端的电位(+), 流出端的电位为(-), 电压相量 $\vec{U}$ 用箭头指向(+)端, 见图 3 所示。

当电路计算以后, 如果电流为正, 则可认为原假设方向无误, 如果得出电流为负, 则须把原选定的电流方向倒过来时, 此时切记电位正负和电压箭矢指向都要倒过来了, 见图 4 所示。这种电压箭矢的标示方法具有一个很大的优点, 因为它能够清晰而明确地提供出电路中各点各段间的电位或相量关系, 例如在图 2 中(a 点为公共参考点) 可以看出端子 b—a 左侧的电势相量 $\vec{E}$ 和端子 b—a 右侧的电压相量 $\vec{U}$ 的指向相同。而在第一种标示系统中, 如图 5 中, 就会发现标示的电势 $\vec{E}$ 电压 $\vec{U}$ 的相量方向完全相反, 应用此种标示方法于复杂的或三相的电力网的电路分析中很容易产生严重错误。

1.2 电流的正方向

1.2.1 进行直流电路分析时, 电路图中某些支路中的电流实际上还不知道, 可以任意先指定一个方向, 如果经过计算, 结果核实该支路中的电流为正值, 则表示原来选定的方向与实际相符, 如果计算结果为负值, 则表示与原选定的方向相反, 需要把原来指定的方向倒过来。

1.2.2 交流电路中电流方向乃随时间而变化, 不同的瞬间, 电流的确实方向并不相同, 计算交流电路之前必须对各个支路中的电流, 任意指定一个正方向, 通过计算后最后定出确实的方向(如同直流电路中一样), 交流电路中的所谓电流方向实际上乃是某一瞬间的相对方向。

1.2.3 电流正方向的表示方法, 常用箭头加单脚注电流符号的方法, 例如 $\vec{I}_A \rightarrow$

1.3 电压的正方向

1.3.1 单脚注电压加箭矢的标定方法

假定一个两端子网络(有源或无源)的两端有了电位差, b端为(+), a端为(-), 如循a端(-)到b端(+), 则电位逐渐升高, 这是一种电位升, 电位升一般用英文字母 $\vec{E}_1$ 来表示, 同时还要画出一个箭矢, 箭头指向(+)端, 箭尾指在(-)端。如果循着b端(+)到a端(-), 则电位逐渐下降, 自b点电位降到a点的电位, 这是一种电压降, 一般用 $\vec{U}_1$ 来表示, 同时还要画出一个箭矢, 箭头也仍旧要指向电位高的一端b, 如图6所示。

1.3.2 双脚注电压符号标示法

在三相交流电路和复杂或多电源的网络电路网图中, 常有需要引用双脚注的电压符号, 例如 $\vec{E}_{AB}$ 、 $\vec{U}_{AB}$ 、 $\vec{U}_{BC}$ 、 $\vec{U}_{12}$ 等, $\vec{E}_{AB}$ 为电势升的符号, 表示电位从A升高至B, 也就是A为(-)、B为(+)。 $\vec{U}_{AB}$ 为电压降的符号, 表示电位从A降低至B, 也就是A为(+)、B为(-)。照理, 电压相量加了双脚注电压符号以后, 电路图中箭矢标记就可以不要了, 因为脚注已经指出哪一端为正, 哪一端为负, 但是一般为了防止错误和更清晰, 仍旧把箭矢画上, 但是在画上箭矢时, 箭矢方向应该和双脚注的指向相同, 不得发生矛盾。

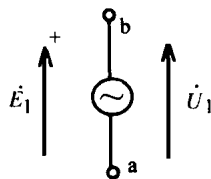


图6

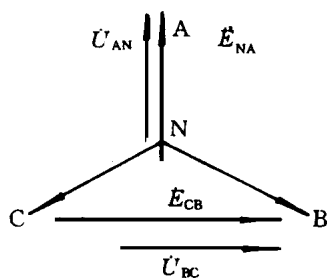


图7

交流电路图上, 一般习惯于采用电压降(端电压)的符号, 例如 $\vec{U}_{AN}$ 、 $\vec{U}_{BN}$ 、 $\vec{U}_{CN}$ 、 $\vec{U}_{AB}$ 、 $\vec{U}_{BC}$ 、 $\vec{U}_{CA}$ 等等, 都是第一个脚注端子的电位高于第

二个脚注端子的电位, $\vec{U}_{AN}$ 指 $\uparrow_N \vec{U}_{AN}$, $\vec{U}_{BC}$ 指 $\uparrow_C \vec{U}_{BC}$, 如果电压是对应于公共参考点或公认的基准点, 例如电源的中性点或大地时, 双脚注的电压符号也可以简化写为单脚注, 例如 $\vec{U}_{AN}$ 写 $\vec{U}_A$, 但是此时一定要加注箭矢符号。

在一个有双脚注电压符号的电路图或网络图中, 最宜采用统一的电压降标示系统, 此时如有电势升的符号则需要变更为电压降的符号, 例如 $\vec{E}_{BC}$ 就应该改换成为 $\vec{U}_{BC}$, 这么一来, 相量的箭矢方向和脚注也就统一了, 不至发生混乱情况, 至于单脚注系统, 可以照旧保留原有 $\vec{E}_1$ 、 $\vec{E}_A$ 等符号, 不必变动。

2 简单交流电路的相量图

现对简单交流电路中电压电流的箭矢标示、正方向、脚注与相量图应用举例说明, 请仔细

推敲和琢磨采用这种方法的优越性,起到抛砖引玉的作用。

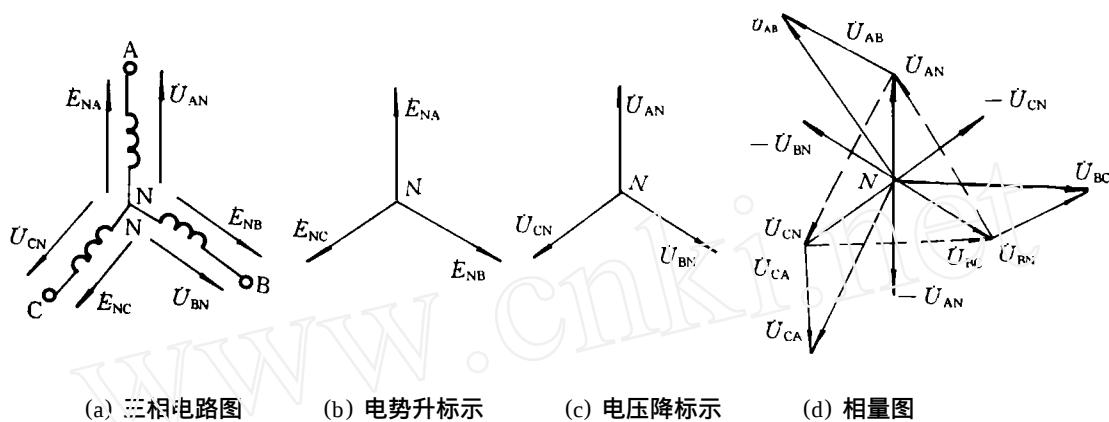


图 8

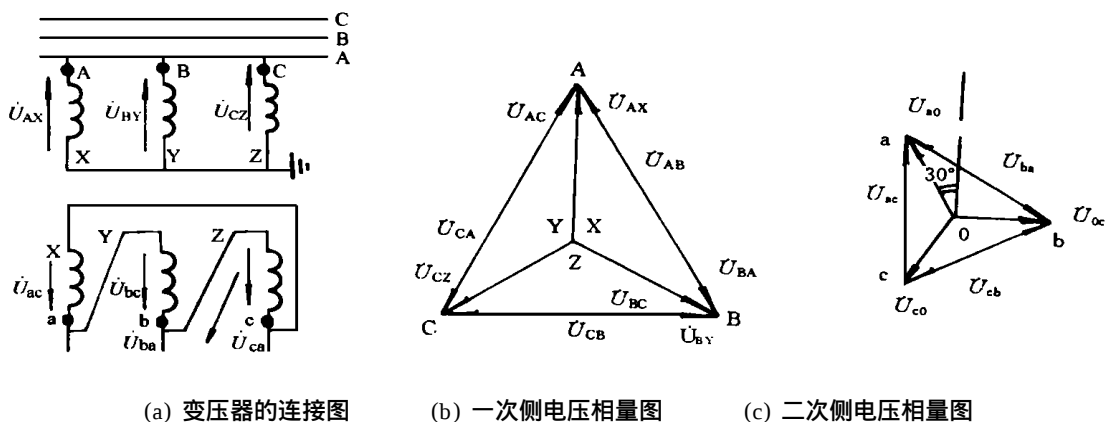


图 9

例 1 求作三相发电机的相电压和线电压的相量图,用电压降的符号标记。

沿着 A 到 B 的回路 $\dot{U}_{AB} = \dot{U}_{AN} + \dot{U}_{NB} = \dot{U}_{AN} - \dot{U}_{BN}$, 沿着 B 到 C 的回路 $\dot{U}_{BC} = \dot{U}_{BN} + \dot{U}_{NC} = \dot{U}_{BN} - \dot{U}_{CN}$, 沿着 C 到 A 的回路 $\dot{U}_{CA} = \dot{U}_{CN} + \dot{U}_{NA} = \dot{U}_{CN} - \dot{U}_{AN}$, 得出的相电势、相电压和线电压如图 8 所示。

例 2 按相量标记法作 Y/ - 11 变压器一次侧和二次侧的相电压线电压的相量图。

变压器高、低压绕组端点标志一致,高、低压绕组的绕向相同(同是左绕或右绕),高压绕组为 Y 形连接,低压绕组为 Δ 连接,由图可见,如 ac (就是 ax) 与 AX 同向(减极性),所以 ac 为一平行于 AX ,大小等于 AC/K 的相量, K 为变比。一次侧和二次侧的相量图如图 9 所示。由此可见, ac 、 ba 、 cb 分别落后于 AC 、 BA 、 CA 330° ;如以 AC 作为分针指向 12 时,则时针 ac 是指 11 点的位置,即组别为 11,所以其连接组为 Y/ - 11。

例 3 如图 10 所示电路称为移相器,电路中的电阻 R 和 R_1 为已知,改变电容 C 时, m 、 n 两端的电压 $\dot{U}_{mn}$ 的相位变化范围在理想情况下相对于 $\dot{U}_{AB}$ 来说为 $0 - \pi$ 。

在作串并联电路的相量图时,一般可从最复杂的分支处着手,如图 11 所示的电路中,设给定电路各参数和电压 $\dot{U}_{AB}$ 的值而需确定 A、B、C、D、E、F、G、H 各点中任意两点间的电压,现由于篇幅关系,只将电路接线图和相量图画出来,供大家参考。

3 结论

在目前的正弦交流电路相量图的绘制中有两种不同的标示系统,第一种采用的标示系统,

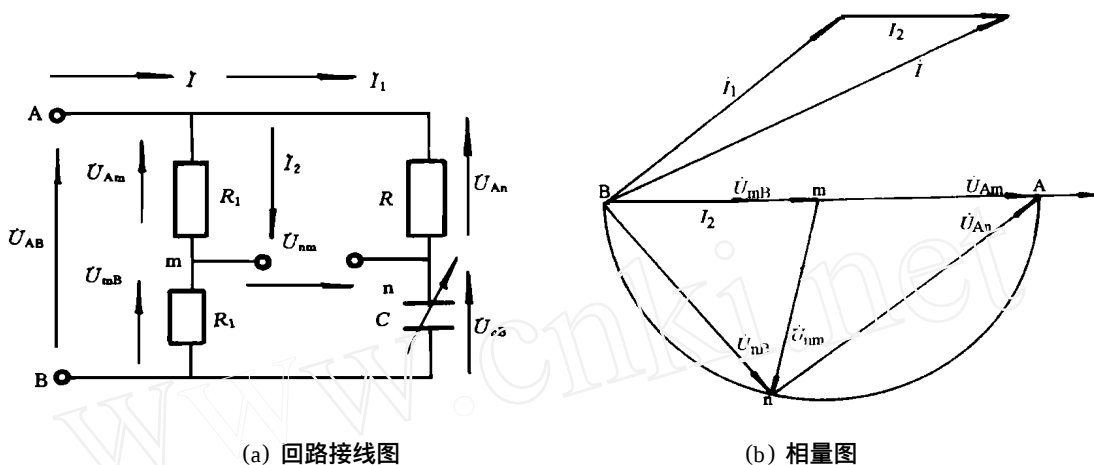


图 10

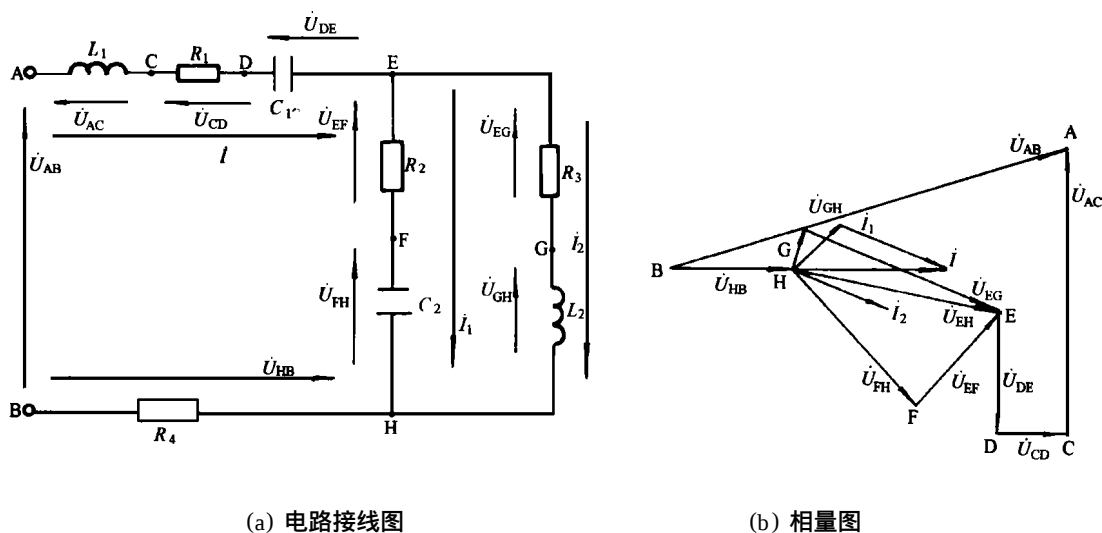


图 11

在教科书中推荐很久,但是这种方法在实际工程中较复杂的正弦交流电路中容易引起错误;第二种采用的标示系统实际上已在工程中得到广泛的应用,我个人经多年多次在具体实际工程中应用于较复杂的电路,对两种方法反复的对比,反复的练习,不断的总结经验,加深认识,比较两种方法的优缺点,深有体会和认识,为推广采用第二种标示系统有很大的优越性。物理概念清晰,因为它能够清晰而准确地提供出电路中各点和各段间的电位或相量关系,能够深刻地理解相量图中各物理量间的内在联系,清晰地表达各个电流、电压(或电势)之间的关系,能得出很多的计算结果,确定电路的设计参数及其各元件参数的内在联系,能达到简捷、直观醒目的效果。

第一种标示系统和第二种标示系统其关键性的区别是在对电压降箭头方向标示方法的不同,第二种标示系统能使其电流、电压、电势的标示符号和相量的箭头方向及其脚注均能得到统一,即电流箭头符号用来指示电流的流动方向,流入端的电位为(+),流出端的电位为(-)。电势箭头和电压箭头均用来表示电路中两点间的电位高低的相对关系,箭头的箭头指向电位高的一端,即箭头指向(+)端,箭尾指向(-)端,不论是电势升 $\dot{E}$ 还是电压降 $\dot{U}$ 的相量的箭头指向或脚注都用同一原则标示之。

After analyzing the conventional time- inverse overload protection of the motor, the paper presents a new thermal overload protection scheme basing on the solution of a differential equation. This differential equation is established from the motor winding's thermal model. It really reflects the increasing procedure of temperature when the motor is overloaded. The result of solution is a recurrence formula of accumulation stator current which is used as the protection criteria. To realize the new protection scheme, the microprocessor- based block diagram is presented.

Keywords: Accumulated stator current Overload protection

NEW PRODUCT DEVELOPMENT

Development of SF- 501 Transceiver Specially Used for Bypass HF Protection Dai Dechao, Zhou Jieshi(33)

The development of SF- 501 transceiver specially used for bypass HF protection and its feature are described in this paper. The transceiver can change its working frequency by switching- over the button on its panel like TV set. Its frequency- change technique is of leading level in Chinese similar products and it will provide great convenience for the operators of bypass HF protection.

Keywords: Bypass HF protection Transceiver Simultaneous switch- over

Transient Signal Generator Dong Xinzhou et al(38)

The necessity, the feasibility and the principle of TSG is discussed. TSG consists of the microcontroller 8031 and the D/A converter. It can convert the EMTP calculation result to analogue signal. It is an effective tool in the study of digital relay and other automatic devices. It has already been applied in the test of fault locator XC- 11. The result shows that it is successful.

Keywords: Electric power system Protection Fault location Signal generation

EXPERIENCE EXCHANGE

Analysis on the Cause of Refusal to Operate of Zero Sequence Protection in WXH- 11x Microprocessor- Based Line Protection Device Li Yijun(41)

Referring to one case of refusal to operate of zero sequence protection in WXH- 11x microprocessor- based line protection device, the influence of secondary voltage phase shift of the voltage transformer used for the microprocessor- based protection on the operation of the microprocessor- based zero- sequence protection is analyzed in this paper.

Keywords: Microprocessor- based zero- sequence protection Refusal to operate Secondary voltage Phase shift

Plotting of Phasor Diagram of Sine AC Circuit Li Zhongming(46)

The definition of sine current and voltage arrow head symbols and their positive direction is described by some practical examples. The phasor arrows of potential rise and voltage- drop are represented in same principle, that is to say, directed to high potential. The presentation of voltage and current of general sine AC circuit and the plotting of phasor diagram are also analyzed basing the principle.

Keywords: Phasor diagram Sine AC circuit Current Voltage Potential

Discussion on the Operation of Reclosers Arranged for the Microprocessor- Based Protections and Other Protections in Our Province Ye Xuexiang(51)

Operation and Improvement of the Reclosers of Small Power Supply System in 110kV Network Tan Qiong(54)

Arrangement Features and Type Selection of Xianghongdian Pumped- Storage Set's Protection Xue Honglin, Wei Qing(56)

The protection arrangement and the special problem of the Xianghongdian pumped- storage set and the investigation on protection manufacturers are described.

Keyword: Pumped- storage set Protection

English Editor: Zhang Zhiqiang