CHAPTER 1

概　論

1-1 輸配電系統組成

發電系統當中，三相同步發電機為主要元件，通常以轉磁式為主，也就是說轉子為磁場，定子為電樞，啟動需要激磁機，置於直流發電機的共用軸心上，經由滑緩環供應直流的激磁，配合交流無刷激磁系統。

發電機激磁的重要功能是要維持發電機本身的供應電壓，及壓制虛功率流量，其容量一般來說，載在 50MW 至 15000MW 之間，依靠原動機引發機械功率，可能為燃煤渦輪機、燃油內燃機、燃氣渦輪機、凸極式水輪機、核能渦輪機，而其並聯運轉時也需要共同聯結的母線，也就是輸配電系統的匯流排。

另一個主要元件為變壓器，將電壓轉位，效率很高，故一二次側的功率近乎相同，長距離配送電力是可行的，於是可看出從發電機到最終用戶間，電壓可能需要多次變壓器的轉換，以改善前端發電機絕緣需求的局限，當然，最主要的二個轉換要點，是高壓輸電與次高壓輸電電壓轉位，前者在於將散於各地的發電組開端直接配送至最終特高壓負載，後者是由高壓變電所降壓變壓器配電至工業用戶，都是輸配電系統的重要分節點，以變壓器為核心。

而變電所當中，負責將線路投入或切離系統，則稱為開關場，配電型的變電所，又分為一次與二次配電線路，前者常為 34.5KV 以下，並供應規劃區域的電力，後者常為 240V/120V-1Φ3W、208V/120V-3Φ4W、以及 240V/277V-3Φ4W，用於商用與家用的輸配電系統。

而系統的最末端正是負載，可分為工業、商業、與住宅，極大的工業負載可由高壓輸電系統供電，次大的工業負載對應到次高壓輸電系統，較小的工業負載則由一次配電系統作供電、而商用與家用負載多半是加熱、冷卻、照明，比較與虛功無關，而電力負載本身也其常用物理特性指標，也就是負載曲線，其中的參數有峰值負載、最大需求、負載因素、利用因素、電廠因素等。

除了發電機、變壓器、及輸電線之外，必要有保護裝置，例如 CT、PT、空斷開關、斷路器、熔絲、保護電驛、避雷針等等，另外電力的控制主要是由能量控制中心來監控，必要時考量其可靠度與經濟調度，其裝置有資料擷取線上即時電腦，均有控制台，配合顯示器、光筆、鍵盤，執行電力套裝軟體。而有關的電力參數公式如下：

$$\text{負載因數} = \frac{\text{平均負載}}{\text{最高容量}}$$

$$\text{損失因數} = \frac{\text{平均損失}}{\text{最高損失}}$$

$$\text{利用因數} = \frac{\text{最高需量}}{\text{額定容量}}$$

$$\text{需量因數} = \frac{\text{最大需量}}{\text{設備容量}}$$

$$\text{重合因數} = \frac{1}{\text{參差因數}} = \frac{\text{合併後最高負載}}{\text{各用戶最大負載之總和}}$$

$$\text{效率} = \frac{\text{輸出功率}}{\text{輸入功率}}$$

$$\text{電廠因數} = \frac{\text{全年之平均需量(千瓦)}}{\text{所有設備之總額定容量}}$$

1-2 單相交流功率

瞬時電壓及瞬時電流分別為 $v(t)=V_m\cos(\omega t+\theta_v)$ 與 $i(t)=I_m\cos(\omega t+\theta_i)$，則傳送至負載的瞬時功率 $p(t)$ 為電壓 $v(t)$ 與電流 $i(t)$ 的乘積，即：

$$p(t)=v(t)i(t)V_mI_m\cos(\omega t+\theta_v)\cos(\omega t+\theta_i)$$

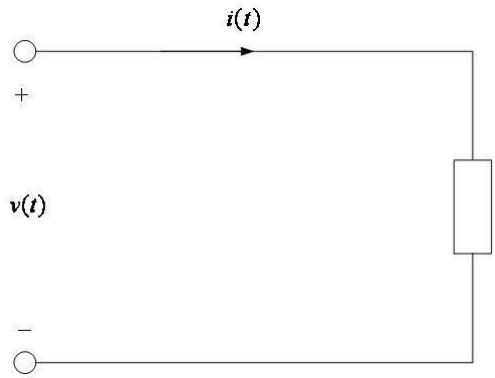
$$=\frac{1}{2}V_mI_m[\cos(\theta_v-\theta_i)+\cos(2\omega t+\theta_v+\theta_i)]$$

$$=\frac{1}{2}V_mI_m\{\cos(\theta_v-\theta_i)+\cos[2(\omega t+\theta_v)-(\theta_v-\theta_i)]\}$$

$$=\frac{1}{2}V_mI_m\{\cos(\theta_v-\theta_i)+\cos[2(\omega t+\theta_v)]\cos(\theta_v-\theta_i)$$

$$+\sin[2(\omega t+\theta_v)]\sin(\theta_v-\theta_i)\}$$

電源關係如下圖所示為一單相正弦電壓供應一負載。



瞬時功率被分解成兩成份，第一成份是 $p_R(t)=|V||I|\cos\theta+|V||I|\cos\theta\cos2(\omega t+\theta)$，第二成份具有二倍於電源頻率之頻率者，係為負載的電阻部分所吸收的功率之正弦變化。因正弦函數的平均值為零，故輸送到負載的平均功率為：$P=|V||I|\cos\theta$，這是被負載的電阻部分吸收的功率，也就是主動功率或實功率，以兩倍頻率脈動，且平均值為零。此部分係計及功率振盪進出負載部分，此肇因於它的電抗元件。脈動功率的振幅被稱為虛功率，並以 Q 標示之，$Q=|V||I|\sin\theta$，當電流落後電壓時，功因被視為落後，當電流超前電壓時，功因被視為超前，瞬功率的第二部分：$p_x(t)=|V||I|\sin\theta\sin2(\omega t+\theta)$。

$v(t)$ 的均方根值為 $|V|=V_m/\sqrt{2}$，而 $i(t)$ 的均方根值為 $|I|=I_m/\sqrt{2}$，令 $\theta=\theta_v-\theta_i$。上式以均方根值可簡化為：

$p(t)=|V||I|\cos\theta[1+\cos2(\omega t+\theta)]+|V||I|\sin\theta\sin2(\omega t+\theta)$，

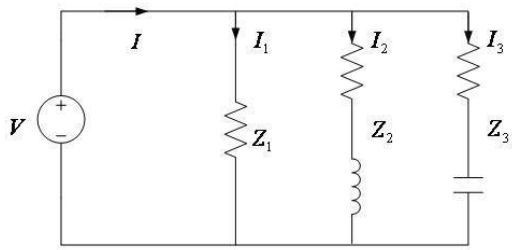
其中 θ 是電壓與電流的相角，或是阻抗角。如果負載是電感性的，則 θ 是正的，如負載是電容性的，則 θ 是負的，P 與 Q 兩者有相同尺度。

然而，為了區分實功率及虛功率，對電感性負載，電流落後電壓，且 Q 為正。反之，對電容性負載而言，電流超前電壓，且 Q 為負。均方根值電壓值與均方根電流值的乘積 $|V||I|$ 被稱為視在功率，以伏安為其量度單位。視在功率與電壓、電流間相角的餘弦值的乘積可得實功率。因 $\cos\theta$ 在決定平均功率時扮演關鍵角色，因此被稱為功率因數。

1-3 複功率之平衡與潮流

對電力公司而言，視在功率有實質上的重要性，公式為：$S = VI^* = P + jQ$。當阻抗角θ為正時，即負載阻抗是電感性的，虛功率Q為正。當θ為負時，即負載阻抗是電容性的，虛功率Q為負。在處理複功率時，可考慮把P、Q及S當作直角三角形的三個邊，如此較為方便，因須供應平均功率與視在功率給用戶。如果負載阻抗為Z，則：$V = ZI$。將V代入複功率S得：$S = VI^* = ZII^* = R|I|^2 + jX|I|^2$，可明確看出複功率$S$與阻抗$Z$有相同的角度，因為功率三角形與阻抗三角形為相似三角形，是故阻抗角有時候又稱為功率角。

$S = VI^* = \dfrac{VV^*}{Z^*} = \dfrac{|V|^2}{Z^*}$，可知，複功率的阻抗為：$Z = \dfrac{|V|^2}{S^*}$，瞬時均方根電壓與電流為：$V = |V|\angle\theta_v$及$I = |I|\angle\theta_i$，得$VI^* = |V||I|\angle(\theta_v - \theta_i)$ $= |V||I|\angle\theta = |V||I|\cos\theta + j|V||I|\sin\theta$，定義出一個複數量，其實數部分為平均功率$P$，虛數部份為虛功率$Q$，因此，複功率被標示為$S$，$S$的大小$|S| = \sqrt{P^2 + Q^2}$，是視在功率，視在功率顯示發熱的情況，被用為設備的額定單位，由能量不滅定律可得知，由電源供應的實功率與各負載所吸收的實功率總和應相等。在此同時，虛功率間亦必須維持平衡。因此輸送到並聯負載的總複功率為輸送到個別負載之複功率的總合。

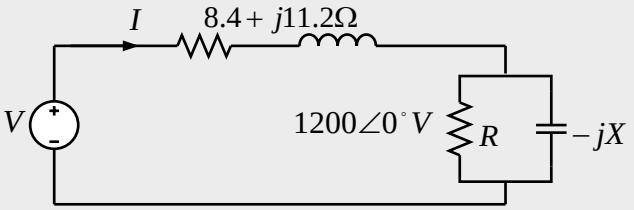


對三個負載而言，總複功率為：

$$S = VI^* = V[I_1 + I_2 + I_3]^* = VI_1^* + VI_2^* + VI_3^*$$

精選例題

1. 下圖所示，負載由電阻為 R 及電抗 X 的電容器並聯組成。此負載由一單相電源透過一阻抗為 $8.4+j11.2\Omega$ 的線路供電。負載端的均方根值電壓為 $1200\angle 0°$V，且此負載吸收 30kVA 電力，功率因數為 0.8 超前。試求：



(一) R 及 X 的值。

(二)試決定電源電壓 V。

解答

$\theta=\cos^{-1}0.8=36.87°$

$S=30\angle-36.87°VA=24kW-j18k\text{ var}$

(一) $R=\dfrac{|V^2|}{P}=\dfrac{(1200)^2}{2400}=60\Omega$

$X=\dfrac{|V^2|}{Q}=\dfrac{(1200)^2}{1800}=80\Omega$

(二) $I=\dfrac{30000\angle 36.87°}{1200\angle 0°}=25\angle 36.87°A$

故電源電壓為

$V=1200\angle 0°+25\angle 36.87°(8.4+j11.2)$

$=1200\angle 0°+j350=1250\angle 16.26°V$

2. 一單相負載以一正弦電壓供電 $v(t)=200\cos(377t)$，其所造成的瞬間功率為 $p(t)=800+1000\cos(745t-36.87°)$，試求：

(一)求出供應負載的複功率。

(二)求出供應至負載的瞬間電流 $i(t)$ 及電流的均方根值。

(三)找出負載阻抗。

解答

(一) $p(t)=800+1000\cos(745t-36.87^{\circ})$

$$=800+1000\cos 36.87^{\circ}\cos 754t+\sin 36.87^{\circ}\sin 754t$$
$$=800+800\cos 754t+600\sin 754t$$
$$=800[1+\cos 2(377t)]+600\sin 2(377t)$$

$$S=800+j600=1000\angle 36.87^{\circ}VA$$

(二)由公式 $S=\frac{1}{2}V_m I_m^*$ 可知

$$1000\angle 36.87^{\circ}=\frac{1}{2}\times 200\angle 0^{\circ}\times I_m$$

$$I_m=10\angle -36.87^{\circ}A$$

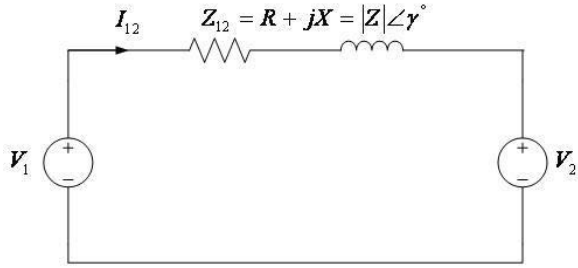
可得瞬時電流 $i(t)$

$$i(t)=10\cos(377t-36.87^{\circ})A$$

(三) $Z_L=\frac{V}{I}=\frac{200\angle 0^{\circ}}{10\angle -36.87^{\circ}}=20\angle 36.87^{\circ}\Omega$

考慮兩理想電源被以一阻抗為 $Z=R+jX\Omega$ 的導線連接在一起，如下圖所示。令相量電壓為 $V_1=|V_1|\angle\delta_1$ 及 $V_2=|V_2|\angle\delta_2$。對電流而言：

$$I_{12}=\frac{|V_1|\angle\delta_1-|V_2|\angle\delta_2}{|Z|\angle\gamma}=\frac{|V_1|}{|Z|}\angle(\delta_1-\gamma)-\frac{|V_2|}{|Z|}\angle(\delta_2-\gamma)$$



複功率 S_{12} 為：

$$S_{12}=V_1I_{12}^*=|V_1|\angle\delta_1\left[\frac{|V_1|}{|Z|}\angle(\gamma-\delta_1)-\frac{|V_2|}{|Z|}\angle(\gamma-\delta_2)\right]$$

$$=\frac{|V_1|^2}{|Z|}\angle\gamma-\frac{|V_2|^2}{|Z|}\angle(\gamma+\delta_1-\delta_2)$$

而在送電端的為：

$$P_{12}=\frac{|V_1|^2}{|Z|}\cos\gamma-\frac{|V_1||V_2|}{|Z|}\cos(\gamma+\delta_1-\delta_2)$$

$$Q_{12}=\frac{|V_1|^2}{|Z|}\sin\gamma-\frac{|V_1||V_2|}{|Z|}\sin(\gamma+\delta_1-\delta_2)$$

相對於電抗而言，輸配電系統輸電線有較小的電阻。

設 $R=0$，導至 $Z=jX$，則上式變成：$P_{12}=\frac{|V_1||V_2|}{|X|}\sin(\delta_1-\delta_2)$ 或 $Q_{12}=\frac{|V_1|}{|X|}\left[|V_1|-|V_2|\cos(\delta_1-\delta_2)\right]$，因為 $R=0$，故無輸電線損失，且送出去的實功率與接收到的實功率相等，設 $R=0$，則理論上最大功率發生在 $\delta=90^\circ$ 時，且最大功率轉移量為：$P_{\max}=\frac{|V_1||V_2|}{X}$。

1-4 功因校正

由平均功率可知，如果功率因數小於 1，則視在功率將大於 P 。因此，即使在各事例中所供應的平均功率 P 一樣，在 $PF<1$ 時所供應的電流將大於在 $PF=1$ 時者，除非增加電力費用，否則無法提供較大的電流，為了用戶的最佳利益，在系統中的主要負載之功因需接近 1，並維持其接近 1，電力公司在系統各必要處裝設電容器組，也對運轉在低功率因數的用戶加收額外的費用，因為工業負載是電感性的，有低落後功因，故裝置電容器以改善功率因數是有利益的，然而，此一考量對住宅用戶及小型商業用戶並不重要，因為功因接近 1。

精選例題

某工廠之單相負載為 $1000kW$ ，頻率為 60Hz，額定電壓為 220V，功率因數為 0.8，今欲將其功率因數提高為 0.95，試求應裝置電容器之乏數及電容值各為若干？

解答

$$Q_c = P(\tan\theta_1 - \tan\theta_2) = 1000(\tan\cos^{-1}0.8 - \tan\cos^{-1}0.96) = 421.31kVar$$

$$C = \frac{Q_c}{2\pi f|V_L|} = \frac{421.31\times10^3}{2\pi\times60\times220} = 0.02309\mu F$$