

コンデンサ式 X 線装置の電源設備に関する考察

株式会社 島津製作所
鳥 山 英 明

(昭和40年3月7日受付)

Studies on Power Supply Requirements for Condenser Type
X-ray Apparatus

By

Hideaki Toriyama
Shimadzu Seisakusho Ltd.

A condenser discharge type X-ray apparatus has widely been used in Japan for mass chest or abdomen X-ray examinations, because a high speed exposure can be obtained even with a small power source.

However, charging voltage and capacity of high voltage condensers have increased for taking radiographs of thick bodies and an abrupt line voltage drop during charging time adversely influences other machines.

This paper offers most suitable power supply requirements for a condenser type X-ray apparatus and concludes:

- (1) Table 2 and 3 give integral electric power and electric power to charge high voltage condensers.
- (2) 0.75 mm² cabtyre cable has enough sectional area for a unit of less than 125 kV. More than 1.25 mm² cabtyre cable should be used for 125 kV unit.
- (3) Equation (3) gives the calculation formula of charging time. Table 4 shows the charging time for various equivalent resistances.
- (4) It is suitable that the resistance of power supply requirements is less than 0.5Ω, cabtyre cable is less than 0.5Ω, and equivalent resistance of X-ray apparatus is 4Ω.

The result of this study has been applied to determine the JIS (Japan Industrial Standard) Z 4903.

1. 緒 言

コンデンサ式X線装置は、戦後、電力事情が貧困な時代に、小容量の変圧式X線装置に劣らない鮮明な胸部などのX線写真がえられるため、急速に発達、普及し今日に及んでいる。しかし、小容量の電源で使用できるとの特長のため、電源設備に対する検討はほとんどなされず、放置されていた。

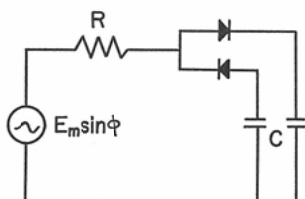
今回、X線装置の電源設備のJIS改正が行なわれるにあたって、装置の種類も多くなり、また、充電電圧、静電容量が増大したので、なんら

かの基準を設けたいとの要望により、JIS制定の資料をうるため充電時の電力量、最小限必要な電源設備の大きさ、電源設備と充電時間の関係など、コンデンサ式X線装置の電源設備に必要な事項について考察を行なつたので報告する。

2. 充電時の電力量

コンデンサ式X線装置は一般に充電回路として、Greinacher氏結線によることが多いので、この結線方法によれば、配電変圧器の一次側からみた等価回路は、Fig.1のように表わされる。コンデンサ式X線装置は、充電初期だけ負荷が大きい

Fig. 1. Equivalent circuit of condenser type X-ray Apparatus



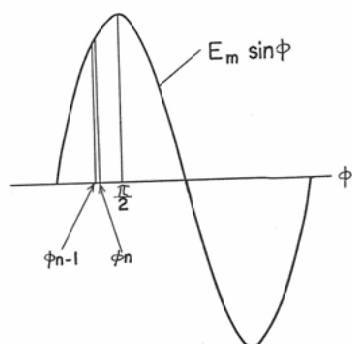
が、充電が進むにつれて、次第に軽負荷となり、小容量の電源設備でよいので、このための種、変圧器、接続線は一般にリアクタンス分にくらべ、抵抗分の方が大きいのが普通である。したがって、ここではリアクタンス分は無視している。

2.1 充電時の電力量の計算式

充電時の電力量は Fig.1 の抵抗 R に消費される電力量およびコンデンサに蓄積される電力量との総和と考えられるので、充電時の電力量 W_s を計算すると (1) 式で表わされる。

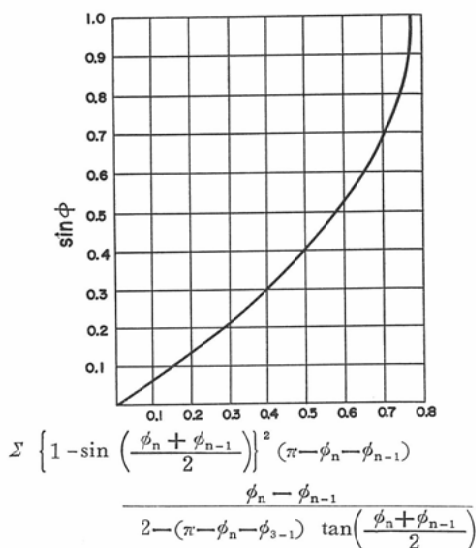
$$W_s = CE_m^2 + CE_m^2 \sum_{n=0}^m \left\{ 1 - \sin \left(\frac{\phi_n + \phi_{n-1}}{2} \right) \right\}^2 \times (\pi - \phi_n - \phi_{n-1}) \times \frac{\phi_n - \phi_{n-1}}{2 - (\pi - \phi_n - \phi_{n-1}) \tan \left(\frac{\phi_n + \phi_{n-1}}{2} \right)} \dots (1)$$

ここで、 ϕ_{n-1}, ϕ_n は交流電源 $E_m \sin \phi$ の ϕ を Fig. 2 に示すように、 $\phi=0$ から $\phi=\pi/2$ までを m 個に分割したときの $(n-1)$ 番目、 n 番目を表わしている。

Fig. 2. Explanation diagram of a section ϕ_{n-1} to ϕ_n 

(1) 充電の電力量は直流で充電した場合と同様、 E_m^2 および C によって定まり、 R に無関係な

Fig. 3. Calculation graph for integral electric power



ことを示している。(1) 式の第2項について $m=18$ に区分して計算した結果を Fig. 3 に示す。Fig. 3 から、 $\phi=0$ から $\pi/2$ まで充電したとき、抵抗で消費される電力量は $0.77CE_m^2$ となる。直流で充電した場合は $2CE_m^2$ なので、それに較べるとやや、小さい値である。

2.2 理論値と実測値との比較

125kV, $1 \mu F$ の装置で50kV, および 100kV, まで充電したときの電力量を積算電力計で実測した。この値と計算値と比較したのが Table 1 である。

Table 1 The comparison of measured value and calculated value on integral electric power

Charging voltage kV	Measured value Wh	Calculated value Wh
50	1.38	1.58
100	3.38	3.6

計算値と実測値を少し差があるが、50kV の方がその差が大きいことからみて、積算電力計が充電電流の急激の変化に追従し難いことが大きい原因であると推定される。しかしこの程度の差であれば計算値で充分実用できる。

2.3 コンデンサ式X線装置の充電時の電力量

Table 2 は最終充電電圧の95%で自動的に充電を中止する場合の電力量と第2回目以後は充電電圧の60%で波尾切断したものに、さらに追加充電したときの電力量を示している。実際には変圧器の励磁電流、X線管のフィラメント電力などの補助電力が必要なので、これを約200Wと見込んで充電時間に応じた電力量を第2項に示した。これらを合算したものが実際の電力量となる。

Table 2 Integral electric power of condenser type X-ray apparatus

Ratings	Integral electric power	
	First time Wh	After second time Wh
80 kV 1 μ F	1.83+0.56	0.78+0.39
100 kV 1 μ F	2.85+0.83	1.22+0.53
125 kV 1 μ F	4.41+1.41	1.90+0.98

Table 3 Electric power of condenser type X-ray apparatus under intermittent use

Ratings	Electric power under intermittent use W	
	All discharge	Wavetail chop at 60%
80 kV 1 μ F	440+ 200	187+ 200
100 kV 1 μ F	684+ 200	293+ 200
125 kV 1 μ F	1,065+ 200	456+ 200

集団検診の場合に最終充電電圧の85%で自動的に充放電したとすると、充電に要する電力はTable 3に示したものになる。実際には、補助電力は前述のように約200Wを加える必要があるためこれを第2項に示した。これらを合算した電力が、配電変圧器、電源コード、X線装置のそれぞれの内部抵抗に分布して消費されるわけである。

3. 配電変圧器および引込線、電源コードの許容負荷限度

3.1 瞬間負荷限度

配電変圧器の時間負荷は巻線の温度上昇の値によつて制限される。瞬間負荷による巻線の温度上

昇の計算はいろいろ考えられるが、「J E C—120 静止誘導機器」の短絡電流による温度上昇の簡便算出式(2)式を引用する。

$$\theta = \theta_0 + 0.008\delta^2 t \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 θ , θ_0 , δ , t はそれぞれ最終温度(°C)、始発温度(°C)、負荷電流に対する電流密度(A/mm²)、負荷時間、をあらわす。

(2)式を使用して、125kV、1 μ Fの装置を2kVAの配電変圧器により充電する場合、Table 2で求めた電力量を2Sでえたとして配電変圧器の温度上昇を計算すると、約4°Cの温度上昇にすぎず、ほとんど考慮する必要がない。

一方、電源コードは一般にキャブタイヤケーブルを使用している。タイヤケーブルの最小断面積のもの(J I S C3312, J I S C3302では0.75mm²)0.75mm²および1.25mm²について考える。導体の抵抗値、比重、比熱は

積0.75mm ² の導体抵抗	25.51 Ω /km
1.25mm ² の "	15.31 Ω /km
比重	8.89
比熱	0.418Ws/g.°C

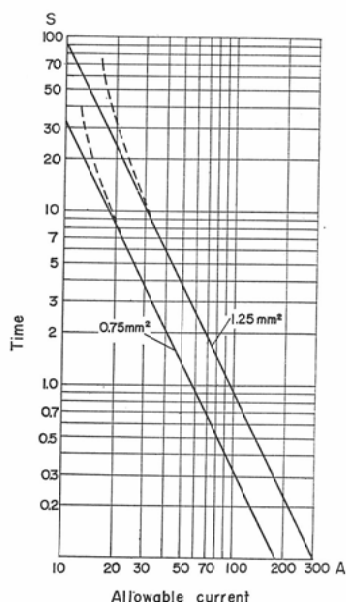
とし、熱放散はないものとして計算すると、キャブタイヤケーブルの許容温度30°Cの温度上昇に達する通電時間と電流との関係はFig. 4のようになる。点線は被覆を考えた場合の推定曲線である。

Table 2に示した電力量の中で125kV、1 μ Fについて計算すると、1回目の充電には約20A、13S通電したときの熱損失以下である。これはFig. 4より1.25mm²以上の断面積の接続線を使用すべきであることがわかる。また100kV、1 μ Fについて計算すると、1回目の充電には約20A、7S通電したときの熱損失以下なので、このためには0.75mm²以上の接続線を用いれば充分である。

3.2 間欠負荷限度

集団X線検診時のように間欠的に充電、放電を行なう場合には、配電変圧器で発生する熱量の平均が連続的に発生する熱量に等しいか、それ以下である必要がある。Table 3より約600Wの電力を供給できればよい。断面積0.75mm²の2芯キ

Fig. 4. Time characteristics of allowable current about two cores cable type cables with sectional area 0.75mm² and 1.25mm²



ヤブタイヤケーブルの許容電流は12Aであるから、約1200Wの電力を供給できるので、間欠負荷限度には0.75mm²以上の断面積の電線を用いれば問題ない。

4. 充電時間

充電時間を知るためには、実際の装置に電源を接続して測定すればよいわけであるが、装置の内部インピーダンスおよび電源インピーダンスのいろいろの組み合わせにより充電時間が異なる。すなわち、同じ装置でも電源により、同じ電源でも装置により充電時間が異なる。撮影操作上、ある程度の充電時間は許容できるが、あまり長すぎると集団検診のように撮影ひん度のはげしい場合はとくに不便である。したがって、充電時間を算出できるようにすることが大切である。

4.1 充電時間の計算式

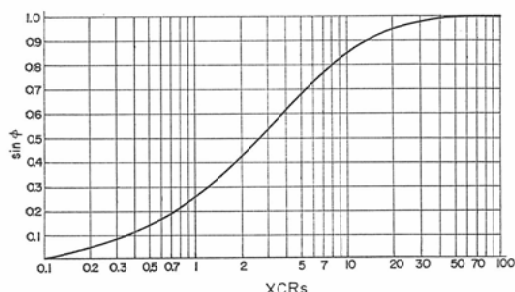
Fig. 1の回路でコンデンサの合成静電容量を c とすれば、充電時間 t を計算すると(3)式がえられる。

$$t = CR \sum_{n=0}^m \frac{2\pi(\phi_n - \phi_{n-1})}{2 - (\pi - \phi_n - \phi_{n-1}) \tan \frac{\phi_n + \phi_{n-1}}{2}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 ϕ_n, ϕ_{n-1} は充電時の電力量を算出したときと同様に、交流電源 $E_m \sin \phi$ の ϕ をFig. 2に示しように、 $\phi=0$ から $\phi=\pi/2$ までを m 個に分割したときの $(n-1)$ 番目、 n 番目を表わしている。

(3)式は充電時間は直流で光源した場合と同様に CR について定まることを示している。(3)式を用いて $m=18$ に区分して計算した結果をFig. 5に示す。Fig. 5から、例えば、最終充電電圧の80%まで充電する場合、充電時間は8 CR 秒かかると分かる。

Fig. 5. Charging time in case of rectified A.C



4.2 計算値と実測値との比較

最終充電電圧 115kV の 100kV, 1 μ F の装置を用いて、等価抵抗 $R=3.66\Omega$ の場合について計算値と実測値とを比較した。その結果をFig. 6に示す。Fig. 6の結果は(3)式が実用上充分使用できることを示している。

4.3 コンデンサ式 X線装置における等価抵抗と充電時間の関係

充電時間を短くするためには、 CR を小さくしなければならないが、 C はコンデンサの静電容量なので、装置により定まっている以上、 R を小さくしなければならない。 R を小さくするためには電源、装置および接続線を大きく、あるいは太くしなければならない。コンデンサ式X線装置は電源設備が小さくてすむと云う大きい特長が失われてしまう。したがって、等価抵抗 R を最大いくらまで許すかが問題である。最近の装置は高圧で充電し、予定電圧まで充電したら自動的に中止する、いわゆる、自動充電方法を採用しており、また、kV計の分圧用高抵抗による漏洩、高電圧

整流器（整流管）の電圧降下などのため、最終充電時間を算出することは誤差も大きく意味がないので定格電圧が最終充電電圧で定格電圧の70%、および85%までに達する時間を、等価抵抗Rの値が3Ω、5Ωおよび7Ωについて求めたのがTable 4である。

充電初期において電源電圧はこの等価抵抗に全部かかるので、装置の入力端子までの電圧降下を20%とすると、電源側に許容される抵抗はTable 4の等価抵抗の値の20%になる。また、このためにはX線高電圧装置の等価抵抗は4Ωにすることが必要である。

電源コードはレントゲン自動車の場合、30mに及ぶので、配電状況を考え、配電変圧器および引込線 0.5Ω 以内、電源コード 0.5Ω 以内を標準とすべきでないかと思う。この値であれば、電源抵抗は1Ωとなり全等価抵抗を5Ωとすれば、Table 4の充電時間の表から、まず、実用的に許容できる範囲であると思う。

配電変圧器、引込線、および電源コードの内部抵抗を示したのがTable 5である。Table 5から、

Fig. 6. The comparison of calculated value and measured value of charging time

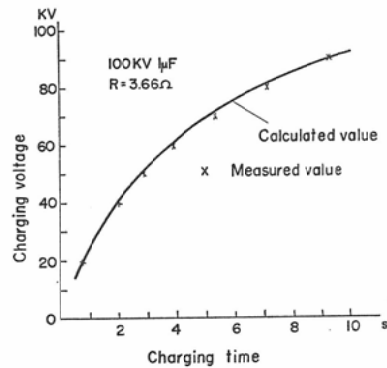


Table 4 Charging time of condenser type X-ray apparatus

Charging voltage Final charging voltage kV	Equivalent resistance Ω	Charging time S		
		80 kV 1 μF	100 kV 1 μF	125 kV 1 μF
70	3	2.7	4.2	6.5
85	3	4.8	7.5	11.7
70	5	4.4	6.9	10.7
85	5	8	12.5	19.5
70	7	6.2	9.6	15
85	7	11.2	17.5	27.3

Table 5 Characteristics of distribution transformer, supply line and cabtyre cable

Distribution transformer		Supply line		Cabtyre cable	
Capacity kVA	Resistance Ω	Core Sectional area mm ²	Resistance Ω/Km	Core sectional area mm ²	Resistance Ω/Km
1	0.435	2*	5.667	0.75	25.51
2	0.18	2.6*	3.348	1.25	15.31
3	0.11	8	2.3	2.0	9.81
5	0.057	14	1.3	3.5	5.325
7.5	0.035	22	0.818	5.5	3.424
10	0.024	30	0.619		

* shows core diameter

それぞれの内部抵抗を知ることができる。また、内部抵抗を指定すれば、大きさや長さを定めることができる。

5. 結 論

コンデンサ式X線装置の電源設備を考察した結果、

1. 充電時の電力量は(1)式で計算できる。Table 2 および3にコンデンサ式X線装置の充電

時の電力量および電力を示した。

2. 瞬間負荷、間けつ負荷に対して、配電変圧器の温度上昇はわずかで問題はない。電源コードは0.75mm²以上の断面積であればよいが、125kV装置に対しては、1.25mm²以上を用いる必要がある。

3. 充電時間は(3)式で計算できる。Table 4に3,5,7Ωの等価抵抗に対するコンデンサ式X

線装置の充電時間の例を示した。

4. 充電時の電源電圧降下を他の機器への影響を考慮して、20%とした場合、充電時間を考慮して配電変圧器、引込線は 0.5Ω 以内、電源コードは 0.5Ω 以内、装置の等価抵抗 4Ω にすべきである。

以上の結果は J I S Z 4903「診察用X線高電圧

装置の電源設備」の中のコンデンサ式X線高電圧装置の電源設備を制定する根拠を与えることができた。

文 献

- 1) 鳥山：X線装置の電源設備，電学誌，82 (1962)，229—235.