

パーソナルコンピュータによる X 線装置解析への応用 (第2報 三相理想波形の写真効果)

安部 真治・青柳 泰司・加藤 洋
齋藤 秀敏・福士 政広・町田 啓一*

〔要 旨〕

パーソナルコンピュータを用いて X 線装置の解析を試みた。第2報では三相理想波形の写真効果について検討した。

管電圧については三相正弦波を合成することにより6ピーク、12ピークの管電圧波形を求めた。

管電流波形は X 線管 $v-i$ 特性の実験式から求め、これらの式に定電圧における写真効果の実験式を代入し、三相理想波形の写真効果(蛍光量)を求めた。

さらに、短時間特性についても代表的な投入方式を例としてこれらの関係を求めた。

以上の事から定電圧と三相6ピーク、12ピーク理想波形の写真効果の関係を明らかにすることができた。

1. 緒 言

パーソナルコンピュータ(以下パソコン)を用いて X 線装置の解析を試みた。第1報では単相理想波形(2ピーク)の写真効果¹⁾について報告したが、続いて第2報として三相理想波形(6ピーク、12ピーク)の写真効果について検討した。三相波形の写真効果は次のようにして求めることができる。

a) 三相正弦波を合成し6ピーク、12ピークの管電圧波形を求める。

b) 第1報で求めた X 線管 $v-i$ 特性の実験式から6ピーク、12ピークの管電流波形が求められる。

c) 第1報で求めた定電圧における写真効果の式をこの管電圧、管電流に代入することにより三相任意波形の写真効果が求められる。

第2報では上記の方法により三相理想波形の写真効果(蛍光量)を算出した。さらに短時間特性についても代表的な投入、遮断方式を例として求めることができた。

2. 方 法

2.1 装置, 器具

パーソナルコンピュータ: NEC PC-9801VX,
X線装置: KXO-1250A, X線管電圧管電流計:
AB-2015D, 蛍光量計: EY-1001D, オシロス
コープ: Tektronix7633, X-Y PLOTTER:
DXY-980A, D-scan: CH-5301, 吸収体: 水

2.2 三相理想波形の合成

三相6ピーク整流波形の合成²⁾は Fig. 1 に示すように $2\pi/3$ 位相差のある電圧 E_1, E_2, E_3 を与える。

この整流出力電圧はそれぞれの電圧の絶対値の大きいものの和となり、その最大値は交流電圧の $\sqrt{3}$ 倍となる。但し、この関係は $\pi/3$ 毎に入れ変わることになる。図の右は Y 巻線片側の電圧の関係を示したものである。

Fig. 2 は E_1, E_2, E_3 およびその整流出力波形(X線管電圧波形)を示したものである。12ピーク

*東邦大学医学部附属大森病院中央放射線部

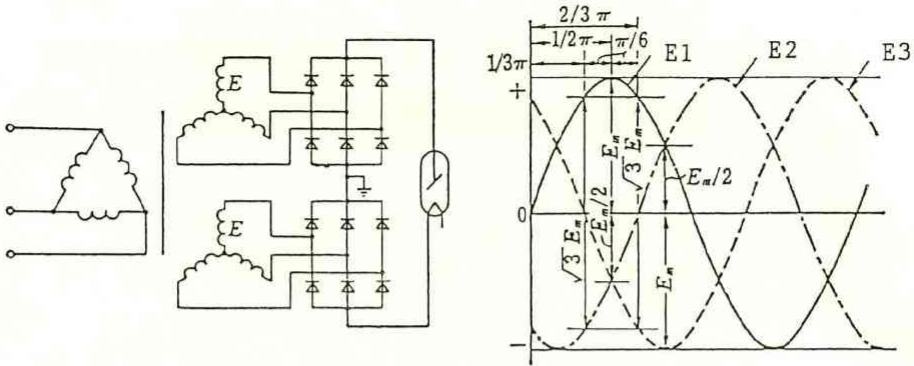


Fig. 1 Simplified diagram of a 3 phase 6 peak generator and 3 phase alternating current waveform.

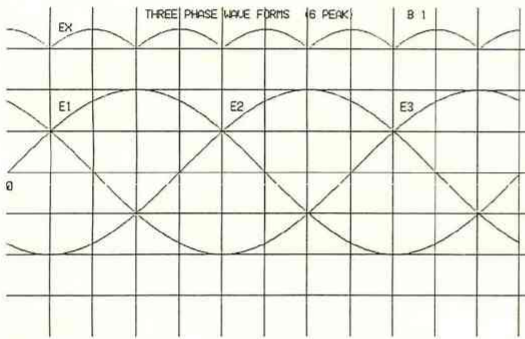


Fig. 2 3 phase alternating current waveform and rectified 6 peak voltage waveform.

ク整流波形は Fig. 3 に示すように Y, Δ 結線によりその位相差は $\pi/6$ となるので E_1, E_2, E_3 より $\pi/6$ 遅れた電圧 E_4, E_5, E_6 を与え、これの整流出力波形を求める。この出力電圧はさきに求めた 6 ピーク波形に対して $\pi/6$ の位相があるので、これとの和は 12 ピーク整流となる。この最大値は 6 ピーク最大値の 1.932 倍となる。

Fig. 4 は $E_1 \sim E_6$ の波形及びそれぞれ整流出

力波形を示したものである。

Fig. 5 は正負の 6 ピーク整流波形とこれらの和により合成された 12 ピーク整流波形 (X 線管電圧波形) である。

3. 三相 6 ピーク、12 ピーク理想波形の写真効果

第 1 報の実験式(5)により定電圧における任意管電圧、任意厚さの吸収体の蛍光量が求められ、同じく式(6)から任意管電流について X 線管内部抵抗が与えられる。従って三相装置においても三相整流出力電圧 (管電圧) をこれらの式に印加することにより対応する蛍光強度を求めることができる。三相 6 ピークでは 3.33ms (50Hz) が単位時間となるが単相 2 ピークとそろえる意味で 10ms (50Hz) とした。

管電流については単相波形と同様に小電流では飽和するのでほとんど定電流波形となる。大電流では空間電荷電流で動作するようになるので管電圧波形とほとんど同じ波形となるが、単相波形に比べてその変化は少ないので平均的な値として

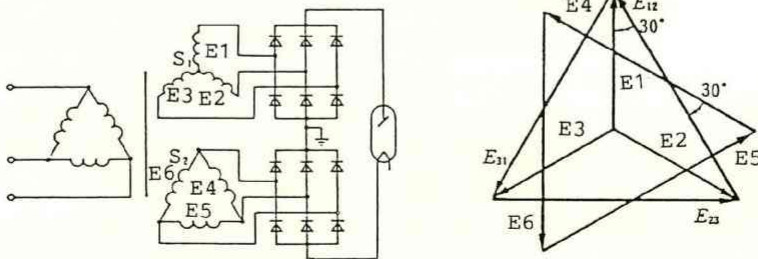


Fig. 3 Simplified diagram of a 3 phase 12 peak generator and vector diagram.

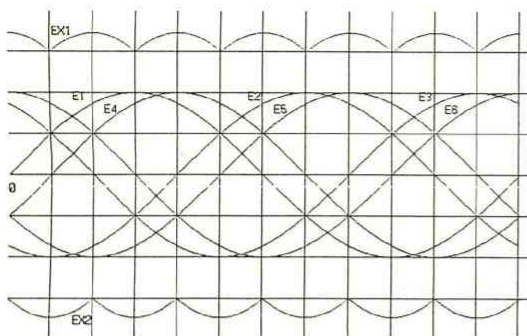


Fig. 4 Twin 3 phase alternating current waveforms with $\pi/6$ phase difference and each rectified 6 peak voltage waveforms.

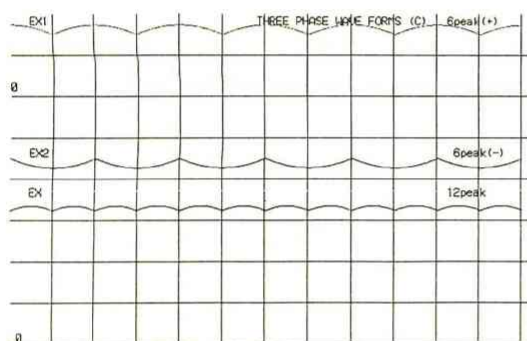


Fig. 5 Anode, cathode sides tube voltage and 12 peak tube voltage waveform.

300 mA における波形で算出した³⁾⁴⁾。

写真効果 (蛍光量) の算出

管電流 I は

$$I = E_x / R \quad (1)$$

E_x : 合成して求めた管電圧

R : X線管 $v-i$ 特性から実験的に求めた X線管内部抵抗 (第1報 式(6)~(10))

から管電流が求まる。これを第1報で求めた定電圧の写真効果の実験式(5)との積で蛍光強度が示され、この蛍光強度を積分することにより蛍光量を求めることができる。

Fig. 6 は 6 ピーク, 100kV, 300 mA, 水10cm における管電圧, 管電流および蛍光波形である。

6 ピークでは管電圧脈動率が写真効果にかなり影響していることがわかる。定電圧との蛍光量比は86.8%で、20cmでは84%となる。

Fig. 7 は12ピーク100kV, 300 mA, 水10cm における管電圧, 管電流および蛍光強度波形である。

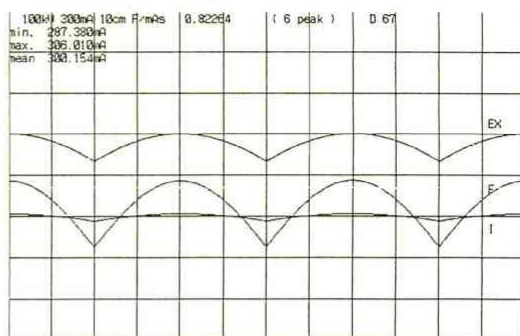


Fig. 6 3 phase 6 peak tube voltage, tube current and fluorescence waveform.

tube voltage: 100kV

tube current: 300mA

water thickness: 10cm

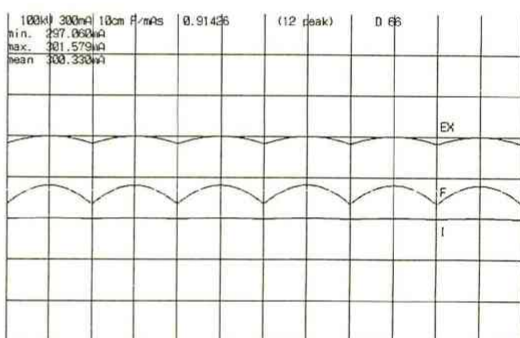


Fig. 7 3 phase 12 peak tube voltage, tube current and fluorescence waveform.

tube voltage: 100kV

tube current: 300mA

water thickness: 10cm

12ピークになると管電圧脈動率の写真効果への影響は少なくなり、定電圧との蛍光量比は96.5%、水20cmで95.6%となる。

Table 1 は定電圧, 2 ピーク, 6 ピーク, 12 ピークの mAs 当りの蛍光量と定電圧に対する蛍光量比を示したものである。

Fig. 8 は60kV, 100kV における定電圧に対する 2 ピーク, 6 ピーク, 12 ピークの蛍光量を比較したものである。100kV, 300 mA, 水10cm では定電圧に対して 2 ピークで約52%, 6 ピークで86%, 12 ピークで96%となる。

Fig. 9 は 2 ピークと 12 ピークの等価管電圧を示したものである。これより 12 ピークの 80kV は 2 ピークでは水10cmで90kV, 20cmで88kV 程度に相

Table 1 The fluorescence quantity ratio of 2 peak, 6 peak and 12 peak to constant potential.

		2 peak	6 peak	12 peak
0cm	60kV	0.5472	0.8810	0.9684
	80kV	0.5644	0.8955	0.9731
	100kV	0.5830	0.9025	0.9750
	120kV	0.6001	0.9066	0.9764
10cm	60kV	0.4873	0.8405	0.9561
	80kV	0.5029	0.8592	0.9622
	100kV	0.5197	0.8682	0.9648
	120kV	0.5353	0.8735	0.9667
20cm	60kV	0.4505	0.8091	0.9461
	80kV	0.4635	0.8299	0.9529
	100kV	0.4791	0.8398	0.9562
	120kV	0.4933	0.8467	0.9584

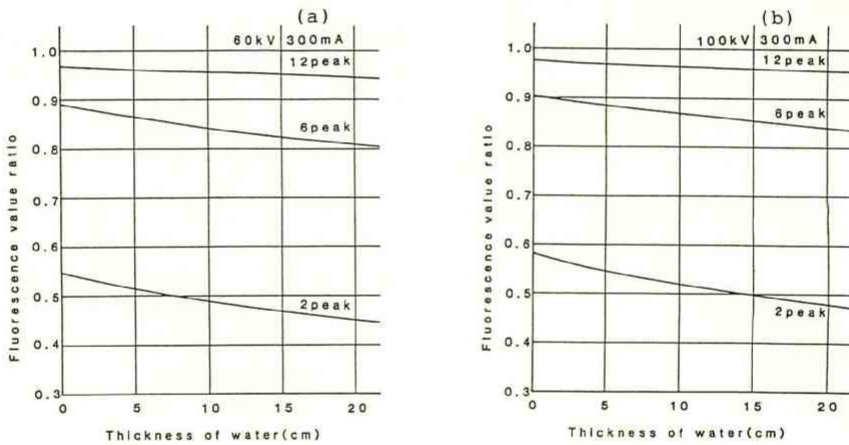


Fig. 8 The fluorescence quantity ratio of 2 peak, 6 peak, and 12 peak to constant potential (a: 60kV, b: 100kV)

当する⁵⁾。

4. 短時間特性（単相で初期投入を行う 2 段投入の例）

三相装置は管電圧の立ち上がり、立ち下がりに時間を要するため、曝射時間が短くなる程これに起因する写真効果の影響が大きくなって来る。三相装置は現在幾つかの投入方式があるが、1次側制御の投入法としては長く使用され、比較的立ち上がり時間の短い単相で初期投入を行う 2 段投入

方式を例として解析してみた⁶⁾⁷⁾。

この投入方式は Fig. 10に示すように U-V 間を零位相で投入し、 $\pi/2$ 後 W を閉じ三相運転を行うもので実際の開閉は Fig. 11のようにサイリスタにより行われている。

Fig. 10の U-V 間を零位相で閉じ、この電圧が上昇すると W' の電位も U-V 間電圧の1/2で上昇し、 $\pi/2$ で最大値に達する。このとき W' はこれの1/2となり W の電位と等しくなる。この時点で W を閉じれば W' は零電位で投入され三相運転に

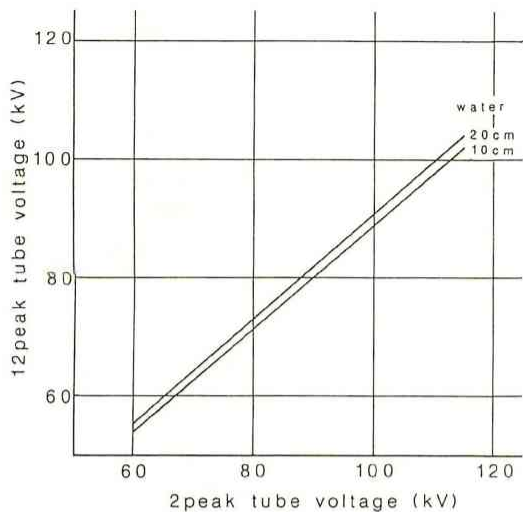


Fig. 9 Equivalent tube voltage for 2 peak and 12 peak generators.

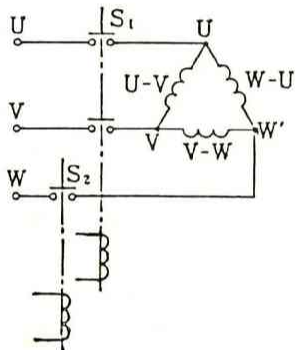


Fig.10 Two step making mechanism, initial closing with single phase of the Primary voltage.

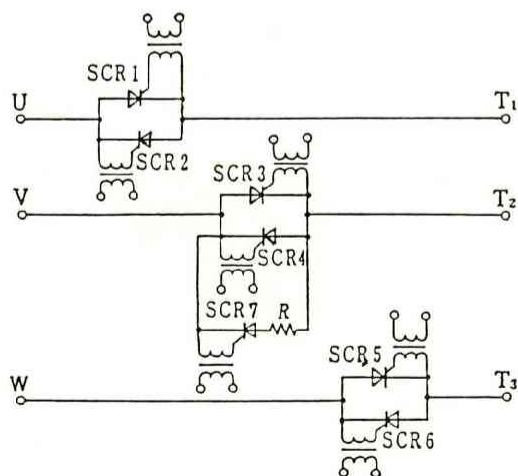


Fig.11 Main circuit control with thyristor.

入ることができる。Fig. 12は6ピークの場合の位相関係を示したもので、一相の最大値を E_m とすれば整流出力電圧は $\pi/2$ で $1.5E_m$, $2\pi/3$ で $\sqrt{3}E_m$ となりこの点で整流出力電圧は最大値となる。遮断は線電流が零になる点、すなわち $E_1 = E_2$, $E_1 = E_3$, $E_2 = E_3$ のいずれかの点で $\pi/3$, すなわち 3.33ms (50Hz) 毎となる。次に $3\pi/2$ で一相の線電流が遮断されたとすればその後は単相運転となり、 2π で残りの相が遮断され曝射は完了する。従って立ち上がり、立ち下がり時間は 5ms (50Hz) となる。

短時間特性はこの立ち上がり、立ち下がり期間の写真効果によって決まる。ここで立ち上がり、立ち下がり時の蛍光量を F_{6a} , F_{6b} , 定常状態を F_6 , 総蛍光量を F_{6T} とすれば、 F_{6T}/F_6 からこの関係を求めることが出来る。

Fig. 13は6ピーク、管電圧100kV、管電流300

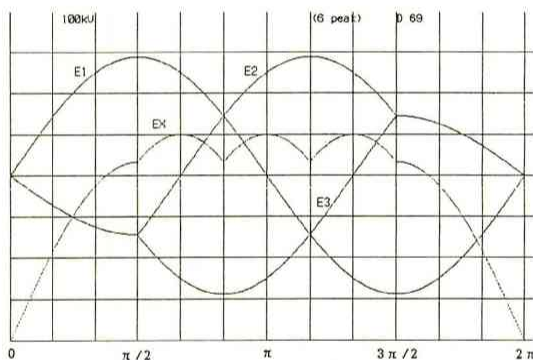


Fig.12 3 phase alternating current waveform used two step closing method and 6 peak tube voltage waveform.

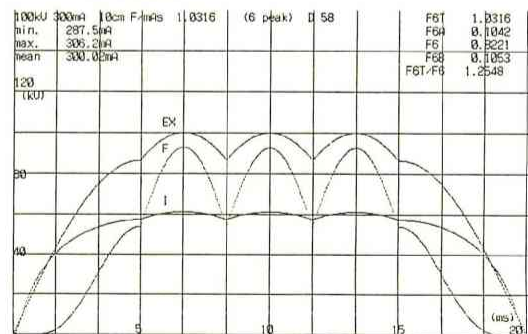


Fig.13 6 peak tube voltage, tube current and fluorescence waveforms.

(100kV, 300 mA, 10ms, water10cm)

mA, 曝射時間10ms, 水10cmにおける管電圧, 管電流, 蛍光波形で同時に立ち上がり, 立ち下がり, 定常状態における蛍光量を積算し, その比を求めると10ms 曝射では約1.25倍となる。

Fig. 14は同様にして3.3ms まで求めた結果で, 水10cmで約1.76倍となる。12ピークについても同様にして求めることができる。

12ピークの場合は Fig. 5 に示すように $\pi/6$ 位相差のある2つの起電力 E_{x1} , E_{x2} の和となる。次に投入, 遮断時の立ち上がり, 立ち下がり期間は6ピークと同様に単相で動作するが, $\pi/2$ で三相運転に切り換えられる。ここでY巻線の1脚当りの電圧最大値を E_{mY} とすれば Δ 回路の最大値は $\sqrt{3}E_{mY}$, この時のY回路電圧最大値は $E_{mY} + 1/2 \cdot E_{mY} = 1.5E_{mY}$ となる。

Fig. 15は1次電圧に対応する交流高電圧と管電

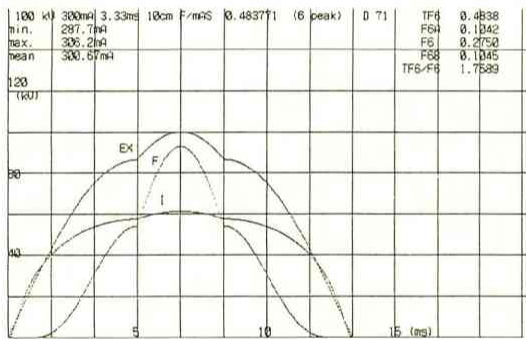


Fig.14 6 peak tube voltage, tube current and fluorescence waveforms.

(100kV, 300mA, 3.3ms, water10cm)

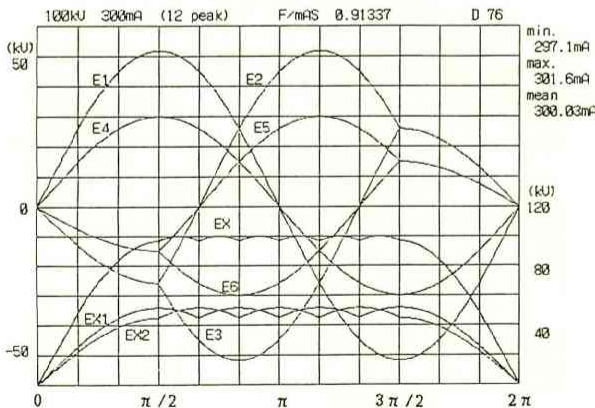


Fig.15 Relation between Δ and Y side alternating current voltage waveforms and rectified 12 peak tube voltage waveforms. (Exp. time 10ms)

圧の関係を示したもので, E_1, E_2, E_3 は Δ 巻線の交流出力電圧でそれぞれ $\sqrt{3}E_{mY}$ である。 $0 \sim \pi/2$ までは単相で立ち上がり, 1次電圧 V_1 に対する Δ 巻線の E_1 は定常の電圧で立ち上がる。 E_2, E_3 はこれの1/2の電圧で立ち上がるが常に E_1 より小さいので整流出力電圧には関係しない。次に1次電圧 V_1 に対応するY巻線の E_4 も定常の電圧で立ち上がり E_5, E_6 は $E_4/2$ の電圧で負方向に立ち上がる。Y巻線の整流出力電圧は正負方向とも, 絶対値の大きい二者の和となる。 $\pi/2$ で残りの相が閉じられるが Δ 巻線の E_2, E_3 は最大値の1/2で入力電圧と同電位であるので6ピークの投入と同様に三相運転に入ることができる。一方, Y巻線は $\pi/2$ で残りの相が投入と同時に三相運転に入り, この点における E_4 は $0.866E_{mY}$ となる。Y回路整流出力電圧は $2\pi/3$ で最大となり $1.73E_{mY}$ となる。すなわち Δ 回路の出力電圧より $\pi/6$ 遅れで最大となる。遮断は6ピークと同様に1次側のいずれかの線電流が零になる点で行われ, $\pi/3$ すなわち3.33ms 毎 (50Hz) となる。一相の線電流が遮断された後は単相運転となり, 立ち上がり波形と対称に降下し, $\pi/2$ 後, 残りの相が遮断され曝射は停止する。

Fig. 16は6ピークと同様にして求めた12ピーク, 管電圧100kV, 管電流300 mA, 曝射時間10ms, 水10cmにおける蛍光量との関係である。投入は立ち上がり時間を短くするため $\pi/6$ 遅らせてある。従って立ち上がり時間は3.3ms となる。立ち上がり, 立ち下がりの蛍光量を F_{12a}, F_{12b} , 定常状態を F_{12} , 総蛍光量 F_{12T} と, これと定常状態との比

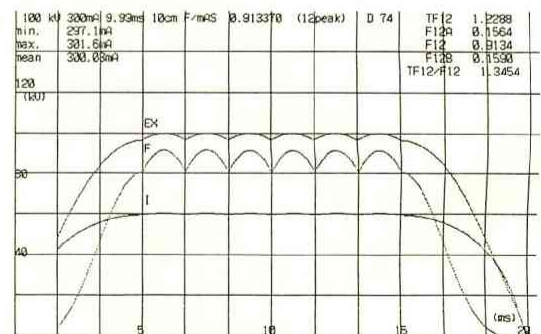


Fig.16 12 peak tube voltage, tube current and fluorescence waveforms (Exp. time 10ms)

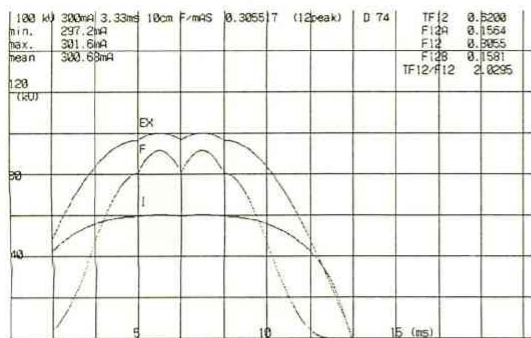


Fig.17 12 peak tube voltage, tube current and fluorescence waveforms (Exp. time 10ms)

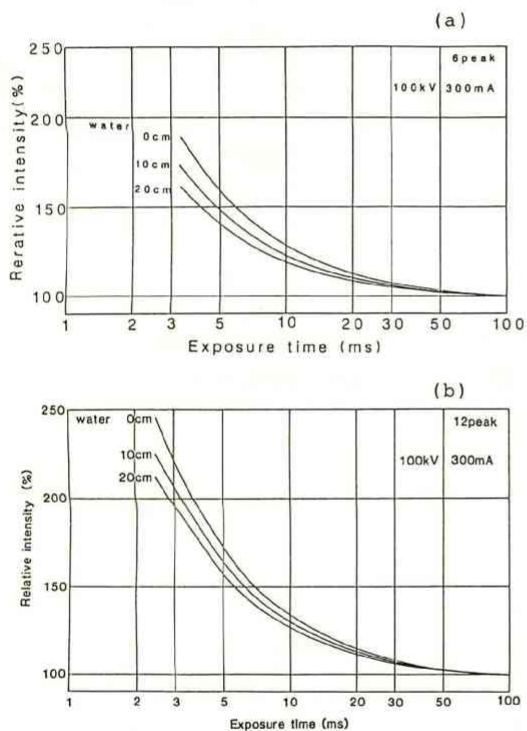


Fig.18 Short time characteristics (Relation between exposure time and fluorescence quantities per mAs)

(a) 6 peak (b) 12 peak

は約1.35倍になる。この比は Fig. 17 の3.3ms では2.03倍となる。

Fig. 18は6ピーク及び12ピークについての短時間特性で、蛍光量 (F/mAs) と曝射時間の関係を表したものである。このように曝射時間が短くなるほど蛍光量との直線性は大きく異なってくる。6ピークと12ピークを比較すると12ピークの方が

管電圧波形の立ち上がりとしち下がりの影響が大きいため直線性は低下する。

5. 考 察

1) 管電圧脈動率

三相 X線装置の管電圧脈動率は理論的には6ピークで13.4%, 12ピークでは3.4%である。これらの理想波形についての写真効果 (蛍光量) をパソコンで計算処理すると、水10cmで定電圧に対し6ピークで約86%, 12ピークで96%となった。これらの差は吸収体の厚さが厚くなる程さらに大きくなる。

また、実際の三相装置の場合、装置の制御方式や管電圧、管電流等の負荷特性、さらに電源側総インピーダンス等により管電圧脈動率はかなり異なり、写真効果にも影響を及ぼすことになる。

このように実際の装置では理論値よりも管電圧脈動率は大きくなり写真効果は減少してくる⁷⁾⁸⁾。

2) 短時間特性

単相装置の場合、曝射時間は電源周波数の半周期毎となる。そのため最短曝射時間は10ms (50Hz) となり、限時誤差のない限り曝射時間と蛍光量の直線性はほぼ保たれる。

三相装置では一般的に電源の半周期の1/3が単位となり3.33ms から制御が可能である。また、主回路を三線同時投入し、サイリスタで強制消弧することにより一次側制御でも1ms からの制御も可能となる。しかし、既に述べたように管電圧の立ち上がり、立ち下がりに時間を要し、この関係は曝射時間の長短に関係がないため曝射時間が短くなる程、曝射時間と蛍光量の直線性は大きく変化してくる。

また、三相装置の投入方式や遮断機構によって、管電圧の立ち上がり、立ち下がり時間が異なってくるため短時間特性もそれぞれの方式によりかなり異なってくる。これらの場合も投入、遮断等のメカニズムを把握することによりパソコンで解析が可能である。

6. 結 論

第1報 (単相理想波形の写真効果) で求めた定電圧での蛍光量及び X線管内部抵抗の実験式を応

用し、三相6ピーク、12ピークの理想波形と写真効果の関係について検討した。三相装置では単相装置と比較して、その出力波形を表すにはかなり複雑になってくる。しかし、適宜必要な位相差をそれぞれ与えこれを合成して計算処理することにより、単相理想波形と同様に三相理想波形においても任意管電圧(60~120kV)、任意吸収体厚(0~20cm)を入力することによりそれに対応する写真効果(蛍光量)を求めることができた。

また、X線管電圧の立ち上がり、立ち下がりに起因する短時間における蛍光量との関係(短時間特性)についても求めることができた。

以上、パソコンを用いて、三相X線装置の理想波形について解析することができた。

文 献

- 1) 安部真治, 青柳泰司, 加藤洋他: パーソナルコンピュータによるX線装置解析への応用(第1報 単相理想波形の写真効果), 投稿中
- 2) 青柳泰司: 診断用X線装置, コロナ社, 東京, (1984)
- 3) 青柳泰司: X線管電圧, 管電流と写真効果の関係, 日放技学誌, 21(2), 1-42, (1965)
- 4) 青柳泰司: X線写真に影響するX線装置の電氣的諸現象に関する研究 第3報 X線管電圧波高値, 管電流平均値表示の妥当性, 東邦医学誌, 25(1), 125-147, (1978)
- 5) Barone G.J., Trout E.D.: Dose Distribution for Single and Tree phase X-ray equipment. Radiology, 100, 663-669, (1971)
- 6) 青柳泰司, 宮崎茂, 齊藤一彦: 三相X線装置の短時間特性について(第1報: 単相で初期投入を行う2段投入方式), 日放技学誌, 39(5), 585-593, (1983)
- 7) 青柳泰司: 診断用X線装置の現状とその問題点, 日放技学誌, 特集号, 33-56, (1983)
- 8) 齊藤一彦: 三相X線装置の諸特性, 日放技学誌, 42(7), 1001-1029, (1986)

Application of a Personal Computer to the X-ray Equipment Analysis (2nd Report. Photographic Effect of Ideal Three Phase waveforms)

Shinji ABE, Taiji AOYAGI, Yoh KATOH
Hidetoshi SAITOH, Masahiro FUKUSHI, Keiichi MACHIDA

Abstract

The authors investigated application of a personal computer to the X-ray equipment analysis.

In this report, we studied the photographic effect (fluorescence quantity) of ideal three phase waveforms (6 peak, 12peak)

In regard to the X-ray tube voltage waveforms of 6 peak and 12 peak, we obtained it by compound the three phase sine wave.

Also, we obtained the tube current waveform from an experimental formula of X-ray tube $v-i$ characteristics.

We could calculate the photographic effect (fluorescence quantity) of ideal three phase waveform by substituting the experimental formula of photographic effect at constant potential into the these fomula.

Father, we investigated the relation between the short time characteristics and the effect as an example of the typical closing method.

As described above we made it clear that relation of photographic effect between 3 phase 6 peak, 12 peak ideal waveforms and constant potential.

Keyword: 6 peak waveform, 12 peak waveform, constant potential, photographic effect, short time characteristics.