222 二極X線管を用いた高圧ストロボX線装置

岩手医科大学教養部物理学教室 佐藤英一[○]、寒河江康朗、大泉貞治
東北大学流体科学研究 小島英則、高山和喜
岩手医科大学付属病院中央放射線部 玉川芳春
岩手医科大学医学部放射線医学講座 柳沢融
東日本機電開発 藤原秋浩、水戸谷完爾

Repetitive Harder Pulsed X-Ray Generator Having a Hot-Cathode Diode

Eiichi SATO*, Michiaki SAGAE*, Teiji OIZUMI*, Hidenori OJIMA**,
Kazuyoshi TAKAYAMA**, Yoshiharu TAMAKAWA***, Toru YANAGISAWA****,
Akihiro FUJIWARA***** and Kanji MITOYA*****

The constructions and the radiographic characteristics of a kilohertz-range harder pulsed x-ray generator having a hot-cathode diode are described. This generator consisted of the following major components: a thyatron pulser (H RTP-16), a high-voltage pulse transformer, a DC power supply for the filament, and a hot-cathode diode. The ceramic condenser in the thyatron pulser was charged from 8 to 16 kV, and the electric charges in the condenser were discharged to the primary coil of the transformer. Then the high-voltage pulse of about 100 kV from the secondary coil was applied to the diode, and harder pulsed x rays were produced. The thyatron pulser was driven by the repetitive electric or light pulses. When the multiple-pulse-type was employed, the x-ray duration was nearly equivalent to the damped oscillation of the tube voltage. In the case where the single-pulse-type was employed, the x-ray pulse width had a value of about 300 ns. The repetition rate was controlled by the frequency of the driving pulse.

1. はじめに

パルスX線装置は不透明物体の高速度可視化に有用で、撮影目的に応じた様々な装置が試作・開発された。^{1, 2)}特に超高速現象の撮影には冷陰極X線管を持つフラッシュX線装置が採用される。次にストロボX線は冷陰極管^{3, 4)}を用いた場合にも発生できるが、キロヘルツからメガヘルツの繰返し頻度を得るためには熱陰極三極X線管が有用である。^{5, 6)}この管ではコンデンサに蓄えられた電荷を格子電圧を変化させることにより繰返して放電し、ストロボX線を得る。しかし三極管形装置ではフォトンエネルギーの高いX線、いわゆる硬いX線の発生が難しい。

周知のようにパルス高電圧を印加する場合にはX線管の耐電圧が著しく向上するので、高電圧パルストランスフォーマと熱陰極二極X線管を組合せることにより、硬い線質でしかも繰返し頻度の高いストロボX線を発生することができる。

*Department of Physics, Iwate Medical University, **Shock Wave Research Center, Institute of Fluid Science, Tohoku University, ***Center for Radiological Science, Iwate Medical University, ****Department of Radiology, Iwate Medical University, ***** Japan Mechaelectric Inc.

本研究では最大頻度が 10 kHz 程度のサイラトロンパルサ (H RTP-16) を使用し、これと高電圧パルストランスフォーマーを組合せることにより、最大フォトンエネルギーが 100 keV 以上のストロボ X 線装置を 2 種試作した。

2. 装置

Fig. 1 には装置のブロック図が示してある。装置はサイラトロンパルサ、フェライトコアの高電圧パルストランスフォーマー、フィラメント加熱用直流電源、および熱陰極の二極 X 線管等より成る。サイラトロンパルサ内のセラミックコンデンサを 8~16 kV に充電し、サイラトロン管を用いてトランスフォーマーの一次側に放電し、二次側に高電圧パルスを発生させる。出力電圧は減衰振動となるので、発生する X 線のパルス数は一放電につき複数となる [Fig. 1 (a) 参照]。一方、Fig. 1 (b) のように高電圧ダイオードと抵抗を用いることにより 1 パルスだけの出力も得ることができる。サイラトロンパルサは光あるいは電気の繰返し信号により駆動される。実験に用いた X 線管は固定陽極形の二極管である (Fig. 2 参照)。

3. 特性

高電圧パルストランスフォーマーよりの出力は Fig. 3 に示す通りである。充電電圧を増すことにより出力電圧の尖頭値も増加する。負の尖頭値は正のものよりも高いが、X 線は正電圧時にのみ出力する。出力電圧の最大値 (正值) は、充電電圧が 16 kV で 110 kV 程度である。Fig. 4 は管電圧で、2 種の装置を用いて測定した。尖頭値は、高電圧回路中の浮遊容量のためトランス出力と比較して若干低い値となる。図のように Fig. 1 (b) の回路を用いたときには 1 パルスとなる。パルス X 線は正の管電圧に対応して出力し、実験での繰返し頻度は最大で 5 kHz 程度である (Fig. 5 参照)。

4. ラジオグラフィー

本研究では CR システムを用いて、油入ポリ容器にプラスチック弾が衝突する瞬間の遅延撮影を試みた。撮影ではレーザータイミングスイッチ、遅延パルス発生器、および Fig. 1 (a) の装置を用い、サイリスタパルサの充電電圧は 16 kV である。弾が容器に衝突し、跳ね返る様子が完全静止像として得ることができた。

5. おわりに

本研究で試作したストロボ X 線装置では管電圧は高くできるが、管電流値が小さく X 線照射時間が短いため X 線強度が得にくい。ここでは 1 台のパルストランスフォーマーを用いて X 線管の陽極に正の高電圧パルスを印加したが、同時に負の高電圧パルスを陰極に印加することにより約 2 倍の管電圧を印加することができる。CR を用いた撮影では若干 X 線強度が不足気味ではあったが、イメージインテンシファイヤを採用することによりキロヘルツ域の高圧シネ撮影が可能となる。熱陰極三極管を利用したストロボ X 線装置と比較してややノイズが多いので十分なシールドが必要である。

6. 謝辞

本研究は文部省科学研究費補助金および岩手医科大学圭陵会学術振興会研究助成金により遂行された。

Fig. 1 Block diagram of a repetitive harder pulsed x-ray generator having a hot-cathode diode: (a) multiple-pulse type; (b) single-pulse type.

Fig. 3 Output voltages from a high-voltage transformer according to changes in the condenser charged voltage.

(a)

(b)

Fig. 4 Charged voltage dependence of the tube voltages: (a) multiple-pulse type; (b) single-pulse type.

Fig. 5 Pulsed x-ray output: (a) multiple-pulse type; (b) single-pulse type; (c) repetitive output signals of x rays.

Fig. 6 Delayed radiographs of an oil bottle shot by an air gun with a time interval of 200 μ s.

7. 文献

1. R. Germer, "X-ray flash techniques," J. Phys. E: Sci. Instrum., 12, pp.336-350, 1979.
2. E. Sato, A. Shikoda, S. Kimura, M. Sagae, T. Oizumi, K. Takahashi, Y. Hayasi, T. Shoji, K. Shishido, Y. Tamakawa and T. Yanagisawa, "Repetitive compact flash x-ray generators for soft radiography," SPIE, 1801, pp.628-642, 1992.
3. E. Sato, K. Takahashi, M. Sagae, S. Kimura, T. Oizumi, Y. Yayasi, Y. Tamakawa and T. Yanagisawa, "Sub-kilohertz flash x-ray generator utilizing a glass-enclosed cold-cathode triode," Med. & Biol. Eng. & Comput., 32, pp.289-294, 1994.
4. K. Takahashi, E. Sato, M. Sagae, T. Oizumi, Y. Tamakawa and T. Yanagisawa, "Fundamental study on a long-duration flash x-ray generator with a surface-discharge triode," Jpn. J. Appl. Phys., 33, pp.4146-4151, 1994.
5. E. Sato, M. Sagae, A. Shikoda, T. Oizumi, K. Takahashi, Y. Tamakawa, T. Yanagisawa and H. Arima, "Kilohertz to megahertz soft flash x-ray generators utilizing hot-cathode radiation tubes," SPIE, 1801, pp.258-267, 1992.
6. E. Sato, M. Sagae, K. Takahashi, S. Shikoda, T. Oizumi, Y. Yayasi, Y. Tamakawa and T. Yanagisawa, "10 kHz microsecond pulsed x-ray generator utilizing a hot-cathode triode with variable durations for biomedical radiography," Med. & Biol. Eng. & Comput., 32, pp.295-301, 1994.