

Desenvolvimento de um medidor de kVp microcontrolado

I. C. Nali¹, R. G. S. Rodrigues², V. M. Gelonezi³ e C. A. Pelá⁴

^{1,2,3,4}Centro de Instrumentação Dosimetria e Radioproteção (CIDRA-USP), Brasil

Resumo

Com base em simulação computacional utilizando o modelo de Birch e Marshall¹, para geração de espectros de raios X, foi desenvolvido um protótipo de medidor de kVp para aparelhos de raio-X monofásicos e trifásicos. O protótipo é composto por um par de filtros de cobre, fotodiodos conectados em paralelo, amplificadores e conversor análogo-digital. Após a exposição ao feixe de raio-X, os fotodiodos geram um sinal de tensão analógico que é amplificado e convertido em sinal digital pelo microcontrolador. Em seguida, os dados digitais são tratados por um software gravado na memória do microcontrolador que faz os cálculos necessários para a determinação da kVp.

Palavras chave: Medidor de kVp, Controle de Qualidade, Tubos de raios X.

Introdução

Os medidores de kVp não microcontrolados requerem que os cálculos das correções relacionadas ao feixe de raios X sejam implementados na eletrônica associada, tornando esses medidores grandes e limitados. As correções devido à radiação característica, efeitos relativos à filtragem, mA e Distância Foco-Medidor (DFM), requerem cálculos manuais para corrigir o valor da leitura mostrada no “display”. Utilizando microcontroladores pode-se substituir todos esses circuitos eletrônicos por relações matemáticas implementadas em “software” facilitando o desenvolvimento e a produção desse tipo de equipamento. O princípio da medida permanece o mesmo dos aparelhos antigos, ou seja, é utilizado o mesmo modelo físico simplificado do μ_{efetivo} aumentando com a kVp, mas com todos os ajustes feitos automaticamente pelo algoritmo do microcontrolador.

Método

O protótipo, chamado Medidor 4x2, foi construído utilizando-se o microcontrolador Aduc812 que possui 8 conversores análogo-digitais de 12 bits e 5 μ s de resolução temporal. A unidade transdutora constitui-se de 6 fotodiodos de silício tipo PIN (BPW34), sendo que 2 fotodiodos ligados em paralelo foram colocados abaixo de um filtro de cobre de 1 mm de espessura e os outros 4 fotodiodos, também ligados em paralelo, foram colocados abaixo de um filtro de cobre de 1,7 mm. Para calibrar o medidor foi utilizado um equipamento de raios X marca Phillips modelo M80, um Divisor de Tensão marca Siemens modelo 7395072-RE999 e um equipamento multifunção da Victoreen (Nero mAx 8000).

Inicialmente foram calculadas as espessuras otimizadas dos filtros através de uma simulação computacional baseada no modelo de Birch e Marshall¹¹. Em seguida foram determinados os ganhos dos amplificadores operacionais responsáveis pela amplificação dos sinais coletados nos fotodiodos.

Por último foi feita a calibração do medidor onde foi determinada a função matemática a ser introduzida no programa do microcontrolador para o ajuste de escala, neste caso a melhor adaptação foi a de um polinômio de 2º grau. Essa curva é calculada utilizando-se o valor da relação das leituras dos dois conjuntos

de fotodiodos, obtidos com o processo de conversão análogo-digital, em função dos valores de kilovoltagem lidos no divisor de tensão.

Resultados

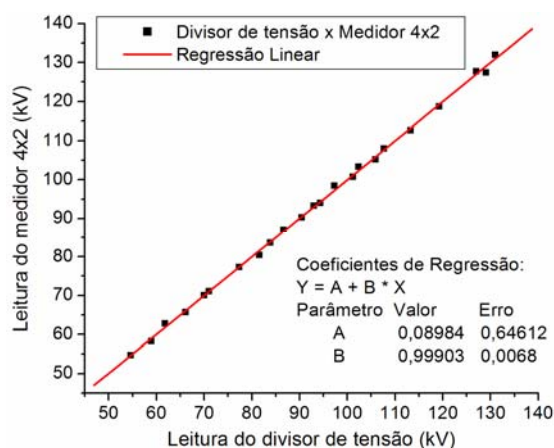
O Medidor utiliza um único par de filtros para toda a faixa de kVp. No gráfico da Figura 1 pode-se ver a curva de calibração encontrada. Na região entre 70 e 90 kVp, nota-se uma anomalia devido à radiação característica do tungstênio, fora dessa região, tanto na parte superior quanto na parte inferior, os pontos tem um comportamento quase linear.



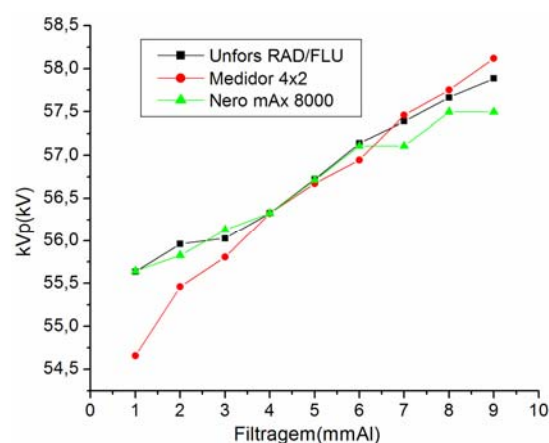
Figura 1 – Curva de calibração do Medidor 4x2 onde pode-se ver a anomalia provocada pela radiação característica do tungstênio.

Na Figura 2a foi feita a regressão linear da razão das leituras do divisor de tensão e do Medidor 4x2, pelo gráfico pode ser visto que os parâmetros relacionados a correlação linear se comportaram da forma esperada.

Na Figura 2b, pode ser visto o resultado entre comparações para o medidor de kVp modelo Rad/Flu da marca Unfors, o medidor Nero mAx 8000, o divisor de tensão e o protótipo construído.



(a)



(b)

Figura 2 – (a) Comparação dos valores medidos no divisor e no Medidor 4x2 (b) Comparação do Medidor 4x2 com o divisor de tensão, um medidor modelo Rad/Flu da marca Unfors e o equipamento Nero Max 8000 operando em baixas kVps.

Através da Figura 2b, pode ser vista a dependência relacionada à quantidade de filtragem em medidores mais simples como o Unfors e o Medidor 4x2, nota-se que quanto maior a filtragem maior o erro da medida da kVp. Esse erro de leitura está relacionado à quantidade de energia do feixe de raios X na faixa abaixo de 60 kV, uma solução para esse problema seria a utilização de mais diodos com filtros menores para compensar a baixa energia do feixe. Equipamentos mais sofisticados com um maior número de filtros como o NERO da Victoreen são capazes de operar com uma precisão maior minimizando os erros de leitura.

As medidas foram feitas próximas do tubo de raios X, sendo os dois medidores colocados lado a lado na direção transversal do tubo para tentar evitar o efeito anódico. Dessa maneira os medidores não compartilharam da mesma porção do feixe e isso também pode ser uma fonte de diferenças.

De qualquer maneira percebe-se que medidores simples como esses tem grande dificuldade em efetuar medidas em kVps mais baixas. Além disso, os medidores estavam trabalhando no limite de operação que é de no mínimo 55 kVp justamente para que fosse possível verificar suas deficiências em condições extremas.

Mesmo assim o critério de seleção de filtros desenvolvido mostra que para uma resolução de 1 kVp é impossível do ponto de vista físico, avaliar a kVp abaixo de 55 kVp sem ter inconsistências, e neste caso outras técnicas adicionais de correção devem ser empregadas para atingir tão baixa resolução.

Discussão

A metodologia empregada na escolha dos filtros pôde ser validada experimentalmente. O microcontrolador apresentou os resultados esperados e a configuração dos fotodiodos se mostrou adequada. O medidor multifunção da Victoreen (Nero Max 8000) foi utilizado nas medidas de comparação da kVp e na determinação da kVp para os aparelhos odontológicos devido à falta de um Divisor de Tensão apropriado para estes equipamentos. Na faixa compreendida entre 70 kVp e 90 kVp, a produção de radiação característica gera anomalias no comportamento do μ_{efetivo} aumentando com a kVp, mas o correto dimensionamento dos parâmetros do medidor construído possibilitou um ajuste adequado da curva de calibração sobre os dados experimentais.

Considerações a respeito de equipamentos monofásicos

Utilizando-se o Medidor 4x2 para dois geradores de raios X odontológicos, notou-se que em ambos o tempo de estabilização da kVp é maior se comparado ao do gerador de raios X médico utilizado. Dessa forma eles requerem um tempo de espera maior para que se inicie a leitura dos fotodiodos, em consequência disso o algoritmo para capturar os picos e efetuar a média teve que ser adaptado. Inversamente ao que ocorre em aparelhos trifásicos, nessa outra forma de onda os valores médios das leituras diferem muito dos valores médios dos picos.

Apesar de se optar por trabalhar com a média dos picos, foi verificado que a razão de leituras dos fotodiodos não varia significativamente quando feita para média dos picos ou médias dos pontos em geradores trifásicos.

A Figura 3 mostra as formas de onda dos aparelhos Spectro 70X da marca Dabi Atlante e RX-10 da marca Funk, ambos fabricados em Ribeirão Preto.

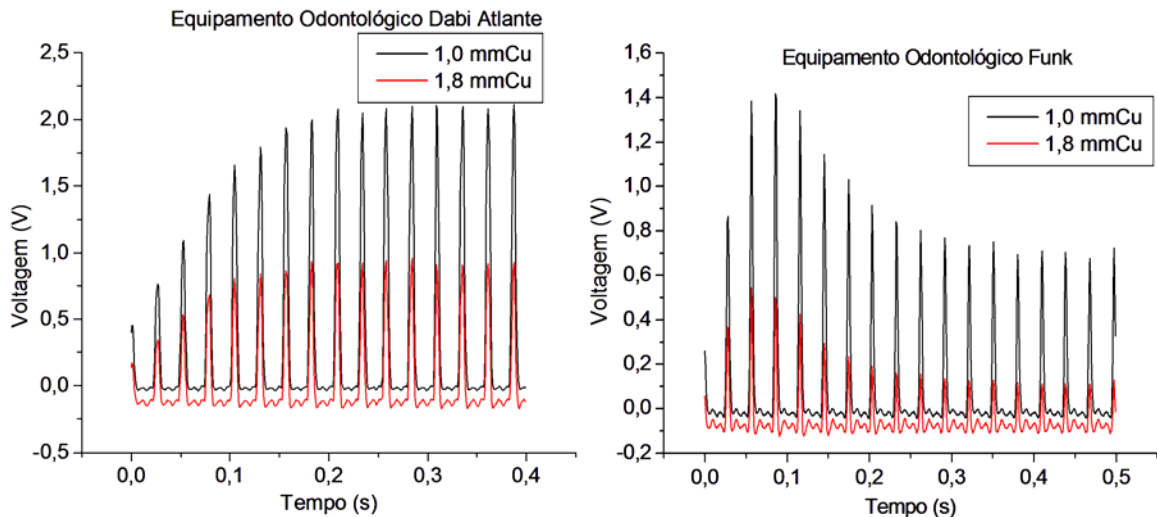


Figura 3 – Forma de onda de dois aparelhos de raios X odontológicos monofásicos. Os sinais foram captados com o Medidor 4x2 indicando potencialidade para esse tipo de medida também.

Conclusões

O protótipo desenvolvido apresentou características importantes quanto a precisão, portabilidade e facilidade de operação podendo ser utilizado em testes na área de controle de qualidade em radiodiagnóstico em hospitais e clínicas devido ao seu desempenho adequado para uso em campo.

Referências

¹ R. Birch and M. Marshall, "Computation of bremsstrahlung x-ray spectra and comparison spectra measured with a Ge(Li) detector.", *Phys. Med. Biol.*, 24, 505-517 (1979).

Abstract

Based in a computational simulation using the Birch and Marshall¹ model, for generation of X-rays spectra, a prototype of kVp meter was developed for mono-phase and tri-phase X-rays equipments. The prototype is composed by a pair of copper filters, photodiodes connected paralleling, amplifiers and analog-digital converter. After the exposition to the ray-X spectra, the photodiodes generate an analogical voltage signal that is amplified and converted in digital signal by the microcontroller. Soon afterwards, the digital data are treated by a software recorded in the microcontroller that makes the necessary calculations for the kVp determination.