COBENGE 2014
ENGENHARIA: Múltiplos saberes e atuações
16 a 19 de setembro | Juiz de Fora - MG

PROPOSTA DE GERADOR DE SINAL DE TELEMETRIA PADRÃO PARA AULAS PRÁTICAS DE INSTRUMENTAÇÃO INDUSTRIAL

Willian Ricardo Bispo Murbak Nunes – willian.bispo@hotmail.com
Luis Carlos de Lima - autoeletronica@hotmail.com
Marcus Vinicius Maia Rodrigues - vinicius.maia@hotmail.com
Universidade Estadual de Londrina, Departamento de Engenharia Elétrica
Rodovia Celso Garcia Cid, Pr 445, Km 380
CEP 86.057-970 – Londrina - PR

Resumo: *Este trabalho propõe o desenvolvimento de um gerador de sinais de telemetria padrão de instrumentação industrial de baixo custo, contribuindo com aprendizado dos alunos iniciantes em aulas práticas de diversas instituições de ensino. O mercado de geradores de sinais de telemetria padrão de instrumentação industrial é um mercado fechado onde poucos ofertam produtos específicos. Existem geradores comercias, mas com custos elevados, sendo na maioria dos casos inviáveis para instituições de ensino e iniciantes em instrumentação e automação. Com isto propõe duas topologias de circuitos, ambas de baixo custo, porém sendo uma que utiliza o circuito integrado dedicado XTR111 e outra com amplificadores operacionais, de maior viabilidade de aquisição comercial.*

Palavras-chave: *Instrumentação industrial, telemetria, condicionamento de sinais, XTR111.*

1. INTRODUÇÃO

Um sinal de malha de corrente 4 a 20 mA é frequentemente utilizado em ambientes industriais para transmitir as medições através de longas distâncias, como por exemplo a temperatura de um processo ou a pressão de um tanque. Este tipo de sinalização é o preferido devido à sua simplicidade, imunidade a ruídos, segurança e capacidade de atravessar grandes distâncias sem corromper os dados. Estes laços atuais também são sistemas de baixa potência, uma vez que são relativamente baixas as correntes da transmissão dos dados. Sendo um sinal de pequena intensidade, qualquer que fosse a potencia não usada ou perdida na transmissão do sinal, esta simplesmente era dissipada no transmissor, porém com modernos circuitos integrados, mesmo essa pequena quantidade de energia pode ser aproveitada para apoiar as funções necessárias nestes sistemas, tornando o sistema 4 a 20 mA extremamente ainda viável.

O estudo e análise de funcionamento do sinal de corrente 4 a 20 mA é de extrema importância para os profissionais da área de instrumentação industrial, automação, engenharia e áreas afins. No entanto, muitas instituições de ensino se deparam com ausência de equipamentos ou dispositivos para o ensino prático da teoria exposta em sala de aula,

implicando num defasamento em relações a outras entidades de ensino, alunos com pouco conhecimento prático agregado dos assuntos tratados do campo de trabalho técnico.

Com base nesta situação de ensino-aprendizagem este trabalho propõe duas opções de desenvolvimento de circuito gerador de sinal de telemetria padrão para instrumentação, em que o sinal de entrada provém de uma fonte de 0 a 5V e o sistema proposto condiciona para o padrão 4 a 20 mA.

Como dito o gerador de sinais comerciais muitas vezes se tornam inviável para a sua aquisição devido ao alto custo. Exemplo típico de sistemas comerciais são os conversores CONxxAyy-zz da fabricante SECON, os quais possuem encapsulamento DIN para a fixação em fundo de painel com trilhos de 35mm e aparafusados.

Para a implementação do sistema de condicionamento de sinais encontram-se disponíveis diversos circuitos integrados dedicados. Uma opção é o circuito integrado ISO EM-A4-P1-01 da Sunyuan SZ, o qual constitui em transmissor e amplificador isolado com proteção externa, fundamental para aplicações industriais. Outras possibilidades são os circuitos integrados da série XTR. Dentre os modelos XTR111, XTR115, XTR116 e XTR117, as diferenças residem no valor da tensão da saída de referência.

Diante disto propõe duas topologias de circuitos, ambas de baixo custo, porém sendo uma utiliza o circuito integrado dedicado da família XTR e outra com amplificadores operacionais, de maior viabilidade de aquisição comercial.

A embasada no circuito dedicado XTR111 justifica-se pelo baixo custo e dimensão extremamente pequena. Porém, devido este componente não estar diretamente acessível em qualquer laboratório de eletrônica das instituições de ensino, propõe-se também o projeto do circuito de condicionamento de sinais com a utilização de componentes eletrônicos como amplificadores operacionais, transistores, resistores, capacitores, os quais são mais acessíveis, de baixo custo e viáveis para a implementação do gerador de sinal de telemetria.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Dentre estas grandezas elétricas tem-se a padronização de tais medidas, afim de obter um entendimento comum da transmissão da informação do dispositivo. Para os padrões de tensão utilizados na indústria tem-se os seguintes: 0-5V, 0-10V, 1-5V, 2-10V.
Já os padronizados para sinal de corrente tem-se principalmente: 1-5 mA, 0-20 mA, 4-20 mA e 10-50 mA.

O padrão do sinal de corrente de 4-20 mA, elaborado em 1972, busca padronizar as redes industriais. Tal padrão é considerado como antigo, quando comparado com outros padrões, porém ainda tem muitas aplicações que o utilizam. É um padrão analógico que faz uso de um sinal de corrente na faixa de 4 mA a 20 mA. Sua utilização promove uma independência no que refere ao comprimento dos cabos e também oferece uma boa imunidade ao ruído eletromagnético (NETO, 2003).

Todavia, em plataformas da Petrobras ainda encontra-se, no projeto de instalação, redes industriais que utilizam o padrão 4-20mA, isto porque este possui um alto nível de segurança exigido nas plataformas marítimas de petróleo e o alto grau de segurança. Embora hoje exista uma tendência de substituição pelo sistema Fieldbus, tal substituição deverá ser gradual e muito cautelosa, para tanto se faz necessário um tempo de aplicação das novas tecnologias no mercado.

Com a evolução dos dispositivos e a inserção da tecnologia digital na indústria, e consequentemente nos dispositivos industriais, foi projetado um protocolo de comunicação digital para transmissão de informações a componentes sensores e atuadores, totalmente compatível com o padrão 4-20 mA, chamado protocolo HART (*Highway Addressable Remote Transducer*), sendo assim tal padrão continua sendo bastante utilizado.

Como os sinais provindos dos sensores e/ou transdutores geralmente são de pequena intensidade há necessidade de utilizar-se circuito condicionadores de sinais dos sensores. Em ambientes industriais os sinais dos sensores/transdutores geralmente estão imersos em ruídos espúrios. Além disso vários tipos de sensores apresentam presença de não linearidades muito acentuadas. Com base nestes fatores há a necessidade de compor o sinal de um sensor com outras variáveis, em um sinal de saída de tensão ou corrente padronizada, como por exemplo em tensão de 0 a 5V ou em corrente de 4 a 20 mA.

Com a transmissão em corrente obtém-se diversas vantagens, dentre tais vale ressaltar: imunidade a ruído; imunidade a queda de tensão na linha; imunidade a termopares parasitas; imunidade a tensão e resistência de contato; diferenciar sinal "zero" de circuito aberto. No entanto a desvantagem da transmissão em corrente é que o circuito tende a ser mais complexo seja de conversão de tensão para corrente ou de corrente para tensão (BRUSAMARELLO, 2011).

Nos próximos itens abordará os circuitos propostos neste trabalho para converter o sinal de tensão de entrada em um sinal de corrente de saída padronizada.

2.1. CHIP DEDICADO XTR111

O XTR111 é conversor de tensão para corrente de precisão, projetado para os sinais analógicos de 0-20 mA e 4-20 mA e pode fornecer até 36 mA. A razão entre o sinal de tensão de entrada e a corrente de saída é configurada pelo resistor Rset. O circuito do XTR111 também pode ser modificado para uma saída em tensão, ao invés de corrente.

Um transistor MOSFET tipo P garante uma alta impedância de saída e uma ampla faixa de tensão em conformidade que estende-se de 2V abaixo da fonte de alimentação Vvsp até a tensão do terra GND.

A saída ajustável do sub regulador de 3V a 1V fornece um tensão para circuito adicionais externos ao circuito integrado.

Um circuito detector de erro ativa uma saída lógica em caso de desvio na corrente de saída. Esta flag indica uma quebra de conexão por rompimento de cabo, alta carga no resistor acarretando um possível curto circuito na saída.

O pino OD serve para desabilitar, usado durante o estado de energização do chip, servindo também para a multiplexação e outras condições onde a saída não deverá apresentar corrente. Neste há um resistor de *pull up* interno que faz o XTR ir para o modo desabilitado, a menos que o pino OD esteja mantido em nível de tensão logico baixo.

O regulador de tensão do XTR111 pode ser ajustado de 3 a 1V e fornecendo até 5mA de corrente de carga. Ele destina-se a fornecer um sinal condicionado e excitação de sensor em sistema de sensores de 3 fios. Vale ressaltar que tensões acima de 3V pode ser configurado por um divisor resistivo apropriado.

A figura 1 mostra as conexões básicas para o XTR111. A tensão de entrada Vin reaparece sobre Rset e controla 1/10 da corrente de saída. O espelho de corrente tem um ganho preciso de corrente de valor dez. Esta configuração leva a seguinte equação:

$$Io = 10\frac{Vin}{Rset} \tag{1}$$

A saída do regulador de tensão pode ser configurada sobre a faixa de 3V a 12V pela seleção de R1 e R2 usando a seguinte:

$$V_{REGF} = 3V\frac{(R1 + R2)}{R2} \tag{2}$$

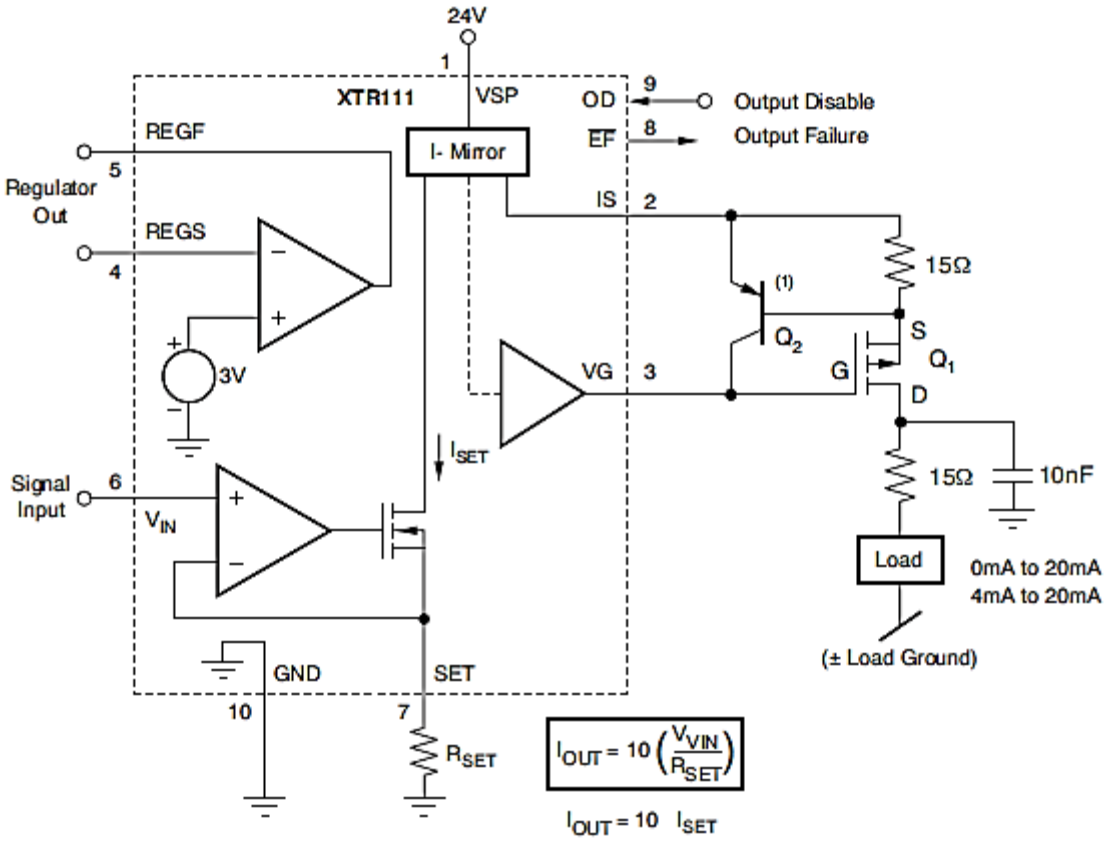

Figura 1 – Circuito com chip dedicado XTR 111.
Fonte: (TEXAS INSTRUMENTS, 2011).

2.2. Condicionamento de sinais com amplificador operacional

Seguidor de tensão unitário ou buffer

O seguidor de tensão unitário, mostrado abaixo, fornece um ganho unitário, sem inversão de fase do sinal de saída em relação ao sinal de entrada.

O circuito atua como buffer de estágios, fazendo o acoplamento de impedâncias entre os estágios de circuitos eletrônicos, reforçando a corrente do sistema.

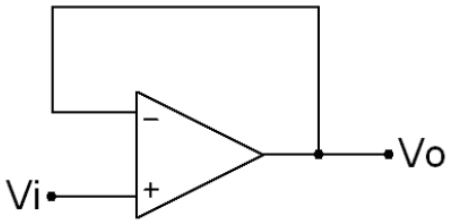

Figura 2 – Seguidor de tensão unitário.

Nesta topologia de circuito seguidor de tensão, temos que:

$$\mathrm{Vo} = \mathrm{Vi} \tag{3}$$

Amplificador diferencial ou subtrator

Com este circuito obtém-se na tensão de saída um valor igual à diferença entre os sinais de entrada, multiplicadas por um ganho.

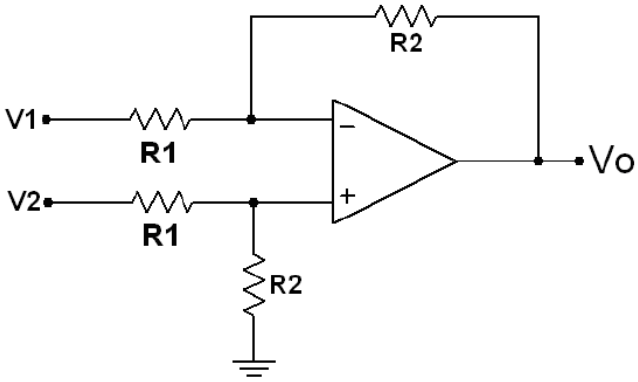

Figura 3- Amplificador diferencial.

Com o circuito amplificador diferencial a tensão de saída Vo é dada pela seguinte expressão:

$$\mathrm{Vo} = \frac{\mathrm{R2}}{\mathrm{R1}}(\mathrm{V2} - \mathrm{V1}) \tag{4}$$

Fonte de corrente

Como dito em instrumentação industrial depara-se frequentemente com a exigência de uma fonte de corrente, por exemplo, no caso de controlar atuadores como válvulas que operam no padrão de 4 a 20 mA.

O circuito fonte de corrente a seguir, de fácil implementação, utiliza componentes simples como transistor bipolar e amplificador operacional comum.

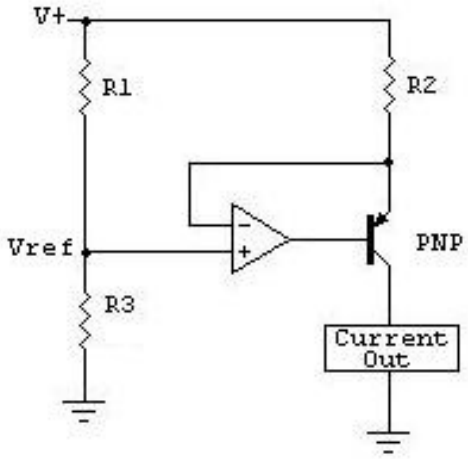

Figura 4 – Fonte de corrente.

Com os resistores R1 e R3 tem-se um divisor de tensão, o que gera uma tensão de referência Vref. Mas esta tensão de referência pode ser obtida de diversas formas, como através de um diodo zener, conversor D/A, entre outros.

Sendo assim, tem-se que a corrente na carga Io, que é a corrente de coletor do transistor PNP, é igual a corrente no resistor R2, desconsiderando a corrente de base Ib. Como em geral, na maioria dos transistores de uso geral e baixa potência devido a um alto hfe, pode-se aproximar efetuar a aproximação corrente de emissor Ie igual a corrente de coletor Ic. Assim, tem-se que a corrente desta fonte pode ser calculada a partir da equação:

$$\mathrm{Io} = \frac{(\mathrm{V_+} - \mathrm{Vref})}{\mathrm{R2}} \qquad (5)$$

Mantendo-se constantes V+ e Vref, tem-se a corrente de saída também constante, até a saturação do transistor, estado a partir do qual, o transistor deixa de compensar a tensão do coletor em função da variação da carga para manter a corrente da carga constante.

3. METODOLOGIA E DESENVOLVIMENTO DO PROTÓITPO

A partir da pesquisa dos circuitos integrados comerciais existentes avaliou-se o comportamento e desempenho eletrônico através dos datasheets, podendo assim definir o componente com maior viabilidade econômica e acessível para a implementação do circuito de telemetria padrão.

Para a segunda opção de circuito de condicionamento de sinais proposto efetua-se a implementação e avaliação de seu funcionamento variando o sinal de entrada de 0 a 5V por meio de simulação eletrônica.

Os sistemas propostos são validados por meio de teste em bancada para o circuito XTR111 e com simulação completa do sistema de condicionamento de sinais com amplificadores operacionais. A partir disto, com os resultados obtidos obtém uma comparação entre os sistemas propostos.

3.1.Implementação do circuito com amplificador operacional

Nesta opção de circuito a implementação está embasada em amplificadores operacionais, os quais efetuam o condicionamento do sinal de entrada. Na figura 5 denota-se o circuito proposto, nota-se a utilização das topologias de circuito seguidor de tensão, subtrador, e fonte de corrente. O estágio do sinal de entrada é precedido por um seguidor de tensão ou buffer a fim de efetuar um acoplamento, ou casamento de impedância do sinal para etapa de subtração. No estágio de subtração observa-se a necessidade de um sinal de referência negativo em torno de -1.25V, o qual deve ser obtido a partir de um ajuste por potenciômetro da alimentação de -12V e conectado ao subtrador por meio de *buffer* de tensão, que efetuar o casamento adequado de impedância para o circuito subtrador.

E por fim temos na saída um circuito fonte de corrente o qual mante em sua saída uma corrente de saída constante devido ao princípio de terra virtual.

Tal sistema de condicionamento de sinais é implementado no ambiente simulador Isis do Proteus VSM e verificado o seu funcionamento para uma sinais de entrada de 0 a 5V. O projeto completo contendo a fonte de alimentação provinda da rede CA, sua retificação e regulação para ±12V.

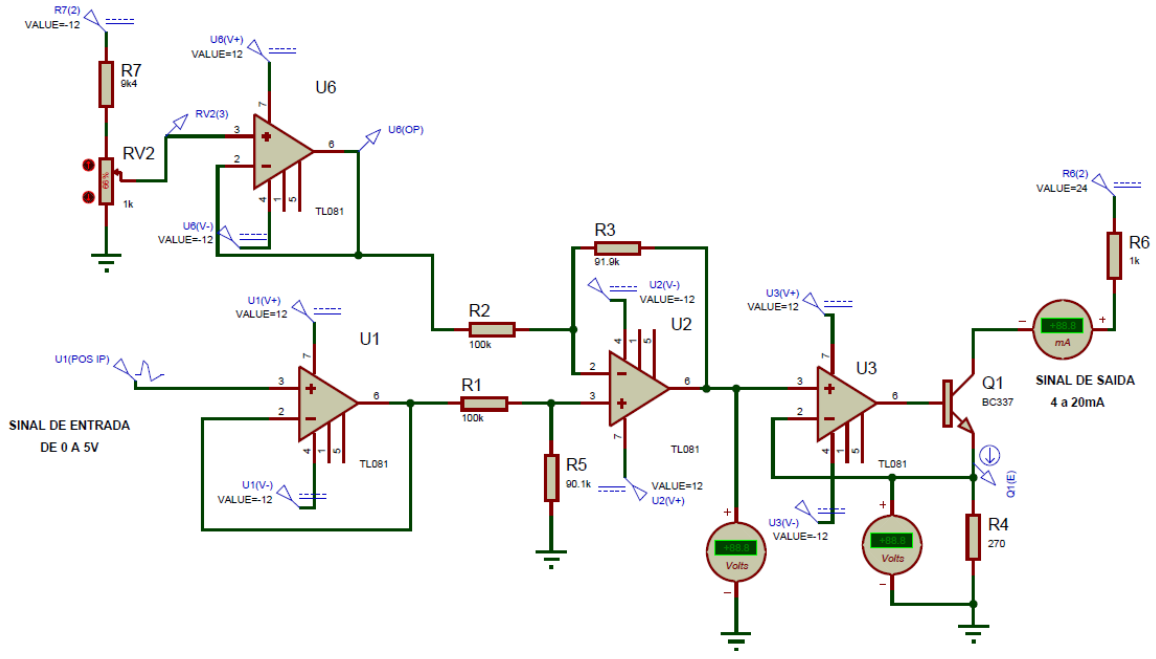

Figura 5 – Circuito de gerador de 4 a 20 mA com amplificadores operacionais.

Teste de condicionamento de sinais com amplificadores operacionais

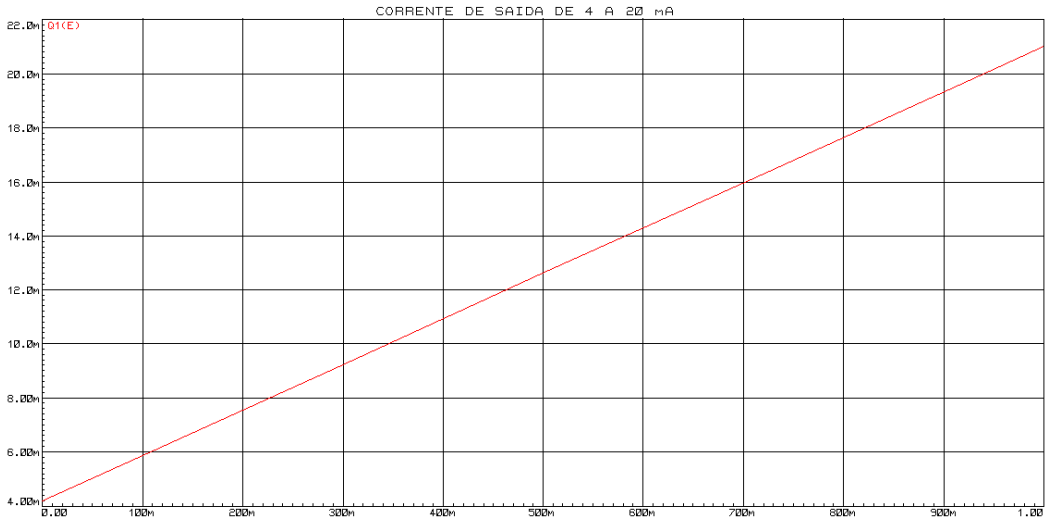

Figura 6 – Sinal de saída de 4 a 20 mA correspondente ao sinal de entrada de 0 a 55V no circuito com amplificadores operacionais.

3.2.Implementação do circuito com XTR111

Para uma a saída de 4 a 20 mA o XTR111 não fornece um sinal de 4mA para um sinal de entrada de 0V. Para isto deve-se implementar uma conexão de dois resistores entre a tensão de referencia de 5V e o sinal de entrada ligando para o pino de entrada Vin do XTR111. Tal implementação está denotada na figura 7 com uma tensão de referência de 5V, fornecendo assim uma faixa completa do sinal de saída de 4 a 20mA para sinal de entrada de 0 a 5V. Vale ressaltar que a saída de tensão regulada do chip ou uma referência mais precisa deve ser usar para fornecer esta referencia de tensão de 5V. Pois um potencial desvio na saída poderá ocorrer associado com o desvio provindo de resistores e da tensão de referência.

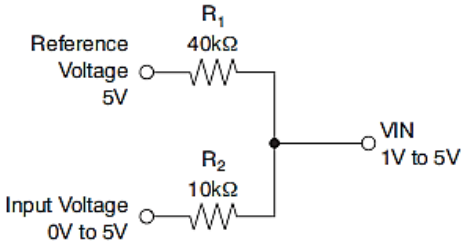

Figura 7 – Divisor Resistivo para uma saída de IMIN até IMAX (4 a 20 mA) com sinal de entrada 0 a VFS.

Um circuito externo limitador de corrente deve ser implementado a fim de proteger o XTR111. Na figura 8 mostra-se um exemplo de circuito limitador de corrente. A corrente deverá ser limitada no valor de até 50 mA. O resistor R6 de 15Ω limita a corrente em aproximadamente em 37mA (33mA quando quente). O transistor PNP devera permitir uma corrente de pico de algumas centenas de mA. Um exemplo de transistor a ser utilizado e

recomendado pelo fabricante é o KST2907. A adição do transistor limitador de corrente e R6 requer um tempo para descarregar o *gate* do MOSFET externo. R7 e C3 são adicionados por esta razão, bem como para limitar a declividade dos pulsos de distorção externa, vide nas figuras 9 e 10 a ação de filtragem com R7 e C3 para sinais ruidosos. Já para proteção contra sobre tensão e EMI circuitos adicionais devem ser agregados conforme a aplicação desejada.

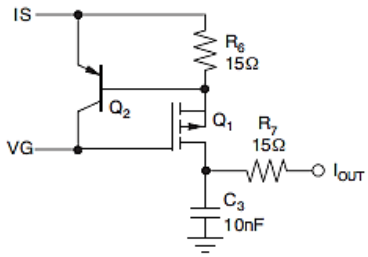

Figura 8 – Circuito limitador de corrente externa ao MOSFET.

O regulador ajustável de tensão fornece uma corrente externa de até 5 mA. Este regulador do XTR111 oferece um pino de acionamento REGF e de sensoriamento REGS para permitir um ajuste externo da tensão do regulador de tensão, conforme denotado na figura 11. A entrada de sensoriamento REGS é referenciada a 3V, representando o menor nível de tensão ajustável.

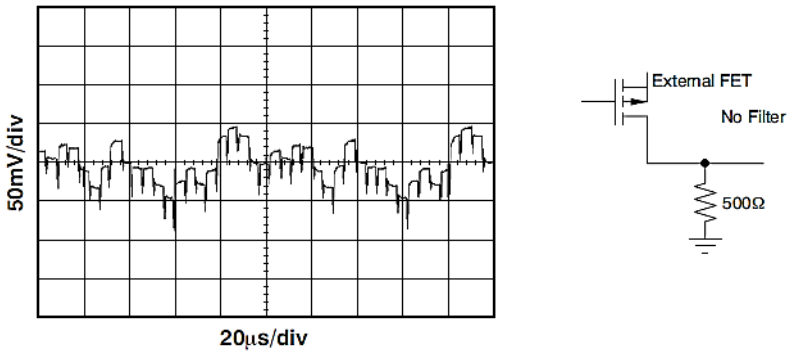

Figura 9 – Saída ruidosa sem filtro no resistor de 500Ω.

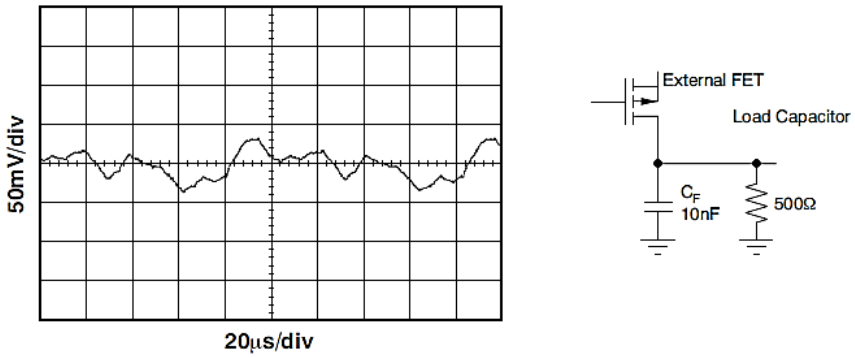

Figura 10 – Saída com filtro contendo um capacitor de 10nF.

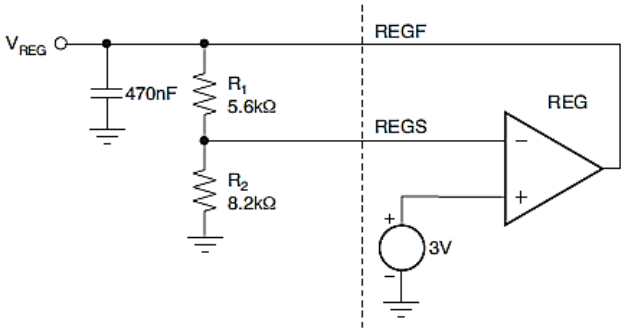

Figura 11 – Conexão básica do regulador de tensão para V_{REG} igual a 5V.

O divisor resistivo que ajusta o valor de VREGF é dado pela seguinte expressão:

$$V_{REGF} = \frac{(R1 + R2)}{R2} V_{REGS} \quad (6)$$

Esquema Eletrônico e placa do circuito desenvolvido

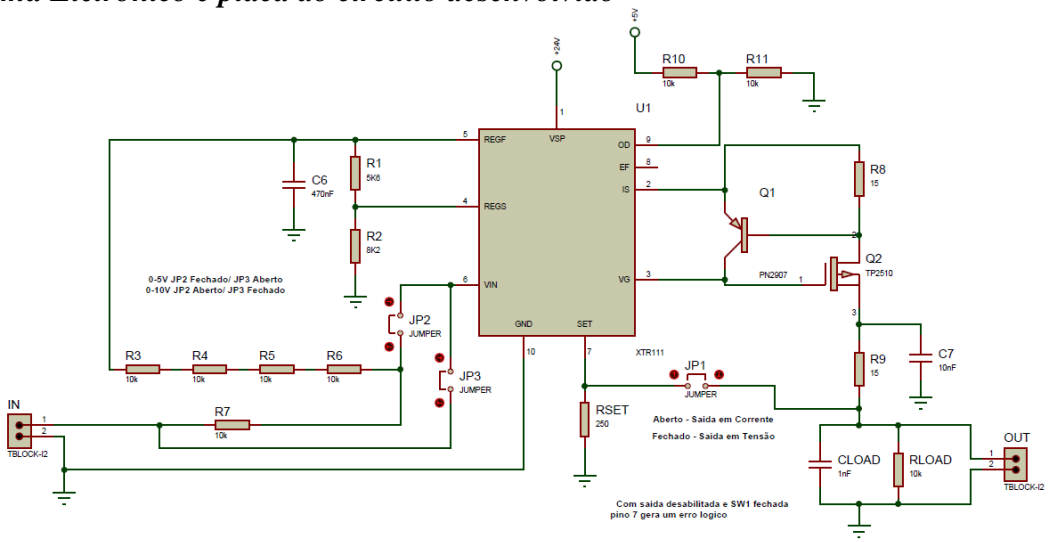

Figura 12 – Circuito desenvolvido com XTR111.

Desenvolvimento de layout e placa do XTR111

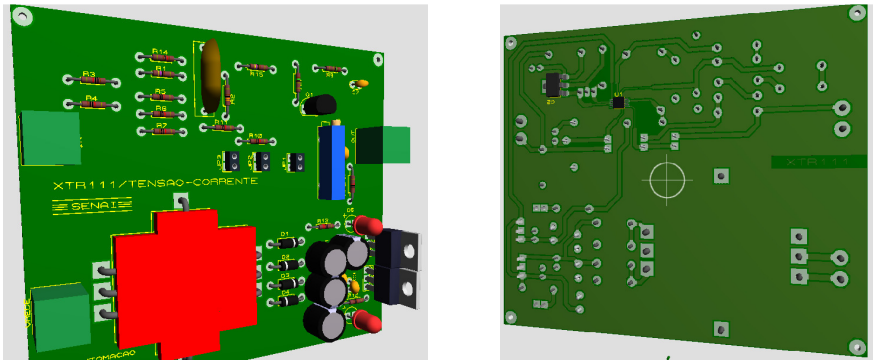

Figura 13 – Desenvolvimento do layout da placa de circuito impresso.

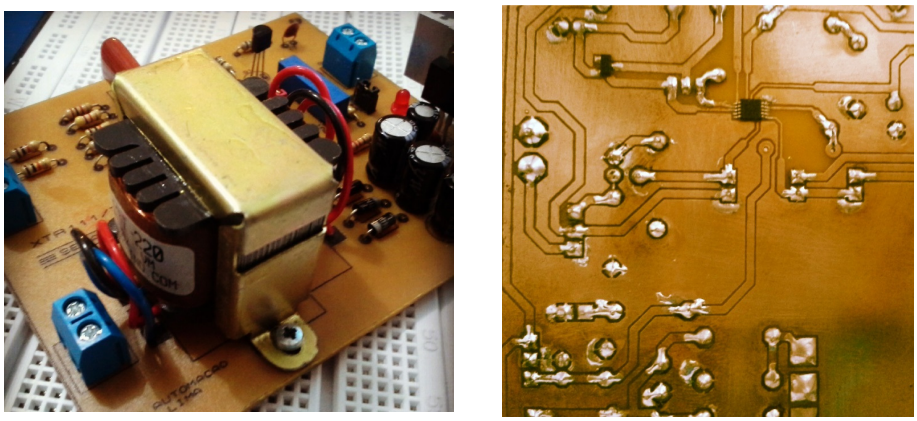

Figura 14 – Montagem do protótipo.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dada a importância e relevância do desenvolvimento de módulos educacionais de baixo custo para implementação prática de conceitos teóricos do campo de trabalho da instrumentação industrial. Com isto este trabalho vem a contribuir com o estudo e o projeto de implementação de um gerador de sinais de telemetria padrão com entrada em tensão e saída em corrente padrão industrial. Consistindo de duas propostas de baixo custo, sendo uma com um chip dedicado e outra a partir de um arranjo discreto com amplificadores operacionais e componentes de fácil acesso a laboratórios de eletrônica.

Com isto este trabalho fornece uma contribuição fundamental para as instituições de ensino técnico e superior de implementarem um gerador de sinais de telemetria padrão de baixo custo, com diversas aplicações industriais. Para trabalhos futuros sugere-se a montagem de uma bancada de instrumentação completa contendo diversos sensores com padrões industrial distintos, agregados aos condicionadores de sinais adequando tais sinais para um microcontrolador processar e controlar atuadores no padrão 4 a 20 mA, onde então será imprescindível a utilização do gerador de 0 a 5V para 4-20 mA desenvolvido neste trabalho.

Agradecimentos

As instituições de ensino Universidade Estadual de Londrina e SENAI-PR pela disposição de seu laboratórios, e à CAPES pelo fomento e incentivo financeiro à pesquisa no curso de pós graduação.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRUSAMARELLO, Valner. Condicionamento de sinais. Eletricidade e instrumentação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.

NETO, José Alves do Nascimento. Padrão 4-20mA e Protocolo HART. Disciplina: Instrumentação Industrial. Universidade Federal da Paraíba. Campina Grande, 2003.

SUNYUAN SZ. Datasheet ISO EM-A4-P1-01. The Application Solution on the External Protection of Isolation Amplifier/Transmitter IC. ISO Series Analog signal Isolation Transmitter. 200-.

TEXAS INSTRUMENTS. Datasheet XTR111. Precision Voltage-to-Current Converter/Transmitter. SBOS375C. June, 2011.

WENDLING, Marcelo. Amplificadores operacionais. Universidade Estadual Paulista. Campus de Guaratinguetá. Guaratinguetá, 2010.

PROPOSAL OF SIGNAL GENERATOR STANDARD TELEMETRY FOR PRACTICAL INDUSTRIAL INSTRUMENTATION

Abstract: *This paper proposes to develop a generator telemetry signals standard industrial instrumentation of low cost, accessible to beginning students and educational institutions. The market for generating telemetry signals of standard industrial instrumentation is a closed market where proffer few specific products. There are commercial generators, but with high costs, being unviable for education and beginners in instrumentation and automation. With this proposed two circuit topologies, both low cost, but being one uses the dedicated chip XTR111 and other circuit with operational amplifiers, which is of greater commercial viability of acquisition.*

Key-words: *Industrial Instrumentation, telemetry, signal conditioning, XTR111.*