

RELATÓRIO FINAL DE INSTRUMENTAÇÃO – F 530

**Medidas de transporte elétrico em
nanoestruturas**



Aluno: Leonardo Castilho Couto RA:024293

Orientadora: Profa. Mônica Alonso Cotta

Prof. Responsável: Dr. José Joaquim Lunazzi

**IFGW/UNICAMP
NOVEMBRO/2006**

I. RESUMO DO PROJETO

Neste projeto, desenvolveremos instrumentos capazes de caracterizar o transporte elétrico de amostras de nanoestruturas. Trabalharemos neste caso em particular com amostras de nanofios semicondutores. Os nanofios representam o trabalho atual que vem sendo desenvolvido neste grupo de pesquisa. Porém, o trabalho desenvolvido aqui pode servir para a caracterização elétrica de qualquer tipo de nanoestrutura, em amostras que representem baixos níveis de corrente e que venham a precisar ser medidas a diferentes temperaturas, desde a temperatura ambiente, até a temperatura do Hélio líquido.

II. INTRODUÇÃO

Quando um volume de material atinge a escala de nanômetros, suas propriedades físicas e químicas podem ser significativamente diferentes do material macroscópico equivalente. A origem deste fenômeno está nos efeitos de tamanho, tais como mudança na razão superfície-volume e confinamento quântico. Nos últimos anos, a pesquisa em nanossistemas tem aumentado continuamente, não só devido as suas propriedades, interessantes e únicas, mas também ao seu potencial de aplicação em novas tecnologias.

Apesar de todos os progressos na pesquisa em nanociência, o estudo (e manipulação) destas pequenas estruturas é um tema complicado. Ainda é bastante difícil analisar ou isolar experimentalmente a resposta de cada estrutura individual da resposta coletiva nestes sistemas. Além disso, a grande quantidade de átomos superficiais pode induzir efeitos importantes na interação com outras superfícies ou matriz de suporte. Apesar destas dificuldades, a investigação destes aspectos se apresenta como um caminho promissor para a geração de materiais com fins tecnológicos específicos.

Nanoestruturas semicondutoras têm cada vez mais um papel importante dentro do panorama científico e estratégico, nacional e internacional. Estas estruturas apresentam novas propriedades físico-químicas associadas a sua baixa dimensionalidade como efeitos de superfície e confinamento quântico, que as distinguem dos materiais

volumétricos. Estas propriedades permitem novas funcionalidades desses materiais, que os fazem altamente interessantes do ponto de vista tecnológico [1-5]. Em particular, os arrays de nanoestruturas e nano-objetos mostram-se como excelentes candidatos para integração com as plataformas atuais de micro e nanofabricação, com aplicações concretas já demonstradas em várias áreas da ciência e tecnologia.

Nos últimos anos, vários dispositivos tem tido seu design estendido para estruturas de menor dimensionalidade, como, por exemplo, o diodo de tunelamento ressonante. Este dispositivo tem seu funcionamento fortemente baseado em fenômenos quânticos. Em sua forma convencional, são fabricados utilizando um poço quântico (QW) e duas barreiras de tunelamento. Em cada lado destas barreiras um material de pequeno gap de energia atua como emissor e coletor. A funcionalidade é baseada no alinhamento ressonante dos estados ocupados no emissor em relação aos estados quantizados no QW. Assim, a transmissão através do dispositivo é possível apenas para certos intervalos de tensão aplicada, proporcionando picos bem localizados na curva característica corrente-voltagem e também regiões de voltagens aplicadas com condutância diferencial negativa [6].

A redução da dimensionalidade neste tipo de dispositivo, por exemplo, utilizando o nanofio (1D) como emissor e coletor e um ponto quântico no interior do nanofio como a região central do dispositivo, permite que o elemento filtrante seja discreto, e fornece ao mesmo tempo informações importantes sobre o alinhamento de níveis eletrônicos na heteroestrutura formada no nanofio [7]. Neste projeto pretendemos trabalhar nesta direção, estabelecendo etapas de processamento e caracterização elétrica dos nanofios manipulados. A análise das propriedades elétricas individuais destes nanobjetos será feita em função das diferentes características do seu design, por exemplo, a presença de pontos quânticos, acoplados ou não, no nanofio.

III. PROGRAMA DE AQUISIÇÃO DE MEDIDAS

Vamos detalhar aqui o programa implementado em linguagem LabView e exibido em anexo. O programa faz a comunicação do computador com o picoamperímetro, possibilitando o envio de comandos, assim como a aquisição de nas medidas, em formato texto, para análise posterior.

Para as medidas elétricas no LPD/IFGW foi utilizado o picoamperímetro Keithley 6487 do próprio laboratório, adquirido com recursos CNPq. O equipamento possui uma porta para comunicação com PC compatível com o protocolo GPIB e programas implementados para LabView, que executaria a comunicação entre o PC e o equipamento. Apesar de termos no laboratório um PC com placa para aquisição de dados GPIB, temos apenas o registro proprietário para a versão 4.1 do programa LabView, enquanto os programas que vieram com o equipamento funcionam para as versões LabView 5 e LabView 6. Por este motivo, não utilizamos estes programas.

Foi implementado então todo o programa para a comunicação com o picoamperímetro, que está exibido em anexo a este relatório.

Utilizando técnicas para programação voltada a objetos, foram criados inicialmente dois programas, o Send Message (anexo 6.1) e o Receive Message (anexo 6.2). Estes programas são a base de toda a implementação. Basicamente ele usa um objeto do próprio LabView, que se comunica com a porta GPIB do computador. Passando os parâmetros como endereço, timeout, número de caracteres, etc, é possível enviar e receber mensagens para o equipamento.

Esses dois programas são então usados como objetos para implementação dos programas que mandam comandos ou recebem informações para o dispositivo. Esses programas simplesmente passam um texto como parâmetro para o Send Message. No máximo usam um if ou um vetor para interpretar a entrada do usuário.

Os programas citados acima estão mostrados nos anexos de 6.3 a 6.19. No programa 6.11 (Trace Data) que recupera os dados, é usada uma sequence, para primeiro fazer o

requerimento dos dados mandando uma mensagem, aguardar a resposta, e então obter a resposta do equipamento. E no 6.15 (Voltage Sweep) temos um for para mandar diversas instruções em sequência.

Todos esses programas podem ser executados individualmente, e a sintaxe para os comandos foi retirada do manual do picoamperímetro. Os demais programas nos anexos 6.20, 6.21 e 6.22 são mais complexos, pois usam os programas implementados (objetos) de forma a realizar um conjunto de funções. Estes programas são os usados na prática.

O primeiro – anexo 6.20 (Configure System IV) - é utilizado inicialmente, antes de começar as medidas, para configurar os parâmetros a serem usados (filtros, limites de corrente, tensão a ser aplicada, etc.). Não é necessário executar este programa repetidas vezes, já que essas configurações não mudam entre as medidas.

Após ter configurado o sistema, para começar a executar a medida, basta executar o programa do anexo 6.21 (Init System IV) que o equipamento realiza a variação de tensão configurada.

Finalmente, ao término da medida, o programa do anexo 6.22 (Select IV) traça um gráfico com os pontos obtidos e salva os dados num arquivo. Deste modo, podemos interpretar a medida assim que ela é terminada. E para fazer novas medidas, basta rodar novamente os programas dos anexos 6.21 e 6.22.

Todos os programas contêm um parâmetro Error In e Error Out. Estes parâmetros são utilizados para evitar, no caso dos programas que usam vários objetos, de continuar enviando comandos após ter ocorrido algum erro em outro objeto executado anteriormente.

IV. INSTRUMENTAÇÃO PARA REALIZAÇÃO DAS MEDIDAS

Primeiramente foi necessário colocar a amostra em um suporte que permitisse a conexão direta entre os fios do picoamperímetro e determinados pontos da amostra. Isso é uma tarefa bastante difícil, dado as dimensões dos contatos, que podem ser observados na figura 1 abaixo.

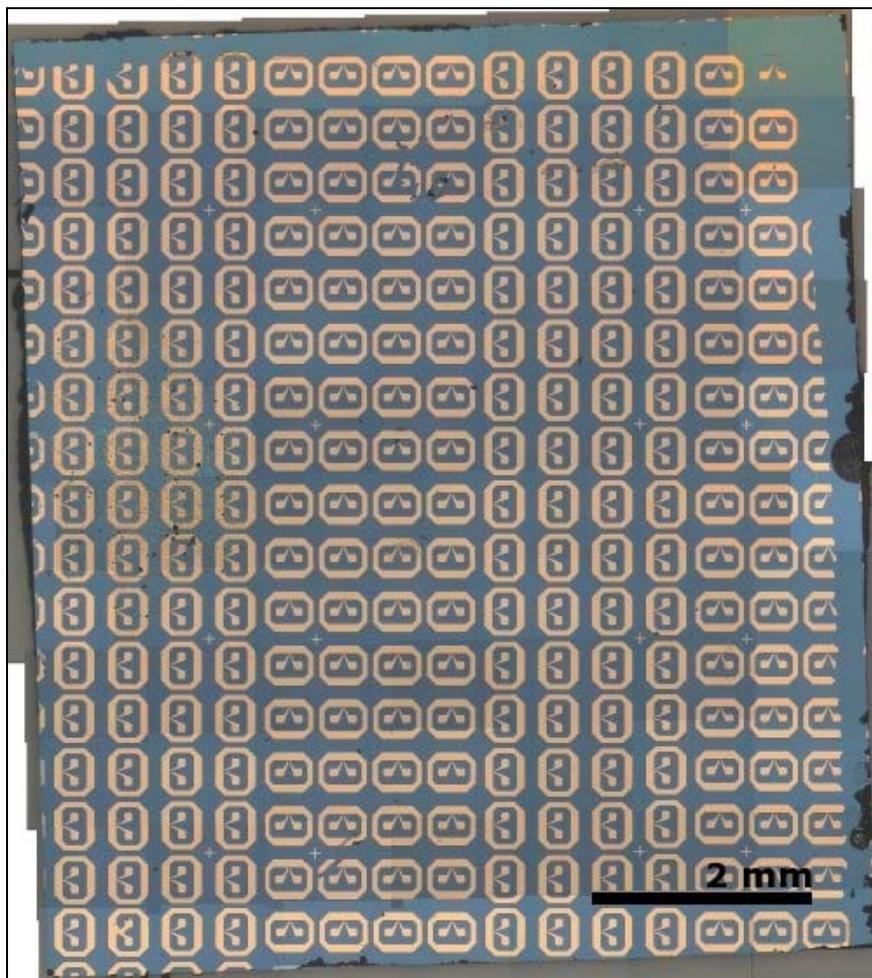


Figura 1 – Aparência real da amostra, feita a partir de um mosaico de 11x7 imagens tiradas no microscópio ótico no LPD/IFGW cada uma com magnificação de 50 vezes, montado num editor de imagens.

Os contatos são mostrados em dourado na foto da figura 1, cada anel corresponde a um dispositivo, e apresenta 3 contatos distintos, um no anel, e outros dois no interior dos anéis (mesas). Na figura 2 abaixo, temos uma ampliação do dispositivo usado.

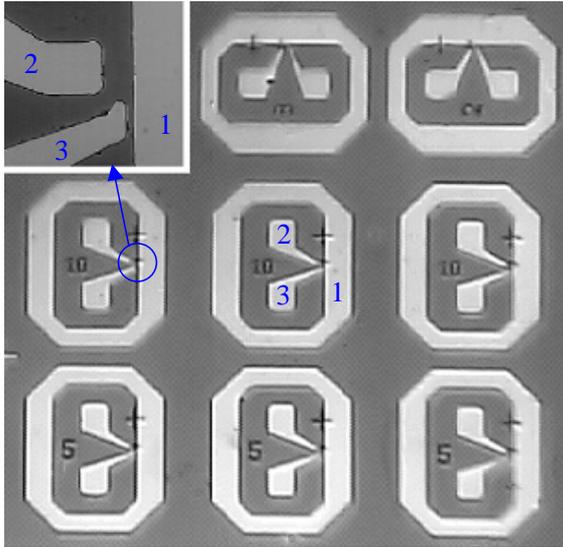


Figura 2 - Imagem no microscópio ótico da amostra processada. Os contatos elétricos (números 1, 2 e 3 em azul) são mais claros. No *inset* a ampliação da região permite visualizar melhor como os três contatos (*pads*) estão dispostos. A distância perpendicular entre os *pads* 1 e 2, utilizada para deposição do nanofio, é de $\sim 10\mu\text{m}$.

Para fabricar os contatos necessários foi utilizada uma técnica chamada *wire bonding*, esta técnica é muito empregada na microeletrônica e consiste em soldar um fio de alumínio, ouro ou cobre entre algum ponto da amostra e um dispositivo próprio. No caso utilizamos um dispositivo DIL24, e a solda foi feita um fio de alumínio, com diâmetro de $15\mu\text{m}$. Este mesmo processo pode ser utilizado para amostras de diferentes tipos, onde se deseja fazer medidas elétricas. Abaixo temos uma foto da amostra colocada nesse dispositivo.

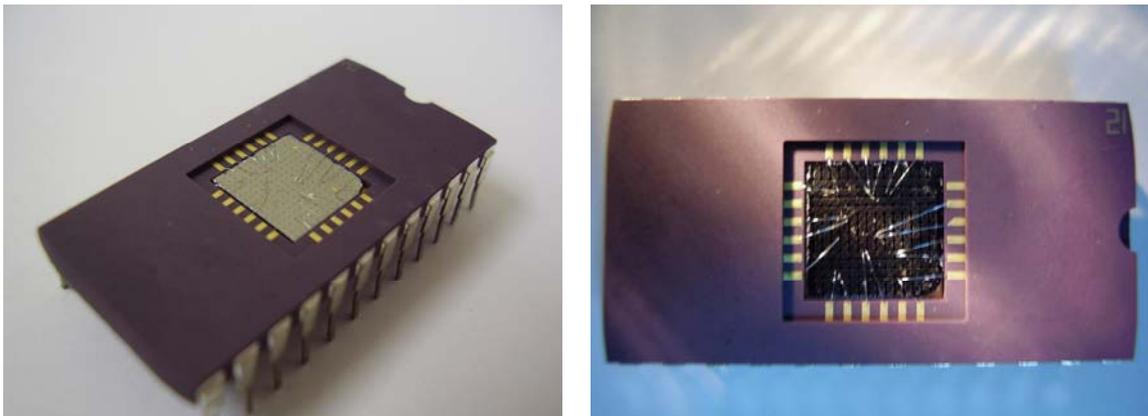


Figura 3 - Configuração final da amostra montada, mostrando as soldas nos *pads* metálicos.

O processo foi realizado com a colaboração do Centro de Pesquisas Renato Archer - CENPRA, que proporcionou o uso do *wire bonder*. Após esse processo, podemos aplicar voltagem em determinados pontos da amostra através dos 'pinos' do dispositivo. No entanto, ainda existe uma dificuldade em fazer medidas com um picoamperímetro, pois os contatos são muito próximos e existe uma dificuldade em acoplar os fios do aparelho de medidas.

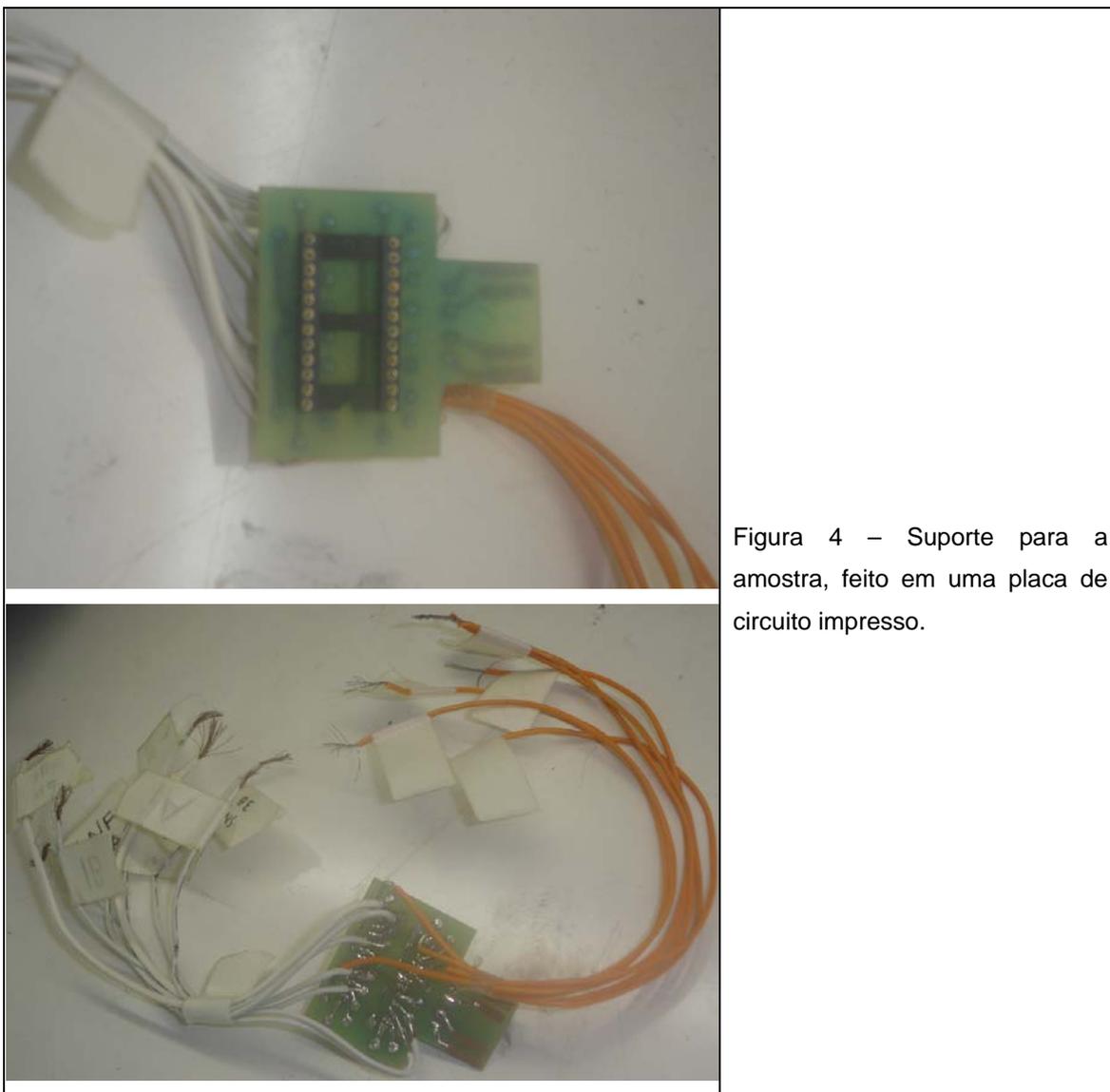


Figura 4 – Suporte para a amostra, feito em uma placa de circuito impresso.

Com o suporte construído da figura 4, e com os fios soldados, é possível conectar facilmente um aparelho de medida a determinados pontos da amostra, utilizando um cabo do tipo jacaré. Porém, os fios sem blindagem são fonte muito grande de ruído. Para resolver esse problema é necessário colocar o suporte, junto com a amostra, numa caixa, eletromagneticamente blindada (que não deixa ondas eletromagnéticas passarem).

Essa caixa não pode deixar as ondas eletromagnéticas que causam ruídos passarem, pois a corrente medida em dispositivos de escala nanométrica chega a ser da ordem de alguns picoampères, porém, seria útil se a caixa também permitisse a realização de medidas a baixas temperaturas, como por exemplo, nitrogênio líquido. Como sistemas de isolamento e criogenia costumam a ser caros, a solução adotada foi construir esse sistema com matérias de baixo custo, como alumínio e isopor.



Figura 5 – Caixa para blindagem de ruídos elétricos, e medidas com amostra imersa em nitrogênio líquido.

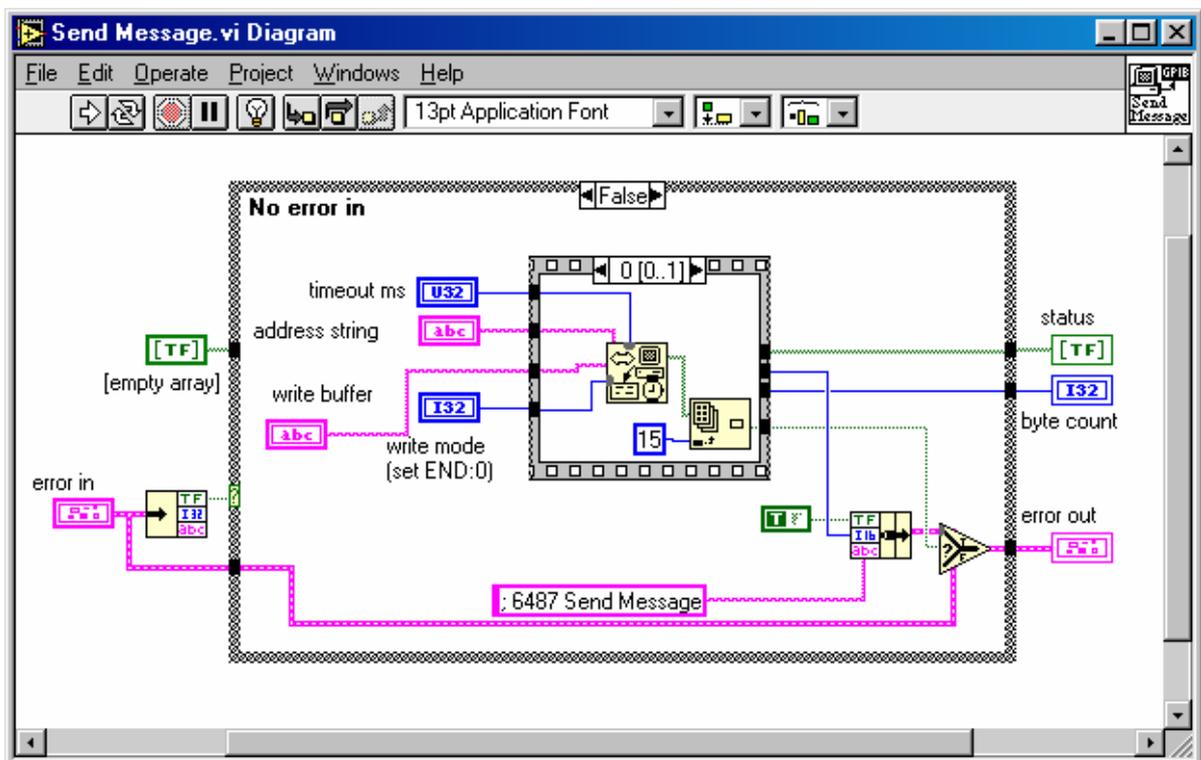
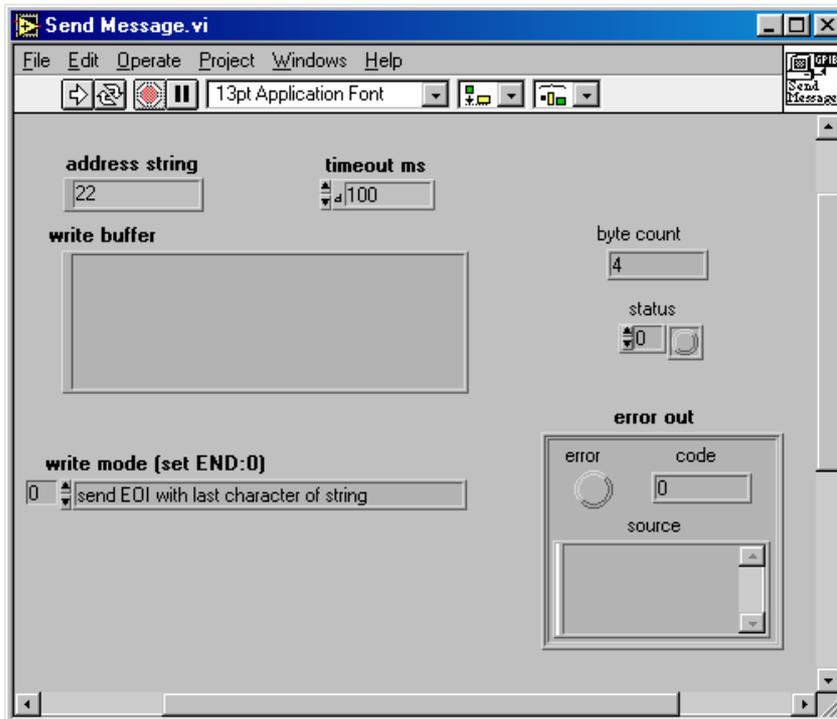
Com essa solução é possível imergir a amostra em nitrogênio líquido, dentro da caixa, existe um pequeno furo para passar os fios para a parte externa. Esta solução de baixo custo, mostrou ser bastante eficiente, e permitiu medidas elétricas com corrente da ordem de dezenas pA sem ruídos. É importante observar também a qualidade do aparelho de medida, que contribuiu para que medidas dessa ordem de magnitude pudessem ser feitas.

REFERÊNCIAS:

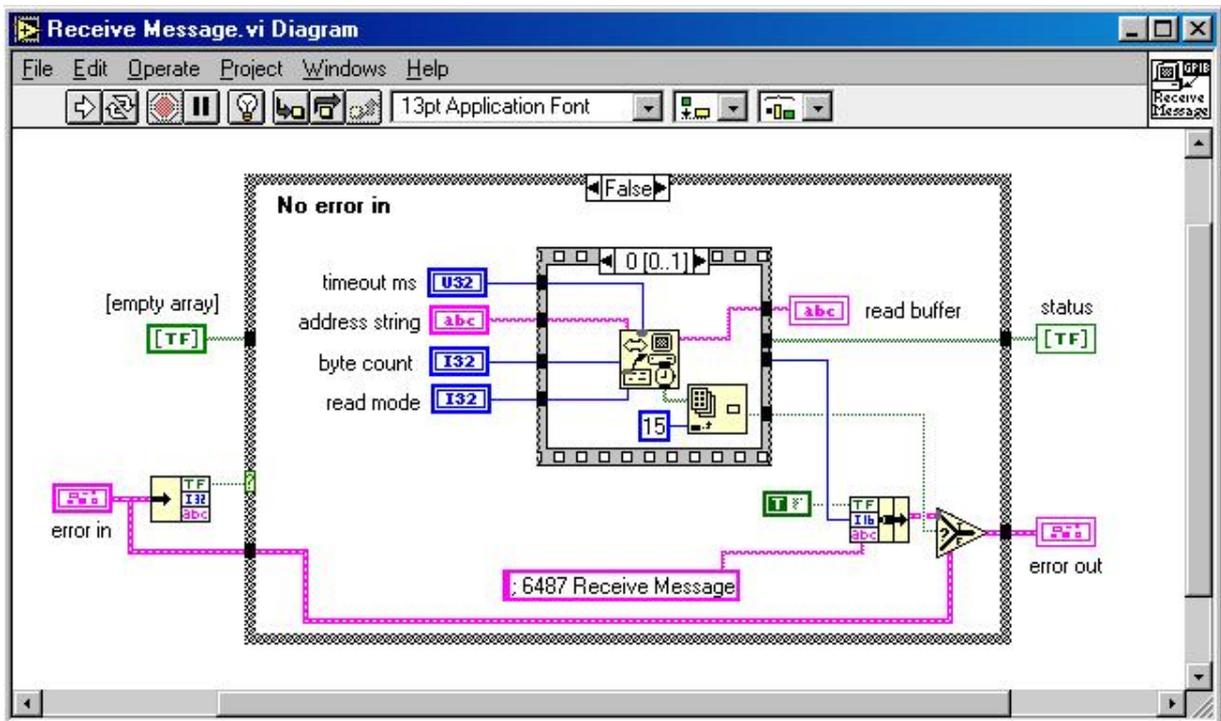
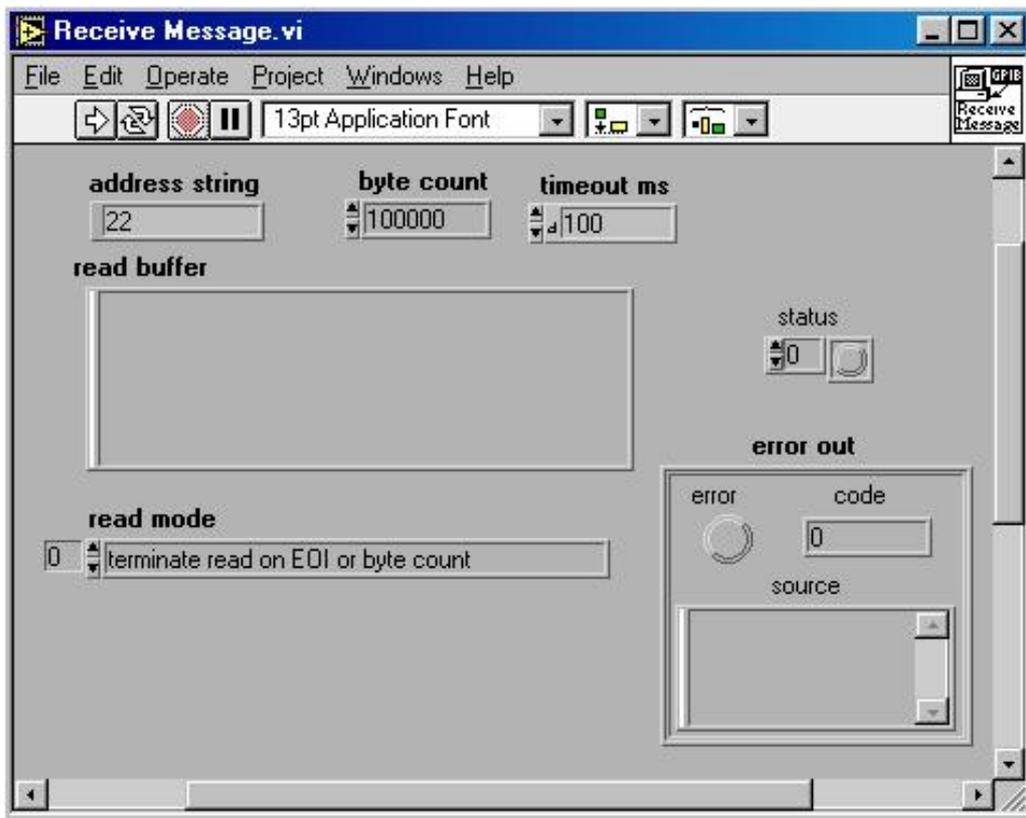
- [1] Y.CUI AND C.M.LIEBER, SCIENCE 291, 851 (2001).
- [2] M.S. GUDIENSEN, L.J. LAUHON, J.WANG, D.C. SMITH AND C.M. LIEBER, NATURE 415, 617 (2002)
- [3] A.I.HOCHBAUM, R.FAN, R.R.HE AND P.D.YANG, NANO LETT. 5, 457 (2005)
- [4] R.KONENCAMP, R.C.WORD AND C.SCHLEGEL, APPL.PHYS.LETT. 85, 6004 (2004)
- [5] S.M.KOO, A.FUJIWARA, J.P.HAN, E.M.VOGEL, C.A.RICHTER, J.E.BONEVICH, NANO LETT. 4, 2197 (2004)
- [6] S. LURYI, APPL. PHYS. LETT. 47, 490 (1985)
- [7] L. SAMUELSON, M.T. BJORK, K. DEPERT, M. LARSSON, B.J. OHLSSON, N. PANEV, A.I. PERSSON, N. SKOLD, C. THELANDER, L.R. WALLENBERG, PHYS.E 21, 560 (2004)

6. Anexos

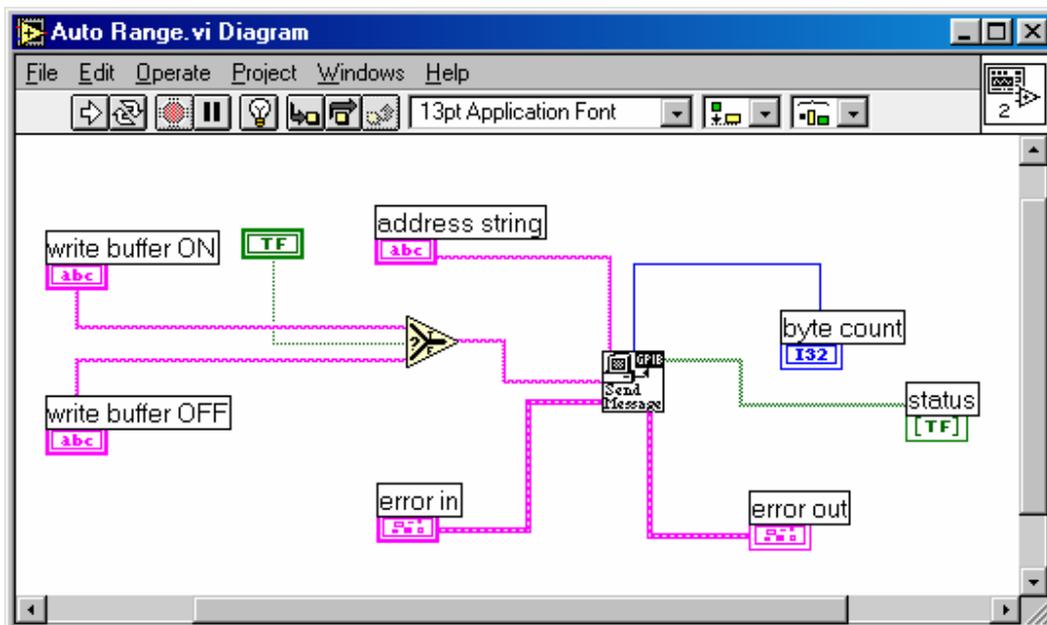
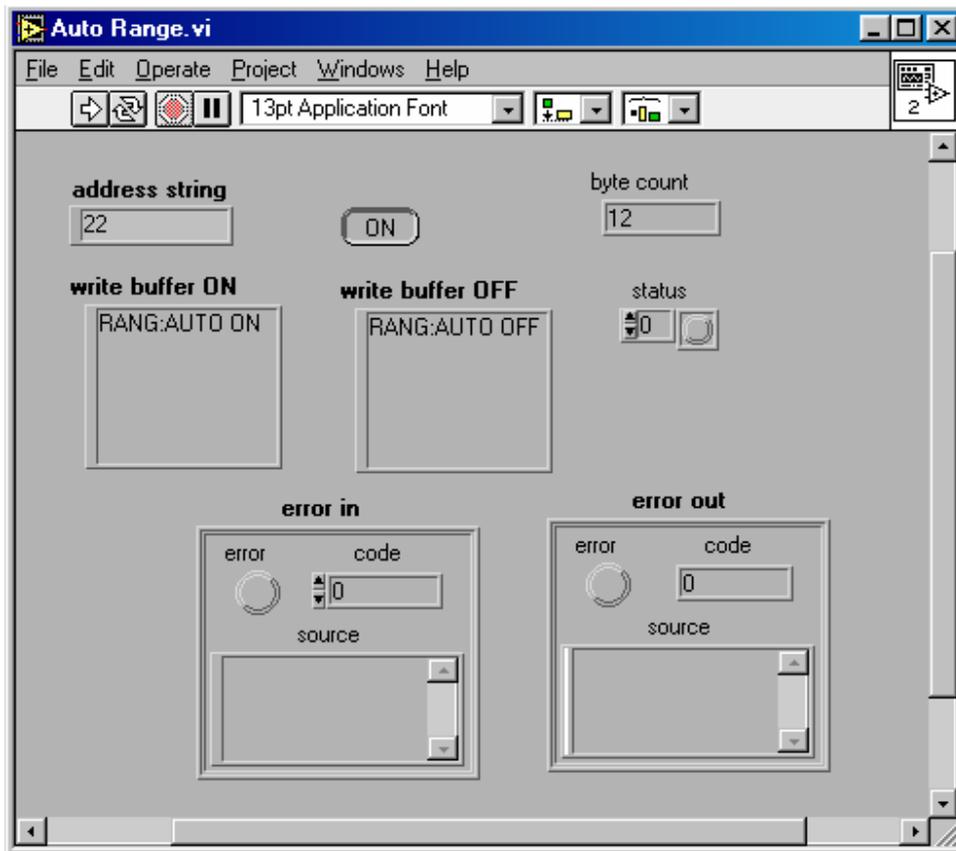
6.1. Send Message.vi



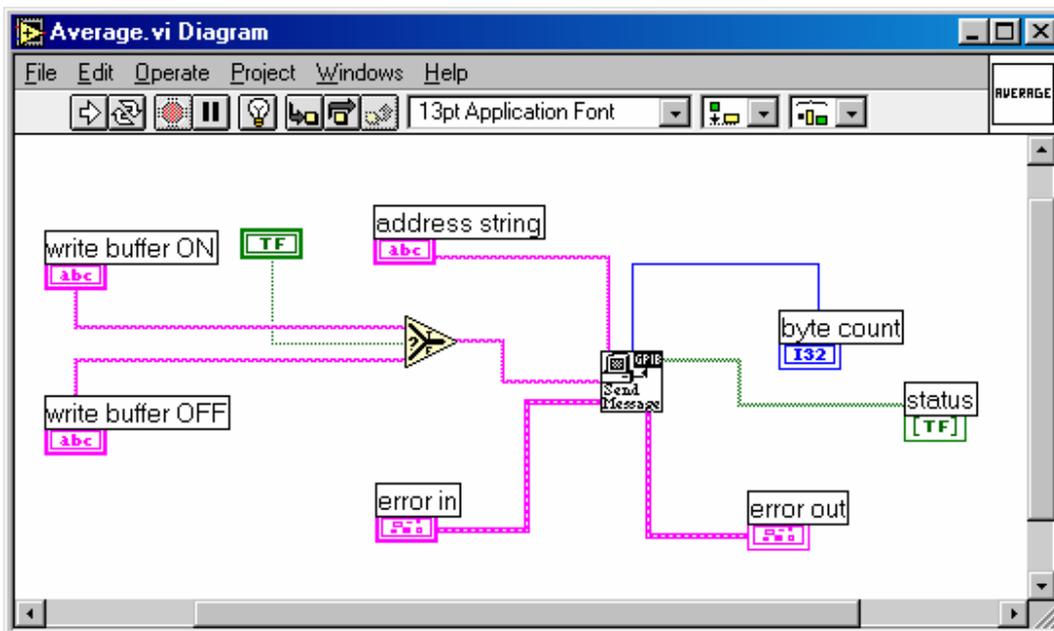
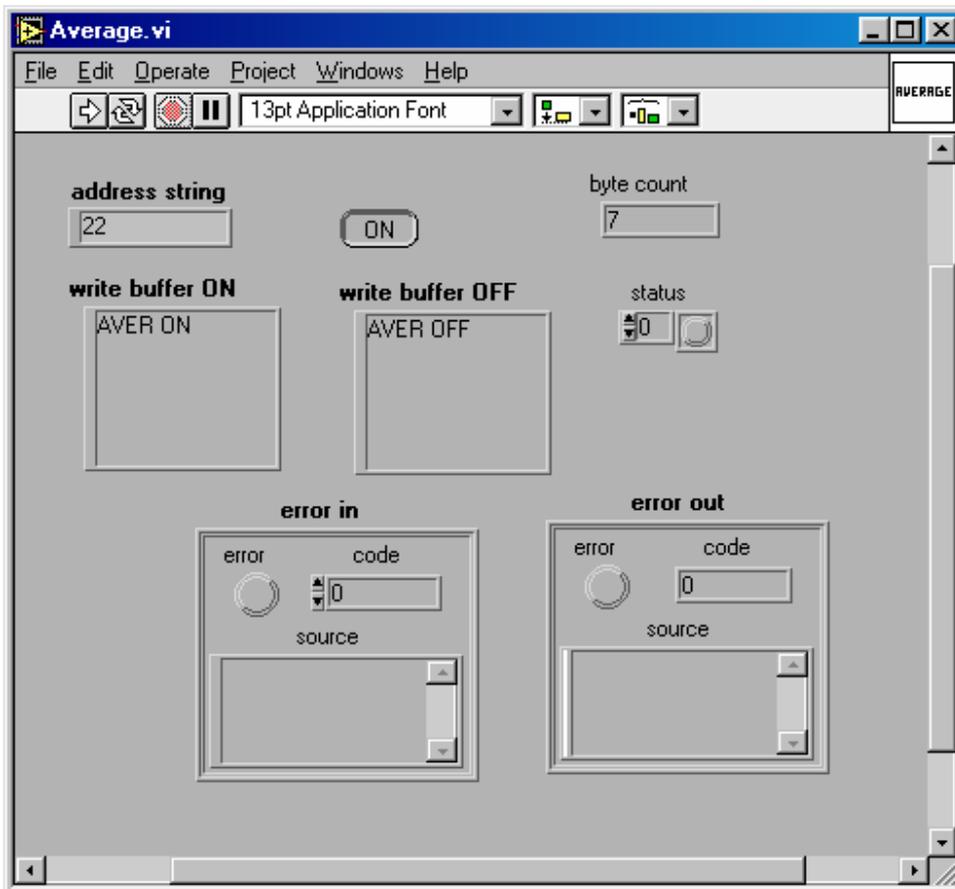
6.2. Receive Message.vi



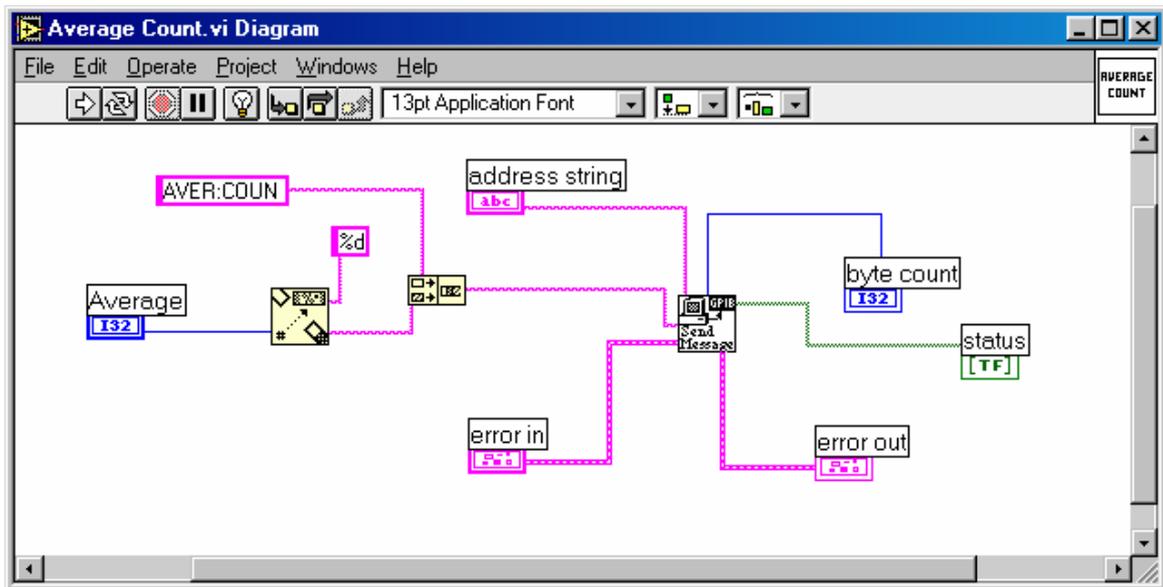
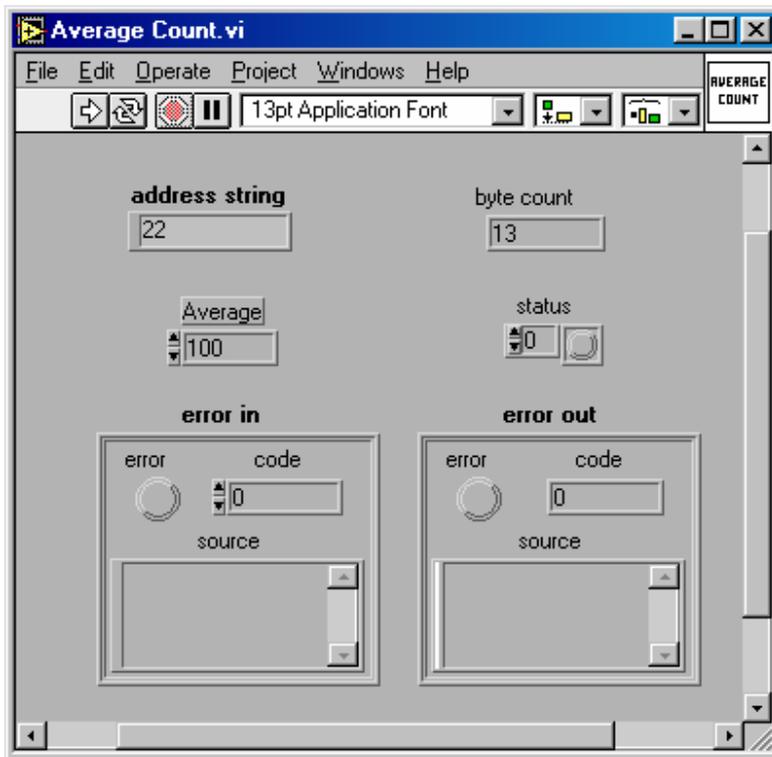
6.3. Auto Range.vi



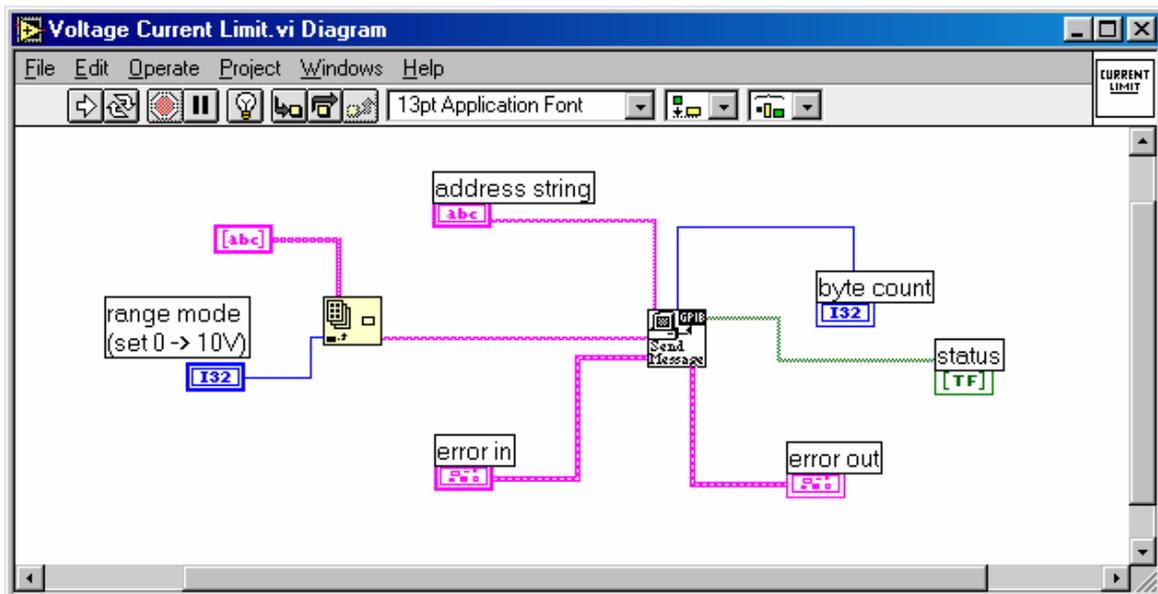
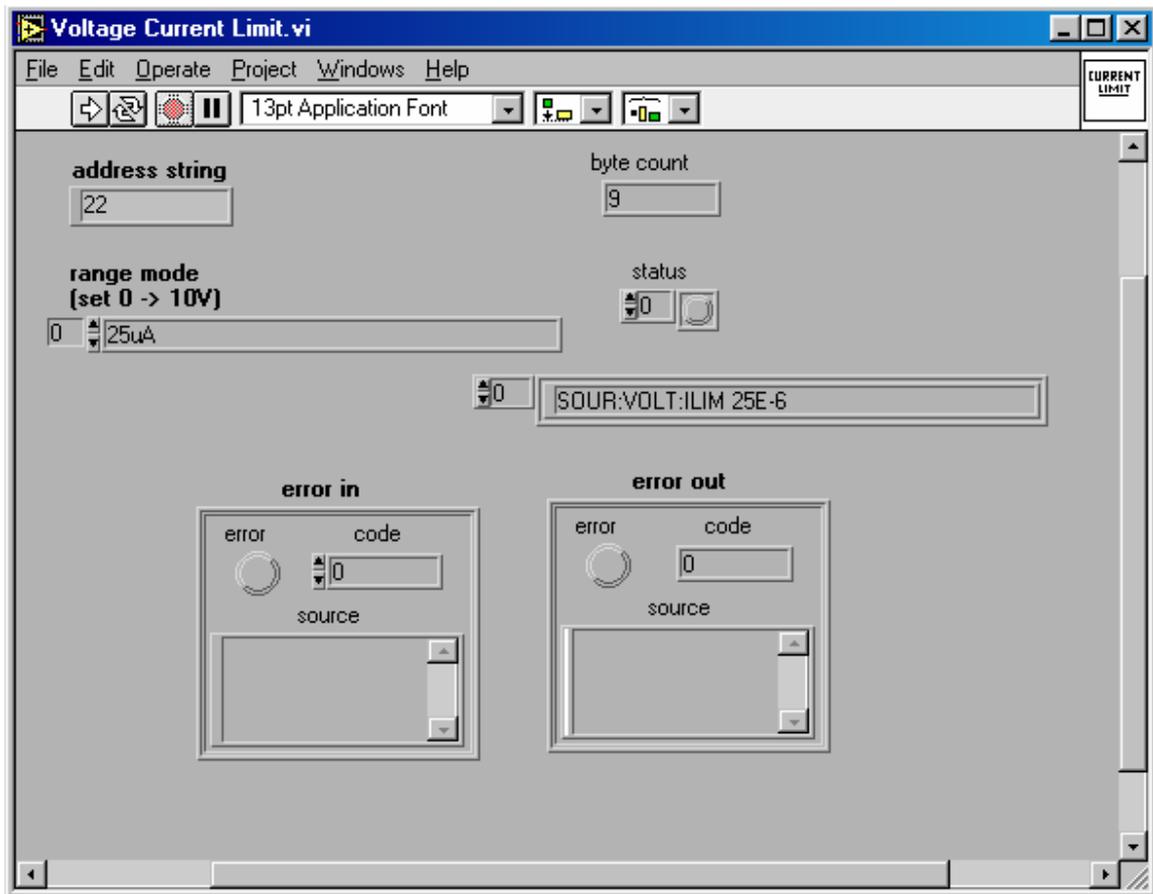
6.4. Average.vi



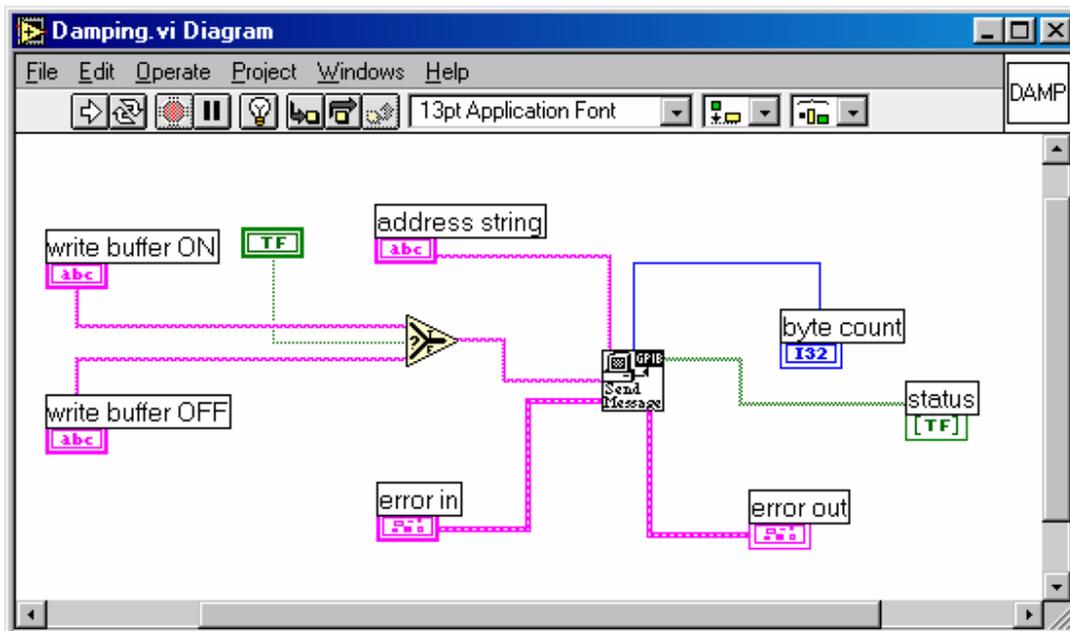
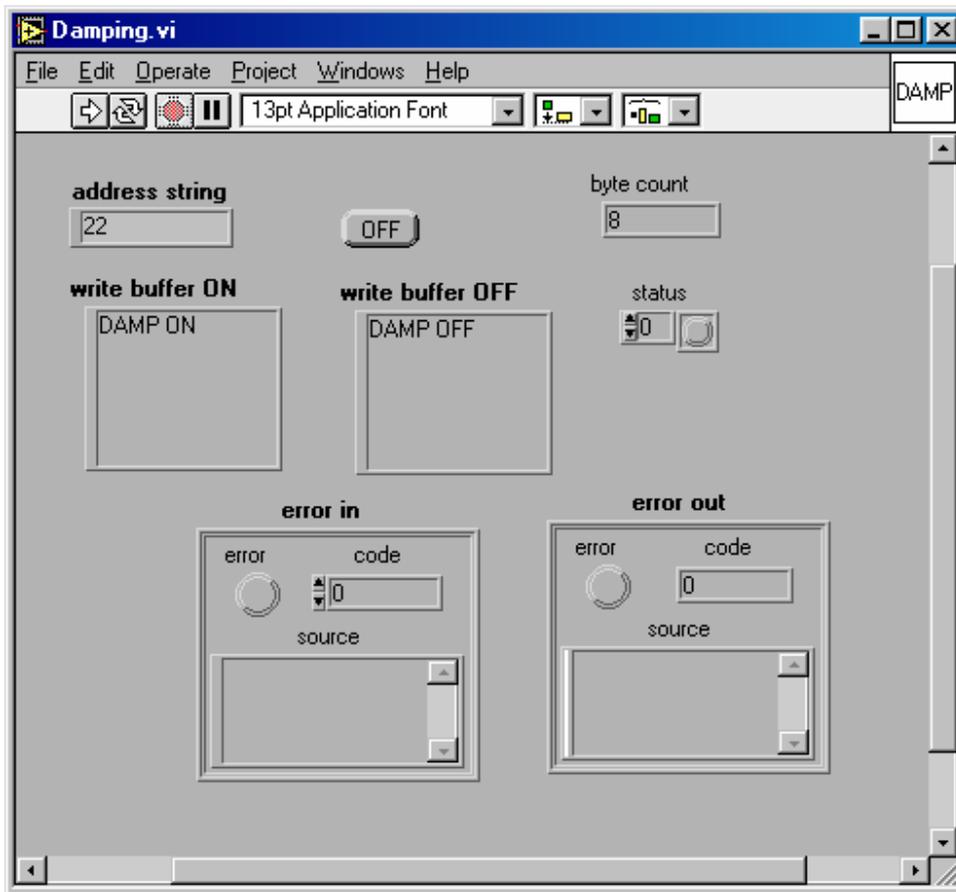
6.5. Average Count.vi



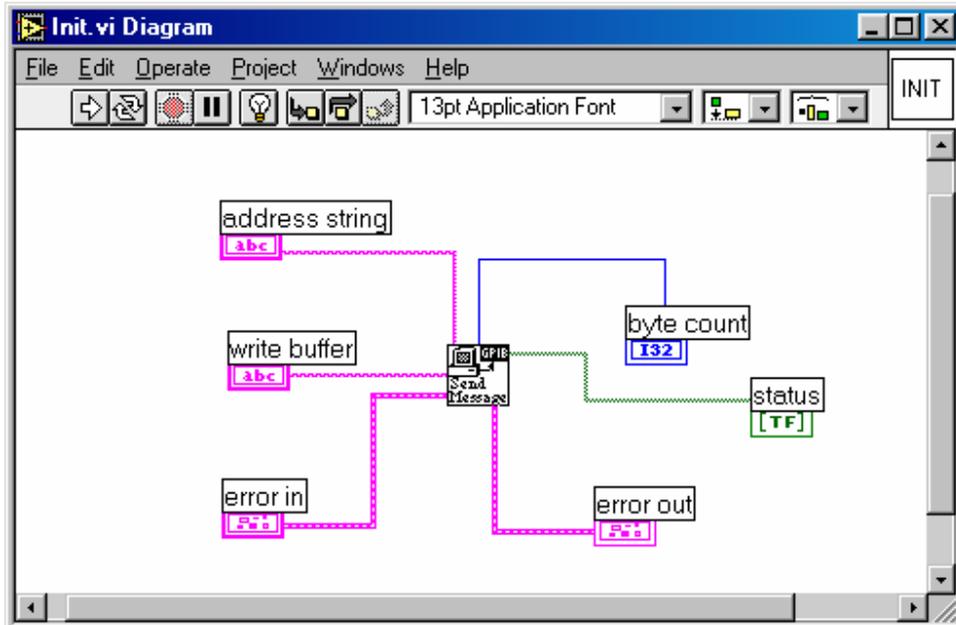
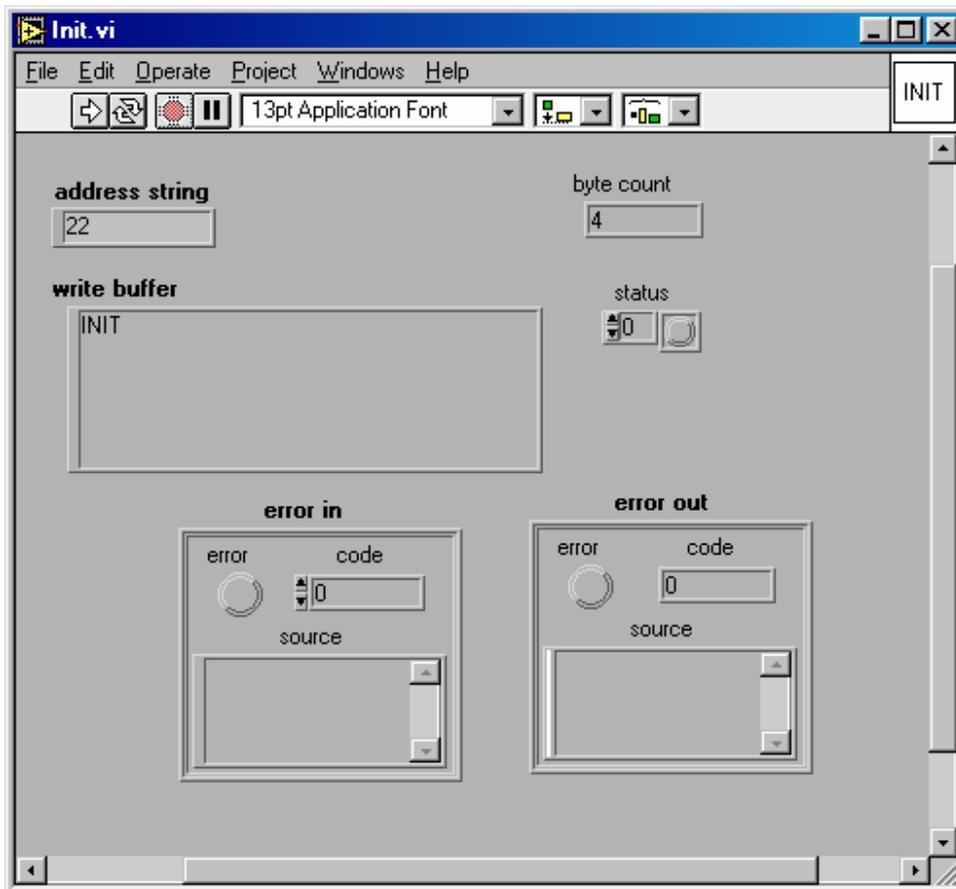
6.6. Voltage Current Limit.vi



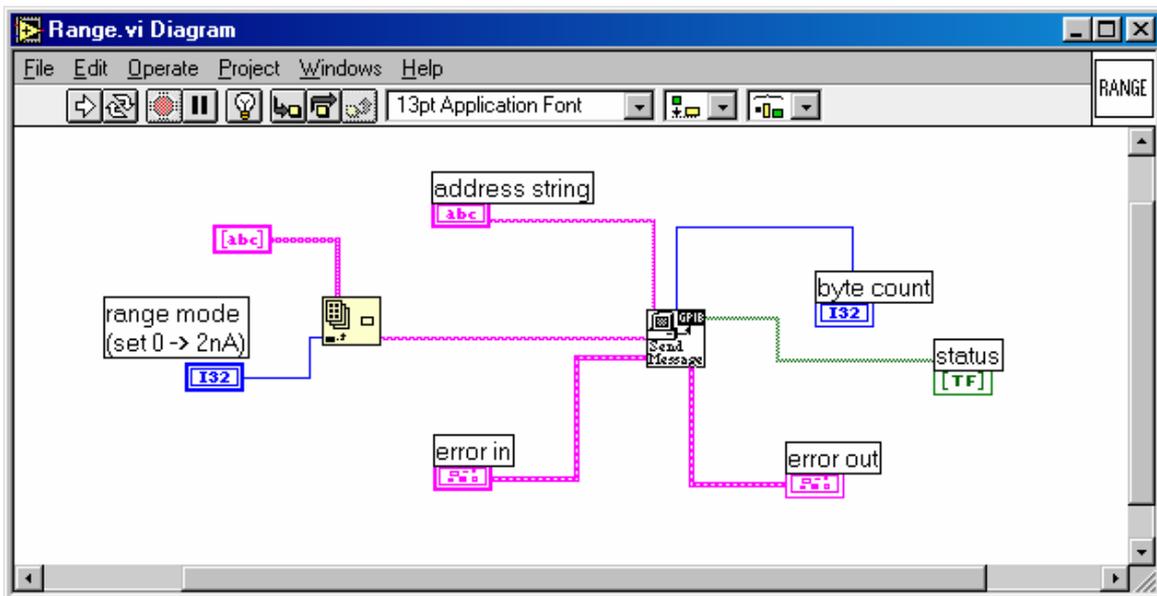
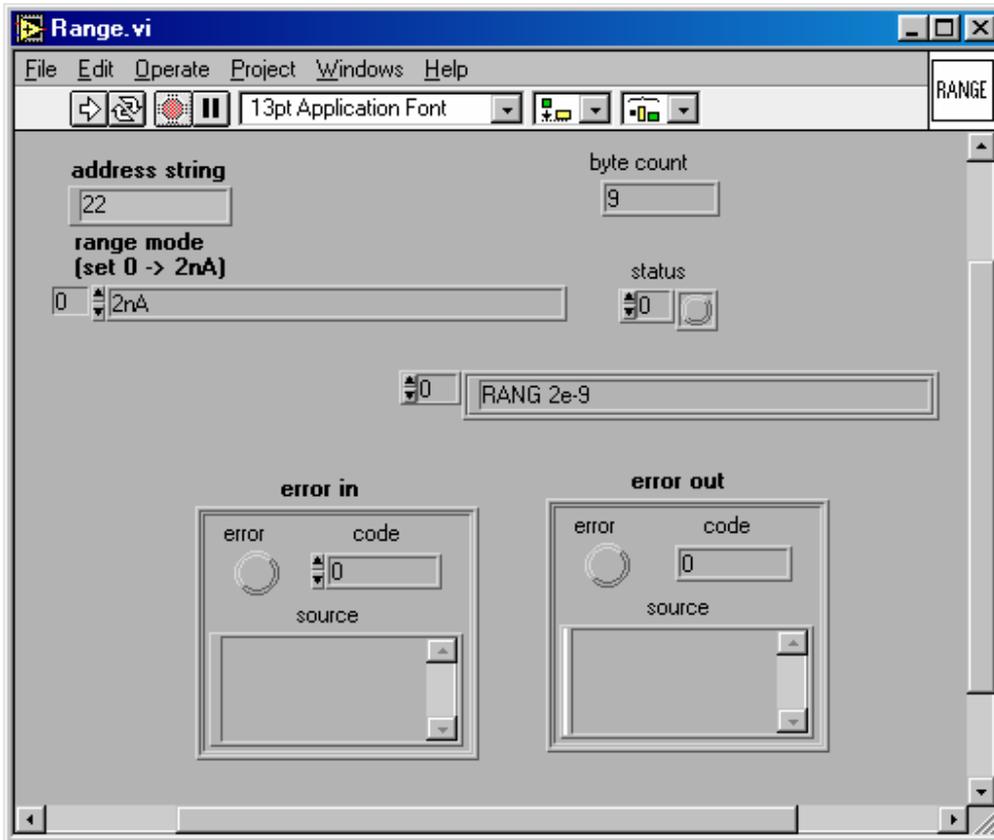
6.7. Damping.vi



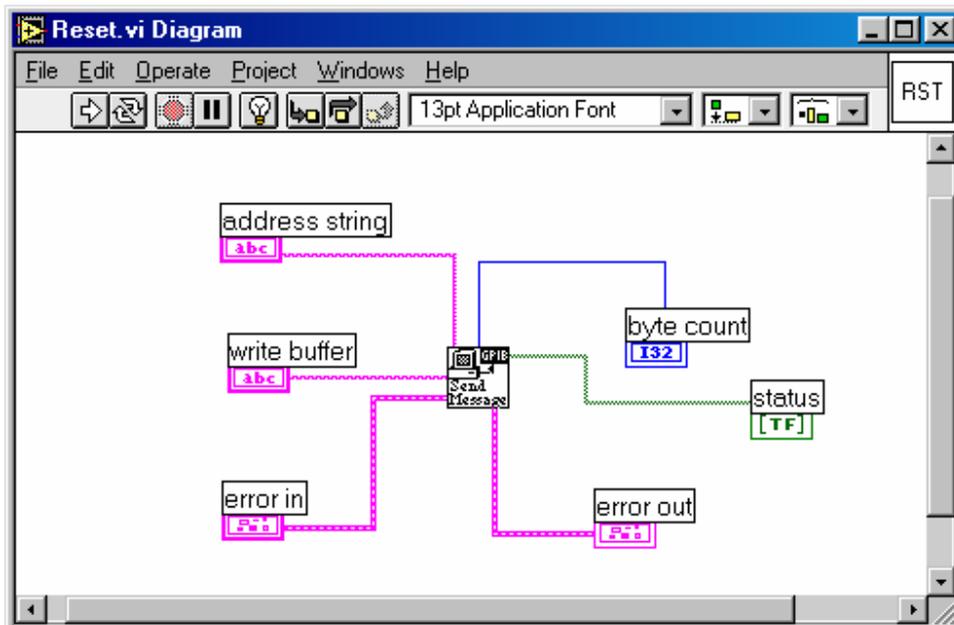
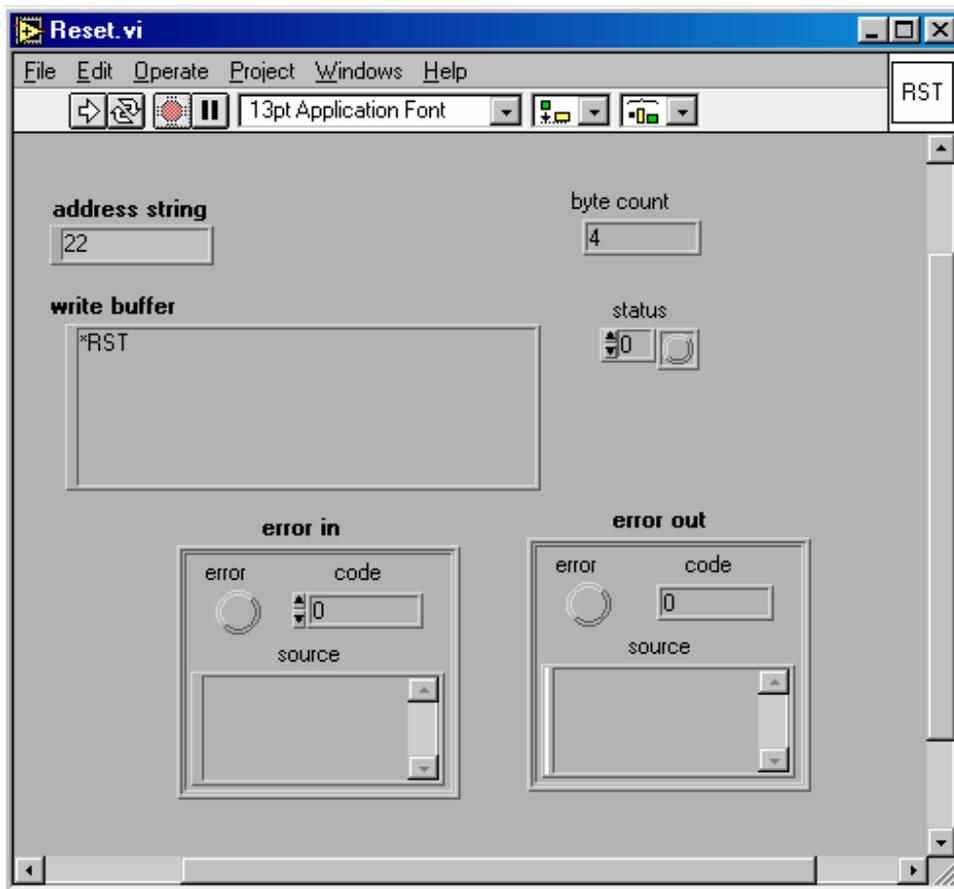
6.8. Init.vi



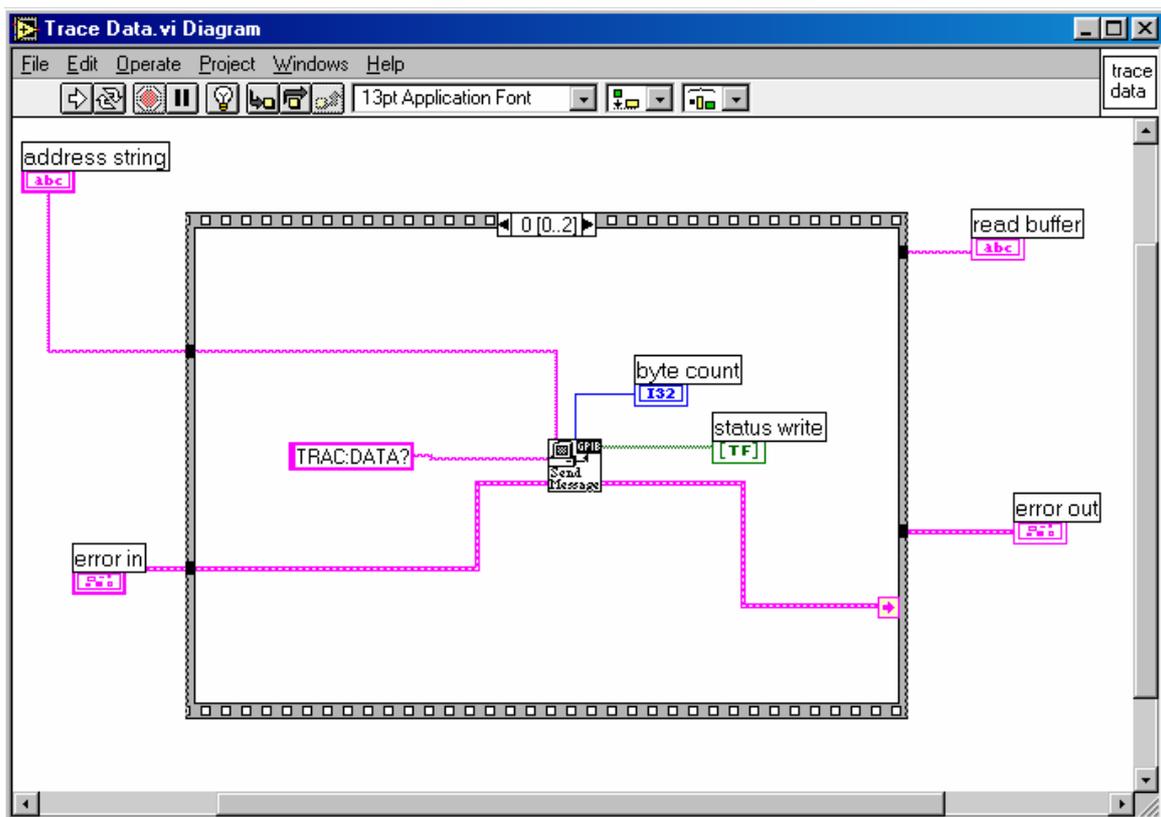
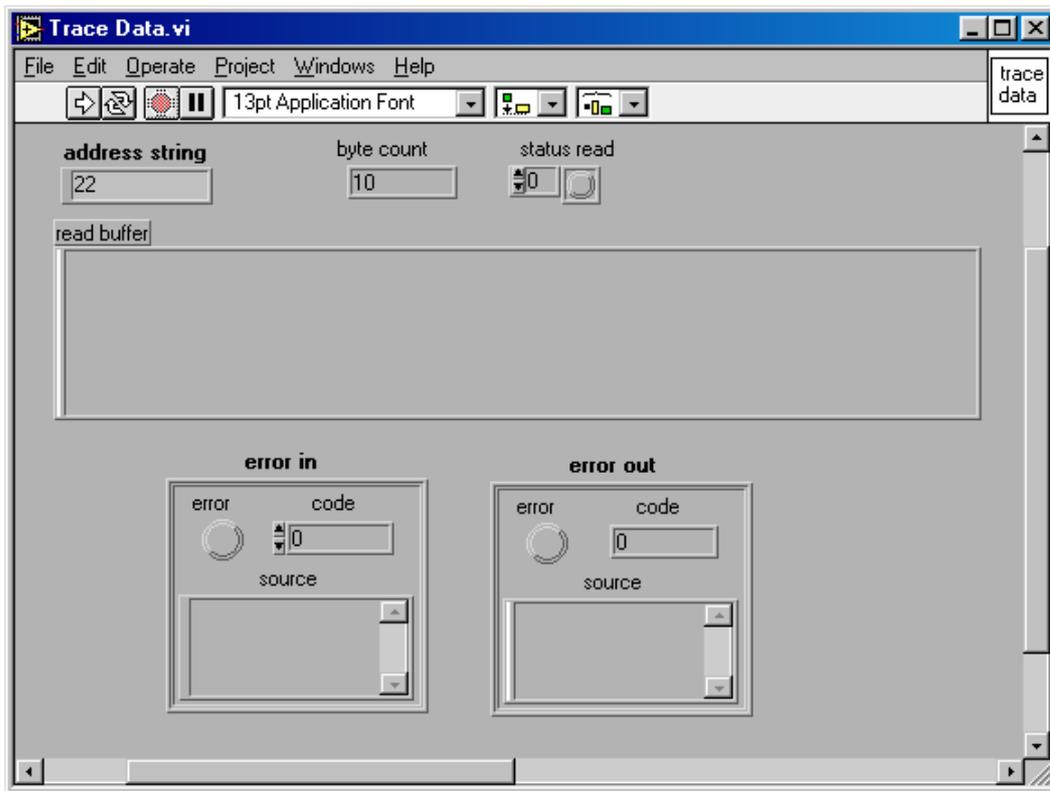
6.9. Range.vi

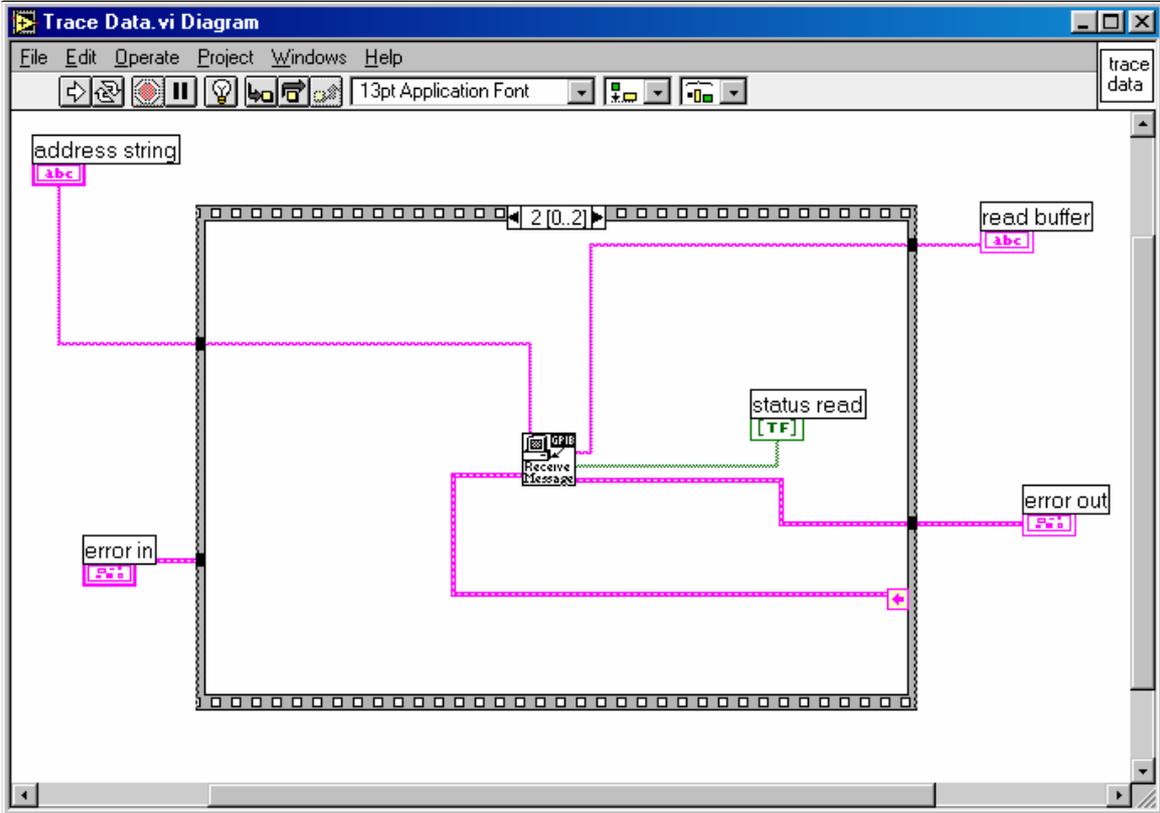
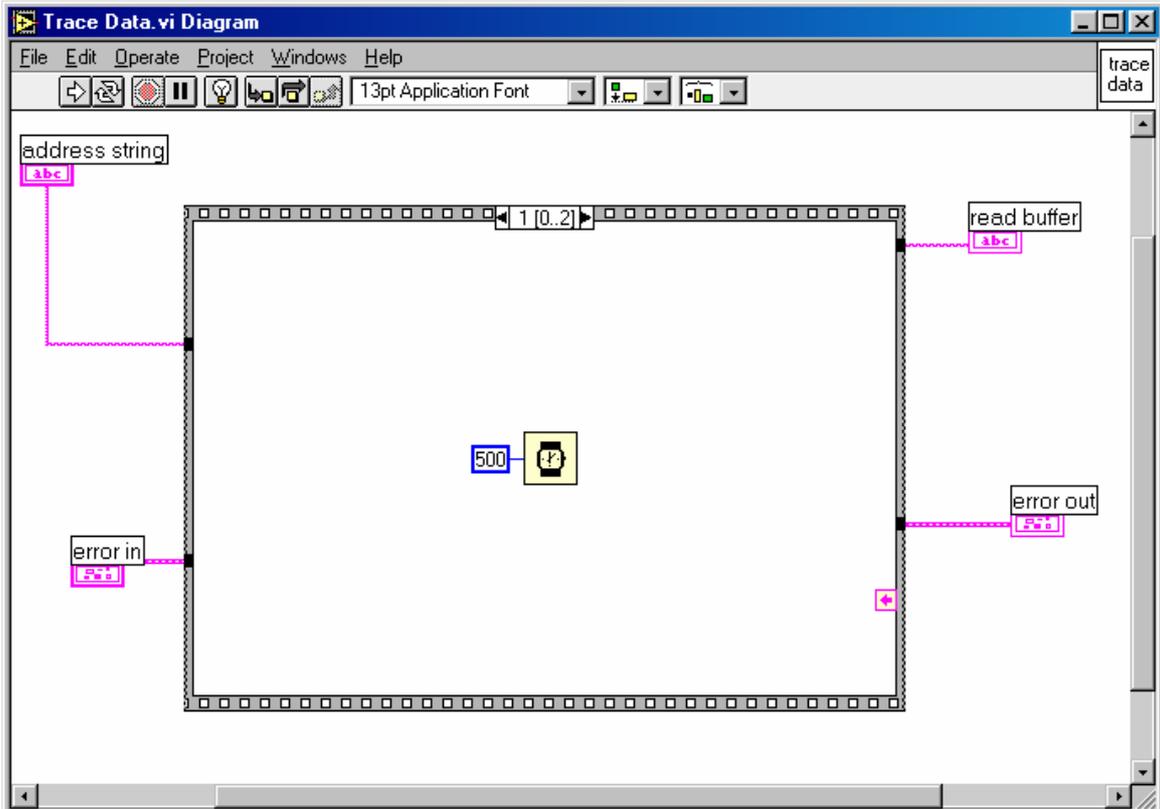


6.10. Reset.vi

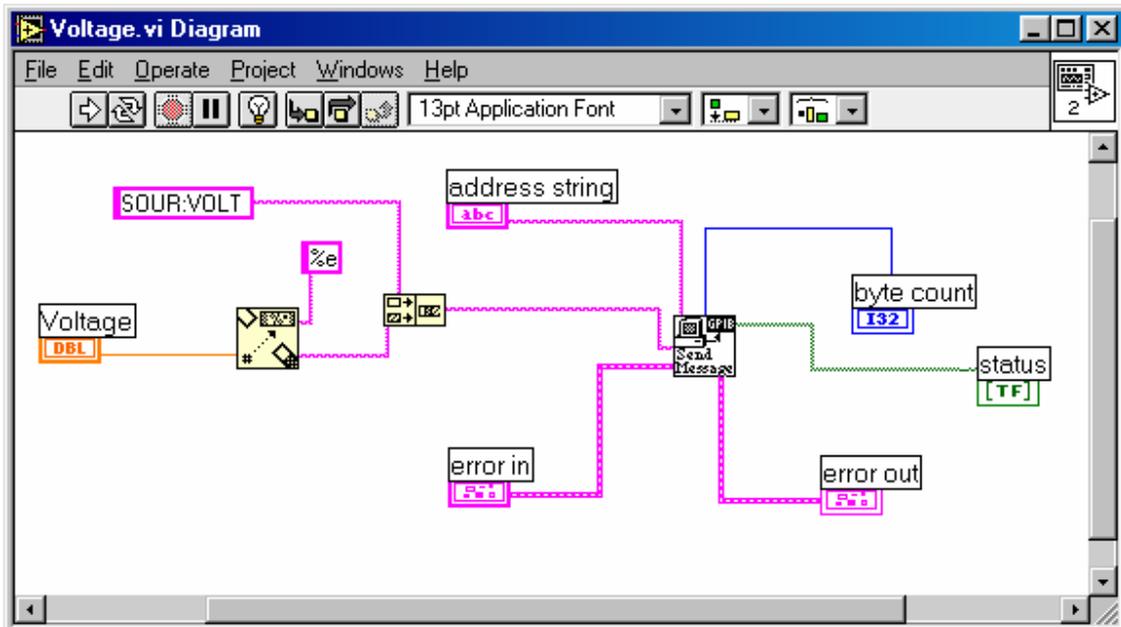
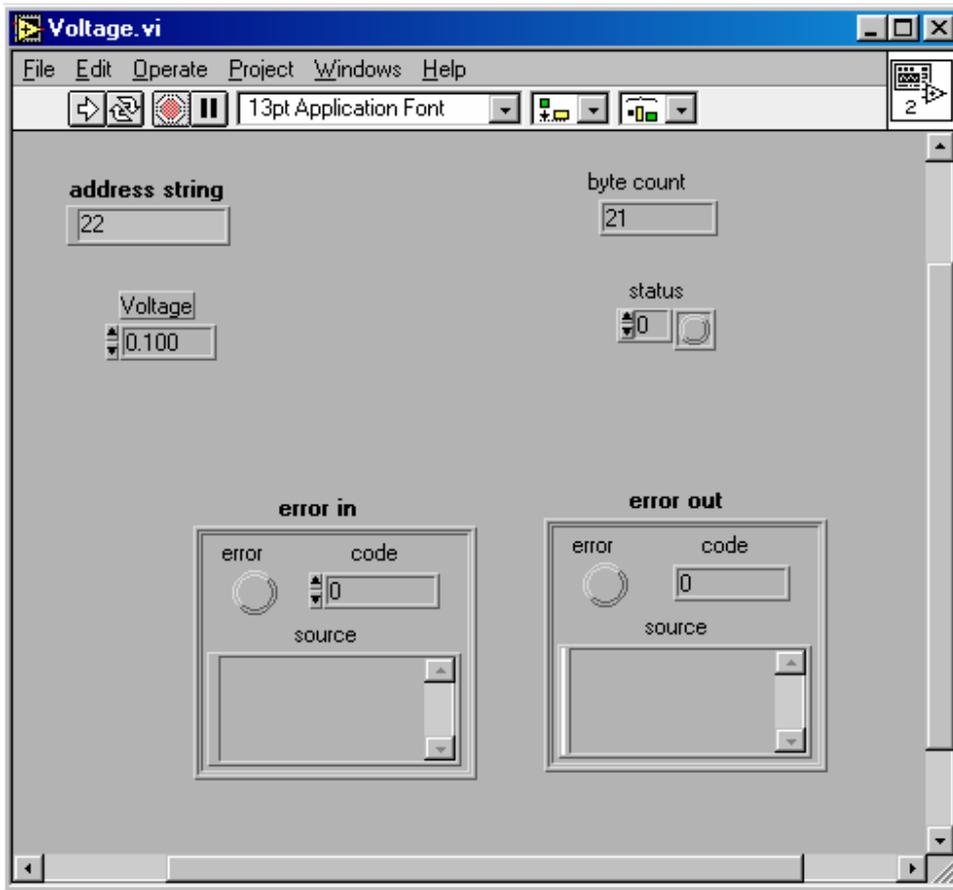


6.11. Trace Data.vi

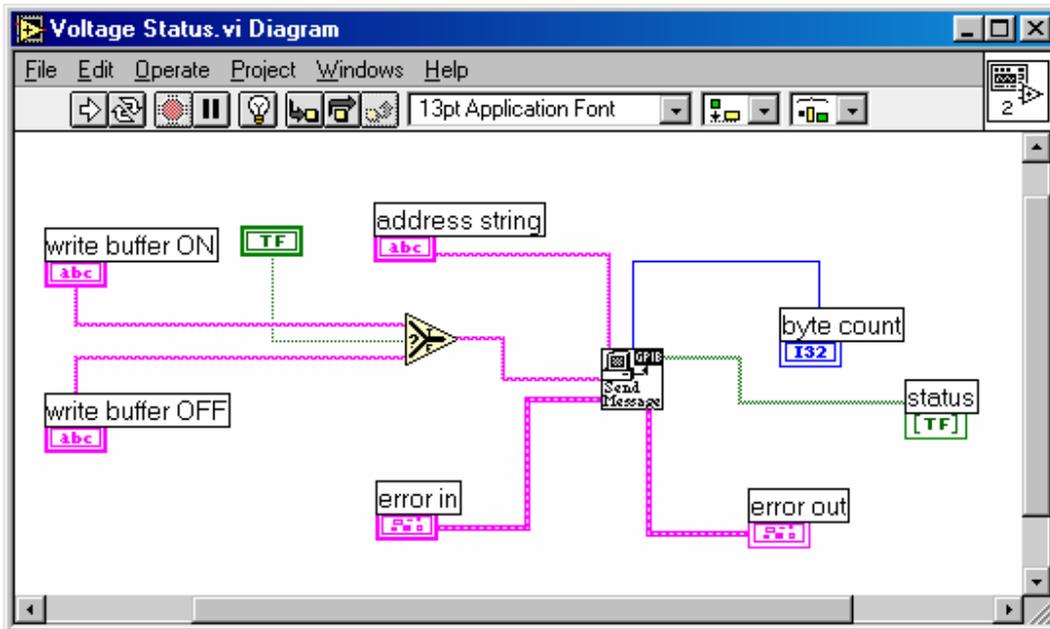
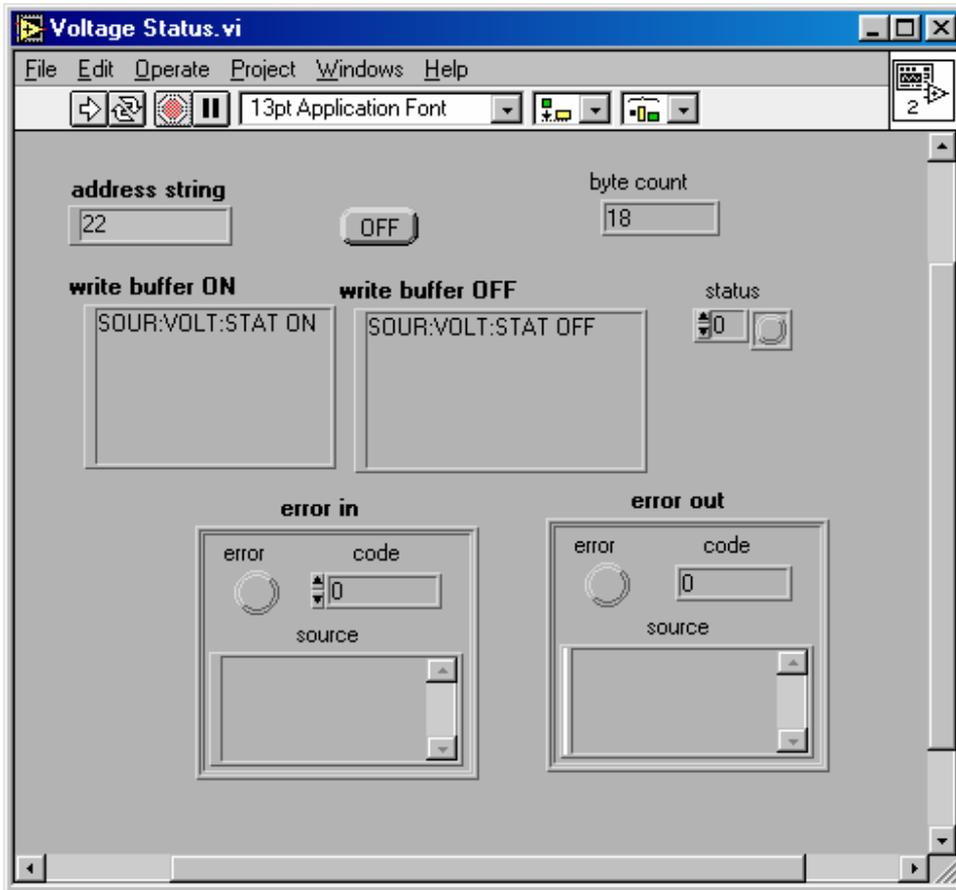




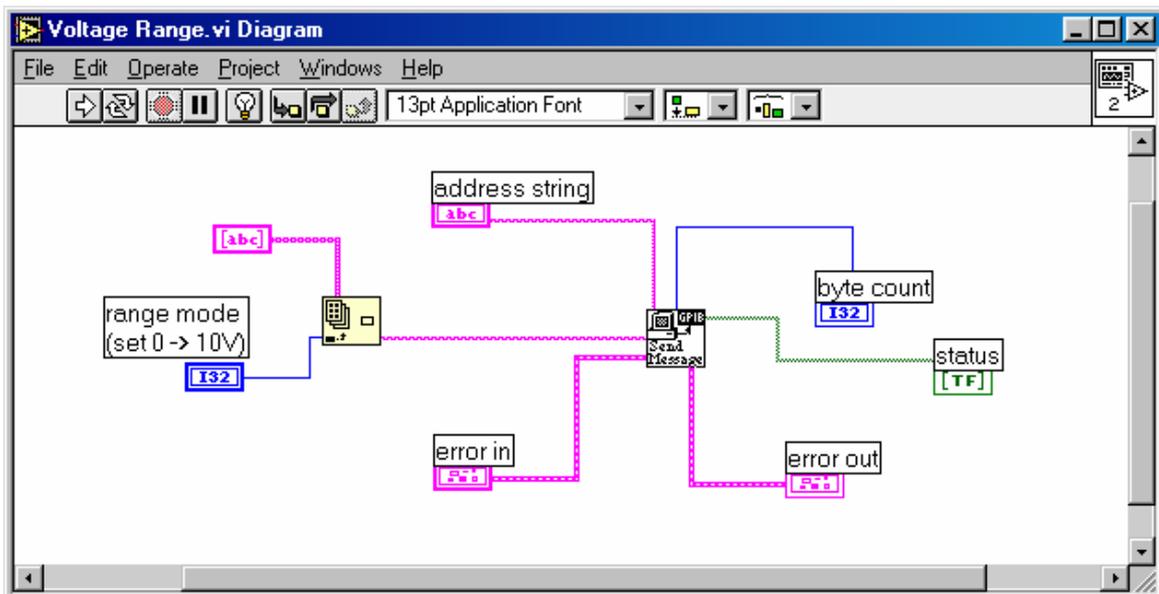
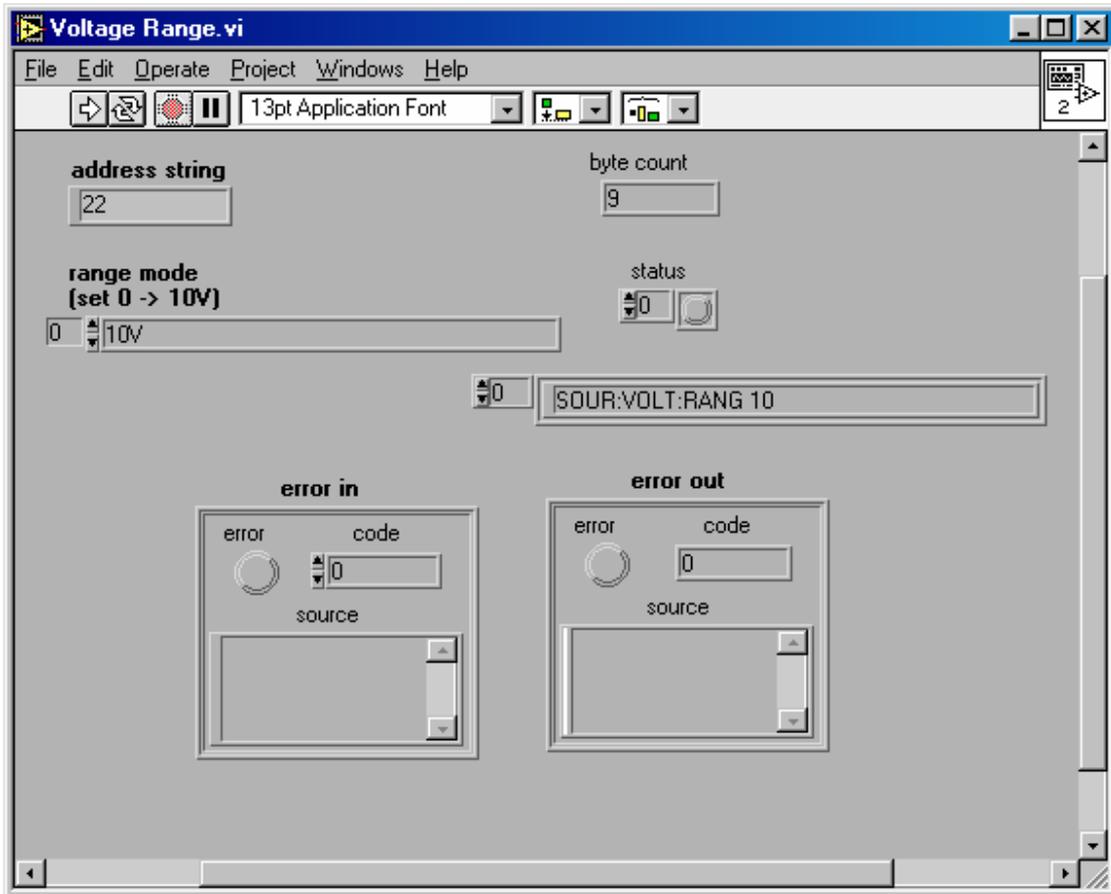
6.12. Voltage.vi



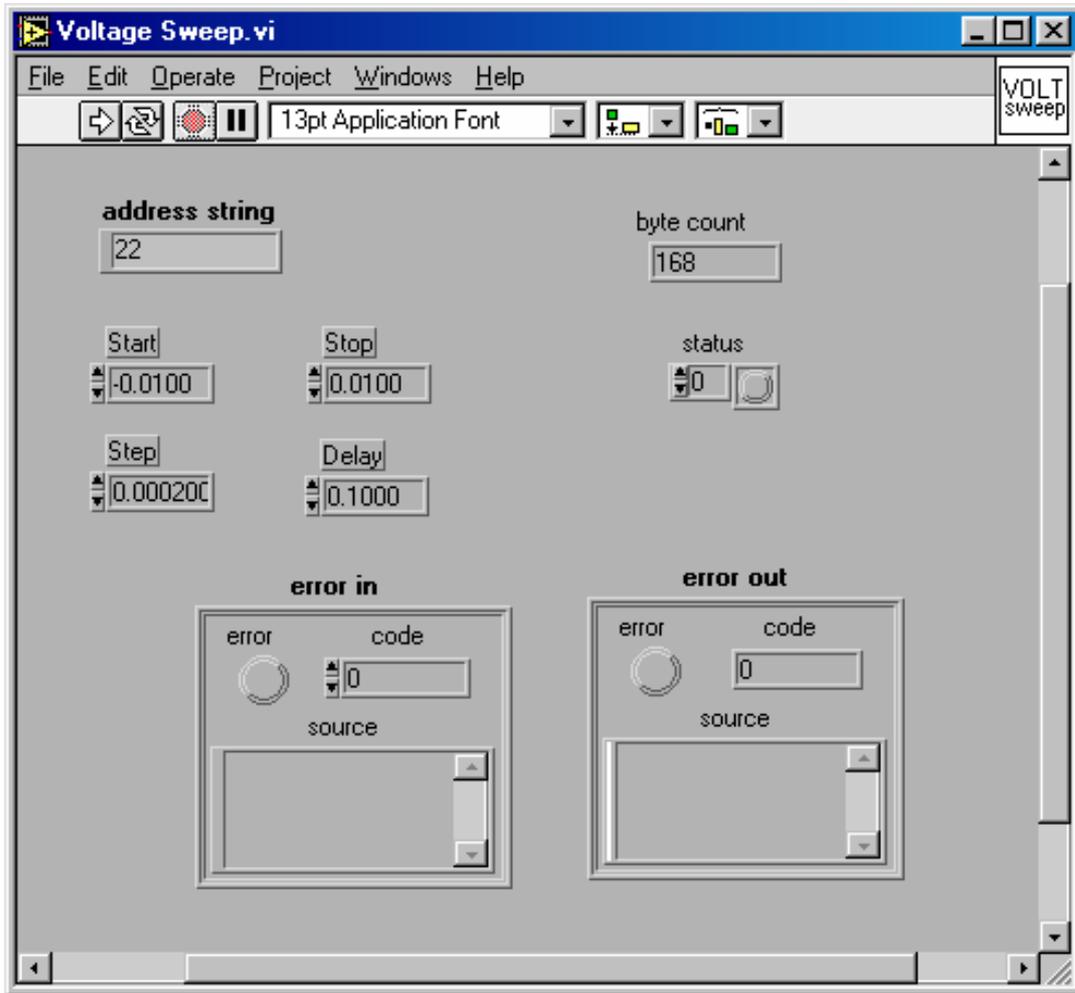
6.13. Voltage Status.vi

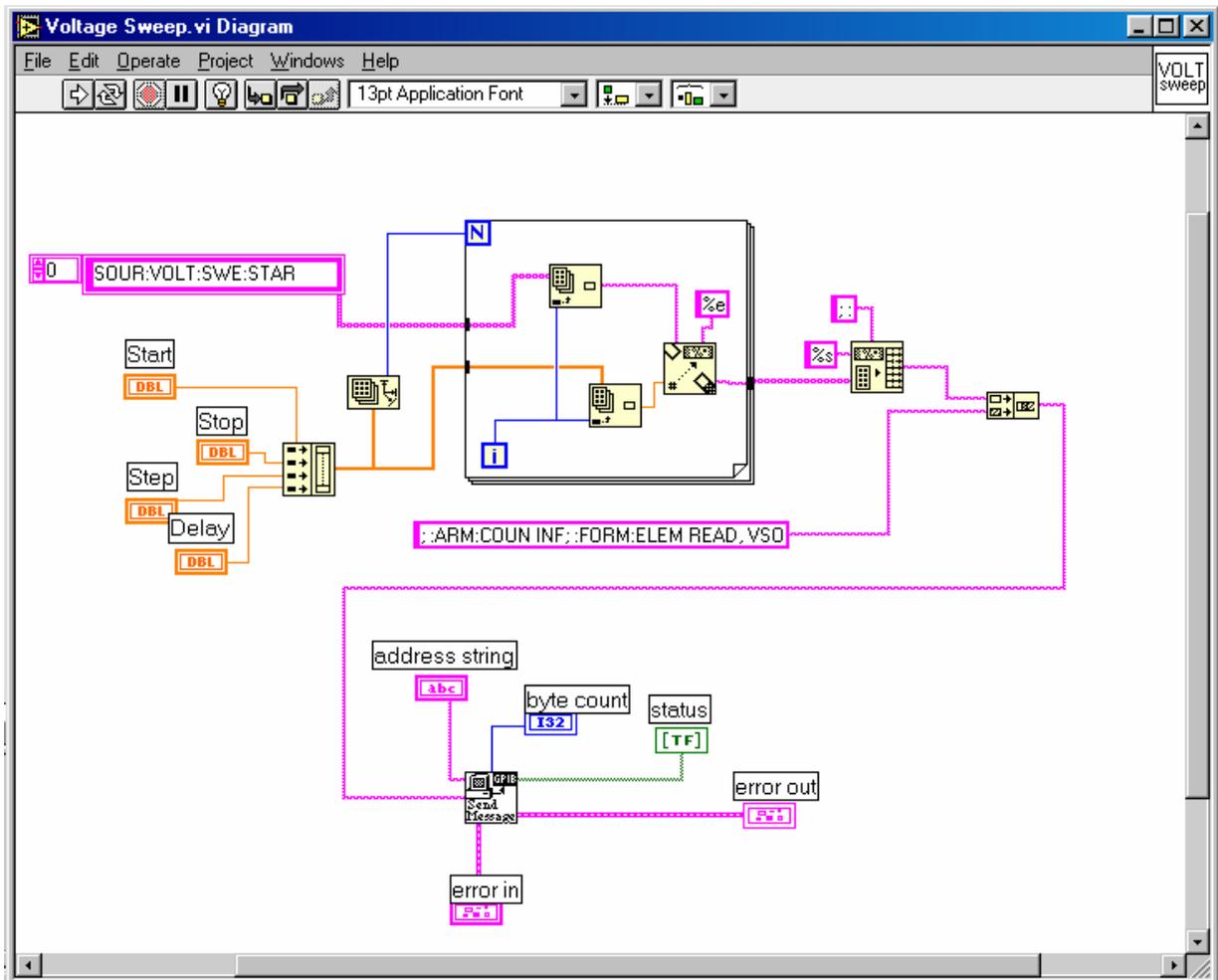


6.14. Voltage Range.vi

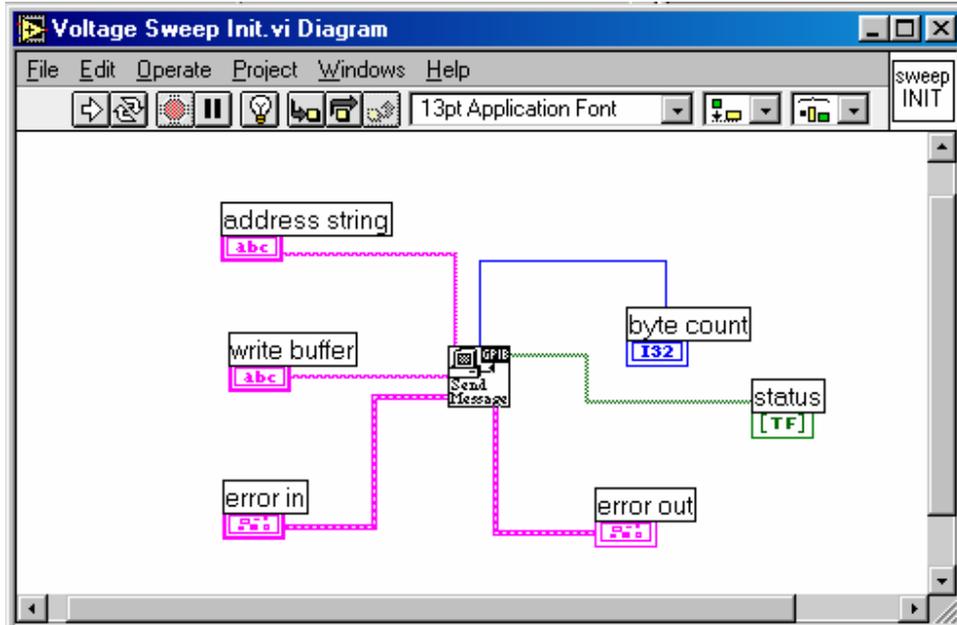
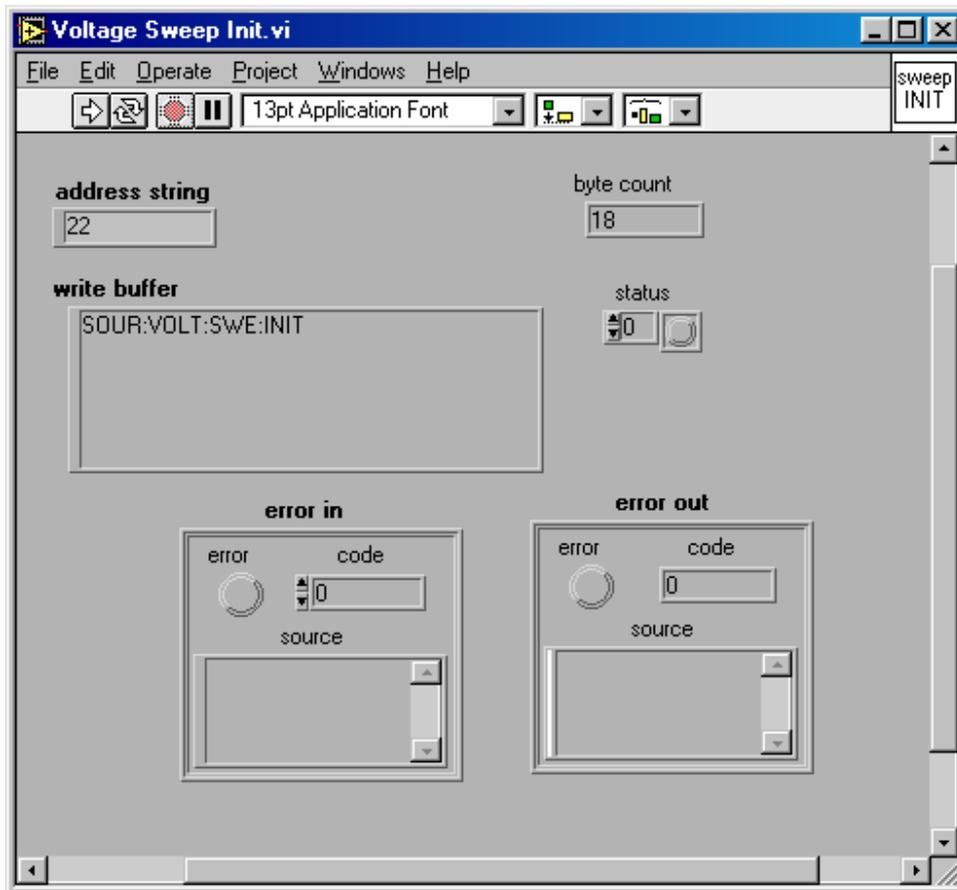


6.15. Voltage Sweep.vi

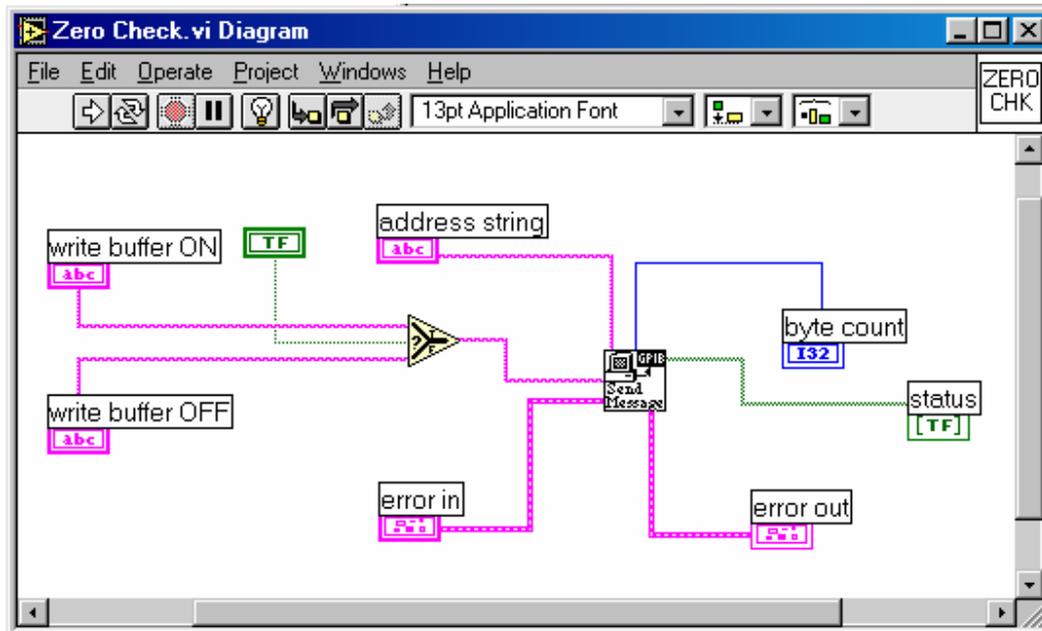
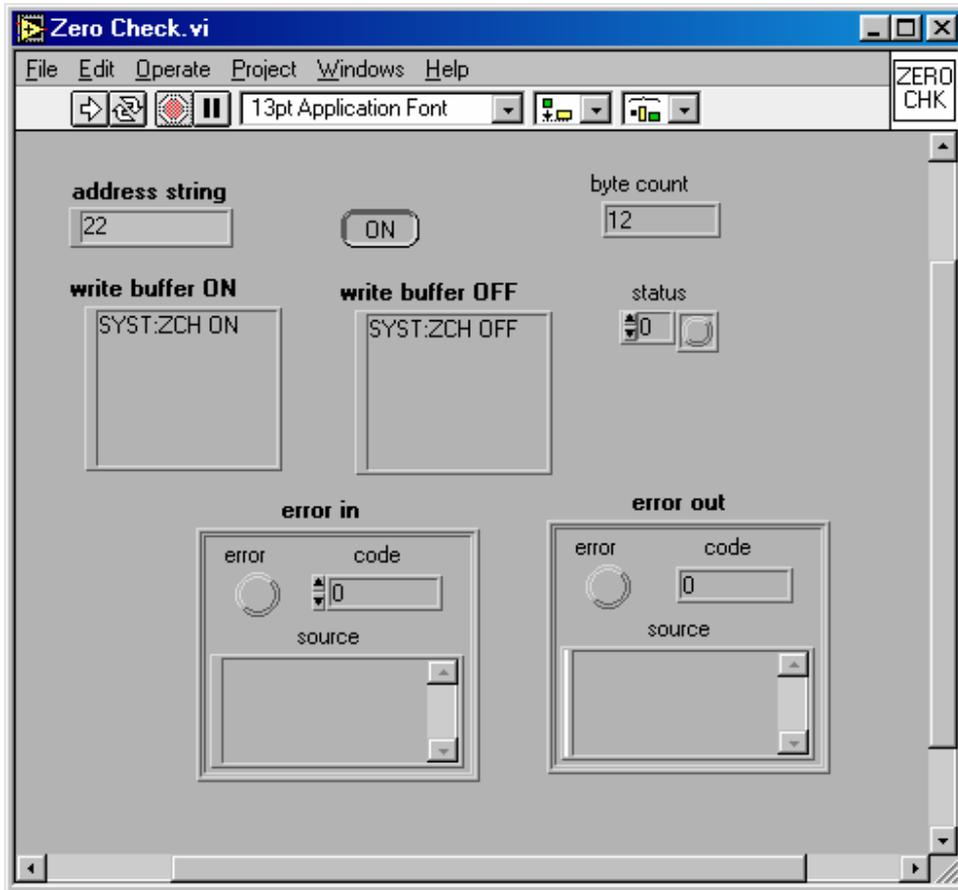




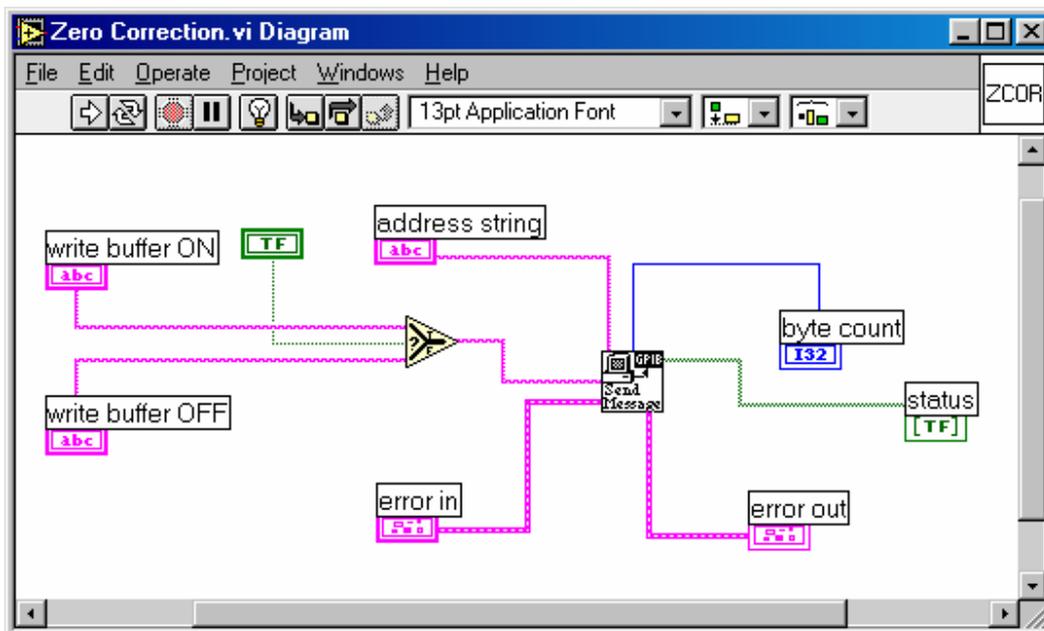
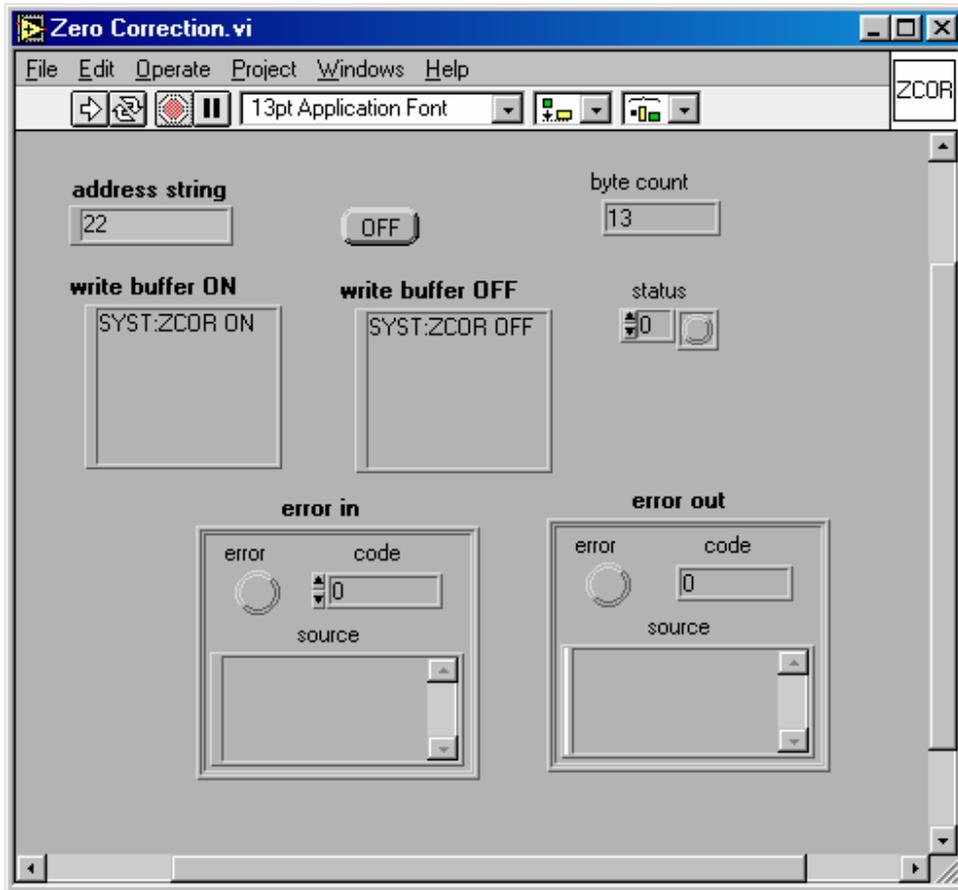
6.16. Voltage Sweep Init.vi



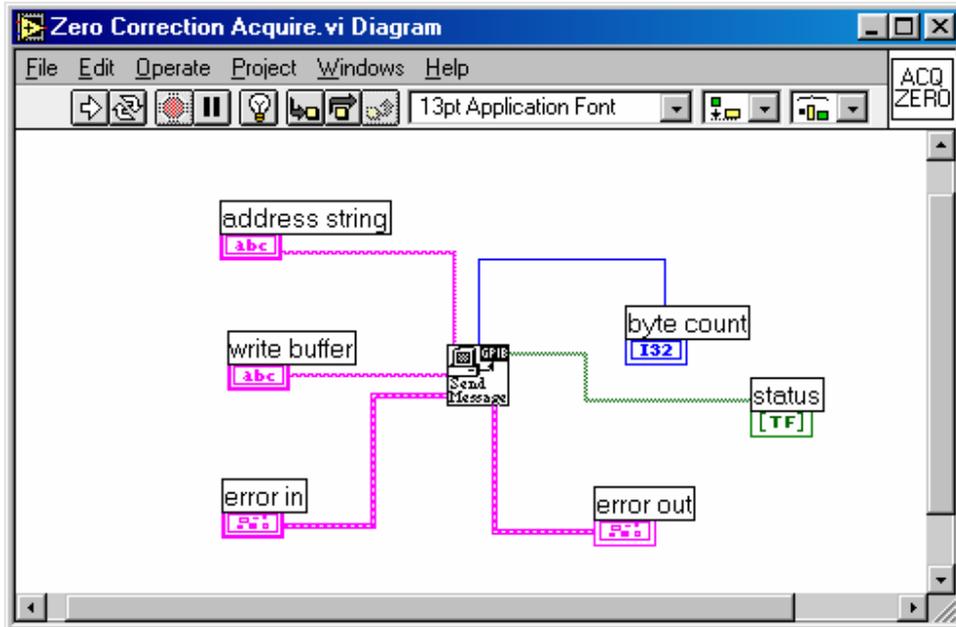
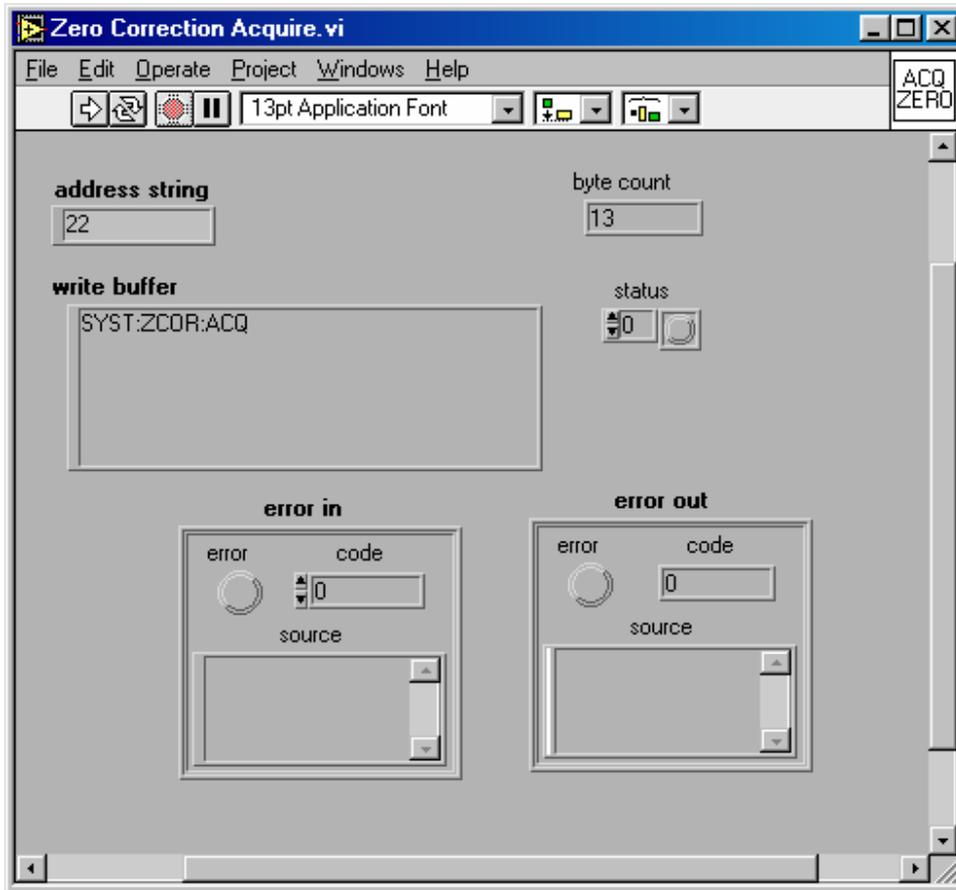
6.17. Zero Check.vi



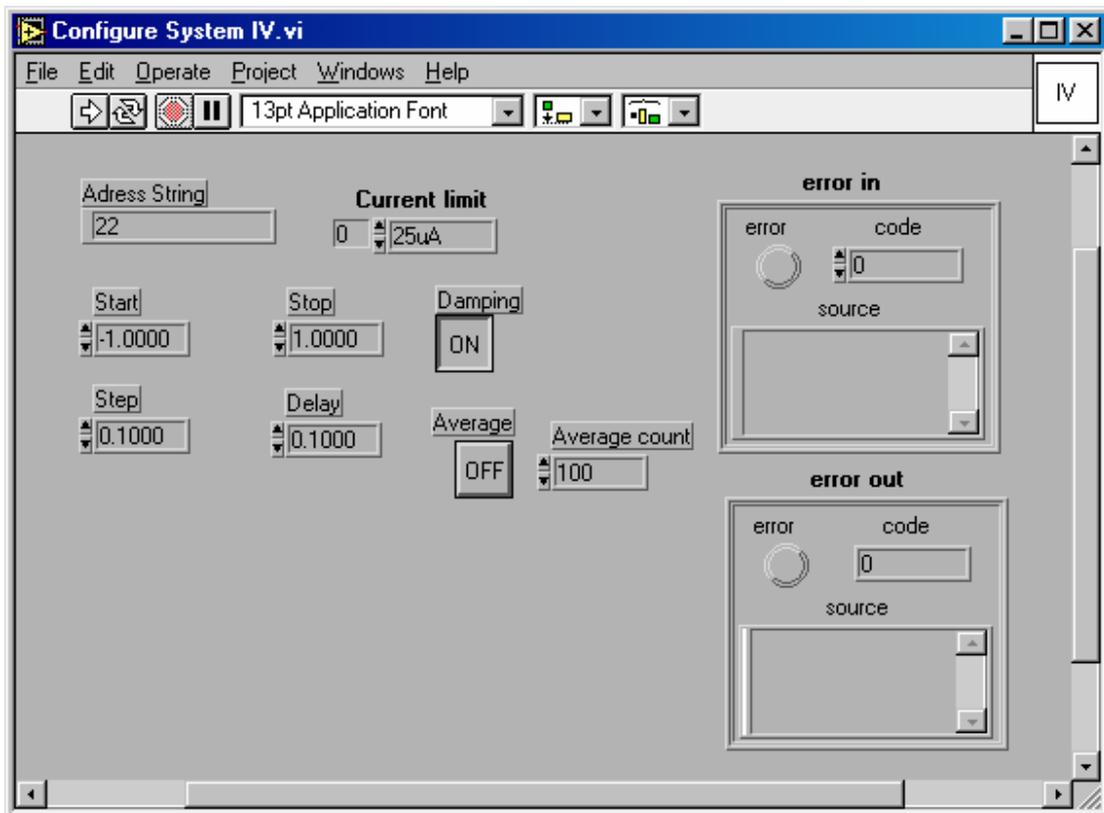
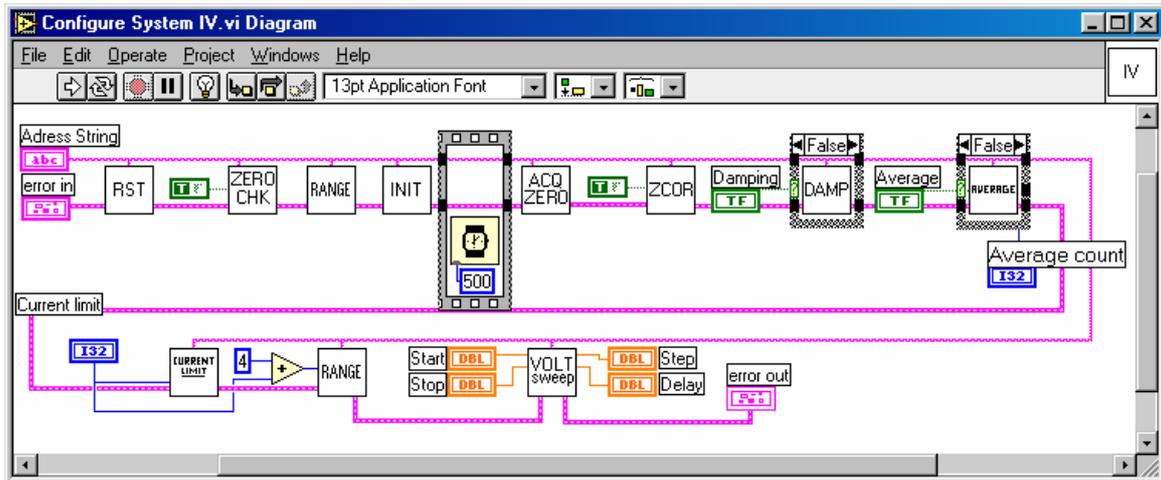
6.18. Zero Correction.vi



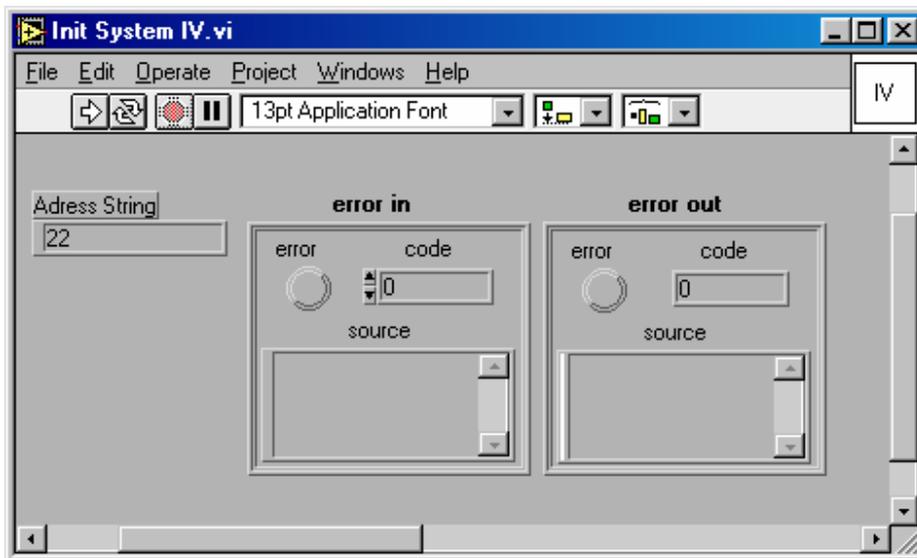
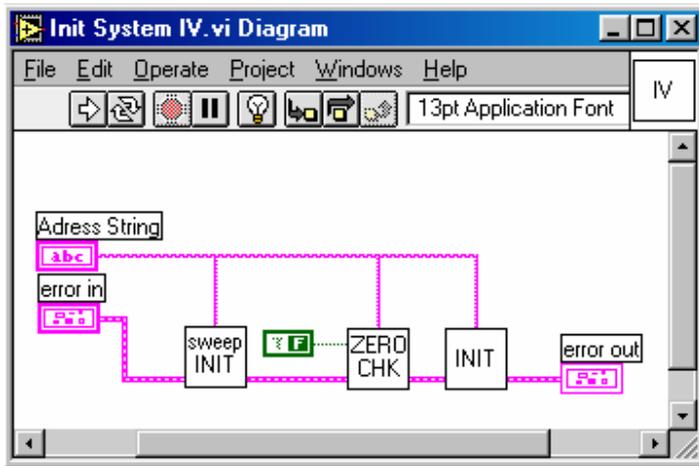
6.19. Zero Correction Acquire.vi



6.20. Configure System IV.vi



6.21. Init System IV.vi



6.22. Select IxV.vi

